

# Specific emissions for district heat, district cooling and electricity used in buildings

Sampo Soimakallio, Suomen ympäristökeskus 11.1.2020

## Abstract

The emission factors for electricity, district heat, and district cooling, and for fossil and bio fuels for heating of buildings were assessed based on statistical data and earlier research results. The details of assessment are explained in the Appendix.

The emission factors were defined for the following fuels and renewable energy technologies to calculate the GWP of electricity, district heat and cooling:

- heavy fuel oil
- coal
- natural gas
- peat
- wood chips
- waste
- nuclear power
- wind power
- solar power and
- hydro power.

The specific emissions were defined on the basis of greenhouse gases (GHGs) from yearly domestic production and considering the net import of electricity. The specific GHG emissions from electricity and district heat production were estimated considering CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, and N<sub>2</sub>O emissions from the combustion and procurement of fuels (except CO<sub>2</sub> from combustion of biomass-based fuels), and the construction of the capacity infrastructure for fuel supply and heat and power generation.

Specific emissions were calculated per energy content of the fuel with regard to the production based on fuel combustion, while regarding nuclear, water, wind and solar power, the emissions were calculated in relation to the produced electricity.

The CO<sub>2</sub> emissions from the combustion of fuels are based on the Finnish Statistics<sup>1</sup>.

The specific CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions from the combustion of fuels were assessed on the basis of total CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions from public sector heat and power generation in 2018 and on the basis of the energy content of fuels used for the generation of heat and power<sup>2</sup>.

The CO<sub>2</sub> emissions from the combustion of biomass were calculated as zero emissions. The influence of harvesting of biomass on carbon sinks of forests or soil was not considered. The method follows the

---

<sup>1</sup> Tilastokeskus 2018. Polttoaineluokitus 2018. <https://www.tilastokeskus.fi/fi/luokitukset/polttoaineet/>

<sup>2</sup> Suomen virallinen tilasto (SVT): Energian hankinta ja kulutus [verkköjulkaisu]. ISSN=1799-795X. Helsinki: Tilastokeskus. <http://www.stat.fi/til/ehk/index.html>

calculation principles based sustainability criteria of the EU directive on the promotion of renewable energy sources<sup>3, 4</sup>.

The emissions because of procurement of fuels are based on the 4th version of "Well to tank" report by JRC<sup>5</sup> and VTT Technology 336<sup>6</sup>.

The energy and benefit allocation methods were applied to allocate the consumption of fuels for power and heat in combined heat and power (CHP) generation. In the benefit allocation method the consumption of fuels is allocated for heat and power based on the same assumed efficiencies as in separate production. The efficiency of 39% was used for electricity and 90% for heat.

The CO2DATA-base provides emission values for energy services also for coming decades considering the targeted decarbonization of energy services. The applied assumptions are based on the basic scenario (the so-called WEM scenario) for 2020 – 2050 presented by VTT and SYKE in PITKO project (Long-term emission trends) documentation<sup>7</sup>.

The WEM scenario does not specify district cooling. The specific emissions from district cooling have been defined by assessing the required electricity and district heat for production and delivery of district cooling and by applying for these the specific emissions of heat.

The GHG emissions of fossil fuels for building heating in decentralized systems were assessed for light heating oil considering the emissions caused by procurement and construction of infra in addition to combustion. The precombustion emissions and the CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions of combustion were assumed to be the same as those assumed for heavy fuel oil in the connection of emission-assessment of electricity and district heat. The specific emissions for biofuels (wood briquettes, pellets, and bio-oils) were formulated by using the same factors as was used for chips for in the connection of emission-assessment of electricity and district heat. The assessed emissions because of transportation and manufacturing were added following the principles of EU REDII Directive (EU 2018). The specific emission factors for fossil fuels and biofuels for decentralized heating of buildings were assumed to remain unchanged throughout the period considered.

---

<sup>3</sup> Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. Official Journal of the European Union 5.6. 2009

<sup>4</sup> Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources - Analysis of the final compromise text with a view to agreement. Interinstitutional File: 2016/0382 (COD), Council of the European Union, Brussels, 21 June 2018.

<sup>5</sup> <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/well-tank-report-version-4a-jec-well-wheels-analysis>

<sup>6</sup> Sokka, L., Correia, S., Koljonen, T. 2018. Lämmityspolttoaineiden tuotannon elinkaariset kasvihuonekaasupäästöt. VTT Technology 336. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2018/T336.pdf>

<sup>7</sup> Koljonen, T., Soimakallio, S., Asikainen, A., Lanki, T., Anttila, P., Hildén, M., Honkatukia, J., Karvosenoja, N., Lehtilä, A., Lehtonen, H., Lindroos, T.J., Regina, K., Salminen, O., Savolahti, M., Siljander, R., Tiittanen, P. Energia- ja ilmastostrategian vaikutusarviot: Yhteenvetoraportti. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 21/2017.

Koljonen, T., Soimakallio, S., Ollikainen, M., Lanki, T., Asikainen, A., Ekholm, T., Hildén, M., Honkatukia, J., Lehtilä, A., Saarinen, M., Seppälä, J., Similä, L., Tiittanen, P. Keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelman vaikutusarviot. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 57/2017.

Koljonen, T., Soimakallio, S., Lehtilä, A., Similä, L., Honkatukia, J., Hildén, M., Rehunen, A., Saikku, L., Salo, M., Savolahti, M., Tuominen, P., Vainio, T. Pitkän aikavälin kokonaispäästökehitys. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 24/2019.

## Rakennusten kuluttaman sähkön, kaukolämmön ja kaukojäähdytyksen kasvihuonekaasujen ominaispäästöjen määrittäminen vuosille 2020-2120

Rakennusten kuluttaman sähkön, kaukolämmön ja kaukojäähdytyksen kasvihuonekaasujen ominaispäästöt vuosille 2020-2120 määritettiin kotimaisesta tuotannosta syntyvien kasvihuonekaasujen päästöjen ja kulutukseen siirretyn energian perusteella. Kasvihuonekaasujen ominaispäästöt vastaavat sähkön, kaukolämmön ja kaukojäähdytyksen keskimääräistä vuotuista tuotantoa Suomessa. Sähkön osalta kulutuksessa on mukana myös sähkön nettotuonti ulkomailta, joka valitusta laskentatavasta johtuen käsitellään päästöttömänä. Laskennassa on huomioitu fossiilisten polttoaineiden ja turpeen poltossa syntyvät hiilidioksidin (CO<sub>2</sub>) päästöt, polttoaineiden poltossa syntyvät metaanin (CH<sub>4</sub>) ja typpioksiduulin (N<sub>2</sub>O) päästöt, polttoaineiden tuotannon CO<sub>2</sub>-, CH<sub>4</sub>- ja N<sub>2</sub>O-päästöt ja voimalaitosten rakentamisessa syntyvät CO<sub>2</sub>-, CH<sub>4</sub>- ja N<sub>2</sub>O-päästöt. Biomassan polton CO<sub>2</sub>-päästöt on laskettu nollana, eikä biomassan korjuun vaikutuksia metsien tai maaperän hiilinieluihin ole huomioitu, EU:n uusiutuvien energialähteiden edistämisdirektiivin kestävyyskriteeristön laskentaperiaatteiden mukaisesti<sup>8,9</sup>.

Laskennassa käytetyt oletukset sähkön ja kaukolämmön hankinnasta perustuvat Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n ja Suomen ympäristökeskus SYKE:n laatiman pitkän aikavälin kokonaispäästökehitys (PITKO) -hankkeen (Koljonen ym. 2019) vuosia 2020-2050 koskevaan perusskenaarioon (ns. WEM-skenaario). WEM-skenaarion oletuksia vuoteen 2030 asti on kuvattu energia- ja ilmastostrategian 2016 ja Keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelman (KAISU) selontekoraporteissa (TEM 2017, YM 2017) sekä näiden vaikutusten arvioinnin yhteenvetoraporteissa (Koljonen ym. 2017a, b). Vuoteen 2050 saakka WEM-skenaarion oletuksia on kuvattu PITKO-hankkeen loppuraportissa (Koljonen ym. 2019). Kaukojäähdytystä ei ole WEM-skenaariossa eroteltu, joten kaukojäähdytyksen kasvihuonekaasujen ominaispäästöt on määritetty arvioimalla kaukojäähdytyksen tuotannossa ja siirrossa tarvittavan sähkön ja kaukolämmön määrät, joille on sovellettu sähkön ja kaukolämmön ominaispäästökertoimia. Alla on esitetty WEM-skenaarion keskeisiä piirteitä sähkön ja kaukolämmön hankinnan kehittymisen kannalta.

### WEM-skenaarion keskeiset piirteet ja oletukset

WEM-skenaariossa oletetaan, että Suomi saavuttaa kansalliset energia- ja ilmastopoliittiset vuodelle 2020 asetetut tavoitteet, jotka pysyvät muuttumattomina voimassa myös vuoden 2020 jälkeen. Taakanjakosektorin päästöjä vähennetään 16 % vuoden 2005 päästöistä, mikä vastaa päästöissä 28,4 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuonna 2020. Päästökaupparektorille ei oleteta erillistä kansallista tavoitetta, vaan ohjaus tapahtuu päästöoikeuden hinnan kautta. Keskeinen WEM-skenaarion oletus on päästöoikeuden hintaura vuoteen 2050 asti, joka noudattaa komission ohjeistusta (EU 2018). Komission ohjeistuksen mukaan päästöoikeuden hinnan oletetaan kiristyvän vuoden 2020 jälkeen. Päästöoikeuden hinnaksi on oletettu 15 €/t CO<sub>2</sub> vuonna 2020 ja 30 €/t CO<sub>2</sub> 2030. Vuonna 2050 päästöoikeuden hinnan on oletettu nousevan tasolle 90 €/t CO<sub>2</sub> PRIMES-referenssiskenaarioon perustuen (European Commission 2016).

WEM-skenaariossa uusiutuvan energian osuuden loppukulutuksesta oletetaan olevan vähintään 38 prosenttia vuosina 2030–2050. Uusiutuvan energian lisääminen jakautuu useille eri energiamuodoille. Vesivoimassa tehdään pieniä tehonkorotuksia huomioiden suojelulait. Tuulivoiman tuotanto kasvaa yli 5 TWh:n vuoteen 2020 mennessä ja yli 6 TWh:n vuoteen 2030 mennessä. Aurinkosähkön ja -lämmön nykytuet säilyvät, mutta investoinnit muuttuvat

<sup>8</sup> Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. Official Journal of the European Union 5.6. 2009.

<sup>9</sup> Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources - Analysis of the final compromise text with a view to agreement. Interinstitutional File: 2016/0382 (COD), Council of the European Union, Brussels, 21 June 2018.

kustannustehokkaammiksi teknologian halventuessa. Uudesta ydinvoimasta on oletettu, että Olkiluoto 3 toimii täydellä kapasiteetilla vuonna 2020 ja Hanhikivi 1 toimii täydellä kapasiteetilla ennen vuotta 2030. Sähkön siirtoyhteydet naapurimaihin paranevat nykyisten investointisuunnitelmien mukaan. Energiatohokkuustavoitteelle ei ole oletettu sitovaa tavoiteprosenttia, vaan teollisuudessa energiatohokkuuden oletetaan paranevan 0,4–0,5 % vuodessa ja muilla sektoreilla toteutetaan erilaisia energiatohokkuustoimenpiteitä. (Koljonen ym. 2019)

Alla on esitetty WEM-skenaarion mukainen sähköenergian kokonaishankinta tuotantomuodoittain (taulukko 1) ja energialähteittäin (taulukko 2) sekä kaukolämmön tuotannon energialähteet (taulukko 3). Sähkön siirtohäviöiksi oletettiin energia- ja ilmastostrategian (2016) mukaan 3 TWh vuodessa (TEM 2017). Sähkön loppukulutus arvioitiin vähentämällä sähkön kokonaishankinnasta siirtohäviöt (taulukko 4).

**Taulukko 1. Sähköenergian kokonaishankinta tuotantomuodoittain WEM-skenaariossa 2020-2050 (Koljonen ym. 2019).**

sähköenergian kokonaishankinta, TWh	2020	2030	2040	2050
ydinvoima	35,0	44,0	39,0	29,5
vesivoima	14,0	14,0	14,0	14,0
tuulivoima	6,5	10,0	15,5	21,5
hiili- ja turvelauhde	2,5	1,5	0,0	0,0
kaasu- ja öljylauhde	0,5	0,0	0,0	1,0
Teollisuuden CHP	12,0	12,0	12,0	12,0
kaukolämpö-CHP	15,0	11,0	10,0	9,5
aurinko ym.	0,5	1,5	4,0	7,5
nettotuonti	2,5	0,0	3,5	10,0
<b>yhteensä</b>	<b>88,5</b>	<b>94,0</b>	<b>98,0</b>	<b>105,0</b>

**Taulukko 2. Sähköenergian hankinta energialähteittäin WEM-skenaariossa 2020-2050 (Koljonen ym. 2019).**

sähköenergian hankinta energialähteittäin, TWh	2020	2030	2040	2050
ydinvoima	35,0	44,0	39,0	29,5
hiili	6,5	3,5	2,5	1,0
kaasu ja öljy	8,0	2,5	0,0	1,0
turve	2,5	2,0	1,5	0,5
biomassa	13,0	16,5	18,0	20,0
vesi	14,0	14,0	14,0	14,0
tuulienergia	6,5	10,0	15,5	21,5
aurinkoenergia	0,5	1,5	4,0	7,5
tuonti	2,5	0,0	3,5	10,0
<b>yhteensä</b>	<b>88,5</b>	<b>94,0</b>	<b>98,0</b>	<b>105,0</b>

**Taulukko 3. Kaukolämmön tuotannon energialähteet WEM-skenaariossa 2020-2050.**

Kaukolämmön tuotannon energialähteet, TWh	2020	2030	2040	2050
hiili+turve	11,1	9,2	5,5	2,3
kaasu+öljy	9,8	2,2	0,6	0,5
hiili	5,7	3,4	2,3	1,2
öljy	0,6	0,4	0,2	0,1
kaasu	9,2	1,8	0,4	0,4
turve	5,4	5,8	3,1	1,1
biomassa	18,7	18,8	20,3	19,8
jäte	3,2	2,9	2,5	2,3
sähkö	0,7	2,8	3,1	3,9
muu (pumpuvoima)	1,0	5,6	6,5	7,9
<b>yhteensä</b>	<b>44,6</b>	<b>41,4</b>	<b>38,4</b>	<b>36,6</b>

**Taulukko 4. Sähkön siirtohäviöt, loppukulutus ja loppukulutukseen siirretyn sähkön osuus sähkön hankinnasta WEM-skenaariossa 2020-2050.**

	2020	2030	2040	2050
siirtohäviöt, TWh	3,0	3,0	3,0	3,0
Loppukulutus, TWh	85,5	91,0	95,0	102,0
loppukulutukseen siirretyn sähkön osuus hankinnasta	97 %	97 %	97 %	97 %

Sähköenergian hankinta polttoaineilla lauhde- ja CHP-tuotannossa sähköenergian hankinta- (taulukko 2) ja lauhdetuotantotietojen (taulukko 1) perusteella.

**Taulukko 5. Sähköenergian hankinta polttoaineilla lauhde- ja CHP-tuotannossa WEM-skenaariossa 2020-2050.**

sähköenergian hankinta fossiilisilla polttoaineilla, TWh	2020	2030	2040	2050
hiili- ja turvelauhde	2,5	1,5	0,0	0,0
kaasu- ja öljylauhde	0,5	0,0	0,0	1,0
CHP, hiili ja turve	6,5	4,0	4,0	1,5
CHP, kaasu ja öljy	7,5	2,5	0,0	0,0
CHP, biomassa	13,0	16,5	18,0	20,0
<b>yhteensä</b>	<b>30,0</b>	<b>24,5</b>	<b>22,0</b>	<b>22,5</b>

Lauhdetuotannon hyötysuhteeksi oletettiin 39 %. CHP-tuotannon ja kaukolämmön tuotannon hyötysuhteeksi oletettiin 90 % ja sähkön ja lämmön tuotannon suhteeksi (rakennusasteeksi) 50 % (hiili ja turve sekä biomassa) ja 100 % (kaasu ja öljy). Näitä oletuksia käyttäen laskettiin CHP-tuotannon polttoaineiden kulutus, joka on jaettu sähkölle ja lämmölle hyötysuhteiden ja rakennusasteiden perusteella (taulukko 6).

**Taulukko 6. Polttoaineiden käyttö CHP-tuotannossa (yhteensä ja erikseen sähkön ja lämmön tuotannolle energiaperusteisesti jaettuna) WEM-skenaariossa 2020-2050.**

CHP-tuotannon polttoaineiden kulutus, TWh	2020	2030	2040	2050
CHP, hiili ja turve	21,7	13,3	13,3	5,0
CHP, kaasu ja öljy	25,0	8,3	0,0	0,0
CHP, biomassa	43,3	55,0	60,0	66,7
- CHP, hiili ja turve sähkön tuotantoon	7,2	4,4	4,4	1,7
- CHP, kaasu- ja öljy sähkön tuotantoon	8,3	2,8	0,0	0,0
- CHP, biomassa sähkön tuotantoon	14,4	18,3	20,0	22,2
- CHP, hiili ja turve lämmön tuotantoon	14,4	8,9	8,9	3,3
- CHP, kaasu ja öljy lämmön tuotantoon	16,7	5,6	0,0	0,0
- CHP, biomassa lämmön tuotantoon	28,9	36,7	40,0	44,4

Kaukolämmön siirtohäviöiksi oletettiin energia- ja ilmastostrategian (2016) mukaan 4 TWh vuodessa (TEM 2017). Kaukolämmön tuotannon hyötysuhteesta ja CHP-tuotannon rakennusasteesta laskettiin kaukolämmön tuotanto CHP-kattiloissa (taulukko 7). Kaukolämmön erillistuotanto arvioitiin vähentämällä kaukolämmön CHP-tuotanto kaukolämmön hankinnasta (taulukko 7).

**Taulukko 7. Kaukolämmön hankinta, kaukolämmön tuotanto CHP-kattiloissa ja erillisyksiköissä sekä kaukolämmön siirtohäviöt WEM-skenaariossa 2020-20250.**

TWh	2020	2030	2040	2050
Kaukolämmön hankinta	40,1	37,3	34,6	33,0
Kaukolämmön tuotanto CHP-kattiloista	30,0	22,0	20,0	19,0
Kaukolämmön erillistuotanto	10,1	15,3	14,6	14,0
siirtohäviöt	4,0	4,0	4,0	4,0

## Kaukojäähdytyksen energiantarve

Kaukojäähdytyksen tuotantomäärät tuotantotavoittain Suomessa vuonna 2019 otettiin Energiaviraston tiedoista (taulukko 8). Neljä yhtiötä (Helen Oy, Turku Energia Oy, Tampereen sähkölaitos Oy ja Fortum Power and Heat Oy) tuottaa 96 prosenttia Suomessa myytävästä kaukojäähdytyksestä. Näistä yhtiöistä pyydettiin ja saatiin lisätietoja kaukojäähdytyksen tuotannosta käytettävästä sähköenergiasta, jota lämpöpumput, kompressorit, vapaajäähdytys ja kaukokylmän pumppaaminen vaativat. Osalla yhtiöistä ilmoitetussa sähkönkulutusluvussa ei ollut mukana kaukokylmän pumppaamiseen vaadittua energiaa, jonka arvioitiin kasvattavan viisi prosenttiyksikköä ilmoitettua lukua. Helen Oy tuottaa osan kaukokylmästä absorptiolämpöpumpuilla, joissa käytetään energialähteenä kaukolämpöä. Kaukolämmön tarpeeksi pumpattua kaukokylmän energiayksikköä kohden arvioitiin 143 % (COP-kerroin 0,7) (Koljonen & Sipilä 1998). Näillä perusteilla arvioitiin kaukokylmän tuotannossa tarvittava sähkön ja kaukolämmön määrä.

**Taulukko 8. Kaukojäähdytyksen tuotantomäärät tuotantotavoittain (MWh) Suomessa vuonna 2019 (Energiavirasto) ja yhtiön ilmoitusten perusteella arvioitu sähköenergiantarve pumpattua kaukokylmäenergiayksikköä kohden.**

	Absorptio	Lämpöpumppu	Kompressor	Vapaajäähdytys	Yhteensä	Sähköenergian tarve per siirretty kaukokylmä-energiayksikkö (MWh/MWh)
Etelä-Savon Energia Oy		63	7		70	
Fortum Power and Heat Oy		25 774		7 895	33 669	33 %
Helen Oy	10 758	156 716	3 118	2 318	172 910	20 %
Alva-yhtiöt Oy			1 430		1 430	
Kuopion Energia Oy			1 034		1 034	
Lahti Energia Oy				102	102	
Lempäälän Lämpö Oy			1 852		1 852	
Pori Energia Oy			1 375	1 020	2 395	
Tampereen Sähkölaitos Oy		3 529	9 852	11 445	24 826	15 %
Turku Energia Oy			5 251	34 267	39 518	32 %
Vierumäen Infra Oy		1 939	1 437		3 376	
YHTEENSÄ	10 758	188 021	25 356	57 047	281 182	

## Sähkön ja kaukolämmön tuotannon kasvihuonekaasujen ominaispäästöt

Sähkön ja kaukolämmön tuotannon ominaiskasvihuonekaasupäästöt arvioitiin huomioimalla polttoaineiden polton hiilidioksidi- ( $\text{CO}_2$ ), metaani- ( $\text{CH}_4$ ), ja typpioksiduulipäästöt ( $\text{N}_2\text{O}$ ) sekä polttoaineiden hankinnan ja sähkön ja lämmön tuotantokapasiteetin infrastuktuurin rakentamisen päästöt. Polttoaineiden polttoon perustuvissa tuotantomuodoissa ominaispäästöt laskettiin polttoaineen energiasisältöä kohden, ydin-, vesi-, tuuli- ja aurinkovoimassa puolestaan niillä tuotettua sähköenergiaa kohden. Seuraavassa on kuvattu sähkön ja lämmön tuotannon ominaiskasvihuonekaasupäästöjen määrittäminen.

Polttoaineiden polton  $\text{CO}_2$ -ominaispäästöt otettiin Tilastokeskuksen polttoaineluokituksesta (Tilastokeskus 2018). Turpeen ominaispäästöinä käytettiin pala- ja jyrshinturpeen keskiarvoa 105,4 g  $\text{CO}_2$ /MJ. Hiillelle ja turpeelle käytettiin kivihiilen ominaispäästöstä ja edellä mainitusta turpeen ominaispäästöstä muodostettua keskiarvoa 99,3 g  $\text{CO}_2$ /MJ. Kaasulle ja öljylle käytettiin maakaasun ominaispäästöä 55,3 g  $\text{CO}_2$ /MJ perustuen oletukseen, että suurin osa kaasua ja öljyä käyttävistä CHP-laitoksista käyttää kaasua. Jätteen poltolle käytettiin yhdyskunta-/sekajätteen ominaispäästöä 40 g  $\text{CO}_2$ /MJ. Biomassan polton  $\text{CO}_2$ -päästökertoimenä käytettiin nollaa kansainvälisten laskenta- ja raportointisääntöjen mukaisesti.

Polttoaineiden polton metaanin ( $\text{CH}_4$ ) ja typpioksiduulin ( $\text{N}_2\text{O}$ ) ominaispäästöt arvioitiin vuonna 2018 julkisen sähkön ja lämmön tuotannon  $\text{CH}_4$ - ja  $\text{N}_2\text{O}$ - kokonaispäästöjen (Tilastokeskus 2020a) ja sähkön ja kaukolämmön tuotantoon käytettyjen polttoaineiden energiasisällön (Tilastokeskus; Energiatilastot 2020) perusteella.  $\text{CH}_4$ - ja  $\text{N}_2\text{O}$ -päästöjen yhteenlasketuksi ominaiskertoimeksi saatiin näin 0,5 g  $\text{CO}_2$ -ekv./MJ. Tätä kerrointa sovellettiin kaikille polttoaineiden polttoon perustuvalla sähkön ja lämmön tuotannolle.

Polttoaineiden hankinnan (louhinta, poraaminen, korjuu, jalostaminen, varastointi, kuljetus, jakelu) kasvihuonekaasupäästöiksi arvioitiin hiillelle 15 g  $\text{CO}_2$ -ekv./MJ (Sokka ym. 2018; viiden luvun keskiarvo), turpeelle 9 g  $\text{CO}_2$ -ekv./MJ (Sokka ym. 2018; kahden luvun keskiarvo), kaasulle 15 g  $\text{CO}_2$ -ekv./MJ (Sokka ym. 2018; kahdeksan luvun keskiarvo) ja puulle 1 g  $\text{CO}_2$ -ekv./MJ (Wiheraari 2005). Jätepolttoaineiden hankinnan päästöjen oletettiin olevan samat kuin puupolttoaineilla. Sähkön ja lämmöntuotantokapasiteetin infrastuktuurin rakentamisen kasvihuonekaasupäästöiksi arvioitiin

kaikille muille polttoaineille 3 g CO<sub>2</sub>-ekv./MJ (Wernet ym. 2016), kaasulle 0,5 g CO<sub>2</sub>-ekv./MJ, ydin- ja vesivoimalle 5 g CO<sub>2</sub>-ekv./MJ, tuulivoimalle 4 g CO<sub>2</sub>-ekv./MJ ja aurinkovoimalle 12 g CO<sub>2</sub>-ekv./MJ (Schlömer ym. 2014).

## Kotimaisten kasvihuonekaasupäästöjen kohdentaminen loppukulutukseen siirretylle sähkölle, kaukolämmölle ja kaukojäähdytykselle

### Energiaperusteinen jako sähkön ja lämmön yhteistuotannossa

Energiaperusteisessa jaossa polttoaineiden kulutus sähkön ja lämmön yhteistuotannossa kohdennettiin sähkölle ja lämmölle tuotettujen energiamäärien mukaan. WEM-skenaarion mukaiset kasvihuonekaasupäästöt sähköenergian kotimaisesta tuotannosta (taulukko 9) ja kulutukseen siirrettyä sähköenergiaa kohden laskettuina ominaispäästöinä (taulukko 10) on esitetty alla.

**Taulukko 9. Kasvihuonekaasupäästöt (Mt CO<sub>2</sub>-ekv.) kotimaisesta sähköenergian tuotannosta WEM-skenaariossa 2020-2050 (energiaperusteinen jako).**

Energialähde/tuotantomuoto	2020	2030	2040	2050
hiili- ja turvelauhde	2,6	1,6	0,0	0,0
kaasu- ja öljylauhde	0,4	0,0	0,0	0,7
CHP, hiili ja turve	3,0	1,9	1,9	0,7
CHP, kaasu- ja öljy	2,1	0,7	0,0	0,0
ydinvoima	0,6	0,8	0,7	0,5
biomassa	0,2	0,3	0,3	0,4
vesi	1,5	1,5	1,5	1,5
tuulienergia	0,1	0,2	0,2	0,3
aurinkoenergia	0,0	0,1	0,2	0,3
<b>yhteensä</b>	<b>10,7</b>	<b>7,0</b>	<b>4,8</b>	<b>4,5</b>

**Taulukko 10. Kulutukseen siirretyn sähkön KHK-ominaispäästöt (tuontisähkö laskettu nollopäästöisenä) WEM-skenaariossa 2020-2050 (energiaperusteinen jako).**

	2020	2030	2040	2050
sähkönkulutuksen KHK-päästökerroin, tuotantoperusteinen, g CO <sub>2</sub> /kWh	125	77	51	44

Kaukolämmön ja kaukojäähdytyksen tuotannossa käytetyn sähkön ominaispäästönä käytettiin energiaperusteisesti laskettua loppukulutukseen siirrettyä sähkön kotimaista ominaispäästöä (taulukko 10). WEM-skenaarion mukaiset kasvihuonekaasupäästöt kaukolämmön hankinnasta (taulukko 11) ja kasvihuonekaasujen ominaispäästöt loppukulutukseen siirretystä kaukolämmön ja kaukojäähdytyksen kulutuksesta (taulukko 12) on esitetty alla.

**Taulukko 11. Kaukolämmön hankinnan kasvihuonekaasupäästöt (Mt CO<sub>2</sub>-ekv.) WEM-skenaariossa 2020-2050 (energiaperusteinen jako).**

	2020	2030	2040	2050
hiili	1,9	1,1	0,8	0,4
öljy	0,2	0,1	0,1	0,0
kaasu	1,8	0,3	0,1	0,1
turve	2,0	2,2	1,2	0,4
biomassa	0	0	0	0
jäte	0,5	0,4	0,4	0,3
sähkö	0,1	0,1	0,1	0,1
muu (pumpuvoima)	0	0	0	0
<b>yhteensä</b>	<b>6,5</b>	<b>4,3</b>	<b>2,5</b>	<b>1,3</b>

**Taulukko 12. Kaukolämmön ja kaukojäähdytyksen kulutuksen KHK-ominaispäästöt WEM-skenaariossa 2020-2050 (energiaperusteinen jako).**

	2020	2030	2040	2050
<b>Kaukolämmön kulutuksen KHK-päästökerroin, g CO<sub>2</sub>/kWh</b>	223	162	108	67
<b>Kaukojäähdytyksen kulutuksen KHK-päästökerroin, g CO<sub>2</sub>/kWh</b>	40	26	17	14

### Hyödynjako sähkön ja lämmön yhteistuotannossa

Hyödynjaossa polttoaineiden kulutus sähkön ja lämmön yhteistuotannossa kohdennettiin sähkölle ja lämmölle suhteessa oletettuun tilanteeseen, jossa sähkö ja lämpö olisi tuotettu erillistuotannossa vastaavia polttoaineita käyttäen. Sähkölle erillistuotannon hyötysuhteena käytettiin 39 % ja lämmölle 90 %.

Kaukolämmön CHP-tuotannon polttoaineiden kulutus määritettiin erikseen hiillelle ja turpeelle, kaasulle ja öljylle sekä biomassalle koko CHP-tuotannon polttoaineiden kulutuksen (taulukko 6) ja kaukolämmön tuotannon energialähteiden (taulukko 3) perusteella (taulukko 13, 14). Jos CHP-tuotannossa käytettävien polttoaineiden (esim. hiilen ja turpeen) kulutus oli suurempi kuin näiden polttoaineiden määrä, joka saadaan laskemalla kaukolämmön hankinnan polttoaineiden kulutuksen, yhteistuotannon hyötysuhteen ja rakennusasteen kautta, oletettiin näiden polttoaineiden kulutuksen kaukolämmön hankinnassa kohdistuvan kokonaan yhteistuotantoon. Muussa tapauksessa kaukolämmön CHP-tuotannon polttoaineiden kulutuksen oletettiin vastaavan koko CHP-tuotannon (kaukolämpö + teollisuushöyry) polttoaineiden kulutusta. Tällöin loput kaukolämmön hankinnassa käytettävistä polttoaineista (esim. hiilestä ja turpeesta) oletettiin kulutettavan kaukolämmön erillistuotannossa (hyötysuhde 90 %).

**Taulukko 13. Kaukolämpö-CHP-tuotannon polttoaineiden kulutus WEM-skenaariossa 2020-2050.**

<b>Kaukolämpö-CHP-tuotannon polttoaineiden kulutus, TWh</b>	2020	2030	2040	2050
CHP, hiili ja turve	16,7	13,3	8,2	3,5
CHP, kaasu ja öljy	16,7	4,3	0,0	0,0
CHP, biomassa	28,0	28,3	30,4	29,7

**Taulukko 14. Kaukolämmön erillistuotannon polttoaineiden kulutus WEM-skenaariossa 2020-2050.**

	2020	2030	2040	2050
hiili ja turve	0,0	0,5	0,0	0,0
kaasu ja öljy	3,0	0,0	1,2	1,0
biomassa	0,0	0,0	0,0	0,0

Kaukolämpöä tuottavien sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitosten tuottama kokonais-, sähkö- ja lämpöenergia laskettiin kaukolämpö-CHP-laitosten polttoaineiden kulutuksen (taulukko 13), kokonaisyötysuhteen (90 %) ja rakennusasteen (50 % hiili ja turve sekä biomassa, 100 % kaasu ja öljy) perusteella (taulukko 15).

**Taulukko 15. Kaukolämpö-CHP-tuotannossa tuotettu energia (TWh) WEM-skenaariossa 2020-2050.**

	2020	2030	2040	2050
hiilellä ja turpeella tuotettu sähkö- ja lämpöenergia	15,0	12,0	7,4	3,2
hiilellä ja turpeella tuotettu sähköenergia	5,0	4,0	2,5	1,1
hiilellä ja turpeella tuotettu lämpöenergia	10,0	8,0	4,9	2,1
kaasulla ja öljyllä tuotettu sähkö- ja lämpöenergia	15,0	3,9	0,0	0,0
kaasulla ja öljyllä tuotettu sähköenergia	7,5	2,0	0	0
kaasulla ja öljyllä tuotettu lämpöenergia	7,5	2,0	0,0	0,0
biomassalla tuotettu sähkö- ja lämpöenergia	25,2	25,4	27,4	26,7
biomassalla tuotettu sähköenergia	8,4	8,5	9,1	8,9
biomassalla tuotettu lämpöenergia	16,8	17,0	18,3	17,8

**Taulukko 16. Polttoaineiden kulutus yhteistuotannolle vaihtoehtoisessa erillistuotannossa (TWh) WEM-skenaariossa 2020-2050.**

	2020	2030	2040	2050
sähköenergia hiilellä ja turpeella	12,8	10,3	6,3	2,7
lämpöenergia hiilellä ja turpeella	11,1	8,9	5,5	2,3
sähköenergia kaasulla ja öljyllä	19,2	5,0	0,0	0,0
lämpöenergia kaasulla ja öljyllä	8,3	2,2	0,0	0,0
sähköenergia biomassalla	21,6	21,7	23,4	22,8
lämpöenergia biomassalla	18,7	18,8	20,3	19,8

Kaukolämpö-CHP-tuotannossa käytetyt polttoaineet kohdennettiin sähkölle ja lämmölle (taulukko 17) yhteistuotannolle vaihtoehtoisessa erillistuotannossa tarvittavien polttoaineiden käytön (taulukko 16) perusteella. Kaukolämmön hankinnan polttoaineet laskettiin lisäämällä lämmölle kohdennettuihin yhteistuotannon polttoaineisiin erillistuotannon polttoaineet. Hyödynjakomenetelmällä lasketut WEM-skenaarion mukaiset kasviuonekaasupäästöt kaukolämmön hankinnasta ja kasviuonekaasujen ominaispäästöt loppukulutukseen siirretystä kaukolämmön ja kaukojäähdytyksen kulutuksesta on esitetty alla (taulukko 18).

**Taulukko 17. Kaukolämpö-CHP-tuotannossa käytettyjen polttoaineiden (TWh) kohdentaminen sähkölle ja lämmölle WEM-skenaariossa 2020-2050 (hyödynjakomenetelmä).**

	2020	2030	2040	2050
hiili ja turve, sähkölle	8,9	7,1	4,4	1,9
kaasu ja öljy, sähkölle	7,9	1,7	0,0	0,0
hiili ja turve, lämmölle	7,7	6,2	3,8	1,6
kaasu ja öljy, lämmölle	6,8	1,5	0,0	0,0

**Taulukko 18. Kaukolämmön hankinnan kasvihuonekaasupäästöt ja loppukulutukseen siirretyn kaukolämmön ja kaukojäähdytyksen KHK-ominaispäästöt WEM-skenaariossa 2020-2050 (hyödynjakomenetelmä).**

	2020	2030	2040	2050
Kaukolämmön hankinnan KHK-päästöt, Mt CO <sub>2</sub> -ekv.	5,3	3,8	2,5	1,6
<b>Kaukolämmön kulutuksen KHK-päästökerroin, g CO<sub>2</sub>-ekv./kWh</b>	147	114	82	54
<b>Kaukojäähdytyksen kulutuksen KHK-päästökerroin, g CO<sub>2</sub>-ekv./kWh</b>	42	26	18	13

Sähkön hankinnan polttoaineet laskettiin kohdentamalla CHP-tuotannon (kaukolämpö ja teollisuus) polttoaineet hyödynjakomenetelmällä ja lisäämällä polttoaineisiin erillistuotannon polttoaineet. Kulutukseen siirretyn sähkön kasvihuonekaasujen ominaispäästöt (taulukko 19) laskettiin hyödynjakomenetelmällä jakamalla sähkön kotimaisen tuotannon kasvihuonekaasupäästöt kulutukseen siirretyn sähkön määrällä (taulukko 4), joten tuontisähkön päästöjä ei ole huomioitu.

**Taulukko 19. Sähkön tuotannon kasvihuonekaasupäästöt ja kulutukseen siirretyn kotimaisen sähkön KHK-ominaispäästöt WEM-skenaariossa 2020-2050 (hyödynjakomenetelmä).**

	2020	2030	2040	2050
Sähkön tuotannon kasvihuonekaasupäästöt, Mt CO <sub>2</sub> -ekv.	13,1	8,1	5,6	4,6
<b>sähkönkulutuksen KHK-päästökerroin, g CO<sub>2</sub>-ekv./kWh</b>	153	89	59	45

### Skenaariot 2050-2120

WEM-skenaario (Koljonen ym. 2019) ulottui vuoteen 2050 saakka, joten sen jälkeinen sähkön, kaukolämmön ja kaukojäähdytyksen kasvihuonekaasujen ominaispäästöjen kehitys ekstrapoloitiin sovittamalla vuosille 2020-2050 laskettuihin kasvihuonekaasujen ominaispäästökertoimiin trendiviiva. Trendilajina käytettiin tehokkuuskäyrää (taulukko 20). Loppukulutukseen siirretyn sähkön, kaukolämmön ja kaukojäähdytyksen kasvihuonekaasujen ominaispäästöt WEM-skenaariossa 2020-2120 on esitetty alla (taulukko 20, kuvat 1, 2, 3). Kymmenvuotiskausten väli vuosien päästöjä ei laskettu, mutta ne voidaan laskea esimerkiksi olettamalla lineaarinen muutos kahden peräkkäisen kymmenvuotiskauden (esim. 2020 ja 2030) välille, kaavalla (1) (toinen vaihtoehto on soveltaa taulukossa 20 esitettyjä trendiviivoja vuosittaisten lukujen määrittelyyn):

$$(1) y = y_0 + k(x-x_0)$$

missä  $k = (y_b - y_0) / (x_b - x_0)$ ,  
 $y_b =$  ominaispäästökerroin tarkasteltavan kymmenvuotiskauden päätevuonna

$y_0$  = ominaispäästökerroin tarkasteltavan kymmenvuotiskauden  
aloitusvuonna

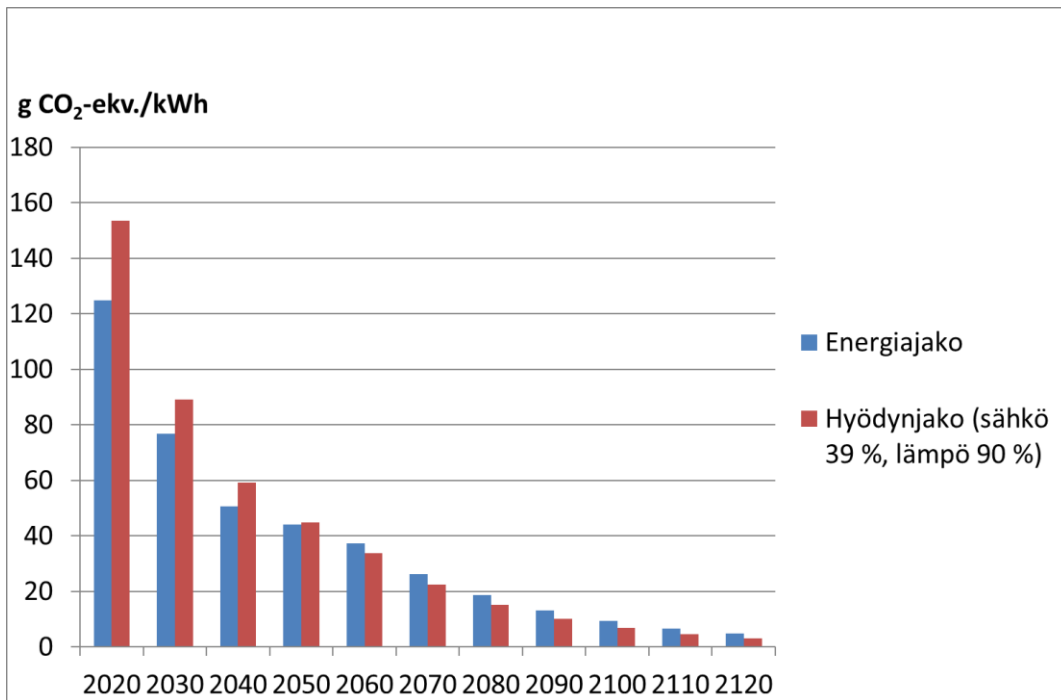
$x_b$  = tarkasteltavan kymmenvuotiskauden päätevuosi,

$x_0$  = tarkasteltavan kymmenvuotiskauden alkuvuosi

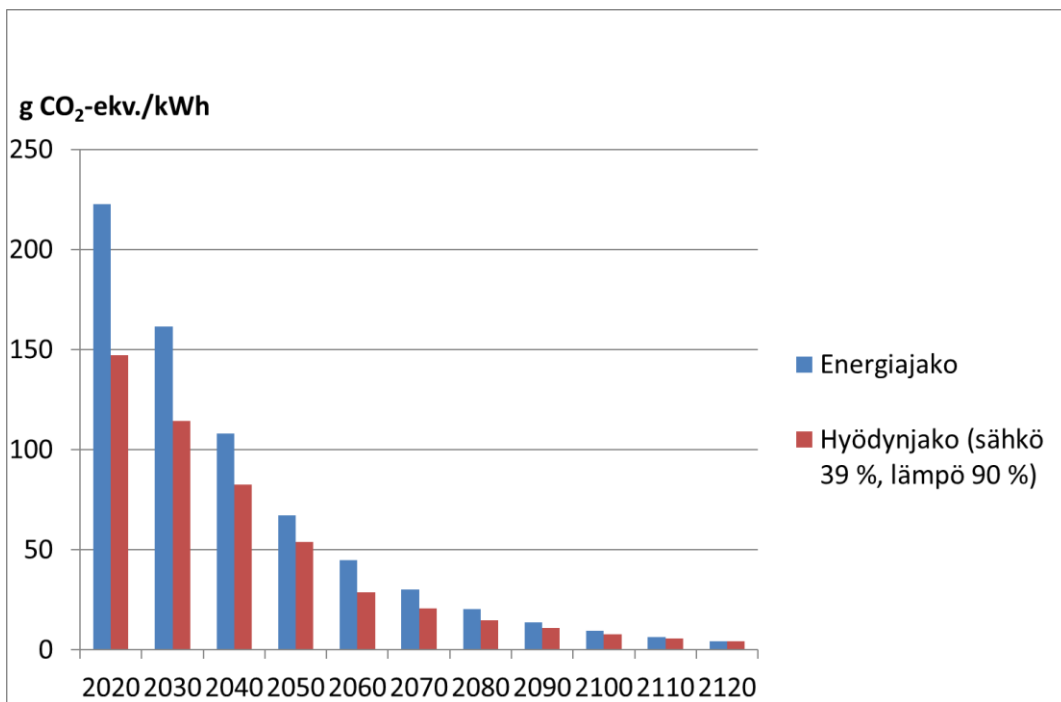
$x$  = tarkasteltava vuosi

**Taulukko 20. Loppukulutukseen siirretyn sähkön, kaukolämmön ja kaukojäähdytyksen KHK-ominaispäästöt WEM-skenaariossa 2020-2120 (energia- ja hyödynjakomenetelmät).**

	2020	2030	2040	2050	trendiviiva	2060	2070	2080	2090	2100	2110	2120
Sähkönkulutuksen KHK-päästökerroin, energijako, g CO <sub>2</sub> -ekv./kWh	125	77	51	44	$y = 2E+240x^{-72,04}$	37	26	19	13	9	7	5
Kaukolämmön kulutuksen KHK-päästökerroin, energijako, g CO <sub>2</sub> -ekv./kWh	223	162	108	67	$y = 2E+271x^{-81,37}$	45	30	20	14	9	6	4
Kaukojäähdytyksen kulutuksen KHK-päästökerroin, energijako, g CO <sub>2</sub> -ekv./kWh	40	26	17	14	$y = 4E+249x^{-75,02}$	10	7	5	3	2	2	1
Sähkönkulutuksen KHK-päästökerroin, hyödynjako, g CO <sub>2</sub> -ekv./kWh	153	89	59	45	$y = 2E+278x^{-83,52}$	34	22	15	10	7	5	3
Kaukolämmön kulutuksen KHK-päästökerroin, hyödynjako, g CO <sub>2</sub> -ekv./kWh	147	114	82	54	$y = 1E+227x^{-68,06}$	29	21	15	11	8	6	4
Kaukojäähdytyksen kulutuksen KHK-päästökerroin, hyödynjako, g CO <sub>2</sub> -ekv./kWh	42	26	18	13	$y = 3E+265x^{-79,81}$	10	7	5	3	2	1	1



**Kuva 1. Suomessa tuotetun sähkön kasvihuonekaasupäästöt suhteessa sähkön kulutukseen WEM-skenaariossa 2020-2120 (energia- ja hyödynjakomenetelmät).**



**Kuva 2. Loppukulutukseen siirretyn kaukolämmön kasvihuonekaasujen ominaispäästöt WEM-skenaariossa 2020-2120 (energia- ja hyödynjakomenetelmät).**



## Lähdeviitteet

- EU 2018. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2018/1999, annettu 11 päivänä joulukuuta 2018, energiaunionin ja ilmastotoimien hallinnosta.
- EU 2018b. EU. DIRECTIVE (EU) 2018/2001 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast). vol. 2018. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=LEGISSUM:4372645>
- European Commission. 2016. EU Reference Scenario 2016 Energy, transport and GHG emissions Trends to 2050.
- Schlömer S., T. Bruckner, L. Fulton, E. Hertwich, A. McKinnon, D. Perczyk, J. Roy, R. Schaeffer, R. Sims, P. Smith, and R. Wiser, 2014: Annex III: Technology-specific cost and performance parameters. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Koljonen, T., Soimakallio, S., Asikainen, A., Lanki, T., Anttila, P., Hildén, M., Honkatukia, J., Karvosenoja, N., Lehtilä, A., Lehtonen, H., Lindroos, T.J., Regina, K., Salminen, O., Savolahti, M., Siljander, R., Tiittanen, P. 2017a. Energia- ja ilmastostrategian vaikutusarviot: Yhteenvetoraportti. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 21/2017.
- Koljonen, T., Soimakallio, S., Ollikainen, M., Lanki, T., Asikainen, A., Ekholm, T., Hildén, M., Honkatukia, J., Lehtilä, A., Saarinen, M., Seppälä, J., Similä, L., Tiittanen, P. 2017b. Keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelman vaikutusarviot. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 57/2017.
- Koljonen, T., Soimakallio, S., Lehtilä, A., Similä, L., Honkatukia, J., Hildén, M., Rehunen, A., Saikku, L., Salo, M., Savolahti, M., Tuominen, P., Vainio, T. 2019. Pitkän aikavälin kokonaispäästökehitys. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 24/2019.
- Sokka, L., Correia, S., Koljonen, T. 2018. Lämmityspolttoaineiden tuotannon elinkaariset kasvihuonekaasupäästöt. VTT Technology 336. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2018/T336.pdf>
- TEM. 2017. Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja – Energia – 4/2017.
- Tilastokeskus 2018. Polttoaineluokitus 2018. <https://www.tilastokeskus.fi/fi/luokitukset/polttoaineet/>
- YM. 2017. Valtioneuvoston selonteko keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelmasta vuoteen 2030. Kohti ilmastoviisasta arkea. Ympäristöministeriön raportteja 21/2017. [http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80703/YMra\\_21\\_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80703/YMra_21_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., and Weidema, B., 2016. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. The International Journal of Life Cycle Assessment, [online] 21(9), pp.1218–1230. Available at: <<http://link.springer.com/10.1007/s11367-016-1087-8>> [Accessed 24.11.2020].
- Wiheraari, M. 2005. Aspects on bioenergy as a technical measure to reduce energy related greenhouse gas emissions. VTT Publications 564.