



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

**KUOPION ENERGIAN LÄMMÖN- JA
SÄHKÖNTUOTANNON HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖT**

Mari Javanainen

YMPÄRISTÖTEKNIikka

Diplomityö

Heinäkuu 2017



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

KUOPION ENERGIAN LÄMMÖN- JA SÄHKÖNTUOTANNON HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖT

Mari Javanainen

Ohjaajat: Reima Lassila, Tommi Kontulainen,
Satu Pitkäaho, Esa Turpeinen

Ympäristötekniikka

Diplomityö

Heinäkuu 2017

TIIVISTELMÄ

OPINNÄYTETYÖSTÄ Oulun yliopisto Teknillinen tiedekunta

Tutkinto-ohjelma (kandidaatintyö, diplomityö) Ympäristötekniikka (diplomityö)		Pääaineopintojen ala (lisensiaatintyö)	
Tekijä Javanainen Mari		Työn ohjaaja yliopistolla Pitkäaho S., TkT Turpeinen E., DI	
Työn nimi Kuopion Energian lämmön- ja sähköntuotannon hiilidioksidipäästöt			
Opintosuunta Teollisuuden energia- ja ympäristötekniikka	Työn laji Diplomityö	Aika Heinäkuu 2017	Sivumäärä 94 s. + 6 liitettä
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän diplomityön tavoitteena oli kartoittaa ja arvioida erilaisia hiilidioksidin päästökertoimen määritysmenetelmiä ja valita perustellusti sopivat menetelmät päästökertoimien laskemiseksi Kuopion Energian vuonna 2016 yhteistuotannossa ja lämpökeskuksissa tuottamalle sähkölle ja lämmölle. Teoriaosuudessa tarkasteltiin millaisia hiilidioksidipäästökertoimen määritysmenetelmiä on olemassa ja mitä seikkoja päästöjen määrittämisessä on otettava huomioon. Menetelmien arviointi tehtiin vertailemalla menetelmiä keskenään sekä tarkastelemalla niiden yleisyyttä Suomessa. Työssä selvitettiin verkkolähteiden avulla millaisia määritysmenetelmiä on käytössä muissa maissa. Laskennallisessa osiossa määritettiin valituilla laskentamenetelmillä Kuopion Energian tuottaman sähkö ja kaukolämmön hiilidioksidipäästökertoimet. Päästöt määritettiin hiilidioksidiekvivalenteina eli syntyneiden metaanin ja dityypimonoksidin ilmastolämpimisyypotentiaalit otettiin myös huomioon laskennassa. Menetelmien kartoitus suoritettiin kirjallisuusselvityksenä. Verkkolähteiden ja sähköpostikyselyn avulla selvitettiin, mitä menetelmiä muut Suomessa toimivat energiayhtiöt käyttävät päästökertoimiensa määrittämisessä.</p> <p>Menetelmät voidaan jaotella eri tavoin esimerkiksi sen perusteella, allokoidaanko niillä yhteistuotannon päästöt sähkö ja lämmön välille vai tarkastellaanko niillä päästöjä kokonaisvaltaisesti. Muita eroja ovat esimerkiksi kerrannaisvaikutusten huomiointi energijärjestelmän tasolla tai elinkaaren huomioiminen päästöjen kokonaisuudessa. Työssä sovelletut menetelmät huomioivat nämä erot. Päästökertoimien avulla voidaan vertailla energiantuotantoyrityksiä keskenään. Vertailu on mielekästä ainoastaan, jos vertailtavien kertoimien määrittämisessä on käytetty samoja menetelmiä. Eri menetelmien käyttö päästökertoimien määrittämisessä mahdollistaa vertailun laajemmin eri yritysten kesken. Tuloksena saatujen päästökertoimien avulla voidaan pohtia menetelmien eroja.</p> <p>Laskentamenetelmiksi valittiin hyödynjakomenetelmä, energiamenetelmä, primäärienergiamenetelmä sekä kasviuonekaasu- eli GHG-menetelmä. Päästöjen allokointiin sovellettiin hyödynjakomenetelmää sen yleisyyden vuoksi ja vertailuksi päästöt allokointiin myös energiamenetelmällä, jota Kuopion Energia on aiemmin käyttänyt päästökertoimien määrittämisessä. Primäärienergiamenetelmää sovellettiin sen kerrannaisvaikutusten huomioonottavuuden takia. GHG-menetelmä valittiin tarkasteluun sen elinkaari-perusteisuuden vuoksi. GHG-menetelmällä saatujen päästöjen allokointiin sovellettiin menetelmässä esiteltyä Efficiency-menetelmää. Hyödynjakomenetelmällä tuotetun sähkö päästökertoimeksi saatiin 337,6 g/kWh ja lämmön päästökertoimeksi 146,4 g/kWh. Energiamenetelmällä tuotetun sähkö päästökertoimeksi saatiin 191,9 g/kWh ja lämmön päästökertoimeksi 191,1 g/kWh. Primäärienergiamenetelmällä saatiin päästökertoimeksi sähkölle 388,9 g/kWh ja lämmölle 130,7 g/kWh. Koko elinkaaren huomioiminen kasvatti kokonaispäästöjä noin 13,4 %. GHG-menetelmällä saatiin elinkaaren aikaiset päästöt huomioituna päästökertoimeksi sähkölle 384,9 g/kWh ja lämmölle 164,9 g/kWh. Allokointimenetelmillä saaduista päästökertoimien lukuarvoista huomataan, että primäärienergiamenetelmässä yhteistuotannon hyöty jakaantuu vahvasti lämmölle. Energiamenetelmässä päästöt jakaantuvat tuotetun energian suhteessa, jolloin yhteistuotannon hyöty kohdistuu vähemmän tuotetulle sähkölle. Hyödynjakomenetelmällä saadut päästökertoimet ovat näiden ääripäiden välillä eli yhteistuotannon hyöty jakaantuu tasaisesti molemmille tuotteille. GHG-menetelmän allokointimenetelmä muistuttaa hyödynjakomenetelmää, joten yhteistuotannon hyöty jakaantuu samoin molemmille tuotteille.</p> <p>Työn tekemisen aikana kävi selväksi muiden energiayhtiöiden käyttämien määritysmenetelmien selvityksen myötä, että yhtenevä käytäntö ja määritysmenetelmä puuttuvat Suomesta. Ongelma on tiedostettu yrityksissä ja tarkemmalle ohjeistukselle olisi kysyntää. Yhtenevien määritysmenetelmien käyttö olisi hyvä asia myös asiakkaan näkökulmasta, sillä tällöin eri energiantuottajia olisi helpompi vertailla keskenään. Yhteinen käytettävä menetelmä voisi olla GHG-menetelmä, sillä sen laajan rajauksen myötä pyritään huomioimaan kaikki päästöt mitä energiantuotanto todellisuudessa aiheuttaa.</p>			
Muita tietoja			

ABSTRACT FOR THESIS

University of Oulu Faculty of Technology

Degree Programme (Bachelor's Thesis, Master's Thesis) Environmental Engineering (Master's Thesis)		Major Subject (Licentiate Thesis)	
Author Javanainen Mari		Thesis Supervisor Pitkääho S., D.Sc.(Tech.) Turpeinen E., M.Sc.(Tech.)	
Title of Thesis Carbon dioxide emissions of the heat and power production of Kuopion Energia			
Major Subject Industrial Energy and Environmental Engineering	Type of Thesis Master's Thesis	Submission Date July 2017	Number of Pages 94 p. + 6 Appendixes
<p>Abstract</p> <p>The aim of this thesis was to survey and estimate different determination methods for carbon dioxide emission factors and to choose appropriate and justified methods for calculating the carbon dioxide emissions of the heat and power production of Kuopion Energia in year 2016. In the theory part different methods for determining the carbon dioxide emission factors were viewed. In addition, different points of emission calculation were surveyed. The valuation of the methods was done by comparing them amongst each other and by surveying their prevalence in Finland. For comparison it was also examined what kind of methods are used abroad. In the calculation part the carbon dioxide emission factors of the heat and power produced by Kuopion Energia company were determined. The emissions were calculated as carbon dioxide equivalent values so the formed methane and dinitrogen monoxide were taken into account. Review of the methods was done by literature survey. The methods used abroad were discovered by using web sources. Web sources and e-mail survey were used to determine the methods used in other Finnish energy companies.</p> <p>The methods can be divided by their intended operation: whether the method's purpose is to allocate the emissions of combined heat and power production or to survey the emissions more comprehensively. Other differences include for example observation of multiplier effects in energy system or the emissions during life cycle. The chosen methods take these differences into account. By choosing different types of methods the emission factors can be compared between different companies. The comparison makes sense when the emissions of two different companies are determined by using the same method. With emission factors the differences between the methods can be discussed.</p> <p>In this study benefit distribution method, energy method, primary energy method and greenhouse gas i.e. the GHG-method were chosen to be used for calculation. The benefit distribution method was chosen because of its prevalence in Finland. For comparison emissions were also allocated by using the energy method that has been used earlier in Kuopion Energia company. The primary energy method was chosen because it takes into account the multiplier effects. GHG-method was chosen because it pays attention to emissions during the life cycle of the products. Emissions were allocated for heat and power by using the efficiency method introduced in the GHG-method. With benefit distribution method the emission factor was 146,4 g/kWh for heat and 337,6 g/kWh for power. With energy method the emission factor was 191,1 g/kWh for heat and 191,9 g/kWh for power. With primary energy method the emission factor was 130,7 g/kWh for heat and 388,9 g/kWh for power. When the emissions during the life-cycle were taken into account total emissions rose about 13,4 %. With the GHG-method the emission factors were 164,9 g/kWh for heat and 384,9 g/kWh for power. It can be seen from the values of emission factors that in the primary energy method the benefit from co-generation is directed for heat. In the energy method emissions are allocated based on produced energy so the benefit from co-generation is directed more for power which has been produced less. The emission factors gotten from the benefit distribution method are between these two methods' results so the benefit from co-generation is directed for both heat and power. The efficiency allocation method resembles the benefit distribution method, so in both cases the benefit is divided for both products.</p> <p>During the work it was also noted that there is no congruent practice for emission calculation method in Finland. This was discovered during the e-mail survey for other Finnish energy companies. The companies are aware of the problem and there is a demand for more detailed instructions for emission factor calculation. The use of congruent determination methods would also be useful for the customers because then it would be easier to compare different companies to each other. The commonly used method in the future could be GHG-method because it takes into account the real emissions formed in energy production.</p>			
Additional Information			

ALKUSANAT

Tämä diplomityö tehtiin Kuopion Energia Oy:lle syksyn 2016–kevään 2017 aikana. Työn tavoitteena oli selvittää mitä hiilidioksidipäästökertoimien määrittämenetelmiä on olemassa ja määrittää Kuopion Energia Oy:n tuottamalle lämmölle ja sähkölle päästökertoimet sopiviksi todetuilla menetelmillä. Työ tehtiin pääasiassa Oulussa, tarpeen tullen Kuopiossa vierailen.

Haluan kiittää Kuopion Energia Oy:tä mielenkiintoisen ja ajankohtaisen diplomityön aiheen tarjoamisesta. Työn ohjaajina Kuopion Energialta toimivat Reima Lassila ja Tommi Kontulainen. Kiitos ohjauksestanne ja asiantuntemuksestanne työn aikana. Kiitos myös Peter Seppälä, Matti Voutilainen ja Eero Taskinen avustanne elinkaarenaikaisten päästöjen selvitystyössä. Kiitos Suomen Yliopistokiinteistöt Oy:n Ari-Pekka Lassilalle kiinnostuksestasi hiilidioksidipäästökertoimien määrittämiseen sekä ajatuksistasi ja arvokkaista kommentteistasi työn sisältöön liittyen.

Työn ohjaajina Oulun yliopistolta toimivat Satu Pitkäaho ja Esa Turpeinen. Kiitos kaikista neuvoistanne ja ohjauksestanne työn aikana. Teidän ohjauksessanne työn tekeminen sujui koko ajan hyvällä fiiliksellä.

Haluan kiittää perhettäni ja ystäviäni kaikesta kannustuksesta opintojeni aikana. Erityisesti kiitos äiti ja isi, kun olette eläneet tiiviisti mukana koko opiskeluaikani. Kiitos opiskelukavereilleni huippuhauskoista opiskeluvuosista. Matias, kiitos jatkuvasta tsemppaamisestasi niin tämän työn, kuin muidenkin haasteiden aikana.

Oulussa, 30.6.2017

Mari Javanainen

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	1
ABSTRACT	2
ALKUSANAT	3
SISÄLLYSLUETTELO	4
MERKINNÄT JA LYHENTEET	7
1 JOHDANTO	9
2 KASVIHUONEKAASUT JA ILMASTOPOLITIIKKA	11
2.1 Päästölähteet	11
2.2 Hiilidioksidi	12
2.3 Muut kasvihuonekaasut	13
2.4 Ilmastonmuutos	15
2.5 Ilmastotietoisuus	16
2.6 Kansainvälinen ilmastopolitiikka	17
2.7 Päästöjen rajoittaminen ja päästökauppa	18
3 ENERGIANTUOTANNON HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖT	21
3.1 Yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto	21
3.2 Polttoaineiden ominaisuudet	23
3.3 Päästöjen syntyminen energiantuotannossa	24
3.4 Päästökertoimet energialle	25
4 HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖJEN LASKENTAMENETELMÄT	27
4.1 Päästölaskennan avaintekijät, menetelmien jaottelu ja tarkastelurajaus	27
4.2 Allokointimenetelmät	31
4.2.1 Hyödynjakomenetelmä	31
4.2.2 Energiamenetelmä	33
4.2.3 Eksergiamenetelmä	33
4.2.4 Työmenetelmä	34
4.2.5 Hintaperusteinen menetelmä	34
4.2.6 Vaihtoehtoisen hankintatavan menetelmä	34
4.2.7 Suhdemenetelmä	35
4.2.8 Efficiency-menetelmä	35
4.2.9 All-savings –menetelmä	35
4.2.10 50 %-50 %-menetelmä	36
4.3 Primäärienergiamenetelmä	36
4.4 GHG-menetelmä	37

4.5	Ilmastopaneelimenetelmä	40
4.6	Muut menetelmät	40
4.7	CHP-tuotanto ja päästökertoimien määrittäminen Suomessa ja muissa maissa	42
4.7.1	Vertailu muihin Suomessa toimiviin energia-alan yrityksiin	42
4.7.2	CHP-tuotanto ja päästökertoimien määrittäminen muissa maissa	43
4.8	Menetelmien arviointi	45
4.9	Elinkaariarviointi	46
5	KUOPION ENERGIA	48
5.1	Tuotanto ja tuotteet	48
5.2	Polttoaineet ja polttoaineiden hankinta	53
5.2.1	Turve	54
5.2.2	Biopolttoaineet	54
5.2.3	Fossiiliset polttoaineet	56
5.3	Päästöt ja päästökauppa	56
6	KUOPION ENERGIAN PÄÄSTÖT	60
6.1	Päästöjen määrittämiseen valitut menetelmät ja tarkastelurajaus	60
6.2	Aineisto ja käytettävät tutkimusmenetelmät	62
6.3	Hiilidioksidipäästöjen laskenta	63
6.3.1	Suorat poltosta aiheutuneet päästöt	63
6.3.2	Yhteistuotannon päästöjen allokointi	65
6.3.3	Primäärienergiamenetelmä	66
6.3.4	GHG-menetelmä	66
6.3.5	Tuotekohtainen tarkastelu	72
7	TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET	73
7.1	Tulokset ja niiden analysointi	73
7.1.1	Allokointimenetelmien tulokset	73
7.1.2	GHG-menetelmän tulokset	75
7.1.3	Tulosten vertailua	75
7.1.4	Polttoaineiden suhteen muutoksen vaikutus päästöihin	77
7.2	Pohdinta	78
8	YHTEENVETO	80
9	LÄHTEET	83

LIITTEET:

- LIITE 1. Metaanin päästökerroin
- LIITE 2. Dityppimonoksidin päästökerroin
- LIITE 3. GWP-kertoimet
- LIITE 4. Polttoaineluokitus 2016
- LIITE 5. Kuopion kaukolämpöverkko
- LIITE 6. Kuljetuksen päästöt

MERKINNÄT JA LYHENTEET

BFBC	kerrosleijupoltto (bubbling fluidized bed combustion)
CFBC	kiertoleijupoltto (circulated fluidized bed combustion)
CFC	freoni (chlorine-fluorine-carbon)
CH ₄	metaani
CHP	lämmön- ja sähkön yhteistuotanto (combined heat and power production)
CO ₂	hiilidioksidi
CO ₂ e	hiilidioksidiekvivalentti
EU	Euroopan unioni
GHG	kasvihuonekaasu (greenhouse gas)
GWh	gigawattitunti (gigawatt-hour)
GWP	ilmastonlämmityspotentiaali (global warming potential)
HCFC	fluorikloorihiilivety (hydrochlorofluorocarbon)
IPCC	YK:n hallitusten välinen ilmastopaneeli (International Panel on Climate Change)
kWh	kilowattitunti (kilowatt-hour)
LCA	elinkaariarviointi (life cycle assessment)
LCI	elinkaari-inventaario (life cycle inventory)
LCIA	vaikutusarviointi (life cycle impact assessment)
LULUCF	maankäyttö, maankäytön muutokset ja metsätalous (land use, land use change and forestry)
MW	megawatti (megawatt)
MWh	megawattitunti (megawatt-hour)
N ₂ O	dityppimonoksidi, typpioksiduuli, ilokaasu
NAP	päästöoikeuksien ilmaisjako (national allocation plan)
PFC	perfluorattu yhdiste (perfluorocarbon)
ppb	miljardisosa (parts per billion)
ppm	miljoonasosa (parts per million)
PRF	primääriresurssikerroin (primary resource factor)
SF ₆	rikkiheksafluoridi (sulfur hexafluoride)
SNCR	selektiivinen ei-katalyyttinen pelkistys (selective non-catalytic reduction)
SYKE	Suomen Ympäristökeskus

UNFCCC YK:n ilmastomuutosta käsittelevä puitesopimus (United Nations Framework Convention on Climate Change)

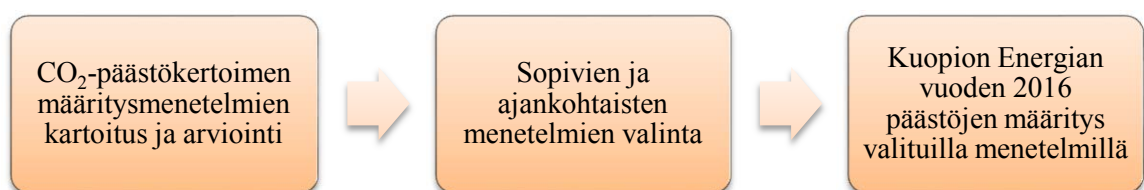
VTT Teknologian tutkimuskeskus

YK Yhdistyneet Kansakunnat (UN, United Nations)

1 JOHDANTO

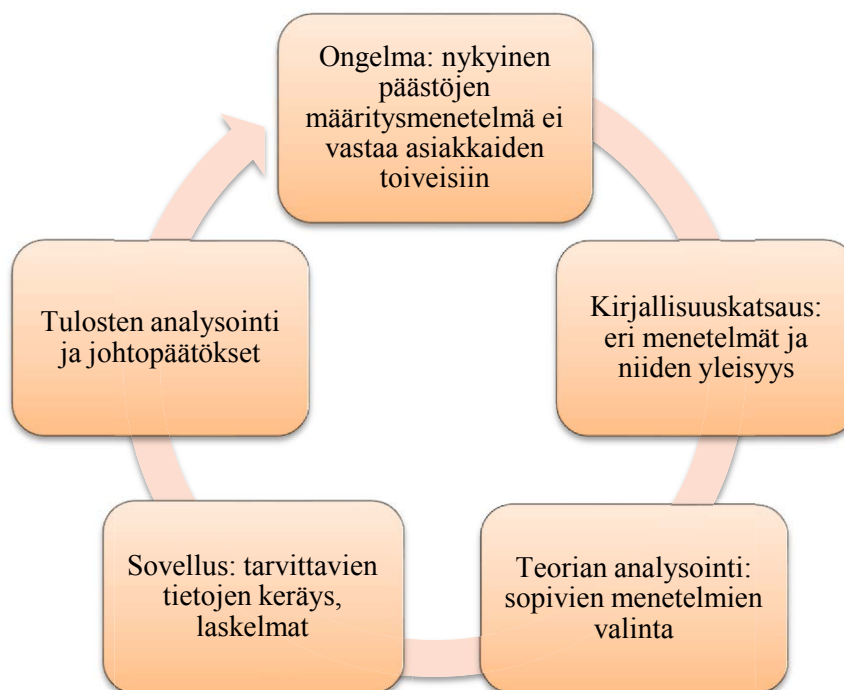
Ilmastonmuutos on suurimmaksi osaksi ihmisten aiheuttama ilmiö, jossa ilmasto lämpenee aiheuttaen monia haitallisia seurauksia. Ilmaston lämpeneminen johtuu kasvihuoneilmiöstä. Ilmaan päästetyt kasvihuonekaasut muodostavat esteen, joka estää lämmön siirtymisen takaisin avaruuteen ja absorboi lämpöä, jolloin maapallon lämpötila nousee. (NASA 2016b) Ilmastonmuutoksen hidastamiseksi ja ehkäisemiseksi on määritetty kansallisia ja kansainvälisiä tavoitteita. Suomen vuoden 2015 kasvihuonekaasupäästöistä 74 % oli peräisin energiasektorilta (Tilastokeskus 2016). Energiantuottajat noudattavat osaltaan asetettuja tavoitteita ilmastonmuutoksen ehkäisemiseksi esimerkiksi päästökaupan kautta. Ilmastotietoisuus kasvaa koko ajan, jonka seurauksena sekä energiantuottajat että -kuluttajat tulevat yhä tietoisemmiksi valintojensa vaikutuksesta ilmastoon. Energiamuodoille voidaan määrittää päästökertoimet, joiden avulla kuluttajat pystyvät laskemaan omasta kulutuksestaan aiheutuneet päästöt kulutetun energian avulla.

Kuopion Energia on sähköä ja kaukolämpöä pääasiassa yhteistuotannolla tuottava yritys. Tässä diplomityössä määritetään Kuopion Energian tuottaman kaukolämmön ja sähkön hiilidioksidipäästökertoimet mahdollisimman luotettavasti. Kuopion Energian asiakkaiden kiinnostus ostamansa energian päästöjä kohtaan on ollut merkittävä työn alullepaneva tekijä. Diplomityön yhtenä tavoitteena on selvittää, millaisia menetelmiä hiilidioksidipäästökertoimen määrittämiseen on olemassa. Työssä tarkastellaan sekä Suomessa että muualla maailmassa käytössä olevia laskenta- ja määrittämenetelmiä. Menetelmiä arvioidaan luotettavuuden ja käytettävyyden kannalta yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannon (CHP-tuotanto) hiilidioksidipäästöjen määrittämiseen. Menetelmien ajankohtaisuutta arvioidaan vertailemalla niitä muiden Suomessa toimivien energiayhtiöiden käyttämiin määrittämenetelmiin. Sopivimmilta vaikuttavien menetelmien avulla määritetään Kuopion Energian hiilidioksidipäästöt vuonna 2016 tuotetulle energialle. Diplomityön tavoitteet on kuvattu kuvassa 1.



Kuva 1. Diplomityön tavoitteet.

Päästöt määritellään hiilidioksidiekvivalenteina eli myös muut energiantuotannosta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt kuin hiilidioksidi on muunnettu vastaamaan hiilidioksidin ilmastovaikutusta. Energiantuotannon päästöissä huomioitavat kaasut hiilidioksidin (CO₂) ohella ovat dityppimonoksidi (N₂O) ja metaani (CH₄). Päästöt määritetään useammalla kuin yhdellä menetelmällä, jolloin menetelmien eroja voidaan tarkastella myös tulosten perusteella. Johtopäätöksissä arvioidaan, mitä käsitellyistä menetelmistä suositellaan työn perusteella käytettäväksi hiilidioksidipäästökertoimen määrittämiseen jatkossa. Työn kulku on kuvattuna kuvassa 2.



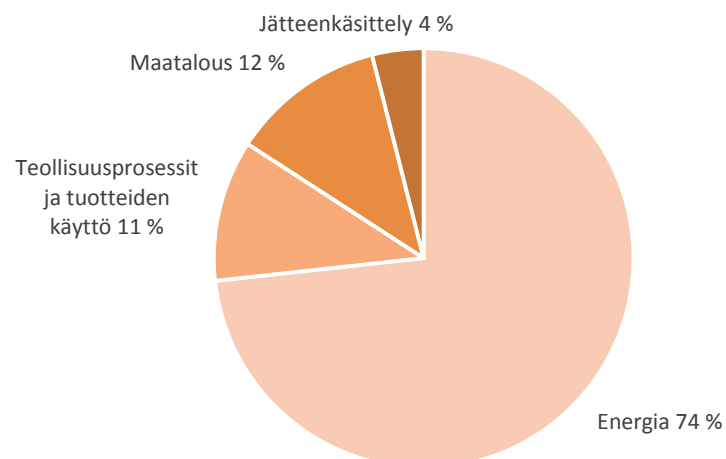
Kuva 2. Diplomityön kulku.

2 KASVIHUONEKAASUT JA ILMASTOPOLITIikka

Ihmisen toimien vaikutuksesta luonnollinen kasvihuoneilmiö voimistuu ilmakehässä. Syynä ilmiön voimistumiseen on etenkin fossiilisten polttoaineiden käyttö ja poltosta aiheutuvien kasvihuonekaasujen päästöt ilmaan. Energiantuotanto on merkittävässä osassa ilmastonmuutoksen aiheuttajana. Ilmastonmuutosta pyritään hillitsemään erilaisilla kansallisilla ja kansainvälisillä toimilla, joiden avulla päästöjä pyritään vähentämään. (Tilastokeskus 2005)

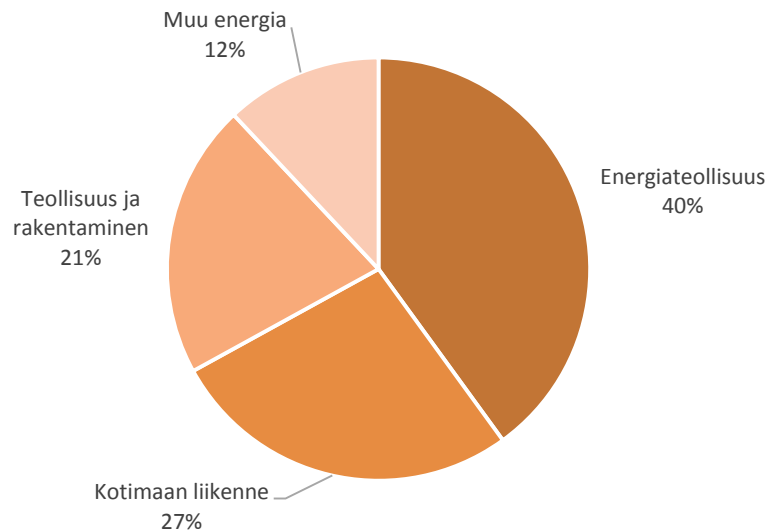
2.1 Päästölähteet

Kuvasta 3 nähdään Suomen kasvihuonekaasupäästöjen jakautuminen sektoreittain vuonna 2015. Kokonaisuudessaan vuoden 2015 kasvihuonekaasupäästöt olivat 55,6 hiilidioksidiekvivalenttonnia ($\text{CO}_{2\text{ekv.t}}$). Suomen suurin kasvihuonekaasujen päästölähde on energiasektori 74 %:n osuudella. Energiasektorin päästöihin luetaan polttoaineiden käyttö sekä haihtumapäästöt. Vuonna 2015 toiseksi eniten päästöjä aiheutti maatalous 12 %:n osuudella ja kolmanneksi eniten teollisuusprosessit ja tuotteiden käyttö 11 %:n osuudella. Jätteiden käsittely aiheutti 4 % kaikista päästöistä. Maankäytön-, maankäytön muutoksien ja metsätalouden päästöjä ei ole huomioitu päästöissä, sillä niiden mukaanotto vähentäisi kokonaispäästöjä niiden toimiessa hiilidioksidineluna. (Tilastokeskus 2016)



Kuva 3. Suomen kasvihuonekaasupäästöt 2015. Kokonaispäästöt 55,6 $\text{CO}_{2\text{ekv.t}}$ (Tilastokeskus 2016).

Energiateollisuuden päästöt muodostavat merkittävimmän osan energiasektorin päästöistä. Vuonna 2015 energiasektorin päästöjen osuus oli 40 % energiasektorin päästöistä. Kotimaan liikenne aiheutti 27 % päästöistä, teollisuus ja rakentaminen 21 % ja muu energia 12 %. Muuhun energiaan luetaan kuuluvaksi rakennusten lämmitys, maa-, metsä- ja kalatalous ja päästöluokan työkoneet, muu polttoainekäyttö ja polttoaineiden haihtumapäästöt. (Tilastokeskus 2017a) Energiasektorin päästöjen jakautuminen vuonna 2015 on esitetty kuvassa 4.



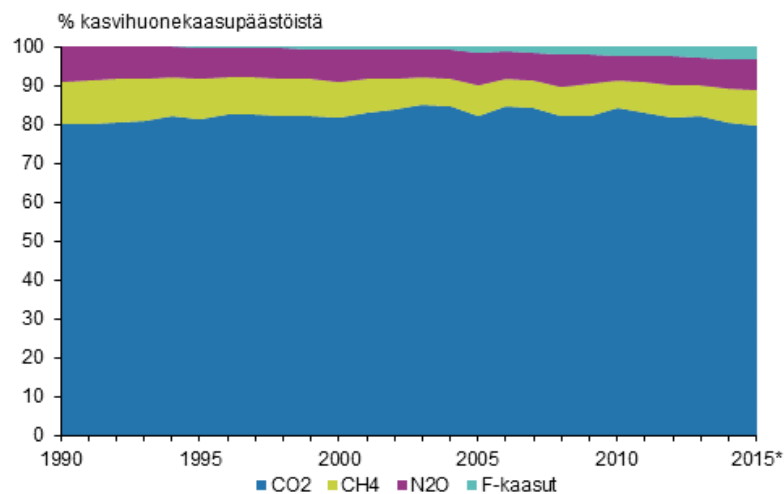
Kuva 4. Energiasektorin päästöjen jakautuminen vuonna 2015 (Tilastokeskus 2017a).

2.2 Hiilidioksidi

Hiilidioksidi (CO₂) on yhdestä hiili- ja kahdesta happiatomista muodostunut molekyyli, joka esiintyy luonnossa kaasuna. Hiilidioksidia on maapallon ilmakehässä pieni pitoisuus, noin 0,04 % (NASA 2016a). Luonnossa hiili on jatkuvassa kierrossa. Hiilidioksidia liukenee meriin ja vastaavasti merestä ilmaan. Kasvien soluhengityksessä vapautuu ilmaan hiilidioksidia ja kasvien yhteyttäessä hiilidioksidia sitoutuu jälleen maahan. Kuolleiden kasvien ja maa-aineksen hajoaminen vapauttaa hiilidioksidia jatkuvasti. Nämä prosessit ovat osa luonnollista hiilen kiertokulkua. Hiiltä vapautuu ilmakehään myös ihmisen toiminnan seurauksena, kun hävitetään metsiä ja käytetään fossiilisia polttoaineita. Vapautunut hiilidioksidi sitoutuu osaltaan luonnollisiin hiilinieluihin eli meriin, kasvillisuuteen ja maaperään. Kaikki vapautunut hiilidioksidi ei kuitenkaan sitoudu hiilinieluihin, vaan jää ilmakehään nostaen tällöin ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta. (Ilmatieteen laitos 2016a)

2.3 Muut kasvihuonekaasut

YK:n ilmastopaneeli IPCC (International Panel on Climate Change) määrittelee kasvihuonekaasuiksi hiilidioksidin ohella metaanin (CH₄), dityppimonoksidin (N₂O), fluorihilivedyt (HFC), perfluoratut yhdisteet (PFC), rikkiheksafluoridin (SF₆), freonit (CFC), HCFC-yhdisteet sekä halonit (IPCC 2007a). Kioton protokollan mukaan kasvihuonekaasuja ovat hiilidioksidi, metaani, dityppimonoksidi, fluorihilivedyt, perfluoratut yhdisteet sekä rikkiheksafluoridi (YK 1998). Kuvassa 5 esitetään kasvihuonekaasupäästöjen jakaantuminen Suomessa vuodesta 1990 vuoteen 2015. Päästöt on yhteismitallistettu global warming potential eli GWP-kertoimien avulla. (Tilastokeskus 2016)



Kuva 5. Kasvihuonekaasujen %-osuudet kokonaislämmityspotentiaalista Suomessa (Tilastokeskus 2016).

Metaani (CH₄) on yhden hiiliatomin ja neljä vetyatomia sisältävä kaasumolekyyli. Sen elinikä ilmakehässä on lyhyt ja määrä pieni, mutta se on Suomessa toiseksi merkittävin kasvihuonekaasu. Viidennen YK:n ilmastopaneelin IPCC:n arviointiraportin mukaan sen GWP-kerroin on 28 (IPCC 2014). Metaania muodostuu orgaanisen aineksen hajotessa hapettomissa oloissa. Metaanikaasun muodostuminen tapahtuu luonnollisesti, mutta myös ihmisen aikaansaannoksena esimerkiksi kaatopaikalla. Auringon valo hajottaa metaania ilmakehässä hiilidioksidiksi ja vedeksi. Esiteolliseen aikaan verrattuna metaanin pitoisuus ilmakehässä on yli kaksinkertainen, ollen nykyään noin 1800 ppb (Tilastokeskus 2012). Energiateollisuuden polttoainenkäytöstä muodostui metaanipäästöjä 370 000 tonnia vuonna 2014 (Tilastokeskus 2016b).

Dityppimonoksidi (N_2O) on kaksi typpiatomia ja yhden happiatomin sisältävä yhdiste. Se tunnetaan myös nimillä typpioksiduuli ja ilokaasu. Dityppimonoksidi on erittäin voimakas kasvihuonekaasu. Viimeisimmän eli viidennen IPCC:n arviointiraportin mukaan sen GWP-kerroin on 265 (IPCC 2014). Kaasun elinikä verrattuna esimerkiksi metaaniin on pitkä. Auringon ultraviolettisäteily hajottaa dityppimonoksidimolekyylejä ilmakehän ylemmissä kerroksissa. Teollistumista edeltävästä ajasta dityppimonoksidin pitoisuus ilmassa on kasvanut melkein 20 %, ollen nykyään noin 325 ppb. Kaasun pitoisuus lisääntyy erityisesti maatalouden vaikutuksesta. (Ilmatieteen laitos 2017a) Energiateollisuuden polttoaineenkäytöstä muodostui dityppimonoksidipäästöjä 550 000 tonnia vuonna 2014 (Tilastokeskus 2016b).

F-kaasut ovat erilaisia fluoria sisältäviä kaasumaisia yhdisteitä. Päästötiedon tuottamismenetelmät -raportin mukaan F-kaasuja ei synny energiantuotannossa. Energiantuotannossa poltosta syntyneet metaani- ja dityppimonoksidipäästöt voidaan laskea raportissa esitettyjen polttoaine- ja polttotekniikkakohtaisten kertoimien avulla. (SYKE 2005) Kertoimet on esitetty liitteissä 1 ja 2. Laskennalliset metaani- ja dityppimonoksidipäästöt (tonnit) muutetaan vastaamaan hiilidioksidin ilmastovaikutusta kertomalla ne ilmastonlämmityspotentiaali- eli GWP-kertoimilla.

Kioton konferenssissa on sovittu, että päästöjen määrittämisessä käytetään hiilidioksidiekvivalenttiarvoa (UNFCCC 2008). CO_{2ekv} , eli hiilidioksidiekvivalentti on arvo, jossa muut kasvihuonekaasut on muunnettu vastaamaan hiilidioksidin ilmastovaikutusta. Kasvihuonekaasuille on määritetty global warming potential eli GWP-arvot, jotka kertovat niiden ilmastonlämmityspotentiaalnin verrattuna hiilidioksidiin. GWP-arvo saadaan vertaamalla muiden kasvihuonekaasujen yhden kilogramman päästön aiheuttamaa säteilypakotetta maan pinnalla (W/m^2) hiilidioksidin säteilypakotteeseen. Muiden kasvihuonekaasujen päästöt kerrotaan GWP-arvoilla ja lisätään hiilidioksidipäästöjen määrään, jolloin summana saadaan hiilidioksidiekvivalenttiarvo. (Tilastokeskus 2016) Eri yhdisteiden sadan vuoden GWP-arvoja esitetään taulukossa 1. Kansallisissa päästöinventaaareissa käytetään sadan vuoden aikajännettä (VTT 2012). GWP-kertoimia päivitetään tarpeen tullen eli ne eivät ole aina olleet samat, vaan ne ovat vaihtuneet IPCC:n eri arviointiraporteissa. Tässä työssä käytetään IPCC:n määrittämiä uusimpia kertoimia, jotka on esitelty viidennessä arviointiraportissa. (IPCC 2014) Osa IPCC:n viidennen arviointiraportin GWP-kertoimista on esitetty liitteessä 3.

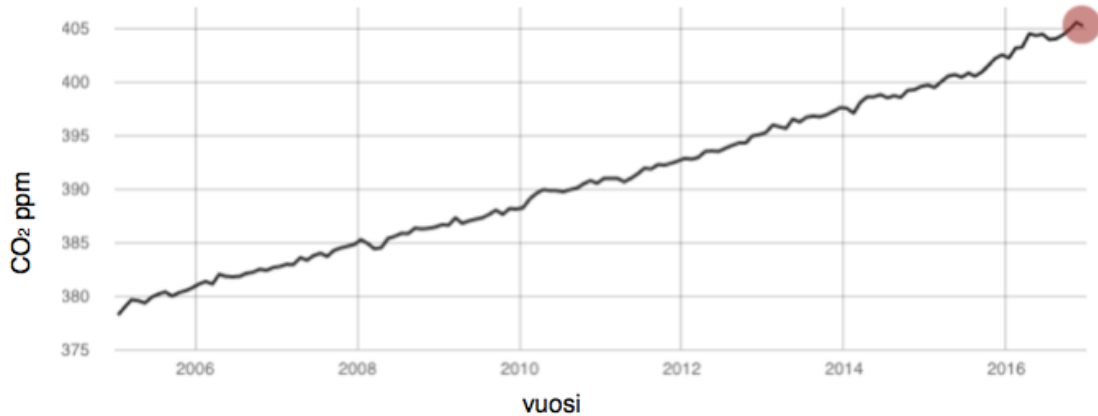
Taulukko 1. Kasvihuonekaasujen ilmastonlämmityspotentiaaleja eli GWP-kertoimia (IPCC 2014).

Yhdiste	Elinikä [vuosi]	GWP-kerroin (100 vuotta)
Hiilidioksidi (CO ₂)	Vaihtelee	1
Metaani (CH ₄)	12±3	28
Dityppimonoksidi (N ₂ O)	120	265
Fluoria sisältävät yhdisteet	Vaihtelee	12 – 22 800

2.4 Ilmastonmuutos

Ilmastossa on tapahtunut kautta aikojen muutoksia, mutta viimeisin ilmastonmuutos, ilmaston lämpeneminen, on erityisen merkittävä, sillä se johtuu suurimmaksi osaksi ihmisen toimista. Auringon säteily lämmittää maan pintaa ja lämpö heijastuu takaisin avaruuteen. Kasvihuonekaasujen muodostama este absorboi kuitenkin lämpöä eikä kaikki maapallolle tuleva lämpö pääse kulkeutumaan takaisin avaruuteen, jolloin maan pinta lämpenee. Ilman tätä luonnollista kasvihuoneilmiötä ei elämä maapallolla olisi mahdollista, mutta nyt ihmiskunnan toimesta tämä ilmiö on voimistumassa. (NASA 2016b; EU 2014)

Fossiilisten polttoaineiden, kuten öljyn ja kivihiilen polttaminen on nostanut ilmaston hiilidioksidipitoisuutta viime vuosisadan aikana. Viimeisen 150 vuoden aikana hiilidioksidipitoisuus on kasvanut 280 miljoonasosasta (ppm) 400 miljoonasosaan. Ilmastonmuutoksen merkittävimpiä seurauksia ovat maapallon lämpötilan nousu, valtamerien lämpeneminen, jäätiköiden sulaminen ja sen seurauksena merenpinnan kohoaminen, äärimmäiset sääilmiöt sekä kasvuolosuhteiden muuttuminen ja sen myötä kasvi- ja eläinalueiden siirtymiset. (NASA 2016b; Tilastokeskus 2005; EU 2014) Kuvasta 6 nähdään ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden kasvu vuodesta 2006 alkaen.



Kuva 6. Ilman hiilidioksidipitoisuuden kasvu 2006-2016 (mukaiillen NASA 2017a).

2.5 Ilmastotietoisuus

Ilmatoon liittyvät ongelmat ovat nykyään vahvasti esillä jokapäiväisessä elämässä ja ihmiset ovat entistä tietoisempia omien valintojensa vaikutuksesta ilmastoasioihin. Energiaa hankkivaa valveutunutta asiakasta kiinnostaa millainen osa lämmityksellä ja sähköllä on hänen toimintojensa aiheuttamasta kokonaisilmastohaitasta. Tietoisuus energian aiheuttamista päästöistä voi kannustaa asiakasta optimoimaan toimintaansa, jotta päästöjä syntyisi mahdollisimman vähän. (Pasanen ym. 2013) Lämmitys sekä käytetty sähkö muodostavat usein ison osan myös asiakkaan päästöistä. Jos asiakas haluaa määrittää omat päästönsä, on tärkeää, että hänellä on tietoa omiin päästöihinsä voimakkaasti vaikuttavasta osasta: energiasta. Sähkön ja kaukolämmön ostajat voivat määrittää oman energian kulutuksesta johtuvat päästönsä päästökertoimen sekä kuluttamansa energian mukaan. Energian kulutuksen päästöt voidaan määrittää yhtälöllä 1:

$$\text{Päästöt} = k \times E_c, \quad (1)$$

jossa k = päästökerroin (g/kWh) ja E_c = kulutettu energia (kWh).

Energiaa ostava asiakas haluaa mahdollisesti valita ympäristöystävällisemmän tuotteen pienentääkseen omia päästöjään. Tämän vuoksi on tärkeää, että energiatuotteet voidaan erotella päästöjen näkökulmasta ja eri tuotteiden sekä tuottajien päästövaikutuksia voidaan vertailla. Päästökertoimiin perustuvaa vertailua eri energiantuottajien välillä tulee kuitenkin tehdä kriittisesti, sillä eri menetelmillä määritetyt kertoimet eivät yleensä

ole vertailukelpoisia keskenään. Kuluttajan omat päästöt ovat vertailtavissa esimerkiksi vuosittain, jos energia ostetaan samalta yritykseltä koko ajan, eikä yritys muuta päästöjen määrittämismenetelmäänsä. Samoin voidaan vertailla saman yrityksen eri energiatuotteita keskenään.

2.6 Kansainvälinen ilmastopolitiikka

Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi ja ilmastomuutoksen hillitsemiseksi on solmittu kansainvälisiä ja kansallisia sopimuksia. YK:n ilmastomuutosta koskeva puitesopimus (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) tehtiin Rio de Janeirossa vuonna 1992 ja se tuli voimaan 1994. Puitesopimus sisältää tärkeimmät kansainväliset ilmastopolitiikan linjaukset. Puitesopimuksen perimmäisenä tavoitteena on vakiinnuttaa kasvihuonekaasujen pitoisuus ilmakehässä sellaiselle tasolle, ettei ihmisen toiminnasta aiheudu vaarallista häiriötä ilmastojärjestelmässä. (L 61/1994, YK 1992) Tavoite on saavutettavissa, jos kaikki maat pysäyttävät kasvihuonekaasujen lisääntymisen vuoteen 2020 mennessä. (EU 2016b) Kioton pöytäkirja ja Pariisin ilmastopöytäkirja ovat puitesopimuksen alaisia lisäsopimuksia.

Kioton pöytäkirja astui voimaan 2005 ja se asettaa teollisuusmaille velvoitteita ilmastomuutoksen hillitsemiseksi. Pöytäkirjaan sitoutuneet maat ovat itse määritelleet toimenpiteet tavoitteidensa saavuttamiseksi. Kioton pöytäkirjan ensimmäinen velvoitekausi oli 2008-2012. Suomi ratifioi Kioton pöytäkirjan yhdessä muiden EU-maiden kanssa vuonna 2002. Suomen tavoite ensimmäisellä velvoitekaudella oli pitää päästöt vuoden 1990 tasolla pöytäkirjan laskentasääntöjen puitteissa. Suomi onnistui tavoitteessaan. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017b) Toisesta velvoitekaudesta, joka kattaa vuodet 2013-2020, päätettiin Dohan osapuolikokouksessa. Toiseen vaiheeseen on sitoutunut vähemmän maita kuin ensimmäiseen vaiheeseen. Samoin kuin ensimmäisessä vaiheessa, myös toisessa vaiheessa maat ovat määritelleet omat tavoitteensa velvoitekaudelle. Tämän lisäksi sallittua päästö määrää vähennetään siltä osin kuin se ylittää vuosien 2008–2010 päästöt. (Ympäristöministeriö 2016b) Suomen tavoite toisella velvoitekaudella on rajoittaa päästökauppaan kuulumattomat päästöt 240,5 miljoonaan CO_{2ekv}-tonniin. Lisäksi toisella velvoitekaudella maankäyttö, maankäytön muutokset ja metsätalous – eli LULUCF-sektorin toimista aiheutuvien nielujen ja päästöjen laskenta on pakollista. Näitä toimia ovat esimerkiksi metsitys, uudelleenmetsitys ja metsän hävitys. (Tilastokeskus 2017c) Ensimmäiseltä kaudelta

ylijääneet päästöyksiköt voi siirtää toiselle kaudelle. Lähes kaikki toiselle velvoitekaudelle osallistuvat maat EU-maat mukaan lukien ovat jättäneet käyttämättä tämän mahdollisuuden. (Ympäristöministeriö 2016b)

Pariisin ilmastopöytäkirja solmittiin vuoden 2015 lopussa. Sopimus täydentää YK:n vuoden 1994 puitesopimusta. Sopimuksen voimaan tuleminen ehtona oli, että sopimukseen sitoutuu vähintään 55 osapuolta ja että osapuolten osuus maailman kaikista kasvihuonekaasupäästöistä on oltava yhteensä vähintään 55 %. Lokakuussa 2016 nämä voimaantuloehdot täyttyivät. Pariisin sopimuksen tavoitteena on pitää ilmaston lämpeneminen selvästi alle 2 °C:ssa ja pyrkiä alle 1,5 °C:n lämpenemiseen. Sopimuksen mukaan rahoitusvirrat on pyrittävä sovittamaan kohti vähähiilistä kehitystä. Sopimuksessa ei määritellä päästömääriä vaan sen myötä osalliset sitoutuvat saavuttamaan kansalliset tavoitteensa. Edistymistä seurataan viiden vuoden välein. (Ympäristöministeriö 2016c)

Montrealin pöytäkirja on vuonna 1989 voimaan astunut sopimus, joka sisältää sitovia sopimuksia otsonikerrosta heikentävien aineiden kuten freonien käytön ja valmistuksen vähentämiseksi. Pöytäkirjan toimivuus perustuu muun muassa siihen, että sen vaatimusten vastaavuus uusimpaan tutkimustietoon tarkistetaan säännöllisesti. (Ympäristöministeriö 2016) Freonit ovat myös kasvihuonekaasuja ja siksi niiden vähenemisellä on ilmastonmuutosta hillitsevä vaikutus (Ilmatieteen laitos 2017b).

2.7 Päästöjen rajoittaminen ja päästökauppa

EU:n ilmastopolitiikka perustuu vankkaan tieteelliseen tutkimukseen ja EU haluaa ilmastonmuutoksen torjuna toimia suunnannäyttäjänä muulle maailmalle. EU:n ilmastotoimien ja tavoitteiden avulla pyritään pitämään ilmaston lämpeneminen alle 2 °C:ssa. Euroopan komissio on EU:n ilmastonmuutokseen liittyviä toimia ohjaava elin. Sen tehtävänä ilmastopolitiikan osalta on muun muassa kehittää EU:n ilmastopolitiikkaa ja –strategiaa, edustaa EU:ta kansainvälisissä ilmastoneuvotteluissa ja panna täytäntöön EU:n päästökauppajärjestelmä. EU on asettanut omat tavoitteet ilmastonmuutoksen estämiselle. Ilmastonmuutoksen torjunta on yksi viidestä pääteemasta Eurooppa 2020 –strategiassa, jonka päämääränä on EU:n älykäs, kestävä ja osallistuva kasvu. EU on määrittänyt kolme päätavoitetta ilmastonmuutoksen ehkäisemiseksi vuoteen 2020 mennessä:

- 1 Kasvihuonekaasupäästöjen tulisi olla 20 % pienemmät kuin vuoden 1990 taso.
- 2 Uusiutuvien energialähteiden osuus energiankulutuksesta tulisi olla 20 %.
- 3 Energiatehokkuuden tulisi olla kasvanut 20 %.

Vuonna 2014 EU-johtajat hyväksyivät uuden ilmasto- ja energiapaketin tavoitteet ilmastonmuutoksen ehkäisemiseksi. Vuoteen 2030 ulottuvat tavoitteet ovat:

1. Kasvihuonekaasujen tulisi olla 40 % pienemmät kuin vuoden 1990 taso.
2. Uusiutuvien energianlähteiden osuus tulisi olla 27 % energiankulutuksesta.
3. Energiatehokkuuden tulisi olla kasvanut 27 %. (EU 2014)

Lisäksi EU on määritellyt pitkän aikavälin tavoitteen vuoteen 2050, jonka mukaan tulisi saavuttaa vuoteen 1990 verrattuna 80–95 %:n päästövähennys. Tavoitteiden saavuttamiseksi EU säännöstelee jäsenmaiden kasvihuonekaasupäästöjen määrää päästökaupan kautta ja myöntää tukia esimerkiksi uusiutuvan energian tuotannolle. Muita tärkeimpiä keinoja ovat uusien autojen hiilidioksidipäästöjen rajoitukset ja rakennusten energiankulutuksen vähentäminen. (EU 2016b)

Päästörekitterit ovat kansallisia tietokantoja, jotka perustuvat Rion konferenssissa (1992) tehtyihin päätöksiin. Rekisterit sisältävät laitoskohtaisia sekä alueellisia päästötietoja. Laitoskohtaiset tiedot ovat laitoksilta toimitettuja päästölukemia, minkä lisäksi rekistereihin on kerätty alueellisten päästölähteiden kuten liikenteen tietoja. Päästörekittereiden tarkoitus on tuoda ympäristökuormitus yleiseen tietoisuuteen, minkä vuoksi päästörekitterien tiedot ovat julkisia. Niitä hyödynnetään ympäristöön liittyvien tavoitteiden ja sopimusvelvoitteiden saavuttamisessa sekä ympäristöön liittyvässä päätöksenteossa. (SYKE & Finergy 2005)

EU:n päästökaupparekisterissä käsitellään päästöoikeuksia: niiden myöntämistä ja hallussapitoa. EU:n päästökauppa kattaa 31 maata ja noin 45 % EU:n kaikista kasvihuonekaasuista. EU:n sisäistä päästökauppaa on käyty vuodesta 2005. (EU 2016a) Kaikille päästökaupan alaisille laitoksille on määritetty päästöoikeudet ja yhdessä päästöoikeudet muodostavat päästökiintiön, jota pienennetään vuosittain (Pasanen ym. 2013). Tällä hetkellä päästöoikeuksien määrä pienenee noin 1,7 % vuodessa. EU:n päästökauppajärjestelmään kuuluvat energiäteollisuus, energiaintensiivinen teollisuus sekä lentoliikenne. Jokaiselle tuotetulle hiilidioksiditonille tulee olla päästöoikeus hankittuna. (Ympäristöministeriö 2016d)

Päästöoikeudet jaetaan ilmaiseksi tai huutokauppaamalla (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017). Sähköntuotannon osalta ilmaisjakoa ei enää nykyään ole (Ympäristöministeriö 2016). Päästökauppajärjestelmään kuuluvilla laitoksilla tulee olla kasvihuonekaasujen päästölupa, joka määrää laitokset raportoimaan päästöistään. Alittaessaan oman kiintiönsä laitoksen on mahdollista myydä päästöoikeuksia toiselle laitokselle, joka on ylittämässä oman päästokiintiönsä (Pasanen ym. 2013). Toisaalta, jos saadut päästöoikeudet eivät riitä, niitä on ostettava lisää huutokaupasta. Päästöoikeuksia kaupataan koko EU:n kattavilla markkinoilla eli päästökauppaa käydään paitsi laitosten, niin myös valtioitten välillä. Jokainen päästökauppajärjestelmään kuuluva laitos ilmoittaa todennetut päästömääränsä rekisteriin ja riippumaton todentaja todentaa päästöt. Järjestelmän mukaan siihen kuuluvat toiminnanharjoittajat joutuvat vuosittain palauttamaan edellisen vuoden päästöjä vastaavan määrän päästöoikeuksia. (Energiavirasto 2017a)

Suomessa päästökauppajärjestelmään kuuluu noin 600 laitosta (Ympäristöministeriö 2016d) ja päästökauppa kattaa noin puolet kasvihuonekaasupäästöistä. Päästökauppaa hallinnoi Suomessa Energiavirasto. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017a) Energiantuotannossa päästökauppajärjestelmän piirissä ovat nimellislämpötehoaan yli 20 MW:n laitokset sekä niiden kanssa samassa kaukolämpöverkossa olevat polttolaitokset (Energiavirasto 2016).

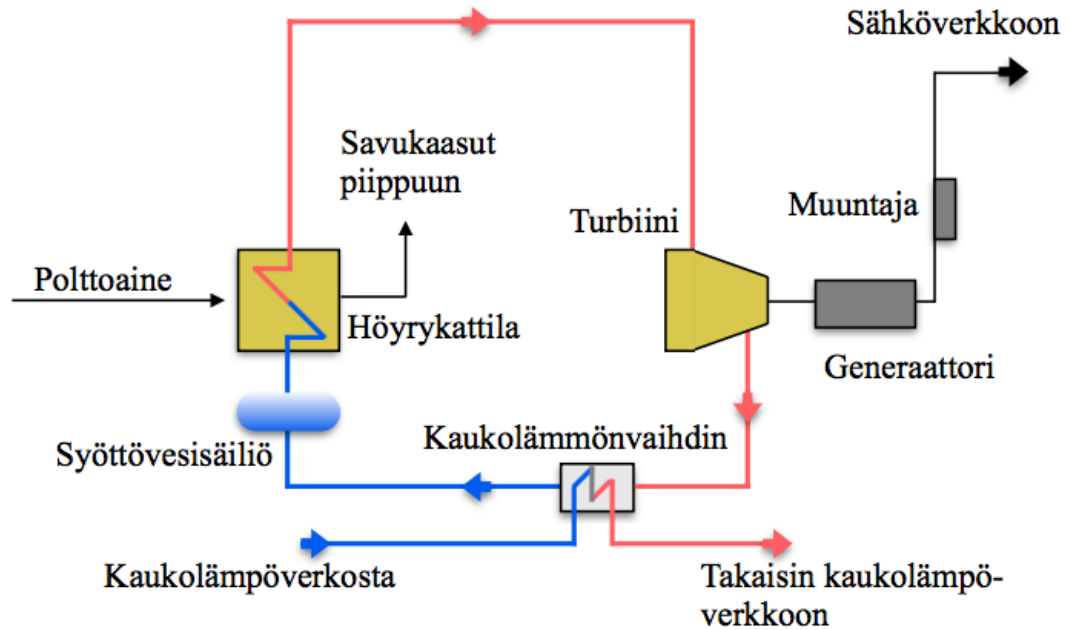
Suomen kansallinen ilmastopolitiikka määräytyy kansainvälisten ilmastopöimusten ja EU:n asettamien tavoitteiden mukaan. Tämänhetkiset tavoitteet ja toimenpiteet on määritetty Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisussa ”Kansallinen energia- ja ilmastostrategia vuoteen 2030”. Suomen hallitus hyväksyi strategian marraskuussa 2016. Strategia linjaa toimia ja tavoitteita Sipilän hallitusohjelman sekä EU:n energia- ja ilmastotavoitteiden vuoteen 2030 saavuttamiseksi. Energiantuotannon kannalta strategian keskeisimmät tavoitteet ovat kivihilen energiakäytöstä luopuminen, sähkömarkkinoiden ja sähkön järjestelmätason energiatehokkuuden kehitys, uusiutuvan energian ja energian hankinnan omavaraisuuden lisääminen sekä tuontiöljyn käytön puolittaminen. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2016) Lisäksi liikenteen päästöjä pyritään vähentämään erilaisilla toimilla, kuten nostamalla liikenteen uusiutuvien polttoaineiden osuus vuoteen 2030 mennessä 40 prosenttiin ja kannustamalla julkista sektoria hiilineutraaleihin energiaratkaisuihin (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017b).

3 ENERGIANTUOTANNON HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖT

Energiantuotannosta aiheutuu päästöjä energiantuotantoketjun eri vaiheissa: polttoaineiden hankinnassa, jalostuksessa, varastoinnissa, kuljetuksessa, tuotantoprosessissa ja jätteiden käsittelyssä (Energieollisuus ry 2017b). Energiantuotannon päästöistä suurimman osan muodostaa hiilidioksidi (CO₂), mutta myös metaania (CH₄) ja dityppimonoksidia (N₂O) syntyy polttoaineiden poltossa. Vuosittaiseen energian käyttöön ja sen myötä kasvihuonekaasupäästöihin vaikuttavat muiden muassa kunkin vuoden lämmitystarve, polttoaineiden hintakehitys ja saatavuus, teollisuuden suhdanteet ja sähkön nettotuonnin määrä. (Tilastokeskus 2005)

3.1 Yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto

Sähkön ja lämmön yhteistuotannolla eli CHP (combined heat and power) -tuotannolla tuotettiin vuonna 2015 Suomessa sähköä 20 846 GWh ja kaukolämpöä 24 473 GWh. CHP-tuotannolla tuotetun sähkön osuus Suomen kaikesta käytetystä sähköstä, mukaan lukien sähkön nettotuonti, vuonna 2016 oli 13,8 % (Leskelä 2017). Suomen omasta sähköntuotannosta noin kolmannes (31 %) tuotetaan yhteistuotannolla. Vastaavasti yhteistuotannolla tuotetun kaukolämmön osuus kaikesta tuotetusta lämmöstä on noin kolme neljänestä (Energieollisuus ry 2017). CHP-tuotannon peruserä on, että prosessista pyritään hyödyntämään kaikki ulos tuleva energia eikä sitä päästetä karkaamaan esimerkiksi hukkalämpönä. CHP-tuotannolla on useita etuja erillistuotantoon verrattuna. CHP-tuotannon hyötysuhde on parempi, tyypillisesti yli 80 %, verrattuna pelkän sähkön- tai lämmöntuotantoon (esimerkiksi sähkön lauhdetuotanto 39 %), koska häviöiden osuus on pienempi. (Fang 2016) CHP-tuotantolaitokset ovat tyypiltään vastapainelaitoksia. Vastapainelaitoksessa höyryn annetaan paisua turbiinilla korkeintaan ilmanpaineeseen asti, jolloin turbiinin jälkeen vallitsee korkeampi paine eli vastapaine. Tuotettavan lämmön lämpötilasta riippuen vastapaine vaihtelee 1-16 baarin välillä. Vastapaineen säätäminen vaikuttaa tuotetun sähkön määrään. Höyryn lämpöenergia hyödynnetään kaukolämpölaitoksessa lämmittämällä kaukolämpöverkoston vettä höyryllä. CHP-laitoksen sijainti valitaan kaukolämmön tarpeen läheisyyteen, johtuen lämmön kaukosiirron huonosta kannattavuudesta. (Lohiniva 2015) CHP-laitoksen toimintaperiaate on esitetty kuvassa 7.

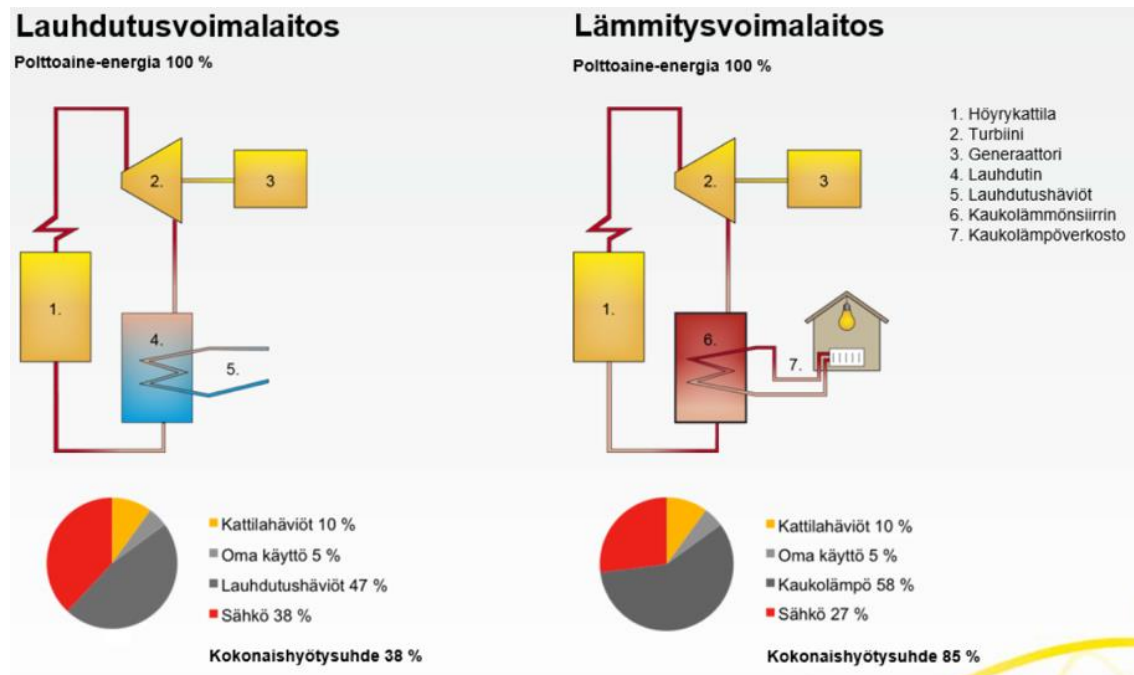


Kuva 7. CHP-laitoksen toimintaperiaate (mukailien Pohjois-Karjalan AMK ja Motiva Oy 2003).

Tyypillisesti kaukolämpölaitokselta lähtevän veden lämpötila on 75-100 °C. Lämmitettyä vettä kierrätetään pumppaamalla kaukolämpöverkon välityksellä talojen lämmönjakokeskuksiin. Lämmönjakokeskuksissa olevat lämmönsiirtimet siirtävät kaukolämpöverkon vedestä lämpöenergian lämmitysverkossa kiertävään veteen sekä lämmittävät lämpimän käyttöveden. Lämmön luovuttamisen jälkeen jäähtynyt kaukolämpöverkon vesi palaa takaisin voimalaitokselle uudelleen lämmitettäväksi. Palaavan veden lämpötila on tyypillisesti noin 50 °C. (Lohiniva 2015) Kaukolämpövesi ei sekoitu lämpimän käyttöveden tai taloyhtiön lämmitysverkostossa kiertävän veden kanssa (Motiva Oy 2016f). Tuotettu sähkö johdetaan valtakunnan kantaverkkoon.

Yhteistuotannon parempi hyötysuhde vähentää polttoaineiden kulutusta verrattuna erillistuotantoon, jolloin myös polttoaineiden palamisesta aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä muodostuu vähemmän (Fang 2016). Kuvasta 8 nähdään, miten suuri osa lauhdutusvoimalaitoksen lauhdutusväriöihin kuluu energiaa suhteessa kaikesta polttoaine-energiasta. CHP-laitoksessa vastaava energia hyödynnetään kaukolämmöksi, jolloin kokonaishyötysuhde on jopa lähes 50 prosenttiyksikköä parempi. Kuopion Energian Haapaniemen yhteistuotantolaitoksella saavutetaan jopa 90 %:n polttoaineen hyötysuhde. Polttoaineiden säästön myötä myös päästöjen määrä kohti energiayksikköä kohti on erillistuotantoa pienempi. Valitessaan yhteistuotannolla

tuotetun energian asiakas saavuttaa päästöhyötyjä ainakin verrattuna tilanteeseen, jossa sama määrä energiaa olisi tuotettu erillistuotannolla samalla polttoainejakaumalla.



Kuva 8. Lauhdutusvoimalaitoksen ja lämmitysvoimalaitoksen (CHP) kokonaishyötysuhteiden erot (Kuopion Energia 2017).

3.2 Polttoaineiden ominaisuudet

Polttoaineen tärkein ominaisuus on lämpöarvo, jonka avulla voidaan ilmaista vapautuva lämpömäärä polttoainekiloa kohden (MJ/kg). Alemmalla lämpöarvolla tarkoitetaan pelkästä palamisesta vapautunutta lämpöä ja korkeassa lämpöarvossa otetaan huomioon myös palamisesta syntyneen vesihöyryn lauhtumisesta saatu lämpö. Kiinteistä polttoaineista tutkittavia ominaisuuksia ovat kosteus, haihtuvien aineiden määrä, tuhkan määrä, kiinteän hiilen määrä ja partikkelikokojakauma. (Lohiniva 2015)

Kuopion Energian Haapaniemen voimalaitoksella jokaisesta polttoaine-erästä otetaan näyte, joka analysoidaan laboratoriossa. Näytteen perusteella määritetään kyseisen polttoaine-erän laatu. Näytteenotto- ja analysointiprosessissa tapahtuvat virheet aiheuttavat riskin päästölaskennan kannalta, sillä ne aiheuttavat virheen päästöjen laskennallisessa määrässä. Esimerkiksi, jos erästä otetun näytteen kosteuspitoisuus on pienempi kuin koko erän kosteuspitoisuus, erässä lasketaan olevan kuiva-ainetta enemmän kuin sitä onkaan. Lämpöarvon lasketaan olevan parempi kuin mitä se todellisuudessa on. Laskettujen päästöjen määrä on siten eri kuin todellisuudessa, jos

kuiva-ainepitoisuus ei vastaa todellisuutta. Virhe voidaan havaita kattilataseesta. Kuopion Energialla tähän epäkohtaan on kiinnitetty erityisesti huomiota ja näytteenottoa pyritään edelleen kehittämään, jotta erästä otettu näyte edustaisi mahdollisimman hyvin koko erää ja tulokset vastaisivat mahdollisimman tarkasti todellisuutta. (Seppälä ym. 2017)

3.3 Päästöjen syntyminen energiantuotannossa

Kun polttoaine palaa, tärkeimmät tapahtuvat reaktiot ovat hiilen, vedyn ja rikin reaktiot hapen kanssa, jolloin syntyvät aineet ovat hiilidioksidi, vesi ja rikkidioksidi. Kyseiset reaktiot on kuvattu reaktioyhtälöissä 2, 3 ja 4 (Lohiniva 2015)



joissa C=hiili, O₂=happi, CO₂=hiilidioksidi, H₂=vety, H₂O=vesi, S=rikki ja SO₂=rikkidioksidi.

Palamisessa syntyvien hiilidioksidi-, vesi- ja rikkidioksidikaasujen lisäksi syntyvä kaasuseos sisältää esimerkiksi typen oksideja, hiilimonoksidia sekä erilaisia hiukkasia. (Lohiniva 2015)

Energiantuotannon hiilidioksidipäästöt voidaan määrittää polttoainetietojen ja Tilastokeskuksen polttoainekohtaisten hiilidioksidipäästökertoimien ja ominaishapetuskertoimien avulla. Muut Kioton protokollan mukaan raportoitavat kaasut voidaan laskea Päästötiedon tuottamismenetelmät –raportin (SYKE 2005) mukaisten kertoimien mukaan. Energiantuotannossa otetaan huomioon hiilidioksidin ohella metaani ja dityppimonoksidi, jotka muunnetaan vastaamaan hiilidioksidin lämmityspotentiaalia GWP-kertoimien avulla.

Päästökaupan näkökulmasta uusiutuvat energianlähteet katsotaan päästöttömiksi, vaikka puun poltosta muodostuu hiilidioksidipäästöjä samoin kuin muidenkin polttoaineiden poltosta. Puupolttoaineiden tuotannossa, esimerkiksi energiapuun kasvatuksessa,

sitoutuu hiilidioksidia saman verran kuin poltossa on vapautunut eli uudet kasvatettavat metsät toimivat hiilinieluinä. Biopolttoaineiden päästöttömyys on kuitenkin kyseenalaistettu, koska puun uusiutumiseen kuluva aika on pitkä verrattuna polttoon. Tällöin menee pitkä aika ennen kuin poltossa syntyneet päästöt ovat taas sitoutuneet takaisin luontoon ja hiilivelka on korjattu. (Seppälä J. 2014)

3.4 Päästökertoimet energialle

Energiantuotannon päästökerroin kuvaa sitä päästömäärää, joka syntyy tiettyä tuotettua energian yksikköä kohden esimerkiksi g/kWh tai kg/MWh. Päästökerrointa voidaan kutsua myös ominaispäästökertoimeksi. Tuotetulle lämmölle ja sähkölle voidaan määrittää CO₂-päästökertoimet tuotannossa käytettyjen polttoaineiden CO₂-päästökertoimien avulla. Lämmön ja sähkön päästökertoimien avulla voidaan laskea energiankäytön aiheuttamat hiilidioksidipäästöt. Päästökertoimien avulla voidaan tehdä myös arvioita erilaisten energiankäyttöön liittyvien toimenpiteiden kuten lämmitysmenetelmän valinnan vaikutuksista CO₂-päästöihin. Sähkölle voidaan määrittää päästökerroin tuotantomuodon perusteella. Keskimääräinen sähköntuotannon hiilidioksidipäästökerroin määritetään Tilastokeskuksen toimesta viiden vuoden keskiarvona. Vuonna 2016 sähkön keskimääräinen päästökerroin oli 209 kg CO₂/MWh. (Motiva Oy 2016a) Erillisillä lämmöntuotannoilla sekä yhteistuotannolla tuotetuille lämpöenergioille on myös määritelty keskimääräiset päästökertoimet, joita voidaan soveltaa päästöjen määrittämisessä esimerkiksi tilanteissa, joissa tarkkaa polttoainejakaamaa ei tiedetä. On kuitenkin parempi soveltaa laskennassa polttoainejakaamaan perustuvaa kerrointa, mikäli se on määritetty. Tärkeää on ilmaista laskelmien yhteydessä mitä kerrointa on käytetty ja millä menetelmällä kerroin on määritetty. (Motiva 2012)

Lämmön erillistuotannolle ei määritellä koko Suomen kattavaa keskiarvokerrointa, vaan tuotetun lämmön päästökertoimet jaetaan Energiateollisuus ry:n toimesta paikkakunnittain ryhmiin laskennassa käytettävän päästökertoimen mukaan. Päästökertoimet vaihtelevat vuoden 2016 tilastoissa 20 kg CO₂/MWh:sta 400 kg CO₂/MWh:iin saakka. (Energiateollisuus ry 2016) Yhteistuotannon kaukolämmön keskimääräinen kerroin määritetään kolmen vuoden keskiarvolla hyödynjakomenetelmää käyttäen. Vuoden 2016 keskimääräisenä kertoimena käytetään 183 kg CO₂/MWh. (Motiva 2016) Tilastokeskus on määrittänyt polttoainekohtaiset

CO₂-oletuspäästökertoimet, oletushapetuskertoimet, teholliset oletuslämpöarvot sekä oletustiheydet. Polttoaineiden päästökertoimet 2016 – tilasto on esitetty liitteessä 4. Päästökertoimen määrittämisessä voidaan huomioida myös energian siirrosta aiheutuneet häviöt, jolloin kerroin määritetään asiakkaan ostamalle tuotteelle. Siirtohäviöiden huomioiminen kasvattaa päästökerrointa, sillä energiaa on tuotettu häviöiden verran enemmän, jolloin myös päästöjä on syntynyt enemmän.

4 HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖJEN LASKENTAMENETELMÄT

Hiilidioksidipäästöjen määrittämiseen on olemassa monia erilaisia menetelmiä. Menetelmästä riippuen saatava tulos saattaa vaihdella hyvinkin merkittävästi. Tämän vuoksi menetelmien ymmärtäminen ja käyttötarkoitukseen sopivan menetelmän valinta on erittäin tärkeää. (Pasanen ym. 2013)

4.1 Päästölaskennan avaintekijät, menetelmien jaottelu ja tarkastelurajaus

Päästökertoimia voidaan hyödyntää monessa eri tilanteessa. Energian ostaja haluaa määrittää omat energiankäytöstä aiheutuvat päästöt tai esimerkiksi vertailla sitä, kuinka suuri osa kokonaishiilijalanjäljestä on peräisin energian käytöstä. Kaukolämmön päästökerrointa voidaan käyttää apuna päätöksenteossa esimerkiksi, jos pohditaan uuden rakennuksen lämmitysvaihtoehtoa. Päästölaskentaan liittyy kuitenkin monia seikkoja, jotka on otettava huomioon, jotta kerroin saadaan määritettyä luotettavasti, jolloin se palvelee asiakkaan tarvetta mahdollisimman hyvin.

Hiilidioksidipäästöjen laskentamenetelmät voidaan jakaa eri tavoin. Menetelmät voidaan jakaa niiden käyttötarkoituksen mukaan eli sen mukaan, halutaanko menetelmän avulla vain allokoita yhteistuotannon päästöt sähkölle ja lämmölle vai suoritetaanko menetelmän avulla kokonaisvaltaisempaa päästöjen tarkastelua. Osa menetelmistä ottaa huomioon kerrannaisvaikutukset energiajärjestelmän tasolla esimerkiksi siten, että yhteistuotannolla lasketaan korvattavan sähkön lauhde- tai muuta tuotantoa. Menetelmien erot perustuvat esimerkiksi siihen, kummalle tuotteelle kohdistetaan suurempi hyöty yhteistuotannon korkeasta kokonaishyötysuhteesta. Menetelmät voidaan jakaa myös sen mukaan, tarkastellaanko niissä tuotteen päästöjä koko elinkaaren ajalta vai ei. Periaatteessa elinkaariperusteista tarkastelua voidaan suorittaa kaikissa menetelmissä ottamalla huomioon muutkin kuin palamisesta aiheutuneet päästöt. (Pasanen ym. 2013) Lisäksi päästölaskentaan liittyy erilaisia tapauskohtaisia eroja, kuten tarkastelun rajaukseen liittyvät kysymykset. Päästölaskennan avaintekijät on listattu kuvassa 9.



Kuva 9. Päästölaskennan avaintekijät (mukaillen Pasanen ym. 2013).

Päästölaskennan avaintekijät ovat:

- 1 Tuotantopanoksiin liittyvät seikat eli polttoaineiden määrä ja laatu sekä niiden primäärienergia- ja päästökertoimet. (Pasanen ym. 2013)
- 2 Vältettyihin päästöihin liittyvät seikat eli huomioidaanko kerrannaisvaikutukset energijärjestelmän tasolla ja mitä sähköntuotantotapaa ajatellaan korvattavan ja mikä korvattavan sähköntuotantomuodon päästötaso on? Kerrannaisvaikutukset huomioidaan tyypillisesti siten, että yhteistuotannolla oletetaan korvattavan sähkön lauhdetuotantoa. (Pasanen ym. 2013)
- 3 Elinkaaren aikaisten päästöjen huomioiminen. Elinkaariperusteisessa päästöjen laskennassa huomioidaan kokonaisuutena se, mitä ja minkä verran päästöjä syntyy erilaisissa toiminnoissa, joita suoritetaan ennen ja jälkeen varsinaisen polton. Tällaisia toimintoja ovat esimerkiksi polttoaineiden kuljetus ja varastointi sekä jätteiden kuljetus. Elinkaariperusteisessa päästöjen määrittämisessä on syytä kuitenkin suorittaa raja. Päästökaupassa huomioidaan ainoastaan palamisesta aiheutuneet suorat päästöt eli päästökaupan näkökulmasta elinkaariperusteisia päästöjä ei määritetä.
- 4 Muiden päästöjen huomioiminen. Otetaanko huomioon myös muut kuin hiilidioksidipäästöt eli muutetaanko muut kasvihuonekaasupäästöt CO₂_{ekv.}-arvoksi? Energiantuotannossa huomioitavat kaasut hiilidioksidin ohella ovat metaani ja dityppimonoksidi.

- 5 Millainen allokointimenetelmä valitaan? Allokointimenetelmien avulla CHP-tuotannon käytetty polttoaine jaetaan sähkön- ja lämmöntuotannolle. Allokointimenetelmästä riippuu kummalle, sähkölle vai lämmölle, yhteistuotannosta aiheutuvan korkean hyötysuhteen etu kohdistuu. Saadun polttoaineiden jakosuhteen avulla voidaan jakaa yhteistuotannossa syntyneet päästöt lämmölle ja sähkölle erikseen, jolloin voidaan määrittää molemmille tuotetuille energioille oma päästökerroin. Allokointimenetelmiä on useita ja niissä on eroja. Allokointimenetelmät eivät ota huomioon kerrannaisvaikutuksia, vaan laskevat ainoastaan suorat päästöt.
- 6 Tapauskohtaisesti on mietittävä, otetaanko laskennassa huomioon siirrossa tapahtuvat häviöt.
- 7 Tarkastelun rajaukseen ja tuotannon ominaispiirteisiin liittyvät seikat: aikaraja, hyötysuhteet, mahdollisesti vertailussa olevan erillistuotannon hyötysuhteet ja niin edelleen. (Pasanen ym. 2013)

Menetelmän valinnan lisäksi ennen päästöjen määrittämistä on tehtävä rajaus siitä, mitä otetaan huomioon päästöjen määrittämisessä. Joissakin menetelmissä on määritetty tarkastelurajaus tarkemmin ja toisissa ei. Tarkastelun rajaukseen liittyy esimerkiksi seuraavia seikkoja:

1. Päästökertoimen määrittämisessä on huomioitava se, halutaanko päästökerroin määrittää asiakkaalle toimitetulle tuotteelle vai laitoksessa tuotetulle energialle. Asiakkaalle toimitetun tuotteen päästökerroin on suurempi kuin tuotetun energian, sillä siinä otetaan huomioon myös jakeluhävikit.
2. Jos kerroin pyritään määrittämään tuotteelle, on mietittävä, otetaanko huomioon se, että asiakkaalle on tarjolla mahdollisesti erilaisia tuotteita, joiden päästöt eivät ole samat.
3. Jos kerroin määritetään tuotteille, on otettava huomioon myös yrityksen muualta ostama energia, joka muodostaa mahdollisesti osan tietyistä tuotteista. Esimerkiksi, jos osa yrityksen asiakkailleen myymästä sähköstä on peräisin sähköpörssistä, miten määritetään sen osan kerroin?
4. Määritetäänkö päästökerroin hiilidioksidiekvivalenttina eli otetaanko huomioon myös muiden syntyvien kasvihuonekaasujen päästömäärät?
5. Miten biopolttoaineiden päästöt otetaan huomioon? Ajatellaanko biopolttoaineet päästöttömiksi, kuten ne ovat päästökaupassa? Jos biopolttoaineiden

hiilidioksidipäästöt jätetään huomiotta, otetaanko silti huomioon muut biopolttoaineiden poltosta syntyvät kaasut eli metaani ja dityppimonoksidi?

6. Mikä on tarkastelun aikarajaus? Tyypillisesti päästökerroin määritetään esimerkiksi vuoden ajalle.

Menetelmän valinnassa voidaan pohtia, millaisiin kysymyksiin halutaan saada vastaus. Menetelmien eroja voidaan tarkastella eri näkökulmista, kuten halutaanko määrittää päästöt elinkaariperusteisesti? Tai halutaanko ottaa huomioon kerrannaisvaikutukset? Entä miten muuttujat kuten ajotavan valinta, muuttuva tuotantomäärä tai energian hinnan muutokset vaikuttavat päästökertoimeen? Yhteistä menetelmän valinnassa on pyrkimys määrittää päästöt luotettavasti ja ymmärrettävästi. Menetelmän tulee olla tilanteeseen sopiva ja toimiva eli kaikki menetelmän soveltamiseen tarvittavat tiedot tulee olla saatavilla. (Pasanen ym. 2013)

Yksi menetelmien jaotteluperuste on kerrannaisvaikutusten huomioiminen. Kerrannaisvaikutuksilla tarkoitetaan tietyn energiantuotantomuodon päästöjen kokonaisvaikutusta energiajärjestelmän tasolla. Yhteistuotannolla tuotetun lämmön ja sähkön päästölaskennassa on perusteltua huomioida kerrannaisvaikutukset, sillä tarkasteltaessa jompaa kumpaa tuotetta saavutetaan aina päästöjen vähenemää energiajärjestelmän tasolla. Esimerkiksi, jos yhteistuotantolaitosta ajetaan lämmön kysynnän mukaan, samalla tuotetun sähkön verran voidaan vähentää sähkön tuotantoa erillisessä sähköntuotantolaitoksessa. Päästöjä syntyy vähemmän kuin jos sama sähkö- ja lämpöenergia olisi tuotettu erillisissä laitoksissa. Jotta päästöjen määrittäminen on mahdollista tehdä, tulee tarkastelun rajoja asetettaessa miettiä, miten kerrannaisvaikutukset huomioidaan. (Pasanen ym. 2013) Kerrannaisvaikutusten osalta huomionarvoinen asia on myös sähkön erillistuotannon menetelmät nykyaikana. Onko erillistuotannolla tuotettu sähköenergia todellisuudessa enemmän päästöjä aiheuttavaa?

Toinen menetelmien jaotteluperuste on elinkaaren huomioiminen. Elinkaaripohjaisessa päästöjen laskennassa otetaan huomioon päästöt koko tuotteen elinkaaren ajalta eli siinä päästökertoimeen sisällytetään poltosta aiheutuneiden päästöjen lisäksi kaikki muut päästöt, joita muodostuu tarvittavissa toimenpiteissä, ennen kuin lopullinen tuote voidaan tarjota asiakkaille.

Päästöjä määritettäessä voi olla tilanne, jossa päästöjen todetaan pienentyneen. Tällöin päästöt ovat voineet kasvaa tarkastelurajan ulkopuolella, esimerkiksi tilanteessa, jossa

yhteistuotanto vähenee ja tarvittava sähkö tuotetaan korvaavalla menetelmällä. On myös otettava huomioon, että päästöt eivät siirry esimerkiksi päästökaupan kautta tarkastelurajan ulkopuolelle.

Erilaiset satunnaismuuttujat kuten polttoaineiden hinnat tai ulkolämpötila vaikuttavat tulokseen. Laskentamenetelmä tulisi valita niin, että satunnaismuuttujien vaihtelu vaikuttaisi tulokseen mahdollisimman vähän. (Pasanen ym. 2013) Tämänhetkisessä tilanteessa, kun tarkkoja ohjeita ei ole, voi myös pohtia mitä menetelmiä muut yritykset ovat käyttäneet omien päästöjensä määrittelyyn. Tällöin menetelmien valinta voidaan perustella niiden yleisyydellä.

4.2 Allokointimenetelmät

Allokoinnilla tarkoitetaan prosessia, jolla polttoaineet ja siten myös päästöt voidaan jakaa useamman tuotteen kesken. Allokointi on tarpeellinen, kun yksi systeemi tuottaa useita tuotteita ja päästöt on määritelty systeemille vain kokonaisuudessaan. (Bhatia ym. 2011) Tällainen tilanne on CHP-tuotannossa. Allokoinnin avulla käytetyt polttoaineet ja syntyneet päästöt jaetaan yhteistuotannolla tuotetun sähkön ja lämmön kesken. Allokointimenetelmiä CHP-tuotannolle on kehitelty myös yhteistuotannon kustannusten jakamiseksi sähkön- ja lämmön kesken. Allokointimenetelmiä on kehitetty kuvaamaan todellisuutta mahdollisimman hyvin. Tilanteiden erilaisuuden sekä laskennan tavoitteiden eroavaisuuden vuoksi on olemassa useita erilaisia allokointimenetelmiä. (Särnholm ym. 2009, 82s.; Nuorkivi 2010) Tässä työssä niistä esitellään kymmenen. Näistä Suomessa yleisimmin tunnettu allokointimenetelmä on hyödynjakomenetelmä (Tilastokeskus 2016).

4.2.1 Hyödynjakomenetelmä

Hyödynjakomenetelmässä yhteistuotannolla saavutetun korkean hyötysuhteen lasketaan hyödyttävän sekä sähkön- että lämmöntuotantoa. Yhteenlasketut päästöt ovat saman verran kuin laitoksen todelliset päästöt. Hyödynjakomenetelmässä huomioidaan erillisillä sähkön- ja lämmöntuotannoilla tuotetun energian hyötysuhteet sekä tuotetun energian määrä eli se kuinka paljon on tuotettu lämpöä ja kuinka paljon sähköä. Polttoaineet ja päästöt jaetaan suhteessa erillistuotantojen polttoainekulutuksille. Hyödynjakomenetelmässä huomionarvoista on käytetyt erillistuotannon hyötysuhteet, jotka voivat vaihdella esimerkiksi eri maissa. Yleisesti käytetään sähkön tuotannon

hyötysuhteena lauhdetuotannon hyötysuhdetta 39 % ja lämmön hyötysuhteena vesikattilan hyötysuhdetta 90 %. (Pasanen ym. 2013) Vaihtoehtoisten hankintamuotojen polttoaineen kulutukset lasketaan kaavoilla 5 ja 6. Sähkön ja lämmön päästöt määritetään kaavoilla 7 ja 8. (Liikanen 1999)

Hyödynjakomenetelmä on Suomessa yleisesti käytössä oleva allokointimenetelmä, jota hyödyntävät muun muassa Ympäristöministeriö, Motiva sekä Tilastokeskus. Joissakin yhteyksissä hyödynjakomenetelmää kutsutaan myös ”Finnish-Swedish Method” -nimityksellä eli suomalais-ruotsalaiseksi-menetelmäksi (Energy Efficiency Council 2017). Menetelmä ei ota kantaa toimitetun energian kokonaispäästöön, mutta menetelmän avulla voidaan määrittää kokonaispäästöt tuotetulle sähkölle ja lämmölle. Koska menetelmän päämäärä on allokoida CHP-tuotannon päästöt lämmölle ja sähkölle, tarkastelun rajaus valitaan usein päättymään energiantuotantoprosessiin eikä asiakkaaseen. Energian siirron vaikutukset päästöihin voidaan kuitenkin laskea erikseen. Hyödynjakomenetelmällä päästöt voivat olla 0, jos tuotannossa käytetään vain menetelmän näkökulmasta päästöttömiä biopolttoaineita. Päästöt eivät koskaan saavuta negatiivista arvoa. Hyödynjakomenetelmää voidaan soveltaa elinkaariperusteisesti huomioimalla polttoaineen hankintaan liittyvät päästöt. Tällöin päästövaikutus ei voi saada arvoa 0. (Pasanen ym. 2013)

Vaihtoehtoiset polttoaineen kulutukset määritetään seuraavasti

$$F'_e = \frac{E_e}{\eta_e}, \quad (5)$$

$$F'_h = \frac{E_h}{\eta_h}, \quad (6)$$

ja päästöt määritetään seuraavasti

$$F_e = \frac{F'_e}{F'_e + F'_h} \times F, \quad (7)$$

$$F_h = \frac{F'_h}{F'_e + F'_h} \times F, \quad (8)$$

joissa F'_e = vaihtoehtoisen sähkötuotannon polttoaineen kulutus, F'_h = vaihtoehtoisen lämmöntuotannon polttoaineen kulutus, η_e = vaihtoehtoisen sähkötuotannon hyötysuhde, η_h = vaihtoehtoisen lämmöntuotannon hyötysuhde, E_e = tuotettu sähköenergia, E_h = tuotettu lämpöenergia, F = päästöt, F_e = sähkön päästöt ja F_h = lämmön päästöt. (Liikanen 1999)

4.2.2 Energiamenetelmä

Energiamenetelmä on allokointimenetelmistä yksinkertaisin. Energiamenetelmässä polttoaineet ja päästöt jaetaan tuotettujen energioiden suhteessa. Eli jos tuotetusta kokonaisenergiasta 70 % on lämpöä ja 30 % sähköä, katsotaan, että lämmöntuotantoon on kulunut 70 % polttoaineista ja sähkötuotantoon 30 %. Päästöt jakaantuvat samassa suhteessa. (Liikanen 1999) Tyypillisesti lämmön erillistuotannon hyötysuhde on parempi kuin lämmön hyötysuhde yhteistuotannossa, joten menetelmässä kohdistetaan lämmölle ylimääräisiä päästöjä. Yhteistuotannossa saavutettu hyöty kohdistetaan siten menetelmässä sähkötuotannolle. Päästöt voidaan jakaa energiamenetelmällä sähkölle yhtälöllä 9 ja lämmölle yhtälöllä 10:

$$F_e = \frac{E_e}{E_e + E_h} \times F, \quad (9)$$

$$F_h = \frac{E_h}{E_e + E_h} \times F, \quad (10)$$

joissa E_e = tuotettu sähköenergia, E_h = tuotettu lämpöenergia, F = päästöt, F_e = sähkön päästöt ja F_h = lämmön päästöt. (Liikanen 1999)

Kuopion Energia on käyttänyt tuotetun energian ominaispäästöjen määrittämisessä jakotapana energiamenetelmää. (Kontulainen 2017) Myös Energiaviraston sähkötuotannon päästökertoimen määrittämisessä on hyödynnetty energiamenetelmää (Energiavirasto 2017b).

4.2.3 Ekssergiamenetelmä

Ekssergiamenetelmä on muunnos energiamenetelmästä. Ekssergialla tarkoitetaan sitä osaa energiasta, joka voidaan muuntaa mekaaniseksi energiaksi eli sillä kuvataan energian laatua (Nuorkivi 2010; Liikanen 1999). Polttoaineet jaetaan tuotetun sähkön ja lämmön

eksergian mukaan, jolloin sähkölle allokoidaan enemmän polttoaineita johtuen sen korkeammasta eksergiasta. Menetelmä katsoo siis sähkön olevan päätuote ja lämmön sivutuote (Nuorkivi 2010). Tällöin useimmiten molemmat, sekä sähkö että lämpö, hyötyvät yhteistuotannon aiheuttamasta edusta (Särholm ym. 2009, s. 81).

4.2.4 Työmenetelmä

Työmenetelmän periaate polttoaineiden jaossa perustuu siihen, paljonko sähkötehoa tai sähköntuotantoa menetetään verrattuna tilanteeseen, jossa höyryn annettaisiin paisua. Menetelmä perustana on siis vertailu sähkön lauhdetuotantoon. Lämmölle kohdistetaan polttoaineita sen verran kuin sähköä oltaisiin voitu tuottaa, jos höyryn olisi annettu paisua. Menetelmää voidaan käyttää polttoaineiden allokointiin laitoksessa, jossa edes osa höyrystä voitaisiin paisuttaa tiettyyn lauhduttimen paineeseen. (Liikanen 1999) Työmenetelmä muistuttaa eksergiamenetelmää (Nuorkivi 2010).

4.2.5 Hintaperusteinen menetelmä

Hintaperusteisessa menetelmässä päästöt ja polttoaineet jaetaan tuotteiden markkina-arvon perusteella. Sähkön ja kaukolämmön tuotantojen ja energiahintojen perusteella lasketaan tuotetun sähkön ja kaukolämmön arvo. Hintojen vaihtelu muodostuu ongelmaksi menetelmää sovellettaessa. (Liikanen 1999)

4.2.6 Vaihtoehtoisen hankintatavan menetelmä

Vaihtoehtoisen hankintatavan menetelmän periaate on, että joko lämmölle tai sähkölle valitaan tyypillinen erillistuotannon menetelmä. Vaihtoehtoisen tuotantomenetelmän polttoainekulutus määritetään vastaavalle energiamäärälle kuin yhteistuotannossa on tuotettu. Määritetty polttoaineen kulutus vähennetään yhteistuotantolaitoksen polttoaineen kulutuksesta ja loppu polttoaine lasketaan kuluneen toiseen tuotteeseen. Tulokset vaihtelevat paljon jo pelkästään sen perusteella määritetäänkö vaihtoehtoinen hankintatapa sähkölle vai lämmölle ja mikä valittu vaihtoehtoinen tuotantomenetelmä on. (Liikanen 1999) Vaihtoehtoisen hankintatavan menetelmää voidaankin kutsua vaihtoehtoisen lämmönhankinnan tai vaihtoehtoisen sähkönhankinnan menetelmäksi sen mukaan, kummalle tuotteelle vaihtoehtoinen menetelmä on valittu. Yhteistuotannon hyöty kohdistuu menetelmässä sille energiamuodolle, jolle ei ole valittu vaihtoehtoista tuotantotapaa, esimerkiksi vaihtoehtoisen lämmönhankinnan menetelmässä hyöty kohdistuu sähkölle.

4.2.7 Suhdemenetelmä

Suhdemenetelmä on kehitetty vaihtoehtoisen hankintatavan menetelmästä. Suhdemenetelmässä tuotteille annetaan kiinteä kulutussuhde, jonka avulla vuosituotannosta määritetään laskennallinen polttoaineen kulutus. Laskennalliset kulutukset suhteutetaan todelliseen kulutukseen korjauskertoimen avulla. Korjauskertoimen avulla kokonaishyötysuhteen etu jakautuu tasaisesti tuotteille. (Liikanen 1999)

4.2.8 Efficiency-menetelmä

World Resources Instituutin sekä World Business Council for Sustainable Developmentin kehittämän GHG (greenhouse gas) -menetelmän mukaan päästöjen allokointiin voidaan valita menetelmä vapaasti. GHG esittelee kuitenkin hyödynjakomenetelmää muistuttavan Efficiency-menetelmän. Mallissa käytettävät erillistuotannon oletushyötysuhteet ovat sähkölle 0,35 ja lämmölle 0,8. Menetelmässä sovelletaan yhtälöitä 11 ja 12:

$$E_H = \frac{\frac{H}{e_H}}{\frac{H}{e_H} + \frac{P}{e_P}} \times E_T, \quad (11)$$

$$E_P = E_T - E_H, \quad (12)$$

joissa E_H =lämmölle allokoitujen päästöt, H =tuotettu lämpöenergia, e_H =oletettu lämmön erillistuotannon hyötysuhde, P =tuotettu sähkö, e_P =oletettu sähkön erillistuotannon hyötysuhde, E_T =yhteistuotannon suorat päästöt yhteensä, E_P =sähkölle allokoitujen päästöt. (Pasanen ym. 2013)

4.2.9 All-savings –menetelmä

All-savings –menetelmässä yhteistuotannon hyöty allokoidaan joko sähkölle tai lämmölle kokonaisuudessaan. Menetelmän huono puoli on, että sitä sovellettaessa on tehtävä valinta siitä, kummalle tuotteelle hyöty kohdistetaan kokonaan. (Harmelink 2017; Bosselaar 2017)

4.2.10 50 %-50 %-menetelmä

50%-50%-menetelmän periaate on, että hyöty jaetaan tasaisesti lämmölle ja sähkölle eli menetelmän tavoite on jakaa hyöty mahdollisimman tasapuolisesti. Menetelmää on kuitenkin vaikeaa soveltaa ja siten tasapuolisuuden käsite on myös kyseenalaistettu. (Harmelink 2017; Bosselaar 2017)

4.3 Primäärienergiamenetelmä

Primäärienergiamenetelmä (=EN 15316-4-5) on EU-taustainen ja perustuu CEN-standardiin. Standardoinnissa käytetty primäärienergiatarkastelu soveltuu myös kasvihuonekaasupäästöjen tarkasteluun. Primäärienergiakerroin kuvaa kaukolämpöjärjestelmän tehokkuutta. Primäärienergiakertoimella voidaan kuvata yhden energiayksikön tuottamiseen kulunutta luonnonvaraenergiaa koko tuotantoketjussa. Menetelmän peruseriaate on, että yhteistuotannolla tuotetun sähkön lasketaan korvaavan sähkön lauhdetuotantoa eli hyöty muodostuu sähkön tuottamisesta lämmön ohella. Menetelmä ottaa siten huomioon kerrannaisvaikutukset. Menetelmää voidaan soveltaa myös pelkän CHP-tuotannolla tuotetun kaukolämmön päästöjen laskentaan, jolloin jätetään huomiotta muuten tuotettu lämpö. Yhteistuotannolla tuotetun sähkön muuta energiantuotantoa korvaava vaikutus huomioidaan kiinteällä kertoimella. (Pasanen ym. 2013)

Primäärienergiakerroin saadaan laskettua vähentämällä polttoaineiden primäärienergiasisällöstä laitoksen tuottaman sähkön primäärienergiasisältö. Tulos jaetaan asiakkaille toimitetun lämpöenergian määrällä. Kaukolämmön osuus polttoaineen kulutuksesta voidaan laskea vähentämällä laitoksella käytetyn polttoaineen primäärienergiasisällöstä tuotetun sähkön määrää vastaavan erillistuotannolla tuotetun sähkön primäärienergiasisällöstä ja jakamalla erotus laitoksessa käytetyn polttoaineen primäärienergiasisällöllä. Päästöjen määrittämisessä primäärienergiamenetelmällä saadaan siten kohdistettua päästöt yhteistuotannon lämmölle ja sähkölle. (Pasanen ym. 2013) Se eroaa kuitenkin muista allokoitimenetelmistä, sillä siinä otetaan huomioon sähköntuotannon korvaava vaikutus energijärjestelmän tasolla toisin kuin suorien päästöjen jakomenetelmissä. Kaukolämmön osuus polttoaineiden kulutuksesta voidaan määrittää yhtälöllä 13:

$$E_h = \frac{f_{P,chp} \times E_{F,chp} - f_{P,el} \times E_{el,chp}}{f_{P,chp} \times E_{F,chp}}, \quad (13)$$

jossa E_h =kaukolämmön osuus polttoaineiden kulutuksesta, $f_{p,chp}$ =primäärienergiakerroin yhteistuotantolaitoksessa käytetylle polttoaineelle, $E_{F,chp}$ =yhteistuotannon polttoainekulutus, $f_{p,el}$ =primäärienergiakerroin korvatulle sähkölle ja $E_{el,chp}$ =yhteistuotantolaitoksen tuottama sähkö.

Polttoaineiden primäärienergiasisältöä kuvataan PRF (primary resource factor) -luvulla. Primäärienergiasisältö kertoo, kuinka paljon on kulunut energiaa polttoaineen saamiseksi polttoainekäyttöön eli menetelmä huomioi elinkaaren, mutta ei ole varsinainen elinkaariperusteinen menetelmä. (Pasanen ym. 2013) Toisin sanoen kunkin polttoaineen elinkaaren aikaiset päästöt on huomioitu PRF-luvussa, mutta itse laskennassa ei huomioida käsiteltävän laitoksen tarkkoja elinkaareen liittyviä päästöjä. Taulukossa 2 on esitetty polttoaineiden primäärienergiasisältöä kuvaavia PRF-lukuja.

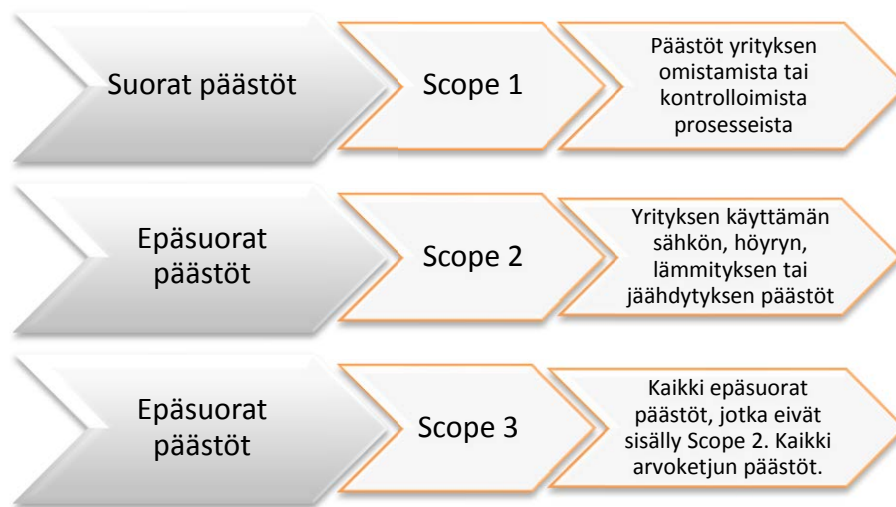
Taulukko 2. Polttoaineiden primäärienergiasisältöjä eli PRF-lukuja (Pasanen ym. 2013).

Polttoaine	PRF-luku
Kivihiili	1,2
Uusiutuvat polttoaineet kuten puu	1,1
Turve	1,2
Raskas polttoöljy	1,35
Kevyt polttoöljy	1,35

4.4 GHG-menetelmä

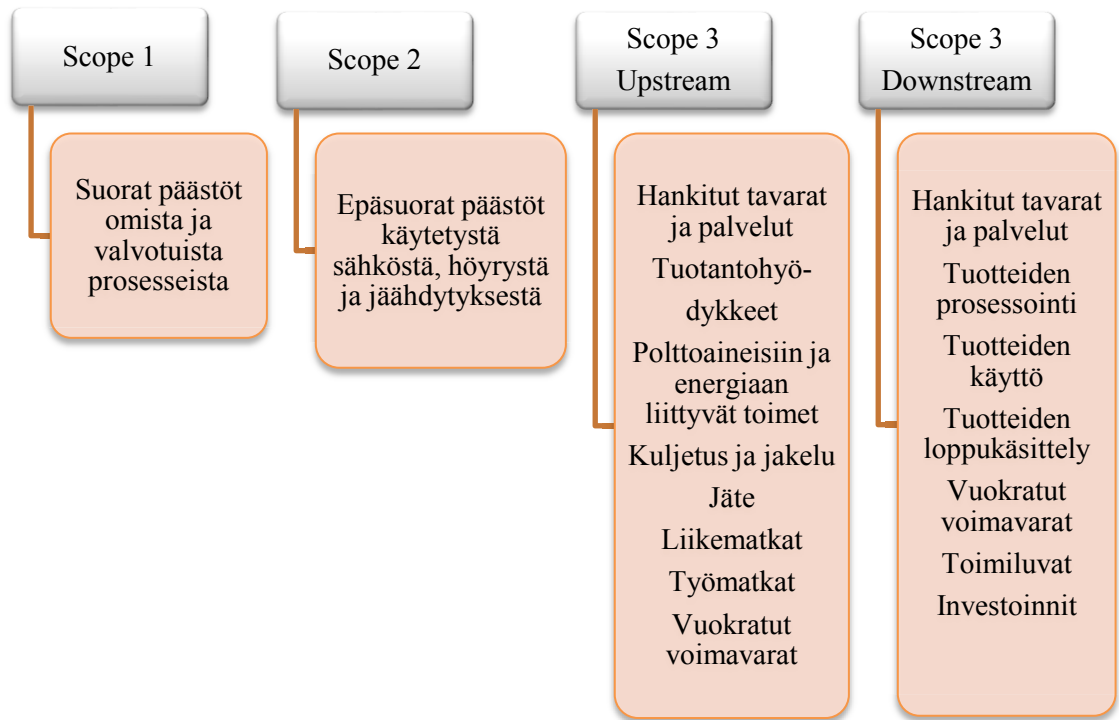
Greenhouse gas eli GHG-menetelmä on yleisin käytetty kansainvälinen menetelmä kasvihuonekaasupäästöjen laskentaan. Menetelmän ovat kehittäneet World Resources Instituutti sekä World Business Council for Sustainable Development. (Ecoenergy 2015) GHG-menetelmä on esitetty GHG Protocol Corporate Standard –asiakirjassa. GHG-menetelmän mukaisesti kasvihuonekaasujen määrittämisessä on viisi vaihetta: 1) Ensimmäisessä vaiheessa tunnistetaan kasvihuonekaasupäästölähteet. 2) Toisessa vaiheessa päätetään kasvihuonekaasupäästöjen laskennan lähestymistapa. 3) Kolmannessa vaiheessa kerätään aineisto päästöjen laskentaa varten. 4) Neljännessä vaiheessa sovelletaan laskentatyökaluja. 5) Viimeisenä kootaan päästötiedot. (Ranganathan ym. 2004)

GHG Protocol Corporate Standard – asiakirjan mukaan päästöt jaetaan suoriin ja epäsuoriin päästöihin. Suorat päästöt muodostuvat Scope 1-luokan päästöistä ja epäsuorat päästöt Scope 2- ja Scope 3-luokista. GHG-menetelmän sisältö on esitetty kuvassa 10. Suoriin päästöihin luokitellaan kuuluvaksi päästöt, jotka ovat peräisin yhtiön omistamista toimista. Epäsuoriin päästöihin luetaan kuuluvaksi yrityksen käyttämän ostetun energian päästöt ja kaikki arvoketjun päästöt. (Bhatia ym. 2011) Kunkin luokan päästöt määritellään omanaan ja yhteistuloksen mukaan voidaan määrittää päästökerroin tuotetulle energialle.



Kuva 10. GHG-menetelmän sisältö (mukaillen Bhatia ym. 2011).

Scope 1:ssä määritetään energian tuotannosta syntyneet suorat päästöt eli poltosta johtuneet päästöt ja muut suorat päästöt yrityksen omistamista ja kontrolloimista prosesseista. Scope 2:ssa määritetään oman sähkönkulutuksen päästöt. Lisäksi siihen kuuluu yrityksen käyttämän höyryn, lämmityksen ja jäähdytyksen päästöt. Scope 3 muodostuu myös epäsuorista päästöistä. Scope 3:ssa otetaan huomioon kaikki loput päästönlähteet sekä ennen varsinaista prosessia (upstream) että sen jälkeen syntyvät päästöt (downstream). Scope 3 upstream päästöjen lähteitä ovat esimerkiksi hankitut tavarat ja palvelut, tuotantohyödykkeet, polttoaineisiin ja energiaan liittyvät toimet, kuljetus ja jakelu, jäte, liikematkat, työmatkat sekä vuokratut voimavarat. Downstream päästönlähteitä ovat hankitut tavarat ja palvelut, tuotteiden prosessointi, käyttö ja loppukäsittely, vuokratut voimavarat, toimiluvat ja investoinnit. (Ranganathan ym. 2004) Scope-luokkiin jaottelu on esitetty kuvassa 11. Scope 3:n osalta energiantuotannossa pääpaino on upstream-päästöissä.



Kuva 11. GHG-menetelmän Scope-luokkien sisällöt (mukaihen Bhatia ym. 2011).

GHG-menetelmän mukaan päästöjen allokointiin voidaan käyttää vapaavalintaista menetelmää. Menetelmässä esitellään hyödynjakomenetelmää muistuttava Efficiency-menetelmä, jonka mukaan päästöt allokoidaan. (Pasanen ym. 2013) GHG-menetelmässä tulee ottaa huomioon Kioton protokollassa määritetyt kasvihuonekaasut (CO_2 , CH_4 , N_2O , HFC, PFC, SF_6 ja NF_3), jos niitä muodostuu prosessin aikana. GWP-kertoimien suositellaan käytettävän sadan vuoden GWP-arvoja uusimmasta IPCC:n raportista (Greenhouse Gas Protocol 2017). Tällä hetkellä viides arviointiraportti on uusin ilmestynyt raportti.

GHG-menetelmän ongelmaksi voi muodostua epätarkkuudet, koska useissa kohdissa päästöjä ei voida mitata vaan päästöjen määristä suoritetaan arviointia erilaisten kirjallisuudesta peräisin olevien kertoimien avulla. Ongelma koskee lähinnä Scope 3 –ryhmään kuuluvia päästöjä. Menetelmää soveltaessa tulee olla tarkkana, ettei samoja päästöjä lasketa kuuluvaksi kahteen eri kategoriaan. Scope 3 päästöissä pyritään ottamaan huomioon päästöt mahdollisimman laajasti, mutta joidenkin päästöjen osalta voidaan joutua tekemään tarkastelurajauksia. On hyvä tunnistaa elinkaaren aikaisista päästöistä merkittävämmät tekijät: esimerkiksi energiantuotannossa polttoaineisiin liittyvät toimet kuten valmistus, kuljetus ja varastointi muodostavat huomattavasti suuremman osan epäsuorista päästöistä kuin tuhkan ym. jätteiden kuljetus. Jotkin Scope

3 päästöt muodostavat vain murto-osan kokonaispäästöistä, joten niillä ei ole merkittävää vaikutusta päästökertoimen suuruuteen.

4.5 Ilmastopaneelimenetelmä

Ilmastopaneelimenetelmässä keskeistä on pohtia mitä sähköntuotantoa yhteistuotannolla tuotetulla sähköllä korvataan. Yhteistuotannon sähkön katsotaan korvaavan marginaalituotantomuotoa, joka vaihtelee sähkön hinnan mukaan. Korvattava sähkön tuotantomuoto perustellaan sähkön markkinahinnan mukaan. Kun sähkön hinta on korkeampi kuin lauhdesähkön tuotantohinta, oletetaan, että yhteistuotannon sähkö korvaa lauhdetuotantoa. Lauhdesähkön muuttuvat kustannukset lasketaan kivihiilen ja päästöoikeuden hinnan perusteella. Jos sähkön hinta laskee alle lauhdesähkön tuotantohinnan, katsotaan CHP-tuotannon olevan marginaalituotantomuoto. Jos sähkön hinta laskee alle CHP-tuotannon, muuttuvien kustannusten marginaalituotantona pidetään vesi-, ydin- tai tuulivoimaa. (Pasanen ym. 2013)

Sähkön hintatason seuraaminen tekee ilmastopaneelimenetelmästä ajankohtaisen. Tyypillisesti menetelmässä otetaan huomioon myös polttoaineen hankinnasta aiheutuneet päästöt. Menetelmä on kerrannaisvaikutukset huomioiva, sillä siinä määritellään korvattava sähköntuotantomuoto. Ilmastopaneelimenetelmän periaate päästöjen laskuun on, että yhteistuotannon kokonaispäästöistä vähennetään korvatun sähkön laskennalliset päästöt. Tällöin yhteistuotannon päästöt voivat jäädä hyvin alhaisiksi tai jopa negatiivisiksi esimerkiksi tilanteessa, jossa CHP-laitos käyttää paljon biopolttoaineita, tuottaa sähköä hyvällä hyötysuhteella ja sähkön markkinahinta on korkea. Katsotaan, että korvattava sähköntuotantomuoto on hiililauhdetuotanto, jonka ympäristövaikutukset ovat korkeat. Menetelmä on mutkikas, minkä vuoksi sen käytössä joudutaan mahdollisesti tekemään yksinkertaistuksia, jotka voivat vaikuttaa tulokseen. Hintaperusteisuuden vuoksi tuloksissa voi olla suuria eroja eri vuosina riippuen sähkön hinnan muutoksista. (Pasanen ym. 2013)

4.6 Muut menetelmät

Uusiutuvan energian RES-direktiivi (2009/28/EC) on EU:n direktiivi uusiutuvan energian käytön edistämiseksi. Direktiivissä on määritetty jäsenvaltioiden tavoitteet uusiutuvan energian osuudeksi kaikesta energiantuotannosta. RES-direktiivissä

ohjeistetaan käyttämään kasvihuonekaasupäästövähennyksen määrittämisessä keskimääräistä sähköntuotannon päästökerrointa. (Energiavirasto 2017) Yhteistuotannon päästölaskennan kannalta RES-direktiiviä voidaan hyödyntää yhteistuotannon päästövähennysten laskentaan (Pasanen ym. 2013).

EcoHeat4Cities on Ruotsin ympäristötutkimus – instituutin laskentamalli, jota voidaan soveltaa kasvihuonekaasujen laskemiseen (EcoHeat4Cities 2016). Laskentamallia kutsutaan Bonus-menetelmäksi ja se noudattaa primäärienergiastandardia (EN 15316-4-5) sekä uusiutuvan energian (RES-) direktiiviä (2009/28/EC). Menetelmän avulla pyritään määrittämään yhteistuotannolla tuotetun sähkön päästöt. Päästöt lasketaan samalla polttoaineella tuotettuna samalle määrälle sähköä kuin yhteistuotannolla on tuotettu. Kaukolämmön päästöt saadaan vähentämällä CHP-laitoksen kokonaispäästöistä lasketut sähkön päästöt. (Pasanen ym. 2013) Menetelmän laskentakaava esitetään yhtälössä 14:

$$K_{dh} = \frac{\sum_{i=1}^n E_{F(i)} \times K_{F,tot(i)} - \left(\sum_{i=1}^n \frac{E_{el,chp(i)} \times K_{F,tot(i)}}{\eta_{el(i)}} \right)}{\sum_{j=1}^n Q_{del(j)}}, \quad (14)$$

jossa K_{dh} =hiilidioksidipäästökerroin toimitetulle lämmölle (kgCO₂/MWh), $K_{F,tot(i)}$ =hiilidioksidipäästökerroin polttoaineelle i (kgCO₂/MWh_{fuel}), $E_{F(i)}$ =polttoaineen energiasisältö, $E_{el, chp(i)}$ =yhteistuotannolla tuotetun sähkön määrä polttoaineesta i, $\eta_{el(i)}$ =sähkön hyötysuhde lauhdesähkön tuotannolle ja $Q_{dwl(j)}$ = toimitetun lämpöenergian määrä. (Pasanen ym. 2013)

DEPM eli Decreased electricity production method vertaa yhteistuotannon sähkön hyötysuhdetta sähkön lauhdetuotantoon. CHP-tuotannossa sähkön hyötysuhde on huonompi kuin erillistuotannossa, vaikka kokonaishyötysuhde onkin parempi. DEPM on allokointimenetelmä, jossa lasketaan käytetyn lämmön ympäristövaikutus kertomalla primäärienergiakertoimet ja sähkön erillistuotannon päästökertoimet sähkön vähentyneellä määrällä yhteistuotannossa verrattuna erillistuotantoon. Saatu tulos jaetaan käytetyn lämmön määrällä. DEPM soveltuu allokointimenetelmäksi etenkin tapauksissa, jossa kasvanut lämmöntarve kasvattaa CHP-tuotantoa ja CHP-tuotannon kasvun myötä sähkön lauhdetuotanto vähenee. (Särholm ym. 2009, 82-83 s.)

Vaikka Suomessa ei ole tarkkaa laskentaohjetta eri sektoreiden päästökertoimien määrittämistä varten, löytyy joitakin erilaisia hiilijalanjälkeen liittyviä hankkeita ja laskureita esimerkiksi alueellisten päästöjen laskentaa varten. Suomen ympäristökeskuksella (SYKE) on ollut useita projekteja liittyen hiilijalanjälkilaskureihin. Laskurit on kehitetty esimerkiksi julkisille hankinnoille (JUHILAS), rakennuksille (SYNERGIA), kansalaisille (Ilmastodieetti), yrityksille (Y-HIILARI) sekä kaupungille ja kunnille (KEKO, KASVENER, KUHILAS). (SYKE 2017) Energiantuotannon päästölaskennan näkökulmasta voidaan tarkastella etenkin yrityksille ja kunnille tarkoitettuja laskureita, ja sitä, mitä menetelmiä niissä on käytetty energiasektorin päästöjen laskentaan. Esimerkiksi Y-HIILARI-laskuri perustuu GHG-protokollaan (SYKE 2013). KASVENER-laskurissa sähkön- ja lämmön yhteistuotannon päästöt on aikaisemmin jaettu energiamenetelmällä (SYKE 2013). Tällä hetkellä KASVENER-menetelmässä sovelletaan hyödynjakomenetelmää (Pietiläinen & Seppälä 2011).

4.7 CHP-tuotanto ja päästökertoimien määrittäminen Suomessa ja muissa maissa

Eri laskentamenetelmien yleisyyttä arvioitiin tutkimalla mitä menetelmiä muut Suomessa toimivat energiayhtiöt käyttävät päästökertoimiensa määrittämiseen. Lisäksi tutkittiin mitä menetelmiä on käytössä muissa maissa, joissa energiaa tuotetaan yhteistuotannolla.

4.7.1 Vertailu muihin Suomessa toimiviin energia-alan yrityksiin

Työn yhtenä tehtävänä oli selvittää, mitä menetelmiä muilla energiayhtiöillä on käytössä kaukolämmön päästökertoimen määrittämisessä. Tiedot on koottu taulukkoon 3. Tarkasteluun valittiin satunnaisesti kymmenen Suomessa kaukolämpöä asiakkaille tarjoavaa yritystä. Yritykset esitetään anonyyminä, sillä taulukoidut päästökertoimet eivät ole välttämättä vertailukelpoisia keskenään, sillä niiden tarkastelurajaus ei ole kaikilla sama. Tarkoituksena oli tarkastella, mitä menetelmiä yrityksillä on käytössään, eikä niinkään vertailla tuloksia keskenään.

Taulukko 3. Kaukolämmön päästökertoimia ja määrittymenetelmiä Suomessa toimivissa energiayhtiöissä.

Energiayhtiö	Ilmoitettu päästökerroin lämmölle (g/kWh)	Sovellettu menetelmä
Energiayhtiö 1.	180	GHG-menetelmä (Scope 1)
Energiayhtiö 2.	163	Primäärienergiamenetelmä
Energiayhtiö 3.	77	Hyödynjakomenetelmä
Energiayhtiö 4.	180	Hyödynjakomenetelmä
Energiayhtiö 5.	114	Vaihtoehtoisen lämmönhankinnan menetelmä
Energiayhtiö 6.	220	Energiamenetelmä
Energiayhtiö 7.	172	Energiamenetelmä
Energiayhtiö 8.	162	Hyödynjakomenetelmä
Energiayhtiö 9.	186	Ei ilmoitettu
Energiayhtiö 10.	334,8	Ei ilmoitettu

Kyselytutkimuksen ja energiayhtiöiden verkkosivuilta löytyneiden tietojen mukaan yhdeksästä tarkastellusta yhtiöstä kolme on käyttänyt määrittymenetelmänä hyödynjakomenetelmää, kaksi energiamenetelmää, yksi primäärienergiamenetelmää, yksi GHG-menetelmää ja yksi vaihtoehtoisen lämmöntuotannon menetelmää. Kahdessa yhtiössä päästökertoimen määrittymenetelmää ei ilmoitettu ollenkaan. Päästökertoimet oli määritetty yhtiöissä vuodelle 2016. Hyödynjakomenetelmä näyttää tutkimuksen perusteella olevan käytetyin menetelmä energiayhtiöiden keskuudessa, joten päästöjen määrittäminen sen avulla on perusteltua.

4.7.2 CHP-tuotanto ja päästökertoimien määrittymenetelmät muissa maissa

Suomessa ei ole käytössä mitään tiettyä ohjeistusta päästöjen määrittämiseen, vaikkakin hyödynjakomenetelmä on saavuttanut suosiota sekä yritysten keskuudessa että muilla tahoilla. Tilanne yleisen ohjeistuksen kannalta on samanlainen myös monissa muissa maissa, esimerkiksi Energy Efficiency Councilin (2017) mukaan Australiassa ja Netherland Enterprise Agencyn mukaan Alankomaissa ei ole kansallista ohjeistusta päästöjen määrittämistä varten.

Fang (2016) mukaan ensimmäinen kaukolämpöverkko rakennettiin Lockportiin Yhdysvaltoihin vuonna 1877. Nykyään Yhdysvalloissa ja Kanadassa kaukolämpö on verrattain vähän kehittyntä (Nuorkivi 2010). Kaukolämpöverkkoja on rakennettu etenkin Saksaan, Itävaltaan, Hollantiin, Belgiaan, Ruotsiin ja Suomeen. Vuonna 2013 kaukolämpöä myytiin yli 100 terajoulea Kosovossa (317 TJ), Saksassa (254,8 TJ), Puolassa (248,7 TJ), Ruotsissa (175,9 TJ), Koreassa (172,2 TJ), Suomessa (114,2 TJ) ja Tanskassa (105,5 TJ). CHP-tuotannolla tuotetun kaukolämmön osuus näiden maiden kaikista kaukolämmön käytöstä oli vuonna 2013 Saksassa 81 %, Tanskassa 73 %, Suomessa 73 %, Koreassa 67 %, Puolassa 57 %, Ruotsissa 41%. Kosovon osuutta ei ole tiedossa. (Euroheat 2015) Näiden perusteella tutkittiin päästöjen määrittämenetelmiä Tanskassa, Saksassa, Ruotsissa ja Puolassa sekä lisäksi Alankomaissa.

Tanska ja Saksa

Tanskassa on määritetty päästöjä pitkään, jo vuodesta 1994. Tanskassa on selkeä ohjeistus CHP-laitoksen kasvihuonekaasupäästöjen laskentaan. (Nuorkivi 2010) Käytössä on neljä erilaista allokointimenetelmää: 1) energiamenetelmä, 2) tanskalainen menetelmä (Danish Method), niin kutsuttu 3) suomalais-ruotsalainen menetelmä ja 4) vaihtoehtoisen hankintatavan menetelmä. Tanskalaismenetelmässä lämmöntuotannon hyötysuhteena käytetään 200 %. Tanskalaismenetelmä muistuttaa Bonus-menetelmää (s. 41) ja siten myös primäärienergiamenetelmää. Suomalais-ruotsalaismenetelmässä hyötysuhteena lämmölle käytetään 115 %. (Energy Efficiency Council 2017) Saksassa on Liikasen (1999) mukaan yleisessä käytössä vaihtoehtoisen hankintatavan menetelmä (kpl 4.2.6).

Ruotsi

Energy Efficiency Councilin (2017) mukaan Ruotsissa ei ole käytössä mitään tiettyä menetelmää yhteistuotannon päästöjen allokointiin, mutta yhteistuotannossa käytettävistä polttoaineista niin merkittävä osa, etenkin tulevaisuudessa, on uusiutuvia (biopolttoaineet, jäte), että CHP-tuotannon päästöjen jakaminen ei ole kovin tärkeässä asemassa. Ruotsissa energiatilastoinnissa käytetään hyödynjakomenetelmää, mutta sitä voidaan kutsua vaihtoehtomenetelmäksi johtuen sen vertailusta vaihtoehtoisiin tuotantomenetelmiin (Nuorkivi 2010). Lisäksi Ruotsissa primäärienergian määrittämiseen käytetään Bonus-menetelmää (s.41), joka muistuttaa primäärienergiamenetelmää ottaessaan huomioon kerrannaisvaikutukset sähköntuotannon

primäärienergiakertoimella 2,5. Primäärienergiamenetelmän tavoin yhteistuotannon hyöty on suurempi lämmöntuotannolle. (Nuorkivi 2010)

Puola

Lelek ym. (2015) mukaan Puolassa on myös ollut keskustelua allokointimenetelmien valinnasta ja menetelmien eroista. Lelek ym. (2005) käsittelee mahdollisina allokoinnin perusteina tuotannon määrää (energiamenetelmä) tai hintaa (hintaperusteinen menetelmä). Lisäksi mainitaan eksbergimenetelmä. Myös Nuorkiven (2010) mukaan Puolassa on käytetty hintaperusteista menetelmää yhteistuotannon päästöjen allokointiin tuotteiden kesken.

Alankomaat

Alankomaissa esimerkiksi Netherlands Enterprise Agency on listannut maan teollisuudessa käytettyjä eri allokointimenetelmiä ja todennut, että menetelmissä on paljon vaihtelevuutta ja eri menetelmien käyttö aiheuttaa tuloksien vaihtelevuutta. Alankomaissa on myös joissakin yhteyksissä mainittu käytettävän All savings – menetelmää, jossa kaikki yhteistuotannon hyöty on laskettu sähkölle. Harmlink Consulting (2017) esittelee lisäksi Alankomaille kehitetyt menetelmät: Integral Method ja Reference Park Method.

4.8 Menetelmien arviointi

Allokointimenetelmiä on vaikea arvioida keskenään. Suurin ero menetelmissä muodostuu siitä, kummalle tuotteelle, sähkölle vai lämmölle, yhteistuotannon hyöty lasketaan. Allokointimenetelmien yleinen suosio on yksi peruste tietyn allokointimenetelmän valinnalle.

Primäärienergiamenetelmä on yleisesti tunnettu menetelmä, sillä se perustuu standardiin (EN 15316-4-5). Primäärienergiamenetelmän suurin ongelma muodostuu käytettävistä PRF-kertoimista, sillä ne saattavat vaihdella eri lähteissä. Tällöin menetelmällä määritetyt kertoimet eri tuotannoille eivät välttämättä ole vertailukelpoisia.

GHG-menetelmässä on paljon hyviä puolia: sen käyttöön on esimerkiksi tarkat ohjeet ja se ottaa päästöt huomioon erittäin kattavasti. Menetelmässä on kuitenkin omat haasteensa, esimerkiksi Scope 3 päästöissä voi muodostua paljon epätarkkuuksia, sillä

jotkin kategorian päästöt voi olla vaikea määrittää tarkasti. Scope 3 elinkaaritarkastelussa on syytä miettiä kunkin elinkaaren osan merkitystä lopullisessa tuloksessa. Jos jossakin osassa joudutaan tekemään arvioita, on niiden merkitys lopputuloksen kannalta sitä merkittävämpi, mitä isomman osan kyseinen kategoria muodostaa kaikista elinkaarenaikaisista päästöistä. Elinkaaritarkastelussa on tärkeää saada suurimmat päästöjen aiheuttajat määritettyä mahdollisimman tarkasti. Energiantuotannon tapauksessa suurimmat kategoriat muodostavat esimerkiksi polttoaineiden kuljetus ja valmistus.

Ilmastopaneelimenetelmä ei ehkä palvele käyttötarkoitusta tässä tapauksessa, sillä energiaa ostava asiakas ei välttämättä ymmärrä, jos puoliksi turpeella tuotetun energian päästöt laskevat mahdollisesti olemattomiin. Menetelmää voisi olla perusteltua käyttää siinä tapauksessa, että myös muut, esimerkiksi suomalaiset energiayhtiöt, käyttäisivät sitä. Tällöin tulosten ja päästökertoimien vertailu olisi mielekästä.

4.9 Elinkaariarviointi

Elinkaariarviointi eli LCA (life cycle assessment) on ISO 14040 –standardiin perustuva menetelmä. Menetelmä perustuu ”kehdosta hautaan”-ajattelutapaan eli tuotteen valmistusta ja sen ympäristövaikutuksia tutkitaan aina raaka-aineiden hankinnasta sen loppusijoitukseen saakka. Päämääränä on määrittellä kaikki prosessiin käytetyt varat (energia, vesi, raaka-aineet) sekä kaikki ulostulevat virrat (tuotteet, päästöt ilmaan ja veteen, jätteet ja muut ympäristöhaitat). LCA:ta käytetään tyypillisesti työkaluna selvittämään ympäristövaikutuksia ja sen avulla pohditaan tekijöitä, joilla ympäristövaikutuksia voidaan pienentää. LCA-menetelmän avulla voidaan saavuttaa monia hyötyjä kuten ympäristövaikutusten kokonaiskuvan määrittäminen, kokonaisenergiankulutuksen tai kokonaispäästöjen määrittäminen. Hiilidioksidipäästökertoimien määrittämisessä elinkaariarviointia sovelletaan listaamalla kaikki energiantuotantoon liittyvät vaiheet alkaen raaka-aineiden valmistuksesta aina prosessissa syntyvien jätteiden käsittelyyn. LCA-menetelmän haasteita ovat tarkastelun rajauksen valinta, datan saatavuus sekä ympäristövaikutusten määrittely. (Noblis 2017) LCA-prosessi koostuu standardin mukaan osista, jotka ovat tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, inventaarioanalyysi (LCI life-cycle inventory), vaikutusarviointi (LCIA life-cycle impact assessment) sekä tulosten tulkinta (Ympäristöhallinto 2013).

Päästökertoimen määrittämisen kannalta elinkaariarvioinnin päämääränä on selvittää prosessin eri vaiheissa syntyvät päästöt ilmaan. Tällöin kyseessä on niin kutsuttu yksinkertaistettu elinkaariarviointi, jossa tarkastelu kohdistetaan tiettyyn osa-alueeseen eli kasvihuonekaasupäästöihin (Ympäristöhallinto 2013). Määrittämisessä sovelletaan inventaarioanalyysiä eli LCA:n datan keräys -osiota. LCI:n avulla listataan kaikki prosessin virrat (Athena Sustainable Materials Institute, 2017). Yksinkertaistettuna tässä työssä LCI:n avulla tarkastellaan päästöjä ilmaan prosessin eri vaiheista. Kuopion Energian LCI ja elinkaaren aikaiset päästöt ilmaan on määritetty kappaleessa 6.3.4.

5 KUOPION ENERGIA

Kuopion Energia Oy sekä Kuopion Sähköverkko Oy muodostavat Kuopion Energia -konsernin. Konsernin omistaa kokonaisuudessa Kuopion kaupunki. Kuopion Energia Oy tarjoaa asiakkailleen erilaisia sähkö- sekä kaukolämpötuotteita. Kuopion Sähköverkko Oy puolestaan huolehtii sähkön siirrosta asiakkaille. Yrityksen sähkönmyynti on vuosittain noin 700 GWh ja kaukolämmön myynti noin 900 GWh.

5.1 Tuotanto ja tuotteet

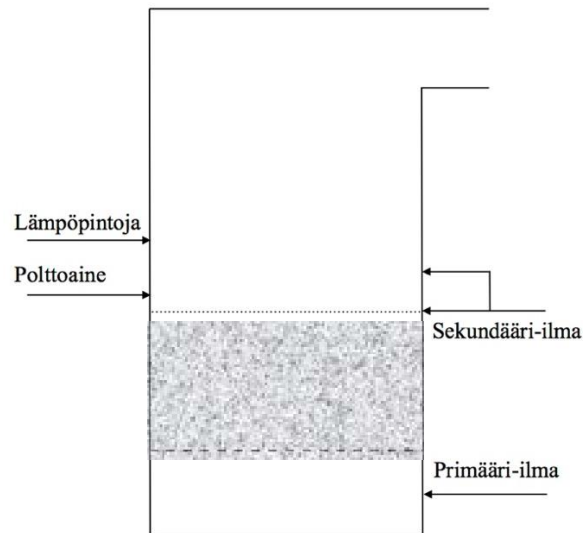
Kuopion Energia tuottaa vuosittain noin 300 000 – 350 000 MWh sähköä ja noin 950 000 - 1 100 000 MWh lämpöä. Kuopion Energian vuoden 2016 sähköntuotanto oli 318 000 MWh ja kaukolämmön tuotanto 1 016 400 MWh. Sähkö johdetaan valtakunnan sähköverkkoon ja kaukolämpö Kuopion kaupungin kaukolämpöverkkoon. Valtaosa energiasta tuotetaan turpeella ja biopolttoaineilla Haapaniemen yhteistuotantolaitoksilla Haapaniemi 2- ja Haapaniemi 3 –voimalaitosyksiköillä. Vuonna 2016 noin 97,8 % kaikesta Kuopion Energian tuottamasta lämpöenergiasta tuotettiin Haapaniemen voimalaitoksilla (Kuva 12).



Kuva 12. Kuopion Energian Haapaniemen voimalaitos (Kuopion Energia 2016b).

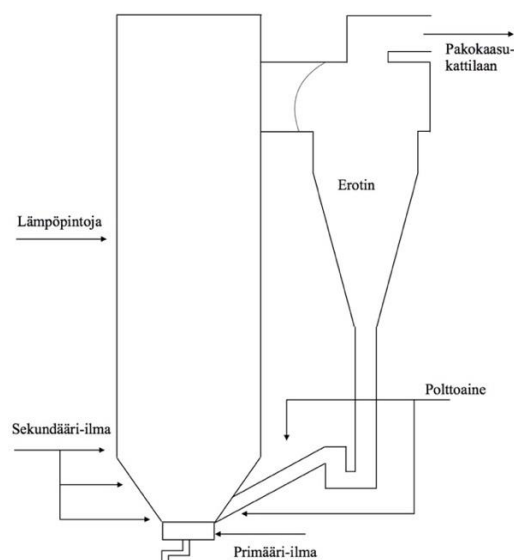
Pitkälahden moottorivoimalaitoksella tuotetaan biokaasusta yhteistuotannolla sähköä ja lämpöä. Moottorivoimalaitoksella tuotetaan noin 2 % kaikesta Kuopion Energian tuottamasta energiasta. Tarvittaessa, esimerkiksi kulutushuippujen aikaan kovilla pakkasilla, kaukolämpöä tuotetaan erillisillä lämpökeskuksilla. Lämpökeskuksissa käytetään polttoaineena kevyttä ja raskasta polttoöljyä sekä Pitkälahden lämpökeskuksella kaatopaikkakaasua. (Kuopion Energia Oy, 2016) Raskaan polttoöljyn käyttö loppuu vuoden 2017 loppuun mennessä. Kuopion Energian kaikesta energiantuotannosta noin 1 % tuotetaan lämpökeskuksissa. (Lassila 2017)

Haapaniemi 2 -kattila on ollut käytössä vuodesta 1982. Alun perin kattilan polttotekniikkana oli pölypolto ja polttoaineena turve sekä tukipolttoaineena öljy. Vuonna 2013 kattilan polttotekniikka muutettiin kerrosleijupoltoksi eli kuplaleijupoltoksi (BFBC = bubbling fluidized bed combustion), jonka jälkeen polttoaineena on pystytty käyttämään myös muuta kuin turvetta. (Kuopion Energia 2016) Kerrosleijupoltossa polttoainetta syötetään yläpuolelta kuplivaan leijutusmateriaalipetiin. Osa polttoaineesta kaasuuntuu ja palaa välittömästi, osa tippuu petiin ja palaa vasta sitten. (Lohiniva 2015) Kerrosleijukattila on kuvattuna kuvassa 13. Haapaniemi 2 -kattilassa käytetään polttoaineena turvetta ja biopolttoaineita vaihtelevalla suhteella. Käynnistys- ja pysäytystilanteissa polttoaineena käytetään öljyä. Kattilan polttoaineteho on 280 MW ja sillä voidaan tuottaa sähköä 70 MW ja lämpöä 200 MW. Sähköä ja lämpöä tuotetaan vastapaineturbiinilla. (Kuopion Energia Oy 2016)



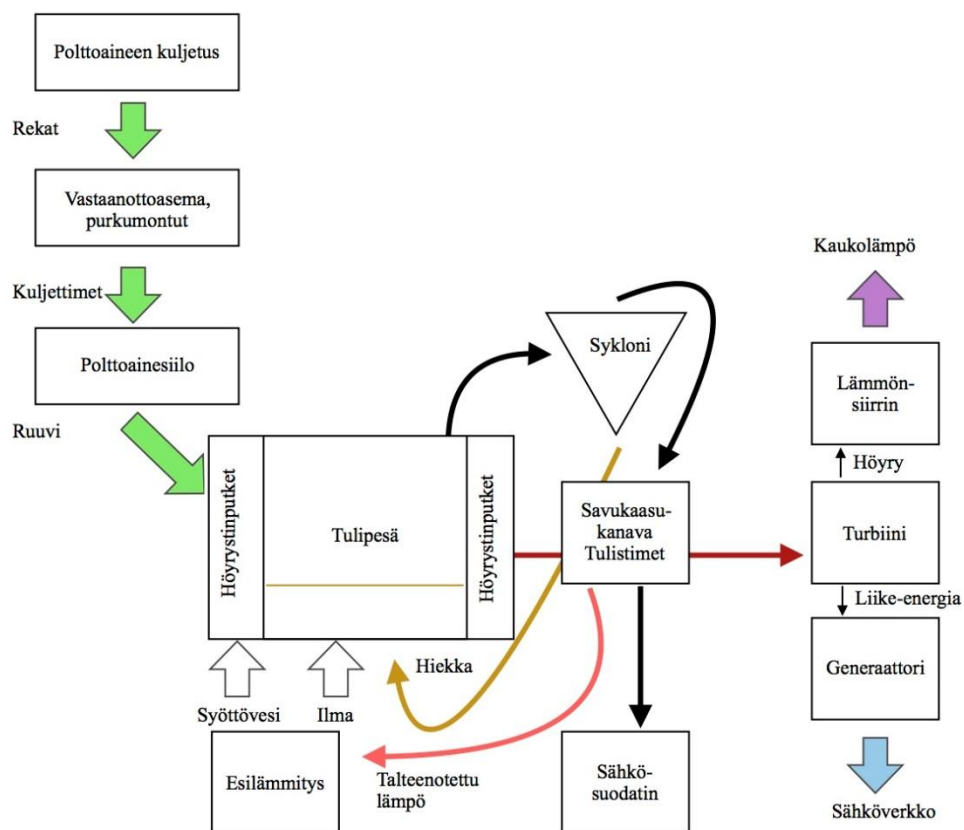
Kuva 13. Kerrosleijukattila (mukaiillen Raiko ym. 2002).

Haapaniemi 3 -kattila aloitti toimintansa vuonna 2012 korvaten Haapaniemi 1 -kattilan. Kattilan polttotekniikkana on kiertoleijupoltto (CFBC = circulating fluidized bed combustion). (Kuopion Energia 2016b) Kiertoleijupoltossa polttoaine syötetään kattilaan sivulta. Pedin hiukkaset kuumentavat polttoaineen ja se syttyy palamaan. Hienon petimateriaalin ja suuremman leijutusnopeuden vuoksi partikkelit nousevat kaasuvirtauksen mukana ja ne tulee erottaa kiintoaine-erottimen avulla. (Lohiniva 2015) Kiertoleijukattila on kuvattu kuvassa 14.



Kuva 14. Kiertoleijukattila (mukaiillen Raiko ym. 2002).

Haapaniemi 3 –kattilassa käytetään polttoaineena jyrshinturvetta ja biopolttoaineita vaihtelevalla suhteella. Käynnistyspolttoaineena on kevyt polttoöljy ja varapolttaineena raskas polttoöljy (Ympäristölupa 34/08/2) tai kivihiili (Kuopion Energia, 2016). Kattilan polttoaineteho on 180 MW ja sillä voidaan tuottaa sähköä 50 MW ja lämpöä 100 MW. Myös Haapaniemi 3:lla energiantuotantoon käytetään vastapaineturbiinitekniikkaa. (Kuopion Energia Oy 2016) CHP-prosessin (kiertoleijupoltto) toimintaperiaate on kuvattuna kuvassa 15.



Kuva 15. Haapaniemi 3 –voimalaitoksen prosessi.

Erilliset Kuopion kaupungin kaukolämpöverkon alueelle sijoitetut lämpökeskukset varmistavat lämmönsaannin esimerkiksi pakkaspäivinä eli tilanteissa, joissa yhteistuotannon lämpö ei riitä vastaamaan kysyntään. Lämpökeskuksissa tuotetaan noin 1 % kaikesta Kuopion Energian tuottamasta lämpöenergiasta. Lämpökeskukset käyttävät polttoaineena raskasta ja kevyttä polttoöljyä. (Kuopion Energia Oy 2016) Kuopion kaukolämpöverkko on esitettyä liitteessä 5. Taulukossa 4 on esitetty lämpökeskusten tehot ja käyttämät polttoaineet.

Taulukko 4. Kuopion Energian lämpökeskukset (Kuopion Energia 2016b).

Lämpökeskus	Teho	Polttoaine
Ioharju	2 x 40 MW	Kevyt polttoöljy
Jynkkä	3 x 12 MW	Raskas polttoöljy
Niirala	2 x 40 MW	Kevyt polttoöljy
Pitkälähti	2 x 30 MW 1 x 3 MW 1 x 1,6 MW	Kevyt polttoöljy Kaatopaikkakaasu Biokaasu
Päiväranta	2 x 12 MW	Kevyt polttoöljy
Rautaniemi	1 x 40 MW	Raskas polttoöljy
Saarijärvi	1 x 40 MW	Raskas polttoöljy
Kelloniemi (siirrettävät lämpökeskukset)	2 x 3,7 MW	Kevyt polttoöljy
Neulamäki (siirrettävä lämpökeskus)	1 x 3,7 MW	Kevyt polttoöljy
Yhteensä	373,7 MW	

Kuopion Energia tarjoaa asiakkailleen kuutta (6) erilaista sähkötuotetta: Yleis-, Kausi-, Aika, Täsmä-, Puu- ja Tuulisähköä. Puu- ja Tuulisähköt tuotteet tarjoavat ympäristöystävällisen vaihtoehdon, kun taas muiden tuotteiden erot liittyvät hintaan. (Kuopion Energia Oy 2016) Vuonna 2016 47 % sähköstä tuotettiin Haapaniemen voimalaitoksella ja loput hankittiin sähköpörssi Nord Poolista. Myydyn sähkön energialähdejakauma vuonna 2016 oli turve ja fossiiliset polttoaineet 47 %, uusiutuvat energianlähteet 30 % ja ydinvoima 23 % (Kuopion Energia 2017). Vuoden 2016 tuotettu ja myyty sähköenergia ovat nähtävissä taulukossa 5. Myydyn energian määrä on suurempi kuin tuotetun, sillä osa siitä on peräisin sähköpörssistä.

Kuopion Energiolla on kolme (3) kaukolämpötuotetta: Yleis-, Tarkka- sekä Puulämpö. Yleislämpö on kaikille sopiva vaihtoehto ja Tarkkalämpö on suunnattu erityisesti asiakkaille, joiden kaukolämmön tarve on pieni. Puu- ja Tarkkalämmön tuotannossa on käytetty ainoastaan uusiutuvia polttoaineita. Pääosan polttoaineesta muodostavaa metsäperäiset biopolttoaineet, mutta myös biokaasulaitokselta hankittua biokaasua hyödynnetään lämmöntuotannossa. Noin 98 % Kuopion Energian kaukolämmöstä tuotetaan yhteistuotannolla. (Kuopion Energia 2016d) Vuoden 2016 tuotettu ja myyty lämpöenergia ovat nähtävissä taulukosta 5.

Taulukko 5. Tuotettu ja myyty energia (Kuopion Energia 2017).

	Tuotettu energia [GWh]	Myyty energia [GWh]
Kaukolämpö	1016,5	931
Sähkö	318	676

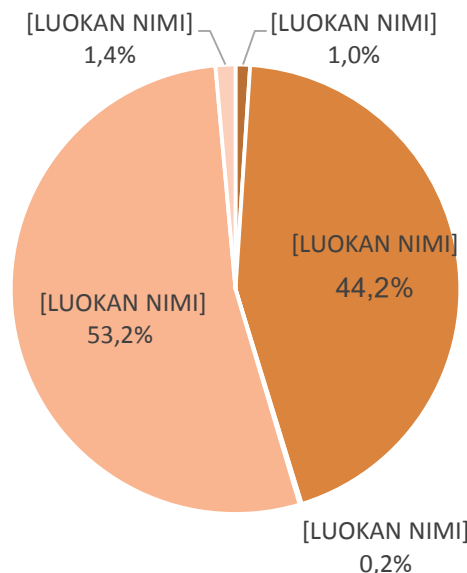
5.2 Polttoaineet ja polttoaineiden hankinta

Haapaniemen voimalaitoksella käytetään polttoaineena pääosin biopolttoaineita (54,42 % vuonna 2016) ja turvetta (45,21 % vuonna 2016). Vähäisiä määriä öljyä ja kivihiiltä joudutaan toisinaan käyttämään esimerkiksi kattiloiden huollon jälkeisessä käynnistyksessä. Haapaniemen voimalaitosten polttoaineenkäyttö vuonna 2016 nähdään taulukosta 6. (Kuopion Energia 2017)

Taulukko 6. Haapaniemen voimalaitoksen polttoaineiden käyttö vuonna 2016.

Polttoaine	GWh	%-osuus
biopolttoaineet	781,2	54,42
turve	649,0	45,21
öljy	3,2	0,22
kivihiili	2,1	0,15
yhteensä	1435,5	100

Biokaasuvoimalaitoksella käytettiin vuonna 2016 biokaasua 17,1 GWh:n verran. Lisäksi vuoden 2016 aikana lämpökeskuksissa käytettiin öljyä 11,8 GWh:n verran ja kaatopaikkakaasua 3,9 GWh. Kuvasta 16 nähdään Kuopion Energian polttoainejakauma huomioon otettuna Haapaniemen voimalaitos, lämpökeskukset sekä biokaasumoottorivoimalaitos.



Kuva 16. Kuopion Energian polttoainejakauma vuonna 2016 (Kuopion Energia 2016b).

5.2.1 Turve

Turve on eloperäinen maalaji, joka on syntynyt maatuneista suokasveista. Suoalueita hyödynnetään maailmanlaajuisesti maa- ja metsätaloudessa esimerkiksi kasvualustana

ja kuivikkeena. Turvetta käytetään energiantuotannossa polttoaineena erityisesti yhteistuotantovoimalaitoksissa. Polttoaineeksi käytettävä turve kerätään raivatuilta ja ojitetuilta soilta ja se kuivatetaan auringossa. Turpeen käyttö energianlähteenä on merkittävää Suomessa, Irlannissa, Ruotsissa ja Venäjällä. (Energiateollisuus ry 2012) IPCC (2006) ei määrittele turvetta fossiiliseksi polttoaineeksi eikä toisaalta biomassaksi. Turpeen kasvihuonekaasupäästöjen katsotaan kuitenkin olevan verrannollisia fossiilisten polttoaineiden päästöihin, minkä vuoksi turpeen polton päästöt lasketaan fossiilisten polttoaineiden päästöihin. (IPCC 2006)

Kuopion Energian vuonna 2016 käyttämästä turpeesta 141,6 gigawattituntia eli 21,8 % tuotettiin omalla tuotannolla. Loput turpeesta oli peräisin ulkoisilta toimittajilta. Kaikki käytettävä turve on peräisin lähialueilta ja turpeen kuljetusmatkat voimalaitokselle vaihtelevat 60–250 kilometrin välillä. (Seppälä ym. 2017)

5.2.2 Biopolttoaineet

Bioenergiaa saadaan erilaisista biomassoista. Bioenergian katsotaan olevan päästökaupan näkökulmasta hiilidioksidineutraalia, sillä biopolttoaineiden poltossa vapautuva hiilidioksidin katsotaan sitoutuvan takaisin uuteen kasvavaan biomassaan. Bioperäisten polttoaineiden käytöllä voidaan myös vähentää muiden haitallisten aineiden, kuten raskasmetallien ja rikin päästöjä. Suomessa etenkin puupolttaineet ovat merkittävä bioenergian lähde. Osa käytetyistä puupolttaineista on metsäteollisuuden sivutuotteita kuten purua ja kuorta. Lisäksi puupolttaineita tuotetaan energiapuusta eli hakettamalla puuta biopolttaineeksi. (Motiva Oy 2016d)

Kuopion Energian käyttämät biopolttaineet ovat peräisin lähialueilta. Kuljetusmatkat puupolttaineille vaihtelivat vuonna 2016 noin 80–100 kilometrin välillä. Kuopion Energia käyttää kolmenlaista haketta polttoaineena: metsätähdehaketta (kuva 17), joka haketetaan oksista ja latvuksista, kokopuu- ja rankahake (kuva 18) haketetaan karsitusta runkopuusta, kierrätyspuuhake on puhdasta puutähdettä tai hakettua käytöstä poistettua puuta. Puru, kutterinpuru ja kuori ovat metsäteollisuuden sivutuotteita, joita ei erikseen käsitellä ennen käyttöä energiantuotannon polttoaineena. (Seppälä ym. 2017) Käytetyt biopolttaineet ja niiden osuudet kaikista biopolttaineista ovat nähtävissä taulukossa 7.



Kuva 17. Metsätähdehake (Kuopion Energia Oy 2016a).



Kuva 18. Kokopuu- ja rankahake (Kuopion Energia Oy 2016a).

Taulukko 7. Kuopion Energian käyttämät biopolttoaineet vuonna 2016 (Kuopion Energia 2017).

Biopolttoaine	Sisältö	GWh	%-osuus
metsähake	ainespuun korjuun jälkeen oksista ja latvuksista neulasineen tehty hake tai murske	225	28,80
puru	puutavaran sahauksessa syntyvät tähteet	203	25,99
kantomurske	kannoista ja juurakoista tehty murske tai hake	71	9,09
rankahake	karsitusta runkopuusta tehty hake	232	29,71
kuori	ainespuuta kuorittaessa syntyvä tähde, jonka joukossa saattaa olla puuainesta	17	2,18
kutterinpuru	kuivan puutavaran höyläyksessä tai hionnassa syntyvä puutähde	27	3,46
kierrätyspuuhake	puhdas puutähde tai käytöstä poistettu puu kuten uudisrakentamisen puutähde ja puu- ja kuormalavat	6	0,77
yhteensä		781	100

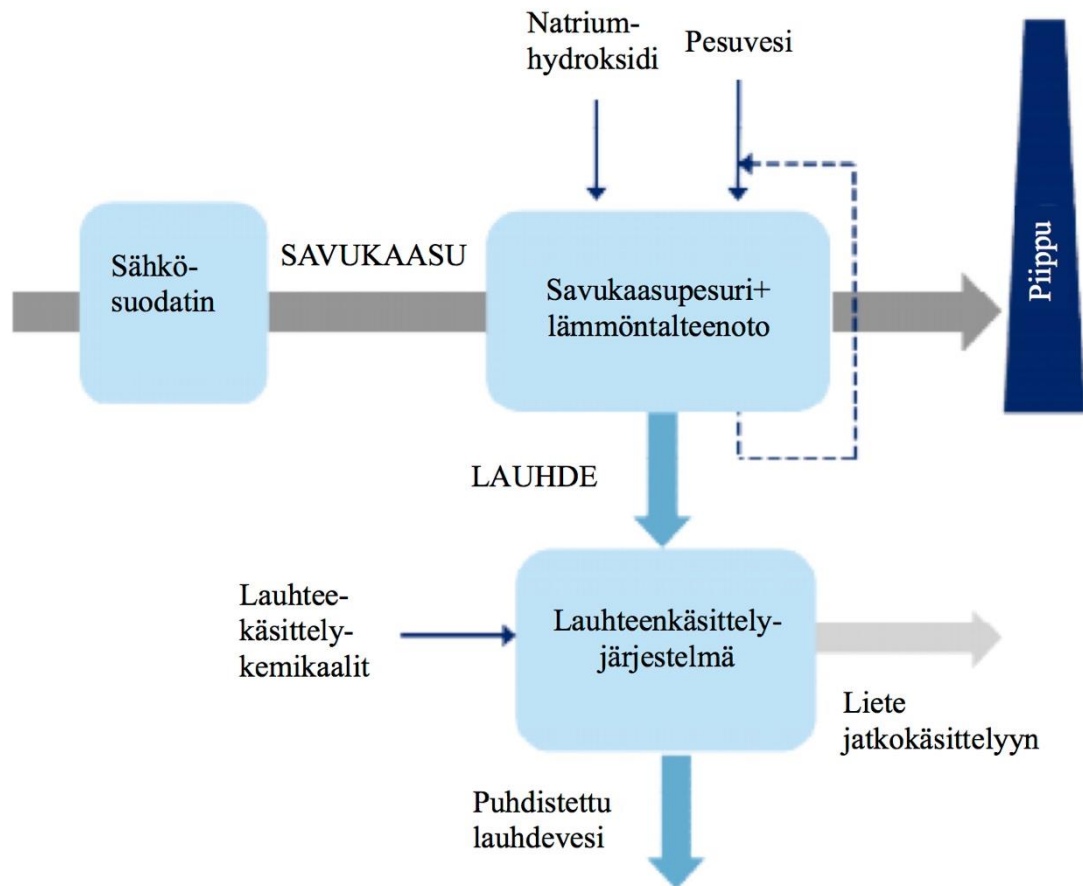
5.2.3 Fossiiliset polttoaineet

Fossiilisista polttoaineista Kuopion Energia käyttää kivihiiltä sekä kevyttä ja raskasta polttoöljyä. Kivihiiltä ja osaksi myös öljyä käytetään Haapaniemen voimalaitoksella lähinnä huoltotilanteissa. Vuonna 2016 kivihiiltä käytettiin Haapaniemen voimalaitoksilla 2,1 GWh ja öljyä 3,5 GWh. Merkittävämpi öljyn kulutus tapahtuu lämpökeskuksissa, joissa käytettiin noin 78 % kaikesta vuonna 2016 Kuopion Energialla käytetystä öljystä (raskas ja kevyt polttoöljy yhteensä). Lämpökeskuksissa öljyä käytettiin 11,8 GWh. Yhteensä öljyn ja kivihiilen käyttö muodostavat noin 1,2 % Kuopion Energian kokonaispolttoainejakaumasta. (Kuopion Energia 2017)

5.3 Päästöt ja päästökauppa

Haapaniemi 2 –laitoksen merkittävimmät päästöt ilmaan ovat hiilidioksidi, rikkidioksidi, typenoksidit ja hiukkaset sekä raskasmetallit. Haapaniemi 2 –kattilan polttotekniikkamuutoksen yhteydessä 2013 kattilaan asennettiin SNCR (Selective Non-Catalytic Reduction) -menetelmä typenoksidipäästöjen vähentämiseksi. Lisäksi poltossa typenoksidipäästöjä vähennetään hyödyntämällä vaiheittaista palamisilman syöttöä. (Ympäristölupa 86/2014/1)

Haapaniemi 2 –voimalaitoksen savukaasujen puhdistukseen investoitiin merkittävästi vuonna 2015, kun laitoksen yhteyteen rakennettiin savukaasupesuri. Pesurilla pyritään vähentämään rikkidioksidi- ja hiukkaspäästöjä. (Kuopion Energia 2017) Savukaasupesurin toimintaperiaate on esitetty kuvassa 19.



Kuva 19. Haapaniemi 2 –voimalaitoksen savukaasupesurin toimintaperiaate (mukaillen Ympäristölupa 86/2014/1).

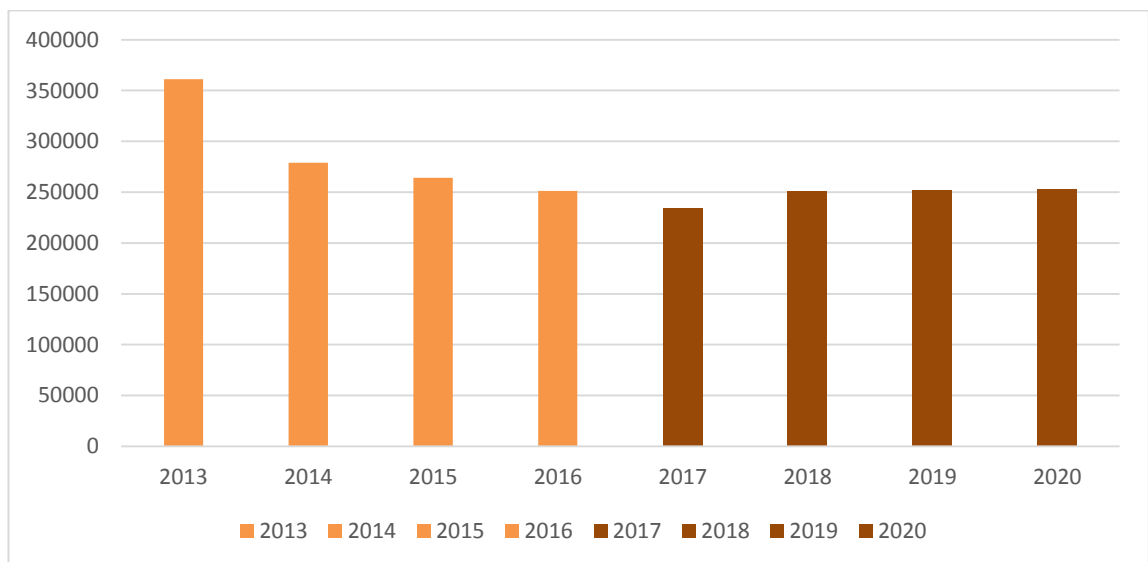
Haapaniemi 3 –laitoksen merkittävimmät päästöt ilmaan ovat hiilidioksidi, rikkidioksidi, typenoksidit ja hiukkaset sekä raskasmetallit. Rikkipäästöt ilmaan johtuvat pääosin turpeen käytöstä polttoaineena. Rikkipäästöt vähenevät mitä suurempi osa polttoainejakaumasta on biopolttoaineita. Lisäksi rikkipäästöjä vähennetään syöttämällä tulipesään kalkkia. (Ympäristölupa 34/08/2, Kuopion Energia 2016). Pääosa typenoksideista (NO_x) muodostuu polttoaineen sisältämästä tpeestä. Polttotekniikasta (kiertoleijupoltto) johtuen kattilan lämpötila voidaan pitää niin matalana, että terminen NO_x -kaasujen muodostuminen on hyvin vähäistä eikä erillistä typenerotusta tarvita. (Ympäristölupa 34/08/2) Savukaasujen sisältämät hiukkaset erotetaan sähkösuodattimella (kuva 15). Suurin osa raskasmetalleista pystytään erottamaan sähkösuodattimella erotettavan kiintoaineksen mukana. (Kuopion Energia 2016) Taulukossa 8 on esitetty Haapaniemen voimalaitoksen ympäristölupien mukaisia päästöjen raja-arvoja.

Taulukko 8. Haapaniemen voimalaitoksen päästöjen raja-arvot kuutiossa savukaasussa (Ympäristöluvat 34/08/2 ja 86/2014/1).

	Haapaniemi 2 (mg/m ³)	Haapaniemi 3 (mg/m ³)
Rikkidioksidi	270	295
Typen oksidit	250	205
Hiukkaset	20	30

Erillisten lämpökeskusten osuus kaikista poltosta aiheutuneista suorista päästöistä oli vuonna 2016 vain noin 0,03 % päästökauppaan ilmoitettujen todennettujen päästöjen perusteella.

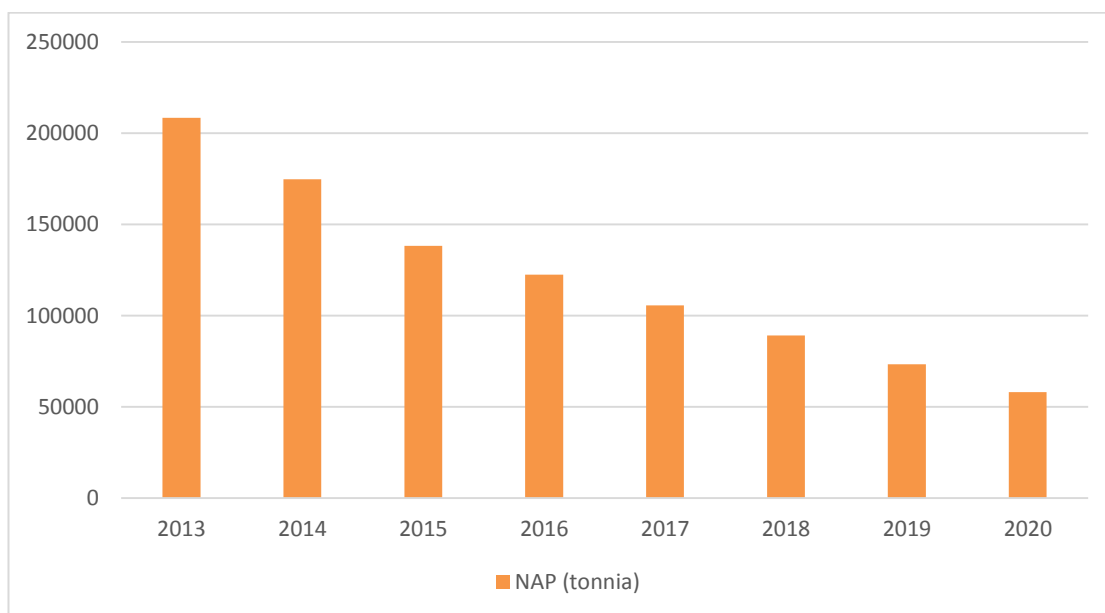
Kuopion Energia kuuluu päästökaupan piiriin. Päästökauppajärjestelmässä on tällä hetkellä käynnissä kausi 2013–2020. Kuvassa 20 nähdään kuluvan päästökauppakauden toteutuneet hiilidioksidipäästöt (2013–2016) ja ennuste päästökauppakauden loppuun 2020 saakka.



Kuva 20. Kuopion Energian hiilidioksidipäästöt ja hiilidioksidipäästöennusteet kuluvalla päästökauppakaudella (Kuopion Energia 2017).

Kuluvalla päästökauppajärjestelmän kaudella ainoastaan lämmöntuotanto ja jotkin teollisuuden alat saavat osittain päästöoikeuksia ilmaiseksi. Päästöoikeuksien ilmaisjaon määrä vähenee tasaisesti kauden aikana. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017c) Kuopion Energian näkökulmasta tämä tarkoittaa sitä, että päästöoikeuksien ilmaisjako koskee ainoastaan tuotetun lämmön päästöjä ja että ilmaisten päästöoikeuksien määrä vähenee joka vuosi. Kuvaajasta 21 nähdään National Allocation Plan (NAP) eli päästöoikeuksien ilmaisjako Kuopion Energialle kuluvalla päästökaudella. (Kontulainen 2017) Tällä

hetkellä (vuonna 2016) ilmaisjako kattaa päästöistä noin puolet ja päästökauden lopussa (vuonna 2020) noin neljäsosan ennustetusta päästömäärästä.



Kuva 21. National Allocation Plan eli päästöoikeuksien ilmaisjako 2013–2020 (Kuopion Energia 2017).

6 KUOPION ENERGIAN PÄÄSTÖT

6.1 Päästöjen määrittämiseen valitut menetelmät ja tarkastelurajaus

Kuopion Energian päästöjen määrittämisessä tavoitteena oli valita kartoitetuista menetelmistä sopivat ja määrittää näiden menetelmien avulla Kuopion Energian tuotetun sähkön ja lämmön päästökertoimet. Päästökertoimien määrittämisessä käytettävien menetelmien valinnassa pääkriteereinä huomioitiin menetelmien yleisyys ja sovellettavuus. Määrittämismenetelmiksi valittiin GHG-menetelmä ja allokointimenetelmät: energiamenetelmä, hyödynjakomenetelmä ja primäärienergiamenetelmä.

Kokonaisvaltaiseksi päästökertoimien määrittämismenetelmäksi valittiin GHG-menetelmä sen ajankohtaisuuden ja elinkaariperusteisuuden vuoksi. Menetelmä huomioi myös energiantuotannosta syntyvät epäsuorat päästöt eli sen tarkastelurajaus on paljon laajempi verrattuna menetelmiin, jotka huomioivat vain suorat päästöt.

Primäärienergiamenetelmä valittiin edustamaan kerrannaisvaikutukset huomioon ottavaa menetelmää. Menetelmä perustuu standardiin, joten se on myös yleisesti tunnettu menetelmä. Menetelmä on käytössä Suomessa ainakin yhdellä isolla energiantuottajayhtiöllä. Primäärienergiamenetelmää soveltamalla selvitettiin, kuinka suuri hyöty kerrannaisvaikutukset huomioon ottamalla saadaan päästökertoimen määrittämisessä, eli nähtiin, kuinka paljon kerrannaisvaikutusten huomioiminen pienentää lämmön päästökerrointa.

Energiamenetelmää hyödynnettiin, sillä se on helppo käyttää ja sitä on käytetty Kuopion Energian päästöjen allokointiin aiemmin. Hyödynjakomenetelmä valittiin allokointimenetelmäksi johtuen sen yleisyydestä Suomessa. Menetelmä on muun muassa Tilastokeskuksen ja Ympäristöministeriön sekä monen yrityksen käyttämä. Hyödynjakomenetelmä on niin ikään helppo soveltaa. Hyödynjakomenetelmässä käytettäviksi erillistuotannon hyötysuhteiksi valittiin yleisesti käytössä olevat sähkön lauhdetuotannon hyötysuhde 39 % ja lämmön vesikattilatuotannon hyötysuhde 90 % (Pasanen ym. 2013). GHG-menetelmässä allokointimenetelmä voidaan valita vapaasti. GHG-menetelmässä esitelty allokointimenetelmä Efficiency-menetelmä muistuttaa hyödynjakomenetelmää. GHG-menetelmällä saadut päästöt allokointiin Efficiency-

menetelmällä. Muiden allokointimenetelmien käyttöä arvioitaessa tärkeä peruste oli se, miten yleisesti kyseinen menetelmä on käytössä muilla yrityksillä ja muissa maissa. Ainoastaan hyödynjakomenetelmä, energiamenetelmä ja vaihtoehtoisen tuotantotavan menetelmä olivat allokointimenetelmistä käytössä joillakin toisista yrityksistä. Toisaalta energia- ja eksergiamenetelmät mainittiin useammassa kuin yhdessä tarkasteltaviin maihin liittyvistä lähteistä.

Tarkastelu rajattiin koskemaan Kuopion Energian omalla tuotannolla tuotettua sähköä ja lämpöä. Jos tuotettua energiaa käsitellään tuote kerrallaan, sähkön osalta päästökerrointa ei voida määrittää tuotekohtaisesti, sillä osa Kuopion Energian myymästä sähköstä on peräisin sähköpörsseistä ja osa yhteistuotannosta. Sähkötuotteista Yleis-, Kausi-, Aika- ja Täsmäsähkötuotteille päästöt määräytyvät sen mukaan, kuinka suuri osa myydystä sähköstä on peräisin omasta tuotannosta ja toisaalta siitä, millä tuotantomenetelmällä pörsseistä peräisin oleva sähkö on tuotettu. Puu- ja Tuulisähkö erottuvat muista sähkötuotteista, sillä ne ovat päästökaupan näkökulmasta päästöttömiä. Jos puusähkölle kuitenkin halutaan muodostaa elinkaariperusteinen päästökerroin, tulee määrittää Scope 3 päästöt GHG-menetelmällä ottaen huomioon ainoastaan biopolttoaineisiin liittyvät elinkaaren aikaiset päästöt. Suomessa sähköä voidaan myydä uusiutuvana energiana vain, jos sille on myönnetty kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj:n alkuperätakuu. Energiavirasto laskee kansallisen jäännösjakauman, jota sähköyhtiöt käyttävät pohjana uusiutuvalla sähköllä ja alkuperältään tuntemattomalle sähköllä. Sähkönmyyjän velvollisuus on vuosittain ilmoittaa edellisen vuoden myymänsä sähkön alkuperäjakauma ja myymänsä sähkön hiilidioksidipäästöt. (Energiavirasto 2017c)

Suorien päästöjen määrittämisessä huomioitiin päästökauppaan kuuluvat polttoaineet eli tarkastelun ulkopuolelle jäivät biopolttoaineet, joita Kuopion Energian polttoainejakaumassa ovat kaikki puupolttoaineet sekä bio- ja kaatopaikkakaasu. GHG-menetelmää sovellettaessa biopolttoaineista huomioitiin kuitenkin elinkaaren aikaiset päästöt.

Tavoitteena oli määrittää päästöt useammalla kuin yhdellä laskentamenetelmällä, joten tarkastelun rajausta oli suoritettava menetelmäkohtaisesti. Datana laskelmien pohjalla käytettiin vuoden 2016 polttoainetietoja sekä tuotetun energian määrää. Kuopion Energian sähkön päästöt voidaan määrittää yhteistuotannon osalta. Koska päämääränä oli määrittää tuotetun energian päästöt, siirtohäviöitä ei huomioitu. Siirtohäviöt voidaan

kuitenkin lämmön päästökertoimen osalta huomioida jälkikäteen. Tarkasteluajanjaksoksi valittiin vuosi 2016. Päästökertoimet ilmaistaan yksikössä g/kWh, jolloin ne ovat asiakkaiden helposti sovellettavissa.

Tarkastelussa laskettiin hiilidioksidiekvivalenttipäästöt eli myös muodostuneet metaani- ja typpioksiduulipäästöt huomioitiin ja muunnettiin vastaamaan hiilidioksidin ilmastovaikutusta GWP-kertoimien avulla. Metaani- ja typpioksiduulipäästöjen huomioiminen on perusteltua, sillä esimerkiksi Tilastokeskus käyttää Suomen kasvihuonekaasuinventaarioissa yhteismitallistettuja hiilidioksidiekvivalenttiarvoja Ilmastopimuksen raportointiohjeiden mukaan. Tilastokeskus on soveltanut viimeisimmässä inventaariossa IPCC:n neljännen arviointiraportin GWP-kertoimia. (Tilastokeskus 2017c) Tässä työssä GWP-kertoimina sovellettiin IPCC:n tuoreimman eli viidennen raportin mukaisia kertoimia, sillä GHG-protokollassa kehoitetaan käyttämään tuoreimpia julkaistuja arvoja. Tällöin kertoimet ovat yhtenevät koko työssä.

6.2 Aineisto ja käytettävät tutkimusmenetelmät

Kirjallisuuskatsaus ja menetelmien keräys suoritettiin käyttäen hyväksi laajasti erilaisia lähteitä. Pääpaino oli verkkolähteissä, sillä työn aihepiiri on suhteellisen nopeasti muuttuvaa tietoa etenkin monien taustatietojen (päästöjen määrät, päästökauppa jne) osalta. Tiedot kaikista käytetyistä polttoaineista kerättiin Kuopion Energian tilastoinnista vuodelta 2016. Laskennassa käytettiin Tilastokeskuksen Polttoaineluokitus 2016 –taulukosta saatavia tietoja (liite 4), IPCC:n GWP-kertoimia (liite 3) sekä Päästötiedon tuottamismenetelmät –raportin kertoimia metaani- ja dityppimonoksidipäästöjen syntymiselle (liitteet 1 ja 2). Tieto muista yrityksistä kerättiin yhteydenotoilla sähköpostitse sekä yritysten nettisivuilta. Muiden maiden menetelmistä tieto on kerätty verkko- ja kirjallisuuslähteistä.

Menetelmäkohtaisesta aineistosta primäärienergiamenetelmässä käytettävät kertoimet valittiin ”Kaukolämmön CO₂-päästöjen laskentamenetelmät päätöksenteon työkaluina” –raportin (Pasanen ym. 2013) mukaan. GHG-menetelmässä tarvittavat tiedot (Scope 2, Scope 3) on kerätty Kuopion Energian henkilökunnan avulla (Seppälä ym. 2017). Kaikki kuljetuksen päästöt on laskettu VTT:n LIPASTO-liikenteen päästöt –tietokannan avulla. Liitteessä 6 on esitetty käytetyt LIPASTO-tietokannasta kerätyt arvot.

6.3 Hiilidioksidipäästöjen laskenta

Vuonna 2016 Kuopion Energian Haapaniemen voimalaitoksilla tuotettiin 994,9 GWh lämpöä ja 318 GWh sähköä. Lämpökeskuksissa tuotettiin 21,5 GWh lämpöä, joten yhteensä lämpöä tuotettiin 1016,4 GWh. Tuotetun energian määrät ovat nettoarvoja.

6.3.1 Suorat poltosta aiheutuneet päästöt

Suorat poltosta aiheutuneet päästöt laskettiin vuoden 2016 polttoainetietoja sekä Tilastokeskuksen Polttoaineluokitus 2016 –raportin tietoja käyttäen. Yhteistuotannolle Haapaniemi 2 – ja Haapaniemi 3 –voimalaitoksilla määriteltiin poltosta aiheutuneiden päästöjen summa. Lämpökeskuksissa muodostuneet päästöt määritettiin erikseen.

Poltosta aiheutuneet hiilidioksidipäästöt Haapaniemen voimalaitoksella vuonna 2016 olivat 248 993 tCO₂. Koska päästöt määritettiin hiilidioksidiekvivalentteina, huomioitiin hiilidioksidipäästöjen lisäksi poltosta aiheutuneet metaani- ja dityppimonoksidipäästöt. Päästötietojen tuottamismenetelmät –raportista saatiin kullekin polttoaineelle metaanin ja dityppimonoksidin muodostumiskerroin kg/TJ. Metaani- ja dityppimonoksidipäästöjä laskettaessa huomioitiin myös biopolttoaineiden poltosta syntyvät päästöt, sillä teoria siitä, että biopolttoaineiden kasvatusta sitoo saman verran hiiltä kuin poltossa on syntynyt, on perusteltu ainoastaan hiilidioksidille. Metaanipäästöjä Haapaniemen voimalaitoksella syntyi tarkasteluajana 15,94 tonnia, joka muunnettuna vastaamaan hiilidioksidin lämmityspotentiaalia on 446,33 t CO_{2ekv.}. Dityppimonoksidipäästöjä puolestaan syntyi 25,01 tonnia, joka vastaa 6627,07 t CO_{2ekv.}. Kokonaispäästöt tällöin olivat 256 066 t CO_{2ekv.}. Varsinaiset hiilidioksidipäästöt muodostivat 97,2 % hiilidioksidiekvivalenttipäästöistä. Päästöt on koottuna taulukkoon 9.

Taulukko 9. Haapaniemen voimalaitosten suorat päästöt 2016.

Päästö	t	GWP-kerroin	tCO _{2ekv.}	Osuus kaikista ekvivalenttipäästöistä [%]
Hiilidioksidi	248 993	1	248 993	97,2
Metaani	15,94	28	446	0,2
Dityppimonoksidi	25,01	265	6627	2,6
Yhteensä			256 066	100

Lämpökeskusten päästöt muodostuvat raskaan ja kevyen polttoöljyn poltosta. Lämpökeskuksissa syntyi vuonna 2016 hiilidioksidipäästöjä 3279,82 tonnia. Metaanipäästöjä lämpökeskuksissa syntyi tarkasteluaikana 42,48 kg, joka muunnettuna vastaamaan hiilidioksidin lämmityspotentiaalia on 1189,44 kgCO_{2ekv}. Dityppimonoksidipäästöjä syntyi myös 42,48 tonnia, joka vastaa 11 257,2 kgCO_{2ekv}. Kokonaispäästöt tällöin olivat 3 291,82 t CO_{2ekv}. Lämpökeskuksissa tuotettiin lämpöä 21,5 GWh:a vuonna 2016.

6.3.2 Yhteistuotannon päästöjen allokointi

Yhteistuotannon suorat päästöt allokointiin käyttäen hyödynjakomenetelmää sekä energiamenetelmää. Lisäksi suorat päästöt jaettiin sähkön ja lämmön kesken käyttäen Efficiency-menetelmää GHG-menetelmän Scope 1:tä varten ja myös GHG:n kokonaispäästöjä varten. Allokoinnin tuloksena saatiin kolme eri kerrointa sekä sähkölle että lämmölle riippuen käytetystä menetelmästä. GHG-menetelmän allokoinnin tulokset esitetään GHG-menetelmän laskelmia käsittelevässä kappaleessa 6.3.4.

Hyödynjakomenetelmä perustuu sähkön ja lämmön erillistuotantojen hyötysuhteisiin. Hyödynjakomenetelmällä allokointiin sovellettiin yhtälöitä 5, 6, 7 ja 8. Vaihtoehtoisen energiantuotannon polttoaineen kulutukset laskettiin yhtälöillä 5 ja 6.

$$F'_e = \frac{318 \text{ GWh}}{0,39} = 815,385 \text{ GWh}$$

$$F'_h = \frac{1016,5 \text{ GWh}}{0,9} = 1129,333 \text{ GWh}$$

Päästöt määritettiin yhtälöillä 7 ja 8

$$F_e = \frac{815,385 \text{ GWh}}{815,385 \text{ GWh} + 1129,333 \text{ GWh}} \times 256 \text{ 066 t} = 107 \text{ 363,8 t}$$

$$F_h = \frac{1129,333 \text{ GWh}}{815,385 \text{ GWh} + 1129,333 \text{ GWh}} \times 256 \text{ 066 t} = 148 \text{ 702,2 t}$$

CHP-tuotannossa poltossa muodostuneet päästöt olivat sähkölle 107 363,8 tCO_{2ekv} ja lämmölle 148 702,2 tCO_{2ekv}. Hyödynjakomenetelmällä allokoidulla yhteistuotannon laskennalliseksi polttoaineen kulutukseksi saatiin sähkölle 601,9 gigawattituntia ja

lämmölle 833,6 gigawattituntia käytettäessä erillistuotannon hyötysuhteina sähkölle 39 % (lauhdetuotanto) ja lämmölle 90 % (vesikattilalämpö). Laskennalliset polttoaineen kulutukset saatiin laskemalla vaihtoehtoisella menetelmällä sähköntuotantoon käytetyn polttoaineen osuus kaikesta vaihtoehtoisilla menetelmillä käytetystä polttoaineesta ja kertomalla se todellisella yhteistuotannon polttoaineen kulutuksella ja vastaavasti lämmölle. Hyödynjakomenetelmän mukaan yhteistuotannon polttoaineet ja päästöt jakautuivat siten 42 % sähkölle ja 58 % lämmölle. Päästökertoimet laskettiin jakamalla allokoinnin tuloksena saadut päästömäärät tuotetulle energialle. Päästökerroin tuotetulle sähkölle oli siten 337,6 g/kWh ja CHP-tuotannolla tuotetulle lämmölle 146,3 g/kWh. Kun lämpökeskuksissa tuotettu lämpö (21,5 GWh) ja lämpökeskuksissa muodostuneet päästöt (3291,8 CO_{2ekv}.t) huomioitiin lämmön päästökertoimessa, sen arvo oli 146,4 g/kWh.

Energiamenetelmällä allokoidulla CHP-tuotannon polttoaineet ja päästöt jaettiin samassa suhteessa kuin energia on tuotettu. Energiamenetelmällä allokointiin käytettiin yhtälöitä 9 ja 10:

$$F_e = \frac{318 \text{ GWh}}{318 \text{ GWh} + 1016,4 \text{ GWh}} \times 256 \text{ 066 t} = 61 \text{ 022,9 t}$$

$$F_h = \frac{1016,4 \text{ GWh}}{318 \text{ GWh} + 1016,4} \times 256 \text{ 066 t} = 195 \text{ 043,1 t}$$

Energiamenetelmän mukaan yhteistuotannon polttoaineet ja päästöt jakautuivat vuonna 2016 yhteistuotannolla tuotettujen energioiden suhteessa 24 % sähkölle ja 76 % lämmölle. Poltossa muodostuneet päästöt olivat siten sähkölle 61 022,9 tCO_{2ekv}. ja lämmölle 195 043,1 tCO_{2ekv}. Päästökertoimet laskettiin jakamalla allokoinnin tuloksena saadut päästömäärät tuotetulle energialle. Päästökerroin tuotetulle sähkölle oli siten 191,9 g/kWh ja CHP-tuotannolla tuotetulle lämmölle sama kuin sähkölle 191,9 g/kWh. Kun lämpökeskuksissa tuotettu lämpö (21,5 GWh) ja lämpökeskuksissa muodostuneet päästöt (3291,8 CO_{2ekv}.t) huomioitiin lämmön päästökertoimessa, sen arvo oli 191,1 g/kWh.

Efficiency-menetelmä on GHG-menetelmässä käytettävä allokointimenetelmä. Allokointi Efficiency-menetelmällä on esitetty GHG-menetelmää käsittelevässä kappaleessa 6.3.4.

6.3.3 Primäärienergiamenetelmä

Primäärienergiamenetelmällä määritetään yhteistuotannolla tuotetun kaukolämmön päästökerroin. Primäärienergiamenetelmä toimii allokointimenetelmänä, mutta eroaa muista allokointimenetelmistä kerrannaisvaikutusten huomioinnin osalta. Laskennassa käytetty korvaussähkön primäärienergiasisällön arvo on 2,5 ($f_{P,el}$) (Pasanen ym. 2013). Polttoaineen primäärienergiasisällöt (PRF-kertoimet) on esitetty Taulukossa 7. (Pasanen ym. 2003)

Käytettiin polttoaineille seuraavia PRF-lukuja $f_{p,chp}$: turve 1,2; biopolttoaineet 1,1; öljy 1,35 ja kivihiili 1,2. Yhteistuotannon polttoainekulutus $E_{F,chp}$: turve 649 GWh, puu 781,2 GWh, öljy 3,2 GWh ja kivihiili 2,1 GWh (Kuopion Energia 2016). Yhteistuotantolaitoksen tuottama sähkö, $E_{el,chp}$, oli 318 GWh (Kuopion Energia 2017).

Kaukolämmön osuus yhteistuotannon päästöistä laskettiin yhtälöllä 13:

$$\frac{(1,2 \times 649 \text{ GWh} + 1,1 \times 781,2 \text{ GWh} + 1,35 \times 3,2 \text{ GWh} + 1,2 \times 2,1 \text{ GWh}) - 2,5 \times 318 \text{ GWh}}{(1,2 \times 649 \text{ GWh} + 1,1 \times 781,2 \text{ GWh} + 1,35 \times 3,2 \text{ GWh} + 1,2 \times 2,1 \text{ GWh})} = 0,5167$$

Yhteistuotannolla tuotetulle kaukolämmölle allokoitiin tuloksen mukaan 51,7 % polttoaineista ja muodostuvista päästöistä. Yhteistuotannon sähkölle jäi siten 48,3 % polttoaineiden kulutuksesta sekä päästöistä. Saadut osuudet kerrottiin kokonaispäästöjen määrällä. Tällöin tuotetun sähkön päästöt olivat 123 679,9 CO_{2ekv} ja tuotetun lämmön (CHP) päästöt olivat 132 386,2 CO_{2ekv} . Päästökertoimeksi CHP-tuotannolla tuotetulle lämmölle saatiin 130,3 g/kWh. Päästökerroin tuotetulle sähkölle oli siten 388,9 g/kWh. Kun lämpökeskuksissa tuotettu lämpö (21,5 GWh) ja lämpökeskuksissa muodostuneet päästöt (3291,8 $\text{CO}_{2ekv.t}$) huomioitiin lämmön päästökertoimessa, sen arvo oli 130,7 g/kWh.

6.3.4 GHG-menetelmä

GHG-menetelmällä määritetään päästöt kolmessa kategoriassa: Scope 1, Scope 2 ja Scope 3 (katso kuvat 10 ja 11). Prosessin eri kohdissa syntyvät päästöt lasketaan yhteen. GHG-menetelmässä päästöjen allokointiin hyödynnettiin Efficiency-menetelmää.

Scope 1:n päästöt sisältävät yhteistuotannossa poltosta aiheutuneet suorat päästöt sekä lämpökeskusten päästöt. Kokonaispäästöt on määritetty kappaleessa 6.3.1 Suorat

poltosta aiheutuneet päästöt. Kokonaisuudessa Haapaniemen voimalaitoksen päästöt olivat vuonna 2016 256 066 tCO_{2ekv.} Lämpökeskusten päästöt vuonna 2016 olivat yhteensä 3291,8 tCO_{2ekv.}. Efficiency-menetelmää eli kaavoja 11 ja 12 sovellettiin CHP-tuotannon suorien päästöjen allokointiin:

$$E_H = \frac{\frac{1016,4 \text{ GWh}}{0,8}}{\frac{1016,4 \text{ GWh}}{0,8} + \frac{318 \text{ GWh}}{0,35}} \times 256 \text{ 066 t} = 149 \text{ 298,4 t}$$

$$E_P = 256 \text{ 066 t} - 149 \text{ 298,4 t} = 106 \text{ 767,6 t}$$

Jolloin saatiin CHP-tuotannon sähkön päästöiksi 106 767,6 CO_{2ekv.}tonnia ja lämmön päästöiksi 149 298,4 CO_{2ekv.}tonnia.

Scope 2:n päästöihin kuuluu yrityksen oma sähkönkäyttö. Kuopion Energian vuoden 2016 omakäyttösähkö voimalaitoksen osalta oli 54 446,5 MWh sisältäen 5401,5 MWh voimalaitoksen alueella olevien kaukolämpöpumppujen kuluttamaa energiaa. Lisäksi lämpökeskuksissa kului 78,9 MWh:a sähköä sekä välipumppaamoissa 538,7 MWh. Yhteensä omakäyttösähkö vuonna 2016 oli 55 064,1 MWh. Käytetty sähkö oli Kuopion Energian oman tuotannon sähköä. Koska kaikki käytetty sähkö on peräisin omasta tuotannosta, on sen päästöt huomioitu jo Scope 1 päästöissä. Scope 2 päästöt saivat siten arvon 0, jotta samoja päästöjä ei huomioitu kahteen kertaan.

Scope 3:n päästöihin kuuluvat elinkaaren aikaiset päästöt. Scope 3:een kuuluvat päästöt on koottu laskelmien jälkeen taulukkoon 12. Suurin osa Kuopion Energian elinkaariiperusteisista päästöistä aiheutuu turpeen tuotannosta, puupolttoaineiden tuotannosta, rankahakkeen varastoinnista ja polttoaineiden kuljetuksesta voimalaitokselle. Kuopion Energian oma turvetuotanto kattoi vuonna 2016 noin 22 % kaikesta voimalaitoksella poltetusta turpeesta. Biopolttoaineiden osalta päästöjä muodostui hakkeen ja kantomurskeen valmistuksesta, biopolttoaineiden kuljetuksesta voimalaitokselle sekä rankahakkeen varastoinnista syntyvistä metaanipäästöistä. Biopolttoaineista osa (puru, kutterinpuru ja kuori) muodostuvat sahateollisuuden sivutuotteina, joten niiden valmistuksesta aiheutuvia päästöjä ei huomioitu, koska niitä ei varsinaisesti valmisteta energiantuotannon polttoaineeksi. Fossiilisista polttoaineista Kuopion Energiolla käytetään kevyttä ja raskasta polttoöljyä sekä kivihiiltä. Vuonna 2016 näistä kolmesta kuljetettiin voimalaitokselle vain kevyttä polttoöljyä.

Voimalaitoksen käyttöön kuljetettiin lisäksi hiekkaa sekä kemikaaleja (kalkki, lipeä, urea) 70–330 kilometrin etäisyyksiltä. Tuhkan ja pesurin lietteen kuljetuksesta pois voimalaitokselta aiheutui päästöjä. Päästöjä syntyi lisäksi voimalaitoksen alueella toimivista tuotantoautoista.

Turpeen käytöstä aiheutuvia elinkaariperusteisia päästöjä muodostuu turvetuotantokentän päästöistä, turpeen varastoinnista, työkoneista, turpeen kuljetuksesta ja lopulta turpeen poltosta. Taulukosta 10 nähdään turpeen elinkaaren aikaiset päästöt hiilidioksidiekvivalentteina grammoina megajoulea kohden.

Taulukko 10. Turpeen elinkaaren aikaiset päästöt tuotannon osalta hiilidioksidiekvivalentteina (mukailten Leinonen 2010).

Tuotanto	Hiilidioksidi [gCO ₂ ekv./MJ]	Metaani [gCO ₂ ekv./MJ]	Typpioksiduuli [gCO ₂ ekv./MJ]
Tuotantokentän päästöt	6,84	0,082	0
Turvevarastojen päästöt	1,48	0	0
Työkoneet	1	0	0
Yhteensä	9,32	0,082	0

Turvetuotannon päästöiksi saatiin 9,402 gCO₂ekv./tuotettu MJ (taulukosta 10). Turvetta käytettiin vuonna 2016 yhteensä 2336,37 TJ. Käytetyn turpeen tuotannosta aiheutuneet hiilidioksidiekvivalenttipäästöt vuonna 2016 olivat siten 21 966,5507 tCO₂ekv. Turpeen kuljetusmatkat tuotantoalueilta voimalaitokselle vaihtelivat 60–250 kilometrin välillä. Yhteensä turvetta kuljetettiin 702 150 kilometriä. CO₂ekv.-päästöiksi kuljetuskilometrille käytettiin VTT:n Lipasto-tietokannasta saatua arvoa 1260 gCO₂ekv. Turpeen kuljetuksesta muodostuneet päästöt vuonna 2016 olivat yhteensä 884 709 kgCO₂ekv.

Biopolttoaineiden käytöstä aiheutuvia elinkaariperusteisia päästöjä syntyy niiden valmistuksesta, kuljetuksesta sekä varastoinnista. Kuopion Energian käyttämistä biopolttoaineista varsinaisesti polttoaineeksi valmistetaan ranka- ja metsätähdehakteet sekä kantomurske. Lisäksi päästöjä syntyy työkoneiden käytöstä. Biopolttoaineiden valmistuksen päästöt perustuvat Metlan työraportteja 240 (2012) tietoihin tuottavuus- ja polttoaineenkulutusarvoihin hakkeen ja murskeen valmistukselle. Dieselin päästökertoimena käytettiin 2,63 kgCO₂ekv./l (LIPASTO, VTT). Tuottavuus- ja

polttoainekulutustiedot on esitetty taulukossa 11. Biopolttoaineiden tilavuuden laskemiseksi käytettiin muuntokerrointa 12,5 irto-m³, joka vastaa 10 000 kWh energiaa (Bioenergianeuvoja 2017).

Taulukko 11. Hakkeen ja murskeen valmistuksen tuottavuus- ja polttoaineenkulutusarvoja (Metla 2012).

	Tuottavuus	Polttoaineen / Sähkönkulutus
Kaato ja kasaus, hakkuukone	m ³ /h	litraa/h
<i>kokopuu</i>	6,5	11,0
<i>karsittu ranka</i>	5,5	11,0
Kannonnosto, kaivinkone	m ³ /h	litraa/h
<i>kannot</i>	10,0	18,0
Metsäkuljetus, metsätraktori	m ³ /h	litraa/h
<i>kokopuu</i>	11,8	9,0
<i>karsittu ranka</i>	13,0	9,0
<i>hakkuutähteet</i>	10,6	10,0
<i>kannot</i>	7,0	10,0
Tienvarsi- ja terminaalihakkuri	i-m ³ /h	litraa/i-m ³
<i>kokopuu, hakkuutähteet</i>	80	0,5
<i>karsittu ranka</i>	100	0,5
Käyttöpaikkamurskain	i-m ³ /h	kWh/i-m ³
<i>kokopuu, karsittu ranka</i>	200	1,1
<i>hakkuutähteet</i>	200	0,9
<i>kannot</i>	200	1,0
Kaukokuljetus, täysperävaunurekka	kuormakoko, m ³	polttoaineen kulutus, l/100km tyhjänä – täynnä
<i>kokopuu</i>	30	40,0–51,0
<i>karsittu ranka</i>	48	40,0–51,0
<i>hakkuutähteet, kannot</i>	25	40,0–51,0
<i>hakkeena</i>	44	40,0–51,0

Rankahakkeen osalta huomioitiin hakkuukoneen polttoaineen kulutus (581 302 l), metsäkuljetus (201 220 l) ja haketus (783 975 l). Dieselin päästökertoimen avulla lasketut rankahakkeen valmistuksen päästöt olivat yhteensä 2061,854 tCO_{2ekv}. Metsätähdehakkeen osalta huomioitiin metsäkuljetus (265 225 l) ja haketus (1 757 l). Dieselin päästökertoimen avulla lasketut metsätähdehakkeen valmistuksen päästöt olivat yhteensä 702,162 tCO_{2ekv}. Kantomurskeen osalta huomioitiin kannonnoston polttoaineen kulutus (159 705 l), metsäkuljetus (126 750 l) ja murskaus (434,63 l). Dieselin päästökertoimen avulla lasketut kantomurskeen valmistuksen päästöt olivat yhteensä 754,543 tCO_{2ekv}. Yhteensä metsätähde- ja rankahakkeen sekä kantomurskeen

valmistuksesta syntyi päästöjä 3 581 559,7 kgCO_{2ekv}. Biopolttoaineiden kuljetusmatkat vaihtelivat 80–100 kilometrin välillä. CO_{2ekv}-päästöiksi kuljetuskilometrille käytettiin VTT:n Lipasto-tietokannasta saatua arvoa 1260 gCO_{2ekv}. Biopolttoaineiden kuljetuksesta muodostui vuonna 2016 päästöjä 931 261 kgCO_{2ekv}.

Puupolttoaineista ainoastaan rankahaketta varastoidaan niin kauan voimalaitoksella, että siitä syntyy päästöjä. Wihersaaren (2005) mukaan hakkeen varastoinnista muodostuu päästöjä 58-144 kgCO_{2ekv}/6kk varastoitu MWh. Rankahaketta arvioitiin varastoitavan vuoden aikana noin 60-70 GWh:a kuuden kuukauden ajan. Näillä lähtöarvioilla rankahakkeen varastoinnista arvioitiin syntyneen päästöjä 3 480 000–10 080 000 kgCO_{2ekv}. Päästölaskelmissa valittiin käytettäväksi keskiarvoa 6 780 000 kgCO_{2ekv}, sillä arvioiden ääripäät vaihtelevat suuresti toisistaan.

Varsinaisista Kuopion Energian käyttämistä fossiilisista polttoaineista ainoastaan kevyttä polttoöljyä kuljetettiin vuonna 2016. Polttoöljyn kuljetuksesta muodostui päästöjä 1 572 kgCO_{2ekv}.

Tuotantoautojen (2kpl) polttoaineen kulutukseksi vuoden aikana arvioitiin noin 29 200 litraa, jolloin dieselin päästökertoimella saatiin kokonaispäästöiksi 76 854 kgCO_{2ekv}.

Hiekan ja kemikaalien kuljetusmatkat vaihtelivat 8–17 kilometrin välillä. CO_{2ekv}-päästöiksi kuljetuskilometrille käytettiin VTT:n Lipasto-tietokannasta saatua arvoa 1260 gCO_{2ekv}. Hiekan kuljetuksesta muodostui päästöjä yhteensä 3 024 kgCO_{2ekv}. Kemikaalien kuljetuksesta muodostui päästöjä 12 096 kgCO_{2ekv}.

Tuhkan ja lietteen kuljetusmatka on 32 kilometriä. Kuljetuskilometrejä kertyi 30 720 km vuonna 2016. CO_{2ekv}-päästöiksi kuljetuskilometrille käytettiin VTT:n Lipasto-tietokannasta saatua arvoa 897 gCO_{2ekv}. Hiekan ja lietteen kuljetuksesta muodostui päästöjä 27 556 CO_{2ekv}.kg.

Taulukko 12. GHG-menetelmän Scope 3:n päästöt.

Päästön lähde	Päästö määrä [CO_{2ekv}.kg]	Muuta huomioitavaa
turpeen kuljetus	884 709	
turvetuotanto	21 966 550	
biopolttoaineiden kuljetus	931 261	
hakkeen valmistus	3 518 560	

rankahakkeen varastointi voimalaitoksella	6 780 000	60-70 GWh varastossa 6 kk Päästön arvio
öljyn kuljetus	1 572	Raskasta polttoöljyä ei kuljetettu vuonna 2016
kivihiilen kuljetus	0	Ei kuljetettu ollenkaan vuonna 2016
tuhkan ja pesurin lietteen kuljetus	27 556	Tuhka hyötykäyttöön
tuotantoautojen ajo (2kpl)	76 854	
hiekan kuljetus	3 024	
kemikaalien kuljetus (kalkki, urea, lipeä, ammoniakkivesi) yhteensä	12 096	
työ- ja liikematkat	0	
Yhteensä Scope 3 päästöt	34 202, 18 t	

Scope 3 -kategoriaan kuuluvien työ- ja liikematkojen päästöt on vaikea arvioida. Niistä syntyvät päästöt ovat kuitenkin suhteessa Scope 3:n kokonaispäästöihin luultavasti melko pienet. Päästökertoimen suuruuden kannalta näiden päästöjen huomiotta jättämisellä ei liene suurta merkitystä, kun vielä huomioidaan se, että kokonaisuudessaankin Scope 3:n päästöjen osuus GHG-menetelmällä saadusta päästöistä noin 11,8 %.

Kun Scope 1:n ja 3:n päästöt laskettiin yhteen, kokonaispäästöiksi saatiin 290 268,18 CO_{2ekv}.tonnia. Päästöt allokoitiin Efficiency-menetelmällä sähkölle ja lämmölle käyttäen yhtälöitä 11 ja 12:

$$E_H = \frac{\frac{1016,4 \text{ GWh}}{0,8}}{\frac{1016,4 \text{ GWh}}{0,8} + \frac{318 \text{ GWh}}{0,35}} \times 290 268,18 t = 169 239,9 t$$

$$E_P = 290 268,18 t - 169 239,9 t = 121 028,3 t$$

Sähkön kokonaispäästöiksi saatiin 121 028,3 CO_{2ekv}.tonnia ja lämmölle 169 239,9 CO_{2ekv}.tonnia. Tuotetun sähkön päästökertoimeksi saatiin 380,6 g/kWh ja kun lämpökeskuksissa tuotetut energia (21,5 GWh) ja päästöt (3291,8 CO_{2ekv}.t) huomioitiin, lämmön päästökertoimeksi saatiin 166,2 g/kWh.

6.3.5 Tuotekohtainen tarkastelu

Tuotekohtaisessa tarkastelussa lämmön osalta muodostuu kaksi ryhmää: 1) Yleis eli yhteistuotannolla ja lämpökeskuksissa tuotettu lämpö ja 2) Puu- ja Tarkkatuotteet, jotka ovat biopolttoaineella tuotettua lämpöä. Kuopion Energian asiakkailta on mahdollisuus vaikuttaa oman ostamansa energian päästöihin valitsemalla biopolttoaineella tuotetun energian. Tällä hetkellä biopolttoaineilla tuotetun energian kysyntä on kuitenkin vielä niin pientä, että vaikka polttoainejakauma seuraisi reaaliaikaisesti myydyt biopolttoaineilla tuotetun energian määrää, on myynnistä aiheutuva vaihtelu polttoainejakaumassa pienempi kuin normaali vaihtelu turpeen ja biopolttoaineiden määrässä. Syitä normaaliin polttoainejakauman vaihteluun ovat esimerkiksi puun saatavuudesta, bioteollisuuden muutoksista ja kasvusta sekä turpeen saatavuudesta ja hinnasta johtuvat seikat. Tällä hetkellä myös Yleistuotteen polttoainejakaumasta yli 50 % on biopolttoaineita. Puu- ja Tarkkatuotteiden kysynnän kasvaessa tulevaisuudessa biopolttoaineiden määrän kasvattaminen polttoainejakaumassa on edelleen mahdollista.

Elinkaariperusteisesti tarkasteltuna myös Puu- ja Tarkkalämpötuotteille muodostuu päästöjä. Elinkaariperusteinen päästökerroin voidaan määrittää puutuotteelle, kun otetaan Scope 3 –kategoriasta huomioon biopolttoaineiden elinkaareen liittyvät päästöt ja käytetyn puupolttoaineen määrä. Kun laskettiin yhteen Scope 3 -kategoriasta biopolttoaineiden kuljetus, rankahakkeen varastointi ja hakkeen valmistus saatiin päästöjen summaksi 11 229,82 tCO_{2ekv}. Kun tuhkan ja pesurin lietteen kuljetuksesta, tuotantoautojen ja työkoneiden ajosta ja hiekan ja kemikaalien kuljetuksesta muodostuvista päästöistä allokoitiin polttoainejakauman biopolttoaineiden osuuden (53,2 %) mukaan biopolttoaineiden päästöjen osuus, saatiin 63,59 tCO_{2ekv}. Yhteensä biopolttoaineiden elinkaarenaikaiset päästöt olivat 11 293,41 tCO_{2ekv}. Jos energiaa olisi tuotettu ainoastaan biopolttoaineilla, olisi kaukolämpöä tuotettu 53,2 % yhteistuotannon kaikesta tuotetusta lämmöstä eli 540,72 GWh:a. Tällöin päästökerroin biopolttoaineilla tuotetulle lämmölle olisi 20,9 gCO_{2ekv}/kWh.

7 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

7.1 Tulokset ja niiden analysointi

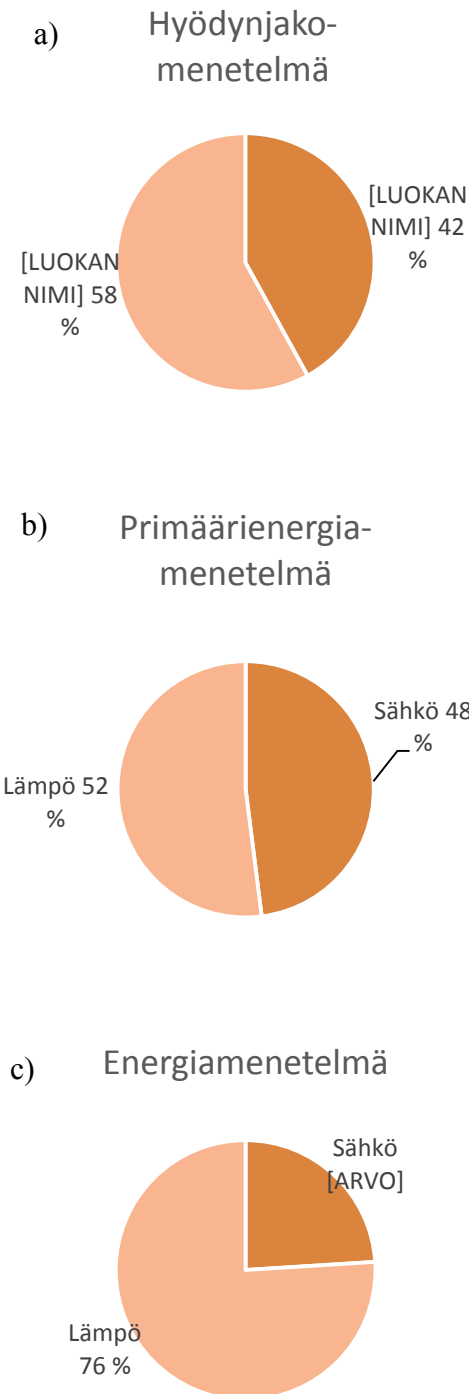
Tulokset ilmoitetaan kaikissa menetelmissä Kuopion Energian Haapaniemen voimalaitoksella ja erillisissä lämpökeskuksissa tuotetulle energialle. Kaikissa päästöissä on huomioitu hiilidioksidiekvivalenttipäästöt. Elinkaariperusteisessa päästölaskennassa verrataan suorien päästöjen osuutta kaikista päästöistä. Tuloksena saadaan allokoitimenetelmien (energia-, hyödynjako- ja primäärienergiamenetelmä) mukaan kolme eri kerrointa tuotetulle sähkölle ja lämmölle. Lisäksi GHG-menetelmällä saadaan kertoimet tuotetulle energialle.

7.1.1 Allokointimenetelmien tulokset

Taulukosta 13 nähdään eri allokointimenetelmillä saadut päästökertoimet. Eri allokointimenetelmien erot päästöjen jakautumisen suhteissa on nähtävissä kuvan 22 ympyrädiagrammeista.

Taulukko 13. Allokoinnin tulokset eri menetelmillä.

Menetelmä	Lämmön päästöt (CHP) [tCO ₂ ekv.]	Sähkön päästöt (CHP) [tCO ₂ ekv.]	Lämmön päästöt (lämpökeskukset) [tCO ₂ ekv.]	Kauko­lämmön päästökerroin [g/kWh]	Tuotetun sähkön päästökerroin [g/kWh]
Energia­menetelmä	195 043,1	61 022,9	3291	191,1	191,9
Hyödynjako­menetelmä	148 702,2	107 363,8	3 291	146,4	337,6
Primääri­energia­menetelmä	132 386,2	123 679,9	3 291	130,7	388,9



Kuva 22. Päästöjen jakautuminen sähkön ja lämmön kesken yhteistuotannossa a) hyödynjakomenetelmällä, b) primäärienergiamentelmällä ja c) energiamentelmällä.

Jos otetaan huomioon kaukolämmön siirrossa tapahtuvat häviöt, päästökertoimet saavat noin 7 %:a suuremman arvon (Lassila 2016) eli, jos halutaan esimerkiksi vertailla toisen yhtiön, jonka päästölaskennassa on otettu huomioon siirtohäviöt, tuottamaan energiaan, tulee saatu päästökerroin kertoa 1,07:llä. Energiamentelmällä saadaan kaukolämmön

päästökertoimeksi tällöin 205,3 g/kWh, hyödynjakomenetelmällä 156,6 g/kWh ja primäärienergiamenetelmällä 139,8 g/kWh.

7.1.2 GHG-menetelmän tulokset

Scope 1:n tulos on sama kuin kappaleessa 6.3.1 saatu suorien poltosta aiheutuneiden päästöjen määrä eli 256 066 CO_{2ekv}.tonnia ja lämpökeskuksille 3291,8 CO_{2ekv}.tonnia. Scope 2:n päästöt katsotaan olevan 0, sillä kaikki luokkaan kuuluva energia on Kuopion Energian omaa tuotantoa, joten päällekkäislaskennan välttämiseksi päästöjä ei huomioida tässä kategoriassa vaan ne on huomioitu jo Scope 1:ssä. Scope 3:n tulos on taulukkoon 10 kerättyjen päästöjen yhteissumma eli 34 202,18 CO_{2ekv}.tonnia. GHG-menetelmän tulokset on koottu taulukkoon 14.

Taulukko 14. GHG-menetelmän tulokset tCO_{2ekv}.

Scope	Päästöt (t CO _{2ekv})
Scope 1. CHP	256 066
Scope 1. Lämpökeskukset	3 291,8
Scope 2.	0
Scope 3.	34 202, 18
Yhteensä	293 559,98

Kaikkien Scope-ryhmien yhteenlaskettujen päästöjen määrä on 293 559,18 CO_{2ekv}.tonnia. Jakamalla päästöt Efficiency-menetelmällä saadaan sähkön päästöiksi 122 400,86 CO_{2ekv}.tonnia ja lämmölle 171 145,5 CO_{2ekv}.tonnia. GHG-menetelmän kaikkiin osiin perustuvat päästökertoimet ovat tuotetulle sähkölle 384,9 g/kWh ja lämmölle 164,9 g/kWh.

7.1.3 Tulosten vertailua

Primäärienergiamenetelmällä saavutettu kaukolämmön päästökerroin on pienempi verrattuna muihin menetelmiin, sillä menetelmässä yhteistuotannon hyöty jakaantuu enemmän lämmölle. Tämä johtuu menetelmässä huomioon otettavasta kerrannaisvaikutuksesta eli yhteistuotannon muuta sähköntuotantoa korvaavasta vaikutuksesta. Energiamenetelmässä taas päästöt jakautuvat eniten käytetyistä menetelmistä lämmölle ja yhteistuotannon hyöty sähkölle johtuen lämmön huomattavasti suuremmasta tuotannosta CHP-tuotannossa. Energiamenetelmää käyttämällä saadaan suurempi lämmön päästökerroin ja pienempi sähkön päästökerroin

verrattuna muihin menetelmiin. Hyödynjakomenetelmällä saavutetut päästökertoimet asettuvat niin kaukolämmön kuin sähkön osalta suuruudeltaan energiamenetelmän ja primäärienergiamenetelmän väliin. Käsitellyistä menetelmistä hyödynjakomenetelmässä yhteistuotannon hyöty jakautuu tasaisimmin molemmille tuotteille.

GHG-menetelmällä saadut päästöt ovat Scope 1 osalta lähes samat kuin hyödynjakomenetelmällä saadut arvot johtuen Efficiency-menetelmän ja hyödynjakomenetelmän samankaltaisuudesta. Kun Scope 2:n ja 3:n epäsuorat päästöt huomioidaan päästöjen kokonaismäärässä, Efficiency-menetelmällä määritetyt päästökertoimet kasvavat noin 13,4 %. Jos tarkastellaan lämmön päästökerrointa, sen arvo kasvaa noin 15g/kWh, kun otetaan huomioon kaikki GHG-menetelmällä määritetyt päästöt.

Työssä tutkittiin millä menetelmillä muut Suomessa toimivat energiayhtiöt ovat määrittäneet päästönsä. Saatuja tietoja käytettiin perustana menetelmän valinnassa, minkä lisäksi valittiin eri menetelmiä käyttävät yhtiöt tulosten vertailuun. Tulosten vertailussa on oltava kuitenkin kriittinen, sillä tarkastelun rajauksissa voi olla eroja. Taulukkoon 15 on koottu vertailtavien yritysten lämmön päästökertoimet.

Taulukko 15. Vertailtavien yritysten päästökertoimet ja käytetyt menetelmät.

Energia-yhtiö	Käytetty menetelmä	Lämmön päästökerroin	Kuopion Energian lämmön päästökerroin vastaavalla menetelmällä
Energiayhtiö 1.	GHG	180	164,9
Energiayhtiö 8.	Hyödynjako	162	146,4
Energiayhtiö 7.	Energia	172	191,1
Energiayhtiö 2.	Primäärienergia	163	130,7

GHG-menetelmällä saavutettuja tuloksia vertaillaan Energiayhtiö 1:n tuloksiin. Energiayhtiö 1 on ilmoittanut tarkasti, miten menetelmää on sovellettu, joten vertailu on luotettavaa tämän menetelmän kohdalla. Energiayhtiö 1 ei kuitenkaan ole ilmoittanut päästökerrointa, joka huomioisi kaikki Scope-luokat vaan ainoastaan Scope 1 perustuvat kertoimet. Energiayhtiö 1 mainitsee kuitenkin Scope 3 luokan muodostavan 19,5 % kaikista kasvihuonekaasupäästöistä. Kuopion Energian GHG-menetelmällä saatu kerroin on silti pienempi, vaikka siinä on huomioitu myös Scope 3 päästöt. Myös hyödynjakomenetelmällä saatu kerroin on pienempi kuin vertailussa olevan energiayhtiö 8:n kerroin. Energiamenetelmällä saatu kerroin on hieman suurempi kuin

vertailuun valitun Energiayhtiö 7:n kerroin. Primäärienergiamenetelmän vertailukohdaksi valittiin Energiayhtiö 2:n kaukolämmön päästökerroin, joka oli vuodelle 2016 163 g/kWh. Energiayhtiö 2:n laskennassa on huomioitu siirron häviöt, joten verrataan Kuopion Energian kaukolämmön päästökertoimeen, jossa on otettu huomioon siirron häviöt. Kun siirron häviöt huomioidaan, Kuopion Energian primäärienergiamenetelmällä saatu sähkön päästökerroin on 107,6 gCO_{2ekv}/kWh. Energiayhtiö 2 ei kuitenkaan ilmoita millä PRF-luvuilla laskenta on saavutettu, eikä myöskään tuotetun sähkön päästökerointa. Täten tuloksien vertailu keskenään ei ole järkevää.

Muualta hankittu sähkö on tuotettu erilaisilla tuotantomenetelmillä, joten asiakkaan soveltaessa päästöjen laskentaansa päästökerointa, on huomioitava, että saatu kerroin on laskettu ainoastaan Haapaniemen voimalaitoksessa tuotetulle sähkölle ja muodostaa vain osan lopullisesta ostetun sähkön päästökertoimesta. Kerrointa laskiessa tulisi huomioida ostosähkön alkuperä. Laskennassa voi soveltaa esimerkiksi Energiaviraston keskimääräistä sähköntuotannon päästökerointa, joka oli vuonna 2014 175,1 g/kWh (Energiavirasto 2017b).

7.1.4 Polttoaineiden suhteen muutoksen vaikutus päästöihin

Kuopion Energian Haapaniemen voimalaitoksilla olisi mahdollista kasvattaa biopolttoaineiden osuutta polttoainejakaumassa ja vähentää samalla päästöjä, sillä tällöin enemmän päästöjä aiheuttavan turpeen osuus polttoainejakaumassa vähenisi. Jos turve polttoaineena korvattaisiin kokonaisuudessaan biopolttoaineilla, poltosta aiheutuneet suorat päästöt pelkän hiilidioksidin osalta vähenisivät huomattavasti. Jos turve korvattaisiin biopolttoaineilla, dityppimonoksidipäästöjen määrä pysyisi melko samana johtuen siitä, että dityppimonoksidin päästökerroin on sama turpeelle ja puupolttoaineille. Metaanipäästöt sen sijaan kasvaisivat, sillä puupolttoaineilla on suurempi metaanin päästökerroin kuin turpeella. Kokonaisuudessaan hiilidioksidiekvivalenttipäästöt pienenisivät kuitenkin huomattavasti johtuen hiilidioksidipäästöjen vähentymisestä. Päätelmissä on käytetty samaa oletusta kuin laskelmissa, eli että biopolttoaineet ovat päästöttömiä, kuten ne ovat päästökaupassa.

Tuleva raskaan polttoöljyn käytön lopettaminen kokonaan ei vaikuta Kuopion Energian kokonaispäästöihin merkittävästi, sillä raskaan öljyn käyttö yhteensä muodostaa vain

pienen osan päästöistä. Vaikutus päästöihin on hyvin pieni etenkin, jos raskaan polttoöljyn käytön lopettaminen lisää kevyen polttoöljyn käyttöä.

7.2 Pohdinta

Tämän työn haastavuudeksi osoittautui hiilidioksidipäästöjen määrittämenetelmien suuri määrä ja vaihtelevuus. Kirjallisuusselvityksessä löytyi paljon erilaisia menetelmiä, mutta mitään ohjeistusta niiden käyttöön ei löytynyt. Sama ongelma nousi esiin kyselyssä muiden energiayhtiöiden määrittämenetelmistä: koska yleistä ohjeistusta kansallisella tasolla ei ole olemassa, kukin yhtiö valitsee itse menetelmän päästökertoimensa määrittämiseen. Tarkkoja ohjeistuksia päästökertoimien määrittämiseen ei löytynyt myöskään tutkittaessa muita CHP-teknologiaa kaukolämmön tuotannossa hyödyntäviä maita.

Yhtenä lähtökohdiana menetelmän valinnassa oli menetelmän yleisyys Suomessa. Toisaalta päästöjen määrittämistä ei haluttu jättää yhden menetelmän varaan johtuen menetelmien eroista. Päästöjen määrittämiseen valittiin kolme eri allokointimenetelmää. Yksi allokointimenetelmä erosi toisista kerrannaisvaikutusten huomioinnin osalta. Allokointimenetelmien lisäksi valittiin yksi elinkaariperusteinen menetelmä. Valinnassa pyrittiin huomioimaan mahdollisimman erilaiset menetelmät, jotka kuitenkin ovat yleisesti käytössä, ja joita soveltavat myös muut energiantuottajat Suomessa. Tulosten avulla myös pohdittiin menetelmien välisiä eroja. Pohdinnat tukivat päästökertoimien määrittämissä huomioon otettavista seikoista yhtä tärkeintä: päästökeroita tarkasteltaessa on aina syytä huomioida, millä menetelmällä kerroin on määritetty.

Energiaa hankkivan asiakkaan näkökulmasta määrittämenetelmien vaihtelevuus ei ole toivottavaa, sillä energiantuottajien vertailua ei voida suorittaa suoraan päästökertoimia vertailemalla, jos niiden laskentaan on käytetty eri menetelmiä. Päästökertoimien määrittämissä saavutettu tulos vaihtelee suuresti paitsi käytettävän menetelmän, myös tarkastelurajauksen mukaan. Kysyntä ja tarve tiedolle päästöjen määrästä energian yksikköä kohden on kuitenkin selkeä. Ympäristötietoisuus kasvaa päivä päivältä ja energiayritysten paineet päästöjen tarkasta ja perustellusta ilmoittamisesta kasvavat. Kappaleessa 7.1.3 vertailtiin tässä työssä laskettuja päästökertoimien arvoja muihin eri yrityksissä samoilla menetelmillä määritettyihin arvoihin. Esimerkiksi primäärienergiamenetelmällä määritettyjä kertoimia oli hankala vertailla keskenään,

sillä vertailussa oleva toinen energiayhtiö ei ollut ilmoittanut tarkasti menetelmän sovelluksen kannalta olennaisia tekijöitä. Tästä huomataan, että vaikka määritysmenetelmä on yhtenäinen, voi eroja silti syntyä tuloksissa, jos soveltamisessa on valinnaisia kohtia. Päästöjen määritykseen löytyy paljon työkaluja, mutta yhden yhtenevän menetelmän käyttöönotto ja soveltaminen, edes Suomen tasolla, olisi arvokas uudistus niin energiaa ostavalle kuin tuottavallekin taholle.

Tämän työn perusteella suositeltavana menetelmänä voidaan pitää GHG-menetelmää. GHG-menetelmässä huomioidaan paitsi varsinaiset poltosta aiheutuvat päästöt, myös kaikista energiantuotantoprosessin kannalta olennaisista toimista, kuten esimerkiksi polttoaineiden valmistuksesta, aiheutuvat päästöt. Elinkaarenaikaisten päästöjen huomiotta jättäminen ei ole perusteltua, sillä niiden jättäminen tarkastelurajauksen ulkopuolelle ei poista sitä seikkaa, että niitä todellisuudessa on prosessissa syntynyt. Elinkaarenaikaiset päästöt ovat yhtä lailla osa kokonaispäästöjä kuin varsinaiset poltosta aiheutuneet päästötkin. Päästölaskennan yksi avaintekijä on, että todelliset muodostuneet päästöt huomioidaan laskennassa, eikä päästöjen määrää kasvateta toisaalla jättämällä niitä tarkastelurajauksen ulkopuolelle.

8 YHTEENVETO

Ilmastonmuutos on globaali ongelma, jonka hillitsemiseksi suoritetaan useita toimia niin kansallisesti kuin kansainvälisesti. Energiasektori on merkittävin päästöjen aiheuttaja ja esimerkiksi Suomen kaikista hiilidioksidipäästöistä lähes kolme neljäsosaa oli vuonna 2016 peräisin energiasektorilta. Tärkein ilmastonmuutosta aiheuttava kaasu on hiilidioksidi, jonka lisäksi energiantuotannossa on syytä huomioida syntyvät metaani- ja typpioksiduulipäästöt. Ympäristö- ja ilmastotietoisuus kasvaa koko ajan ja yritykset sekä yksityishenkilöt haluavat tarkkailla omien toimiensa ilmastovaikutusta.

Kokonaislämpöteholtaan yli 20 megawatin energiantuotantolaitokset ovat velvoitettuja ilmoittamaan hiilidioksidipäästönsä päästökauppajärjestelmään. Tämän lisäksi energiayhtiöt voivat määritellä päästökertoimet eli päästöjänsä määrät tuotettua tai toimitettua energiaa kohti. Energiankuluttajat voivat hyödyntää energiayhtiön ilmoittamaa päästökerrointa oman hiilijalanjälkensä määrittämisessä. Päästökertoimien avulla energiantuottajia voidaan vertailla keskenään. Ongelmaksi kuitenkin muodostuu päästökertoimen määrittämismenetelmien suuret erot ja siitä johtuva tuloksien vaihtelevuus.

Yhteistuotannolla tuotetun energian päästökertoimien määrittämisessä merkittävää on, miten polttoaineet ja päästöt jaetaan sähkön ja lämmön kesken. Päästöjen jakamista varten on olemassa useita allokointimenetelmiä. Suomessa käytetyin allokointimenetelmä on hyödynjakomenetelmä, jota käyttävät esimerkiksi Ympäristöministeriö ja Tilastokeskus. Osa menetelmistä huomioi kerrannaisvaikutukset eli yhteistuotannosta saatavan hyödyn energiajärjestelmän tasolla. Osa menetelmistä taas huomioi päästöt tuotteen koko elinkaaren ajalta.

Lähtökohtana tässä työssä oli määrittää Kuopion Energian hiilidioksidipäästökertoimet hiilidioksidiekvivalentteina tuotetulle sähkö- ja lämpöenergialle. Menetelmien valinta suoritettiin huomioimalla muiden Suomessa toimivien energiayhtiöiden päästökertoimen määrittämismenetelmät. Lisäksi arvioitiin muiden CHP-teknologiaa hyödyntävien maiden käyttämiä menetelmiä. Sekä eri yritysten että maiden päästökertoimien määrittämismenetelmiä tutkittaessa huomattiin, että yhtenevää menetelmää on vaikea löytää sekä Suomessa että useimmissa tutkituista maista. Tässä työssä päätettiin määrittää päästökerroin useammalla menetelmällä, jolloin menetelmien

väliset erot tulivat myös tuloksissa esille. Menetelmiksi valittiin allokontimenetelmät hyödynjakomenetelmä, energiamenetelmä ja primäärienergiamenetelmä. Lisäksi valittiin elinkaariperusteinen GHG-menetelmä. Kun tutkittiin muiden yritysten käyttämiä päästökertoimen määritysmenetelmiä, käytetyimmäksi osoittautui hyödynjakomenetelmä, joka valittiin sen perusteella yhdeksi allokontimenetelmäksi. Vertailun vuoksi allokontiin valittiin myös energiamenetelmä, joka on ollut Kuopion Energialla aiemmin käytössä. Standardiin perustuva primäärienergiamenetelmä valittiin, jotta nähtiin miten kerrannaisvaikutusten huomiointi vaikuttaa kaukolämmön päästökertoimeen. GHG-menetelmä valittiin sen elinkaariperusteisuuden vuoksi. GHG-menetelmällä saatujen päästöjen allokontiin käytettiin Efficiency-menetelmää. Tuloksena saatiin 5 erilaista päästökeroa tuotetulle sähkölle ja lämmölle.

Hyödynjakomenetelmällä tuotetun sähkön päästökertoimeksi saatiin 337,6 g/kWh ja lämmön päästökertoimeksi 146,4 g/kWh. Energiamenetelmällä tuotetun sähkön päästökertoimeksi saatiin 191,9 g/kWh ja lämmön päästökertoimeksi 191,1 g/kWh. Primäärienergiamenetelmällä saatiin päästökertoimeksi sähkölle 388,9 g/kWh ja lämmölle 130,7 g/kWh. Koko elinkaaren huomioonottaminen kasvatti kokonaispäästöjä noin 13,4 %. GHG-menetelmällä saatiin elinkaarenaikaiset päästöt huomioon otettuna päästökertoimeksi sähkölle 384,9 g/kWh ja lämmölle 164,9 g/kWh.

Allokointimenetelmillä saaduista päästökertoimien arvoista huomattiin, että primäärienergiamenetelmässä yhteistuotannon hyöty kohdistui lämmölle, mikä näkyi lämmön päästökertoimen suuruudessa. Saatu lämmön päästökero oli pienempi kuin muilla menetelmillä saadut lämmön päästökertoimet. Energiamenetelmässä yhteistuotannon hyöty kohdistui sähkölle johtuen lämmöntuotannon suuremmasta osuudesta CHP-tuotannossa. Hyödynjakomenetelmällä saadut päästökertoimet asettuivat näiden välille eli yhteistuotannon hyöty jakaantui menetelmässä tasaisesti molemmille tuotteille. GHG:n Efficiency-menetelmällä allokoitaessa yhteistuotannon hyöty jakaantui samoin molemmille tuotteille.

Tuloksena saatuja päästökertoimia voidaan vertailla eri energiantuotantoyhtiöiden kesken, jos yhtiöt ovat käyttäneet päästöjensä määrittämiseen jotain samaa menetelmää, jota tässä työssä hyödynnettiin. Vertailussa on kuitenkin huomioitava, onko tarkastelun rajaus ollut molemmilla vertailun osapuolilla samanlainen. Energiankuluttajat voivat hyödyntää päästökeroa oman kokonaisilmastohaitan laskentaan.

Diplomityön teon aikana kävi selväksi, että yhtenevä käytäntö päästöjen määrittämisessä puuttuu niin Suomesta kuin kansainvälisestikin. Yhteinen käytäntö päästökertoimien määrittämisessä helpottaisi eri yritysten energiatuotteiden vertailua keskenään. Suositeltava menetelmä tulevaisuudessa voisi olla esimerkiksi GHG-menetelmä, sillä käsitellyistä menetelmistä se ottaa syntyneet päästöt huomioon tarkemmin kuin muut menetelmät. GHG-menetelmä ei sulje tuotantoketjun eri osissa syntyviä päästöjä tarkastelun ulkopuolelle, vaan saatu tulos kattaa mahdollisimman tarkasti kaikki päästöt, joita energiaa tuotettaessa on todellisuudessa syntynyt.

LÄHTEET

Athena Sustainable Materials Institute, 2017. LCA, LCI, LCIA, LCC: What's the Difference? [verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.athenasmi.org/resources/about-lca/whats-the-difference/> [viitattu 21.2.2017].

Bhatia P., Cummis C., Brown A., Rich D., Draucker L. ja Lahd H. 2011. Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard. World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development. USA. ISBN 978-1-56973-772-9.

Bioenergianeuvoja, 2017. Muuntokertoimet [verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.bioenergianeuvoja.fi/biopolttoaineet/polttopuu/puu/> [viitattu 19.4.2017].

Ecoenergy, 2015. Energiankulutuksesta aiheutuvien kasvihuonekaasupäästöjen raportointi [verkkodokumentti]. Tiivistelmä Greenhouse Gas Protocol Scope 2. Saatavissa: http://www.ekoenergy.org/wp-content/uploads/2014/11/Summary_GHGprotocol_Scope2_Finnish.pdf [viitattu 26.1.2016].

EcoHeat4Cities, 2016. Guidelines for technical assessment of District Heating systems [verkkodokumentti]. Intelligent Energy Europe. Saatavissa: https://www.euroheat.org/wp-content/uploads/2016/04/Ecoheat4cities_3.1_Labelling_Guidelines.pdf [viitattu 20.1.2017].

Energiateollisuus ry, 2014. Turve [verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://energiamaailma.fi/mista-virtaa/turve/> [viitattu 2.3.2017].

Energiateollisuus ry, 2017a. Lämmön ja sähkön yhteistuotanto on energiatehokasta [verkkodokumentti]. Energiantuotanto: Yhteistuotanto. Helsinki. Saatavissa: http://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiantuotanto/yhteistuotanto [viitattu 27.3.2017].

Energiateollisuus ry, 2017b. Energiantuotannon ympäristövaikutukset [verkkodokumentti]. Saatavissa: http://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/ymparisto/energiantuotannon_ymparistovaikutukset [viitattu 10.4.2017].

Energiavirasto, 2016. RES-direktiivit [verkkodokumentti]. Uusiutuva energia: Kestävyyssuhteet. RES-direktiivi. Helsinki. Saatavissa: <https://www.energiavirasto.fi/res-direktiivi> [viitattu 29.1.2017].

Energiavirasto, 2017a. Yleistä päästökaupasta [verkkodokumentti]. Helsinki. Saatavissa: <http://www.energiavirasto.fi/yleista-paastokaupasta> [viitattu 22.3.2017].

Energiavirasto, 2017b. Sähköntuotannon päästökerroin [verkkodokumentti]. Helsinki. Saatavissa: https://www.energiavirasto.fi/sahkontuotannon-paastokerroin?redirect=https%3A%2F%2Fwww.energiavirasto.fi%2Fhome%3Fp_id%3D3%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dmaximized%26p_p_mode%3Dview%26_3_keywords%3Ds%25C3%25A4hk%25C3%25B6ntuotannon%2Bp%25C3%25A4%25C3%25A4st%25C3%25B6kerroin%26_3_struts_action%3D%252Fsearch%252Fsearch%26_3_redirect%3D%252Fhome. [viitattu 6.4.2017].

Energiavirasto, 2017c. Sähkön alkuperätakuu [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.energiavirasto.fi/sahkon-alkuperatakuu>. [viitattu 27.4.2017].

Energy Efficiency Council, 2017. Combined Heat & Power. Best Practice & Emissions Allocation Protocols [verkkodokumentti]. Industry Workshop Report. An Australian Government Initiative. Saatavissa: <http://www.eec.org.au/uploads/images/NEEC/Information%20Tools%20and%20Resources/Workshop%20Report%20CHP%20Best%20Practice%20and%20Emissions%20Allocation.pdf>. [viitattu 29.3.2017].

EU, 2014. Valokeilassa Euroopan unionin ilmastopolitiikka. Ilmastomuutos. Luxemburg: Euroopan Unionin julkaisutoimisto. ISBN 978-92-79-41345-2

EU, 2016a. The EU Emission Trading System (ETS) [verkkodokumentti]. Euroopan komissio: Ilmastotoimet. Saatavissa: https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_fi [viitattu 12.11.2016].

EU, 2016b. EU:n ilmastotoimet [verkkodokumentti]. Euroopan komissio: Ilmastotoimet. Saatavissa: http://ec.europa.eu/clima/citizens/eu_fi. [viitattu 12.11.2016].

EuroHeat, 2015. Country by Country [verkkodokumentti]. 2015 Survey. Saatavissa: <http://www.euroheat.org/wp-content/uploads/2016/03/2015-Country-by-country-Statistics-Overview.pdf> [viitattu 28.3.2017].

Euroopan komissio, 2016. European Platform on Life Cycle Assessment (LCA) [verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://ec.europa.eu/environment/ipp/lca.htm> [viitattu 14.2.2017].

Fang, T., 2016. Modelling District Heating and Combined Heat and Power. Aalto University. Espoo, Suomi. Aalto University publication series. Tohtorintyö 107/2016. 76s s. ISBN 978-952-60-6843-5.

Halmann, M. M. ja Steinberg, M. 1999. Greenhouse gas carbon dioxide mitigation. Science and Technology. Lewis Publishers. 568 s. ISBN 1-56670-284-4.

Harmelink M. ja Bosselaar L., 2017. Allocating CO₂ emissions to heat and electricity [verkkodokumentti]. Netherland Enterprise Agency. Saatavissa: <http://www.harmelinkconsulting.nl/files/2015-09/harmelinkconsulting-ca8d6d8ab68a5197ace66a1969af4957-allocating-co2-emissions-to-heat-and-ele.pdf> [viitattu 12.4.2017].

Hippinen, I., Suomi U., 2012. Yhteenvetojen CO₂-päästöjen laskentaohjeistus sekä käytettävät CO₂-päästökertoimet [verkkodokumentti]. Motiva Oy. Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/8887/CO2-laskentaohje_Yhteenvedot.pdf [viitattu 14.11.2016].

Ilmatieteen laitos, 2017a. Hiilidioksidi ja hiilen kiertokulku. SYKE, Aalto-yliopisto, YTK, Ilmatieteen laitos [verkkodokumentti]. Ilmasto-opas. Saatavissa: <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/1e92115d-8938-48f2-8687-dc4e3068bdbd/hiilidioksidi-ja-hiilen-kiertokulku.html> [viitattu 24.1.2017].

Ilmatieteen laitos, 2017b. Otsoni kasvihuonekaasuna. SYKE, Aalto-yliopisto, YTK, Ilmatieteen laitos [verkkodokumentti]. Ilmasto-opas. Saatavissa: <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/1e92115d-8938-48f2-8687-dc4e3068bdbd/otsoni-kasvihuonekaasuna.html>

opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/27bd3840-7f0a-40d0-82b7-aac1231bec4e/otsoni.html [viitattu 17.4.2017].

IPCC, 2007a. IPCC Fourth Assessment report [verkkodokumentti]. Climate Change 2007. Working Group 1. Saatavissa: https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html [viitattu 28.3.2017]

IPCC, 2007b. Methane [verkkodokumentti]. IPCC Fourth Assessment report. Climate Change 2007. Working Group 1. The Physical Science Basis. Saatavissa: https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html [viitattu 28.3.2017].

IPCC, 2006. Frequently Asked Questions. Intergovernmental Panel on Climate Change [verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/faq/faq.html> [viitattu 2.3.2017].

IPCC, 2014. Fifth assessment report [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/> [viitattu 20.3.2017].

Kontulainen T., 2017. Tiedonanto sähköpostitse. Kuopion Energia Oy.

Kuopion Energia Oy, 2016a. Biopolttoaineet [verkkodokumentti]. Tuotanto: Biopolttoaineet. Saatavissa: <https://www.kuopionenergia.fi/yritys/tuotanto/biopolttoaineet/> [viitattu 19.10.2016].

Kuopion Energia Oy, 2016b. Tuotantolaitokset [verkkodokumentti]. Energiantuotanto: Tuotantolaitokset. Saatavissa: <https://www.kuopionenergia.fi/yritys/tuotanto/tuotantolaitokset/> [viitattu 23.11.2016].

Kuopion Energia Oy, 2016c. Sähkön alkuperä [verkkodokumentti]. Sähkökauppa: Tietoa sähköstämme. Saatavissa: <https://www.kuopionenergia.fi/sahkokauppa/tietoa-sahkostamme/sahkon-alkupera/> [viitattu 23.11.2016].

Kuopion Energia Oy, 2016d. Tietoa meistä [verkkodokumentti]. Yritys: Tietoa meistä. Saatavissa: <https://www.kuopionenergia.fi/yritys/tietoa-meista/> [viitattu 23.11.2016].

Kuopion Energia, 2017. Tunnuslukuja 2016 [verkkodokumentti]. Tietoa meistä. Saatavissa: <https://www.kuopionenergia.fi/yritys/tietoa-meista/avainluvut-2/> [viitattu 4.4.2017].

Laki 61/1994. Ilmastonmuutosta koskeva Yhdistyneiden Kansakuntien Puitesopimus. Saatavissa: http://www.finlex.fi/fi/sopimukset/sopsteksti/1994/19940061/19940061_2#idp3718800 [viitattu 19.4.2017].

Lassila R., 2017. Tiedonanto sähköpostitse. Kuopion Energia Oy 2017.

Leinonen A., 2010. VTT. Turpeen tuotanto ja käyttö. Yhteenveto selvityksistä. VTT tiedotteita 2550. ISBN 978-951-38-7649-4.

Lelek L., Kulczycka J., Lewandowska A., Zarebska J., 2015 Life cycle assessment of energy generation in Poland. The International Journal of Life Cycle Assessment. Vol 21. Issue 1. Pp 1-14.

Leskelä J., 2017. Energiavuosi 2016 – Sähkö [verkkodokumentti]. Energiateollisuus ry. Helsinki. Saatavissa: [http://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/sahkovuosi_2016_-tilaisuus_\(esittelykalvot\).html](http://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/sahkovuosi_2016_-tilaisuus_(esittelykalvot).html) [viitattu 27.3.2017].

Liikanen, J. 1999. Yhdistetyn sähkön ja lämmön tuotannon päästöjen jakaminen. Kauppa- ja teollisuusministeriö: Tutkimuksia ja raportteja 19/1999. 76 s. ISBN 951-739-513-2.

LIPASTO liikenteen päästöt-tietokanta. VTT [verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://lipasto.vtt.fi/>.

Lohiniva, L., 2015. Voimalaitosautomaatio. Oulun yliopisto: Voimalaitosautomaatio-kurssin materiaali.

Metla, 2012 Bioenergia, ilmastonmuutos ja Suomen metsät. Metlan työraportteja 240. Saatavissa: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2012/mwp240.pdf> [viitattu 19.4.2017].

Motiva Oy, 2016a. CO₂-päästökertoimet [verkkodokumentti]. Helsinki: Motiva Oy. Saatavissa: http://www.motiva.fi/taustatietoa/energian kaytto_suomessa/co2-laskentaohje_energiankulutuksen_hiilidioksidipaastojen_laskentaan/co2-paastokertoimet [viitattu 26.10.2016].

Motiva Oy, 2016b. Kaukolämmön erillistuotannon paikkakuntien ryhmäjako ja laskennassa käytettävät ryhmäkohtaiset CO₂-päästökertoimet [verkkodokumentti]. Helsinki: Motiva Oy. Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/11228/Erillistuotannon_paikkakunnat.pdf [viitattu 26.1.2017].

Motiva Oy, 2016c. Lämmöntuotto, kaukolämpö [verkkodokumentti]. Helsinki: Motiva Oy. Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/11228/Erillistuotannon_paikkakunnat.pdf. [viitattu 21.11.2016].

Motiva Oy, 2016d. Puuenergian käyttö [verkkodokumentti]. Helsinki: Motiva Oy. Uusiutuva energia, Bioenergia. Saatavissa: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/bioenergian_kaytto/puu_energian_kaytto [viitattu 2.3.2017].

Motiva Oy, 2016e. Yhteenvedot: Laskentaohjeet: CO₂-päästökertoimet [verkkodokumentti]. Helsinki: Motiva Oy. Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/8887/CO2-laskentaohje_Yhteenvedot.pdf [viitattu 26.10.2016].

Motiva Oy, 2016f. Lämmöntuotto, kaukolämpö [verkkodokumentti]. Helsinki: Motiva Oy. Saatavissa: http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/energiaeksperttitoiminta/lahtotilanteeen_tutustuminen/lammontuotto_kaukolampo [viitattu 30.1.2017].

NASA, 2017a. Carbon dioxide. Global Climate Change [verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/> [viitattu 3.2.2017].

NASA, 2017b. Climate change: How do we know? [verkkodokumentti]. Facts. Saatavissa: <http://climate.nasa.gov/evidence/> [viitattu 16.1.2017].

National Academy of Sciences, 2010. Verifying greenhouse gas emissions. Methods to support international climate agreements. National research council of the national academies. ISBN 978-0-309-15211-2.

Noblis, 2017 Life cycle assessment (LCA) Overview. Sustainable facilities tool. [verkkodokumentti] Saatavissa: <https://sftool.gov/learn/about/400/life-cycle-assessment-lca-overview> [viitattu 28.1.2017].

Nuorkivi A., 2010. Allocation of Fuel Energy and Emissions to Heat and Power in CHP. [verkkodokumentti] Energy-AN Consulting. Saatavissa: http://era17.fi/wp-content/uploads/2012/02/Report-Nordic-CHP-Allocation_Energy-AN-Consulting_2010-9-7.pdf [viitattu 24.1.2017].

Ozone Secretariat, 2017. Handbook for the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer [verkkodokumentti]. UNEP. Saatavissa: <http://ozone.unep.org/en/treaties-and-decisions/montreal-protocol-substances-deplete-ozone-layer> [viitattu 22.2.2017].

Pasanen P., Bruce T. ja Sipari A., 2013. Kaukolämmön CO₂-päästöjen laskentamenetelmät päätöksenteon työkaluina [verkkodokumentti]. Bionova Consulting Oy (Toimeksiantaja: Energiateollisuus ry). Saatavissa: http://www.bionova.fi/sites/default/files/raportti_kaukolammon_co2-paastojen_laskentamenetelmat_paatoksenteon_tyokaluina_20130829.pdf [viitattu 14.4.2017].

Pietiläinen O-P, Seppälä J., 2011. Kasvener-laskentamalli+kehityssuunnitelmat. SYKE, Champ suomalaisten kuntien V työpaja.

Pohjois-Karjalan AMK ja Motiva Oy, 2003. Yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotantoprosessi [verkkodokumentti]. Saatavissa: http://elearn.ncp.fi/materiaali/kainulainens/energiaverkko/energian_tuotanto/tuotantoprosessit/yhdistetty.htm [viitattu 10.3.2017].

Raiko R., Saastamoinen J., Hupa M, Kurki-Suonio I., 2002. Poltto Ja Palaminen. ISBN 9516666043. 750 s.

Ranganathan J., Corbler L., Bhatia P., Schmitz S., Gage P. Ja Oren K. The Greenhouse Gas Protocol., 2004. A Corporate Accounting and Reporting Standard. Revised Edition. World Business Council for Sustainable Development & World Resource Institute. USA: World Resources Institute. 116 s. ISBN 1-56973-568-9

Seppälä J., 2014. Biomassan energiakäyttö [verkkodokumentti]. Syke. Ilmastopaneeli. Tampere: Energiakongressi. Saatavissa: <http://www.ilmastopaneeli.fi/uploads/esitykset/Biomassan%20energiakäyttö.pdf> [viitattu 17.4.2017].

Seppälä P., Voutilainen M., Taskila E., 2017. Suullinen tiedonanto. Kuopion Energia Oy 2017

SYKE, 2013. Alueellinen kasvihuonekaasupäästöjen arviointimalli [verkkodokumentti]. Suomen Ympäristökeskus. Saatavissa: http://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Tutkimus_ja_kehittamishankkeet/Hankkeet/Alueellinen_kaasvihuonekaasupaastojen_arviointimalli_KASVENER [viitattu 13.3.2017].

SYKE, 2005. Päästötietojen tuottamismenetelmät, Energiantuotanto [verkkodokumentti]. Suomen ympäristökeskus & Energia-alan Keskusliitto ry Finenergy. Saatavissa: http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Luvat_ilmoitukset_ja_rekisterointi/Paastotiedon_ilmoittaminen_paastorekistereihin_PRTR/Kansallista_aineistoa [viitattu 3.3.2017].

SYKE, 2013. Y-HIILARI Hiilijalanjälki – työkalun ohje ja laskuri [verkkodokumentti], Suomen Ympäristökeskus. Saatavissa: [http://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Kulutuksen_ja_tuotannon_kestavyys/Laskurit/YHiilari/YHIILARI_Hiilijalanjalki_tyokalun_ohje_\(26181\)](http://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Kulutuksen_ja_tuotannon_kestavyys/Laskurit/YHiilari/YHIILARI_Hiilijalanjalki_tyokalun_ohje_(26181)) [viitattu 2.3.2017].

Särholm E., Jarnehammar A., Hagberg L., Öman A., Ekvall T., 2009. Sustainable cities' energy demand and supply for heating and cooling. Raportti 2009:18. Svensk Fjärrvärme AB. 96 s. ISBN 978-91-7381-033-3.

Tilastokeskus, 2017a. Suomen kasvihuonekaasupäästöt 2015 raportoitu EU:lle ja YK:n ilmastopöytäkirjalle [verkkodokumentti]. Helsinki: Tilastokeskus. Saatavissa:

http://tilastokeskus.fi/til/khki/2015/khki_2015_2017-04-06_tie_001_fi.html [viitattu 11.4.2017].

Tilastokeskus, 2017b. Energiankulutus nousi 2 prosenttia vuonna 2016. [verkkodokumentti]. Saatavissa: http://tilastokeskus.fi/til/ehk/2016/04/ehk_2016_04_2017-03-23_tie_001_fi.html [viitattu 14.4.2017].

Tilastokeskus, 2017c. Suomen kasvihuonekaasupäästöt 2015 [verkkodokumentti]. Saatavissa: http://tilastokeskus.fi/til/khki/2015/khki_2015_2017-04-06_kat_001_fi.html [viitattu 21.4.2017].

Tilastokeskus, 2016. Polttoaineluokitus 2016 [verkkodokumentti]. Tuotteet ja palvelut: Polttoaineluokitus 2016. Helsinki: Tilastokeskus. Saatavissa: http://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html [viitattu 24.3.2017].

Tilastokeskus, 2016b. Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990-2015 [verkkodokumentti]. Saatavissa: http://www.stat.fi/tup/julkaisut/tiedostot/julkaisuluettelo/yymp_kahup_1990-2015_2016_16147_net.pdf [viitattu 13.4.2017].

Tilastokeskus, 2011. Dityppioksidipäästöt Suomessa 1990-2009 [verkkodokumentti]. Helsinki: Tilastokeskus. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/khki/2009/khki_2009_2011-04-28_tau_004_fi.html [viitattu 5.3.2017].

Tilastokeskus, 2012. Metaanipäästöt Suomessa 1990-2010 [verkkodokumentti]. Helsinki: Tilastokeskus. Saatavissa: http://tilastokeskus.fi/til/khki/2010/khki_2010_2012-04-26_tau_004_fi.html [viitattu 5.3.2017].

Tilastokeskus, 2015a. Sähkön ja lämmön tuotanto [verkkodokumentti]. Helsinki: Tilastokeskus. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/salatuo/2015/salatuo_2015_2016-11-02_tie_001_fi.html [viitattu 18.11.2016].

Tilastokeskus, 2015b. Kasvihuonekaasut [verkkodokumentti]. Suomen kasvihuonekaasupäästöt. Helsinki: Tilastokeskus
Saatavissa: http://www.stat.fi/til/khki/2015/khki_2015_2016-05-25_kat_001_fi.htm
[viitattu 22.11.2016].

Tilastokeskus, 2015c. Hiilidioksidipäästöt Suomessa 1990-2009 [verkkodokumentti]. Suomen virallinen tilasto (SVT) Helsinki: Tilastokeskus. Saatavissa: http://tilastokeskus.fi/til/khki/2009/khki_2009_2011-04-28_tau_002_fi.html [viitattu 17.4.2017].

Tilastokeskus, 2005. Kasvihuonekaasut ja ilmastonmuutos [verkkodokumentti]. Saatavissa: http://tilastokeskus.fi/til/khki/2003/khki_2003_2005-05-31_kat_001.html. [viitattu 17.4.2017].

Työ- ja elinkeinoministeriö, 2016. Kansallinen energia- ja ilmastostrategia vuoteen 2030 [verkkodokumentti]. Valtioneuvosto: Työ- ja elinkeinoministeriö. Saatavissa: <http://tem.fi/documents/1410877/2148188/Kansallinen+energia-+ja+ilmastostrategia+vuoteen+2030+24+11+2016+lopull.pdf/a07ba219-f4ef-47f7-ba39-70c9261d2a63> [viitattu 2.12.2016].

Työ- ja elinkeinoministeriö, 2017a. Päästökauppa [verkkodokumentti]. Vastuualueet, Energia. Saatavissa: <http://tem.fi/paastokauppa>. [viitattu 6.3.2017].

Työ- ja elinkeinoministeriö, 2017b. Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030 [verkkodokumentti]. Saatavissa: http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/79189/TEMjul_4_2017_verkk ojulkaisu.pdf?sequence=1 [viitattu 10.4.2017].

Työ- ja elinkeinoministeriö, 2017c. Kauden 2013-2020 ilmaisjako [verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://tem.fi/kauden-2013-2020-ilmaisjako1> [viitattu 10.4.2017].

UNFCCC, 2014. Global Warming Potentials [verkkodokumentti]. United Nations Framework Convention on Climate Change. Saatavissa: http://unfccc.int/ghg_data/items/3825.php [viitattu 3.2.2017].

UNFCCC, 2008. Kyoto Protocol reference manual on accounting of emissions and assigned amount [verkkodokumentti]. United Nations Framework Convention on Climate Change. Saatavissa: https://unfccc.int/resource/docs/publications/08_unfccc_kp_ref_manual.pdf [viitattu 3.11.16].

Wihersaari M., 2005a Aspects on bionenergy as a technical measure to reduce energy related greenhouse gas emissions. VTT Processes, VTT Technical Research Centre of Finland. Espoo: VTT Publications 564. ISBN 951-38-6445-6.

Wihersaari M., 2005b Greenhouse gas emissions from final harvest fuel chip production in Finland. Biomass and Bioenergy. Vol 28 (2005) pp. 435-443.

Wihersaari M., 2005c Evaluation of greenhouse gas emission risks from storage of wood residue. Biomass and Bioenergy. Vol 28 (2005) pp. 444-453.

YK, 1998. Kyoto Protocoll to the United Nations Framework Convention on Climate Change. [verkkodokumentti]. Yhdistyneet kansakunnat. Saatavissa: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf> [viitattu 14.11.2016].

Ympäristöhallinto, 2013. Elinkaariarviointi, jalanjäljet ja panos-tuotosmalli. [verkkodokumentti]. Suomen ympäristökeskus SYKE. Saatavissa: http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus_ja_tuotanto/Tuotesuunnittelu_ja_tuotteet/Elinkaariarviointi_jalanjaljet_ja_panos_tuotosmalli [viitattu 17.2.2017].

Ympäristöministeriö, 2016a. Ilmasto ja ilma. Kansainväliset ilmastoneuvottelut [verkkodokumentti]. Valtioneuvosto: Ympäristöministeriö Saatavissa: http://www.ymparisto.fi/fi-FI/ymparisto/ilmasto_ja_ilma/Ilmastomuutoksen_hillitseminen/Kansainvaliset_ilmastoneuvottelut [viitattu 3.11.2016].

Ympäristöministeriö, 2016b. Ilmasto ja ilma. Kansainväliset ilmastoneuvottelut. Kioton pöytäkirja [verkkodokumentti]. Valtioneuvosto: Ympäristöministeriö Saatavissa: http://www.ymparisto.fi/fi-FI/ymparisto/ilmasto_ja_ilma/Kioton_poytakirja

fi/ymparisto/ilmasto_ja_ilma/Ilmastonmuutoksen_hillitseminen/Kansainvaliset_ilmasto
neuvottelut/Kioton_poytakirja [viitattu 3.11.2016].

Ympäristöministeriö, 2016c. Ilmasto ja ilma. Kansainväliset ilmastoneuvottelut. Pariisin
ilmastosopimus [verkkodokumentti]. Valtioneuvosto: Ympäristöministeriö. Saatavissa:
[http://www.ymparisto.fi/fi-
fi/ymparisto/ilmasto_ja_ilma/Ilmastonmuutoksen_hillitseminen/Kansainvaliset_ilmasto
neuvottelut/Pariisin_ilmastosopimus](http://www.ymparisto.fi/fi-fi/ymparisto/ilmasto_ja_ilma/Ilmastonmuutoksen_hillitseminen/Kansainvaliset_ilmasto_neuvottelut/Pariisin_ilmastosopimus) [viitattu 3.11.2016].

Ympäristöministeriö, 2016. Päästökauppa [verkkodokumentti]. Saatavissa:
[http://www.ymparisto.fi/fi-
FI/Ajankohtaista/Julkaisut/Ymparistolehti/2016/Paastokauppa_tehokkaammaksi\(40718\)](http://www.ymparisto.fi/fi-fi/Ajankohtaista/Julkaisut/Ymparistolehti/2016/Paastokauppa_tehokkaammaksi(40718))
[viitattu 2.3.2017].

Ympäristölupa 34/08/2. Haapaniemen kaukolämpövoimalaitoksen 3. yksikön
ympäristölupa ja toiminnanaloittamislupa, Kuopio. Itä-Suomen ympäristölupavirasto.

Ympäristölupa 86/2014/1. Haapaniemen HP2-voimalaitoksen ympäristöluvan
muuttaminen koskien savukaasupesurin toimintaa ja toiminnanaloittamislupa, Kuopio.
Itä-Suomen aluehallintovirasto.

LIITE 1. Metaanin päästökerroin.

Polttoaine	Polttotekniikka	CH ₄ -päästökerroin ³⁶ kattilan kokoluokan mukaan			Viite
		15 - <50 MW	50 - <150 MW	>150 MW	
		mg/MJ	mg/MJ	mg/MJ	
Hiili >80 %	Arina	4	4	4	1
	Kiertopeti, CFB	1	1	1	3
	Kupliva peti, BFB	1	1	1	3
	Pölypoltto	1	1	1	2, 3
Hiili 50-80%/sekapoltto	Polypoltto/sekatekn.	1	1	1	2
	Arina	4	4	4	1
	Kupliva peti, BFB	1	1	1	3
	Kiertopeti, CFB	1	1	1	3
Öljy >80 %	Poltin	1	1	1	2
Öljy 50-80 %/sekapoltto	Poltin /sekatekniikat	1	1	1	
Maakaasu >80%	Poltin	1	1	1	4 ⁽³⁷⁾
Maakaasu 50-80 % /sekapoltto	Poltinpoltto	1	1	1	
	Pölypoltto		2	2	1
Turve >80 %	Kupliva peti, BFB	3	2	2	2
	Kiertopeti, CFB	5	1	1	1, 2
	Arina	2	2	2	1
Turve 50-80 %/sekapoltto	Kupliva peti, BFB	15	2	2	1,2
	Kiertopeti, CFB	15	2	2	1,2
	Arina, muut	15	2	2	1
Puu >80 % ⁽³⁸⁾	Kupliva peti, BFB	50	30	30	1, 2, 3
	Kiertopeti, CFB	50	30	30	1, 2, 3
	Arina, muut	50	30	30	3
Puu 50-80 %/sekapoltto	Kupliva peti, BFB	35	4	4	1
	Kiertopeti, CFB	35	4	4	1
	Arina, muut	35	20	20	1
Sekapoltto – mitään polttoainetta ei yli 50 %	Poltin	3	2	2	yhd.
	CFB, BFB	15	4	4	yhd.
	Arina, sekatekniikat	15	10	10	1
Kaasuturbiini/öljy		8	8	8	1
Kaasuturbiini/maakaasu		3	3	3	5
Dieselmoottori/ kaasumoottori		2	2	2	1

LIITE 2. Typpioksiduulin päästökerroin.

Polttoaine	Polttotekniikka	N₂O-päästökerroin mg/MJ	Viite
Hiili	Kiertopeti, CFB	70	1
	Kupliva peti, BFB	70	1
	Arina	4	1
	Pölypoltto	1 ⁽²⁸⁾	2
Öljy	Poltinpoltto	1 ⁽²⁹⁾	2
Maakaasu	Poltinpoltto	0.1 ⁽³⁰⁾	3
	Sekatekniikka (arina+poltin)	2	1
Turve	Kiertopeti, CFB	15	2
	Kupliva peti, BFB	2	2
	Arina, pölypoltto, muut	2	2
Puu	Kiertopeti, CFB	10 ⁽³¹⁾	2
	Kupliva peti, BFB	2	2
	Arina, muut	2	2
Monipolttoainekattilat - mitään polttoainetta ei yli 50 %	Kiertopeti, CFB	15	2
	Kupliva peti, BFB	2	2
	Arina, muut	2	2
Kaasuturbiini, maakaasu		1	4
Dieselmoottori/ Kaasumoottori		2	

LIITE 3. GWP-kertoimet (Greenhouse Gas Protocol).

Global warming potential (GWP) values relative to CO₂

Industrial designation or common name	Chemical formula	GWP values for 100-year time horizon		
		Second Assessment Report (SAR)	Fourth Assessment Report (AR4)	Fifth Assessment Report (AR5)
Carbon dioxide	CO ₂	1	1	1
Methane	CH ₄	21	25	28
Nitrous oxide	N ₂ O	310	298	265
Substances controlled by the Montreal Protocol				
CFC-11	CCl ₃ F	3,800	4,750	4,660
CFC-12	CCl ₂ F ₂	8,100	10,900	10,200
CFC-13	CClF ₃		14,400	13,900
CFC-113	CCl ₂ FCClF ₂	4,800	6,130	5,820
CFC-114	CClF ₂ CClF ₂		10,000	8,590
CFC-115	CClF ₂ CF ₃		7,370	7,670
Halon-1301	CBrF ₃	5,400	7,140	6,290
Halon-1211	CBrClF ₂		1,890	1,750
Halon-2402	CBrF ₂ CBrF ₂		1,640	1,470
Carbon tetrachloride	CCl ₄	1,400	1,400	1,730
Methyl bromide	CH ₃ Br		5	2
Methyl chloroform	CH ₃ CCl ₃	100	146	160

LIITE 4 (1). Polttoaineluokitus 2016.

POLTTOAINELUOKITUS 2016

5.2.2016

Koodi	Nimi	Polttoainekohtainen määrä-yksikkö	CO ₂ oletuspäästö-kerroin [t/TJ]	Oletus-hapenainekerroin	Tehollinen (alempi) oletuslämpöarvo käyttötilassa [GJ/yksikkö]	Oletusarvo (4)	Huom!
Fossiiliset polttoaineet							
11 Öljyt							
Kaasut							
1111	Jalostamokaasu	t	54,0	1,0	*	50,0	
1112	Nestekaasu	t	64,9	1,0	*	46,3	0,52
1119	Muu kaasu	t	65,0	1,0	*	8,55	
112 Kevyet öljyt							
1121	Teollisuusbensini	t	72,7	1,0	*	44,3	0,70
1122	Mootoribensini	t	69,6	1,0	*	41,9	0,75
1123	Lentobensini	t	71,3	1,0	*	43,7	0,71
113 Keskiraskaat öljyt							
1131	Lentopetroli	t	73,2	1,0	*	43,3	0,79
1132	Muut petroolit	t	71,5	1,0	*	43,1	0,83
1133	Dieselöljy	t	61,1	1,0	*	42,9	0,83
1134	Kevyt polttoöljy, vähärikkinen	t	73,5	1,0	*	43,0	0,84
1135	Kevyt polttoöljy, rikitön (ent. moottoripolttoöljy)	t	73,5	1,0	*	43,0	0,84
1139	Muut keskiraskaat öljyt	t	74,1	1,0	*	42,7	0,85
114 Raskaat öljyt							
1141	Raskas polttoöljy, rikkipitoisuus <1%	t	79,2	1,0	*	40,4	0,99
1142	Raskas polttoöljy, rikkipitoisuus ≥1%	t	78,4	1,0	*	40,2	1,00
1143	Muut raskaat öljyt	t	79,2	1,0	*	40,2	1,01
1144	Raskas polttoöljy, rikkipitoisuus ≤0,1%	t	76,1	1,0	*	42,1	0,89
1145	Raskas polttoöljy, rikkipitoisuus ≤0,5%	t	77,0	1,0	*	41,5	0,91
1148	Asfalteeni	t	83,7	1,0	*	37,8	*
115	Öljykoksi	t	97,0	1,0	*	33,5	
116	Kierrätys- ja jätööljyt	t	78,8	1,0	*	41,0	
119	Muut öljytuotteet	t	78,8	1,0	*	30,0	
12 Hiili							
Kivhiili ja antrasiitti							
1211	Antrasiitti	t	98,3	0,99		33,5	
1212	Kivhiili	t	93,3	0,99		25,0	
Muu hiili							
1221	Puolibiituminen hiili, ruskohiili	t	108,0	0,99		20,0	
1222	Hiilibriketit	t	94,6	0,99		30,0	
1228	Hiiliterva	t	90,6	0,99		37,0	
1229	Muu entitelemätön hiili	t	106,0	0,99		10,0	
123	Koksi	t	107,0	0,99		29,3	
124	Koksikaasu	1000 m ³	41,5	0,99		16,7	
125	Masuunikaasu	1000 m ³	263,7	0,99		3,8	
126	CO-kaasu	1000 m ³	155,0	0,99		11,5	
13 Maakaasu							
Maakaasu							
1311	Maskaasu	1000 m ³	55,30	1,0	*	36,5	*
1312	Nesteytetty maakaasu (LNG)	t	55,8	1,0	*	49,3	
2 Turve							
21 Turve							
211	Jyrsinturve	t	107,0	0,99		10,1	0,32
212	Palaturve	t	103,0	0,99		12,3	0,38
213	Turvetta ja -briketit	t	97,0	0,99		16,0	
3 Uusiutuvat ja sekapolttoaineet							
31 Biomassa							
Metsäpolttoaine, puu							
3111	Hakot, rangat ja pilkkeet	t	109,6	0,99		14,0	B10
3112	Kokopuu- tai rankahake	t	109,6	0,99		9,5	B10
Ennakkoliedoksi: sähkön tuotantotukijärjestelmässä metsähaketuon rajaamiseen sovellettava alaluokittelu.							
3112a	Kokopuu- tai rankahake, pienpuu	t	109,6	0,99		9,5	B10
3112b	Kokopuu- tai rankahake, järsä puu	t	109,6	0,99		9,5	B10
3113	Metsähdehake tai -murske	t	109,6	0,99		10,0	B10
3114	Kantomurske (aik. kantohake)	t	109,6	0,99		11,5	B10
3115	Energiaspuu (ja muu lyhytkiertovijetty puu)	t	109,6	0,99		10,0	B10
312 Teollisuuden puutähd							
3121	Kuori	t	109,6	0,99		7,5	B10
3122	Sahanpuru	t	109,6	0,99		7,0	B10
3123	Puutähdhake tai -murske	t	109,6	0,99		10,5	B10
3124	Kutterit, hiontapöly yms.	t	109,6	0,99		17,0	B10
3128	Entitelemätön teollisuuden puutähd	t	109,6	0,99		7,5	B10
3129	Muu teollisuuden puutähd	t	109,6	0,99		8,8	B10
313	Puunjalosteollisuuden jäteliemet	t	109,6	0,99		11,5	B10
314 Puunjalosteollisuuden sivu- ja jätetuotteet							
3141	Mäntyöljy ja -piki	t	77,0	0,99		37,0	B10
3142	Metanoli ja tärpätti	t	70,0	0,99		19,45	B10
3149	Muut puunjalosteollisuuden sivu- ja jätetuotteet	TJ	109,6	0,99			B10
315	Kierrätyspuu	t	109,6	0,99		12,0	B10
316	Puupelletit ja -briketit	t	109,6	0,99		16,0	B10
317 Kasvipäriset polttoaineet							
3171	Ruokoheipi	t	110,0	0,99		13,0	B10
3172	Vijakasvit ja oiki	t	100,0	0,99		13,5	B10
3174	Kasviöljyt ja -rasvat	t	72,0	0,99		37,0	B10
3179	Muut kasvipäriset polttoaineet	t	100,0	0,99		15,0	B10
318 Eläinperäiset polttoaineet							
3181	Eläinrasvat	t	75,0	0,99		37,0	B10
3189	Muut eläinperäiset polttoaineet	t	100,0	0,99		15,0	B10

Oletetaan sisältävän km. 6,6 % bio-osuuden tilavuudesta.

Oletetaan sisältävän km. 17 % bio-osuuden tilavuudesta.

LIITE 4 (2). Polttoaineluokitus 2016.

32 Muut bio- ja sekapoltoaineet						
321 Biokaasu						
3211	Kaatopaikkakaasu	1000 m ³	56,1	1,0 *	17,0	BIO
3212	Jätevedenpuhdistamoiden biokaasu	1000 m ³	56,1	1,0 *	23,0	BIO
3213	Teollisuuden biokaasu	1000 m ³	56,1	1,0 *	28,0	BIO
3214	Biometaan	1000 m ³	56,1	1,0 *	36,0	BIO
3215	Syntetinen biokaasu	1000 m ³	56,1	1,0 *	36,0	BIO
3219	Muut biokaasut	1000 m ³	56,1	1,0 *	20,0	BIO
322 Biopolttonesteet						
3221	Biopolttoöljy	t	75,0	1,0 *	38,5	BIO
3222	Biopyrolyysiöljy	t	79,6	1,0 *	17,0	BIO
3223	Bionestekaasu / Biopropani	t	65,0	1,0 *	46,2	BIO
3229	Muut nestemäiset biopolttoaineet	t	79,6	1,0 *	15,40	BIO
323 Sekapoltoaineet						
3231	Kaarnapolttoaineet	t	31,8	0,99	20,0	Oletettu bio-osuus 60% 1)
3232	Purkupuu	t	11,4	0,99	15,0	* bio-osuus 90% 1)
3233	Kyllästetty puu	t	11,4	0,99	12,0	* bio-osuus 90% 1)
3234	Sistausliete	t	60,0	0,99	4,0	* bio-osuus 100% 3)
3235	Jätepelletit	t	45,0	0,99	15,0	* bio-osuus 40% 1)
3236	Kumijätteet	t	68,0	0,99	28,0	* bio-osuus 25% 1)
3238	Yhdyskuntajäte / sekajäte	t	40,0	0,99	10,0	* bio-osuus 50% 1)
3239	Muut sekapoltoaineet	t	100,0	0,99	10,0	* bio-osuus 10% 1)
324	Tuotekaasu	1000 m ³	..	1,00 *	..	2)
325	Bioliete	t	132 *	0,99	2,5	BIO
326	Biohiili	t	112 *	0,99	18,33	BIO
I Muut energialähteet						
41 Ydinenergia						
411	Ydinenergia	TJ	--	--	--	
49 Muut energialähteet						
491 Muut polttoaineena käytettävät sivu- ja jätetuotteet						
4911	Muovijätteet	t	74,1	0,99	25,0	
4913	Ongelmajätteet	t	117,0	0,99	10,0	
4919	Muut jätteet	t	75,0	0,99	15,0	
492	Teollisuuden reaktioliämpö	TJ	--	--	--	
493	Teollisuuden sekundaariämpö	TJ	--	--	--	
494	Sähkö (sähkökattiloissa ja lämpöpumpuissa käytetty)	MWh	--	--	--	
495	Höyry	MWh	--	--	--	
497	Rikki	t	0	--	10,5	
498	Vety	1000 m ³	0	--	10,8	
499	Muut erittelemättömät energialähteet	TJ	--	--	--	

Huomi!

BIO = biopolttoaine, jonka hiilidioksidipäästöjä ei lasketa Suomen kasvihuonekaasujen kokonaispäästö määrään, eikä huomioida päästökaupassa.

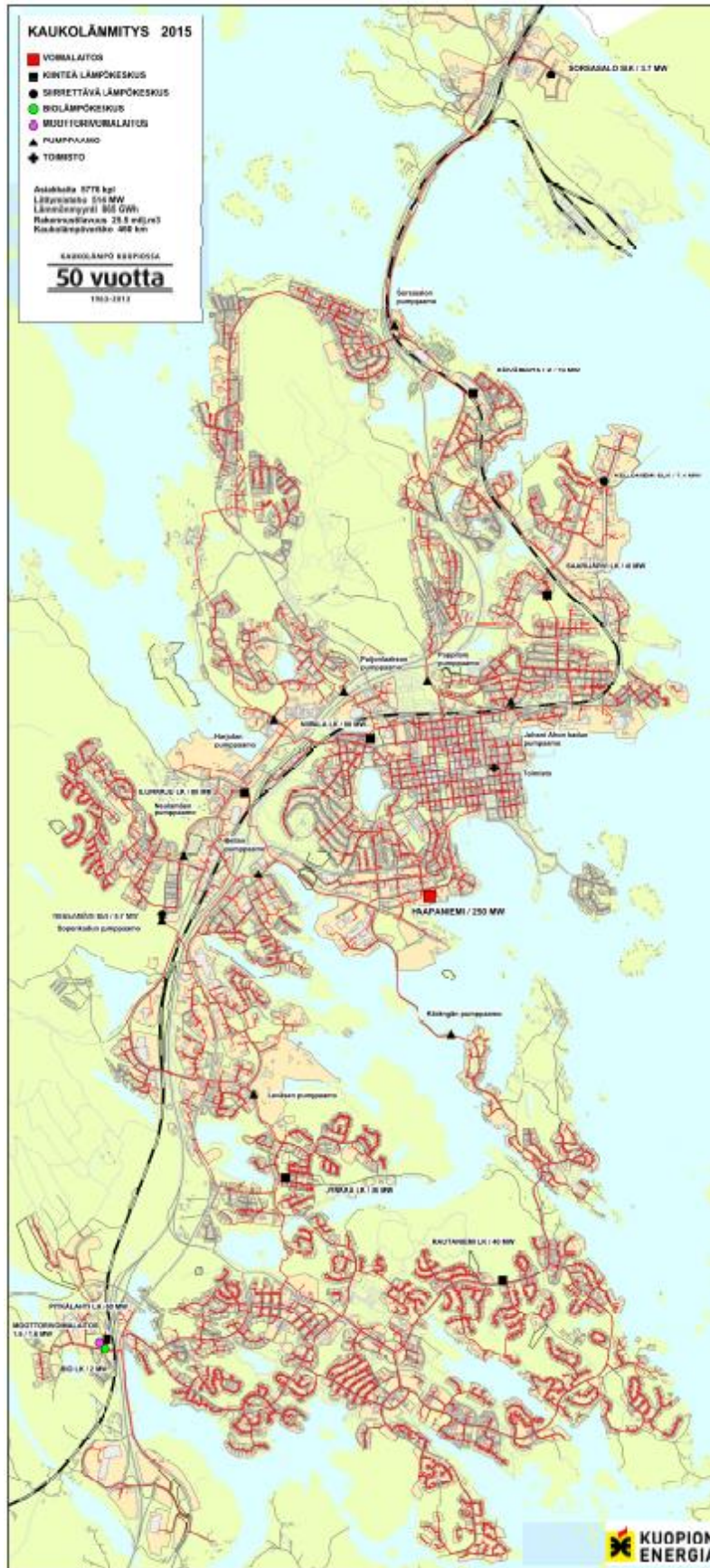
1) Sekapoltoaineiden CO₂-kerroin on arvio, joka ottaa huomioon vain fossiilisen hiilen osuuden. Sekapoltoaineisiin sisältyvän orgaanisen aineen keskimääräistä osuutta arvioidaan vuosittain, mikä saattaa vaikuttaa jatkossa oletusarvoihin.

2) Tuotekaasu raportoidaan ensisijaisesti kaasufuusen lähtöaineiden mukaisissa polttoaineluokituksissa.

3) Energiasisällön oletettu bio-osuus 100%, CO₂-päästö aiheutuu karbonaattien hajoamisesta.

4) Tihedyn oletusarvot perustuvat 15°C referenssilämpötilaan. Tihedysien epävarmuudeksi oletetaan ±2%.

LIITE 5. Kuopion kaukolämpöverkko.



LIITE 6. Kuljetuksen päästöt.

Varsinaisella perävaunulla varustetun yhdistelmäauton CO₂- ja CO₂ekv.-päästöt maantieajossa (kokonaismassa 60 t, kantavuus 40 t) (LIPASTO-laskentajärjestelmä, VTT, 2012).

	CO ₂ [g/tkm]		CO ₂ [g/km]		
	(70 %:n kuorma)	täysi (40 t kuorma)	tyhjä	(70 %:n kuorma)	täysi (40 t kuorma)
Päästötaso					
--> 1993	38	30	789	1075	1197
EURO 1 (1994 - 1996)	39	30	802	1092	1217
EURO 2 (1997 - 2000)	40	31	814	1110	1236
EURO 3 (2001 - 2006)	41	32	836	1139	1269
EURO 4 (2007 - 2008)	40	31	814	1110	1236
EURO 5 (2009 -->)	40	31	814	1110	1236
EURO 6					
keskimäärin v. 2011	40	31	823	1121	1249

	CO ₂ ekv. [g/tkm]		CO ₂ ekv. [g/km]		
	(70 %:n kuorma)	täysi (40 t kuorma)	tyhjä	(70 %:n kuorma)	täysi (40 t kuorma)
Päästötaso					
--> 1993	39	30	797	1085	1208
EURO 1 (1994 - 1996)	39	31	810	1103	1228
EURO 2 (1997 - 2000)	40	31	823	1120	1247
EURO 3 (2001 - 2006)	41	32	844	1149	1280
EURO 4 (2007 - 2008)	40	31	823	1120	1247
EURO 5 (2009 -->)	40	31	823	1120	1247
EURO 6					
keskimäärin v. 2011	40	32	831	1132	1260

Tuhkan ja lietteen kuljetus. Maansiirtoauto ilman perävaunua (kokonaismassa 32 t, kantavuus 19 t) (LIPASTO-laskentajärjestelmä, VTT, 2012).

	CO ₂ ekv. [g/tkm]		CO ₂ ekv. [g/km]		
	(50 %:n kuorma)	täysi (19 t kuorma)	tyhjä	(50 %:n kuorma)	täysi (19 t kuorma)
--> 1993	79	45	646	753	860
EURO 1 (1994 - 1996)	81	46	657	765	874
EURO 2 (1997 - 2000)	82	47	667	777	887
EURO 3 (2001 - 2006)	84	48	684	797	910
EURO 4 (2007 - 2008)	82	47	667	777	887
EURO 5 (2009 -->)	82	47	667	777	887
EURO 6	0	0	0	0	0
keskimäärin v. 2011	83	47	674	785	897

Työkoneiden päästöt. (LIPASTO-laskentajärjestelmä, VTT, 2012).

Dieselkäyttöiset ajettavat työkoneet	Keskimäär. nimellisteho [kW]	Keskimäär. kuormitusaste	Työkoneiden yksikköpäästöt [g/kWh]										Polttoaineen kulutus [g/kWh]	Energian kulutus [MJ/kWh]
			CO	HC	NOx	PM	CH ₄	N ₂ O	SO ₂	CO ₂	CO ₂ ekv.			
Nosturit	99	0.26	2.4	0.8	7.1	0.36	0.045	0.021	0.0051	791	799	256	11	
Muut trukit, diesel	33	0.30	3.9	1.5	7.4	0.68	0.047	0.021	0.0055	848	856	275	12	
Haarukkatrukut, diesel	88	0.30	2.3	0.72	6.5	0.30	0.045	0.021	0.0051	791	799	257	11	
Puskutraktorit	112	0.40	2.6	1.0	8	0.46	0.043	0.022	0.0051	782	789	253	11	
Tiehöylät	149	0.37	2.2	0.77	7.3	0.36	0.044	0.022	0.0050	775	782	251	11	
Jyrit	45	0.30	2.9	1.0	6	0.42	0.045	0.021	0.0053	817	824	265	11	
Pyöräkuormaajat	94	0.33	2.4	0.8	6.6	0.34	0.045	0.021	0.0051	793	800	257	11	
Traktorikaivurit	74	0.33	2.5	0.9	7.3	0.38	0.046	0.021	0.0052	800	808	259	11	
Minikaivurit	22	0.40	2.5	0.7	5.9	0.32	0.046	0.021	0.0053	819	826	265	11	
Kaivukoneet, tela-alustaiset	104	0.31	1.9	0.52	5.4	0.22	0.045	0.021	0.0051	790	798	256	11	
Kaivukoneet, pyöräalustaiset	88	0.32	2.1	0.61	5.8	0.26	0.045	0.021	0.0052	796	803	258	11	
Maatalustraktorit	74	0.30	2.5	0.8	6.7	0.37	0.045	0.022	0.0051	797	805	257	11	
Teollisuustraktorit	62	0.28	2.8	1.0	7.0	0.42	0.045	0.022	0.0052	800	808	258	11	
Kunnossapitotraktorit	61	0.27	2.2	0.64	5.7	0.26	0.046	0.022	0.0052	804	812	259	11	
Muut traktorit	55	0.26	4.5	2.0	12	0.94	0.041	0.022	0.0051	796	804	256	11	
Leikkupuimurit	89	0.57	2.2	0.7	6.4	0.31	0.045	0.021	0.0051	792	800	257	11	
Hakkuukoneet (Moto)	125	0.42	1.6	0.31	3.3	0.08	0.044	0.021	0.0051	781	789	253	11	
Metsätraktorit	105	0.30	1.6	0.32	3.8	0.13	0.045	0.021	0.0051	790	797	256	11	
Dumpperit	153	0.30	2.1	0.65	6.7	0.29	0.045	0.021	0.0050	777	784	252	11	
Monitoimikoneet	50	0.25	2.1	0.61	5.3	0.26	0.046	0.021	0.0052	805	813	261	11	
Teleskooppikuorottajat	78	0.28	2.0	0.56	5.5	0.23	0.046	0.021	0.0052	799	807	259	11	
Ajoruohonleikkurit, diesel	12	0.30	4.7	2.2	9	1.0	0.045	0.021	0.0054	834	842	270	12	
Muut ajettavat dieselyökoneet	89	0.36	2.0	0.53	5.3	0.21	0.047	0.022	0.0052	795	802	258	11	