

AALTO-YLIOPISTON TEKNILLINEN KORKEAKOULU
Insinööritieteiden ja arkkitehtuurin tiedekunta
Energiatekniikan laitos

Matias Keto

Energiamuotojen kerroin

Yleiset perusteet ja toteutuneen sähkön- ja lämmöntuotannon kertoimet

Raportti Ympäristöministeriölle

Energiamuotojen kerroin
Yleiset perusteet ja toteutuneen sähkön- ja lämmöntuotannon kertoimet 2000–2008
Raportti Ympäristöministeriölle

Matias Keto
Aalto-yliopiston teknillinen korkeakoulu
Energiatekniikan laitos
2010

Käyntiosoite:
Otakaari 4, Espoo
Konetekniikka 1

Postiosoite:
Aalto-yliopiston
teknillinen korkeakoulu
PL 14100
00076 Aalto

Julkaistu: 23. marraskuuta 2010

Tämä sähköinen versio on tallennettu viimeksi 9. joulukuuta 2010 kello 11.41 (Suomen normaaliaikaa)

Tiivistelmä

Energiamuotojen kerroin

Energiamuotojen kerroin on kulutetun energian ja kulutuksen seurauksien välinen verrannollisuuskerroin

$$\left(\begin{array}{c} \text{kulutuksen} \\ \text{seuraukset} \end{array} \right) = (\text{kerroin}) \cdot (\text{kulutus}).$$

Kertoimina voidaan käyttää esimerkiksi seuraavia kertoimia.

Tuotannon keskimääräinen kokonaisprimäärienergiakerroin

$$(\text{kerroin}) = \frac{\left(\begin{array}{c} \text{tuotantoon} \\ \text{käytetty} \\ \text{primäärienergia} \end{array} \right)}{(\text{tuotanto})}$$

Suomessa tuotetun sähkön ja kaukolämmön keskimääräiset kokonaisprimäärienergiakertoimet vuosina 2000–2008.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Sähkö	2,16	2,21	2,25	2,31	2,21	2,18	2,27	2,20	2,12	2,21
Kaukolämpö	0,90	0,91	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,91	0,90	0,90

Primäärienergian määritelmä A: ydinvoiman primäärienergiahyötysuhde 33 %, vesi- ja tuulivoiman primäärienergiahyötysuhde 100 %, energianlähteiden primäärienergiakerroin 1,00. Yhteistuotannon energianlähteet jaettu hyödynjakomenetelmällä. Sähköntuotannon jakajana sähkön nettotuotanto. Tilastoaineiston lähde [1].

Euroopan unionin (EU-27) jäsenvaltioiden yhteenlasketun sähköntuotannon kokonaisprimäärienergiakerroin on noin 2,5 (ks. luku 4.4).

Tuotannon keskimääräinen uusiutumattoman energian primäärienergiakerroin

$$(\text{kerroin}) = \frac{\left(\begin{array}{c} \text{tuotantoon} \\ \text{käytetty} \\ \text{uusiutumaton} \\ \text{primäärienergia} \end{array} \right)}{(\text{tuotanto})}$$

Suomessa tuotetun sähkön ja kaukolämmön keskimääräiset uusiutumattoman energian primäärienergiakertoimet vuosina 2000–2008.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Sähkö	1,67	1,77	1,82	1,94	1,76	1,67	1,83	1,75	1,59	1,75
Kaukolämpö	0,79	0,80	0,78	0,78	0,77	0,74	0,75	0,77	0,74	0,77

Primäärienergian määritelmä B: ydinvoiman primäärienergiahyötysuhde 33 %, uusiutuvien energianlähteiden primäärienergiakerroin 0,00. Yhteistuotannon energianlähteet jaettu hyödynjakomenetelmällä. Sähköntuotannon jakajana sähkön nettotuotanto. Tilastoaineiston lähde [1].

Euroopan unionin (EU-27) jäsenvaltioiden yhteenlasketun sähköntuotannon uusiutumattoman energian primäärienergiakerroin noin 2,2 (ks. luku 4.4).

Tuotannon keskimääräinen CO₂-ominaispäästökerroin

$$(\text{kerroin}) = \frac{\left(\begin{array}{c} \text{tuotannon} \\ \text{hiilidioksidipäästöt} \end{array} \right)}{\left(\begin{array}{c} \text{tuotanto} \end{array} \right)}$$

Suomessa tuotetun sähkön ja kaukolämmön keskimääräiset CO₂-ominaispäästökertoimet vuosina 2000–2008, yksikkönä g(CO₂)/kWh.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Sähkö	214	263	286	350	298	204	309	280	215	269
Kaukolämpö	220	229	225	220	215	203	211	219	204	216

Yhteistuotannon energianlähteet jaettu hyödynjakomenetelmällä. Sähköntuotannon jakajana sähkön nettotuotanto. Tilastoaineiston lähde [1].

Euroopan unionin (EU-27) jäsenvaltioiden yhteenlasketun sähköntuotannon keskimääräinen ominaispäästökerroin on noin 436 g(CO₂)/kWh (ks. luku 4.4).

Energian tuotannon (kulutuksen) muutoksen CO₂-ominaispäästökerroin

$$(\text{kerroin}) = \frac{\left(\begin{array}{c} \text{tuotannon} \\ \text{hiilidioksidipäästöt} \\ \text{muutoksen} \\ \text{jälkeen} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{tuotannon} \\ \text{hiilidioksidipäästöt} \\ \text{ennen} \\ \text{muutosta} \end{array} \right)}{\left(\begin{array}{c} \text{tuotanto} \\ \text{muutoksen} \\ \text{jälkeen} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{tuotanto} \\ \text{ennen} \\ \text{muutosta} \end{array} \right)}$$

Sähkön tuotannon muutoksen kertoimena voidaan joissakin tapauksissa käyttää esimerkiksi erillisen tavanomaisen lämpövoiman keskimääräistä ominaispäästökerrointa. Suomessa tuotetun erillisen tavanomaisen lämpövoiman (valtaosin lauhdutusvoimaa) ominaispäästökerroin on ollut vuosina 2000–2008 keskimäärin:

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Erillinen tavanomainen lämpövoima	950	899	902	865	879	976	870	890	866	890

Taulukossa yksikkönä g(CO₂)/kWh. Jakajana erillisen tavanomaisen lämpövoiman nettotuotanto. Keskiarvo ei sisällä vuotta 2005. Tilastoaineiston lähde [1].

Energian tuotannon (kulutuksen) muutoksen primäärienergiakerroin

$$(\text{kerroin}) = \frac{\left(\begin{array}{c} \text{tuotantoon käytetty} \\ \text{primäärienergia} \\ \text{muutoksen} \\ \text{jälkeen} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{tuotantoon käytetty} \\ \text{primäärienergia} \\ \text{ennen} \\ \text{muutosta} \end{array} \right)}{\left(\begin{array}{c} \text{tuotanto} \\ \text{muutoksen} \\ \text{jälkeen} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{tuotanto} \\ \text{ennen} \\ \text{muutosta} \end{array} \right)}$$

Sähkön tuotannon muutoksen kertoimena voidaan joissakin tapauksissa käyttää esimerkiksi erillisen tavanomaisen lämpövoiman keskimääräistä primäärienergiakerrointa. Suomessa tuotetun erillisen tavanomaisen lämpövoiman (valtaosin lauhdutusvoimaa) kokonaisprimäärienergiakerroin on ollut vuosina 2000–2008 keskimäärin:

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Erillinen tavanomainen lämpövoima	2,70	2,70	2,70	2,69	2,73	3,03	2,73	2,65	2,78	2,71

Jakajana erillisen tavanomaisen lämpövoiman nettotuotanto. Tilastoaineiston lähde [1]. Keskiarvo ei sisällä vuotta 2005.

ja erillisen tavanomaisen lämpövoiman uusiutumattoman energian primäärienergiakerroin:

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Erillinen tavanomainen lämpövoima	2,45	2,46	2,51	2,52	2,51	2,41	2,47	2,44	2,28	2,46

Jakajana erillisen tavanomaisen lämpövoiman nettotuotanto. Keskiarvo ei sisällä vuotta 2005. Tilastoaineiston lähde [1].

Polttoaineiden kertoimet

Polttoaineiden, kuten lämmitysöljyn ja polttopuun, käyttämisen seuraukset voidaan jakaa välittömiin ja välillisiin seurauksiin. Välittömät seuraukset aiheutuvat polttoaineen polttamisesta (esim. rakennuksessa tai voimalaitoksessa) ja välilliset seuraukset esimerkiksi polttoaineen jalostamisesta ja kuljettamisesta.

Polttoaineiden polttamisen välittömien seurausten päästökertoimena voidaan käyttää esimerkiksi polttoaineen CO₂-ominaispäästökerrointa. Tilastokeskuksen vuoden 2010 polttoaineluokituksessa kevyen polttoöljyn ominaispäästökertoimelle käytetään arvoa 266,76 g(CO₂)/kWh¹.

Polttoaineiden välittömien seurausten kokonaisprimäärienergiakerroin on aina tasan yksi. Rakennukseen toimitetun ja rakennuksessa poltetun lämmitysöljyn, polttopuun ja maakaasun välittömien seurausten kokonaisprimäärienergiakerroin on esimerkiksi aina tasan yksi. Jos kokonaisprimäärienergiakertoimessa huomioidaan lisäksi esimerkiksi polttoaineiden jalostamisten ja kuljettamisen vaatima primäärienergia, kaikkien polttoaineiden kokonaisprimäärienergiakerroin on suurempi kuin yksi.

Biopolttoaineiden uusiutumattoman energian primäärienergiakerroin on nolla ja uusiutumattomien polttoaineiden tasan yksi (välittömien seurausten suhteen). Sekapolttoaineiden kerroin on nollan ja yhden välillä. Jos uusiutumattoman energian kertoimessa huomioidaan lisäksi esimerkiksi polttoaineen jalostamisen ja kuljettamisen vaatima primäärienergia, myös biopolttoaineiden uusiutumattoman energian kerroin on suurempi kuin nolla, jos jalostamiseen ja kuljettamiseen on käytetty uusiutumattomia energianlähteitä.

Polttoaineiden primäärienergiakertoimet.

Välittömien seurausten kerroin	Uusiutumattomat polttoaineet	Uusiutuvat polttoaineet	Sekapolttoaineet
Kokonaisprimäärienergiakerroin	1	1	1
Uusiutumattoman energian primäärienergiakerroin	1	0	0 < kerroin < 1

Välittömät ja välilliset seuraukset sisältävä kerroin	Uusiutumattomat polttoaineet	Uusiutuvat polttoaineet	Sekapolttoaineet
Kokonaisprimäärienergiakerroin	≥ 1	≥ 1	≥ 1
Uusiutumattoman energian primäärienergiakerroin	≥ 1	≥ 0	> 0

Sekapolttoaineet sisältävät sekä uusiutumattomia että uusiutuvia osia.

¹ Kertoimen yksikön nimittäjän energiasuure viittaa polttoaineen täydellisessä palamisessa vapautuvaan alemman lämpöarvon mukaiseen energiaan. Kertoimen osoittaja viittaa vastaavasti polttoaineen täydellisessä palamisessa vapautuviin hiilidioksidipäästöihin yhtä polttoaineesta vapautuvaa alemman lämpöarvon mukaista energiayksikköä kohden.

Esipuhe

Tämä raportti on laadittu Suomen rakentamismääräyskokoelman uudistamista avustavaksi taustaraportiksi. Raportti on kirjoitettu Aalto-yliopiston teknillisessä korkeakoulussa Ympäristöministeriön toimeksiannosta.

Raportissa käsitellään sähkön- ja lämmöntuotannon energiamuotojen kertoimien määrittämisen yleisiä perusteita ja esitetään Suomessa tuotetun sähkön ja kaukolämmön keskimääräiset primäärienergia- ja hiilidioksidipäästökertoimet vuosilta 2000–2008 sekä useimpien Euroopan valtioiden vastaavat kertoimet vuodelta 2007.

Raportissa ei ole pyritty arvioimaan energian tuotannon tulevaisuutta eikä energian tuotannon välillisiä seurauksia, kuten energianlähteiden jalostamisen ja kuljettamisen energiantarvetta ja hiilidioksidipäästöjä, niihin liittyvän merkittävän epävarmuuden vuoksi.

Matias Keto
23. marraskuuta 2010

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Esipuhe

1 Johdanto	9
2 Lähtötiedot	11
2.1 Sähkön ja lämmön tuotanto Suomessa	11
2.2 Sähkön ja lämmön tuotantoon käytetyt polttoaineet	14
2.2.1 Yhteistuotannon polttoaineiden jakotapojen vaikutus	16
2.3 Sähkön- ja lämmöntuotannon hiilidioksidipäästöt	18
2.4 Tuotannon tunnuslukuja	21
3 Määritelmiä ja menetelmiä	23
3.1 Primäärienergia	23
3.1.1 Primäärienergian laskentatapa energiatilastoinnissa	24
3.1.2 Tässä työssä käytetyt primäärienergian laskentatavat	29
3.2 Energianlähteiden kerroin	31
3.2.1 Energianlähteiden primäärienergiakerroin	33
3.2.2 Polttoaineiden CO ₂ -ominaispäästökerroin	35
3.3 Tuotannon kerroin	40
3.3.2 Yhteistuotannon polttoaineiden ja päästöjen jakaminen	44
4 Toteutuneen tuotannon kertoimet 2000–2008	59
4.1 Primäärienergiakerroin	59
4.1.1 Kokonaisprimäärienergiakerroin	59
4.1.2 Uusiutumattoman energian primäärienergiakerroin	60
4.1.3 Primäärienergian määritelmien vaikutus	61
4.2 Tuotannon CO ₂ -ominaispäästökerroin 2000–2008	63
4.3 Yhteistuotannon jakotavan vaikutus kertoimiin	64
4.3.1 Kokonaisprimäärienergiakerroin	65
4.3.2 Uusiutumattoman energian primäärienergiakerroin	66
4.3.3 Ominaispäästökerroin	67
4.4 Sähköntuotannon kertoimet muissa Euroopan maissa	68
4.4.1 Primäärienergiakerroin	68
4.4.2 Ominaispäästökerroin	70
Lähdeluettelo	71
Liitteet	73
Liite A Energianlähteiden jakauma kaukolämmön tuotannossa	73
Liite B Sähkön tuonti ja vienti	74
Liite C Primäärienergian muodollisia määritelmiä	76
Liite D Kertoimiin liittyviä yksityiskohtia	78
Liite E Uusiutuvien energianlähteiden osuus	80
Liite F Tuotantomuotojen kertoimet kuvina	84
Liite G Kertoimet taulukoituina	90
Liite H Kertoimien vuoden sisäinen vaihtelu	103

1 Johdanto

Energian kulutuksen seuraukset ovat verrannollisia kulutettuun energiamäärään

$$\left(\begin{array}{l} \text{kulutuksen} \\ \text{seuraukset} \end{array} \right) \propto (\text{kulutus}).$$

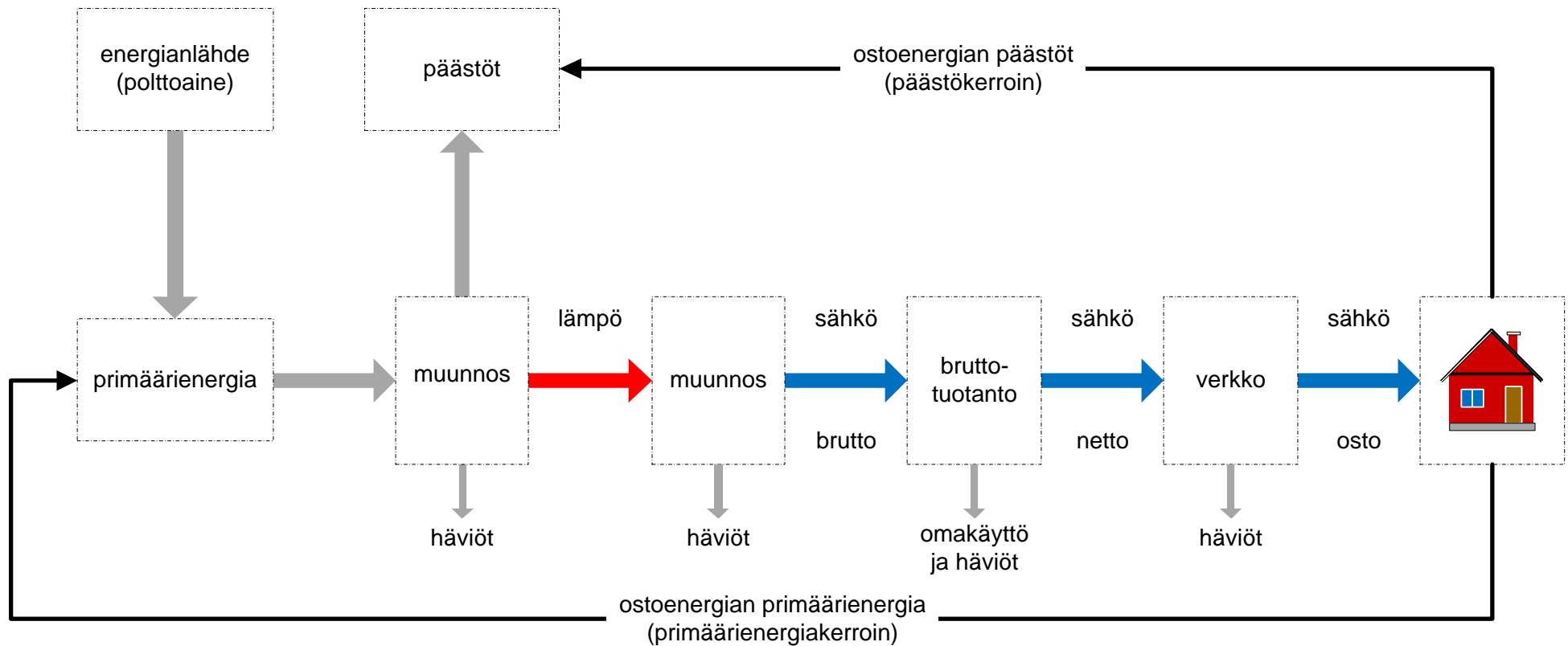
Energiamuotojen kerroin on kulutetun energian ja kulutuksen seurauksien välinen verrannollisuuskerroin

$$\left(\begin{array}{l} \text{kulutuksen} \\ \text{seuraukset} \end{array} \right) = (\text{kerroin}) \cdot (\text{kulutus}).$$

Arkipäiväisiä esimerkkejä energiamuotojen kertoimista ovat esimerkiksi bensiinin ja dieselöljyn verolliset yksikköhinnat, joiden avulla bensiini- ja dieselkäyttöisen auton polttoaineen kulutukset voidaan saattaa taloudellisilta seurauksiltaan vertailukelpoisiksi. Jos esimerkiksi bensiinikäyttöisen auton polttoaineen kulutus on 8 L/(100 km) ja dieselkäyttöisen 6 L/(100 km), ja vastaavat polttoaineiden hinnat 1,4 EUR/L ja 1,2 EUR/L, autojen polttoaineen kulutuksen vertailukelpoiset taloudelliset seuraukset ovat likimain 11 EUR/(100 km) ja 7 EUR/(100 km). Bensiinin täydellisestä palamisesta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt ovat noin 2,3 kg/L ja dieselöljyn 2,6 kg/L (Taulukko 23). Autojen polttoaineen kulutusta vastaavat hiilidioksidipäästöt ovat siten likimain 184 g/km (bensiini) ja 156 g/km (diesel). Esimerkitapauksessa dieselkäyttöinen auto aiheuttaa siis, pienemmästä polttoaineenkulutuksesta johtuen, pienemmät hiilidioksidipäästöt ajettua kilometriä kohden, vaikka dieselöljyn päästökerroin on bensiinin kerrointa korkeampi. Polttoaineiden primäärienergiana käytetään yleensä polttoaineen alempaa lämpöarvoa (ks. luku 3.1). Bensiinikäyttöisen auton polttoaineen kulutusta vastaavaksi primäärienergian tarpeeksi saadaan siten noin 70 kWh/(100 km) ja dieselkäyttöisen noin 60 kWh/(100 km).

Olennaista edellä esitetyssä esimerkissä on se, että kulutuksen seuraukset riippuvat sekä kulutuksesta että kulutuksen kertoimesta. Tieliikenteen päästöt muodostuvat esimerkiksi autojen ja muiden kulkuvälineiden polttoaineen kulutuksesta, polttoaineiden päästökertoimista ja ajetusta matkasta. Pienimmät päästöt siis saavutetaan, kun autojen polttoaineen kulutus on pieni, polttoaine on vähäpäästöinen ja autoilla ajetaan mahdollisimman vähän. Kaikkien tekijöiden on oltava kunnossa eikä yhden tekijän tarkastelu aina anna riittävää kuvaa kokonaisuudesta. Nämä samat periaatteet koskevat myös rakennusten energian käyttöä. Rakennuksissa käytetyn energian hiilidioksidipäästöt muodostuvat esimerkiksi rakennuksen kokoon suhteutetun energian kulutuksen (yksikkönä esim. kWh/m²), energiamuotojen päästökertoimien (yksikkönä esim. g/kWh) ja rakennuksen koon (yksikkönä esim. m²) tulona. Rakennuksen energian tarve tulisi siis olla mahdollisimman pieni suhteessa rakennuksen kokoon, energiantarve tulisi tyydyttää mahdollisimman vähäpäästöisillä energiamuodoilla ja rakennuksen tulisi olla mahdollisimman pieni suhteessa muihin vastaaviin rakennuksiin. Energiamuotojen kertoimen käytön periaatetta on havainnollistettu kuvassa 1.

Rakennusten suunnittelua voidaan ohjata asettamalla rajat rakennuksen energian kulutukselle tai kulutuksen seurauksille. Kulutuksen seuraukset voidaan esittää energiamuotojen kertoimien avulla. Taloudelliseen ohjaukseen perustuvat energiamuotojen kertoimet ovat tavallaan jo käytössä, sillä kuluttajien polttoaineista sekä sähköstä ja kaukolämmöstä maksama hinta sisältää sekä energianlähteiden riittävyttä ja energian tuotantotapaa heijastelevat tuotantokustannukset että valtiollisen ohjauksen sisältävän energiaveron. Energian hinta ohjaa sekä rakennusten suunnittelua että käyttöä. Jos esimerkiksi rakennuksen sisätilojen lämmitysenergian tarve on 50 kWh/m² vuodessa, ja kaukolämmön kokonaishinta 6 snt/kWh ja sähkön 12 snt/kWh, lämmitysenergian välittömät taloudelliset seuraukset ovat vuodessa kaukolämmöllä lämmitettynä 3 EUR/m² ja sähköllä lämmitettynä 6 EUR/m². Vaikka lämmityksen ominaisenergiantarve on molemmissa edellä esitetyissä vaihtoehdoissa yhtä suuri, lämmityksen käytännön toteutuksen seuraukset ovat erisuuret – sama pätee myös lämmityksestä aiheutuviin hiilidioksidipäästöihin ja primäärienergian kulutukseen.



Kuva 1. Primäärienergia- ja päästökertoimen käytön periaate. Kuvassa yksinkertaistettu erillisen tavanomaisen lämpövoiman tuotantoketju.

2 Lähtötiedot

2.1 Sähkön ja lämmön tuotanto Suomessa

Sähkön ja kaukolämmön energiamuotojen kertoimet riippuvat sähkön ja lämmön tuotantorakenteesta sekä tuotantoon käytetyistä energianlähteistä. Lämmön tuotantoon voidaan käyttää polttoaineita, kuten kivihiiltä, öljyä, maakaasua, turvetta ja puuta, sekä ydinpolttoaineita, geotermistä lämpöä ja auringon säteilyä. Energianlähteistä saatavan lämmön hyödyntämiseen perustuvaa sähköntuotantoa kutsutaan lämpövoimaksi ja polttoaineiden käyttöön perustuvaa lämpövoimaa tavanomaiseksi lämpövoimaksi.

Lämpövoimaa voidaan tuottaa yhteis- ja erillistuotantona. Yhteistuotannossa energianlähteistä saatavasta lämmöstä tuotetaan samanaikaisesti sekä lämpöä että sähköä, erillistuotannossa vain sähköä. Höyryturbiiniprosessiin perustuvaa sähkön erillistuotantoa kutsutaan lauhdutusvoimaksi. Lauhdutusvoimalla tarkoitetaan yleensä vain tavanomaista, eli polttoaineiden käyttöön perustuvaa, erillistä lämpövoimaa (ydinvoima käsitellään yleensä omana kokonaisuutenaan). Valtaosa Suomessa tuotetusta erillisestä tavanomaisesta lämpövoimasta on lauhdutusvoimaa². Erillisen tavanomaisen lämpövoiman tuotannon määrän ja osuuden vuosittaiset vaihtelut ovat Suomessa suuria (Taulukko 1, Taulukko 2 ja Kuva 2).

Merkittävä osuus Suomessa tuotetusta tavanomaisesta lämpövoimasta tuotetaan sähkön ja lämmön yhteistuotantona (Taulukko 2). Kaukolämmön tuotantoon liittyvää sähkön yhteistuotantoa kutsutaan yleensä kaukolämpövoimaksi ja teollisuuslämmön tuotantoon liittyvää sähkön yhteistuotantoa teollisuusvoimaksi. Kaukolämpövoimaa on tuotettu Suomessa vuosina 2001–2008 noin 15–16 TWh vuosittain (Taulukko 1). Teollisuusvoiman tuotanto oli ennen talouden taantumaa likimain tasolla 11–12 TWh vuodessa, mutta laski taantumasta ja muista teollisuustuotannon vähenemiseen johtaneista syistä vuonna 2009 tasolle 8,6 TWh. [1,2]

Suomen kaikkien neljän ydinvoimalan nimellinen nettosähköteho oli vuosina 1986–1996 normaaliolosuhteissa yhteensä 2310 MW. Tehoa on sittemmin nostettu vaiheittain nykyiselle 2696 MW tasolle laitoksia uudistamalla ja reaktoreiden lämpötehoa korottamalla. Tehonkorotukset vastaavat yhdessä ison tavanomaisen lauhdutusvoimalan tehoa. Nykyisellä tehotasolla ydinvoimaloiden vuosituotanto olisi noin 23,6 TWh, jos laitoksia voitaisiin käyttää täydellä teholla keskeytyksettä koko vuoden. Suomessa ydinvoimaloiden yhteenlaskettu toteutunut vuosituotanto on ollut vuosina 2000–2008 yli 90 % laitosten suurimmasta mahdollisesta vuosituotannosta. [1,2,3,4,5]

Vesivoiman tuotannon vuosittainen vaihtelu on Suomessa suuri. Vesivoiman vuosituotanto on ollut Suomessa vuosina 1990–2009 pienimmillään 9,5 TWh ja suurimmillaan 16,9 TWh keskiarvon asettuessa tasolle 12,9 TWh. Ajanjakson suurin tuotanto tuotettiin vuonna 2008 ja pienin vuonna 2003. Vesivoiman tuotannon lisärakentamisen mahdollisuudet ovat Suomessa muihin tuotantomuotoihin nähden rajalliset. Tuulivoiman asennetun tehon ja vuosituotannon suhteellinen vuosittainen kasvu on ollut viime vuosina nopeaa, mutta tuulivoiman tuotanto on Suomessa toistaiseksi pieni muihin tuotantomuotoihin verrattuna. Tuulivoiman tuotanto on nykyisin tasolla 0,2–0,3 TWh vuodessa. [1,2,6,7]

Kaukolämmön tuotanto on tilastoitu Suomessa useassa eri tilastossa. Tilastot eroavat toisistaan muun muassa lähdeaineiston (lähinnä tilaston kattavuus) sekä kaukolämmön ja yhteistuotannon määritelmien osalta. Suomessa osa kaukolämmöstä tuotetaan teollisuudessa. Samassa laitoksessa tuotettu lämpö voidaan siis luokitella käyttötarkoituksen perusteella joko teollisuuslämmöksi tai kaukolämmöksi. Tilastokeskuksen sähköntuotantotilastoissa kaukolämmön tuotannoksi Suomessa vuonna 2008 tilastoitiin noin 33,4 TWh, josta noin 76 % esitettiin tuotetuksi yhteistuotantona (Taulukko 1, Taulukko 2 ja Kuva 3). Tilastokeskuksen kaukolämpötilastoissa vastaavat arvot olivat 32,7 TWh (tuotanto) ja 74 % (yhteistuotannon osuus) ja Energiateollisuus ry:n kaukolämpötilastoissa 31,1 TWh ja 75 %. [1,8]

² Energiatilastoinnissa lauhdutusvoimaksi lasketaan yleensä myös yhteistuotantolaitosten tuottama lauhdutus-tuotanto.

Taulukko 1. Sähkön- ja lämmöntuotanto (TWh) Suomessa vuosina 2000–2008. [1, sähkötilastot]

Sähkö	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Vesivoima	14,5	13,0	10,6	9,5	14,9	13,4	11,3	14,0	16,9	13,1
Tuulivoima	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,1
Ydinvoima	21,6	21,9	21,4	21,8	21,8	22,4	22,0	22,5	22,0	21,9
Erillinen tavanom. lämpövoima	6,9	10,8	12,4	21,5	17,4	5,3	17,6	14,4	8,8	12,8
Kaukolämpövoima	13,4	15,1	15,8	16,2	16,3	15,8	15,7	15,3	15,4	15,4
Teollisuusvoima	10,8	10,4	11,3	11,3	11,7	10,6	11,9	11,5	11,1	11,2
Yhteensä	67,3	71,2	71,6	80,4	82,2	67,7	78,6	77,8	74,5	74,6

Kaukolämpö	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Kaukolämpö, yhteistuotanto	21,8	24,8	25,5	26,6	26,3	25,3	25,9	25,3	25,5	25,2
Kaukolämpö, erillistuotanto	6,3	6,1	6,9	7,0	6,8	7,3	7,7	8,1	7,9	7,1
Yhteensä	28,1	31,0	32,4	33,7	33,1	32,6	33,6	33,4	33,4	32,4

Teollisuushöyry	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Teollisuushöyry, yhteistuotanto	47,4	45,1	47,4	47,1	48,3	43,7	50,3	49,5	47,3	47,3
Teollisuushöyry, erillistuotanto	10,1	10,5	11,0	11,1	11,6	10,9	11,3	12,3	12,1	11,2
Yhteensä	57,5	55,6	58,4	58,2	59,9	54,6	61,6	61,8	59,4	58,6

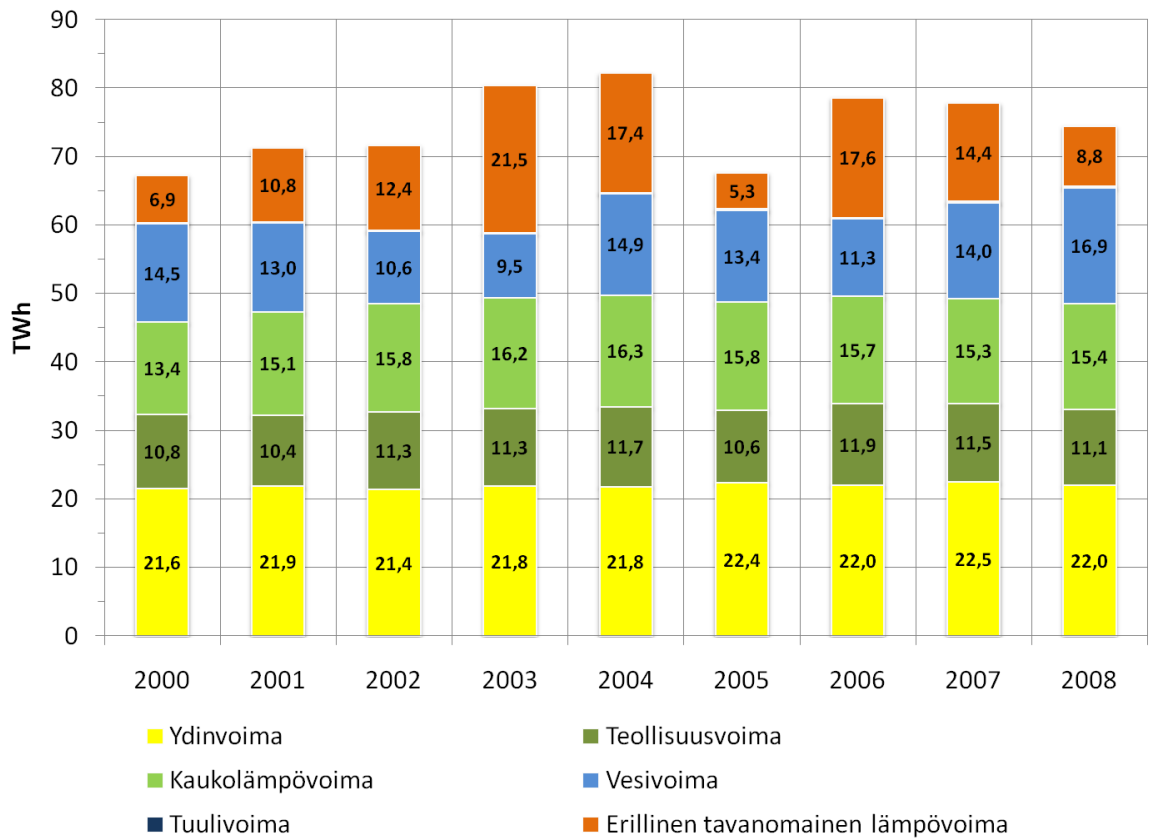
Taulukossa esitetty tarkoittaa laitosten verkkoon syöttämää tuotantoa eli voimalaitosten nettotuotantoa.

Taulukko 2. Tuotantomuotojen osuudet (%) sähkön- ja lämmöntuotannossa Suomessa vuosina 2000–2008. [1, sähkötilastot]

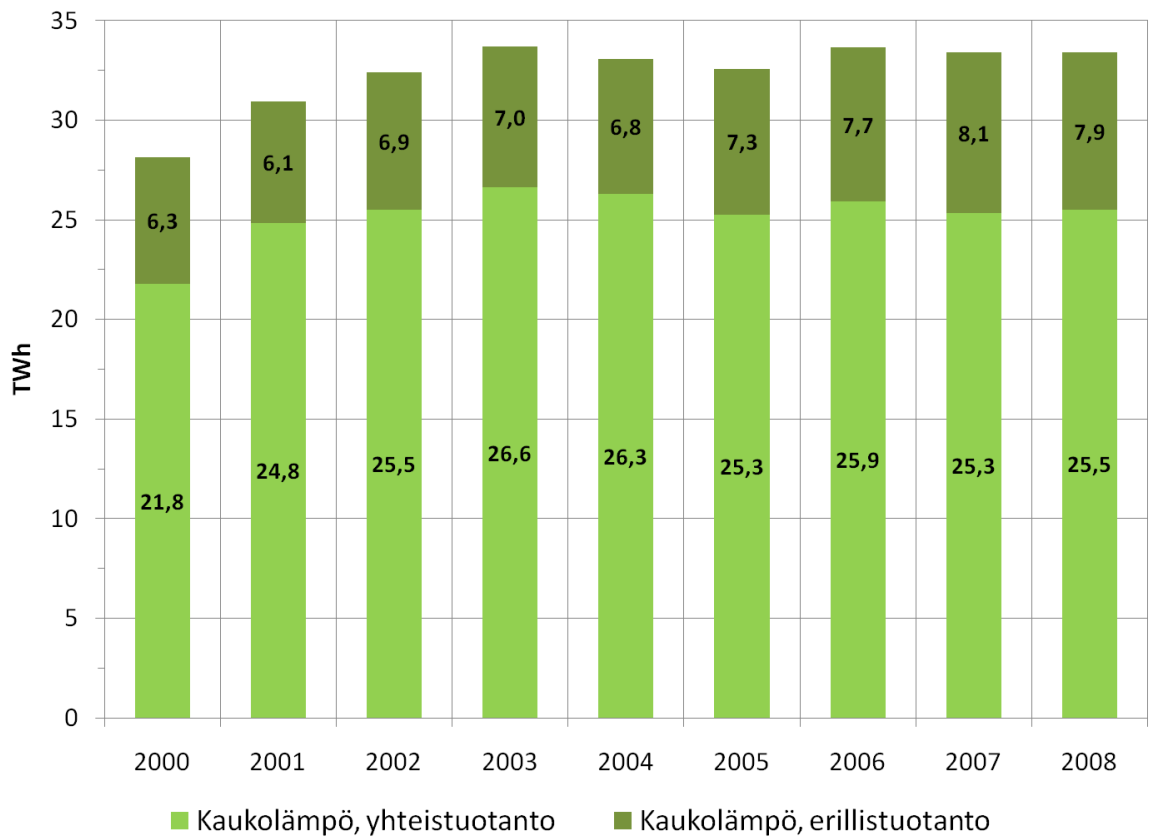
Sähkö	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Vesivoima	21,5	18,3	14,8	11,8	18,1	19,8	14,4	18,0	22,7	17,7
Tuulivoima	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2
Ydinvoima	32,1	30,7	29,9	27,2	26,5	33,0	28,0	28,9	29,6	29,5
Erillinen tavanom. lämpövoima	10,3	15,1	17,3	26,7	21,2	7,9	22,4	18,5	11,8	16,8
Kaukolämpövoima	19,9	21,2	22,1	20,1	19,8	23,3	20,0	19,6	20,7	20,7
Teollisuusvoima	16,1	14,6	15,8	14,1	14,2	15,7	15,1	14,7	14,9	15,0
Yhteensä	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Kaukolämpö	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Kaukolämpö, yhteistuotanto	77,5	80,2	78,7	79,1	79,4	77,6	77,1	75,9	76,4	78,0
Kaukolämpö, erillistuotanto	22,5	19,8	21,3	20,9	20,6	22,4	22,9	24,1	23,6	22,0
Yhteensä	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Teollisuushöyry	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Teollisuushöyry, yhteistuotanto	82,4	81,2	81,2	80,9	80,7	80,0	81,7	80,1	79,6	80,9
Teollisuushöyry, erillistuotanto	17,6	18,8	18,8	19,1	19,3	20,0	18,3	19,9	20,4	19,1
Yhteensä	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0



Kuva 2. Sähkön tuotanto Suomessa vuosina 2000–2008. [1, sähkötilastot]



Kuva 3. Kaukolämmön tuotanto Suomessa vuosina 2000–2008. [1, sähkötilastot]

2.2 Sähkön ja lämmön tuotantoon käytetyt polttoaineet

Erillisen tavanomaisen lämpövoiman tuotantoon käytetään Suomessa pääosin kivihiiltä ja turvetta (Taulukko 3). Kivihiilen ja turpeen polttamisesta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt ovat suuret suhteessa polttoaineen lämpöarvoon (Taulukko 23). Kivihiilen ja turpeen suuresta osuudesta johtuen lauhdutusvoiman tuotantoon käytetyn polttoaineseoksen CO₂-päästökerroin on korkea muihin polttoaineita hyödyntäviin tuotantomuotoihin verrattuna.

Kaukolämmön tuotantoon liittyvän sähkön ja lämmön yhteistuotannon polttoaineista pääosa on maakaasua, kivihiiltä ja turvetta (Taulukko 4 ja Taulukko A-1). Yhteistuotannossa käytetty turve on lähes yksinomaan jyrsturvetta (Taulukko A-2). Teollisuudessa valtaosa sähkön ja lämmön yhteistuotannosta tuotetaan uusiutuvista energianlähteistä (puupolttoaineista). Uusiutuvien energianlähteiden osuus teollisuuden yhteistuotannossa on ollut vuosina 2000–2008 keskimäärin noin 68 % (Taulukko 5).

Kaukolämmön erillistuotantoon käytetään Suomessa pääosin öljyä, maakaasua ja puupolttoaineita (Taulukko 6 ja Taulukko A-1). Polttoaineiden lisäksi kaukolämmön erillistuotantoon käytetään vähäisessä määrin myös mm. sähköä sekä lämpöpumpuilla tuotettua lämpöä³. Suomessa valtaosa kaukolämmöstä tuotetaan yhteistuotantona, mutta erillistuotannolla katetaan kuitenkin merkittävä osa pienten kaukolämpöverkkojen lämmöntarpeesta ja yhteistuotantoa sisältävien kaukolämpöverkkojen tehontarpeesta. Kaukolämmön erillistuotantoon käytetään, yhteistuotannosta poiketen, jyrsturpeen lisäksi merkittävässä määrin myös palaturvetta (Taulukko A-2). Kaukolämmön erillistuotannossa uusiutuvien energianlähteiden osuus on hiljalleen kasvanut vuosina 2000–2008.

Taulukko 3. Erillisen tavanomaisen lämpövoiman energianlähteet Suomessa vuosina 2000–2008. [1, sähkötilastot]

	Kivihiili %	Öljy %	Maakaasu %	Turve %	Muut foss. %	Uusiutuvat %	Muut %	Yhteensä %	Yhteensä TWh	CO ₂ -päästökerroin g(CO ₂)/kWh
2000	58,1	1,6	5,5	14,5	9,6	9,3	1,4	100,0	18,8	352
2001	50,4	1,8	7,0	25,6	5,8	8,6	0,8	100,0	29,1	334
2002	58,0	2,5	6,1	21,0	4,5	6,8	1,1	100,0	33,5	335
2003	60,4	2,2	10,9	15,2	3,7	6,3	1,3	100,0	57,9	321
2004	62,3	1,0	7,0	16,0	4,2	7,9	1,6	100,0	47,5	322
2005	35,1	2,5	4,3	20,6	12,9	20,5	4,1	100,0	16,2	328
2006	58,2	1,0	9,3	16,2	4,6	9,3	1,5	100,0	47,9	319
2007	57,3	1,2	3,3	22,0	6,0	8,1	2,1	100,0	38,2	335
2008	43,1	1,7	4,0	21,0	8,8	18,1	3,4	100,0	24,4	311
ka.	57,8	1,6	7,0	18,6	5,5	8,1	1,4	100,0	39,0	331

Taulukoissa esitetty CO₂-päästökerroin tarkoittaa polttoaineseoksen CO₂-ominaispäästökerrointa (ei tuotannon päästökerrointa). Tässä ja muissa tämän luvun taulukoissa esitetyt päästökertoimet on laskettu jakamalla tuotantomuodon tilastoidut hiilidioksidipäästöt tuotantomuodon tilastoidulla polttoaine-energialla. Vaihtoehtoisesti kertoimet voidaan laskea polttoaineiden osuuksilla painotettujen päästökertoimien summana, jos yksityiskohtainen polttoaine-jakauma ja yksittäisten polttoaineiden päästökertoimet tunnetaan (Tilastokeskuksen tilastoissa polttoainejakaumaa ei ole esitetty riittävän yksityiskohtaisesti). Muut fossiiliset sisältävät mm. masuuni- ja koksikaasun sekä kaksin, muovi- ja ongelmajätteen. Muut uusiutuvat sisältävät mm. biokaasun ja sekapolttoaineiden biohajoavan osuuden. Muut sisältävät mm. teollisuuden reaktio- ja sekundäärilämmön. Tässä taulukossa alimman rivin keskiarvot eivät sisällä vuotta 2005 ja 2008.

³ Tilastokeskuksen tilastoissa lämmön tuotantoon käytetyn sähkön polttoaine-energia ja päästöt sisältyvät sähkön-tuotannon päästöihin (sähköä käytetään sekä suoraan että lämpöpumppujen pyörittämiseen). Lämmön tuotantoon suoraan käytetty sähköenergia ja lämpöpumpuilla tuotettu lämpö lasketaan osaksi tuotantoon käytettyä energiaa sellaisenaan. Polttoaine-energia ja päästöt huomioidaan vain sähköntuotantotilastoissa, sillä muuten ne molemmat tulisivat huomioiduiksi kahteen kertaan (sekä sähköntuotanto- että lämmöntuotantotilastoissa). Tässä työssä esitetyt kertoimet perustuvat Tilastokeskuksen tilastoihin.

Taulukko 4. Kaukolämmön tuotantoon liittyvän yhteistuotannon energianlähteet Suomessa vuosina 2000–2008. [1, sähkötilastot]

	Kivihiili %	Öljy %	Maakaasu %	Turve %	Muut foss. %	Uusiutuvat %	Muut %	Yhteensä %	Yhteensä TWh	CO ₂ -päästökerroin g(CO ₂)/kWh
2000	29,4	1,8	38,6	18,0	1,0	10,8	0,4	100,0	41,5	253
2001	30,3	1,8	37,9	18,9	1,1	9,6	0,4	100,0	47,7	258
2002	29,3	1,8	37,5	19,9	1,0	10,2	0,3	100,0	48,8	256
2003	30,1	1,5	36,4	20,1	1,0	10,4	0,4	100,0	50,4	258
2004	27,9	1,2	38,5	19,0	1,1	11,8	0,4	100,0	50,1	250
2005	27,0	0,9	38,9	17,8	1,2	13,7	0,5	100,0	48,4	242
2006	30,5	0,8	34,0	19,3	1,1	13,8	0,5	100,0	49,0	249
2007	29,4	0,9	34,2	22,0	1,1	11,9	0,5	100,0	48,0	256
2008	25,8	1,0	37,5	18,5	1,8	14,5	1,0	100,0	48,1	241
ka.	28,9	1,3	37,1	19,3	1,2	11,9	0,5	100,0	48,0	251

Energia (TWh) tarkoittaa yhteistuotannon energianlähteiden kokonaismäärää. Energianlähteiden osuudet (%) koskevat sekä yhteistuotantona tuotettua sähköä että lämpöä.

Taulukko 5. Teollisuuslämmön tuotantoon liittyvän yhteistuotannon energianlähteet Suomessa vuosina 2000–2008. [1, sähkötilastot]

	Kivihiili %	Öljy %	Maakaasu %	Turve %	Muut foss. %	Uusiutuvat %	Muut %	Yhteensä %	Yhteensä TWh	CO ₂ -päästökerroin g(CO ₂)/kWh
2000	3,3	4,0	15,6	7,4	0,8	67,3	1,6	100,0	75,0	87
2001	2,9	4,2	16,9	8,5	1,0	64,8	1,7	100,0	71,6	92
2002	2,7	4,0	15,0	8,9	1,1	66,5	1,8	100,0	75,9	90
2003	2,6	3,3	15,2	9,3	1,2	66,5	1,8	100,0	75,3	90
2004	2,6	3,6	14,6	7,5	1,3	68,4	2,0	100,0	77,8	84
2005	2,8	3,5	15,2	7,5	1,2	67,9	1,8	100,0	70,8	85
2006	2,4	2,8	14,5	8,5	0,8	68,9	2,0	100,0	79,6	82
2007	2,3	3,2	13,7	9,0	1,0	69,2	1,7	100,0	77,6	82
2008	2,2	1,6	14,3	8,6	1,0	70,0	2,2	100,0	72,9	78
ka.	2,6	3,4	15,0	8,4	1,1	67,7	1,8	100,0	75,2	85

Energia (TWh) tarkoittaa yhteistuotannon energianlähteiden kokonaismäärää. Energianlähteiden osuudet (%) koskevat sekä yhteistuotantona tuotettua sähköä että lämpöä.

Taulukko 6. Kaukolämmön erillistuotannon energianlähteet Suomessa vuosina 2000–2008. [1, sähkötilastot]

	Kivihiili %	Öljy %	Maakaasu %	Turve %	Muut foss. %	Uusiutuvat %	Muut %	Yhteensä %	Yhteensä TWh	CO ₂ -päästökerroin g(CO ₂)/kWh
2000	7,6	22,9	33,6	8,8	3,3	11,7	12,1	100,0	7,1	210
2001	6,1	31,9	26,9	7,5	4,3	12,9	10,3	100,0	7,0	230
2002	8,2	27,7	27,0	8,5	4,3	14,2	10,1	100,0	7,7	221
2003	6,6	30,0	26,3	9,4	0,8	14,9	12,0	100,0	7,9	202
2004	7,3	25,2	29,6	9,2	0,9	16,0	11,8	100,0	7,8	193
2005	7,4	22,0	30,2	8,3	0,8	19,2	12,0	100,0	8,1	172
2006	6,5	26,2	26,7	9,7	0,8	18,7	11,4	100,0	8,6	197
2007	4,7	25,0	28,8	12,2	1,0	18,3	9,9	100,0	8,9	201
2008	3,6	19,3	31,6	12,3	1,1	20,2	11,9	100,0	8,7	185
ka.	6,5	25,6	29,0	9,5	1,9	16,2	11,3	100,0	8,0	201

Muut energialähteet sisältävät vedyn, sähkökattiloissa ja lämpöpumpuissa käytetyn sähkön sekä teollisuuden reaktio- ja sekundäärilämmön.

2.2.1 Yhteistuotannon polttoaineiden jakotapojen vaikutus

Taulukoissa 4 ja 5 esitetty yhteistuotannon polttoaine-energia sisältää sekä sähkön- että lämmöntuotannon polttoaineet (ns. yhteistuotannon kokonaispolttoaine-energia). Yhteistuotannon polttoaineiden jakamiseksi sähkön ja lämmön kesken on olemassa useita perusteltuja menetelmiä. Tilastokeskuksen tilastoissa menetelmistä käyttöön ovat vakiintuneet energia- ja hyödynjakomenetelmiksi kutsutut polttoaineiden jakotavat. Ennen polttoaineiden jakamista tunnetaan vain erillistuotantoon käytetty polttoaine-energia ja yhteistuotannon kokonaispolttoaine-energia (Taulukko 7). Yhteistuotantona tuotetun sähkön ja lämmön polttoaine-energia (merkitty taulukossa merkillä -) saadaan selville vasta polttoaineiden keinotekoisien jakamisen jälkeen. Yhteistuotannon polttoaineiden jakamiseen käytetty menetelmä vaikuttaa yhteistuotannon kautta myös sähkön ja lämmön kokonaistuotannon polttoainesiin ja päästöihin – ja sitä kautta edelleen sähkön ja lämmön kokonaistuotannon primäärienergia- ja ominaispäästökertoimeen. Suomessa menetelmien vaikutus korostuu moneen muuhun maahan verrattuna, sillä yhteistuotannon osuus sähkön- ja lämmöntuotannosta on Suomessa verrattain suuri (Taulukko 2).

Hyödynjakomenetelmä jakaa yhteistuotannon polttoaineita energiamenetelmää enemmän sähkölle. Jos esimerkiksi kaukolämmön yhteistuotantoon liittyvän yhteistuotannon vuoden 2007 polttoaine-energia (48,0 TWh) jaetaan sähkön ja lämmön kesken hyödynjakomenetelmällä (Taulukko 8), noin 55 % (26,6 TWh) siitä kohdistuu kaukolämpövoimalle ja noin 45 % (21,4 TWh) kaukolämmölle, kun taas energiamenetelmällä jakaen (Taulukko 9) polttoaineista noin 37 % (17,9 TWh) kohdistuu kaukolämpövoimalle ja noin 63 % (30,1 TWh) kaukolämmölle. Jakotapojen väliset erot ovat siis merkittäviä. Primäärienergian ja primäärienergiakertoimien yhteydessä tulisi siten aina esittää yhteistuotannon energianlähteiden jakotapa.

Taulukko 7. Sähkön- ja lämmön erillistuotannon ja yhteistuotannon kokonaistuotannon polttoaine-energia (TWh) Suomessa vuosina 2000–2008. [1, sähkötilastot]

Sähkön erillistuotanto	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Erillinen tavanomainen lämpövoima	18,8	29,1	33,5	57,9	47,5	16,1	47,9	38,2	24,4	34,8

Yhteistuotanto, kaukolämpö	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Kokonaispolttoaine-energia	41,5	47,7	48,8	50,4	50,1	48,1	49,0	48,0	48,1	48,0
Kaukolämpövoima	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kaukolämpö	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Yhteistuotanto, teollisuus	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Kokonaispolttoaine-energia	75,0	71,6	75,9	75,3	77,8	70,8	79,6	77,6	72,9	75,2
Teollisuusvoima	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Teollisuushöyry	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Lämmön erillistuotanto	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Kaukolämpö	7,1	7,0	7,7	7,9	7,8	8,1	8,6	8,9	8,7	8,0
Teollisuushöyry	12,0	12,5	12,9	13,0	14,2	13,1	12,9	14,3	15,1	13,3

Taulukko 8. Sähkön- ja lämmöntuotannon polttoaine-energia (TWh) Suomessa vuosina 2000–2008. Yhteistuotannon polttoaineet jaettu hyödynjakomenetelmällä. [1, sähkötilastot]

Sähkö	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Erillinen tavanom. lämpövoima	18,8	29,1	33,5	57,9	47,5	16,1	47,9	38,2	24,4	34,8
Kaukolämpövoima	23,2	26,6	27,5	28,0	28,1	27,1	27,2	26,6	26,7	26,8
Teollisuusvoima	23,3	22,4	24,4	24,3	25,2	22,9	25,3	24,3	23,1	23,9
Yhteensä	65,3	78,0	85,3	110,2	100,8	66,2	100,5	89,1	74,2	85,5

Kaukolämpö	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Kaukolämpö, yhteistuotanto	18,2	21,1	21,4	22,3	22,0	21,0	21,7	21,4	21,4	21,2
Kaukolämpö, erillistuotanto	7,1	7,0	7,7	7,9	7,8	8,1	8,6	8,9	8,7	8,0
Yhteensä	25,4	28,1	29,1	30,2	29,8	29,2	30,4	30,3	30,1	29,2

Teollisuushöyry	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Teollisuushöyry, yhteistuotanto	51,7	49,2	51,6	51,0	52,6	47,9	54,3	53,3	49,8	51,3
Teollisuushöyry, erillistuotanto	12,0	12,5	12,9	13,0	14,2	13,1	12,9	14,3	15,1	13,3
Yhteensä	63,7	61,7	64,5	64,0	66,8	61,0	67,2	67,6	65,0	64,6

Taulukko 9. Sähkön- ja lämmöntuotannon polttoaine-energia (TWh) Suomessa vuosina 2000–2008. Yhteistuotannon polttoaineet jaettu energiamenetelmällä. [1, sähkötilastot]

Sähkö	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Erillinen tavanom. lämpövoima	18,8	29,1	33,5	57,9	47,5	16,2	47,9	38,2	24,4	34,8
Kaukolämpövoima	15,7	17,9	18,6	18,9	19,0	18,4	18,3	17,9	18,0	18,1
Teollisuusvoima	13,8	13,4	14,6	14,6	15,1	13,8	15,2	14,5	13,8	14,3
Yhteensä	48,3	60,4	66,7	91,4	81,6	48,4	81,4	70,6	56,3	67,2

Kaukolämpö	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Kaukolämpö, yhteistuotanto	25,8	29,8	30,2	31,5	31,1	29,9	30,6	30,1	30,1	29,9
Kaukolämpö, erillistuotanto	7,1	7,0	7,7	7,9	7,8	8,1	8,6	8,9	8,7	8,0
Yhteensä	32,9	36,7	37,9	39,4	38,9	38,1	39,3	39,0	38,8	37,9

Teollisuushöyry	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Teollisuushöyry, yhteistuotanto	61,2	58,2	61,3	60,7	62,7	57,1	64,5	63,1	59,0	60,9
Teollisuushöyry, erillistuotanto	12,0	12,5	12,9	13,0	14,2	13,1	12,9	14,3	15,1	13,3
Yhteensä	73,2	70,6	74,3	73,6	76,9	70,2	77,3	77,4	74,2	74,2

2.3 Sähkön- ja lämmöntuotannon hiilidioksidipäästöt

Kaikkien hiiltä sisältävien polttoaineiden, biopolttoaineet mukaan lukien, palamisen seurauksena muodostuu hiilidioksidia. Hiilidioksidipäästöiksi luetaan kuitenkin yleensä vain uusiutumattomien polttoaineiden polttamisesta aiheutuneet hiilidioksidipäästöt, sillä biopolttoaineiden polttamisesta aiheutuneiden hiilidioksidipäästöjen ei katsota, luonnon kiertokulku huomioiden, lisäävän ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta pitkällä aikavälillä. Tätä käytäntöä on noudatettu myös tässä työssä.

Sähkön ja lämmön yhteistuotannon päästöt – ja sitä kautta myös sähkön ja lämmön kokonaistuotannon päästöt ja päästökertoimet – riippuvat siitä, millä menetelmällä yhteistuotannon kokonaispäästöt on jaettu sähkön ja lämmön kesken. Ennen päästöjen (polttoaineiden) jakamista tunnetaan yksiselitteisesti vain erillistuotannon päästöt sekä yhteistuotannon kokonaispäästöt (Taulukko 10). Yhteistuotantona tuotetun sähkön ja lämmön erilliset päästöt (merkitty taulukossa merkillä -) saadaan selville vasta jakamalla yhteistuotannon kokonaispäästöt keinotekoisesti sähkön ja lämmön kesken. Tilastokeskuksen tilastoissa päästöt on esitetty sekä hyödynjakomenetelmällä (Taulukko 11 sekä Kuva 4 ja Kuva 5) että energiamenetelmällä jaettuina (Taulukko 12). Taulukoista nähdään, että sähkön- ja lämmöntuotannon hiilidioksidipäästöt riippuvat yhteistuotannon jakotavasta. Taulukoista nähdään lisäksi, että hiilidioksidipäästöjen vuosittainen vaihtelu on Suomessa suuri. Vaihtelu johtuu käytännössä lähes yksinomaan lauhdutusvoiman tuotannon määrästä.

Hyödynjakomenetelmä jakaa yhteistuotannon päästöjä energiamenetelmää enemmän sähkölle. Hyödynjakomenetelmä jakaa esimerkiksi kaukolämmön tuotantoon liittyvän yhteistuotannon vuoden 2007 kokonaispäästöistä 12,3 Mt kaukolämpövoimalle 6,7 Mt (54 %) ja kaukolämmölle 5,6 Mt (46 %), kun taas energiamenetelmä jakaa päästöistä 4,5 Mt (37 %) kaukolämpövoimalle ja kaukolämmölle 7,8 Mt (63 %). Teollisuuden yhteistuotannon päästöt jakautuvat vastaavalla tavalla. Päästöjen jakamisen jälkeen sähköntuotannon vuoden 2007 kokonaispäästöiksi saadaan hyödynjakomenetelmällä 21,7 Mt ja energiamenetelmällä 18,7 Mt. Kaukolämmön päästöiksi saadaan vastaavasti 7,3 Mt (hyödynjakomenetelmä) ja 9,6 Mt (energiamenetelmä). Jakotapojen väliset erot ovat siis merkittäviä. Päästöjen ja ominaispäästöjen yhteydessä tulisi siten aina esittää yhteistuotannon päästöjen (polttoaineiden) jakotapa.

Taulukko 10. Sähkön- ja lämmön erillistuotannon ja yhteistuotannon kokonaistuotannon hiilidioksidipäästöt (Mt) Suomessa vuosina 2000–2008. [1, sähkötilastot]

Sähkön erillistuotanto	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Erillinen tavanom. lämpövoima	6,6	9,7	11,2	18,6	15,3	5,3	15,3	12,8	7,6	11,4

Yhteistuotanto, kaukolämpö	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Kokonaispäästöt	10,5	12,3	12,5	13,0	12,5	11,7	12,2	12,3	11,6	12,1
Kaukolämpövoima	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kaukolämpö	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Yhteistuotanto, teollisuus	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Kokonaispäästöt	6,5	6,6	6,8	6,8	6,5	6,0	6,5	6,4	5,7	6,4
Teollisuusvoima	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Teollisuushöyry	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Lämmön erillistuotanto	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Kaukolämpö	1,5	1,6	1,7	1,6	1,5	1,4	1,7	1,8	1,6	1,6
Teollisuushöyry	1,8	1,9	1,9	1,8	2,0	1,9	1,5	1,6	1,8	1,8

Yksikkö Mt tarkoittaa miljoonaa tonnia (miljardia kilogrammaa). Tilastokeskus esittää päästöt 0,1 Mt tarkkuudella, joten päästöjen summassa voi olla taulukoiden välillä noin +/- 0,1 Mt ero.

Taulukko 11. Sähkön- ja lämmöntuotannon hiilidioksidipäästöt (Mt) Suomessa vuosina 2000–2008. Yhteistuotannon päästöt jaettu hyödynjakomenetelmällä. [1, sähkötilastot]

Sähkö	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Erillinen tavanom. lämpövoima	6,6	9,7	11,2	18,6	15,3	5,2	15,3	12,8	7,6	11,4
Kaukolämpövoima	5,8	6,7	7,0	7,1	6,9	6,5	6,7	6,7	6,3	6,6
Teollisuusvoima	2,1	2,2	2,4	2,4	2,2	2,1	2,3	2,2	2,1	2,2
Yhteensä	14,5	18,6	20,6	28,1	24,4	13,8	24,3	21,7	16,0	20,2

Kaukolämpö	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Kaukolämpö, yhteistuotanto	4,7	5,6	5,6	5,9	5,6	5,2	5,5	5,6	5,2	5,4
Kaukolämpö, erillistuotanto	1,5	1,5	1,7	1,5	1,5	1,4	1,6	1,7	1,6	1,6
Yhteensä	6,2	7,1	7,3	7,4	7,1	6,6	7,1	7,3	6,8	7,0

Teollisuushöyry	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Teollisuushöyry, yhteistuotanto	4,4	4,5	4,5	4,4	4,2	3,9	4,1	4,2	3,6	4,2
Teollisuushöyry, erillistuotanto	1,8	1,8	1,9	1,8	2,0	1,8	1,5	1,7	1,9	1,8
Yhteensä	6,2	6,3	6,4	6,2	6,2	5,7	5,6	5,9	5,5	6,0

Yksikkö Mt tarkoittaa miljoonaa tonnia (miljardia kilogrammaa). Tilastokeskus esittää päästöt 0,1 Mt tarkkuudella, joten päästöjen summassa voi olla taulukoiden välillä noin +/- 0,1 Mt ero.

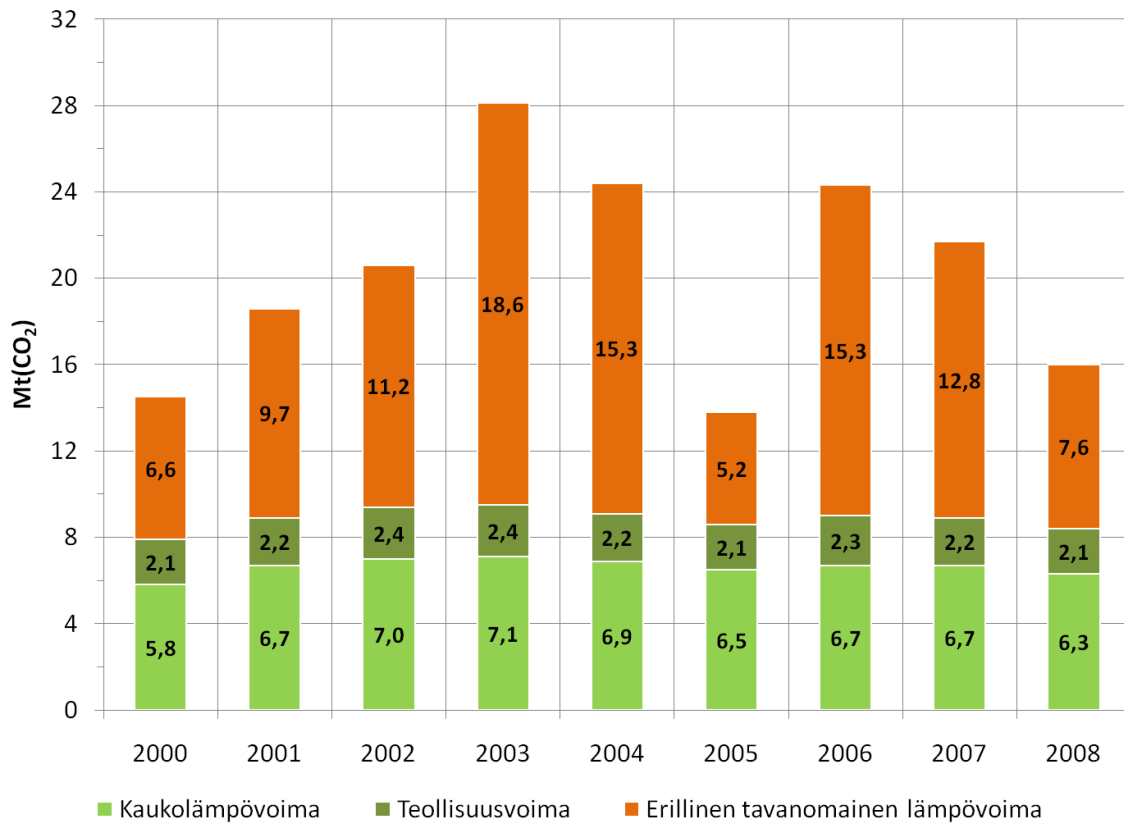
Taulukko 12. Sähkön- ja lämmöntuotannon hiilidioksidipäästöt (Mt) Suomessa vuosina 2000–2008. Yhteistuotannon päästöt jaettu energiamenetelmällä. [1, sähkötilastot]

Sähkö	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Erillinen tavanom. lämpövoima	6,6	9,7	11,2	18,6	15,3	5,3	15,3	12,8	7,6	11,4
Kaukolämpövoima	3,9	4,5	4,7	4,7	4,6	4,4	4,5	4,5	4,2	4,4
Teollisuusvoima	1,3	1,3	1,5	1,5	1,4	1,3	1,4	1,4	1,3	1,4
Yhteensä	11,8	15,5	17,4	24,8	21,3	11,0	21,2	18,7	13,1	17,2

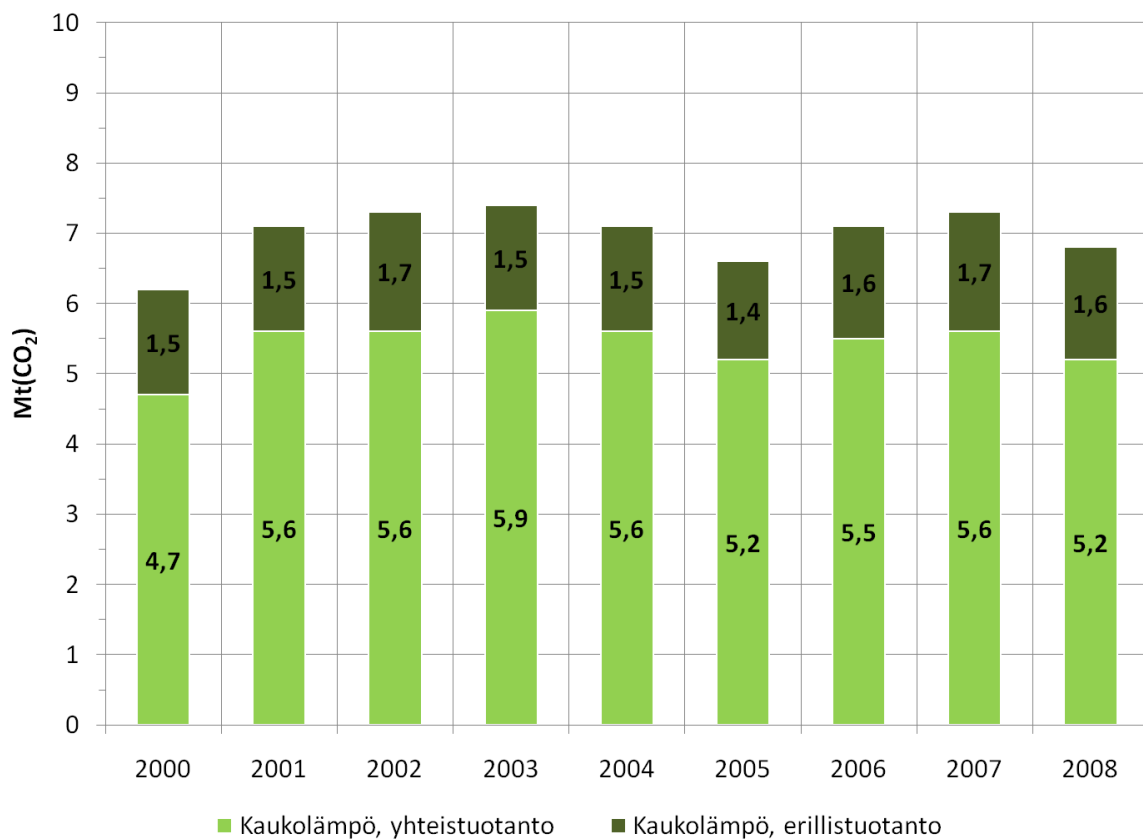
Kaukolämpö	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Kaukolämpö, yhteistuotanto	6,6	7,8	7,9	8,2	7,9	7,4	7,7	7,8	7,3	7,6
Kaukolämpö, erillistuotanto	1,5	1,6	1,7	1,6	1,5	1,4	1,7	1,8	1,6	1,6
Yhteensä	8,1	9,4	9,6	9,8	9,4	8,8	9,4	9,6	8,9	9,2

Teollisuushöyry	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Teollisuushöyry, yhteistuotanto	5,2	5,3	5,4	5,3	5,1	4,7	5,0	5,1	4,4	5,1
Teollisuushöyry, erillistuotanto	1,8	1,9	1,9	1,8	2,0	1,9	1,5	1,6	1,8	1,8
Yhteensä	7,0	7,2	7,3	7,1	7,1	6,6	6,5	6,7	6,2	6,9

Yksikkö Mt tarkoittaa miljoonaa tonnia (miljardia kilogrammaa). Tilastokeskus esittää päästöt 0,1 Mt tarkkuudella, joten päästöjen summassa voi olla taulukoiden välillä noin +/- 0,1 Mt ero.



Kuva 4. Sähköntuotannon hiilidioksidipäästöt Suomessa vuosina 2000–2008. Yhteistuotannon päästöt jaettu hyödynjakomenetelmällä. [1, sähkötilastot]



Kuva 5. Kaukolämmöntuotannon hiilidioksidipäästöt Suomessa vuosina 2000–2008. Yhteistuotannon päästöt jaettu hyödynjakomenetelmällä. [1, sähkötilastot]

2.4 Tuotannon tunnuslukuja

Energiatilastoista voidaan laskea joukko sähkön- ja lämmöntuotantoa kuvaavia tunnuslukuja. Tilastoja ja niistä laskettuja tunnuslukuja tarkasteltaessa on kuitenkin huomioitava, että kaikki tilastoissa esitetyt lukuarvot eivät välttämättä ole toisistaan riippumattomia. Energian tuottajat ja tilastojen laatijat ovat esimerkiksi saattaneet korvata epävarmoja tai puuttuvia tietoja tekemällä oletuksia suureiden välisistä suhteista. Yhden varmaksi oletetun suureen avulla on näin voitu laskea koko joukko enemmän tai vähemmän epävarmoja arvioita muista suureista: yhteistuotannon lämmöntuotanto on esimerkiksi saatettu arvioida yhteistuotannon sähköntuotannon perusteella ja polttoaine-energia yhteistuotannon kokonaishyötysuhteen avulla. Tilastojen lukija voi näin päätyä esimerkiksi yhteistuotannon rakennusastetta ja kokonaishyötysuhdetta määrittäessään vain takaisin tilastoja laadittaessa tehtyihin oletuksiin.

Tavanomaisen erillisen lämpövoiman tilastollinen vuosihyötysuhde on ollut Suomessa vuosina 2000–2008 keskimäärin noin 37 % (Taulukko 13)⁴. Kaukolämmön tuotantoon liittyvän sähkön ja lämmön yhteistuotannon tilastollinen kokonaishyötysuhde on ollut Suomessa vuosina 2000–2008 keskimäärin noin 85 % ja teollisuuslämmön tuotantoon liittyvän yhteistuotannon noin 78 % (Taulukko 13). Kaukolämmön yhteistuotannon rakennusaste on ollut vuosina 2000–2008 keskimäärin noin 0,6 ja teollisuuslämmön yhteistuotannon noin 0,2 (Taulukko 14). Kaukolämmön erillistuotannon tilastollinen hyötysuhde on ollut vuosina 2000–2008 keskimäärin noin 89 %. Yhteistuotantona tuotettujen sähkön ja lämmön (esim. kaukolämpövoiman ja yhteistuotantona tuotetun kaukolämmön) tuotannon erillisiä hyötysuhteita ei ole mielekästä esittää tässä yhteydessä, sillä ne riippuvat yhteistuotannon polttoaineiden jakamiseen käytetystä menetelmästä⁵. Yhteistuotannon polttoaineiden ja päästöjen jakamista on käsitelty luvussa 3.3.2.

Taulukko 13. Sähkön- ja lämmön yhteis- ja erillistuotannon tilastolliset vuosihyötysuhteet (%) Suomessa vuosina 2000–2008. [1, sähkötilastot]

Sähkön erillistuotanto	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Erillinen tavanom. lämpövoima	37,0	37,1	37,1	37,1	36,7	32,9	36,7	37,7	35,9	36,9

Yhteistuotanto, kaukolämpö	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Kokonaishyötysuhde	84,9	83,7	84,6	85,0	85,0	84,9	85,0	84,7	85,1	84,8

Yhteistuotanto, teollisuus	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Kokonaishyötysuhde	77,7	77,6	77,4	77,6	77,1	76,7	78,1	78,6	80,0	77,9

Lämmön erillistuotanto	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Kaukolämpö, erillistuotanto	88,9	88,1	89,8	89,1	87,5	89,7	89,3	90,1	91,0	89,3
Teollisuushöyry, erillistuotanto	84,4	84,1	84,8	85,7	81,7	83,3	87,5	86,0	79,9	84,1

Erillisen tavanomaisen lämpövoiman keskiarvo ei sisällä vuotta 2005.

⁴ Keskiarvo ei sisällä vuotta 2005.

⁵ Hyötysuhteet voidaan laskea jakamalla sähkölle ja lämmölle jaettu polttoaine-energia (Taulukko 8 tai Taulukko 9) vastaavalla sähkön ja lämmön tuotannolla (Taulukko 1). Taulukossa 13 esitetyt yhteistuotannon kokonaishyötysuhteet on saatu vastaavasti jakamalla yhteistuotannon kokonaispolttoaine-energia (Taulukko 7) yhteistuotannon kokonaistuotannolla (esim. kaukolämpövoiman ja yhteistuotantona tuotetun kaukolämmön summalla).

Taulukko 14. Yhteistuotannon koko vuoden keskimääräinen tilastollinen rakennusaste Suomessa vuosina 2000–2008. [1, sähkötilastot]

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Yhteistuotanto, kaukolämpö	0,615	0,608	0,621	0,606	0,619	0,624	0,605	0,603	0,604	0,612
Yhteistuotanto, teollisuus	0,228	0,231	0,238	0,241	0,242	0,243	0,236	0,232	0,234	0,236
Yhteistuotanto yhteensä	0,350	0,365	0,372	0,373	0,375	0,382	0,362	0,357	0,364	0,367

Taulukossa "Yhteistuotanto yhteensä" tarkoittaa kaukolämmön ja teollisuuslämmön tuotantoon liittyvää yhteistuotantoa yhtenä kokonaisuutena tarkasteltuna. Rakennusaste on yhteistuotantona tuotetun sähkön suhde yhteistuotantona tuotettuun lämpöön.

Jos kaukolämmön tuotantoon liittyvän yhteistuotannon polttoaineet kohdistetaan kokonaan sähkölle, kaukolämpövoiman tuotannon vuosihyötysuhteeksi saadaan vuosien 2000–2008 keskiarvona noin 32 % (Taulukko 15). Jos polttoaineet kohdistetaan kokonaan kaukolämmölle, kaukolämmön yhteistuotannon vuosihyötysuhteeksi saadaan vastaavasti noin 53 %. Teollisuusvoiman hyötysuhteeksi saadaan vastaavasti noin 15 % ja teollisuuslämmön noin 63 %. Näitä hyötysuhteita voidaan käyttää yhteistuotantoon käytetyn kokonaispolttoaine-energian ja tuotannosta aiheutuneiden kokonaispäästöjen laskemiseen, jos vain toisen lopputuotteen (sähkön tai lämmön) määrä tunnetaan.

Jos Suomessa tuotetaan esimerkiksi 1 kWh kaukolämpövoimaa yhteistuotantona, on tuotantoon käytetty yhteensä keskimäärin noin 3,1 kWh⁶ (1/0,322) polttoaine-energiaa ja tuotannossa poltetuista polttoaineista on muodostunut likimain 780 g hiilidioksidia. Kaukolämpövoiman keskimääräinen primääri-energiakerroin on siis Suomessa, yhteistuotannon polttoaineet kokonaan kaukolämpövoimalle jakaen, noin 3,1 (=1/0,322) ja ominaispäästökerroin likimain 780 g/kWh⁷. Vastaavasti, jos Suomessa tuotetaan esimerkiksi 1 kWh yhteistuotantokaukolämpöä, on tuotantoon käytetty kokonaisuutena keskimäärin noin 1,9 kWh (=1/0,526) polttoaine-energiaa ja tuotannossa poltetuista polttoaineista on muodostunut likimain 477 g hiilidioksidia tuotettua kaukolämpö-kilowattituntia kohden⁸.

Taulukko 15. Yhteistuotannon lopputuotteiden hyötysuhteet (%), kun yhteistuotannon kokonaispolttoaine-energia on kohdistettu kokonaan toiselle lopputuotteelle. [1, sähkötilastot]

Yhteistuotanto, kaukolämpö	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Kaukolämpövoima	32,3	31,6	32,4	32,1	32,5	32,6	32,1	31,9	32,1	32,2
Kaukolämpö	52,6	52,1	52,2	52,9	52,5	52,2	53,0	52,8	53,0	52,6

Yhteistuotanto, teollisuus	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Teollisuusvoima	14,4	14,6	14,9	15,1	15,0	15,0	14,9	14,8	15,2	14,9
Teollisuushöyry	63,2	63,0	62,5	62,5	62,0	61,7	63,2	63,8	64,8	63,0

Yhteistuotanto yhteensä	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Yhteistuotantosähkö	20,8	21,4	21,7	21,9	21,9	22,1	21,4	21,3	21,9	21,6
Yhteistuotantolämpö	59,4	58,7	58,5	58,7	58,3	57,9	59,3	59,6	60,1	58,9

Taulukossa "Yhteistuotanto yhteensä" tarkoittaa kaukolämmön ja teollisuuslämmön tuotantoon liittyvää yhteistuotantoa yhtenä kokonaisuutena tarkasteltuna.

⁶ Polttoainemäärällä 3,1 TWh on tuotettu 1,0 kWh kaukolämpövoimaa ja keskimäärin noin 1,64 kWh (=1/0,61) yhteistuotantokaukolämpöä.

⁷ Kaukolämmön yhteistuotannon polttoaineseoksen keskimääräinen ominaispäästökerroin on ollut Suomessa vuosina 2000–2008 keskimäärin noin 251 g(CO₂)/kWh (Taulukko 4), jonka jakaminen hyötysuhteella 0,322 (Taulukko 15) antaa ominaispäästökertoimen 780 g(CO₂)/kWh, jossa jakajan energiayksikkö (kWh) viittaa yhteen kilowattituntiin kaukolämpövoimaa.

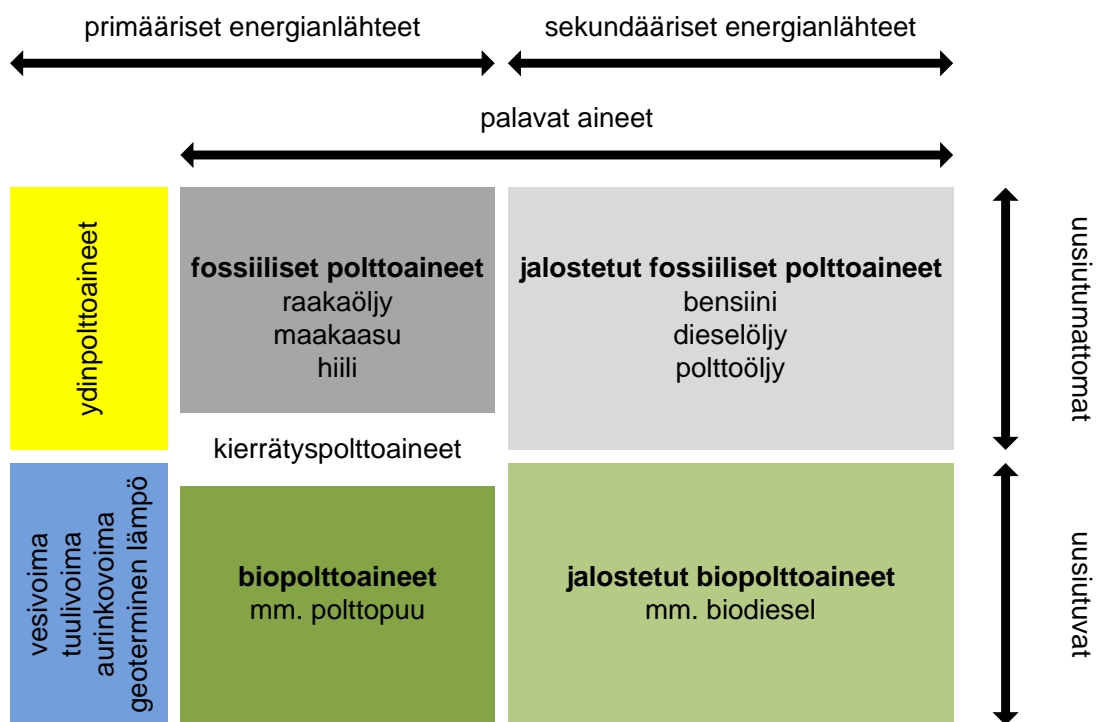
⁸ Polttoainemäärällä on tuotettu keskimäärin 1 kWh kaukolämpöä ja 0,61 kWh yhteistuotantosähköä.

3 Määritelmiä ja menetelmiä

3.1 Primäärienergia⁹

Primäärienergia tarkoittaa ensimmäistä energiaa. Primäärienergian avulla pyritään kuvaamaan energianlähteistä saatavissa olevaa energiaa sekä energianlähteinä käytettävien luonnonvarojen määrää, käyttöä ja kulumista. Primäärienergiaksi kutsutaan niiden aineiden ja ilmiöiden *sisältämää* tai niistä *saatavissa olevaa* energiaa, jotka ovat ensimmäistä kertaa siinä tilassa, että niitä voidaan hyödyntää energianlähteinä. Ensimmäisiä hyödyntämiskelpoisia energianlähteitä kutsutaan primääriksi energianlähteiksi tai primäärienergian lähteiksi. Energianlähteillä tarkoitetaan käytännössä niitä aineita ja ilmiöitä, joiden avulla on mahdollista tuottaa lämpöä tai sähköä tai tehdä mekaanista työtä. Primäärienergian lähteitä ovat muun muassa kivihiili, raakaöljy, maakaasu, uraani, kasvit, auringon säteily, tuuli ja virtaava vesi (Kuva 6). Valta-kunnallisissa energiataseissa primäärienergiaksi lasketaan yleensä myös sähkön tuonti. Sähkön tuonnin primäärienergiaksi asetetaan yleensä suoraan tuotu sähköenergia.

Kaikki primäärisistä energianlähteistä jalostetut energianlähteet ovat sekundäärisiä energianlähteitä. Sekundäärisiä energianlähteitä ovat muun muassa raakaöljystä jalostetut polttoaineet, kuten bensiini ja dieselöljy, sekä eloperäisistä aineista *jalostetut* biopolttoaineet. Sekundäärienergia tarkoittaa sekundäärisien energianlähteiden *sisältämää* energiaa sekä primäärienergian avulla *tuotettua* energiaa. Vaikka energianlähteet voidaan muodollisesti jaotella primäärisiin ja sekundäärisiin energianlähteisiin, kaikkia energianlähteitä käsitellään yleensä primäärienergian lähteinä (bensiinin kulutusta ei esimerkiksi muunneta sen tuottamiseen vaadittavaksi raakaöljyksi).



Kuva 6. Energianlähteiden luokittelu. Mukailtu lähteestä [11].

⁹ Tässä luvussa on hyödynnetty, erikseen mainitsematta, lähteitä [1,9,10,11,12,13,14,15,16,17].

Primääri- ja sekundäärienergian muodollisia määritelmiä on koottu työn loppuun liitteeksi (Liite B).

3.1.1 Primäärienergian laskentatapa energiatilastoinnissa

Energiatilastoissa käytetyt primäärienergian lukuarvon laskentatavat perustuvat energiatilastoja laativien toimijoiden sisäisiin ja keskinäisiin käytäntöihin ja sopimuksiin. Primäärienergian määrittämiseksi pitää valita energianlähteen primäärinen energiamuoto (primary energy form) ja primäärienergiavastine (primary energy equivalent).

3.1.1.1 Primäärinen energiamuoto

Primäärienergia määriteltiin edellä primääristen energianlähteiden *sisältämäksi* tai niistä *saatavissa olevaksi* energiaksi. Energianlähteiden *sisältämäksi* energiaksi valitaan jokin energian muoto, jonka määrä ja laatu ovat ainakin periaatteellisella tasolla määritettävissä. Tätä energian muotoa kutsutaan primääriseksi energiamuodoksi (primary energy form). Virtaavan veden *sisältämäksi* primääriseksi energiamuodoksi voidaan esimerkiksi valita veden liike-energia ja auringon säteilyn *sisältämäksi* primääriseksi energiamuodoksi esimerkiksi auringon säteilyn energia. Käytännössä energianlähteiden *sisältämällä* energialla tarkoitetaan kuitenkin energianlähteistä *saatavissa olevaa* energiaa: käytännön laskelmissa primäärienergia tarkoittaa ensimmäistä energianlähteestä *saatavissa olevaa* käyttökelpoiseksi katsottua energian muotoa – ja tätä energian muotoa kutsutaan primääriseksi energiamuodoksi. Primäärienergia tarkoittaa siis *muodollisesti* määriteltynä primääristen energianlähteiden *sisältämää* energiaa ja *käytännössä* energianlähteestä *saatavissa olevaa* hyödyntämiskelpoista energiaa.

Primäärinen energiamuoto tarkoittaa käytännössä lämpöenergiaa, sähköenergiaa tai mekaanista energiaa. Kaupallisen energian tuotannon osalta primäärinen energiamuoto tarkoittaa ensimmäistä energianlähteestä *saatavissa olevaa* energiamuotoa, jolla tuotantomuodon katsotaan voivan kilpailla energiemarkkinoilla energian kuluttajien energiantarpeen tyydyttämiseksi. Ydinpolttoaineiden primääriseksi energiamuodoksi voidaan esimerkiksi valita lämpö- tai sähköenergia sitä riippuen, kumman katsotaan olevan ensimmäinen hyödynnettävissä oleva ja asiakkaille tarjottavissa oleva energian muoto.

IEA:n¹⁰ julkaisussa Energy Balances of OECD¹¹ Countries [13] IEA:n energianlähteiden primäärisen energiamuodon valintaperusteista todetaan esimerkiksi seuraavaa:

The principle adopted by the IEA is that the primary energy form should be the first energy form downstream in the production process for which multiple energy uses are practical.

IEA määrittelee siis jokaisen energianlähteen primääriseksi energiamuodoksi (primary energy form) ensimmäisen energianlähteestä saatavan energiamuodon, jota voidaan käyttää usealla eri tavalla. Käytännössä kyse on ensimmäisestä myytävissä olevasta energiamuodosta. Edellä esitettyyn määritelmään nojaten IEA on valinnut vesi-, tuuli- ja aurinkovoiman energianlähteiden – eli virtaavan veden, tuulen ja auringon säteilyn – primääriseksi energiamuodoksi sähköenergian. Samaan määritelmään nojaten IEA on valinnut ydinvoiman, aurinkolämmön ja geotermisen lämmöntuotannon energianlähteiden – eli ydinpolttoaineiden, auringon säteilyn ja geotermisen lämmön – primääriseksi energiamuodoksi lämpöenergian.

3.1.1.2 Primäärienergiavastine

Primäärienergian lukuarvon laskemiseksi energianlähteiden sisältämälle primäärienergialle – eli primääriselle energiamuodolle – pitää valita primäärienergiavastine (primary energy equivalent). Primäärienergiavastine voidaan valita usealla eri tavalla. Vesivoimalla tuotetun sähkön energianlähteen (virtaavan veden) primäärisen energiamuodon (sähköenergian) vastineeksi voidaan esimerkiksi asettaa se polttoaine-energia, jonka saman sähkömäärän tuottaminen olisi vaatinut tavanomaisella, eli polttoaineisiin perustuvalla, lämpövoimalla tuotettuna. Tätä lähestymistapaa käytetään muun muassa BP:n¹² energiatilastoissa [18], joissa vesi- ja ydinvoiman primäärienergiavastine lasketaan jakamalla vesi- ja ydinvoiman sähköntuotanto hyötysuhteella 38 % (hyötysuhteen ajatellaan vastaavan vesi- ja ydinvoimalle vaihtoehtoisen tavanomaisen lämpövoiman hyötysuhdetta). BP:n energiatilastoissa vesi- ja ydinvoiman primäärienergia kuvaa siis sitä tavanomaisten polttoaineiden sisältämää energiamäärää, jonka ydinpolttoaineiden ja vesivoiman katsotaan

¹⁰ The International Energy Agency (IEA).

¹¹ Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). IEA on osa OECD:n organisaatiota.

¹² Öljynjalostusalan yritys. Lyhenne juontuu sanoista British Petrol.

syrjäyttävän ja korvaavan. Tästä vaihtoehtoiseen tuotantotapaan perustuvasta menetelmästä (partial substitution method) on nykyisin pääosin luovuttu [13], mutta esimerkki osoittaa, kuinka tarkkana energianlähteiden primäärienergiaa koskevien tulkintojen suhteen pitää olla (etenkin uusiutuvien energianlähteiden suhteen). Nykyisin energiatilastoinnissa primäärienergiavastineena käytetään valtaosin tuotannon oman energianlähteen primäärienergiaa. Energianlähteen primäärienergiaksi valitaan yleensä suurin mahdollinen primäärisen energiamuodon mukainen energiamäärä, joka energianlähteestä on käytännön sovelluksissa saatavissa.

3.1.1.3 Ydinvoiman primäärienergia

Ydinvoimalla tuotetun sähkön ja lämmön energianlähde on ydinpolttoaine. Sähköntuotannossa ydinpolttoaineen primäärienergiaksi energiamuodoksi voidaan valita joko lämpö- tai sähköenergia. IEA ja Eurostat¹³ ovat valinneet ydinpolttoaineen *primäärienergiavastineeksi* lämpöenergian ja UNSD¹⁴ sähköenergian. IEA ja Eurostat ovat edelleen valinneet sähköenergian *primäärienergiavastineeksi* ydinreaktorista saadun lämpöenergian ja UNSD sähkön bruttotuotannon (Taulukko 16 ja Kuva 7). Lähteessä [11, s.138] todetaan, että IEA ja Eurostat käyttävät todellisia lämpöenergioita jos ne ovat saatavilla, ja arvioivat muussa tapauksessa lämpöenergian sähkön bruttotuotannosta käyttäen hyötysuhdetta 33 %. Lähteiden [13, 14 ja 15] perusteella IEA ja Eurostat eivät kuitenkaan käytä todellisia lämpöenergioita, vaan laskevat lämpöenergian aina sähkön bruttotuotannosta hyötysuhteella 33 %. IEA:n ja Eurostatin käyttämä hyötysuhde on eurooppalaisten ydinvoimaloiden keskimääräinen hyötysuhde [13]. Edellä esitetyt valinnat tarkoittavat käytännössä sitä, että IEA:n ja Eurostatin tilastoissa ydinvoiman primäärienergiahyötysuhde on 33 % ja UNSD:n tilastoissa 100 %. Vastaavat primäärienergiakerroimet ovat 3.03 (IEA ja Eurostat) ja 1,00 (UNSD). Ydinvoiman primäärienergian laskentatapa on pyritty havainnollistamaan kuvassa 7.

Tilastokeskus laskee ydinvoiman tuotantoon käytetyn primäärienergian ydinvoimaloiden sähkön *nettotuotannosta* hyötysuhteella 33 % (Taulukko 16). Sähkön nettotuotannolla tarkoitetaan voimalaitokselta verkkoon syötettyä ja bruttotuotannolla voimalaitosten generaattoreiden tuottamaa tehoa ja energiamäärää. Brutto- ja nettotuotannon erotus kulutetaan (laitteisiin ja häviöihin) voimalaitoksessa (ns. omakäyttö)¹⁵. IEA arvioi brutto- ja nettotuotannon eroiksi ydinvoimaloissa noin 6 % ja tavanomaisissa erillisissä lämpövoimaloissa noin 7 % [13]. Nettotuotantoon perustuva primäärienergiahyötysuhde on hieman bruttotuotantoon perustuvaa hyötysuhdetta pienempi. Nettotuotantoon perustuva primäärienergiakerroin on vastaavasti bruttotuotantoon perustuvaa kerrointa suurempi, sillä primäärienergiakerroin on primäärienergiahyötysuhteen käänteisluku.

3.1.1.4 Polttoaineiden primäärienergia

Polttoaineiden primäärienergiaksi energiamuodoksi valitaan käytännössä aina lämpöenergia ja lämpöenergian primäärienergiavastineeksi polttoaineen lämpöarvo. Lämpöarvona käytetään yleensä polttoaineen alemmaa lämpöarvoa, koska se edustaa useimmissa tapauksissa polttoaineesta käytännön sovelluksissa saatavissa olevaa suurinta mahdollista energiamäärää. Joissakin tapauksissa joillekin polttoaineille, esimerkiksi maakaasulle, saatetaan käyttää myös ylempää lämpöarvoa, jos sen katsotaan olevan käytännössä hyödynnettävissä. Kiinteiden ja nestemäisten polttoaineiden tilastollinen alempi lämpöarvo on tyypillisesti noin 5–6 % ja maakaasujen noin 10 % pienempi kuin ylempi lämpöarvo [11]. Energiatilastoinnissa sekundääristen polttoaineiden (esimerkiksi polttoöljyn tai bensiinin) energiaa ei muunneta aidoksi primäärienergiaksi (esimerkitapauksissa raakaöljyksi) vaan jokaisen polttoaineen primäärienergia saa lukuarvonsa polttoaineen oman lämpöarvon perusteella. *Kaikkien polttoaineiden primäärienergian tarkoittaa siis käytännössä polttoaineen (alempaa) lämpöarvoa.* Polttoaineiden osalta onkin siten usein luontevampaa puhua primäärienergian sijasta yksinkertaisesti polttoaine-energiasta.

¹³ Euroopan yhteisön tilastoviranomainen.

¹⁴ United Nations Statistics Division (UNSD). Yhdistyneiden kansakuntien (United Nations) tilasto-osasto.

¹⁵ Tilastokeskuksen tilastoissa sähkön tuotanto tarkoittaa sähkön nettotuotantoa.

3.1.1.5 Polttoaineilla tuotetun lämmön ja sähkön primäärienergia

Polttoaineilla tuotetun sähkön ja lämmön primäärienergiavastine on polttoaineen primäärienergia. Edellä esitetty polttoaineiden primäärienergiavastineen laskentatapa tarkoittaa käytännössä sitä, että polttoaineilla tuotetun sähkön ja lämmön kokonaisprimäärienergiahyötysuhde- ja kerroin ovat yhtä suuria kuin tuotannon tavallinen, polttoaineen lämpöarvoon perustuva, hyöty- ja kulutussuhde. Lauhdutusvoiman primäärienergiahyötysuhde on siten esimerkiksi tyyppillisesti likimain 40 % (Taulukko 13) ja vastaava primäärienergiakerroin noin 2,5 ($=1/0,40$). Lauhdutusvoiman primäärienergiakertoimen lukuarvo on likimain sama kuin Eurostatin tilastoista laskettu EU-27 -alueen koko sähköntuotannon primäärienergiakerroin (Kuva 29). Kertoimet eivät kuvaa lainkaan samaa asiaa, sillä toinen kuvaa vain lauhdutusvoimaa ja toinen sähköntuotantoa kokonaisuutena. Kertoimien likimääräinen yhtäsuuruus johtuu fossiilisiin polttoaineisiin perustuvan tavanomaisen erillisen lämpövoiman suuresta osuudesta EU-27 -alueella sekä siitä, että ydinvoiman primäärienergian laskemiseen sovelletussa menetelmässä (luku 3.1.2, menetelmä A) ydinvoiman primäärienergiahyötysuhde (33 %) on likimain yhtä suuri kuin erillisen tavanomaisen lämpövoiman primäärienergiahyötysuhde (noin 40 %).

3.1.1.6 Vesi-, tuuli- ja aurinkovoiman primäärienergia

Vesi-, tuuli- ja aurinkovoiman primääriseksi energiamuodoksi voidaan käytännössä valita vain sähköenergia, mutta – kuten edellä esitetty vesivoimaa koskeva esimerkki osoittaa – primäärienergiavastine voidaan valita usealla eri tavalla. UNSD, IEA ja Eurostat käyttävät kuitenkin aina näiden tuotantomuotojen primäärienergiavastineena tuotantomuodon omaa sähkön bruttotuotantoa. Näiden tuotantomuotojen primäärienergiahyötysuhde on siis käytännössä aina 100 %. Vesivoimaksi luetaan tässä yhteydessä myös muun muassa vuorovesi- ja aaltovoima ja aurinkovoimaksi myös aurinkolämmön avulla tuotettu sähkö (solar thermal power). Tilastokeskus käyttää vesi- ja tuulivoimalle myös hyötysuhdetta 100 %, mutta laskee primäärienergian, ydinvoiman tapaan, sähkön *nettotuotannosta*. IEA arvio sähkön brutto- ja nettotuotannon eroiksi vesivoimaloissa noin 1 % [13].

3.1.1.7 Geotermisen lämmön primäärienergia

IEA on valinnut geotermisen lämmön primääriseksi energiamuodoksi lämpöenergian sekä lämmön- että sähköntuotannossa. IEA määrittää lämpöenergian primäärienergiavastineen lämmöntuotannossa lämmön bruttotuotannosta hyötysuhteella 50 % ja sähköntuotannossa sähkön bruttotuotannosta hyötysuhteella 10 %. Molemmille hyötysuhteille käytetään kansallisia arvoja, jos ne ovat saatavilla. Lämmöntuotannossa kansallisten hyötysuhteiden vaihteluväli on noin 10–14 %. IEA:n tilastoissa geotermisen lämmön avulla tuotetun lämmön primäärienergiahyötysuhde on siis noin 50 % ja geotermisen lämmön avulla tuotetun sähkön noin 10–14 %. Eurostat on valinnut IEA:n tapaan geotermisen lämmön primääriseksi energiamuodoksi lämpöenergian sekä lämmön että sähkön tuotannossa (hyötysuhteet vaihtelevat).

UNSD käyttää geotermisen lämmön primäärisenä energiana lämmöntuotannossa lämpöenergiaa ja sähkön-tuotannossa sähköenergiaa. UNSD asettaa lämpöenergian primäärienergiavastineeksi lämmöntuotannon ja sähköenergian primäärienergiavastineeksi sähkön bruttotuotannon. UNSD:n tilastoissa geotermisen lämmön avulla tuotetun lämmön ja sähkön primäärienergiahyötysuhde on siis aina 100 %.

3.1.1.8 Laskentatapojen merkittävimmät erot

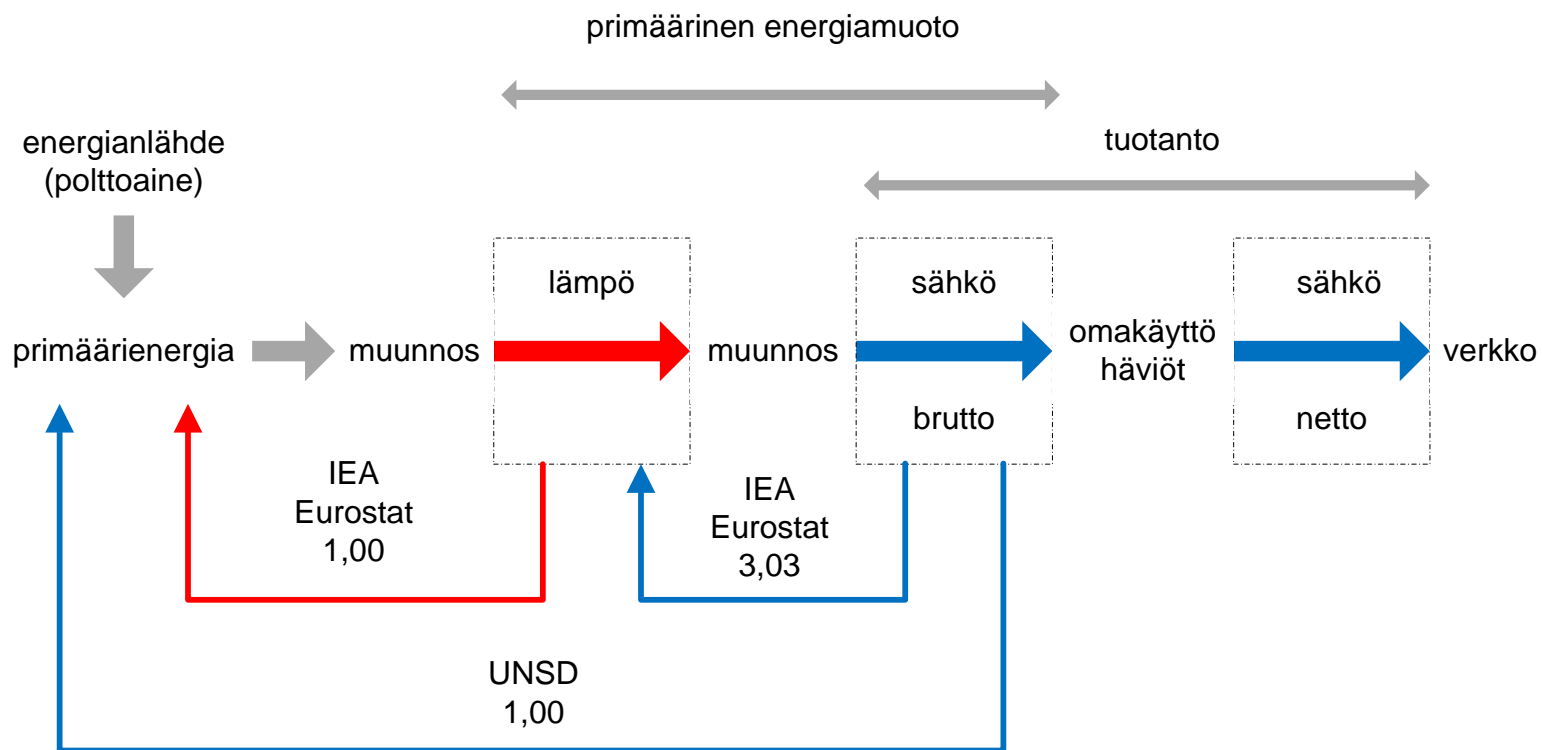
Edellä esitetyt menetelmät vastaavat kansainvälisissä energiatilastoissa nykyisin yleisesti käytössä olevia menettelytapoja, mutta monien energiahäydykkeiden¹⁶ primäärienergia voitaisiin määrittää usealla muullakin tavalla. Merkittävät kansainväliset järjestöt, kuten UNSD, IEA ja Eurostat, noudattavat pääosin samoja periaatteita primäärienergian määrittämisessä (Taulukko 16), mutta esimerkiksi ydinvoiman lukuarvon määrittämistapa ei ole kaikilta osin yhtenäinen: UNSD käyttää ydinvoimalla tuotetun sähkön primäärienergiana suoraan sähkön bruttotuotantoa (hyötysuhde 100 %), mutta IEA ja Eurostat ja määrittävät ydinvoiman primäärienergian jakamalla sähkön bruttotuotannon hyötysuhteella 33 %. Primäärienergian laskentatapaa on pyritty havainnollistamaan kuvassa 7.

¹⁶ Energiahäydykkeillä (energy commodity) tarkoitetaan polttoaineita sekä sähköä ja lämpöä.

Taulukko 16. Energiahyödykkeiden primäärienergia energiastatistisissa. [11,13,14,15,16,17]

Energiahyödyke	UNSD		IEA ja Eurostat		Tilastokeskus	
	Primäärinen energiamuoto	Primäärienergiavastine	Primäärinen energiamuoto	Primäärienergiavastine	Primäärinen energiamuoto	Primäärienergiavastine
primääriset polttoaineet (jalostamattomat aineet)	lämpö	alempi lämpöarvo	lämpö	alempi lämpöarvo	lämpö	alempi lämpöarvo
sekundääriset polttoaineet (jalostetut aineet)	lämpö	alempi lämpöarvo ei muunnosta primäärienergiaksi	lämpö	alempi lämpöarvo ei muunnosta primäärienergiaksi	lämpö	alempi lämpöarvo ei muunnosta primäärienergiaksi
sähkö polttoaineista	-	polttoaineen primäärienergia	-	polttoaineen primäärienergia	-	polttoaineen primäärienergia
lämpö polttoaineista	-	polttoaineen primäärienergia	-	polttoaineen primäärienergia	-	polttoaineen primäärienergia
ydinvoima	sähkö	sähkön bruttotuotanto	lämpö	reaktorin lämmöntuotanto hyötysuhteella 33 % sähkön bruttotuotannosta	lämpö	reaktorin lämmöntuotanto hyötysuhteella 33 % sähkön nettotuotannosta
vesivoima	sähkö	sähkön bruttotuotanto	sähkö	sähkön bruttotuotanto	sähkö	sähkön nettotuotanto
tuulivoima	sähkö	sähkön bruttotuotanto	sähkö	sähkön bruttotuotanto	sähkö	sähkön nettotuotanto
aurinkovoima	sähkö	sähkön bruttotuotanto	sähkö	sähkön bruttotuotanto	sähkö	sähkön nettotuotanto
geoterminen sähkö	sähkö	sähkön bruttotuotanto	lämpö	IEA: hyötysuhteella 10 % sähkön bruttotuotannosta	-	-
geoterminen lämpö	lämpö	lämmöntuotanto	lämpö	IEA: hyötysuhteella 50 % lämmöntuotannosta	-	-

Energiahyödykkeillä (energy commodity) tarkoitetaan polttoaineita sekä sähköä ja lämpöä.



Kuva 7. Primäärienergia ydinvoiman tuotannossa.

Lukuarvot 3,30 ja 1,00 tarkoittavat kertoimia (hyötysuhteen käänteisluku), joilla IEA, Eurostat ja UNSD muuntavat *ydinvoiman* tuotannon primäärienergiaksi. IEA ja Eurostat kertovat esimerkiksi ydinvoimalan sähkön bruttotuotannon kertoimella 3,03 ($=1/0,33$) ja käyttävät tätä arvoa, jonka katsotaan kuvaavan ydinvoimalan lämmöntuotantoa, ydinpolttoaineiden primäärienergiana. UNSD taas käyttää ydinpolttoaineiden primäärienergiana suoraan sähkön bruttotuotantoa (kerroin yksi). Vesi- ja tuulivoiman tuotannossa ensimmäisen muunnoksen tuloksena saadaan sähkön bruttotuotanto (kuvasta jää siis lämpö pois). Pelkässä lämmöntuotannossa sähkön brutto- ja nettotuotanto korvataan kuvassa lämmön brutto- ja nettotuotannolla.

3.1.2 Tässä työssä käytetyt primäärienergian laskentatavat

Primäärienergialla pyritään kuvaamaan energianlähteistä energiamarkkinoille saatavissa olevaa hyödyntämiskelpoista energiaa (jäljempänä vaihtoehdot C ja D) sekä energianlähteinä käytettävien luonnonvarojen määrä, käyttöä ja kulumista (jäljempänä vaihtoehdot A ja B). Jälkimmäisessä vaihtoehdossa primäärienergian tarkoituksena kuvata paitsi energianlähteiden riittävyttä myös niiden käytön seurauksia. Energian käytön tehokkuuden ja ohjaamisen näkökulmasta primäärienergian määritelmän tulisi olla sellainen, että se parhaalla mahdollisella tavalla – kaikista puutteistaan huolimatta – täyttäisi edellä mainituista tehtävistä jälkimmäisen, eli pyrkisi kuvaamaan luonnonvarojen kulumista ja luonnonvarojen käytön seurauksia. Tätä taustaa vasten ydinvoimalle on luontevaa valita jokin lukuarvoa yksi pienempi hyötysuhde.

IEA:n, Eurostatin ja Tilastokeskuksen tilastoissa ydinvoiman primäärienergiahyötysuhteeksi on valittu arvo 33 % (Taulukko 16). Tämä hyötysuhde on valittu myös tässä työssä ydinvoiman primäärienergiahyötysuhteeksi vaihtoehdoissa A ja B (Taulukko 17 ja Taulukko 18). Suomen tuotantoa koskevilla kertoimilla hyötysuhteella on jaettu sähkön nettotuotanto ja eurooppalaisia kertoimia laskettaessa sähkön bruttotuotanto. Vaihtoehdoissa C ja D (Taulukko 19 ja Taulukko 20) ydinvoimalla tuotetun sähkön primäärienergiaksi (ts. ydinpolttoaineiden primäärienergiaksi) on asetettu suoraan sähkön nettotuotanto (ts. ydinvoiman primäärienergiahyötysuhde sähkön nettotuotannosta on 100 %). Vaihtoehdot C ja D on otettu mukaan vaihtoehtojen A ja B rinnalle ydinvoiman hyötysuhteen vaikutusten vertailemiseksi.

Vaihtoehdot A ja C ovat niin sanottuja kokonaisprimäärienergiakertoimia eli niissä kaikkien energianlähteiden primäärienergiakerroin on tasan yksi (ks. luku 3.2.1)¹⁷. Toisin sanoen, vaihtoehdoissa A ja C on huomioitu sekä uusiutumattomien että uusiutuvien energianlähteiden primäärienergia. Vaihtoehdot B ja D taas ovat niin sanottuja uusiutumattoman energian primäärienergiakertoimia, joissa uusiutuvien energianlähteiden primäärienergiakerroin on asetettu nolaksi. Toisin sanoen, vaihtoehdoissa B ja C huomioidaan vain uusiutumattomien energianlähteiden primäärienergia (uusiutuvien energianlähteiden primäärienergiavastine on asetettu nolaksi)¹⁸.

Primäärienergian määritelmä vaikuttaa uusiutumattomien ja uusiutuvien energianlähteiden osuuteen sähkön ja lämmön tuotannossa. Uusiutumattoman energian osuus tuotantoon käytetystä kokonaisprimäärienergiasta on primäärienergiakertoimien suhde: Määritelmien A ja B muodostamassa kokonaisuudessa uusiutumattoman energian osuus on kertoimen B suhde kertoimeen A (B/A). Määritelmien C ja D muodostamassa kokonaisuudessa uusiutumattoman osuus on vastaavasti kertoimen D suhde kertoimeen C (C/D).

Esimerkki 1. Suomen sähkön kokonaistuotannon määritelmän B mukainen uusiutumattoman energian kerroin oli vuonna 2007 noin 1,75 ja määritelmän A mukainen kokonaisprimäärienergiakerroin noin 2,20 yhteistuotannon energianlähteet hyödynjakomenetelmällä (laitoskohtaisesti) jakaen (Kuva 23). Uusiutumattomien energianlähteiden osuus sähkön kokonaistuotannossa oli siten määritelmiin A ja B perustuen Suomessa vuonna 2007 noin $1,75 / 2,20 = 80\%$ ja uusiutuvien energianlähteiden osuus vastaavasti noin 20% ($1-0,80$). Vastaavat määritelmien D ja C mukaiset kertoimet olivat vuonna 2007 noin 1,16 (uusiutumaton) ja 1,62 (kokonais) ja uusiutumattomien energianlähteiden osuus tuotannossa oli siten noin $1,16 / 1,62 = 72\%$ ja uusiutuvien energianlähteiden osuus vastaavasti noin 28% ($1-0,72$).

Uusiutuvien energianlähteiden osuus sähkön ja lämmön tuotannossa on esitetty työn lopussa liitteenä Tilastokeskuksen laitoksittain jakamiin yhteistuotannon polttoaineisiin perustuen (Liite E). Luvussa 3.3.2.5 vastaava osuus on esitetty yhteistuotannon polttoaineet yhtenä kokonaisuutena jakaen. Molemmissa yhteyksissä uusiutuvien energianlähteiden osuus tarkoittaa uusiutuvien energianlähteiden primäärienergian osuutta tuotantoon käytetystä kokonaisprimäärienergiasta¹⁹.

¹⁷ Tässä työssä ei tarkastella välillisiä seurauksia, kuten polttoaineiden jalostamista ja kuljettamista.

¹⁸ Kertoimen jakajassa on kuitenkin sähkön tai lämmön kokonaistuotanto, joka sisältää sekä uusiutumattomista että uusiutuvista energianlähteistä tuotetun sähkön tai lämmön.

¹⁹ Uusiutuvan energian osuus voidaan esittää myös esimerkiksi uusiutuviin energianlähteisiin perustuvan sähkön- ja lämmöntuotannon osuutena sähkön ja lämmön kokonaistuotannosta. Tämä esitystapa johtaa eri osuuteen kuin energianlähteiden primäärienergiaan perustuva esitystapa.

Taulukko 17. Energiahyödykkeiden primäärienergia vaihtoehdossa A: kokonaisprimäärienergiakerroin ydinvoiman tuotannon primäärienergiahyötysuhteella 33 %.

Energiahyödyke	Primäärinen energiamuoto	Primäärienergiavastine
polttoaineet	lämpö	alempi lämpöarvo
sähkö polttoaineista	-	polttoaineen primäärienergia
lämpö polttoaineista	-	polttoaineen primäärienergia
vesivoima	sähkö	sähkön nettotuotanto
tuulivoima	sähkö	sähkön nettotuotanto
ydinvoima	lämpö	hyötysuhteella 33 % sähkön nettotuotannosta

Tämä laskentatapa vastaa Tilastokeskuksen käyttämiä määritelmiä. IEA:n ja Eurostatin tilastoissa ydinvoiman primäärienergia lasketaan sähkön bruttotuotannosta, muuten määritelmät ovat samoja.

Taulukko 18. Energiahyödykkeiden primäärienergia vaihtoehdossa B: uusiutumattoman energian primäärienergiakerroin ydinvoiman tuotannon primäärienergiahyötysuhteella 33 %.

Energiahyödyke	Primäärinen energiamuoto	Primäärienergiavastine
fossiiliset polttoaineet	lämpö	alempi lämpöarvo
uusituvat polttoaineet	lämpö	0
sähkö polttoaineista	-	polttoaineen primäärienergia
lämpö polttoaineista	-	polttoaineen primäärienergia
vesivoima	sähkö	0
tuulivoima	sähkö	0
ydinvoima	lämpö	hyötysuhteella 33 % sähkön nettotuotannosta

Tämä laskentatapa vastaa Tilastokeskuksen käyttämiä määritelmiä, mutta uusiutuvien energianlähteiden (vesivoima, biopolttoaineet jne.) primäärienergiavastine (ts. energianlähteen kerroin) on asetettu nollassi.

Taulukko 19. Energiahyödykkeiden primäärienergia vaihtoehdossa C: kokonaisprimäärienergiakerroin ydinvoiman tuotannon primäärienergiahyötysuhteella 100 %.

Energiahyödyke	Primäärinen energiamuoto	Primäärienergiavastine
polttoaineet	lämpö	alempi lämpöarvo
sähkö polttoaineista	-	polttoaineen primäärienergia
lämpö polttoaineista	-	polttoaineen primäärienergia
vesivoima	sähkö	sähkön nettotuotanto
tuulivoima	sähkö	sähkön nettotuotanto
ydinvoima	sähkö	sähkön nettotuotanto

Tämä laskentatapa vastaa UNSD:n käyttämiä määritelmiä.

Taulukko 20. Energiahyödykkeiden primäärienergia vaihtoehdossa D: uusiutumattoman energian primäärienergiakerroin ydinvoiman tuotannon primäärienergiahyötysuhteella 100 %.

Energiahyödyke	Primäärinen energiamuoto	Primäärienergiavastine
fossiiliset polttoaineet	lämpö	alempi lämpöarvo
uusituvat polttoaineet	lämpö	0
sähkö polttoaineista	-	polttoaineen primäärienergia
lämpö polttoaineista	-	polttoaineen primäärienergia
vesivoima	sähkö	0
tuulivoima	sähkö	0
ydinvoima	lämpö	sähkön nettotuotanto

Tämä laskentatapa vastaa UNSD:n käyttämiä määritelmiä, mutta uusiutuvien energianlähteiden (vesivoima, biopolttoaineet jne.) primäärienergiavastine (ts. energianlähteen kerroin) on asetettu nollassi.

3.2 Energianlähteiden kerroin

Energianlähteiden kertoimella (f) tarkoitetaan suhdetta

$$f = \frac{F}{Q}, \quad (1)$$

jossa Q on energianlähteen määrä ja F energianlähteen määrän Q hyödyntämisen seuraukset. Seurauksina voidaan tarkastella esimerkiksi tuotannon hiilidioksidipäästöjä, polttoainekustannuksia tai energianlähteinä käytettävien luonnonvarojen kulutusta (primäärienergian kulutusta). Energianlähteen määrä voidaan esittää muun muassa energianlähteen massana, ainemääränä, tilavuutena tai energianlähteen energiasisältönä (primäärienergiana).

Esimerkki 2. Arkipäiväisiä esimerkkejä energianlähteiden kertoimista ovat bensiinin sekä diesel- ja lämmitysöljyn (kevyt polttoöljy) yksikköhinnat (euroa per litra), joissa seurauksina (F) on polttoaineen hinta ja määränä (Q) polttoaineen tilavuus. Muita esimerkkejä kertoimista ovat polttoaineiden lämpöarvot (esimerkiksi megajoulea per kilogramma) ja CO₂-ominaispäästökertoimet (esimerkiksi kilogrammaa hiilidioksidia per poltettu litra). Jos esimerkiksi poltetaan täydellisesti litra bensiiniä, hiilidioksidia muodostuu likimain 2,3 kg. Bensiinin ominaispäästökerroin (ts. energianlähteen kerroin) on siten likimain 2,3 kg(CO₂)/L. Dieselöljyn päästökerroin on vastaavasti noin 2,6 kg(CO₂)/L ja lämmitysöljyn noin 2,7 kg(CO₂)/L. Päästökertoimet voidaan esittää myös polttoaineen alempaan lämpöarvoon suhteutettuna. Tilastokeskuksen vuoden 2010 polttoaineluokituksessa bensiinin päästökertoimena käytetään esimerkiksi arvoa 72,9 g(CO₂)/MJ eli 262,4 g(CO₂)/kWh, dieselöljyn 73,6 g(CO₂)/MJ eli 265,0 g(CO₂)/kWh ja kevyen polttoöljyn 74,1 g(CO₂)/MJ eli 266,8 g(CO₂)/kWh. Kertoimien jakajan energiayksikkö (MJ tai kWh) viittaa polttoaineesta täydellisessä palamisessa saatavaan alemman lämpöarvon mukaiseen energiamäärään ja päästökertoimen osoittaja vastaavasti ko. polttoainemäärään (litra tai kWh) täydellisessä palamisessa muodostuneen hiilidioksidin määrään.

Energianlähteet voidaan jakaa tarkasteltavassa kokonaisuudessa (taserajan sisäpuolella) suoraan energian tuotantoon käytettyihin energianlähteisiin sekä tarkasteltavan kokonaisuuden ulkopuolella (ympäristössä) tuotantoon välillisesti (mm. polttoaineiden jalostamiseen ja kuljettamiseen) käytettyihin energianlähteisiin

$$Q = Q_s + Q_y, \quad (2)$$

jossa alaindeksillä s on merkitty taserajan sisäpuolella ja alaindeksillä y taserajan ulkopuolella käytettyjä energianlähteitä.

Energianlähteiden hyödyntämisen seuraukset voidaan vastaavasti jakaa tarkasteltavassa kokonaisuudessa harjoitettavasta toiminnasta aiheutuviin välittömiin seurauksiin, kuten energian tuotannon päästöihin, sekä tarkasteltavan kokonaisuuden ulkopuolella tehdyistä toimista aiheutuviin välillisiin seurauksiin, kuten tuotantoon käytettyjen polttoaineiden jalostamisen ja kuljettamisen aiheuttamiin päästöihin,

$$F = F_s + F_y, \quad (3)$$

jossa alaindeksillä s on merkitty välittömiä (taserajan sisäpuolisia) ja alaindeksillä y välillisiä (taserajan ulkopuolisia) seurauksia. Välilliseen energian käyttöön ja seurauksiin voidaan sisällyttää mm. polttoaineiden jalostamiseen ja kuljettamiseen sekä voimalaitosten ja jakeluverkon rakentamiseen ja ylläpitämiseen käytetty energia ja niistä aiheutuneet päästöt.

Energianlähteet voidaan jakaa uusiutumattomiin ja uusiutuviin energianlähteisiin ja seuraukset vastaavasti uusiutumattomien ja uusiutuvien energianlähteiden hyödyntämisen aiheuttamiin seurauksiin

$$Q_s = Q_{sf} + Q_{su} \quad (4) \qquad Q_y = Q_{yf} + Q_{yu} \quad (5)$$

$$F_s = F_{sf} + F_{su} \quad (6) \qquad F_y = F_{yf} + F_{yu}, \quad (7)$$

joissa ensimmäisellä alaindeksillä on merkitty taserajan sisä- ja ulkopuolta (alaindeksit s ja y) ja toisella uusiutumattomia (alaindeksi f) ja uusiutuvia (alaindeksi u) energianlähteitä. Energianlähteen kertoimissa nimittäjänä on taserajan sisäpuolella käytettyjen energianlähteiden kokonaismäärää (Q_s) seurausten esitystavasta ja kertoimen tyypistä riippumatta.

Energianlähteiden kerroin on edellä esitettyyn perustuen kokonaisuutena

$$f = \frac{F_s}{Q_s} + \frac{F_y}{Q_s} = \left(\frac{F_{sf}}{Q_s} + \frac{F_{su}}{Q_s} \right) + \left(\frac{F_{yf}}{Q_s} + \frac{F_{yu}}{Q_s} \right), \quad (8)$$

johon perustuen voidaan määritellä kertoimet

$$f = f_s + f_y = (f_{sf} + f_{su}) + (f_{yf} + f_{yu}), \quad (9)$$

jossa f_s on välittömien (sisäpuolisten) seurausten ja f_y välillisten (ulkopuolisten) seurausten kerroin, jotka molemmat muodostuvat uusiutumattomasta (f_{sf} ja f_{yf}) ja uusiutuvasta osasta (f_{su} ja f_{yu}). Lisäksi voidaan vielä määritellä uusiutumattoman energian kerroin

$$f_f = \frac{F_{sf}}{Q_s} + \frac{F_{yf}}{Q_s} = f_{sf} + f_{yf}. \quad (10)$$

Hiilidioksidipäästöjä kuvaavat päästökertoimet ovat yleensä uusiutumattoman energian kertoimia, sillä biopolttoaineiden polttamisen aiheuttamien hiilidioksidipäästöjen ei yleensä katsota lisäävän ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta pitkällä aikavälillä (vastaavasti voidaan määritellä mm. uusiutumattoman primäärienergian kerroin).

Esimerkki 3. Jos tarkasteltava kokonaisuus on asuinrakennuksen öljykattila (ts. taseraja on öljykattilan ympärillä), jossa on poltettu 1000 litraa (noin 10 000 kWh) vain fossiilisia ainesosia sisältävää lämmitysöljyä, ja jos lisäksi öljyn kuljettaminen myyjältä asiakkaalle on aiheuttanut 100 kg hiilidioksidipäästöjä, poltetun öljyn välittömät ja välilliset seuraukset sisältävä päästökerroin on polttoaineen tilavuuteen suhteutettuna noin

$$f = \frac{F_s}{Q_s} + \frac{F_y}{Q_s} = \frac{2,7 \cdot 1000}{1000} + \frac{100}{1000} = 2,7 + 0,1 = 2,8 \text{ kg(CO}_2\text{)/L}$$

ja lämpöarvoon suhteutettuna

$$f = \frac{F_s}{Q_s} + \frac{F_y}{Q_s} = \frac{2,7 \cdot 1000}{10\,000} + \frac{100}{10\,000} = 270 + 10 = 280 \text{ g(CO}_2\text{)/kWh,}$$

joissa lämmitysöljyn päästökertoimenä käytetty arvoa 2,7 g(CO₂)/L. Yllä siis myös välillisten seurausten (F_y) jakajana on käytetty taserajan sisäpuolella käytettyä öljymäärää (Q_s), jolloin kertoimen jakajan yksikkö (litra tai kWh) viittaa aina yksiselitteisesti taserajan sisäpuolella (kattilassa) poltettuun öljymäärään (ts. öljyn loppukulutukseen). Kertoimen päästöt (osoittaja) sen sijaan viittaavat sekä taserajan sisäpuolella aiheutuneisiin (ts. välittömiin) että taserajan ulkopuolella aiheutuneisiin (ts. välillisiin) hiilidioksidipäästöihin.

Energianlähteiden hyödyntämisen seuraukset voivat muodostua usean eri energianlähteen hyödyntämisen seurauksista

$$F = fQ = f_1Q_1 + f_2Q_2 + \dots + f_iQ_i, \quad (11)$$

jossa Q_i ja f_i ovat energianlähteen i määrä ja kerroin. Keskimääräiseksi kertoimeksi saadaan siten

$$f = f_1x_1 + f_2x_2 + \dots + f_ix_i, \quad (12)$$

jossa x_i on energianlähteen i määrän Q_i osuus energianlähteiden kokonaismäärästä Q .

Esimerkki 4. Sähkön tuotantoon käytetystä energiasta 60 % saatiin jyrshinturpeesta, 30 % polttopuusta ja 10 % raskaasta polttoöljystä. Jyrshinturpeen CO₂-päästökertoimeksi arvioitiin 381 g(CO₂)/kWh, polttopuun 0 g(CO₂)/kWh ja raskaan polttoöljyn 284 g(CO₂)/kWh. Yhtälöstä (12) tuotantoon käytetyn polttoaineseoksen keskimääräiseksi CO₂-ominaispäästökertoimeksi saadaan

$$f = 381 \cdot 0,60 + 0 \cdot 0,30 + 284 \cdot 0,10 = 257 \text{ g(CO}_2\text{)/kWh,}$$

jossa kertoimen jakajan energiayksikkö (kWh) viittaa polttoaineesta täydellisessä palamisessa saatavaan alemman lämpöarvon mukaiseen energiamäärään.

3.2.1 Energianlähteiden primäärienergiakerroin

Primäärienergiakerrointa määritettäessä sekä energianlähteiden määrä (Q) että energian tuotannon seuraukset (F) esitetään primäärienergiana, jolloin

$$Q_s = F_s \quad (13) \quad Q_y = F_y. \quad (14)$$

Välittömien seurausten (ts. sisäisten seurausten) kerroin (f_s) on siten aina

$$f_s = \frac{Q_s}{Q_s} = 1. \quad (15)$$

Tätä kerrointa kutsutaan (välittömien seurausten) kokonaisprimäärienergiakertoimeksi. Kaikkien energianlähteiden välittömien seurausten kokonaisprimäärienergiakerroin on siis aina tasan yksi. Uusiutumattoman energian primäärienergiakerroin (f_{sf}) on vastaavasti

$$f_{sf} = \frac{Q_{sf}}{Q_s}. \quad (16)$$

Polttoaineiden uusiutumattoman energian kerroin on siis yksinkertaisesti uusiutumattoman energian osuus polttoaineiden energiasisällöstä (ts. uusiutumattoman energian osuus tuotannossa). Uusiutumattomien energianlähteiden kerroin on aina yksi, uusiutuvien energianlähteiden aina nolla ja sekapolttoaineiden, jotka sisältävät sekä uusiutumattomia että uusiutuvia ainesosia, suurempi kuin nolla, mutta pienempi kuin yksi (Taulukko 21).

Uusiutuvan energian osuus sähkön ja lämmön tuotannossa on esitetty työn lopussa liitteenä (Liite E). Uusiutuvan energian osuus riippuu primäärienergian määritelmästä (ks. luku 3.1), yhteistuotannon energianlähteiden jakotavasta (ks. luku 3.3.2) sekä yhteistuotantolaitosten yhteenlasketusta (ks. luku 3.3.2.5). *Uusiutumattomien* energialähteiden osuus tuotannossa (ts. energianlähteiden uusiutumattoman energian primäärienergiakerroin) on yksi miinus uusiutuvien energianlähteiden osuus tuotannossa.

Taulukko 21. Yhteenvedo energianlähteiden välittömien seurausten primäärienergiakertoimista.

Välittömien seurausten kerroin	Uusiutumattomat energianlähteet	Uusiutuvat energianlähteet	Sekapolttoaineet
Kokonaisprimäärienergiakerroin (f_s)	1	1	1
Uusiutumattoman energian primäärienergiakerroin (f_{sf})	1	0	$0 < f_{sf} < 1$

Esimerkki 5. Rakennukseen toimitetun ja rakennuksessa poltetun lämmitysöljyn, polttopuun jne. välittömien seurausten (ts. sisäisten seurausten) *energianlähteen* kokonaisprimäärienergiakerroin on aina tasan yksi. *Tuotannon* primäärienergiakerroin saadaan jakamalla energianlähteen primäärienergiakerroin tuotannon hyötysuhteella.

Esimerkki 6. Uusiutuvien energianlähteiden osuus teollisuuden yhteistuotannossa oli vuonna 2008 noin 70 % (Taulukko 5) ja uusiutumattomien siten noin 30 %. Teollisuuden yhteistuotannon energianlähteiden uusiutumattoman energian primäärienergiakerroin f_{sf} oli siten vuonna 2008 noin 0,30 (eli yhtä suuri kuin uusiutumattomien energianlähteiden osuus tuotannossa).

Polttoaineiden primäärienergiana käytetään yleensä alemmaa lämpöarvoa. Polttoaineiden määrä esitetään niistä käytännön sovelluksissa saatavissa olevaan suurimpaan mahdolliseen energiamäärään perustuen (yleensä alempi lämpöarvo), riippumatta siitä, paljonko niiden energiasisällöstä (alemmasta lämpöarvosta) on poltettaessa pystytty hyödyntämään.

Esimerkki 7. Jos poltetaan kilogramma polttoainetta, jonka lämpöarvo on 12 kWh/kg, yksi polttoainekilogramma on primäärienergiana mitattuna aina 12 kWh, riippumatta siitä, kuinka suuri osuus lämpöarvosta on käytännössä pystytty hyödyntämään.

Esimerkki 8. Jos lämmitysöljyn alempi lämpöarvo 10 kWh/L ja rakennukseen on toimitettu 1000 L öljyä, toimitetun öljyn määrä (Q_s) on primäärienergiana mitattuna 10 000 kWh. Jos em. lämmitysöljyä on poltettu 1000 L, mutta kattilassa talteen on saatu vain 9000 kWh (9 kWh/L), toimitetun ja poltetun lämmitysöljyn määrä on kuitenkin edelleen primäärienergiana mitattuna 10 000 kWh (vastaten tilavuutta 1000 L).

Välittömien seurausten kertoimien tapaan voidaan määritellä myös välillisten seurausten primäärienergiakertoimet

$$f_y = \frac{Q_y}{Q_s} \quad (17) \quad f_{yf} = \frac{Q_{yf}}{Q_s}, \quad (18)$$

joissa f_y on välillisten seurausten kokonaisprimäärienergiakerroin ja f_{yf} välillisten seurausten uusiutumattoman primäärienergian kerroin.

Yhtälön (9) mukainen välittömät ja välilliset seuraukset sisältävä energianlähteen kokonaisprimäärienergiakerroin (f) on kokonaisuutena

$$f = \frac{Q_s}{Q_s} + \frac{Q_y}{Q_s} = f_s + f_y = 1 + f_y \quad (19)$$

ja yhtälöön (10) perustuva uusiutumattoman energian kerroin (f_f) vastaavasti

$$f_f = \frac{Q_{sf}}{Q_s} + \frac{Q_{yf}}{Q_s} = f_{sf} + f_{yf}. \quad (20)$$

Välittömät ja välilliset seuraukset sisältävän kokonaisprimäärienergiakerroin on aina suurempi tai yhtä suuri kuin yksi (Taulukko 22).

Primäärienergiakerroin on dimensioton luku (ts. kertoimen dimensio ja yksikkö on 1), mutta voidaan ajatella, että kertoimen yksikkö on esimerkiksi $\text{kWh}_{\text{pr}}/\text{kWh}_{\text{par}}$, jossa alaindeksi pa viittaa polttoaineen tai jonkin muun energianlähteen omaan primäärienergiaan eli taserajan sisäpuolella käytettyjen energianlähteiden määrään (polttoaineilla lämpöarvoon) ja alaindeksi pr energianlähteen käytön seurauksiin primäärienergian avulla esitettyä.

Taulukko 22. Yhteenvedo energianlähteiden välittömät ja välilliset seuraukset sisältävistä primäärienergiakertoimista.

Välittömät ja välilliset seuraukset sisältävä kerroin	Uusiutumattomat energianlähteet	Uusiutuvat energianlähteet	Sekapolttoaineet
Kokonaisprimäärienergiakerroin (f)	≥ 1	≥ 1	≥ 1
Uusiutumattoman energian primäärienergiakerroin (f_f)	≥ 1	≥ 0	> 0

Esimerkki 9. Autolla haettiin kaksi irtokuutiometriä polttopuuta (i-m^3). Polttopuiden tuottamiseen ja hakumatkaan arvioitiin kulutetuksi yhteensä 25 litraa moottoribensiiniä. Polttopuun alemman lämpöarvon mukaiseksi energiatiheydeksi arvioitiin $1000 \text{ kWh}/(\text{i-m}^3)$ ja bensiinin alemmaksi lämpöarvoksi $8,8 \text{ kWh/L}$ käyttötilassa. Bensiinin energiasisällöstä 10 % oli peräisin uusiutuvista energianlähteistä.

Polttopuiden välillisten seurausten kokonaisprimäärienergiakerroin on

$$f_y = \frac{Q_y}{Q_s} = \frac{25 \cdot 8,8}{2000} = 0,11$$

ja polttopuiden välillisten seurausten uusiutumattoman energian primäärienergiakerroin vastaavasti

$$f_f = \frac{Q_y}{Q_s} = \frac{25 \cdot 8,8 \cdot 0,90}{2000} = 0,10$$

Kertoimissa nimittäjä viittaa taserajan sisäpuolella poltetun puun määrään (ts. polttopuun loppukulutukseen) ja osoittaja taserajan ulkopuolella polttopuun tuottamiseen ja kuljettamiseen käytettyyn primäärienergiaan. Polttopuuerän välilliset ja välittömät seuraukset sisältävä kokonaisprimäärienergiakerroin on

$$f = 1 + f_y = 1,11$$

ja uusiutumattoman energian primäärienergiakerroin

$$f_f = f_{sf} + f_{yf} = 0 + 0,10 = 0,10.$$

3.2.2 Polttoaineiden CO₂-ominaispäästökerroin

3.2.2.1 Päästökerroin polttoaineiden ominaisuutena

Lähes kaikki polttoaineet sisältävät hiiltä. Polttoaineen palamisesta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt syntyvät, kun polttoaineessa oleva hiili hapettuu hiilidioksidiksi. Palamisesta aiheutuvien päästöjen määrä riippuu polttoaineen koostumuksesta ja palamisolosuhteista. Palamisolosuhteet pyritään yleensä järjestämään sellaisiksi, että polttoaine palaa mahdollisimman täydellisesti. Polttoaineen täydellisessä palamisessa kaikki polttoaineessa oleva hiili hapettuu hiilidioksidiksi. Täydellisessä palamisessa muodostuu siten polttoaineen ainemäärään, massaan ja lämpöarvoon suhteutettuna aina yhtä paljon hiilidioksidia. Tätä kullekin polttoaineelle ominaista suureta kutsutaan polttoaineen ominaispäästökertoimeksi tai päästökertoimeksi.

Käytännön laskelmissa hiilidioksidipäästöt voidaan yleensä arvioida riittävällä tarkkuudella tarkastelemalla täydellistä palamista ja huomioida tarvittaessa hiilidioksidiksi hapettumaton hiili erillisen korjauskertoimen avulla [19,20]. Korjauskerronta kutsutaan hapettumiskertoimeksi. Hapettumiskerroin on todellisten päästöjen ja täydelliseen palamiseen perustuvien päästöjen suhde. Tilastokeskus käyttää liikennepolttoaineille hapettumiskertoimena pääosin lukuarvoa 1,00, kiinteille polttoaineille lukuarvoa 0,990 ja muille polttoaineille lukuarvoa 0,995 [21].

Tilastokeskuksen tekemät polttoaineiden polttamista koskevat CO₂-päästölaskelmat perustuvat Tilastokeskuksen polttoaineluokituksen [22]²⁰ lämpöarvoihin ja CO₂-ominaispäästökertoimiin (Taulukko 23). Polttoaineluokituksen lämpöarvot ja ominaispäästökertoimet pyrkivät kuvaamaan Suomessa käytettävien polttoaineiden keskimääräistä koostumusta siinä tilassa, jossa niitä tyyppillisesti käytetään (ns. käyttötilassa). Polttoaineluokituksen lämpöarvot ja päästökertoimet perustuvat täydelliseen palamiseen ja alempaan lämpöarvoon (päästökertoimissa ei ole huomioitu hapettumiskerronta)²¹. Tilastokeskuksen käyttämät polttoaineiden lämpöarvot ja päästökertoimet on esitetty lähteineen mm. Tilastokeskuksen julkaisussa Greenhouse Gas Emissions in Finland [21]²². Raportissa polttoaineiden lämpöarvojen ja päästökertoimien lähteiksi mainitaan muun muassa Tilastokeskuksen omat selvitykset, IPCC²³, VTT²⁴, asiantuntija-arviot ja yrityksiä (kuten Neste Oil Oy ja Gasum Oy). Kattava kooste polttoaineiden kansainvälisistä oletuslämpöarvoista ja päästökertoimista on esitetty mm. lähteissä [19] ja [20].

Polttoaineen massa suhteutettu ominaispäästökerroin (f_m) voidaan laskea yhtälöstä

$$f_m = \frac{m(\text{CO}_2)}{m_p} = \frac{M(\text{CO}_2)}{M(\text{C})} y(\text{C}) = \frac{M(\text{CO}_2)}{M(\text{C})} (1 - y_v) y_k(\text{C}). \quad (21)$$

jossa m_p on polttoaineen massa, $m(\text{CO}_2)$ polttoainemassan m_p täydellisessä palamisessa muodostuva hiilidioksidimassa, $M(\text{CO}_2)$ ja $M(\text{C})$ hiilidioksidin ja hiilen moolimassat, $y(\text{C})$ hiilen massaosuus kosteassa polttoaineessa, y_v veden massaosuus kosteassa polttoaineessa ja $y_k(\text{C})$ hiilen massaosuus kuivassa polttoaineessa. Hiilen moolimassa $M(\text{C})$ on 12,0107 g/mol ja hiilidioksidin moolimassa $M(\text{CO}_2)$ on 44,0095 g/mol [23] (moolimassojen suhde on siis likimain 44/12). Massa suhteutettu päästökerroin on dimensioton luku (ts. kertoimen dimensio ja yksikkö on 1), mutta voidaan ajatella, että kertoimen yksikkö on esimerkiksi kg(CO₂)/kg_{pa}, jossa alaindeksi pa viittaa polttoaineen massaan.

Esimerkki 10. Öljylämmitykseen Suomessa käytetyssä kevyessä polttoöljyssä (lämmitysöljyssä) hiilen massaosuus on tyyppillisesti noin 0,86. [24,25]. Vesipitoisuus on merkityksettömän pieni. Yhtälöstä (21) kevyen polttoöljyn massa suhteutetuksi CO₂-ominaispäästökertoimeksi saadaan siten noin

$$f_m = \frac{M(\text{CO}_2)}{M(\text{C})} y(\text{C}) = \frac{44}{12} \cdot 0,86 = 3,15$$

Jos siis poltetaan esimerkiksi kilogramma kevyttä polttoöljyä, hiilidioksidia muodostuu likimain 3,15 kilogrammaa.

²⁰ ks. esim. sähköisessä muodossa oleva taulukko Tilastokeskuksen kotisivuilla

²¹ kertoimet eivät ole ns. hiilidioksidiekvivalenttikertoimia (ts. ne eivät sisällä muita kasvihuonekaasuja)

²² Yhdistyneiden kansakuntien ilmastopöytäkirjan perustuva kansallinen inventaarioraportti

²³ The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

²⁴ Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT).

Polttoaineen tilavuuteen suhteutettu päästökerroin (f_V) saadaan yhtälöstä

$$f_V = \frac{m(\text{CO}_2)}{V_p} = f_m \rho_p \quad (22)$$

jossa $m(\text{CO}_2)$ on polttoainetilavuuteen V_p sisältyvän polttoainemassan m_p täydellisestä palamisesta syntyvä hiilidioksidimassa ja ρ_p polttoaineen massaa m_p ja tilavuutta V_p vastaava tiheys.

Esimerkki 11. Öljylämmitykseen Suomessa käytetyssä kevyessä polttoöljyn (lämmitysöljyn) tiheys on tyypillisesti noin 0,86 kg/L (esim. NESTE-LÄMMITYSÖLJY BIO -3 tiheys lämpötilassa 15 °C) [24,25]. Yhtälöstä (22) polttoöljyn tilavuuteen suhteutetuksi CO₂-ominaispäästökertoimeksi saadaan siten noin

$$f_V = f_m \rho_p = 3,15 \cdot 0,86 = 2,7 \text{ kg}(\text{CO}_2)/\text{L}$$

Jos siis poltetaan täydellisesti yksi litra kevyttä polttoöljyä, hiilidioksidia muodostuu noin 2,7 kilogrammaa. Tässä käytetyn tiheyden lukuarvo on vain sattumalta sama, kuin edellä käytetyn hiilipitoisuuden lukuarvo (molempien lukuarvo on 0,86).

Polttoaineen lämpöarvoon suhteutettu ominaispäästökerroin (f_q) saadaan yhtälöstä

$$f_q = \frac{m(\text{CO}_2)}{Q_p} = \frac{f_m}{q_p}, \quad (23)$$

jossa on Q_p polttoainemassan m_p palaessa vapautuva polttoaineen lämpöarvon mukainen lämpömäärä (ts. polttoaineen primäärienergia) ja q_p polttoaineen lämpöarvo yhtä polttoaineen massayksikköä m_p kohden.

Esimerkki 12. Öljylämmitykseen Suomessa käytetyn kevyen polttoöljyn alempi lämpöarvo on tyypillisesti noin 42–43 MJ/kg [24,25]. Yhtälöstä (23) polttoöljyn alempaan lämpöarvoon suhteutetuksi CO₂-ominaispäästökertoimeksi saadaan siten likimain

$$f_q = \frac{f_m}{q_p} = \frac{3,15}{42} = 0,075 \text{ kg}(\text{CO}_2)/\text{MJ} = 75,0 \text{ g}(\text{CO}_2)/\text{MJ} = 270 \text{ g}(\text{CO}_2)/\text{kWh}$$

Tilastokeskuksen vuoden 2010 polttoaineluokituksessa kevyen polttoöljyn alempana lämpöarvona käytetään arvoa 42,7 MJ/kg eli 11,86 kWh/kg ja CO₂-päästökertoimenä arvoa 74,1 g(CO₂)/MJ eli 266,76 g(CO₂)/kWh.

Lämmitys- ja liikennepolttonesteiden jakelutoiminnan energiatehokkuussopimuksessa (HÖYLÄ III) asetettiin vuonna 2007 tavoite, että biopolttoöljyn osuus lämmityspolttonesteiden toimituksista olisi vuonna 2009 yhteensä 2 % ja vuonna 2016 yhteensä 10 %. Käytännössä sopimus tarkoittaa, että tavalliseen lämmitysöljyyn sekoitetaan biopolttoaineeksi luokiteltavaa polttoainetta. Neste Oil Oyj:n toimittamassa lämmitysöljyssä (NESTE-LÄMMITYSÖLJY BIO -3) on esimerkiksi HÖYLÄ III sopimukseen perustuen vuonna 2010 keskimäärin kolme tilavuusprosenttia Nesteen NExBTL-biopolttoainetta. NExBTL-polttoaineen hiilipitoisuus on tyypillisesti tavanomaista lämmitysöljyä pienempi ja vetypitoisuus vastaavasti suurempi. NExBTL-polttoainetta sisältävän lämmitysöljyn päästökerroin on siten tavanomaista lämmitysöljyä pienempi, vaikka biopolttoaineen hiiltä ei luettaisi uusituvaksi. Biokomponentin osuus on toistaiseksi niin pieni, että se ei juuri näy lämmitysöljyn päästökertoimessa. Öljylämmitys saattaa tarjota tulevaisuudessa mahdollisuuden nestemäisten biopolttoaineiden hyödyntämiseen huomattavasti nykyistä laajemmin. [25]

3.2.2.2 Päästökerroin energiamuotojen kertoimena

Päästöt muodostuvat tarkasteltavan polttoaineen polttamisesta taserajan sisäpuolella (ts. välittömistä seurauksista) sekä mm. polttoaineen tuottamiseksi ja kuljettamiseksi käytettyjen energianlähteiden (tai muiden luonnonvarojen) aiheuttamista päästöistä (ts. välillisistä seurauksista) taserajan ulkopuolella. Seurauksina F on nyt päästöjen massa

$$m = m_s + m_y, \quad (24)$$

jossa m on päästöjen kokonaismassa, m_s tarkasteltavan polttoaineen polttamisesta aiheutuneet päästöt ja m_y polttoaineen tuottamisen, kuljettamisen ja muiden välillisten seurausten aiheuttamat päästöt.

Taserajan sisäpuoliset (ts. välittömät) päästöt voidaan jakaa polttoaineen uusiutumattoman ja uusiutuvan osan palamisesta aiheutuviin päästöihin

$$m_s = m_{sf} + m_{su}. \quad (25)$$

Taserajan ulkopuoliset (ts. välilliset) päästöt voidaan jakaa vastaavasti polttoaineen tuottamiseen, kuljettamiseen jne. käytettyjen uusiutumattomien ja uusiutuvien energianlähteiden (tai muiden luonnonvarojen) käytöstä aiheutuviin päästöihin

$$m_y = m_{yf} + m_{yu}. \quad (26)$$

Välillisiin päästöihin voidaan sisällyttää paitsi polttoaineiden polttamisen aiheuttamat päästöt myös mm. turvetuotantoon käytetyistä soista ihmisen toiminnan seurauksena vapautuvat kasvihuonekaasut.

Edellä esitetyin merkinnöin kertoimien yleinen yhtälö (8) saa muodon

$$f = \frac{m_s}{Q_s} + \frac{m_y}{Q_s} = \left(\frac{m_{sf}}{Q_s} + \frac{m_{su}}{Q_s} \right) + \left(\frac{m_{yf}}{Q_s} + \frac{m_{yu}}{Q_s} \right), \quad (27)$$

jossa kertoimen nimittäjä Q_s viittaa tarkasteltavan polttoaineen (ts. taserajan sisäpuolella poltetun polttoaineen) lämpöarvon mukaiseen energiasisältöön eli polttoaineen kokonaisprimäärienergiaan. Yhtälöstä voidaan erottaa välittömien (ts. taserajan sisäpuolisten) seurausten päästökerroin (f_{sq}) ja välillisten (ts. taserajan ulkopuolisten) seurausten päästökerroin (f_{yq})

$$f_{sq} = \frac{m_s}{Q_s} \quad (28) \quad f_{yq} = \frac{m_y}{Q_s}, \quad (29)$$

jolloin kokonaiskertoimeksi saadaan

$$f = f_{sq} + f_{yq} \quad (30)$$

joissa f_{sq} on yhtälöön (23) perustuva päästökerroin.

Hiilidioksidipäästöiksi luetaan yleensä vain uusiutumattomien polttoaineiden polttamisesta aiheutuneet hiilidioksidipäästöt, sillä biopolttoaineiden polttamisesta aiheutuneiden hiilidioksidipäästöjen ei yleensä katsota, luonnon kiertokulku huomioiden, lisäävän ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta pitkällä aikavälillä (biopolttoaineita poltettaessa savupiipusta tulee kuitenkin hiilidioksidia siinä missä fossiilisia polttoaineita poltettaessakin). Polttoaineen uusiutuvan osan polttamisen aiheuttamat välittömät hiilidioksidipäästöt asetetaan siis yleensä nolaksi ($m_{su} = 0$). Käytännössä päästökerroin f_{sq} kuvaa siis useimmiten vain termiä

$$f_{sq} = \frac{m_{sf}}{Q_s} \quad (31)$$

Jakajana käytetään kuitenkin aina polttoaineen kokonaismäärää Q_s .

Esimerkki 13. Jos poltetaan ns. sekapolttoaineita, kuten kierrätyspolttoaineita, polttoaineen polttamisen hiilidioksidipäästöt (ts. taserajan sisäpuoliset hiilidioksidipäästöt) voidaan jakaa uusiutumattomasta osasta (m_{sf}) ja uusiutuvasta osasta (m_{su}) aiheutuviin hiilidioksidipäästöihin. Jakajana Q_s käytetään kuitenkin aina polttoaineen kokonaismäärää (esimerkiksi kokonaismassaa). Tilastokeskuksen vuoden 2010 polttoaineluokituksessa kierrätyspolttoaineiden CO₂-ominaispäästökertoimeksi on esimerkiksi valittu arvo 31,8 g(CO₂)/MJ eli 114,5 g(CO₂)/kWh. Hiilidioksidin massa viittaa tässä tapauksessa polttoaineen uusiutumattoman osan (fossiilisen hiilen) palamisen aiheuttamiin hiilidioksidipäästöihin (m_{sf}). Uusiutuvan osan (uusiutuvista lähteistä peräisin olevan hiilen) palamisen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt on asetettu nolllaksi ($m_{su} = 0$). Kertoimen jakajan energiasuure (energianlähteen määrä Q_s yksikössä MJ tai kWh) viittaa kuitenkin polttoaineen kokonaismäärään Q_s , joka sisältää sekä uusiutumattoman että uusiutuvan osan.

Polttoaineiden tuottamiseen ja kuljettamiseen on voitu käyttää sekä uusiutumattomia että uusiutuvia energianlähteitä. Edellä esitetyn periaatteen nojalla näitä välillisiä *hiilidioksidipäästöjä* tarkasteltaessa huomioidaan yleensä vain uusiutumattomien polttoaineiden polttamisesta aiheutuneet hiilidioksidipäästöt (m_{yf}), jolloin biopolttoaineiden polttamisen aiheuttamat välilliset hiilidioksidipäästöt asetetaan nolllaksi ($m_{yu} = 0$). Jos siis biopolttoaineiden tuottamiseksi (esim. polttopuiden kaataminen, kerääminen ja kuivaaminen) ja kuljettamiseksi (metsästä jalostukseen ja jalostuksesta kuluttajalle) poltettujen *uusiutumattomien* polttoaineiden hiilidioksidipäästöjä ei huomioida (eli asetetaan myös $m_{yf} = 0$), biopolttoaineiden polttamisen voi katsoa olevan hiilidioksidipäästötöntä. Jos kuitenkin biopolttoaineiden tuottamiseksi ja kuljettamiseksi on poltettu merkittävässä määrin uusiutumattomia polttoaineita (suhteessa esimerkiksi biopolttoaineesta saatavaan energiaan), näiden polttoaineiden aiheuttamat hiilidioksidipäästöt tulee tarvittaessa ottaa huomioon (jolloin $m_{yf} > 0$). Joissain tapauksissa seurauksina voi olla tarpeen huomioida myös biopolttoaineiden polttamisesta aiheutuneet hiilidioksidipäästöt, jos biopolttoaineita poltetaan nopeassa tahdissa suhteessa kasvien luonnolliseen hajoamiseen ja kasvamiseen.

Energianlähteiden uusiutuvuudella viitataan energianlähteiden määrään (ei ympäristövaikutuksiin). Uusiutuvuus ei välttämättä tarkoita ympäristöystävällisyyttä. Hiilidioksidipäästöt eivät esimerkiksi ole biopolttoaineiden palamisen ainoa seuraus, polttopuun tuottamiseksi on kaadettava metsää ja vesivoiman tuottamiseksi on padottava jokia. Edellä biopolttoaineiden käytön taserajan sisä- ja ulkopuoliset päästöt asetettiin nolllaksi ($m_{su} = 0$ ja $m_{yu} = 0$) vain, koska kyse oli biopolttoaineiden *polttamisen* aiheuttamista *hiilidioksidipäästöistä*. Jos sen sijaan tarkastellaan muita päästöjä – ml. muista syistä kuin polttamisesta aiheutuneita hiilidioksidipäästöjä tai, laajemmin, kasvihuonekaasupäästöjä – myös biopolttoaineiden käytöstä seuraa haitallisia päästöjä (ja muita kielteisiä ympäristövaikutuksia).

Taulukko 23. Polttoaineiden kansallisia lämpöarvoja ja ominaispäästökertoimia. [22]

Polttoaine			Lämpöarvo		Päästökerroin		
suomeksi	ruotsiksi	englanniksi	$\frac{\text{MJ}}{\text{kg}_{\text{pa}}}$	$\frac{\text{kWh}}{\text{kg}_{\text{pa}}}$	$\frac{\text{g}(\text{CO}_2)}{\text{MJ}}$	$\frac{\text{g}(\text{CO}_2)}{\text{kWh}}$	$\frac{\text{g}(\text{CO}_2)}{\text{kg}_{\text{pa}}}$
Moottoribensiini	Motorbensin	Motor gasoline	43,0 (31,8 MJ/L)	11,94 (8,8 kWh/L)	72,9	262,4	3135 (2320 g/L)
Dieselöljy	Dieselolja	Diesel oil	42,8 (36,0 MJ/L)	11,89 (10,0 kWh/L)	73,6	265,0	3150 (2646 g/L)
Kevyt polttoöljy	Lätt brännolja Tunn eldningsolja	Light fuel oil Heating fuel oil	42,7 (36,7 MJ/L)	11,86 (10,2 kWh/L)	74,1	266,8	3164 (2721 g/L)
Raskas polttoöljy, rikkipitoisuus alle 1 %	Tung brännolja Tjockolja	Heavy fuel oil	41,1	11,42	78,8	283,7	3239
Kivihiili, bituminen	Stenkol	Hard coal	24,6	6,83	94,6	340,6	2327
Maakaasu	Naturgas	Natural gas	36,0 MJ/m ³ (50,0 MJ/kg)	10,0 kWh/ m ³ (13,9 kWh/kg)	55,04	198,1	1981 g/m ³ (2752)
Jyrsinturve	Frästorv	Milled peat	10,1	2,81	105,9	381,2	1070
Palaturve	Stycketorv	Sod peat	12,3	3,42	102,0	367,2	1255
Turvepelletit ja -briketit	Torvpelletar och briketter	Peat pellets and briquettes	18,0	5,00	97,0	349,2	1746
Kierrätys-polttoaineet	Återvinningsbränslen	Recovered fuels	20,0	5,56	31,8	114,5	636

Tilastokeskuksen polttoaineluokituksessa ominaispäästökertoimet on esitetty polttoaineen alempaan lämpöarvoon suhteutettuna (g/MJ). Taulukossa esitetyt massa suhteutetut päästökertoimet on laskettu kertomalla päästökerroin polttoaineen lämpöarvolla. Suluissa esitetyt arvot eivät ole osa Tilastokeskuksen polttoaineluokitusta: ne on laskettu olettamalla polttoaineen tiheys. Moottoribensiinin tiheytenä on käytetty arvoa 740 kg/m³ (NESTE-BENSIINI 95, tyypillinen tiheys, 15 °C), dieselöljyn 840 kg/m³ (NESTE DIESEL -5/-15, tyypillinen tiheys, 15 °C), kevyen polttoöljyn 860 kg/m³ (NESTE-LÄMMITYSÖLJY -3, tyypillinen tiheys, 15 °C). Maakaasun ominaisuudet on esitetty Tilastokeskuksen polttoaineluokituksessa lämpötilassa 0 °C ja paineessa 101325 Pa (tiheys noin 0,72 kg/m³). Alaindeksi pa viitataan polttoaineen massa.

3.3 Tuotannon kerroin

Seuraavassa esitetyissä yhtälöissä alaindeksi h viittaa lämpöön (heat), e sähkөөn (electricity), c yhteistuotantoon (cogeneration) ja a yhteistuotannolle vaihtoehtoiseen lämmön tai sähkön tuotantotapaan (alternative). Niissä yhtälöissä, joissa alaindeksi voi olla joko h tai e (lämpö tai sähkö) on käytetty alaindeksiä x . Alaindeksit esiintyvät yhdistelminä siten, että esimerkiksi alaindeksi cx tarkoittaa yhteistuotantona tuotettua lämpöä tai sähköä, ch yhteistuotantona tuotettua lämpöä (cogenerated heat) ja ah yhteistuotannolle vaihtoehtoista lämmön erillistuotantoa (alternative heat).

Energian tuotannon kertoimella (k) tarkoitetaan suhdetta

$$k = \frac{F}{E}, \quad (32)$$

jossa E on energianlähteen määrän Q turvin tuotettu energiamäärä. Hyötysuhde (η) on energian tuotannon suhde tuotantoon käytettyjen energianlähteiden määrään

$$\eta = \frac{E}{Q}. \quad (33)$$

Hyötysuhteen käänteisluku on tuotannon kulutusuhde (ε)

$$\varepsilon = \frac{Q}{E}. \quad (34)$$

Yhdistämällä yhtälö (1) yhtälöihin (32)–(34) energian tuotannon kertoimelle saadaan yhtälö

$$k = \frac{F}{E} = \frac{fQ}{E} = \frac{f}{\eta} = f\varepsilon. \quad (35)$$

Edellä esitetyissä yhtälöissä energianlähteiden määrä Q tarkoittaa taserajan sisäpuolella tuotantoon E käytettyä energiaa Q_s ; tuotantoon välillisesti käytetty energia ja välillisesti aiheutuneet päästöt, kuten energianlähteiden jalostamiseen ja kuljettamiseen käytetty energia ja niistä aiheutuneet päästöt, sisältyvät energianlähteiden kertoimeen f .

Tuotanto hyötysuhde voivat kuvata bruttotuotantoa, nettotuotantoa tai kuluttajille toimitettua osuutta tuotannosta. Sähköntuotannossa bruttotuotanto on esimerkiksi laitoksen generaattoreiden tuottama energia ja nettotuotanto sähköverkkoon syötetty energia. Brutto- ja nettotuotannon erotus kuluu sähköä tuottavassa laitoksessa laitteisiin ja häviöihin (ns. omakäyttö). Hyötysuhteen ja polttoaineen ominaispäästökertoimen vaikutusta tuotannon päästökertoimeen on havainnollistettu kuvassa 8.

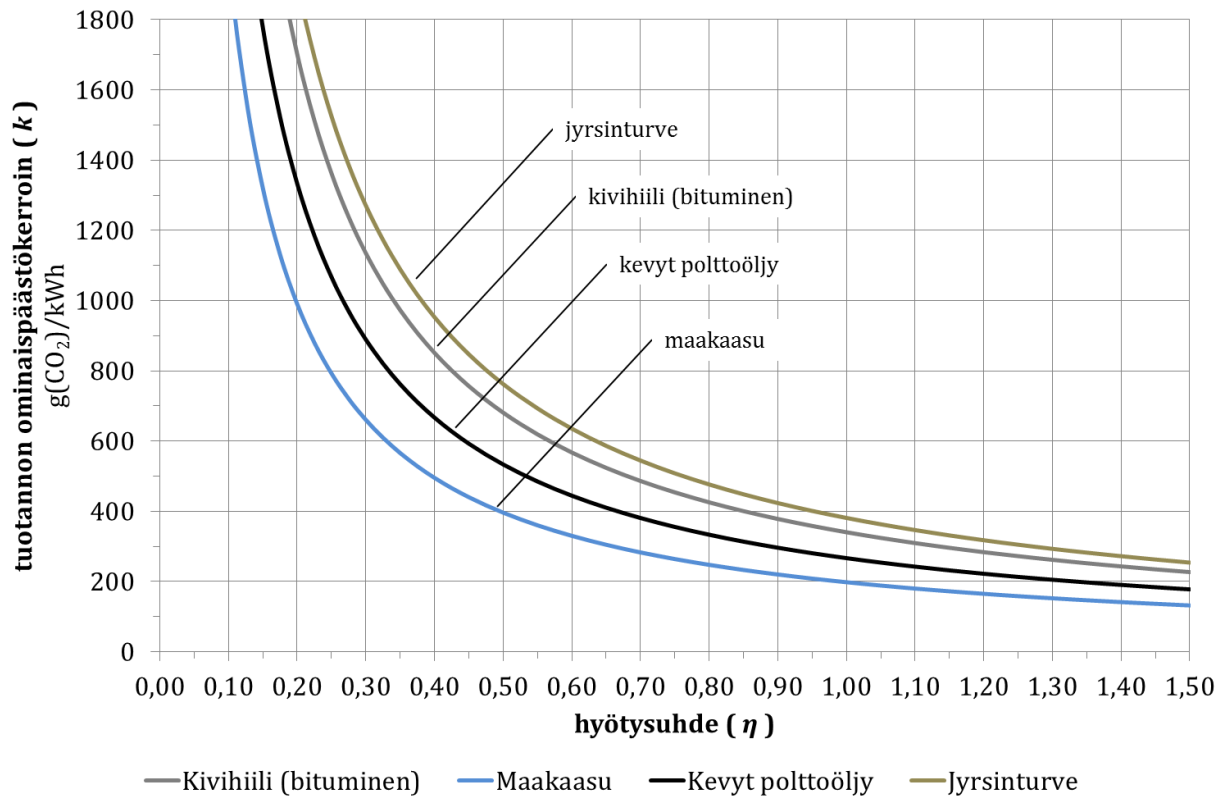
Esimerkki 14. Suomessa erillisen tavanomaisen lämpövoiman tuotantoon käytettyjen energianlähteiden keskimääräinen CO₂-ominaispäästökerroin oli vuonna 2007 noin 335 g(CO₂)/kWh (Taulukko 3), jossa jakajan energiasuure viittaa polttoaineen alemman lämpöarvon mukaiseen energiamäärään. Tuotannon nettohyötysuhde oli vuonna 2007 noin 37,7 % polttoaineen alempaan lämpöarvoon perustuen (Taulukko 13). Sähkön nettotuotannon CO₂-ominaispäästökerroin on yhtälöön (35) perustuen tässä esimerkkitapauksessa siten noin

$$k = \frac{f_{sq}}{\eta} = \frac{335}{0,377} = 889 \text{ g(CO}_2\text{)/kWh}$$

Tämä arvo löytyy myös liitteissä F.3 ja G.3 esitetyistä kuvista ja taulukoista. Jos tuotannon bruttohyötysuhteeksi arvioidaan 40,0 % ja hyötysuhteeksi polttoaineen alemmasta lämpöarvosta kuluttajalle toimitetuksi sähköksi 35,0 %, bruttotuotannon ja kuluttajille toimitetun sähkön CO₂-ominaispäästökertoimeksi saadaan

$$k = \frac{f_{sq}}{\eta} = \frac{335}{0,400} = 838 \text{ g(CO}_2\text{)/kWh} \quad k = \frac{f_{sq}}{\eta} = \frac{335}{0,350} = 957 \text{ g(CO}_2\text{)/kWh.}$$

Bruttotuotannon kertoimen jakajan energiasuure (kWh) viittaa kilowattituntiin sähkön bruttotuotantoa (generaattorilta mitattu energia), nettotuotannon kilowattituntiin nettotuotantoa (verkkoon syötetty energia) ja kuluttajalle toimitetun sähkön kilowattituntiin kuluttajalle toimitettua sähköä (energia josta kuluttaja maksaa).



Kuva 8. Jyrshinturvetta, kivihiiltä, kevyttä polttoöljyä tai maakaasua polttavan laitoksen CO₂-ominaispäästöt tuotannon hyötysuhteen funktiona. Polttoaineiden päästökertoimina Tilastokeskuksen polttoaineluokituksen päästökertoimet (hapettumiskerroin yksi).

Kaukolämmön erillistuotannon hyötysuhde on tyypillisesti likimain 0,90 ja sähkön erillistuotannon likimain 0,40 (Taulukko 13). Kuvassa hyötysuhteen asteikko ulottuu hyötysuhteeseen 1,5 (150 %) asti, sillä osa yhteistuotannon polttoaineiden jakotavoista antaa toiselle yhteistuotannon lopputuotteelle (lämmölle tai sähkölle) joissakin tapauksissa yli 100 % hyötysuhteen.

3.3.1.1 Kokonaistuotannon kerroin

Lämmön ja sähkön tuotanto (E_h ja E_e) voivat muodostua useammasta toisistaan eroteltavissa olevasta osasta

$$E_h = E_{h1} + E_{h2} + \dots + E_{hi} \quad (36) \quad E_e = E_{e1} + E_{e2} + \dots + E_{ei}, \quad (37)$$

jossa E_{hi} ja E_{ei} ovat tuotannon osan i lämmön ja sähkön tuotanto. Myös tuotannon seuraukset voidaan jakaa vastaavalla tavalla useampaan osaan

$$F_h = F_{h1} + F_{h2} + \dots + F_{hi} \quad (38) \quad F_e = F_{e1} + F_{e2} + \dots + F_{ei}, \quad (39)$$

joissa F_{hi} ja F_{ei} ovat tuotannoista E_{hi} ja E_{ei} aiheutuneet seuraukset.

Käyttämällä tuotantomuotojen osuuksille merkintöjä

$$z_{hi} = \frac{E_{hi}}{E_h} \quad (40) \quad z_{ei} = \frac{E_{ei}}{E_e}, \quad (41)$$

lämmön ja sähkön kokonaistuotannon kertoimille saadaan yhtälöt

$$k_h = \frac{F_h}{E_h} = \sum k_{hi} z_{hi} \quad (42) \quad k_e = \frac{F_e}{E_e} = \sum k_{ei} z_{ei}, \quad (43)$$

joissa z_{hi} ja z_{ei} ovat tuotannon osan i osuudet lämmön ja sähkön kokonaistuotannosta ja k_{hi} ja k_{ei} näiden tuotantomuotojen tuotannon kertoimet. Kokonaiskerroin on siis tuotantomuotojen osuuksilla painotettujen tuotantomuotojen kertoimien summa.

Kaukolämmön kokonaistuotanto muodostuu kaukolämmön yhteis- ja erillistuotannosta. Kaukolämmön kokonaistuotannon kertoimelle saadaan näin yhtälö

$$k_h = \frac{F_h}{E_h} = k_{yht}z_{yht} + k_{eril}z_{eril}, \quad (44)$$

jossa alaindeksi *yht* tarkoittaa kaukolämmön yhteistuotantoa ja *eril* erillistuotantoa.

Esimerkki 15. Kaukolämmön yhteistuotannon osuus kaukolämmön tuotannosta oli Suomessa vuonna 2007 noin 76,4 % (Taulukko 2). Kaukolämmön yhteistuotannon päästökerroin oli vuonna 2007 noin 221 g(CO₂)/kWh hyödynjakomenetelmällä määritettynä ja kaukolämmön erillistuotannon noin 211 g(CO₂)/kWh (ks. esim. Kuva F-11 tai Taulukko G-11). Kaukolämmön kokonaistuotannon päästökertoimeksi saadaan siten

$$k_h = 221 \cdot 0,746 + 211 \cdot (1 - 0,746) = 218,5 \text{ g(CO}_2\text{)/kWh}$$

Tämä arvo löytyy myös luvun 4.2 aikasarjakuvausta ja liitteen G.3 aikasarjataulukosta vuoden 2007 kohdalta (hyödynjakomenetelmä). Pyörityseroista johtuen lukuarvo on kuvissa ja taulukoissa 219 g/kWh.

Sähkön kokonaistuotanto voidaan jakaa esimerkiksi seuraaviin kuuteen osaan: kaukolämpövoima, teollisuusvoima, erillinen tavanomainen lämpövoima, ydinvoima, vesivoima ja tuulivoima. Edellä esitettyä luokittelua noudattaen sähköntuotannon kokonaistuotannon kertoimelle saadaan yhtälö

$$k_e = \frac{F_e}{E_e} = k_{klvo}z_{klvo} + k_{tevo}z_{tevo} + k_{lauhde}z_{lauhde} + k_{ydin}z_{ydin} + k_{vesi}z_{vesi} + k_{tuuli}z_{tuuli}, \quad (45)$$

jossa alaindeksi *klvo* viittaa kaukolämpövoimaan, *tevo* teollisuusvoimaan, *lauhde* erilliseen tavanomaiseen lämpövoimaan, *ydin* ydinvoimaan, *vesi* vesivoimaan ja *tuuli* tuulivoimaan.

3.3.1.2 Tuotannon muutoksen kerroin

Tuotannon kerroin voidaan ajatella myös tuotannon (tai kulutuksen) muutoksen ΔE suhteena tuotannon (tai kulutuksen) seurausten, kuten hiilidioksidipäästöjen, muutokseen ΔF

$$k = \frac{F_2 - F_1}{E_2 - E_1} = \frac{\Delta F}{\Delta E}, \quad (46)$$

jossa E_1 ja F_1 ovat tuotanto ja tuotannon seuraukset alussa (ennen kulutuksen muutosta) ja E_2 ja F_2 tuotanto ja tuotannon seuraukset lopussa (kulutuksen muutoksen jälkeen).

Tuotannon (tai kulutuksen) muutoksen kerroin eri välttämättä ole yhtä suuri kuin luvussa 4 ja liitteessä G esitetyt keskimääräiset (koko tuotantoa kuvaavat) primäärienergia ja ominaispäästökertoimet, sillä kysynnän muutokset (nousu tai lasku) eivät välttämättä kohdistu tasaisesti koko tuotantoon: Jos rakennusten aiheuttama sähkön kulutus laskee Pohjoismaissa esimerkiksi 5 TWh, se ei välttämättä vähennä vesi-, tuuli- tai ydinvoiman tuotantoa Suomessa tai muissa Pohjoismaissa, vaan esimerkiksi lauhdutusvoiman tuotantoa Suomessa. Vastaavasti, jos sähkön kysyntä kasvaa 5 TWh, muutos ei välttämättä lisää kauko-, teollisuus- tai vesivoiman tuotantoa Suomessa, sillä kaukolämpövoiman tuotanto riippuu pääosin kaukolämmön kysynnästä, teollisuusvoiman tuotanto teollisuuslämmön tarpeesta ja mahdollisuudet vesivoiman tuotannon lisäämiseen ovat rajalliset. Kysynnän kasvu voi sen sijaan lisätä esimerkiksi lauhdutusvoiman tuotantoa Suomessa sekä ydinvoiman lisärakentamista. Jos sähkön kysynnän muutoksen ajatellaan kohdistuvan kokonaan lauhdutusvoimaan, sähkön kertoimeksi voidaan asettaa esimerkiksi lauhdutusvoiman²⁵ kokonaisprimäärienergiakerroin, joka on Suomessa noin 2,7 (liite F.1), lauhdutusvoiman uusiutumattoman energian primäärienergiakerroin, joka on Suomessa noin 2,5 (liite F.2) tai lauhdutusvoiman CO₂-ominaispäästökerroin, jonka suuruusluokka on Suomessa noin 900 g(CO₂)/kWh (liite F.3).

²⁵ Suomessa erillinen tavanomainen lämpövoima on lähes yksinomaan lauhdutusvoimaa.

3.3.1.3 Sähkön hankinnan huomioiminen

Sähkön hankinta muodostuu kotimaisesta sähkön tuotannosta ja sähkön tuonnista. Sähkön nettohankinta muodostuu vastaavasti sähkön tuotannosta ja sähkön nettotuonnista (nettotuonti on sähkön tuonnin ja viennin erotus). Sähkön kulutus on yhtä suuri kuin sähkön nettohankinta. Suomessa kotimaisen sähkön tuotannon osuus sähkön nettohankinnasta on ollut vuosina 2000–2008 keskimäärin noin 87 % ja osuuden vaihteluväli noin 80–94 % (Liite B). Tässä työssä esitetyissä kertoimissa ei ole huomioitu sähkön tuontia ja vientiä, sillä kotimaisen tuotannon kertoimien on katsottu kuvaavan riittävän hyvin Suomessa kulutetun sähkön primäärienergia- ja päästökertoimia (kotimainen tuotanto kattaa valtaosan sähkön hankinnasta). Jos sähkön tuonti ja vienti kuitenkin halutaan huomioida, se voidaan usealla eri tavalla. Sähkön hankinnalle voidaan esimerkiksi muodostaa primäärienergia- ja päästötase käyttämällä tuonnille sähkön alkuperämaan tuotannon kertoimia ja sähkön viennille esimerkiksi Suomen keskimääräistä sähköntuotannon kerrointa. Toinen vaihtoehto on laajentaa tarkasteltavaa aluetta siten, että se sisältää esimerkiksi Pohjoismaat ja Viron sekä sen osan Venäjää, josta sähköä katsotaan Venäjältä Suomeen tuotavan (ja jättää tämän laajennetun alueen vienti ja tuonti tarkastelun ulkopuolelle). Kolmantena vaihtoehtona on käsitellä yhtenä kokonaisuutena esimerkiksi yhtenäiseen markkina- tai taajuusalueeseen kuuluvia maita (kuten Suomea, Ruotsia ja Norjaa) ja huomioida tarvittaessa vienti ja tuonti edellä mainitulla tavalla kertomia käyttäen. Ruotsin ja Norjan sähköntuotannon kertoimet sekä Suomen, Ruotsin ja Norjan tuotannon kertoimet yhtenä kokonaisuutena tarkasteltuna on esitetty luvussa 4.4 Eurostatin tilastoihin perustuen. Ruotsin ja Norjan tuotannon kertoimet voidaan määrittää varsin yksityiskohtaisesti, yksiselitteisesti ja luotettavasti, sillä maiden tuotannosta saatavilla oleva aineisto on varsin kattava. Venäjän tuonnin kertoimien yksikäsitteinen määrittäminen on sen sijaan hankalampaa luotettavan tilastoidun aineiston rajatusta saatavuudesta sekä maan laajuudesta johtuen²⁶.

²⁶ Venäjän tuonti voidaan jakaa pääpiirteissään kolmeen osaan: vesivoiman suoraan tuontiin Vuokselta ja Paatsjoelta, lämpövoiman suoraan tuontiin Luotelaitokselta sekä tuontiin Venäjän sähköverkosta. Ongelmalliseksi tuonnin kertoimien määrittämisen tekee tuonti Venäjän sähköverkosta. Muilta osin Venäjän tuonnin kertoimet voidaan määrittää melko yksikäsitteisesti. Venäjällä sijaitsevilta vesivoimalaitoksilta on esimerkiksi kaksi suoraa yhteyttä Suomen sähköverkkoon. Voimalat sijaitsevat Vuoksella ja Paatsjoella. Vuoksi laskee Saimaalta Laatokkaan ja Paatsjoki Inarinjärvestä Pohjoiseen jäämereen. Suomen puolella Vuoksessa tuotetaan vesivoimaa Tainionkosken ja Imatran vesivoimalaitoksilla. Vuoksen siirtoyhteyden nimellinen tehoraja on noin 100 MW ja Paatsjoen noin 60 MW. Vuoksen ja Paatsjoen yhteyksien kautta on tuotu sähköä Suomeen vuosina 2005–2009 noin 0,8–1,0 TWh vuodessa. Venäjältä tuodun vesivoiman määrä on siis ollut moninkertainen Suomessa vastaavana ajanjaksona tuotettuun tuulivoimaan nähden. Vuoksen ja Paatsjoen yhteyksien osuus Venäjältä Suomeen tuodusta sähköenergiasta on ollut vuosina 2005–2009 noin 7–9 % vuodessa.

3.3.2 Yhteistuotannon polttoaineiden ja päästöjen jakaminen

3.3.2.1 Yhteistuotannon kokonaistuotanto

Yhteistuotannon kokonaistuotanto (E_c) muodostuu yhteistuotantona tuotetusta lämmöstä ja sähköstä

$$E_c = E_{ch} + E_{ce}, \quad (47)$$

jossa E_{ch} ja E_{ce} ovat yhteistuotantona tuotetut lämpö- ja sähkömäärät. Yhteistuotannon rakennusasteella (r_c) tarkoitetaan suhdetta

$$r_c = \frac{E_{ce}}{E_{ch}}. \quad (48)$$

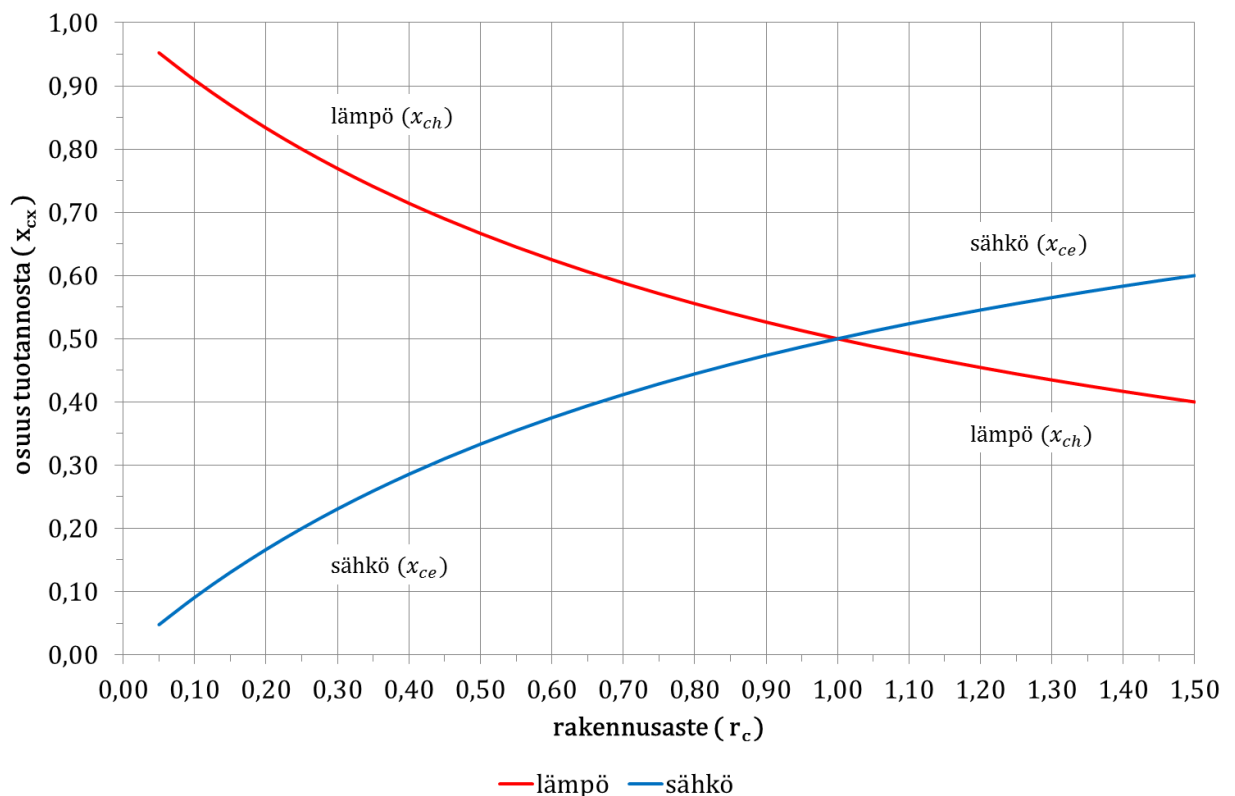
Lämmön ja sähkön osuudet (x_{ch} ja x_{ce}) yhteistuotannon kokonaistuotannosta ovat

$$x_{ch} = \frac{E_{ch}}{E_c} = \frac{1}{1 + r_c} \quad (49) \quad x_{ce} = \frac{E_{ce}}{E_c} = \frac{r_c}{1 + r_c}. \quad (50)$$

Osuudet on esitetty rakennusasteen (r_c) funktiona kuvassa 9. Yhteistuotannon kokonaishyötysuhde (η_c), kokonaiskulutussuhde (ε_c) ja tuotannon kerroin (k_c) ovat

$$\eta_c = \frac{1}{\varepsilon_c} = \frac{E_c}{Q_c} \quad (51) \quad k_c = \frac{F_c}{E_c} = \frac{f_c Q_c}{E_c} = \frac{f_c}{\eta_c} = f_c \varepsilon_c, \quad (52)$$

joissa Q_c on yhteistuotantoon käytettyjen energianlähteiden kokonaismäärä (kokonaispolttoaine-energia), F_c yhteistuotannon kokonaisuuraukset (esim. kokonaispäästöt) ja f_c tuotantoon käytettyjen energianlähteiden kerroin (esim. polttoaineen päästökerroin).



Kuva 9. Yhteistuotantona tuotetun lämmön ja sähkön osuus yhteistuotannon kokonaistuotannosta (lämpö + sähkö) yhteistuotannon rakennusasteen (sähkö/lämpö) funktiona.

3.3.2.2 Erillistuotanto yhteistuotannon vaihtoehtona

Yhteistuotanto on energiataloudellisesti erillistuotantoa parempi vaihtoehto, jos yhteistuotantoon on käytetty vähemmän energiaa kuin saman lämpö- ja sähkömäärän tuottamiseen erillistuotantona, eli kun

$$Q_c < Q_{ah} + Q_{ae}, \quad (53)$$

jossa Q_{ah} on yhteistuotantona tuotetun lämpömäärään E_{ch} erillistuotantoon käytetty polttoaine-energia ja Q_{ae} yhteistuotantoon tuotetun sähkömäärään E_{ce} erillistuotantoon käytetty polttoaine-energia. Yhteistuotannon seuraukset, kuten hiilidioksidipäästöt, ovat vastaavasti erillistuotantoa pienemmät, jos

$$F_c < F_{ah} + F_{ae}, \quad (54)$$

jossa F_c on yhteistuotannon seurausten kokonaismäärä ja F_{ah} ja F_{ae} yhteistuotantona tuotettujen lämpö- ja sähkömäärien tuottamisen seuraukset erillistuotannossa. Lämmön ja sähkön erillistuotannon polttoaine-energia (Q_{ax}) ja tuotannon seuraukset (F_{ax}) ovat erillistuotantona tuotettuina

$$Q_{ah} = \frac{E_{ch}}{\eta_{ah}} = \varepsilon_{ah} E_{ch} \quad (55) \quad Q_{ae} = \frac{E_{ce}}{\eta_{ae}} = \varepsilon_{ae} E_{ce} \quad (56)$$

$$F_{ah} = \frac{f_{ah} E_{ch}}{\eta_{ah}} = f_{ah} \varepsilon_{ah} E_{ch} \quad (57) \quad F_{ae} = \frac{f_{ae} E_{ce}}{\eta_{ae}} = f_{ae} \varepsilon_{ae} E_{ce}, \quad (58)$$

joissa η_{ah} , ε_{ah} ja f_{ah} ovat lämmön vaihtoehtoisen tuotantotavan hyöty- ja kulutussuhde sekä energianlähteen kerroin ja η_{ae} , ε_{ae} ja f_{ae} vastaavat sähkön vaihtoehtoisen tuotantotavan arvot. Sijoittamalla yhtälöt (51), (55) ja (56) yhtälöön (53) yhteistuotannon kokonaiskulutussuhteen (ε_c) energiataloudellisen kannattavuuden ylärajaksi saadaan suhteessa erillistuotantoon

$$\varepsilon_c < \varepsilon_{ah} x_{ch} + \varepsilon_{ae} x_{ce} \quad (59) \quad \varepsilon_c < \frac{\varepsilon_{ah}}{1 + r_c} + \frac{\varepsilon_{ae} r_c}{1 + r_c}. \quad (60)$$

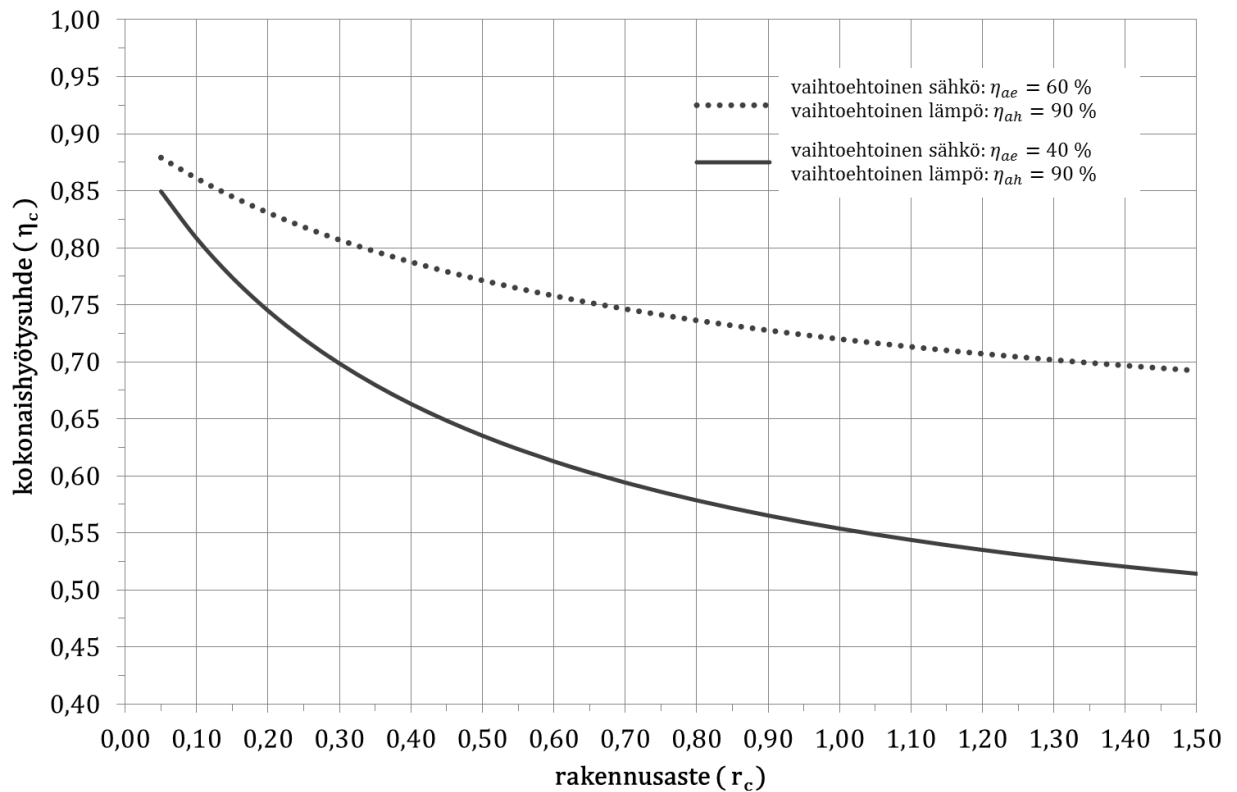
Yhtälössä (60) yhtälöön (59) on sijoitettu yhtälöt (49) ja (50). Yhtälöstä (54) yhteistuotannon kokonaiskulutussuhteen (ε_c) ylärajaksi saadaan vastaavasti suhteessa erillistuotannon seurauksiin

$$\varepsilon_c < \frac{f_{ah} \varepsilon_{ah} x_{ch}}{f_c} + \frac{f_{ae} \varepsilon_{ae} x_{ce}}{f_c} \quad (61) \quad \varepsilon_c < \frac{f_{ah} \varepsilon_{ah}}{f_c (1 + r_c)} + \frac{f_{ae} \varepsilon_{ae} r_c}{f_c (1 + r_c)}. \quad (62)$$

Yhteistuotannon kokonaishyötysuhteen (kokonaiskulutussuhteen käänteisluku) energiataloudellinen raja on esitetty rakennusasteen funktiona kuvassa 10. Kuvassa yhteistuotannolle vaihtoehtoisen lämmön erillistuotannon hyötysuhde on 90 %. Yhteistuotannolle vaihtoehtoisen sähkön erillistuotannon hyötysuhteena on kuvassa käytetty arvoa 40 % (yhtenäinen viiva) ja arvoa 60 % (katkoviiva). Jos yhteistuotannon kokonaishyötysuhde on kuvaajalta luettua arvoa suurempi, yhteistuotanto vaatii vähemmän polttoaine-energiaa kuin saman lämpö- ja sähkömäärän tuottaminen erillistuotantona kuvassa merkityin erillistuotannon hyötysuhtein.

Suomessa kaukolämmön yhteistuotannon keskimääräinen rakennusaste on noin 0,6 (Taulukko 14) ja kokonaishyötysuhde noin 85 % (Taulukko 13). Erillistuotantona tuotetun kaukolämmön hyötysuhde on vastaavasti noin 89 % ja erillistuotantona tuotetun tavanomaisen lämpövoiman noin 37 % (Taulukko 13). Kuvasta nähdään, että kaukolämmön yhteistuotanto on energiataloudellisesti kannattavaa, vaikka sähkön erillistuotannon hyötysuhde olisi huomattavasti nykyistä korkeampi, sillä esimerkiksi rakennusasteella 0,6 ja sähkön erillistuotannon hyötysuhteella 60 % kokonaishyötysuhteen kannattavuuden raja on noin 76 %²⁷.

²⁷ Tuotannon seurausten, kuten hiilidioksidipäästöjen, suhteen erillistuotanto voi kuitenkin jossain tapauksissa olla yhteistuotantoa parempi vaihtoehto, jos esimerkiksi yhteistuotantoon käytetyn polttoaineen päästökerroin on huomattavasti erillistuotantoon käytettyjen polttoaineiden kerrointa korkeampi (ks. esimerkki 18).



Kuva 10. Yhteistuotannon kokonaishyötysuhteen energiataloudellisen kannattavuuden raja suhteessa erillistuotantoon. Jos yhteistuotannon kokonaishyötysuhde on kuvaajalta luettua arvoa suurempi, yhteistuotanto vaatii vähemmän polttoaine-energiaa kuin saman lämpö- ja sähkömäärän tuottaminen erillistuotantona kuvaan merkityin erillistuotannon hyötysuhtein.

Esimerkki 16. Jos lämmön erillistuotannon hyötysuhde on 90 % (kulutussuhde 1,11) ja sähkön erillistuotannon 50 % (kulutussuhde 2,0), rakennusasteella 0,60 yhteistuotannon kokonaiskulutussuhteen tulee olla

$$\varepsilon_c < \frac{1,11}{1 + 0,60} + \frac{2,0 \cdot 0,60}{1 + 0,60} = 1,44.$$

Yhteistuotannon kokonaiskulutussuhde saa siis olla korkeintaan 1,44, jotta yhteistuotannon polttoaine-energian tarve olisi erillistuotantoa pienempi. Kokonaishyötysuhteen pitää olla siten vähintään 69 % (=1/1,44).

Esimerkki 17. Jos maakaasusta rakennusasteella 1,00 tuotetun yhteistuotannon vaihtoehtona on lämmön erillistuotanto raskaasta polttoöljystä hyötysuhteella 90 % ja sähkön erillistuotanto kivihielestä hyötysuhteella 50 %, yhteistuotannon kokonaiskulutussuhteen pitää olla suhteessa erillistuotannon hiilidioksidipäästöihin

$$\varepsilon_c < \frac{283,7 \cdot 1,11}{198,1 \cdot (1 + 1,00)} + \frac{340,6 \cdot 2,0 \cdot 1,00}{198,1 \cdot (1 + 1,00)} = 2,51,$$

jossa päästökertoimet on otettu taulukosta 23. Yhteistuotannon kokonaiskulutussuhde saa siis olla korkeintaan 2,51, jotta yhteistuotannon hiilidioksidipäästöt olisivat erillistuotantoa pienemmät. Kokonaishyötysuhteen pitää siten olla vähintään 40 % (=1/2,51).

Esimerkki 18. Jos kivihielestä rakennusasteella 0,60 tuotetun yhteistuotannon vaihtoehtona on lämmön erillistuotanto raskaasta polttoöljystä hyötysuhteella 90 % ja sähkön erillistuotanto maakaasusta hyötysuhteella 50 %, yhteistuotannon kokonaiskulutussuhteen pitää olla suhteessa erillistuotannon hiilidioksidipäästöihin

$$\varepsilon_c < \frac{283,7 \cdot 1,11}{340,6 \cdot (1 + 0,60)} + \frac{198,1 \cdot 2,0 \cdot 0,60}{340,6 \cdot (1 + 0,60)} = 1,01$$

jossa päästökertoimet on otettu taulukosta 23. Yhteistuotannon kokonaiskulutussuhde saa siis olla korkeintaan 1,01, jotta yhteistuotannon hiilidioksidipäästöt olisivat erillistuotantoa pienemmät. Kokonaishyötysuhteen pitää siten olla vähintään 99 % (=1/1,01). Näin korkea kokonaishyötysuhde ei ole mahdollista saavuttaa. Tässä esimerkkitapauksessa lämmön ja sähkön erillistuotanto olisi siis hiilidioksidipäästöjen suhteen yhteistuotantoa parempi vaihtoehto.

3.3.2.3 Yhteistuotannon polttoaineiden ja päästöjen jakotapoja

Yhteistuotannon polttoaineet, päästöt ja kustannukset voidaan jakaa usealla eri tavalla yhteistuotantona tuotetun lämmön ja sähkön kesken. Näitä jakotapoja (menetelmiä) on esitelty pääpiirteissään muun muassa lähteissä [9] ja [26]. Tässä luvussa käsitellään yksityiskohtaisesti muutamaa keskeistä jakotapaa. Yhteenvedo kaikille jakotavoille pätevistä yhtälöistä on esitetty taulukossa 24 ja yhtälöiden suureiden selite taulukossa 25. Yhtälöissä esiintyviä suureita on lisäksi havainnollistettu kuvassa 11.

Tilastokeskuksen tilastoissa yhteistuotannon polttoaineiden ja päästöjen jakotavoista käyttöön ovat vakiintuneet energiamenetelmä ja hyödynjakomenetelmä. Energiamenetelmässä lämmön ja sähkön osuus yhteistuotannon polttoaineista ja seurauksista, kuten esimerkiksi päästöistä ja tuotantokustannuksista, on suoraan niiden osuus yhteistuotannon kokonaistuotannosta. Energiamenetelmä perustuu sille oletukselle (tai siitä seuraa), että lopputuotteiden (lämmön ja sähkön) tuotannon hyötysuhde yhteistuotannossa on yhtä suuri kuin yhteistuotannon kokonaishyötysuhde²⁸. Hyödynjakomenetelmässä lämmölle ja sähkölle kuvitellaan vaihtoehtoinen erillistuotantoon perustuva tuotantotapa. Menetelmässä lopputuotteen (lämmön tai sähkön) osuus yhteistuotannon polttoaineista (tai esim. päästöistä) on ko. lopputuotteen erillistuotannon polttoaine-energian (tai esim. päästöjen) osuus molempien lopputuotteiden erillistuotannon yhteensä vaatimista polttoaineista (tai esim. aiheuttamista päästöistä).

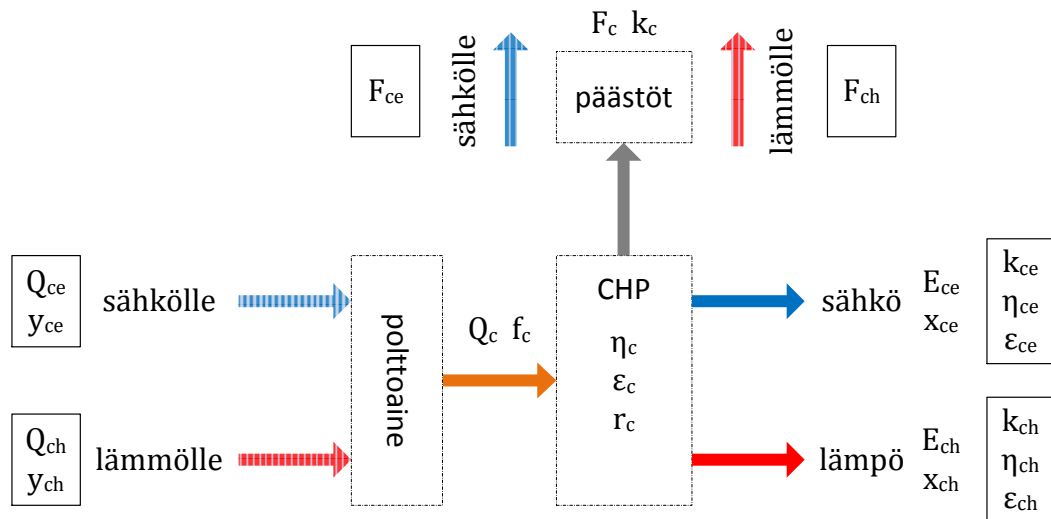
Hyödynjakomenetelmässä molemmille lopputuotteille kuvitellaan vaihtoehtoinen tuotantotapa. Sähkön vaihtoehtoisen tuotantotavan menetelmässä sen sijaan vain sähköntuotannolle kuvitellaan vaihtoehtoinen tuotantotapa ja loppuosa yhteistuotannon polttoaineista (tai esim. päästöistä tai tuotantokustannuksista) kohdistetaan lämmölle. Tätä menetelmää sovelletaan muun muassa kaukolämmön primäärienergiakertoimen laskemista ohjeistavassa standardissa EN 15316-4-5:2007. Toinen vaihtoehto on kuvitella lämmölle vaihtoehtoinen tuotantotapa ja kohdistaa loppuosa polttoaineista ja tuotannon seurauksista sähkölle. Tätä lämmön vaihtoehtoisen tuotantotavan menetelmää sovelletaan Suomessa muun muassa yhteistuotantoon käytettyjen lämmityspolttoaineiden verotuksessa²⁹.

Taulukko 24. Yhteistuotantoa koskevien yhtälöiden yhteenvedo.

Suure	Lämpö	Sähkö
Osuus tuotannosta	$x_{ch} = \frac{E_{ch}}{E_c} = \frac{1}{1+r_c}$ (63)	$x_{ce} = \frac{E_{ce}}{E_c} = \frac{r_c}{1+r_c}$ (64)
Osuus polttoaineista (ja tuotannon seurauksista)	$y_{ch} = \frac{Q_{ch}}{Q_c}$ (65)	$y_{ce} = \frac{Q_{ce}}{Q_c}$ (66)
Hyötysuhde	$\eta_{ch} = \frac{E_{ch}}{Q_{ch}} = \frac{x_{ch}\eta_c}{y_{ch}} = x_{ch} \left(\frac{1}{\eta_c} - \frac{x_{ce}}{\eta_{ce}} \right)^{-1}$ (67)	$\eta_{ce} = \frac{E_{ce}}{Q_{ce}} = \frac{x_{ce}\eta_c}{y_{ce}} = x_{ce} \left(\frac{1}{\eta_c} - \frac{x_{ch}}{\eta_{ch}} \right)^{-1}$ (68)
Kulutussuhde	$\varepsilon_{ch} = \frac{Q_c}{E_{ch}} = \frac{y_{ch}\varepsilon_c}{x_{ch}} = \frac{\varepsilon_c - \varepsilon_{ce}x_{ce}}{x_{ch}}$ (69)	$\varepsilon_{ce} = \frac{Q_c}{E_{ce}} = \frac{y_{ce}\varepsilon_c}{x_{ce}} = \frac{\varepsilon_c - \varepsilon_{ch}x_{ch}}{x_{ce}}$ (70)
Tuotannon kerroin	$k_{ch} = \frac{F_{ch}}{E_{ch}} = \frac{f_c}{\eta_{ch}} = f_c\varepsilon_{ch}$ (71)	$k_{ce} = \frac{F_{ce}}{E_{ce}} = \frac{f_c}{\eta_{ce}} = f_c\varepsilon_{ce}$ (72)
Vaihtoehtoisen tuotannon polttoaine-energia	$Q_{ah} = \frac{E_{ch}}{\eta_{ah}} = \varepsilon_{ah}E_{ch}$ (73)	$Q_{ae} = \frac{E_{ce}}{\eta_{ae}} = \varepsilon_{ae}E_{ce}$ (74)
Vaihtoehtoisen tuotannon seuraukset	$F_{ah} = \frac{f_{ah}E_{ch}}{\eta_{ah}} = f_{ah}\varepsilon_{ah}E_{ch}$ (75)	$F_{ae} = \frac{f_{ae}E_{ce}}{\eta_{ae}} = f_{ae}\varepsilon_{ae}E_{ce}$ (76)

²⁸ ks. taulukon 24 yhtälöt (67) ja (68), joissa energiamenetelmässä $x = y$

²⁹ Laissa sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta (30.12.1996/1260) lämmön yhteistuotannon kulutus-suhteeksi on asetettu tasan 0,9 (= ε_{ch}), joka vastaa hyötysuhdetta 1,11 (= $\eta_{ch} = 1/\varepsilon_{ch}$). Lämmön vaihtoehtoisen tuotantotavan menetelmässä kulutus- ja hyötysuhteen arvot ovat yleensä päinvastaiset: lämpöä kuvitellaan tuotetuksi erillistuotantona (eli siten myös yhteistuotantona) likimain hyötysuhteella 0,90 (eli 90 %), joka vastaa kulutussuhdetta 1,11 (=1/0,90).



Kuva 11. Yhteistuotanto kaaviokuvana. Yhteistuotannon polttoaineiden jakotavasta riippuvat suuret on ympyröity yhtenäisellä viivalla.

Taulukko 25. Suuret taulukon 24 yhtälöissä ja kuvassa 11.

Lämmön ja sähkön yhteistuotanto	
Suure	Selite
E_c	yhteistuotannon kokonaistuotanto (lämpö + sähkö)
E_{ch}	yhteistuotantona tuotettu lämpö
E_{ce}	yhteistuotantona tuotettu sähkö
Q_c	yhteistuotantoon käytetty polttoaine-energia yhteensä
Q_{ch}	lämmölle kohdistettu polttoaine-energia
Q_{ce}	sähkölle kohdistettu polttoaine-energia
F_c	yhteistuotannon seuraukset yhteensä
F_{ch}	lämmölle kohdistetut seuraukset
F_{ce}	sähkölle kohdistetut seuraukset
r_c	yhteistuotannon rakennusaste
η_c	yhteistuotannon kokonaishyötysuhde
ε_c	yhteistuotannon kokonaiskulutussuhde
f_c	yhteistuotantoon käytetyn energianlähteen kerroin (esim. primäärienergia- tai päästökerroin)

Yhteistuotannolle vaihtoehtoinen lämmön ja sähkön erillistuotanto	
Suure	Selite
Q_{ah}	lämmöntuotannon polttoaine-energia
Q_{ae}	sähköntuotannon polttoaine-energia
F_{ah}	lämmöntuotannon seuraukset
F_{ae}	sähköntuotannon seuraukset
η_{ah}	lämmöntuotannon hyötysuhde
η_{ae}	sähköntuotannon hyötysuhde
ε_{ah}	lämmöntuotannon kulutussuhde
ε_{ae}	sähköntuotannon kulutussuhde
f_{ah}	lämmöntuotannon energianlähteen kerroin (esim. primäärienergia- tai päästökerroin)
f_{ae}	sähköntuotannon energianlähteen kerroin (esim. primäärienergia- tai päästökerroin)

Taulukon yhtälöissä 24 ainut tuntematon suure on lopputuotteen osuus (y) yhteistuotannon polttoaineista (tai esim. päästöistä). Osuuden laskentayhtälöt on esitetty taulukoissa 26 ja 27. Taulukon 26 yhtälöissä polttoaineet (tai esim. päästöt) jaetaan lämmön ja sähkön vaihtoehtoisten tuotantotapojen hyötysuhteiden perusteella. Taulukon 27 yhtälöissä tuotannon seuraukset, kuten hiilidioksidipäästöt, jaetaan vastaavasti vaihtoehtoisten tuotantotapojen seurausten perusteella. Lämmön vaihtoehtoiselle tuotannolle käytetään tyypillisesti noin 90 % hyötysuhdetta ($= \eta_{ah}$) ja sähkön erillistuotannolle noin 40 % hyötysuhdetta ($= \eta_{ae}$). Lämmön hyötysuhde vastaa kulutussuhdetta 1,11 ($= \varepsilon_{ah}$) ja sähkön kulutussuhdetta 2,50 ($= \varepsilon_{ae}$). Vaihtoehtoisten tuotantotapojen energianlähteiden kertoimina (f_{ah} ja f_{ae}) voidaan käyttää esimerkiksi ko. tuotantotapojen energianlähteiden primäärienergia- tai päästökertoimia tai polttoaineiden hintaa³⁰.

Esimerkki 19. Yhteistuotantolaitoksen kokonaishyötysuhde on 80 % (kulutussuhde 1,25), rakennusaste 0,6 ja polttoaineena on kivihiili (CO₂-päästökerroin 340,6 g/kWh) Laitosta verrataan sähkön ja lämmön erillistuotantoon. Sähkön erillistuotannon hyötysuhde on 60 % (kulutussuhde 1,67) ja polttoaineena on maakaasu (CO₂-päästökerroin 198,1, g/kWh). Lämmön erillistuotannon hyötysuhde on 90 % (kulutussuhde 1,11) ja polttoaineena on raskas polttoöljy (CO₂-päästökerroin 283,7 g/kWh).

Lämmön ja sähkön osuudet yhteistuotannosta tuotannosta ovat

$$x_{ch} = \frac{1}{1+r_c} = \frac{1}{1+0,6} = 0,625 \qquad x_{ce} = \frac{r_c}{1+r_c} = \frac{0,6}{1+0,6} = 0,375.$$

Osuudet ovat samalla lopputuotteiden osuudet yhteistuotannon polttoaineista ja päästöistä, jos polttoaineet jaetaan energiamenetelmällä. Yhteistuotantona tuotetun lämmön osuudet yhteistuotannon polttoaineista ovat hyödynjakomenetelmällä määritettyinä

$$y_{ch} = \frac{1}{1 + \frac{\varepsilon_{ae} r_c}{\varepsilon_{ah}}} = \frac{1}{1 + \frac{1,67 \cdot 0,6}{1,11}} = 0,53 \qquad y_{ch} = \frac{1}{1 + \frac{f_{ae} \varepsilon_{ae} r_c}{f_{ah} \varepsilon_{ah}}} = \frac{1}{1 + \frac{198,1 \cdot 1,67 \cdot 0,6}{283,7 \cdot 1,11}} = 0,61$$

joissa vasen on osuus laskettu vaihtoehtoisten tuotantotapojen hyötysuhteiden perusteella (Taulukko 26) ja oikea seurausten perusteella (Taulukko 27). Polttoaineiden päästökertoimet on otettu taulukosta 23. Sähkön vaihtoehtoisen tuotantotavan menetelmällä määritettyinä vastaavat osuudet ovat

$$y_{ch} = 1 - \frac{\varepsilon_{ae} x_{ce}}{\varepsilon_c} = 1 - \frac{1,67 \cdot 0,375}{1,25} = 0,50 \qquad y_{ch} = 1 - \frac{f_{ae} \varepsilon_{ae} x_{ce}}{f_c \varepsilon_c} = 1 - \frac{198,1 \cdot 1,67 \cdot 0,375}{340,6 \cdot 1,25} = 0,71$$

Lämmön osuus yhteistuotannon polttoaineista (y_{ch}) on esitetty rakennusasteen funktiona kuvissa 12 ja 13. Kuvien 12 ja 13 osuutta vastaava kulutussuhde on esitetty kuvissa 14 ja 15 ja kulutussuhdetta vastaava hyötysuhde kuvissa 16 ja 17. Kuvissa jako on tehty vaihtoehtoisten tuotantotapojen hyötysuhteita käyttäen (Taulukko 26). Kaikissa kuvissa lämmön vaihtoehtoisen tuotantotavan hyötysuhteena on käytetty arvoa 90 %. Kuvissa 12, 14, 16 sähkön vaihtoehtoisen tuotantotavan hyötysuhteena on käytetty arvoa 40 % ja kuvissa 13, 15, 17 arvoa 60 %³¹. Kaikissa kuvissa yhteistuotannon kokonaishyötysuhteeksi on asetettu 85 %. Kokonaishyötysuhde vaikuttaa vain sähkön ja lämmön vaihtoehtoisten tuotantotapojen menetelmiin. Kuvissa energiamenetelmään ja lämmön vaihtoehtoisen tuotantotavan menetelmään perustuvat suureet eivät muutu, sillä ne eivät riipu sähkön vaihtoehtoisen tuotantotavan hyötysuhteesta. Energiamenetelmään perustuva osuus voidaan lukea myös suoraan kuvasta 9, sillä energiamenetelmässä osuus polttoaineista on suoraan osuus tuotannosta.

Tilastokeskuksen tilastoissa yhteistuotannon polttoaineet ja päästöt on jaettu vaihtoehtoisten tuotantotapojen hyötysuhteiden perusteella energia- ja hyödynjakomenetelmiä käyttäen (taulukon 26 yhtälöt). Tilastokeskuksen tilastoissa yhtälöitä on sovellettu laitoskohtaisesti (ks. luku 3.3.2.5). Tässä työssä esitetyt kertoimet perustuvat lukua 4.3 lukuun ottamatta Tilastokeskuksen jakamiin polttoaineisiin ja päästöihin.

³⁰ yhteistuotannon energianlähteen kertoimena f_c käytetään silloin samaa suuretta kuvaavaa kerrointa

³¹ Samaan osuuteen päädytään myös, jos esimerkiksi sähkön vaihtoehtoisten tuotantotavan hyötysuhteeksi valitaan 40 % ja vaihtoehtoisten tuotantotavan energianlähteen kertoimeksi 1,5, jolloin tulo $f_{ae} \varepsilon_{ae}$ on 60 % ($0,4 \cdot 1,5$). Sähkön vaihtoehtoisten tuotantotavan menetelmässä osuuden määräytymisessä olennainen suure on siis esimerkiksi tulo $f_{ae} \varepsilon_{ae}$ tai, vielä yleispätevämmän, suhde $f_{ae} \varepsilon_{ae} / f_c \varepsilon_c$. Hyödynjakomenetelmässä ratkaiseva suure on vastaavasti suhde $f_{ae} \varepsilon_{ae} / f_{ah} \varepsilon_{ah}$.

Taulukko 26. Lämmön ja sähkön osuus yhteistuotannon energianlähteistä (tai esim. päästöistä) vaihtoehtoisten tuotantotapojen hyötysuhteisiin perustuen.

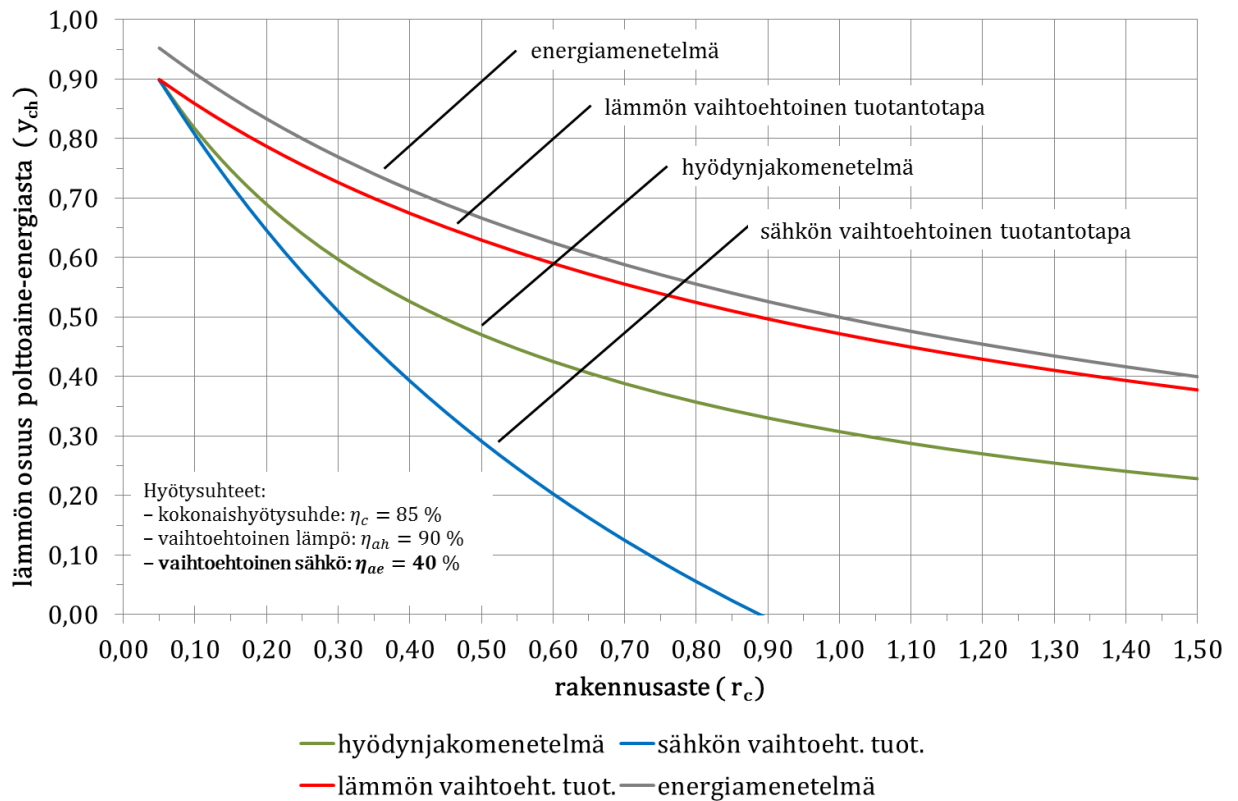
Menetelmä	Lämpö	Sähkö
Energiamenetelmä	$y_{ch} = \frac{E_{ch}}{E_{ch} + E_{ce}} = \frac{1}{1 + r_c}$ (77)	$y_{ce} = \frac{E_{ce}}{E_{ch} + E_{ce}} = \frac{r_c}{1 + r_c}$ (78)
Hyödynjakomenetelmä	$y_{ch} = \frac{Q_{ah}}{Q_{ah} + Q_{ae}} = \frac{1}{1 + \frac{\varepsilon_{ae} r_c}{\varepsilon_{ah}}}$ (79)	$y_{ce} = \frac{Q_{ae}}{Q_{ah} + Q_{ae}} = \frac{1}{1 + \frac{\varepsilon_{ah}}{\varepsilon_{ae} r_c}}$ (80)
Sähkön vaihtoehtoinen tuotantotapa	$y_{ch} = 1 - y_{ce}$ (81)	$y_{ce} = \frac{Q_{ae}}{Q_c} = \frac{\varepsilon_{ae} x_{ce}}{\varepsilon_c}$ (82)
Lämmön vaihtoehtoinen tuotantotapa	$y_{ch} = \frac{Q_{ah}}{Q_c} = \frac{\varepsilon_{ah} x_{ch}}{\varepsilon_c}$ (83)	$y_{ce} = 1 - y_{ch}$ (84)

Taulukon yhtälöissä ε_c on yhteistuotannon kokonaiskulutussuhde (kokonaishyötysuhteen käänteisluku), ε_{ah} lämmön vaihtoehtoisen tuotantotavan kulutussuhde ja ε_{ae} sähkön vaihtoehtoisten tuotantotavan kulutussuhde.

Taulukko 27. Lämmön ja sähkön osuus yhteistuotannon energianlähteistä (tai esim. päästöistä) vaihtoehtoisten tuotantotapojen hyötysuhteisiin ja energianlähteiden kertoimiin (ts. tuotannon seurauksiin) perustuen.

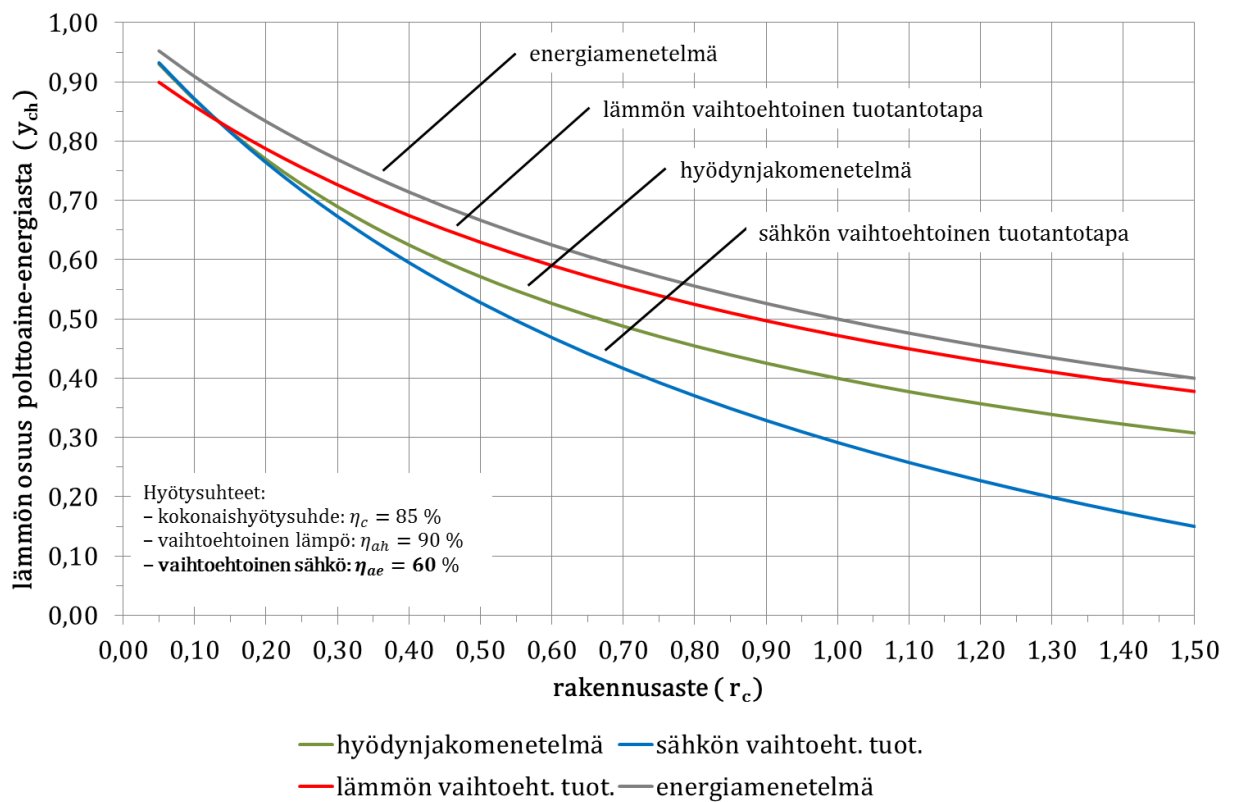
Menetelmä	Lämpö	Sähkö
Energiamenetelmä	$y_{ch} = \frac{E_{ch}}{E_{ch} + E_{ce}} = \frac{1}{1 + r_c}$ (85)	$y_{ce} = \frac{E_{ce}}{E_{ch} + E_{ce}} = \frac{r_c}{1 + r_c}$ (86)
Hyödynjakomenetelmä	$y_{ch} = \frac{F_{ah}}{F_{ah} + F_{ae}} = \frac{1}{1 + \frac{f_{ae} \varepsilon_{ae} r_c}{f_{ah} \varepsilon_{ah}}}$ (87)	$y_{ce} = \frac{F_{ae}}{F_{ah} + F_{ae}} = \frac{1}{1 + \frac{f_{ah} \varepsilon_{ah}}{f_{ae} \varepsilon_{ae} r_c}}$ (88)
Sähkön vaihtoehtoinen tuotantotapa	$y_{ch} = 1 - y_{ce}$ (89)	$y_{ce} = \frac{F_{ae}}{F_c} = \frac{f_{ae} \varepsilon_{ae} x_{ce}}{f_c \varepsilon_c}$ (90)
Lämmön vaihtoehtoinen tuotantotapa	$y_{ch} = \frac{F_{ah}}{F_c} = \frac{f_{ah} \varepsilon_{ah} x_{ch}}{f_c \varepsilon_c}$ (91)	$y_{ce} = 1 - y_{ch}$ (92)

Taulukon yhtälöissä ε_c ja f_c ovat yhteistuotannon kokonaiskulutussuhde (kokonaishyötysuhteen käänteisluku) ja yhteistuotantoon käytettyjen energianlähteiden kerroin (esim. primäärienergia- tai ominaispäästökerroin), ε_{ah} ja f_{ah} lämmön vaihtoehtoisen tuotantotavan kulutussuhde ja energianlähteen kerroin (esim. primäärienergia- tai ominaispäästökerroin) ja ε_{ae} ja f_{ae} vastaavat sähkön vaihtoehtoisen tuotantotavan arvot.

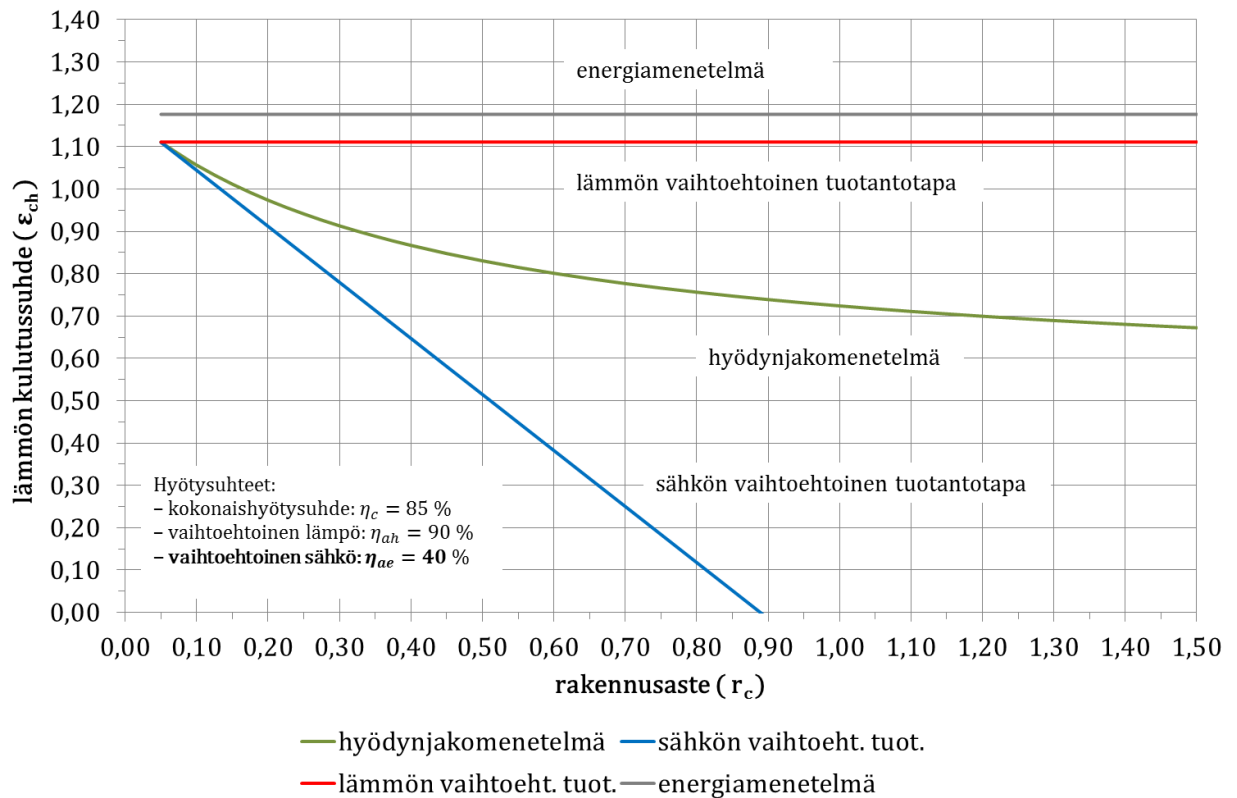


Kuva 12. Yhteistuotantona tuotetun lämmön osuus yhteistuotantoon käytetyistä polttoaineista yhteistuotannon rakennusasteen (sähkö/lämpö) funktiona.

Sähkön osuus yhteistuotannon polttoaineista on yksi miinus lämmön osuus eli $y_{ce} = 1 - y_{ch}$.

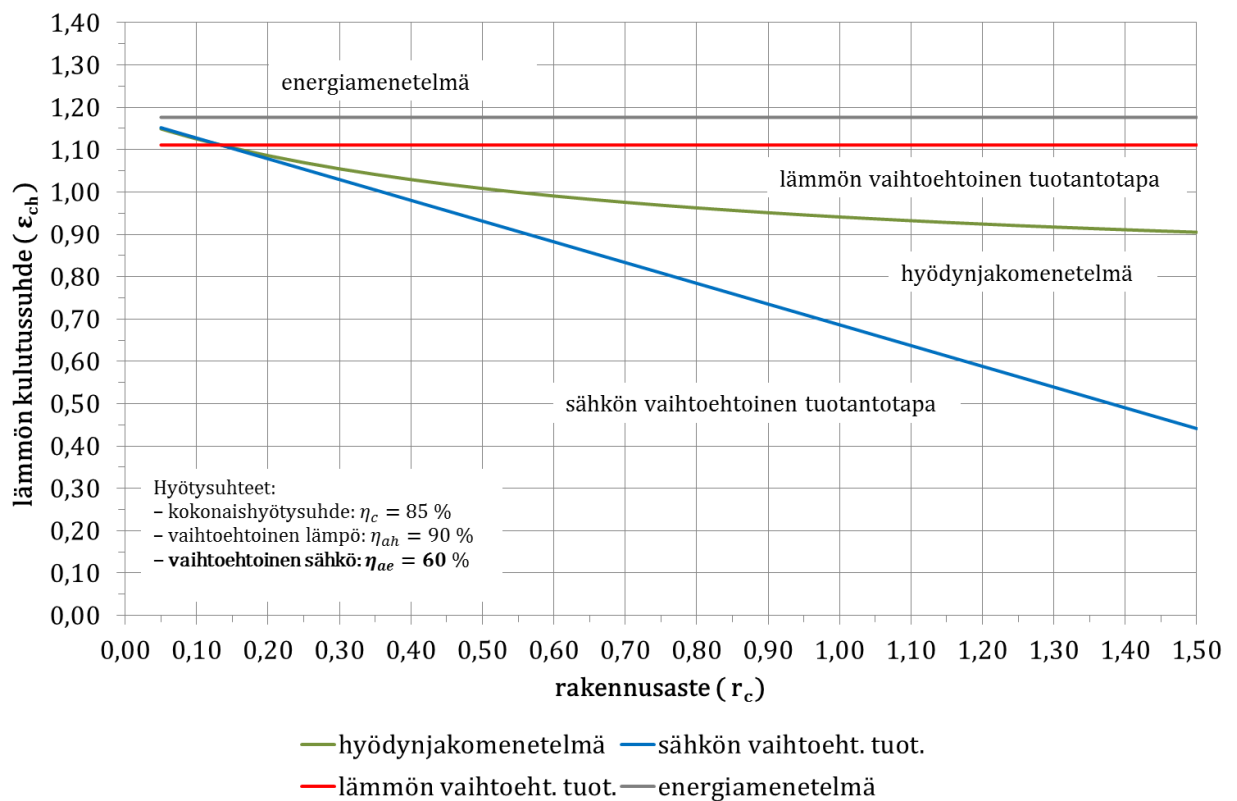


Kuva 13. Yhteistuotantona tuotetun lämmön osuus yhteistuotantoon käytetyistä polttoaineista yhteistuotannon rakennusasteen (sähkö/lämpö) funktiona.

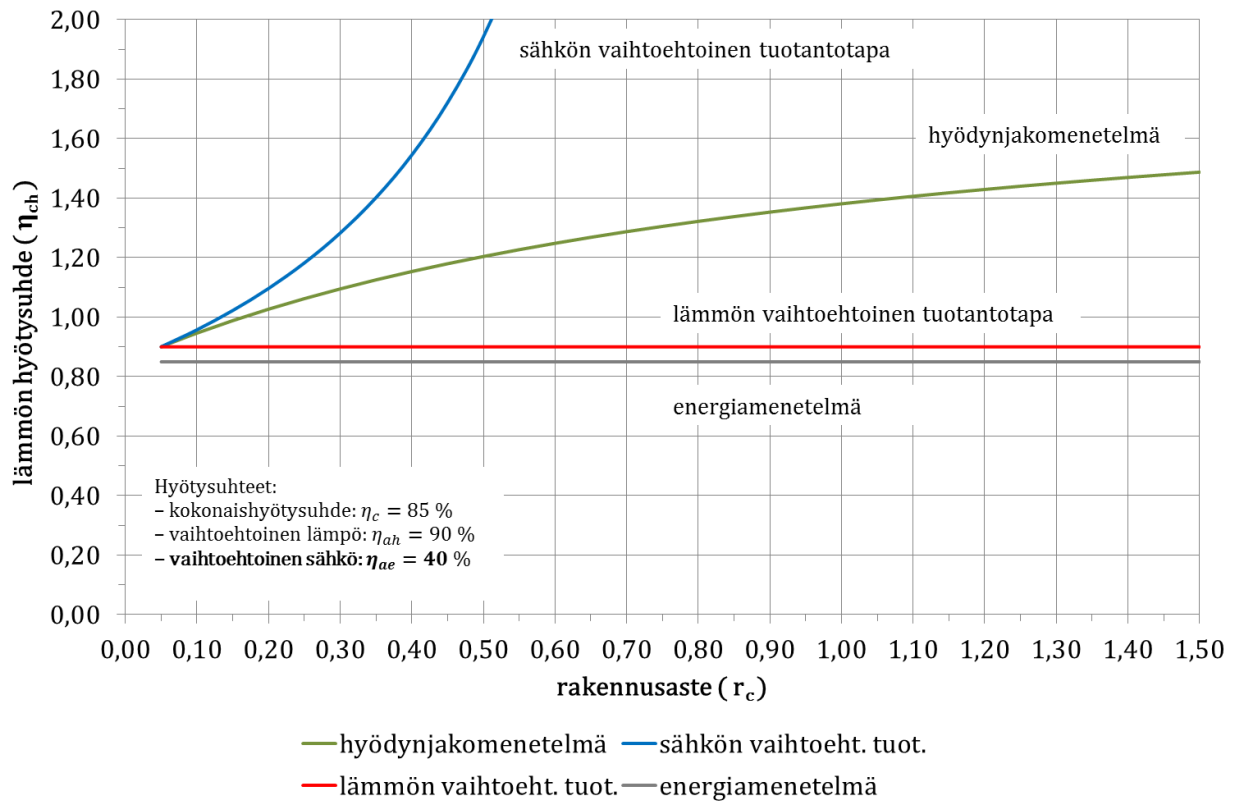


Kuva 14. Yhteistuotantona tuotetun lämmön kulutussuhde yhteistuotannon rakennusasteen (sähkö/lämpö) funktiona.

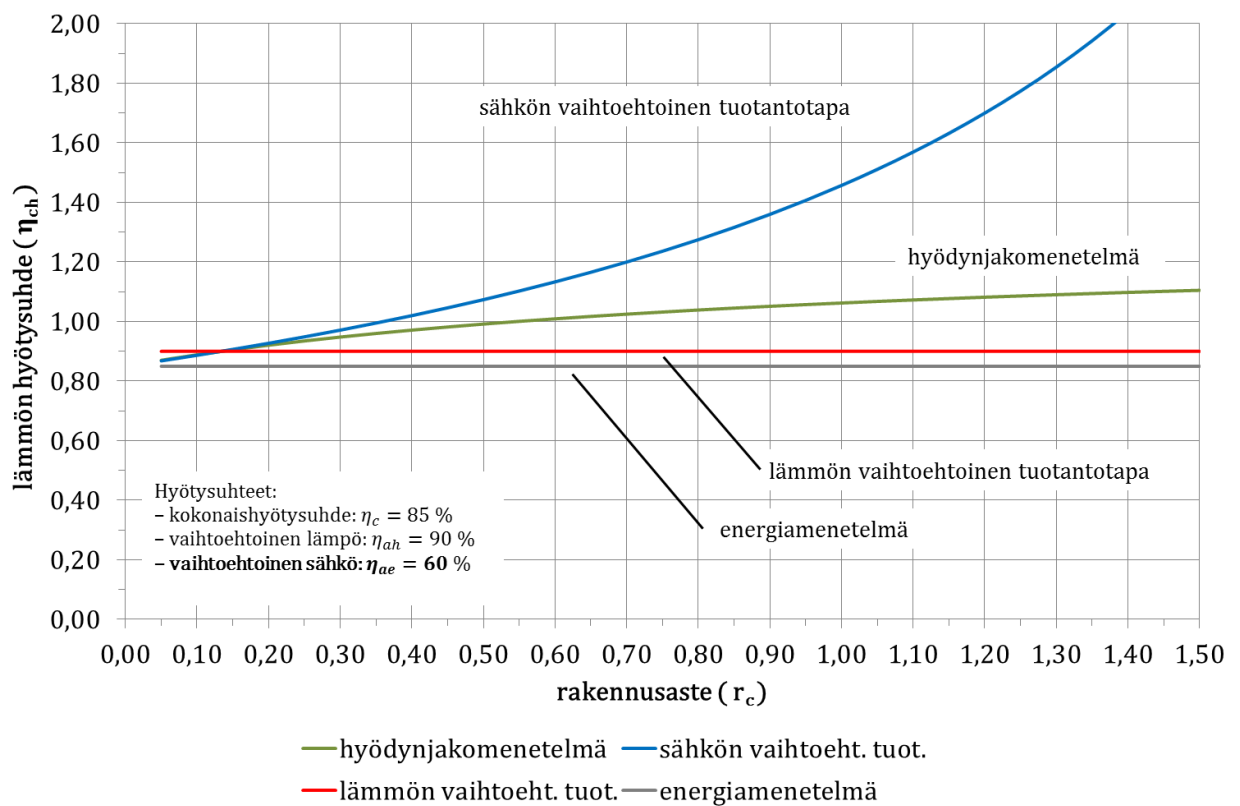
Tuotannon välittömien seurausten kokonaisprimäärienergiakerroin tarkoittaa samaa asiaa kuin tuotannon kulutussuhde.



Kuva 15. Yhteistuotantona tuotetun lämmön kulutussuhde yhteistuotannon rakennusasteen (sähkö/lämpö) funktiona.



Kuva 16. Yhteistuotantona tuotetun lämmön hyötysuhde yhteistuotannon rakennusasteen (sähkö/lämpö) funktiona.



Kuva 17. Yhteistuotantona tuotetun lämmön hyötysuhde yhteistuotannon rakennusasteen (sähkö/lämpö) funktiona.

3.3.2.4 Energia- ja hyödynjakomenetelmien suhde

Käytännön laskelmia varten kannattaa suure

$$a_{cx} = \frac{y_{cx}}{x_{cx}} = \frac{\eta_c}{\eta_{cx}} = \frac{\varepsilon_{cx}}{\varepsilon_c}, \quad (93)$$

jolloin kertoimet voidaan esittää muodossa

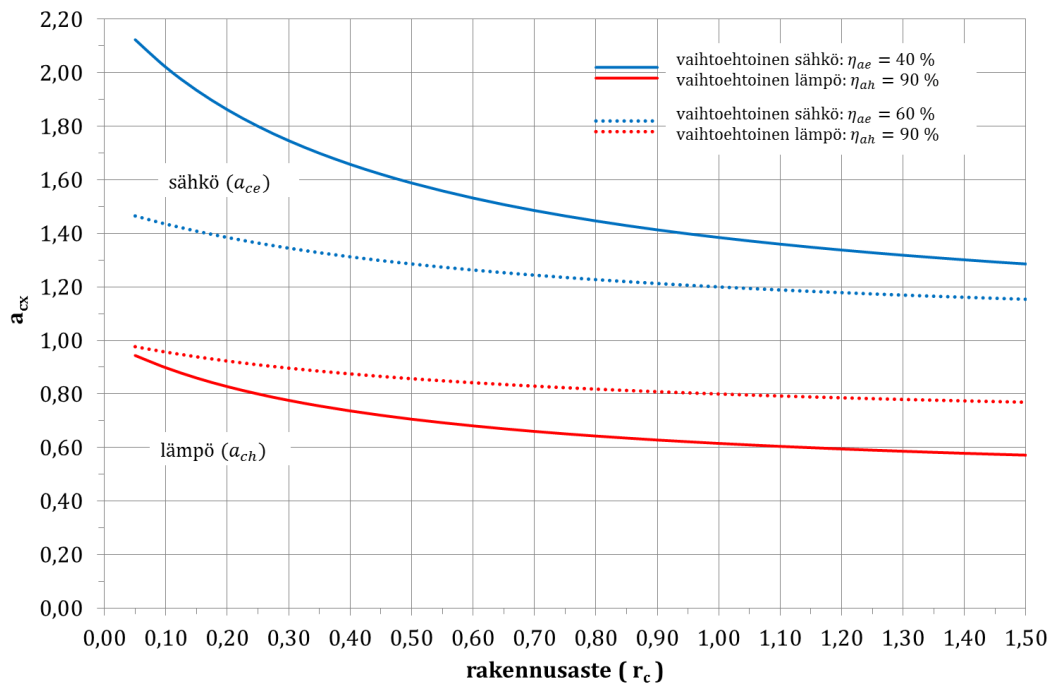
$$k_{cx} = a_{cx} \frac{f_c}{\eta_c} = a_{cx} f_c \varepsilon_c. \quad (94)$$

Energiamenetelmää soveltaen kertoimen a_{cx} arvon on aina yksi, koska energiamenetelmä antaa yhteistuotantona tuotetun lämmön ja sähkön hyötysuhteeksi yhteistuotannon kokonaishyötysuhteen (η_c). Muilla jakotavoilla kerroin a_{cx} on siis aina ko. jakotavan kertoimien suhde energiamenetelmän kertoimiin. Toisin sanoen, muilla jakotavoilla kertoimet k_{cx} saadaan kertomalla energiamenetelmään perustuvat kertoimet kertoimella a_{cx} . Hyödynjakomenetelmää käytettäessä em. kertoimet ovat erityisen käyttökelpoisia, sillä niiden laskemiseksi ei tarvitse tuntea kokonaishyötysuhdetta, jolloin kertoimet voidaan siten esittää yleispätevästi vain rakennusasteen funktiona. Hyödynjakomenetelmää soveltaen lämmön ja sähkön kertoimet a_{cx} ovat

$$a_{ch} = \frac{1 + r_c}{1 + \frac{f_{ae} \varepsilon_{ae} r_c}{f_{ah} \varepsilon_{ah}}} \quad (95)$$

$$a_{ce} = \frac{1 + r_c}{r_c + \frac{f_{ah} \varepsilon_{ah}}{f_{ae} \varepsilon_{ae}}}. \quad (96)$$

Hyödynjakomenetelmään perustuvat kertoimet on esitetty rakennusasteen funktiona kuvassa 18. Kuvassa lämmön erillistuotannon hyötysuhde on 90 % ja sähkön erillistuotannon 40 % (yhtenäiset viivat) ja 60 % (katkoviivat). Kuvasta nähdään, että rakennusasteella 0,60 hyödynjakomenetelmän yhteistuotantosähkölle antama kulutussuhde ja tuotannon kerroin on, sähkön vaihtoehdoisen tuotantotavan hyötysuhteella 40 %, noin 1,53 kertaa energiamenetelmän antamaa kerrointa suurempi ja lämmön kerroin vastaavasti noin 0,68-kertainen energiamenetelmän antamaan kertoimeen nähden. Hyödynjakomenetelmä antaa siis sähkölle huomattavasti energiamenetelmää korkeamman kulutussuhteen ja kertoimen (ts. matalamman hyötysuhteen) ja lämmölle vastaavasti huomattavasti energiamenetelmää matalamman kulutussuhteen ja kertoimen (ts. korkeamman hyötysuhteen).



Kuva 18. Kertoimet a_{ch} ja a_{ce} rakennusasteen funktiona hyödynjakomenetelmässä.

3.3.2.5 Yhteistuotantolaitosten yhteenlaskeminen

Lämmön ja sähkön yhteistuotanto voi muodostua useamman eri kokonaisuuden tuotannosta. Osat voivat olla yksittäisiä laitoksia tai jotakin laajempia kokonaisuuksia, kuten esimerkiksi kauko- tai teollisuuslämmön yhteistuotantoon liittyvien laitosten ryhmiä. Tarkastellaan seuraavassa yksinkertaisuuden vuoksi kahden laitoksen muodostaman kokonaisuuden lämmöntuotantoa.

Kokonaisuuden yhteenlaskettu lämmöntuotanto on

$$E_{ch} = E_{ch1} + E_{ch2}, \quad (97)$$

jossa E_{ch} on tarkasteltavassa kokonaisuudessa yhteistuotantona tuotettu lämpö ja E_{ch1} ja E_{ch2} laitoksen 1 ja laitoksen 2 lämmöntuotanto. Laitosten yhteenlaskettu kokonaispolttoaine-energia on

$$Q_c = Q_{c1} + Q_{c2}, \quad (98)$$

jossa Q_c on kokonaisuudessa yhteistuotantoon käytetty kokonaispolttoaine-energia ja Q_{c1} ja Q_{c2} laitosten 1 ja 2 kokonaispolttoaine-energia.

Useamman yhteistuotantolaitoksen polttoaineet voidaan jakaa kahdella vaihtoehtoisella tavalla. Ensinnäkin laitokset voidaan laskea ensin yhteen ja jakaa sitten polttoaineet kerralla lämmön ja sähkön kesken. Näin koko kokonaisuutta käsitellään ikään kuin yhtenä isona laitoksena. Lämmölle kohdistettu polttoaine-energia (Q_{chk}) on siten

$$Q_{chk} = y_{chk} Q_c, \quad (99)$$

jossa y_{chk} on lämmön osuus yhteistuotantokokonaisuuden polttoaineista. Yhtälössä alaindeksi k viittaa yhtenä kokonaisuutena jakamiseen.

Toisena vaihtoehtona on jakaa polttoaineet ensin laitoksittain ja laskea sitten lämmölle kohdistetut yksittäiset polttoaine-erät yhteen lämmölle kohdistetuksi polttoaine-energiaksi ja toimia vastaavalla tavalla sähköntuotannon polttoaineiden suhteen. Luvussa 3.3.2.3 esitettyjä yhtälöitä sovelletaan näin jokaiseen laitokseen erikseen. Lämmölle kohdistettujen polttoaineiden määrä Q_{chl} kokonaisuuden yhteenlasketusta kokonaispolttoaine-energiasta Q_c on siten

$$Q_{chl} = y_{chl1} Q_{c1} + y_{chl2} Q_{c2} \quad (100)$$

joissa y_{chl1} ja y_{chl2} ovat laitosten 1 ja 2 lämmöntuotannon osuudet ko. laitosten kokonaispolttoaine-energiasta. Yhtälössä alaindeksi l viittaa laitoksittain jakamiseen.

Lämmölle kohdistettu polttoaine-energia on em. vaihtoehdoissa yhtä suuri vain, jos

$$Q_{chk} = Q_{chl} \quad (101)$$

eli kun

$$y_{chk} Q_c = y_{chl1} Q_{c1} + y_{chl2} Q_{c2}. \quad (102)$$

Yhtä suuruus toteutuu siten käytännössä vain, jos kaikki osuudet ovat yhtä suuria, eli jos

$$y_{chy} = y_{chl1} = y_{chl2}. \quad (103)$$

Jokainen osuus (y) riippuu vähintään yhteistuotannon rakennusasteesta sekä, jakotavasta riippuen myös mm. yhteistuotannon kokonaishyötysuhteesta sekä vaihtoehtoisten tuotantotapojen hyötysuhteista. Laitosten rakennusasteet ovat useimmiten keskenään erisuuria, joten osuudet ovat yhtä suuria vain sattumalta. Edellä mainituista syistä yhteistuotannon jakaminen yhtenä kokonaisuutena jakaminen johtaa kaikilla jakotavoilla (myös energiamenetelmällä) eri tuloksiin kuin laitoksittain jakaminen.

Energiamenetelmä antaa aina – yhtenä kokonaisuutena polttoaineet jakaen – lämmön ja sähkön tuotannon hyötysuhteeksi yhteistuotannon kokonaishyötysuhteen. Jos polttoaineet sen sijaan jaetaan energiamenetelmällä laitoksittain, lämmön ja sähkön hyötysuhde ei ole yhtä suuri kuin koko kokonaisuutta kuvaava kokonaishyötysuhde eivätkä lämmön ja sähkön kertoimetkaan siitä syystä ole keskenään yhtä suuria. Tämä

johtuu siitä, että yksittäisten laitosten kokonaishyötysuhteet ja rakennusasteet ovat yleensä keskenään erisuuria, eikä esimerkiksi lämmölle siten kohdistu joka laitoksesta yhtä suurta osuutta polttoaineista. Tilastokeskuksen tilastoissa polttoaineet (ja siten myös päästöt) on jaettu laitoksittain. Siten esimerkiksi Tilastokeskuksen tilastoista lasketut energiamenetelmään perustuvat kaukolämmön yhteistuotannon ja kaukolämpövoiman päästökertoimet eivät ole keskenään täsmälleen yhtä suuria (ks. esim. Taulukko G-12). Tässä työssä esitetyt polttoaine-energiat ja päästöt sekä primäärienergia- ja päästökertoimet perustuvat, lukua 4.3 lukuun ottamatta, Tilastokeskuksen tilastoissa valmiiksi laitoksittain energia- ja hyödynjakomenetelmällä määritettyihin polttoaine-energioihin ja päästöihin. Tästä syystä tässä työssä tuloksina esitetyt yhteistuotantolämmön ja yhteistuotantosähkön energiamenetelmään perustuvat kertoimet (ks. esim. Liite F ja Liite G) eivät ole keskenään täsmälleen yhtä suuria.

Luvussa 4.3 lämmön ja sähkön tuotantomuotojen sekä kokonaistuotannon kertoimet on esitetty neljällä eri yhteistuotannon jakotavalla määritettynä. Näissä kertoimissa yhteistuotannon polttoaineet ja päästöt on, muista esitetyistä kertoimista poiketen, jaettu (kirjoittajan toimesta) yhtenä kokonaisuutena (kuitenkin kaukolämmön yhteistuotanto omana ja teollisuuslämmön yhteistuotanto omana kokonaisuutenaan). Luvussa 4.3 esitetyissä kertoimissa esimerkiksi kaukolämmön yhteistuotannon ja kaukolämpövoiman kertoimet ovat siten energiamenetelmässä keskenään täsmälleen yhtä suuria.

Yhteistuotannon yhteenlaskutapa vaikuttaa myös – primäärienergian määritelmän sekä yhteistuotannon energianlähteiden jakotavan ohella – uusiutuvien energialähteiden osuuteen sähkön ja lämmön tuotantoon käytetystä kokonaisprimäärienergiasta. Jos yhteistuotannon polttoaineet jaetaan yhtenä kokonaisuutena, molempien yhteistuotannon lopputuotteiden (lämmön ja sähkön) tuotannossa uusiutuvien energialähteiden osuus on yhtä suuri kuin yhteistuotannon kokonaistuotannossa (Taulukko 28 ja Taulukko 29). Taulukoista nähdään, että esimerkiksi vuonna 2008 Suomessa teollisuuslämmön yhteistuotantoon (kokonaistuotantoon) käytetyistä polttoaineista noin 70 % oli uusiutuvia polttoaineita. Yhteistuotanto yhtenä kokonaisuutena jakaen myös yhteistuotantona tuotettu teollisuuslämpö ja teollisuusvoima saavat osakseen tämän saman osuuden uusiutuvista energianlähteistä. Osuus on sama sekä hyödynjakomenetelmää (Taulukko 28) että energiamenetelmää (Taulukko 29) soveltaen. Jos yhteistuotanto sen sijaan jaetaan laitoksittain (Liite E), uusiutuvien osuus ei ole yhtä suuri molempien lopputuotteiden tuotannossa. Jos uusiutuvien energianlähteiden osuus teollisuuslämmön yhteistuotannossa esimerkiksi lasketaan Tilastokeskuksen energiamenetelmällä laitoksittain jakamista polttoaineista, kokonaistuotannossa osuus on edelleen 70 %, mutta teollisuuslämmön yhteistuotannossa noin 72 % ja teollisuusvoiman tuotannossa noin 60 % (Taulukko E-2 ja Taulukko E-4).

Taulukko 28. Uusiutuvien energianlähteiden osuus sähkön ja lämmön tuotantoon käytetystä kokonais-primäärienergiasta primäärienergian määritelmiin A ja B perustuen (ydinvoiman hyötysuhde 33 %). Yhteistuotannon energianlähteet jaettu hyödynjakomenetelmällä yhtenä kokonaisuutena. Lämmön vaihtoehtoisen tuotantotavan hyötysuhde 90 % ja sähkön 40 %. Tilastoaineiston lähde [1].

Sähkön erillistuotanto	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Vesivoima	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Tuulivoima	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Ydinvoima	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Erillinen tavanomainen lämpövoima	9,3	8,6	6,8	6,3	7,9	20,6	9,3	8,1	18,1	9,3

Yhteistuotanto, kaukolämpö	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Kokonaistuotanto	10,8	9,6	10,2	10,4	11,8	13,7	13,8	11,9	14,5	11,9
Kaukolämpövoima	10,8	9,6	10,2	10,4	11,8	13,7	13,8	11,9	14,5	11,9
Kaukolämpö	10,8	9,6	10,2	10,4	11,8	13,7	13,8	11,9	14,5	11,9

Yhteistuotanto, teollisuus	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Kokonaistuotanto	67,3	64,8	66,5	66,5	68,4	67,9	68,9	69,2	70,0	67,7
Teollisuusvoima	67,3	64,8	66,5	66,5	68,4	67,9	68,9	69,2	70,0	67,7
Teollisuushöyry	67,3	64,8	66,5	66,5	68,4	67,9	68,9	69,2	70,0	67,7

Lämmön erillistuotanto	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Kaukolämpö	11,7	12,9	14,2	14,9	16,0	19,2	18,7	18,3	20,2	16,2
Teollisuushöyry	22,5	22,7	24,7	22,5	20,9	19,8	23,4	21,6	21,8	22,2

Sähkön- ja lämmöntuotanto polttoaineista	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Sähkö	31,4	25,9	25,8	21,4	25,0	34,9	26,4	26,8	33,7	27,9
Kaukolämpö	11,0	10,5	11,3	11,6	13,0	15,3	15,3	13,9	16,2	13,1
Teollisuushöyry	58,6	56,0	57,8	57,3	58,0	57,2	59,9	58,8	58,4	58,0

Kokonaistuotanto	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Sähkö	24,3	21,3	20,4	17,9	22,1	25,1	21,4	22,3	26,8	22,4
Kaukolämpö	11,0	10,5	11,3	11,6	13,0	15,3	15,3	13,9	16,2	13,1
Teollisuushöyry	58,6	56,0	57,8	57,3	58,0	57,2	59,9	58,8	58,4	58,0

Taulukko 29. Uusiutuvien energianlähteiden osuus sähkön ja lämmön tuotantoon käytetystä kokonais-primäärienergiasta primäärienergian määritelmiin A ja B perustuen (ydinvoiman hyötysuhde 33 %). Yhteistuotannon energianlähteet jaettu energiamenetelmällä yhtenä kokonaisuutena. Tilastoaineiston lähde [1].

Sähkön erillistuotanto	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Vesivoima	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Tuulivoima	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Ydinvoima	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Erillinen tavanomainen lämpövoima	9,3	8,6	6,8	6,3	7,9	20,5	9,3	8,1	18,1	9,3

Yhteistuotanto, kaukolämpö	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Kokonaistuotanto	10,8	9,6	10,2	10,4	11,8	13,7	13,8	11,9	14,5	11,9
Kaukolämpövoima	10,8	9,6	10,2	10,4	11,8	13,7	13,8	11,9	14,5	11,9
Kaukolämpö	10,8	9,6	10,2	10,4	11,8	13,7	13,8	11,9	14,5	11,9

Yhteistuotanto, teollisuus	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Kokonaistuotanto	67,3	64,8	66,5	66,5	68,4	67,9	68,9	69,2	70,0	67,7
Teollisuusvoima	67,3	64,8	66,5	66,5	68,4	67,9	68,9	69,2	70,0	67,7
Teollisuushöyry	67,3	64,8	66,5	66,5	68,4	67,9	68,9	69,2	70,0	67,7

Lämmön erillistuotanto	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Kaukolämpö	11,7	12,9	14,2	14,9	16,0	19,2	18,7	18,3	20,2	16,2
Teollisuushöyry	22,5	22,7	24,7	22,5	20,9	19,8	23,4	21,6	21,8	22,2

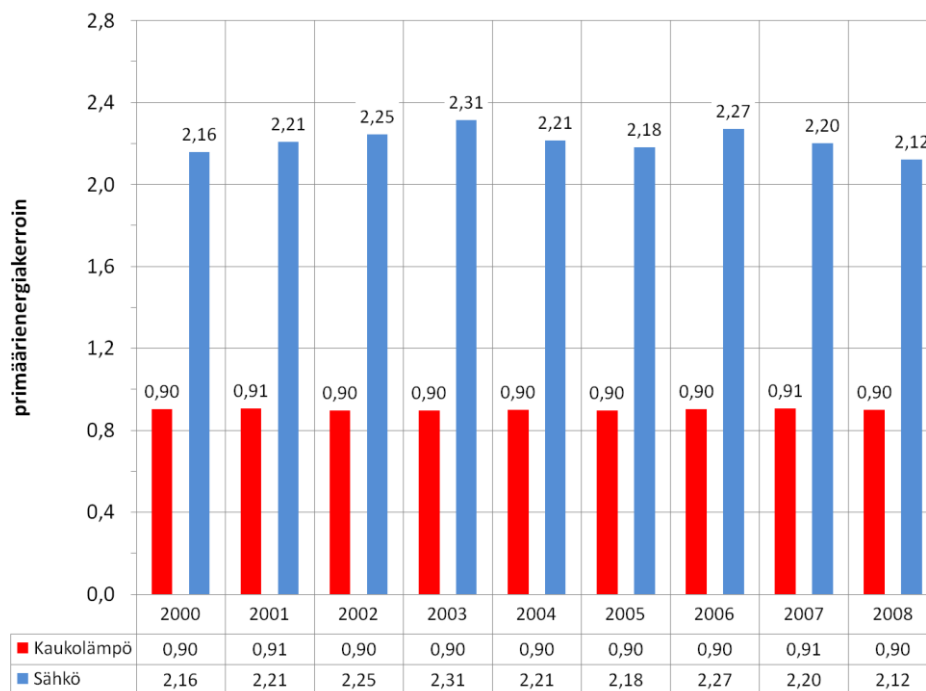
Sähkön- ja lämmöntuotanto polttoaineista	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Sähkö	26,4	21,4	20,8	16,8	20,1	31,4	21,5	21,7	29,7	23,3
Kaukolämpö	11,0	10,3	11,0	11,3	12,7	14,9	14,9	13,4	15,8	12,8
Teollisuushöyry	60,0	57,4	59,2	58,8	59,7	58,9	61,4	60,4	60,2	59,5

Kokonaistuotanto	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Sähkö	21,3	18,6	17,3	14,9	19,3	22,2	18,1	19,3	24,2	19,5
Kaukolämpö	11,0	10,3	11,0	11,3	12,7	14,9	14,9	13,4	15,8	12,8
Teollisuushöyry	60,0	57,4	59,2	58,8	59,7	58,9	61,4	60,4	60,2	59,5

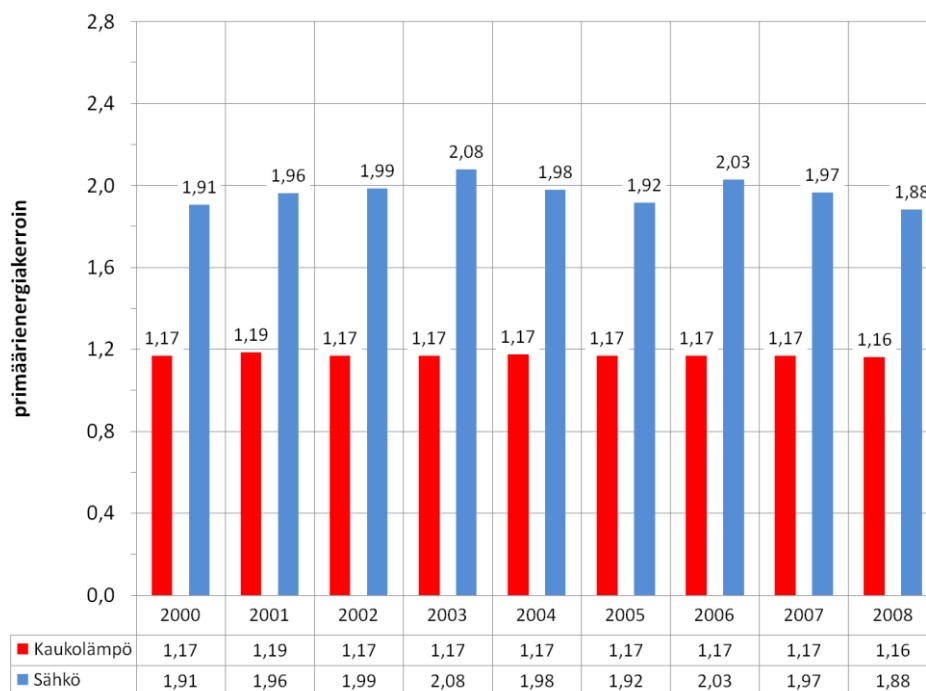
4 Toteutuneen tuotannon kertoimet 2000–2008

4.1 Primäärienergiakerroin

4.1.1 Kokonaisprimäärienergiakerroin

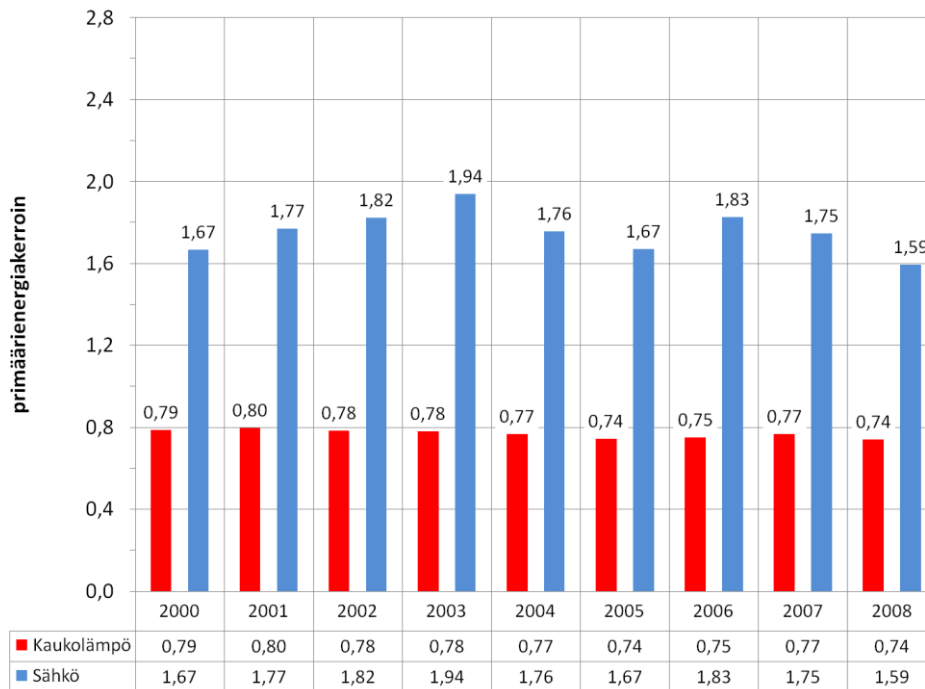


Kuva 19. Sähkön ja kaukolämmön kokonaistuotannon keskimääräiset kokonaisprimäärienergiakertoimet Suomessa vuosina 2000–2008 (määritelmä A). Yhteistuotannon polttoaineet jaettu hyödynjakomenetelmällä. Tilastoaineiston lähde [1, taulukko 3.4.4].

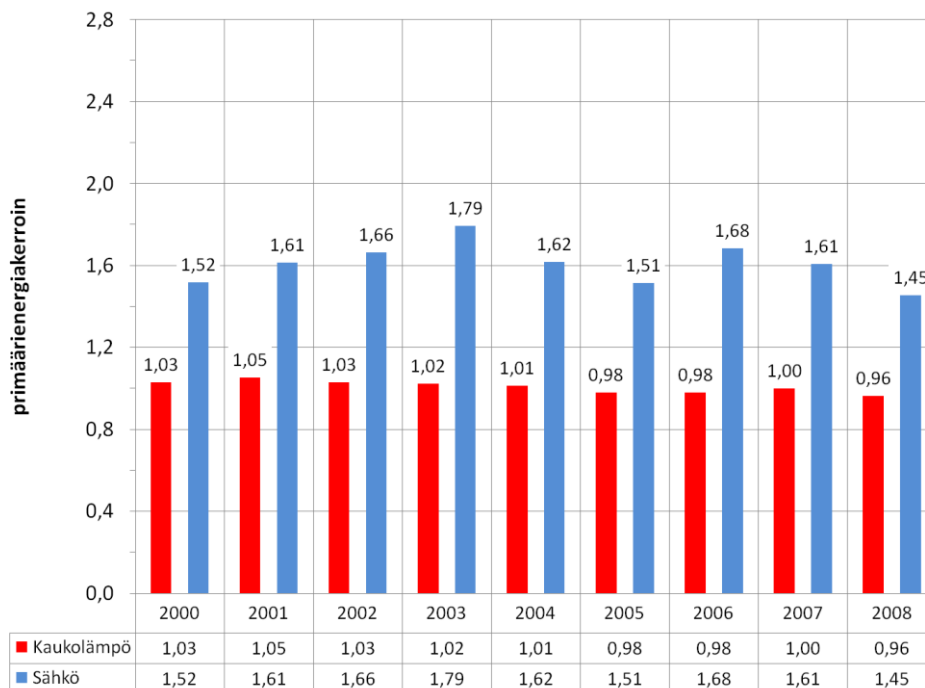


Kuva 20. Sähkön ja kaukolämmön kokonaistuotannon keskimääräiset kokonaisprimäärienergiakertoimet Suomessa vuosina 2000–2008 (määritelmä A). Yhteistuotannon energianlähteen jaettu energiamenetelmällä. Tilastoaineiston lähde [1, taulukko 3.4.3].

4.1.2 Uusiutumattoman energian primäärienergiakerroin

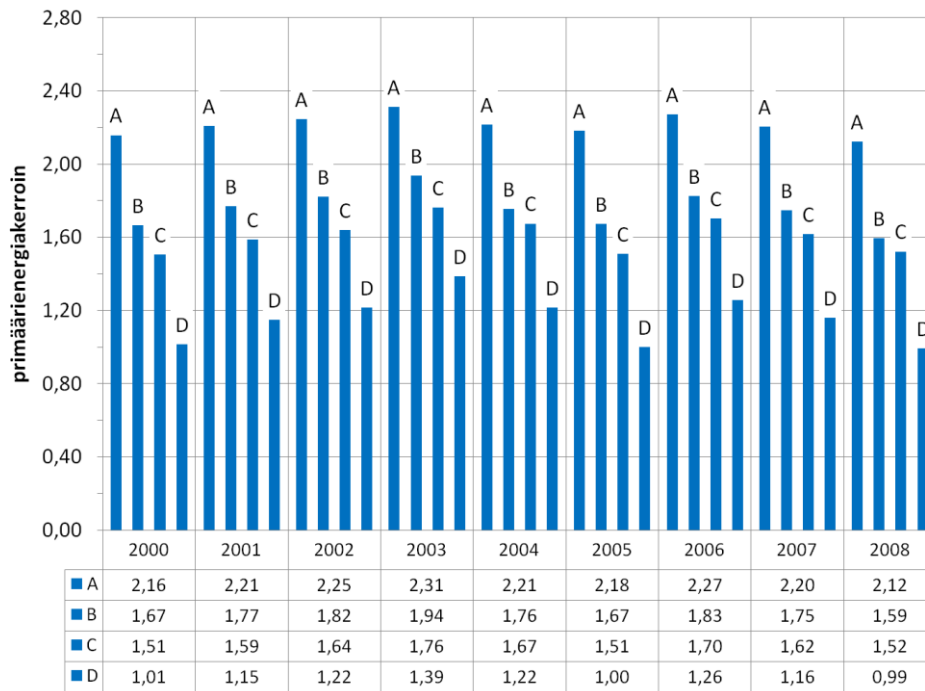


Kuva 21. Sähkön ja kaukolämmön kokonaistuotannon keskimääräiset uusiutumattoman energian primäärienergiakertoimet Suomessa vuosina 2000–2008 (määritelmä B). Yhteistuotannon energianlähteet jaettu hyödynjakomenetelmällä. Tilastoaineiston lähde [1, taulukko 3.4.4].

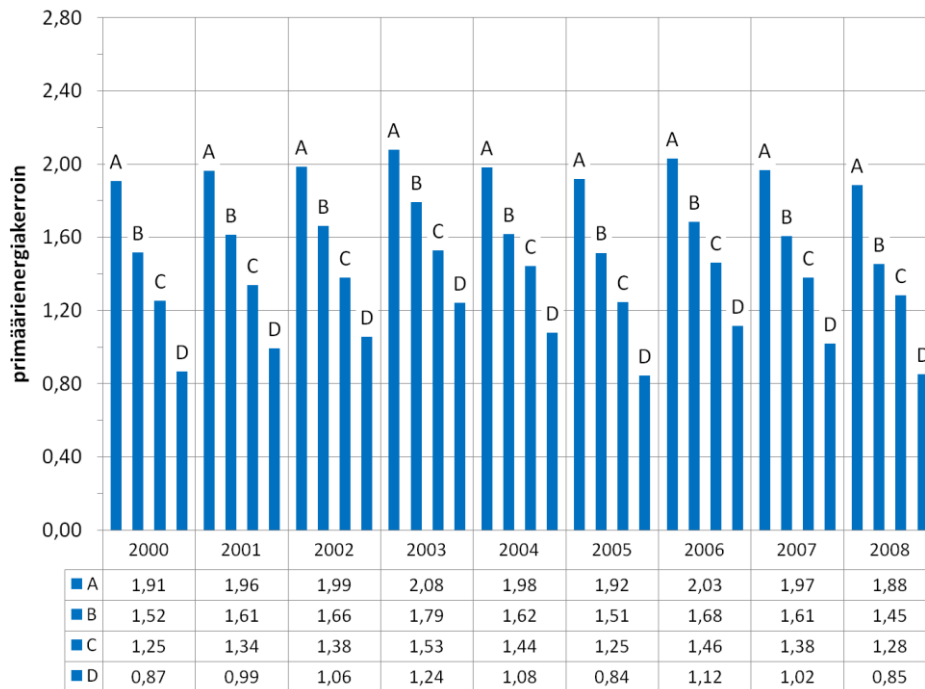


Kuva 22. Sähkön ja kaukolämmön kokonaistuotannon keskimääräiset uusiutumattoman energian primäärienergiakertoimet Suomessa vuosina 2000–2008 (määritelmä B). Yhteistuotannon energianlähteet jaettu energiamenetelmällä. Tilastoaineiston lähde [1, taulukko 3.4.3].

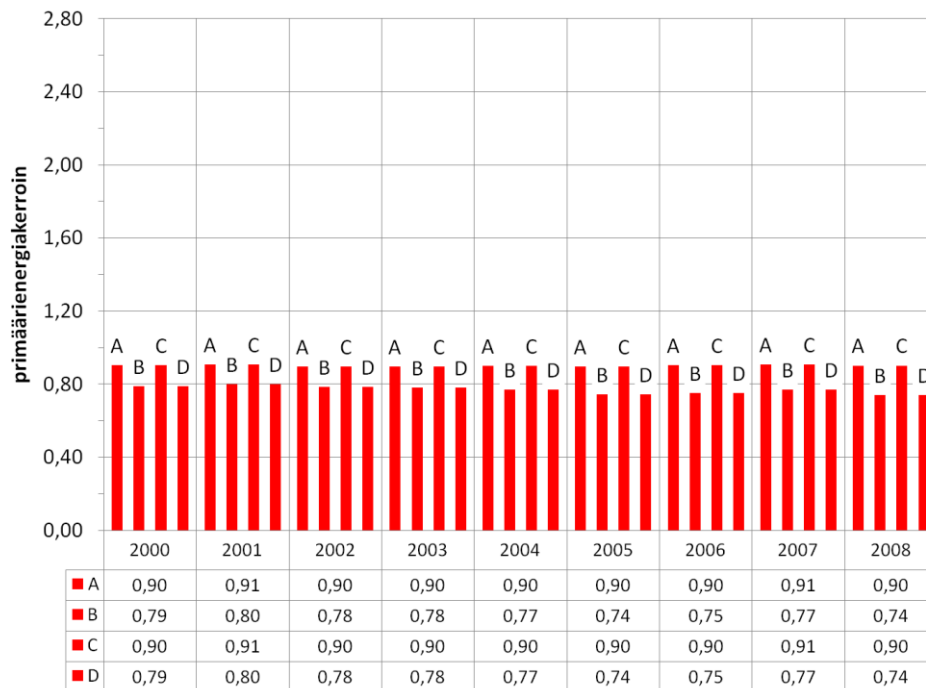
4.1.3 Primäärienergian määritelmien vaikutus



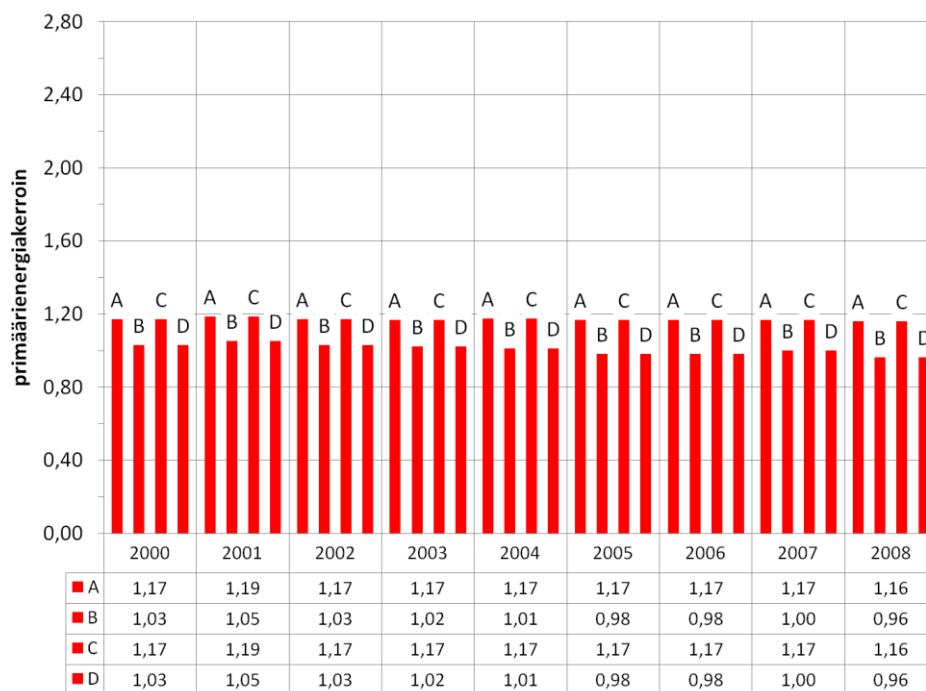
Kuva 23. Sähköntuotannon primäärienergiakertoimet Suomessa vuosina 2000–2008. Hyödynjakomenetelmä. Primäärienergian laskentatavat A–D luvusta 3.1.2. Tilastoaineiston lähde [1, taulukko 3.4.4].



Kuva 24. Sähköntuotannon primäärienergiakertoimet Suomessa vuosina 2000–2008. Energiamenetelmä. Primäärienergian laskentatavat A–D luvusta 3.1.2. Tilastoaineiston lähde [1, taulukko 3.4.3].

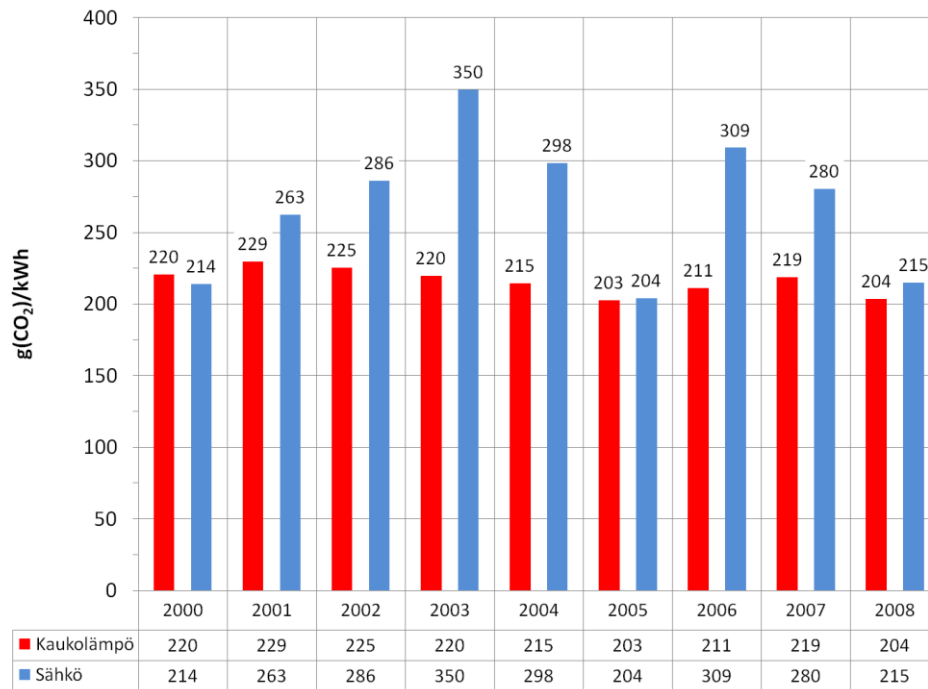


Kuva 25. Kaukolämmöntuotannon primäärienergiakertoimet Suomessa vuosina 2000–2008. Hyödynjakomenetelmä. Primäärienergian laskentatavat A–D luvusta 3.1.2. Tilastoaineiston lähde [1, taulukko 3.4.4].

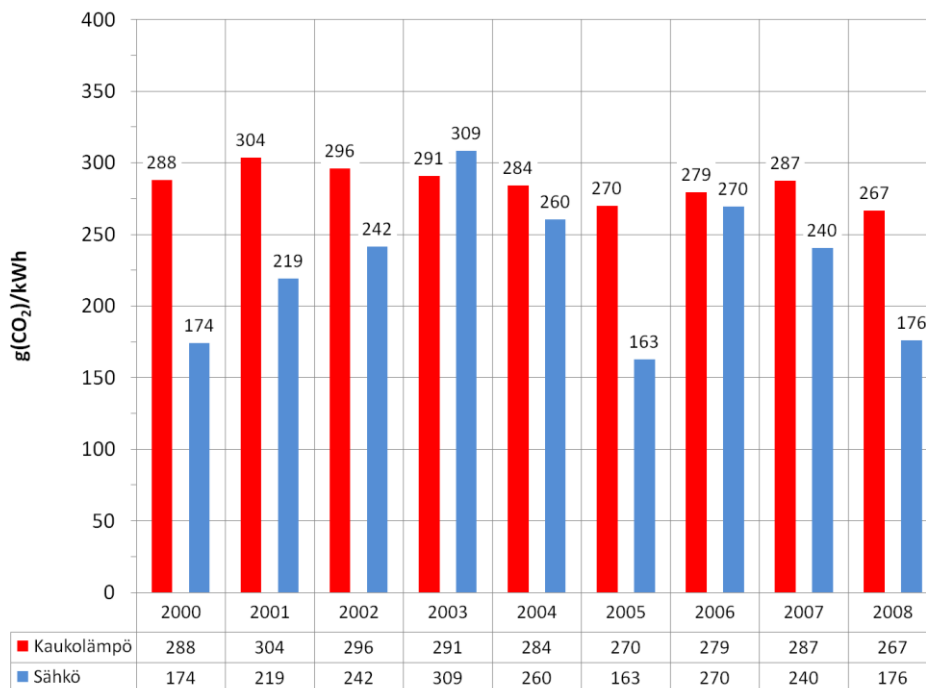


Kuva 26. Kaukolämmöntuotannon primäärienergiakertoimet Suomessa vuosina 2000–2008. Energiamenetelmä. Primäärienergian laskentatavat A–D luvusta 3.1.2. Tilastoaineiston lähde [1, taulukko 3.4.3].

4.2 Tuotannon CO₂-ominaispäästökerroin 2000–2008



Kuva 27. Sähkön ja kaukolämmön kokonaistuotannon keskimääräiset ominaispäästökertoimet Suomessa vuosina 2000–2008. Yhteistuotannon energianlähteet jaettu hyödynjakomenetelmällä. Tilastoaineiston lähde [1, taulukko 3.4.4].



Kuva 28. Sähkön ja kaukolämmön kokonaistuotannon keskimääräiset ominaispäästökertoimet Suomessa vuosina 2000–2008. Yhteistuotannon energianlähteet jaettu energiamenetelmällä. Tilastoaineiston lähde [1, taulukko 3.4.3].

4.3 Yhteistuotannon jakotavan vaikutus kertoimiin

Seuraavassa esitetyt kertoimet on laskettu jakamalla kaukolämmön yhteistuotanto yhtenä kokonaisuutena ja teollisuuslämmön yhteistuotanto yhtenä kokonaisuutena. Tämän luvun taulukoissa esitetyt energia- ja hyödynjakomenetelmään perustuvat kertoimet eivät ole täsmälleen yhtä suuria kuin muut tässä työssä esitetyt energia- ja hyödynjakomenetelmään perustuvat kertoimet (luvut 4.1 ja 4.2 ja Liite G), koska tässä luvuissa yhteistuotanto on jaettu yhtenä kokonaisuutena ja muissa luvuissa laitoksittain (Tilastokeskuksen jakamina). Yhtenä kokonaisuutena ja laitoksittain jakaminen johtavat kaikilla yhteistuotannon jakotavoilla (myös energiamenetelmällä) eri tuloksiin. Yhtenä kokonaisuutena ja laitoksittain jakamisen eroa on käsitelty luvussa 3.3.2.5. Yhteistuotannolle vaihtoehdoisen lämmöntuotannon hyötysuhteena on kaikissa tämän luvun taulukoissa käytetty arvoa 90 %. Vaihtoehdoisen sähköntuotannon hyötysuhteena on käytetty arvoja 40 % ja 60 %. Laskennassa käytetty yhteistuotannon tilastollinen rakennusaste ja kokonaishyötysuhde sekä tuotantomuotojen osuudet on esitetty luvussa 2.

4.3.1 Kokonaisprimäärienergiakerroin

4.3.1.1 Vaihtoehtoisen lämmön hyötysuhde 90 % ja sähkön 40 %

Taulukko 30. Sähkön ja lämmön kokonaistuotannon keskimääräiset kokonaisprimäärienergiakertoimet Suomessa vuosina 2000–2008 (määritelmä A). Yhteistuotannolle vaihtoehtoisen lämmöntuotannon hyötysuhde 90 % ja sähköntuotannon hyötysuhde 40 %. Tilastoaineiston lähde [1].

Sähkö	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	ka.
Energiamenetelmä	1,91	1,96	1,99	2,08	1,98	1,92	2,03	1,97	1,88	1,97
Hyödynjakomenetelmä	2,20	2,25	2,29	2,35	2,25	2,23	2,31	2,25	2,17	2,26
Sähkön vaihtoehtoinen tuotantotapa	2,37	2,42	2,47	2,52	2,42	2,42	2,48	2,41	2,34	2,43
Lämmön vaihtoehtoinen tuotantotapa	2,05	2,10	2,13	2,21	2,11	2,07	2,16	2,09	1,99	2,10

Kaukolämpö	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	ka.
Energiamenetelmä	1,17	1,18	1,17	1,17	1,17	1,16	1,16	1,16	1,16	1,17
Hyödynjakomenetelmä	0,87	0,88	0,87	0,87	0,87	0,86	0,87	0,88	0,87	0,87
Sähkön vaihtoehtoinen tuotantotapa	0,54	0,55	0,52	0,53	0,52	0,52	0,55	0,56	0,55	0,54
Lämmön vaihtoehtoinen tuotantotapa	1,11	1,12	1,11	1,11	1,12	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11

Teollisuushöyry	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	ka.
Energiamenetelmä	1,27	1,27	1,27	1,27	1,28	1,28	1,26	1,25	1,25	1,27
Hyödynjakomenetelmä	1,07	1,07	1,07	1,06	1,08	1,08	1,05	1,06	1,06	1,07
Sähkön vaihtoehtoinen tuotantotapa	1,04	1,04	1,04	1,03	1,05	1,05	1,02	1,02	1,02	1,03
Lämmön vaihtoehtoinen tuotantotapa	1,12	1,13	1,12	1,12	1,13	1,13	1,12	1,12	1,14	1,13

4.3.1.2 Vaihtoehtoisen lämmön hyötysuhde 90 % ja sähkön 60 %

Taulukko 31. Sähkön ja lämmön kokonaistuotannon keskimääräiset kokonaisprimäärienergiakertoimet Suomessa vuosina 2000–2008 (määritelmä A). Yhteistuotannolle vaihtoehtoisen lämmöntuotannon hyötysuhde 90 % ja sähköntuotannon hyötysuhde 60 %. Tilastoaineiston lähde [1].

Sähkö	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	ka.
Energiamenetelmä	1,91	1,96	1,99	2,08	1,98	1,92	2,03	1,97	1,88	1,97
Hyödynjakomenetelmä	2,05	2,10	2,13	2,21	2,11	2,06	2,16	2,10	2,02	2,10
Sähkön vaihtoehtoinen tuotantotapa	2,07	2,12	2,15	2,23	2,13	2,09	2,19	2,12	2,05	2,13
Lämmön vaihtoehtoinen tuotantotapa	2,05	2,10	2,13	2,21	2,11	2,07	2,16	2,09	1,99	2,10

Kaukolämpö	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	ka.
Energiamenetelmä	1,17	1,18	1,17	1,17	1,17	1,16	1,16	1,16	1,16	1,17
Hyödynjakomenetelmä	1,02	1,03	1,02	1,02	1,02	1,01	1,02	1,02	1,02	1,02
Sähkön vaihtoehtoinen tuotantotapa	0,93	0,95	0,93	0,93	0,93	0,92	0,93	0,94	0,93	0,93
Lämmön vaihtoehtoinen tuotantotapa	1,11	1,12	1,11	1,11	1,12	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11

Teollisuushöyry	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	ka.
Energiamenetelmä	1,27	1,27	1,27	1,27	1,28	1,28	1,26	1,25	1,25	1,27
Hyödynjakomenetelmä	1,18	1,18	1,18	1,17	1,19	1,19	1,16	1,16	1,16	1,18
Sähkön vaihtoehtoinen tuotantotapa	1,20	1,20	1,20	1,19	1,21	1,21	1,18	1,18	1,17	1,19
Lämmön vaihtoehtoinen tuotantotapa	1,12	1,13	1,12	1,12	1,13	1,13	1,12	1,12	1,14	1,13

4.3.2 Uusiutumattoman energian primäärienergiakerroin

4.3.2.1 Vaihtoehtoisen lämmön hyötysuhde 90 % ja sähkön 40 %

Taulukko 32. Sähkön ja lämmön kokonaistuotannon keskimääräiset uusiutumattoman energian primäärienergiakertoimet Suomessa vuosina 2000–2008 (määritelmä B). Yhteistuotannolle vaihtoehtoisen lämmöntuotannon hyötysuhde 90 % ja sähköntuotannon hyötysuhde 40 %. Tilastoaineiston lähde [1].

Sähkö	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	ka.
Energiamenetelmä	1,50	1,60	1,64	1,77	1,60	1,49	1,66	1,59	1,43	1,59
Hyödynjakomenetelmä	1,67	1,77	1,82	1,93	1,75	1,67	1,82	1,75	1,59	1,75
Sähkön vaihtoehtoinen tuotantotapa	1,80	1,91	1,97	2,07	1,89	1,82	1,95	1,87	1,72	1,89
Lämmön vaihtoehtoinen tuotantotapa	1,56	1,66	1,71	1,83	1,65	1,55	1,72	1,64	1,47	1,64

Kaukolämpö	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	ka.
Energiamenetelmä	1,04	1,06	1,04	1,03	1,02	0,99	0,99	1,01	0,98	1,02
Hyödynjakomenetelmä	0,78	0,78	0,77	0,77	0,75	0,73	0,74	0,76	0,73	0,76
Sähkön vaihtoehtoinen tuotantotapa	0,48	0,49	0,46	0,46	0,45	0,43	0,46	0,48	0,45	0,46
Lämmön vaihtoehtoinen tuotantotapa	0,99	1,00	0,99	0,99	0,98	0,95	0,95	0,96	0,93	0,97

Teollisuushöyry	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	ka.
Energiamenetelmä	0,51	0,54	0,52	0,52	0,52	0,53	0,48	0,50	0,50	0,51
Hyödynjakomenetelmä	0,44	0,47	0,45	0,45	0,45	0,46	0,42	0,44	0,44	0,45
Sähkön vaihtoehtoinen tuotantotapa	0,43	0,46	0,44	0,44	0,44	0,45	0,41	0,43	0,43	0,44
Lämmön vaihtoehtoinen tuotantotapa	0,46	0,49	0,47	0,47	0,47	0,48	0,44	0,46	0,46	0,47

4.3.2.2 Vaihtoehtoisen lämmön hyötysuhde 90 % ja sähkön 60 %

Taulukko 33. Sähkön ja lämmön kokonaistuotannon keskimääräiset uusiutumattoman energian primäärienergiakertoimet Suomessa vuosina 2000–2008 (määritelmä B). Yhteistuotannolle vaihtoehtoisen lämmöntuotannon hyötysuhde 90 % ja sähköntuotannon hyötysuhde 60 %. Tilastoaineiston lähde [1].

Sähkö	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	ka.
Energiamenetelmä	1,50	1,60	1,64	1,77	1,60	1,49	1,66	1,59	1,43	1,59
Hyödynjakomenetelmä	1,58	1,68	1,73	1,85	1,67	1,58	1,74	1,66	1,50	1,67
Sähkön vaihtoehtoinen tuotantotapa	1,61	1,71	1,76	1,88	1,70	1,61	1,77	1,69	1,54	1,70
Lämmön vaihtoehtoinen tuotantotapa	1,56	1,66	1,71	1,83	1,65	1,55	1,72	1,64	1,47	1,64

Kaukolämpö	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	ka.
Energiamenetelmä	1,04	1,06	1,04	1,03	1,02	0,99	0,99	1,01	0,98	1,02
Hyödynjakomenetelmä	0,91	0,92	0,90	0,90	0,89	0,86	0,87	0,88	0,85	0,89
Sähkön vaihtoehtoinen tuotantotapa	0,83	0,85	0,83	0,82	0,81	0,78	0,79	0,81	0,78	0,81
Lämmön vaihtoehtoinen tuotantotapa	0,99	1,00	0,99	0,99	0,98	0,95	0,95	0,96	0,93	0,97

Teollisuushöyry	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	ka.
Energiamenetelmä	0,51	0,54	0,52	0,52	0,52	0,53	0,48	0,50	0,50	0,51
Hyödynjakomenetelmä	0,48	0,51	0,49	0,49	0,49	0,50	0,46	0,47	0,47	0,48
Sähkön vaihtoehtoinen tuotantotapa	0,49	0,52	0,49	0,50	0,49	0,50	0,46	0,47	0,47	0,49
Lämmön vaihtoehtoinen tuotantotapa	0,46	0,49	0,47	0,47	0,47	0,48	0,44	0,46	0,46	0,47

4.3.3 Ominaispäästökerroin

4.3.3.1 Vaihtoehtoisen lämmön hyötysuhde 90 % ja sähkön 40 %

Taulukko 34. Sähkön ja lämmön kokonaistuotannon keskimääräiset ominaispäästökertoimet Suomessa vuosina 2000–2008. Yhteistuotannolle vaihtoehtoisen lämmöntuotannon hyötysuhde 90 % ja sähköntuotannon hyötysuhde 40 %. Tilastoaineiston lähde [1].

Sähkö	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	ka.
Energiamenetelmä	175	219	241	309	260	161	269	239	175	228
Hyödynjakomenetelmä	221	268	291	354	303	209	313	284	218	273
Sähkön vaihtoehtoinen tuotantotapa	259	306	333	393	339	252	350	321	256	312
Lämmön vaihtoehtoinen tuotantotapa	192	237	259	324	274	177	283	254	187	243

Kaukolämpö	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	ka.
Energiamenetelmä	284	296	290	285	279	264	274	281	264	280
Hyödynjakomenetelmä	210	216	213	208	203	192	201	207	195	205
Sähkön vaihtoehtoinen tuotantotapa	125	132	126	121	116	108	120	126	117	121
Lämmön vaihtoehtoinen tuotantotapa	271	278	276	271	266	252	261	267	253	266

Teollisuushöyry	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	ka.
Energiamenetelmä	123	129	127	125	121	121	110	112	110	120
Hyödynjakomenetelmä	106	110	108	107	104	104	93	96	95	103
Sähkön vaihtoehtoinen tuotantotapa	103	108	106	104	101	102	91	93	92	100
Lämmön vaihtoehtoinen tuotantotapa	111	116	113	112	108	108	98	101	101	108

4.3.3.2 Vaihtoehtoisen lämmön hyötysuhde 90 % ja sähkön 60 %

Taulukko 35. Sähkön ja lämmön kokonaistuotannon keskimääräiset ominaispäästökertoimet Suomessa vuosina 2000–2008. Yhteistuotannolle vaihtoehtoisen lämmöntuotannon hyötysuhde 90 % ja sähköntuotannon hyötysuhde 60 %. Tilastoaineiston lähde [1].

Sähkö	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	ka.
Energiamenetelmä	175	219	241	309	260	161	269	239	175	228
Hyödynjakomenetelmä	198	242	266	331	281	184	290	261	196	250
Sähkön vaihtoehtoinen tuotantotapa	205	250	274	339	288	193	298	269	205	258
Lämmön vaihtoehtoinen tuotantotapa	192	237	259	324	274	177	283	254	187	243

Kaukolämpö	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	ka.
Energiamenetelmä	284	296	290	285	279	264	274	281	264	280
Hyödynjakomenetelmä	247	256	252	247	241	228	238	244	230	243
Sähkön vaihtoehtoinen tuotantotapa	225	236	230	224	219	206	217	224	210	221
Lämmön vaihtoehtoinen tuotantotapa	271	278	276	271	266	252	261	267	253	266

Teollisuushöyry	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	ka.
Energiamenetelmä	123	129	127	125	121	121	110	112	110	120
Hyödynjakomenetelmä	115	121	118	117	113	113	102	104	103	112
Sähkön vaihtoehtoinen tuotantotapa	117	122	120	118	115	115	104	106	104	113
Lämmön vaihtoehtoinen tuotantotapa	111	116	113	112	108	108	98	101	101	108

4.4 Sähköntuotannon kertoimet muissa Euroopan maissa

4.4.1 Primäärienergiakerroin

Euroopan unionin jäsenvaltioiden (EU-27 -alue) keskimääräinen sähköntuotannon kokonaisprimäärienergiakerroin oli vuonna 2007, Eurostatin tilastoja [27] käyttäen ja primäärienergian määritelmää A soveltaen, noin 2,5 (Kuva 29). Kertoimen arvo on likimain yhtä suuri kuin lauhdutusvoiman tyypillinen kerroin. Kertoimet eivät kuitenkaan kuvaa lainkaan samaa asiaa: toinen kuvaa lauhdutusvoimaa ja toinen sähköntuotantoa kokonaisuutena. Kertoimien likimääräinen yhtä suuruus johtuu fossiilisiin polttoaineisiin perustuvan tavanomaisen lämpövoiman suuresta osuudesta EU-27 -alueella sekä siitä, että ydinvoiman primäärienergian laskemiseen sovelletussa menetelmässä (menetelmä A) ydinvoiman primäärienergiahyötysuhde (33 %) on likimain yhtä suuri kuin tavanomaisen lämpövoiman primäärienergiahyötysuhde (noin 40 %). Suomen sähköntuotannon kokonaisprimäärienergiakerroin on Eurostatin tilastoista laskettuna yhtä suuri kuin EU-27 alueen keskimääräinen kerroin.

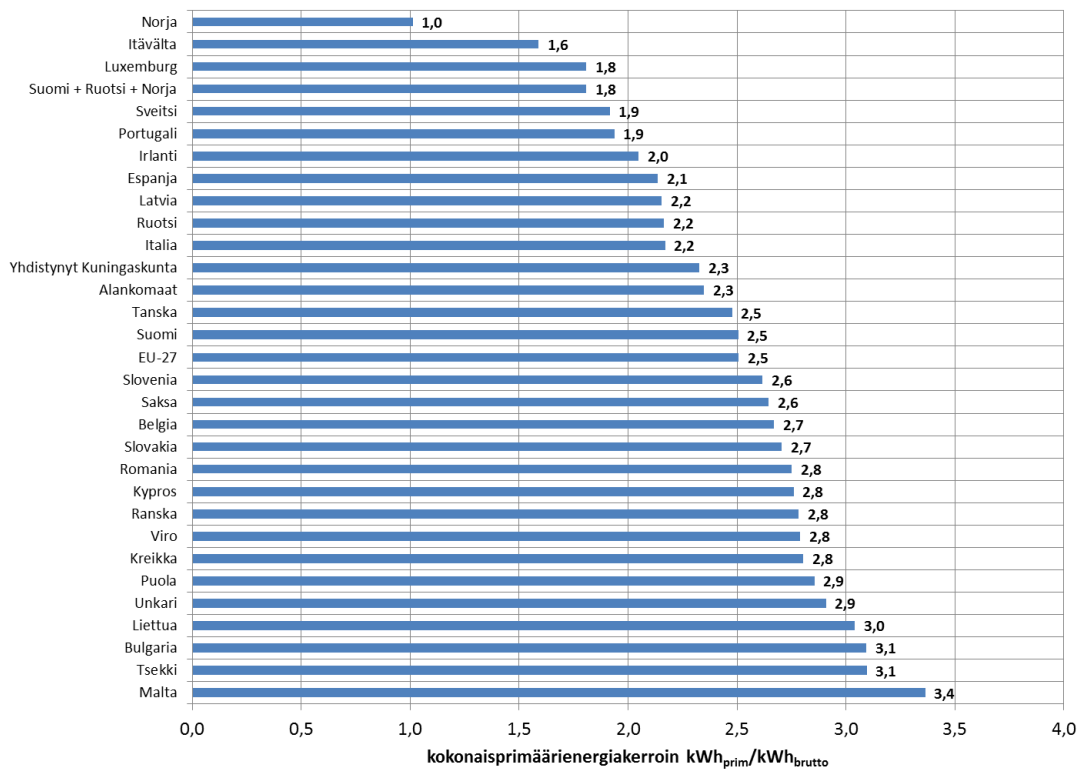
Jos Suomea, Ruotsia ja Norjaa käsitellään yhtenä kokonaisuutena, alueen sähköntuotannon kokonaisprimäärienergiakerroin on noin 1,8 (Kuva 29). Jos sen sijaan em. alueen kertoimen arvossa huomioidaan vain uusiutumaton primäärienergia – eli asetetaan uusiutuvien polttoaineiden sekä vesi- ja tuulivoiman primäärienergia nolaksi, mutta huomioidaan edelleen koko sähköntuotanto – Suomen, Ruotsin ja Norjan yhteinen primäärienergiakerroin on noin 1,0 (Kuva 30). Erityisen selvästi muutos näkyy Norjan kertoimessa, joka ensimmäisessä tapauksessa on noin 1,0 ja jälkimmäisessä käytännössä nolla. Kertoimien suuri muutos johtuu siitä, että Norjan sähköntuotanto perustuu käytännössä kokonaan, ja Ruotsinkin sähköntuotannosta likimain puolet, vesivoimaan.

RES-direktiivin (2009/28/EY) puitteissa lämpöpumpuilla tuotettu lämpö luokitellaan uusituvaksi energiaksi, jos lämpöpumpun lämmöntuotanto on vuositasolla suurempi kuin pumpun kuluttaman sähköenergian tuottamiseen käytetty kokonaisprimäärienergia. RES-direktiivi edellyttää, että sähköntuotannon primäärienergian tarve määritetään Eurostatin tilastoista määritettyä Euroopan unionin keskimäärästä, bruttotuotantoon perustuvaa³², sähköntuotannon kokonaisprimäärienergiahyötysuhdetta käyttäen³³. RES-direktiivin edellyttämän primäärienergiahyötysuhteen arvo on 0,40 (=1/2,5) (Kuva 29)³⁴. Sähköä tuottavien laitosten omakäyttö ja sähköverkon häviöt on huomioitu direktiivissä asettamalla bruttotuotannon ja kuluttajalle toimitetun sähkön suhteeksi kiinteä lukuarvo 1,15. Toisin sanoen, direktiivissä omakäytön ja jakelun huomioivaksi hyötysuhteeksi voimalaitosten bruttotuotannosta sähköverkon läpi kuluttajalle on asetettu arvo 87 % (=1/1,15).

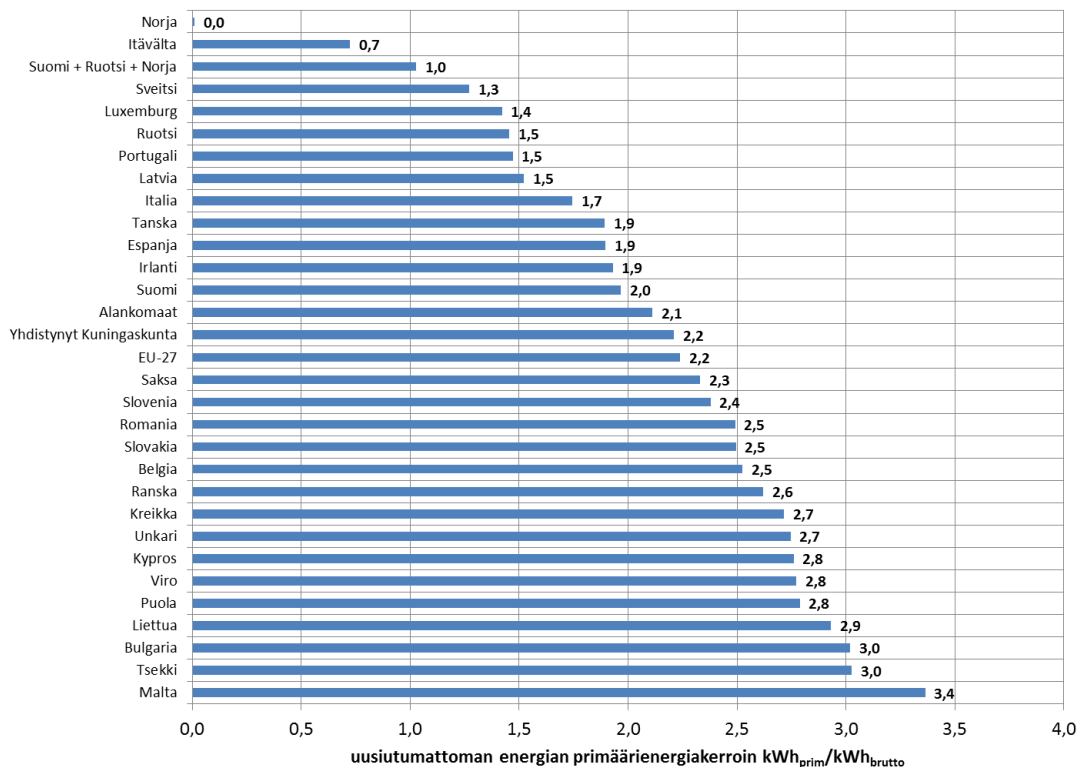
³² Sähkön bruttotuotannolla tarkoitetaan voimalaitosten generaattoreiden tuottamaa sähköenergiaa ja nettotuotannolla voimalaitokselta verkkoon syötettyä tuotantoa. Brutto- ja nettotuotannon erotus kulutetaan laitteisiin ja häviöihin sähköä tuottavassa laitoksessa (ns. omakäyttö). Tässä työssä esitetyissä kertoimissa jakana on, tätä lukua lukuun ottamatta, nettotuotanto. Nettotuotantoon perustuva kerroin on bruttotuotantoon perustuvaa kerrointa suurempi (hyötysuhde on vastaavasti matalampi), koska siinä tuotannoksi lasketaan vain laitoksilta verkkoon syötetty tuotanto (omakäyttö tulee näin automaattisesti huomioiduksi).

³³ Primäärienergiahyötysuhde on sähköntuotannon ja tuotantoon käytetyn primäärienergian suhde. Primäärienergiakerroin primäärienergiahyötysuhteen käänteisluku.

³⁴ Direktiivissä ei itse asiassa määritellä *miten* primäärienergia tulisi laskea. Lienee kuitenkin perusteltua olettaa, että laskennassa tulee käyttää Eurostatin soveltamia primäärienergian määritelmiä (Taulukko 16 ja Taulukko 17). Kirjoittaja on kysynyt kertoimen arvoa myös suoraan Eurostatista. Eurostatin edustajan lähettämässä laskelmassa kertoimen lähtöarvot ja primäärienergian määritelmä olivat samat kuin tässä työssä käytetyt ja kertoimen arvo siten myös 2,5.



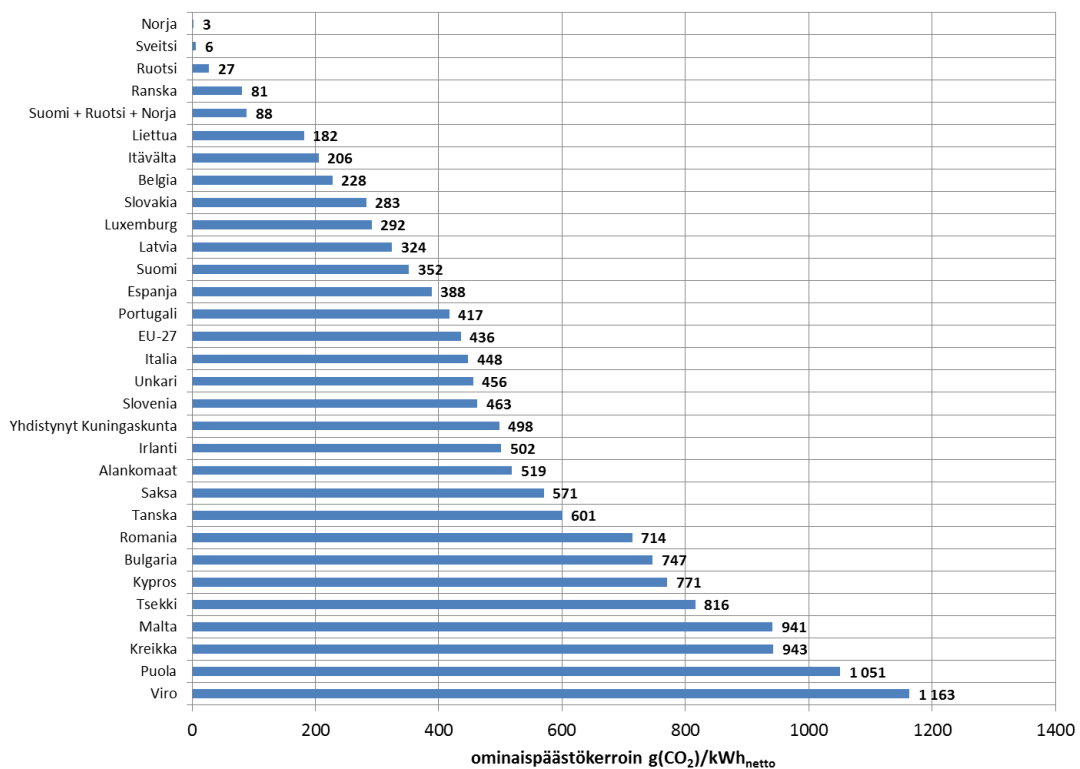
Kuva 29. Sähköntuotannon kokonaisprimäärienergiakerroimet Euroopan valtioissa vuonna 2007 (primäärienergian määritelmä A). Yhteistuotannon jakotavat vaihtelevat maittain. Jakajana bruttotuotanto. Tilastoaineiston lähde [27].



Kuva 30. Sähköntuotannon uusiutumattoman energian primäärienergiakerroimet Euroopan valtioissa vuonna 2007 (primäärienergian määritelmä B). Yhteistuotannon jakotavat vaihtelevat maittain. Jakajana bruttotuotanto. Tilastoaineiston lähde [27].

4.4.2 Ominaispäästökerroin

Euroopan unionissa (EU-27) tuotetun sähkön keskimääräiset ominaispäästöt olivat, Eurostatin tilastoista määritettynä ja IPCC:n polttoaineiden oletuspäästökertoimia [20] käyttäen, vuonna 2007 noin 436 g(CO₂)/kWh (Kuva 31). Suomen päästökerroin oli samaan tilastoaineistoon perustuen hieman EU-27 -alueen keskimääräistä päästökerrointa pienempi, 352 g(CO₂)/kWh. Kerroin on suurempi kuin edellä esitetyt Tilastokeskuksen tilastoihin perustuvat kertoimet, sillä yhteistuotannon polttoaineet on Eurostatin tilastoissa kohdistettu käytännössä kokonaan sähkölle³⁵. Jos Suomen, Ruotsin ja Norjan tuotantoa käsitellään yhtenä kokonaisuutena, alueen sähköntuotannon päästökertoimeksi saadaan Eurostatin tilastoihin perustuen noin 81 g(CO₂)/kWh. Tuontia ja vientiä voidaan käsitellä myös esimerkiksi käyttämällä tuonnille maakohtaista tuotannon primäärienergia- ja päästökertoimia ja viennille Suomen tuotannon keskimääräisiä kertoimia. Näin voidaan helposti muodostaa sähkön hankinnan primäärienergia- ja hiilidioksiditase. Taseen muodostaminen johtaa eri tulokseen kuin Pohjoismaiden käsitteleminen yhtenä kokonaisuutena.



Kuva 31. Sähköntuotannon CO₂-ominaispäästökertoimet Euroopan valtioissa vuonna 2007 (nettotuotannolla jaetut bruttotuotannon päästöt). Yhteistuotannon jakotavat vaihtelevat maittain. Tilastoaineiston lähde [27].

Polttoaineiden päästökertoimina IPCC:n vakiokertoimet [20, Volume 2, Energy, Table 2.2]. Hapetuskerroin kiinteille polttoaineille 0,990 ja muille polttoaineille 0,995. Biopolttoaineiden päästökerroin on nolla.

³⁵ Tilastokeskuksen ja Eurostatin käyttämässä tilastoaineistossa on lisäksi joukko muitakin eroavaisuuksia.

Lähdeluettelo

- 1 Tilastokeskus. Energiatilasto, Vuosikirja 2009 ja Energia CD 2009. Tilastokeskus, 2010. ISBN 978–952–244–249–9 (nid.), ISBN 978–952–244–250–5 (pdf).
- 2 Energiateollisuus ry. Sähkön hankinnan ja polttoaine-energian kuukausitilastot (1990–2009) ja tuntitilastot (2006–2009).
- 3 International Atomic Energy Agency (IAEA). Operating experience with nuclear power stations in member states in 2008.
- 4 Commissariat à l'énergie atomique (CEA). Les centrales nucléaires dans le monde (Nuclear power plants in the world). Edition 2009.
- 5 Säteilyturvakeskus. Ydinenergian käytön turvallisuusvalvonta. Vuosiraportit vuosilta 2006–2008.
- 6 Holttinen H., Stenberg A. Tuulivoiman tuotantotilastot (vuosiraportti 2008). Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), Working Papers 132 (2009). ISBN 978–951–38–7193–2.
- 7 Oy Vesirakentaja. Voimaa vedestä 2007, selvitys vesivoiman lisäämismahdollisuuksista. Oy Vesirakentaja/Energiateollisuus ry, 2008. ISBN 978–952–5615–19–7.
- 8 Energiateollisuus ry. Kaukolämpötilastot.
- 9 United Nations. Studies in Methods, Series F No. 29. Concepts and Methods in Energy Statistics, with Special Reference to Energy Accounts and Balances. United Nations, New York, 1982.
- 10 Sara Øvergaard. Definition of primary and secondary energy. Prepared as input to Standard International Energy Classification (SIEC) in the International Recommendation on Energy Statistics (IRES). Statistics Norway, 2008.
- 11 Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)/The International Energy Agency (IEA), European Union (EU)/Eurostat. Energy Statistics Manual. OECD/IEA, 2005.
- 12 United Nations. Studies in Methods, Series F No. 67. Glossary of Environment Statistics. United Nations, New York, 1997.
- 13 Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)/The International Energy Agency (IEA). Energy Balances of OECD Countries. 2008 Edition. OECD/IEA, 2009.
- 14 Sähköpostikysely: International Energy Agency (IEA). 2009.
- 15 Sähköpostikysely: Eurostat, European Statistical Data Support (ESDS). 2009.
- 16 Sähköpostikysely: United Nations Statistics Division (UNSD), Energy Statistics Section. 2009.
- 17 Renewable Energy Sources Statistics 1989-1994. Statistical Office of the European Communities (Eurostat), 1996. ISBN 92–827–8865–2.
- 18 BP. Statistical Review of World Energy (June 2009).
- 19 The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IPCC, 1996.

- 20 The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). National Greenhouse Gas Inventories Programme. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Japan, 2006. ISBN 4–88788–032–4.
- 21 Statistics Finland. GREENHOUSE GAS EMISSIONS IN FINLAND 1990-2007. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol (25 May 2010).
- 22 Tilastokeskus. Polttoaineluokitus 2010.
- 23 International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). Atomic weights of the elements 2007. Pure and Applied Chemistry, Vol. 81, No. 11, pp. 2131–2156, 2009.
- 24 Neste Oy. Öljyn käyttö kattilalaitoksissa. 1991. ISBN 952–9553–04–8.
- 25 Neste Oil Oy:n tuotetietokortit sekä erikseen pyydettyjä tuote-erien analyysitietoja vuodelta 2009.
- 26 *Kauppa- ja teollisuusministeriön julkaisuna:*
Liikanen J. Yhdistetyn sähkö ja lämmön tuotannon päästöjen jakaminen. Kauppa ja teollisuusministeriö. Tutkimuksia ja raportteja 19/1999. ISBN 951–739–513–2.
Diplomityönä:
Liikanen J., Yhdistetyn sähkö ja lämmön tuotannon päästöjen jakaminen. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, Konetekniikan osasto, 1999.
- 27 European Union (EU)/Eurostat. Energy, Yearly Statistics 2007 (2009 Edition). Eurostat, 2009. ISBN 978-92-79-12787-8.

Liitteet

Liite A Energianlähteiden jakauma kaukolämmön tuotannossa

Taulukko A-1. Kaukolämmön tuotannon energianlähteiden jakauma Suomessa vuonna 2007. [8]

Polttoaineet	Energianlähteiden osuudet (%)			Polttoaineiden osuudet (%)		
	Kokonaistuotanto	Erillistuotanto	Yhteistuotanto	Kokonaistuotanto	Erillistuotanto	Yhteistuotanto
Kivihiili	25,9	5,2	30,4	26,5	5,8	30,5
Raskas polttoöljy	4,2	18,4	1,1	4,3	20,7	1,1
Kevyt polttoöljy	0,4	1,8	0,1	0,4	2,0	0,1
Maakaasu	33,9	28,3	35,2	34,8	31,7	35,4
Turve	20,8	14,9	22,1	21,3	16,7	22,2
Kierrätyspolttoaineet	0,8	0,5	0,8	0,8	0,5	0,8
Biopolttoaineet	11,6	20,2	9,8	11,9	22,6	9,8
Polttoaineet yhteensä (%)	97,7	89,2	99,5	100,0	100,0	100,0
Polttoaineet yhteensä (GWh)	53505	8746	44759			
Muut energianlähteet						
Teollisuuden sekundäärilämpö	1,3	7,2	0,0			
Sähkö	0,0	0,2	0,0			
Lämpöpumpulla talteen otettu lämpö	0,1	0,7	0,0			
Muut	0,9	2,7	0,5			
Muut energianlähteet yhteensä (%)	2,3	10,8	0,5			
Muut energianlähteet yhteensä (GWh)	1275	1061	214			

Taulukko A-2. Turvelajien osuudet kaukolämmön tuotannossa. [8]

	Erillistuotanto	Yhteistuotanto
Jyrsinturve	57,5	99,1
Palaturve	42,5	0,9
Turvepuristeet	0,0	-
Yhteensä	100,0	100,0

Osuudet sisältävät sekä kaukolämpöyritykset että kaukolämmön tukkumyyjät. Yhteistuotannon jakauma koskee sekä kaukolämpöä että kaukolämpövoimaa. Lukuarvo 0,0 tarkoittaa, että pyöristämätön lukuarvo on pienempi kuin 0,05.

Liite B Sähkön tuonti ja vienti

Taulukko B-1. Sähkön hankinta Suomessa vuosina 2000–2008. [1]

Hankinta (TWh)	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Tuotanto	67,3	71,2	71,6	80,4	82,2	67,7	78,6	77,8	74,5	74,6
Nettotuonti (= tuonti - vienti)	11,9	10,0	11,9	4,9	4,9	17,0	11,4	12,6	12,8	10,8
Yhteensä (= kulutus)	79,2	81,2	83,5	85,2	87,0	84,7	90,0	90,4	87,2	85,4

Osuus hankinnasta (%)	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	<- ka.
Tuotanto	85,0	87,7	85,7	94,3	94,4	79,9	87,3	86,1	85,4	87,3
Nettotuonti	15,0	12,3	14,3	5,7	5,6	20,1	12,7	13,9	14,6	12,7
Yhteensä	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Taulukko B-2. Sähkön nettotuonti Suomeen vuosina 2000–2008. [1]

Nettotuonti (TWh)	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Venäjä	4,5	7,7	7,9	11,3	11,1	11,3	11,6	10,2	10,9
Ruotsi	7,4	2,5	4,0	-6,4	-6,2	5,7	-0,2	0,4	-0,5
Norja	0,0	-0,2	0,0	-0,1	-0,1	0,0	0,1	0,1	0,1
Viro	-	-	-	-	-	-	0,0	1,9	2,2
Yhteensä (= tuonti - vienti)	11,9	10,0	11,9	4,9	4,9	17,0	11,4	12,6	12,8
<i>Tuontia yhteensä (+)</i>	<i>11,9</i>	<i>10,2</i>	<i>11,9</i>	<i>11,3</i>	<i>11,1</i>	<i>17,0</i>	<i>11,6</i>	<i>12,6</i>	<i>13,2</i>
<i>Vientiä yhteensä (-)</i>	<i>0,0</i>	<i>0,2</i>	<i>0,0</i>	<i>6,5</i>	<i>6,3</i>	<i>0,0</i>	<i>0,2</i>	<i>0,0</i>	<i>0,5</i>

Osuus nettotuonnista (%)	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Venäjä	37,9	75,6	66,5	100,0	100,0	66,5	99,4	81,0	82,3
Ruotsi	62,1	24,4	33,5	-	-	33,3	-	3,1	-
Norja	-	-	-	-	-	0,2	0,6	0,7	0,8
Viro	-	-	-	-	-	-	-	15,1	16,9
Yhteensä	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Suomesta ei ole sähkön vientiyhteyttä Venäjälle. Osuus tarkoittaa kukin maan positiivisen nettotuonnin osuutta positiivisen nettotuonnin summasta. Arvo 0,0 tarkoittaa, että lukuarvo on pienempi kuin 0,05.

Taulukko B-3. Sähkön tuonti Suomeen vuosina 2000–2008. [1]

Tuonti (TWh)	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Venäjältä	4,5	7,7	7,9	11,3	11,1	11,3	11,6	10,2	10,9
Ruotsista	7,6	4,1	5,4	0,5	0,4	6,5	2,4	3,1	2,8
Norjasta	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2
Virosta	-	-	-	-	-	-	0,0	1,9	2,3
Yhteensä	12,2	11,8	13,5	11,9	11,7	17,9	14,1	15,4	16,1

Osuus tuonnista (%)	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Venäjältä	37,0	65,3	58,9	95,4	95,6	63,0	81,8	66,0	67,6
Ruotsista	61,9	34,4	40,0	3,9	3,6	36,1	17,1	20,3	17,5
Norjasta	1,1	0,3	1,1	0,7	0,8	0,9	1,1	1,3	1,0
Virosta	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,5	14,0
Yhteensä	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Taulukko B-4. Sähkön vienti Suomesta vuosina 2000–2008. [1]

Vienti (TWh)	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Venäjälle	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ruotsiin	0,2	1,6	1,4	6,9	6,6	0,8	2,6	2,7	3,3
Norjaan	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Viroon	-	-	-	-	-	-	0,0	0,0	0,0
Yhteensä	0,3	1,8	1,5	7,0	6,8	0,9	2,7	2,9	3,3

Osuus viennistä (%)	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Ruotsiin	46,9	87,2	89,4	97,7	97,7	86,0	96,6	95,4	98,0
Norjaan	53,1	12,8	10,6	2,3	2,3	14,0	3,1	3,8	1,7
Viroon	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,7	0,3
Yhteensä	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Suomesta ei ole sähkön vientiä Venäjälle.

Liite C Primäärienergian muodollisia määritelmiä

Nykysuomen sanakirja kuvailee sanaa primäärinen seuraavin sanoin: ensimmäinen, alkuperäinen, perustana oleva, ensiasteinen, ensisijainen. Kielitoimiston sanakirja kertoo sanan primaarinen tarkoittavan ensimmäistä, alkuperäistä, perustana olevaa ja ensisijaista. Kuten jo edellä kävi ilmi, suomen kielessä tällä vierasperäisellä sanalla on kaksi rinnakkaista kirjoitusasua: primäärinen ja primaarinen. Primäärinen tarkoittaa toisaalta jotakin josta kaikki on saanut alkunsa (aikajärjestyksessä ensimmäistä) ja toisaalta jotakin tärkeintä, huomattavinta ja merkittävintä. Primääristä seuraa sekundäärinen, jota Nykysuomen sanakirja kuvailee seuraavalla tavalla: aiempaan perustuva, aikaisemmista muodostumista kehittynyt, myöhempi, toisasteinen, toissijainen, toisarvoinen. Kielitoimiston sanakirja kertoo sekundaarisen tarkoittavan myöhempää, toisasteista, toissijaista ja toisarvoista. Sekundäärinen tarkoittaa siis toisaalta jotakin primäärisen jälkeen tulevaa ja toisaalta jotakin arvoltaan, tärkeydeltään ja merkitykseltään vähäistä ja epäolennaista. Primäärisen tapaan sanalla on kaksi rinnakkaista kirjoitusasua. Sekundäärienergian yhteydessä sana sekundäärinen tarkoittaa aikaisempaan perustuvaa.

Yhdistyneiden kansakuntien julkaisemassa, energiatilastointia yksityiskohtaisesti käsittelevässä, teoksessa *Concepts and Methods in Energy Statistics, with Special Reference to Energy Accounts and Balances* [9] sanojen primäärinen ja sekundäärinen käytön taustaa valotetaan polttoaineiden osalta seuraavalla tavalla:

It has been customary to speak of those sources of energy that occur naturally such as coal, crude oil and natural gas, as "primary fuels", and those that are derived from these primary fuels, such as coke, petroleum products and gas-works gas, as "secondary fuels" (One should now add fissionable materials to the list of primary fuels.). A more formal definition would state that primary fuels are not derived from any other source of energy.

Luonnossa sellaisenaan esiintyviä energianlähteitä (tässä tapauksessa polttoaineita), kuten kivihiihtä, raakaöljyä, maakaasua ja fissiokelpoisia aineita on siis energiatilastoinnissa ollut tapana kutsua "primäärisiksi polttoaineiksi" ja primäärisistä polttoaineista jalostettuja polttoaineita "sekundäärisiksi polttoaineiksi". Muodollisesti määriteltynä primäärisiä polttoaineita siis ei ole jalostettu mistään muusta energianlähteestä (tässä tapauksessa sellaisesta aineesta, joka jo ennen jalostamista on ollut polttokelpoista). Primääri- ja sekundäärienergialle teoksessa suositellaan seuraavia määritelmiä, joita voitaneen pitää energiatilastoinnissa nykyisin käytössä olevina kansainvälisesti hyväksytyinä primääri- ja sekundäärienergian määritelminä:

Primary energy should be used to designate energy from sources that involve only extraction or capture, with or without separation from contiguous material, cleaning or grading, before the energy embodied in that source can be converted into heat or mechanical work. Secondary energy should be used to designate energy from all sources of energy that result from transformation of primary sources.

Primäärienergia määritellään siis sellaisista lähteistä *saaduksi* energiaksi, jotka ovat joko luonnostaan tai viimeistään, puhdistamisen ja lajittelun jälkeen siinä tilassa, että niiden energiasisältö voidaan muuntaa lämmöksi tai mekaaniseksi työksi. Sekundäärienergia määritellään kaikista sellaisista lähteistä *saaduksi* energiaksi, jotka on saatu tai jalostettu primäärisistä energianlähteistä.

Yhdistyneet kansakunnat valmistelee tätä työtä kirjoitettaessa yhteistyössä monien muiden tilastollisten toimijoiden kanssa energiatilastoinnin ohjeistoa, jolle on annettu nimeksi International Recommendation on Energy Statistics (IRES). Ohjeiston valmisteluvaiheessa primääri- ja sekundäärienergialle on ehdotettu muun muassa seuraavia määritelmiä [10]:

Primary energy is energy embodied in sources that involve human-induced extraction or capture, which may include separation from contiguous material, cleaning or grading, to make the energy available for trade, use or transformation. Secondary energy is energy embodied in commodities that comes from human-induced energy transformation.

Tämän määritelmän mukaan primäärienergia on sellaisiin lähteisiin *sisältyvää* energiaa, jotka ovat joko luonnostaan tai viimeistään puhdistamisen ja lajittelun jälkeen siinä tilassa, että niiden energiasisältö on kaupattavissa, käytettävissä tai muunnettavissa toiseen muotoon. Sekundäärienergia määritellään sellaisten energiahyödykkeiden *sisältämäksi* energiaksi, jotka on saatu ihmisen aikaansaamien energiamuunnosten tuloksena. Energiatilastoinnissa energiahyödyke (energy commodity) on yleisnimi, jolla

tarkoitetaan energianlähteistä saatua energiaa (energian tuotantoa) sekä energianlähteitä (yleensä vain polttoaineita). Energiamuunnoksilla (energy transformation) tarkoitetaan energian muodon muuntamista toiseen muotoon (esimerkiksi lämmöstä sähköksi) sekä energianlähteiden jalostamista uusiksi aineiksi (esimerkiksi raakaöljyn jalostamista bensiiniksi).

IEA:n ja Eurostatin yhteistyönä laatimassa julkaisussa Energy Statistics Manual [11] primääristä ja sekundääristä energiaa kuvaillaan seuraavin sanoin:

Energy commodities are either extracted or captured directly from natural resources (and are termed primary) such as crude oil, hard coal, natural gas, or are produced from primary commodities. All energy commodities which are not primary but produced from primary commodities are termed secondary commodities. Secondary energy comes from the transformation of primary or secondary energy.

Energiahyödykkeitä voidaan siis saada suoraan luonnosta, jolloin niitä kutsutaan primäärisiksi hyödykkeiksi, tai niitä voidaan tuottaa primäärisistä hyödykkeistä. Kaikkia primäärisistä energiahyödykkeistä tuotettuja hyödykkeitä kutsutaan sekundäärisiksi hyödykkeiksi.

Yhdistyneiden kansakuntien julkaisussa Glossary of Environment Statistics [12] primäärienergian kulutus määritellään seuraavalla tavalla:

Primary energy consumption: direct use at the source, or supply to users without transformation, of crude energy, that is, energy that has not been subjected to any conversion or transformation process.

Primäärienergian kulutus määritellään tässä tapauksessa raakaenergiana, joka on käytetty joko suoraan energianlähteen esiintymispaikalla tai toimitettu käyttäjille sitä muuttamatta. Toisin sanoen primäärienergia määritellään energiaksi, jota ei ole jalostettu tai muunnettu millään tavalla (tässä määritelmässä energialla tarkoitetaan energiahyödykkeitä).

Liite D Kertoimiin liittyviä yksityiskohtia

Tilastokeskuksen Energia CD 2009 vuosi 2005

Tässä työssä Suomea koskevien arvojen lähteenä on Tilastokeskuksen energiatilastoinnin Vuosikirja 2009 ja siihen liittyvä Energia CD 2009. Energia CD 2009:llä sähkön ja lämmöntuotannon polttoaine-energia ja päästöt on esitetty sekä energia- että hyödynjakomenetelmällä määritettyinä. Energia CD 2009:ltä ei kuitenkaan löydy vuoden 2005 hyödynjakomenetelmällä määritettyjä päästöjä ja polttoaine-energiaa, sillä vuoden 2005 hyödynjakomenetelmää koskevaan taulukkoon oli CD:tä laadittaessa liitetty vahingossa vuoden 2005 energiamenetelmällä laaditut arvot (kirjoittaja on ilmoittanut em. virheestä Tilastokeskuksen energiatilastoja laativille henkilöille). Em. syystä vuoden 2005 hyödynjakomenetelmällä laaditut arvot on tässä työssä korvattu Energia CD 2008:lla esitetyillä vuoden 2005 arvoilla.

Energia CD 2009:n ja Energia CD 2008:n välillä on jotakin eroja mm. polttoaineiden päästökertoimissa, polttoaineiden luokittelussa ja yhteistuotannon lauhdutustuotannon huomioimisessa (lasketaan osaksi lauhdutustuotantoa). Edellä mainituista syistä myös erillisen tavanomaisen lämpövoiman (lauhdutusvoiman) sekä kaukolämmön ja teollisuuslämmön erillistuotannon vuoden 2005 lukuarvot (polttoaine-energia, päästöt, kertoimet jne.) eroavat toisistaan energia- ja hyödynjakomenetelmää koskevissa kuvissa ja taulukoissa. Muiden vuosien osalta lukuarvot ovat samoja energia- ja hyödynjakomenetelmässä, sillä yhteistuotannon jakotavat eivät vaikuta erillistuotantoon.

Tuotannon kertoimien osoittaja ja nimittäjä (jaettava ja jakaja)

Tässä työssä Suomen sähköntuotantoa koskevien kertoimien jakajana on ja aina sähkön nettotuotanto. Näin on menetelty myös luvun 4.4.2 eurooppalaisia päästökertoimia laskettaessa. Luvun 4.4.1 primäärienergiakertoimissa jakajana on sen sijaan sähkön bruttotuotanto. Sähkön nettotuotannolla tarkoitetaan voimalaitokselta verkkoon syötettyä ja bruttotuotannolla voimalaitosten generaattoreiden tuottamaa tehoa ja energiamäärää. Brutto- ja nettotuotannon erotus kulutetaan (laitteisiin ja häviöihin) voimalaitoksessa (ns. omakäyttö). Kaukolämmön kertoimet perustuvat Tilastokeskuksen sähköntuotantotilastojen yhteydessä esitettyyn tuotantoon, polttoaine-energiaan ja päästöihin. Kaukolämmön tuotannon osalta tuotannon mittauskohdan määrittely on osin epämääräinen.

Tilastokeskuksen tilastoissa esitetty polttoaine-energia (ts. primäärienergia) ja päästöt vastaavat aina laitosten kokonaistuotantoa eli bruttotuotantoa. Polttoaineet sisältävät aina siis myös laitoksella käytetyn sekä laitoksella häviöihin kuluneen tuotannon polttoaineet (ennen verkkoon syöttämistä). Tilastokeskus laskee vesi-, tuuli- ja ydinvoiman primäärienergian sähkön nettotuotannosta. Tätä käytäntöä on noudatettu myös tässä työssä esitettyjen kertoimien osalta, lukuun ottamatta lukua 4.4.1, jossa em. tuotantomuotojen primäärienergia on laskettu sähkön bruttotuotannosta.

Jos kertoimissa halutaan huomioida sähkö- ja kaukolämpöverkon häviöt (kuitenkin em. kaukolämmön mittauskohdan epämääräisyys huomioiden), kertoimet voidaan jakaa jakelun oletetulla hyötysuhteella. Jos siis esimerkiksi sähköverkon häviöksi oletetaan sähkön nettotuotannosta kuluttajalle 5 %, vuoden 2007 hyödynjakomenetelmään ja primäärienergian määritelmään A perustuva kokonaisprimäärienergiakerroin (Kuva 19 tai Taulukko G-1) 2,20 jaetaan luvulla 0,95, jolloin kertoimeksi saadaan noin 2,32 (=2,20/0,95).

Kaikki tässä työssä esitetyt hiilidioksidipäästöt ja ominaispäästökertoimet koskevat vain energian tuotannossa polttoaineiden palamisesta aiheutuneita hiilidioksidipäästöjä (Tilastokeskuksen tilastoihin perustuen). Kyse ei ole hiilidioksidiekvivalenttipäästöistä (ts. päästöistä, joissa muiden kasvihuonekaasujen määrä on esitetty ilmastolliselta vaikutukseltaan hiilidioksidipäästöjä vastaavina hiilidioksidipäästöinä) eikä päästöissä ole huomioitu välillisiä päästöjä (kuten polttoaineiden kuljettamisen aiheuttamia päästöjä). Uusiutuvien polttoaineiden päästökertoimet kaikissa kertoimissa asetettu nolaksi. Polttoaine-energia (ts. polttoaineiden primäärienergia) ja muiden energianlähteiden primäärienergia tarkoittaa vastaavasti kaikissa kertoimissa energian tuotantoon käytettyä primäärienergiaa. Välillistä primäärienergian kulutusta (kuten poltto-aineiden jalostamista ja kuljettamista) ei ole huomioitu.

Lämmön tuotantoon käytetty sähkö ja lämpö

Suomessa lämmön erillistuotantoon käytetään vähäisessä määrin sähköä (sekä suoraan että lämpöpump-
pujen käyttämiseen). Tilastokeskuksen tilastoissa lämmön tuotantoon käytetyn sähkön polttoaine-energia
ja päästöt sisältyvät sähköntuotannon päästöihin. Lämmön tuotantoon suoraan käytetty sähköenergia ja
lämpöpumpuilla tuotettu lämpö lasketaan osaksi tuotantoon käytettyä energiaa sellaisenaan. Polttoaine-
energia ja päästöt huomioidaan vain sähköntuotantotilastoissa, sillä muuten ne molemmat tulisivat
huomioiduiksi kahteen kertaan (kerran sähköntuotanto- kerran lämmöntuotantotilastoissa). Vastaavaa
käytäntöä sovelletaan myös esim. absorptiolämpöpumppujen käyttämiseen käytettyyn lämpöön (poltto-
aineet ja päästöt sisältyvät esim. kaukolämmön tuotantoon ja lämpöpumpun lämpö- ja jäähdytysenergian
tuotanto lasketaan osaksi tuotantoon käytettyä energiaa sellaisenaan).

Liite E Uusiutuvien energianlähteiden osuus

E.1 Primäärienergian määritelmät A ja B

Taulukko E-1. Uusiutuvien energianlähteiden osuus sähkön ja lämmön tuotantoon käytetystä kokonais-primäärienergiasta primäärienergian määritelmiin A ja B perustuen (ydinvoiman hyötysuhde 33 %).

Yhteistuotannon energianlähteet jaettu hyödynjakomenetelmällä. Tilastoaineiston lähde [1].

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	ka.
Sähkön erillistuotanto										
Vesivoima	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Tuulivoima	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Ydinvoima	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Erillinen tavanomainen lämpövoima	9,3	8,6	6,8	6,3	7,9	20,6	9,3	8,1	18,1	9,3
Yhteistuotanto, kaukolämpö	10,8	9,6	10,2	10,4	11,8	13,7	13,8	11,9	14,5	11,9
Kaukolämpövoima	9,1	8,0	8,7	8,8	10,1	11,8	12,0	10,3	12,3	10,1
Kaukolämpö	12,9	11,7	12,1	12,5	14,0	16,2	16,1	14,0	17,2	14,1
Yhteistuotanto, teollisuus	67,3	64,8	66,5	66,5	68,4	67,9	68,9	69,2	70,0	67,7
Teollisuusvoima	63,1	60,1	61,4	59,8	63,7	62,4	62,6	64,0	62,8	62,2
Teollisuushöyry	69,2	67,0	68,8	69,7	70,8	70,6	71,9	71,6	73,4	70,3
Lämmön erillistuotanto										
Kaukolämpö	11,7	12,9	14,2	14,9	16,0	19,2	18,7	18,3	20,2	16,2
Teollisuushöyry	22,5	22,7	24,7	22,5	20,9	19,8	23,4	21,6	21,8	22,2
Sähkön- ja lämmöntuotanto polttoaineista										
Sähkö	28,4	23,2	23,0	18,7	22,5	31,5	23,5	24,0	29,9	25,0
Kaukolämpö	12,6	12,0	12,7	13,2	14,6	17,0	16,9	15,3	18,0	14,7
Teollisuushöyry	60,4	58,0	60,0	60,1	60,2	59,7	62,6	61,0	61,4	60,4
Sähkön tuotanto yhteensä	22,8	19,8	18,9	16,2	20,7	23,3	19,6	20,7	24,9	20,8
Kaukolämmön tuotanto yhteensä	12,6	12,0	12,7	13,2	14,6	17,0	16,9	15,3	18,0	14,7
Teollisuushöyryn tuotanto yhteensä	60,4	58,0	60,0	60,1	60,2	59,7	62,6	61,0	61,4	60,4

Taulukko E-2. Uusiutuvien energianlähteiden osuus sähkön ja lämmön tuotantoon käytetystä kokonais-primäärienergiasta primäärienergian määritelmiin A ja B perustuen (ydinvoiman hyötysuhde 33 %). Yhteistuotannon energianlähteet jaettu energiamenetelmällä. Tilastoaineiston lähde [1].

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	ka.
Sähkön erillistuotanto										
Vesivoima	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Tuulivoima	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Ydinvoima	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Erillinen tavanomainen lämpövoima	9,3	8,6	6,8	6,3	7,9	20,5	9,3	8,1	18,1	9,3
Yhteistuotanto, kaukolämpö										
Kaukolämpövoima	10,8	9,6	10,2	10,4	11,8	13,7	13,8	11,9	14,5	11,9
Kaukolämpö	8,6	7,5	8,3	8,2	9,6	11,1	11,4	9,7	11,6	9,6
Kaukolämpö	12,1	10,9	11,4	11,8	13,2	15,2	15,3	13,2	16,2	13,3
Yhteistuotanto, teollisuus										
Teollisuusvoima	67,3	64,8	66,5	66,5	68,4	67,9	68,9	69,2	70,0	67,7
Teollisuusvoima	61,1	57,7	59,2	57,2	61,6	60,0	60,2	61,7	60,1	59,9
Teollisuushöyry	68,7	66,4	68,2	68,8	70,1	69,8	71,0	70,9	72,4	69,6
Lämmön erillistuotanto										
Kaukolämpö	11,7	12,9	14,2	14,9	16,0	19,2	18,7	18,3	20,2	16,2
Teollisuushöyry	22,5	22,7	24,7	22,5	20,9	19,8	23,4	21,6	21,8	22,2
Sähkön- ja lämmöntuotanto polttoaineista										
Sähkö	23,9	19,2	18,7	14,8	18,3	28,2	19,3	19,5	26,4	20,9
Kaukolämpö	12,0	11,3	11,9	12,4	13,8	16,1	16,1	14,4	17,1	13,9
Teollisuushöyry	61,1	58,7	60,6	60,6	61,0	60,4	63,1	61,8	62,1	61,1
Sähkön tuotanto yhteensä										
Sähkön tuotanto yhteensä	20,3	17,7	16,3	13,8	18,4	21,0	17,0	18,3	22,8	18,4
Kaukolämmön tuotanto yhteensä										
Kaukolämmön tuotanto yhteensä	12,0	11,3	11,9	12,4	13,8	16,1	16,1	14,4	17,1	13,9
Teollisuushöyryn tuotanto yhteensä										
Teollisuushöyryn tuotanto yhteensä	61,1	58,7	60,6	60,6	61,0	60,4	63,1	61,8	62,1	61,1

E.2 Primäärienergian määritelmät C ja D

Taulukko E-3. Uusiutuvien energianlähteiden osuus sähkön ja lämmön tuotantoon käytetystä kokonaisprimäärienergiasta primäärienergian määritelmiin C ja D perustuen (ydinvoiman hyötysuhde 100 %). Yhteistuotannon energianlähteet jaettu hyödynjakomenetelmällä. Tilastoaineiston lähde [1].

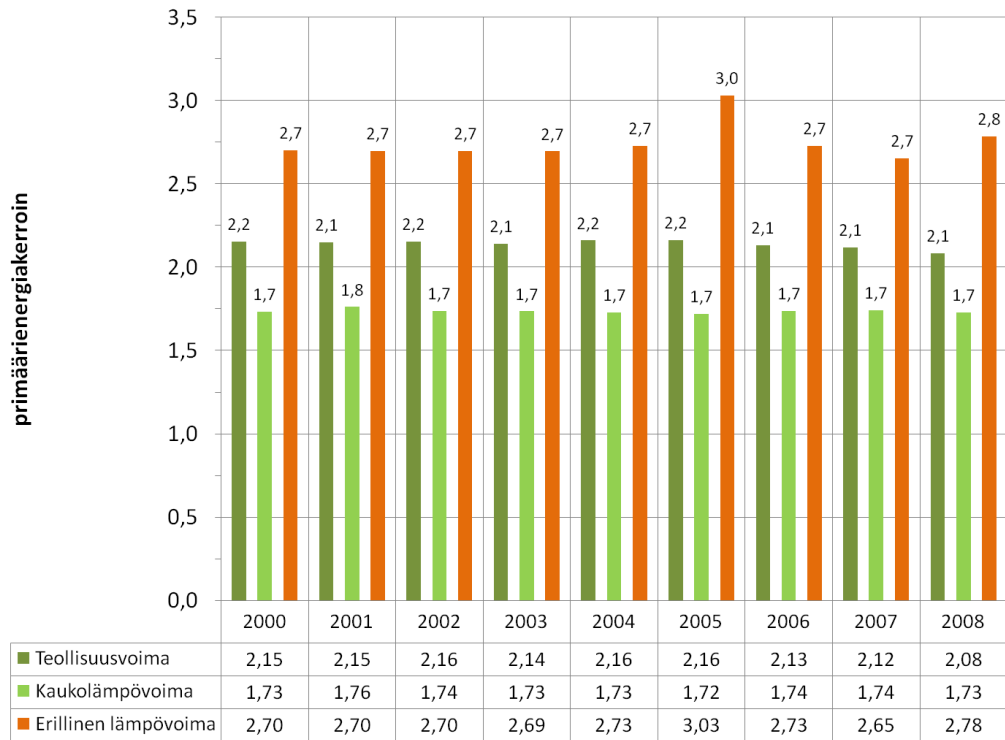
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	ka.
Sähkön erillistuotanto										
Vesivoima	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Tuulivoima	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Ydinvoima	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Erillinen tavanomainen lämpövoima	9,3	8,6	6,8	6,3	7,9	20,6	9,3	8,1	18,1	9,3
Yhteistuotanto, kaukolämpö										
Kaukolämpövoima	10,8	9,6	10,2	10,4	11,8	13,7	13,8	11,9	14,5	11,9
Kaukolämpö	9,1	8,0	8,7	8,8	10,1	11,8	12,0	10,3	12,3	10,1
Kaukolämpö	12,9	11,7	12,1	12,5	14,0	16,2	16,1	14,0	17,2	14,1
Yhteistuotanto, teollisuus										
Teollisuusvoima	67,3	64,8	66,5	66,5	68,4	67,9	68,9	69,2	70,0	67,7
Teollisuusvoima	63,1	60,1	61,4	59,8	63,7	62,4	62,6	64,0	62,8	62,2
Teollisuushöyry	69,2	67,0	68,8	69,7	70,8	70,6	71,9	71,6	73,4	70,3
Lämmön erillistuotanto										
Kaukolämpö	11,7	12,9	14,2	14,9	16,0	19,2	18,7	18,3	20,2	16,2
Teollisuushöyry	22,5	22,7	24,7	22,5	20,9	19,8	23,4	21,6	21,8	22,2
Sähkön- ja lämmöntuotanto polttoaineista										
Sähkö	28,4	23,2	23,0	18,7	22,5	31,5	23,5	24,0	29,9	25,0
Kaukolämpö	12,6	12,0	12,7	13,2	14,6	17,0	16,9	15,3	18,0	14,7
Teollisuushöyry	60,4	58,0	60,0	60,1	60,2	59,7	62,6	61,0	61,4	60,4
Sähkön tuotanto yhteensä										
Sähkön tuotanto yhteensä	32,6	27,6	25,8	21,3	27,4	33,7	26,2	28,3	34,7	28,6
Kaukolämmön tuotanto yhteensä										
Kaukolämmön tuotanto yhteensä	12,6	12,0	12,7	13,2	14,6	17,0	16,9	15,3	18,0	14,7
Teollisuushöyryn tuotanto yhteensä										
Teollisuushöyryn tuotanto yhteensä	60,4	58,0	60,0	60,1	60,2	59,7	62,6	61,0	61,4	60,4

Taulukko E-4. Uusiutuvien energianlähteiden osuus sähkön ja lämmön tuotantoon käytetystä kokonais-primäärienergiasta primäärienergian määritelmiin C ja D perustuen (ydinvoiman hyötysuhde 100 %). Yhteistuotannon energianlähteet jaettu energiamenetelmällä. Tilastoaineiston lähde [1].

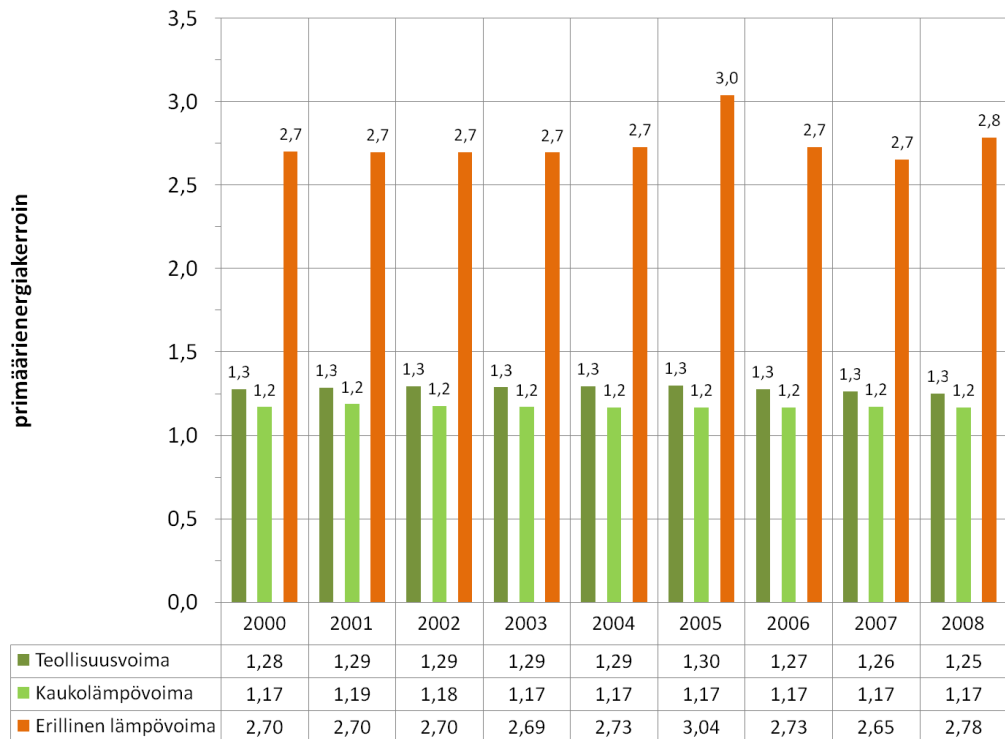
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	ka.
Sähkön erillistuotanto										
Vesivoima	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Tuulivoima	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Ydinvoima	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Erillinen tavanomainen lämpövoima	9,3	8,6	6,8	6,3	7,9	20,5	9,3	8,1	18,1	9,3
Yhteistuotanto, kaukolämpö										
Kaukolämpövoima	10,8	9,6	10,2	10,4	11,8	13,7	13,8	11,9	14,5	11,9
Kaukolämpö	8,6	7,5	8,3	8,2	9,6	11,1	11,4	9,7	11,6	9,6
Kaukolämpö	12,1	10,9	11,4	11,8	13,2	15,2	15,3	13,2	16,2	13,3
Yhteistuotanto, teollisuus										
Teollisuusvoima	67,3	64,8	66,5	66,5	68,4	67,9	68,9	69,2	70,0	67,7
Teollisuusvoima	61,1	57,7	59,2	57,2	61,6	60,0	60,2	61,7	60,1	59,9
Teollisuushöyry	68,7	66,4	68,2	68,8	70,1	69,8	71,0	70,9	72,4	69,6
Lämmön erillistuotanto										
Kaukolämpö	11,7	12,9	14,2	14,9	16,0	19,2	18,7	18,3	20,2	16,2
Teollisuushöyry	22,5	22,7	24,7	22,5	20,9	19,8	23,4	21,6	21,8	22,2
Sähkön- ja lämmöntuotanto polttoaineista										
Sähkö	23,9	19,2	18,7	14,8	18,3	28,2	19,3	19,5	26,4	20,9
Kaukolämpö	12,0	11,3	11,9	12,4	13,8	16,1	16,1	14,4	17,1	13,9
Teollisuushöyry	61,1	58,7	60,6	60,6	61,0	60,4	63,1	61,8	62,1	61,1
Sähkön tuotanto yhteensä										
Sähkön tuotanto yhteensä	30,9	25,9	23,5	18,8	25,2	32,3	23,6	26,1	33,5	26,6
Kaukolämmön tuotanto yhteensä										
Kaukolämmön tuotanto yhteensä	12,0	11,3	11,9	12,4	13,8	16,1	16,1	14,4	17,1	13,9
Teollisuushöyryn tuotanto yhteensä										
Teollisuushöyryn tuotanto yhteensä	61,1	58,7	60,6	60,6	61,0	60,4	63,1	61,8	62,1	61,1

Liite F Tuotantomuotojen kertoimet kuvina

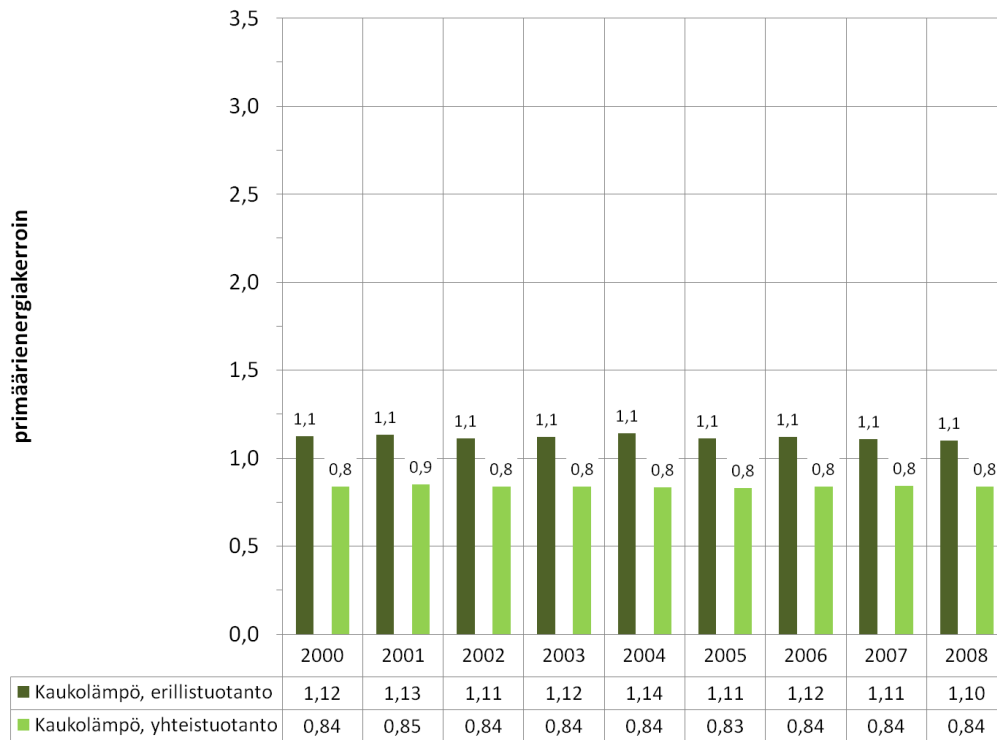
F.1 Kokonaisprimäärienergiakertoimet



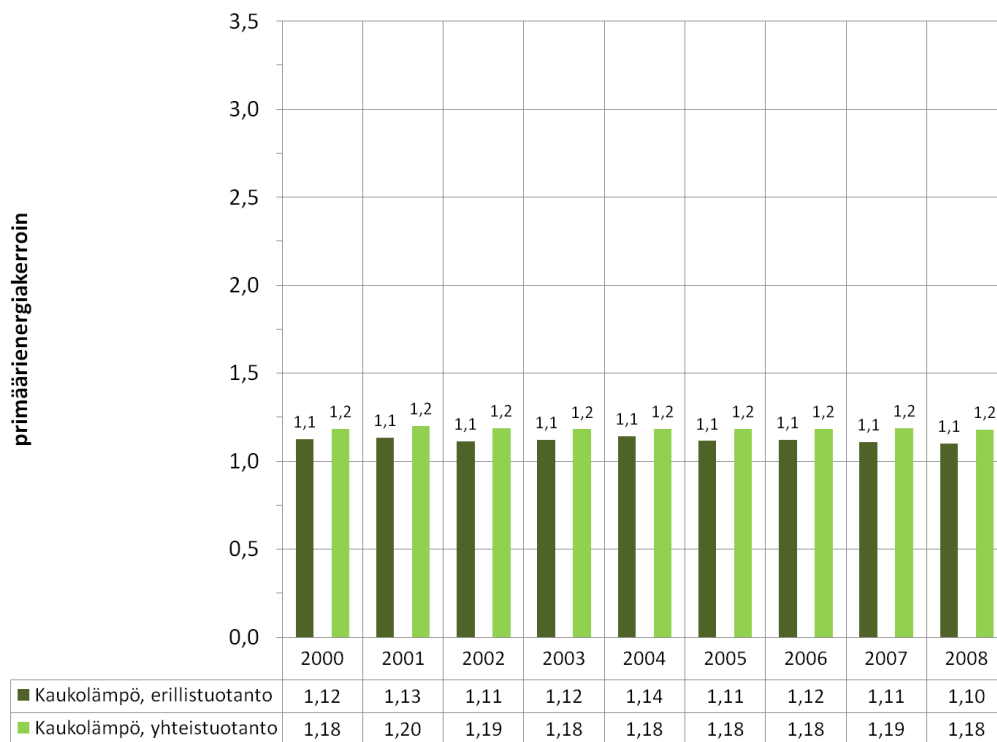
Kuva F-1. Sähkön tuotantomuotojen kokonaisprimäärienergiakertoimet Suomessa vuosina 2000–2008. (vaihtoehdot A ja C). Hyödynjakomenetelmä. Tilastoaineiston lähde [1, taulukko 3.4.4].



Kuva F-2. Sähkön tuotantomuotojen kokonaisprimäärienergiakertoimet Suomessa vuosina 2000–2008 (vaihtoehdot A ja C). Energiamenetelmä. Tilastoaineiston lähde [1, taulukko 3.4.3].

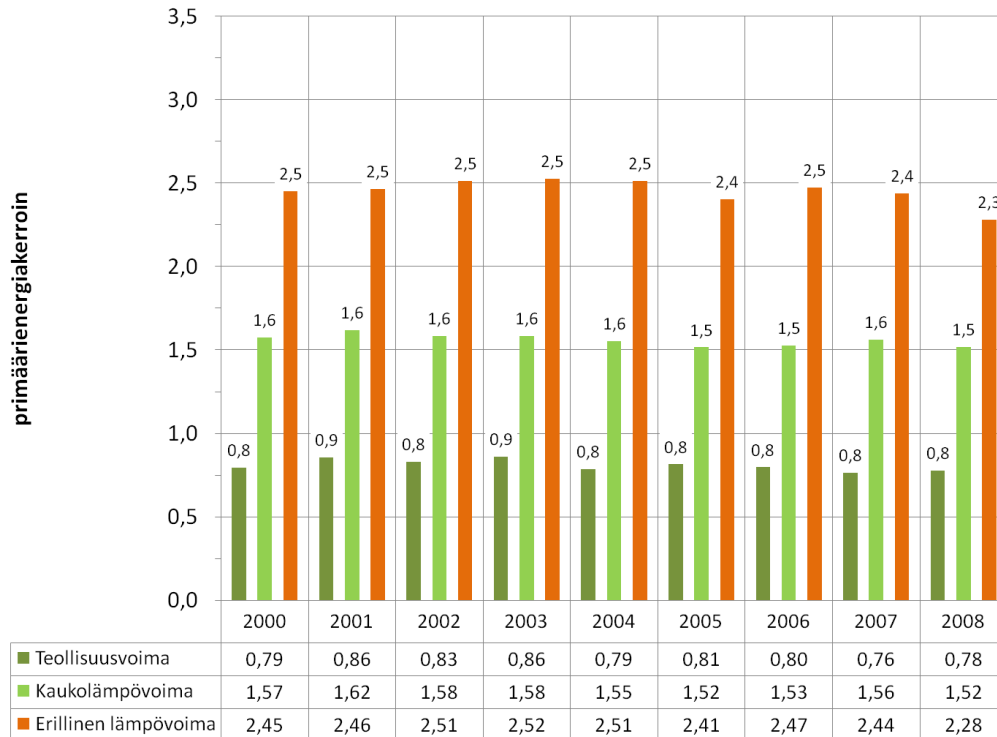


Kuva F-3. Kaukolämmön tuotantomuotojen kokonaisprimäärienergiakertoimet Suomessa vuosina 2000–2008 (vaihtoehdot A ja C). Hyödynjakomenetelmä. Tilastoaineiston lähde [1, taulukko 3.4.4].

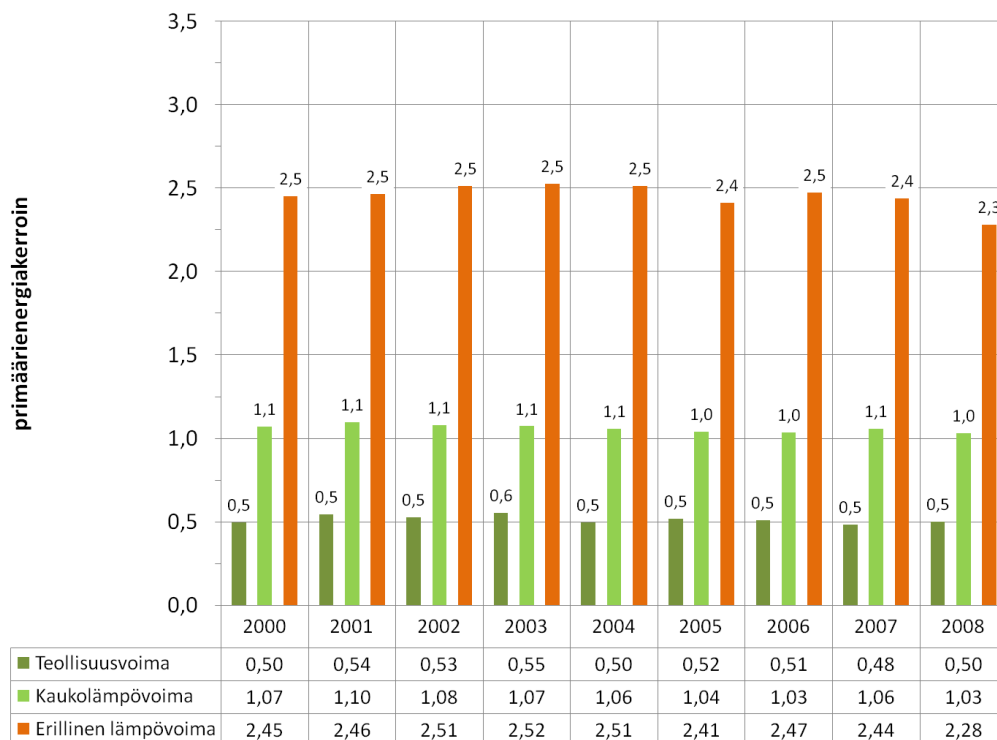


Kuva F-4. Kaukolämmön tuotantomuotojen kokonaisprimäärienergiakertoimet Suomessa vuosina 2000–2008 (vaihtoehdot A ja C). Energiamenetelmä. Tilastoaineiston lähde [1, taulukko 3.4.3].

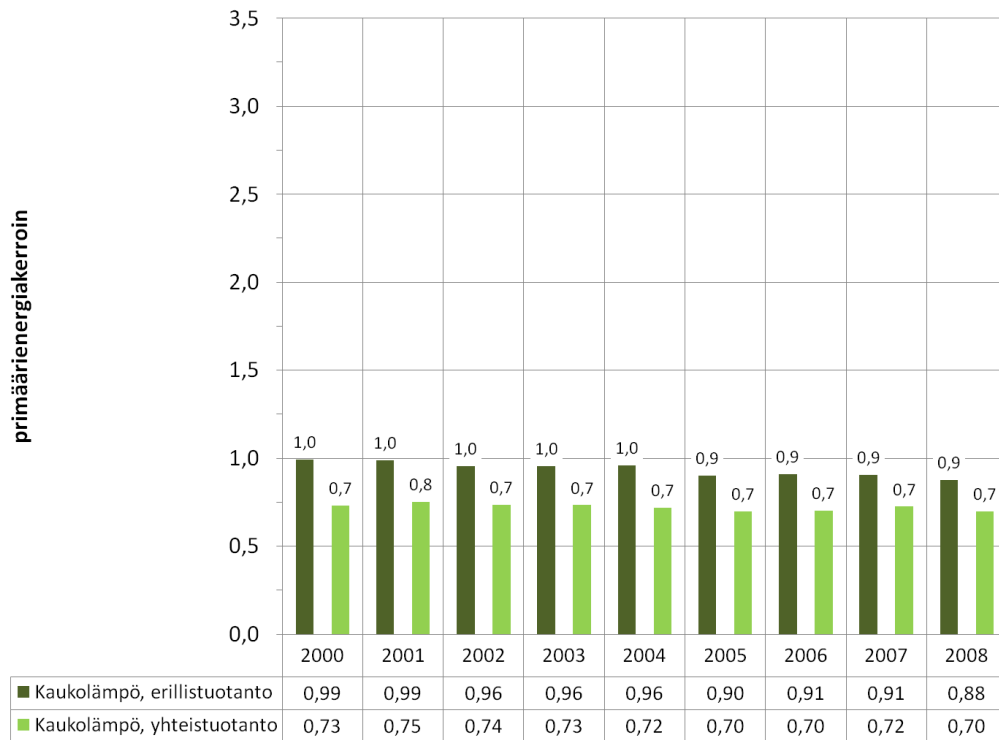
F.2 Uusiutumattoman energian primäärienergiakertoimet



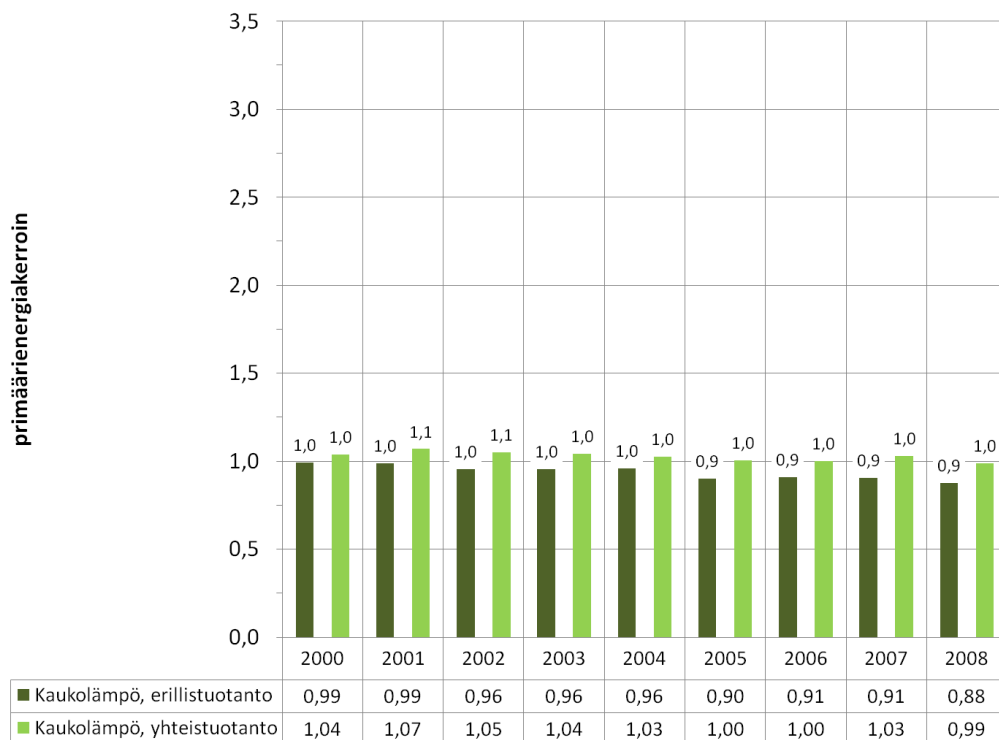
Kuva F-5. Sähkön tuotantomuotojen uusiutumattoman energian primäärienergiakertoimet Suomessa vuosina 2000–2008 (vaihtoehdot B ja D). Hyödynjakomenetelmä. Tilastoaineiston lähde [1, taulukko 3.4.4].



Kuva F-6. Sähkön tuotantomuotojen uusiutumattoman energian primäärienergiakertoimet Suomessa vuosina 2000–2008 (vaihtoehdot B ja D). Energiamenetelmä. Tilastoaineiston lähde [1, taulukko 3.4.3].

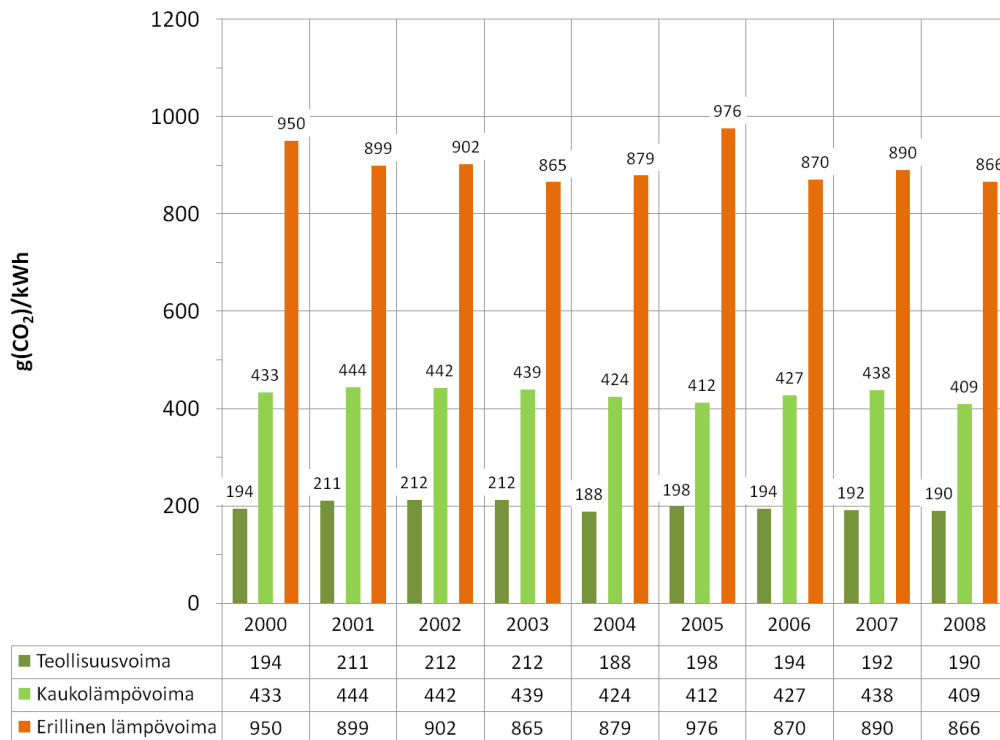


Kuva F-7. Kaukolämmön tuotantomuotojen uusiutumattoman energian primäärienergiakertoimet Suomessa vuosina 2000–2008 (vaihtoehdot C ja D). Hyödynjakomenetelmä. Tilastoaineiston lähde [1, taulukko 3.4.4].

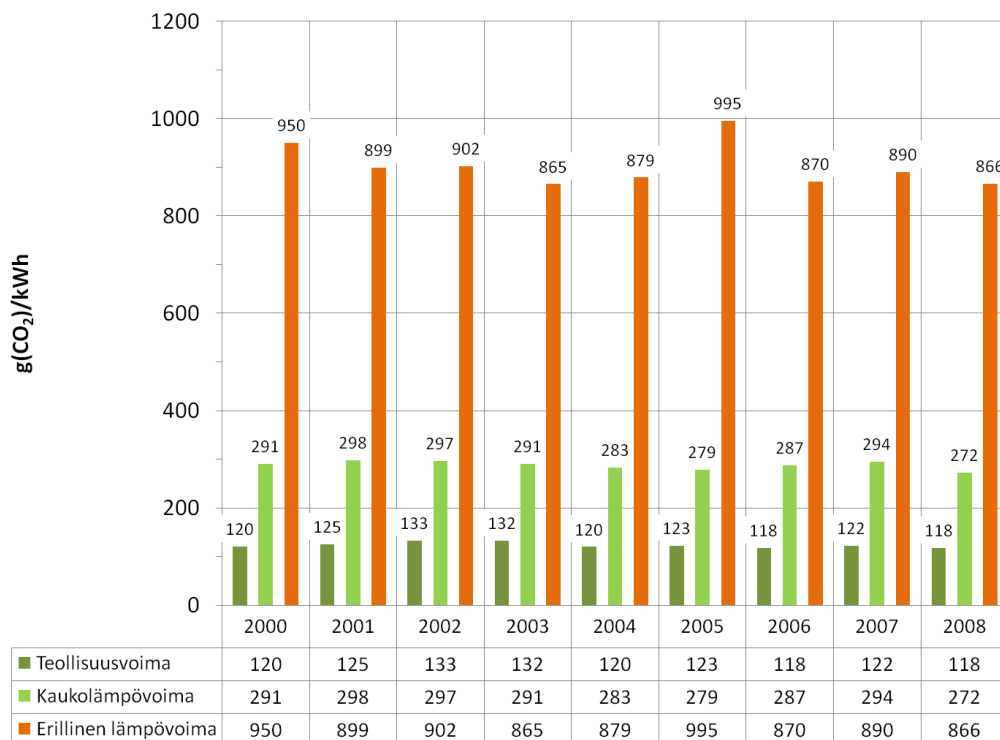


Kuva F-8. Kaukolämmön tuotantomuotojen uusiutumattoman energian primäärienergiakertoimet Suomessa vuosina 2000–2008 (vaihtoehdot C ja D). Energiamenetelmä. Tilastoaineiston lähde [1, taulukko 3.4.3].

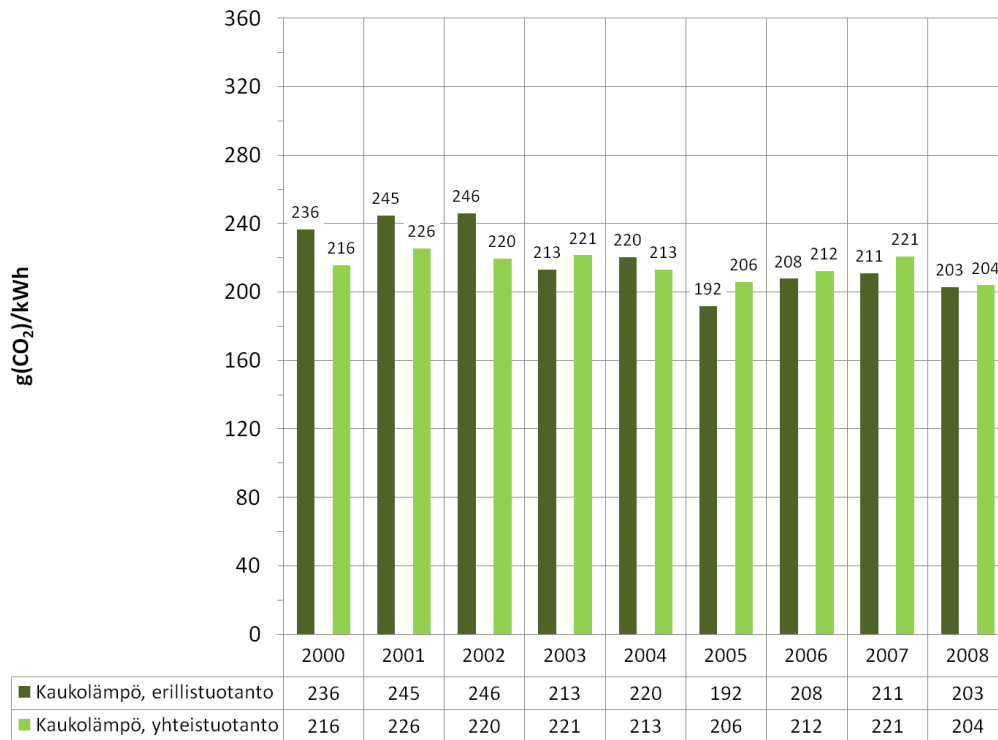
F.3 Ominaispäästökertoimet



Kuva F-9. Sähkön tuotantomuotojen ominaispäästökertoimet Suomessa vuosina 2000–2008. Yhteistuotannon energianlähteet jaettu hyödynjakomenetelmällä. Tilastoaineiston lähde [1, taulukko 3.4.4].



Kuva F-10. Sähkön tuotantomuotojen ominaispäästökertoimet Suomessa vuosina 2000–2008. Yhteistuotannon energianlähteet jaettu energiamenetelmällä. Tilastoaineiston lähde [1, taulukko 3.4.3].



Kuva F-11. Kaukolämmön tuotantomuotojen ominaispäästökertoimet Suomessa vuosina 2000–2008. Yhteistuotannon energianlähteet jaettu hyödynjakomenetelmällä. Tilastoaineiston lähde [1, taulukko 3.4.4].



Kuva F-12. Kaukolämmön tuotantomuotojen ominaispäästökertoimet Suomessa vuosina 2000–2008. Yhteistuotannon energianlähteet jaettu energiamenetelmällä. Tilastoaineiston lähde [1, taulukko 3.4.3].

Liite G Kertoimet taulukoituina

G.1 Kokonaisprimäärienergiakerroin

Taulukko G-1. Sähkön ja lämmön kokonaistuotannon keskimääräiset kokonaisprimäärienergiakertoimet Suomessa vuosina 2000–2008. Primäärienergian määritelmä A (ydinvoiman hyötysuhde 33 %). Yhteistuotannon energianlähteet jaettu hyödynjakomenetelmällä. Tilastoaineiston lähde [1].

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	ka.
Sähkön erillistuotanto										
Vesivoima	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Tuulivoima	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ydinvoima	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03
Erillinen tavanomainen lämpövoima	2,70	2,70	2,70	2,69	2,73	3,03	2,73	2,65	2,78	2,71
Yhteistuotanto, kaukolämpö	1,18	1,19	1,18	1,18	1,18	1,17	1,18	1,18	1,18	1,18
Kaukolämpövoima	1,73	1,76	1,74	1,73	1,73	1,72	1,74	1,74	1,73	1,73
Kaukolämpö	0,84	0,85	0,84	0,84	0,84	0,83	0,84	0,84	0,84	0,84
Yhteistuotanto, teollisuus	1,29	1,29	1,29	1,29	1,30	1,30	1,28	1,27	1,25	1,28
Teollisuusvoima	2,15	2,15	2,16	2,14	2,16	2,16	2,13	2,12	2,08	2,14
Teollisuushöyry	1,09	1,09	1,09	1,08	1,09	1,09	1,08	1,08	1,05	1,08
Lämmön erillistuotanto										
Kaukolämpö	1,12	1,13	1,11	1,12	1,14	1,11	1,12	1,11	1,10	1,12
Teollisuushöyry	1,19	1,19	1,18	1,17	1,22	1,20	1,14	1,16	1,25	1,19
Sähkön- ja lämmöntuotanto polttoaineista										
Sähkö	2,09	2,15	2,16	2,25	2,22	2,09	2,23	2,17	2,10	2,16
Kaukolämpö	0,90	0,91	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,91	0,90	0,90
Teollisuushöyry	1,11	1,11	1,10	1,10	1,12	1,12	1,09	1,09	1,09	1,10
Sähkön tuotanto yhteensä	2,16	2,21	2,25	2,31	2,21	2,18	2,27	2,20	2,12	2,21
Kaukolämmön tuotanto yhteensä	0,90	0,91	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,91	0,90	0,90
Teollisuushöyryn tuotanto yhteensä	1,11	1,11	1,10	1,10	1,12	1,12	1,09	1,09	1,09	1,10

Erillisen tavanomaisen lämpövoiman keskiarvo ei sisällä vuotta 2005.

Taulukko G-2. Sähkön ja lämmön kokonaistuotannon keskimääräiset kokonaisprimäärienergiakertoimet Suomessa vuosina 2000–2008. Primäärienergian määritelmä A (ydinvoiman hyötysuhde 33 %). Yhteistuotannon energianlähteet jaettu energiamenetelmällä. Tilastoaineiston lähde [1].

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	ka.
Sähkön erillistuotanto										
Vesivoima	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Tuulivoima	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ydinvoima	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03
Erillinen tavanomainen lämpövoima	2,70	2,70	2,70	2,69	2,73	3,04	2,73	2,65	2,78	2,71
Yhteistuotanto, kaukolämpö	1,18	1,19	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
Kaukolämpövoima	1,17	1,19	1,18	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17
Kaukolämpö	1,18	1,20	1,19	1,18	1,18	1,18	1,18	1,19	1,18	1,19
Yhteistuotanto, teollisuus	1,29	1,29	1,29	1,29	1,30	1,30	1,28	1,27	1,25	1,28
Teollisuusvoima	1,28	1,29	1,29	1,29	1,29	1,30	1,27	1,26	1,25	1,28
Teollisuushöyry	1,29	1,29	1,29	1,29	1,30	1,31	1,28	1,27	1,25	1,29
Lämmön erillistuotanto										
Kaukolämpö	1,12	1,13	1,11	1,12	1,14	1,11	1,12	1,11	1,10	1,12
Teollisuushöyry	1,19	1,19	1,18	1,17	1,22	1,20	1,14	1,16	1,25	1,19
Sähkön- ja lämmöntuotanto polttoaineista										
Sähkö	1,55	1,66	1,69	1,87	1,80	1,53	1,80	1,72	1,60	1,69
Kaukolämpö	1,17	1,19	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,16	1,17
Teollisuushöyry	1,27	1,27	1,27	1,27	1,28	1,28	1,26	1,25	1,25	1,27
Sähkön tuotanto yhteensä	1,91	1,96	1,99	2,08	1,98	1,92	2,03	1,97	1,88	1,97
Kaukolämmön tuotanto yhteensä	1,17	1,19	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,16	1,17
Teollisuushöyryn tuotanto yhteensä	1,27	1,27	1,27	1,27	1,28	1,28	1,26	1,25	1,25	1,27

Erillisen tavanomaisen lämpövoiman keskiarvo ei sisällä vuotta 2005.

Taulukko G-3. Sähkön ja lämmön kokonaistuotannon keskimääräiset kokonaisprimäärienergiakertoimet Suomessa vuosina 2000–2008. Primäärienergian määritelmä A (ydinvoiman hyötysuhde 33 %).

Yhteistuotannon energianlähteet kohdistettu kokonaan toiselle lopputuotteelle. Tilastoaineiston lähde [1].

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	ka.
Sähkön erillistuotanto										
Vesivoima	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Tuulivoima	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ydinvoima	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03
Erillinen tavanomainen lämpövoima	2,70	2,70	2,70	2,69	2,73	3,04	2,73	2,65	2,78	2,71
Yhteistuotanto, kaukolämpö										
Kaukolämpövoima	1,18	1,19	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
Kaukolämpö	3,09	3,16	3,09	3,12	3,08	3,07	3,12	3,14	3,12	3,11
Yhteistuotanto, teollisuus										
Teollisuusvoima	1,29	1,29	1,29	1,29	1,30	1,30	1,28	1,27	1,25	1,28
Teollisuushöyry	6,93	6,87	6,72	6,64	6,66	6,68	6,70	6,77	6,59	6,73
Lämmön erillistuotanto										
Kaukolämpö	1,12	1,13	1,11	1,12	1,14	1,11	1,12	1,11	1,10	1,12
Teollisuushöyry	1,19	1,19	1,18	1,17	1,22	1,20	1,14	1,16	1,25	1,19
Sähkön- ja lämmöntuotanto polttoaineista										
Sähkö	4,34	4,09	4,00	3,75	3,87	4,27	3,91	3,98	4,12	4,04
Kaukolämpö	1,73	1,77	1,74	1,73	1,75	1,73	1,71	1,70	1,70	1,73
Teollisuushöyry	1,51	1,51	1,52	1,52	1,54	1,54	1,50	1,49	1,48	1,51
Sähkön tuotanto yhteensä										
Kaukolämmön tuotanto yhteensä										
Teollisuushöyryn tuotanto yhteensä										

Kaukolämpövoiman kokonaisprimäärienergiakerroin oli esimerkiksi vuonna 2007 noin 3,12, jos kaikki kaukolämmön yhteistuotannon polttoaineen kohdistetaan kaukolämpövoimalle. Sähkön kokonaistuotannon kerroin oli vastaavasti vuonna 2007 noin 3,16, jos kaikki yhteistuotannon polttoaineet (kaukolämpö ja teollisuus) kohdistetaan sähkölle. Erillisen tavanomaisen lämpövoiman keskiarvo ei sisällä vuotta 2005.

Taulukko G-4. Sähkön ja lämmön kokonaistuotannon keskimääräiset kokonaisprimäärienergiakertoimet Suomessa vuosina 2000–2008. Primäärienergian määritelmä C (ydinvoiman hyötysuhde 100 %). Yhteistuotannon energianlähteet jaettu hyödynjakomenetelmällä. Tilastoaineiston lähde [1].

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	ka.
Sähkön erillistuotanto										
Vesivoima	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Tuulivoima	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ydinvoima	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Erillinen tavanomainen lämpövoima	2,70	2,70	2,70	2,69	2,73	3,03	2,73	2,65	2,78	2,71
Yhteistuotanto, kaukolämpö										
Kaukolämpövoima	1,18	1,19	1,18	1,18	1,18	1,17	1,18	1,18	1,18	1,18
Kaukolämpö	1,73	1,76	1,74	1,73	1,73	1,72	1,74	1,74	1,73	1,73
Kaukolämpö	0,84	0,85	0,84	0,84	0,84	0,83	0,84	0,84	0,84	0,84
Yhteistuotanto, teollisuus										
Teollisuusvoima	1,29	1,29	1,29	1,29	1,30	1,30	1,28	1,27	1,25	1,28
Teollisuusvoima	2,15	2,15	2,16	2,14	2,16	2,16	2,13	2,12	2,08	2,14
Teollisuushöyry	1,09	1,09	1,09	1,08	1,09	1,09	1,08	1,08	1,05	1,08
Lämmön erillistuotanto										
Kaukolämpö	1,12	1,13	1,11	1,12	1,14	1,11	1,12	1,11	1,10	1,12
Teollisuushöyry	1,19	1,19	1,18	1,17	1,22	1,20	1,14	1,16	1,25	1,19
Sähkön- ja lämmöntuotanto polttoaineista										
Sähkö	2,09	2,15	2,16	2,25	2,22	2,09	2,23	2,17	2,10	2,16
Kaukolämpö	0,90	0,91	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,91	0,90	0,90
Teollisuushöyry	1,11	1,11	1,10	1,10	1,12	1,12	1,09	1,09	1,09	1,10
Sähkön tuotanto yhteensä										
Sähkön tuotanto yhteensä	1,51	1,59	1,64	1,76	1,67	1,51	1,70	1,62	1,52	1,61
Kaukolämmön tuotanto yhteensä										
Kaukolämmön tuotanto yhteensä	0,90	0,91	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,91	0,90	0,90
Teollisuushöyryn tuotanto yhteensä										
Teollisuushöyryn tuotanto yhteensä	1,11	1,11	1,10	1,10	1,12	1,12	1,09	1,09	1,09	1,10

Erillisen tavanomaisen lämpövoiman keskiarvo ei sisällä vuotta 2005.

Taulukko G-5. Sähkön ja lämmön kokonaistuotannon keskimääräiset kokonaisprimäärienergiakertoimet Suomessa vuosina 2000–2008. Primäärienergian määritelmä C (ydinvoiman hyötysuhde 100 %). Yhteistuotannon energianlähteet jaettu energiamenetelmällä. Tilastoaineiston lähde [1].

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	ka.
Sähkön erillistuotanto										
Vesivoima	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Tuulivoima	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ydinvoima	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Erillinen tavanomainen lämpövoima	2,70	2,70	2,70	2,69	2,73	3,04	2,73	2,65	2,78	2,71
Yhteistuotanto, kaukolämpö										
Kaukolämpövoima	1,18	1,19	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
Kaukolämpö	1,17	1,19	1,18	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17
Kaukolämpö	1,18	1,20	1,19	1,18	1,18	1,18	1,18	1,19	1,18	1,19
Yhteistuotanto, teollisuus										
Teollisuusvoima	1,29	1,29	1,29	1,29	1,30	1,30	1,28	1,27	1,25	1,28
Teollisuusvoima	1,28	1,29	1,29	1,29	1,29	1,30	1,27	1,26	1,25	1,28
Teollisuushöyry	1,29	1,29	1,29	1,29	1,30	1,31	1,28	1,27	1,25	1,29
Lämmön erillistuotanto										
Kaukolämpö	1,12	1,13	1,11	1,12	1,14	1,11	1,12	1,11	1,10	1,12
Teollisuushöyry	1,19	1,19	1,18	1,17	1,22	1,20	1,14	1,16	1,25	1,19
Sähkön- ja lämmöntuotanto polttoaineista										
Sähkö	1,55	1,66	1,69	1,87	1,80	1,53	1,80	1,72	1,60	1,69
Kaukolämpö	1,17	1,19	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,16	1,17
Teollisuushöyry	1,27	1,27	1,27	1,27	1,28	1,28	1,26	1,25	1,25	1,27
Sähkön tuotanto yhteensä										
Sähkön tuotanto yhteensä	1,25	1,34	1,38	1,53	1,44	1,25	1,46	1,38	1,28	1,37
Kaukolämmön tuotanto yhteensä										
Kaukolämmön tuotanto yhteensä	1,17	1,19	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,16	1,17
Teollisuushöyryn tuotanto yhteensä										
Teollisuushöyryn tuotanto yhteensä	1,27	1,27	1,27	1,27	1,28	1,28	1,26	1,25	1,25	1,27

Erillisen tavanomaisen lämpövoiman keskiarvo ei sisällä vuotta 2005.

G.2 Uusiutumattoman energian primäärienergiakerroin

Taulukko G-6. Sähkön ja lämmön kokonaistuotannon keskimääräiset uusiutumattoman energian primäärienergiakertoimet Suomessa vuosina 2000–2008. Primäärienergian määritelmä B (ydinvoiman hyötysuhde 33 %). Yhteistuotannon energianlähteet jaettu hyödynjakomenetelmällä. Tilastoaineiston lähde [1].

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	ka.
Sähkön erillistuotanto										
Vesivoima	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tuulivoima	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ydinvoima	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03
Erillinen tavanomainen lämpövoima	2,45	2,46	2,51	2,52	2,51	2,41	2,47	2,44	2,28	2,46
Yhteistuotanto, kaukolämpö										
Kaukolämpövoima	1,05	1,08	1,06	1,05	1,04	1,01	1,01	1,04	1,01	1,04
Kaukolämpö	1,57	1,62	1,58	1,58	1,55	1,52	1,53	1,56	1,52	1,56
Kaukolämpö	0,73	0,75	0,74	0,73	0,72	0,70	0,70	0,72	0,70	0,72
Yhteistuotanto, teollisuus										
Teollisuusvoima	0,42	0,45	0,43	0,43	0,41	0,42	0,40	0,39	0,37	0,41
Teollisuusvoima	0,79	0,86	0,83	0,86	0,79	0,81	0,80	0,76	0,78	0,81
Teollisuushöyry	0,34	0,36	0,34	0,33	0,32	0,32	0,30	0,31	0,28	0,32
Lämmön erillistuotanto										
Kaukolämpö	0,99	0,99	0,96	0,96	0,96	0,90	0,91	0,91	0,88	0,94
Teollisuushöyry	0,92	0,92	0,89	0,90	0,97	0,96	0,88	0,91	0,98	0,93
Sähkön- ja lämmöntuotanto polttoaineista										
Sähkö	1,50	1,65	1,66	1,83	1,72	1,43	1,70	1,65	1,47	1,62
Kaukolämpö	0,79	0,80	0,78	0,78	0,77	0,74	0,75	0,77	0,74	0,77
Teollisuushöyry	0,44	0,47	0,44	0,44	0,44	0,45	0,41	0,43	0,42	0,44
Sähkön tuotanto yhteensä										
Kaukolämmön tuotanto yhteensä										
Teollisuushöyryn tuotanto yhteensä										

Erillisen tavanomaisen lämpövoiman keskiarvo ei sisällä vuotta 2005.

Taulukko G-7. Sähkön ja lämmön kokonaistuotannon keskimääräiset uusiutumattoman energian primäärienergiakertoimet Suomessa vuosina 2000–2008. Primäärienergian määritelmä B (ydinvoiman hyötösuhde 33 %). Yhteistuotannon energianlähteet jaettu energiamenetelmällä. Tilastoaineiston lähde [1].

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	ka.
Sähkön erillistuotanto										
Vesivoima	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tuulivoima	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ydinvoima	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03
Erillinen tavanomainen lämpövoima	2,45	2,46	2,51	2,52	2,51	2,41	2,47	2,44	2,28	2,46
Yhteistuotanto, kaukolämpö	1,05	1,08	1,06	1,05	1,04	1,02	1,01	1,04	1,01	1,04
Kaukolämpövoima	1,07	1,10	1,08	1,07	1,06	1,04	1,03	1,06	1,03	1,06
Kaukolämpö	1,04	1,07	1,05	1,04	1,03	1,00	1,00	1,03	0,99	1,03
Yhteistuotanto, teollisuus	0,42	0,45	0,43	0,43	0,41	0,42	0,40	0,39	0,37	0,41
Teollisuusvoima	0,50	0,54	0,53	0,55	0,50	0,52	0,51	0,48	0,50	0,51
Teollisuushöyry	0,40	0,43	0,41	0,40	0,39	0,39	0,37	0,37	0,35	0,39
Lämmön erillistuotanto										
Kaukolämpö	0,99	0,99	0,96	0,96	0,96	0,90	0,91	0,91	0,88	0,94
Teollisuushöyry	0,92	0,92	0,89	0,90	0,97	0,96	0,88	0,91	0,98	0,93
Sähkön- ja lämmöntuotanto polttoaineista										
Sähkö	1,18	1,34	1,37	1,59	1,47	1,10	1,46	1,38	1,18	1,34
Kaukolämpö	1,03	1,05	1,03	1,02	1,01	0,98	0,98	1,00	0,96	1,01
Teollisuushöyry	0,49	0,52	0,50	0,50	0,50	0,51	0,46	0,48	0,47	0,49
Sähkön tuotanto yhteensä	1,52	1,61	1,66	1,79	1,62	1,51	1,68	1,61	1,45	1,61
Kaukolämmön tuotanto yhteensä	1,03	1,05	1,03	1,02	1,01	0,98	0,98	1,00	0,96	1,01
Teollisuushöyryn tuotanto yhteensä	0,49	0,52	0,50	0,50	0,50	0,51	0,46	0,48	0,47	0,49

Erillisen tavanomaisen lämpövoiman keskiarvo ei sisällä vuotta 2005.

Taulukko G-8. Sähkön ja lämmön kokonaistuotannon keskimääräiset uusiutumattoman energian primäärienergiakertoimet Suomessa vuosina 2000–2008. Primäärienergian määritelmä B (ydinvoiman hyötösuhde 33 %). Yhteistuotannon energianlähteet kohdistettu kokonaan toiselle lopputuotteelle. Tilastoaineiston lähde [1].

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	ka.
Sähkön erillistuotanto										
Vesivoima	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tuulivoima	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ydinvoima	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03
Erillinen tavanomainen lämpövoima	2,45	2,46	2,51	2,52	2,51	2,41	2,47	2,44	2,28	2,46
Yhteistuotanto, kaukolämpö										
Kaukolämpövoima	1,05	1,08	1,06	1,05	1,04	1,01	1,01	1,04	1,01	1,04
Kaukolämpö	1,57	1,62	1,58	1,58	1,55	1,52	1,53	1,56	1,52	1,56
Kaukolämpö	0,73	0,75	0,74	0,73	0,72	0,70	0,70	0,72	0,70	0,72
Yhteistuotanto, teollisuus										
Teollisuusvoima	0,42	0,45	0,43	0,43	0,41	0,42	0,40	0,39	0,37	0,41
Teollisuusvoima	0,79	0,86	0,83	0,86	0,79	0,81	0,80	0,76	0,78	0,81
Teollisuushöyry	0,34	0,36	0,34	0,33	0,32	0,32	0,30	0,31	0,28	0,32
Lämmön erillistuotanto										
Kaukolämpö	0,99	0,99	0,96	0,96	0,96	0,90	0,91	0,91	0,88	0,94
Teollisuushöyry	0,92	0,92	0,89	0,90	0,97	0,96	0,88	0,91	0,98	0,93
Sähkön- ja lämmöntuotanto polttoaineista										
Sähkö	1,50	1,65	1,66	1,83	1,72	1,43	1,70	1,65	1,47	1,62
Kaukolämpö	0,79	0,80	0,78	0,78	0,77	0,74	0,75	0,77	0,74	0,77
Teollisuushöyry	0,44	0,47	0,44	0,44	0,44	0,45	0,41	0,43	0,42	0,44
Sähkön tuotanto yhteensä										
Kaukolämmön tuotanto yhteensä										
Teollisuushöyryn tuotanto yhteensä										

Kaukolämpövoiman uusiutumattoman energian primäärienergiakerroin oli esimerkiksi vuonna 2007 noin 1,56, jos kaikki kaukolämmön yhteistuotannon polttoaineen kohdistetaan kaukolämpövoimalle. Sähkön kokonaistuotannon kerroin oli vastaavasti vuonna 2007 noin 1,75, jos kaikki yhteistuotannon polttoaineet (kaukolämpö ja teollisuus) kohdistetaan sähkölle. Erillisen tavanomaisen lämpövoiman keskiarvo ei sisällä vuotta 2005.

Taulukko G-9. Sähkön ja lämmön kokonaistuotannon keskimääräiset uusiutumattoman energian primäärienergiakertoimet Suomessa vuosina 2000–2008. Primäärienergian määritelmä D (ydinvoiman hyötysuhde 100 %). Yhteistuotannon energianlähteet jaettu hyödynjakomenetelmällä. Tilastoaineiston lähde [1].

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	ka.
Sähkön erillistuotanto										
Vesivoima	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tuulivoima	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ydinvoima	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Erillinen tavanomainen lämpövoima	2,45	2,46	2,51	2,52	2,51	2,41	2,47	2,44	2,28	2,46
Yhteistuotanto, kaukolämpö										
Kaukolämpövoima	1,05	1,08	1,06	1,05	1,04	1,01	1,01	1,04	1,01	1,04
Kaukolämpö	1,57	1,62	1,58	1,58	1,55	1,52	1,53	1,56	1,52	1,56
Kaukolämpö	0,73	0,75	0,74	0,73	0,72	0,70	0,70	0,72	0,70	0,72
Yhteistuotanto, teollisuus										
Teollisuusvoima	0,42	0,45	0,43	0,43	0,41	0,42	0,40	0,39	0,37	0,41
Teollisuusvoima	0,79	0,86	0,83	0,86	0,79	0,81	0,80	0,76	0,78	0,81
Teollisuushöyry	0,34	0,36	0,34	0,33	0,32	0,32	0,30	0,31	0,28	0,32
Lämmön erillistuotanto										
Kaukolämpö	0,99	0,99	0,96	0,96	0,96	0,90	0,91	0,91	0,88	0,94
Teollisuushöyry	0,92	0,92	0,89	0,90	0,97	0,96	0,88	0,91	0,98	0,93
Sähkön- ja lämmöntuotanto polttoaineista										
Sähkö	1,50	1,65	1,66	1,83	1,72	1,43	1,70	1,65	1,47	1,62
Kaukolämpö	0,79	0,80	0,78	0,78	0,77	0,74	0,75	0,77	0,74	0,77
Teollisuushöyry	0,44	0,47	0,44	0,44	0,44	0,45	0,41	0,43	0,42	0,44
Sähkön tuotanto yhteensä										
Kaukolämmön tuotanto yhteensä	1,01	1,15	1,22	1,39	1,22	1,00	1,26	1,16	0,99	1,15
Teollisuushöyryn tuotanto yhteensä	0,79	0,80	0,78	0,78	0,77	0,74	0,75	0,77	0,74	0,77
Teollisuushöyryn tuotanto yhteensä	0,44	0,47	0,44	0,44	0,44	0,45	0,41	0,43	0,42	0,44

Erillisen tavanomaisen lämpövoiman keskiarvo ei sisällä vuotta 2005.

Taulukko G-10. Sähkön ja lämmön kokonaistuotannon keskimääräiset uusiutumattoman energian primäärienergiakertoimet Suomessa vuosina 2000–2008. Primäärienergian määritelmä D (ydinvoiman hyötysuhde 100 %). Yhteistuotannon energianlähteet jaettu energiamenetelmällä. Tilastoaineiston lähde [1].

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	ka.
Sähkön erillistuotanto										
Vesivoima	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tuulivoima	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ydinvoima	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Erillinen tavanomainen lämpövoima	2,45	2,46	2,51	2,52	2,51	2,41	2,47	2,44	2,28	2,46
Yhteistuotanto, kaukolämpö										
Kaukolämpövoima	1,05	1,08	1,06	1,05	1,04	1,02	1,01	1,04	1,01	1,04
Kaukolämpö	1,07	1,10	1,08	1,07	1,06	1,04	1,03	1,06	1,03	1,06
Kaukolämpö	1,04	1,07	1,05	1,04	1,03	1,00	1,00	1,03	0,99	1,03
Yhteistuotanto, teollisuus										
Teollisuusvoima	0,42	0,45	0,43	0,43	0,41	0,42	0,40	0,39	0,37	0,41
Teollisuusvoima	0,50	0,54	0,53	0,55	0,50	0,52	0,51	0,48	0,50	0,51
Teollisuushöyry	0,40	0,43	0,41	0,40	0,39	0,39	0,37	0,37	0,35	0,39
Lämmön erillistuotanto										
Kaukolämpö	0,99	0,99	0,96	0,96	0,96	0,90	0,91	0,91	0,88	0,94
Teollisuushöyry	0,92	0,92	0,89	0,90	0,97	0,96	0,88	0,91	0,98	0,93
Sähkön- ja lämmöntuotanto polttoaineista										
Sähkö	1,18	1,34	1,37	1,59	1,47	1,10	1,46	1,38	1,18	1,34
Kaukolämpö	1,03	1,05	1,03	1,02	1,01	0,98	0,98	1,00	0,96	1,01
Teollisuushöyry	0,49	0,52	0,50	0,50	0,50	0,51	0,46	0,48	0,47	0,49
Sähkön tuotanto yhteensä										
Kaukolämmön tuotanto yhteensä										
Teollisuushöyryn tuotanto yhteensä										

Erillisen tavanomaisen lämpövoiman keskiarvo ei sisällä vuotta 2005.

G.3 Ominaispäästökertoimet

Taulukko G-11. Sähkön ja lämmön kokonaistuotannon keskimääräiset ominaispäästökertoimet Suomessa vuosina 2000–2008. Yhteistuotannon energianlähteet jaettu hyödynjakomenetelmällä. Yksikkönä g(CO₂)/kWh. Tilastoaineiston lähde [1].

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	ka.
Sähkön erillistuotanto										
Vesivoima										
Tuulivoima										
Ydinvoima										
Erillinen tavanomainen lämpövoima	950	899	902	865	879	976	870	890	866	890
Yhteistuotanto, kaukolämpö										
Kaukolämpövoima	298	308	303	304	294	285	293	303	284	297
Kaukolämpö	433	444	442	439	424	412	427	438	409	430
Kaukolämpö	216	226	220	221	213	206	212	221	204	215
Yhteistuotanto, teollisuus										
Teollisuusvoima	112	119	116	116	108	110	105	105	98	110
Teollisuusvoima	194	211	212	212	188	198	194	192	190	199
Teollisuushöyry	93	100	95	94	87	89	81	85	76	89
Lämmön erillistuotanto										
Kaukolämpö	236	245	246	213	220	192	208	211	203	219
Teollisuushöyry	178	172	173	162	173	165	133	139	157	161
Sähkön- ja lämmöntuotanto polttoaineista										
Sähkö	462	515	519	573	540	435	538	530	454	507
Kaukolämpö	220	229	225	220	215	203	211	219	204	216
Teollisuushöyry	108	113	110	107	104	104	91	95	93	103
Sähkön tuotanto yhteensä										
Sähkön tuotanto yhteensä	214	263	286	350	298	204	309	280	215	269
Kaukolämmön tuotanto yhteensä										
Kaukolämmön tuotanto yhteensä	220	229	225	220	215	203	211	219	204	216
Teollisuushöyryn tuotanto yhteensä										
Teollisuushöyryn tuotanto yhteensä	108	113	110	107	104	104	91	95	93	103

Erillisen tavanomaisen lämpövoiman keskiarvo ei sisällä vuotta 2005.

Taulukko G-12. Sähkön ja lämmön kokonaistuotannon keskimääräiset ominaispäästökertoimet Suomessa vuosina 2000–2008. Yhteistuotannon energianlähteet jaettu energiamenetelmällä. Yksikkönä g(CO₂)/kWh. Tilastoaineiston lähde [1].

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	ka.
Sähkön erillistuotanto										
Vesivoima										
Tuulivoima										
Ydinvoima										
Erillinen tavanomainen lämpövoima	950	899	902	865	879	995	870	890	866	890
Yhteistuotanto, kaukolämpö										
Kaukolämpövoima	298	308	303	304	294	285	293	303	284	297
Kaukolämpö	291	298	297	291	283	279	287	294	272	288
Kaukolämpö	303	314	310	308	301	293	297	308	286	302
Yhteistuotanto, teollisuus										
Teollisuusvoima	112	119	116	116	108	110	105	105	98	110
Teollisuusvoima	120	125	133	132	120	123	118	122	118	123
Teollisuushöyry	110	117	114	113	106	108	99	103	93	107
Lämmön erillistuotanto										
Kaukolämpö	236	261	246	227	220	192	221	223	203	226
Teollisuushöyry	178	181	173	162	173	174	133	130	149	161
Sähkön- ja lämmöntuotanto polttoaineista										
Sähkö	375	430	438	506	472	347	470	455	372	429
Kaukolämpö	288	304	296	291	284	270	279	287	267	285
Teollisuushöyry	122	129	125	122	119	121	106	108	104	117
Sähkön tuotanto yhteensä										
Sähkön tuotanto yhteensä	174	219	242	309	260	163	270	240	176	228
Kaukolämmön tuotanto yhteensä										
Kaukolämmön tuotanto yhteensä	288	304	296	291	284	270	279	287	267	285
Teollisuushöyryn tuotanto yhteensä										
Teollisuushöyryn tuotanto yhteensä	122	129	125	122	119	121	106	108	104	117

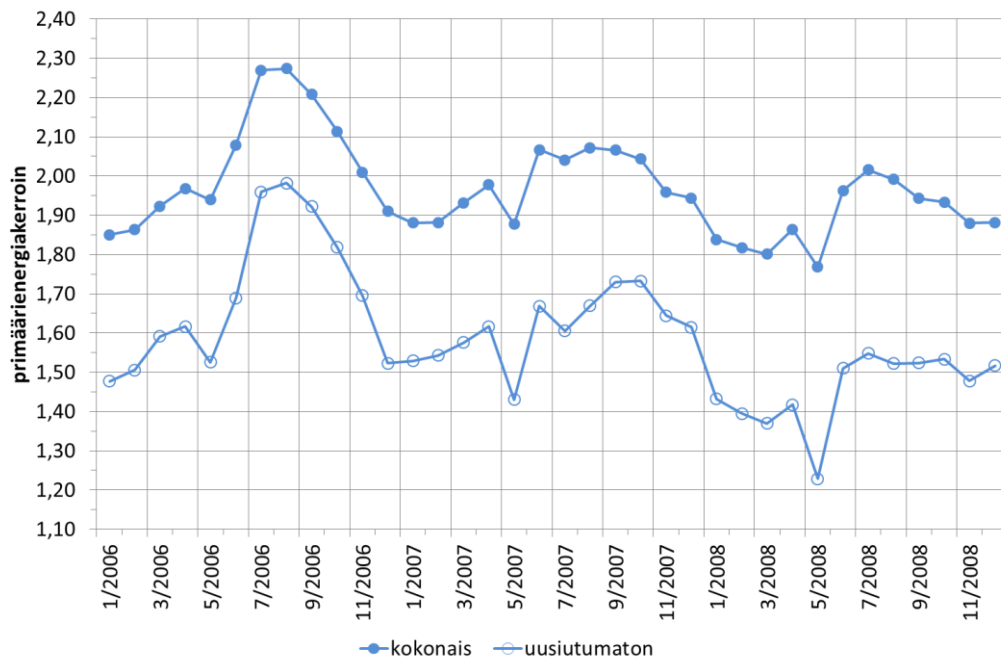
Erillisen tavanomaisen lämpövoiman keskiarvo ei sisällä vuotta 2005.

Taulukko G-13. Sähkön ja lämmön kokonaistuotannon keskimääräiset ominaispäästökertoimet Suomessa vuosina 2000–2008. Yhteistuotannon energianlähteet kohdistettu kokonaan toiselle lopputuotteelle. Yksikkönä g(CO₂)/kWh. Tilastoaineiston lähde [1].

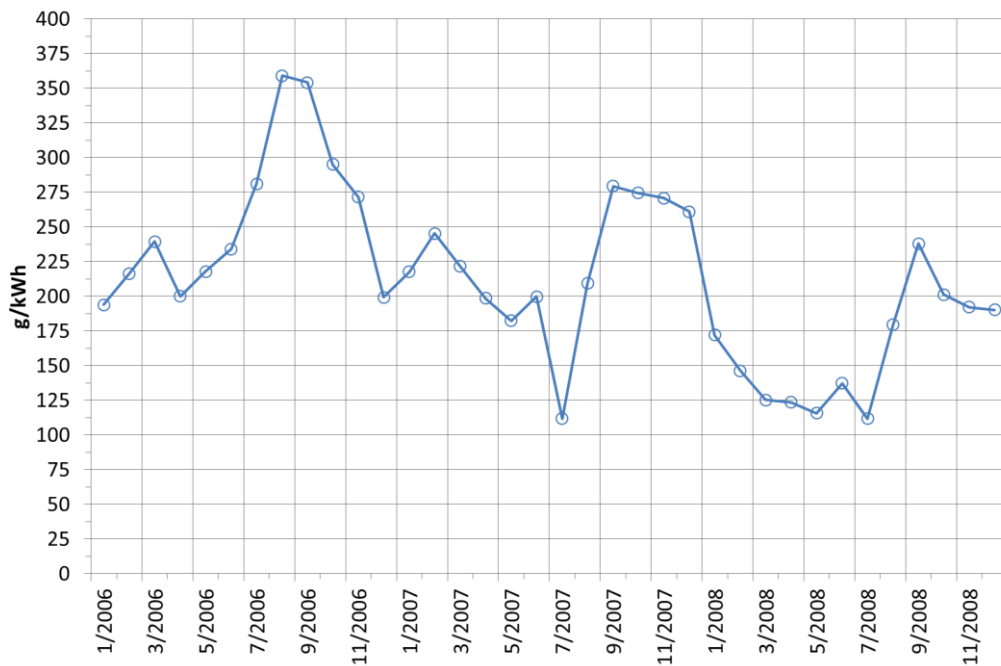
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	ka.
Sähkön erillistuotanto										
Vesivoima										
Tuulivoima										
Ydinvoima										
Erillinen tavanomainen lämpövoima	950	899	902	865	879	995	870	890	866	890
Yhteistuotanto, kaukolämpö										
Kaukolämpövoima	298	308	303	304	294	285	293	303	284	297
Kaukolämpö	783	816	790	804	768	742	777	805	753	782
Kaukolämpö	482	496	490	488	476	463	470	485	455	478
Yhteistuotanto, teollisuus										
Teollisuusvoima	112	119	116	116	108	110	105	105	98	110
Teollisuusvoima	601	633	602	600	556	566	547	558	515	575
Teollisuushöyry	137	146	143	145	135	137	129	129	121	136
Lämmön erillistuotanto										
Kaukolämpö	236	261	246	227	220	192	221	223	203	226
Teollisuushöyry	178	181	173	162	173	174	133	130	149	161
Sähkön- ja lämmöntuotanto polttoaineista										
Sähkö	757	788	771	784	756	725	753	766	706	756
Kaukolämpö	427	449	438	433	423	402	413	422	395	423
Teollisuushöyry	144	153	149	148	142	145	130	129	126	141
Sähkön tuotanto yhteensä										
Sähkö	351	402	426	478	417	340	432	405	334	398
Kaukolämmön tuotanto yhteensä										
Kaukolämpö	427	449	438	433	423	402	413	422	395	423
Teollisuushöyryn tuotanto yhteensä										
Teollisuushöyry	144	153	149	148	142	145	130	129	126	141

Kaukolämpövoiman ominaispäästökerroin oli esimerkiksi vuonna 2007 noin 805 g/kWh, jos kaikki kaukolämmön yhteistuotannon polttoaineen kohdistetaan kaukolämpövoimalle. Sähkön kokonaistuotannon kerroin oli vuonna 2007 vastaavasti noin 405 g/kWh, jos kaikki yhteistuotannon polttoaineet (kaukolämpö ja teollisuus) kohdistetaan sähkölle. Erillisen tavanomaisen lämpövoiman keskiarvo ei sisällä vuotta 2005.

Liite H Kertoimien vuoden sisäinen vaihtelu



Kuva H-1. Sähkön kokonaistuotannon kuukausittainen kokonaisprimäärienergiakerroin (määritelmä A) ja uusiutumattoman energian primäärienergiakerroin (määritelmä B) Suomessa vuosina 2006–2008. Yhteistuotannon energianlähteet jaettu energiamenetelmällä. Tilastoaineiston lähde [2].



Kuva H-2. Sähkön kokonaistuotannon kuukausittainen CO₂-ominaispäästökerroin Suomessa vuosina 2006–2008. Yhteistuotannon energianlähteet jaettu energiamenetelmällä. Tilastoaineiston lähde [2].

Energiamuotojen kerroin
Yleiset perusteet ja toteutuneen sähkön- ja lämmöntuotannon kertoimet 2000–2008
Raportti Ympäristöministeriölle

Matias Keto
Aalto-yliopiston teknillinen korkeakoulu
Energiatekniikan laitos
2010