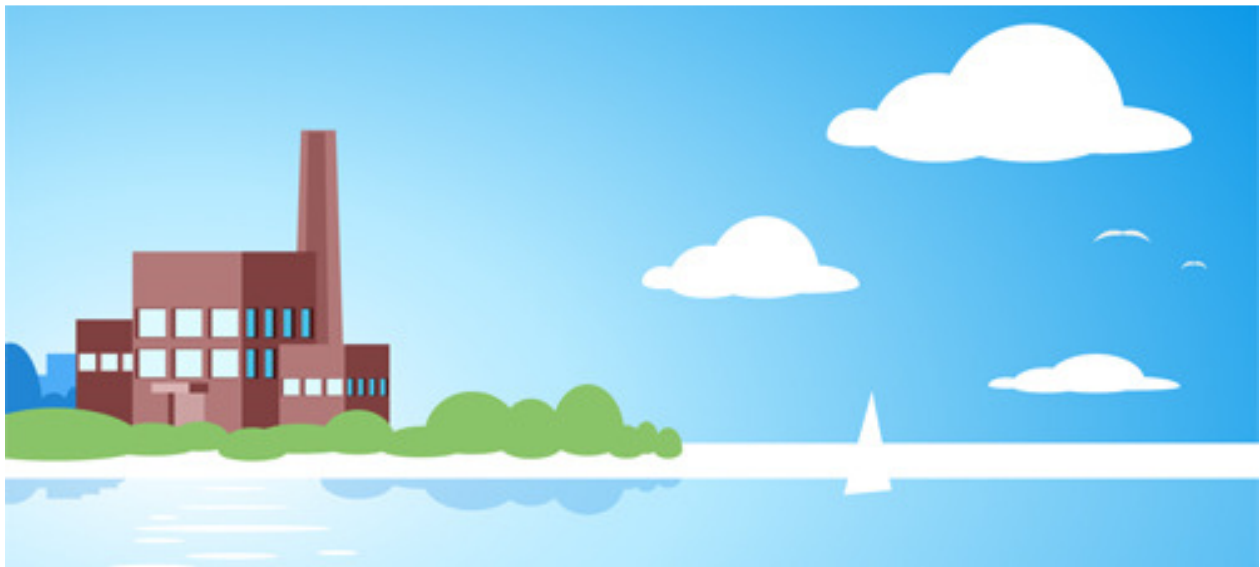


# Kaukolämmön CO<sub>2</sub>-päästöjen laskentamenetelmät päättöksenteon työkaluina



*Kuva: Helsingin Energia*

Toimeksiantaja: Energiateollisuus ry

29. elokuuta 2013

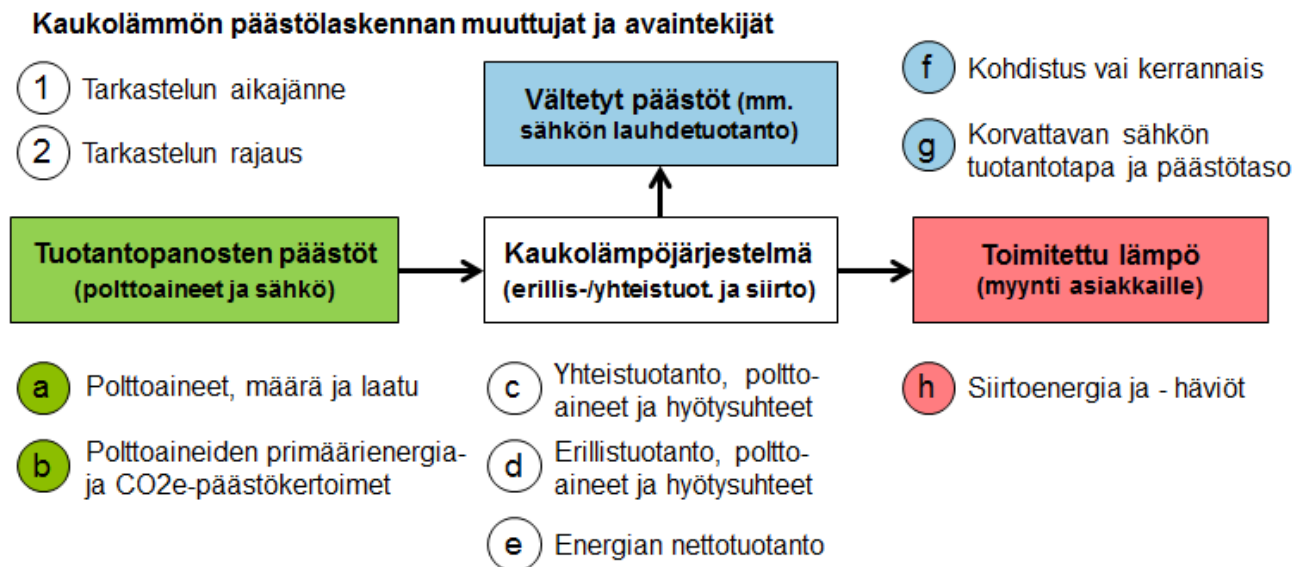
Laatinut: Bionova Consulting

Panu Pasanen, Tytti Bruce, Anastasia Sipari

# 1 Tiivistelmä

Tässä selvityksessä on käyty läpi kaukolämmön päästölaskennan erityispiirteitä ja avaintekijöitä. Energian CO<sub>2</sub>-päästöt kiinnostavat sekä kuluttajia, lainsäätäjiä että muita sidosryhmiä. Koska kaukolämmön hiilidioksidipäästölle voidaan saada hyvinkin erilaisia arvoja riippuen arvioinnissa käytetystä menetelmästä, on menetelmien ymmärtäminen ja oikean ja käyttötarkoitukseen sopivan arviointimenetelmän valinta erityisen tärkeää. Väärän arviointimenetelmän käyttäminen päätöksenteon tukena voi johtaa päästöjen vähenemiseen kohdekiinteistössä, mutta päästöjen kasvuun muualla.

Suomessa kaukolämmöstä kolme neljäsosaa tuotetaan yhteistuotannolla, joten yhteistuotannon käsittely ja päästöjen jakaminen sähkön ja lämmön kesken ovat laskennan olennaisimpia tekijöitä, joita ovat mm. laskennan rajaus, suorien tai kerrannais-vaikutusten huomiointi, laskennan aikajänne, ja polttoaineiden päästö- tai primäärienergiakertoimet. Näitä on esitetty alla olevassa kuvassa.



*Kuva: kaukolämmön päästölaskennan muuttujat ja avaintekijät ryhmiteltynä tuotannon osa-alueittain*

Kaukolämmön asiakkaat ja viranomaiset käyttävät energian CO<sub>2</sub>-päästöjä entistä useammin päätöksenteon tukena sekä yksittäisten kohteiden että kaavaratkaisujen arvioimisessa. Näiden päätösten tueksi tarvitaan ymmärrettäviä, toimivia, ennustettavia ja luotettavia mittareita. Tavanomaisia kysymyksiä, joihin mittareilla pyritään vastaamaan ovat mm. kaukolämmön nykyinen päästötaso, tietyn energiamuodon valinnan päästövaikutus, sekä kaavoitusvaihtoehtojen energiaratkaisujen vaikutus CO<sub>2</sub>-päästöihin.

Tässä raportissa on käsitelty neljäätoista laskentamenetelmää, joita ovat julkaisseet EU-komissio, standardointijärjestöt, viranomaiset ja alan toimijat. EU-lainsäädännössä ja standardoinnissa painopiste on ollut primäärienergian laskennassa. Menetelmät eroavat toisistaan huomattavasti. Osa menetelmistä

keskittyy laitoksen suorien päästöjen kohdistamiseen, osa taas huomioi energiavalintojen kerrannaisvaikutukset energijärjestelmän tasolla. Kerrannaisvaikutuksia huomioidaan usein siten, että yhteistuotannolla tuotetun sähkön lasketaan korvaavan lauhdesähköä, mutta myös poikkeuksia on.

Tässä raportissa tarkempaan tarkasteluun valittiin kolme laskentamenetelmää, jotka ovat EN 15316-4-5, hyödynjakomenetelmä ja Suomen Ilmastopaneelin käyttämä menetelmä. EN 15316-4-5 tarjoaa keinon laskea kaukolämpöjärjestelmän primäärienergiakerroin, joka kuvaa kaukolämpöjärjestelmän tehokkuutta. Menetelmä on sovitettavissa CO<sub>2</sub>-päästöjen laskentaan, ja tällöin yhteistuotannon sähköllä lasketaan korvattavan sähkön lauhdetuotantoa. Hyödynjakomenetelmä taas perustuu tuotannon päästöjen jakamiseen sähkölle ja lämmölle suhteessa niiden erillistuotannon hyötysuhteisiin, niin että molemmille energiamuodoille lasketaan etua yhteistuotannolla saavutetusta korkeammasta kokonaisyötysuhteesta. Ilmastopaneelin menetelmässä tunnistetaan säätävä sähkön tuotantomuoto markkinahinnan avulla, ja yhteistuotannon sähköllä lasketaan korvattavan hinnan kautta laskettua marginaalituotantomuotojen keskiarvopäästöä. Menetelmien ominaisuuksia on arvioitu ja koostettu alla olevaan taulukkoon.

	<b>EN 15316-4-5</b>	<b>Hyödynjakomenetelmä</b>	<b>Ilmastopaneeli</b>
<b>Laskentamenetelmän tarkoitus on laskea</b>	Kaukolämpöjärjestelmän energiatehokkuus	Päästöjen kohdistaminen sähkön ja lämmön kesken	Lämmityspäästöt sähkömarkkina huomioiden
<b>Menetelmän periaate</b>	Kerrannaisvaikutukset	Laitostaso: staattinen	Kerrannaisvaikutukset
<b>Ymmärrettävyys</b>	Selkeä ja ymmärrettävä	Selkeä ja ymmärrettävä	Vaatii perehtymistä
<b>Toimivuus</b>	Helppokäyttöinen	Helppokäyttöinen	Vaatii merkittävästi työtä
<b>Ennustettavuus</b>	Herkkä käytettäville primäärienergiakertoimille	Hyvin vakaa menetelmä, ei riipu ulkoisista tekijöistä	Suuretkin vaihtelut vuosien välillä ovat mahdollisia
<b>Luotettavuus</b>	Pitkällä aikajänteellä ei todellisuudessa korvata pelkkää lauhdetta	Ei huomioi korvattavaa sähkön tuotantoa, vaan jakaa laitoksen päästöt	Perustuu sähkön markkinahintoihin, joten menetelmänä perusteltu

*Taulukko: tarkemmin arvioidut laskentamenetelmät ja kooste niiden tärkeimmistä ominaisuuksista*

Menetelmiä testattiin kolmella eri kaukolämpöjärjestelmällä. Helsingin Energian kaukolämpöverkossa vuosina 2010-2012 ei tehty merkittäviä investointeja, ja pääasiassa ulkoisista tekijöistä johtuva tulosten vaihtelu enintään noin 10 %. Tässä kaukolämpöverkossa Ilmastopaneelin menetelmä on tuloksiltaan lähellä EN 15316-4-5-menetelmää, mutta hyödynjakomenetelmällä lasketut kaukolämmön päästöt ovat yli kaksi kertaa näitä menetelmiä suuremmat. Tämä johtuu siitä, että hyödynjakomenetelmä huomioi ja kohdistaa ainoastaan energiantuotannon suorat päästövaikutukset, eikä kerrannaisvaikutuksia.

Fortumin Keski-Uusimaan bio-CHP laitos korvaa sekä Tuusulan että Järvenpään aiemmat lämmön erillistuotantoa maakaasulla tehneet laitokset. Kun kaukolämmön päästötasoa tarkastellaan hyödynjako- ja EN 15316-4-5-menetelmillä, saadaan investoinnin tuottamaksi päästövähennyksiä noin 80 %. Jäljelle jäävistä päästöistä suurin osa johtuu siitä, että maakaasulla tehtävä lämmön erillistuotanto jatkuu

pienemmässä mittakaavassa. Biomassan osuus päästöistä on kokonaisuudessa vähäinen. Toisaalta Ilmastopaneelin menetelmällä kaukolämmön päästöt muuttuvat investoinnin jälkeen vahvasti negatiivisiksi. Tämä taas johtuu siitä, että menetelmällä lasketaan yhteistuotannolla saadulla sähköllä korvattavan pääasiassa hiililauhdetta, jolloin vältetyt päästöt ovat syntyviä päästöjä suuremmat.

Tampereen Sähkölaitoksen kaukolämpöjärjestelmässä vuosien 2010-2011 välillä kasvatettiin puupolttoaineen osuutta, ja tällä välillä kaikki menetelmät osoittavat päästöjen laskua, enintään 30 %. Toisaalta vaikka vuonna 2012 puupolttoainetta lisättiin yhä, alennettiin vuoden 2012 lopussa sähkön ja maakaasun hintasuhteen johdosta sähkön tuotantoa merkittävästi ajotapaa muuttamalla. Tämä taas näkyy kaikilla menetelmillä kaukolämmön päästöjen selvänä nousuna. Menetelmillä saatujen tulosten erot ovat merkittäviä, ja niiden syynä on menetelmien vaihteleva herkkyys tuotetun sähkön määrään suhteessa lämpöön. Menetelmistä vahvimmin tuotetun sähkön määrään reagoi Ilmastopaneelin menetelmä, toiseksi eniten EN 15316-4-5 ja vähiten hyödynjakomenetelmä.

Menetelmistä sekä EN 15316-4-5 että Ilmastopaneelin menetelmä perustuvat marginaalituotannon korvaamiseen ja ne ottavat huomioon kerrannaisvaikutukset sähkön tuotannossa. Hyödynjakomenetelmä puolestaan kohdistaa laitoksen tuotannon päästöjä sähkön ja lämmön välillä. Seurauksena tästä on menetelmän antamien tulosten vakaus ja ennustettavuus, mutta toisaalta hyödynjakomenetelmä ei kykene ennustamaan muutosten ja valintojen vaikutusta energijärjestelmään. Kaikilla tutkituilla laskentamenetelmillä yhteistuotannolla tuotetun kaukolämmön päästövaikutus voi olla nolla, tai Ilmastopaneelin menetelmällä myös selvästi negatiivinen.

Käyttäjän näkökulmasta EN 15316-4-5 on sekä ymmärrettävä että toimiva. Sen luotettavuus ja ennustettavuus voivat kärsiä kuitenkin käytettyjen primäärienergiakertoimien vaihtamisesta, koska näille ei ole sovittua yhteistä pohjaa Suomen olosuhteisiin. Menetelmä ennakoi, että sähkö korvaisi aina lauhdetuotantoa. Kymmenien vuosien aikajänteellä korvaus voi kohdistua muuhunkin tuotantomuotoon.

Hyödynjakomenetelmä on myös ymmärrettävä ja toimiva käyttäjälle. Menetelmä on myös hyvin ennustettava, koska se ei ota kantaa laitoksen ulkopuoliseen tuotantoon, paitsi verrokkeina pidettävän erillistuotannon hyötysuhteen kautta. Menetelmä ei ota huomioon korvattavaa sähkön tuotantomuotoa, mitä voidaan pitää heikkoutena luotettavuuden kannalta, mutta etuna tulosten ennakoitavuudessa.

Ilmastopaneelin menetelmä pyrkii kuvaamaan energiamarkkinoiden toimintaa markkinahintojen ja näiden mukaan vaihtuvan säätävän tuotantomuodon kautta. Menetelmä on vaikeammin ymmärrettävä ja käytettävä, ja hintaperusteisella arvioinnilla voi muodostua hyvin suuria eroja eri tuotantovuosien välille. Tämän johdosta menetelmän antamien tulosten ennustettavuus on muita menetelmiä heikompi. Toisaalta tämä energiamarkkinan toimintaa kuvaava lähestymistapa voi parantaa menetelmän luotettavuutta.

# Sisällysluettelo

1	TIIVISTELMÄ .....	2
	SISÄLLYSLUETTELO .....	5
	TERMIEN SELITYKSET .....	6
2	SELVITYKSEN TAUSTA, TARVE JA TAVOITTEET .....	7
3	PÄÄSTÖJEN LASKENTAMENETELMÄT JA KAUKOLÄMMÖN YHTEISTUOTANTO .....	8
3.1	Kaukolämpöä tuotetaan sekä erillis- ja yhteistuotannolla .....	8
3.2	Lämmön ja sähkön yhteistuotantolla saadaan korkea hyötysuhde .....	9
3.3	Kaukolämmön päästöjä vähennetään ja ohjataan EU:n päästökaupalla.....	10
3.4	Päästötarkastelun rajaus ja päästöjen siirtyminen rajauksen ulkopuolelle.....	11
3.5	Lyhyen ja pitkän tähtäimen kysynnän muutokset ja sen vaikutukset .....	13
3.6	Energiantuotannon ympäristövaikutusten huomiointi ja kohdistaminen .....	14
4	ASIAKKAIDEN PÄÄTÖKSENTEON TUKEMINEN JA ILMASTOVAIKUTUKSET .....	15
4.1	Kasvihuonekaasupäästöt päätöksenteossa .....	15
4.2	Päätöksentekotilanteet ja vaihtelevat paikalliset olosuhteet .....	16
4.3	Mikä on minun kaukolämpöni hiilijalanjälki nyt?.....	16
4.4	Mikä on vaikutus, jos valitsen tämän energiamuodon toisen sijaan?.....	17
4.5	Mitkä ovat kaavoitusvaihtoehtojen lämmitysratkaisujen vaikutukset? .....	17
4.6	Kaukojäähdytyksen päästöjen arviointi.....	18
5	LASKENTAMENETELMIEN ESITTELY JA TARKASTELUT .....	19
5.1	Tiivistelmä laskentamenetelmistä ja niiden eroavuuksista.....	19
5.2	Tarkemmin tarkasteltujen laskentamenetelmien valinta .....	21
5.3	EN 15316-4-5 laskentamenetelmä.....	21
5.4	Hyödynjakomenetelmä .....	23
5.5	Ilmastopaneelin käyttämä menetelmä.....	24
6	MENETELMIEN HYÖDYNTÄMINEN ERILAISISSA LAITOKSISSA.....	26
6.1	Helsingin Energia – satunnaisvaihtelua ilman merkittäviä muutoksia .....	26
6.2	Fortum Keski-Uusimaa – erillistuotannon korvaaminen CHP-laitoksella.....	27
6.3	Tampereen Sähkölaitos – alempi sähköntuotanto ajotavan muutoksella .....	28
7	JOHTOPÄÄTÖKSIÄ JA POHDINTAA.....	29
8	LIITE: KAIKKIEN TARKASTELTUJEN LASKENTAMENETELMIEN ESITTELYT.....	32
8.1	Rakennusten energiatehokkuuden EN-standardien menetelmät .....	32
8.2	Rakennusten ympäristötehokkuuden arviointi, EN 15978 .....	36
8.3	EU-direktiivien määrittämät menetelmät .....	37
8.4	Muut menetelmät.....	39
	LÄHDELUETTELO .....	44

## Termien selitykset

CO <sub>2</sub> -päästöt	Kirjaimellisesti hiilidioksidipäästöt ilmakehään. Tässä raportissa ”päästöt”-ilmaisua on käytetty tarkoittamaan kaikkia kasvihuonekaasupäästöjä hiilidioksidiekvivalenteiksi muunnettuna.
CO <sub>2</sub> e-päästöt	Hiilidioksidiekvivalentit päästöt, eli kasvihuonekaasupäästöt hiilidioksidin ilmastoa lämmittävään vaikutukseen suhteutettuna.
Elinkaariperusteiset CO <sub>2</sub> -päästöt	Päästöt, joissa lasketaan koko tuotantoketju, jota tarvitaan jokin tuotteen tai palvelun toimittamiseksi. Energiahuollossa esimerkiksi polttoaineen hankinta, jalostus ja kuljetus, sekä tuhkan käsittely.
Hiilijalanjälki	Kasvihuonekaasupäästöt, joita syntyy tuotteen tai palvelun toimittamisesta tai käyttämisestä. Energiatuotteille hiilijalanjälki ilmaistaan päästöinä toimitettua tai käytettyä kWh energiaa kohti.
Kasvihuonekaasupäästöt	Kasvihuonekaasut sisältävät mm. hiilidioksidin, metaanin ja typpidioksiduulin ja kylmäaineiden päästöjä ilmakehään.
Kerrannaisvaikutukset	Kerrannaisvaikutukset (consequential) on tarkastelumenetelmä, jossa pyritään arvioimaan muutoksen vaikutus koko järjestelmään, ja arvioimaan järjestelmätason ympäristövaikutus. Esimerkiksi yhteistuotantosähkön muuta sähköntuotantoa korvaava vaikutus.
Lauhdetuotanto	Lauhdetuotanto on pelkkää sähkövoiman tuotantoa, jossa voimalaitosta ajetaan yksinomaan sähkömarkkinoiden tarpeisiin.
Marginaalituotanto	Marginaalituotannolla tarkoitetaan sitä sähkön tuotantomuotoa, joka vastaa tietyllä ajanhetkellä muuttuvaan kysyntään.
Primäärienergiakerroin	Primäärienergiakerroin kuvaa yhden energiayksikön tuottamiseen tarvittua kulutettua luonnonvaroissa olevaa energiaa koko ketjussa.
Päästöjen allokointi	Menetelmä, jolla päästöt kohdistetaan sähkön ja lämmön kesken.
Päästökerroin	Kerroin, joka huomioi tietyn raaka-aineen tai toiminnon hankinnasta tai toteuttamisesta syntyvät CO <sub>2</sub> e- tai muut päästöt.
Suorat CO <sub>2</sub> -päästöt	Vain palamisesta syntyvät CO <sub>2</sub> e-päästöt (ei jalostusketjua).
Suorat vaikutukset	Kysynnän suorat päästövaikutukset, eli ei kerrannaisvaikutuksia.

## 2 Selvityksen tausta, tarve ja tavoitteet

Yhteiskunta ja elinkeinoelämä ovat kiinnostuneita energiaan liittyvien ympäristövaikutusten hillinnästä ja tätä tavoitetta tukevista valinnoista. Erytystarkastelussa ovat kasvihuonekaasupäästöt, joista energiasektori aiheuttaa suurimman osan niin Suomessa kuin maailmanlaajuisesti. Energian päästöihin kohdistuva kiinnostus ja kysyntä ei kuitenkaan ole ongelmaton. Väärinkäsityksiä tai ongelmia voi syntyä mm. vähäpäästöisyyden osoittamisesta ja päästöjä ohjaavista menetelmistä ja niiden eroavuuksista.

Jotta kasvihuonekaasupäästöjä voidaan hillitä tehokkaasti, täytyy toimenpiteiden, vaihtoehtojen ja ratkaisujen päästövaikutukset voida arvioida luotettavasti ja tarkasti. Tämä edellyttää yhteisesti hyväksytyjä laskentamenetelmiä. Laskentamenetelmiä ovat laatineet mm. standardointijärjestöt, viranomaiset, yhdistykset ja alan teollisuus ja niitä on tarjolla runsaasti. Menetelmät on kuitenkin laadittu tiettyyn käyttötarkoitukseen, ja menetelmää valittaessa tulee aina varmistaa sen soveltuvuus. Tässä pääpainona ovat lämmitysratkaisujen arviointi- ja valintatilanteita kuvaavat päästöjen laskentamenetelmät.

Tämä selvitys pyrkii antamaan vastauksia seuraaviin kaukolämmön päästölaskennan kysymyksiin:

- mitkä ovat kaukolämmön ja etenkin yhteistuotannon päästölaskennan erityispiirteet ja avaintekijät?
- missä päätöksentekotilanteissa kaukolämmön asiakkaat ja sidosryhmät tarvitsevat päästötietoa?
- mitä menetelmiä kaukolämmön päästöjen laskentaan on olemassa?
- millä menetelmillä voidaan mitata todellisia kasvihuonekaasupäästöjen nettovähenemisiä?
- mitkä menetelmät soveltuvat parhaiten esitettyihin päätöksentekotilanteisiin?
- millaisia tuloksia valitut menetelmät antavat esimerkkilaitosten osalta?

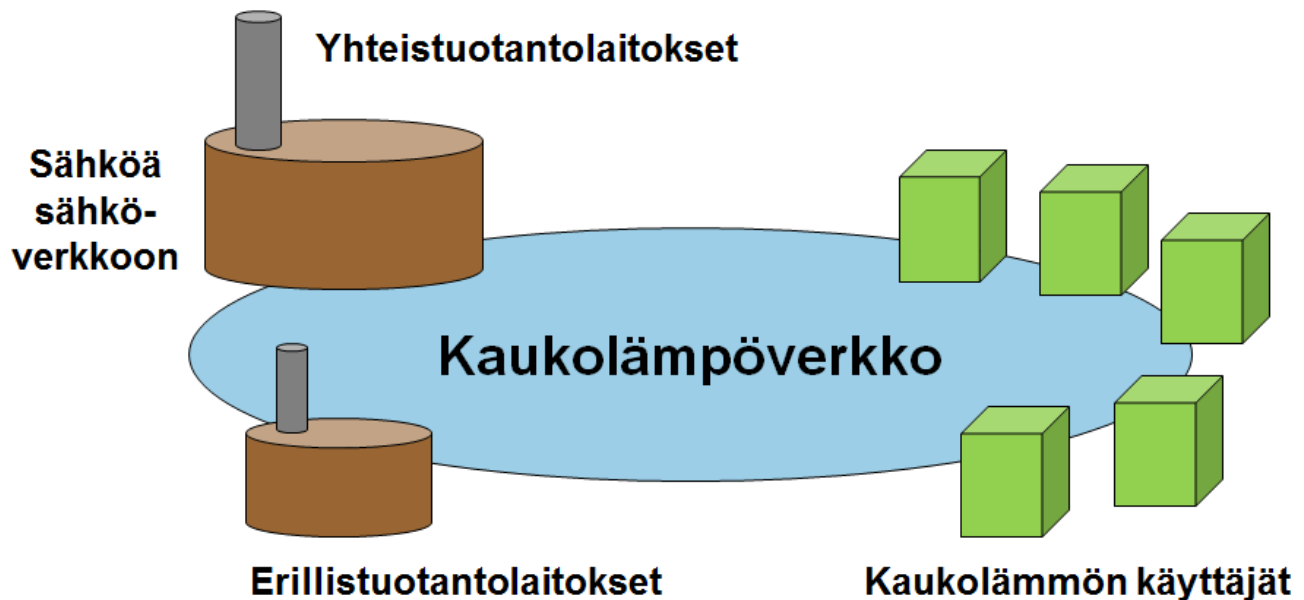
Kaukolämmön erityispiirre on sähkön ja lämmön yhteistuotanto, jolla päästään erillistuotantoa parempaan kokonaishyötysuhteeseen. Laskentamenetelmien tulisi kuvata syntyviä kasvihuonekaasupäästöjä luotettavasti ja niin, että menetelmän käyttäminen ei johda päästöjen kasvuun tai siirtymiseen tarkastelurajan ulkopuolella. Päästöjen kasvua voi tapahtua lauhdesähkön tuotannon kasvuna yhteistuotannon vähentyessä ja siirtymistä esimerkiksi eurooppalaisen päästökaupan kautta. Lisäksi menetelmien tulisi kuvata päästöjä niin, että ulkoisista tekijöistä aiheutuvat satunnaisvaihtelut eivät vaikuta tulokseen. Lämmityksessä satunnaisvaihtelun lähteitä ovat etenkin polttoaineiden hinnat, päästökauppa ja ulkolämpötilat. Kokonaan satunnaisvaihteluista ei päästä eroon parhaallakaan laskentamenetelmällä.

Tässä selvityksessä tutkittiin erilaisia laskentamenetelmiä, joista kolme valittiin tarkempaan tarkasteluun. Niitä käytettiin kolmessa kaukolämpöä yhteistuotannolla tuottavassa kaukolämpöverkossa, joista yhdessä tehtiin päästöjä alentava laitosinvestointi tarkastelujakson aikana. Selvityksessä on tarkasteltu lisäksi menetelmien soveltuvuutta asiakkaiden päätöksentekotilanteisiin. Tämän selvityksen tavoitteena ei ole antaa suositusta yhdestä kaikissa tilanteissa käytettävästä laskentamenetelmästä, tai kehittää sellaista.

### 3 Päästöjen laskentamenetelmät ja kaukolämmön yhteistuotanto

#### 3.1 Kaukolämpöä tuotetaan sekä erillis- ja yhteistuotannolla

Tilastokeskuksen mukaan Suomessa vuonna 2011 kaukolämpöä tuotettiin sähkön ja lämmön yhteistuotannolla 26 terawattituntia ja erillistuotannolla 8 terawattituntia. Erillistuotannon osuus koko maan kaukolämmön tuotannosta on noin 24 %. Erillistuotanto painottuu pienehköihin taajamiin, joissa lämpökuorma on liian pieni yhteistuotantolaitokselle. Suurissa kaupungeissa kaukolämpö tuotetaan pääosin yhteistuotannolla. Erillistuotantoa käytetään myös suurissa kaupungeissa talvisin huippukuorman tuottamiseen ja kesäaikaan, kun lämmön kysyntä on liian pieni lämmityskautta varten mitoitettulla yhteistuotantolaitoksella tuotettavaksi.



*Kuva: kaukolämpöjärjestelmä koostuu eri yhteis- ja erillistuotannosta ja kaukolämpöverkosta*

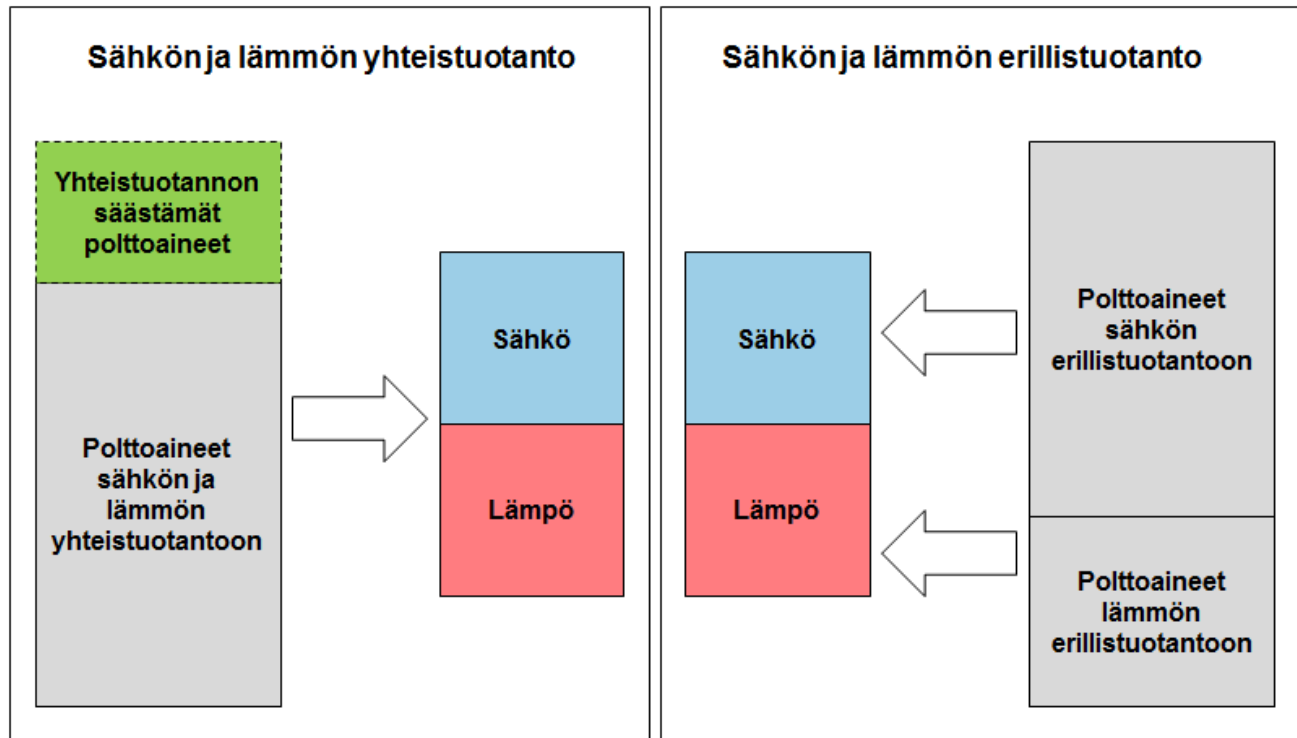
Kaukolämpö tuotetaan pääosin polttoaineista, mutta myös esimerkiksi teollisuuden sekundaarilämmön hyödyntäminen ja lämpöpumput ovat käytettyjä lämmöntuotantomuotoja. Kaukolämpö siirretään asiakkaille kaukolämpöverkossa kiertävän kuuman veden (lämpötila 65-115 °C) avulla. Kaukolämmön tuotantoprosessiin ja pumppaukseen asiakkaille tarvitaan sähköä, ja siirrossa syntyy lämpöhukkaa.

Sähkön markkinahinta voi ohjata yhteistuotantolaitosten ajostrategioita niin, että sähköä tuotetaan vähemmän, jos sähköstä saatava hinta on alhainen. Tällöin myös osa tavallisesti sähköksi hyödynnettävästä höyrystä voidaan ajaa lämmöksi.



### 3.2 Lämmön ja sähkön yhteistuotantolla saadaan korkea hyötysuhde

Yhteistuotannon etuna sekä talouden että ympäristön kannalta on sen korkea kokonaishyötysuhde. Kun sähköä tuotetaan lauhdetuotannolla, on sähköntuotannon hyötysuhde noin 40 %. Kun sähköä ja lämpöä tuotetaan yhteistuotannolla, on kokonaishyötysuhde yleensä vähintään 80 %, joissakin tapauksissa 90 %. Yhteistuotannolla saadaan yleensä hieman vähemmän sähköä kuin lauhdetuotannolla, mutta kokonaisuuden kannalta saavutetaan merkittävä energiantuotannon polttoaineiden säästö.



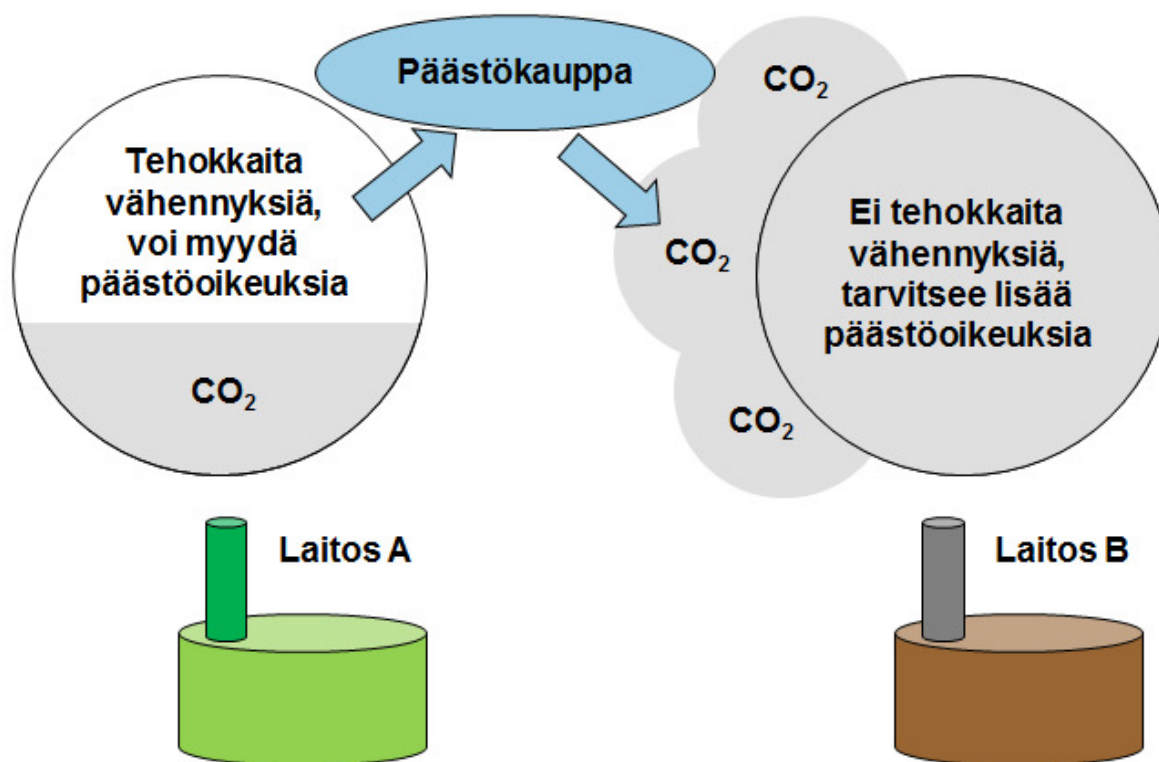
Kuva: sähkön ja lämmön yhteistuotannolla säästetään polttoainetta verrattuna erillistuotantoon

Toisaalta yhteistuotantolaitoksissa lämmön ja sähkön eriävään kysyntään ei voida reagoida tehokkaasti. Kaukolämpölaitoksia ajetaan yleensä lämmön tarpeen tyydyttämisen kannalta, ja sähköä tuotetaan suhteessa lämmön kysyntään. Kaikesta sähkön tuotannosta osa on pysyvää peruskuormaa (kuten yhteistuotantolaitokset ja ydinvoima) sekä lyhyen tähtäimen säätävää peruskuormaa (vesivoima), ja osa muuttuvaa tuotantoa (kuten hiili- ja maakaasulauhdetuotanto). Sääriippuvaiset ja vaikeasti varastoitavat tuotantotavat kuten aurinko- ja tuulivoima taas eivät ole luonteeltaan pysyviä kuten peruskuorma, mutta eivät myöskään säätäviä kuten muu muuttuva tuotanto. Niitä tuotetaan olosuhteiden mukaan.

### 3.3 Kaukolämmön päästöjä vähennetään ja ohjataan EU:n päästökaupalla

Euroopan Unionissa energian tuotanto polttoaineista, energiaintensiivinen teollisuus, sekä vuodesta 2013 alkaen myös lentoliikenne kuuluvat päästökaupan piiriin. Päästökaupan arvioidaan kattavan noin 45 % kaikista EU:n alueen kasvihuonekaasupäästöistä. Suomessa päästökauppalain mukaan kaukolämpölaitos kuuluu päästökauppaan, jos kaukolämpöverkkoon kuuluu vähintään yksi nimellislämpöteholtaan yli 20 MW laitos. Käytännössä suurempien kuntien kaukolämpölaitokset kuuluvat päästökauppaan, mutta toisaalta yksittäiset alle 20 MW nimellistehon energiantuotantoyksiköt ovat päästökaupan ulkopuolella.

Päästökaupan periaate on, että kaikkien päästökauppaan kuuluvien laitosten enimmäispäästöt on rajattu päästökiintiöllä, jota pienennetään vuosittain. Laitokset voivat ostaa ja myydä päästöoikeuksia tarpeensa mukaan, mutta kokonaismäärä ei voi ylittää päästökiintiötä. Päästökaupan ja -kiintiön ansiosta päästöjä vähennetään ensisijaisesti siellä, missä se on kustannustehokkainta koko EU:n alueella. Päästöohjausta kuitenkin heikentävät useat rinnakkaiset ohjauskeinot ja kannusteet, jotka vaihtelevat maakohtaisesti.



*Kuva:päästökauppa perustuu tehokkaaseen päästöjen vähennykseen ja päästöoikeuksien kauppaan*

Vuodelle 2013 päästökiintiö on noin kaksi miljardia päästöoikeutta. Päästökiintiötä vähennetään vuosittain 37,4 miljoonalla päästöoikeudella. Vuonna 2020 päästökiintiö on 21 % pienempi kuin vastaavat päästöt vuonna 2005. Päästöoikeudet voivat jäädä myös käyttämättä, kuten viime vuosina on tapahtunut. Tällöin laitostason päästövähennykset tuottavat käyttämättä jäävien päästöoikeuksien verran nettovähennyksiä.

### 3.4 Päästötarkastelun rajaus ja päästöjen siirtyminen rajauksen ulkopuolelle

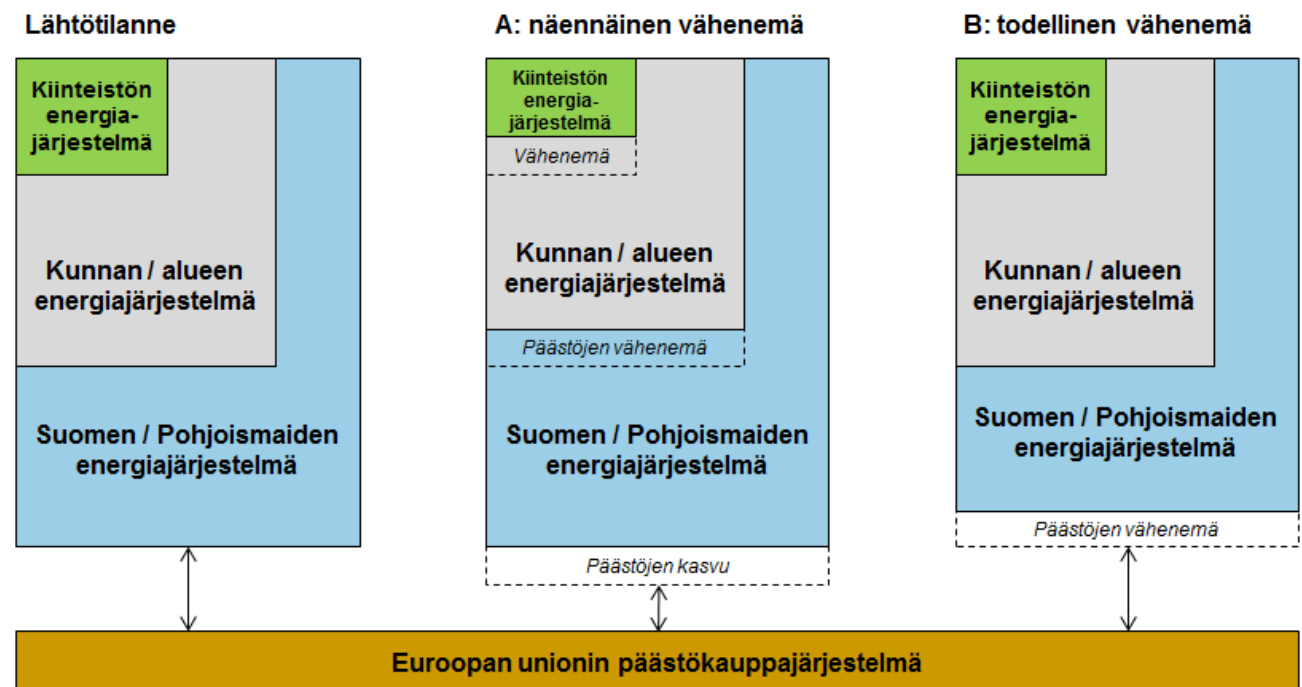
Tarkastelun rajaus on päästölaskennan avainkysymyksiä. Kun päästöjä lasketaan, määritetään tätä varten rajaus, jonka sisällä tapahtuvaa toimintaa päästötarkastelu koskee. Rajauksen ulkopuolisia vaikutuksia ei huomioida. Tästä puolestaan seuraa, että jos energiaratkaisu vähentää päästöjä yhdessä paikassa (esim. kiinteistössä), mutta kasvattaa niitä toisaalla (esim. sähköntuotannossa), lopputulos on valitun rajauksen mukaan aivan erilainen. Yhteiskunnan ja ilmaston kannalta hyödyllisiä ovat todelliset nettomääräiset päästövähennykset, jotka eivät aiheuta vähennystä vastaavaa päästöjen kasvua muualla.

Muutamia esimerkkejä mahdollisista rajauksista on esitetty alla:

- rajaus vain kiinteistössä käytettäviin polttoaineisiin (GHG Protocolin mukainen Scope 1),
- rajaus käytettyjen polttoaineiden ja ostetun energian päästöihin (GHG Protocol, Scope 1 ja 2),
- rajaus, joka huomioi koko kansallisen energiajärjestelmän (dynaamiset kerrannaisvaikutukset), tai
- rajaus, joka huomioi vain päästökauppasektorin ulkopuoliset päästövähennykset.

Rajauksen määrittämisen vaikeuksia aiheuttavat energiamarkkinoiden ja päästöohjauksen erilaiset maantieteelliset alueet, ja osittain myös eri alueiden eri ohjauskeinot ja päättäjät. Aluerajauksia ovat:

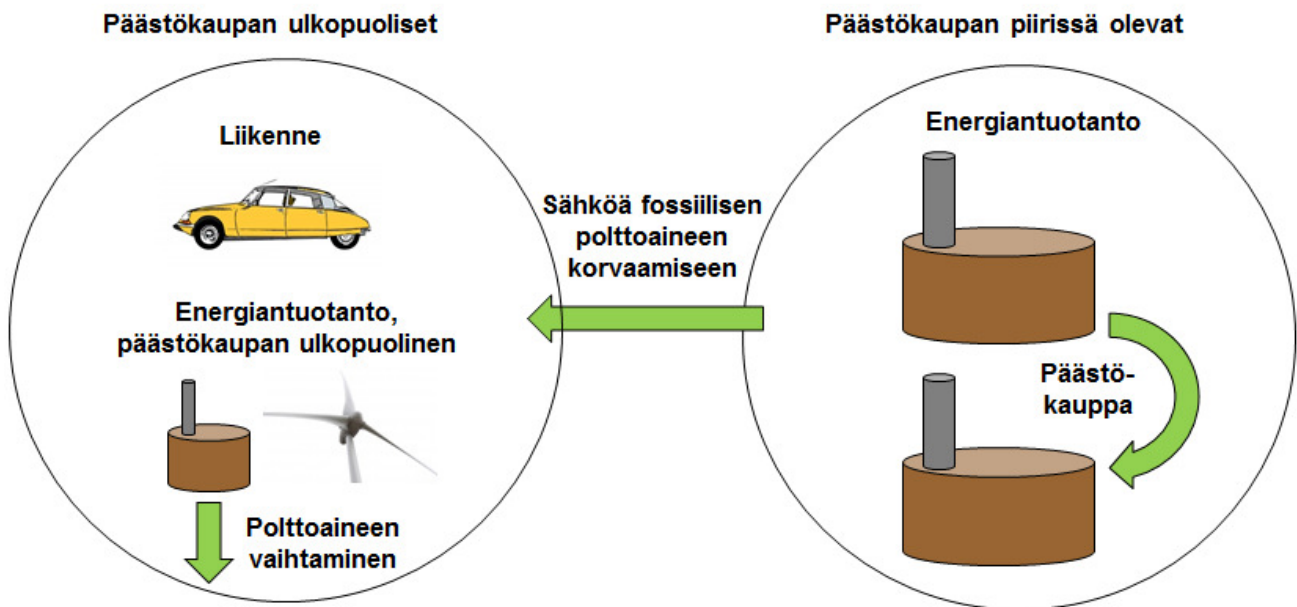
- Kaukolämpö on luonteeltaan paikallista (alueena esim. Järvenpää ja Tuusula),
- Sähkömarkkinat toimivat Suomen ja Pohjoismaiden tasolla (tuotanto sekä sähkön vienti ja tuonti),
- Päästökauppa toimii koko EU:n tasolla, ja tähän liittyy erilaisia kansainvälisiä yhteistyöjärjestelyjä.



Kuva: päästötarkastelun rajaus ja päästöjen siirtyminen rajauksen ulkopuolelle – havainnollinen esimerkki

Rajauksen ja laskennan kannalta erityistapaus on päästökauppa. Päästökauppaan kuuluva kaukolämpölaitoksen kasvihuonekaasupäästöjä vähentävät päätökset vähentävät päästöjä alueellisesti. Toisaalta päästöoikeudet voivat siirtyä muiden toimijoiden käytettäväksi EU:n tasolla. Päästöt vähenevät nettomääräisesti vain silloin, jos siirtyviä päästöoikeuksia ei käytetä muualla, eli niistä on ylijäämää.

Silloinkin, kun päästöoikeudet käytetään täysimääräisesti, päästövähennyksiä voidaan päästökaupan piirissä saavuttaa muun muassa lisäämällä päästökaupan ulkopuolella fossiilisten polttoaineiden korvaamisessa käytettävän sähkön käyttöä esim. sähköautoilussa. Vähennys syntyy tässä tapauksessa siksi, että päästökaupan parissa tuotetulla energialla korvataan päästökaupan ulkopuolista energiaa, eli liikennepolttoaineita. Myös pienen kokoluokan energiantuotannossa esim. polttoaineen vaihtaminen vähäpäästöisempään johtaa suoraan päästöjen vähentymiseen, koska nämä eivät ole päästökaupassa.



*Kuva:päästökaupan ja päästökaupan ulkopuolisten toimintojen sisäiset ja keskinäiset päästövähennykset*

### 3.5 Lyhyen ja pitkän tähtäimen kysynnän muutokset ja sen vaikutukset

Energian kysyntään kohdistuu sekä lyhyen että pitkän aikavälin muutoksia. Lyhyen aikavälin muutokset johtuvat esimerkiksi lämmön tarpeen vaihteluista sään mukaan. Lyhyellä aikajänteellä tuotantoa sovitetaan kysyntään sekä huipputuotantokapasiteetilla että sähkön viennin ja tuonnin muutoksilla. Kun kysyntään kohdistuu pitkäjänteisiä tai pysyviä muutoksia, johtaa tämä markkinoiden sopeutumiseen. Muutokset voivat olla esimerkiksi energiamuotojen keskinäistä vaihtamista, energian säästötoimia tai lisääntynyttä kysyntää, tai kysynnän ajallisen kohdistumisen muutosta. Suuren mittakaavan pysyviä muutoksia ovat esimerkiksi teollisuuden rakennemuutos, energiaremontointi, lähes nollaenergiarakentamisen ja omavaraisenergian käytön kasvu.

Lyhyellä aikavälillä voidaan arvioida, että kysynnän muutokset kohdistuvat sähkön osalta useimmiten hiililauhdesähköön, ja lämmön osalta joko yhteistuotantoon tai huippukysyntään vastaaviin öljy- tai kaasukattiloihin. Toisaalta pitkällä aikajänteellä pysyvät kysynnän muutokset voivat kohdistua myös osittain peruskuormaan. Kymmenien vuosien aikaperspektiivillä kysynnän todellisiin ja ennakoituihin muutoksiin vastataan myös laitos- ja tuotantojärjestelmäinvestoinneilla, uudenaikaisilla sopimus- ja hinnoittelurakenteilla ja järjestelmillä. Pitkän aikajänteen muutosten ennakoiminen on kuitenkin vaikeaa. Tätä voidaan peilata vuosien 1996 ja 2006 väliseen vaihteluun. Vuosia voidaan pitää vertailukelpoisina, sillä vesivoiman tuotanto oli lähes samalla tasolla ja lauhdevoimaa tuotettiin molempina vuosina paljon.

<b>Vuosi</b>	<b>1996</b>	<b>2006</b>	<b>Muutos TWh</b>	<b>Muutos %</b>
Sähkön kokonaiskulutus	70,0 TWh	90,0 TWh	+20,0 TWh	+29 %
Vesi- ja tuulivoima	11,7 TWh	11,5 TWh	-0,2 TWh	-2 %
Ydinvoima	18,7 TWh	22,0 TWh	+3,3 TWh	+18 %
Lauhdutusvoima	13,8 TWh	17,6 TWh	+3,8 TWh	+28 %
Yhteistuotanto	22,2 TWh	27,6 TWh	+5,4 TWh	+24 %
Nettotuonti	3,7 TWh	11,4 TWh	+7,7 TWh	+208 %

*Taulukko: sähköntuotannon rakenne ja muutos vuosien 1996 ja 2006 välillä*

Taulukosta käy ilmi, että kun sähkön kokonaiskulutus on kasvanut kymmenessä vuodessa 20 TWh, kysynnän muutos on kohdistunut varsin tasaisesti eri tuotantomuotoihin. Eniten on kasvanut sähkön tuonti ja toiseksi eniten yhteistuotanto. Myös muut pitkän aikavälin muutokset heijastuvat todennäköisesti koko energijärjestelmään, eivätkä vain yhteen tuotantomuotoon. Pitkän aikajänteen sähkömarkkinoiden heilahtelut kasvavat mm. tuulivoiman kasvun johdosta Euroopassa, mikä kasvattaa säätävän lauhdevoiman tarvetta. Näin myös pitkällä aikavälillä osa kysynnän muutoksista kohdistuu lauhdetuotantoon.

Yksikään tässä tarkastelussa olevista menetelmistä ei ennusta tulevaa marginaalituotantomuotoa.

### 3.6 Energiantuotannon ympäristövaikutusten huomiointi ja kohdistaminen

Energiantuotannon kasvihuonekaasupäästöjä koskevan menetelmän tulee ottaa kantaa seuraaviin:

1. mikä on tarkastelurajaus (mistä mihin vaiheeseen ja millä laajuudella tuloksia tarkastellaan),
2. millä aikajaksolla järjestelmän vaikutuksia tarkastellaan,
3. miten tehdään ympäristövaikutusten kohdistaminen (allokaatio) sähkön ja lämmön välillä, vai
4. huomioidaanko suorat vaikutukset (attributorial) vai myös kerrannaisvaikutukset (consequential),
5. käytetäänkö elinkaariperusteista (polttoaineen hankinta- ja jalostusketju ja palamisen päästöt) vaiko vain palamisen päästöihin (päästöt savupiipun päästä) perustuvaa laskentaa.

Elinkaariarvioinnin menetelmiä määrittävän *ISO 14044 Ympäristösasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet* -standardin mukaan tarkastelurajaus tulee valita niin, että se on yhdenmukainen selvityksen tavoitteiden kanssa. Rajausten määrittelyyn käytetyt kriteerit tulee avata lukijalle. Erityisen tärkeää on päättää, onko tarkastelussa lämmitysjärjestelmä vai vaikutus koko energijärjestelmään.

Yhteistuotantolaitos tuottaa yhtä aikaa sekä lämpöä että sähköä. Elinkaariarvioinnin periaatteisiin kuuluu, että jätevirtojen päästöt ovat nolla, eli niille ei kohdisteta päästöjä. Kaukolämpö ei kuitenkaan ole jätevirta vaan resurssi, jolla on positiivinen markkinahinta. Näin kaukolämmölle tulee kohdistaa päästöjä. Tästä seuraa tarve kohdistaa, eli allokoida, ympäristövaikutukset tuotetuille energiamuodoille. ISO 14044-standardin mukaan kohdentamista tulee ensisijaisesti välttää laajentamalla järjestelmää ja tarkastelurajasta kattamaan myös sivutuotteiden vaikutus. Toisaalta silloin, kun allokointia ei voida välttää, tulisi syötteet ja tuotokset kohdentaa energiamuotoihin tavalla, joka kuvaa niiden välillä vallitsevia fysikaalisia suhteita. Tällä tarkoitetaan sitä, että kohdentamisen tulee kuvastaa tapaa, jolla järjestelmän tuottamien energiamuotojen muutokset vaikuttavat kulutettuun polttoaineeseen ja tuotettuun energiaan.

Vain suorat vaikutukset huomioiva laskentamenetelmä huomioi ne ympäristövaikutukset, joita tietyn palvelun kysynnästä syntyy. Esimerkiksi rakennuksen lämmityksen osalta huomioidaan lämmitystarpeen täyttämiseen vaadittavien polttoaineiden aiheuttamat päästöt. Menetelmä ei huomioi kerrannaisvaikutuksia, joita voi syntyä kysynnän muutosten seurauksena muualla. Käytännössä suurin osa laskelmista tehdään vain suorat vaikutukset huomioiden.

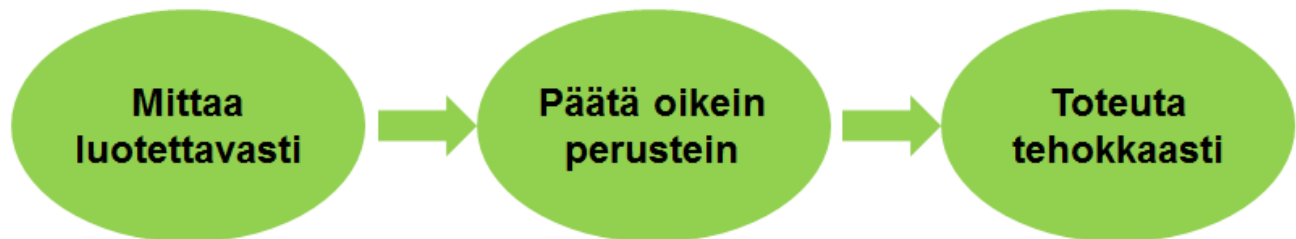
Kerrannaisvaikutukset huomioivat hankkeen toteuttamisen aiheuttamat vaikutukset muussa toiminnassa, esimerkiksi lämmitysratkaisun vaikutukset sähkön tuotantoon. Kerrannaisvaikutukset huomioiva laskenta on haastavampaa ja niiden kiistaton osoittaminen on usein vaikeaa. Kerrannaisvaikutukset voidaan huomioida joko keskiarvoisina tai dynaamisina. Laskennassa ei usein huomioida vaikeasti arvioitavia epäsuoria vaikutuksia, esimerkiksi maankäytön muutoksia, joita voi aiheutua, kun bioperäisiin materiaaleihin kohdistuu kasvavaa kysyntää.

## 4 Asiakkaiden päätöksenteon tukeminen ja ilmastovaikutukset

### 4.1 Kasvihuonekaasupäästöt päätöksenteossa

Yritykset ja julkisen sektorin toimijat huomioivat toimintansa päästövaikutuksia entistä laajemmin, ja eri viranomaiset hyödyntävät CO<sub>2</sub>-päästöjen mittareita ohjauskeinojen suunnittelussa ja toteutuksessa. Kasvihuonekaasupäästöjä seurataan sekä jatkuvassa toiminnassa mm. organisaation hiilijalanjäljen laskentaan esim. GRI-raportoinnissa, että rakennuttamishankkeissa joko ympäristösertifioitavien rakennushankkeiden (LEED ja BREEAM) tarpeisiin tai hankkeen elinkaaripäästöjen hallinnan kannalta. Kunnat taas huomioivat kasvihuonekaasupäästöjä esim. kaavoituksessa ja energiantuotannossa.

Jotta kasvihuonekaasupäästöt voidaan huomioida päätöksenteossa, tarvitaan mittareita. Mittaamalla suorituskykyä voidaan tehdä perusteltuja päätöksiä ja toteuttaa niitä tehokkaasti, kun ratkaisujen seuraukset ovat tiedossa. Hyvä mittari edustaa kuvaamaansa ilmiötä luotettavasti ja ennustettavasti, on käyttäjilleen ymmärrettävä ja toimii käytännössä. CO<sub>2</sub>-päästöjen näkökulmasta päästöjen arviointitavan tulisi olla elinkaaripohjainen, jotta se kuvaa kaikkia syntyviä päästöjä, myös uusiutuville polttoaineille.



*Kuva: ympäristömittarien hyödyntäminen päätöksenteossa*

Seuraavassa mittareita pohditaan kaukolämmön käyttäjien ja kaavoituksen näkökulmasta eri tilanteissa. Sinänsä kaikissa tilanteissa voitaisiin hyödyntää mitä tahansa tarkasteluun valituista menetelmistä, mutta eri menetelmien suosimiseen on olemassa päätöksentekotilanteen luonteeseen liittyviä perusteluja.

Alla olevissa päätöksentekotilanteissa on keskitytty päätöksiin, joita tehdään yhteiskunnassa hajautetusti paikallisella ja yksittäisten kohteiden tasolla. Toisaalta myös valtionhallinnon päästöjen arviointi- ja ohjauskeinot ovat erittäin merkittävässä asemassa energiamuotojen tulevan kehityksen kannalta.

## 4.2 Päätöksentekotilanteet ja vaihtelevat paikalliset olosuhteet

Kaikki energiaratkaisuja koskeva päätöksenteko ei luonnollisesti tapahdu kaukolämpöverkon alueella, ja pienimmät kaukolämpöverkot eivät ole yhteistuotantolaitoksia. Alle on ryhmitelty erilaisia päätöksentekotilanteita sen mukaan, onko päätöksenteon kohteena olevalla alueella kaukolämmön yhteistuotantoa, ja kuuluuko tarkastelussa oleva energia päästökaupan piiriin. Päästökauppaan kuuluvat suuret kaukolämpöverkot ja sähkö, ja pienet kaukolämpöverkot ja polttoaineet ovat sen ulkopuolella.

### Tuotetaanko alueella kaukolämpöä yhteistuotannolla

		Kyllä	Ei
Käytettävä energia kuuluu päästökauppaan	Kyllä	Kerrannaisvaikutus energiajärjestelmään ja päästökauppa	Päästökauppa
	Ei	Kerrannaisvaikutus energijärjestelmään	-

*Taulukko: päätöksenteossa huomioitavat tekijät erilaisissa paikallisissa olosuhteissa*

Tämä selvitys tarkastelee ennen muuta tapausta, jossa alueella on mahdollista käyttää yhteistuotannolla tuotettua kaukolämpöä, ja myös vaihtoehtoisesti käytettävä energiamuoto kuuluisi päästökaupan piiriin.

## 4.3 Mikä on minun kaukolämpöni hiilijalanjälki nyt?

Kaukolämmön asiakas haluaa tietää käyttämänsä kaukolämmön hiilijalanjäljen, jotta hän voi seurata ja optimoida oman toimintansa aiheuttaman energian kulutuksen päästöjä. Asiakasta kiinnostaa ymmärtää mikä on hänen tarpeitansa palvelevan lämmitysenergian tuottamisen aiheuttama ilmastohaitta, ja todennäköisesti myös miten suurta osaa hänen toimintansa kokonaispäästöistä tämä edustaa. Asiakkaan tilanne on vakio ja luonteeltaan staattinen, eli kyseessä ei ole nykyjärjestelmää muuttava ratkaisu. Kaukolämmön osalta on perusteltua huomioida yhteistuotannolla tuotetun sähkön saanti ”oheistuotteena”, koska yhteistuotannon sähkön määrä riippuu kiinteästi yhteistuotannolla tuotetun kaukolämmön käytöstä.

Asiakkaan näkökulmasta kyseessä on käytännössä lämmön kysynnän suorien vaikutusten päästöjen arviointi, jossa kuitenkin on huomioitava myös tuotetun sähkön päästöhyöty soveltuvalla menetelmällä. Tavallinen kaukolämmön asiakas ei välttämättä tiedosta, että yhteistuotannon korkealla kokonaishyötysuhteella saavutetaan päästöhyötyjä.

Päästövaikutusten arviointi voitaisiin sinänsä tehdä myös dynaamiset kerrannaisvaikutukset huomioiden. Epäsuorien vaikutusten osoittaminen tämän tyyppisessä tilanteessa on kuitenkin jokseenkin vaikeaa, sillä jos nykyistä tuotantoa poistettaisiin, pitäisi voida osoittaa mitä ratkaisuja sen tilalle syntyy.



#### **4.4 Mikä on vaikutus, jos valitsen tämän energiamuodon toisen sijaan?**

Käyttäjä haluaa tietää, mikä energiamuoto olisi ilmaston näkökulmasta perustelluin valinta lämmitykseen tai muuhun energiatarpeeseen. Tätä varten käyttäjän tulee voida hahmottaa, mikä on valinnan tekemisen kokonaisvaikutus ilmaston kannalta. Koska tilanne ei ole vakiintunut, myös sen vaikutukset ovat luonteeltaan dynaamisia. Näin ollen kerrannaisvaikutukset on perusteltua huomioida. Kerrannaisvaikutuksia syntyy käytännössä kaikissa energiaratkaisuja koskevissa muutostilanteissa, kuten myös pysyvissä kulutuksen muutoksissa, kuten energiatehokkuustoimissa ja –investoinneissa.

Jotta kerrannaisvaikutusten huomiointi ei tee tarkastelua mahdottomaksi, tulee tarkastelun laajuus tai huomioitavat kerrannaisvaikutukset rajata selkeästi ja toimivalla tavalla. Niissä tapauksissa, joissa lämmitysratkaisun valinta on suorassa yhteydessä myös sähköntuotantojärjestelmään kuten yhteistuotannossa, on rajauksen tai kerrannaisvaikutusten osalta huomioitava myös vaikutus sähköntuotantojärjestelmän päästöihin.

#### **4.5 Mitkä ovat kaavoitusvaihtoehtojen lämmitysratkaisujen vaikutukset?**

Kaavoittaja haluaa tietää, mikä lämmitysmuoto olisi ilmaston näkökulmasta perustelluin valinta. Kaavoitus aiheuttaa luonteeltaan suhteellisen merkittäviä energiankulutusta ohjaavia pitkäjänteisiä vaikutuksia, joten kerrannaisvaikutukset huomioiva tarkastelu on parhaiten perusteltavissa. Myös maankäyttö- ja rakennuslaki edellyttää kokonaisvaikutusten huomiointia, jos ne ovat olennaisia.

Maankäyttö- ja rakennuslain (1999/132) mukaan kaavaa laadittaessa on tarpeellisessa määrin selvitettävä tarkasteltavien vaihtoehtojen toteuttamisen ympäristövaikutukset, ml. yhdyskuntataloudelliset, sosiaaliset, kulttuuriset ja muut vaikutukset. Selvitykset on tehtävä koko siltä alueelta, jolla kaavalla voidaan arvioida olevan olennaisia vaikutuksia. Maankäyttö- ja rakennusasetus (1999/895) tarkentaa, että tarkastelussa on huomioitava merkittävät välittömät ja välilliset vaikutukset muun muassa ilmaan ja ilmastoon.

Alueiden energiaratkaisujen päästötarkasteluun ei ole olemassa tällä hetkellä menetelmää, joka yhdistäisi alueellisen tuotannon ja eurooppalaisen päästökaupan tasot saumattomasti, ja huomioisi päästöjen siirtymisen päästökaupan piiriin kuuluvien ja sen ulkopuolelle jäävien toimintojen kesken. Vaikka yksittäisen kaavoittajan kannalta tämä ei olekaan erityisen polttava ongelma, kansallisen energiahuollon suunnittelun ja ohjauksen kannalta tämä on merkittävä seikka. Kaavoittajien tarpeisiin on olemassa ja kehitetään erilaisia päästöjä huomioivia työkaluja, mutta tätä näkökulmaa ei näissäkään huomioida.

Alueiden päästötarkastelussa kokonaisvaikutusten huomiointi ei saa kuitenkaan tehdä tarkastelua mahdottomaksi. Kaavaratkaisujen energiapäätöksiä tehtäessä on huomioitava mahdollisen

yhteistuotannon erillistuotantoa syrjäyttävä vaikutus, tai mahdollisen lämmön erillistuotannon syrjäyttävä vaikutus sähkön yhteistuotannolle. Sähköä tai sähköä käyttäviä lämpöpumppuja käytettäessä tulisi huomioida myös kysynnän ajallinen kohdistuminen ja sähkön tuotantotapa, jota lämmitystarpeen aikaan todennäköisimmin käytetään. Tämä on merkityksellistä siksi, että lämmön kysyntä kasvaa osittain samaan aikaan kuin sähkön kysyntä, mikä voi aiheuttaa hiililauhdetuotannon kasvua.

Toisaalta kun rakentamismääräyksissä siirrytään entistä energiatehokkaampiin vaatimustasoihin ja etenkin lähes nollaenergiarakentamiseen, muuttuvat rakennusten energian kysyntäkäyrät merkittävästi. Kysyntä muuttuu luonteeltaan paljon epätasaisemmaksi ja osa rakennuksista voi myös tuottaa energiaa verkkoon silloin, kun rakennus ei itse pysty hyödyntämään kaikkea tuotantoaan. Lähes nollaenergiarakennusten kysyntäkäyrät tulevat muuttamaan eri energiamuotojen kysynnän pysyvyyttä ja kohdistumista, kun lähes nollaenergiarakennusten osuus rakennuskannasta kasvaa 2020-luvun aikana. Nämä erityispiirteet voivat tehdä kaavoituksen vaikutusten arvioinnista muita tapauksia haastavampaa.

Useilla kaukolämpöyhtiöillä on suunnitelmia tuotantonsa kehittämisestä vähäpäästöisempään suuntaan. Näiden vaikutuksen huomiointi ei ole mahdollista ilman paikallisen yhtiön suunnitelmien tuntemusta. Kaavoitusta tai kaupunkisuunnittelua tekevän käyttäjän onkin syytä selvittää alueelliselta kaukolämpöyhtiöltä ajantasaiset tiedot tulevista energiaratkaisuista koskevista suunnitelmista.

## **4.6 Kaukojäähdytyksen päästöjen arviointi**

Asiakkaiden kiinnostus kaukokylmää kohtaan kasvaa, ja näin myös sen kasvihuonekaasupäästöjen merkitys nousee. Kaukojäähdytyksen kysyntä kasvaa mm. sen huoltovapauden, kustannustehokkuuden ja rakennusten kasvavan jäähdytystarpeen kautta.

Tämän työn aiheena on kaukolämmön päästöjen laskenta ja kaukokylmään ei syvennyttä. Kaukojäähdytyksen päästöjen arviointimenetelmiä on käsitelty mm. lähteessä *Ecoheatcool: Guidelines for assessing the efficiency of district heating and district cooling systems*. Toisaalta osa esitetyistä laskentamenetelmistä on sovellettavissa kaukojäähdytyksen päästölaskentaan.

## 5 Laskentamenetelmien esittely ja tarkastelut

### 5.1 Tiivistelmä laskentamenetelmistä ja niiden eroavuuksista

Eurooppalaisessa standardisoinnissa painopiste on ollut primäärienergian laskennassa, jota on myös sovellettu muiden ympäristövaikutusten, kuten kasvihuonekaasupäästöjen laskentaan. Primäärienergia kuvaa uusiututumattomien luonnonvarojen kulutusta energiahuollossa. Kaukolämmön pääasiallisia asiakkaita ovat rakennukset, ja myös tässä käsitelty ympäristövaikutusten laskentaan liittyvä standardointi keskittyy suurelta osin rakennusten energian kysynnän ympäristövaikutusten huomiointiin eri tasoilla.

Menetelmät pääasiallisine yhtäläisyyksineen ja eroineen on esitetty alla olevissa taulukoissa. Menetelmillä on toki muitakin ominaisuuksia ja eroavuuksia kuin alla on esitetty. Menetelmien kuvaukset ja lisätiedot on esitelty tarkemmin erillisessä liitteessä. Mikään menetelmä ei edellytä elinkaariperusteista päästölaskentaa, vaikka primäärienergiaa hyödyntävät menetelmät huomioivat elinkaaren toimintaperiaatteessaan. Mikään menetelmä ei edellytä päästölaskennan ajanjaksoksi yhtä vuotta ylittävää jaksoa. Taulukkoihin on otettu mukaan vain varsinaiset päästöjen laskentamenetelmät.

Menetelmästä riippuen yhteistuotannon päästöt voidaan joko kohdistaa lämmön ja sähkön välille jollakin allokointiperusteella, tai olettaa yhteistuotannolla tuotetun sähkön korvaavan muuta sähkön tuotantoa, jolloin kerrannaisvaikutus huomioidaan. Tämä käy ilmi 1. taulukon oikean puolimmäisestä sarakkeesta.

Menetelmä	Menetelmän tarkoitus laskea	Korvattava sähkö / allokation peruste
EN 15316-4-5 vanhat laitokset	Toimitetun KL primäärienergiakerroin	Keskiarvolauhdesähkön tuotantoa
EN 15316-4-5 uudet laitokset	Toimitetun KL primäärienergiakerroin	Keskiarvolauhdesähkön tuotantoa
RES-direktiivi 2009/28/EC	Yhteistuotannon päästövähennykset	Samalla polttoaineella tuotettua lauhdesähköä
CHP-direktiivi 2004/8/EC	Yhteistuotannon primäärienergiäsäästö	Lauhdesähköä, mukana hyödynjako- allokation ominaisuuksia
Hyödynjakomenetelmä	Kohdistaa päästöt sähkölle ja kaukolämmölle	Allokaatio: kokonaishyötysuhde, niin että hyöty jakautuu molemmille
Energiamenetelmä	Kohdistaa päästöt sähkölle ja kaukolämmölle	Allokaatio: tuotetut energiamäärät
Ilmastopaneeli, 3/2013	KL päästöt energijärjestelmässä	Säätävää sähköntuotantomuotoa (markkinahintaan perustuen)
DEPM-menetelmä	KL päästöt energijärjestelmässä	Samalla polttoaineella tuotettua lauhdesähköä
BREEAM Commercial 2009	Laskea KL osuus NOx-päästöistä	Keskiarvosähkön tuotantoa

*Taulukko: laskentamenetelmien kuvaus ja tärkeimmät ominaisuudet tiivistettynä, osa 1/2*

Alla oleva taulukko kuvaa laskentamenetelmien tärkeimpiä käyttökohteita ja antaa lisätietoja.

Menetelmä	Käyttökohteita	Muuta
EN 15316-4-5 vanhat laitokset	EcoHeatCool, LEED Sweden, EcoHeat4Cities	Mittaa toimitettua kaukolämpöä toteutuman perusteella
EN 15316-4-5 uudet laitokset	-	Kuten yllä, mutta perustuu suunnittelutietoihin
RES-direktiivi 2009/28/EC	Soveltaen EcoHeat4Cities	Ympäristövaikutusten mittaamenetelmä poliittisen ohjauksen tarpeisiin
CHP-direktiivi 2004/8/EC	-	Ympäristövaikutusten mittaamenetelmä poliittisen ohjauksen tarpeisiin
Hyödynjakomenetelmä	GHG Protocol, YM , GBC Finland, Motiva, Covenant of Mayors, Tilastokeskus	Puhdas allokatiomenetelmä; lisäksi laskennassa tulee huomioida mm. energian toimituksen aiheuttama energiankulutus ja häviöt
Energiamenetelmä	Voidaan käyttää GHG Protocolissa, ei suositella	Puhdas allokatiomenetelmä; lisäksi muut vaikutukset tulee huomioida
Ilmastopaneeli, 3/2013	-	Sähkön hintaan perustuva kerrannaisvaikutukset huomioiva laskentamenetelmä
DEPM-menetelmä	-	Suoraviivainen kerrannaisvaikutuksia arvioiva menetelmä; ei juuri käytössä
BREEAM Commercial 2009	-	Menetelmä rakennusten ympäristöluokitukseen

*Taulukko: laskentamenetelmien kuvaus ja tärkeimmät ominaisuudet tiivistettynä, osa 2/2*

Tarkempaan tarkasteluun valittuja menetelmiä, eli EN 15316-4-5, hyödynjakomenetelmä ja Ilmastopaneelin menetelmä on käsitelty tässä kappaleessa. Kaikki menetelmät on kuvattu liitteessä.

Kun sovelluskohteessa on tarpeen valita laskentamenetelmä, tulee menetelmän valinnassa varmistaa, että menetelmä vastaa kysymykseen, johon halutaan vastaus. Laskentarajaukset ja aikajänne tulee myös pohtia käsillä olevan ongelman kannalta tarkoituksenmukaisesti. Käytännön laskenta voi vaatia menetelmästä riippuen enemmän tai vähemmän lähtötietoja ja ajankäyttöä, ja tämä vaikuttaa myös valintaan. Tarkempaan tarkasteluun valituista menetelmistä sekä EN 15316-4-5 että hyödynjakomenetelmä ovat suoraviivaisia soveltaa, kun taas Ilmastopaneelin menetelmä vaatii selkeästi suurempaa aineiston analyysiä laskennan taustaksi.

## 5.2 Tarkemmin tarkasteltujen laskentamenetelmien valinta

Useista tarjolla olevista menetelmistä tarkempaan tarkasteluun valittiin kolme relevanttia ja keskenään erilaista menetelmää, joita joko hyödynnetään laajasti (EN 15316-4-5 ja hyödynjakomenetelmä) tai jotka ovat ajankohtaisia (Ilmastopaneeli). Soveltuvuutta arvioitiin sekä menetelmien ympäristövaikutuksia ja energiantuotantojärjestelmän kuvaavuuden kannalta, että alan käytäntöjen kannalta.

Valitut menetelmät ja niiden valinnan perusteet ovat:

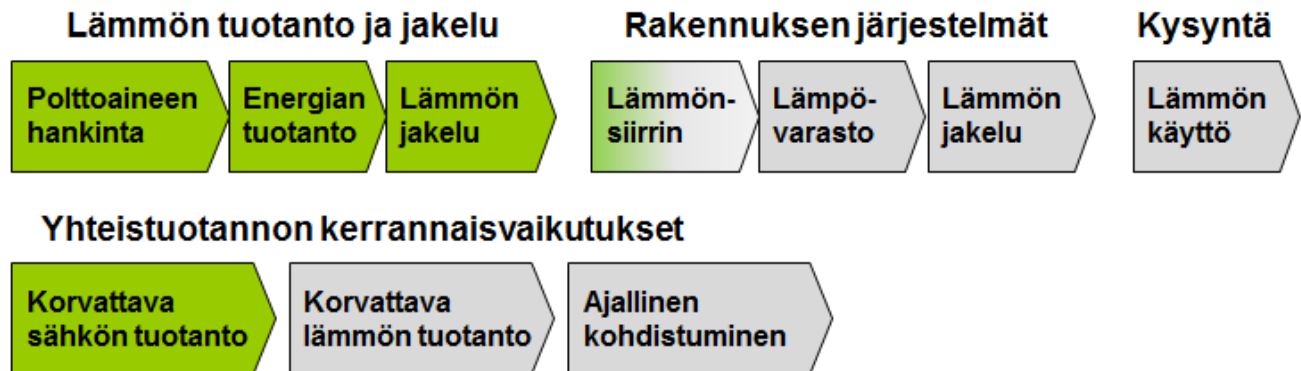
- **EN 15316-4-5** (mittaukseen perustuva menetelmä). Menetelmä valittiin, koska se on laajasti käytössä, se on EU-taustainen ja standardoitu. Yhteistuotannolla saatavan sähkön lasketaan korvaavan lauhdesähköä, jonka vaikutus lasketaan kiinteällä kertoimella. Menetelmä kuvaa teknistä realiteettia sähkön tuottamasta hyödystä, tosin hyvin yksinkertaistetulla tavalla.
- **Hyödynjakomenetelmä**. Menetelmä valittiin, koska sillä on Suomessa merkittävä asema ja sitä käytetään laajasti yhteiskunnallisessa päätöksenteossa. Menetelmä toimii sähkön ja lämmön päästöjen jakotapana, jossa molemmat hyötyvät yhteistuotannosta suhteessa erillistuotantoon.
- **Ilmastopaneelin menetelmä**. Menetelmä valittiin, koska se on kerrannaisvaikutuksia kuvaavista menetelmistä tuorein ja pyrkii kuvaamaan energiajärjestelmän käyttäytymistä myös kysynnän ajallisen kohdistumisen kannalta.

Kaikilla menetelmillä CO<sub>2</sub>-päästöt on laskettu elinkaariperusteisesti, eli myös polttoaineen keräys-, käsittely-, kuljetus- ja jalostuspäästöt ovat mukana kokonaisvaikutuksissa. Vastaavasti esimerkiksi päästökaupassa huomioidaan vain palamisen suorat päästöt. Tässä tehty valinta johtaa jonkin verran korkeampiin päästöihin, koska elinkaaren kaikki päästöt aiheuttavat vaiheet huomioidaan.

## 5.3 EN 15316-4-5 laskentamenetelmä

Menetelmän avulla lasketaan kaukolämpöjärjestelmän primäärienergiakerroin, joka kuvaa kaukolämpöjärjestelmän tehokkuutta. Standardin mukaan kaukolämpöjärjestelmä kattaa energian tuotannon ja toimittamisen käyttäjän lämmönsiirtimen verkon puoleiselle rajalle saakka. Käyttäjän järjestelmät ovat tarkastelun ulkopuolella. Menetelmän mukaan kaukolämmön primäärienergiakerroin saadaan vähentämällä kaukolämpöverkkoon kuuluvien laitosten polttoaineiden yhteenlasketusta primäärienergisäilytyksestä laitosten mahdollisesti tuottaman sähkön primäärienergisäilytyksestä. Primäärienergisäilytykset kertoo, paljonko energiaa polttoaineen energian lisäksi on otettu luonnosta esim raaka-aineiden otossa, jalostuksessa, kuljetuksessa jne. Korvattu sähkö lasketaan kiinteällä kertoimella, joka voidaan sopia kansallisesti. Tulos jaetaan laitoksen asiakkaille toimittaman lämpöenergian määrällä.

Silloin kun halutaan määrittää yhteistuotannossa tuotetun kaukolämmön polttoaineiden primäärienergiasisältö, keskitytään vain kyseisen laitoksen energiataseeseen. Menetelmää voidaan soveltaa myös CO<sub>2</sub>-päästöjen kohdistamiseen. Tällöin toimitetun lämmön päästöjen laskentaan tulee jälkikäteen lisätä päästöt mm. käytetystä sähköstä, erillistuotannosta ja jakeluhävikistä.



Kuva: EN 15316-4-5- laskentarajaus (kun lasketaan primäärienergiakerroin)

Tässä primäärienergiakerroimina on käytetty seuraavia arvoja: sähkö 2,5, polttoöljy 1,35, maakaasu 1,1, kivihiili ja turve 1,2 ja biopolttoaineet 1,1. Kertoimet ovat biopolttoaineiden ja turpeen kerrointa lukuun ottamatta Euroheat & Powerin julkaisemia. Kertoimet sisältävät myös uusiutuvan energian.

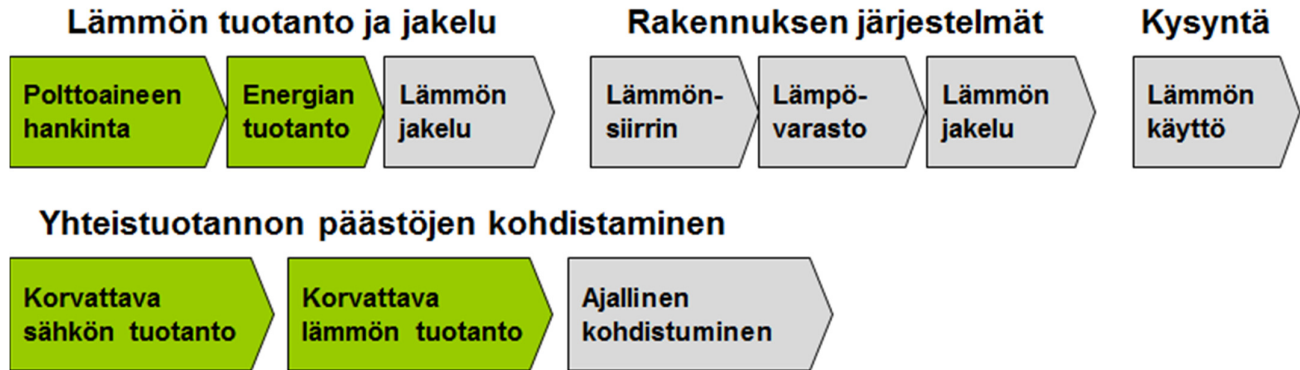
On olennaista huomata, että jos yhteistuotannossa käytetään vähäpäästöisiä energiamuotoja, kuten biomassaa, ja sähkön hyötysuhde on lähellä lauhdetuotannon hyötysuhdetta, jää laskennallisesti kaukolämmölle kohdistettavan päästön osuus vähäiseksi, tai primäärienergialla laskettaessa nolnaan.



Kuva: EN 15316-4-5- laskentamalli olemassa olevilla laitoksilla, yksinkertaistettu

## 5.4 Hyödynjakomenetelmä

Hyödynjakomenetelmä on luonteeltaan päästöjen allokointimalli, jolla kohdistetaan yhteistuotannolla tuotetun sähkön ja lämmön päästöt kullekin energiahyödykkeelle. Hyödynjakomalli ei sinänsä ota siis kantaa toimitetun energian kokonaispäästöön, vaan miten yhteistuotantoa pitäisi käsitellä. Käytännössä hyödynjakomallin avulla voidaan kuitenkin laskea yksinkertaisesti toimitetun energian kokonaispäästöt.



Kuva: Hyödynjakomenetelmän laskentarajaus (poikkeaa edellisistä, koska on kohdistamismenetelmä)

Lämmön ja sähkön yhteistuotannon päästöt kohdistetaan energiamuodoille hyödynjakomenetelmän avulla niin, että yhteenlaskettuna niiden summa on yhtä kuin kohteen todelliset päästöt, mutta molemmat hyötyvät. Menetelmä jakaa päästöt perustuen oletukseen siitä, miten energia tuotettaisiin ilman yhteistuotantoa. Menetelmässä voidaan käyttää kulloinkin parhaiten tilanteeseen sopivia hyötysuhteita (esim. lauhdetuotannon hyötysuhde voi olla laskennassa myös 40 %). Jos muita arvoja ei ole tarpeen käyttää, oletetaan yleensä sähkön tuotannon hyötysuhteeksi 39 % (lauhdetuotanto) ja lämmön tuotannon hyötysuhteeksi 90 % (vesikattila). Päästöt kohdistetaan tuotetun energian ja hyötysuhteiden mukaisesti painotettuina. Jos voimalaitos tuottaa yhtä paljon sekä sähköä että lämpöä, päästöt jaetaan suhteessa  $1/0,39 : 1/0,90$ . Sähkölle kohdistetaan tällöin noin seitsemän kymmenesosaa kaikista energiantuotannon päästöistä kyseisellä voimalaitoksella. Menetelmällä laskettuna yhteistuotannon kaukolämmön päästö voi olla nolla vain suorilla päästöillä laskettuna. Mikäli laitos tuottaa pelkkää lauhdesähköä tai tekee erillistä lämmöntuotantoa ilman sähköntuotantoa, erotetaan näiden osuus ennen jyvitystä. Lisäksi erikseen lasketaan energian toimituksen, kuten pumppaussähkön ja siirtohäviöiden vaikutus energian päästöihin.



Kuva: hyödynjakomenetelmän laskentamalli

## 5.5 Ilmastopaneelin käyttämä menetelmä

Laskentamenetelmän keskeinen kysymys on, mitä sähköntuotantoa yhteistuotannolla korvataan, eli mikä on sähkön marginaalituotantomuoto. Menetelmä pyrkii ratkaisemaan tämän tarkastelemalla sähköpörssin hintaa. Kun sähkön pörssihinta ylittää lauhdesähkön muuttuvat kustannukset (76 % ajasta vuonna 2010), oletetaan että marginaalituotanto on lauhdesähköä. Mallissa muuttuva tuotantokustannus perustuu kivihillen ja päästöoikeuden hintaan. Lauhdesähkö puolestaan on suurelta osin hiilivoimaa. Vastaavasti kun hinta on alle lauhdetuotannon muuttuvan kustannuksen, mutta yli CHP-tuotannon muuttuvan kustannuksen, pidetään marginaalituotantomuotona CHP:tä. Kun sähkön hinta on tämän alle, on säätävänä tuotantona pidetty vesi- ydin- tai tuulivoimaa. Käytännössä tuulivoima ei riipu hinnasta, vaan sääoloista, ja vesivoimaa käytetään vuorokausitason tuotannon säätämiseen.



Kuva: Ilmastopaneelin laskentamallin rajaus

Menetelmän avulla marginaalisähkön päästöt nousevat huomattavan korkeiksi, mutta jäävät alle pelkän hiililauhdetuotannon päästöjen. Yhteistuotannon päästöt lasketaan vähentämällä kokonaispäästöistä korvattun sähkön laskennalliset tuotantopäästöt, ja näin ollen yhteistuotannolla tuotetun kaukolämmön ympäristövaikutukset jäävät hyvin vähäisiksi. Yhteistuotantolaitoksilla, joilla sähkön hyötysuhde on korkea tai käytetään paljon biomassaa, voidaan menetelmällä saada kaukolämmölle negatiiviset CO<sub>2</sub>-päästöt.



Kuva: Ilmastopaneelin esittämä laskentamalli



Tässä selvityksessä Ilmastopaneelin menetelmää on hyödynnetty, mutta tulos on toistettu käytännön syistä alkuperäistä mallia yksinkertaisemmalla laskentamenetelmällä, joka on kuvattu alla.

Tässä tehdyssä tarkastelussa on polttoaineisiin perustuva voimantuotanto jaettu kahteen ryhmään:

- Lauhdetuotanto: kattaa kaiken lauhdetuotannon. Pitkän aikavälin modernien hiilivoimaloiden keskimääräinen käyttötuntimäärä vuodessa on noin 5 000 tuntia, joten lauhdetuotannon määränä on pidetty 5 000 tuntia. Tämä vastaa vajaan 40 € / MWh elspot-hintatasoa vuosina 2011 ja 2012.
- Yhteistuotanto: kattaa kaiken yhteistuotannon. Sähköä on laskettu tuotettavan yhteistuotannolla niinä aikoina, kun sitä ei tuoteta lauhdetuotannolla, eli yhteistuotanto on marginaalituotantomuoto noin 3 760 tuntia vuodessa. Tämä oletus ei ole pitävä siinä suhteessa, että lämmityskauden ulkopuolella voimantuotantoa tehdään myös ilman merkittävää yhteistuotantoa. Yhteistuotannossa sähkön tuotantoon kohdistuvat polttoaineet on otettu Tilastokeskuksen aineistosta, jossa polttoaineen kulutus kohdistuu sähköntuotantoon hyödynjakomenetelmällä.

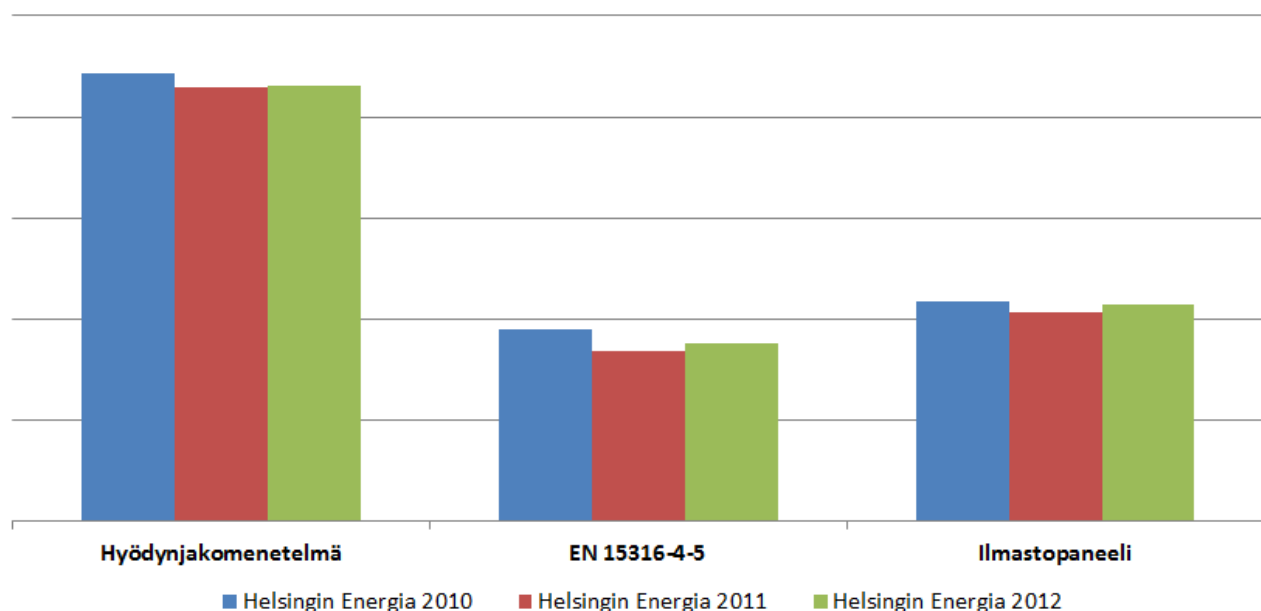
Tällä periaatteella saadaan Tilastokeskuksen aineistosta lauhdesähkön tuotannon elinkaariperusteisesti lasketuksi CO<sub>2</sub>e-päästöksi noin 840 g CO<sub>2</sub>e / kWh ja yhteistuotannolla tuotetun sähkön CO<sub>2</sub>e-päästöksi noin 250 g CO<sub>2</sub>e / kWh. Polttoaineiden tuotanto ja jalostus ovat mukana laskelmissa. Energijärjestelmän päästötaseesta puuttuvat vielä lähes päästöttömät ydin- ja vesivoima, joita tässä laskennassa ei koskaan pidetä säätävinä energiamuotoina. Menetelmässä vähäpäästöistä polttoainetta hyvällä sähkön hyötysuhteella tuottavan laitoksen päästötase voi muodostua negatiiviseksi.

## 6 Menetelmien hyödyntäminen erilaisissa laitoksissa

### 6.1 Helsingin Energia – satunnaisvaihtelua ilman merkittäviä muutoksia

Helsingin alueella kaukolämpöä toimittava Helsingin Energia ei ole tehnyt merkittäviä teknisiä muutoksia laitoksiinsa koko järjestelmän tasolla tarkasteltuna vuosien 2010-2012 välisenä aikana. Toisaalta tälläkin aikavälillä laitoksiin on tehty joitakin pienempiä tehokkuutta parantavia ja ylläpitäviä investointeja. Heilahtelu tuloksissa on luonteeltaan pääasiassa satunnaisheilahtelua, joka johtuu ulkoisista tekijöistä. Tulosten vaihtelu ajanjaksolla on menetelmästä riippuen noin 10 % luokkaa. Toisaalta on huomattava, että tarkasteluajanjakso on lyhyt ja myös tätä suurempaa vaihtelua voi tapahtua. Vaihtelut johtuvat mm. säästä, polttoaineiden, päästöoikeuden ja sähkön markkinahinnoista, sekä investoinneista ja korjauksista.

#### Helsingin Energian kaukolämmön CO<sub>2</sub>-päästöt eri menetelmillä



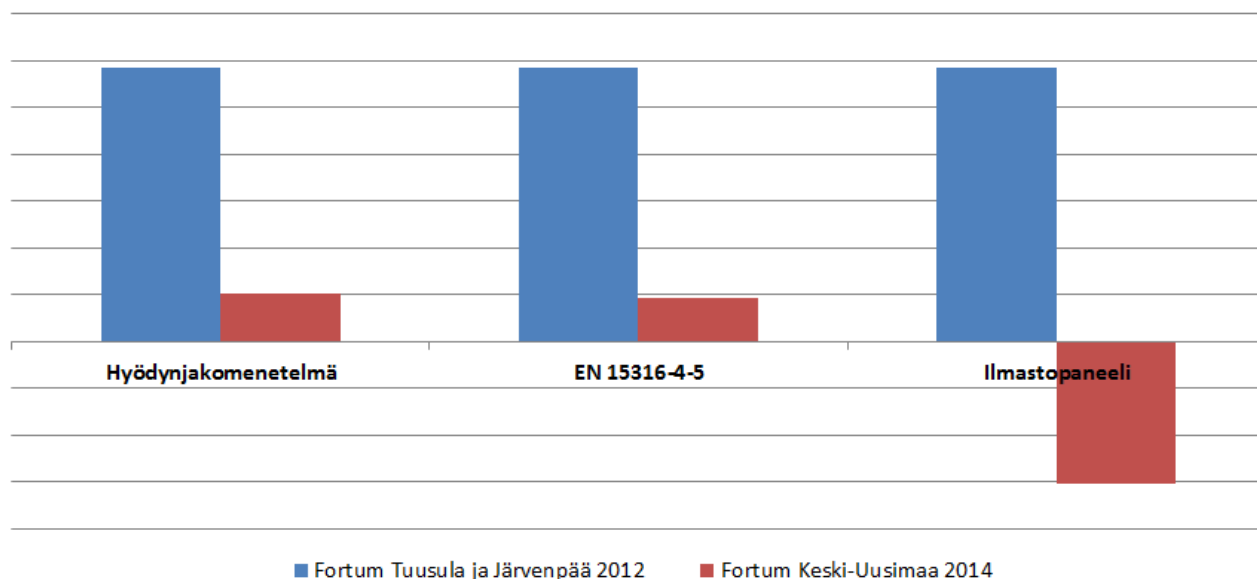
Kuva: Helsingin Energian kaukolämmön CO<sub>2</sub>-päästöt vuosina 2010-2012 eri menetelmillä arvioituna

Menetelmistä huomataan, että niiden tulokset ovat yhdenmukaisia eri vuosien välillä, mutta että ero numeerisessa tuloksessa on enimmillään yli kaksinkertainen. Yhtiön kaukolämmön CO<sub>2</sub>-päästöjen kannalta hyödynjakomenetelmä on vähiten edullinen ja EN 15316-4-5 menetelmä on edullisin. Ilmastopaneelin menetelmä on tuloksiltaan lähellä EN 15316-4-5-menetelmää. Hyödynjakomenetelmä kohdistaa päästöt tuotetun lämmön ja sähkön välillä siten, että molemmat hyötävät erillistuotantoon verrattuna. EN 15316-4-5- ja Ilmastopaneeli taas kuvaavat lämmön yhteistuotannon vaikutusta energijärjestelmässä, jolloin sähkön yhteistuotannon oletetaan korvaavan muuta sähköntuotantoa. Tuotantopäästöt eivät muutu menetelmittäin, vaan niitä kohdistetaan sähkölle ja lämmölle eri suhteessa.

## 6.2 Fortum Keski-Uusimaa – erillistuotannon korvaaminen CHP-laitoksella

Fortumin Keski-Uusimaan bio-CHP laitos korvaa sekä Tuusulan että Järvenpään aiemmat lämmön erillistuotantoa maakaasulla tehneet laitokset. Samassa yhteydessä kaukolämpöverkot myös yhdistetään, ja aiempi pienimuotoinen kaukolämmön osto loppuu. Maakaasu erillislämmöntuotannossa jää osaksi järjestelmää tasaamaan huippukuormia ja kesäajan pientä lämpökuormaa. Muutostilannetta tarkastellaan vuosina 2012, kun vanhat laitokset ovat vielä täysimääräisesti käytössä, ja vuonna 2014, jolloin uuden laitoksen pitäisi olla jo täysimääräisesti käytössä. Vaihtelu johtuu yksinomaan investoinnista.

### Fortum Keski-Uusimaan kaukolämmön CO<sub>2</sub>-päästöt eri menetelmillä



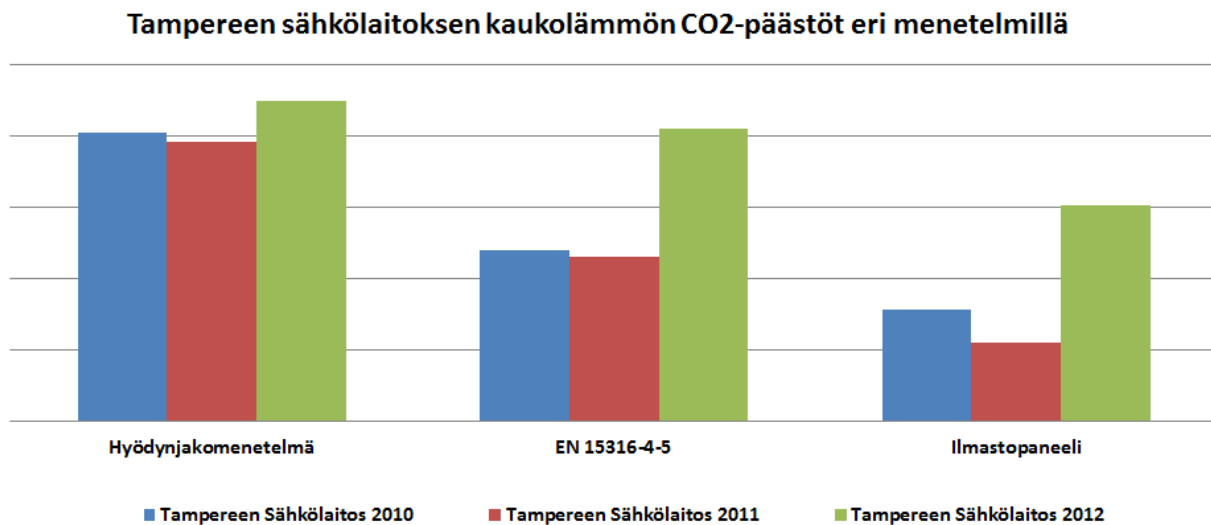
Kuva: Fortumin Keski-Uusimaan kaukolämmön CO<sub>2</sub>-päästöt vuosina 2012 ja 2014 eri menetelmillä

On selvää, että lähtötilanteen osalta menetelmät eivät tuota eroja, koska yhteistuotantoa ei harjoiteta. Toisaalta myös lopputilanteessa hyödynjako- ja EN 15316-4-5-menetelmien erot ovat varsin vähäisiä, ja niillä päästöt vähenevät noin 80 %. Tämä johtuu siitä, että yhteistuotanto tehdään biomassalla ja sen päästöt ovat lähellä nollaa. Jäljelle jäävistä päästöistä suurin osa johtuu maakaasulla tehtävästä lämmön erillistuotannosta. Toisaalta Ilmastopaneelin menetelmällä kaukolämmön päästöt muuttuvat investoinnin jälkeen vahvasti negatiivisiksi. Tämä taas johtuu siitä, että menetelmällä lasketaan yhteistuotannolla saadulla sähköllä korvattavan pääasiassa hiililauhdetta, jolloin vältetyt päästöt ovat syntyviä päästöjä suuremmat. Menetelmän mukaan arvioituna laitos alentaa energiajärjestelmän kasvihuonekaasupäästöjä.

### 6.3 Tampereen Sähkölaitos – alempi sähköntuotanto ajotavan muutoksella

Tampereen Sähkölaitoksen kaukolämpöjärjestelmään ei ole tehty merkittäviä investointeja tarkasteluajanjaksolla. Vuonna 2009 Naistenlahti 2-laitokselle investoitiin biosyöttölinjaan, jonka jälkeen puupolttoaineen käyttöä on voitu merkittävästi lisätä. Puupolttoaineen käyttö on kasvanut vuosittain.

Tarkastelujakson muutokset johtuvat olennaisesti ajotavan muutoksesta, jonka taustalla ovat taloudelliset syyt. Sähkön markkinahinnan ja maakaasun hinnan keskinäinen kehitys on ollut epäedullinen sähkön tuotannon kannalta tarkastelujaksolla, ja näin ollen sähköntuotantoa on pyritty vähentämään. Vuonna 2010 hintasuhde oli vielä sähköntuotannolle hyvä, mutta vuoden 2012 lopulla osa kehitetystä hyörystä ajettiin reduktiolla lämmöksi. Lopputuloksena kaukolämmön tuotantoon liittyvä sähkön nettotuotanto aleni lähes 30 % ajanjakson aikana. Päästölaskennassa tämä näkyy kaukolämmön päästöjen kasvuna kaikilla menetelmillä, kun päästöistä vuonna 2012 entistä pienempi osa kohdistuu vähemmän tuotetulle sähkölle.

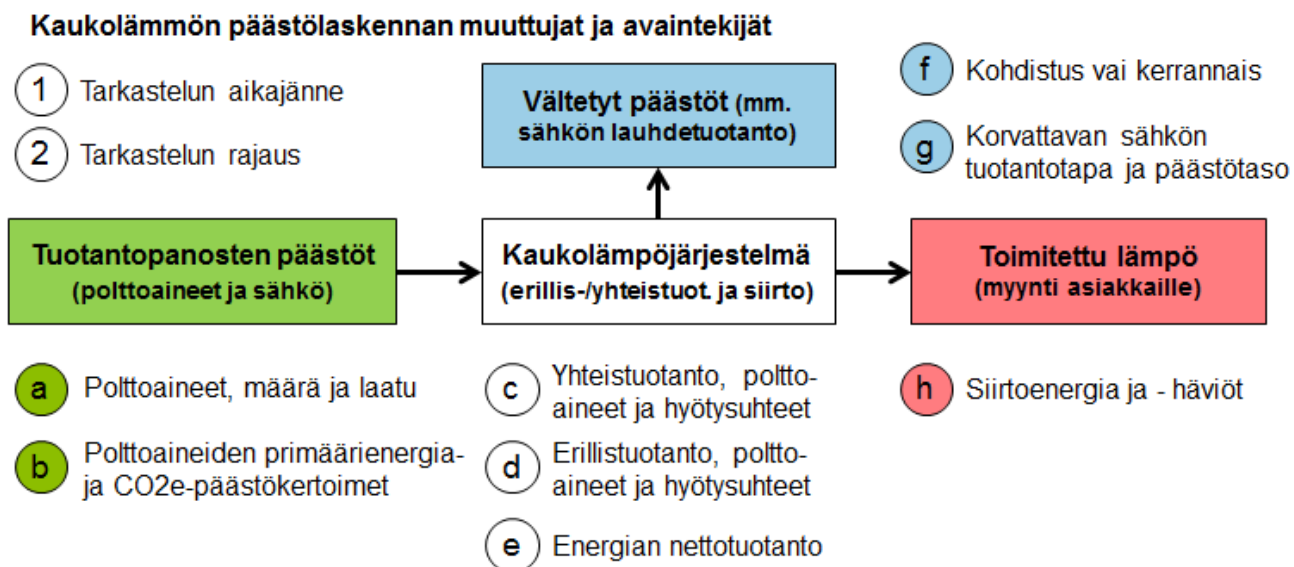


*Kuva: Tampereen Sähkölaitoksen kaukolämmön CO<sub>2</sub>-päästöt vuosina 2010-2012 eri menetelmillä*

Kaikki menetelmät näyttävät kaukolämmön päästöjen laskua (enintään 30 %) vuosien 2010 ja 2011 välillä, mikä johtuu sekä turpeen korvaamisesta puupolttoaineella että öljyn käytön laskusta. Puupolttoaineen osuutta on kasvatettu jatkuvasti siitä saakka, kun laitosisinvestointi sen mahdollisti. Kaikki menetelmät näyttävät myös kaukolämmön päästöjen selvää kasvua vuosien 2011 ja 2012 välillä, mikä johtuu yllä kuvatusta ajotavan muutoksesta johtuvasta sähkön tuotannon laskusta. Menetelmillä saatujen tulosten erot ovat merkittäviä. Erojen syynä on menetelmien vaihteleva herkkyys tuotetun sähkön määrään suhteessa lämpöön. Erot korostuisivat vielä enemmän, jos tarkastelussa olisi vain Tampereen Sähkölaitoksen kaukolämmön yhteistuotannon osuus. Menetelmistä vahvimmin tuotetun sähkön määrään reagoi Ilmastopaneelin menetelmä, toiseksi eniten EN 15316-4-5 ja vähiten hyödynjakomenetelmä.

## 7 Johtopäätöksiä ja pohdintaa

Suomessa kaukolämmöstä kolme neljäsosaa tuotetaan yhteistuotannolla, joten yhteistuotannon käsittely ja päästöjen jakaminen sähkön ja lämmön kesken ovat laskennan olennaisimpia tekijöitä. Muita merkittäviä tekijöitä ovat mm. laskennan rajaus, suorien tai kerrannaisvaikutusten huomiointi, laskennan aikajänne, ja polttoaineiden päästö- tai primäärienergiakertoimet. Näitä on havainnollistettu seuraavassa.



*Kuva: kaukolämmön päästölaskennan muuttujat ja avaintekijät ryhmiteltynä tuotannon osa-alueittain*

Hyvä mittari edustaa kuvaamaansa ilmiötä luotettavasti ja ennustettavasti, on käyttäjilleen ymmärrettävä ja toimii käytännössä. Ymmärrettävyys tarkoittaa, että käyttäjät ja sidosryhmät ymmärtävät, mistä indikaattorissa on kysymys, miksi sitä tarvitaan ja käytetään. Toimivuus varmistaa, että tieto on saatavilla ja se on koostettavissa käytössä olevilla tiedoilla ja ajalla ja kohtuukustannuksin. Ennustettavuus takaa, että kriteerin muutokset eivät ole olennaisesti ulkoisista tekijöistä johtuvia tai satunnaisia, ja luotettavuus tarkoittaa sitä, että mittari kuvaa todellisia ja merkityksellisiä ympäristövaikutuksia luotettavasti.

Raportissa käytiin läpi neljätoista kaukolämmön ympäristövaikutusten arvioinnin menetelmää, joista osa perustuu päästöjen kohdentamiseen sähkön ja lämmön kesken ja osa perustuu kerrannaisvaikutuksen huomiointiin. Kolme menetelmää valittiin tarkempaan tarkasteluun. Näistä sekä EN 15316-4-5 että Ilmastopaneelin menetelmä perustuvat marginaalituotannon korvaamiseen ja ne ottavat huomioon kerrannaisvaikutukset sähkön tuotannossa. Marginaalisähkön tuotantotapa on lyhyellä aikajänteellä lauhdevoima. Kymmenien vuosien aikajänteellä sähkön kysynnän muutokset kohdistuvat myös muihin tuotantomuotoihin kuin lauhdevoimaan. Koska lauhdesähkön osuutta ei voida ennustaa, on sitä syytä seurata määrävälein. Kerrannaisvaikutusten huomiointi on hyvä periaate energijärjestelmän tarkastelussa. Yksikään menetelmistä ei ennusta tulevaa tuotantorakennetta tai marginaalituotantoa.

Tarkemmin tutkittujen menetelmien tärkeimmät ominaisuudet on koostettu seuraavaan taulukkoon.

	<b>EN 15316-4-5</b>	<b>Hyödynjakomenetelmä</b>	<b>Ilmastopaneeli</b>
<b>Laskentamenetelmän tarkoitus on laskea</b>	Kaukolämpöjärjestelmän energiatehokkuus	Päästöjen kohdistaminen sähkön ja lämmön kesken	Lämmityspäästöt sähkömarkkina huomioiden
<b>Menetelmän periaate</b>	Kerrannaisvaikutukset	Laitostaso: staattinen	Kerrannaisvaikutukset
<b>Ymmärrettävyys</b>	Selkeä ja ymmärrettävä	Selkeä ja ymmärrettävä	Vaatii perehtymistä
<b>Toimivuus</b>	Helppokäyttöinen	Helppokäyttöinen	Vaatii merkittävästi työtä
<b>Ennustettavuus</b>	Herkkä käytettäville pekkertoimille	Hyvin vakaa menetelmä, ei riipu ulkoisista tekijöistä	Suuretkin vaihtelut vuosien välillä ovat mahdollisia
<b>Luotettavuus</b>	Pitkällä aikajänteellä ei todellisuudessa korvata pelkkää lauhdetta	Ei huomioi korvattavaa sähkön tuotantoa, vaan jakaa laitoksen päästöt	Perustuu sähkön markkinahintoihin, joten menetelmänä perusteltu

*Taulukko: tarkemmin arvioidut laskentamenetelmät ja kooste niiden tärkeimmistä ominaisuuksista*

Menetelmistä EN 15316-4-5 on erittäin herkkä käytettävien primäärienergiakertoimien suhteen. Hyödynjakomenetelmällä laskettaessa vastaavan kokoluokan eroja ei käytännössä synny, sillä polttoaineiden päästökertoimet ovat laajalti tunnettuja, ja suorien ja elinkaariperusteistenkin päästökertoimien erot ovat suhteellisen pieniä. Ilmastopaneelin menetelmän ennustettavuuden ongelma on vuosittain vaihteleva korvattavan sähkön päästö, jossa hiililauhteen osuudella on suuri merkitys.

Tutkituista laskentamenetelmistä sekä EN 15316-4-5-standardin että Ilmastopaneelin menetelmissä yhteistuotannolla tuotetun kaukolämmön päästövaikutus voi olla nolla, tai Ilmastopaneelin menetelmällä myös selvästi negatiivinen. Hyödynjakomenetelmällä päästökseksi ei koskaan muodostu nolla, jos myös polttoaineiden tuotanto- ja jalostusketjun päästöt, kuten keräys, jalostus ja kuljetus huomioidaan. Kuitenkin jos huomioidaan vain poltosta syntyvä suora päästö, saadaan päästöttömäksi määriteltyä polttoainetta (esim. biopolttoainetta) käytettäessä myös hyödynjakomenetelmällä kummankin tuotteen päästökseksi nolla.

Käyttäjän näkökulmasta EN 15316-4-5 on sekä ymmärrettävä että toimiva. Sen luotettavuus ja ennustettavuus voivat kärsiä kuitenkin käytettyjen primäärienergiakertoimien vaihtamisesta, koska näille ei ole sovittua yhteistä pohjaa Suomen olosuhteisiin. Menetelmä ennakoii, että sähkö korvaisi aina lauhdetuotantoa. Kymmenien vuosien aikajänteellä korvaus voi kohdistua muuhunkin tuotantomuotoon.

Hyödynjakomenetelmä kohdistaa laitoksen tuotannon päästöjä sähkön ja lämmön välillä. Hyödynjakomenetelmä on myös ymmärrettävä ja toimiva käyttäjälle. Menetelmä on myös hyvin ennustettava, koska se ei ota kantaa laitoksen ulkopuoliseen tuotantoon, paitsi verrokkeina pidettävän erillistuotannon hyötysuhteen kautta. Menetelmä ei ota huomioon korvattavaa sähkön tuotantomuotoa, eikä näin ennusta muutosten vaikutusta energijärjestelmään. Tätä voidaan pitää heikkoutena luotettavuuden kannalta.

Ilmastopaneelin menetelmä pyrkii kuvaamaan energiamarkkinoiden toimintaa sähkön markkinahintojen ja näiden mukaan vaihtuvan säätävän tuotantomuodon kautta. Menetelmä on vaikeammin ymmärrettävä ja käytettävä, ja hintaperusteisella arvioinnilla voi muodostua hyvin suuria eroja eri tuotantovuosien välille. Tämän johdosta menetelmän antamien tulosten ennustettavuus on muita menetelmiä heikompi. Toisaalta tämä energiamarkkinaa kuvaava lähestymistapa voi parantaa menetelmän luotettavuutta.

Toisaalta eri käyttäjillä ja eri päätöksentekotilanteissa menetelmiin kohdistuu erilaisia tarpeita ja odotuksia. Seuraavassa taulukossa on kuvattu menetelmiä asiakkaiden päätöksentekotilanteissa.

	<b>EN 15316-4-5</b>	<b>Hyödynjako</b>	<b>Ilmastopaneeli</b>
<b>Mikä on minun kauko-lämpöni hiilijalanjälki?</b>	Kuvaa kysynnän ympäristövaikutusta. Kertoimet voivat vaihdella	Kuvaa yhteistuotannon hyötyä. Tulos vakaa ja tilanne staattinen	Kerrannaisvaikutus hyvin huomioitu; vuosivaihtelut suuria ja työläs käyttää
<b>Mikä on vaikutus, jos valitsen tämän energiamuodon?</b>	Kerrannaisvaikutuksen huomioimisen tärkeys korostuu tässä tilanteessa	Kerrannaisvaikutuksen puuttuminen rasitteena tässä tilanteessa	Vuosivaihtelun suuruus rasitteena; voi johtaa eri päätöksiin eri vuosina
<b>Mitkä ovat kaavoitusvaihtoehtojen lämmitys-ratkaisujen vaikutukset?</b>	Kerrannaisvaikutus tärkeä; mutta pitkä aikajänne vaatii korvattavan sähkön tuotantotavan pohdintaa	Kerrannaisvaikutuksen puute rasite, mutta samalla yksinkertaistaa ongelmaa	Rasitteena vuosivaihtelut ja oletus lauhdesähkön korvaamisesta pitkälläkin aikajänteellä

*Taulukko: tarkemmin arvioidut laskentamenetelmät erilaisissa käyttäjien päätöksentekotilanteissa*

Yksittäisen energian käyttäjän päätöksenteon kannalta menetelmän ymmärrettävyys, toimivuus ja ennustettavuus korostuvat. Näihin tilanteisiin sekä EN 15316-4-5 että hyödynjakomenetelmä kykenevät vastaamaan Ilmastopaneelin menetelmää paremmin. Hyödynjakomenetelmän käyttöä voi puoltaa myös sen laaja käyttö suomalaisessa toimintaympäristössä. Energian kysynnän kerrannaisvaikutusta energiajärjestelmässä kuvaavat EN 15316-4-5 ja Ilmastopaneelin menetelmä. Sen vuoksi ne soveltuvat muutostilanteisiin, joissa halutaan arvioida energiavalintojen dynaamisia vaikutuksia. Kerrannaisvaikutuksen mittaamiseen ne käyttävät oletusta korvattavan sähköenergian tuotantomuodosta, joka on käytännössä lauhdetuotantoa. Vuosikymmeniä vaikuttavia ratkaisuja tehtäessä, kuten kaavoituksessa, on hyvä tarvittaessa sovittaa nämä oletukset vastaamaan arviota energiajärjestelmän tulevasta kehityksestä.

Käytännön vaikutusten arviointia varten tarvitaan kuitenkin valmiita ja suoraviivaisia ratkaisuja. Näitä voivat olla esim. riittävän pitkän ajanjakson ajalta lasketut erityyppisten kuormitusten, kuten käyttäjäsähkön, jäähdytys- ja lämmityssähkön ja lämpöpumppujen keskimääräiset sähköntuotantoon kohdistuvat päästöt ja vastaavasti yhteistuotantoa vastaavat sähköntuotantojärjestelmän vaihtoehtoiset päästöt. Näiden tausta-aineistona tulisi käyttää pitkän tai keskipitkän aikajänteiden tuotantorakennetta.

## 8 Liite: kaikkien tarkasteltujen laskentamenetelmien esittelyt

### 8.1 Rakennusten energiatehokkuuden EN-standardien menetelmät

CENin rakennusten energiatehokkuuden niin kutsuttu EPBD-standardisarja koostuu yhteensä 43 standardista, joilla on olemassa selkeä ja jäsenneilty hierarkia, joka on esitetty kuvassa alla.

Calculation of **overall energy use** in buildings:  
prEN 15603, EN 15459,  
EN 15217

Korkeimmalla tasolla olevat standardit liittyvät rakennusten kokonaisenergiankäytön laskemiseen, perustuen alemman tason standardien tuloksiin. Näistä olennainen on *EN 15603 Rakennusten energiatehokkuus. Kokonaisenergiantarve ja energialuokitusten määrittely.*

Calculation of **delivered energy**: EN 15316,  
prEN 15243, EN 15377, EN  
15241. EN 15232. EN 15193

Seuraavan tason standardit liittyvät toimitetun energian laskemiseen, ja ne voivat tarvittaessa perustua alemman tason standardien tuloksiin. Näistä olennainen on *EN 15316-1 Rakennusten lämmitysjärjestelmät. Järjestelmien energiavaati- musten ja järjestelmätehokkuuden laskenta.*

Calculation of **energy need** (heating, cooling):  
EN ISO 13790, EN 15255,  
EN 15265

Tätä alemman tason standardit kuvaavat rakennuksen energiantarvetta, mm. lämmityksen ja jäähdytyksen tarvetta.

Standardijärjestelmää tarkemmin kuvaa mm. CEN/TR 15615 Selvitys rakennusten energiatehokkuus-direktiiviin (EPBD) liittyvistä eurooppalaisista standardeista ja niiden liittymisestä toisiinsa.



### **8.1.1 SFS-EN 15603 Rakennusten energiatehokkuus**

Tämä standardi määrittää, miten rakennuksessa käytettävät eri energiamuodot voidaan laskea yhteen joko primäärienergiana tai hiilidioksidipäästönä, tai muulla kansallisella tavalla sovellettuna. Energiamuotojen kertoimet voidaan asettaa keskiarvokertoimina (koko vuoden tuotannon keskiarvoa edustavina), marginaalikertoimina (säättävää tuotantoa edustavina) tai loppukäyttökertoimina (esim. lämmityksen ja ilmastoinnin ajallisista eroista johtuvasta erilaisesta profiilista). Myös energiaa rakennukseen ostettaessa ja sieltä sitä myytäessä voidaan energiamuodoille antaa erilaiset kertoimet. Energian hukka rakennuksen sisällä huomioidaan laskennassa suoraan, ja rakennuksen ulkopuolella tapahtuva hukka esim. kaukolämmön osalta huomioidaan muuntokertoimessa. Arviointi voidaan tehdä ryhmälle rakennuksia, jos ne ovat samalla tontilla tai samat tekniset järjestelmät palvelevat niitä.

Standardi jättää kansalliselle soveltamisohjeelle huomattavia vapauksia. Kansallisella tasolla voidaan ottaa mukaan primäärienergiakertoimiin uusiutuvan energian osuus tai jättää se pois, mikä aiheuttaa vaihtelua. Lisäksi kansallisesti voidaan päättää monista muista laskennan yksityiskohdista. Ohje sisältää myös liitteen, jossa on oletusarvoja sekä energiamuotojen primäärienergia- että CO<sub>2</sub>-päästökertoimille.

### **8.1.2 SFS-EN 15316-1 Rakennusten lämmitysjärjestelmät – yleistä**

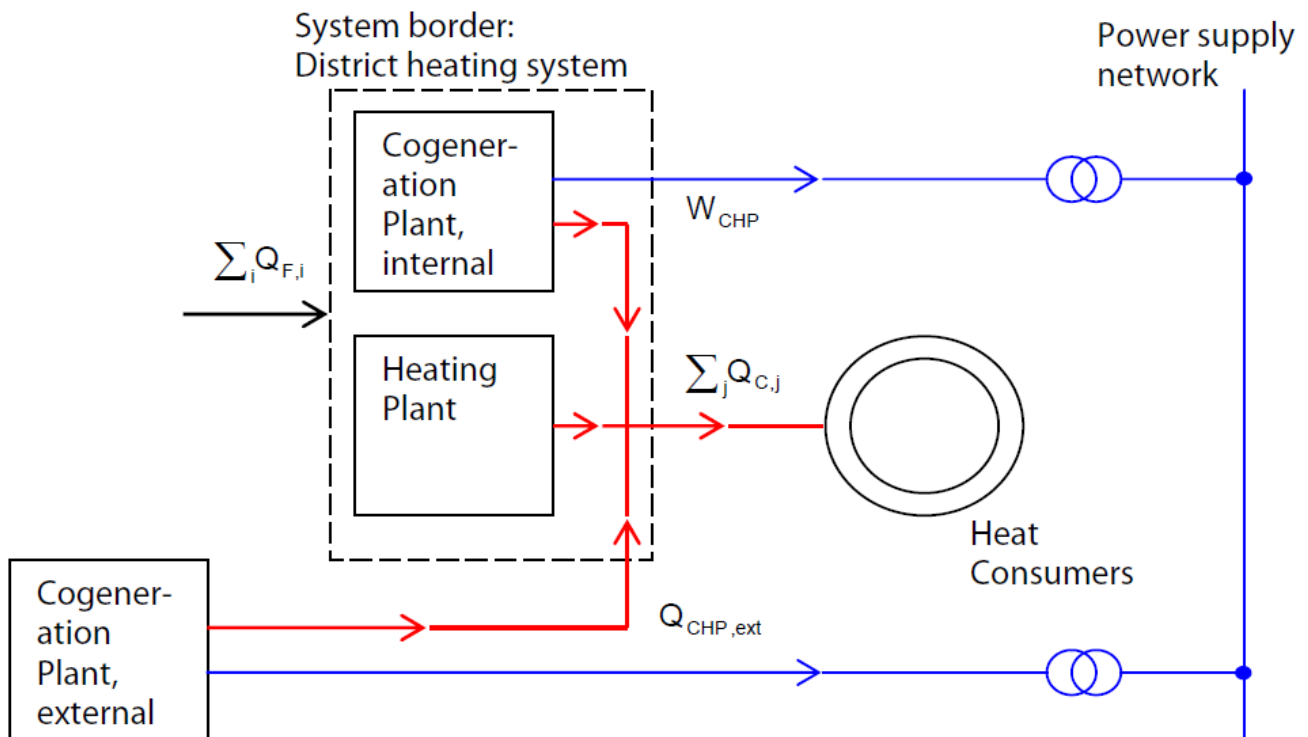
Standardi määrittelee rakennuksen sisätilan lämmitysjärjestelmän ja rakennusten lämpimän käyttöveden järjestelmän energiankulutuksen laskennan, vaadittavat lähtötiedot ja laskennan tulokset. Laskenta sallii eri osajärjestelmien vertailun, ratkaisujen valinnan ja mahdollistaa niiden vaikutuksen seurannan rakennuksen energiatehokkuuteen. Lämmitysjärjestelmän osajärjestelmien energiahäviöiden laskenta on määritelty seuraavissa standardeissa (prEN 15316, osat 2-x, 3-x ja 4-x). Lämmitysjärjestelmän osajärjestelmien lämpöhäviöt, talteenotettavat järjestelmän lämpöhäviöt ja laitesähköenergia lasketaan yhteen. Lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöt vaikuttavat rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen (prEN 15603). Ilmanvaihtojärjestelmät eivät sisälly tähän standardiin (esim. lämmöntalteenotolla varustetut koneelliset tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmät), mutta mikäli ilma on esilämmitetty tai käytetään ilmalämmitysjärjestelmää, näiden järjestelmien järjestelmähäviöt sisältyvät tähän standardiin.

### **8.1.3 SFS-EN 15316-4-5 Rakennusten lämmitys – kaukolämpö, vanhat laitokset**

Laskentamenetelmät olemassa oleville laitoksille ja uusille laitoksille vastaavat toisiaan, mutta eroavat lähtötietojen valmiusasteen osalta keskenään. Laskennan tuloksena saadaan kaukolämpöjärjestelmän primäärienergiakerroin. Standardia voidaan käyttää myös kaukojäähdytyksen laskentaan. Laskenta kattaa toimitusketjun polttoaineiden hankinnasta rakennuksen lämmönvaihtimen verkon puoleiselle rajalle. Standardi tarjoaa myös verkkoon muualta ostetun lämmön primäärienergiakertoimen laskentatavan.

Standardin esittämien menetelmien avulla ei kuitenkaan saada suoraan laskettua kaukolämmön CO<sub>2</sub>-päästöjä. Tästä huolimatta menetelmän periaatetta on mahdollista hyödyntää yhteistuotantolaitoksen kaukolämmön polttoaineiden osuuden määrittämiseksi, jotta päästöt voidaan kohdistaa kaukolämmölle. Tässä mielessä menetelmää voidaan siis käyttää kasvihuonekaasupäästöjen kohdistamismenetelmänä.

Standardin mukainen kaukolämmön primäärienergiakertoimen laskentaperiaate on yksinkertainen. Kaukolämmön primäärienergiakerroin saadaan vähentämällä laitoksen polttoaineiden yhteenlasketusta primäärienergiasisällöstä laitoksen tuottaman sähkön primäärienergiasisältö. Tulos jaetaan laitoksen rakennuksiin toimittaman lämpöenergian määrällä. Primäärienergiakertoimet voivat olla joko kansallisia, EN 15603-standardin mukaan laskettuja tai standardin liitteen E mukaisia. Liite perustuu ETH Zürichin julkaisuun vuodelta 1996, jonka mukaan painotetun keskiarvosähkön primäärienergiakerroin on 3,31. Liite on luonteeltaan ohjeistava, joten kertoimina voidaan käyttää myös esim. kansallisia arvoja. Menetelmä onkin erittäin herkkä primäärienergiakertoimien muutosten aiheuttamalle tulosten vaihtelulle.



Kuva: Laskentamalli olemassa oleville laitoksille. Lähde: Ecoheatcool.

Menetelmä on valittu tarkempaan tarkasteluun ja sitä on käsitelty myös kappaleessa 5.3.

### 8.1.4 SFS-EN 15316-4-5 Rakennusten lämmitys – kaukolämpö, uudet laitokset

Myös uusien laitosten osalta primäärienergiakertoimen laskennassa käytetään menetelmää, jolla lasketaan ympäristöhyötyä laitoksella tuotetusta sähköenergiasta. Laskennassa kaukolämpöverkkoon toimitetun lämmön ja yhteistuotantolaitoksella tuotetun sähkön primäärienergiasisällön summa on yhtä suuri kuin kaukolämpöverkkoon kuuluvien laitosten polttoaineiden primäärienergiasisältö. Primäärienergiakertoimet voivat olla kansallisia tai EN 15603-standardin liitteen oletusarvon mukaisia. Liitteen mukainen, ohjeistava painotetun keskiarvosähkön primäärienergiakerroin on 3,31. Menetelmä on erittäin herkkä primäärienergiakertoimien muutosten aiheuttamalle tulosten vaihtelulle.

Laskentakaava on kuvattu alla:

$$f_{P,dh} \cdot \sum_j Q_{del,j} + f_{P,el} \cdot E_{el,chp} = f_{P,chp} \cdot E_{F,chp} + f_{P,T,gen} \cdot E_{F,T,gen}$$

$Q_{del,j}$	kaukolämpöverkkoon kuuluvien laitosten toimittama lämpö
$E_{el,chp}$	kaukolämpöverkkoon kuuluvan yhteistuotantolaitoksen tuottama sähkö
$E_{F,chp}$	kaukolämpöverkkoon kuuluvien yhteistuotantolaitosten polttoainekulutus
$E_{F,T,gen}$	kaukolämpöverkkoon kuuluvien erillistuotantolaitosten polttoainekulutus
$f_{P,dh}$	primäärienergiakerroin kaukolämpöverkolle
$f_{P,el}$	primäärienergiakerroin korvatulle sähkölle
$f_{P,chp}$	primäärienergiakerroin yhteistuotantolaitoksella käytetylle polttoaineelle
$f_{P,T,gen}$	primäärienergiakerroin erillistuotantolaitoksella käytetylle polttoaineelle

Uusien laitosten data saadaan suunnittelutiedoista, joita ovat mm. laitosten sekä lämmönjakeluverkon hyötysuhde ( $\eta$ ), CHP:n lämmön ja sähkön suhde ( $\sigma$ ) sekä CHP-laitoksella tuotetun lämmön osuus tarvittavasta lämmöstä ( $\beta$ ). Näistä saadaan laskennan lähtötiedot alla olevien kaavojen avulla:

- $$1 \quad E_{F,chp} = \frac{E_{el,chp} + Q_{chp}}{\eta_{chp}}$$
- $$2 \quad E_{F,T,gen} = \frac{Q_{T,gen}}{\eta_{T,gen}}$$
- $$3 \quad E_{el,chp} = \sigma \cdot Q_{chp}$$
- $$4 \quad Q_{chp} = \beta \cdot Q_{Gen}$$
- $$5 \quad Q_{T,gen} = (1 - \beta) \cdot Q_{Gen}$$
- $$6 \quad Q_{Gen} = \frac{\sum_j Q_{del,j}}{\eta_{hn}}$$

Kuten yllä, tässäkin standardin esittämien menetelmien avulla ei saada suoraan laskettua kaukolämmön CO<sub>2</sub>-päästöjä. Tästä huolimatta menetelmän periaatetta on mahdollista hyödyntää yhteistuotantolaitoksen kaukolämmön polttoaineiden osuuden määrittämiseksi, jotta päästöt voidaan kohdistaa kaukolämmölle. Tässä mielessä menetelmää voidaan siis käyttää kasvihuonekaasupäästöjen kohdistamismenetelmänä.

Kun halutaan laskea laitostason CO<sub>2</sub>-päästöt, sovelletaan yllä esitettyä kaavaa, mutta laskenta tehdään vain yhteistuotantolaitoksen tiedoilla. Silloin kaukolämmön osuus polttoaineen kulutuksesta on laitoksella käytetyn polttoaineen primäärienergiasisällön ja tuotetun sähkön määrää vastaavan korvaus-sähkön primäärienergiasisällön erotus jaettuna laitoksessa käytetyn polttoaineen primäärienergiasisällöllä.

$$\text{kaukolämmön osuus polttoaineen kulutuksesta} = \frac{f_{P,\text{chp}} * E_{F,\text{chp}} - f_{P,\text{el}} * E_{\text{el,chp}}}{f_{P,\text{chp}} * E_{F,\text{chp}}}$$

Esimerkkinä lasketaan kaukolämmön osuus polttoaineiden päästöistä Fortumin Keski-Uusimaan uudelle bio-CHP-laitokselle (katso 6.2). Laskelma tehdään selkeyden vuoksi annetuista kulutusarvioista, mutta se voitaisiin myös tehdä suunnitteludatasta. Suunnitelmien mukaan laitos tuottaa vuodessa 120 GWh sähköä ( $E_{\text{el,chp}}$ ) ja laitoksen vuotuinen biopolttoaineen kulutus ( $E_{F,\text{chp}}$ ) on 430 gigawattituntia. Biopolttoaineen primäärienergiakertoimena käytetään tässä arvoa 1,1 ja korvattavan lauhdetuotannon sähkön kertoimena 2,5:ttä. Kaukolämmön osuus polttoaineiden kulutuksesta saadaan seuraavasti:

$$\text{kaukolämmön osuus polttoaineen kulutuksesta} = \frac{430 * 1,1 - 120 * 2,5}{430 * 1,1} = 0,37$$

Saatua kerrointa voidaan hyödyntää yhteistuotantolaitoksen päästöjen kohdistamisessa. Toimitetun energian päästöjen laskentaan tulee lisäksi huomioida erillistuotanto, sähkön kulutus ja hävikit. Standardin liitteessä on annettu tätä kattavampi esimerkki menetelmän hyödyntämisestä primäärienergialle.

## 8.2 Rakennusten ympäristötehokkuuden arviointi, EN 15978

Rakennusalalle on kehitetty oma ympäristötehokkuuden arviointiin tarkoitettu standardiperhe, nimeltään *CEN/TC 350 Sustainability of Construction Works*. CEN/TC 350-standardien tavoitteena on edistää kestävästä rakentamisesta Euroopassa ja mahdollistaa kansainvälinen rakennustuotteiden ja rakennusten päästöjen mittaaminen yhteismitallisella menetelmällä. Standardiperheen keskeinen osa on rakennusten ympäristövaikutusten arviointimenetelmästandardi EN 15978, jota hyödynnetään elinkaariarvioinnin työkaluna mm. saksalaisessa DGNB:ssä, brittiläisessä BREEAM:issa ja ranskalaisessa HQE:ssä.

Rakennuksen elinkaarensa aikana kuluttama energia on yksi olennainen osa rakennuksen ympäristövaikutusten tarkastelua. Rakennuksen kuluttama energia lasketaan EN 15603-standardin

mukaisesti rakennuksen energialähteiden todellisia päästötietoja hyödyntäen, jotka voivat erota EN 15603-standardin taulukkoarvoista.

Rakennuksesta mahdollisesti ulkopuolelle toimitettu ylijäämäenergia lasketaan erikseen, eli sitä ei voida vähentää ostoenergiasta, vaan se ilmoitetaan lisätietona. Rakennuksen ulkopuolelle toimitetulle energialle lasketaan sen korvaavuusvaikutus, joka saadaan todennäköisimmin korvattavasta energianlähteestä, nykykäytäntöihin ja teknologioihin verrattuna.

Merkittävin ero muihin laskentamenetelmiin tulee siitä, että myös pysyväksi rakennuksen osaksi asennettavat energijärjestelmien ja –laitteiden valmistukseen, huoltoon ja loppuhävitykseen liittyvät päästöt huomioidaan, jos niitä ei voida osoitettavissa olevan vähäisen vaikutuksen vuoksi rajata tarkastelun ulkopuolelle. Muissa menetelmissä pääomahyödykkeiden päästöjä ei huomioida.

Kyseistä standardia Suomen oloihin soveltavassa Green Building Council Finlandin *Rakennusten elinkaarimittarit*-ohjeistuksessa määritetään sekä yhteistuotannolla tuotetulle kaukolämmölle että sähkölle päästöjen kohdentamisperiaatteeksi hyödynjakomenetelmä.

## **8.3 EU-direktiivien määrittämät menetelmät**

### **8.3.1 Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi, uudelleenlaadittu (2010/31/EU)**

Direktiivi säättää vaatimuksista, jotka koskevat mm. rakennusten ja rakennuksen osien kokonaisenergiatehokkuuden laskentamenetelmän yhteistä kehystä. Direktiivin mukaan rakennuksen energiatehokkuus on määritettävä sen lasketun tai tosiasiallisen energiamäärän perusteella, joka vuosittain kulutetaan rakennuksen tyypilliseen käyttöön liittyvien tarpeiden täyttämiseen, ja sen on vastattava lämmitysenergiaa ja jäähdytysenergiaa, joka tarvitaan suunniteltujen lämpötilaolosuhteiden ylläpitämiseen, ja lämpimän käyttöveden tarvetta.

Rakennuksen energiatehokkuus on ilmaistava avoimella tavalla, ja siihen on sisällyttävä energiatehokkuusindikaattori ja numeroarvoinen primäärienergiankäytön indikaattori, joka perustuu primäärienergian tekijöihin energiamuotoa kohden; primäärienergian tekijät voivat perustua kansallisiin tai alueellisiin painotettuihin vuotuisiin keskiarvoihin tai paikalla tapahtuvan tuotannon ominaisarvoon.

Rakennusten energiatehokkuuden laskentamenetelmässä olisi otettava huomioon eurooppalaiset standardit, ja sen on noudatettava asiaa koskevaa unionin lainsäädäntöä, ml. direktiivi 2009/28/EY.

Direktiivi ei säätele rakennusten energian päästölaskentaa, vaan jättää tämän standardien ohjattavaksi. Rakennusten energiatehokkuusstandardit EN 15603, EN 15316-1, ja EN 15316-4-5 vastaavat direktiivin luomaan standardointitarpeeseen, ja ne onkin laadittu EU:n komission antamalla mandaatilla.

### 8.3.2 Uusiutuvan energian direktiivi (2009/28/EC, liite V)

Direktiivin periaatteena on, että tietyin edellytyksin yhteistuotannolla saatava sähkö voidaan katsoa ”ylimääräiseksi”, eli lämmön tuotannon sivutuotteeksi. Direktiivin liite V määrää, miten yhteistuotantolaitosten tuottamat päästövähennykset huomioidaan:

Direktiivin mukaan ”sähkön ja lämmön yhteistuotannosta saatavan ylimääräisen sähkön avulla saatavat päästövähennykset otetaan huomioon, jos kyseessä on ylimääräinen sähkö, joka on tuotettu yhteistuotantoa käyttävillä polttoaineen tuotantojärjestelmillä, paitsi jos yhteistuotantoon käytetty polttoaine on muu sivutuote kuin viljelykasvien tähde. Tätä ylimääräistä sähköä laskettaessa sähkön ja lämmön yhteistuotantoyksikön kokona pidetään pienintä mahdollista kokoa, joka on tarpeen, jotta yhteistuotantoyksikkö voi toimittaa polttoaineen tuottamiseen tarvittavan lämmön.”

Tähän ylimääräiseen sähköön liittyvien kasvihuonekaasupäästöjen vähennysten katsotaan olevan yhtä suuri kuin se kasvihuonekaasun määrä, joka aiheutuisi, jos sama määrä sähköä tuotettaisiin voimalassa, joka käyttää samaa polttoainetta kuin yhteistuotantolaitos.

### 8.3.3 Yhteistuotantodirektiivi (2004/8/EC, liite III)

Direktiivin liite III tarjoaa laskentamenetelmän yhteistuotannolla saavutettaville primäärienergiäsäästöille, joka perustuu sillä korvattavaan erillistuotantoon. Erillistuotannon hyötysuhteet ovat jäsenmaakohtaisia. Menetelmää voidaan soveltaa myös CO<sub>2</sub>-päästöjen laskentaan, mutta sitä ei ole laadittu siihen tarkoitukseen. Laskentakaava on esitetty alla olevassa kuvassa:

$$PES = \left( 1 - \frac{1}{\frac{CHP H\eta}{Ref H\eta} + \frac{CHP E\eta}{Ref E\eta}} \right) \times 100 \%$$

jossa:

PES on primäärienergian säästö,

CHP H $\eta$  on yhteistuotannon lämpöhyötysuhde, jolla tarkoitetaan vuosittaista hyötylämmön tuotosta jaettuna yhteistuotannolla tuotetun hyötylämpötuotoksen ja sähkön yhteismäärään käytetyllä polttoainepanoksella.

Ref H $\eta$  on erillisen lämmöntuotannon hyötysuhteen viitearvo.

CHP E $\eta$  on yhteistuotannon sähköhyötysuhde, jolla tarkoitetaan vuosittaista yhteistuotannosta saatavaa sähköä jaettuna yhteistuotannolla tuotetun hyötylämpötuotoksen ja sähkön yhteismäärään käytetyllä polttoainepanoksella. Jos yhteistuotantoyksikkö tuottaa mekaanista energiaa, vuosittaiseen yhteistuotannosta saatavan sähkön määrään voidaan lisätä erä, joka tarkoittaa kyseisen mekaanisen energian määrää vastaavaa sähkön määrää. Tälle lisäerälle ei voida antaa 5 artiklan mukaista alkuperätakuuta.

Ref E $\eta$  on erillisen sähköntuotannon hyötysuhteen viitearvo.

*Kuva: yhteistuotantodirektiivin määrittämä säästetyn primäärienergian laskentakaava*

## 8.4 Muut menetelmät

### 8.4.1 Hyödynjakomenetelmä

Hyödynjakomenetelmä on alunperin kehitetty yhteistuotannon kustannusten jakamiseen. Hyödynjakomenetelmän avulla päästöt voidaan jyvittää sekä sähkön että kaukolämmön kesken niin, että molemmat energiamuodot hyöttyvät suhteessa erillistuotantoon. Menetelmää hyödyntävät mm. Tilastokeskus, Ympäristöministeriö ja Motiva, ja myös Green Building Council Finlandin *Rakennusten elinkaarimittarit*-laskentaohje edellyttää menetelmän käyttöä.

Lämmön ja sähkön yhteistuotannon päästöt kohdistetaan energiamuodoille hyödynjakomenetelmän avulla niin, että yhteenlaskettuna niiden summa on yhtä kuin kohteen todelliset päästöt, mutta molemmat hyöttyvät. Menetelmä jakaa päästöt perustuen oletukseen, että ilman yhteistuotantoa lämpö tuotettaisiin kaukolämpökattilassa ja sähkö tuotettaisiin lauhdevoimalaitoksessa käyttäen samaa polttoainetta.

Menetelmässä voidaan käyttää kulloinkin parhaiten tilanteeseen sopivia hyötysuhteita, esim. lauhdetuotannon hyötysuhde voi olla laskennassa myös 40 %. Jos muita arvoja ei ole tarpeen käyttää, oletetaan sähkön tuotannon hyötysuhteeksi 39 % (lauhdetuotanto) ja lämmön tuotannon hyötysuhteeksi 90 % (vesikattila). Päästöt kohdistetaan tuotetun energian ja hyötysuhteiden mukaisesti painotettuina. Jos voimalaitos tuottaa yhtä paljon sekä sähköä että lämpöä, päästöt jaetaan suhteessa 1/0,39 : 1/0,90. Sähkölle kohdistetaan tällöin noin seitsemän kymmenesosaa kaikista energiantuotannon päästöistä kyseisellä voimalaitoksella. Mikäli laitos tuottaa pelkkää lauhdesähköä lämpökuorman ollessa alhainen tai tekee erillistä lämmöntuotantoa ilman sähköntuotantoa, erotetaan näiden osuus ennen jyvitystä.

Menetelmä on julkaistu Kauppa- ja teollisuusministeriön julkaisussa *Yhdistetty sähkön ja lämmön tuotannon päästöjen jakaminen, KTM 19/1999*, Liikanen. Hyödynjakomenetelmää periaatteeltaan muistuttavat mm. Greenhouse Gas Protocolin efficiency method ja yhteistuotantodirektiivin tarjoama päästövähennemien laskentamenetelmä. Hyödynjakomenetelmää voidaan hyödyntää myös silloin, kun kokonaispäästöt halutaan kohdistaa eri energiatuotteille ja halutaan, että summa vastaa tuotantopäästöjä.

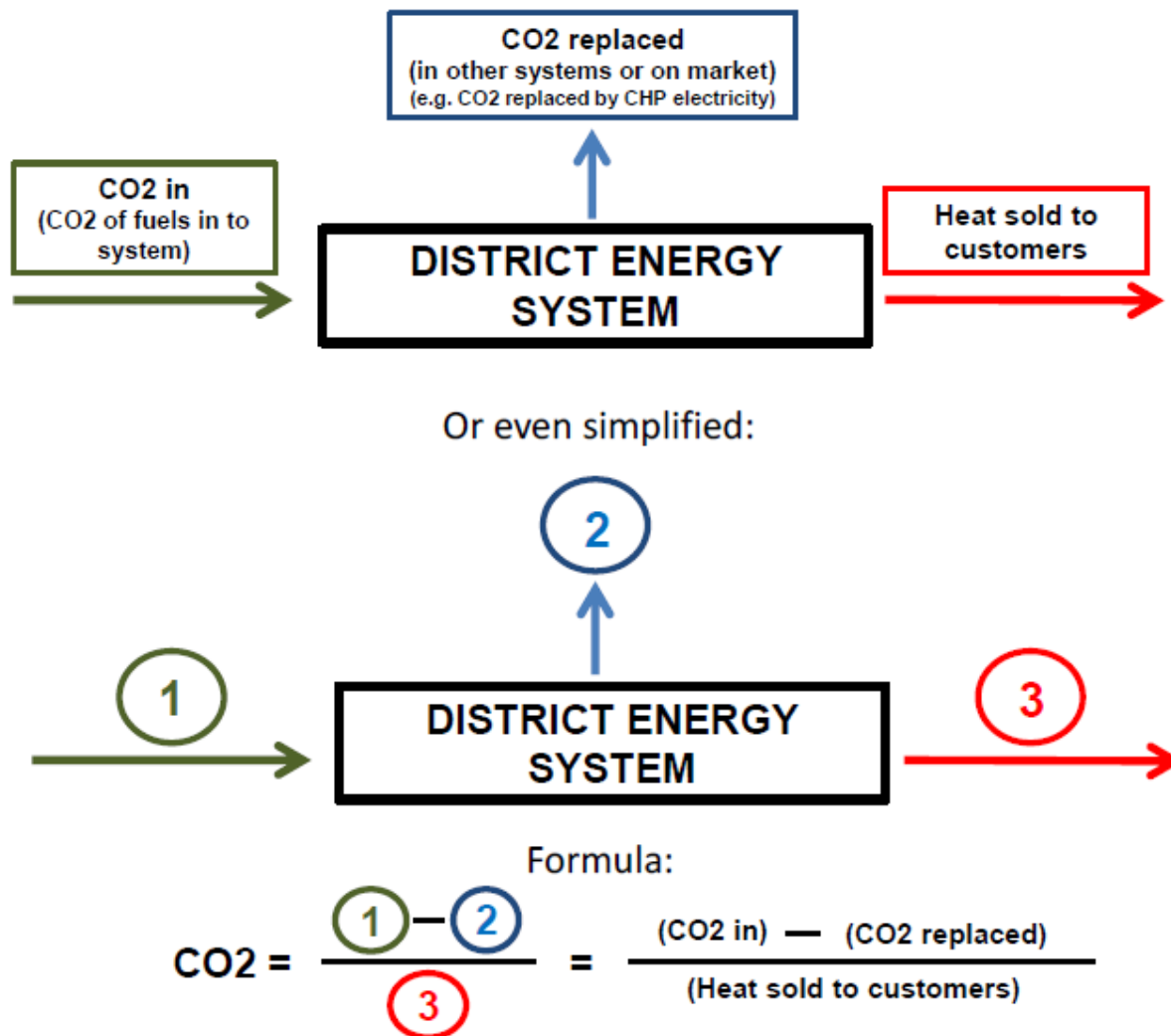
Menetelmä on valittu tarkempaan tarkasteluun ja sitä on käsitelty myös kappaleessa 5.4.

### 8.4.2 Energiamenetelmä

Energiamenetelmä jyvittää yhteistuotantolaitoksen tuottamat kokonaispäästöt suhteessa tuotettuihin energiayksiköihin tasasuhteessa kWh per kWh. Tuotettu energia lasketaan laitoksen tuottaman nettoenergian perusteella. Lopputuloksena yhteistuotantolaitoksessa tuotetun sähkön ja lämmön päästöt ovat samat. Kokonaispäästöt vaihtelevat toki sen mukaan, tehdäänkö osa sähköstä pelkällä lauhdetuotannolla ja osa lämmöstä pelkällä erillistuotannolla.

### 8.4.3 Treatment of Scandinavian District Energy Systems in LEED, korjattu versio

Kyseessä on Sweden Green Building Councilin ohje, jonka avulla voidaan laskea LEED 2009-editionin mukaisen rakennuksen käyttämän kaukolämmön ympäristötehokkuus. Ohjetta tarvitaan, sillä LEED:in mukainen laskentasääntö perustuu polttoaineiden hintoihin, joka ei sovellu Pohjoismaiseen toimintaympäristöön, kuten esimerkiksi jätevoimalaitoksiin. Laskentamalli perustuu vaihtoehtoiseen tuotantotapaan (EN 15316-4-5- mukaisella tavalla), tosin eroavuuksia standardiin on. Malliin on esitetty korjausehdotus 25.2.2013, joka yhtenäistäisi sen standardin kanssa. Olennainen sisältö esitetään alla:



Kuva: LEED for Scandinavian district heating-laskentamallin korjattu (25.2.2012) esitystapa



## 8.4.4 EcoHeat4Cities, Swedish Environmental Research Institute

Laskentamalli (power bonus principle) noudattaa EN 15316-4-5-standardia ja uusiutuvan energian direktiiviä (2009/28/EC), jota on sovellettu kasviuonekaasupäästöjen laskemiseksi. EcoHeat4Cities-tutkimus arvioi useampia laskentamalleja, mutta päätyi yhteen suositeltuun sovellustapaan.

Menetelmän mukaan yhteistuotannon sähkön päästöt lasketaan sillä päästötasolla, joka syntyisi saman sähkömäärän tuottamisesta samalla polttoaineella, polttoaineelle soveltuvalla sähköntuotannon teholla. Menetelmän mukaan sähkön ja lämmön päästöt ovat myös yhteenlaskettuna laitoksen kokonaispäästöt.

Laskentakaava on esitetty kuvassa alla:

### Power Bonus RES

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

where

- $K_{dh}$  = carbon dioxide emission factor for delivered heat provided to the building, in kg CO<sub>2</sub>/MWh
- $K_{F,tot(i)}$  = carbon dioxide emission factor for fuel *i*, in kg CO<sub>2</sub>/MWh<sub>fuel</sub>
- $E_{F(i)}$  = net energy content of fuel *i* delivered to the gate where it is finally converted to heat
- $E_{el,chp(i)}$  = net produced electricity in co-generation plant from fuel *i* (produced electricity minus auxiliary electricity use). Only applicable for CHP. The share of electricity produced from CHP fuel *i* can be estimated by taking the share of the fuel input compared to the total fuel input to the CHP,  $E_{el,chp(i)} = E_{el,chp,tot} * (E_{F,chp(i)} / E_{F,chp,tot})$
- $\eta_{el(i)}$  = net electrical efficiency in condensing mode for fuel *i*. Default values for each fuel are presented in Table 15 in chapter 10
- $E_{el,nh}$  = all use of electrical energy for operating the heating network
- $Q_{del(j)}$  = delivered heat to the building, *j*, at system boundary 1. For DH this is the same as heat at system boundary 2

## 8.4.5 EcoHeatCool / Euro Heat & Power

Menetelmä noudattaa SFS-EN 15316-4-5 Rakennusten lämmitysjärjestelmät – kaukolämpö-standardin laskentaperiaatetta olemassa oleville laitoksille.

Ohje tarjoaa taulukkoarvot polttoaineiden primäärienergiakertoimille, ja sähkön primäärienergiakertoimena käytetään 2,5:ttä. Samaa laskentaperiaatetta käytetään myös CO<sub>2</sub>-päästöjen kohdentamiseen.

## 8.4.6 Greenhouse Gas Protocol

Greenhouse Gas Protocol on maailmanlaajuisesti käytetyin organisaatiotason päästölaskennan standardi. CHP-laitoksia koskevan ohjeistuksen mukaan päästöt voidaan allokoida lämmön ja sähkön välillä vapaasti valittavalla tavalla, mutta "efficiency method" on suositeltu jakoperuste ja tähän on tarjolla valmiit työkalut.

Laskentamalli muistuttaa hyödynjakomenetelmää. Sähkölle ja lämmölle käytetään oletushyötysuhteita erillistuotannosta, jotka ovat sähkölle 0,35 ja lämmölle 0,8 (*US EPA Climate Leaders reporting guidelines*). Kansallisesti voidaan käyttää myös muita arvoja, mm. Britanniassa käytetään eri hyötysuhdelukuja.

$$E_H = \frac{H/e_H}{H/e_H + P/e_P} * E_T \quad \text{and} \quad E_P = E_T - E_H$$

where:

$E_H$	=	emissions allocated to steam production
$H$	=	steam output (energy)
$e_H$	=	assumed efficiency of steam production
$P$	=	delivered electricity generation (energy)
$e_P$	=	assumed efficiency of electricity generation
$E_T$	=	total direct emissions of the CHP system
$E_P$	=	emissions allocated to electricity production

## 8.4.7 Suomen ilmastopaneeli: Lämpöpumput ja kaukolämpö energijärjestelmässä

Kyseessä ei ole varsinaisesti ohjeistettu laskentamenetelmä, vaan laskentatapa, jota on käytetty Suomen ilmastopaneelin julkaisussa *Lämpöpumput ja kaukolämpö energijärjestelmässä, Raportti 3/2013*.

Ilmastopaneeli on pyrkinyt omassa julkaisussaan huomioimaan energiaratkaisujen kerrannaisvaikutuksia, joiden avulla voidaan vastata esimerkiksi kysymyksiin "Mitä tapahtuu, jos rakennamme uudelle asuinalueelle CHP-laitoksen?" tai "Mitä tapahtuu, jos nykyisessä järjestelmässä, jossa on CHP-laitos, kaukolämmön kulutus muuttuu?" Yhteistuotannolla tuotetulla sähköllä on laskettu korvattavan marginaalisähköä, joka on pääasiallisesti hiililauhdesähköä, ja vastaavasti esim. lämpöpumppujen sähkön kysynnän on arvioitu kohdistuvan pääasiallisesti juuri hiililauhdesähköön.

Tutkimuksessa hiililauhteen osuus vuoden energiantuotannosta on laskettu tutkimalla Nordpoolin Suomen aluesähkön hintaa, ja kun hinta on ylittänyt hiililauhteen tuotantokustannuksen (kivihiilen ja päästöoikeuden hinta), on sähkön marginaalituotannoksi oletettu hiililauhde. Menetelmä on valittu tarkempaan tarkasteluun ja sitä on käsitelty myös kappaleessa 5.5.

#### **8.4.8 Decreased electricity production method (DEPM)**

Menetelmän periaate perustuu siihen, että yhteistuotantolaitos on sähköhyötysuhteeltaan pääosin lauhdetuotantoa heikempi. Laskenta perustuu heikompaan sähköntuotantokykyyn ja tästä syntyvään laskennalliseen ”päästörasitteeseen”. Päästörasite edustaa käytettyjen polttoaineiden ympäristövaikutuksia kerrottuna erillistuotannon ja yhteistuotannon sähkön tuotannon hyötysuhteen erolla. Tämä päästö jaetaan tuotetulle lämmitysenergialle. Näin tuotetun lämmitysenergian päästö on vähäinen.

Esimerkiksi hiili-, jäte- ja biomassavoimaloille sähkön hyötysuhteen ero on 8 % ja kaasuvoimaloille 6 %. Menetelmä johtaa yleensä alhaiseen primäärienergia- ja päästörasitteeseen kaukolämmön osalta, mutta ei koskaan nollaan tai negatiiviseen tulokseen.

Menetelmän kuvaus on julkaistu lähteessä: *Särholm et al 2009, Sustainable cities' energy demand and supply for heating and cooling. Svensk Fjärrvärme.*

#### **8.4.9 BREEAM Europe Commercial 2009**

Menetelmän mukaan kohteen päästöjen väheneminen lähtötasolta osoitetaan seuraavasti. Vähäpäästöisen teknologian tulee osoittaa vähäpäästöisyys nettovaikutuksena (ie. oma energian kulutus vähennetään hyödystä), ja hyöty lasketaan siten, että lämpöenergialla korvataan maakaasua, kun kohde olisi kaasuverkon ulottuvilla, tai öljyä, kun kohde ei ole kaasuverkon ulottuvilla. Verkkoon toimitetulla sähköllä korvataan kansallisen sähköverkon keskiarvopäästötaso.

Lisäksi ohje sisältää menetelmän, jolla yhteistuotannon typen oksidien päästöt jaetaan lämmölle ja sähkölle. Päästöistä vähennetään tuotetun sähkön määrä kerrottuna verkkosähkön keskimääräisellä päästötasolla. Lopputulos jaetaan tuotetun lämmön määrällä.

#### **8.4.10 Tässä arvioimatta jätetyt menetelmät**

Tässä raportissa on käsiteltyjen menetelmien lisäksi on olemassa useita muita menetelmiä, joita ovat muun muassa eksbergimenetelmä, suhdemenetelmä, työmenetelmä, ja hintaperusteinen menetelmä.

Muita menetelmiä on käsitelty tarkemmin mm. Kauppa- ja teollisuusministeriön julkaisussa *Yhdistetty sähkön ja lämmön tuotannon päästöjen jakaminen, KTM 19/1999*, Liikanen sekä raportissa *Allocation of GHG Emissions from a Combined Heat and Power (CHP) Plant, Guide to calculation worksheets (September 2006), WRI/WBCSD*. Tässä selvityksessä ei syvennytä näihin tarkemmin.

## Lähdeluettelo

Allocation of GHG Emissions from a Combined Heat and Power (CHP) Plant, Guide to calculation worksheets (September 2006), WRI/WBCSD.

BREEAM Europe Commercial 2009 Assessor Manual, SD 5066A: ISSUE 1.1, BRE.

Directive 2004/8/EC on the promotion of cogeneration based on a useful heat demand in the internal energy market.

Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources.

EcoHeat4Cities - Technical report on labeling criteria for DHC, Swedish Environmental Research Institute, April 2011

ECOHEATCOOL Work package 3: Guidelines for assessing the efficiency of district heating and district cooling systems. Euroheat & Power.

Lämpöpumput ja kaukolämpö energiajärjestelmässä. Suomen ilmastopaneeli, raportti 3/2013. Samuli Rinne ja Sanna Syri.

SFS-EN 15316-4-5: Heating systems in buildings. Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies. Part 4-5: Space heating generation systems, the performance and quality of district heating and large volume systems

SFS-EN 15603: Rakennusten energiatehokkuus, kokonaisenergiantarve ja energialuokitusten määrittely

Sustainable Cities' energy demand and supply for heating and cooling, Svensk Fjärrvärme Rapport 2009:18.

Treatment of Scandinavian District Energy Systems in LEED. Energy Models for LEED EA credit 1, Version 1.0 (2012). Sweden Green Building Council.

Yhdistetty sähkön ja lämmön tuotannon päästöjen jakaminen, Kauppa- ja teollisuusministeriö, KTM 19/1999, Liikanen.