

Rakennusalan täyden palvelun tietotalo

Rakennustieto Oy edistää hyvää rakennustapaa ja tuottaa rakentamisesta luotettavaa tietoa. Puolueettoman ja asiakaslähtöisen Rakennustieto Oy:n tuotteet kattavat rakentamisen koko elinkaaren suunnittelusta ylläpitoon. Yhtiön omistaa Rakennustietosäätiö RTS.

Tutustu palveluihimme

> rakennustieto.fi/rk/palvelut

Rakentajain kalenterin artikkelit

Tämä artikkeli on julkaistu alun perin Rakentajain kalenterissa, jota ovat julkaisseet Rakennustietosäätiö RTS sr ja Rakennusmestarit ja -insinöörit AMK RKL ry.

Julkaisu oli rakennusalan ammattilaisten ja opiskelijoiden käsikirja, joka yhdisteli teoriaa ja käytäntöä sekä kannusti hyvään rakentamiseen. Artikkelin vasemmassa reunassa olevasta vesileimasta näkee ko. Rakentajain kalenterin vuosikerran.

> [Artikkeliarkisto, kokoelma vuosien 1997–2018 Rakentajain kalenterissa julkaistuista artikkeleista](#)

Rakennusten energiankäytön aiheuttamat päästöt ja primäärienergiankäyttö

Jarek Kurnitski, Dosentti, Tkt
Tutkimuspäällikkö, TKK LVI-tekniikka
jarek.kurnitski@tkk.fi

Matias Keto
Tutkimusapulainen, TKK LVI-tekniikka
matias.keto@tkk.fi

Rakennusten energian ja energianlähteiden käytön vaikutuksia luontoon, yhteiskuntaan ja ihmiseen voidaan arvioida usealla eri tavalla. Rakennuksen osalta tarkastelu voidaan ulottaa aina rakentamista edeltäneistä vaiheista rakennuksen käytön jälkeisiin tapahtumiin. Vastavalla tavalla rakennuksen energian ja energianlähteiden matkaa voidaan seurata aina koskemattomista energianlähteinä käytettävistä luonnonvaroista energian ja energianlähteiden loppukäytöstä aiheutuviin välittömiin ja välillisiin jälkiseurauksiin. Tarkasteluun voidaan sisällyttää myös energian tuotantolaitosten ja jakeluverkon rakentaminen, ylläpitäminen ja purkaminen sekä syntyneiden jätteiden käsittely ja hävittäminen. Vaikutusten arvioiminen voidaan perustaa paitsi energian ja energianlähteiden käyttöön myös niiden käytön seurauksena ilmakehään välittömästi tai välillisesti vapautuneisiin hiilidioksidipäästöihin tai myös muita kasvihuonekaasuja huomioiviin, hiilidioksidin vaikutuksiin suhteutettuihin, hiilidioksidiekvivalenttipäästöihin. Molemmissa tarkastelutavoissa on päätettävä miten uusiutuvien energianlähteiden käytön vaikutukset luonnonvaroihin ja päästöihin huomioidaan.

Polttoaineiden ominaispäästökertoimet

Polttoaineiden palaessa valtaosa polttoaineen sisältämästä hiilestä vapautuu ympäristöön hiilidioksidina. Muihin yhdisteisiin sitoutunut hiilimäärä on hiilidioksidin sisältämään hiileen nähden vähäinen ja lisäksi osa näistä muista hiiltä sisältävistä yhdisteistä hapettuu myöhemmin ilmakehässä hiilidioksidiksi. Polttoaineen palamisen seurauksena muodostunut hiilidioksidimäärä riippuu siten valtaosin vain polttoaineen hiilipitoisuudesta. Muiden tekijöiden, kuten palamisolosuhteiden, merkitys on yleensä verrattain vähäinen. Polttoaineiden palamisen seurauksena muodostunut hiilidioksidimäärä voidaan määrittää riittävällä tarkkuudella polttoaineen käyttömäärien ja polttoaineiden keskimääräisiin koostumuksiin perustuvien ominaispäästökertoimien avulla. Kokonaan hapettumatta jäänyt hiili huomioidaan tarvittaessa erillisellä hapetuskertoimella. Päästökaupassa kansallisina hapetuskertoimina käytetään kiinteille polttoaineille lukua 0,990 ja muille polttoaineille lukua 0,995. Hapettumiskerroin ilmaisee, kuinka suuri osuus polttoaineen sisältämästä hiilestä hapettuu hiilidioksidiksi tarkasteltavassa pala-

Taulukko 1. Poimintoja Tilastokeskuksen määrittelemistä kansallisista polttoaineiden CO₂-ominaispäästökertoimista.

Polttoaine	CO ₂ -ominaispäästökerroin kg (CO ₂)/MWh
Kivihiili (bituminen)	340,6
Raskas polttoöljy (rikkipitoisuus alle 1 %)	283,7
Maakaasu	198,1
Jyrsinturve	381,2
Kierrätyspolttoaineet	114,4
Kevyt polttoöljy	266,8
Moottoribensiini	262,4
Dieselöljy	265,0

Taulukon ominaispäästökertoimet perustuvat alempaan lämpöarvoon ja ne sisältävät vain polttoaineen palaessa muodostuneen hiilidioksidin (kyseessä eivät ole hiilidioksidiekvivalenttipäästöt eivätkä kertoimet sisällä välillisiä päästöjä). CO₂-ominaispäästön yksikön jakajan energiasuure viittaa polttoaineen palamisesta ympäristöön vapautuvaan alemman lämpöarvon mukaiseen energiamäärään. Ominaispäästökertoimen yksikkönä voi olla g/kWh, kg/MWh tai t/GWh lukuarvon säilyessä samana.

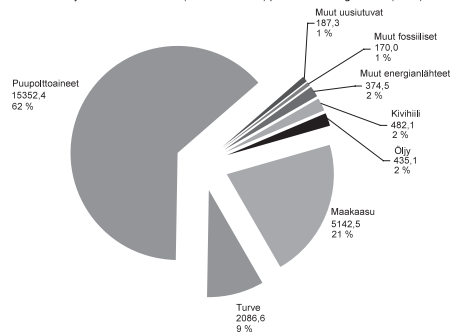
misprosessissa. Päästökaupassa käytettävät kansalliset polttoaineiden CO₂-ominaispäästökertoimet on määritellyt Tilastokeskus (taulukko 1). Nämä polttoaineiden CO₂-ominaispäästökertoimet ilmaisevat polttoaineen palamisessa muodostuneen hiilidioksidimäärän polttoaineesta vapautunutta alemman lämpöarvon mukaista energiamäärää kohden.

Energian tuotantomuotojen ominaispäästökertoimet

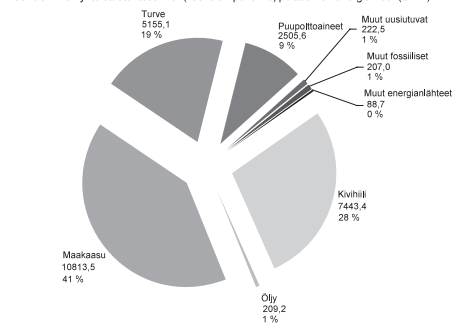
Polttoaineen CO₂-ominaispäästökertoimen ilmaisee polttoaineen palamisen seurauksena muodostuneen hiilidioksidimäärän polttoaineesta vapautunutta energiamäärää kohden. Energian tuotantomuotojen CO₂-ominaispäästökertoimen sitä vastoin ilmaisee energian tuotantolaitoksesta luonnon kiertokulkuun vapautuvan hiilidioksidimäärän laitoksesta verkkoon tuotettua sähkö- tai lämpöyksikköä kohden. Energian tuotan-

non hiilidioksidipäästöt ovat seurausta hiiltä sisältävien polttoaineiden polttamisesta energian tuotantolaitoksissa. Tuotantomuodon ominaispäästökertoimeen vaikuttavat sekä tuotannossa käytettyjen polttoaineiden hiilidioksidipäästöt että laitoksen hyötysuhde. Sähkön ja lämmön yhteistuotannossa ominaispäästökertoimeen vaikuttaa lisäksi polttoaine-energian jakotapa sähkön ja lämmön kesken. Tilastokeskus määrittää kotimaisen yhteistuotannon polttoaine-energiat ja hiilidioksidipäästöt sekä hyödynjako- että energiamenetelmällä. Hyödynjakomenetelmässä yhteistuotannon polttoaine-energia jaetaan vaihtoehtoisten tuotantomuotojen vaatimien laskennallisten polttoaine-energioiden ja energiamenetelmässä toteutuneiden tuotantojen perusteella. Tuotantomuotojen päästöt ja keskinäiset erot selittyvät hyötysuhteen lisäksi merkittävien osin niiden polttoainejakaumalla (kuva 1). Yksittäisten voimalaitosten jakauma saattaa poiketa huomattavasti valtakunnallisesta jakaumasta.

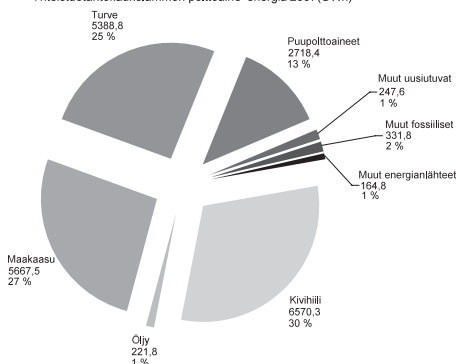
Teollisuuden yhteistuotantosähkön (teollisuusvoima) polttoaine-energia 2007 (GWh)



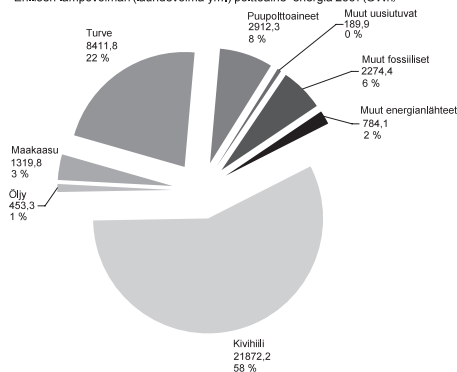
Kaukolämmön yhteistuotantosähkön (kaukolämpövoima) polttoaine-energia 2007 (GWh)



Yhteistuotantokaukolämmön polttoaine-energia 2007 (GWh)



Erillisen lämpövoiman (lauhevoima ym.) polttoaine-energia 2007 (GWh)



Kuva 1. Teollisuuden ja kaukolämmön yhteistuotantosähkön, yhteistuotantona tuotetun kaukolämmön ja erillisen lämpövoiman polttoaine-energioiden jakauma vuonna 2007 (Tilastokeskuksen energiatilastot). Yhteistuotannon polttoaine-energiat on jaettu hyödynjakomenetelmällä. Yksikkönä kaikissa kuvissa on GWh.

Taulukko 2. Suomen sähkön ja lämmön tuotanto, CO₂-päästöt ja CO₂-ominaispäästöt vuodelta 2007 hyödynjakomenetelmällä määritettynä (Tilastokeskuksen energiatilastot).

	Tuotanto GWh	CO ₂ -päästöt milj. tonnia	CO ₂ -ominaispäästöt kg (CO ₂)/MWh
Vesivoima	13990,6	–	–
Tuulivoima	188,4	–	–
Ydinvoima	22501,2	–	–
Erillinen lämpövoima	14377,2	12,8	893,5
Kaukolämpövoima	15329,7	6,7	439,3
Yhteistuotantokaukolämpö	25348,4	5,6	220,0
Teollisuusvoima	11429,7	2,2	189,7
Teollisuushöyry	49498,0	4,2	84,9
Kaukolämmön erillistuotanto	8098,4	1,7	214,1
Teollisuushöyryn erillistuotanto	12329,6	1,7	135,4
Konventionaalinen lämpövoima yhteensä	41136,6	21,7	528,7
Kaukolämpö yhteensä	33446,8	7,3	218,5
Teollisuushöyry yhteensä	61827,6	5,9	95,0
Koko sähkön tuotanto yhteensä	77816,8	21,7	279,5

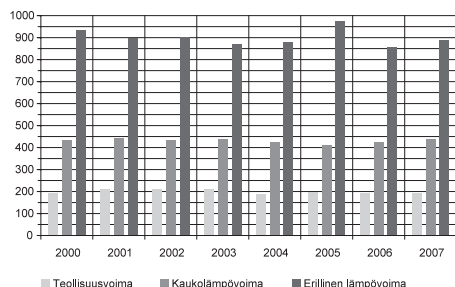
Sana voima viittaa sähkön tuotantoon.

Lämpöenergiat on esitetty taulukossa tummennettuina.

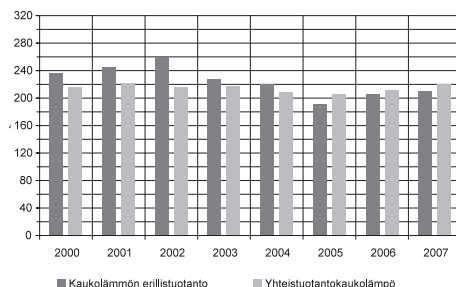
Sähkön ja lämmön tuotantomuotojen CO₂-ominaispäästöt on laskettu Tilastokeskuksen Suomen sähkön- ja lämmöntuotannon energiatilastoista jakamalla kunkin tuotantomuodon hiilidioksidipäästöt vastaavalla sähkön tai lämmön tuotannolla. Tilastot koskevat energian tuotantoa kotimaisissa voima- ja lämpölaitoksissa eivätkä ne sisällä polttoaineiden jalostusta ja kuljetusta tai muita välillisiä päästöjä. Taulukossa 2 ominaispäästöt on esitetty hyödynjakomenetelmällä ja taulukossa 3 energiamenetelmällä määritettyinä. Sekä sähkön- että kaukolämmöntuotannon CO₂-ominaispäästöt ovat säilyneet likimain samalla tasolla vuosina 2000–2007 (kuva 2).

Polttoaine-energian jakotapa vaikuttaa kaikkien yhteistuotantona tuotettujen tuotantomuotojen päästöihin, mutta energiantuotannon kokonaispäästöt ja erillistuotantona tuotettujen sähkön ja lämmön päästöt ovat molemmilla jakotavoilla luonnollisesti yhtä suuret. Taulukoissa 2 ja 3 esitettävät lukuarvot ovat koko Suomea koskevia keskimääräisiä ominaispäästöjä, yksittäisten voimalaitosten ja tuottajien ominaispäästöt saattavat poiketa huomattavasti näistä keskimääräisistä arvoista. Hyödynjakomenetelmällä määritettyjen arvojen voi katsoa kuvaavan paremmin yhteistuotantona tuotetun sähkön ja lämmön keskinäistä asemaa yhteistuotannossa: lämpöä voidaan tuottaa erillistuotannossa

Sähkön tuotannon CO₂-ominaispäästöt vuosina 2000–2007



Kaukolämmön tuotannon CO₂-ominaispäästöt vuosina 2000–2007



Kuva 2. Sähkön- ja kaukolämmöntuotannon CO₂-ominaispäästöt vuosina 2000–2007 hyödynjakomenetelmällä määritettyinä (Tilastokeskuksen energiatilastot).

Taulukko 3. Suomen sähkön ja lämmön tuotanto, CO₂-päästöt ja CO₂-ominaispäästöt vuodelta 2007 energiamenetelmällä määritettynä (Tilastokeskuksen energiatilastot).

	Tuotanto GWh	CO ₂ -päästöt milj. tonnia	CO ₂ -ominaispäästöt kg (CO ₂)/MWh
Vesivoima	13990,6	–	–
Tuulivoima	188,4	–	–
Ydinvoima	22501,2	–	–
Erillinen lämpövoima	14377,2	12,8	893,5
Kaukolämpövoima	15329,7	4,5	292,4
Yhteistuotantokaukolämpö	25348,4	7,8	308,8
Teollisuusvoima	11429,7	1,3	117,7
Teollisuushöyry	49498,0	5,0	101,6
Kaukolämmön erillistuotanto	8098,4	1,7	214,1
Teollisuushöyryn erillistuotanto	12329,6	1,7	135,4
Konventionaalinen lämpövoima yhteensä	41136,6	18,7	453,9
Kaukolämpö yhteensä	33446,8	9,6	285,9
Teollisuushöyry yhteensä	61827,6	6,7	108,3
Koko sähkön tuotanto yhteensä	77816,8	18,7	240,0

Sana voima viittaa sähkön tuotantoon.
Lämpöenergiat on esitetty taulukossa tummennettuina.

erittäin korkealla hyötysuhteella, mutta erillisen sähköntuotannon hyötysuhde jää luonnon lainalaisuuksien asettamien käytännön rajoitusten seurauksena väistämättä huomattavasti matalammalle tasolle. Molemmissa taulukoissa kaikki biopolttoaineet on oletettu nettovaikutuksiltaan hiilidioksidivapaiksi (biopolttoaineidien CO₂-ominaispäästökerroin on luonnon kiertoaika huomioiden nolla). Sähkön- ja lämmöntuotannon päästöihin ja ominaispäästöihin voidaan vaikuttaa tuotantorakenteen, poltto-ainejakauman ja hyötysuhteen muutoksien avulla.

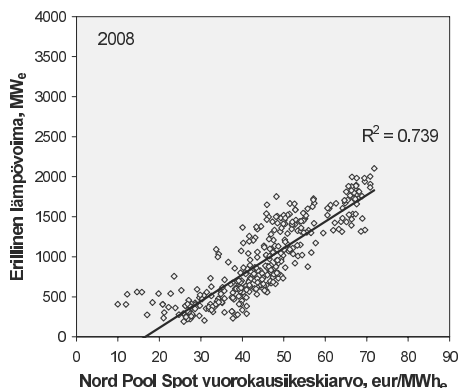
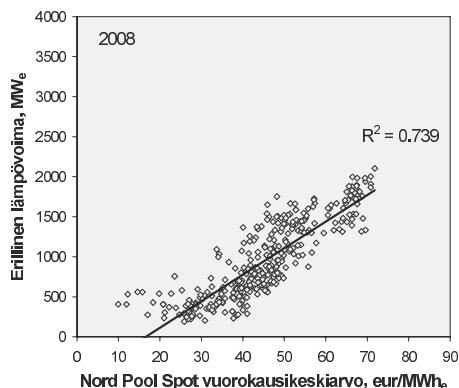
Sähkönkäytön kulutuksen muutoksen aiheuttamat päästöt

Keskimääräinen ominaispäästö kuvaa hyvin kaukolämmön käytöstä aiheutuvia päästöjä. Rakentamisesta johtuva kulutuksen muutos (kaukolämmön käytön lisääntyminen) ei vaikuta ominaispäästöön, koska nykyinen laitoskanta lupaa olettaa, että kapasiteettia riittää ja poltto-ainejakauma pysyy samana. Kaukolämmöstä poiketen, keskimääräinen sähkön ominaispäästö ei kuvaa kulutuksen muutoksen päästövaikutusta, mikä määräytyy jokaisella aikahetkellä marginaalissa olevan tuotantomuodon mukaan. Sen johdosta rakennusten sähkönkäytön ohjaus- ta ei ole järkevää perustaa pelkästään sähkön-

tuotannon keskimääräisen ominaispäästön vaaraan, koska sähkömarkkinoilla on tällä hetkellä ja ennusteiden mukaan vuoteen 2030 asti vähäpäästöisen tuotantokapasiteetin vajuus (Energiategollisuus ry, Sähköntuotantoskenaariot vuoteen 2030). Koska rakentamisen ohjaus on eräänlaista kulutuksen muutoksen ohjausta, on siinä järkevää ottaa huomioon kulutuksen muutoksen aiheuttama päästövaikutus. Seuraavassa on tarkasteltu rakennuksen sähköenergiankäytön kulutuksen muutoksen ja energiatuotantomuodon välistä yhteyttä.

Tuotantomuotojen kustannusten mukaisessa ajajärjestyksessä, sähkön kulutuksen muutos kohdistuu pääosin siihen tuotantomuotoon, jonka muuttuvat kustannukset ovat vallitsevalla kysynnän tasolla korkeimmat. Suomessa tämä muuttuvilta kustannuksiltaan kallein tuotantomuoto on erillinen lämpövoima, joka on pääosin lauhdevoimaa. Kysynnän tyydyttämiseksi tuotetun erillisen lämpövoiman tuotantomäärä riippuu pääosin sähkön hintatasosta pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla, joilla valtaosa sähköntuotannosta on vesivoimaa (erillinen lämpövoima toimii myös osin säätö-, huippu- ja varavoimana). Yksinkertainen lineaarinen korrelaatio selittää erillisen lämpövoiman tuotannon Spot-hinnan funktiona korkealla selityasteella 0,6–0,7 (kuva 3).

Vesivoiman tuotannolla ja tuotanto-odotuksilla on sen keskeisistä asemasta johtuen merkittävä vaikutus sähkön hintatasoon ja siten myös kotimaiseen erillisen lämpövoiman tuo-

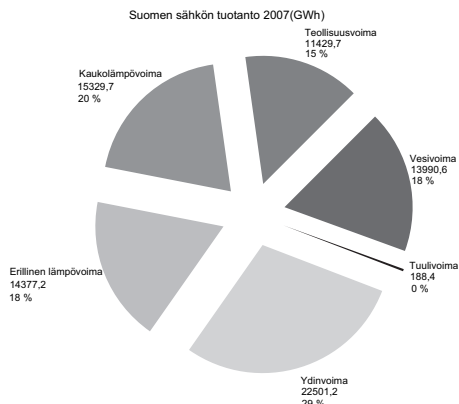
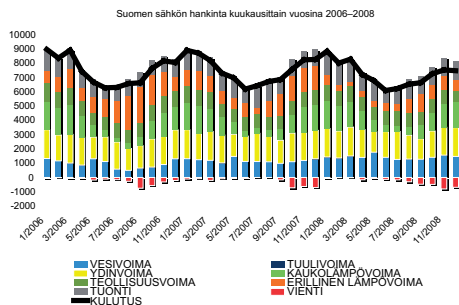


Kuva 3. Erillisen lämpövoiman tuotannon ja Spot-hinnan välinen korrelaatio vuosina 2006 ja 2008 (KesEn-hanke).

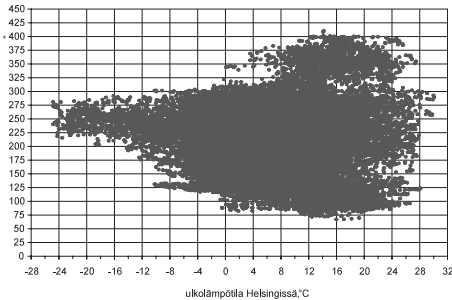
tantoon (valtaosa pohjoismaisesta vesivoimasta tuotetaan Norjassa ja Ruotsissa). Yhteispohjoismaisista sähkömarkkinoista johtuen kotimaisen erillisen lämpövoiman tuotanto ei välttämättä ole suurimmillaan silloin, kun sähkön kotimainen kysyntä on suurimmillaan (kuva 4).

Hintamekanismin mukaiseen sähköntuotantoon viittaa myös sähköntuotannon ominaispäästöjen ja ulkolämpötilan välisen yhteyden puuttuminen (kuva 5), eli pitää siis paikkansa, että talvipakkasilla sähköntuotannon ominaispäästöt olisivat huipussa erillisestä tuotannosta johtuen. Ominaispäästöt voivat olla korkeita kesällä vähäisestä vesivoimasta ja yhteistuotannosta (kaukolämmölle ei ole käyttöä) sekä ydinvoimaloiden huoltoseisokeista johtuen.

Arvio kulutuksen muutoksen kohdistumisesta nykytilanteesta eri tuotantomuodoille on esitetty taulukossa 4 (KesEn hanke). Taulukossa on esitetty se osuus vuoden tunneista, joina kulutuksen muutos arvion perusteella kohdistuu erilliseen lämpövoimaan, kaukolämpövoimaan ja teollisuusvoimaan. Viimeiseen sarakkeeseen on laskettu näillä osuuksilla painotettu sähkön kulutuksen ominaispäästökerroin. Nykytilanteessa 90 % ajasta kulutuksen muutos on arvion perusteella kohdistunut erilliseen lämpövoimaan, 2 % kaukolämpövoimaan ja loput 8 % päästövapaaseen tuotantoon, jota ei ole esitetty taulukossa 4). Syntyvän tai poisjäävän energiankäytön päästövaikutus nykyisellä energiantuotantorakenteella on siis 814 kg (CO₂)/MWh,



Kuva 4. Suomen sähkön hankinnan ja kulutuksen kuukausisummat vuosilta 2006–2008 ja vuosisumma vuodelta 2008. Yksikkönä molemmissa kuvissa on GWh (Energiateollisuus ry:n sähkön hankinnan tuntitilastot).



Kuva 5. Koko sähköntuotannon ominaispäästöt ulkolämpötilan funktiona esitettyä (KesEnhanke).

mikä on likimain kolme kertaa suurempi kuin koko sähköntuotannon keskimääräinen ominaispäästö. Taulukossa 5 on esitetty kotimaisten sähköntuotannon tunti-ilastojen pohjalta tehty yksinkertainen skenaariotarkastelu nykyisellä kulutus- ja hankintarakenteella, jossa uusi ydinvoima korvaa joka tunti erillistä lämpövoimaa 1600 MW:n keskituntiteholla aina erillisen lämpövoiman nollatasoon asti ja tästä erotuksesta ylijäävä osuus (jos erillisen lämpövoiman tunti-tuotanto on alle 1600 MWh) tätä päästötöntä tuotantomuotoa lisää sähkön kokonaistuotantoa. Tämä muutos ei toteudu käytännössä näin yksinkertaisesti yhteispohjoismaisista sähkömarkkinoista ja sähkönkäytön lisääntymisestä johtuen, mutta tarkastelu antaa arvion suurimmasta mahdollisesta päästöjen alenemasta. Tarkastelun pohjalta nähdään, että jos 1600 MW ydinvoimaa korvaisi nykyisellä kulutusrakenteella erillistä lämpövoimaa, koko sähköntuo-

tannon päästöt puolittuisivat ja kulutuksen muutos kohdistuisi pääasiassa kaukolämpövoimaan, päästövaikutuksena 466 kg(CO₂)/MWh.

Taulukkojen 4 ja 5 tulokset osoittavat että sähkön keskimääräinen ominaispäästö poikkeaa olennaisesti kulutuksen muutoksen aiheuttamasta ominaispäästöstä vähäpäästöisen tuotantokapasiteetin pulasta johtuen. Rakentamisen ohjauksen perustana käytettävä sähkön ominaispäästö onkin syytä valita keskimääräisen ominaispäästön ja kulutuksen muutoksen aiheuttaman ominaispäästön välistä. Tämä on energiapolitiittisen valinnan kysymys, kuten myös aikahetki (vuosi), jonka ominaispäästöjä käytetään, koska kulutus- ja tuotantorakenteen muutoksista johtuen myös ominaispäästöt muuttuvat jatkuvasti.

Kaukolämmön kulutuksen muutoksen aiheuttamat päästöt

Kaukolämmön kulutuksen muutoksen tarkastelulla voidaan osoittaa kaukolämmön säästötoimenpiteiden (esim. lisälämmöneristämisen) vaikutus koko Suomen energiatuotannon päästöihin. Myös päästövaikutus kaukolämmityksen korvaamisesta sähkölämmityksellä tai päinvastoin on osoitettavissa. Kuvassa 6 on tarkasteltu tilannetta, jossa sähkönkäyttö pidetään vakiona, mutta kaukolämmön käyttöä joko vähennetään tai lisätään. Suhde 0,5 vastaa kaukolämmön käytön puolittamista (teoreettisesti esim. kerrostalolähiöiden laajamittaisella lisälämmöneristämällä) ja 1,5 kaukolämmön käytön lisäämistä 50 %:n verran. Tarkastelussa oletetaan, että erillinen lämpövoima on vaihtoehtona

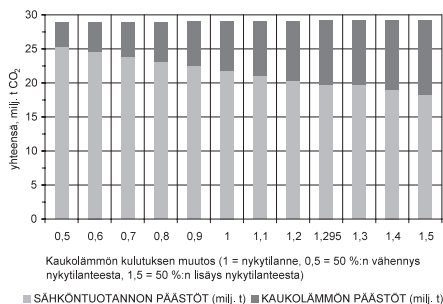
Taulukko 4. Arvio kulutuksen muutoksen kohdistumisesta eri tuotantomuotoihin ja sen päästövaikutus.

Nykytilanne (vuosi 2007)	Koko sähkön tuotanto	Erillinen lämpövoima	Kaukolämpövoima	Teollisuusvoima	Painotettu keskiarvo
Ominaispäästö, kg (CO ₂)/MWh	279	893	439	190	814
Osuus kulutuksen muutoksesta		90 %	2 %	0 %	

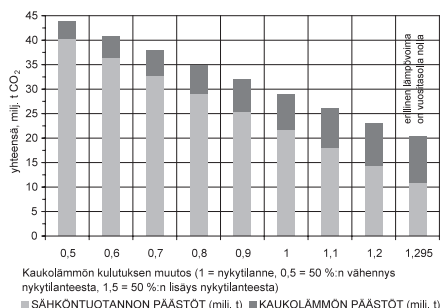
Taulukko 5. Skenaario, jossa 1600 MW ydinvoimaa korvaa nykyisellä kulutus- ja hankintarakenteella erillistä lämpövoimaa.

1600 MW ydinvoimaa korvaa erillistä lämpövoimaa	Koko sähkön tuotanto ¹	Erillinen lämpövoima	Kaukolämpövoima	Teollisuusvoima	Painotettu keskiarvo
Ominaispäästö, kg (CO ₂)/MWh	137	893	439	190	466
Osuus kulutuksen muutoksesta		24 %	57 %	0 %	

¹ vuoden 2006 arvoilla laskettuna koko sähkön tuotannon keskimääräinen ominaispäästö on 163 ja kulutuksen muutoksen painotettu keskiarvo 563 kg (CO₂)/MWh



Kuva 6. Kaukolämmön kulutuksen muutoksen vaikutus koko Suomen sähkön ja kaukolämmön tuotannon CO₂-päästöihin (sähköntuotanto pysyy tarkastelussa vakiona).



Kuva 7. Sähkölämmitys korvaa kaukolämpöä tai päinvastoin (kokonaiskulutus vakio).

kaukolämmön yhteistuotantosähkölle, kun kaukolämmön käytön vähentämisen vaikutuksena syntynyt yhteistuotantosähkön vajeausta tai käytön lisääminen kasvattaa myös yhteistuotantosähkön tuotantoa, mikä korvaa erillistä lämpövoimaa. Tulokset on laskettu Tilastokeskuksen v. 2007 vuositilastoista hyödynjakomenetelmällä. Tulosten mukaan kaukolämmön kulutuksen suurikaan muutos ei juuri vaikuta Suomen energiatuotannon päästöihin nykyisellä energiatuotantorakenteella, kun sähkön ja kaukolämmön tuotannon kokonaispäästöt pysyvät 28,9–29,2 miljoonan tonnin välillä –50 %:n ja +50 %:n kaukolämmön kulutuksen muutoksilla.

Mikäli kaukolämmitystä korvataan sähkölämmityksellä tai päinvastoin, niin päästövaikutus on hyvin suuri (kuva 7). Tässä tarkastelussa on pidetty sähkön ja kaukolämmön kokonaiskulutus vakiona ja erillinen lämpövoima toimii vaihtoehtona sekä yhteistuotantosähkölle että kaukolämmölle. Esim. sähkölämmitystä korvaava 10 %:n kaukolämmön kulutuksen lisäys on alenanut kokonaispäästöjä merkittävästi. Tällainen lisäys voitaisiin saavuttaa kerrostoissa esim. korvaamalla kylpyhuoneiden sähköisiä makuvasuulattilämmityksiä vesikiertoisilla. 1,295 kertomella erillisen lämpövoiman tuotannoksi tulee vuositulolla nolla, mikä osoittaa tämän tarkastelun teoreettisen ylärajan.

Uusiutumaton primäärienergia

Vaihtoehtoinen tarkastelutapa päästötarkastelulle on primäärienergian käytön tarkastelu. Uusiutumattomalla primäärienergialla tarkoitetaan rakennukseen myytävän ostoenergian tuottamiseksi tarvittavaa uusiutumattoman energian määrää (SFS-EN 15603:2008). Primääri-

energia on energiaa, jota ei ole millään tavoin jalostettu tai muunneltu, eli kyse on energianlähteinä käytettävistä luonnonvaroista. Näiden luonnonvarojen käytön määrää arvioidaan yhteismitallistamalla eri energianlähteet suhteessa toisiinsa niistä saadun energian avulla. Tyypillisesti kyse on polttoaineesta, jonka käytön määrää arvioidaan sen lämpöarvon avulla. Fossiilisen polttoaineen primäärienergiakerroin on näin likimain 1 ja siitä tuotetun kaukolämmön tai sähkön primäärienergiakerroin 1/prosessin hyötysuhde. Monien energianlähteiden jalostamiseen on jouduttu käyttämään myös muista energianlähteistä jalostettuja tuotteita ennen kuin niitä on voitu hyödyntää energianlähteinä. Primäärienergiatarkastelussa nämä jalostamiseen käytetyt energianlähteet lisätään kunkin energianlähteen tuottamiseen vaatimaan energiamäärään. Tarkasteluun voidaan sisällyttää myös tuotantolaitosten ja jakeluverkon rakentamiseen ja ylläpitämiseen käytettyä energiaa. Lisäksi tarkastelussa on päätettävä miten uusiutuvien energianlähteiden käytön vaikutukset luonnonvaroihin ja päästöihin huomioidaan. Tyypillisesti uusiutuvien energianlähteiden kertoimessa huomioidaan vain niiden tuottamiseen käytetyt uusiutumattomat luonnonvarat. Näin uusiutuvien polttoaineiden ja tuotantomuotojen primäärienergiakerroin on tyypillisesti suuruusluokaltaan selvästi alle yhden. Samalle polttoaineelle (tai muulle energianlähteelle) tai energian tuotantomuodolle ilmoitetut primäärienergiakertoimet voivat poiketa huomattavasti toisistaan riippuen siitä, mitä tarkasteluun on sisällytetty ja miten uusiutuvien luonnonvarojen osuus on niissä huomioitu.

Energian kulutuksen primäärienergiatarkastelussa pyritään siis huomioimaan energian käytön kokonaisvaikutukset luonnonvarojen käyttöön. Rakennusten osalta ajatuksena on kytkeä rakennuksissa käytetty energia luonnonvarojen

Taulukko 6. Esimerkkilaskelma kaukolämpötuottajien keskimääräisestä standardin SFS-EN 15316-4-5 mukaisesta primäärienergiakertoimesta.

Vuosi	Kivihiili	Polttoöljy yhteensä	Turve yhteensä	Maakaasu	Puu yhteensä	Puuteollisuuden jäteliemet	Biokaasu	Kierrätyspolttoaineet	Teollisuuden sekundäärilämpö	Sähkö	Lämpöpumpuilla talteen otettu lämpö	Muut	Polttoaine-energia yhteensä	Primäärienergia yhteensä	Kaukolämmön nettotuotanto	Kaukolämmön tuotantoon liittyvä sähkön nettotuotanto	Kaukolämmön primäärienergiakerroin
-------	-----------	---------------------	----------------	----------	--------------	----------------------------	----------	-----------------------	------------------------------	-------	-------------------------------------	------	-----------------------------	--------------------------	---------------------------	--	------------------------------------

Laskennassa käytetty energianlähteen primäärienergiakerroin

2006–2007	1,2	1,1	1,2	1,1	0,1	0,1	0,05	0,1	0,05	2,5	0,8	1,1					
-----------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	-----	------	-----	-----	-----	--	--	--	--	--

Kaukolämpöyhtiöiden käyttämä polttoaine-energia yhteensä (GWh)

2007	12989	2206	8746	17302	3875	0	264	244	260	17	68	347	46317	48458	27268	12394	0,64
2006	13647	2100	8137	17252	4166	0,5	195	275	245	12	25	395	46450	48379	27116	12790	0,60
2005	11775	1823	6304	19313	3898	000	265	355	228	15	5	166	44146	45617	25831	12165	0,59

Polttoaine-energioiden ja tuotantojen lähde: Energiategollisuus ry:n kaukolämpötilastot. Taulukon energianlähteen primäärienergiakertoimet eivät perustu kotimaista tuotantoa kuvaavaan tutkimukseen.

kulumiseen. Käytännön laskelmissa rakennuksissa käytetylle sähkölle, kaukolämmölle ja polttoaineille pyritään määrittämään jokaiselle oma kerroin, jonka avulla tämä energian loppukäyttö muunnetaan koko energian ja energianlähteiden tuotantoketju huomioiden koskemattomien luonnonvarojen kulumista kuvaavaksi energiamääräksi. Käytännössä esimerkiksi kukin polttoaineen vaatima primäärienergia määritetään kertomalla energian tuotantolaitoksessa polttoaineesta saatu energia kertoimella, joka huomioi energianlähteen käytön vaikutukset koskemattomiin luonnonvaroihin. Suurin epävarmuus laskennassa seuraa juuri näistä energianlähteiden primäärienergiakertoimien lukuaroista. Tämä sama epävarmuus heijastuu polttoaineiden ja muiden energianlähteiden (esim. ydinvoima) kertoimien kautta myös sähkön ja lämmön primäärienergiakertoimeen. Suomessa ei ole toistaiseksi tehty ajantasaista selvitystä kaikista niistä Suomessa käytettävien energianlähteiden suorista ja välillisistä energia- ja ympäristövaikutuksista, jotka edeltävät näiden energianlähteiden käyttöä energian tuotantolaitoksissa. Käytännössä tulisi selvittää sähkön- ja lämmöntuotannossa käytettyjen polttoaineiden (kuva 1) matkan alkuvaiheet koskemattomista luonnonvaroista voima- ja lämpölaitoksille toimitettavaksi tuotteeksi. Tehtävä on haastava,

sillä tarkasteltava kokonaisuus on monimutkainen ja merkittävä osa näistä välillisistä energia- ja ympäristövaikutuksista sijoittuu ulkomaille.

Standardissa SFS-EN 15316-4-5:2007 esitetään laskentatapa kaukolämmön primäärienergiakertoimen määrittämiseksi. Standardin laskentatapa perustuu kaukolämpöverkon polttoainetaseeseen. Lämmön kontolle kaukolämpöverkossa jyvitetty polttoaine-energia määritetään tässä laskentatavassa vähentämällä sähkön yhteistuotannon ja lämmön kokonaistuotannon yhteenlasketusta polttoaine-energiasta se polttoaine-energia, jonka kaukolämmön yhteistuotantolaitoksessa tuotettu sähkö olisi vaatinut erillistuotantona tuotettuna. Kyseessä on eräs versio niin sanotusta vaihtoehtoisen hankintatavan menetelmästä, jossa yhteistuotantona tuotetun sähkön vaihtoehtoisen tuotantotavan polttoaine-energia saadaan kertomalla yhteistuotantona tuotettu sähkö kiinteällä kertoimella (tässä tapauksessa vaihtoehtoisen sähköntuotannon primäärienergiakertoimella). Vaihtoehtoisena sähkön tuotantomuotona käytetään tavallisesti 40 %:n primäärienergiayötyysuhteella toimivaa sähkön tuotantoa (primäärienergiakerroin $1/0,4 = 2,5$). Jos yhteistuotannon polttoaine-energiaan lisätään kaikki se energian käyttö, joka energianlähteen tuottamiseen koskemattomasta luonnonvarasta voimalaitokseen tuoduk-

Taulukko 7. Esimerkkilaskelma Tilastokeskuksen vuoden 2007 energiatilastoista lasketuista energian tuotantomuotojen primäärienergiakertoimista (yhteistuotannon polttoaineet on jaettu hyödynjakomenetelmällä).

	Kivihili	Öljy	Maa- kaasu	Turve	Puupoltto- aineet	Muut uusiutuvat	Muut fossiiliset	Muut energian- lähteet	Yhteensä	Primääri- energia- kerroin
	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	
Energianlähteen Primäärienergia- kerroin	1,20	1,10	1,10	1,20	0,10	0,10	1,10	1,10		
Vesivoima	–	–	–	–	–	–	–	–	1399	0,10 (vakio)
Tuulivoima	–	–	–	–	–	–	–	–	19	0,10 (vakio)
Ydinvoima	–	–	–	–	–	–	–	–	63003	2,80 (vakio)
Erillinen lämpövoima	26247	499	1452	10094	291	19	2502	863	41966	2,92 (laskettu)
Kaukolämpö- voima	8932	230	11895	6186	251	22	228	98	27841	1,82 (laskettu)
Yhteistuotanto- kaukolämpö	7884	244	6234	6467	272	25	365	181	21672	0,85 (laskettu)
Teollisuusvoima	579	479	5657	2504	1535	19	187	412	11371	0,99 (laskettu)
Teollisuushöyry	1534	2239	6022	5868	3773	40	597	1002	21075	0,43 (laskettu)
Kaukolämmön erillistuotanto	510	2532	2773	1308	138	30	96	978	8367	1,03 (laskettu)
Teollisuushöyryn erillistuotanto	196	3595	2052	935	298	16	178	5419	12689	1,03 (laskettu)
Konventionaali- nen lämpövoima	35757	1207	19003	18784	2077	60	2916	1372	81178	1,97 (laskettu)
Kaukolämpö	8395	2776	9007	7775	410	55	461	1160	30038	0,90 (laskettu)
Teollisuushöyry	1730	5834	8073	6803	4071	56	775	6421	33764	0,55 (laskettu)
Koko sähkön tuotanto	1,87 (laskettu)									

Lähde: Tilastokeskuksen energiatilastot (energianlähteiden primäärienergiakertoimet pois lukien). Taulukon energianlähteiden sekä vesi- tuuli ja ydinvoiman primäärienergiakertoimet eivät perustu kotimaista tuotantoa kuvaavaan tutkimukseen. Jos ydinvoiman kertoimeksi asetetaan lukuarvo 3,2, koko sähkön tuotannon kertoimeksi tulee 1,99.

si tuotteeksi asti on tarvittu, kyse on kaukolämmön primäärienergiakertoimesta. Tässä laskennassa voidaan päätyä myös negatiiviseen kaukolämmön primäärienergiakertoimeen (negatiivinen kerroin asetetaan nollassi).

Energian tuotantomuotojen primäärienergiakertoimet voidaan määrittää usealla tavalla. Taulukossa 6 on esitetty kotimaisiin kaukolämpötilastoihin perustuva esimerkkilaskelma standardin SFS-EN 15316-4-5:2007 mukaisesta kaukolämmöntuottajien keskimääräisestä pri-

määrienergiakertoimesta eri lähteistä arvioituilla energianlähteiden primäärienergiakertoimilla (sähkön primäärienergiakertoimena on käytetty arvoa 2,5). Taulukossa 7 on esitetty Tilastokeskuksen hyödynjakomenetelmällä määritettyihin energiatilastoihin pohjautuva esimerkkilaskelma energian tuotantomuotojen primäärienergiakertoimista eri lähteistä arvioituilla energianlähteiden sekä vesi-, tuuli- ja ydinvoiman kertoimilla. On syytä korostaa, että molempien esimerkkilaskelmien tulokset riippuvat

valituista kertoimien lukuarvoista: jos esimerkiksi ydinvoiman kertoimeksi taulukossa 7 asetetaan lukuarvo 3,2, saadaan koko sähköntuotannon kertoimeksi lukuarvo 1,99. Päästötarkastelussa ydinvoima on tuotannon osalta päästötön, mutta primäärienergiatarkastelussa ydinvoiman kerroin on melko korkea, koska tuotantoon tarvitaan luonnonvaroja (uraania ja myös muita energianlähteitä) ja ydinvoimalan hyötysuhde (lämmöstä sähköksi) on yleensä melko matala; tämä on yksi keskeinen ero edellä esitettyihin vain tuotantoa koskeviin sähkön- ja lämmöntuotannon päästöihin. Päästötarkasteluun voidaan primäärienergiatarkastelun tapaan sisällyttää myös tuotantomuotojen välilliset päästöt aina luonnonvaroista kuluttajalle toimitettavaksi tuotteeksi.

Yhteenveto

Sähkön ja kaukolämmön ominaispäästöt ovat pysyneet 2010-luvulla lähes vakiona, keskiarvojen ollessa vastaavasti 273 ja 217 kg (CO₂)/MWh. Sähkön tuotannon ominaispäästöt eivät korreloi ulkolämpötilan kanssa, joten kesällä ja talvella on likimain sama ominaispäästö. Nykyisellä tuotantorakenteella, jossa yhteistuotantosähkö korvaa erillistuotantoa, Suomen energiantuotannon kokonaispäästöt ovat käytännössä katsoen riippumattomia kaukolämmön kulutuksen määrästä. Tämä on syytä ottaa huomioon energiansäästötoimenpiteitä arvioidessa, eli kaukolämmityksessä taloissa päähuomio pitäisi kiinnittää sähkönkäytön tehokkuuden parantamiseen. Suomen energiantuotannon kokonaispäästöt ovatkin erittäin herkkiä kaukolämmön ja sähkönkäytön suhteelle. Jos vaikka 10 % nykyisestä kaukolämmityksestä korvattaisiin sähkölämmityksellä, niin energiantuotannon kokonaispäästöt lisääntyisivät usealla miljoonalla tonnilla. Vastaavasti sähkölämmityksen korvaaminen kaukolämmöllä alentaa kokonaispäästöjä olennaisesti. Tämä tarkoittaa myös sitä, että kaikentyyppinen sähkönkäytön tehostaminen alentaa energiantuotannon päästöjä merkittävästi.

Kun edellä lasketut keskimääräiset ja kulutuksen muutoksen päästöt suhteutetaan kevyen polttoöljyn päästökertoimeen 267 kg (CO₂)/MWh, saadaan ominaispäästöistä lasketut energiamuotojen kertoimet samanlaiseen suhteelliseen muotoon kuten usein käytetyt primäärienergian kertoimet. Nykytilanteen (2007) kertoimet ovat:

- öljy 1
- sähkön kulutuksen muutos 3,0
- sähkö keskimäärin 1,0
- kaukolämpö 0,8.

Nämä kertoimet muuttuvat ajassa, ja edellä tarkastetun 1600 MW ydinvoiman yksinkertaistetun skenaarion kertoimet ovat:

- öljy 1
- sähkön kulutuksen muutos 1,7...2,1
- sähkö keskimäärin 0,5...0,6
- kaukolämpö 0,8.

On otettava huomioon, että uuden ydinvoiman yksinkertaistettu skenario antaa arvion suurimmasta mahdollisesta päästöjen alenemasta. Todellisuudessa tämä muutos ei toteudu näin yksinkertaisesti ja näin suurena yhteispohjoisista sähkömarkkinoista ja sähkönkäytön lisääntymisestä johtuen.

Primäärienergiatarkastelu osoittaa, että ydinvoiman korkeasta primäärienergiakertoimesta johtuen sähkölle saadaan aina suurempi primäärienergiakerroin kuin ominaispäästöjen perusteella laskettu kerroin. Ydinvoima vaikuttaakin soveltuvan huonosti primäärienergiatarkasteluun, koska siinä verrataan uraanin ja fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Näin suomalaiselle, monipuoliselle energiantuotantorakenteelle päästötarkastelu on johdonmukaisempi tapa arvioida energiamuotojen eriarvoisuutta.

Tulokset osoittavat, että sähkö on huomattavasti arvokkaampaa energiaa kuin kaukolämpö tai fossiilinen polttoaine. Sähkön keskimääräinen ominaispäästö poikkeaa olennaisesti kulutuksen muutoksen aiheuttamasta ominaispäästöstä vähäpäästöisen tuotantokapasiteetin vajauksesta johtuen. Rakentamisen ohjauksen perustana käytettävä sähkön ominaispäästö onkin syytä valita keskimääräisen ominaispäästön ja kulutuksen muutoksen aiheuttaman ominaispäästön välistä. Tämä on energiapolitiittisen valinnan kysymys, kuten myös aikahetki (vuosi), jonka ominaispäästöjä käytetään, koska kulutus- ja tuotantorakenteen muutoksista johtuen myös ominaispäästöt muuttuvat jatkuvasti.

Esitetyt tulokset ovat Kestävä energia (KesEn) -hankkeen välituloksia, ja samantyyppisiä tarkasteluja on jatkossa tarkoitus laskea energiankäytön ja -tuotannon skenaariolle aina vuoteen 2030 asti.

Lähteet

IPCC: Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

IPCC: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

Kauppa- ja teollisuusministeriön asetus hiilidioksidipäästöjen tarkkailusta ja päästöistä laadittavasta selvityksestä (annettu Helsingissä 31 päivänä toukokuuta 2007).

SFS-EN 15603:2008 Energy performance of buildings – Overall energy use and definition of energy ratings.

SFS-EN 15316-4-5:2007 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.

Tilastokeskus: Greenhouse Gas Emissions in Finland 1990–2004, National Inventory Report to the UNFCCC

Liikanen J.: Yhdistetyn sähkön ja lämmön tuotannon päästöjen jakaminen, Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja 19/1999

Energiatilasto, Vuosikirja 2008. Tilastokeskus. Helsinki 2009.

Energiateollisuus ry:n sähköntuotannon tuntitilastot

Energiateollisuus ry. Sähköntuotantoskenaariot vuoteen 2030. 20.2.2008.

http://www.energia.fi/fi/julkaisut/sähköntuotantoskenaariot_20vuoteen_202030.html

KesEn hanke, Yhdyskuntien ja rakennusten energiaratkaisujen ja -huollon yhteensovittaminen -ryhmähanke.

<http://akseli.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/ohjelmat/ClimBus/fi/system/projekti.html?id=9425810&nav=Projekti>

Rakennusten lämmitysjärjestelmät

Kirja opastaa isännöitsijöitä, kiinteistöpäälliköitä, kiinteistönhoitoyritysten henkilöstöä sekä asunto- ja kiinteistöyhtiöiden päättäjiä energiatehokkaaseen ja terveelliseen lämmittämiseen. Kirjaan on koottu KH Net -kiinteistötietopalvelun tärkeimmät rakennusten lämmittämistä ja lämmitysjärjestelmiä koskevat ohjekortit.



Rakennustieto Oy, 2007
978-951-682-858-2
200 s., 30 €

Tee tilauksesi helposti
www.rakennustieto.fi
tai soita puh. 0207 476 401

RAKENNUSTIETO