



Asko Vuorinen

ENERGIANKÄYTTÄJÄN
KÄSIKIRJA **2013**

Ekoenergo Oy

ENERGIANKÄYTTÄJÄN KÄSIKIRJA 2013

Asko Vuorinen

Ekoenergo Oy

2013

Energiankäyttäjän käsikirja 2013
Copyright © 2013

Ekoenergo Oy

Lokinrinne 8 A 25

02320 Espoo

© *Ekoenergo Oy. Kaikki oikeudet pidätetään.*

ISBN 978-952-67057-5-0 (PDF)

Ekoenergo Oy on vuonna 1979 perustettu energian säästöön ja isännöintiin erikoistunut yritys. Yhtiö julkaisee myös energia-alaan liittyviä kirjoja. Tunnetuimmat kirjat ovat “Planning of Optimal Power Systems” 2009 ja “Planning of Nuclear Power Systems to Save the Planet” 2011. Kirjat ovat tilattavissa nettisivuilta www.optimalpowersystems.com. Kansikuvan suunnitellut arkkitehti Teo-Tuomas Vuorinen.

Esipuhe

Energiankäyttäjän käsikirja on tarkoitettu oppaaksi kuluttajille ja oppikirjaksi oppilaitoksille. Kirjassa kerrotaan, miten energiaa voidaan tuottaa uusiutuvia ja fossiilisia energialähteitä sekä ydinenergiaa käyttäen. Kunkin energiantuotantotavan kustannukset ja CO₂-päästöt on myös eritelty. Kirjaan liittyviä opetuskalvoja ja laskelmia excel-muodossa voi ladata kustantajan kotisivuilta, www.ekoenergo.fi.

Tähän kirjan toiseen painokseen on lisätty analyysi CO₂-päästöjen vaikutuksesta ilmastonmuutoksen etenemiseen vuoteen 2100 mennessä. Kirjassa esitetyn arvion mukaan lämpötila nousee yli 3 °C, jos CO₂-päästöjen kasvu jatkuu nykyisenä. Kirjassa myös esitetään suunnitelma, jonka mukaan lämpötilan nousu voidaan pitää kahden asteen sisällä. Se edellyttää, että kumulatiiviset CO₂-päästöt eivät ylitä arvoa 3700 Gt vuoteen 2100 mennessä. Kaikkien maiden tavoite olisi alittaa 4,2 tCO₂/asukas taso vuoteen 2040 mennessä. Se merkitsee Suomelle 2,6 % säästöä joka vuosi. Vuoden 2040 jälkeen kaikkien maiden tulisi pienentää päästöjään 2 % vuodessa.

Jokainen energiankäyttäjä voi myös itse vaikuttaa siihen, miten kasvihuoneilmiö etenee. Sähköä voi ostaa nyt myös päästöttömistä energialähteistä, jolloin samalla voi pienentää perheensä hiilidioksidikuormaa. Jos autot vaihdetaan ladattaviin hybridiautoihin, myös autojen tuottamat päästöt voidaan saada pieniksi samalla tavalla.

EU:n tavoitteena on 20 %:n säästö energian kulutuksessa ja CO₂-päästöissä vuoteen 2020 mennessä. Tavallinen energiankäyttäjä voi päästä tuohon tavoitteeseen nopeasti. Kirjassa on esitetty, miten 50 % vähennys CO₂-päästöihin tehdään.

Kirjassa on esitetty vertailut erityyppisten asuntojen lämmitystapojen kustannuksista ja ympäristöpäästöistä. Kulutustiedot perustuvat Energianet.fi-nettisivujen kautta kerättyyn yli 10 000 kotitalouden tekemään tarjouspyyntöön. Kustannusvertailuja voidaan käyttää pohjana omakotitalojen lämmitystavan valintaa tai vaihtoa suunniteltaessa.

Energianet.fi-nettisivusto on suunniteltu palvelemaan energiankäyttäjiä erityisesti sähköenergian kilpailutuksessa. Sivustoja ylläpitää Ekoenergo Oy, joka on vuonna 1979 perustettu energian järkevää käyttöä edistävä yhtiö. Yhtiö on julkaissut aiemmin kirjat *“Planning of Optimal Power Systems”* 2009, *”Energiankäyttäjän käsikirja”* 2009 ja *“Planning of Nuclear Power Systems to Save the Planet”* 2011.

Maaliskuu 2013
Asko Vuorinen

SISÄLLYSLUETTELO

Esipuhe	1
1 JOHDANTO	5
1.1 ENERGIAN KÄYTTÖ	5
1.2 ENERGIALÄHTEET	6
1.3 SÄHKÖ	10
1.4 LÄMPÖ	14
1.5 LIIKENNE	15
1.6 ENERGIANSÄÄSTÖ	17
2 SÄHKÖHUOLTO	18
2.1 UUSIUTUVAT ENERGIALÄHTEET	18
2.2 YDINVOIMA	37
2.3 FOSSIILISET ENERGIALÄHTEET	47
2.4 SÄHKÖN SIIRTO JA JAKELU	60
2.5 SÄHKÖHUOLLON TULEVAISUUDENNÄKYMÄT	67
3 SÄHKÖMARKKINAT	80
3.1 SÄHKÖN HINNANMUODOSTUS	80
3.2 SÄHKÖN HINTAVAIHTELUT	86
3.3 SÄHKÖNOSTOSTRATEGIA	90
3.4 VAPAI DEN SÄHKÖMARKKINOIDEN MERKITYS	93
4 SÄHKÖN KILPAILUTUS	95
4.1 YLEISTÄ	95
4.2 LAINSÄÄDÄNTÖ	95
4.3 SÄHKÖLASKU	97
4.4 SÄHKÖNKULUTUSARVIOT	99
4.5 KILPAILUTUKSEN KULKU	101
4.6 SÄHKÖSOPIMUKSET	105
4.7 YHTEENVETO	106

5 LÄMPÖHUOLTO.....	108
5.1 KIIINTEISTÖN LÄMMÖNTARVE	108
5.2 LÄMMITYSTAVAT	112
5.3 KAUKOLÄMMITYS.....	113
5.4 SÄHKÖLÄMMITYS.....	119
5.5 LÄMPÖPUMPPULÄMMITYS.....	123
5.6 TALOKOHTAINEN LÄMMITYS	129
5.7 LÄMMITYSTAVAN VALINTA.....	135
5.8 YHTEENVETO	139
6 LIIKENNE	141
6.1 LIIKENTEEN ENERGIANKULUTUS	141
6.2 HENKILÖAUTOT	143
6.3 JOUKKOLIIKENNE	154
7 ENERGIANSÄÄSTÖ	162
7.1 ENERGIALASKU	162
7.2 ASUNTOJEN LÄMMITYS	164
7.3 SÄHKÖN KÄYTTÖ.....	172
7.4 HENKILÖAUTOILU	185
7.5 MATKAILU	188
7.6 ENERGIAA RAVINNOSTA	189
7.7 YHTEENVETO.....	191
8 YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	192
8.1 HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖT	192
8.2 ILMASTONMUUTOS	201
8.3 PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISTAVOITTEET	206
8.4 PERHEEN CO ₂ -PÄÄSTÖT.....	209
8.5 ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUKSET	215
8.6 YHTEENVETO.....	219
9 MAAILMAN ENERGIATULEVAISUUS.....	220
9.1 TULEVAISUUDEN ENERGIASKENAARIOT	220
9.2 ENERGIASYKLIT	229
9.3 YHTEENVETO	235

LÄHDEKIRJALLISUUTTA	236
LIITTEET.....	237
Liite 1 Sähkön tuotantokustannukset	237
Liite 2. Omakotitalojen sähkönkulutusarviot.....	243
Liite 3. Rivitalojen sähkönkulutus	250
Liite 4. Kerrostaloasuntojen sähkönkulutus. Kaukolämmitys.....	253
Liite 5. Vapaa-ajan asuntojen sähkönkulutus. Sähkölämmitys.....	254
Liite 6. Maatilojen sähkönkulutus, Puulämmitys.....	255
Liite 7. Primäärienergian kulutus maailmassa	256
Liite 8. Sähkön tuotanto maailmassa /3/	257
Liite 9.1 EU:n primäärienergian kulutus vuonna 2009 /1/.....	258
Liite 9.2 Energialähteiden osuudet EU:n primäärienergiasta vuonna 2009.....	259
Liite 9.3 Primäärienergian ja sähkön kulutus asukasta kohti vuonna 2009 sekä sähkön hinta EU:ssa 2011 primäärienergian kulutuksen suuruuden mukaisessa järjestyksessä /1/.....	260
Liite 10. CO ₂ -päästöt vuonna 2011 ja päästöjen vähennystarve, että maat pääsevät tasolle 4,2 tonnia/asukas.....	261
Liite 11. Kasvihuonekaasujen ilmastovaikutus (IPCC)	262
Liite 12. Energiayksöiden ja CO ₂ -päästöjen arvoja	263
Kirjat.....	264
Sotamies Tuomas Tjederin suku	264
Kalinaisen suku Pohjois-Karjalasta.....	264
Planning of Optimal Power Systems.....	265
Planning of Nuclear Power Systems to Save the Planet	265
Energiankäyttäjän käsikirja	266
Energiankäyttäjän käsikirja 2013	266
Asko Vuorinen.....	267
Ekoenergo Oy	267

1 JOHDANTO

1.1 ENERGIAN KÄYTTÖ

Nykypäivän ihminen tarvitsee monenlaista energiaa selviytyäkseen jokapäiväisestä elämisestä. Kotona tarvitaan sähköä ja lämpöä. Liikenteessä tarvitaan polttoaineita sekä sähköä. Työpaikalla tietokoneet toimivat sähköllä. Itse asiassa sähköä ja lämpöä tarvitaan kaikenlaisissa rakennuksissa, tehtaissa ja kulkuneuvoissa.

Energian tarvetta mitataan kilowattitunteina (kWh) ja Jouleina. Yksi kilowattitunti on energiayksikkö, joka vastaa 1000 Watin sähkölämmittimen sähkökulutusta tunnissa tai vastaavasti 100 Watin hehkulampun kulutusta kymmenessä tunnissa. Yksi kWh vastaa energiamäärässä 3600 wattisekuntia eli Joulea.

Energiamäärää voidaan mitata myös öljytonneina. Yksi öljytonni vastaa energiasisällöltään 11,62 MWh. Yksi litra kevyttä polttoöljyä vastaa puolestaan 10 kWh:n energiamäärää. Yksi irtokuutio (i-m³) koivuklapeja sisältää 1000 kWh energiaa ja pinokuutio (p-m³) 1700 kWh.

Suomessa kulutetaan vuodessa 311 TWh (terawattituntia = miljardia kWh) energiaa (Taulu 1.1.1) ts. 57.600 kWh per henkilö. Energian tarve Suomessa on kasvanut viimeisen kahdenkymmenen vuoden aikana 29 % ts. 1,2 % vuotta kohti laskettuna.

Teollisuus on suurin energiankäyttäjä ja siihen luetaan myös energiateollisuus, joka tuottaa sähköä ja lämpöä. Teollisuus kuluttaa 46 % ja rakennusten lämmitys 24 % kaikesta energiasta. Liikenteen osuus on 17 %.

Taulu 1.1.1 Energian loppukäyttö Suomessa //

Vuosi	1990	2000	2010	2011	Osuus
	TWh	TWh	TWh	TWh	%
Teollisuus	114	158	145	144	46 %
Liikenne	46	47	51	51	17 %
Rakennusten lämmitys	49	59	83	74	24 %
Muut	32	37	41	41	13 %
Yhteensä	240,7	300,1	319,8	310,6	100 %
Indeksi	100,0	124,7	132,9	129,1	

1.2 ENERGIALÄHTEET

Noin 51 % Suomen energiankulutuksesta vuonna 2011 on peräisin fossiilisista lähteistä (Taulu 1.2.1). Tärkein energialähde Suomessa on yhä öljy. Öljyn osuus on kuitenkin pienentynyt ja se kattaa 24 % energian tarpeesta. Bioenergia kattaa 22 %, ydinenergia 17 %, kivihiihi 11 % ja maakaasu 10 % energiantarpeesta.

Taulu 1.2.1 Suomen primäärienergian kulutus energialähteittäin /1/ (sähkötuotannon hyötysuhteeksi oletettu vesi- ja tuulivoimalla 100 %)

Vuosi	1990	2000	2010	2011	Osuus
	Mtoe	Mtoe	Mtoe	Mtoe	%
Fossiiliset lähteet					
Öljy	9,0	8,5	8,4	8,0	24 %
Maakaasu	2,2	3,4	3,6	3,2	10 %
Kivihiihi	4,0	3,6	4,0	3,6	11 %
Turve	1,3	1,5	2,3	2,1	6 %
Yhteensä	16,5	16,9	18,3	16,9	51 %
Osuus	60 %	54 %	53 %	51 %	
Ei-fossiiliset lähteet					
Vesivoima	0,9	1,3	1,1	1,1	3 %
Ydinvoima	4,7	5,6	5,7	5,8	17 %
Tuulivoima	-	0,0	0,0	0,04	0,1 %
Lämpöpumput	0,0	0,0	0,3	0,29	0,9 %
Bioenergia	4,0	6,4	7,6	7,4	22 %
Sähkön tuonti	0,9	1,0	0,9	1,2	4 %
Muut	0,2	0,3	0,6	0,6	2 %
Yhteensä	10,8	14,7	16,2	16,4	49 %
Osuus (%)	40 %	46 %	47 %	49 %	
Yhteensä	27,3	31,6	34,6	33,2	100 %
Indeksi	100,0	115,9	126,5	121,7	

Ydinvoiman tuotanto kasvaa vuonna 2016, kun Olkiluodon kolmas yksikkö valmistuu. Sen jälkeen ydinvoiman primäärienergian käyttö nousee yli 8 Mtoe, jolloin ydinvoima ohittaa energianlähteenä öljyn, jonka käyttö on pienenemässä. Myös bioenergian käyttö kasvaa nopeasti ja sen käyttö ohittaa öljyn käytön todennäköisesti myös vuoteen 2016 mennessä. Kolmas nopeasti kasvava energiamuoto on lämpöpumppulämmitys, joka korvaa ennen muuta öljyä käyttöä pientalojen lämmityksessä.

1 Johdanto

Fossiilisten polttoaineiden osuus pienenee sitä mukaa, kun ydinvoiman, bioenergian ja lämpöpumppujen käyttö lisääntyy. Myös tuulivoiman osuus on kasvamassa, mutta sen osuus on vasta 0,1 % primäärienergian kulutuksesta.

Fossiilisten polttoaineiden osuus maailman energiantuotannosta vuonna 2011 oli noin 79 % (Taulu 1.2.2). Öljyn osuus maailman energiamarkkinoista on edelleen 30 %. Hiilen osuus on 27 % ja 21 %. Maakaasun osuus kasvaa kuitenkin edelleen samalla, kun öljyn osuus vähenee. Myös hiilen osuus kasvaa. Näin ollen fossiiliset polttoaineet säilyvät vielä pitkään tärkeimpinä energialähteinä maailmassa.

Taulu 1.2.2 Maailman primäärienergiälähteet (Mtoe = miljoona ekvivalenttista öljytonnia) /2/. Biovoima perustuu EIA:n arvioon (sähköntuotannon hyötysuhteeksi oletettu 38 % ydin-, vesi-, tuuli- ja aurinkovoimalla).

Vuosi	1990	2000	2010	2011	Osuus
	Mtoe	Mtoe	Mtoe	Mtoe	%
Fossiiliset lähteet					
Öljy	3175	3618	3945	4059	30 %
Maakaasu	1790	2177	2867	2906	21 %
Kivihiili	2207	2372	3532	3724	27 %
Yhteensä	7172	8167	10344	10689	79 %
Osuus	79 %	78 %	78 %	79 %	
Ei-fossiiliset lähteet					
Ydinvoima	453	584	626	599	4,4 %
Vesivoima	490	602	779	791	5,8 %
Tuulivoima	0,8	6,7	78,7	99,0	0,7 %
Aurinkovoima	0,1	0,2	6,8	12,6	0,1 %
Biomassa	902	1082	1299	1325	9,7 %
Muut uusiutuvat	27	58	80	83	0,6 %
Yhteensä	1873	2334	2870	2910	21 %
Osuus (%)	21 %	22 %	22 %	21 %	
Yhteensä	9045	10501	13214	13599	100 %
Indeksi	100,0	116,1	146,1	150,4	

1 Johdanto

Ei-fossiilisista energialähteistä tärkein on bioenergia, jonka osuus on noin 10 % maailman primäärienergiasta. Toiseksi tärkein on vesivoima, jonka osuus on noin 6 %. Ydinvoima on kolmantena 4 %:n osuudella. Tuulivoiman osuus kasvaa nopeasti ja vuonna 2011 sen osuus oli 0,7 %. Myös aurinkovoima käyttö on kasvussa, mutta sen osuus on vasta 0,1 % primäärienergiasta.

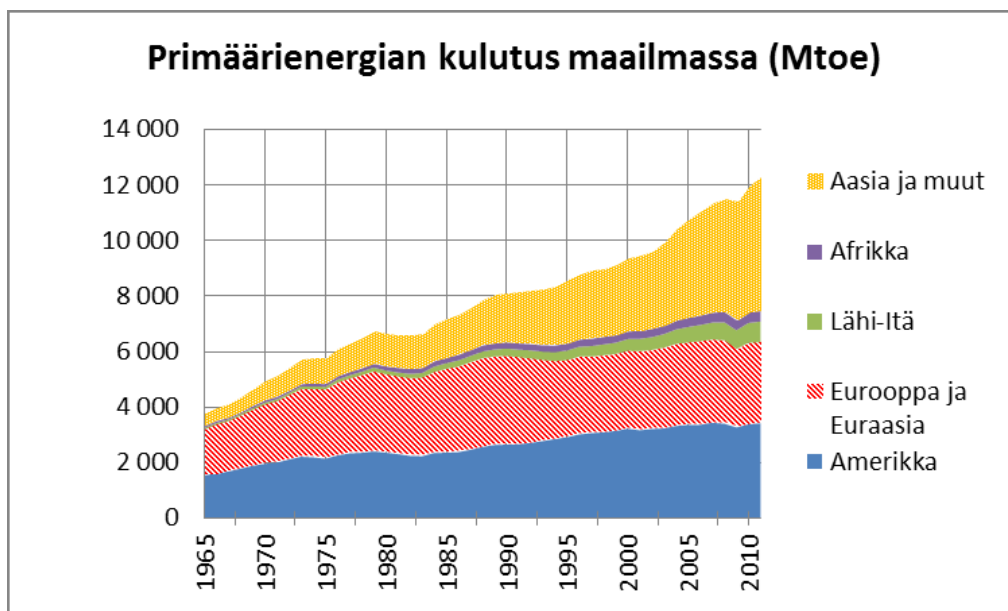
Taulu 1.2.3 Primäärienergian käyttö maanosittain (ei sisällä bioenergiaa /2/).

Vuosi	1990	2000	2010	2011	Osuus
	Mtoe	Mtoe	Mtoe	Mtoe	%
Amerikka					
USA	1968	2314	2278	2269	18 %
Kanada ja Meksikko	358	444	486	504	4 %
Etelä-Amerikka	326	466	619	643	5 %
Yhteensä	2652	3224	3383	3416	28 %
Osuus	33 %	34 %	28 %	28 %	
Eurooppa ja Euraasia					
EU	1650	1722	1745	1691	14 %
Venäjä	864	614	669	686	6 %
Muut	681	474	525	547	4 %
Yhteensä	3195	2810	2939	2923	24 %
Osuus	39 %	30 %	25 %	24 %	
Aasia ja Tyynen meren valtiot					
Kiina	662	1011	2403	2613	21 %
Intia	181	297	521	559	5 %
Japani	434	515	503	478	4 %
Muu Aasia	494	805	1131	1153	9 %
Yhteensä	1771	2628	4558	4803	39 %
Osuus	22 %	28 %	38 %	39 %	
Afrikka ja Lähi-Itä					
Lähi Itä	266	421	717	748	6 %
Afrikka	220	274	382	385	3 %
Yhteensä	486	695	1099	1132	9 %
Osuus	6 %	7 %	9 %	9 %	
Maailma yhteensä	8104	9357	11979	12275	100 %
Indeksi	100,0	115,5	147,8	151,5	

1 Johdanto

Suurin energiankäyttäjä on Kiina, joka käyttää jo 21 % maailman primäärienergiasta (Taulu 1.2.3). Seuraavina ovat USA 18 %, EU:n 14 %, Venäjä 6 % ja Intia 5 %. Yhdessä nämä viisi suurinta energiankäyttäjää vastaavat 64 %:n osuudesta maailman primäärienergian käytöstä.

Primäärienergian käyttö on kasvanut vuodesta 1990 lähtien 4000 Gtoe:lla eli 50 %. Kasvusta melkein puolet (1900 Mtoe) on tapahtunut Kiinassa. Intiassa kasvu oli 380 Mtoe ja USA:ssa 200 Mtoe. EU:n kulutus on kasvanut 40 Mtoe ja Venäjän kulutus on laskenut 180 Mtoe.



Kuva 1.2.4 Primäärienergian kulutus maanosittain /2/.

1.3 SÄHKÖ

Sähkönkulutus on kasvanut kahdenkymmenen vuoden aikana 22,1 TWh eli noin 1,1 TWh vuodessa (Taulu 1.3.1). Sähkön kulutus on pysynyt viimeisen viiden vuoden aikana samalla tasolla, koska teollisuuden sähkökäyttö on vähentynyt. Vuonna 2012 kasvu oli myös noin 1 TWh, mutta siitä ei ole käytettävissä erittelyä.

Taulu 1.3.1 Sähkön käyttö Suomessa /1/

Vuosi	1990	2000	2010	2011	Osuus
	TWh	TWh	TWh	TWh	%
Teollisuus ja rakentaminen	33,1	43,8	41,8	40,6	48 %
Palvelut ja julkinen	10,8	13,8	18,6	18,4	22 %
Koti- ja maataloudet	15,6	19,0	24,6	22,8	27 %
Häviöt	2,8	2,6	2,8	2,5	3 %
Yhteensä	62,3	79,2	87,7	84,4	100 %
Indeksi	100,0	127,0	140,7	135,4	

Teollisuus on kuitenkin edelleen suurin sähkökäyttäjä sen käyttäessä 48 % sähkön kokonaistarpeesta. Teollisuuden sähkökäyttö on kasvanut kahdessakymmenessä yhdessä vuodessa 7,5 TWh, eli suunnilleen suuren (1000 MW:n) ydinvoimalan tuotannon verran.

Palvelut ja julkinen sektori käyttävät 22 % sähköstä. Palvelujen sähkökäyttö on kasvanut vuodesta 1990 lähtien 7,6 TWh, joka vastaa yhden 1000 MW:n ydinvoimalan vuosituotantoa.

Koti- ja maataloudet käyttävät 27 % sähköstä, kun mukaan luetaan niiden käyttämä sähkölämmitys. Kotitalouksien sähkökäyttö on kasvanut 7,2 TWh, vastaten myös yhden 1000 MW:n ydinvoimalan tuotantoa.

Sähkönkulutus asukasta kohti on Suomessa 15.600 kWh, samaa luokkaa kuin Ruotsissa. Molemmat maat käyttävät eniten sähköä asukasta kohti laskettuna koko EU:n alueella. Norja ja Islanti käyttävät sähköä asukasta kohti laskettuna Suomeakin enemmän.

Sähköntuotantotavat ovat kehittyneet taulun 1.3.2 mukaisesti. Tärkein energialähde vuonna 2012 oli ydinvoima kattaen 26 % sähkönhankinnasta. Toiseksi tärkein

1 Johdanto

energiamuoto oli vuonna 2012 vesivoima, jonka osuus oli 19 % hankinnasta. Kaukolämpövoima kattoi 16 % sähkön hankinnasta, kun sähköä tuotiin 21 %.

Taulu 1.3.2 Sähkön hankintalähteet Suomessa.

Vuosi	1990	2000	2010	2012	Osuus
	TWh	TWh	TWh	TWh	%
Erillistuotanto					
Ydinvoima	18,1	21,6	21,9	22,1	26 %
Vesivoima	10,8	14,5	12,7	16,5	19 %
Tuulivoima	0,0	0,1	0,3	0,5	1 %
Lauhdutusvoima	6,6	7,0	14,2	5,7	7 %
Yhteensä	35,5	43,1	49,1	44,8	53 %
Osuus	57 %	54 %	56 %	53 %	
Sähkön ja lämmön yhteistuotanto					
Kaukolämpövoima	8,5	13,4	17,9	13,5	16 %
Teollisuuden vp	7,7	10,8	10,3	9,4	11 %
Yhteensä	16,1	24,2	28,1	22,9	27 %
Osuus (%)	26 %	31 %	32 %	27 %	
Tuotanto yhteensä	51,6	67,3	77,2	67,7	79 %
Nettotuonti	10,7	11,9	10,5	17,5	21 %
Osuus (%)	17 %	15 %	12 %	21 %	
Kokonaishankinta	62,3	79,2	87,7	85,2	100 %
Indeksi	100,0	127,0	140,7	136,7	

Ydinvoiman osuus Suomen sähköntuotannosta vuonna 2011 oli 32 % (Taulu 1.3.3). Vesivoima oli toiseksi tärkein sähköntuotannon lähde 18 %:n osuudella. Kolmantena olivat puupolttoaineet 16 % osuudella. Maakaasu ja kivishiili kattoivat kumpikin 13 % sähköntuotannosta. Turpeella tuotettiin 7 % sähköntuotannosta.

Fossiiliset energialähteet kattoivat kolmanneksen sähköntuotannosta. Kivihiilen runsas käyttö voimalaitospolttoaineena johtuu pääosin Olkiluoto 3 voimala käyttöönoton myöhästymisestä. Laitoksen piti valmistua vuonna 2009, jolloin se olisi toiminut vuonna 2010 jo läpi koko vuoden. Nyt ennustetaan, että Olkiluoto 3 valmistuu vasta 2016, eli seitsemän vuotta myöhässä alkuperäisestä aikataulustaan. Kun laitos valmistuu, fossiililla polttoaineilla tuotettu sähkö vähenee noin 13 TWh, jos energiantuotanto säilyy muuten ennallaan.

Biopolttoaineiden käyttö kasvaa myös nopeasti, ja niiden osuus on jo 16 % sähkön tuotannosta (Taulu 1.3.3). Muutaman vuoden päästä biopolttoaineet ohittavat

1 Johdanto

vesivoiman ja tulevat toiseksi tärkeimmäksi sähköntuotannon lähteeksi. Biopolttoaineet ovat tällä hetkellä edullisin energialähde sähkön ja lämmön yhteistuotannossa.

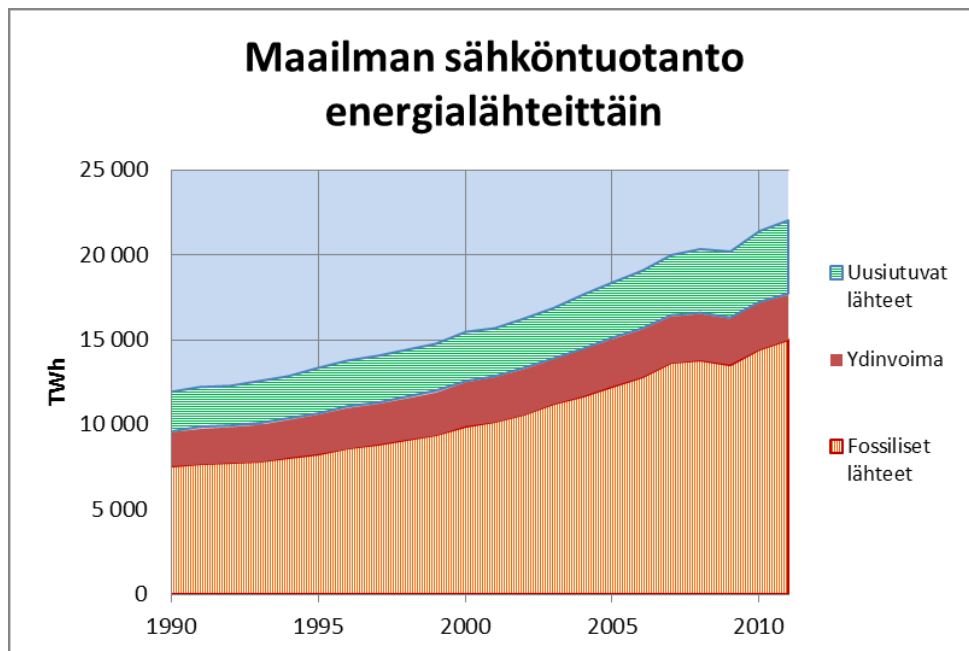
Taulu 1.3.3 Sähköntuotanto energialähteittäin Suomessa /1/

Vuosi	1990	2000	2010	2011	Osuus
	TWh	TWh	TWh	TWh	%
Fossiiliset energialähteet					
Kivihiili	9	8	14	9	13 %
Turve	3	4	6	5	7 %
Maakaasu	4	10	11	9	13 %
Öljy	1,6	0,5	0,4	0,4	1 %
Yhteensä	18	22	31	24	33 %
Osuus	34 %	33 %	40 %	33 %	
Ei-fossiiliset lähteet					
Ydinvoima	18	22	22	22	32 %
Vesivoima	11	15	13	12	18 %
Tuulivoima	0,0	0,1	0,3	0,5	1 %
Biopolttoaineet		8	10	11	16 %
Muut polttoaineet	5	1	2	1	1 %
Yhteensä	34	45	46	47	67 %
Osuus (%)	66 %	67 %	60 %	67 %	
Tuotanto yhteensä	52	67	77	71	100 %
Indeksi	100,0	130,3	149,5	136,6	

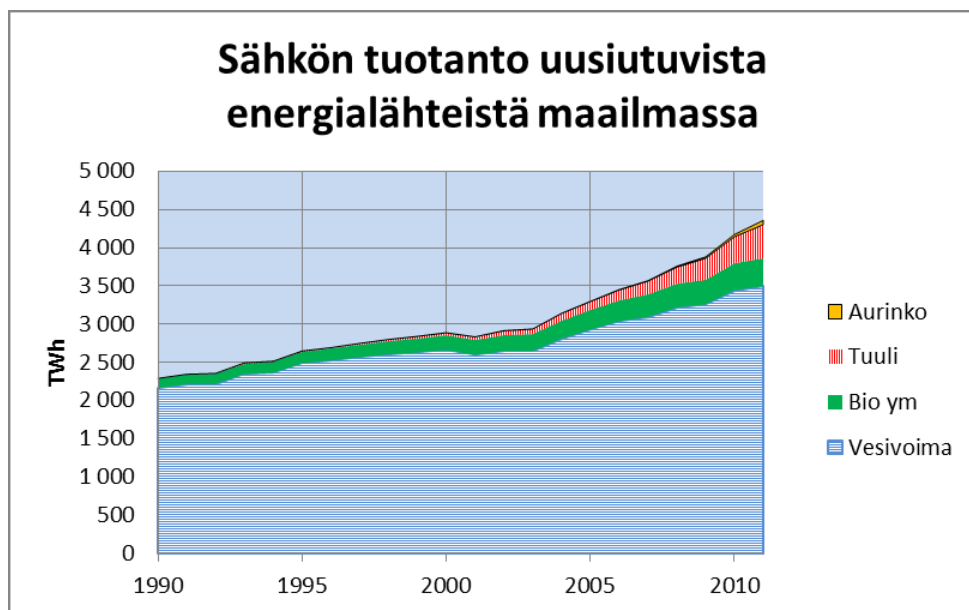
Maailman sähköntuotanto oli vuonna 2011 noin 22.000 TWh. Tuotannon kasvu on ollut vuoden 2003 jälkeen 800 TWh vuodessa. Kasvu on perustunut pääasiassa fossiilisten polttoaineiden varaan (Kuva 1.3.1).

Sähköntuotanto uusiutuvista lähteistä oli vuonna 2011 noin 4400 TWh, eli noin 20 % sähköntuotannosta. Uusiutuvien energialähteiden käyttö on kasvanut nopeasti vasta vuoden 2003 jälkeen (Kuva 1.3.2). Kasvu on ollut keskimäärin 180 TWh vuodessa. Näin uusiutuvat energialähteet kattoivat noin 20 % kasvusta.

Uusiutuvista energiamuodoista nopeimmin on kasvanut tuulivoiman tuotanto, 50–80 TWh vuodessa. Suhteellisesti nopeimmin kasvaa kuitenkin aurinkosähkön tuotanto, mutta sen osuus on vielä hyvin pieni.



Kuva 1.3.1 Maailman sähköntuotanto energialähteittäin /2/.



Kuva 1.3.2 Sähkön tuotanto uusiutuvien lähteitä käyttäen /2/.

1.4 LÄMPÖ

Suomi on pohjoinen maa ja lämmöntarve on Suomessa asukasta kohti suurempaa kuin missään muussa maassa. Vuonna 2012 lämmitykseen kului Suomessa energiaa noin 71,8 TWh vuodessa (Taulu 1.4.1). Kulutus on noin 13.000 kWh asukasta kohti. Vaihtelu on kuitenkin voimakasta, koska lämmitystarve vaihtelee vuosittain sään mukaan. Myös laskentatavassa on tapahtunut muutoksia.

Kuva 1.4.1 Lämmitysmuotojen kehitys lämmön tarpeen mukaan // (Vuoden 2012 arvot perustuvat Energiateollisuus ry:n tietoihin).

Vuosi	1990	2000	2010	2012	Osuus
	TWh	TWh	TWh	TWh	%
Kaukolämmitys	20,2	23,6	32,5	33,6	47 %
Sähkölämmitys	6,1	8,1	14,5	13,1	18 %
Lämpöpumput	0,7	0,6	5,7	7,3	10 %
Polttoaineet	20,9	16,5	18,3	17,8	25 %
Yhteensä	47,9	48,8	71,0	71,8	100 %
Indeksi	100,0	101,8	148,1	149,9	

Lämmöntuotannon rakenne on muuttumassa siten, että kauko-, sähkö- ja lämpöpumppulämmityksen osuudet kasvavat koko ajan. Vuodesta 1990 lähtien kaukolämmityksen kasvu on ollut 12 TWh. Sähkölämmityksen kasvu on 7 TWh saman aikana. Sähkölämmitykseen on laskettu vuonna 2010 myös kiertovesipumppujen käyttämä sähkö.

Erittäin nopeasti on kasvanut myös lämpöpumppulämmityksen osuus. Kasvua on ollut 6 TWh vuodesta 1990 lähtien. Sähkölämmitys, ja etenkin lämpöpumppulämmitys ovat tänään järkeviä valintoja, myös ympäristön kannalta katsottuna. Niistä ei synny paikallisesti lainkaan päästöjä. Lisäksi 67 % sähköntuotannosta Suomessa perustuu ei-fossiilisiin energialähteisiin.

Paikallisten polttoaineiden käyttö vähentyi vuoteen 2000 asti. Viimeisimmän kymmenen vuoden aikana niiden käyttö on kuitenkin hieman kasvanut, kun erityisesti öljylämmityksestä on siirrytty pellettilämmitykseen ja takat ovat yleistyneet.

1.5 LIIKENNE

Vuonna 2010 liikenteessä kului 4,8 Mtoe energiaa, josta 0,4 Mtoe (9 %) oli sähköä (Taulu 1.5.1). Liikenteen energiankäyttö on kasvanut viimeisen kahdenkymmenen vuoden aikana 15 % ts. 0,7 % vuodessa. Liikenteen energiasta 50 % oli dieselöljyä, kun vielä vuonna 1990 puolet oli bensiiniä.

Junien sähkönkäyttö on kaksinkertaistunut vuodesta 1990 lähtien, kun polttoaineiden käyttö on puolittunut. Yli 80 % junien käyttämästä energiasta vuonna 2010 oli sähköä.

Taulu 1.5.1 Liikenteen energiakäyttö /1/ (Sähköntuotannon hyötysuhteen on oletettu olevan 38 %).

Vuosi	1990	2000	2010	Osuus
	ktoe	ktoe	ktoe	%
Maantieliikenne				
Bensiini	1930	1700	1562	33 %
Dieselöljy	1600	1830	2381	50 %
Maakaasu	0	1	5	0 %
Yhteensä	3531	3531	3948	83 %
Osuus	85 %	83 %	83 %	
Rautatieliikenne				
Polttoaineet	62	49	33	1 %
Sähkö	230	320	441	9 %
Yhteensä	291	369	474	10 %
Lentopetrooli	132	162	139	3 %
Vesiliikennepa.	196	217	220	5 %
Yhteensä	4150	4279	4781	100 %
Indeksi	100,0	103,1	115,2	

On huomattava, että tieliikenteen energiankäyttö on hyvin tehotonta, koska energia tuotetaan pienissä polttomoottoreissa, joiden hyötysuhde on noin 10–20 % tankista pyöriin laskettuna. Kun liikenteessä siirrytään yhä enemmän sähköjunien ja sähköautojen käyttöön, hyötysuhde kasvaa lauhdevoimaloissa arvoon 40 % tai jopa arvoon 85 %, jos sähkö tuotetaan yhdistetyissä sähköä ja lämpöä tuottavissa voimalaitoksissa.

1 Johdanto

Sähkön osuus liikenteen energiankäytöstä on tällä hetkellä vain 9 % (440 ktoe), mutta sen osuus kasvaa kuitenkin nopeasti. Kun sähköverkosta ladattavat hybridautot yleistyvät, jolloin päivittäiseen työmatka-ajoon tarvittava polttoaine voi olla kokonaan sähköä. Polttoainetta tarvitaan vain mökkiliikenteessä ja muilla pitkillä matkoilla.

Sähkön osuuden kasvua nopeuttaa myös ympäristönormien kiristyminen. Varsinkin uudet Euro-6 päästönormit pienentävät dieselautojen päästöt bensiiniautojen tasolle. Nykyiset dieselautot tuottavat huomattavasti enemmän NO_x- ja hiukkaspäästöjä kuin bensiiniautot. Vuoden 2014 jälkeen molemmat ovat suunnilleen samanlaisia NO_x- ja hiukkaspäästöiltään. Dieselautojen häkäpäästöt saavat olla vain puolet bensiiniautojen päästöistä.

Vuodesta 2008 alkaen uusia autoja on verotettu niiden hiilidioksidipäästöjen perusteella. Näin monien vähäpäästöisten autojen hinnat laskivat huomattavasti. Vuodesta 2011 lähtien myös vuosimaksut ovat olleet päästöperusteiset. Vähäpäästöisiä autoja voitaisiin myös suosia, antamalla niille esimerkiksi ilmainen pysäköintioikeus kaupunkien keskustoissa.

1.6 ENERGIANSÄÄSTÖ

Vastuullinen energiankäyttäjä ajattelee myös tulevia sukupolvia. On välttämätöntä käyttää energiamuotoja, jotka pienentävät päästöjä. Päästöttömiä energiamuotoja ovat esimerkiksi vesivoima, tuulivoima, biovoima ja ydinvoima. Niiden käyttöä on pyrittävä lisäämään.

Sähkö on tänään Suomessa ympäristöystävällinen tuote, jos se perustuu päästöttömiin energialähteisiin. Se on huomattavasti puhtaampaa kuin esimerkiksi autojen käyttämät nestemäiset polttoaineet tai kivihieillä tuotettu kaukolämpö.

Vastuullinen kuluttaja pysyy myös kohtuudessa kaikkien energiamuotojen käytössä. Myös sähköä tulee säästää. Säästö voidaan todeta, kun kulutusta verrataan muihin samanlaisten kohteiden kulutukseen.

Vertailu onnistuu helposti Energianet.fi–nettisivujen kohdassa *Energiansäästö*. Siellä jokainen voi verrata sähkönkulutustaan muiden samanlaisten kohteiden kulutukseen laatimalla energiatodistuksen. Siinä sähkönkuluttajat jaetaan viiteen tähtiluokkaan. Vähiten sähköä käyttäville taloille annetaan viisi tähteä ja eniten käyttävä 20 % saa yhden tähden.

Energiansäästö on tarpeen myös hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi. Suomen ja koko maailman tavoitteeksi (Taulu 8.3.1) on vuodelle 2040 asetettu 4,2 tonnia asukasta kohti. Sen mukaan fossiilisten polttoaineiden käyttöä tulisi vähentää Suomessa 2,6 % vuodessa. Se merkitsee 23 %:n vähennystä vuoteen 2020 mennessä ja noin 53 % vähennystä vuoteen 2040 mennessä. Tarkemmin Suomen ja maailman tavoitteita on pohdittu kohdassa 8.3.

Hiilidioksidipäästöihin voi vaikuttaa myös ostamalla sähköä, joka on peräisin päästöttömistä lähteistä. On myös mahdollista valita lämmitystapa, joka aiheuttaa vähiten päästöjä. Jopa 50 % säästö hiilidioksidipäästöissä on mahdollista tehdä, kun puuttuu kaikkeen asumisen ja liikenteen energian käyttöön.

2 SÄHKÖHUOLTO

2.1 UUSIUTUVAT ENERGIALÄHTEET

2.1.1 Vesivoima

Toimintaperiaatteet

Vesivoimalassa käytetään hyväksi veden pinnan korkeuseron aikaansaamaa liike-energiaa, joka muutetaan generaattorissa sähköenergiaksi. Vesivoimalan patoallasta käytetään samalla veden vuosi- ja vuorokausivarastointiin, jonka avulla energiaa kerätään talteen sateisena aikana, ja sähköä tuotetaan silloin, kun sähkön tarve on suurin. Vesivoimaa voidaan käyttää myös nopeaan tehonsäätöön, jonka avulla tuotannon ja kulutuksen tasapainoa (taajuutta) voidaan ylläpitää.



Kuva 2.1.1 Pienvesivoimalaitos.

2 Sähköhuolto

Vesivoimalat ovat ideaaleja sähköntuotantomuotoja. Ainoat ongelmat liittyvät patojen ja altaiden rakentamiseen. Altaiden alle jää luontoa ja veden alle jäävät kasvustot voivat mädäntyessään aiheuttaa metaani- ja hiilidioksidipäästöjä.

Jos altaiden alle jää paksu kerros turvesuota, päästöt voivat olla samaa luokkaa kuin samankokoisessa turvevoimalassa muutaman vuoden ajan. Lisäksi alkuperäinen luonto muuttuu usein soisesta erämaasta tekoaltaaksi.

Patoaltaiden suurin merkitys paikallisille ihmisille on siinä, että entiset marjamaastot muuttuvat yleensä kalastusvesiksi. Energiataloudelliset hyödyt tulevat sähköenergian tuotannosta ja haitat siitä, että puun kasvu altaiden alle jääneillä alueilla loppuu.

Puiden kasvun hehtaarisato voi allasalueella olla tuottoarvoltaan suurempi kuin altaan energiataloudellinen hyöty. Siksi altaita on rakennettu lähinnä metsättömille alueille ja soiden päälle.

Kustannukset

Vesivoima on kallista rakentaa, mutta edullista käyttää. Siinä ei kulu polttoaineita eikä sen käyttäminen vaadi runsaasti käyttöhenkilökuntaa. Tärkeintä vesivoiman kilpailukyvyllä on investointikustannus vuosituotantoa kohti laskettuna.

Jos sähkön hinta on 50 €/MWh, kannattaa vesivoimaa rakentaa, jos vesivoiman investointikustannukset ovat vähemmän kuin 600 €/MWh/a (annuiteetti 6,5 %). Jos huipunkäyttöaika on 5000 h/a, voimalaan kannattaa sijoittaa 3000 €/kW.

Jos vesivoimaa voidaan käyttää vuorokausisäätöön, sähkön hinta voi nousta talvipäivisin arvoon 70–80 €/MWh. Tällöin vesivoimaan kannattaa sijoittaa 1000–1200 €/MWh/a. Jos huipunkäyttöaika on 2000 h/a, voimalaan kannattaa sijoittaa 2000–2500 €/kW.

Historiaa

Ensimmäinen tunnettu vesivoimala oli ns. Arkkimeden ruuvi, joka tunnettiin jo antiikin aikana. Myöhemmin vesivoimaa käytettiin jauhojen valmistukseen vesimyllyissä. Sen jälkeen keksittiin ottaa käyttöön vesisahat ja vesivoimakäyttöiset kutomot. Kaupungit syntyivät koskien varteen tehtaiden ympärille. Sähkögeneraattorien keksimisen jälkeen tehtaat voitiin sijoittaa vapaasti sinne, missä ihmisetkin ovat.

Valtakunnallinen sähköntuotanto alkoi Suomessa Imatran vesivoimalan rakentamisen jälkeen 1920-luvulla. Imatralta johdettiin ensimmäiset sähkönsiirtolinjat Etelä-Suomeen. Silloin monet arvelivat, että Imatran koskien valjastaminen riittää kattamaan koko Suomen sähköntarpeen vuosikymmeniksi. Imatran voimalaitos kattaa edelleen noin kymmenesosan Suomen vesivoiman tuotannosta, mutta vain noin kaksi prosenttia sähkön kokonaistarpeesta.

2 Sähköhuolto

Imatran kosken jälkeen valjastettiin kaikki muutkin merkittävimmät kosket. Tärkeimpiä vesivoimajokia ovat pohjoisessa Kemijoki ja Oulujoki sekä etelässä Imatran kosket ja Kymijoki. Myös Pohjanmaan suurimmat joet on valjastettu sähköntuotantoon.

Vesivoiman varavoiman tarve

Vesivoiman tuotanto vaihtelee säiden mukaan. Huonona vesivuotena vesivoimaa syntyy 10 TWh ja hyvänä 15 TWh. Erotus (5 TWh) vastaa yhden 1000 MW:n hiili- tai öljyvoimalan tuotantoa. Tämän vuoksi vesivoima tarvitsee tuekseen varavoimaa, jonka avulla voidaan kompensoida huonojen vesivuosien sähkövajausta.

Suomessa tuon vajauksen korvaajana on ollut Inkoon hiilivoimala, jonka käyttö on ollut hyvin pientä hyvinä vesivuosina. Huonoina vuosina sitä on käytetty runsaasti, erityisesti silloin, kun sähköä on samasta syystä viety Norjaan ja Ruotsiin.

Siksi myös Norjaan on viime vuosina rakennettu kaasuvoimaan perustuvia vesivoiman varavoimaitoksia nopeassa tahdissa. Siellä on edellytetty, että varavoimaitoksen CO₂-päästöt ovat pieniä ja siksi hiilivoimaa ei ole hyväksytty vaihtoehdoksi. Myös rakennettujen kaasuvoimaitosten käyttöluva edellyttää, että laitokset voidaan muuttaa bioöljyllä toimiviksi muutaman vuoden kuluttua.



2.1.2 Vesivoiman tuotanto maailmassa /2/.

2 Sähköhuolto

Tulevaisuudennäkymät

Lähes kaikki vesivoimalaitoksille sopivat paikat Suomessa on jo valmiiksi rakennettu. Jäljellä olevien potentiaalisten voimalapaikkojen avulla on vain pieni merkitys Suomen energiahuollolle. Vesivoiman osuus Suomen ja myös EU:n sähköntuotannosta on noin 14 %. Jatkossa sen osuus pienenee, koska vesivoimaa ei enää rakenneta sähkönkulutuksen kasvun tahdissa teollisuusmaissa.

Vesivoiman osuus maailman sähköntuotannosta on noin 16 % (Liite 8). Vesivoimaa rakennetaan kuitenkin maailmalla vielä runsaasti. Suurin osa (n. 80 %) uusista vesivoimalaitoksista rakennetaan tulevaisuudessa kehitysmaihin. Samaan aikaan, kun vesivoiman osuus kehitysmaissa kasvaa, sen osuus kehittyneissä maissa vähenee. Näin vesivoima säilyttää asemansa tulevaisuudessa ja sen osuus jää ehkä noin 13 %:n tasolle maailman sähköntuotannosta.

2.1.2 Tuulivoima

Toimintaperiaate

Tuulivoima käyttää hyväksi ilmavirtausten liike-energiaa, joka pyörittää tuulivoimalan siipiä. Pyörimisliike muutetaan puolestaan sähköksi tuulivoimalan generaattorissa. Tuulivoima on vesivoiman tapaan investoinneiltaan kallista, mutta se on käyttökustannuksiltaan edullista energiaa.



Kuva 2.1.3 Tuulivoimaloita Porin Tahkoluodossa.

2 Sähköhuolto

Tuulivoiman haittapuolena on, että sitä ei voida varastoida. Siksi tuulivoimasta saadun sähkön hinta jää yleensä alle jatkuvasti tuotetun ns. priimasähkön hinnan. Tuulivoima on puhdasta energiaa. Tuulivoiman ainoa merkittävä ympäristöhaitta on melu.

Tuulivoimaa kehitetään maailmassa jatkuvasti, minkä vuoksi sen investointikustannukset ovat laskussa. Tuulivoimalat ovat kannattavia etenkin niillä alueilla, joilla keskituulen nopeus on tavallista suurempi. Suomen länsirannikko on ihanteellista tuulivoima-aluetta ja sinne tullaan rakentaman suurin osa Suomen tuulivoimatehosta.

Kustannukset

Tuulivoiman investointikustannukset ovat maalle rakennettavissa laitoksissa noin 1500 €/kW. Jos tuulivoimalan huipunkäyttöaika on 2500 tuntia, pitoaika 25 vuotta ja laskentakorko 5 %, saadaan tuulivoimalan pääomakustannuksiksi 43 €/MWh. Kun tähän lisätään maalle rakennettavan tuulivoiman käyttökustannukset (11 €/MWh), päädytään omakustannushintaan 54 €/MWh (Liite 1.1).

Merivoimalaitoksissa investointikustannukset ovat noin 2000 €/kW, mutta käyttöaika on 3000 h/a, jolloin vuosikustannukset ovat noin 47 €/MWh. Merituulivoimalan käyttökustannukset ovat vastaavasti noin 15 €/MWh, jolloin merituulipuiston tuottaman sähkön omakustannushinta on 62 €/MWh (Liite 1.1).

Tuulivoima on kannattava investointi myös Suomen oloissa ja sen omakustannushinta on samaa luokkaa uusien ydinvoimalaitosten kanssa. Tuulivoimalla tuotetulle sähkölle voi saada takuuhinnan ns. syöttötariffin avulla. Tuulivoima ei kuitenkaan riitä ainoaksi energialähteeksi, koska se vaatii runsaasti varatehoa ja säätövoimaa.

Tuulivoima ja säätövoiman tarve

Jos varavoimalana toimii vesivoimala, niin tuulivoimaa kannattaa rakentaa lähes yhtä paljon kuin vesivoimaa on käytettävissä. Saaristossa yleensä joudutaan investoimaan tuulivoimalan lisäksi noin 600 €/kW maksavaan dieselvoimalaan, joka tuottaa sähköä silloin, kun tuulivoimala seisoo. Näin itsenäisen tuulienergialla toimivan järjestelmän kokonaisinvestointi nousee arvoon 2000–2600 €/kW, jos tuulivoimateho on yhtä suuri kuin kulutuksen huipputeho. Tällöin tuulella voidaan tuottaa noin puolet tarvittavasta sähköenergiasta. Pienessä järjestelmässä voi akkujen avulla kaikki teho tulla tuulivoimasta.

Tuulivoiman tuotanto vaihtelee tuulien mukaan nopeastikin. Jos tuulivoiman tuotanto vähenee, se joudutaan korvaamaan säätövoimaa tai varavoimalaitoksia käynnistämällä. Tuulivoiman varavoiman tarve on noin 20–30 % tuulivoiman maksimitehosta /4/. Jos Suomeen rakennetaan 2000 MW tuulivoimaa, sen varavoiman tarve on noin 400–600 MW. Huippupakkasen aikana tehoa ei saada välttämättä yhtään. Tarvittava vara- ja säätövoima voi olla vesivoimaa tai dieselvoimaa. Se voidaan aikaansaada vanhojen vesivoimalaitosten koneikkoja uusimalla.

2 Sähköhuolto

Dieselvoimaa rakennettaessa 400–600 MW:n tehon rakentaminen maksaa noin 250–350 miljoonaa euroa. Se aiheuttaa noin 10 %–15 % lisän tuulivoimalaitosten investointikustannuksiin. Varavoima nostaa maalle rakennetun tuulivoimalan omakustannushintaa 4,3 €/MWh, jolloin maatuulivoiman omakustannushinta nousee arvoon 58 €/MWh. Merivoimalassa varatehon kustannukset ovat 3,5 €/MWh, jolloin sähkön omakustannushinta nousee arvoon 66 €/MWh.

Tarvittava varavoima on varsinaisesti ylössäättöä, joka toteutetaan käynnistämällä tarvittava määrä dieselvoimalaitoksia tai muuta säättövoimaa. Alassäätö on helppo toteuttaa myös tuuliturpiinin lapakulmia muuttamalla. Tällöin tietysti teho menetetään, mutta uutta tehoa alassäädön takia ei tarvitse rakentaa.

Historiaa

Tuulienergian valjastaminen alkoi tuulimyllyjen rakentamisella. Tuulimyllyjä käytettiin alun perin viljan jauhamiseen jauhoiksi. Niitä oli vielä 1800-luvulla lähes joka kylässä. Sähkön yleistyttyä viljaa alettiin jauhaa sähköllä, ja perinteiset tuulimyllyt jäivät vähitellen pois käytöstä.

Vuoden 1973 energiakriisin jälkeen alkoi tuulivoiman kehitystyö sähkön tuotantoa varten uudelleen. Kehitys on jatkunut tähän päivään saakka ripeänä. Samalla voimaloiden koot ja käyttöasteet ovat kasvaneet. Suurimmat voimalat ovat jo 7,5 MW:n tehoisia ja suurimpien tuulipuisto kokonaisteho on yli 1000 MW.

Tulevaisuudennäkymät Suomessa

Suomessa oli käytössä tuulivoimaa vuoden 2013 alussa noin 300 MW ja sen avulla voidaan tuottaa sähköä noin 0,7 TWh. Valtiovallan tavoitteena on nostaa Suomessa tuulivoiman tuotanto arvoon 6 TWh vuoteen 2020 mennessä, jolloin sen osuus kattaisi noin 6–7 % sähkön tuotannosta.

Tähän tavoitteeseen päästään, jos Suomeen tuulivoimatehon määrä on 2500 MW. Se tarkoittaa, että nykytehon 300 MW:n lisäksi rakennetaan noin 500 kappaletta 3–5 MW:n tehoista voimalaa. Ne voidaan sijoittaa rannikoiden lähelle, esimerkiksi kahteentoista 200 MW:n tuulipuistoon.

Tuulivoimasähkön tuotannolle on luotu takuuhintajärjestelmä, jonka avulla tuulivoimasta yritetään tehdä kannattavaa liiketoimintaa. Vaikka takuuhinta on 80 €/MWh, se ei ole kuitenkaan vielä aiheuttanut tuulipuistojen rakentamisen korkeasuhdannetta.

Tavoite toteutuu, jos sähkönmyyjät velvoitetaan ostamaan kukin 5 % tuulivoimaa vuoteen 2020 mennessä. Samantapainen velvoite on käytössä autojen biopolttoaineiden kohdalla. Monessa EU-maassa on veloitteet uusiutuvan energian käytön suhteen.

2 Sähköhuolto

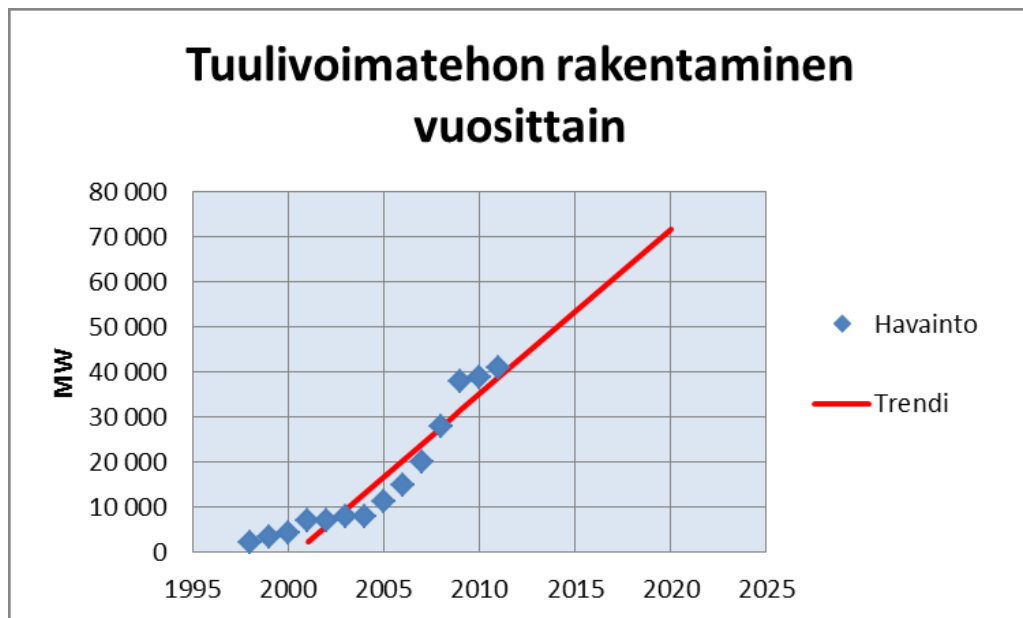
Esimerkiksi Iso-Britannia on sähkön myyjillä velvoitteet hankkia kasvava osuus sähköstä uusiutuvalla energialla. Tuulivoiman osuutta sähköntuotannosta voisi nostaa myös Suomessa niin, että tulevaisuudessa Suomen sähköstä 10 % tulisi tehdä tuulivoiman avulla.

Myös pienimuotoisia tuulivoimaloita rakennetaan kesämökkikäyttöön. Tyypillinen pienisvoimala on teholtaan 300 Wattia ja sen avulla ladataan kesämökin akkuja. Tuulivoiman etuna aurinkokennoihin nähden on niiden toimiminen vuoden ympäri. Talvella tuulienergia voidaan muuttaa lämmityssähköksi ja poistaa huoneiden kosteutta.

Suomi on ottamassa vasta alkuaskeleita tuulivoiman tuottajana. Tuulivoimalaitosten ja niiden komponenttien myyjinä sekä tuulivoiman säätöön tarvittavan dieselvoiman rakentajina suomalaiset konepajayritykset ovat sen sijaan maailman kärkeä.

Tulevaisuudennäkymät maailmalla

Maailmassa rakennettiin vuosina 2009–11 noin 40.000 MW tuulivoimaa kunakin vuonna (Kuva 2.1.4). Se vastaa noin 20 % maailmassa rakennettavasta uudesta voimalaitostehosta. EU:ssa ja USA:ssa parin viime vuoden aikana rakennetusta uudesta voimalaitostehosta noin 40 % on perustunut tuulivoimaan.



Kuva 2.1.4 Vuosittain rakennettu tuulivoimateho /2/.

2 Sähköhuolto

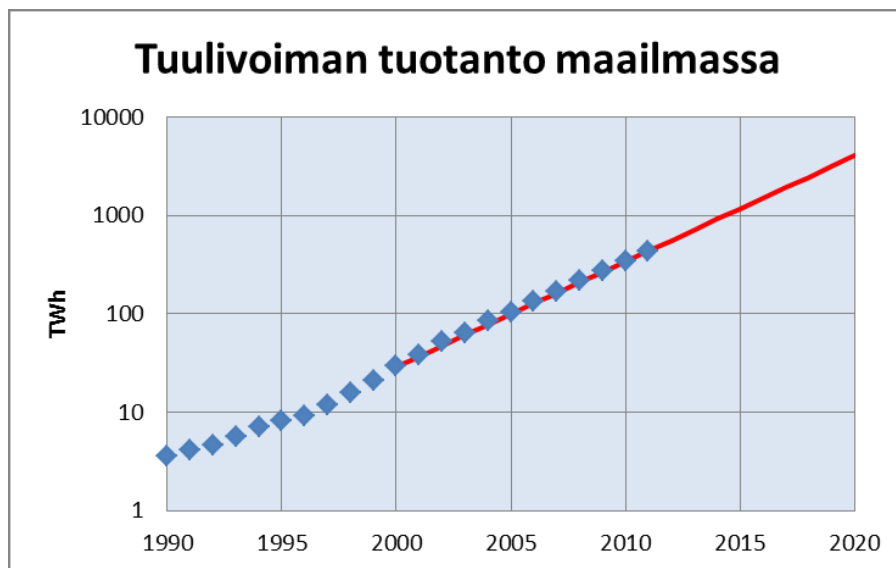
Kasvu kiihtyy, kun tuulivoimalaitosten tekniikka kehittyy ja fossiilisten polttoaineiden hinnat nousevat. Tuulivoimalan yksikkötehon kasvaessa niiden käyttöaste kasvaa, koska siivet pyörivät korkeammalla ja korkeammalla tuuli on voimakkaampaa. Rakentamista kiihdyttävät sen lisäksi tuulisähkön takuuhinnat.

Tanska tuottaa nykyisin jo yli 28 % maan tarvitsemasta sähköstä tuulivoimalla. Tanskassa on tehty suunnitelmia, joiden mukaan 50 % sähköstä tuotettaisiin tuulivoimalla vuoteen 2030 mennessä.

Espanjassa tuulivoimalla tuotetaan jo 15 % sähköstä ja Saksassa 8 %. Molemmat maat rakentavat edelleen runsaasti tuulivoimaa, koska niiden ydinvoimaohjelmat ovat pysähdyksissä.

EU:n sähköntuotannon kasvusta tuulivoiman kasvu on ollut nopeinta. Eniten tuulivoimaa tuotetaan tällä hetkellä Pohjois-Saksassa, jossa 30 % sähköstä tuotetaan jo nyt tuulivoimalla. Kaikissa valtamerien rannikkoalueiden valtioissa voidaan päästä noin 30 % osuuteen tulevaisuudessa. Saaristossa tuulivoiman osuus voi olla jopa 50 %.

Jos tuulivoiman tuotannon kasvu jatkuu nykyisenä (28 %/a), tuulivoiman tuotanto ohittaa vesivoiman ja ydinvoiman seuraavan kymmenen vuoden aikana (Kuva 2.1.5). Kuitenkin maailmantalouden lama on jo hidastanut tuulivoiman rakentamisen kasvua. Sähkönkulutuksen kasvu on pienentynyt ja valtiot karsivat tuulivoiman saamia tukia.



Kuva 2.1.5 Tuulivoiman tuotanto maailmassa /2/.

2.1.3 Aurinkovoima

Toimintaperiaate

Auringon säteily voidaan muuttaa sähköksi puolijohteista valmistetuissa aurinkokennoissa, joissa säteily synnyttää jännitteen kennon ylä- ja alapinnan välille. Kun kennoja laitetaan sarjaan, saadaan aurinkopaneeli ja halutun suuruinen jännite.

Aurinkokennon kehittämä virta on suoraan verrannollinen auringon säteilyn voimakkuuteen. Koska auringon säteily vaihtelee jatkuvasti, tarvitaan lisäksi akku, joka voi varastoida syntyneen energian. Akun avulla energiaa voidaan käyttää todellisen tarpeen mukaisesti.

Aurinkojärjestelmän normaali käyttöjännite on 12 voltia (V), joka on autoissa yleisesti käytetty jännite. Tästä syystä järjestelmä voi hyödyntää autoja varten kehitettyjä akkuja. Akkujen virta voidaan muuttaa myös normaaliksi vaihtovirraksi vaihtosuuntaajassa, jolloin voidaan käyttää myös 230 V jännitteelle suunniteltuja laitteita. Suurin Suomessa käytössä oleva järjestelmä on teholtaan 66 kW ja sen arvioidaan tuottavan 60.000 kWh sähköä vuodessa.

Pienen aurinkokennovoimalan voi jokainen rakentaa itse ostamalla esimerkiksi noin 20 kappaletta kuvan 2.16 mukaisia monikidepaneeleita. Järjestelmän kokonaistehoksi tulee 2600 W ja sillä voi tuottaa sähköä Etelä-Suomessa noin 2000 kWh vuodessa. Se riittää kesän aikana tarvittavan sähkönkäyttöön kesämökillä. Esimerkiksi Fortum myy 1700 kWh vuodessa tuottavia järjestelmiä asennettuna hintaan 8000 euroa.



Kuva 2.1.6 Netistä voi ostaa 130 W:n tehoisen monikidepaneelin 100–400 eurolla. 20 paneelin järjestelmä maksaisi noin 2000–8000 euroa.

2 Sähköhuolto

Suurin rakenteilla oleva aurinkokennovoimala on Aqua Caliente Arizonassa. Voimalan sähköteho on 290 MW ja sen valmistuu vuonna 2014 (Kuva 2.1.7). Voimalan sähkönsaanti (630 MWh/ha) on 30-kertainen bioöljyvoimaan verrattuna. Voimalan kustannusarvio on 1,8 mrd. dollaria eli 2900 \$/MWh.



Kuva 2.1.7 Aqua Calienten 290 MW:n tehoinen aurinkokennovoimala valmistuu vuonna 2014. Voimalan vuosituotanto on 626 GWh ja pinta-ala 1000 ha.

Suurin aurinkopeilivoimala (CSP) on teholtaan 390 MW oleva Ivanpah ja se on rakenteilla Kaliforniassa (Kuva 2.1.8). Voimalan arvioidaan tuottavan sähköä 1000 GWh vuodessa. Kun voimalan vaatiman maa-alan pinta-ala on 1600 ha, tulee tuotannoksi pinta-alaa kohti noin 625 MWh/ha. Voimalan kustannusarvio on 2 mrd. dollaria eli noin 2000 \$/MWh. Se on edullisempi kuin aurinkokennovoimala, mutta aurinkonnot ovat vasta kehityskaaren alkutaipaleella.

Kolmas tapa hyödyntää aurinkoenergiaa on aurinkolämpö, jota voidaan käyttää suoraan lämmitykseen. Aurinkolämmityksen avulla voi tuottaa kesällä tarvitsemansa lämpimän käyttöveden.



Kuva 2.1.8 Ivanpahin aurinkopeilivoimala

Käyttökohteet

Pienimmät aurinkolämmön käyttökohteet on kehitetty ruuanlaittoon kehitysmaissa. Eniten aurinkolämpöä on hyödynnetty kuitenkin omakotitalojen lämpimän käyttöveden valmistuksessa.

Aurinkosähköjärjestelmät ovat yleistyneet kesämökkien ja purjeveneiden energianlähteinä. Kesämökkeihin on rakennettu Suomessa yhteensä yli 30.000 järjestelmää. Yleensä mökit sijaitsevat saarissa tai kaukana sähköverkoista, jolloin verkkosähkön vieminen mökille tulisi hyvin kalliiksi.

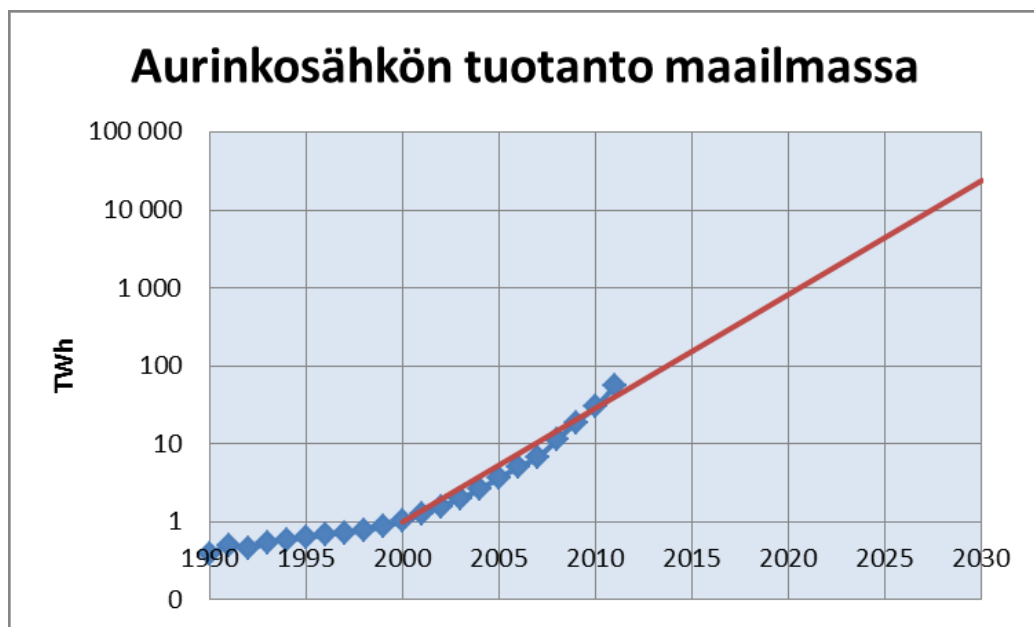
Maailmalla on kuitenkin rakennettu eniten verkkoon kytkettyjä järjestelmiä. Ne ovat yleisiä maissa, joissa aurinkosähkön tuottamista tuetaan ns. syöttötariffin avulla. Saksassa tuotettiin vuonna 2011 aurinkosähköä 18 TWh eli kahden 1200 MW:n tehoisen ydinvoimalan verran. Italiassa ja Espanjassa aurinkosähköä tuotettiin molemmissa 9 TWh, eli yhden 1200 MW:n tehoisen ydinvoimalan verran.

2 Sähköhuolto

Koska auringon säteily vaihtelee vieläkin nopeammin kuin tuulivoima, se tarvitsee kuitenkin rinnalleen varavoima- tai akkujärjestelmän, joiden avulla sähkön tuotanto voidaan turvata pilvisinä päivinä. Varsinkin auringon laskiessa illalla tarvitaan nopeaa varatehoa runsaasti, koska samanaikaisesti on yleensä kulutuksessa iltahuippu.

Tulevaisuudennäkymät

Aurinkojärjestelmän etuna on se, että tuotanto on suurinta keskipäivällä, jolloin sähkön tarve on myös suurin. Sen vuoksi aurinkokennojen tuottama sähkö soveltuu hyvin korvaamaan päivällä muuten tarvittavaa huippuvoimaa. Aurinkosähkön tuotanto on kasvanut suhteellisesti nopeammin (40 %/a) kuin mikään muu uusiutuva energia-tekniologia (Kuva 2.1.9). Samalla kasvuvauhdilla aurinkosähkön tuotanto voisi ylittää vesivoiman ja ydinvoiman tuotannon 2020-luvun puolivälissä.



Kuva 2.1.9 Aurinkosähkön tuotanto maailmassa /2/.

2.1.4 Biovoima

Metsäenergia

Suomessa käytetty bioenergia perustuu suureksi osaksi metsiin. Metsien kasvu on Suomessa noin 100 miljoonaa kuutiometriä, joista noin 70 % on poistuma ja 30 % jää metsiin kasvattamaan puuston varantoa. Puihin jäävä varanto merkitsee sitä, että metsät sitovat hiilidioksidia noin 25 miljoonaa tonnia vuodessa. Lisäksi puutuoteteollisuuden tuotteisiin sitoutuu hiilidioksidia noin 14 miljoonaa tonnia vuosittain. Puuteollisuuden tuotteet, kuten puutalot sitovat hiilen kymmeniksi ellei sadoiksi vuosiksi.

Puiden polttoainekäyttö aiheuttaa Suomessa noin 30 miljoonaa tonnin CO₂-päästöt vuosittain. Kuitenkin sama määrä puuta kasvaa koko ajan ja siksi puun polttamista voidaan pitää CO₂-päästöjen kannalta neutraalina. Koska metsien varannot kasvavat koko ajan, metsät sitovat enemmän hiilidioksidia kuin polttamisen kautta syntyy. Kioton pöytäkirjan mukaan Suomen metsät sitovat vuosittain 38 miljoonaa tonnia hiilidioksidia.

Suomen puuston vuosikasvu vastaa lämpöarvoltaan noin 200 TWh. Perinteisissä höyryvoimalaitoksissa poltettaessa samasta puumäärästä saataisiin noin 80 TWh sähköä, joka melkein vastaisi Suomessa vuodessa kulutettua sähkömäärää. Suomessa on metsiä noin 10 miljoonaa hehtaaria. Yhtä metsähehtaaria kohti polttoainetta syntyy noin 20 MWh, jolla voitaisiin tuottaa noin 8 MWh sähköä.

Kiinteän polttoaineen laitokset

Perinteisissä höyryvoimalaitoksissa poltetaan bioenergiaa ja syntyneestä lämmöstä tehdään höyrykattilassa höyryä. Höyry viedään ensin höyryturpiiniin, josta saadaan generaattorin avulla sähköä. Turpiinin jälkeen matalapaineinen höyry viedään esimerkiksi paperikoneprosessiin tai siitä tehdään kuumaa vettä yhdyskuntien kaukolämpöverkkoihin. Lähes kaikki biovoimalat tuottavat yhtä aikaa sekä lämpöä että sähköä, eli ne ovat ns. yhteistuotantolaitoksia.

Pienimmät höyrykäyttöiset biovoimalat ovat teholtaan noin 2 MW ja suurimmat 200 MW. Niiden heikkous on huono rakennusaste, eli sähkön tuotannon ja lämmön-tuotannon suhde on 0,2–0,6. Parempaan rakennusasteeseen päästään, kun bioenergia jalostetaan joko nestemäiseen tai kaasumaiseen muotoon.

Kiinteätä polttoainetta käyttävien biovoimaloiden kustannukset ovat noin 2000 €/kWe. Jos laitos käy 5000 tuntia vuodessa, tästä tulee pääomakustannuksia noin 26 €/MWh. Polttoainekustannukset ovat noin 18 €/MWh, jos polttoaine maksaa 15 €/MWh.

Jos käyttökustannukset ovat 10 €/MWh, tulee sähkön omakustannushinnaksi noin 50 €/MWh (Liite 1.3). Se on suunnilleen sama kuin ydinvoimalassa, joka käy 7500 tuntia vuodessa tai hyvällä paikalla olevassa tuulivoimalassa, joka käy 2500 tuntia vuodessa.

2 Sähköhuolto

Bioöljyvoimalat

Kasviöljyjä, kuten palmu-, jatropha- ja rypsiöljyjä, voidaan käyttää dieselmoottoreiden polttoaineena kylmäpuristettuna raakakasviöljynä. Lisäksi niistä voidaan valmistaa esteröityjä biodieselöljyjä, jotka sopivat myös henkilöautojen moottoreihin.

Tropiikin kasveilla on lisäksi se ominaisuus, että niiden hehtaarisadot ovat kerta-luokkaa suuremmat kuin Pohjolan puu- tai ruokokasveilla. Esimerkiksi palmu-öljyviljelmä päiväntasaajalla tuottaa hehtaaria kohti noin 4 tonnia lämpöarvoltaan kevyttä polttoöljyä vastaavaa palmuöljyä vuodessa.

Vuosittainen hehtaarisato on lämpöarvoltaan noin 40 MWh, josta voidaan dieselmoottorissa tuottaa noin 18 MWh sähköä. Hehtaarin sadolla voisi tuottaa sähkölämmitteisen omakotitalon sähköt pysyvästi. Jos kaikki Suomen metsät (10 milj. ha) tuottaisivat yhtä tehokkaasti, niin niistä saataisiin sähköä 180 TWh eli yli kaksi kertaa koko Suomen sähköntarve.

Bioöljyvoimalat tuottavat hehtaaria kohti laskettuna kaksinkertaisen määrän sähköä perinteiseen puuperusteiseen biovoimaan verrattuna. Dieselvoimaloiden rakennusaste on tyypillisesti 0,7–1,0, eli kaksinkertainen höyryvoimalaitoksiin verrattuna. Hyötysuhde pelkässä sähköntuotannossa on noin 40 %. Tyypilliset bioöljyvoimalat ovat teholtaan 1–150 MW ja niitä on rakennettu eniten Italiaan.

Bioöljykäyttöinen dieselvoimala maksaa noin 700 €/kW. Jos bioöljyn hinta on 60 €/MWh, bioöljyvoiman käyttökustannukset ovat pelkässä sähkön tuotannossa noin 177 €/MWh. 500 tunnin huipunkäyttöajalla saadaan sähkön omakustannushinnaksi 270 €/MWh (Liite 1.2).

Bioöljyvoima on halvempaa kuin hiilivoima, kun käyttöaika on alle 900 tuntia vuodessa. Bioöljyvoima soveltuu nopean käynnistymisensä ansiosta myös tuulivoiman säätövoimaksi.

Biokaasuvoimalat

Biokaasua muodostuu mädätysprosesseissa jätevesien käsittelylaitoksilla ja kaatopaikoilla. Syntynyt metaani ja hiilidioksidin seos poltetaan lämpökeskuksissa tai kaasumoottoreissa. Yleensä laitokset ovat pieniä alle 1 MW:n kokoisia. Mädätysprosessissa syntyvän biokaasun etuna on korkea lämpöarvo (10–20 MJ/m³) ja sen polttaminen kaasumoottorissa on suhteellisen helppoa.

Biopolttoaineita voi myös kaasuttaa ja käyttää kipinäsytytteisissä ottomoottoreissa. Esimerkiksi sodan aikana suuri osa autokannasta kävi puukaasulla. Uusimpien kaasuttimien ansiosta nyt voidaan rakentaa moottorivoimalaitoksia, jotka käyvät biomassasta tehdyllä kaasulla. Kaasutetun puukaasun lämpöarvo on kuitenkin huono, 4–5 MJ/m³, ja sen polttaminen vaatii erikoismoottorin.

2 Sähköhuolto

Biokaasulaitoksia on rakennettu runsaasti Kiinassa, jossa biokaasua käytetään maaseudulla kaasuliesissä ruuanvalmistukseen. EU-maista Saksassa on eniten biokaasuun perustuvia voimalaitoksia. Niiden kaasu valmistetaan suurissa usean maanviljelijän yhteiskäytössä olevissa mädättämöissä.

Pienisvoimalat

Uutta tekniikkaa edustaa biovoimala, joka lämmittää paineistettua ilmaa, joka viedään kaasuturpiiniin. Tällainen 100 kWe tehoinen Ekogen-pienisvoimala on rakennettu Lappeenrantaan.

Vieläkin pienempiä kuumailmavoimalaitoksia voidaan tehdä Stirling-moottoreita käyttämällä. Stirling-moottorit soveltuvat myös kotikäyttöön suunniteltujen noin 1 – 10 kWe kokoisten laitosten energianlähteeksi. Stirling-moottoreita on käytetty myös maakaasulla, jolloin pienen aggregaatin voi sijoittaa jopa keittiön kaappien sekaan, koska laitteet ovat hiljaisia.

Historiaa

Perinteinen teollisuuden biovoiman tuotanto on Suomessa perustunut selluteollisuuden jäteliemien polttamiseen. Selluloosan valmistuksessa noin puolet puun lämpöarvosta poltetaan ja toinen puoli (selluloosa) jalostetaan paperiksi. Toinen puoli poltetaan ja sen avulla syntyy suunnilleen yhtä paljon sähköä, minkä usein samalla tehdasalueella oleva paperikone kuluttaa.

Yhden paperitonin valmistamiseen kuluu perinteisin menetelmin yksi kivihiihtonni energiaa. Perinteinen sellutehtaan ja paperikoneen muodostama tehdasintegraatti on yleensä lähes omavarainen energiansa suhteen. Mekaanisen massan valmistuksessa jäteliemiä ei synny, joten suunnilleen vastaava määrä energiaa joudutaan ostamaan ulkoa sähkön muodossa.

Suomi on pitkään ollut johtava maa biovoiman tuotannossa. Nykyään lähes kaikki puuraaka-aine voidaan hyödyntää jalostukseen tai energiaksi. Myös jätepuut, oksat, kannot, kuoret ja sahanpuru kelpaavat hyvin biovoimalaitosten raaka-aineeksi. Moderni kaasutukseen perustuva voimalaitos voi käyttää myös energiajätekeräyksen yhteydessä saadut muovit ja rakennusjätteet.

Tulevaisuudennäkymät

Fossiilisten polttoaineiden energiaverojen ansiosta biovoiman ja -lämmön tuotanto on lisääntynyt 1990-luvun alusta alkaen voimakkaasti. Energiaverot rankaisevat fossiilisia polttoaineita ja tekevät biovoiman houkuttelevaksi lämmön tuotannossa.

2 Sähköhuolto

Jos lämpöä tuotetaan suurempia määriä, kannattaa samalla tuottaa sähköä. Kehitykseen on vaikuttanut myös bioenergian korjuutekniikan kehitys, joka on pitänyt esim. hakkeen hinnan kilpailukykyisenä.

Suomessa biovoimalaitoksia rakennetaan edelleen eri puolille maata kaupunkien sähkön- ja lämmöntuotantoa palvelemaan. Bioenergian osuus kaukolämmön tuotannosta oli vuonna 2011 jo 21 %. Vuonna 2020 bioenergian osuus voisi olla jo 28 % ja se ohittaisi kaasun tärkeimpänä kaukolämmöntuotannon energialähteenä.

Voidaan hyvinkin ennustaa, että koko maailman sähköntuotannosta vuonna 2050 tehdään noin 2 % biovoimalla. Jos tämän lisäksi vesivoimalla tuotetaan 13 %, tuuli-voimalla 13 % ja aurinkovoimalla 2 %, niin maailman sähköntuotannosta voisi 30 % perustua uusiutuviin energialähteisiin (Liite 8).

Päiväntasaajan molemmiin puolin olevat vyöhykkeet voidaan tehdä täysin omavaraisiksi energiantuotannossa pelkästään bioöljyjen viljelyn ja etanolin valmistuksen avulla. Lisäksi viljelystä ja öljynpuristamosta saatava jätebiomassa sopii tavanomaisten voimalaitoksen polttoaineeksi.

Lisäksi näissä maissa aurinkoenergian säteily on niin voimakasta, että niistä voi tulla aurinkoenergiasta tehtyjen tuotteiden, kuten sähkön ja vedyn, viejiä tulevaisuudessa. Aurinkosähkön saanto etelässä on nykytekniikalla noin 600 MWh hehtaarilta, joten aurinkoenergia on noin 30 kertaa tehokkaampi tapa tehdä sähköä kuin bioöljyjen viljely. Sähköntuotannon vuoksi aavikoita ei kannata metsittää. Paljon tehokkaampi tapa on sijoittaa sinne aurinkokennoja.

2.1.5 Vety- ja polttokennovoimalat

Uusin tulokas voimalaitosmarkkinoilla on polttokenno, joita on saatavissa vasta pienissä muutaman megawatin kokoisissa laitoksissa. Polttokennovoimalassa kaasun muunto sähköksi tapahtuu kemiallisesti vähän samaan tapaan kuin auton akussa. Katodille syötetään hiili- ja/tai vetyonia ja anodille happi-ioneja, jotka kulkevat elektrodin läpi katodille synnyttäen tasavirtaa. Tasavirtaa voidaan käyttää suoraan esimerkiksi autoissa (48 V) tai se voidaan muuttaa vaihtovirraksi (230 V) esimerkiksi kotitalouksia varten.

Polttokennojen etuna on korkeampi hyötysuhde ja typpioksidipäästöjen puuttuminen. Vetyä käytävissä kennoissa savukaasut ovat vettä. Maakaasua käytävissä kennoissa syntyy myös hiilidioksidia. Polttokennosta on kehittymässä puhtain ja tehokkain maakaasua käyttävä voimalakonsepti. Kehitystyö vie tietysti vielä aikaa, mutta jo nyt käytössä on runsaasti kaupallisia pienvoimalasovellutuksia, jotka ovat alle 1 MW:n teholuokassa.

Käyttökohteet

Kotikäyttöön suunnitellut polttokennovoimalat perustuvat ensimmäisissä kaupallisissa laitoksissa PEM-(Polymer Electrolyte Membrane tai Proton Exchange Membrane) kennoihin, joissa polttoaineena käytetään maakaasusta reformoitua vetyä. Tyypillinen voimala voi käsittää reformaattorin, 1 kW:n tehoisen polttokennon sekä 1 kW:n kuumavesivaraajan. Varaajan avulla voidaan tuottaa kodin tarvitsema lämpö sekä lämmin käyttövesi (Kuva 2.1.10). Polttokennot ovat jo käytössä Japanissa tuhansissa kodeissa.



Kuva 2.1.10 Panasonicin kehittämä PEM-polttokennovoimala Ene-Farm on tarkoitettu kotitalouksien sähkön ja lämmön tuotantoon. Pienoisvoimalan sähköteho on 750 W ja lämpöteho 940 W. Siinä on sisäänrakennettuna 200 litran kuumavesivaraaja. Laitteita on käytössä yli 10.000 kappaletta.

Suomessa pieniä muutaman watin tehoisia PEM-polttokennoja valmistaa Hyrdocell, jonka vetykäyttöiset polttokennot soveltuvat esimerkiksi sähkökäyttöisten perämoottorien voimanlähteeksi. Asuntovaunujen sähkönlähteenä on käytetty metanolipolttokennoja (DMFC, Direct Methanol Fuel Cell).

Suurempia sovellutuksia varten esimerkiksi Wärtsilä on Haldor Topsoen kanssa kehittänyt noin 20 kW:n tehoisen kiinteäoksidikennon (SOFC, Solid Oxide Fuel Cell). Tällainen kaatopaikkakaasulla käyvä voimala asennettiin koekäyttöön Vaasan asuntomessualueelle.

Vieläkin suurempia järjestelmiä on asennettu kohteisiin jossa tarvitaan katkeamatonta sähköä. Monien pankkien tietokoneita on varmistamassa sulasuolakarbonaattikennon (MCFC, Molten Carbonate Fuel Cell) tai fosforihappokenno (PAFC, Phosphoric Acid Fuel Cell), joiden ansiosta tietokoneiden sähkönsyöttö voidaan ylläpitää sähkökatkosten aikana katkeamattomasti.

2 Sähköhuolto

Suurin käytössä oleva polttokennovoimala on Etelä-Koreassa, Daegussa. Laitoksen teho on 11 MW ja sen on toimittanut Fuel Cell Energy perustuen MCFC-tekniikkaan. Laitos tuottaa sähköä valtakunnan verkkoon. Soulissa on rakenteilla vieläkin suurempi MCFC-voimala, jonka teho on 58 MW (Kuva 2.1.11).



Kuva 2.1.11 Maailman suurin polttokennovoimala on rakenteilla Soulissa. Sen on teholtaan 58 MW ja tyyppiä MCFC.

Historiaa

Polttokennot ovat vanha keksintö 1800-luvulta, mutta niiden käyttö on alkanut vasta viime vuosina. Polttokennot tulivat käyttöön ensiksi avaruusaluksissa 1960-luvulla. Niitä käytettiin esimerkiksi Apollon kuulennoilla. Apollo 13 kuulennoilla polttokennot vaurioituvat ja astoronautit joutivat sammuttamaan Apollon tietokoneet säästääkseen virtaa laskeutumisen ajaksi. Ensimmäiset kennot olivat PAFC-kennoja, jotka toimivat puhtaan vedyn avulla.

PEM-kennojen kehitys alkoi varsinaisesti autoilua varten, kun monet autonvalmistajat toivat markkinoille vetyautojen prototyyppejä 1990-luvulla. Monen muistissa on Mercedesen A-malli, joka kaatui testeissä, koska se oli lattia korkealla ja painopiste ylhäällä. Sen alusta oli suunniteltu niin, että sinne olisi voitu asentaa PEM-polttokennot ja akut.

2 Sähköhuolto

Tulevaisuudennäkymät

Vuonna 2012 kiinteästi asennettuja polttokennoja myytiin sähköntuotantoon yhteensä 180 MW:n tehon edestä. Kasvu oli 70 % vuoteen 2011 verrattuna. Myytyjen järjestelmien määrä oli 80.000, joten kennojen keskiteho oli noin 2 kW. PEM-kennojen markkinaosuus megawateista oli noin 42 % ja kappalemäärästä noin 90 %. MCFC- ja SOFC-kennojen osuudet olivat megawateista vastaavasti noin 40 % ja 10 %.

Polttokennojen käyttö on kaupallistunut pienissä siirrettävissä sovellutuksissa ja sekä tietokoneiden ja linkkiasemien voimanlähteenä. Polttokennot ovat löytämässä markkinoita myös kotien ja kiinteistöjen energialähteenä. Vaatii vielä aikaa ennen, kun niistä on tulossa merkittävä energialähde.

Vetyä voidaan valmistaa vedestä sähköllä elektrolyysin avulla, jolloin sitä saatetaan tehdä esimerkiksi paikoissa, joissa on ylimääräistä sähköä. Islanti on maa, jolla on yllin kyllin sähköä. Sen avulla se aikoo tehdä vetyä, joka voisi toimia tulevaisuuden autojen energianlähteenä. Samalla tavalla esimerkiksi aurinkokennojen avulla voidaan vedestä tehdä vetyä suuressa tai pienessä mittakaavassa.

Saharaan sijoitettu Suomen kokoinen aurinkokenno voisi tuottaa kaiken maailmassa tarvittavan autojen energian vedyn muodossa. Tuulivoimalaitosten ja aurinkokennojen yleistyminen merkitsee myös ylijäämänsähkön lisääntymistä. Halpa ylijäämänsähkö voitaisiin muuntaa vedyksi ja autojen polttoaineeksi.

2.2 YDINVOIMA

2.2.1 Toimintaperiaate

Nykyaikainen ydinvoiman tuotanto perustuu uraaniatomien hajoamiseen eli fissioon. Fissioreaktorissa syntyy lämpöä, kun uraani-isotoopit (^{235}U) hajoavat. Lämpö otetaan talteen reaktorin vesikiertopiirissä. Kiehutusvesireaktorissa vesi kiehuu (Olkiluoto 1 ja 2) ja painevesireaktorissa vesi lämpenee noin 30 astetta (Loviisa 1 ja 2 sekä Olkiluoto 3). Painevesireaktorissa lämmennyt vesi viedään höyrystimiin, jossa se vasta muutetaan höyryksi.

Höyry paisuu ja pyörittää höyryturpiinia. Sähköä tuotetaan turpiinin kanssa samalla akselilla olevassa generaattorissa. Turpiinin jälkeen höyry lauhdutetaan merivesijäähdytteisissä lauhduttimissa, minkä jälkeen lauhtunut vesi pumpataan takaisin höyrystimiin (painevesireaktori) tai suoraan reaktoriin (kiehutusvesireaktori).

Kiehutusvesireaktori on rakenteeltaan yksinkertaisempi, mutta sen höyrypiiri on radioaktiivinen. Painevesireaktorin toisiopiiri ei ole radioaktiivinen ja turpiinirakennuksessa voi oleskella yhtä normaalisti kuin missä tahansa huoneessa.



Kuva 2.2.1 Olkiluodon ydinvoimala on maamme suurin voimala. Sen 1. ja 2. yksiköiden sähkötehot ovat 860 MW ja 3. yksikön teho on 1600 MW (vasemmalla).

2 Sähköhuolto

Jätelämpöä syntyy noin 65 % reaktorin tehosta, mutta sen hyödyntäminen on vaikeaa, koska ydinvoimalat täytyy turvallisuussyistä sijoittaa kauas asutuskeskuksista. Kuitenkin Loviisan ydinkaukolämpö on mahdollinen energiamuoto Helsingin seudun lämmittämiseen.

Lauhdevesien takia ydinvoimalaitosten lähellä oleva merivesi on tavallista lämpimämpää. Meriveden lämpeneminen onkin ydinvoiman näkyvin ympäristöhaitta normaalituotannossa. Näin ydinkaukolämpö voisi olla merkittävä etu myös lähiympäristön kannalta.

2.2.2 Ympäristökysymykset

Ydinvoimalan etuna on sen ympäristöystävällisyys normaalikäytössä. Reaktorissa ei tapahdu palamista, joten siinä ei synny savukaasuja. Rikastettu uraani on sijoitettu zirkoniumista valmistettujen polttoainesauvojen sisälle, jossa uraaniatomit halkeavat neutronisäteilyn vaikutuksesta. Reaktiossa syntyy monia alkuaineita, jotka myös jäävät polttoainesauvojen sisälle. Osaksi myös jäähdytysvesi aktivoituu, mutta se puhdistetaan radioaktiivisuudesta ja käytetään uudelleen.

Noin kolmas- tai neljäsosa käytetystä polttoaineesta poistetaan reaktorista joka vuosi ja sitä säilytetään välivarastossa. Vasta kymmenien vuosien kuluttua käytetty polttoaine kapseloidaan ja haudataan loppuvarastoon kallioliuoliin. Luontoon ei siitä tule merkittäviä haittavaikutuksia. Suomessa ydinjätteen loppuvarasto on Olkiluodossa, jossa loppusijoitus aloitetaan 2020-luvun alussa.

Ydinvoiman suurimmat ympäristöhaitat syntyvät, kun uraania louhitaan ja rikastetaan. Suurimmat luonnonuraanikaivokset sijaitsevat pääasiassa Kanadassa, Australiassa ja Kazakstanissa, joten suomalaiset voivat vain toivoa, että kyseiset maat hoitavat ympäristöasiansa hyvin. Nyt uraania on alettu ottaa talteen myös nikkelimalmin sivutuotteena Talvivaaran kaivoksessa. Kaivoksen rikastusprosessissa syntyy huomattavia määriä jätevettä, joka sisältää monia raskasmetalleja. Uraanin takia kaivosta ei kuitenkaan ole perustettu.

Luonnonuraanissa on vain 0,7 % ^{235}U -isotooppia, joka on kevytvesireaktoreissa uraenin fissiokelpoinen osa. Noin 99,3 % luonnonuraanista on isotooppia ^{238}U . Kun luonnonuraania rikastetaan, eli sen ^{235}U -isotoopin pitoisuutta nostetaan noin 3–5 %:n pitoisuuteen, rikastuslaitoksessa syntyy suuria määriä köyhdytettyä uraania.

Köyhdytetyn uraanin ^{235}U -pitoisuus on 0,2–0,3 %, joka on luonnon uraanin pitoisuuden alapuolella ja loput on ^{238}U -isotooppia. Tämä on myös matala-aktiivista jätettä, joka pitää varastoida asianmukaisesti. Luonnonuraanin ja köyhdytetyn uraanin säteilytaso on kuitenkin niin matala, että niitä voi käsitellä ilman suojarusteita. Sen sijaan käytetty polttoaine on voimakkaasti radioaktiivista.

2 Sähköhuolto

2.2.3 Turvallisuus

Ydinvoiman haittana on ydinvoimalan onnettomuusriski. Jos reaktorin jäähdytys epäonnistuu, ydinpolttoaine voi sulaa ja siellä olevat fissiotuotteet voivat vapautua luontoon. Näin tapahtui mm. Tshernobylin ydinlaitoksessa Neuvostoliitossa vuonna 1986 ja Fukushima Daiichin laitoksissa vuonna 2011.

Tshernobylin reaktori ei kuitenkaan ollut kevytvesireaktori, kuten Olkiluodon ja Loviisan reaktorit, vaan grafiittihidasteinen ja vesijäähdytteinen reaktori. Grafiittireaktorissa on mahdollinen jäähdytysveden tulon pysähtyminen voi aiheuttaa veden höyrystymisen ja samalla reaktorin tehon hallitsemattoman nousun.

Suomalaisissa kevytvesireaktoreissa lämpötilan nousu aiheuttaa puolestaan reaktorin tehon laskun. Lisäksi reaktorit on varustettu suojarakennuksella, joka pystyy pidättämään mahdolliset fissiotuotteet onnettomuustilanteissa.

Pahin onnettomuus kevytvesireaktorille tapahtui Japanissa Fukushima Daiichin ydinvoimalassa vuonna 2011, jolloin ainakin yksi reaktori pääsi sulamaan ja ympäristöön pääsi huomattavia määriä radioaktiivisia aineita. Päästön suuruus oli vain kymmenesosa Tshernobylin päästöistä. Onnettomuuden aiheutti maanjäristys, joka nostatti tsunamin ja tuhosi kaikki lähistöllä olevat voimansiirtolinjat. Tsunamin takia meren rannassa olevat varavoimadieseleiden öljysäiliöt tuhoutuivat ja dieselit eivät saaneet polttoainetta. Tämän vuoksi laitoksen jäähdytysjärjestelmät lakkasivat toimimasta.

Kansainväliset asiantuntijat olivat varoitelleet Japanin ydinvoimalaitosten puutteista, mutta varoituksia ei otettu huomioon. Japanissa laitosten parantaminen on tehty vaikeaksi, koska parannusta varten on käytännössä tehtävä koko laitokselle uudet turvallisuusselvitykset. Suomessa laitoksia on parannettu jatkuvasti, jolloin niissä havaitut puutteet on korjattu nopeasti.

Olkiluodon ja Loviisan sähkönsyöttöä on varmistettu jo ennen Fukushimaa siten, että molemmissa on erilliset varavoimalat, joiden avulla laitosta voidaan pitää turvallisessa tilassa, jos laitoksille tulevat sähkölinjat menetetään. Nyt niiden jäähdytysjärjestelmiä täydennetään siten, että jälkilämpö voidaan poistaa ilmajäähdyttimien avulla, vaikka merivesijäähdytys ei olisi käytettävissä.

Olkiluoto 3 on suunniteltu kestäväksi myös ydinpolttoaineen sulaminen. Siellä on ns. sydänkaappari, jonka avulla mahdollisesti sulanut uraani pystytään keräämään talteen ja jäähdyttämään. Vanhimmissa reaktoreissa vastaavaa järjestelmää ei vielä ole käytössä eikä sitä enää voida niihin asentakaan.

Vuonna 2007 valmistunut Kiinan Tianwanin ydinvoimala on ensimmäinen kevytvesireaktorilaitos maailmassa, jossa reaktorin sulaminen on huomioitu suunnitteluperusteissa (Kuva 2.2.2).

2 Sähköhuolto



Kuva 2.2.2 Tianwanin ydinvoimala Kiinassa valmistui vuonna 2007. Laitos perustuu suomalaiseen VVER-91-konseptiin, jossa on varauduttu myös reaktorin sulamiseen.

Tianwanin ydinvoimalaitos perustuu Imatran Voiman alun perin Loviisaa 3 voimalaa varten suunniteltuun VVER-91-voimalan konseptiin, jonka kehitystyötä allekirjoittanut oli aloittamassa jo 1970-luvuilla. Nyt myös laitoksen seuraavat yksiköt, Tianwan 3 ja 4 ovat rakenteilla. Myös näiden yksiköiden suunnittelu pohjautuu alun perin suomalaiseen insinööritaitoon. Näin ollen voisi ajatella, että niiden rakentaminen onnistuisi pienin muutoksin myös Suomeen.

2.2.4 Kustannukset

Ydinvoimalan investointikustannukset ovat noin 5000 €/kW. Koska ydinvoimala tuottaa noin sähköä noin 7500 tuntia vuodessa, sen pääomakustannukset ovat 5 %:n korolla ja 40 vuoden pitoajalla laskettuna noin 39 €/MWh. Kun siihen lisätään käyttö- ja polttoainekustannukset 15 €/MWh, niin päädytään ydinvoiman tuotantokustannuksiin, jotka ovat noin 54 €/MWh (Liite 1.1). Kustannukset ovat samaa luokkaa kuin tuulivoiman kustannukset hyvällä paikalla.

Ydinvoima tarvitsee myös varatehoa siltä varalta, että se putoaa äkillisesti verkosta. Teholtaan 1600 MW oleva voimala tarvitsee hetkellistä varatehoa 1600 MW ja nopeita reservejä noin 1750 MW, koska pitää varautua siihen, että suurin 150 MW:n tehoinen varavoimala ei käynnisty. Koska jo Olkiluodon 1 ja 2 reaktoreita varten nopeita reservejä on rakennettu 1000 MW, uusia nopeita reservejä tarvitaan noin 750 MW.

2 Sähköhuolto

Varatehon rakentaminen maksaisi noin 500 miljoonaa euroa, josta tulee noin 5–10 %:n lisä ydinvoimalan investointikustannuksiin. Varatehon rakentaminen aiheuttaa näin noin 2 €/MWh lisäkustannuksen ydinsähkön omakustannushintaan. Näin ydinvoimalan sähköntuotannon kokonaiskustannukset ovat noin 56 eur/MWh.

Varatehovelvoite voidaan järjestää myös kuormia pudottamalla. Olkiluoto 3:n 1600 MW:n yksikön pudotessa verkosta teollisuus pudottaa kuormia 300 MW, jolloin syntyvä tehovajaus on noin 1300 MW. Koska pitää varautua siihen, että suurin eli noin 150 MW:n tehoinen Forssan varavoimala ei käynnisty, niin varavoimaa pitää olla yhteensä noin 1450 MW. Tästä noin 1000 MW on rakennettu jo Olkiluoto 1 ja 2-laitosten 860 MW:n sähkötehon tarpeisiin, joten Olkiluoto 3-laitoksen tarpeisiin uutta varatehoa tarvitaan noin 450 MW.

2.2.5 Historiaa

Ydinvoiman kehitys alkoi ydinpommien kehittelystä toisen maailmansodan aikana. Ensimmäisen reaktorin rakensi Enrico Fermi Chicagon urheilustadionin yhteyteen 1942. Reaktori oli grafiittihidasteinen reaktori, joka rakennettiin kokeilulaitokseksi asekelpoisen plutoniumin tuotannon käynnistämiseksi. Ensimmäinen ydinpommi, joka räjäytettiin 16. heinäkuuta 1945 Alamogardossa, perustui plutoniumiin. Plutoniumpommin rakentaminen oli epävarmempaa ja siksi sitä kokeiltiin. Uraanipommin uskottiin toimivan ilman testiä ja se räjäytettiin Hiroshimassa ilman kokeilua.

Ydinvoimala tuotti ensimmäisen kerran sähköä USA:ssa joulukuussa vuonna 1951, kun EBR-1 (Experimental Breeder Reactor) koevoimala käynnistettiin Idahossa. Ensimmäisen sähkön tuottamista varten rakennetun (5 MW) ydinvoimalan rakensivat neuvostoliittolaiset Obninskiin vuonna 1954. Ensimmäinen ns. ”suurvoimala” oli Calder Hall (49 MW), joka rakennettiin Englantiin vuonna 1956. Obninsk ja Calder Hall olivat grafiittihidasteisia reaktoreita. Obninsk oli Tshernobyl-tyyppisten reaktorien prototyyppi, joiden tarkoitus lienee ollut asekelpoisen plutoniumin tuotanto.

Ensimmäiset reaktorit pystyivät myös tuottamaan plutoniumia, koska polttoainetta pystyttiin lataamaan jatkuvasti. Nykyaikaiset kevytvesireaktorit eivät siihen käytännössä pysty, koska uraanisauvoja pidetään reaktorissa yleensä kolme tai neljä vuotta, jolloin asekelpoinen plutonium (^{239}Pu) muuttuu ydinpommien valmistukseen sopimattomaksi isotoopiksi 1/3/.

Viime vuosina, kun ydinpommeja on poistettu varastoista, tämä on tehty tavanomaisissa reaktoreissa muuttamalla niiden uraani tai plutonium sähköksi ydinvoimalaitoksissa. Silti ydinaseita kehitetään ja rakennetaan useissa maissa lisää. Huolestuttavinta on se, että monet uusista ydinaseista eivät ole demokraattisen hallinnon alaisia.

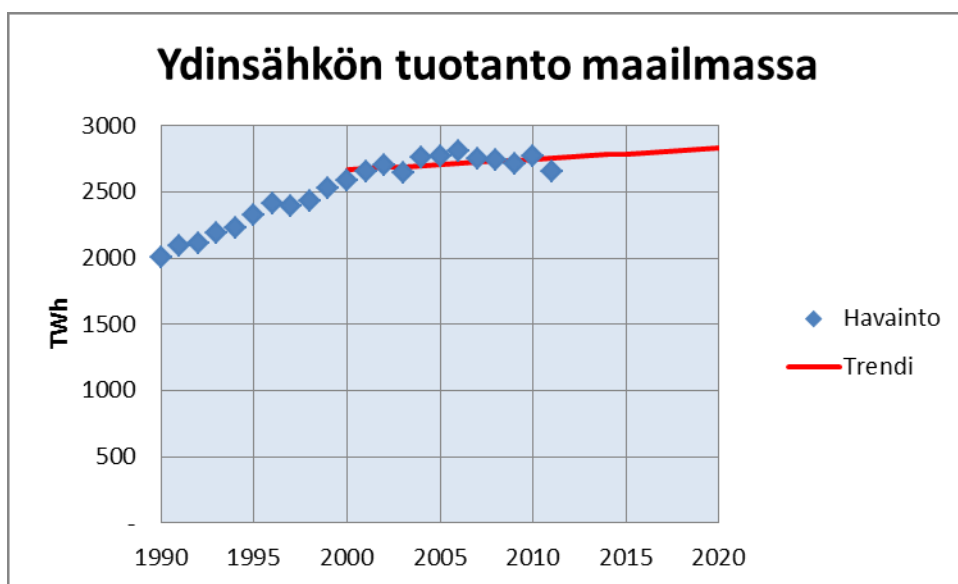
Suomen ensimmäinen 440 MW:n tehoinen ydinvoimala, Loviisa 1, valmistui vuonna 1977. Laitoksen tehoa on korotettu myöhemmin arvoon 488 MW. Se perustui neuvostoliittolaiseen painevesireaktoritekniikkaan. Laitos oli varustettu länsimaisilla

2 Sähköhuolto

automaatio-, sähkö- ja tietokonejärjestelmillä sekä suojarakennuksella. Suojarakennuksen tarkoituksena on säilöä mahdollisten ydinonnettomuuksien aikana syntyvät radioaktiiviset aineet siten, että ympäristöön ei pääse radioaktiivisia aineita.

Olkiluodon ensimmäinen 660 MW:n tehoinen yksikkö valmistui vuonna 1978 ja se perustui ruotsalaiseen kiehutusvesireaktoritekniikkaan. Myöhemmin sen tehoa on korotettu 860 MW:iin. Neljän ydinvoimayksikön avulla Suomessa tuotetaan ydinvoimasähköä noin 22 TWh vuodessa, joka kattaa noin 25 % kulutetusta sähköstä.

Ydinvoimaa tuotetaan maailmassa noin 2700 TWh vuodessa, joka vastaa noin 12 % kaikesta maailmassa tuotetusta sähköstä. Tuotannon määrä on pysynyt lähes vakiona vuodesta 2000 asti (Kuva 2.2.3).



Kuva 2.2.3 Ydinsähkön tuotanto maailmassa /2/.

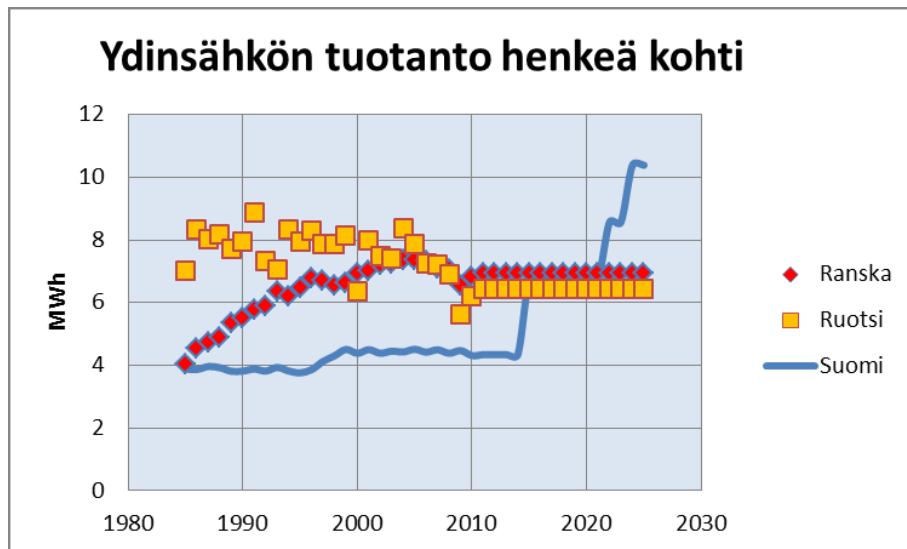
2.2.6 Tulevaisuudennäkymät

Rakentamisohjelmat

Ruotsi ja Ranska tuottavat asukaslukua kohti laskettuna eniten ydinsähköä maailmassa, noin 6500 kWh/asukas (Kuva 2.2.4). Suomessa tuotetaan noin 4000 kWh/asukas. Uusi Olkiluoto 3-ydinvoimayksikkö tuottaa sähköä noin 13 TWh. Sen valmistumisen jälkeen Suomen ydinvoiman tuotanto nousee arvoon 35 TWh eli 6500 kWh/asukas, samalle tasolle Ruotsin ja Ranskan kanssa.

2 Sähköhuolto

Vuonna 2025 Suomen ydinsähkön tuotanto voisi olla 56 TWh eli yli 10 000 kWh/asukas, jos suunnitteilla olevat kaksi ydinlaitosta valmistuvat siihen mennessä (Kuva 2.2.4). Jo kuudeskin ydinvoimala nostaa Suomen Ranskan ja Ruotsin ohi ydinsähkön tuotannossa.



Kuva 2.2.4 Ydinsähkön tuotanto asukasta kohti.

Suomessa ydinvoiman osuus kasvaa lähinnä tuontien energian ja lauhdevoimalaitosten korvaajana. Ydinvoima ei kuitenkaan syrjäytä ensimmäisenä yhdistettyä tuotantoa eikä vesivoimaa pohjasähkön tuotannossa, joiden tuotanto säilyy suunnilleen ennallaan.

Ydinvoimalaitoksia rakennetaan eniten maihin, joissa ei ole omia fossiilisia polttoaineita tai polttoaineet ovat kaukana kaivoksista ja joissa on kehittynyt tieto- ja taitotaso. Esimerkiksi Suomi, Ruotsi ja Ranska ovat kaikki maita, jotka ovat sijoittaneet runsaasti ydinvoimaan.

Ruotsin ydinvoimakehitys lopetettiin, kun Ruotsi päätti luopua ydinvoimasta kansanäänestyksessä. Hallituksen kanta ydinvoimaan on kuitenkin muuttunut ja siellä suunnitellaan kuitenkin uusien voimalaitosten rakentamista vanhoille paikoille, kun vanhat ydinvoimalat otetaan pois käytöstä. Seuraava Ruotsin ydinvoimala rakennetaan todennäköisesti Ringhalsiin.

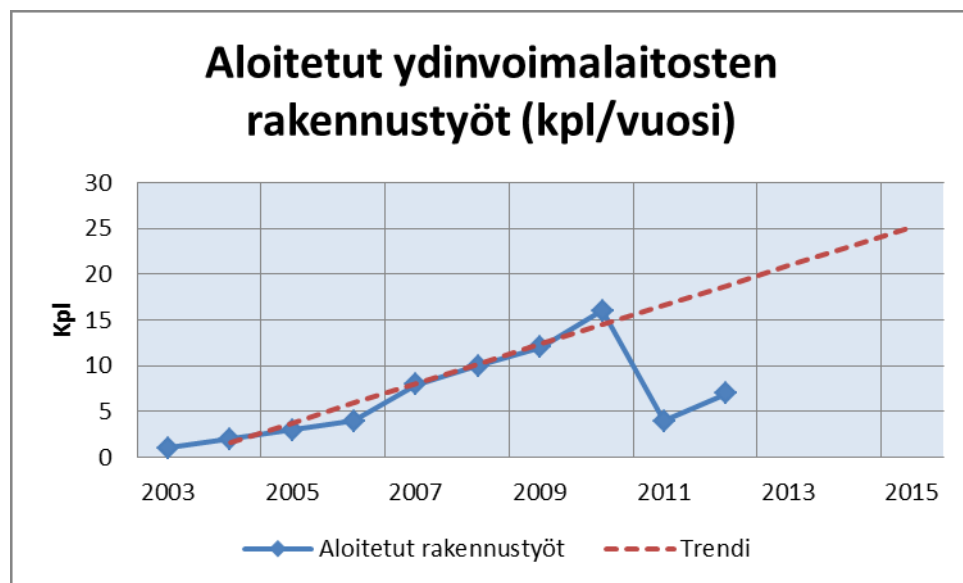
Ranskassa kehitys jatkuu ja Areva on suunnitellut EPR-ydinvoimalan, jonka prototyyppi on rakenteilla Olkiluotoon, toinen laitos Flamanvilleen ja kaksi yksikköä Taishanin voimalaan Kiinaan. Areva aikoo kehittää myös 1000 MW:n Atmea-nimisen PWR-voimalan, joka olisi yksinkertaistettu ja edullisempi versio EPR-ydinvoimalasta.

2 Sähköhuolto

Kiinassa on rakenteilla runsaasti ydinvoimalaitoksia, jotka perustuvat lähinnä venäläiseen ja ranskalaiseen reaktoritekniikkaan. Kiinaan on tilattu myös neljä Toshiba (entinen Westinghouse) kehittämää AP-1000-painevesireaktorilaitosta. Ensimmäisen AP-1000-voimalan rakennustyöt aloitettiin vuonna 2009 ja laitoksen on määrä valmistua vuonna 2014, eli jopa ennen Olkiluoto 3-yksikköä, jonka rakentaminen aloitettiin vuonna 2005.

Myös Venäjä rakentaa edelleen ydinvoimalaitoksia. VVER-1000 tyyppisiä laitoksia on rakenteilla ainakin Leningradin, Novo Voroneshin, Rostovin ja Baltian ydinvoimalaitoksilla. USA:ssa on monta AP1000-laitoshanketta vireillä, mutta yhtään ei ole vielä alettu rakentamaan.

Ydinvoimalaitosten rakentaminen alkoi vuodesta 2003 kiihtyä voimakkaasti (Kuva 2.2.5). Puhuttiin jopa ydinenergian renessanssista. Parhailtaan rakenteilla on 68 ydinvoimalaitosta, joista on 29 Kiinassa, 11 Venäjällä ja 7 Intiassa /10/.



Kuva 2.2.5 Ydinvoiman rakentamisen aloitukset maailmassa /10/. Vuoden 2003 jälkeen on aloitettu 68 ydinvoimalan rakentaminen.

Vuoden 2011 tsunami ja sen seurauksena tapahtunut Fukushima Daiichin ydinvoimatonnettomuus pysäyttivät rakentamisen aloitukset monissa maissa ainakin pariiksi vuodeksi. On vaikea ennustaa, palaavatko rakentamisen aloitukset koskaan Tsunamia edeltävälle tasolle, joka oli 16 reaktoria vuodessa. Kuitenkin rakentamisen tulisi nousta tasolle 25–50 reaktoria vuodessa, jotta sillä olisi merkitystä ilmastonmuutoksen torjunnassa.

2 Sähköhuolto

Pienet ja keskisuuret reaktorit

Fukushiman onnettomuuden takia uusien ydinvoimalaitosten suunnitelmat pitää uusia. Laitoksista tulee tehdä entistä turvallisempia. Niiden rakentaminen tulisi tapahtua nopeammin käyttäen yhä enemmän tehdasvalmisteisia moduuleita. Modulaarisia noin 200 – 300 MW tehoisia laitoksia on myös kehitteillä USA:ssa, Venäjällä ja Japanissa.

Pidin syksyllä 2011 esitelmän pienistä ja modulaarisista reaktoreista ASME:n SMPR konferenssissa Washingtonissa. Esitelmä on ladattavissa osoitteessa www.ekoenergo.fi. Kerroin esitelmässäni, että Loviisa 1 ja 2:n 440 MW:n yksiköt maksoivat nykyrahassa noin 1500 €/kW, kun Olkiluoto 3 maksaa noin 3500 €/kW. Tosiasiassa uudet suuret ydinvoimalat maksavat noin nykyrahassa noin 5000 €/kW.

Keskisuuri ydinvoimala voitaisiin rakentaa myös vanhaa ydinvoimatekniikkaa käyttäen. Esimerkiksi 300 MW:n tehoisen voimalan saisi tehtyä Loviisan voimalan VVER-440 reaktorilaitoksesta vähentämällä sen pääkiertopiirin määrän kuudesta neljään, jolloin laitoksen tehoksi tulisi 320 MW. Samalla laitokselle voitaisiin hankkia yksi 340 MW tehoinen höyryturpiini kahden 240 MW:n turpiinin asemasta. Laitoksesta tulisi yksinkertaisempi ja sen rakentaminen sujuisi nopeammin.

Suurten reaktorien ongelmat

Olkiluoto 3 rakentaminen aloitettiin vuonna 2005 ja sen arvioidaan valmistuvan vuonna 2016. Ei ole varmaa, valmistuuko laitos silloinkaan. Loviisan laitokset rakennettiin kuudessa vuodessa, kun Olkiluoto 3:n rakentaminen kestää yksitoista vuotta.

Suuri ongelma jättiprojekteissa on suuri työvoiman tarve laitospaikalla. Kun laitokset ovat pieniä ja ne rakennettaisiin tulevaisuudessa telakalla, niin laitospaikan työvoiman tarve jäisi murto-osaan. Samalla voitaisiin saada etua sarjatuotannosta, jolloin työt tehtäisiin nopeammin ja virheitä tulisi vähemmän.

Muutamit maat, kuten Saksa, ovat päättäneet luopua ydinvoimasta seuraavan kahdenkymmenen vuoden aikana. Saattaa olla, että kehitystyöhön ei enää löydy riittävästi resursseja, kun monet suuret firmat kuten ABB ja Siemens ovat vetäytyneet markkinoilta. Nyt myös japanilaisilla yhtiöillä on vaikea tilanne, kun kotimaassa ei enää tehdä uusia laitoksia. Kotimaan referenssit ovat edellytyksenä, jos laitoksia aikoo myydä ulkomaille.

Ydinvoimaa tarvittaisiin kuitenkin fossiilisten polttoaineiden korvaajana, kunnes maailma siirtyy uusiutuvien energialähteiden aikaan. Jos ydinvoimalaitoksia ei rakenneta, niin hiilidioksidipäästöt kasvavat ainakin vuoteen 2050 asti. Ydinvoima korvaa lähinnä kivihiiiltä, joka puolestaan on sähköntuotannon suurin CO₂-päästöjen lähde.

Kiinan ydinvoimaohjelma

Kiinan mittava ydinvoimalaohjelma on jälleen käynnistynyt pienen Fukushimaa pysähdysten jälkeen. Siellä kivihiilen korvaaminen on myös hyvä tapa parantaa paikallisen ympäristön tilaa, joka on hiilipölyn ja rikkidioksidin saastuttama. Kiinan tavoitteena on nostaa ydinvoimakapasiteetti vuoteen 2030 mennessä 200 GW:iin, joka olisi kaksi kertaa USA:n ydinvoimatehon suuruinen.

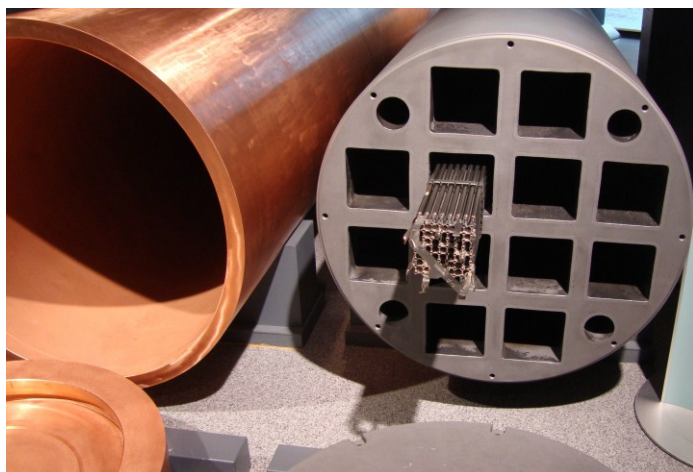
Kiinassa on käytössä 17 reaktoria ja rakenteilla 29 reaktoria. Kaiken kaikkiaan uusia reaktoreita tarvitaan vuoteen 2030 mennessä 180 eli kymmenen uutta reaktoria joka vuosi. Olen arvioinut Kiinan sähköntuotantoa tarkemmin kirjassani *Planning of Nuclear Power Systems to Save the Planet*.

Kiinan sähkön käyttö kasvaa nopeasti ja vuonna 2030 sähköä kuluu noin 7000 TWh. Jos ydinvoimakapasiteetti on 200 GW, ydinsähköä tuotetaan noin 1400 TWh eli 20 % kokonaistarpeesta. Se on vasta sama osuus kuin Pohjois-Amerikassa tänään. EU:ssa ydinsähkön osuus on 28 %.

Myös uusiutuvien energialähteiden osuus kasvaa Kiinassa ja vuonna 2030 niiden osuus voisi olla 25 % sähkön tuotannosta. Vuonna 2012 Kiinassa tuotettiin ydinvoimalla ja tuulivoimalla 100 TWh sähköä. Molempien tuotantomuotojen kasvaa jatkossa nopeasti rinta rintaan.

Käytetyn polttoaineen loppusijoitus

Suomessa ydinjätehuolto aiotaan hoitaa sijoittamalla käytetyt polttoaine-elementit kuparikapseliin (Kuva 2.2.6), jotka sijoitetaan noin 500 metriä syvälle Olkiluodon kallioluoliin. Kapseloinnin ja loppusijoituksen on tarkoitus alkaa vuoden 2020 jälkeen.



*Kuva 2.2.6
Kuparikapseli ja
polttoaine-elementti.*

2.3 FOSSIILISET ENERGIALÄHTEET

2.3.1 Fossiiliset polttoaineet

Fossiilisiksi polttoaineiksi luetaan öljy, maakaasu, kivihiili, ruskohiili ja turve. Näistä kivihiili, ruskohiili ja turve ovat samantapaisia kasvukunnan tuotteita, mutta niiden muodostumisikä on erilainen. Turve on nuorin ja siksi sen luokittelu fossiiliseksi polttoaineeksi on kyseenalaista. Kuitenkin EU:n mukaan se katsotaan CO₂-päästöjä tuottavaksi, aivan samoin kuin kivihiili ja ruskohiilikin.

2.3.2 Hiilivoima

Toimintaperiaate

Kivihiiltä voidaan hyödyntää sähköntuotannossa perinteisesti höyryvoimalassa, jossa höyrystä tehdään sähköä höyryturpiinin ja generaattorin avulla. Perinteisissä hiililauhdutusvoimalaitoksissa tehdään pelkästään sähköä ja lauhduttimessa syntynyt jätelämpö pumpataan jäähdytysveteen.

Lauhdutuslaitosten hyötysuhde on parhaimmillaan 40–44 %. Loput lämmöstä kulkeutuu savukaasujen mukana ilmaan tai jäähdytysveteen. Hiililämmitysvoimalaitoksissa tehdään myös kaukolämpöä. Niiden kokonaishyötysuhde on noin 85 %, ja mereen ei lämpöä lasketa lainkaan.



Kuva 2.3.1 Tahkoluodon hiililauhdutusvoimala.

2 Sähköhuolto

Suomen kaikki suurimmat hiililauhdutuslaitokset sijaitsevat meren rannalla hiilisatamien yhteydessä. Niitä on esimerkiksi Kotkassa, Inkoossa, Tahkoluodossa, Kristiinassa ja Vaasassa.

Hiililämmitysvoimalaitoksia taas on suurimpien kaupunkien, mm. Helsingin, Espoon, Vantaan, Turun ja Vaasan ympäristössä. Lämmityslaitosten avulla hoidetaan kaupunkien pohjasähkön- ja lämmöntuotanto.

Hiilivoiman etuna on sen polttoaineen riittävyys. Hiilen hinta on myös pysynyt vakaana. Hiilen poltossa syntyy kuitenkin aina hiilidioksidiä, jonka päästöjä aiotaan jatkossa EU:n piirissä vähentää. Poltossa muodostuu myös pienhiukkasia, typpioksideja ja rikkidioksideja, joiden määrää voidaan vähentää savukaasujen puhdistuslaitteissa.

Kustannukset

Hiilivoimalan investointikustannukset ovat noin 1600 €/kW eli alle puolet ydinvoimalan kustannuksista. Hiilivoiman pääomakustannukset ovat 30 vuoden pitoajalla, 5 %:n laskentakorolla ja 7500 tunnin käyttöajalla laskettuna noin 14 €/MWh (Liite 1.1). Käytännössä hiilivoiman käyttöajat jäävät tätä lyhyemmiksi, koska hiilivoimaa tarvitaan lähinnä talvikautena etenkin, kun Suomeen rakennetaan uusia ydinvoimalaitoksia pohjavoimaksi.

Hiilen hinta on noin 12 €/MWh ja käyttökulut noin 10 €/MWh. Jos CO₂-päästömaksu noin 20 €/tonni, niin käyttökustannukset ovat yhteensä noin 55 €/MWh. Hiililauhdutusvoiman kokonaiskustannukset ovat näin yhteensä 69 €/MWh, joka on huomattavasti enemmän kuin tuulivoiman tai ydinvoiman kustannukset. Hiilivoiman käyttökustannukset ovat samaa luokkaa kuin ydinvoimalan kokonaiskustannukset.

Koska hiilivoima on yleensä Euroopassa kustannusjärjestyksessä viimeisenä käynnistyvä voimala, hiilivoiman muuttuvat kustannukset (55 €/MWh) muodostavat samalla markkinahinnan koko Euroopan sähkölle. Kulutushuippujen aikana hinta määräytyy kuitenkin öljyvoimalaitosten perusteella. Pienen kuorman aikana hinta määräytyy puolestaan kaukolämpövoimalaitosten perusteella.

Lämmitysvoimalaitoskäytössä hiilivoimalan hyötysuhde kaksinkertaistuu noin 85 %:n tasolle. Tällöin tuotantokustannukset ovat noin 50 €/MWh, joka on samaa luokkaa kuin ydinvoimalaitoksella (Liite 1.3).

Jos CO₂-vero nousee tasolle 50 €/tonni, nousevat hiililämmitysvoiman polttoaine- ja käyttökustannukset arvosta 26 €/MWh arvoon 38 €/MWh ja kokonaiskustannukset arvoon 62 €/MWh. Tämä korotus tekisi hiilivoimasta kannattamattoman uusinvestointina. Uusia ei enää rakennettaisi ja hiilivoimaa käytettäisiin niin kauan kuin vanhat voimalat säilyvät toimintakuntoisina.

Tulevaisuudennäkymät

Hiilidioksidipäästöjen puhdistaminen savukaasuista ei vielä nykykeinoin ole kannattavaa. Jokaista tuotettua sähkökilowattituntia kohti hiililauhdevoimalassa vapautuu noin 800 - 900 grammaa ja hiililämmitysvoimalassa 900–1000 grammaa hiilidioksidia.

Koska EU:ssa on sitouduttu CO₂-päästöjen vähentämiseen, perinteisiä hiilivoimalaitoksia ei rakenneta enää montaa. Sen sijaan Saksassa niitä rakennetaan, koska maa aikoo luopua ydinvoimasta, eivätkä uusiutuvat lähteet pysty paikkaamaan ydinvoimalaitosten jättämää aukkoa tarpeeksi nopeasti.

Hiilivoimalaitosten kehitystyö on keskittynyt viimevuosina erilaisten kaasutus- ja nesteytystekniikoiden kehittelyyn. Kaasuttamalla voidaan kivihiihivoimalaitosten hyötysuhde nostaa 45 %:n tasolle samalla, kun CO₂-päästöjä saadaan pienennettyä noin 10 % ja muita päästöjä vieläkin enemmän. Kaasutuskombilaitokset maksavat kuitenkin selvästi enemmän kuin tavanomaiset hiilivoimalat. Puhutaan jopa 2000–3000 €/kW investointikustannuksista.

Kaasutustekniikan avulla voidaan myös savukaasuista erottaa hiilidioksidi helpommin ja syöttää se esimerkiksi vanhoihin öljy- ja kaasulähteisiin. Tällöin kuitenkin huomattava osa sähköstä kuluu CO₂-erotukseen ja erotetun kaasun pumppaamiseen maaperään. Samalla hiilivoimalan kokonaishyötysuhde laskee alle 40 %:n tasolle. Tekniikka ei ole vielä kaupallista.

Nesteyttämällä kivihiihlestä saadaan öljyä, jota voidaan käyttää autojen ja dieselvoimalaitosten polttoaineena. Tämä ns. Fischer-Tropsch- tekniikka oli käytössä sodan aikana Saksassa. Sitä kehitetään myös turpeen ja puun nesteytysprosesseille.

Euroopassa hiilivoiman tuotantoa ajetaan alas. Parhaiten se onnistuu, jos CO₂-vero tai päästömaksu nostetaan tasolle 50 €/tonni. Tällöin hiilivoiman polttoainekustannusten (28 €/MWh) päälle tulisi 40 €/MWh CO₂-kustannuksia, jolloin kivihiihivoimalaitosten käyttäminen tulisi kalliimmaksi (70 €/MWh) kuin ydin- tai tuulivoiman kokonaiskustannukset (54–60 €/MWh).

Suomessa kivihiihivoimalaitosten päästöjä aiotaan vähentää muuttamalla laitoksia osittain biopolttoaineilla toimiviksi. Tällaisia suunnitelmia on vireillä ainakin Helsingin Hanasaaren ja Fortumin Suomenojan laitoksille. Vanhoilla kattiloilla voidaan päästä noin 10 – 20 %:n osuuteen biopolttoaineiden käytössä. Suurempiin osuuksiin päästään, jos kattilan yhteyteen tehdään kaasutuslaitos tai kattila uusitaan kokonaan. Vaskiluodon kattilan viereen tehdyn kaasutuslaitoksen avulla bioenergian osuus polttoaineista nousee noin 30 – 45 %:iin.

Kiinan hiilivoimalat

Hiilivoiman rakentamista maailmassa jatketaan lähinnä Kiinassa, jossa on 2000-luvulla valmistunut joka vuosi noin 60.000 MW uutta hiilivoimalaitoskapasiteettia. Kiinan kivihiiilen käyttö on kasvanut 2000-luvulla vuosittain noin 150 miljoonalla tonnilla. Samalla maailman hiilidioksidipäästöt kasvavat, vaikka EU:ssa päästöt vähenevät. Kiinan sähköntuotanto perustuu pääasiassa hiilivoimaan. Vuonna 2011 Kiina käytti puolet maailmassa tuotetusta kivihielestä. Merkittävä osa Kiinan hielestä käytettiin myös teräksen valmistuksen yhteydessä.

USA:n päästörajat

USA:n ympäristöviranomaisen EPA ehdotti vuonna 2012, että voimalaitosten CO₂-päästölle annettaisiin päästöraja 1000 lb/MWh (453 g/kWh) sähköä. Se merkitsisi kivihiiivoiman käytön kieltämistä, jos hiilidioksidia ei eroteta savukaasuista. Monet osavaltiot ovat ottaneet käyttöön tätä lähellä olevan päästörajan.

New Yorkin osavaltiossa CO₂-päästöraja on 925 lb/MWh (420 g/kWh). Tämä päästö syntyy myös maakaasulla, jos kaasuvoimalan hyötysuhde on 200/420 eli 48 %. Kaasuturpiineilla CO₂-päästöraja on 1450 lb/MWh (657 g/kWh). Tällöin kaasukäytössä hyötysuhteen pitää olla vähintään 200/657 eli 30 %.

2.3.3 Turvevoima

Toimintaperiaate

Turvevoimalat ovat toimintaperiaatteeltaan höyryvoimalaitoksia samoin kuin hiilivoimalat. Koska turpeen lämpöarvo on pienempi, tulee turvevoimalaitosten kattiloista suurempia. Turvevoimalan etuna on polttoaineen saatavuus kotimaasta. Turpeessa ei myöskään ole rikkiä, joten siinä mielessä se on puhtaampi polttoaine kuin kivihiihi.

Turvevoiman haittapuolena ovat turpeen heikko saatavuus sateisina kesinä sekä runsaat hiilidioksidi- ja hiukkaspäästöt. Lisäksi turvesoilta tulee runsaasti vesistöjä rehevöittäviä päästöjä. Saatavuutta kompensoi sateisina vuosina se, että silloin vesivoimaa tulee tavallista enemmän. Hiukkaspäästöjä voidaan vähentää tehokkaiden savukaasujen puhdistimilla. Vesistöjä voidaan puolestaan vähentää saostuslaitteiden avulla.

Kustannukset

Turvevoiman kustannukset ovat hyvin samanlaiset kuin hiilivoiman. Investointikustannuksia nostavat laitosten pienempi keskikoko ja käyttökustannuksia suuremmat hiilidioksidipäästöt. Turvevoimalan kustannuksia puolestaan pienentää rikinpoistolaitteiden puuttuminen.

2 Sähköhuolto

Turpeen hinta määräytyy käytännössä hiilen perusteella, koska monet sisämaan voimalaitokset pystyvät polttamaan haketta, turvetta tai kivihiiltä. Jos turvevoiman muuttuvat kustannukset ovat alhaisemmat kuin kivihiilivoimalaitosten, monipolttoainuvoimalat siirtyvät turpeen käyttöön. Jos laitokset tuottavat sähköä ja lämpöä, niitä kannattaa käyttää käytännössä aina, kun kaupungissa on riittävästi lämpökuormaa.

Tulevaisuudennäkymät

Turvetta pidetään nykyisin fossiilisena polttoaineena ja turvevoimalaitosten hiilidioksidipäästöt ovat hiilivoimaakin suuremmat. Suot ovat sitoneet hiilidioksidia keskimäärin noin 0,2 tonnia hehtaaria kohden, joten Suomen 10 miljoonan hehtaarin suoala sitoo vuosittain hiilidioksidia noin 2 miljoonaa tonnia.

Turvetta poltettaessa syntyy hiilidioksidia puolestaan noin 380 kg/MWh. Tällöin hiilidioksiditase olisi tasapainossa, jos turvetta käytetään 5 TWh (2 Mt/0,38 t/MWh) vuodessa. Nykyinen turpeen käyttömäärä on 20 TWh vuodessa, joka on nelinkertainen määrä turpeen hiilinielun verrattuna.

CO₂-taseen takia uusien turvevoimalaitosten rakentaminen on vähäistä. Sen sijaan turvetta voidaan käyttää lisäpolttoaineena esimerkiksi uusissa biovoimalaitoksissa, jotka rakennetaan lähes aina monipolttoainelaitoksiksi.

Turve on myös kriisiaikojen polttoaine, sillä turvetta riittää Suomessa toimiviin voimalaitoksiin kymmeniksi vuosiksi eteenpäin. Sen vuoksi uudet voimalaitokset kannattaa varustaa kattiloilla, jotka voivat käyttää turvetta varapolttoaineena. Polttoaineiden hinnat vaihtelevat suuresti, eikä koskaan voi tietää, milloin energiakriisi on taas ovella.

2.3.4 Kaasuvoima

Kaasuturpiinivoimalat

Kaasuturpiinivoimala muodostuu kaasuturpiinista ja jätelämpökattilasta. Kaasuturpiinissa on kompressorit, polttokammio ja turpiini. Kompressorissa palamisilma puristetaan noin 20–30 barin paineeseen ja viedään polttokammioon, jonne syötetään korkeapaineista maakaasua. Palamisen jälkeen noin 1200–1500 °C:n asteen lämpöiset savukaasut muutetaan liike-energiaksi kaasuturpiinissa, joka pyörittää myös samalla akselilla olevaa kompressorit ja generaattoria.

Kaasuturpiinin jälkeen noin 450–550 °C:n asteen lämpöiset savukaasut voidaan viedä myös jätelämpökattilaan, jossa lämmitetään kaukolämpöä tai kehitetään höyryä. Yleensä kaasuturpiinivoimalassa syntyy sähköä noin 60 % kaukolämmön määrästä eli rakennusaste on 0,6.

Kaasumoottorivoimalat

Kaasumoottorivoimalaitoksen voimakoneena toimii kaasumoottori, joka on toiminta-periaatteiltaan samanlainen kuin autojen turbolla varustettu nelitahtinen ottomoottori. Ilma puristetaan turboahtimessa noin 4 baarin paineeseen. Ahtimen jälkeen ilman sekaan syötetään matalapaineista maakaasua. Kaasuseos viedään sylinteriin nelitahtimoottorin imuvaiheen aikana ja sytytetään puristusvaiheen lopussa.

Työtahdin aikana savukaasut työntävät mäntää, jossa kiinni oleva kiertokanki pyörittää kampiakselia. Kampiakseli pyörittää puolestaan generaattoria, joka kehittää sähköä. Savukaasut ovat noin 400 °C:n lämpötilassa. Kaasut voidaan viedä jätelämpökattilaan ja kehittää siellä höyryä tai kuumaa vettä. Lisäksi moottorin vaipan jäähdytysvedestä ja voiteluöljyn jäähdyttimestä saadaan lämpöä.

Kaasumoottorivoimalaitokset tuottavat sähköä ja lämpöä rakennusasteella 0,9–1,1, joten niiden rakennusaste on parempi kuin kaasuturpiineilla, mutta jää hieman kombivoimalaitosten rakennusasteen alapuolelle. Kaikkien kaasulämmitysvoimalaitosten kokonaishyötysuhde vaihtelee välillä 80–90 %.



Kuva 2.3.2 Tallinnassa on rakenteilla Eleringin 250 MW:n tehoinen varavoimala, jossa on 25 Wärtsilän 10 MW:n tehoista Vaasassa tehtyä kaasuoiljymoottoria.

2 Sähköhuolto

Tallinnassa rakenteilla olevan 250 MW:n tehoisen Eleringin moottorivoimalan (Kuva 2.3.2) on tarkoitus toimia järjestelmän varavoimalana siltä varalta, jos tasavirtayhteys Suomeen putoaa äkillisesti pois päältä. Laitos toimii sekä maakaasulla että kevyellä polttoöljyllä. Sen luvataan käynnistyvän 10 minuutissa kuumasta seisokista täyteen tehoonsa. Laitoksen teho riittää turvaamaan Tallinnan sähköntarpeen, jos koko Viron sähköverkko olisi pois päältä.

Kombivoimalat

Kombivoimalassa kaasurpiinista tai kaasumoottorista tulevat savukaasut viedään höyrykattilaan, jossa kehitetään höyryä. Höyry viedään höyryturpiiniin, jossa saadaan kaasurpiiniin pakokaasuista 40–50 % ja kaasumoottorin pakokaasuista 10–20 % lisäsähköä. Samalla lämmöntuotanto pienenee, joten kombivoimalasta saadaan suunnilleen yhtä paljon sähköä ja lämpöä, jolloin rakennusaste on noin 1,0–1,2.

Uusin kombivoimala on Espoon Suomenojalla (Kuva 2.3.3). Sen sähköteho on 234 MW ja lämpöteho 214 MW. Voimalan rakennusaste on 234/214 eli 1,09. Sitä on käytetty lähinnä huippuvoimalana, kun pakkas on laskee alle $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hiilivoimala ja kaasurpiinivoimala toimivat Espoossa pohjakuormalaitoksina.



Kuva 2.3.3 Suomenojan voimalaitoksella ovat kaikki yksiköt käytössä kovilla pakkasilla. Vasemmalla kaasurpiinin, keskellä kombivoimalan ja oikealla hiilivoimalan piiput.

2 Sähköhuolto

Käyttökohteet

Kaasuvoimalaitosten soveltuvuus eri käyttökohteisiin riippuu sähkön ja lämmön hintasuhteista ja laitosten käynnistysnopeudesta. Eniten kaasuvoimalaitoksia on Suomessa rakennettu kaupunkien sähkön- ja lämmöntuotantoon. Muualla maailmassa tärkeimpiä käyttökohteita ovat huippu- ja varavoimalat.

Kaupunkien sähkön- ja lämmöntuotannossa kaasuvoimalaitoksien (CHP-voimala) etuna on korkea kokonaishyötysuhde (90 %) ja pienet CO₂-päästöt (220 g/kWh). Koska kaasuvoiman avulla laitosten rakennusaste on 0,8–1,2, kaupungit voivat tulla omavaraisiksi sähkön ja lämmön suhteen. Esimerkiksi Helsinki tuottaa noin puolet tarvitsemastaan lämmöstä ja sähköstä Vuosaaren kombivoimalaitoksilla.

Huippu- ja varavoimalasovellutuksissa voimalaitosten tärkein ominaisuus on nopea käynnistyminen. Kaasumootorit käynnistyvät noin 3–5 minuutissa täyteen tehoonsa. Lentokonemootoreihin perustuvien kaasuturpiinien käynnistys kestää 5–10 minuuttia ja teollisuuskaasuturpiinien 10–20 minuuttia. Kombivoimalan käynnistys on yhtä nopeaa kaasuturpiinin osalta, mutta höyryn tekeminen ja höyryturpiinin käynnistys kestää 30–60 minuuttia.

Kaasumootorit soveltuvat varsin hyvin tuulivoiman tasaamiseen. Kun tuulivoima tarvitsee tasesähköä noin 20–30 % tuulivoiman asennetusta tehosta, nopeasti käynnistyvien laitosten tarve kasvaa tuulivoimalaitosten rakentamisen määräämässä tahdissa. Esimerkiksi Tanskassa ja USA:ssa monet kaasumoottorivoimalat osallistuvat tuulivoiman tuotannon tasaamiseen.

Hiilivoimaa voitaisiin myös käyttää säätöön, mutta ydinvoima ei siihen sovellu. USA:ssa on käytössä yksi maailman suurimmista kaasumoottorivoimalaitoksista, Plains End, joka on teholtaan 227 MW. Tämän Wärtsilän toimittaman voimalan tehtävänä on tasata noin 1000 MW:n tuulivoimatehoa Coloradossa. Vielä sitäkin suurempi, 600 MW:n tehoinen kaasumoottorivoimala on rakenteilla Jordaniassa.

Kustannukset

Kaasulämmitysvoimala maksaa 100 MW:n kokoluokassa noin 800 €/kW. 30 vuoden pitoajalla ja 5000 tunnin käyttöajalla tulee pääomakustannuksiksi 10 €/MWh (Liite 1.3).

Jos maakaasun hinta on 35 €/MWh ja kokonaishyötysuhde on 85 %, tulee kaasuvoimalan käyttö- ja polttoainekustannuksiksi 50 €/MWh. Kokonaiskustannukset 5000 h/a huipunkäyttöajalla ovat noin 60 €/MWh. Kustannukset ovat siis korkeammat kuin ydin- tai tuulivoimalassa.

Kaasu on Suomessa suhteettoman kallista verrattuna kivihiileen, joka maksaa 12 €/MWh. Kaasun hinta on melkein kolminkertainen. Kaasun hinta tulisi olla alle 20

2 Sähköhuolto

€/MWh, jotta kaasuvoiman tuottama sähkö ja lämpö olisivat kilpailukykyisiä hiilivoiman kanssa.

Varavoimakäyttöön suunniteltu kaasu/öljyvoimala maksaa noin 600 €/kW. Jos kaasu maksaa noin 35 €/MWh ja hyötysuhde on 42 %, tulee sen muuttuviksi kustannuksiksi 100 €/MWh. Näin 500 tunnin huipunkäyttöajalla tulee sähkön omakustannushinnaksi noin 180 €/MWh (Liite 1.2). Huippuvoimakäytössä kaasuvoima tuottaa edullisinta energiaa.

Historiaa

Kaasuvoimalaitosten rakentaminen alkoi Suomessa Lappeenrannasta vuonna 1974, jolloin ensimmäinen Mertaniemen kaasuvoimala käynnistyi. Mertaniemi 1 oli tekniikaltaan kaasuturpiinivoimala ja Mertaniemi 2 kombivoimala. Nyt 35 vuoden käytön jälkeen laitokset on siirretty varavoimakäyttöön.

90-luvun alussa ryhdyttiin rakentamaan myös kaasumoottorikäyttöisiä voimalaitoksia, joita tehtiin pienempiin kaupunkeihin suomalaiseen kaasumoottoritekniikkaan perustuen. Ensimmäinen 6 MW:n kaasumoottorilaitos Järvenpäässä rakennettiin vuonna 1991 ja se perustui Wärtsilän kehittämään kaasudieselteknikkaan. Laitoksesta tuli samalla modulaaristen voimalaitosten prototyyppi, jota markkinoitiin nimellä Modigen.

Kaasusta on muodostunut Suomessa lämmitysvoimalaitosten tärkein polttoaine. Kaasuvoimalaitosten etuna ovat pienet savukaasupäästöt, mikä antaa samalla mahdollisuuden rakentaa voimalaitoksia asutuskeskusten läheisyyteen. Lähes kaikissa Etelä-Suomen kaupungeissa Turun seutua lukuun ottamatta on kaasulämmitysvoimalaitoksia.

Kaasuturpiiniperusteisia lämmitysvoimalaitoksia on rakennettu mm. Imatralle, Kouvolaan, Lahteen, Hyvinkäälle, Hämeenlinnaan, Keravalle, Vantaalle ja Espooseen. Kombivoimalaitoksia on Lappeenrannassa, Tampereella, Helsingissä, Lohjalla ja Espoossa.

Kaasumoottorivoimalaitoksia on rakennettu mm. Järvenpäähän, Lahteen, Ikaalisiin, Sipooseen, Valkeakoskelle ja Haminaan. Lisäksi Suomessa on useita pieniä kaasumoottorivoimalaitoksia, joista pienimmät voivat soveltua myös vain yhden omakotitalon tarpeisiin.

Tulevaisuudennäkymät

Tulevaisuudessa kaasuvoimalat tulisi rakentaa siten, että ne pystyvät muuttamaan tehoaan nopeasti, koska tuulivoiman takia säättövoiman tarve kasvaa. Tanskassa kaikki suurimmat kaasuvoimalat on valjastettu myös säättövoiman tuotantoon.

2 Sähköhuolto

Lisäksi kaasuvoimalaitoksia rakennetaan yhä pienempiin kohteisiin. Nyt alarajana ovat olleet noin 500 kW:n kokoiset kaasumoottorivoimalat. Kehitteillä olevat polttokennovoimalat ja Stirling-moottorit voivat tuoda pienet kaasuvoimalat myös asuntojen kellareihin.

Polttomoottorit sopivat nopean käynnistymisen takia hyvin sähköntuotannon ja kulutuksen vaihtelujen tasaamisen. Kun esimerkiksi ydin-, tuuli- tai aurinkovoimala lopettaa tuotannon yllättäen, puuttuva sähköteho pystytään korvaamaan polttomoottorivoimalla hyvin nopeasti. Polttomoottorivoimala alkaa tuottaa sähköä jo 20 sekuntia käynnistyskäskyn jälkeen, mihin eivät mitkään kaasu- tai höyryturpiinit pysty.

2.3.5 Öljyvoima

Toimintaperiaatteet

Öljyvoimalat voivat perustua höyry- ja kaasurupiiniteknologiaan tai dieselmootoreihin. Höyryvoimalaitokset ovat kalliimpia rakentaa, mutta niissä käytettävän polttoaineen laatu voi vaihdella suuresti. Ne voivat käyttää polttoaineena kaikkein raskaimpia pohjaöljyjä (POR 2000) ja niiden hyötysuhde voi olla hieman parempi kuin hiilivoimalaitosten. Usein raskas polttoöljy toimii myös hiilivoimalaitosten varapolttaineena.

Dieselmoottorit voivat käyttää polttoaineena kevyitä ja keskiraskaita polttoöljyjä (POR 380), koska pakoventtiilien lämpötila on epäjatkuvan palamisen ansiosta vain noin 500–600 °C asteessa. Dieselmoottorien hyötysuhde on 42–45 %, ts. samaa luokkaa kuin parhailla höyryvoimalaitoksilla.

Kaasurupiinit voivat käyttää polttoaineena ainoastaan kevyitä polttoöljyjä (POK 10) ja niiden hyötysuhde on selvästi huonompi (30–40 %) kuin höyryvoimalaitoksilla tai dieselmootoreilla. Kaasurupiinin polttokammion jälkeen savukaasut johdetaan erittäin kuumina (1300–1500 °C) turpiiniin siipiin, jossa mahdolliset epäpuhtaudet (natrium ja vanadium) aiheuttavat kuumakorroosiota. Tämän vuoksi raskas polttoöljy ei sovellu kaasurupiinien polttoaineeksi.

Käyttökohteet

Öljyvoimalaitosten pääasiallinen käyttökohde on huippu- ja varavoimalaitoksissa, koska niiden pääomakulut ovat edulliset ja ne käynnistyvät nopeasti. Öljylaitoksia käytetään yleensä vain muutamia satoja tunteja vuodessa. Toimiessaan valtakunnan verkon tai paikallisten kohteiden reservinä niitä käytetään vain häiriöiden yhteydessä. Tällöin käyttö jää muutamaan tuntiin vuodessa.

Varavoimalaitosten tärkeimmät ominaisuudet ovat niiden käynnistystymisen nopeus ja luotettavuus. Dieselvoimalat voidaan synkronoida sähköverkkoon noin 15–30 sekunnissa ja niistä saadaan täysi teho noin 1–3 minuutin kuluttua käynnistyskäskystä.

2 Sähköhuolto

Ydinvoimalan hätädieselgeneraattorit käynnistyvät muutamassa sekunnissa ilman ulkoista sähköä ja niiden avulla voidaan varmistaa reaktorin jäähtytys.

Lentokonemoottoriin perustuvat kaasuturpiinit voidaan synkronoida yleensä noin 3–5 minuutissa ja niistä saadaan täysi teho 7–10 minuutin kuluttua käynnistyskäsystä. Teollisuuskasuturpiinit käynnistyvät puolestaan noin 10–20 minuutissa.

Nopeasti käynnistyviä kevytöljylaitoksia tarvitaan myös korvaamaan suurten yksiköiden äkillinen poisputoaminen verkosta. Kun 1600 MW:n tehoinen Olkiluoto 3 putoaa pois päätä, sen korvaamiseksi aiotaan käyttää noin 300 MW:n poiskytkettäviä kuormia ja 1300 MW:n nopeasti käynnistävää öljykäyttöistä varavoimaa.

Koska Suomeen aiotaan rakentaa 2500 MW tuulivoimaa vuoteen 2020 mennessä, sitä varten tarvitaan noin 400–600 MW varavoimaa. Osa varavoimasta voi myös muodostua nopeasti käynnistyvistä kevytöljyvoimalaitoksista. Tuulivoiman varavoimana voidaan käyttää myös ydinvoimalaitosten poisputoamisen varalle tehtyjä varavoimalaitoksia.

Kustannukset

Kevyttä polttoöljyä käyttävän dieselvoimalaitoksen investointikustannukset ovat noin 600 €/kW. Käyttö- ja polttoainekustannukset ovat noin 190 €/MWh. Sähkön omakustannushinta 500 tunnin huipunkäyttöajalla on 270 €/MWh (Liite 1.2).

Raskasta polttoöljyä käyttävän dieselvoimalan investointikustannukset ovat noin 800 €/kW. Käyttö- ja polttoainekustannukset ovat puolestaan noin 140 €/MWh. Sähkön omakustannushinta 500 tunnin huipunkäyttöajalla on noin 250 €/MWh.

Dieselvoima ja hiilivoima tuottavat samanhintaista sähköä silloin, kun huipunkäyttöaika on noin 1000 tuntia vuodessa. Sitä lyhyemmällä käyttöajalla dieselvoimala tuottaa halvempaa sähköä (Kuva 2.5.2).

Tulevaisuudennäkymät

Öljyvoima tulee säilyttämään vielä pitkään paikkansa huippu- ja varavoimalaitosten energialähteenä. Huippuvoimalaitosten osuus sähkökapasiteetista tulisi olla noin 20 %, jotta kapasiteetti olisi rakenteeltaan optimaalinen. Suomessa huippuvoimakapasiteettia tulisi vuonna 2020 olla noin 3300 MW.

Koska öljyvoimalaitosten käyttöaika jää alle 500 tunnin vuodessa, öljyn osuus sähköenergian tuotannosta jää yleensä alle kahden prosentin. Sillä ei ole suurta merkitystä öljyn kokonaiskulutuksen kannalta. Huippu- ja varavoimalaitokset voivat sen sijaan turvata sähkön saannin erilaisissa häiriötilanteissa. Suomessa on noin 3500 MW:n vaje sähkökapasiteetissa. Vaje koskee juuri pakkasten aikana tarvittavaa huippuvoimaa. Tuo puuttuva huippuvoima olisi edullisinta rakentaa kevytöljykäyttöisten kaasuturpiinien ja dieselvoimalaitosten avulla.

2 Sähköhuolto

Puuttuva teho olisi järkevää hajauttaa pieninä esimerkiksi 2 x 10 MW:n laitoksina kaupunkien kaukolämmitysvoimalaitosten yhteyteen. Silloin niiden avulla voitaisiin turvata kaupunkien sähkö-, lämpö- ja vesihuolto myös mahdollisten kriisien aikana. Samalla niiden avulla voitaisiin käynnistää paikalliset lämmitysvoimalaitokset vaikka valtakunnan verkko olisi pimeänä.

Diesel- tai kaasuvoimaa tarvitaan myös säätövoimana noin 20–30 % tuulivoiman huipputehosta laskettuna. Tuulivoimakapasiteetti kasvaa nopeasti, joten sen myötä dieselvoimalla on edessään vielä pitkä tulevaisuus.

Dieselvoimaa tarvitaan myös suurten ydinvoimalaitosten varavoimana, jolloin täytyy varautua, että esimerkiksi Olkiluoto 3 yksikön tuottama 1600 MW:n teho täytyy korvata 15 minuutin sisällä.

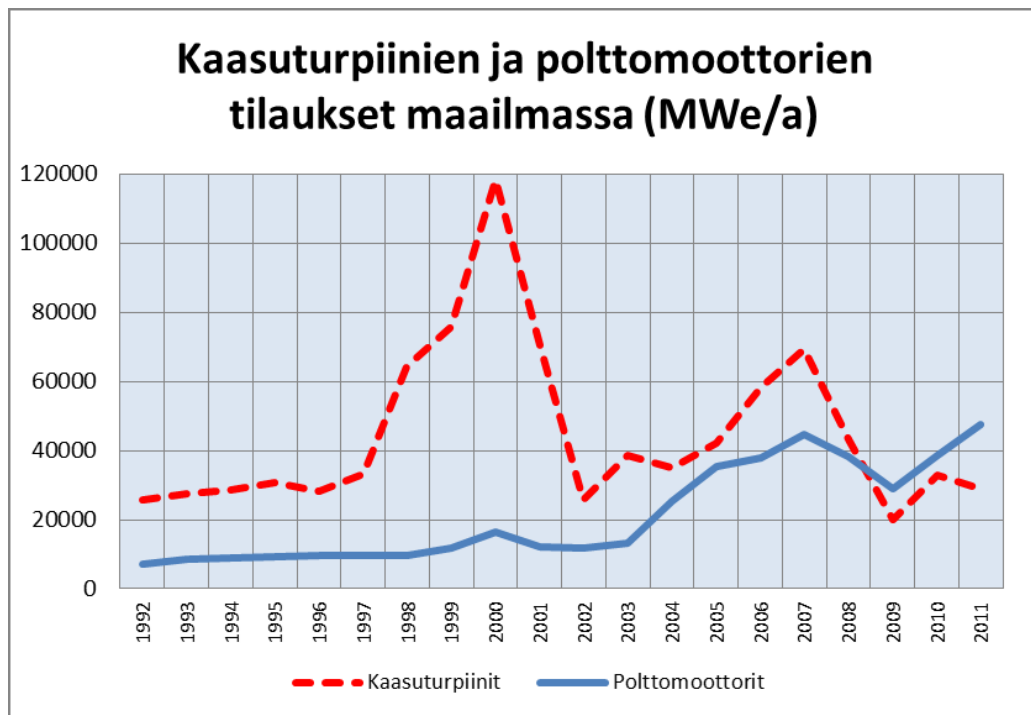
Lisäksi dieselvoimaa tarvitaan suurten tehtaiden, kiinteistöjen ja hotellien varavoimanlähteenä, kun tulee varmistaa, että valot pysyvät päällä myös suurten sähkökatkosten aikana. Dieselvoimalaitoksia käytetään myös vesi- ja lämpölaitosten sekä lentokenttien ja metron toiminnan turvaamiseksi sähkökatkojen aikana.

Noin 90 % maailmassa vuosittain rakennetusta kevytöljyvoimatehosta perustuu dieselmootoreihin. Niitä rakennettiin vuonna 2011 noin 43.000 MW tehon edestä eli yhtä paljon kuin tuulivoimalaitoksia. Tuulivoimalat ja dieselvoimalat täydentävät toisiaan, jolloin dieselvoimalaitosten avulla voidaan tasapainottaa tuulivoiman tehonvaihteluita.

Polttomootorivoimalaitoksia rakennetaan maailmassa keskimäärin noin 40 000 MW:n tehon edestä joka vuosi (Kuva 2.3.4). Suomalainen Wärtsilä on toimittanut kokonaistehosta noin 5-10 %. Kaasuturpiinien myynti on puolestaan noin 30 000 MW vuodessa. Polttomootorien myyntimäärät ohittivat kaasuturpiinien myynnin vuonna 2009, kun kaasuturpiinien myynti alkoi kaasun hinnan nousun takia vähetä voimakkaasti.

Vuonna 2011 polttomootoreita myytiin voimalaitoskäyttöön 47.000 MW:n edestä, 36.000 kappaletta. Moottorien keskiteho oli noin 1,3 MW. Kaasuturpiineita myytiin 30.000 MW ja 677 kappaletta. Kaasuturpiinien keskiteho oli 44 MW. Kaiken kaikkiaan tilastoitujen kaasua ja öljyä käyttävien kaasuturpiinien ja polttomootorien myynti oli 77.000 MW ja 48.000 kappaletta. Laitosten keskiteho oli noin 1,6 MW (Lähde: *Diesel and Gas Turbine Worldwide 2012*).

Kun maailman voimalaitosmyynti on noin 250 GW vuodessa, kaasua ja öljyä käyttävien voimalaitosten markkinaosuus on noin 30 %. Tuulivoiman, aurinkokennojen ja vesivoiman markkinaosuudet ovat noin 15 %, 10 % ja 8 % eli yhteensä 33 %. Höyryturpiinien markkinaosuus on noin 37 % voimalaitoksista. Siihen kuuluvat kiinteitä polttoaineiden voimalat, ydinvoima ja kombivoimalaitosten höyryturpiinit.



Kuva 2.3.4 Suurten (>0,5 MW) kaasuturpiinien ja polttomoottorien myynti voimalaitoskäyttöön vuodesta 1992 alkaen maailmassa (Diesel and Gas Turbine Worldwide).

Maailman sähköntarve on kasvanut vuodesta 2000 lähtien noin 6000 TWh. Vuosikasvu on ollut noin 500 TWh, jonka kattamiseen uutta sähkötehoa tarvitaan noin 100–120 GW joka vuosi. Sen lisäksi tulee korvata poistuva kapasiteetti, joka on noin 40–60 GW. Niiden lisäksi aurinko- ja tuulivoima (60–80 GW) edustavat lähinnä energiaa ei kapasiteettia.

Kulutuksen kasvu on ollut suurinta Kiinassa, jossa sähkönkulutus on kasvanut vuoden 2000 jälkeen 3300 TWh eli keskimäärin 300 TWh joka vuosi. Se on perustunut suureksi osaksi hiilivoimaan, jonka vuoksi hiilivoimalaitoksia on rakennettu noin 60–80 GW vuosittain. Se vastaa noin yhtä 1200 MW hiilivoimalaa joka viikko.

2.4 SÄHKÖN SIIRTO JA JAKELU

2.4.1 Vastuunjako

Suomessa noin 70 voimayhtiötä, jotka vastaavat sähkön tuotannosta ja myynnistä. Tuotantoyhtiö voi toimia myös sähkön jakelijana. Suurimmat yhtiöt, joiden siirtämä sähkömäärä on yli 200 GWh vuodessa, ovat joutuneet erottamaan sähkönjakelun sähkönmyynnistä erilliselle yhtiölle.

Vapaan kilpailun piiriin kuuluvissa maissa sähkönsiirrosta ja järjestelmän ylläpidosta vastaa yleensä erillinen ja itsenäinen kantaverkkoyhtiö. Se ei itse voi toimia sähkön myyjänä, koska se on järjestelmäoperaattorina toimiessaan monopoliasemassa. Sen sijaan kantaverkkoyhtiö toimii yleensä valtakunnan tai kansainvälisten sähköpörssien omistajana.

Suomessa järjestelmävastaavana ja siirtoverkon omistaja toimii Fingrid Oyj. Suomen valtio omistaa yhtiöstä noin 53 %, kun energiayhtiöt Fortum ja Pohjolan Voima Oy myivät osuutensa yhtiöstä valtiolle ja vakuutusyhtiöille EU:n uusien sähkömarkkina-direktiivien pakottamana. Näin Fingridiä voidaan nyt pitää lähes riippumattomana verkkoyhtiönä, kun se aiemmin oli Fortumin ja Pohjolan Voiman hallinnassa oleva yhtiö.

Sähköntuotanto ja -myynti ovat vapaan kilpailun piiriin kuuluvaa toimintaa. Jokainen myyjä vastaa siitä, että hän hankkii joka tunti myyntiä vastaavan määrän sähköä. Jos tase ei täsmää, niin myyjä joutuu ostamaan puuttuvan sähkön ns. tasesähkömarkkinoilta, jossa sähkö on yleensä kalliimpaa kuin muualla. Pulatilanteessa sähkön hinta on noussut jopa tasolle 1400 €/MWh.

2.4.2 Sähkönsiirto

Sähköä siirretään korkeajännitteisessä (440 kV ja 220 kV) kantaverkossa pitkiä matkoja voimalaitoksista kulutuskeskuksiin. Suomessa sähköä siirretään pääasiassa pohjoisen vesivoimalaitoksista etelään ja Venäjän tuontilinkeiltä idästä länteen. Ruotsin siirtoyhteydet toimivat huonoina vesivuosina Suomesta Ruotsiin päin ja hyvinä päinvastaiseen suuntaan. Sähkö pyrkii virtaamaan aina kohti kalliimpia markkinoita.

Siirtoverkkoon kuuluvat myös muuntoasemat ja niiden yhteydessä olevat kytkinlaitokset. Kytkinlaitosten katkaisijat erottavat vikakohdan muutamassa millisekunnissa, jos johdossa on oikosulku tai maasulku. Käytännössä näin pystytään eristämään vika ennen, kun se leviää muualle.

Sähkön siirron kustannukset muodostuvat sähkön syötöstä suurjänniteverkkoon ja verkosta otosta. Lisäksi siirrettävällä sähköllä on säätö-, varateho-, pääoma-, käyttö-, häviö- ja loistehokustannuksia. Sähkön siirron kustannukset ovat yhteensä noin 3–5 €/MWh, josta tulee noin 5–10 % lisä sähkön markkinahintaan.

2 Sähköhuolto

2.4.3 Sähkönjakelu

Kuluttajille siirretyn sähkön jakelu tapahtuu paikallisten verkkoyhtiöiden toimesta. Yhtiöt tuottavat yleensä osan sähköstään ja ostavat loput kantaverkosta. Käytännössä sähkön siirto alueen sisällä pienasiakkaille tapahtuu 20 kV:n ja 400 V:n jakeluverkoissa. Suurasiakkaat saavat sähkönsä usein suoraan kantaverkosta tai 110 kV:n verkosta.

Sähkön jakelu muodostaa melkein puolet sähkön pienjännitesähkön kokonaiskustannuksista. Sähkön siirtomaksut ja sähköverot peritään yleensä jakeluyhtiön toimesta. Näin jakelu ja siirto tulevat pienasiakkaalle melkein yhtä kalliiksi kuin itse sähköenergia.

Sähkömarkkinoiden toimintaa voidaan verrata tavanomaisen vähittäistavarakaupan kaupankäyntiin. Siinä kauppias ostaa tarvikkeet tukusta ja hakee ne jakeluautolla kaupan hyllylle. Kaupan asiakkaat voivat hakea tavarat kaupasta, mutta sähkö jaellaan aina kotiin asti.

2.4.4 Taajuuden ylläpito

Jokainen sähkömarkkinaosapuoli pyrkii pitämään ostonsa ja myyntinsä joka minuutti tasapainossa. Tämä ei kuitenkaan käytännössä onnistu. Jos kulutusta on enemmän kuin tuotantoa, taajuus pyrkii laskemaan.

Tuotannon ja kulutuksen tasapainoa hoidetaan lyhytaikaisesti sekuntien sisällä taajuussäädön avulla. Minuuttien tasolla säädöstä huolehditaan ns. säätösähkön markkinoilla, joista huolehtivat kantaverkkoyhtiöt yhteispohjoismaisesti.

Jatkuva taajuussäätö toimii, kun taajuus vaihtelee välillä 49,9–50,1 Hz. Taajuuden laskiessa alle 50 Hz:in säätävä laitos lisää sähkön tuotantoa. Taajuuden noustessa vastaavasti tuotantoa lasketaan.

Taajuussäätöön osallistuu jokainen Pohjoismaa sähkön käytön suhteessa. Suomen vastuulla taajuuden ylläpidosta on 90 TWh:n osuus Pohjoismaiden 400 TWh:n kokonaiskulutuksesta. Käytännössä Suomen vastuuosuus taajuussäädöstä hoidetaan Pohjois-Suomen vesivoimalaitosten avulla.

2.4.5 Tuotantohäiriöt

Kantaverkkoyhtiö on varautunut myös ennakoitavissa olevien verkon ja tuotantokoneiston häiriöihin. Suunnittelun lähtökohtana on, ettei mikään yksittäinen vika saa verkkoa pois toiminnasta (ns. (n-1)-kriteeri). Jos suurin käytössä oleva voimalaitos, Olkiluodon 860 MW:n yksikkö, putoaa äkkiä verkosta, sen aiheuttama sähkövajaus (860 MW) pitää täyttää 30 sekunnissa. Taajuussäätö pitää puolestaan palauttaa toimintakykyiseksi 15 minuutin sisällä, nopeiden varavoimalaitosten avulla.

2 Sähköhuolto

Jos taajuus laskee alle 49,9 Hz:n, käynnistyvät yhteispohjoismaiset taajuusohjatut reservit 5–30 sekunnissa täyteen tehoonsa. Näitä on Pohjoismaissa yhteensä 1200 MW. Tämän jälkeen taajuusohjatut reservit täytyy vapauttaa uuden häiriön varalle viimeistään 15 minuutin kuluttua häiriön alkamisesta ns. nopeiden reservien avulla. Käytännössä on sovittu, että kukin Pohjoismaa korvaa poispuodonneen voimalansa tehon nopeiden reservilaitosten avulla siten, että Ruotsin rajajohtojen teho on 15 minuutin kuluttua sama kuin ennen häiriön alkamista.

Nopeat reservit käynnistetään seisokista täyteen tehoon noin 5–15 minuutin kuluttua käynnistyskäskystä, joka annetaan Fingridin keskusvalvomosta Helsingistä. Suomessa nopeita reservejä on syksyllä 2012 noin 1240 MW:n tehon edestä. Osa reserveistä muodostuu poiskytkettävistä teollisuuskuormista.

Koko Etelä-Ruotsin pimentänyt sähkökatko vuonna 2003 aiheutui siitä, kun Oskarshamnin ydinvoimalan 1200 MW:n tehoinen kolmas yksikkö meni pikasulkuun ja sen jälkeen noin 5 minuutin kuluttua tapahtui toisella sähköasemalla maasulku. Järjestelmä olisi kestänyt kumman tahansa vian erikseen, mutta ei kahta vikaa, jotka tapahtuvat alle 15 minuutin sisällä toisistaan.

Pohjoismaat pohtivat, tulisiko kriteerejä tiukentaa. Esimerkiksi Kaliforniassa on käytössä nopeiden reservien lisäksi ns. 30 minuutin reservejä siten, että ne riittävät joka hetki korvaamaan puolet toiseksi suurimman yksikön tehosta. Järjestelmä on tällöin n–1,5-tyyppinen, eli se varautuu korvaamaan 150 % suurimman yksikön tehosta.

Ongelmat kasvavat, kun Suomessa on käytössä kaksi 1600 MW ydinvoimalaa. Tällöin pitää varautua siihen, että toisen ydinvoimalan putoamisen jälkeen putoaa myös toinen voimala verkosta esimerkiksi 15–30 minuutin kuluttua ensimmäisen putoamisesta.

Tällöin alle sekunnissa reagoivaa varatehoa pitää olla ensimmäisen voimalan (Olkiluoto 3) putoamisen takia 1300 MW, koska verkko on mitoitettu kestäämään 1300 MW:n voimalan poisputoamisen. Tämän jälkeen 1300 MW:n epätasapaino kompensoidaan 15 minuutin sisällä käynnistävillä nopeilla reserveillä.

Sen lisäksi tulee olla toiseksi suurimman yksikön tehon verran säätötehoa tai korvaavaa reservejä (Replacement Reserves), jolla nopeat reservit voidaan palauttaa takaisin valmiustilaan, jotta ne voivat kompensoida myös toiseksi suurimman yksikön poisputoamisen. Niiden käynnistymisnopeusvaatimus on USA:ssa 30–60 minuuttia.

2.4.6 Siirto- ja jakeluhäiriöt

Usein häiriössä on kysymys sähkön jakeluhäiriöstä, joissa puut kaatuvat linjoille myrskyn tai lumen takia ja katkaisevat sähkönjakelun paikallisesti. Myös korjausten ja huoltojen aikana voi tapahtua pahoja häiriöitä. Esimerkiksi kesällä 2003 tapahtunut maasulku Kruununhaan sähköasemalla pimensi sähköt melkein kaikilta Helsingin seudun asukkailta.

2 Sähköhuolto

Valtakunnan verkon avojohdot ovat sen verran korkealla ja johtokadut niin leveitä, että myrskyt eivät pääse vaikuttamaan sähkön korkeajännitesiiirtoon. Kuitenkin vuonna 2003 Koillis-Yhdysvalloissa 50 miljoonaa ihmistä jäi noin vuorokauden ajaksi ilman sähköä, kun ensin puu kaatui suurjännitelinjalle eivätkä operaattorit reagoineet vikaan riittävän nopeasti. Koko Koillis-Yhdysvaltojen sähköverkko kaatui asema toisensa jälkeen kuin dominonappulat.

Yhdysvaltojen sähkökatkoksen ongelmana oli myös tietokoneiden ja simulointi-ohjelmien hitaus. Ne laskivat verkon tilan vain 10 minuutin välein. Tällöin ne eivät kerro juuri sen hetken tilannetta vaan historiaa. Nyt tietokoneet on ohjelmoitu laskemaan Koillis-Yhdysvaltain verkon tila 5 minuutin välein. Tämäkin saattaa olla liian hidaskäyttö kaskadihäiriöissä, jollaiseksi vuoden 2003 häiriö määriteltiin.



Kuva 2.4.1 Vuoden 2003 sähköhäiriössä New York oli vuorokauden ilman sähköä.

Yleisimmät ongelmat jakeluverkoissa aiheutuvat puiden kaatumisesta avojohtojen päälle. Esimerkiksi tammikuun alussa 2005 Etelä-Ruotsissa ollut Gudrun-myrsky aiheutti sen, että tuhansia kotitalouksia oli ilman sähköä yli kuukauden. Tämän jälkeen moni omakotitalon ja maatilan omistaja hankki itselleen oman dieselgeneraattorin, jonka avulla välttämättömimmät toiminnot voitiin hoitaa.

2 Sähköhuolto

Suomessa oli Tapaninpäivän 2011 myrskyn jälkeen tuhansia talouksia yli viikon ilman sähköä. Pahiten myrsky vaikutti Lounais-Suomessa, jossa sähköt puuttuivat 310.000 asiakkaalta. Pisimpään katko kesti joillakin asiakkailla yli kaksi viikkoa. Samalla havaittiin ongelmia etenkin matkapuhelinverkkojen, viemäri- ja kaukolämpölaitosten toiminnassa, koska monessa paikassa varavoimalaitteet puuttuivat.

2.4.7 Miten varaudut sähkökatkoksen varalle

Puolustusministeriö on tehnyt ohjeet pitkäaikaisten sähkökatkosten varalle. Varautumisohjeet löytyvät nettisivuilta

(http://www.defmin.fi/files/1275/Pahasti_poikki_netdiversio.pdf):

- 1) Käännä kodinkoneet pois päältä (sähköhella, pesukone, valot, televisio).
- 2) Valot sammuvat. Osta patterivalaisin, kynttilöitä ja tulitikkuja!
- 3) Veden tulo lakkaa pian. Laske heti varavettä astiaan!
- 4) Vessa lakkaa toimimasta. Varaa ämpäri varavessaksi!
- 5) Kaupat menevät kiinni. Varaa varamuonaa etukäteen!
- 6) Pankkiautomaatit eivät toimi. Pidä aina käteistä mukana!
- 7) Joukkoliikenne pysähtyy. Varaudu oman auton käyttöön!
- 8) Bensiiniasemat eivät toimi. Pidä tankki aina täynnä!
- 9) Lämmitys lakkaa öljy-, kaukolämpö- ja sähkölämpötaloissa. Sulje kaikki ikkunat ja väliovet! Pakkasella lämpö laskee jopa yhden asteen tunnissa. Kanna kaikki sängyt lämpimimpään huoneeseen.
- 10) Hanki varavoimala ja muuta kesämökille tai paikkaan, jossa on takka ja grilli sekä mahdollisuus valmistaa ruokaa.

Kun sähköt katkeavat esimerkiksi kovalla pakkasella, niin samalla Suomessa loppuu myös kaukolämmön tuotanto, koska kaukolämpöpumput pysähtyvät. Myös viemärit lakkaavat toimimasta, kun viemäripumput pysähtyvät. Suomessa kunnilla ei ole varavoimalaitoksia, joiden avulla voitaisiin ylläpitää lämmön tai veden tuotantoa.

Aggregaatit

Koska kuntien ja sähköyhtiöiden velvoitteita ei ole, kannattaa jokaisen varautua sähkökatkoksiin omatoimisesti. Varsinkin vesiputkien jäätyminen voi tulla kuluttajille kalliiksi. Kolmivaiheisen generaattorin voi kytkeä sähkökeskukseen katkon ajaksi ja

2 Sähköhuolto

tuottaa sillä kodin tarvitsema sähkö sähkökatkoksen aikana. Yksivaiheinen generaattori riittää pakastimien, jääkaappien ja mikroaaltouunien tarpeeseen. Myös takkalämmitys on hyödyllinen lämmönlähde sähkökatkosten aikana.

Esimerkiksi 5 kW:n varavoimala maksaa noin 500–1000 euroa, jos sen avulla halutaan pitää talon valaistus, lämmitys, pakastimet ja sähköliedet toiminnassa. Ongelma on, ettei tavallinen aggregaatti sovellu TV:n ja tietokoneiden virranlähteeksi, koska sen jännite voi vaihdella liikaa.

Elektronisia laitteita varten tarvitaan noin 1–2 kW:n elektroninen aggregaatti, joka maksaa noin 300–700 euroa (Kuva 2.4.2). Sen kehittämän jännitteen siniaalto ei vahingoita televisiota tai tietokoneita. Sillä voi myös pitää valaistuksen ja pakastimet toiminnassa, mutta sen teho ei riitä sähkölämmityksen tai sähköhellan käyttämiseen.



Kuva 2.4.2 Salkkumallinen aggregaatti, joka sopii myös herkkien laitteiden käyttämistä varten.

Aggregaatti kannattaa hankkia syksyllä hyvään sään aikana. Esimerkiksi vuoden 2011 Tapaninpäivän myrskyn jälkeen ne myytiin loppuun kaikista kaupoista.

Kuntien varavoimalat

Ruotsissa myös kunnat ovat varautuneet hoitamaan paikallisen sähkö- ja lämpöhuollon, vaikka valtakunnanverkko olisi pimeänä pitkäänkin. Suomessa vastaaviin häiriöihin ei ole varauduttu. Suomessa valtiovalta kehottaa sen sijaan kotitalouksia hankkimaan varavoimalan.

Myös Suomen kuntien olisi hyvä varautua pitkiin sähkökatkoksiin rakentamalla varavoimalaitoksia. Koska maasta puuttuu huippu- ja varatehoa noin 2500–3500 MW, varavoimalaitoksia olisi järkevää sijoittaa hajautetusti myös kaukolämmitysvoimalaitosten, lämpökeskusten ja vesilaitosten tonteille.

Kullekin kaukolämpövoimalan tontille voisi laittaa esimerkiksi kaksi 10 MW:n diesel/kaasuvoimalaa, jolloin niiden avulla olisi mahdollista käynnistää ja ylläpitää kaupunkien sähkön ja lämmöntuotantoa myös pitkien sähkökatkojen aikana. Noin 10

2 Sähköhuolto

MW:n diesel/kaasuvoimala voi käynnistyä ilman verkosta saatava sähköä ja sen teho riittää käynnistämään myös kaukolämpöpumput tai kaukolämpövoimalan syöttövesipumput.

Liikenteen varavoimat

Näkisin myös tarpeelliseksi, että myös VR varustaisi pääraitojen sähkönsyötöt varavoimalaitosten avulla. Suuri sähkökatkos pakkasella olisi katastrofi, jolloin junaan jäävät ihmiset voivat paleltua, koska niissä ei ole lämmitystä. Myös metron sähkönsyöttö olisi järkevää varustaa varavoimalaitoksilla. Helsingin metro on vailla varavoimaa, mutta Pietarin metron varavoimadieselit pitävät liikennettä yllä myös sähkökatkojen aikana.

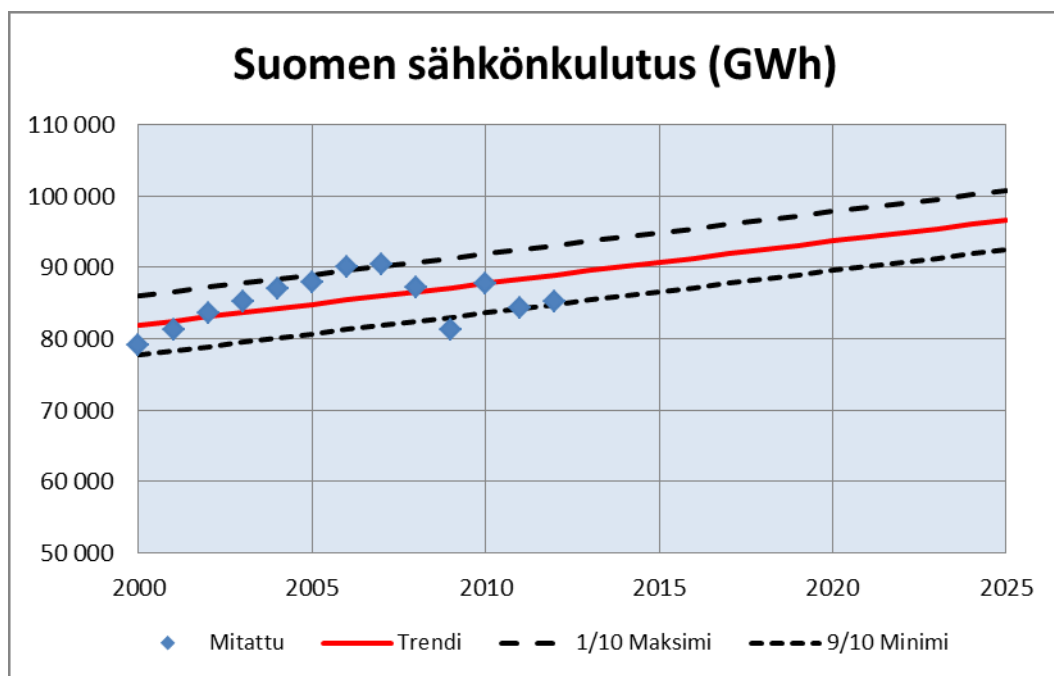
Varavoimaa tarvittaisiin myös tärkeimpien lentokenttien sähköntuotannon varmistuksessa. Esimerkiksi Madridin lentokenttä voi toimia normaalisti, vaikka koko muun Espanjan sähköverkko on pimeänä. Näin tapahtui vuoden 2006 sähköhäiriössä, jolloin koko läntinen Eurooppa oli muutaman tunnin vailla sähköä.

2.5 SÄHKÖHUOLLON TULEVAISUUDENNÄKYMÄT

2.5.1 Sähkönkulutus vuonna 2025

Sähkön tarve on kasvanut Suomessa voimakkaasti vuoteen 2007 asti. Kasvu on ollut keskimäärin 1,6 TWh vuodessa. Tämän jälkeen on kulutus pysynyt laman takia suunnilleen ennallaan. Kasvutrendi vuoden 2000 jälkeen on ollut noin 0,6 TWh vuodessa.

Tulevaisuuden sähköntarpeen ennusteessa tässä oletetaan kasvun jatkuvan seuraavien 12 vuoden ajan keskimäärin 0,6 TWh vuodessa, jolloin vuonna 2025 Suomessa kuluisi sähköä noin 92–100 TWh 80 %:n varmuudella (Kuva 2.5.1).



Kuva 2.5.1 Sähkön kulutusennuste vuodelle 2025 on 92–100 TWh

Sähkönkulutuksen kasvu johtuu elintason kasvusta. Uusia taloja rakennetaan ja ihmiset ostavat kodinkoneita. Sähköenergia syrjäyttää myös muita energiamuotoja. Suomessa on vielä noin 220 000 öljyllä lämpiävää taloa. Jos öljylämmitystalot siirtyvät lämpöpumppulämmitykseen, sähkön käyttö kasvaisi noin 1–2 TWh.

2 Sähköhuolto

Junat ovat jo siirtyneet pääosin öljystä sähköön ja jatkossa autot siirtyvät sähköön, kun ladattavat hybridautoet tulevat laajemmin myyntiin. Vuonna 2025 ostettavista uusista henkilöautoista jo kolmannes voisi olla ladattavia hybridautoja. Jos ladattavia hybridi- tai sähköautoja on 500.000 kappaletta ja jokaisella ajetaan 10.000 km sähköllä, sähköä tarvitaan 2000 kWh autoa kohti ja yhteensä 1 TWh.

2.5.2 Suomen sähköntuotanto vuonna 2025

Sähkönhankinta Suomessa vuonna 2025 on esitetty Taulussa 2.5.1. Siinä on oletettu, että Suomessa olisi seitsemän ydinvoimalaa, joiden vuosituotanto olisi 56 TWh, jolloin ne tuottaisivat hieman yli puolet kaikesta sähköstä. Ydinsähkön tuotanto olisi 10.000 kWh asukasta kohti, jolloin Suomessa tuotettaisiin enemmän ydinsähköä kuin missään muussa maassa maailmassa.

Taulu 2.5.1 Sähkönhankinta Suomessa (TWh).

Vuosi	1990 TWh	2000 TWh	2010 TWh	2020 TWh	2025 TWh	2025 %
Vesi	10,8	14,5	12,7	13	13	13 %
Tuuli	0,0	0,0	0,3	4	7	7 %
Ydin	18,1	21,6	21,9	35	56	56 %
Bio	5,0	9,1	11,5	15	16	16 %
Yhteensä	33,9	45,2	46,4	67	92	91 %
	54 %	57 %	53 %	68 %	91 %	
Hiili	9,0	8,0	13,6	12	2	2 %
Turve	2,8	3,7	5,9	5	2	2 %
Kaasu	4,4	9,9	11,0	10	5	5 %
Öljy	1,6	0,5	0,4	0	0	0 %
Yhteensä	17,8	22,1	30,9	27	9	9 %
	29 %	28 %	35 %	28 %	9 %	
Tuonti	10,7	11,9	10,5	3	0	0 %
Yhteensä	62,4	79,2	87,8	98	101	100 %
Indeksi	100,0	126,9	140,7	156,8	161,5	

Uusiutuvien sähköntuotantomuotojen osuus vuonna 2025 olisi 36 TWh (36 %), josta 16 TWh tuotetaan biovoimalla, 13 TWh vesivoimalla ja 7 TWh tuulivoimalla. Fossiilisiin polttoaineisiin perustuva sähköntuotanto olisi 9 TWh (9 %), josta 5 TWh maakaasuvoimalaitoksissa sekä 2 TWh turve- ja kivihiiililaitoksissa.

Sähköntuotannon hiilidioksidipäästöt ovat olleet vuodesta 1990 lähtien noin 200 g/kWh vuodessa (Taulu 2.5.2). Kun Olkiluoto 3 ja uudet tuulivoimalat valmistuvat päästöt ovat vuonna 2020 noin 160 g/kWh. Jos maahan valmistuu lisäksi kaksi uutta ydinvoimalaa, niin vuonna 2025 päästöt olisivat 43 g/kWh.

2 Sähköhuolto

Taulu 2.5.2 Suomen sähköntuotannon hiilidioksidipäästöt.

Vuosi	1990 Mt	2000 Mt	2010 Mt	2020 Mt	2025 Mt	2025 %
Hiili	6	6	10	8	1	33 %
Turve	2	3	4	4	1	33 %
Kaasu	1	3	3	3	2	35 %
Öljy	1	0	0	0	0	0 %
Yhteensä	11	12	17	15	4	100 %
Indeksi	100,0	107,6	161,0	141,9	40,2	
g/kWh	207	171	223	161	43	

Lisäsäästöä hiilidioksidipäästöissä voitaisiin aikaansaada sillä, että pääkaupunkiseutu siirtyisi ydinkaukolämmön käyttöön Loviisaan rakennettavan ydinvoimalan ansiosta. Tällöin päästöt pienenevisivät edelleen, kun myös lämmöntuotanto tulisi suureksi osaksi päästöttömäksi.

2.5.3 Sähköntuotantokustannukset

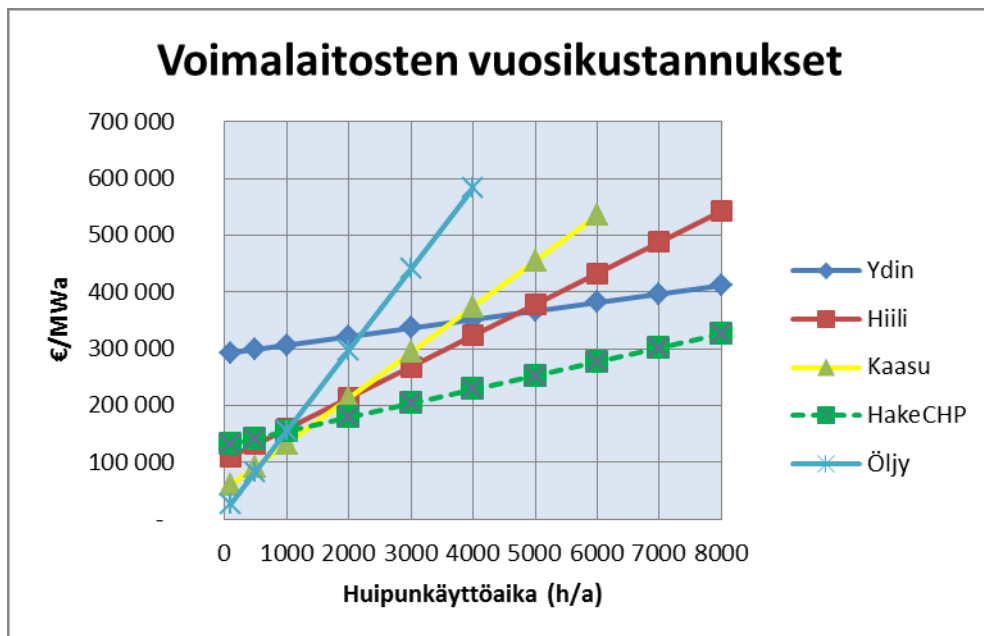
Sähköntuotantokustannukset on laskettu liitteessä 1.1 pelkästään sähköä ja liitteessä 1.3 sähköä ja lämpöä tuottaville voimalaitoksille. Sähkön omakustannushinta eri voimalaitoksille pohjakuormakäytössä on esitetty Taulussa 2.5.3.

Taulu 2.5.3 Sähkön omakustannushinnat eri tuotantotavoilla.

Polttoaine	Ydinvoima €/MWh	Kivihiili €/MWh	Puuhake €/MWh	Maakaasu €/MWh	Tuulivoima €/MWh
Pelkkää sähköä - 7500 h/a	54	69		88	54
Sähkö ja lämpö - 5000 h/a		50	51	60	

Taulusta voidaan todeta, että kivihiili- ja puuhakekäyttöiset lämmitysvoimalat tuottavat edullisinta sähköä (50 €/MWh). Tuuli- ja ydinvoimaloiden sähkö on hieman kalliimpaa (54 €/MWh). Maakaasu- ja hiililauhdutusvoimalat tuottavat näillä polttoainehinnoilla ja 20 €/t päästömaksuilla selvästi kalliimpaa sähköä.

Kun voimalaitosten vuosikustannukset esitetään kustannussuorina, voidaan havaita kunkin voimalaitostyyppin kilpailukyky muihin verrattuna eri käyttöajoilla (Kuva 2.5.2). Kuvan mukaan hakekäyttöinen biovoimala tuottaa edullisinta sähköä aina, kun huipunkäyttöaika on suurempi kuin 1500 tuntia vuodessa.



Kuva 2.5.2 Sähköntuotantokustannukset eri huipunkäyttöajoilla.

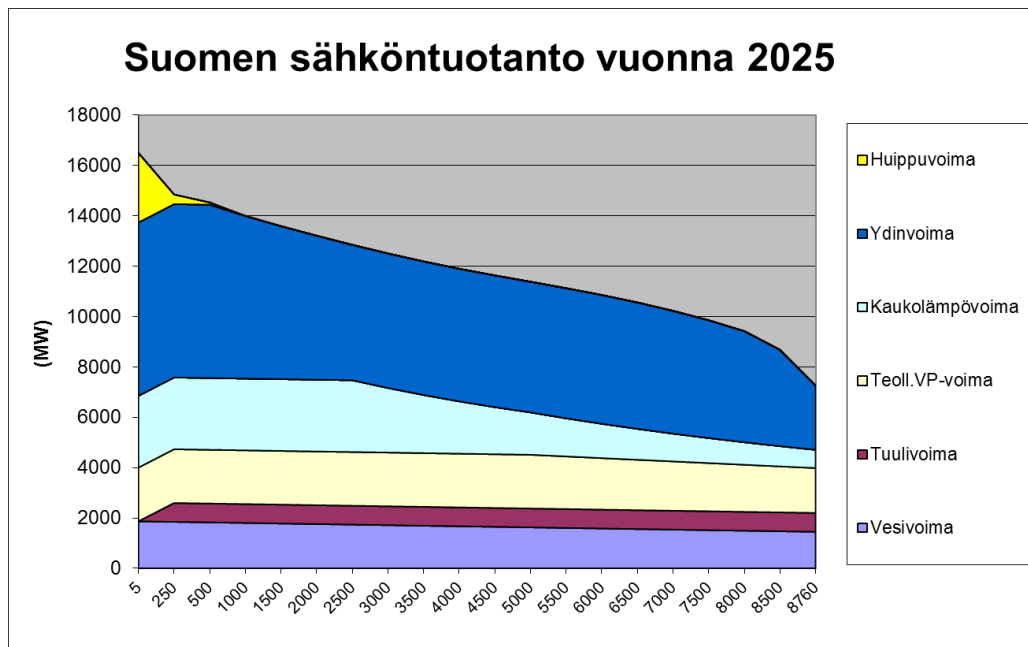
Jos hakevoimaa ei ole saatavilla, ydinvoima tuottaa edullisinta sähköä, kun huipunkäyttöaika on suurempi kuin 5000 tuntia vuodessa. Hiilivoima on edullisin tuottaja silloin, kun huipunkäyttöaika on välillä 2000–5000 tuntia. Kaasuvoima tuottaa edullisinta sähköä välillä 500–2000 tuntia ja öljyvoima, kun käyttöaika on vähemmän kuin 500 tuntia vuodessa.

2.5.4 Pysyvyyskäyrä vuonna 2025

Vuonna 2025, jos Suomeen on valmistunut kolme uutta ydinvoimalaa, 3000 MW tuulivoimaa ja 2500 MW uutta huippu- ja varavoimatehoa tuonin ja ydinvoimalan poisputoamisen varalle, on sähkön tuotannon rakenne kuvan 2.5.3 mukainen.

Ydinvoimaa on niin paljon, että hiilivoimalat käynnistyvät vasta, kun tarvitaan huippuvoimaa, jonka käyttöaika on alle 1000 tuntia vuodessa. Tämän vuoksi hiilivoimasta tulee huippuvoimaa, mutta se ei siihen tehtävään sovellu, koska hiilivoimalan käynnistys kestää useita tunteja.

Koska tehovajaus on noin 2500 MW, puuttuva teho olisi järkevintä kattaa diesel- tai kaasu/öljyvoimalaitoksilla, jotka käynnistyvät 5 minuutissa aina kulloisenkin tarpeen mukaisesti. Jos ne sijoitettaisiin hajautetusti suurimpien kaupunkien ja voimalaitosten yhteyteen, niiden avulla voitaisiin turvata myös paikallisten kriittisten kohteiden sähkön toimitus mahdollisten sähkökatkojen aikana.



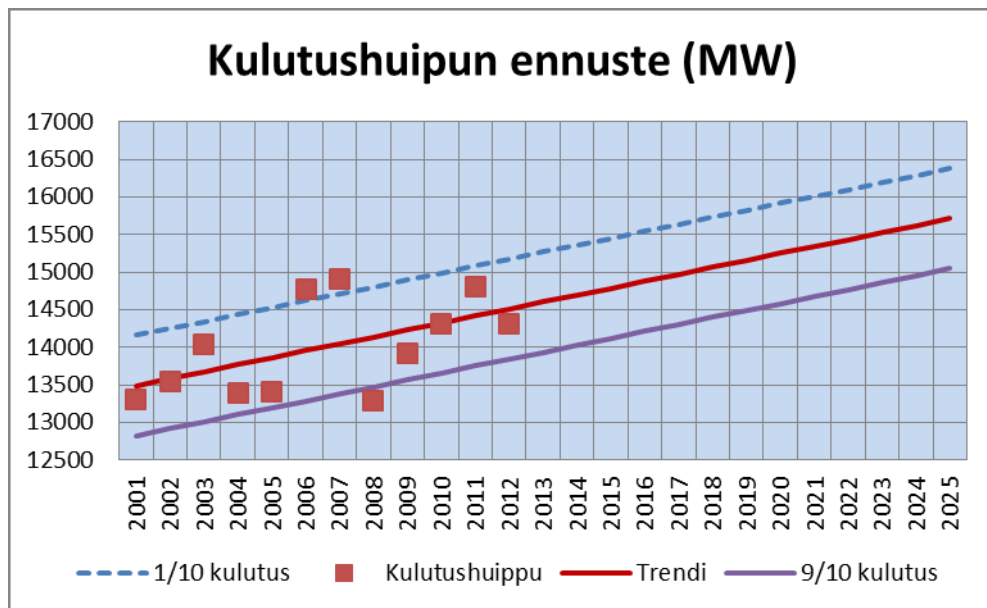
Kuva 2.5.3 Suomen sähköntuotanto, kun Suomeen on rakennettu kolme 1600 MW:n ydinvoimalaa, 3000 MW tuulivoimaa ja 2500 MW huippu- ja varavoimaa.

2.5.4 Kulutuksen huipputeho

Kun kulutus kasvaa, niin kulutuksen huipputeho kasvaa väistämättä. Kulutuksen huipputehon kasvu on vuodesta 2000 lähtien ollut keskimäärin 90 MW vuodessa. Huipputeho kasvaa nopeammin kuin sähkön tarve, koska Suomeen asennetaan esimerkiksi paljon ilmalämpöpumppuja, jotka pienentävät sähkön kulutusta, mutta ne kytkeytyvät yleensä pois alle -20 asteen pakkasilla, jolloin ne korvataan tavallisilla sähköpattereilla.

Kuvassa 2.5.4 on esitetty mitattu huipputehon kasvu ja kasvutrendi sekä 1/10-vaihteluväli, jonka sisälle tehon tarve mahtuu 80 %:n todennäköisyydellä. Tästä havaitaan, että huipputehon kasvu on jatkunut vaikka sähkönkulutus on pysynyt lähes ennallaan muutaman vuoden.

Kansainvälisten suunnittelukriteerien mukaan voimalaitoskapasiteettia tulee olla niin paljon, että sen avulla voidaan täyttää ennustettu huipputeho 90 %:n varmuudella (kuvan ylempi käyrä). Suunnittelussa tulisi varautua siihen, että huipputeho vuonna 2025 on noin 16 500 MW. Sen lisäksi tarvitaan varatehoa (tehoreservejä) ja järjestelmäreservejä, joiden avulla tehon riittävyys voidaan varmistaa kaikissa tilanteissa.



Kuva 2.5.4 Kulutuksen huipputeho on kasvanut vuoden 2001 jälkeen 90 MW vuodessa.

2.5.5 Voimalaitoskapasiteetti

Suomen voimalaitoskapasiteetin teho talvella 2012/13 oli noin 13.600 MW (Taulu 2.5.4) ilman järjestelmäreservettä, mutta tehoreservit mukaan laskettuna. Kun siitä vähennetään suurimman yksikön teho, jonka poisputoamiseen täytyy varautua ja muiden laitosten vikojen takia poissa oleva kapasiteetti (3 %), tulee järjestelmän käytettävissä olevan kapasiteetin määräksi 12.350 MW. Kun laskennallinen kulutuksen huipputeho oli 15.260 MW, tulee kapasiteetin vajaukseksi 2900 MW.

Viidennen ydinvoimalan valmistumisen jälkeen vuonna 2020 kulutuksen huipputeho on 16.000 MW ja kapasiteetti 13.680 MW, kun sen lisäksi rakennetaan vesivoimaa 200 MW ja CHP-laitoksia 300 MW. Vajaus olisi 2300 MW (sarake C). Jos uutta huippu- ja varavoimatehoa rakennetaan 2500 MW, niin tehovajaus voidaan kattaa (sarake D).

Talvella 2025/26 tehotilanne olisi ylijäämäinen, jos yksi suunnitteilla olevista kahdesta 1600 MW ydinvoimalasta valmistuu siihen mennessä. Tällöin vanhat hiililauhdevoimalat voidaan poistaa käytöstä. Vuonna 2028 pitää varautua myös siihen, että Loviisan ydinvoimala otetaan pois käytöstä, kun sen lisenssi päättyy. Luultavasti Fortum haluaa rakentaa vähintään yhden 1000 MW:n ydinvoimalan siihen mennessä, jolloin se korvaa puuttuvan 1000 MW:n tehon, joka Loviisassa on tällä hetkellä.

2 Sähköhuolto

Taulu 2.5.4 Voimalaitoskapasiteetti vuosina 2020 ja 2025

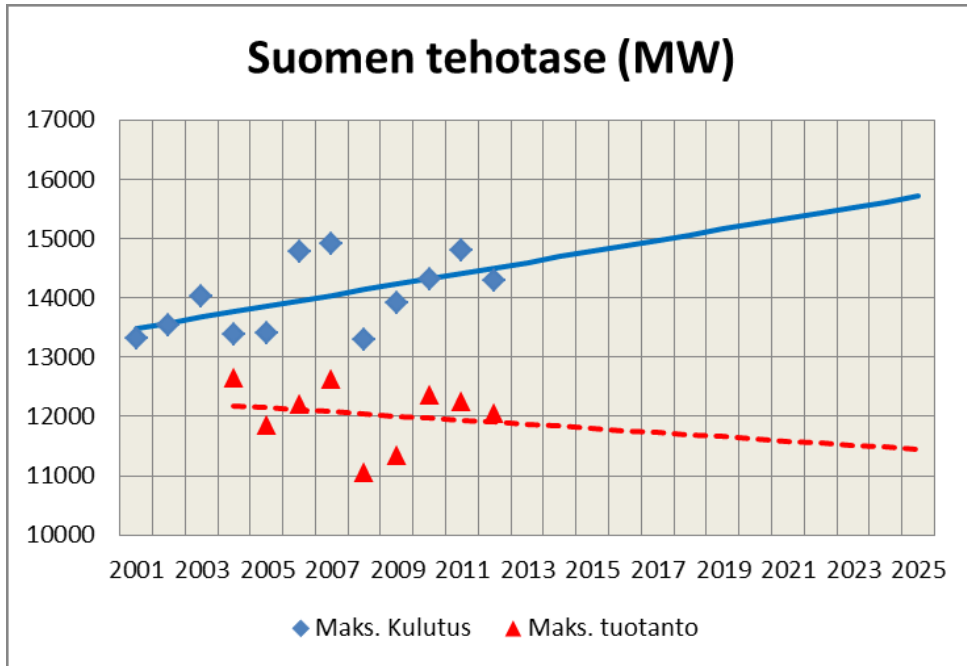
Talvi		2005/6	2012/13	2020/21	2020/21	2025/26
		A	B	C	D	E
Uutta ydinvoimaa				1 600	0	1 600
Uutta huippu- ja varavoimaa				0	2 500	0
Uutta CHP-kapasiteettia				300	0	0
Uutta vesivoimaa				200	0	0
Kapasiteetti	MW	13 600	13 600	15 700	18 200	19 800
Suurin yksikkö	MW	-865	-865	-1 600	-1 600	-1 600
Muiden epäkäytettävyys (3 %)	MW	-382	-382	-423	-498	-546
Käytettävissä oleva kapasit.	MW	12 353	12 353	13 677	16 102	17 654
Kulutuksen huipputeho (1/10)	MW	-14 620	-15 260	-16 000	-16 000	-16 517
Kapasiteetin vajeus	MW	-2267	-2907	-2323	102	1137
Vajeus/Huipputeho	%	-16 %	-19 %	-15 %	1 %	7 %

Kapasiteettitilannetta voidaan verrata myös Sähköntuottajien yhteistyövaltuuskunnan STYV84-sääntöihin, jonka mukaan maassa pitää olla -15 °C pakkasessa varatehoa vähintään 14 % kulutuksen huipputehoon verrattuna.

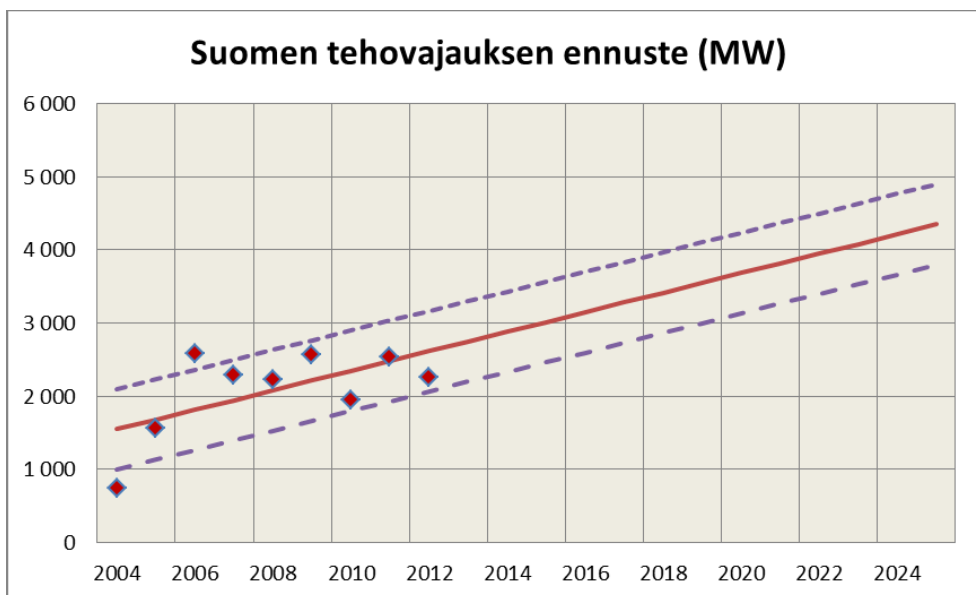
Joulukuun viidentenä päivänä 2012 kello 8:n ja 9:n välillä Suomessa oli -15 °C pakkasena. Sähkön hinta Suomessa oli sillä hetkellä 300 €/MWh, jolloin myös kaasuturpiinit olivat käytössä. Ruotsin hinta oli 100 €/MWh ja Suomeen tuotiin sähköä 1800 MW. Kapasiteettia oli käytössä 10.700 MW, kun kulutus oli 13.200 MW. STYV84-ohjeen mukaan kapasiteettia olisi pitänyt olla 13.200 MW x 1,14 eli 15.050 MW. Sitä oli vain 12.300 MW, kun tehoeservit lasketaan mukaan, joten kapasiteetin vajeus oli 2750 MW.

ENTSO-E:n kriteerien mukaan jokaisessa maassa tulee olla luotettavasti käytettävissä (reliably available) olevaa kapasiteettia 5 % yli kulutuksen huipputehon. Jos kulutuksen huipputehon arvio on nyt 15.000 MW, ENTSO-E:n mukaan kapasiteettia tulee olla 15.000 MW x 1,05 eli 15.800 MW. Kapasiteetin vajeus on näin laskien 15.800–12.300 eli 3500 MW.

Kaikki kolme eri tapaa laskea antavat kapasiteetin vajauksen, joka on välillä 2750 MW–3500 MW. Taulussa 2.5.4 esitetty tapa on näiden keskivaiheella. Koska tehon tarve kasvaa noin 100 MW vuodessa, uusi 1600 MW Olkiluodon 3. voimala ei poista vajetta. Vaje on vuonna 2020 vielä noin 2300 MW (sarake C), jos muuta tehoa ei rakenneta.



Kuva 2.5.5 Kulutuksen ja tuotannon tehohippujen kehitys (Lähde Fingrid).



Kuva 2.5.6 Suomen tehovajauksen ennuste. Ylempi suora laskettu 90 % varmuudella.

2 Sähköhuolto

Tehovajeen poistamiseksi tarvitaan noin 2500 MW joustavaa kapasiteettia, joka pystyy seuraamaan kulutuksen nopeaa nousua varsinkin aamutunteina ja pystyy paikkaamaan esimerkiksi Olkiluoto 3 laitoksen poisputoamisen aiheuttaman 1600 MW tehovajeen.

Yhteenvedona tehovajauksesta on kuvassa 2.5.5 esitetty kulutuksen huipputehon ja tuotannon huipputehon kehittyminen vuoden 2004 jälkeen. Siitä nähdään, että kulutuksen huipputeho on kasvanut ja tuotannon huipputeho on pienentynyt. Kun kulutuksen huipputehosta vähennetään tuotannon huipputeho, saadaan tehovaje (Kuva 2.5.6). Vuonna 2015 Suomessa on 3500 MW vajeus kapasiteetissa, jos huoltovarmuus on tarkoitus toteuttaa 90 % varmuudella. Voimalaitoskapasiteetin vajeus on nyt Suomessa suurempi kuin missään muussa EU-maassa.

2.5.6 Tehovajeen syyt ja seuraukset

Tehovajeen syyt

- 1) Suomessa oli 1990-luvulle asti voimassa ns. kapasiteettivelvoite (STYV 84). Tällöin sähköntuottajia veloitettiin pitämään niin paljon kapasiteettia, että sitä on 14 % reservissä, kun ulkolämpötila oli -15 °C. Kapasiteettivelvoitteesta luovuttiin silloin, kun siirryttiin ns. vapaisiin sähkömarkkinoihin. Tämä on johtanut kapasiteettipulaan.
- 2) Toinen syy on voimayhtiöiden haluttomuus rakentaa uutta kapasiteettia. Jos sähköstä on pulaa, sähkön hinnat nousevat ja osakkeenomistajat hyötyvät. Esimerkiksi Fortum on rakentanut 2000-luvulla uutta tehoa Suomeen vain 250 MW, vaikka sen edeltäjä Imatran Voima Oy rakensi noin uutta tehoa keskimäärin yli 100 MW melkein jokaisena vuotena aina vuoteen 1990 asti.
- 3) Kolmas syy on uudet ulkomaiset toimijat, joilla ei ole Suomessa lainkaan omia voimalaitoksia. Esimerkiksi suuret sähköyhtiöt E.on ja Vattenfall toimivat käytännössä sähköpörssistä hankkimansa markkinasähkön tai Ruotsista tai Venäjältä tuotavan sähkön varassa.
- 4) Neljäs syy on Olkiluodon ydinvoimalan myöhästyminen. Tätä kirjoitettaessa Olkiluoto 3 on myöhässä alkuperäisestä aikataulusta seitsemän vuotta. On syytä varautua siihen, että voimala myöhästyy vielä yhden vuoden, jolloin laitos valmistuu vuonna 2017.
- 5) Viides syy on Venäjän sähkön halpa hinta. Näin ollen sieltä on kannattanut tuoda sähköä. Tämä syy on jo poistunut, koska Venäjällä on otettu käyttöön kapasiteettimarkkinat ja sähkön hinta on siellä huipun aikana jopa korkeampi kuin Suomessa. Nyt on vaarana, että sähköä aletaan huipun aikana viedä Suomesta Venäjälle.

2 Sähköhuolto

- 6) Venäjän sähkönkulutus kasvaa nopeasti ja on varauduttava siihen, että kaikki liikenevä sähkö tarvitaan maan omiin tarpeisiin vuoden 2012 jälkeen. Talvella 2011/12 Luoteis-Venäjän verkon huipputeho oli 15.300 MW, joka oli jo suurempi, kuin Suomen vuonna 2006 saavutettu suurin huipputeho 14.900 MW. Sähkön tuonti Venäjältä on muuttunut kapasiteettimaksujen takia siten, että Suomeen tuodaan sähköä lähinnä vain öisin.

Seuraukset

Suomalaiset saavat kylminä talvina varautua sähkön säännöstelyyn. Se tapahtuu Fingridin ohjauksessa. Kun kaikki reservit ovat käytössä, niin seuraavana aloitetaan kuormien pudotus kaikissa verkkoyhtiöissä yhtä aikaa.

Tällöin jokainen verkkoyhtiö pudottaa kuormia esimerkiksi 10 % siten, että vuoron perään kukin kaupunginosa on ilman sähköä esim. kaksi tuntia kerrallaan. Tällöinen varoitus annettiin Espoossa talvella 2006, mutta sitä ei kuitenkaan toteutettu. Tämän jälkeen tuli lama ja sähkön kulutus on pysynyt lähes ennallaan eikä varoituksia ole sen jälkeen annettu.

Ennen säännöstelyn aloittamista sähköpula voi johtaa korkeisiin sähkön hintoihin sähkön spot-markkinoilla. Hintapiikeistä saatiin esimakua talvella 2005/2006, jolloin sähkön hinta nousi yli 1000 €/MWh. Hinta nousee korkeaksi, kun sähkön kysyntä ylittää tarjonnan. Sähkön hinta on ajoittain noussut samoihin lukemiin myös muutaman kerran tämän jälkeen. Vuoden 2010 alkupuoliskolla sähkön hinta nousi monta kertaa yli 1000 €/MWh. Korkein hintapiikki oli 1400 €/MWh kolmen tunnin ajan helmikuussa 2010.

2.5.7 Tarvitaan uudet pelisäännöt

Kapasiteettimarkkinat

Vapaat markkinat ovat johtaneet Suomen pahaan kapasiteettiongelmaan, josta on toistaiseksi selvitty vain hyvällä tuurilla lämpimien talvien ansiosta. Sähkön tuotanto voidaan järkevästi varmistaa vain ottamalla käyttöön kapasiteettimarkkinat, joilla määritellään seuraavien kolmen talven kapasiteetti.

Tällaiset markkinat on otettu käyttöön USA:ssa esimerkiksi PJM:n (Pennsylvania, Jersey, Maryland) verkkoalueella. Kapasiteettivelvoite otettiin käyttöön uudelleen myös Kaliforniassa, kun siellä koettiin paha tehovaje vuosina 2000 ja 2001, jolloin sähköjä katkottiin kahdeksi tunniksi kerrallaan (rolling blackout). Myös Uudessa Englannissa oli pahoja sähköhäiriöitä vuonna 2003 ja sielläkin on nyt käytössä kapasiteettimarkkinat. Kapasiteettimarkkinat ovat auenneet myös Venäjällä. Niiden takia Venäjältä tuodun sähkön hinta on huipun aikana jopa korkeampi kuin Suomen aluehinta.

2 Sähköhuolto

Nyt myös EU:ssa on havahduttu kapasiteettiongelmaan ja valmistelun alla on uusi direktiivi, joka antaa pelisäännöt kunkin maan kapasiteettiongelmien ratkaisemiseksi. Ensimmäisenä lainsäädännön saa valmiiksi Iso-Britannia, jossa lainsäädäntö on vireillä. Samantapainen kapasiteettiongelma on myös Saksassa ja Belgiassa.

Pitkällä aikavälillä kapasiteettimarkkinoiden luominen olisi toivottavaa. Tällöin tehoreservien rakentaminen olisi sähkön myyjien ja tuottajien vastuulla. Samalla se ohjaisi sähköyhtiöitä pienentämään kuormia huippukuormien aikana, kuten tapahtui vielä 1980-luvulla. Tällöin esimerkiksi moneen sähkölämmitystaloon asennettiin sähkölämmityksen ohjausreleet, joita ei ole käytetty enää 2000-luvulla kuormien ohjailuun.

Täytyy kuitenkin olettaa, että EU:n kapasiteettimarkkinoiden luominen kestää ainakin vuoteen 2025. Lausunnoistaan päätellen ainakaan Ruotsin valtion omistama Vattenfall ja Norjan Statkraft eivät näe niitä tarpeellisiksi. Saattaa olla, että kapasiteettimarkkinat jäävät tämän vuoksi toteutumatta kokonaan.

Dynaaminen tasapaino

Kapasiteettiongelman lisäksi runsas tuuli- ja aurinkovoiman rakentaminen aiheuttaa myös ongelmia säätövoiman markkinoilla ja sähköverkon siirtokyvystä. Lyhytaikaisen tehotasapainon poikkeamien lisääntyminen on ollut nähtävissä jo pitkän aikaa yli 0,1 Hz:n taajuuspoikkeamien jatkuvana lisääntymisenä.

Tähän sopiva lääke olisi, jos kunkin maan tehotasapainoa mitattaisiin 10 sekunnin välein ja poikkeamat raportoidaan 10 minuutin jaksoissa. Näin menetellään USA:ssa monilla markkinoilla.

Jos maan tehotasapaino poikkeaa yli 10 % ajasta esimerkiksi 0,5 % seuraavan päivän maksimitehosta (esim. PJM), valtiolle määrätään velvoite tehdä lisää taajuusohjattuja reservejä. Esimerkiksi Coloradon sähköverkossa sallittu hetkellinen tehopoikkeama on 70 MW. Tästä olen kertonut tarkemmin kirjassani ”*Planning of Optimal Power Systems*”.

Kuormien ohjaus

Kuormia voidaan myös hallitusti siirtää työpäivän alkamisaikaa muuttamalla. Jos työpäivä alkaisi tuntia aikaisemmin, niin aamutuntien 8–9 huippua voidaan lieventää ilman lisäkustannuksia. Samalla myös liikenteen pahinta ruuhkaa voitaisiin välttää. Kello 22:n tehohuippua voidaan siirtää, jos yösähkön jakelu alkaa porrastetusti.

Myös vesivaraajien lämmitystä voitaisiin helposti ohjata, jos siitä olisi sähkön käyttäjälle hyötyä. Suomessa on jokaisessa sähkölämmityksessä omakotitalossa vesivaraaja. Jos jokaisen sähköteho on noin 1 kW, vesivaraajien ohjauksella voidaan vaikuttaa noin 400–600 MW tehoon hetkellisesti.

2 Sähköhuolto

Jatkossa myös sähköautojen latauslaitteiden ohjauksella voidaan vaikuttaa järjestelmän tasapainoon, kun latausajat voidaan ohjelmoida esimerkiksi halvan sähkön tunteihin. Tämä liittyy älykkäiden sähköverkkojen kehitykseen.

Huippu- ja varavoimalat

Yksi keino on rakentaa uusia huippu- ja varavoimaloita, joiden avulla sähköyhtiöt voivat tarjota pörssiin huippusähköä. Voimalaitosten rakentaminen voisi olla myös kunnallisten sähkölaitosten yhteinen etu, koska yhden 1400 €/MWh hintapiikin kustannus voi olla noin 20 miljoonaa euroa tunnilta. Jo yhdessä tunnissa kuluu rahaa 30 MW:n varavoimalan hinnan verran. Vuonna 2010 tällaisia piikkejä oli usean tunnin ajan.

Huippuvoimalaitosten puuttuminen merkitsee sitä, että tarjontakäyrä katkeaa hiililauhdelaistosten jälkeen kokonaan. Huippuvoimaa tulisi olla noin 20 % huippukuorman arvosta. Kun huipputeho on vuonna 2025 noin 16.500 MW, silloin tarvittaisiin huippuvoimaa noin 3300 MW. Koska huippuvoiman tuotanto on hyvin satunnaista, huippuvoimalaitoksia ei kuitenkaan kannata rakentaa vapailla markkinoilla. Niitä rakennetaan ainoastaan, jos kapasiteettivoitteet siihen pakottavat tai jos niitä hankitaan valtiovallan toimesta ns. tehoreserveinä.

Vuonna 2025 Suomessa tulee olemaan paha ongelma säätöenergian suhteen, jos maassa on seitsemän ydinvoimalaa. Kuvan 2.5.3 mukaan melkein kaikki voimalat ovat joko pohjakuormalaitoksia tai tuulivoimalaitoksia, joiden sähköntuotantoa ei voi ohjata lainkaan. Silloin huippu- ja kaukolämpövoimalat tulisi olla sellaisia, että niiden avulla voidaan hoitaa myös vuorokausisäätöä ja tuulivoiman tasausta. Jos käytössä on vain vanhoja hiilivoimalaitoksia, vuorokausisäätö ja tuulivoiman tasaus käy mahdottomaksi, jolloin Suomessa joudutaan varautumaan suuriin sähköhäiriöihin.

Tehoreservit ja varavoimalat

Suomessa on vuodesta 2006 lähtien käytetty väliaikaisena ratkaisuna tehoreservejä. Niitä on hankittu Energiemarkkinaviraston toimesta lähinnä pitämällä käytöstä poistettuja hiili- ja öljylaudevoimalaitoksia toimintavalmiudessa. Vuonna 2013 tehoreserveinä voidaan käyttää myös poiskytkettäviä kuormia.

Nyt tehoreservejä on käytössä 600 MW, mutta niiden tarve on yhteensä 2500 MW, jotta järjestelmä olisi samanlaisessa tilassa kapasiteetin suhteen kuin STYV 84-velvotteiden aikana. Tehoreservien määrän nostaminen 2500 MW:lla on ilmeisesti vuoteen 2020 mennessä ainut kysymyksen tuleva ratkaisu, jolla tehopula voidaan estää.

Uusien tehoreservien avulla voitaisiin myös ratkaista paikallisten kriittisten kohteiden varmistus, jos sähköverkko on kauan poissa käytöstä. Tällöin laitokset kannattaisi sijoittaa kaukolämpölaitosten tonteille. Nopeasti käynnistyvien tehoreservien avulla

2 Sähköhuolto

voitaisiin varautua myös kaksoisvikaan, jossa kaksi suurta voimalaa tai voimalinjaa menevät pois päästä esimerkiksi 15 minuutin välein.

Kun tehoreservilakeja tehtiin vuonna 2006, niitä vastustivat mm. Fortum ja sen tytäryhtiö Fingrid. Heidän mukaansa ”tehoreservit eivät sovi vapaan kilpailun maailmaan, koska vapaat markkinat huolehtivat tehon rakentamisesta itsestään”.

Olkiluoto 3 laitos aiheuttaa noin 450 MW lisäystarpeen nopeisiin reserveihin (ks. luku 2.2.4), jonka verran TVO:n tai sen osakkaiden tulisi aiheuttamisperiaatteen mukaan rakentaa. Teollisuuden Voima Oy on rakentanut yhdessä Fingridin kanssa Olkiluotoon yhden 100 MW:n varavoimalan. Fortum on rakentanut Loviisaan yhden 10 MW:n varavoimalan. Forssan 200 MW:n laitoksen maksaa Fingrid ja sen kautta kaikki sähkönostajat. Vieläkin nopeita reservejä puuttuu noin 150 MW, jos halutaan varmistaa, että yksi Forssan 150 MW:n ei käynnisty.

Vuodesta 2006 lähtien tehopula on koko ajan pahentunut. Silloin tehovajaus oli noin 1500–3000 MW. Nyt se on 2500–3500 MW laskentatavasta riippuen. Samalla tehovajausriski on kasvanut, koska sekä Venäjän että Ruotsin sähköntuotannon ylijäämä on kadonnut kokonaan.

Jos tehoreservejä rakennetaan 2500 MW käyttäen diesel- tai kaksoispolttoainevoimalaitoksia, niiden investointikustannukset ovat noin 1500 milj. euroa. Kun käyttöaika on 25 vuotta ja laskentakorko 5 %, tulee pääomakustannuksiksi 107 milj. euroa vuodessa. Kun Suomen sähköntarve on noin 90 TWh vuodessa, saadaan tehoreservien kustannuksiksi 1,2 €/MWh. Se aiheuttaa vain noin 2 % lisän sähkön omakustannushintaan, joka on noin 50–60 €/MWh, tuotantotavasta riippuen.

Koska tehoreservien rakentaminen rajoittaa sähkön pörssihinnan ehkä arvoon 300 €/MWh, niin myös sähköyhtiöt hyötyvät siitä. Jos pörssisähkön huipputehon hinta saadaan pienennettyä kolmeksi tunniksi arvosta 1400 €/MWh arvoon 300 €/MWh, niin Suomen tehon tarpeen ollessa 14.000 MW sähköstä maksettava hinta-alennuksen arvo on 3 h x 14.000 MW x 1100 €/MWh eli 46 miljoonaa euroa.

Tehoreservien rakentaminen ei ole pelkästään kustannuskysymys. Sähköntuotannossa on tarpeellista myös varmistaa koko yhteiskunnan toimiminen, kun sähkökatkot pakkasella voivat myös vaarantaa monen ihmisen terveyden. Ei siltojakaan lasketa siten, että niiden kantavuus optimoidaan mahdollisimman lähelle sortumispistettä. On hämmästyttävää, että Suomen sähköhuollon toimintavarmuus on jätetty tilaan, joka on heikompi kuin missään muussa maassa koko EU:n alueella.

Suomessa ei ole varsinaisesti pulaa sähköenergiasta. Pahin pula on voimalaitoskapasiteetista, joka voidaan kattaa vain rakentamalla noin 2500 MW huippu- ja varavoimalaitoksia.

3 SÄHKÖMARKKINAT

3.1 SÄHKÖN HINNANMUODOSTUS

3.1.1 Kysyntä ja tarjonta

Sähkömarkkinat toimivat Pohjoismaissa Nord Poolissa, jossa kauppaa käydään lähinnä seuraavan päivän sähköstä. Sähkön hinta muodostuu sähkömarkkinoilla aivan samoin kuin minkä muun tahansa hyödykkeen hinta, eli kysynnän ja tarjonnan perusteella. Jokainen sähkömarkkinoihin osallistuva myyjä tarjoaa sähköpörssiin haluamansa määrän sähköä. Tavallisesti jokainen tarjoaa sinne hinnalla, joka vastaa voimalaitosten muuttuvia kustannuksia.

Oletetaan, että yhtiöllä on ydinvoimaa 100 MW, hiilivoimaa 100 MW ja huippuvoimaa 100 MW. Ydinvoiman muuttuvat kulut ovat 20 €/MWh, hiilivoiman 50 €/MWh ja huippuvoiman 130 €/MWh ja yhtiö tarjoaa nuo tehot sähköpörssiin:

1	Ydinvoima 100 MW	20 €/MWh
2	Hiilivoima 100 MW	50 €/MWh
3	Huippuvoima 100 MW	130 €/MWh

Pörssi tekee kaikista saapuneista tarjouksista tarjontakäyrän ja vastaavasti ostotarjouksista kysyntäkäyrän, jokaiselle tunnille erikseen.

Tässä oletetaan, että meillä on vain tämä yksi tarjous ja että kysyntä on yöllä 100 MW (22–06) ja päivällä 200 MW sekä lisäksi illalla kello 18–19 välillä 300 MW. Tällöin sähkön hinnaksi muodostuu yöllä 20 €/MWh, päivällä 50 €/MWh ja illalla 130 €/MWh. Päivän keskihinta voidaan laskea Taulun 3.1.1 mukaisesti, kertomalla sähkön tuntihinnat tuntien määrällä.

Taulu 3.1.1 Sähkön myynti vuorokaudessa

Vuorokauden- aika	Tunnit h	Hinta €/MWh	Tuotot €
Yö	8	20	160
Päivä	15	50	750
Ilta	1	130	130
Yhteensä	24	43,3	1040

3 Sähkömarkkinat

Keskihinta on 1040 €/24 h eli 43 €/MWh. Näin ydinvoimatuottaja saa sähköstään tuloja keskimäärin 43 €/MWh ja katetuottoa 23 €/MWh eli 55.200 € vuorokaudessa. Vuodessa nettotuloja kertyisi ydinvoimalalle yhteensä 18,2 M€ eli 182 €/kWh. Jos voimala maksaisi 3500 €/kWh, tulisi takaisinmaksuajaksi 19 vuotta.

Hiilivoiman tuottaja saa katetuottoa vain illan tunteina, kun sähkön hinta nousee arvoon 130 €/MWh. Päivän katetuotto on 100 MW x (130–50) €/MWh eli 8000 euroa vuorokaudessa. Vuodessa kertyisi hiilivoimalle nettotuloja yhteensä 2,6 M€ eli 26 €/kWh. Jos voimala maksaisi 1600 €/kWh, tulisi takaisinmaksuajaksi 62 vuotta.

Huippuvoimatuottaja ei saa nykyjärjestelmässä katetta lainkaan, koska sähkön hinta ei nouse muuttuvia kustannuksia korkeammaksi minään tuntina vuorokauden aikana. Katetta huippuvoimalle voi syntyä vain poikkeustilanteessa, jossa sähkön hinta nousee taivaisiin. Jos tehovelvoitteita ei ole, hiilivoimaa tai huippuvoimaa ei rakenneta. Tämä on kapasiteettivajauksen perussy.

3.1.2 Tarjontakäyrä

Yhteispohjoismainen tarjontakäyrä muodostuu, kun kaikki Pohjoismaiden voimat lasketaan yhteen. Tämä on suunnilleen Taulun 3.1.2 mukainen. Kapasiteettia on käytettävissä noin 67.000 MW.

Tästä muodostuu tarjontakäyrän x-akseli. Kullekin voimalatyypille on laskettu muuttuvat kustannukset (€/MWh) laskemalla yhteen polttoaine, CO₂- ja käyttö-kustannukset (Taulu 3.1.3).

Taulu 3.1.2 Pohjoismaiden voimalaitoskapasiteetti

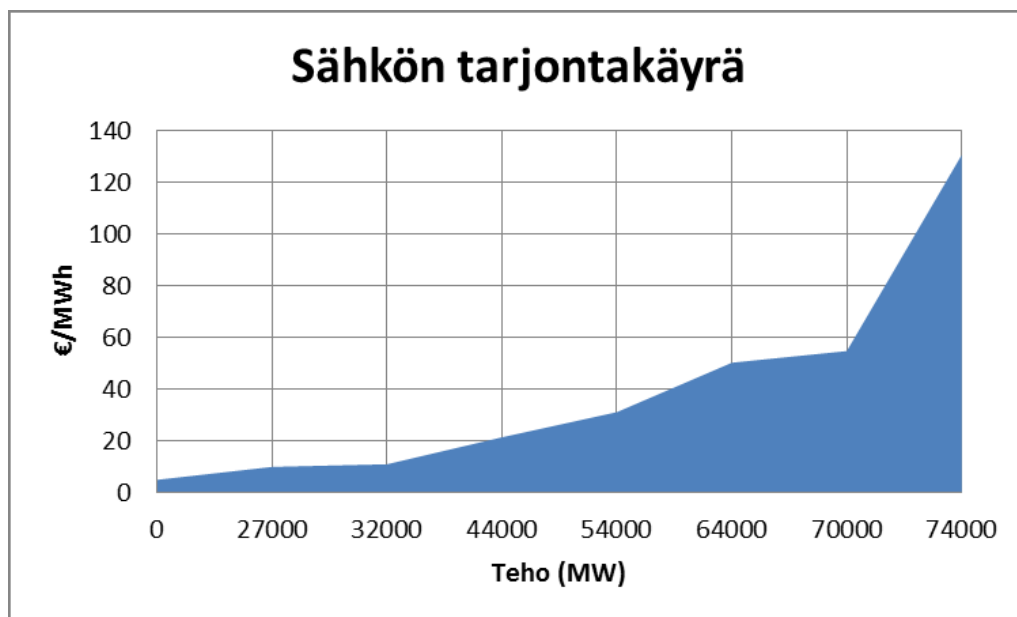
Tuotantotapa	Vuosi- tuotanto TWh	Asennettu teho MW	Käytettä- vissä MW	Kumula- tiivinen MW
Vesivoima	215	48 292	26 824	26 824
Tuulivoima	10	4 365	1 211	28 036
Ydinvoima	87	11 725	11 139	39 174
CHP-teollisuus	21	5 043	4 791	43 965
CHP-kunnat	35	14 830	14 088	58 053
Lauhdevoima	29	6 214	5 903	63 956
Huippuvoima	1	3 845	3 652	67 609
Yhteensä	397	94 313	67 609	

3 Sähkötarkkinat

Taalu 3.1.3 Muuttuvat kustannukset

	Vesi- voima €/MWh	Tuuli- voima €/MWh	Ydin- voima €/MWh	Hake CHP €/MWh	Hiili- voima €/MWh	Huippu- voima €/MWh
Polttoaine	-	-	11	21	29	107
CO2-maksut	-	-	-	-	16	14
Käyttö	10	11	10	10	10	10
Yhteensä	10	11	21	31	55	131

Kun muuttuvat kustannukset piirretään voimalaitoskapasiteetin funktiona, saadaan Kuvan 3.1.1 mukainen tarjontakäyrä. Tämä on tietysti vain teoriaa, koska kaikki voimantuottajat eivät toimi markkinoilla lainkaan. Suurin osa Suomen teollisuudesta tuottaa itse sähkönsä ja myy markkinoille vain sen erän, mitä jää yli oman tarpeen. Näin esimerkiksi ydinvoiman hintaista sähköä ei tarjota markkinoille kovin usein.



Kuva 3.1.1 Sähkön tarjontakäyrä Pohjoismaissa

3 Sähkömarkkinat

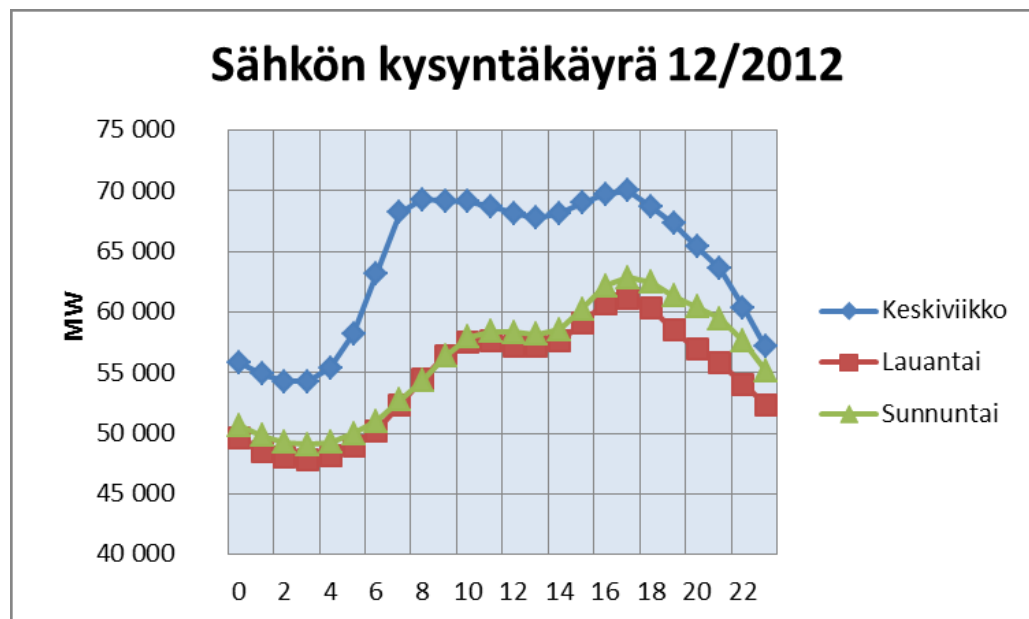
3.1.3 Kysyntäkäyrä

Sähkön kysyntäkäyrä Pohjoismaissa on talvella kuvan 3.1.2 mukainen. Kysyntä on arkipäivisin suurempaa kuin sunnuntaisin, koska teollisuuden koneita pidetään käynnissä. Kulutus nousee yli 70.000 MW:n, jolloin sähkön hinta määräytyy lauhdevoiman perusteella ja on 40–60 €/MWh.

Yökysynnän määrää paljolti sähkölämmitys ja teollisuus. Kysyntä on talvella pakkasoina yli 50.000 MW, jolloin sähkön hinta määräytyy CHP-voimalaitosten perustella. Silloin hinta asettuu noin 30–40 €/MWh tuntumaan.

Kesällä kulutus laskee alle 50.000 MW:n, jolloin hinnan kuuluisi määräytyä ydinvoiman perusteella. Näin ei kuitenkaan tapahdu, koska kaukolämpövoimaa ei voida tuottaa ja ydinvoimaa ei tarjota markkinoille. Näin kesälläkin sähkön hinta määräytyy lauhdelaitosten rajakustannusten mukaan.

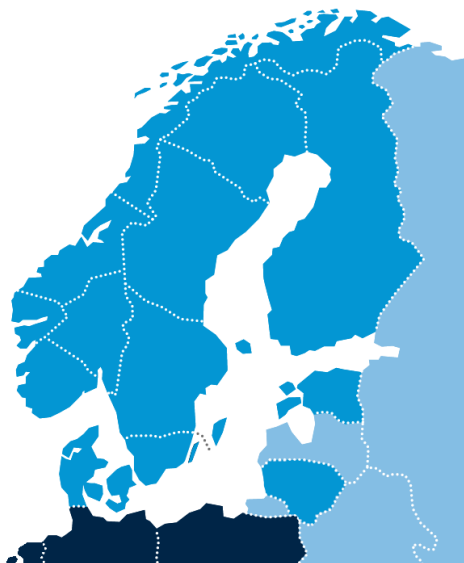
Kysyntään vaikuttaa myös viikonpäivä. Kysyntä on suurinta arkipäivisin ja pienintä sunnuntaisin. Lauantai on näiden kahden välissä. Ongelmaksi voi muodostua myös aamuramppi, jolloin tehon tarve nousee viidessä tunnissa noin 15.000 MW (Kuva 3.1.2).



Kuva 3.1.2 Sähkön kysyntäkäyrä Pohjoismaissa ja Baltiassa 1.-5.12.2012

3.1.4 Hinta-alueet

Nord Pool on jaettu hinta-alueisiin, joille kullekin määritellään hinta edellisenä päivänä Nord Pool Spotin sähkömarkkinoilla (Kuva 3.1.3). Jos siirtokapasiteettia on riittävästä, hinta muodostuu kaikilla markkinoilla samaksi.



Kuva 3.1.3 Nord Pool Spotin hinta-alueet. Suomessa on yksi alue, mutta Ruotsissa on neljä hinta-alueita.

Joskus Pohjoismaiden pörsseissä käy niin, että sähkön tuotanto on edullista tehdä Ruotsissa ja sähköä jouduttaisiin tuomaan enemmän kuin mitä sähkönsiirtolinjojen kapasiteetti sallii. Silloin Suomesta tulee oma hintasaareke ja sähkön hinta määräytyy Suomessa käytössä olevan kalleimman tuotantomuodon mukaan.

Tällöin Suomen hinta on suurempi kuin Ruotsin tai yhteispohjoismaiden aluehinta. Yleensä, kun vesivoimaa on normaalia enemmän, muodostuu Suomen hinta keskimääräistä hintaa suuremmaksi. Vastaavasti huonona vesivuotena Suomen hinta on alempi kuin Pohjoismaiden keskihinta. Silloin Suomesta voidaan viedä sähköä enemmän kuin linjojen kapasiteetti sallii ja Suomen hinnat voivat olla Ruotsin hintoja halvemmat.

Hintaerot vuoden 2012 marraskuun loppuun asti on esitetty Taulussa 3.1.4. Kun vesivarastot ovat olleet normaalia suuremmat, sähkön hinta Suomessa on ollut keskimäärin 0,5-1 €/MWh Ruotsin hintaa korkeampi. Suomeen olisi vuonna 2012 tuotu sähköä enemmän kuin linjat ovat sallineet.

3 Sähkömarkkinat

Taulu 3.1.4 Vuoden 2012 kuukausihinnat sähköpörsissä Suomessa ja Ruotsissa.

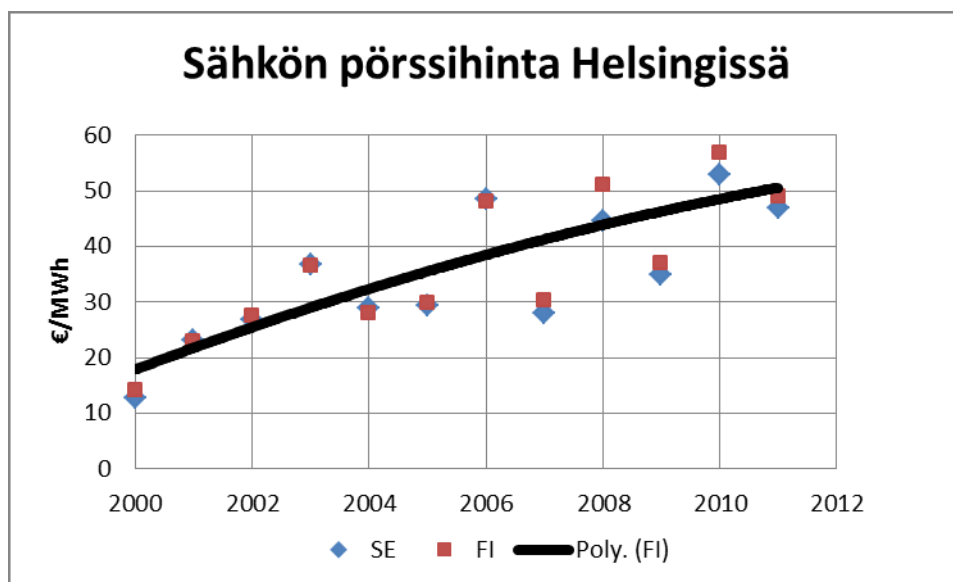
Kuukausi	Ruotsi 1 €/MWh	Ruotsi 3 €/MWh	Ruotsi 4 €/MWh	Suomi €/MWh	Ero €/MWh
11	34,2	33,7	33,7	33,7	-0,5
10	34,8	34,7	34,7	34,7	-0,1
9	25,4	29,2	29,2	29,5	4,1
8	23,6	26,0	26,0	27,1	3,5
7	13,7	13,4	13,4	13,4	-0,3
6	25,0	26,2	26,2	27,1	2,1
5	28,5	29,3	29,3	30,0	1,5
4	31,7	31,5	31,5	31,5	-0,2
3	29,2	28,3	29,0	29,0	-0,2
2	49,1	48,4	48,4	50,8	1,7
1	37,2	37,1	37,1	38,2	1,0
12	33,7	33,2	33,2	33,2	-0,5
Keskiarvo	30,5	30,9	31,0	31,5	1,0

Kuluttajan ja teollisuuden kannalta olisi parasta, jos Suomessa olisi sähkökapasiteettia niin paljon, että Suomi säilyisi halvan sähkön saarekkeena. Suomi ja Ruotsi ovat toimineet yhtenäisenä hinta-alueena noin 70–80 % ajasta.

3.2 SÄHKÖN HINTAVAIHTELUT

3.2.1 Sähkön pörssihinnat

Sähkön pörssihinnat lasketaan joka päivä Oslon pörssissä kullekin Pohjoismaalle erikseen kysynnän ja tarjonnan perusteella. Kuvassa 3.2.1 on esitetty sähkön pörssihinnan kehitys Ruotsista ja Suomessa, ja Suomen hintaan on lisätty trendiarvo. Kuvan mukaan hinnat ovat nousseet koko ajan ja vaihdelleet trendiarvon ympärillä voimakkaasti.

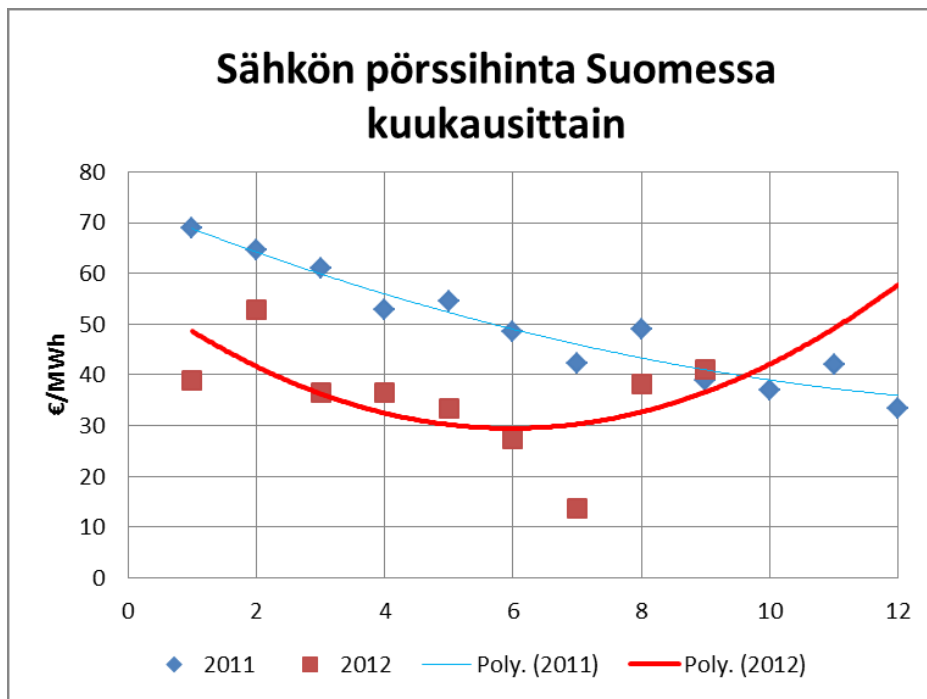


Kuva 3.2.1 Sähkön pörssihinta Suomessa (FI) ja Ruotsissa (SE).

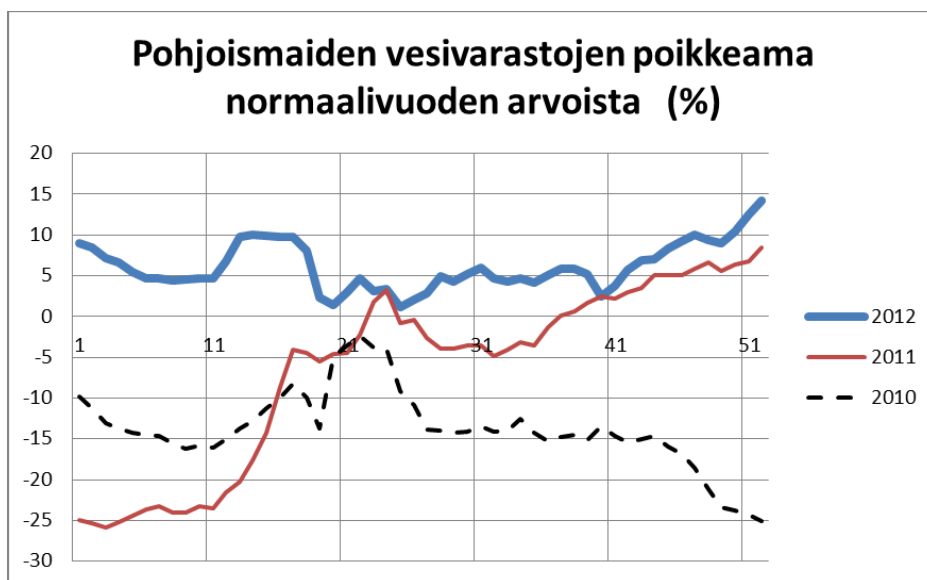
Hinta vaihtelee myös vuoden sisällä. Hinnat ovat korkeimmillaan tammi-helmikuussa ja matalimmillaan heinä-elokuussa (Kuva 3.2.2). Vuosivaihteluun vaikuttaa kysynnän lisäksi myös vesivoiman tarjonta.

Hyvä indikaattori vesitilanteelle on altaissa oleva veden määrä, joka kerrotaan Nord Poolin nettisivuilla (www.nordpoolspot.com) prosentteina maksimista. Vesitilanne voidaan esittää myös poikkeamana edellisten vuosien vastaavan viikon keskiarvoon verrattuna (Kuva 3.2.3). Kuvan mukaan vesivarastot ovat olleet vuoden 2012 aikana koko ajan keskitason yläpuolella. Vuosi 2012 on ollut ennätysstateinen koko Pohjolassa, jonka vuoksi sähkön hinta on ollut koko vuoden edellistä vuotta halvempi.

3 Sähkömarkkinat



Kuva 3.2.2 Sähkön pörssihinnan vaihtelu kuukausittain.



Kuva 3.2.3 Pohjoismaisten vesivaraston poikkeama normaalista.

3 Sähkömarkkinat

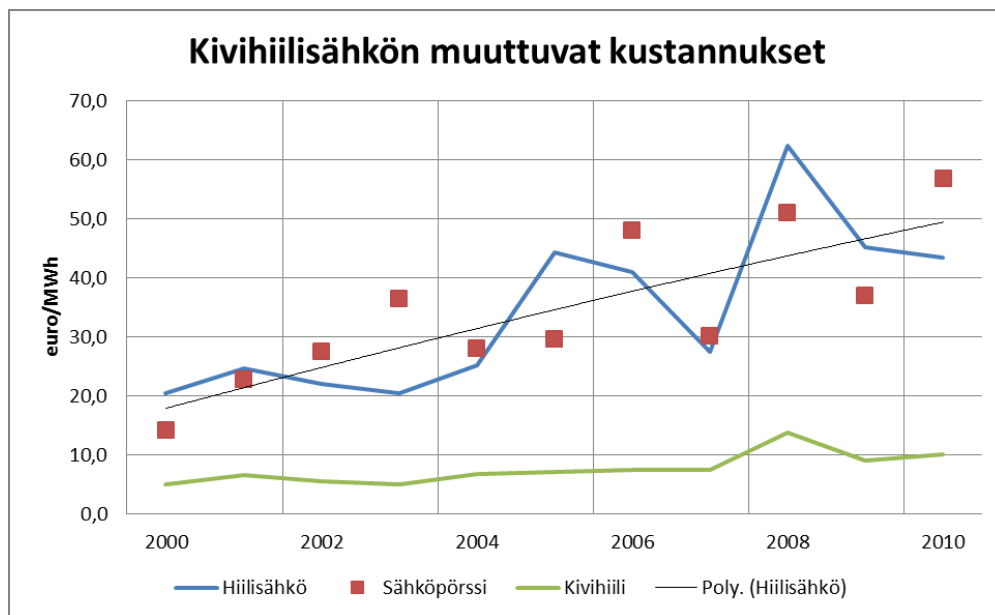
Pohjoismaiden sähköstä tuotetaan vesivoimalla noin puolet. Vesivoiman tuotanto vaihtelee eri vuosina voimakkaasti sateiden määrän mukaisesti. Kuivina vuosina tuotanto voi laskea Pohjoismaissa 20 TWh ja märkinä vuosina nousta saman verran. Näin sähkön tarjontakäyrä (Kuva 3.1.1) voi kuivana vesivuonna siirtyä 5000 MW oikealle tai vasemmalle.

3.2.2 Hiilivoiman muuttuvat kustannukset

Suurimman osan vuodesta sähkön hinta määräytyy hiilivoimalan muuttuvien kustannusten perusteella. Hiililauhdesähkön karkea hintakaava on seuraava:

$$Kustannus = 2,7 \times \text{hiilen hinta} + 0,9 \times \text{päästöoikeuden hinta} + 10 \text{ €/MWh}$$

Samaa kaavaa käyttäen voidaan laskea hiilivoiman kustannukset jokaiselle vuoden tunnille erikseen. Kuvasta 3.2.4 voidaan havaita, että pörssisähkön hinta on seurannut melko hyvin näin lasketun hiilisähkön hintaa. Talvella pörssisähkön hinta on ollut sitä korkeampi ja kesällä hieman halvempi. Vuoden keskihinta on ollut kuitenkin aika lähellä laskennallisen hiilivoimalan muuttuvia kustannuksia.



Kuva 3.2.4 Kivihiilisähkön muuttuvat kustannukset ja sähkön pörssihinta.

3 Sähkömarkkinat

Vuoden 2012 lokakuussa päästöoikeuksien hinta vuodelle 2013 on noin 8 €/t. Kun hiilen hinta on 11 €/MWh, saadaan sähkön arviohinnaksi $29,7 + 7,2 + 10 = 47,9$ €/MWh. Se on näin laskien kohtuullinen hankintahinta sähkölle vuodelle 2013. Arvonlisäveron jälkeen hinta olisi 5,9 c/kWh. Jos vielä oletetaan, että myyntikate on 10 %, tulee myyntihinnaksi $5,9/0,9 = 6,5$ c/kWh.

Päästöoikeuksien hinnat ovat vaihdelleet rajusti välillä 0–25 €/t. Vuonna 2007 CO₂-hinta oli lähellä nollaa. Hiilen hinta on pysynyt hyvin vakaana koko ajan. Päästöoikeuksien hintojen vaihtelu lisää epävarmuutta markkinoilla. Olisi järkevämpää siirtyä yhtenäisten CO₂-verojen käyttöön, jolloin vaihtelut vähenisivät ja valtiot voisivat ohjata energiantuotannon kehitystä.

3.2.3 Termiinien hinnat

Sähköpörssissä voi kiinnittää tulevaisuudessa hankittavan sähkön hinnan ostamalla termiinejä. Esimerkiksi vuoden 2013 sähkön termiinihintana on tätä kirjoitettaessa 37,9 €/MWh.

Koska termiinien hinta vastaa keskimääräistä sähkön hintaa Pohjoismaissa, tulee sen lisäksi ostaa aluehintatuote, joka kertoo sähkön hinnan Helsingissä. Vuoden 2013 aluehintaero on 5,7 €/MWh, joten termiinisähkön hinnaksi muodostuu $37,9 + 5,7$ eli 43,6 €/MWh.

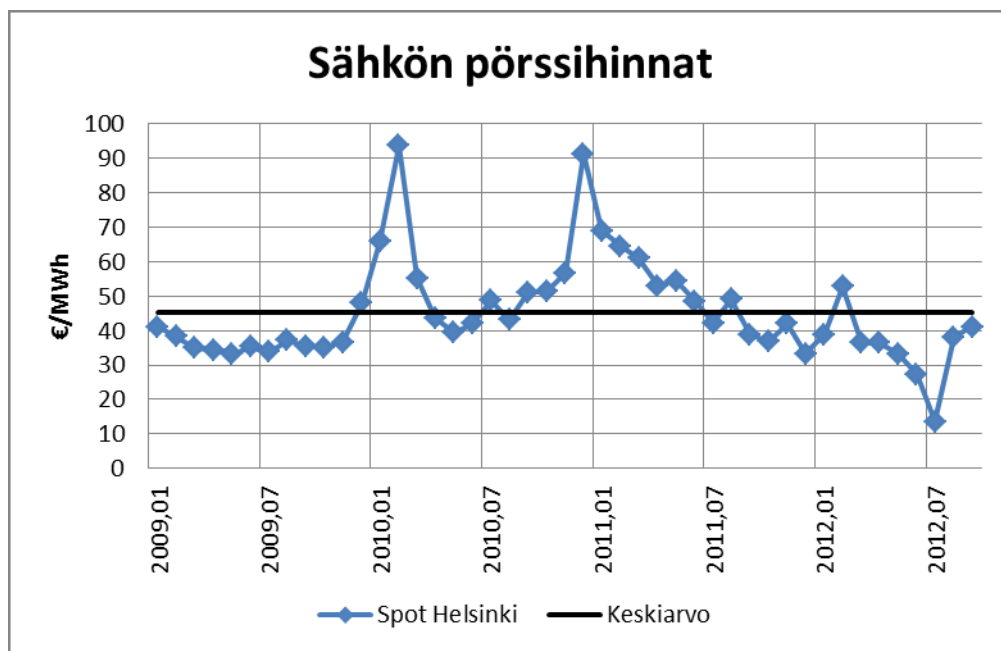
Termiinisähkön hinta oli lokakuussa 2012 pienempi kuin aiemmin arvioitu hiilisähkön hinta (47,9 €/MWh). Pohjoismaiset vesivarannot olivat yli normaalin, joten sähköä myytiin hiilisähkön omakustannushintaa halvemmalla. Hyvä vesivoimatilanne kannattaa hyödyntää sähkön ostajana, josta kerrotaan seuraavassa kohdassa.

3.3 SÄHKÖNOSTOSTRATEGIA

3.3.1 Ostovaihtoehdot

Sähkön oston voi tehdä lyhyillä tai pitkillä sopimuksilla. Lyhyillä sopimuksilla sähkön hinnan voi kytkeä suoraan jokaisen päivän spot-hintaan. Hinnan voi myös kiinnittää esimerkiksi kahdeksi vuodeksi. Voi myös ostaa joka syysy seuraavan vuoden sähköt yhdellä kertaa. Fiksu sähkönostaja vaihtaa ostotapaa markkinoiden muuttuessa.

Kuvassa 3.3.1 on esitetty sähkön hinnan kehitys Nord Poolissa vuosta 2009 lähtien. Sen mukaan hinta on vaihdellut voimakkaasti hinnan kolmen vuoden keskiarvon (45 €/MWh) molemmin puolin.



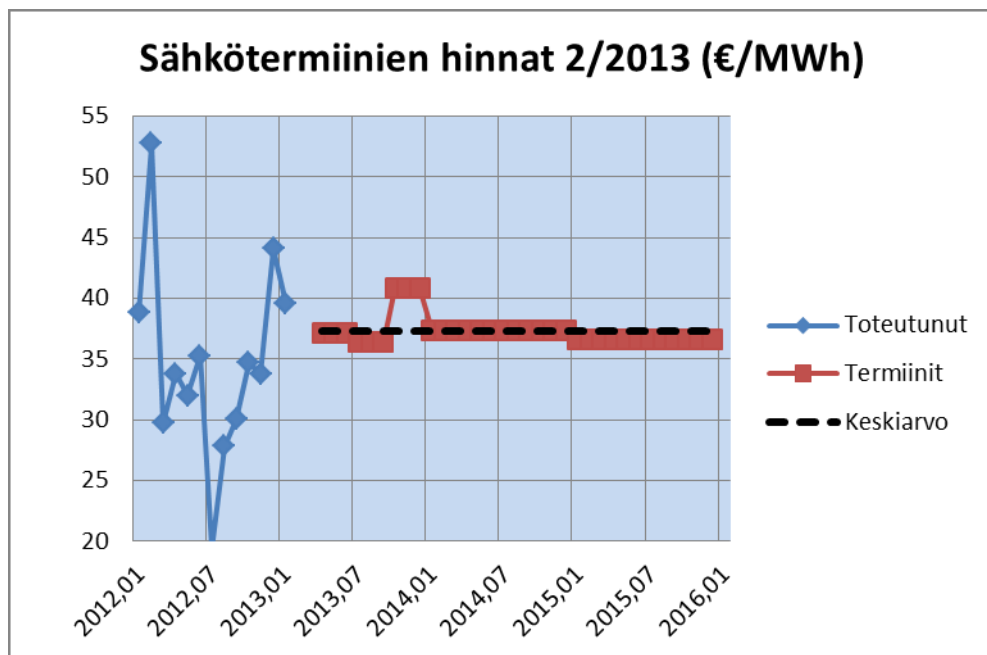
Kuva 3.3.1 Sähkön hintakehitys 2009–2015 Helsingissä.

Vuodesta 2010 kesään 2011 asti vesivarastot olivat keskimääräistä matalammalla ja sähkön hinta oli keskitasoa korkeampi. Kesän 2011 jälkeen hinta on ollut keskiarvon alapuolella, koska vesivarastot ovat olleet keskitason yläpuolella ja sähkön kysyntä ei ole kasvanut. Erittäin runsaat sateet kesällä 2012 pudottivat sähkön hinnan jopa ennätysellisen alhaiseksi.

3 Sähkömarkkinat

3.3.2 Tulevaisuuden hinta-arviot

Kuvaan 3.3.2 on lisätty sähkön termiinien hinnat lisätty termiinien hinnat helmikuussa 2013. Kuvan mukaan termiinien hinnat vuosille 2013–2015 ovat noin 37 €/MWh ilman aluehintalisää.



Kuva 3.3.2 Sähkön termiinit vuosille 2013–2015.

Kun termiinihintoihin lisätään Helsingin aluehintalisä ja myyntikate (10 %), saadaan ennustettu sähkön myyntihinta suurasiakkaille (Taulu 3.3.1). Kun myyntihintaan lisätään arvonlisävero, saadaan tyypillinen hinta (5,0 – 5,2 c/kWh) sähkölämmitysasiakkaalle.

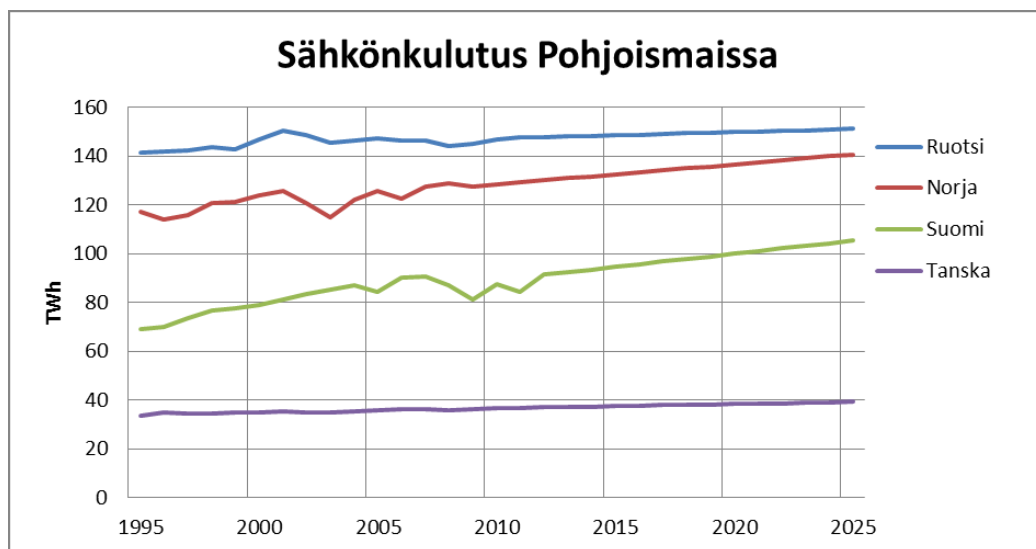
Taulu 3.3.1 Sähkön hinta-arvio

Vuosi	Termiinien hinnat			Myyntihinta ALV 0% €/MWh	Myyntihinta ALV 24 % €/MWh
	Systeemi €/MWh	Hintaero €/MWh	Ostohinta €/MWh		
2013	38,1	4,0	42,1	42,6	52,8
2014	37,3	4,0	41,3	41,7	51,7
2015	35,7	4,0	39,7	40,1	49,7
Keskihinta	37,0	4,0	41,0	41,5	51,4

3 Sähkömarkkinat

3.3.3 Tulevaisuudennäkömät

Kulutuksen kasvu Pohjoismaissa on ollut vuosta 1995 lähtien noin 2,4 TWh vuodessa (Kuva 3.3.3). Kasvu on pysähtynyt Ruotsissa melkein kokonaan, mutta jatkuu Norjassa ja Tanskassa lievästi ja Suomessa hieman vahvempana.



Kuva 3.3.3 Sähkön kulutus Pohjoismaissa ja ennuste vuoteen 2025, jos kasvutrendi jatkuu samanlaisena.

Suomessa kulutuksen kasvu on ollut 2000-luvulla noin 0,6 TWh vuodessa. Vastaavasti huipputeho kasvaa noin 90 MW vuodessa ja uutta voimalaitoskapasiteettia tarvitaan noin 100 MW joka vuosi.

Vuoteen 2025 mennessä Suomessa tarvitaan uutta kapasiteettia 1500 MW pelkästään kasvun kattamiseksi. Sen lisäksi tarvitaan 2500 MW uutta tehoa, jolla korvataan ylikäiset voimalaitokset. Vielä pitäisi kuroa umpeen olemassa oleva 3000 MW:n vaje kapasiteetissa. Kokonaistarve on noin 7000 MW. Uudet ydinvoimalat 3 x 1600 MW kattavat tehontarpeen kasvun ja osan vajauksesta, mutta eivät korvaa poistuvaa kapasiteettia. Tehonvajauksen ja säätövoiman tarpeen takia Suomeen tulisi rakentaa nopeasti 2500 MW huippu- ja varavoimaa.

Ostosääntö nro 1:

Osta sähköä pitkäaikaisella sopimuksella, jos uskot sähkön hinnan nousevan! Osta lyhytaikaisella sopimuksella, jos uskot sähkön hinnan laskevan!

3.4 VAPAI DEN SÄHKÖMARKKINOIDEN MERKITYS

Vapaat sähkömarkkinat avattiin Suomessa vuonna 1996, kun suurkuluttajat saivat vapauden valita sähkön toimittajansa. Pienkuluttajat saivat samat oikeudet vuonna 1998. Vapaat sähkömarkkinat avattiin osittain kesällä 2004 koko EU:n alueella ja vuonna 2008 melkein kaikkien EU-maiden tuli olla vapaiden sähkömarkkinoiden piirissä.

Vapaiden markkinoiden tarkoituksena oli kilpailun lisäämisen avulla tehostaa yritysten toimintaa ja samalla saada sähkön hinta alemmaksi. Samalla pyritään myös vapauttamaan maidenvälistä sähkökauppaa, joten pian kaikkien EU-maiden sähköhinnat ovat lähes samalla tasolla.

Sähkön hinta Suomessa on pysynyt myös edullisena muihin Pohjoismaihin ja muihin EU-maihin verrattuna (Taulu 3.4.1). Suomen kuluttajahinnat ovat EU:n keskimääräisiä hintoja edullisempia ja huomattavasti edullisempia kuin Ruotsin, Saksan tai Tanskan hinnat.

Taulu 3.4.1 Sähkön hinnat (c/kWh) pienkuluttajille (3500 kWh) toukokuussa 2012 /12/.

Bulgaria	8,3	Britannia	14,2	Malta	17,0	Ruotsi	21,0
Viro	9,9	Slovenia	14,5	Luxenburg	17,1	Belgia	21,3
Romania	11,0	Tsekki	14,8	Unkari	17,1	Hollanti	22,1
Latvia	11,9	Puola	14,9	Irlanti	19,2	Saksa	25,4
Liettua	12,0	Suomi	15,7	Espanja	19,6	Kypros	28,5
Kreikka	12,7	Slovakia	16,8	Itävalta	19,9	Tanska	29,8
Ranska	14,1	Portugali	16,9	Italia	20,3		

Suomessa ei ole tapahtunut kovin dramaattisia muutoksia, koska Pohjoismaissa on aina ollut runsaasti sähkönmyyjiä ja kauppaa on tukkutasolla saanut käydä melko vapaasti. Sähkön keskimääräinen tammikuun myyntihinta energian, siirron ja verojen osuus mukaan laskettuna on kehittynyt Taulun 3.4.2 mukaisesti.

Keskimääräinen hinnannousu on ollut noin 4,2 % vuodessa. Eniten ovat nousseet varaavan sähkölämmitystalon sähkön (20.000 kWh) hinnat eli 4,7 %/a. Sähkön hintojen nousu on ollut kuitenkin polttoaineiden hintojen nousua (Taulu 5.7.1) pienempää, mutta kuitenkin selvästi nopeampaa kuin yleinen inflaatio.

3 Sähkömarkkinat

Taulu 3.4.2 Kuluttajien maksaman sähkön hinnan kehitys (tammikuun 1. c/kWh) ja ennuste vuoteen 2020 asti.

	Kerros- talo	Rivitalo	Omakoti- talo	Omakoti- talo	Maatila 10000	Maatila 35000	Keskiarvo kWh
Kulutus	2000	5000	18000	20000	10000	35000	kWh
2000	9,47	8,48	6,37	5,47	7,93	6,56	7,38
2001	9,48	8,42	6,30	5,42	7,78	6,45	7,31
2002	10,77	9,38	7,08	6,25	8,65	7,18	8,22
2003	11,77	10,10	7,88	7,05	9,43	7,90	9,02
2004	11,52	9,81	7,66	6,89	9,22	7,69	8,80
2005	11,76	9,97	7,90	7,18	9,40	7,91	9,02
2006	12,53	10,69	8,56	7,78	10,10	8,62	9,71
2007	13,16	11,29	9,10	8,35	10,64	9,08	10,27
2008	14,61	12,45	10,25	9,52	11,77	10,15	11,46
2009	14,88	12,74	10,41	9,67	12,03	10,27	11,67
2010	17,28	15,02	12,48	11,71	14,27	12,33	13,85
2011	17,78	15,46	12,75	11,96	14,70	12,69	14,22
2012	17,70	15,16	12,67	11,95	14,43	12,50	14,07
2013	18,43	15,78	13,25	12,54	15,04	13,05	14,68
2014	19,17	16,40	13,83	13,13	15,64	13,60	15,30
2015	19,90	17,02	14,41	13,73	16,25	14,15	15,91
2016	20,64	17,63	14,99	14,32	16,85	14,71	16,52
2017	21,37	18,25	15,57	14,91	17,46	15,26	17,14
2018	22,11	18,87	16,15	15,50	18,06	15,81	17,75
2019	22,84	19,49	16,73	16,09	18,67	16,37	18,36
2020	23,58	20,10	17,31	16,69	19,28	16,92	18,98
Nousu	4,0 %	3,9 %	4,4 %	4,7 %	4,0 %	4,2 %	4,2 %

Vapaiden sähkömarkkinoiden huono puoli on kapasiteettivelvoitteiden puuttuminen. Sen takia Suomessa on vuodesta 2006 asti ollut paha kapasiteettiongelma. Se ei ole vielä aiheuttanut pahoja sähkökatkoksia, ennen kaikkea vuonna 2008 alkaneen laman ja tuonnin ansiosta.

Tuonnin onnistumiseen ei kuitenkaan voi jatkossa luottaa, koska Ruotsin kapasiteetti riittää vain maan omiin tarpeisiin. Luoteis-Venäjän järjestelmän kulutushuippu on kasvanut nopeasti, eikä sielläkään ole kohta varaa vientiin huippupakkasten aikana. Tehopula voidaan ratkaista vain valtiiovallan toimesta, rakentamalla 2500 MW uusia tehoreservejä.

4 SÄHKÖN KILPAILUTUS

4.1 YLEISTÄ

4.1.1 Sähkömarkkinat

Suomen sähkömarkkinat ovat toimineet vapaasti vuodesta 1998 alkaen, jonka jälkeen jokainen sähkökäyttäjä on saanut vapaasti ostaa sähköenergiansa keneltä tahansa noin 50–70:ltä sähkön myyjältä. Sen sijaan sähkön siirto on edelleen monopolitoimintaa, jolloin sähkön jakelu on aina paikallisen verkkoyhtiön vastuulla.

4.1.2 Kilpailutus

Kaikki suuryhtiöt kilpailuttavat sähköenergiansa vuosittain, mutta yksityiset kuluttajat tekevät sen vain harvoin. Suomessa noin 10–20 % kuluttajista käyttää hyödykseen halvemman sähkön tuoman edun.

Jos kilpailutusta ei tee, niin sähköenergian toimittaa aina paikallinen verkkoyhtiö ns. toimitusvelvollisuutensa pohjalta. Tällöin se perii samalla yleensä selvästi kalliimpaa hintaa sähköstä kuin halvin tarjoaja. Tappiosi voi olla 20–30 % sähkölaskustasi.

4.1.3 Energianet.fi

Energianet.fi-internetsivusto on tehty auttamaan kuluttajia löytämään edullisin sähköntoimittaja. Tarjouspyyntö tehdään perinteistä tarjouspyyntölomaketta käyttäen, jotka lähetetään kuluttajan valitsemille sähkömyyjille.

Kun kuluttaja täyttää tarjouspyyntöosassa olevat tiedot ja painaa ”Lähetä”-näppäintä, Energianet lähettää tarjouspyynnöt halutuille myyjille tarkastuksen jälkeen. Tarjouksia alkaa tulla heti seuraavana päivänä tai viimeistään halutun tarjousajan sisällä. Yleensä tarjoukset saadaan noin viikon sisällä tarjousten pyytämisestä.

4.2 LAINSÄÄDÄNTÖ

4.2.1 Käyttäjien ryhmittely

Käyttäjät jaetaan kohteen kulutuksen määrän ja sähkönmittaustavan mukaan kolmeen perusryhmään, joiden asema on kilpailutuksessa lainsäädännössä erilainen:

A) pienkohteet, joiden sulakekoko on 3 x 63 A tai jotka kuluttavat alle 100.000 kWh.

B) kaukoluettavalla tuntimittarilla varustetut kohteet.

C) suurkohteet, joissa ei ole kaukoluettavaa tuntimittaria.

4 Sähkön kilpailutus

4.2.2 Pienkohteet

Pienkohteet, joiden sulakekoko on korkeintaan 3 x 63 A tai jotka kuluttavat alle 100.000 kWh vuodessa, saavat kilpailuttaa sähkönsä vaikka heillä ei ole kaukoluettavaa tuntimittaria. Tähän ryhmään kuuluvat käytännössä kaikki kotitaloudet. He voivat käyttää sähköä ostaessaan perinteistä kilowattituntimittaria.

A1. Alle 10.000 kWh kuluttavilla kotitalouksilla on yleensä yksiaikamittari. He ostavat sähkönsä ns. yleistariffilla, jossa sähkö on aina samanhintaista kellon- tai vuodenajasta riippumatta.

A2. Yli 10.000 kWh kuluttavat kohteet on varustettu usein kaksiaikamittarilla. He ostavat sähkönsä ns. yö sähkötariffilla, jossa sähköä myydään arkipäivinä klo 7:00–22:00 välisenä aikana korkeampaan hintaan ja muina aikoina halvempaan hintaan.

A3. Yli 10.000 kWh kuluttavat, jotka ostavat sähkönsä ns. kausitariffilla, jossa talviarkipäivän (klo 7:00–22:00) sähkö on kallista ja muu aika halpaa. Talvipäiviksi lasketaan 1.11. ja 31.3. välillä oleva viiden kuukauden jakso.

4.2.3 Tuntimittauksella varustetut suurkohteet (B)

Kaukoluettavalla tuntimittarilla varustetut kohteet voivat aina kilpailuttaa sähkönsä sulakkeiden koosta riippumatta. Usein samalla yhtiöllä on useita kohteita, jolloin kaikkien kohteiden sähkö voi ostaa samalta toimittajalta. Kilpailuttamisen voi tehdä yhtä aikaa kaikille kohteille ja kilpailuttamisen jälkeen kaikkien kohteiden sähkö voi hankkia samalta toimittajalta.

Yhteisosto tekee hankinnan ja laskutuksen sekä myyjälle että ostajalle yksinkertaisemmaksi. Usein kuitenkin jonkun kohteen sähkö voi hankkia paikalliselta toimittajalta, vaikka muiden kohteiden sähkö on hankittu yhteisostona.

4.2.4 Ilman tuntimittausta olevat suurkohteet (C)

Suurkohteet, joiden sulakekoko on yli 3 x 63 A ja jotka kuluttavat yli 100.000 kWh vuodessa eivät voi kilpailuttaa sähköä, jos kohteeseen ei ole hankittu kaukoluettavaa tuntimittaria. Nämä ovat lainsäädännössä väliinputoajia, joiden ei välttämättä edes kannata hankkia noin 500 euroa maksavaa mittaria ja siihen kiinteää puhelinyhteyttä.

Uudessa sähkölaissa on määritelty, että nämäkin kohteet pitää tulevaisuudessa varustaa kaukoluettavilla tuntimittareilla, jolloin ne siirtyvät ryhmään B. Jos sähköä kuluu yli 100.000 kWh vuodessa, alkaa tuntimittarin hankinta olla jo muutenkin kannattavaa. Tällöin sähköenergelasku ilman veroja on noin 3000 euroa vuodessa, jolloin noin 10–20 %:n säästö sähkölaskussa tekee mittarin hankinnasta kannattavan.

4.3 SÄHKÖLASKU

Kilpailuttaminen alkaa siitä, kun ensin selvität, kuinka paljon maksat sähköstäsi. Se selviää sähkölaskustasi. Jos ostat sähkösi ilman kilpailua, saat vain yhden sähkölaskun. Jos olet vaihtanut toimittajaa, saat sähköenergiälaskun ja siirtolaskun erillisinä laskuina.

4.3.1 Sähköenergiälasku

Sähköenergian hinta käsittää yleensä kiinteän perusmaksun ja sähkön kulutuksesta riippuvan energiamaksun. Kulutetun energian määrää mitataan kilowattitunteina (kWh). Kun perusmaksu ja energiamaksu lasketaan yhteen ja jaetaan kulutetulla energiamäärällä, saadaan todellinen sähkön hinta (c/kWh) (Taulu 4.3.1).

Taulu 4.3.1 Sähköenergiälasku

Kulutus	kWh	3000	5000	18000
Energiamaksu	c/kWh	6,00	6,00	6,00
Perusmaksu	€/kk	2,00	2,00	2,00
Vuosikustannukset				
Energia	€	180,00	300,00	1 080,00
Perusmaksut	€	24,00	24,00	24,00
Yhteensä	€	204,00	324,00	1 104,00
Keskihinta	c/kWh	6,80	6,48	6,13

Sähköenergian keskimääräiseksi hinnaksi saadaan 5000 kWh kulutuksella 324 eur/5000 kWh eli 6,48 c/kWh.

4.3.2 Sähkönsiirtolasku

Sähkönsiirron kustannukset käsittävät yleensä perusmaksun (kiinteän maksun), kulutusmaksun ja sähköverot. Kiinteä maksu on porrastettu yleensä liittymän suuruuden eli sulakekoon mukaan ja se kattaa yleensä verkon pääomakustannukset. Kulutusmaksu kattaa yleensä verkon ylläpidon kustannukset. Sähkövero on valtion määräämä kullekin kuluttajaryhmälle määrätty vakiomaksu

Voit laskea sähkön siirron osatekijät yhteen samalla tavalla kuin energiamaksun kohdalla ja saat tietää, mitä siirto oikeasti tulee maksamaan käyttämäsi kilowattituntia kohti. Siihen ei kuitenkaan voi vaikuttaa muuten kuin ostamalla sähköä vähemmän tai vaihtamalla sulakekokoa tai mittaustopaa. Sähkön siirron kustannus 5000 kWh kulutuksella on 290,74 €/5000 kWh eli 5,81 c/kWh (Taulu 4.3.2). Sähkön kokonaiskustannus on tällöin sähköenergia ja siirto yhteenlaskettuna 324,00 + 290,74 eli 614,74 euroa vuodessa. Jos sähköä kuluu 5000 kWh, tulee keskihinnaksi 614,74 eur/5000 kWh eli 12,30 c/kWh.

4 Sähkön kilpailutus

Taulu 4.3.2 Sähkönsiirtolasku.

Kulutus	kWh	3000	5000	18000
Energiamaksu	c/kWh	3,00	3,00	3,00
Sähköverot	c/kWh	2,09	2,09	2,09
Perusmaksu	€/kk	3,00	3,00	3,00
Vuosikustannukset				
Energia	€	90,00	150,00	540,00
Sähköverot	€	62,84	104,74	377,05
Perusmaksut	€	36,00	36,00	36,00
Yhteensä	€	188,84	290,74	953,05
Keskihinta	c/kWh	6,29	5,81	5,29

4.3.3 Laskutus

Jos kilpailutat sähkösi, saat erikseen energialaskun ja siirtolaskun. Siirtolaskusi pysyy kilpailuttamisen jälkeen samansuuruisena kuin ennenkin. Energialaskusi on sen jälkeen selvästi pienempi, koska sähkön hinta on alempi. Jos sen lisäksi opit myös säästämään energian kulutusta, voit vaikuttaa myös siirtolaskusi suuruuteen.

Tavallisilla pienkuluttajilla (sulakekeko 3 x 63 A tai alle) on käytössä yleensä arviolaskutus, jolloin saat laskusi samansuuruisina erinä esimerkiksi yhden, kahden tai kolmen kuukauden välein. Kuitenkin vuoden kuluttua kilpailuttamisen aloituksesta luetaan mittarisi ja lähetetään tasauslasku. Tasauslaskussa peritään se osa energiasta ja energian siirrosta, jonka olet käyttänyt enemmän kuin olet arvioinut tai hyvitetään, jos olet saanut vuoden aikana säästöä.

Tuntimitatut suurkohteet laskutetaan yleensä kuukausittain mitatun kulutuksen perusteella. Tällöin arviolaskuja tarvitaan vain, jos mittautustietoja on jonkun kuukauden aikana jäänyt saamatta. Kun lasku tulee, on hyvä aina verrata ovatko sähköenergia-laskun ja sähkön siirtolaskun kilowattituntimäärät samansuuruisia. Tuntimittaus antaa tämän tarkistusmahdollisuuden.

Kun kaukoluettavat kilowattituntimittarit tulevat käyttöön, on järkevää pyytää sähköyhtiöitä laskuttamaan mitatun energiamäärän mukaan kerran kuukaudessa. Silloin maksaa vain sen, minkä oikeasti kuluttaa sähköä kunakin kuukautena. Arviolaskutuksessa sähköyhtiöt perivät sähköstä yleensä liikaa etukäteen. Samalla oikea tieto motivoi säästämään sähköä.

Jotkut verkkoyhtiöt säilyttävät kuluttajan kuukausittain luetut kulutustiedot internetiin tallennettuna. Tällöin kulutustietoja on myös helppo seurata ja verrata edellisen vuoden saman kuukauden lukemiin (ks. kuva 7.3.4).

4.4 SÄHKÖNKULUTUSARVIOT

Tarjouspyynnössä on aina hyvä ilmoittaa vuodessa kulutettavan sähköenergian määrä, jolloin tarjoajat käyttävät sitä vuosikustannusten laskemisen pohjana.

Kulutusarvio on samalla oma arviosi siitä, kuinka paljon aiot kuluttaa sähköä. Sähköähän ei kulu itsestään, sitä kuluu ainoastaan silloin, kun sitä käytetään.

4.4.1 Omakotitalot

Tyypillisen 120 h-m²:n (huoneistoneliometri) omakotitalojen keskimääräiset sähkönkulutusarviot on esitetty Taulussa 4.4.1. Arviot perustuvat Energianetin keräämän yli 10 000 sähkökäyttäjän ilmoittamiin kulutustietoihin, joista on tehty matemaattiset mallinnukset (Liite 2).

Omakotitalon sähkönkulutus riippuu myös mittaustavasta. Jos yksiaikamittauksella varustettua suorasähkötaloa merkitään indeksillä 100, niin varaava sähkölämmitystalo kuluttaa keskimäärin 21 % enemmän sähköä. Kaukolämmityksellä varustettu omakotitalo kuluttaa puolestaan 56 % ja öljylämmitystalo 64 % vähemmän sähköä kuin suora sähkölämmitystalo.

Taulu 4.4.1 Omakotitalojen keskimääräinen sähkönkulutus.

Huoneisto- ala m ²	Suorasähkölämmitys		Varaava sähkö kWh	Lämpö- pumppu kWh	Kauko- lämpö kWh	Öljy- lämmitys kWh
	Yksiaika kWh	Yösähkö kWh				
120	16 331	17 501	19 782	11 088	7 185	5 916
Indeksi	100 %	107 %	121 %	68 %	44 %	36 %
kWh/m ²	136	146	165	92	60	49

Lämpöpumpputalot kuluttavat keskimäärin 32 % vähemmän sähköä kuin suoralla sähkölämmityksellä varustetut omakotitalot. Keskikulutus on 92 kWh/h-m², joka vastaa ns. matalaenergiatalon kulutusta 90–100 kWh/h-m².

Tavanomainen 120 m²:n öljylämmitystalo kuluttaa öljyä 1800 litraa eli 18.000 kWh, josta lämmitykseen menee 15.000 kWh. Taloussähköä kuluu 5.900 kWh, joten talon energiankulutus on yhteensä 20.900 kWh eli 174 kWh/h-m².

Varaavalla sähkölämmityksellä varustetussa talossa kulutus on noin 20 % suurempi kuin yksiaikaisella mittauksella varustetussa suorassa sähkölämmitystalossa. Sähkön varastoinnissa tarvittavat korkeammat lämpötilat aiheuttaa häviöitä ja lämmönjako-keskuksen lämmitys menee suureksi osaksi hukkaan. Kiertovesijärjestelmän säätö on myös epätarkkaa verrattuna elektronisiin sähköradiaattoreihin.

4 Sähkön kilpailutus

Sähkön ominaiskulutus huoneistoalaa kohti pienenee talon koon kasvaessa (Liite 2). Mitä suurempi talo, sitä parempi on sen energialuokka. Mallinnuksen mukaan suoralla sähkölämmityksellä varustetut 300 h-m²:n talot kuluttavat keskimäärin 130 kWh/h-m².

4.4.2 Muut talot

Sähkönkulutusarviot muille taloille on esitetty liitteissä 3–6. Taulussa 4.4.2 on esitetty yhteenveto 80 h-m²:n kokoisen asunnon sähkökulutuksesta. Keskimääräinen 80 m²:n sähkölämmitetty rivitalo kuluttaa sähköä 165 kWh/h-m². Suoraan sähkölämmitettyyn omakotitaloon verrattuna kulutus on 19 % suurempi.

Taulu 4.4.2 Muiden talojen keskimääräinen sähkökulutus

Huoneisto- ala m ²	Rivitalot sähkö- lämmitys kWh	Rivitalot kauko- lämmitys kWh	Rivitalot öljy- lämmitys kWh	Kerrostalo kauko- lämmitys kWh	Vapaa- ajan asunnot kWh	Maatilat puu- lämmitys kWh
80	13 191	4 604	4 490	3 392	9 040	15 382
Indeksi	119 %	42 %	41 %	31 %	82 %	139 %
kWh/m ²	165	58	56	42	113	192

Kaukolämmitetyn rivitalon sähkökulutus on 42 % sähkölämmitetyn omakotitalon kulutuksesta. Kaukolämpöön kytketty rivitaloasunto kuluttaa lämpöä noin 150 kWh/m². Tällöin 80 m²:n asunto kuluttaa lämpöä 12.000 kWh ja sähköä 4600 kWh. Kokonaiskulutus on 16 600 kWh eli 208 kWh/h-m².

Kerrostaloasunnon sähkökulutus on 31 % sähkölämmitetyn omakotitalon ominaiskulutuksesta. Vapaa-ajan asunnon sähkökulutus on puolestaan 82 % sähkölämmitetystä omakotitalosta. Maatila kuluttaa sähköä toisaalta 39 % enemmän kuin omakotitalon, koska sillä on paljon aputiloja ja koneita.

Tyypilliset arvot antavat vain suuruusluokan kulutukselle. Käyttötottumukset ja asukasluke vaikuttavat arvioihin +/- 20 %. Lisäksi talon iällä on merkitystä. Kulutukseen vaikuttaa kodin sähkölaitteiden määrä ja niiden käyttötottumukset.

Omaa sähkökulutusta voi vertailla **Energianet.fi**-sivustolla tilastoarvoihin osiossa **Energiatodistus**. Energiatodistuksen avulla selviää, mikä tulisi olla saman ikäisen, tyyppisen ja kokoisen huoneiston energiakulutus. Energiatodistuksen avulla selviää myös, mikä on kulutus muihin verrattuna.

Energiatodistuksen avulla asunnot luokitellaan tähtiluokituksen mukaan siten, että keskimääräinen asunto saa kolme tähteä. Vähiten sähköä kuluttava asunto (pienin 20 %) saa viisi ja eniten kuluttava talo (suurin 20 %) yhden tähden.

4.5 KILPAILUTUKSEN KULKU

4.5.1 Tarjouspyyntö

Tarjouspyynnön voi lähettää sähköntoimittajille netin kautta **Energianet.fi**-sivuston kohdassa *Tarjouspyyntö*. Tarjouspyyntölomakkeen täyttämisen jälkeen Energianet.fi tarkastaa lomakkeen ja lähettää tarjouspyynnön sen haluamillesi sähköntoimittajille.

Tarjouspyynnön ajoitus on tärkeää. Kun hinta on laskussa, kannattaa odottaa. Jos hinta lähtee nousuun, kannattaa tehdä kaupat viivyttämättä. Tietysti nousu voi olla tilapäinen ja siksi pieneen nousuun ei kannata heti uskoa. Lisäksi tarvitaan vielä tietoa sähkömarkkinoiden perusteista eli fundamentaalinen analyysi.

Halutessasi voit pyytää tarjousta myös monilla ympäristönimikkeillä varustetusta energiasta. Näitä ovat tuulisähkö, biosähkö, vesivoima ja hyötyenergia. Tuulisähkön ja vesivoiman tuotannossa ei ole käytetty polttoaineita, joten niistä ei synny hiilidioksidipäästöjä. Biovoima on lähes päästötöntä ja hyötyenergian päästöt ovat yleensä muiden fossiilisten energialähteiden päästöjä pienemmät.

Sähkön tarjoajan kuuluu ilmoittaa myös myytävän sähkön CO₂-päästökerroin sekä tuotannon jakautuminen uusiutuvien energiamuotojen, fossiilisen energian ja ydinvoiman kesken.

Energianetin tarjouspyyntölomake

nimi Käyttöpaikan numero (ks. sähkölaskusta)
 Huoneistoala m² Huoneiston rakennusvuosi Asukkaiden lukumäärä henkilöä

Käyttöpaikan tyyppi

- Kerrostalo
- Rivitalo
- Omakotitalo
- Vapaa-ajan asunto
- Muu, mikä?

Lämmitystapa *

- Kaukolämpö
- Suora sähkö

4 Sähkön kilpailutus

- Varaava sähkö
- Lämpöpumppu
- Öljylämmitys
- Muu, mikä?

Mittaustapa

- Yksiaikamittaus Sähkönkulutus kWh
- Kaukoluettava tuntimittari Sähkönkulutus kWh
- Yösähkömittaus Päiväsähkö kWh

Yösähkö kWh

- Vuodenaikamittaus Talvipäiväsähkö kWh

Muu aika kWh

Lisätiedot

Toivottu sähkön tuotantotapa *

- Mikä tahansa
- Uusiutuvaa energiaa

Tarjoukset tehdään määräajalle

- 24 kk
- 12 kk
- Toistaiseksi

Sopimus alkaa * 200

Tarjoukset viimeistään * 200 mennessä

- Postiosoitteeseeni
- Sähköpostiosoitteeseeni Muita lisätietoja

4 Sähkön kilpailutus

4.5.2 Tarjoushinalaskelma

Sähkön hinnanmuodostus on tänään markkinahintapohjaista. Sähkön markkinahinta löytyy Nasdaqin sivuilta (www.nasdaq.com) kohdasta *Financial market*. Sieltä sähkölle löytyy hinta seuraaville vuosille tai vuosineljänneksille. Jos seuraavien vuosien sähkön hinnat ovat nyt 39 ja 41 €/MWh ja aluehintaero on 5 €/MWh, tällöin kahden vuoden keskihinta on aluehintaerolla lisättynä 45,0 €/MWh eli 4,5 c/kWh.

Sähkön myyjät laskevat verottoman myyntihinnan lisäämällä sähkön markkinahintaan omat marginaalinsa. Suurasiakkailta marginaali on esimerkiksi 5 %, jolloin kahden vuoden verottomaksi keskihinnaksi tulee $1,05 \times 45 = 47,3$ €/MWh. Verollinen keskihinta on $1,24 \times 46,2$ eli 58,6 €/MWh (5,9 c/kWh). Pienasiakkailta veloitetaan lisäksi kiinteä maksu, jolloin sähkön hinnaksi esimerkiksi 5000 kWh kulutuksella tulee 6,3 c/kWh (Taulu 4.5.1).

Taulu 4.5.1 Tarjouslaskelma

Kulutuskustannus		c/kWh	5000	18000
			c/kWh	c/kWh
Markkinahinta	45 €/MWh	4,50		
Kate	5 %	0,23		
Yhteensä		4,73		
Arvonlisävero	24 %	1,13		
Tarjoushinta		5,86	5,86	5,86
Kiinteä maksu	2,00 c/kk		0,48	0,13
Yhteensä			6,34	5,99

4.5.3 Tarjousvertailu

Jos tarjoukset on tehty tarjouspyynnön mukaisesti, tarjoukseen on laskettu kohteiden vuosikustannukset. Tällöin kannattaa valita edullisin tarjous. Jos tarjouksessa on ilmoitettu vain standardihinnat, niin voi laskea itse, mitä tarjotuilla hinnoilla sähkö tulee vuodessa maksamaan. Yleensä tällainen rutiinitarjous jo osoittaa, ettei myyjä ole kiinnostunut hankkimaan uusia asiakkaita.

Tarjousvertailun voi tehdä Taulun 4.5.2 mukaisesti. Siinä on laskettu jokaisen tarjouksen vuosikustannukset ennen lopullisen valintapäätöksen tekemistä. Tarjous D antaa pienimmän vuosikustannuksen.

Tilanne on vaikeampi, jos aikoo ostaa pörssisidonnaista sähköä. Siinä sähkö sidotaan tulevien kuukausien Helsingin pörssihintaan. Pörssisidonnainen sähkön marginaalit ovat sen verran suuria, että sähköä pitää ostaa yleensä vähintään 10.000 kWh vuodessa, jotta se tulisi edulliseksi. Tyypillinen kiinteä maksu on 4-10 €/kk ja marginaali 1 c/kWh.

4 Sähkön kilpailutus

Taulu 4.5.2 Tarjousvertailu

Tarjous		A	B	C	D
Kulutus	kWh	5000	5000	5000	5000
Energiamaksu	c/kWh	5,80	6,00	6,20	6,40
Perusmaksu	€/kk	4,00	2,00	1,00	-
Vuosikustannukset					
Energia	€	290,00	300,00	310,00	320,00
Perusmaksut	€	48,00	24,00	12,00	-
Yhteensä	€	338,00	324,00	322,00	320,00
Keskihinta	c/kWh	6,76	6,48	6,44	6,40

Valistunut kuluttaja selvittää myös kunkin tarjouksen sisältämät hiilidioksidipäästöt. Lainsäädäntö velvoittaa tarjoajaa ilmoittamaan päästön grammoissa kilowattituntia kohti. Kun tuo luku kerrotaan vuotuisen kulutuksen määrällä, saadaan sähkön oston aiheuttama päästö. Esimerkiksi rivitaloasunnon sähkön aiheuttamat CO₂-päästöt voivat olla 5.000 kWh x 200 g/kWh eli 1000 kgCO₂ (Taulu 4.5.3). Uusiutuvaa sähköä ostettaessa CO₂-päästöjä ei synny lainkaan.

Taulu 4.5.3 Sähköenergian aiheuttama CO₂-päästö

Tarjous		A	B	C	D
Kulutus	kWh	5000	5000	5000	5000
CO ₂ -sisältö	g/kWh	180	200	0	100
Vuosipäästö	kg/v	900	1000	0	500

Kannattaa tutkia myös sähkön ostoa pörssihinnalla. Siinä sähkön myyjä lisää Nordpoolin Suomen hintaan oman välityspalkkionsa. Jos välityspalkkio on pienempi kuin 10 % sähkön hinnasta, pörssisähkön ostaminen voi olla järkevä tapa, jos olettaa sähkön hinnan olevan laskussa.

Kun sähkön hinta on nousussa, niin silloin sähköä voi saada jopa alle pörssihinnan, jos ostaa sähköä pitkällä sopimuksella. Esimerkiksi vuosina 2000–2010 sähkön hinta nousi koko ajan, jolloin pitkällä sopimuksella sähköä ostaneet saivat sähkönsä jopa 10 % pörssihintaa halvemmalla. Vuosina 1990–2000 sähkön hinta laski ja pitkällä sopimuksella ostaneen maksoivat sähköstään jopa 30 % yli pörssihinnan.

Yleensä ei kannata juosta myöskään ns. ”tarjousten” perään. Monet firmat mainostavat nyt ”kilpailutettua sähköä”, joka saattaa olla huomattavasti kalliimpaa kuin itse oikeasti kilpailutettu sähkö. Kilpailutus kannattaa hoitaa itse ilman välikäsiä, jotka ottavat palvelustaan yleensä välityspalkkion.

4.6 SÄHKÖSOPIMUKSET

4.6.1 Sähköenergiasopimus

Tarjouksen liitteenä on yleensä ehdotettu sähkö sopimus ja valtakirja vanhan sopimuksen irtisanomista varten. Molemmat täytyy vielä täyttää ennen uuden sähkö sopimuksen voimaantumista.

Jos olet aiemmin ostanut sähkösi ennen ilman kilpailua paikalliselta verkkoyhtiöltä, irtisanomisaika on kaksi viikkoa. Määräaikainen sopimus loppuu sopimuksen mukaisesti, mutta jatkuu yleensä sen jälkeenkin, jos sitä ei erikseen irtisanota.

Yleensä sopimukseen kannattaa lisätä kohta, että sopimus on määräaikainen ja päättyy tietynä päivänä ilman erillistä irtisanomista. Siinä piilee vaara, että myyjä haluaa korottaa hintaa sopimus päättyessä ja sitoa uuden hinnan vuodeksi eteenpäin. Jos haluaa halvan hinnan, silloin kannattaa taas pyytää uudestaan tarjouksia.

Tärkeintä on miettiä, kuinka pitkäksi ajaksi tekee sähköenergiasopimuksen. Jos vesivaraston ovat korkealla ja hinnat ovat halpoja, kannattaa harkita pitkää sopimusta. Jos vesitilanne on huono ja hinnat ovat korkealla, lyhytaikainen sopimus voi antaa parhaan hinnan.

Tarjottua sähkön hintaa kannattaa verrata myös sähköpörssin termiinien hintoihin (Kuva 3.3.2). Jos tarjottu sähkö on huomattavasti kalliimpaa kuin termiinien hinnat, kannattaa ehkä ostaa sähköä toistaiseksi voimassa olevalla sopimuksella. Kohtuullinen marginaali sähkön myyjälle on 10 %, jolloin sähkön verollisen myyntihinnan tulisi olla 36 % kalliimpi kuin termiinien hinta. Jos termiinien hinnat ovat 37 €/MWh, kohtuullinen hinta sähkölle voisi olla $1,36 \times 37$ eli 5,0 c/kWh.

4.6.2 Sähkönsiirtosopimus

Jos kilpailutat sähkösi ensimmäistä kertaa, tulee verkonhaltijan (aikaisemman sähkönmyyjän) kanssa tehdä sähköstä siirtosopimus, jonka jälkeen verkkoyhtiö laskuttaa vain sähkön siirrosta.

Sähkönsiirtosopimuksen voi tehdä soittamalla verkkoyhtiöön tai lähettämällä sinne sähköpostiviesti tai kirje, jossa ilmoitetaan halusta tehdä kohteelle erillinen sähkön-siirtosopimus.

Sopimuksenteon yhteydessä on hyvä pyytää laskutusväliksi yksi kuukausi. Tämä on mahdollista, jos asunosi on varustettu kaukoluettavalla kWh-mittarilla. Kuukausittaisesta laskusta voi helposti seurata sähkönkulutusta.

4.7 YHTEENVETO

Seuraavassa on kilpailuttamisen kulku pähkinäkuoressa:

1) Aloitus

Aloita kilpailutus tutustumalla kilpailutusprosessiin.

2) Selvitä kulutuksesi

Tutki laskuasi ja selvitä kuinka paljon maksat nyt sähköenergiasta ja sähkön siirrosta vuodessa sekä energiakustannukset kilowattituntia kohti (c/kWh).

3) Tutki hintoja

Selvitä mihin suuntaa sähkön tarjoushinnat ovat liikkumassa. Jos hinnat ovat mielestäsi laskemassa, silloin kannattaa tehdä sopimus pörssisidonnaisin hinnoin. Jos aiot tehdä kiinteähintaisen sopimuksen, aloita kilpailutus vasta, kun hintojen lasku on pysähtynyt.

4) Aloita kilpailutus

Siirry www.energianet.fi sivuston kohtaan *Tarjouspyyntö* ja täytä kohteen tarjouspyyntökaavakkeet. Kun painat *Lähetä*-nappia, tietokone lähettää tarjouspyyntölomakkeet Energianetille. Tarjoukset tarkastetaan ja lähetetään myyjille viimeistään seuraavana arkipäivänä.

5) Tarjousvertailu

Alat saada tarjouksia jo viikon sisällä. Kahden viikon tai toivomasi tarjousajan kuluttua voit katsoa, mikä tarjoaja lupaa toimittaa sähköä halvimmilla vuosikustannuksilla. Lisäksi valistunut kuluttaja laskee tarjouksen sisältämät CO₂-päästöt ja valitsee myyjän, joka toimii tässä suhteessa vastuullisesti ympäristöä kohtaan.

Ei kannata mennä suin päin jonkun yhteisostetun sähkötarjoukseen mukaan. Tällaiset ”tarjoukset” saattavat olla paljon kalliimpia kuin itse kilpailutettu sähkö. Oma kilpailutus kannattaa tehdä aina joka tapauksessa.

6) Sähköenergiasopimus

Allekirjoita edullisimman tarjouksen tehneen toimittajan sopimuskäytävä ja valtuuta heidät irtisanomaan vanha sopimuksesi. Yleensä saat tarjouksen mukana myös kirjekuoren, johon voit laittaa sopimuksen ja valtakirjan postitusta varten.

4 Sähkön kilpailutus

7) Sähkönsiirtosopimus

Jos vaihdat toimittajaa ensimmäistä kertaa, soita paikalliselle toimittajallesi ja kerro, että haluat tehdä heidän kanssaan sähkönsiirtosopimuksen. Usein asian voi hoitaa myös lähettämällä sähköpostia laskussa mainittuun osoitteeseen.

8) Jatkoseuranta

Kirjaa ylös, kuinka pitkään uusi sähköenergiasopimus on voimassa. Muista, että sinun kannattaa aloittaa uusi kilpailutus hyvissä ajoin ennen kuin sopimuksesi päättyy.

9) Uudet tuulet

On mielenkiintoista huomata, miten uusiutuvan energian ostoinnostus kasvaa sitä mukaa, kun ihmiset tiedostavat maailman lämpenemisen ja kasvihuonekaasujen päästöjen välisen yhteyden.

Ensimmäisinä uusiutuvan sähkön ostajina ovat olleet liikkeellä hotelliketjut, jotka haluavat toimia vastuullisesti. Myös perheen naisväki on ollut kiinnostuneempaa vihreästä sähköstä kuin miesväki ja nuoret ennen vanhoja. Voi käydä niin, että muutaman vuoden kuluttua suurin osa kuluttajista haluaa ostaa vain päästötöntä sähköä.

5 LÄMPÖHUOLTO

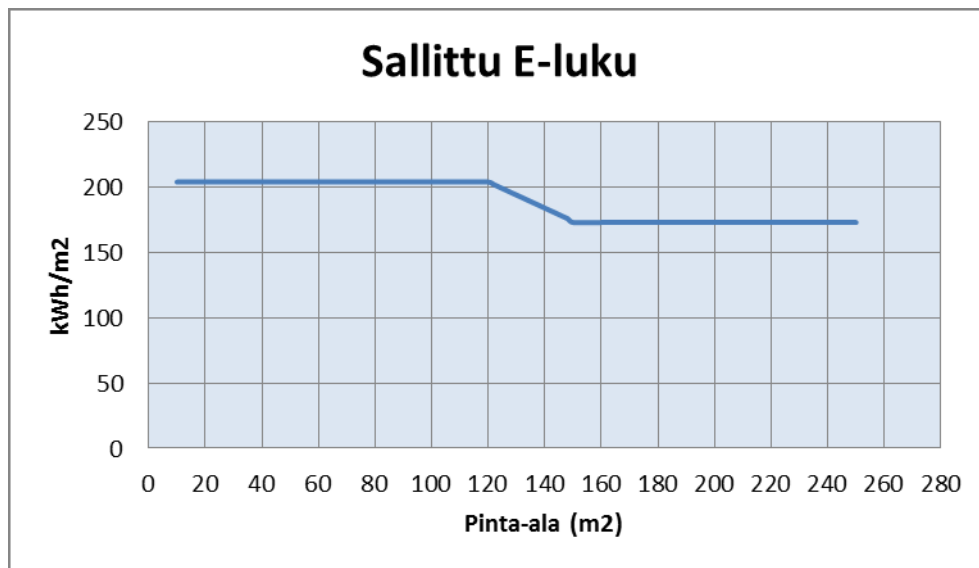
5.1 KIINTEISTÖN LÄMMÖNTARVE

5.1.1 Energiatohokkuus

Talojen energiatohokkuutta mitataan E-luvulla, joka on teoreettinen energiankulutus lämmitettyä nettopinta-alaa kohti laskettuna. Sen mittayksikkö on kWh/m², jossa neliöt mitataan ulkoseinien sisäpinnasta sisäseinät mukaan laskettuna.

E-arvo saadaan, kun talon laskettu energiankulutusluku (kWh/m²) kerrotaan vakiolla C, jonka pitäisi olla primäärienergian suhde kulutettuun energiaan. Todellisuudessa kerroin C on määritelty energiapoliittisin perustein, jolloin rangaistaan mm. sähköä (C=1,7) ja suositaan kaukolämpöä (C=0,7). Jos sähkö ja kaukolämpö tehdään yhteistuotantolaitoksessa, niin voimalan hyötysuhde on noin 90 %. Tällöin sähköllä ja lämmöllä tulisi olla samat kertoimet ja C-arvon tulisi olla noin 1,2, joka ottaa huomioon myös lämmön ja sähkön jakeluverkon häviöt.

Fossiilisilla polttoaineilla kuten öljyllä ja kaasulla kerroin C on yksi. Jos kaukolämpö tuotetaan fossiilisilla polttoaineilla, niin kerroin on edelleen 0,7, joka suosii kaukolämpöä paikallisen talokohtaisen tuotannon kustannuksella. Kotimaisilla polttoaineilla talokohtaisen lämmityksen C-arvo on 0,5.



Kuva 5.1.1 Sallittu E-luku uusissa rakennuksissa.

5 Lämpöhuolto

Uusien omakotitalojen rakennusluvan ehtona on, että talon E-luku täyttää rakennusmääräysten raja-arvot. E-luvun maksimiarvo alle 120 m² talolle on 204 kWh/m². Tätä suuremmissa taloissa E-arvon tulee laskea tasaisesti arvoon 173 kWh/m², kun talon koko on 150 m². Yli 600 m² suuruisissa taloissa E-luvun tulee olla pienempi 130 kWh/m².

Rakennusmääräysten mukaisen 120 m²:n sähkölämmitetyn talon mitattava ominaiskulutus saa olla korkeintaan 204 kWh/m² / 1,7, eli 120 kWh/m². Lämmönkulutus saa olla tällöin korkeintaan 120 m² x 120 kWh/m² eli 14.400 kWh. Tähän päästään, kun sähkölämmitetty ja normien mukaan rakennettu omakotitalo varustetaan ilmalämpöpumpulla ja puulämmitteisellä takalla.

5.1.2 Matalaenergiatalo

Monet uusimmat talot ovat niin sanottuja matalaenergiataloja, joiden lämmönkulutus on luokkaa 60 kWh/m². Talon seinien rakenne voi olla esimerkiksi kuvan 5.1.2 mukainen. Koska eristyskerros on paksu (25–30 cm), kannattaa sisäeristeeksi laittaa 6 cm SPU-eriste, joka on parempi kosteuseriste kuin rakennusmuovi. Rakenteen ilmanvuotokerroin on 0,2. Tällöin mahdollinen sisältä tuleva kosteus ei pääse eristykseen, josta sen pitää päästä poistumaan ulospäin. Ulkoverhouslautojen alla on myös noin 5 cm ilmarako, jonka ansiosta tuuletus paranee.



Kuva 5.1.2 Matalaenergialuokkaisen Jetta-talon seinärakenne.

5 Lämpöhuolto

Sisällä on Gyproc-levyn ja SPU-eristeen välissä 4 cm ilmarako, johon tehdään sähköasennukset. Ulkoseinässä on Gyproc-levy palosuojauksen takia. Sen jälkeen on 4 cm ilmarako, joka tehostaa seinän tuuletusta. Rakenteilla pääsee matalaenergiatalon eristysluokkaan ($U=0,11-0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$).

Talon alapohjan rakenne ja sen liittyminen seinärakenteisiin on myös tärkeä. Hyvä perustuksen voi valaa käyttämällä valmiiksi rakennettuja Legalett-muotteja, jotka on tehty Styrox-levyistä (Kuva 5.1.3). Näillä rakenteilla pääsee matalaenergiatalon eristysluokkaan $U=0,135$. Siinä on sokkelin ulkopuolella myös 10 cm paksuinen Styrox-levy. Pohjalaattaan asennetaan valmiiksi putket ilmalämmitystä varten. Ruotsissa taloihin tehdään monesti ilmalämmitys, koska halutaan välttää mahdollinen eristeiden kastuminen vesivuotojen takia.



Kuva 5.1.3 Legalett-perustus, jota edustaa Suomessa Linterm Oy. Ilmalämmityksen putket (punainen väri) valetaan pohjalaattaan.

Matalaenergiatalon lämmönkulutuslaskelma on tehty Taulussa 5.1.1. Suurimmat häviöiden aiheuttajat esimerkkitalossa ovat ilmastointi ja vuotoilma. Talon tiiviyteen kannattaa panostaa. Hyvä tiiviys saadaan aikaan, kun sähköputket ja kaapelit vedetään tiivistysmuovin sisäpuolella, jolloin läpivientejä tulee vähän. Esimerkkinä olevan matalaenergiatalon sähkönkulutus (12.250 kWh) jakautuu seuraavasti: kotitaloussähkö 5000 kWh, käyttöveden lämmitys 3600 kWh ja sähköpatterit (tai ilmalämmittimen) 3650 kWh.

5 Lämpöhuolto

Taulu 5.1.1 Matalaenergiatalon lämmönkulutuslaskelma Helsingissä.

Häviökohde	Pinta- ala m ²	U-arvo W/m ² /K	Lämpö- häviö W/K	Aste- päivät Kd	Energian kulutus kWh	Ominais- kulutus kWh/m ²
Lämmön johtuminen						
Seinät	100	0,11	11,00	3952	1 043	
Yläpohja	120	0,07	8,40	3952	797	
Ikkunat	13	0,75	9,75	3952	925	
Ovet	9	1,00	9,00	3952	854	
Alapohja	120	0,14	16,80	3240	1 306	
Yhteensä	362				4 925	41
Ilmanvaihto						
Teho (Hyötysuhde 76%)			Ilmavirta m ³ /s			
Ilmastointi	1,0	1/h	0,08	3952	2185	
Vuotoilma	4,0	m ³ /h/m ²	0,016	3952	1831	
Yhteensä	120				4016	33
Lämmin käyttövesi						
	120	m ²	30	kWh/m ²	3600	30
Yhteensä	120				12 541	105
Ilmaiskuormat						
Ihmiset 2	240	W/m ² /K		9 kk	-1555	
Kotitaloussäl	5000	kWh		9 kk	-3750	
Yhteensä	120				-5305	-44
Lämmöntarve	120				7 236	60

Sähköpatterien (tai ilmalämmittimen) avulla lämmitetään vain 3650 kWh, joka on johtumisesta ja ilmanvaihdosta aiheutuva 8950 kWh:n kulutus miinus ihmisten ja kotitaloussähkön aiheuttamat ilmaiskuormat (5300 kWh).

Sähköpatterien (tai ilmalämmittimen) kuorma pienenee, jos talossa käytetään takkaa tai ilmalämpöpumppua. Ilmalämpöpumppu voi ottaa sähköpatterien kuormasta 2650 kWh, jolloin sähköpattereille jää noin 1000 kWh. Jos ilmalämpöpumpun lämpökerroin on kolme, sähköä kuluu 900 kWh ja sähkön säästö on 1650 kWh.

Ilmalämpöpumpun teho heikkenee kylminä pakkaspäivinä. Tällöin voidaan avuksi ottaa takka, jonka avulla voidaan tuottaa sähköpatterien tarvitsema 1000 kWh. Näin ilmalämpöpumppu ja varaava takka voivat korvata sähköpatterien tarpeen kokonaan. Sähkövastuksia tarvitaan kuitenkin käyttöveden lämmitykseen.

5.2 LÄMMITYSTAVAT

Kiinteistöjen lämmöntuotanto jakautuu Suomessa paikallispolttoaineiden, kaukolämmityksen, sähkölämmityksen ja lämpöpumppujen kesken Taulun 5.2.1 mukaisesti.

Taulu 5.2.1 Lämmitysenergian loppukulutus /1/

Vuosi	1990	2000	2010	2011	Osuus
	TWh	TWh	TWh	TWh	
Keskitettyt lämmitysmuodot					
Kaukolämpö	20,2	23,6	32,5	32	46 %
Sähkölämmitys	6,3	8,1	14,4	14	20 %
Lämpöpumput	0,7	0,6	5,7	6	8 %
Yhteensä	27,2	32,3	52,6	51,2	74 %
Osuus (%)	57 %	66 %	74 %	74 %	
Paikallispolttoaineet					
Puupolttoaineet	5,8	6,3	9,5	9,2	13 %
Turve ja kivihiili	0,2	0,1	0,1	0,1	0 %
Kevyt polttoöljy	11,3	8,9	7,0	6,8	10 %
Raskas polttoöljy	2,9	0,8	0,8	1,0	1 %
Maakaasu	0,3	0,5	0,8	0,8	1 %
Yhteensä	20,5	16,6	18,2	17,8	26 %
Osuus (%)	43 %	34 %	26 %	26 %	
Yhteensä	47,7	48,9	70,8	69,0	100 %
Indeksi	100,0	102,5	148,4	144,7	

Tärkein lämmitysmuoto on kaukolämmitys, jolla on 46 % markkinaosuus. Toisena on sähkölämmitys 20 % osuudella ja kolmantena puupolttoaineet 13 %. Öljy on pudonnut sijalle neljä. Suuntaus on keskitettyihin järjestelmiin pois paikallispolttoaineista.

Öljyn osuus lämmitysenergian loppukulutuksesta oli vuonna 1990 noin 30 % ja vuonna 2011 enää 10 %. Lähes kaikki vuonna 2011 käytetty öljy oli kevyttä polttoöljyä. Nyt kun öljyn hinta on noussut yli euron litralta, öljylämmitys kannattaa korvata esimerkiksi lämpöpumppulämmityksellä myös suurissa kohteissa. Säästö on niin suuri, että vaikka tekisi investoinnin lainarahalla, säästöä alkaa saada jo ensimmäisestä vuodesta alkaen.

5.3 KAUKOLÄMMITYS

5.3.1 Kaukolämmön energialähteet

Kaukolämmitys on yleisin lämmitysmuoto kerros- ja rivitaloissa. Sen etuna ovat käytön helppous ja edulliset hinnat. Edulliset hinnat perustuvat mahdollisuuteen käyttää kiinteitä polttoaineita ja maakaasua. Kaukolämmön tuotanto energialähteittäin on arvioitu Taulussa 5.3.1.

Taulu 5.3.1 Kaukolämmön tuotanto energialähteittäin /1/

Vuosi	2000 TWh	2010 TWh	2011 TWh	Osuus %
Fossiiliset lähteet				
Kivihiili	7,3	8,0	7,6	24 %
Turve	4,9	7,5	6,2	19 %
Maakaasu	9,6	11,8	9,1	28 %
Öljy	1,8	2,6	1,6	5 %
Yhteensä	23,6	30,0	24,4	76 %
Osuus	88 %	80 %	76 %	
Ei-fossiiliset lähteet				
Jäteliemet	0,4	0,3	0,2	1 %
Muut puupolttoaineet	2,7	6,7	7,0	22 %
Muut	0,2	0,5	0,5	1 %
Yhteensä	3,3	7,5	7,7	24 %
Osuus	12 %	20 %	24 %	
Yhteensä	26,9	37,4	32,1	100 %
Indeksi	100,0	139,1	119,4	

Fossiiliset energialähteet kattavat 76 % kaukolämmön tuotannosta. Tärkein polttoaine on maakaasu, jonka osuus on 28 % kaikista polttoaineista. Toisena on kivihiili, jonka osuus on 24 %. Puupolttoaineiden ja turpeen osuudet kaukolämmöstä olivat vastaavasti 23 % ja 19 %.

Uusiutuvien energialähteiden, kuten puun ja jätteiden, osuus kasvaa jatkuvasti ja on jo 24 %. Sisämaassa ja Pohjois-Suomessa kotimaiset polttoaineet ovat vallanneet kaukolämpömarkkinat melkein kokonaan. Rannikolla ja kaasuverkon yhteydessä sen sijaan kaukolämmön tärkeimmät energialähteet ovat kivihiili ja maakaasu.

5 Lämpöhuolto

5.3.2 Kaukolämmön tuotanto

Kaukolämmön tuotanto tapahtuu pääasiassa yhteistuotantovoimalaitoksissa (CHP), joissa tuotetaan samanaikaisesti sekä sähköä että lämpöä. Vuonna 2012 noin 69 % (2011, 73 %) kaukolämmöstä tuotettiin sähköntuotannon yhteydessä ja 31 % (27 %) erillisissä lämminvesikattiloissa. Erillistuotannon osuus nousi vuodesta 2011, koska sähkön hinta oli halpa ja kaasun hinta kallis, jolloin kaasulla käyvät voimalat seisoivat pitkiä aikoja.

Kaukolämpövoimalaitoksissa lämpö syntyy sähköntuotannon sivutuotteena. Jos sähkön hinta on edullinen, niin yleensä voimalaitos pysäytetään. Koska sähkön tarve kasvaa jatkuvasti, uudet lämpövoimalaitokset kannattaa yleensä rakentaa asutuskeskusten yhteyteen. Tällöin yhdyskuntien lämmöntarve voidaan hoitaa samalla taloudellisesti ja ympäristöystävällisesti yhdistetyn sähkön ja lämmöntuotannon avulla.

Jos kaupungissa on kaukolämpövoimalaitos, lämmön erillistuotantoa tarvitaan yleensä vain kovimmilla pakkasilla. Kaukolämpövoimalaitoksilla on tehokkaat savukaasun puhdistuslaitteet ja korkea savupiippu. Voimalaitosten ansiosta kaupunki-ilma on puhdistunut merkittävästi.

Yleensä kaupunkien lämmitysvoimalaitokset mitoitetaan tuottamaan kaukolämmön perustehoa, joka vastaa noin puolta kaupungin lämpökuorman huipputehosta. Erillinen lämmöntuotanto vastaa puolestaan huippuosasta. Tällöin erillistuotannon osuus on yleensä vain noin 20 % energiasta. Huippulämpökeskukset käynnistyvät yleensä vasta, kun lämpötila laskee alle $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$:een. Esipoossa peruslämpö tehdään hiilivoimalalla ja huippulämpö kaasukäyttöisessä kombivoimalassa, joka käynnistyy vasta, kun pakkanen on alle $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Yhteistuotannon ansiosta monet kaupungit ovat myös sähkön suhteen omavaraisia. Jos kaupungin taloista 80 % on kaukolämmön piirissä ja kaukolämpövoimalaitosten rakennusaste on lähellä yhtä, niin kaupunki voi tulla omavaraiseksi sähköntuotannossa. Tällöin kaupunkiin kannattaa rakentaa sähkötehoa noin 2 kW/asukas. Tämä on mahdollista vain kaasuvoimalaitosten avulla.

Sen sijaan kiinteitä polttoaineita käytettäessä rakennusaste jää noin 0,5:n tasolle, jonka vuoksi sähköä joudutaan tuomaan kuntaan muualta. Sähkötehoa kannattaa rakentaa tällöin noin 1 kW/asukas. Tällöin ostettavan sähkön tarve on noin 1 kW/asukas. Olisi järkevää kehittää tuotantotapoja, joilla rakennusaste voitaisiin nostaa lähelle yhtä.

5.3.3 Jakeluverkko

Kaukolämmön jakelu tehdään jakeluverkossa, joka mitoitetaan yleensä $115\text{ }^{\circ}\text{C}$:n menoveden ja $55\text{ }^{\circ}\text{C}$:n paluueden lämpötiloille. Korkean lämpötilan takia putkiston lämpöhäviöt ovat 10–15 % verkkoon syötetystä energiasta. Vastaavasti lämpöhäviöt kiinteistön sisällä ovat myös 10–20 %:n luokkaa lämmönjakohuoneissa ja putkistoissa.

5 Lämpöhuolto

Jakeluverkon ja kiinteistön putkiverkon häviöihin voidaan helpoiten vaikuttaa laskemalla kaukolämpöveden menoveden ja paluueden lämpötiloja. Lämpötilojen laskun avulla voidaan myös voimalaitosten hyötysuhdetta parantaa, jolloin samalla polttoainemäärällä voidaan tuottaa enemmän lämpöä ja sähköä. Jos lämpö tuotetaan lähiverkossa, kaukolämpöveden menolämpötilaksi voi riittää 80 °C ja paluulämpötilaksi 40 °C. Nämä lämpötilat sopisivat myös kaukolämpöverkkoon liitetyille lämpöpumpuille.

5.3.4 Kuluttajan laitteet

Kaukolämmön jakelulaitteet sijoitetaan lämmönjakohuoneeseen, jossa on tavallisesti kaksi lämmönvaihtajaa, joista toisen avulla siirretään lämpö patteriverkostoon ja toisesta lämpimään käyttöveteen.

Molempien järjestelmien menovettä säädetään automaattisesti. Patteriveden säätö tapahtuu ulkolämpötilan perusteella, jolloin suurimman osan vuotta patteriveden menolämpötila on välillä 40–60 °C. Lämmintä käyttövettä pyritään pitämään jatkuvasti 55 °C:ssa, jossa lämpötilassa käyttöveteen päässeet bakteerit kuolevat.

Nykyisessä patteriveden ohjauskeskuksessa voidaan myös menoveden virtauksen määrää säätää portaattomasti. Lisäksi lämmitys voidaan lopettaa, kun ulkolämpötila ylittää esimerkiksi +17 °C astetta. Näin kesäsulkuja ei tarvitse enää muistaa. Jos vielä huoneissa on lisäksi termostaattiset patteriventtiilit, niin lämpöasiat voi lähes tyystin unohtaa.

5.3.5 Tulevaisuudennäkymät

Bioenergia

Kaukolämmön ongelma on fossiilisen energian suuri osuus kaukolämmön tuotannossa. Puuta ei riitä tarpeeksi Etelä-Suomen suurten asutuskeskusten lämmitykseen. Sen sijaan Keski- ja Pohjois-Suomeen sitä voidaan saada niin paljon, että siellä kaukolämpö voidaan tuottaa kotimaisia polttoaineita käyttämällä.

Uusia kaukolämpölaitoksia on rakennettu 2000-luvulla mm. Keravalle, Jyväskylään ja Lappeenrantaan. Parhailtaan uutta biovoimalaa ollaan rakentamassa esimerkiksi Järvenpäähän ja Tolkkisiin. Lisäksi Suomessa on rakenteilla useita jätteenpolttolaitoksia.

Tulevaisuudessa bioenergiasta tulee tärkein kaukolämmön lähde, kun maakaasun hinta on nousussa. On mahdollista, että siitä tulee tärkein lähde myös Helsingin seudulla. Helsingin Energia tutkii parhailtaan suuren biovoimalan rakentamista Vuosaaren ja Hanasaaren voimalan muuttamista bioenergialle sopivaksi. Myös Fortum tutkii Suomenojan hiilivoiman muuttamista biopolttoaineille sopivaksi.

5 Lämpöhuolto

Myös jätteenpolttolaitokset käyttävät pääasiassa bioenergiaa. Lahteen rakennettu uusi kaasutuslaitos käynnistyi vuonna 2012. Vantaalle tehtävä jätteenpolttolaitos valmistuu vuonna 2014. Voimalan kustannusarvion on 270 miljoonaa euroa.

Ydinkaukolämpö

Vuoden 2027 paikkeilla Loviisan ydinvoimalan tilalle rakennetaan todennäköisesti uusi ydinvoimala Loviisa 3. Se voisi tuoda ratkaisun myös pääkaupunkiseudun kaukolämmön muuttamiseksi vähäpäästöiseksi. Loviisan ydinvoimalasta voitaisiin rakentaa kaukolämmön siirtojohto Helsingin seudulle. Kahdesta teräsputkesta tehty johto voitaisiin sijoittaa noin 70 km pitkään kalliotunneliin. Vastaavanlainen kaukolämpötunneli on rakennettu kuljettamaan lämpöä Naantalın voimalasta Turkuun ja Vuosaaren voimalasta Helsinkiin.

Ydinvoimalasta voi saada sähkötehoa 1500 MW ja kaukolämpötehoa 1200 MW. Tuo kaukolämpömäärä riittäisi koko pääkaupunkiseudun peruslämmön tuottamiseen. Jos laitos toimisi 5000 tuntia kaukolämmön tuotannossa, se voisi tuottaa kaukolämpöä yhteensä 6 TWh. Kun 1500 MW:n ydinvoimala tuottaa kaukolämpöä, niin samalla sähköteho pienenee noin 300 MW, ja kaukolämpöpumppujen sähköntarve on noin 100 MW. Tämän vuoksi laitokselle jää myytävää sähkötehoa 1100 MW.

Kesällä voimalaitos voisi tuottaa pelkästään 1500 MW sähköä. Pääkaupunkiseudun lämmöntarve on noin 500 MW. Tuo lämpömäärä voidaan tuottaa esimerkiksi lämpöpumppujen avulla. Lämpöpumppu tarvitsisi noin 160 MW sähköä, joka voitaisiin tuottaa samassa ydinvoimalassa.

Kaukolämpöydinvoimalan käyttökate tavanomaiseen ydinvoimalaan verrattuna on noin 110 miljoonaa euroa suurempi (Liite 1.4). Jos kaukolämpöputken ja voimalan muutosten investointikustannukset ovat 1350 miljoonaa euroa, tulee lisäinvestoinnin takaisinmaksuajaksi kolmetoista vuotta. Sähkön omakustannushinnaksi tulee 50 €/MWh.

Kaukolämpöydinvoimalan lämmön hinta voidaan laskea myös sähkönmyynnin tuoton menetyksen perusteella. Sähköstä saatavat myyntituotot ovat kaukolämpöydinvoimalassa 110 miljoonaa euroa pienemmät kuin tavanomaisessa ydinvoimalassa. Sen ansiosta saadaan 6000 GWh lämpöä, joten lämmön omakustannushinta on 110 M€/6 TWh eli 18 €/MWh voimalaitoksella ilman investointikustannuksia.

Lisäinvestointikustannukset olisivat 1350 milj. euroa, josta aiheutuu noin 80 milj. euron pääomakustannukset. Tästä saadaan kustannuksiksi 80 M€/6000 GWh eli 14 €/MWh. Näin laskien ydinkaukolämmön tuotannon kustannuksiksi saadaan yhteensä 18+14 eli 32 €/MWh. Sitä voidaan verrata maakaasun hintaan, joka on 35 €/MWh ilman valmisteveroja.

5 Lämpöhuolto

Helsingin seutu tarvitsee kaukolämpöä noin 11 TWh vuodessa. Ydinvoiman avulla lämpöä voitaisiin tuottaa 6 TWh ja lämpöpumpuilla noin 1 TWh. Vantaalla rakenteilla oleva jätteenpolttolaitos tuottaa vuodessa 0,6 TWh sähköä ja 0,9 TWh lämpöä.

Näin muilla energialähteillä lämpöä pitäisi tuottaa vain noin 3,1 TWh. Jos loput lämmöstä tuotetaan maakaasun avulla, CO₂-päästö olisi noin 0,7 miljoonaa tonnia vuodessa, kun nyt päästö on noin 5 MtCO₂. Vähennys nykyisiin päästöihin olisi 85 %.



Kuva 5.3.1

Suuret lämpöpumput sopivat kaupunkien lämmönlähteeksi.

Lämpöpumppukaukolämpö

Lämpöä tuotetaan yhä enemmän lämpöpumpuilla. Myös kaukolämpöä on mahdollista tuottaa lämpöpumpuilla, jos lähellä on lämmönlähteenä vesistö tai kallioperä. Tukholman kaukolämmöstä tuotetaan merkittävä osa Värtanin 180 MW:n lämpöpumppujen avulla. Lämpö otetaan merestä ja pumpataan kaukolämpöverkkoon 80 °C lämpötilassa. Laitoksessa on kuusi 30 MW:n tehoista lämpöpumppua, joiden sähkötehon tarve on 8 MW kullakin. Näin lämpöpumppujen lämpökerroin on 30/8 eli 3,6.

Jos sähkö maksaa 60 €/MWh, niin lämmön energiakustannus on 60 €/MWh/3,6 eli 16,7 €/MWh. Tähän pitää lisätä vielä lämpöpumppulaitoksen pääoma- ja käyttökustannukset, jotka ovat noin 10 €/MWh. Kokonaiskustannukset ovat näin noin 27 €/MWh.

Näin lämpöpumpuilla tuotettu lämpö olisi selvästi halvempaa kuin kaasulla tuotettu lämpö, joka maksaisi noin 40 €/MWh. Se olisi myös halvempaa kuin ydinvoimalan kaukolämpö, jonka arvioitiin maksavan 32 €/MWh.

Helsinki voisi tuottaa pohjalämpönsä lämpöpumpuilla päästöttömästi, jos se käyttäisi Olkiluodon voimalasta ostamansa 200 MW:n sähkötehon lämpöpumpuissa. Sillä saisi tehtyä 700 MW kaukolämpöä, joka korvaisi Hanasaaren ja Salmisaaren hiili-

5 Lämpöhuolto

voimalaitosten tuottaman kaukolämmön edullisesti. Ydinsähköllä tuotetun kaukolämmön hinta olisi noin 27 €/MWh.

Lämpöpumpuilla voitaisiin korvata noin 700 MW x 7000 h eli 5000 GWh hiilikaukolämpöä. Samalla CO₂-päästöjä voitaisiin vähentää noin kaksi miljoonaa tonnia. Silloin Helsingille ei enää jäisi kivihiilellä tuotettua ylijäämäsähköä, jota se on kaupitellut eri puolelle Suomea. Kysymys on myös arvoalinnasta.

Ydinkaukolämpö/lämpöpumppuhybridi

Kun ydinkaukolämpö- ja lämpöpumppulämmitys liitetään yhteen, saadaan hybridi-lämmitys, joka voisi olla edullisin vaihtoehto pääkaupunkiseudun energiahuollossa. Tällöin kaukolämpöä johdettaisiin matalammassa, esimerkiksi 80 °C lämpötilassa, kalliotunnelia pitkin Helsinkiin. Veden virtaus voisi tapahtua suljetussa tunnelissa, jonka rakentaminen olisi huomattavasti halvempaa kuin teräksisten kaukolämpöjohtojen.

Helsingin päässä Loviisasta tulevan jäähdytysveden lämpö siirrettäisiin ensin lämmönvaihtimien kautta kaukolämpöverkkoon, jossa kaukolämpöveden lämpötila nostettaisiin ensin 45:sta 75 asteeseen. Tämän jälkeen se nostettaisiin lämpöpumpuilla 75:sta 105 °C:een käyttäen lämpöpumpun lämpökaivona jäähtynyttä noin 40–60 °C olevaa Loviisan jäähdytysvettä.

Kesällä lämpöpumppu voisi toimia ilman ydinkaukolämpöä, koska meren lämpötila on korkeampi ja kaukolämpöverkon menoveden lämpötilaksi riittää 80 °C, joka saataisiin lämpöpumpuilla suoraan merivedestä.

Tällaisen hybridilämmityksen kustannukset olisivat selvästi edullisemmat kuin tavanomaisella ydinkaukolämmöllä. Käyttökate nousisi 152 miljoonaa eroa vuodessa ja investoinnit kasvaisivat 1350 miljoonaa euroa (Liite 1.5). Lisäinvestoinnin takaisinmaksuaika olisi 8,9 vuotta. Koko investoinnin takaisinmaksuaika olisi hybridilämmitysvoimalassa 11,3 vuotta, joka olisi lyhyempi kuin tavallisen ydinvoimalan 12,1 vuotta.

Hybridilämmityksessä sähkön nettotuotanto vähenisi 2350 GWh, ja samalla sähkönmyyntituotot vähenisivät 141 milj. euroa. Sen ansiosta lämmöntuotanto kasvaisi kuitenkin 7800 GWh, jolloin lämmön omakustannushinta olisi noin 18 €/MWh ilman investointeja. Lisäinvestoinnit olisivat noin 1350 miljoonaa euroa, jolloin pääomakustannuksia syntyisi 88 miljoonaa euroa eli 11 €/MWh. Näin lämmön omakustannushinnaksi tulisi 18+11 = 29 €/MWh.

Veden pumppaus Loviisasta ja purkaminen Helsingin lähivesisiin pitäisi satamat vapaina jäistä koko talven. Samalla Helsingin vedet puhdistuisivat, kun lähivesiin saataisiin puhdasta merivettä. Kesällä veden pumppaus ei olisi tarpeen, koska lämmitys voitaisiin hoitaa pelkästään lämpöpumppujen avulla.

5.4 SÄHKÖLÄMMITYS

5.4.1 Sähköenergian tuotanto

Sähkön etuna muihin polttoainesiin verrattuna on sen monipuolinen tuotantorakenne, suuri ei-fossiilisten energialähteiden osuus ja pienet CO₂-päästöt. Sähköä tehdään merkittäviä määriä vesi-, tuuli-, bio- ja ydinvoimalla, jotka kattoivat noin 67 % sähkön tuotannosta vuonna 2012 (Taulu 1.3.3). Vesivoimaa tai tuulivoimaa tuottaessa ei synny lämpöä, joten nämä energiamuodot ovat mahdollisia vain sähkölämmitys- ja lämpöpumpputaloille.

Fossiilisilla polttoaineilla tuotettua sähköä tehdään tulevaisuudessa eniten maakaasulla kaukolämmön tuotannon yhteydessä. Maakaasuvoimalan päästöt ovat noin 220 g/kWh, kun päästöt jaetaan sähkölle ja lämmölle niiden tuotannon suhteessa. Tämä on noin puolet hiililämmitysvoimalan päästöistä (400 g/kWh). Eniten päästöjä syntyy, kun sähköä tuotetaan turve- tai kivihiihilauhdevoimaa käyttämällä (800–1000 g/kWh).

Sähköntuotannon hiilidioksidipäästöt ovat olleet noin 130–250 grammaa tuotettua kilowattituntia kohti. Ne pienenevät tästä alle 150 gCO₂/kWh vuoden 2016 jälkeen, kun Olkiluoto 3 aloittaa tuotannon. Kun kuudes ja seitsemäs ydinvoimala valmistuvat, CO₂-päästöt ovat alle 50 g/kWh (Taulu 2.5.2).

5.4.2 Suora sähkölämmitys

Radiaattorit

Sähkölämmityksen yleisin muoto on suora sähkölämmitys, jossa sähköä toimitetaan lämmittimelle aina kulloisenkin tarpeen mukaan kellonajoista ja tariffeista piittaamatta. Tavallisesti lämmön jakelu tapahtuu ikkunoiden alapuolelle sijoitettujen radiaattoreiden (sähköpatterit) sekä kosteissa tiloissa ja eteisissä lattialämmityksen avulla.

Radiaattoreita on periaatteessa kolmenlaisia: tasoradiaattoreita, virtauslämmittimiä ja sekalämmittimiä. Suljetut tasolämmittimet ovat pinta-alaltaan suurimmat ja niiden pintalämpötila jää alle 65 °C:n. Virtauslämmittimissä huoneilma kulkee lämmittimen sisällä olevien vastusten kautta ja ilma lämpenee kuumemmaksi. Sekalämmittimissä on sekä tasoradiaattori että pieni ilmavirtaus patterien läpi.

Tänä päivänä käytetään asuintiloissa ehkä eniten sekalämmittimiä (Kuva 5.4.1). Niiden pintalämpötila on alhainen (n. 70 °C) ja ne eivät vaadi yhtä suurta tilaa kuin tasolämmittimet. Lämmittimet varustetaan elektronisella termostaatilla, joka pitää virtaa päällä noin minuutin jaksoissa. Tällöin patterin lämpötila on koko ajan lähes vakio ja patterista ei kuulu lämpiämisen ja kylmenemisen aikaansaamaa napsahtelua.

5 Lämpöhuolto



Kuva 5.4.1 Enston Tupa-sekalämmitin, jossa on elektroninen termostaatti ja lämpötilan pudotusvastus.

Virtauslämmittimiä käytetään yleensä tiloissa, joissa ei ole jatkuvasti ihmisiä. Niiden avulla lämpötila voidaan korottaa nopeasti. Esimerkkejä tällaista tiloista ovat autotallit, varastot, eteiset ja tuulikaapit. Koska ilma ja sen mukana pölyhiukkaset virtaavat kuumien lämpövastusten kautta, virtauslämmittimistä voi syntyä pieniä hajuhaittoja sisätiloihin.

Lisäksi on olemassa puhalluslämmittimiä, jotka ovat puhaltimella varustettuja virtauslämmittimiä sekä säteilylämmittimiä, joiden pintalämpötila on noin 350–650 °C. Näillä voidaan hoitaa nopeasti paikallinen lämmitys tiloissa, joita ei käytetä jatkuvasti.

Lattia- ja kattolämmitys

Suoran sähkölämmityksen eräitä muotoja ovat myös lattia- ja kattolämmitykset. Lattialämmityksessä käytetään lämpökaapeleita, jotka valetaan yleensä betoniin. Lattialämmitys on yleistä pesutiloissa ja eteisissä, joissa pintamateriaalina käytetään kaakeleita.

Kattolämmityksessä käytetään lämmityskelmuja, jotka asennetaan kattolevyjen yläpintaan kiinni. Molemmat lämmitystavat tuntuvat miellyttäviltä koska lämpimät pinnat aiheuttavat lämpösäteilyä. Samasta syystä huoneen lämpötilaa voi hieman laskea.

5.4.3 Varaava sähkölämmitys

Jos vesipatterilämmitys halutaan korvata sähkölämmityksellä, niin helpoin tapa on hankkia kattilan tilalle varaava sähkölämmitys. Siinä vesitäyteinen varaaja lämmitetään sähkövastusten avulla yöaikaan lämpimäksi (+90 °C) ja sitä voidaan päiväaikaan

5 Lämpöhuolto

purkaa. Jos talossa on termostaattiset patteriventtiilit ja patterin menoveden säätö, niin varaajaa puretaan vain lämmitystarpeen mukaisesti.

Varaavan lämmityksen etuna on mahdollisuus ostaa halvempaa yösähköä. Päiväsähkön ja yösähkön hintaero ratkaisee, kannattaako yösähkölämmitys rakentaa. Vesikiertoinen järjestelmä kuluttaa joka tapauksessa enemmän sähköä kuin suora sähkölämmitys. Uuteen taloon ei enää vesikiertoista järjestelmää yleensä kannata rakentaa muuta kuin kaksoislämmityksenä silloin, kun esimerkiksi puuta on saatavissa runsaasti.

Yhtenä vaihtoehtona ovat myös ns. osittain varaavat lämmitysjärjestelmät. Niissä käytetään esimerkiksi kivilattian tai katon lämmönvarauskykyä hyväksi. Samoin voi vesivaraajan koko olla mitoitettu kattamaan lämmöntarpeen vain esimerkiksi -5 ... -10 °C:n asteen pakkaseen asti. Tässä lisälämmitys voidaan ottaa esimerkiksi päivällä tavallisista sähköpattereista, ilmalämpöpumpusta tai varaavasta takasta.

5.4.4 Kaksoislämmitys

Periaatteessa hyvin järkeviä lämmitysmuotoja ovat sähkön ja öljyn sekä sähkön ja puun kaksoislämmitykset. Niiden etuna on mahdollisuus siirtyä pakkaskaudella sähköstä vaihtoehtoiseen polttoaineeseen. Näin sähköntuotannon huipputehon tarvetta voidaan leikata.

Kaksoislämmityksen kannattavuus paranee, jos sille on saatavissa erillinen tariffi, joka pienentää esimerkiksi sähkön verkkomaksuja. Yhdistelmälämmitystä voidaan käyttää myös yösähköllä, jolloin päiväaikaan käytetään esimerkiksi vain öljylämmitystä.

Käytännössä kaikki sähkölämmitystalot on varustettu takalla tai uunilla. Tällöin on kansantaloudellisesti järkevää, että takkoja käytetään aina kovilla pakkasilla, jolloin voimalaitostehossa ja siirtoverkossa voidaan saada huomattavia säästöjä. Olisi tärkeää löytää keinoja, joilla tuo säästö voidaan kohdistaa kuluttajille.

Kun kotitaloudet siirtyvät kaukoluettaviin tuntimittareihin, niiden huipputehoa voidaan alkaa laskuttaa erikseen. Tällöin huipputehon säästö tulee kannattavaksi.

Vastaavasti sähkölaitokset voivat ilmoittaa kauko-ohjauksella, milloin sähköstä aiotaan laskuttaa kalliimpaa hintaa, jolloin lämmityskattilan omistaja voi siirtyä vaihtoehtoisen energialähteen käyttöön.

5.4.5 Lämmityksen ohjaus

Uusissa sähköpattereissa on lämpötilan pudotusvastus, jonka avulla huoneen lämpötilaa voidaan laskea haluttu määrä, kun huoneessa ei oleskella. Lämmitys voidaan kytkeä päälle kytkinkellon tai kauko-ohjatusti matkapuhelimien tekstiviestien avulla. Lämmityksen ohjauksen avulla voi saavuttaa säästöjä asunnon lämmönkulutuksessa ja huipputehossa.

5 Lämpöhuolto

Sähköyhtiö voisi myös lähettää asiakkaalle tekstiviestin esimerkiksi tuntia ennen, kun sähkön hinta nousee tai laskee. Samalla viestillä voitaisiin ohjata myös suoraan asunnon sähkölämmityksen pudotusvastuksia.

Sähkön hinta ei Suomessa ole vaihdellut niin voimakkaasti, että dynaamisiin tariffeihin olisi ryhdytty tavallisten kotitalouksien kohdalla. Sen sijaan teollisuudessa sähkön käytön ohjaus huipputunteina on ollut jo pitkään käytössä.

Sähkön siirtomaksun hinnoittelu perustuu tehotariffilla kuukauden suurimpaan tuntikeskiarvoon, jolloin sen pienentäminen voi laskea sähkön siirron hintaa. Tämä voisi olla motivoiva tapa myös kotitalouksien sähkön hinnoittelussa.

Vapaa-ajan asunnoissa voidaan kytkinkellon ja pudotusvastuksen avulla käynnistää lämmitys joka perjantai kello 12. Jos mökille ei tulla, voidaan lämmitys lopettaa automaattisesti esim. kello 22. Näin tehokkaampaa lämmitystä pidetään päällä vain noin 10 tuntia, jos mökillä ei käydä ja noin 48 tuntia viikossa, jos mökillä käydään viikonloppuisin.

Vielä tehokkaamman säästön voi aikaansaada asentamalla mökille gsm-ohjatun keskuksen. Sen avulla voi esimerkiksi laittaa kauko-ohjatusti kotona/poissa-kytkimen asentoon kotona, jolloin lämpötilan pudotusvastukset menevät pois päältä ja lämpötila nousee noin 12 tunnissa + 20 °C:een.

Lämpötilan pudotusvastuksen avulla saavutetaan huomattavia säästöjä sähkölaskussa. Jos yksi aste vastaa noin 5 % säästöä, voidaan 10 °C:n pudotuksella säästää noin 50 % lämmityskustannuksista silloin, kun ei olla paikalla. Kun ollaan paikalla, lämpötilan pudotus voidaan heti kytkeä pois kotona/poissa-kytkimestä.

5.5 LÄMPÖPUMPPULÄMMITYS

5.5.1 Periaate

Lämpöpumppu on periaatteessa eräs sähkölämmityksen muoto, mutta siinä yhdellä kilowattitunnilla sähköä voidaan tehdä kolme kilowattituntia lämpöä. Tällöin lämpöpumpun lämpökerroin on kolme. Korkea lämpökerroin aikaansaadaan siten, että kaksi kolmasosaa lämmöstä otetaan joko ilmasta, maaperästä tai pohjavedestä.

Maan lämpötila yli metrin syvyydessä on aina hieman nollan yläpuolella, koska maahan on varastoitunut auringon lämpöä kesän aikana. Syvemmällä noin 50 metrissä lämpö perustuu maan sisäiseen lämpöön, koska maan ytimessä on käynnissä lämpöä kehittävä fissioreaktio. Tämä lämpö pumpataan lämpöpumpun höyrytimeen, joka on alipaineessa. Höyrytimestä lämpö pumpataan kompressorilla lauhduttimeen, joka taas toimii ylipaineessa ja siirtää lämmön patteriverkostoon tai suoraan huoneilmaan.

Lämpöpumppu toimii kuin höyryturpiiniprosessi, mutta toisinpäin. Höyrykierrossa saadaan lämmöstä sähköä, mutta lämpöpumpussa tehdään sähköstä lämpöä. Koska yhdestä sähkökilowatista saadaan kolme lämpökilowattia, lämpöpumpun rakentaminen on mielekästä kaukolämmitysalueella vain, jos sähkön ja kaukolämmön hintasuhde on alle kolmen.

Jos sähkön hinta on 15 c/kWh ja lämmön hinta 5 c/kWh (hintasuhde = 3), säästää ei synny. Sen sijaan, jos sähkön hinta on 12 c/kWh ja lämmön hinta 6 c/kWh (hintasuhde = 2), säästää syntyy ja lämpöpumpun hankintaa kannattaa tutkia tarkemmin.

Lämpöpumppuja on asennettu pientaloihin vuoden 2010 loppuun mennessä noin 390.000 kappaletta (Taulu 5.5.1). Pientalojen lämpöpumppujen sähkönkulutus on yhteensä noin 2,5 TWh, joka vastaa noin 3 % sähkön kokonaiskulutuksesta. Tuotettu lämpö oli 5,3 TWh eli 8 % lämmityksen tarpeesta vuonna 2010. Tuotettua 2100 MW:n lämpötehoa varten tarvittava sähköteho on noin 700 MWe.

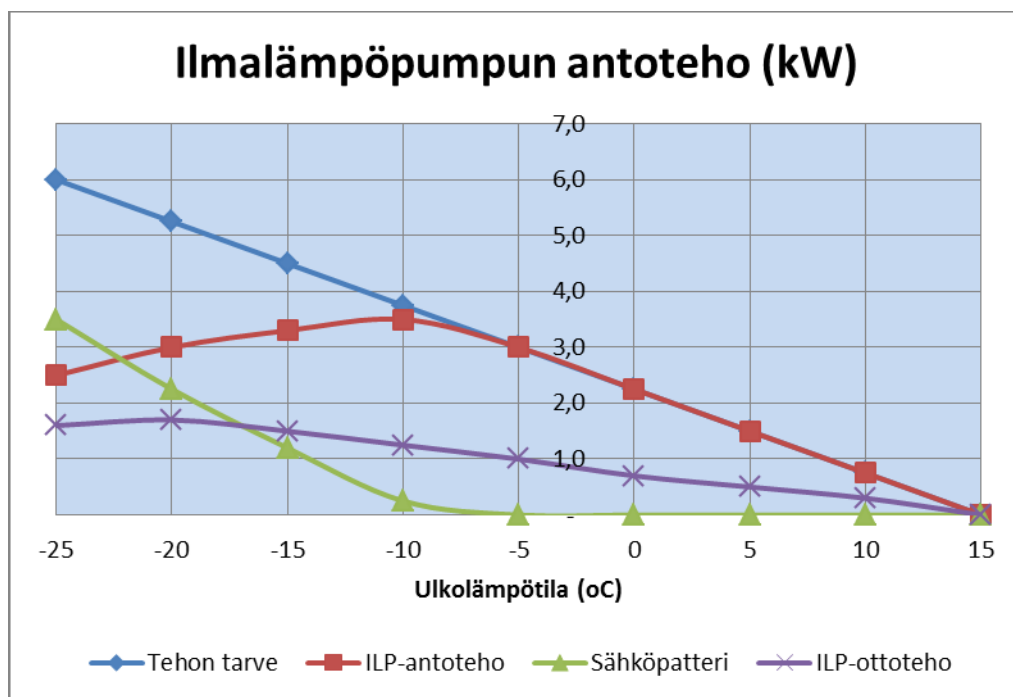
Taulu 5.5.1 Käytössä olevat pientalojen lämpöpumput vuonna 2010 /1/.

Tyyppi	Lukumäärä 1000 kpl	Lämpöteho MW	Tuotettu lämpö GWh	Kulutettu sähkö GWh
Ilmalämpöpumppu	319	1520		
Maalämpöpumppu	47	444		
Maa-vesilämpöpumppu	6	74		
Poistoilmalämpöpumppu	18	60		
Yhteensä	390	2098	5300	2502

5.5.2 Ilmalämpöpumppu

Ilmalämpöpumput ovat yksinkertaisimpia lämpöpumppuja. Niiden hyvänä puolena voidaan pitää edullista hintaa ja niitä voidaan käyttää talvella lämmitykseen, ja kesällä jäähdytykseen. Niiden haittana on huono teho ja lämpökerroin pakkasella.

Tavallisesti alle $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$:n ulkolämpötilassa niiden teho alkaa pudota ja lämpökerroin laskee alle kahden (Kuva 5.5.1). Noin $3,5\text{ kW}$:n lämmitystehon antava pumppu pystyy tuottamaan kaiken lämmitystehon $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$:n lämpötilassa, jos talon lämmöntarve $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$:n lämpötilassa on 6 kW .



Kuva 5.5.1 Ilmalämpöpumpun anto- ja ottotehot sekä sähköpatterien tehontarve.

Kaikki lämpöpumput eivät toimi ollenkaan pakkasella, koska ne on suunniteltu lämpimiin olosuhteisiin. Monet uudet laitteet, esimerkiksi kuvan 5.5.2 pumppu, kytkeytyvät automaattisesti pois päältä, kun pakkasena laskee alle $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$:n. Kun lämpötila nousee korkeammalle kuin $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, pumppu kytkeytyy taas automaattisesti päälle.

Uusimmat pumpputyypit toimivat vielä $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$:n pakkasessa ja niitä voidaan ohjata gsm-verkon kautta. Tällöin vapaa-ajan asunnon lämpötila voidaan pitää alhaisempana silloin, kun asunnossa ei oleksella. Tällöin lämpöä nostetaan vain silloin, kun asunnolle ollaan menossa.

5 Lämpöhuolto



Kuva 5.5.2

Ilmalämpöpumpun sisäkoje ottaa ilman ylhäältä ja puhalttaa ilman lämmitettynä alaspäin.



Kuva 5.5.3

Ilmalämpöpumppu on toiminut kesämökillämme jo kuusi talvea ilman ongelmia.

Tavanomaisesta ilmalämpöpumpusta ei saada tarpeeksi korkeaa lämpötilaa, jotta sen avulla voitaisiin valmistaa lämmintä käyttövettä pakkaskaudella. Siksi sen rinnalla täytyy olla tavanomainen sähköllä toimiva vesivaraaja. Koska ulkoilmalämpöpumpusta ei saada täyttä tehoa pakkasella, tulee myös sähköpatterit mitoittaa siten, että niiden avulla voidaan pakkasella saada täysi teho (noin 20 W/m^3).

5 Lämpöhuolto

Ilmalämpöpumppua voidaan käyttää myös lämpimillä ilmoilla asunnon jäähdytykseen. Tässä suhteessa Suomessa ollaan vielä muuta maailmaa selvästi jäljessä.

Markkinoilla on nyt saatavissa **ilma-vesilämpöpumppuja**, jotka pystyvät tuottamaan +60 ... +70 °C:n lämpöistä vettä, joka sopii myös lämpimän käyttöveden valmistukseen. Käyttövedessä olevat legioonalaishakkeerit tuhoutuvat +55 °C lämpötilassa.

Ilma-vesilämpöpumppuja voidaan käyttää myös saneerauskohteissa, joissa vanha öljykattila vaihdetaan lämpöpumppuun tai kaksoislämmitykseen, jossa öljyä käytetään kovilla pakkasilla.

Poistoilmalämpöpumppu ottaa talteen poistoilmassa olevan ilmaisen energian. Poistoilmapumpun etuna ulkoilmalämpöpumppuun verrattuna on, että se toimii myös pakkasella. Sekään ei pysty tuottamaan kaikkea talon tarvitsemaa lämpöä, vaan vaatii lisälämmittimet. Yleensä lisälämpöä tarvitaan heti, kun lämpötila laskee pakkasen puolelle.

5.5.3 Ilmalämpöpumpun kannattavuus

Ilmalämpöpumppua voidaan pitää lisäinvestointina, koska se vaatii tuekseen tavanomaisen pattereihin perustuvan sähkölämmitysjärjestelmän. Näin ilmalämpöpumpun investoinnin kannattavuutta voidaan tarkastella erikseen.

Ilmalämpöpumput maksavat noin 300 €/kW, jolloin noin 5 kW:n tehoinen lämpöpumppu maksaa noin 1500 euroa. Lisäksi tulevat asennuskustannukset, jotka ovat noin 500 euroa. Kokonaiskustannukset ovat noin 2000 euroa.

Ilmalämpöpumpulla saavutettava sähkön säästö on Energianetin keräämien tilastojen mukaan noin 10–20 %, jolloin 16.300 kWh kuluttavassa talossa säästetty energia on noin 1600–3300 kWh. Säästö on rahassa mitattuna noin 200–400 euroa vuodessa, jolloin lämpöpumppuinvestoinnin takaisinmaksuaika on noin kuusi-kymmenen vuotta.

Ilmalämpöpumput sopivat parhaiten sähkölämmitystalojen peruslämmön lähteeksi. Sähköpatterit alkavat lämmittää vasta, kun esimerkiksi ulkolämpötilan arvo laskee noin -10 °C:een. Tällaisia päiviä on Etelä-Suomessa hyvin vähän. Sähköpatterien käynnistymislämpötila riippuu siitä, minkä lämmitystehon pumppu antaa eri ulkolämpötiloissa.

Ilma-vesilämpöpumppu maksaa noin 1400 €/kW, jolloin noin 7 kW:n pumppu maksaa 10 000 euroa. Sähkön säästö on noin 30 % eli 5000 kWh, joka maksaisi noin 700 euroa vuodessa. Tällöin pumpun takaisinmaksuaika on noin 15 vuotta. Ilma-vesilämpöpumpun etuna on mahdollisuus lämmittää myös lämmintä käyttövettä.

Poistoilmalämpöpumppu on kytketty yleensä tuottamaan asunnon tarvitsema lämmin käyttövesi ja patteriverkoston kiertovesi vain osittain. Sillä voidaan säästää sähköä

5 Lämpöhuolto

tyypillisesti 2000–5000 kWh vuodessa. Rahaksi muutettuna säästö on noin 300–700 euroa vuodessa.

Samassa talossa voi olla yhtä aikaa poistoilma- ja ilmalämpöpumppu, jolloin kokonaissäästö on 4000–7000 kWh vuodessa. Tällöin poistoilmalämpöpumppu tuottaa lämpimän käyttöveden ja ilmalämpöpumppu talon peruslämmön.

5.5.4 Maalämpöpumput

Maaperän tai pohjaveden lämpöä käyttävät lämpöpumput pystyvät tuottamaan tarvittavan lämmön kaikissa tilanteissa sekä lämmittämään myös lämpimän käyttöveden. Maalämpöpumpuilla tuotetaan lämpöä yleensä lämpöakkuun, josta lämpö johdetaan patteriveteen ja vesiradiaattoreihin.

Maalämpöpumppu on usein toiminnaltaan aivan samanlainen kuin vesikiertoinen patterilämmitys. Siinä öljykattila on korvattu lämpöpumpulla. Lämpöpumppu maksaa kuitenkin jonkin verran enemmän putkistoineen kuin öljylämmitys öljysäiliöineen, mutta sen energiakustannukset ovat selvästi pienemmät.

Pienkohteet

Koska lämpöpumppu kuluttaa selvästi vähemmän sähköä kuin sähkölämmitys, se on myös ympäristön kannalta hyvä lämmitysmuoto. Tavanomainen 120 m²:n sähkölämmitystalo kuluttaa sähköä noin 16.300 kWh vuodessa, mutta maalämpöpumpputalon sähkön käyttö on vain 11.100 kWh eli 32 % (5200 kWh) vähemmän.

Suomessa on yhteensä noin 50 000 maalämpöpumppua, jotka säästävät sähköä yhteensä noin 0,25 TWh sähkölämmitettyihin pientaloihin verrattuna. Sähkönsäästöarvio perustuu Energianetin 2006–2008 keräämään 10 000 asunnon sähkötilastoon.

Lämpöpumpputalon sähköstä noin 6.100 kWh kuluu lämmitykseen ja 5.000 kWh kotitalouskulutukseen. Sähkölämmitystalossa kuluu noin 11.300 kWh sähköä lämmitykseen ja 5.000 kWh kotitalouskulutukseen. Näin laskien lämpöpumpun lämpökerroin on 11.300 kWh/6100 kWh eli 1.9.

Lämmöntarpeen erotus 11.300–6.100 eli 5.200 kWh otetaan maasta. Säästynyt sähkö on arvoltaan noin 5200 kWh x 0,15 c/kWh eli 780 euroa vuodessa. Sitä voidaan verrata lämpöpumpun lisäinvestointiin, joka on noin 15.000 euroa. Tällöin takaisinmaksuaika on noin 20 vuotta.

Tavanomaisessa öljylämmitystalossa kuluu öljyä 1800 litraa, joka maksaa noin 2000 euroa vuodessa ja sähköä noin 6000 kWh, joka maksaa noin 900 euroa vuodessa. Energialasku on 2900 euroa vuodessa. Jos talo muutetaan lämpöpumppulämmitykselle, sähköä kuluu noin 11.300 kWh eli 1700 euron edestä.

5 Lämpöhuolto

Säästö on 1200 euroa vuodessa. Kun muutosinvestointi maksaa noin 18.000 euroa (150 €/m²), tulee takaisinmaksuajaksi noin 15 vuotta. Näin öljylämmitystalo kannattaa muuttaa lämpöpumppulämmitykselle, vaikka öljykattila olisi vielä toimintakuntoinen.

Suuret kohteet

Myös kerros- ja rivitaloihin kannattaa asentaa lämpöpumppulämmitys, jos vain tontti on riittävän suuri. Esimerkiksi 2000 m² kerrostalo vaatii kymmenen 200 metrin syvyistä lämpökaivoa, joista lämpö otetaan. Kaivot eivät saa olla 10 metriä lähempänä toisiaan kaivonreiän keskikohdasta mitattuna. Esimerkiksi 40 x 70 m kokoiselle tontille voidaan tehdä kahteen riviin viisi kaivoa kuhunkin.

Suurkohteessa investointikustannukset ovat noin 100 €/m², jolloin 2000 m²:n kerrostalon muutostyöt lämpöpumppulämmitykselle maksavat noin 200.000 euroa. Öljyn säästö on noin 20.000 litraa x 1,2 €/l eli 24.000 euroa vuodessa. Sähköä kuluu nyt noin 60.000 kWh enemmän, joka maksaa noin 9.000 euroa. Säästö on noin 15.000 euroa, jolloin investoinnin takaisinmaksuaika on noin 14 vuotta.

Näin ollen kaikki vanhat öljylämmitystalot kannattaa vaihtaa lämpöpumppulämmitykselle. Myös monia kaukolämpöaloja on muutettu lämpöpumppulämmitykseen, jos kaukolämmön hinta on liian korkea.

Myös kaukolämpöä voi tuottaa myös lämpöpumpuilla hyvin edullisesti. Kaukolämpöyhtiön kannattaa tutkia lämpöpumpun hankintaa ennen, kun se alkaa menettää asiakkaitaan. Samalla kannattaa miettiä, minkälainen yhdistelmä antaa parhaan kannattavuuden.



Kuva 5.5.4 Maalämpökaivojen porausta suuressa kohteessa.

5.6 TALOKOHTAINEN LÄMMITYS

5.6.1 Uuni- ja hellälämmitys

Puu-uunit ja -herrat olivat vielä 50-luvulla tärkeimmät lämmönlähteet sekä kerrostaloissa että omakotitaloissa. Jokaisessa huoneessa oli tyypillisesti pönttöuuni ja keittiössä oli puuhella. Pönttöuuni oli lieriön muotoinen ja siinä oli galvanoidusta pellistä tehty pinta. Siihen ladottiin pakkaspäivinä illalla sylillinen puita, jotka lämmittivät uunin kuumaksi. Uunin pinta säteili sitten yön yli lämpöä. Ensin oli illalla vähän liian kuuma, kunnes lämpötila laski ja aamulla tuntui taas kylmältä. Aamulämmitykseen riitti yleensä puuhella, jota käytettiin samalla aamukahvin keittoon.

60-luvulla puu-uuneista ja -herttoista luovuttiin öljy- ja sähkölämmityksen tultua markkinoille. Useimpiin taloihin rakennettiin tuolloin kuitenkin vesikiertoinen keskuslämmitys. Sitten 1970-luvulla, kun öljyn hinta alkoi nousta, kattiloita alettiin vaihtaa puukattiloihin. Uusiin taloihin yleistyi sähkölämmitys, joihinkin taloihin rakennettiin takka tai uuni varalämmön lähteeksi. Alettiin palata vanhoihin järjestelmiin ja moni kaipasi vanhoja hyviä uunejaan.

Uuneja valmistetaan taas uudestaan. Nyt myydään valmismalleja, jotka ovat yhtä tehokkaita kuin vanhat pönttöuunit. Uusina tulokkaina ovat vuolukiviunit, joita kutsutaan myös vuolukivitakoiksi. Ne vastaavat toiminnaltaan vanhan ajan pönttöuuneja, mutta ovat myös osaksi huonekaluja. Kiven varauskyky on tiiltä parempi ja siksi ne ovat pönttöuuneja parempia lämmönvarauskyvyltään.

5.6.2 Takkalämmitys

Avotakka

Takka toimi monessa asunnossa aluksi lähinnä koristeena ja sen lämmössä on mukava saunan jälkeen vilvoitella ja esimerkiksi paistaa makkaraa. Takka oli yleensä avotakka, joka ei varannut lämpöä. Puu paloi korkealla ilmakertoimella, jolloin suurin osa energiasta nousi savun mukana taivaan tuuliin. Samalla palamislämpötila oli alhainen ja takat kehittivät runsaasti polyaromaattisia hiilivetyjä.

Pian takkaan hankittiin suuluukut, joiden avulla palamisilmaa voitiin rajoittaa. Vasta takkasydänten tultua markkinoille takan ilmamäärä saatiin oikeaksi ja takasta alettiin saada lämpöä myös huoneen lämmitykseen. Samalla palamislämpötila kasvoi ja savukaasujen päästöt saatiin alhaisemmiksi.

Varaava takka

Perinteinen varaava takka toimii samoin kuin vanha pönttöuuni. Siinä savukaasut johdetaan ensin takan keskeltä ylös, josta ne kierrätetään uunin sivuja pitkin alas ja sieltä takaisin ylös hormiin. Näin savukaasut lämmittävät takan kivet, jotka sitten tullen

5 Lämpöhuolto

sammumisen jälkeen luovuttavat lämpöä useita tunteja. Takkoja voi ostaa valmiina malleina useilta eri toimittajilta tai antaa muurarin tehdä se paikan päällä.

Tavallisen varaavan takan lämpöteho perustuu aluksi pelkästään suuluukkujen lämpösäteilyyn, koska takan pinta alkaa olla lämmin vasta tunnin tai parin kuluttua lämmityksen aloittamisesta. Sen vuoksi tavalliset takat sopivat parhaiten kohteisiin, joissa asutaan jatkuvasti, jolloin takan nopea lämpiäminen ei ole niin kriittistä. Vapaa-ajan kohteissa perinteinen takka on yleensä liian hidas siihen, kun tilat halutaan nopeasti lämpimiksi.

Takkasydän

Edullisin takka saadaan, kun hankitaan ensin halutun tehoinen takkasydän (Kuva 5.6.1). Sen jälkeen muuraria pyydetään rakentamaan sen ympärille sopiva takka. Jos huoneen tilavuus on suuri, kannattaa takkaan laittaa enemmän tiiliskiviä (n. 500–1000 kpl), joiden avulla takka saadaan varaamaan lämpöä yön yli ja seuraavaan päivään asti. Valmistakat tekevät saman, mutta maksavat huomattavasti enemmän.



Kuva 5.6.1 Takkasydämen ympärille muurattu takka lämpiää nopeasti.

5 Lämpöhuolto

Hyvä takkasydän toimii myös nopeana lämmönlähteenä. Sydämen ympärillä on vaippa, jonka välissä tapahtuu kiertoilman lämmitys. Kiertoilma otetaan yleensä suuluukkujen alta ja se lämpenee vaipassa. Lämmennyt ilma tulee suuluukkujen yläpuolelta takaisin huoneeseen. Lämmintä kiertoilmaa alkaa tulla jo parin minuutin kuluttua takan syttymisestä ja sen osuus takan lämmitystehosta voi olla 50 %. Suuluukusta saa tehosta 25 % ja seinämistä loput 25 %.

Käyttö

Takkaa käytetään taas yleisesti lämmönlähteenä sähkölämmitteisissä omakotitaloissa pakkaspäivinä. Varaavasta takasta riittää lämpöä yli vuorokauden. Samalla säästetään sähköä. Jatkuvasti asutuissa kohteissa takan varauskyky on takan tärkeimpiä käyttöominaisuuksia.

Kesämökkien lämmönlähteenä takan tärkein ominaisuus on lämmittää huone nopeasti, jotta mökki voidaan pitää kylmempänä aina, kun siellä ei asuta. Tällöin tärkeiset takkasydämet ovat usein tehokkaimpia, koska niissä lämmintä vaippailmaa alkaa tulla heti, kun tulet on sytytetty. Usein sähköpatterit ja ilmalämpöpumput huolehtivat peruslämmöstä. Kun tullaan talvella mökille, takan avulla lämpötila voidaan nostaa viihtyvyysalueelle nopeasti.

Mökissä voi olla peruslämmönlähteenä ilmalämpöpumppu tai sähköpatterit, jotka pitävät lämmön noin 5–10 °C:n tuntumassa. Viikkokello nostaa lämmöt perjantaisin noin 15–18 °C asteeseen ja isolla takkasydämellä varustettu takka nostaa lämmön 20 °C:een noin tunnissa. Ilmalämpöpumpun ja sähkölämmityksen ohjauksen voi nyt suorittaa myös kauko-ohjatusti gsm-verkon kautta, jolloin takan käyttöä pikalämmitykseen ei välttämättä tarvita.

Puulämmityksen suurimman ongelman muodostavat puun, risujen ja kotitalousjätteiden poltosta syntyvät hiukkaspäästöt. Tiivisti rankennetuilla omakotialueilla tästä voi tulla myös merkittävä ympäristöongelma. Haja-asutusalueilla ei tarvitse samalla tavalla ajatella naapureitaan, koska puulämmityksen hiukkaspäästöt eivät yleensä leviä kauas.

5.6.3 Hake-, pelletti- ja viljalämmitys

Suuret kohteet

Suuremmissa kohteissa halkojen käyttöä polttopuuna ollaan korvaamassa hakkeen käytöllä. Puuhakkeen etuna on halpa hinta ja käytön automatisointi. Hake voidaan varastoida siiloihin, josta syöttö kattilaan tapahtuu automaattisesti esimerkiksi pyörivän syöttöruuvun avulla palamistarpeen mukaisesti. Sääto tapahtuu tavallisesti ruuvien kierroslukua muuttamalla.

Hakkeen kosteuspitoisuus on noin 55 %, eli selvästi halkoja korkeampi. Hakkeen hinta on yleensä selvästi halkojen hinnan alapuolella. Kun hakekattilan käyttö on vielä

5 Lämpöhuolto

automatisoitu, se on syrjäyttänyt halkolämmityksen suurimmissa kohteissa haja-asutusalueilla.

Pienet kohteet

Pienempiin kohteisiin soveltuvat polttoaineeksi puupelletit sekä viljakasvit kaura ja ohra. Puupellettien kosteus on hyvin vähäistä ja ne on puristettu pieniksi ja helposti käsiteltäviksi tuotteiksi. Pellettien tärkein käyttökohde on pientalojen keskuslämmityskattiloissa öljyn korvikkeena, koska pelletit ovat yleensä kevyttä polttoöljyä halvempia.

Myös kaura ja ohra ovat halvempia kuin öljy, mutta ne joudutaan yleensä kuivaamaan ennen, kun ne soveltuvat pellettipolttimille. Vuonna 2012 yksi kilowattitunti puupellettejä siilossa maksoi noin kuusi senttiä, kun öljyn hinta oli noin yksitoista senttiä.

Pellettejä voi ostaa säkeittäin ja käyttää vaikkapa takassa, joka on varustettu pellettipolttimella tai pellettiarinalla. Pellettiarina on reikälevystä tehty kaukalo, jossa pelletit palavat. Pellettien avulla myös takkalämmitys on mahdollista automatisoida, kun syöttölaite varustetaan ruuvilla.

Kustannukset

Suuren kiinteistön (1000 m³) hakelämmityslaitteiden investointi maksaa noin 30 000 euroa, kun pelletti- tai viljalämmityskattilan voi ostaa noin 15 000 eurolla. Jos käytettävissä on vanha kattila, siihen voi hankkia pelletti- tai viljapolttimen noin 4 000 eurolla. Pelletti- tai viljakattilan toiminta on automaattista, kerran tai kaksi päivässä joutuu ainoastaan poistamaan tuhkan. Myös tuhkan poiston voi automatisoida.

Peltokasvit ovat tulleet lämmityspolttoaineeksi pysyvästi EU-tukien muututtua pinta-alakohtaisiksi. Tällöin tuottaja saa viljakilosta enemmän polttoaineena kuin viljan maailmanmarkkinahinta. Kauran tuottajahinta on noin 10 senttiä kilolta ja kaksi ja puoli kiloa kauraa vastaa yhtä litraa polttoöljyä. Tällöin kWh vastaavan energiamäärän hinnaksi tulee vain 4 senttiä. Kauran sato pellohehtaarilta on noin 10 MWh, jolloin noin kahden hehtaarin sato riittää tavanomaisen omakotitalon lämmitykseen vuodeksi. Energiakasvien viljelystä saa lisäksi tukea 30 euroa pellohehtaarilta.

Polttoaineeksi kelpaa huonompilaatuinenkin vilja, jonka seassa voi olla myös rikkakasveja. Omakotitalon lämmitykseen tarvitaan noin 8000 kg kauraa vuodessa, joka nykyhinnoin maksaa noin 1600 euroa. Vastaavasti saman talon lämmitykseen tarvittaisiin noin 2000 litraa kevyttä polttoöljyä, joka maksaa noin 2400 euroa vuodessa. Noin 4000 euron lisäinvestointi pellettipolttimeen maksaa itsensä takaisin viidessä vuodessa. Maatilatalouden rakennukset ovat suurempia ja siten myös voivat olla takaisinmaksuajat jopa puolta lyhyempiä.

5 Lämpöhuolto

5.6.4 Öljykeskuslämmitys

Keveyeen polttoöljyyn perustuvat kattilat tulivat myyntiin 1960-luvulla ja niiden avulla siirryttiin useissa pientaloissa ns. keskuslämmityksen aikaan. Öljykattila asennettiin yleensä omakotitalon kellariin, josta sitten vedettiin patterivesi- ja lämminvesiputket huoneisiin.

Vesipatterit asennettiin jokaisen ikkunan alle, jonka avulla saatiin vedon tunne häviämään. Patterit lämmittivät huoneilmaa ja aikaansaivat ilmapvirtauksen muutoksen. Nyt lämmin ilma nousi pattereista ikkunan kohdalta ylöspäin, kun ilman patteria olevasta ikkunasta kylmä ilmapirta laskeutuu alaspäin ja aiheuttaa vedon tunteen.

Yhtenä etuna puulämmitykseen verrattuna on öljylämmityksen helppous. Kun kerran tai pari vuodessa muistaa ostaa tankin täyteen ja huoltaa polttimen, niin öljystä ei tarvitse kantaa muuta huolta. Koska öljyn hinnat seuraavat maailmanmarkkinahintoja vain muutaman päivän viiveellä, varsinainen ongelma on se, milloin se tankki kannattaa täyttää.

Vuonna 2010 kevyen ja raskaan polttoöljyn osuudet olivat noin 10 % ja 1 % kaikesta lämmöntuotannon energiasta (Taulu 5.2.1). Se oli vähemmän kuin puulämmityksellä, joka kattoi 13 % lämmityksen energiantarpeesta. Sähkölämmityksen ja lämpöpumppulämmityksen osuudet olivat vastaavasti 20 % ja 8 %.

Öljyn osuus laskee, mutta sähkön ja lämpöpumppujen osuus kasvaa tasaisesti. Yleensä öljyä käytetään niin kauan, kun kattila ja öljysäiliöt ovat toimintakuntoisia. Nykyaikainen öljylämmitys on käyttömukava ja hyötysuhteeltaan tehokas lämmitysmuoto. Suurimmat ongelmat ovat öljyn korkea hinta sekä CO₂-päästöt. Lämmitystavan muutos öljystä lämpöpumppulämmitykseen on jo kannattava, vaikka vanha kattila olisi vielä toimintakuntoinen.

5.6.5 Maakaasulämmitys

Maakaasu on valtaamassa markkinoita maailman energiantuotannossa ja siitä on tulossa öljyn jälkeen toiseksi tärkein energialähde. Suomessa se ei ole saanut merkittävää asemaa kotitalouksien ja kiinteistöjen paikallisessa lämmityksessä, koska kauko- ja sähkölämmitykset tulivat Suomeen jo 60-luvulla, paljon ennen maakaasua.

Monissa maissa maakaasu on myös kotitalouksien tärkein energialähde. Suomessa kaasulämmitteisessä talossa on yleensä kaasulämmityskattila, jossa lämmin käyttövesi ja patterivesi lämmitetään. Esimerkiksi USA:ssa yleisin käyttötapa on maakaasuun perustava ilmalämmitys, jossa kaasukattilan yhteydessä on ilmapuhaltimet, jotka puhaltavat huoneissa ikkunoiden alle lämmintä ilmaa.

Maakaasun etuna on sen käytön helppous ja puhtaus. Sen lisäksi maakaasusta voidaan johtaa putket myös kaasuliedelle, jossa voidaan valmistaa ruokaa. Yleensä maakaasu on

5 Lämpöhuolto

selvästi sähköä halvempaa ja kaasuliedellä ruoka valmistuu nopeammin. Useisiin Helsingin keskustan kerrostaloihin jaellaan maakaasua, vaikka niissä on kaukolämmitys.

Monet vanhat ihmiset pitävät kaasuhellaa parhaana ja eivät halua luopua sen mukavuudesta. Moni pelkää kuitenkin kaasuliesissä piilevää kaasuvuotovaraa, kun nykyään kaikki ovat tottuneet sähköliesiin. Kaasuliedet ovat kuitenkin tänä päivänä liekinvalvontajärjestelmineen hyvin turvallisia.

Maakaasulla voidaan tulevaisuudessa tehdä pienessä mittakaavassa myös sähköä ja lämpöä pienvoimalassa. Tämän tekevät mahdolliseksi kokeiluvaiheessa olevat polttokenno- ja polttomoottorivoimalat. Kehityksen kärjessä ovat japanilaiset valmistajat, joiden polttokennoihin perustuvia koelaitoksia on vuoden 2012 lopussa käytössä noin 10.000.

5.7 LÄMMITYSTAVAN VALINTA

5.7.1 Polttoaineiden hintakehitys

Sähkön ja kaukolämmön hinta on noussut puolta hitaammin kuin öljyn hinta eli 4–5 % vuodessa. Lämmityspolttoaineiden hinta on noussut koko ajan sähköä ja kaukolämpöä nopeammin. Öljytuotteiden, hakkeen ja pellettien hinnat ovat nousseet vuoden 2000 jälkeen keskimäärin 6–7 % vuodessa (Taulu 5.7.1). Tämä on kiihdyttämässä öljylämmitystalojen siirtymistä lämpöpumppulämmityksen ja sähkölämmityksen käyttöön.

Taulu 5.7.1 Talokohtaisten polttoaineiden hinnat lämmöntuotannossa (€/MWh, sis. alv).

Vuosi	Suora sähkö €/MWh	Kauko- lämpö €/MWh	Kevyt polttoöljy €/MWh	Puu- pelletti €/MWh	Poltto- hake €/MWh	Keski- arvo €/MWh
2000	63,7	38,2	38,0		7,8	
2001	63,3	40,4	41,0		8,2	
2002	67,8	42,1	35,0	26,8	9,1	36,2
2003	77,9	43,8	40,0	27,0	9,9	39,7
2004	77,0	44,7	42,7	27,0	9,8	40,2
2005	75,3	46,7	57,0	29,6	10,6	43,8
2006	79,7	49,9	67,0	29,8	11,6	47,6
2007	84,3	51,9	62,0	30,0	12,4	48,1
2008	94,4	55,9	94,0	42,0	14,1	60,1
2009	102,2	61,4	62,0	47,8	17,6	58,2
2010	106,9	63,2	78,0	54,0	18,4	64,1
2011	112,8	65,6	108,0	54,5	22,0	72,6
2012	122,8	74,7	105,2	51,0	23,7	75,5
Nousu/v	4,7%	4,6%	7,2%	6,4%	7,3%	7,3%
Ennuste						
2020	169,9	98,6	202,7	95,2	41,4	121,6

On hyvinkin perusteltua olettaa, että öljytuotteiden hinnannousu jatkuu myös tulevaisuudessa. Useilla öljykentillä tuotannon huippu on jo sivuutettu. USA:ssa huippu oli 1960-luvulla ja Pohjanmeren kenttien tuotantohuippu oli vuoden 2010 paikkeilla. Sen jälkeen öljyntuotanto on yhä enemmän Opecin varassa. Jos kiinalaiset ja intialaiset hankkivat henkilöauton, he tarvitsevat lähes kaiken liikenevän lisäöljyn itselleen.

Voidaan olettaa, että hinnat nousevat samalla nousutrendillä kuin ennenkin. Tällöin laskentahintoina voisi käyttää vuoden 2020 ennustehintoja (Taulu 5.7.1). Varsinkin kotimaisten polttoaineiden hinnat saattavat vaihdella paikallisesti merkittävästi, joten niiden hinnat kannattaa selvittää ennen valintapäätöksiä.

5.7.2 Taloudellisuusvertailu

Lämpöjärjestelmän valinta tehdään laskemalla kaikille kysymykseen tuleville vaihtoehdoille vuosikustannukset. Taulussa 5.7.2 on tehty suuruusluokkalaskelmat noin 120 h-m²:n asunnolle lämmöntuotannon vuosikustannuksista. Energian hintoina on käytetty vuoden 2020 ennustettuja hintoja, jotka saadaan, kun hintojen odotetaan nousevaan samaa tahtia kuin viimeisen kymmenen vuoden aikana.

Sähkölämmitys, lämpöpumppulämmitys ja kaukolämmitys ovat edullisimmat lämmitystavat huoneistoalaltaan 120 h-m²:n omakotitalossa tässä järjestyksessä. **Sähkölämmitystalon** energiakustannukset ovat 3430 euroa vuodessa. Summaan sisältyy lämmityslaitteiden investoinnit ja sähkön hankinta.

Ilmalämpöpumpulla varustettu sähkölämmitystalon kustannukset ovat hieman (7 %) edullisemmat kuin suorassa sähkölämmitystalossa. Ilmalämpöpumpun investoinnin (2000 euroa) säästö on 250 euroa ja takaisinmaksuaika noin kahdeksan vuotta.

Kaukolämpötalon vuosikustannukset ovat noin 3650 euroa vuodessa. Kustannukset ovat 6 % suuremmat kuin suoralla sähköllä lämmitetyssä omakotitalossa. Näin kaukolämmitys alkaa olla kannattamaton lämmitysmuoto pientaloalueilla. Sen lisäksi kaukolämpö tuotetaan monessa paikassa fossiilisilla polttoaineilla, joten se on myös ilmaston kannalta huonompi vaihtoehto.

Lämpöpumppulämmityksen vuosikustannukset ovat 3770 euroa eli noin 10 % suuremmat kuin suoralla sähkölämmityksellä. Lämpöpumppu säästää vuotuisissa energia- ja käyttökuluissa noin 1000 euroa. Tällöin noin 20 000 euron lisäinvestoinnin takaisinmaksuaika on noin 20 vuotta, joka on vielä hyvin siedettävä.

Pellettilämmityksen vuosikustannukset ovat puolestaan 4360 euroa. Kustannukset vaihtelevat kuitenkin pellettien hinnan mukaan eri paikkakunnilla. Pellettilämmityksen etuna on se, että se on kotimainen ja aiheuttaa vähiten CO₂-päästöjä.

Öljylämmitys maksaa noin 70 % enemmän kuin suora sähkölämmitys. Öljylämmityksen vuotuiset käyttökustannukset ovat noin 2700 euroa suuremmat kuin maalämpöpumpulla. Näin lämpöpumpun lisäinvestoinnin (14 000 euroa) takaisinmaksuaika on noin viisi vuotta. Kaikki vanhat öljylämmitystalot kannattaa muuttaa lämpöpumppulämmitykseen nopealla aikataululla.

Varsinkin ilma-vesilämpöpumpun asentaminen saneerauskohteisiin on kannattavaa. Ilma-vesilämpöpumpun investointikustannukset ovat pienemmät kuin maalämpöpumpulla, jolloin takaisinmaksuaika on vastaavasti pienempi. Toisaalta ilma-vesilämpöpumpusta ei riitä lämpöä kylmien pakkaspäivien varalla, jolloin se käyttää silloin lisälämmön lähteenä sähkövastuksia.

5 Lämpöhuolto

Taulu 5.7.2 Lämmitysmuotojen vuosikustannukset 120 h·m²:n olevissa omakotitaloissa.

Lämmitystapa		Suora- sähkö	Ilma- lämpö- pumppu	Maa- lämpö- pumppu	Kauko- lämpö	Pelletti- lämmitys	Ölji- lämmitys
Hyötysuhde	%	95 %	95 %	85 %	85 %	80 %	80 %
Huoneistoala	m ²	120	120	120	120	120	120
Lämmönkulutus	kWh	12 105	12 105	13 529	17 059	18 125	18 125
Öljyn kulutus	litra	-	-	-	-	-	1 800
Sähkönkulutus							
- Lämmityssähkö	kWh	12 105	9 684	5 412	-	-	-
- Kiinteistösähkö	kWh	0	0	500	500	500	500
- Taloussähkö	kWh	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000
- Yhteensä	kWh	17 105	14 684	10 912	5 500	5 500	5 500
Investoinnit							
- Lämmönjakotila	eur	1 000	1 000	4 000	4 000	9 000	6 000
- Lämpökeskus	eur	1 000	1 000	1 000	2 000	5 000	3 000
- Lämpöpumppu	eur		2 000	7 000			
- Maaputkisto	eur			7 000			
- Säiliö/Siilo	eur	-	-	-	-	2 000	2 000
- Patteriverkosto	eur	3 000	3 000	4 000	4 000	4 000	4 000
- Liittymismaksut	eur	1 500	1 500	1 500	3 000	1 500	1 500
- Sekalaiset	eur	500	500	2 000	1 000	1 500	1 500
- Yhteensä	eur	7 000	9 000	26 500	14 000	23 000	18 000
Pääomakustannus							
- Pitoaika	v	30	30	30	30	30	30
- Laskentakorko	%	5 %	5 %	5 %	5 %	5 %	5 %
- Annuiteetti	%	6,51	6,51	6,51	6,51	6,51	6,51
Yhteensä	eur	455	585	1724	911	1496	1171
Hinnat							
- Kaukolämpö	eur/MWh	-	-	-	98,6	-	-
- Öljy	eur/l	-	-	-	-	-	2,0
- Pelletit	c/kWh					9,5	
- Sähkö	c/kWh	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0
Käyttömenot							
- Polttoaineet	eur	0	0	0	1 682	1 725	3 648
- Sähköenergia	eur	2 906	2 495	1 854	934	934	934
- Käyttö	eur	70	120	195	125	200	180
- Yhteensä	eur	2976	2615	2049	2742	2860	4762
Kokonaiskulut	eur	3 432	3 200	3 773	3 652	4 356	5 933
Indeksi		100 %	93 %	110 %	106 %	127 %	173 %

5 Lämpöhuolto

5.7.3 Ympäristökysymykset

Vastuullinen lämmittäjä selvittää myös lämmitystapojen päästöt. Näistä tärkeimpiä ovat hiilidioksidi (CO₂) ja pienhiukkaset.

Hiilidioksidipäästöille on olemassa säästötavoitteet, joihin EU ja sen myötä myös Suomi on sitoutunut. Eri lämmitysmuotojen CO₂-päästöt Suomessa ovat keskimäärin Taulun 5.7.3 mukaiset.

Taulu 5.7.3 CO₂-päästöt 120 h-m² omakotitaloissa

Lämmitystapa	Suora- sähkö	Ilmalämpö- pumppu	Maalämpö- pumppu	Kauko- lämpö	Pelletti- lämmitys	Öljy- lämmitys
Lämmöntuotanto						
- Lämmön tarve kWh				17 059	18 125	18 125
- Ominaispäästö g/kWh				280	21	297
- CO ₂ -päästö kg				4 776	381	5 377
Sähköntuotanto						
- sähkön tarve kWh	17 105	14 684	10 912	5 500	5 500	5 500
- ominaispäästö g/kWh	150	150	150	150	150	150
- päästö vuodessa kg	2 566	2 203	1 637	825	825	825
Kokonaispäästö kg	2 566	2 203	1 637	5 601	1 206	6 202
Indeksi %	100 %	86 %	64 %	218 %	47 %	242 %

Suoraan sähkölämmitykseen verrattuna maalämpöpumpulla saadaan noin 36 %:n säästö CO₂-päästöissä. Pienimmät päästöt ovat pellettilämmityksellä eli noin puolet sähkölämmitystalon päästöistä.

Kaukolämmitystalon päästöt ovat noin 120 % suuremmat kuin sähkölämmityksellä. Öljylämmitystalon päästöt ovat puolestaan 140 % suuremmat kuin sähkölämmitystalon päästöt. Kaukolämpöä voidaan myös tuottaa kotimaisilla polttoaineilla, jolloin päästään lähelle pellettilämmityksen päästöjä.

Sähkölämmityksen hiilidioksidipäästöjen pienuus (150 gCO₂/kWh) selittyy sillä, kun sähköä tuotetaan kaksi kolmannesta CO₂-päästöttömällä tavoilla eli ydin-, vesi-, tuuli- ja biovoimalla (Taulu 1.3.3). Tulevaisuudessa ei-fossiililla lähteillä tuotettu osuus nousee 80 %:iin. Sähkölämmityksen päästökerroin voidaan myös laskea siten, että talvi-kuukausien sähköä painotetaan kulutuksen mukaisesti, jolloin päästökerroin tulee tätä suuremmaksi, koska fossiilisten polttoaineiden käyttö on suurempaa talvisin.

Päästökertoimet ovat tässä tyypillisiä arvoja. Sähköä voi ostaa myös tuulisähköä, jolloin päästö on nolla. Sähkön päästökertoimet ovat vuoden 2016 tienoilla alle 150 gCO₂/kWh, kun viides ydinvoimala valmistuu. Kun suunnitteilla olevat kaksi uutta ydinvoimalaa valmistuvat, päästökerroin on alle 50 g CO₂/kWh.

5.8 YHTEENVETO

Lämmitystavan valinta

Tulevaisuuden lämmitystavat pientaloalueilla ovat suora sähkölämmitys ja lämpöpumppulämmitys. Myös kaukolämmitys voi tulla kysymykseen, jos kaukolämpöä tuotetaan ympäristöstävällisesti kotimaisia energialähteitä käyttäen.

Sähköpatterit kannattaa varustaa lämpötilan pudotusvastuksilla, jonka avulla kunkin huoneen lämpötilaa voidaan pudottaa, kun tiloissa ei ole kella. Vapaa-ajan asuntojen sähkökeskukseen voi asentaa myös elektronisen kytkinkellon, joka ohjaa lämmitystä viikkorytmin mukaisesti.

Sähkölämmitystaloihin kannattaa rakentaa lisä- ja varalämmönlähteeksi takka. Edullisimman perinteisen takan saa tehtyä, kun ostaa rautakaupasta takkasydämen ja antaa muurarin muurata sen ympärille takan. Takkasydämen ympärillä on vaippa, joka antaa lämmintä kiertoilmaan melkein heti, kun takka on sytytetty.

Asuintaloissa myös perinteinen valmistakka on hyvä lämmönlähde, jos lämpenemisen nopeudella ei ole kiirettä. Valurautaiset valmistakat taas lämpenevät erittäin nopeasti, mutta ovat pinnaltaan usein polttavan kuumia.

Lämmitystavasta riippumatta voidaan ilmalämpöpumpulla saada merkittävä energiansäästö kaiken tyyppisissä lämmitystavoissa. Ilmalämpöpumppu ei kuitenkaan voi tehdä lämmintä käyttövettä. Ilma-vesilämpöpumpun tai poistoilmalämpöpumpun avulla voi tuottaa myös lämpimän käyttöveden.

Käyttö

Sähkölämmitystalojen ja lämpöpumpputalojen käyttö on yksinkertaista. Sähköä kuluu juuri sen mukaan, mihin lämpötilaan kukin huone on säädetty. Takan avulla voi sen lisäksi sähkönkulutusta pienentää pakkaspäivien aikana.

Uudet ilmalämpöpumput voidaan varustaa GSM-verkon kautta tapahtuvalla kaukoohjauslaitteella. Tämä sopii hyvin vapaa-ajan asuntoihin, joita voidaan pitää esimerkiksi 5–10 °C:n lämpötilassa, kun niissä ei ole kella.

Sähkön hintaan voi vaikuttaa suorittamalla sähkön kilpailutuksen kerran vuodessa tai joka toinen vuosi. Kahden vuoden kiinteä hinta vapauttaa kuluttajan sähköasioiden murehtimiselta pitkäksi aikaa. Jos hinnat ovat laskussa, voi toistaiseksi voimassa oleva sopimus olla järkevä valinta välikaudella.

Ympäristöasiat

Ympäristökysymysten suhteen ovat sähkölämmitys ja lämpöpumppulämmitys järkeviä vaihtoehtoja. Niiden hiilidioksidipäästöt ovat pienet ja niillä ei synny lainkaan haitallisia pienhiukkasia, jotka ovat yleensä paikallisen lämmityksen suurin ongelma.

Suurin säästö hiilidioksidipäästöissä voidaan aikaansaada, jos vanhat öljylämmitystalot muutetaan lämpöpumppulämmitykseen tai pellettilämmitykseen. Tällöin CO₂-päästöt laskevat noin 70 %.

Uudet omakotitalot kannattaa varustaa suoralla sähkölämmityksellä, ilmalämpöpumpulla ja varaavalla takalla. Kun talo on rakennettu matalaenergiataloksi, sen lämmönkulutus hoituu suureksi osaksi ilmaislämmön avulla.

Suuret omakotitalot voi haja-asutusalueella varustaa maalämpöpumpulla. Lämpöpumppujen avulla säästetään sähköä noin 2000–8000 kWh omakotitaloa kohti laskettuna. 500 000 lämpöpumpputaloa merkitsisi noin 3 TWh:n säästöä suoraan sähkölämmitykseen verrattuna. Lämpöpumppujen asentaminen on järkevää myös vanhoihin öljylämmitystaloihin. Samalla vai pienentää perheen aiheuttamia CO₂-päästöjä tonnikaupalla.

Suuren CO₂-säästön sähkö- tai lämpöpumppulämmitteisessä talossa voi aikaansaada nopeasti myös siirtymällä päästöttömän sähkön ostoon. Samaan pääsee myös, jos alkaa käyttää kotimaisia polttoaineita.

6 LIIKENNE

6.1 LIIKENTEEN ENERGIANKULUTUS

Liikenteen energiankulutus on kasvanut jatkuvasti sitä mukaa kun ihmiset vaurastuvat ja ostavat uusia autoja ja matkustelevat yhä enemmän. Polttoaineiden kulutus vuonna 2010 oli 4500 ktoe ja sähköä kului 167 ktoe (740 GWh). Suurin energiankäyttäjä on tieliikenne, joka käytti 88 % liikenteen käyttämästä energiasta (Taulu 6.1.1).

Taulu 6.1.1 Liikenteen energiankulutus /1/

Vuosi	1990	1995	2000	2005	2010	Osuus
	ktoe	ktoe	ktoe	ktoe	ktoe	%
Tieliikenne						
Bensiini	1 927	1 830	1 698	1 784	1 560	33 %
Dieselöljy	1 598	1 483	1 827	2 059	2 377	51 %
Maakaasu	-	-	-	2	5	0 %
Biopolttoaineet	-	-	-	-	167	4 %
Yhteensä	3 525	3 313	3 525	3 845	4 108	88 %
Lentoliikenne						
Lentopetrooli	136	119	165	150	141	3 %
Vesiliikenne						
Bensiini	43	48	50	53	50	1 %
Raskas polttoöljy	36	43	57	45	55	1 %
Kevyt pö/diesel	115	107	110	110	115	2 %
Yhteensä	193	198	217	208	220	5 %
Rautatieliikenne						
Kevyt polttoöljy	62	60	48	41	33	1 %
Polttoaineet yhteensä						
Bensiini	1 970	1 877	1 748	1 837	1 610	34 %
Lentopetrooli	136	119	165	150	141	3 %
Kevyt pö/diesel	1 775	1 650	1 985	2 209	2 525	54 %
Raskas polttoöljy	36	43	57	45	55	1 %
Maakaasu	-	-	-	2	5	0 %
Biopolttoaineet	-	-	-	-	167	4 %
Yhteensä	3 917	3 690	3 955	4 244	4 502	96 %
Sähkö (kToe)	87	105	122	147	167	4 %
Energia yhteensä	4 004	3 795	4 077	4 391	4 670	100 %
Indeksi	100,0	94,8	101,8	109,7	116,6	
Sähkö (GWh)	385,0	465,0	537,0	648,0	740,0	
Indeksi	100,0	120,8	139,5	168,3	192,2	

6 Liikenne

Lähes kaikki (92 %) liikenteen käyttämä energia on öljyä, mutta biopolttoaineet (4 %) ja sähkö (4 %) kasvattavat osuuttaan nopeasti. Vuoteen 2020 mennessä sähkö, kaasu ja biopolttoaineet kasvavat voimakkaasti ja öljyn osuus putoaa noin 70–80 %:n tasolle.

Tulevaisuudessa tärkein vaihtoehtoinen energiamuoto on sähkö, joka on jo nyt vallannut 60 % osuuden rautatieliikenteestä. Sähkön osuus maantieliikenteestä kasvaa myös nopeasti uusien ladattavien hybridi- ja sähköautojen myötä. Vuoteen 2020 mennessä sähkön osuus tieliikenteestä voi olla jopa 10–20 %.

Biopolttoaineiden osuus vuonna 2020 on myös noin 10 %, mutta se voi myös olla 20 %. Peltoenergiaan perustuvien biopolttoaineiden käyttö liikenteessä on hyvin arveluttavaa, koska ne eivät merkittävästi vähennä CO₂-päästöjä. Sen sijaan ne voivat nostaa ruoan hintoja.

Suomessa myydään nyt myös jätteiden hyötykäyttöön perustuvaa bioetanolia, jonka CO₂-tase on huomattavasti parempi kuin peltoenergian. Myös metsäjätteisiin perustuvia jalostamoja on kehitteillä mm. Lappeenrannassa. Lisäksi on kehitteillä Fisher Tropsch-menetelmään perustuva biokaasun synteesilaitos Kemin Ajoksessa ja puujätteen pyrolyysilaitos Joensuussa.

6.2 HENKILÖAUTOT

Henkilöautot muodostavat 85 %:n osuuden koko autokannasta (Taulu 6.2.1). Uusia henkilöautoja ostetaan ja sitä mukaa liikenne kasvaa. Kysymys on paljolti elintason noususta. Linja-autojen määrä kasvaa, mutta liikennesuorite pysyy paikallaan. Kuorma- ja pakettiautojen määrä ja liikennesuorite kasvavat edelleen.

Taulu 6.2.1 Autojen määrä Suomessa /5/.

Vuosi	1990	2000	2010	2011	%
	1000 kpl	1000 kpl	1000 kpl	1000 kpl	
Henkilöautot	1939	2135	2877	2979	85 %
Pakettiautot	210	239	347	366	10 %
Kuorma-autot	55	65	117	123	4 %
Linja-autot	9	10	14	14	0 %
Erikoisautot	21	17	13	12	0 %
Yhteensä	2234	2466	3368	3494	100 %
Indeksi	100,0	110,4	150,8	156,4	

Liikenteen energiankäyttö on seurausta siitä, minkälaisia henkilöautoja tulevaisuudessa ostetaan. Tavallisen polttomoottoriauton rinnalle on tulossa sähkö-, hybridi- ja polttokennoautoja, joissa kaikissa sähkö on keskeisessä osassa.

Voidaan hyvin kuvitella, että henkilöautoliikenteen kehitys seuraa rautateiden kehityssuuntaa. Junat kävivät kauan öljykäyttöisillä dieselmoottoreilla. Sitten tulivat dieselkäyttöiset sähköveturit, joissa dieselmoottorin tuottama energia muutettiin ensin sähköksi. Lopuksi tulivat sähköjunat. Samalla siirryttiin öljystä sähkön käyttöön.

6.2.1 Polttomoottoriautot

Bensiiniautot

Bensiinimoottoriauton hyötysuhde tankista pyöriin on noin 10–20 %. Polttomoottorin hyötysuhde on noin 15–30 % ja loppu energiahukka kuluu vaihteistossa, akselistossa ja pyörissä. Auton polttoaineenkulutus (litraa/100 km) kertoo auton hyötysuhteen käytännössä.

Vuonna 2011 rekisteröityjen bensiinikäyttöisten henkilöautojen kulutus oli 6,2 l/100 km ja CO₂-päästöt olivat keskimäärin 144 gCO₂/km (Taulu 6.2.2). Bensiinikäyttöiset autot ovat yleensä pienikokoisempia kuin dieselautot, jonka vuoksi niiden kulutus ja päästöt ovat pienemmät. Vuoteen 2015 mennessä uusien autojen tulisi alittaa päästötaso 130 gCO₂/km. Siihen päästään, jos päästöt laskevat 3 % vuosittain.

6 Liikenne

Taulu 6.2.2 Uusien autojen keskimääräiset päästöt hankintavuoden mukaan /6/.

Vuosi	Toteutunut					Ennuste			
	2007 g/km	2008 g/km	2009 g/km	2010 g/km	2011 g/km	2012 g/km	2013 g/km	2014 g/km	2015 g/km
CO ₂ -päästöt									
Bensiiniautot	178,9	166,5	157,2	149,5	143,9	139	133	128	124
Dieselautot	173,1	159,5	157,5	149,6	145,7	142	138	135	131
Keskimäärin	177,2	163,0	157,3	149,5	144,7	140	136	131	127
Indeksi	100,0	92,0	88,8	84,4	81,6	79,1	76,6	74,2	71,8
Osuudet									
Bensiiniautot	71 %	50 %	54 %	58 %	57 %				
Dieselautot	29 %	50 %	46 %	42 %	43 %				

Bensiiniautot ovat Suomessa olleet hinnaltaan halvempia kuin dieselautot. Tämän vuoksi niiden osuus uusista autoista on suurempi kuin dieselautojen. Keski-Euroopassa hintaero on pienempi ja siellä dieselautoja ostetaan enemmän kuin bensiiniautoja. USA:ssa suurin osa henkilöautoista on bensiiniautoja, koska päästömääräykset ovat tiukempia kuin Euroopassa.

Kymmenen vähäpäästöisimmän bensiinikäyttöisen henkilöauton keskimääräinen kulutus on 4,2 l/100 km ja keskimääräinen CO₂-päästö on 97 gCO₂/km (Taulu 6.2.3). Autojen koko ja moottorit ovat samalla pieniä. Bensiiniautojen muut päästöt ovat hiilimonoksidi (CO), hiilivedyt (HC) ja typpioksidit (NO_x). Varsinkin CO- ja HC-päästöt ovat bensiiniautojen erikoisongelma, koska polttoaineen palaminen ei ole tarpeeksi tehokasta.

Dieselautot

Vuonna 2011 rekisteröityjen dieselkäyttöisten henkilöautojen keskimääräinen kulutus oli 5,7 l/100 km ja päästöt olivat 145,7 gCO₂/km /6/. Myynnissä olevien kymmenen vähäpäästöisimmän dieselauton CO₂-päästöt olivat vuonna 2011 noin 88 gCO₂/km ja kulutus 3,4 l/100 km (Taulu 6.2.4). Molemmat luvut ovat selvästi pienemmät kuin kymmenen vähäpäästöisimmän bensiiniauton päästöt ja kulutus (Taulu 6.2.3).

Samankokoiset dieselautot kuluttavat vähemmän kuin bensiiniautot, koska niiden moottorien puristussuhteet ovat korkeammat. Dieselmoottorissa ilma puristetaan, jolloin ilman lämpötila nousee ja siihen ruiskutetaan dieselöljyä. Esimerkiksi Smart Fortwo dieselauton puristussuhde on 18, kun saman auton bensiinimoottorin puristussuhde on vain 11.

6 Liikenne

Taulu 6.2.3 Vähäpäästöisimmät bensiniautot /6/

Malli		Kulutus l/100 km	CO2 g/km	CO mg/km	HC mg/km	Nox mg/km
1 Fiat 500	Euro 5	3,9	90	348	42	31
2 Skoda Citico 1,0	Euro 5	4,1	95	336	33	9
3 Volkswagen 1,0	Euro 5	4,1	95	336	33	9
4 Smart for two 45 kW	Euro 5	4,2	97	203	26	11
5 Suzuki Alto 1,0	Euro 5	4,3	99	325	41	40
6 Peugeot 107	Euro 5	4,3	99	419	35	6
7 Citroën C1	Euro 5	4,3	99	419	35	6
8 Ford Fiesta 1,0 Eco		4,3	99	558	69	34
9 Nissan Micra 1,2	Euro 5	4,1	99	295	46	7
10 Toyota Aygo 1,0	Euro 5	4,3	99	419	35	6
Keskiarvo		4,2	97,1	365,8	39,5	15,9

Taulu 6.2.4 Vähäpäästoiset dieselautot /6/

Malli	Normi	Kulutus l/100 km	CO2 g/km	CO mg/km	Nox mg/km
1 Smart fortwo 40 kW	Euro 5	3,3	86	175	159
2 Peugeot 208	Euro 5	3,4	87	218	159
3 Citroen C3	Euro 5	3,4	87	193	155
4 Ford Fiesta 1,6		3,3	87	290	152
5 Ford Focus 1,6		3,4	88	355	147
6 Skoda Fabia 1,2	Euro 5	3,4	89	213	137
7 Seat Ibiza 1,2		3,4	89	213	137
8 Volkswagen Polo 1,2	Euro 5	3,4	89	213	137
9 Fiat Punto 1,3	Euro 5	3,5	90	336	168
10 Renault Megane		3,5	90	347	114
Keskiarvo		3,4	88,2	255	147

Dieselautojen hyötysuhde tankista pyöriin on noin 15–25 %. Itse dieselmoottorin hyötysuhde on 100 kW:n kokoluokassa 25–35 %. Suurissa voimalaitosten ja laivojen moottoreissa päästään 44–48 % hyötysuhteeseen. Korkea hyötysuhde laskee suhteessa CO₂-päästöjä, mutta muut päästöt jäävät. Kuitenkin palaminen on tehokkaampaa ja CO-päästöt ovat bensiniautoja pienemmät.

6 Liikenne

Dieselautojen CO₂-päästöt ovat noin 30 % pienemmät kuin bensiiniautoissa, koska palaminen on tehokkaampaa. Samasta syystä dieselautojen HC-päästöjä ei edes ilmoiteta.

Toisaalta korkean palamislämpötilan takia dieselautojen NO_x-päästöt ovat selvästi suuremmat kuin bensiiniautoissa. Uusissa dieselautoissa on nykyisin hiukkas-suodattimet, joiden ansiosta hiukkaspäästöt ovat bensiiniautojen tasolla. Euro-6 normien tullessa voimaan myös NO_x-päästöjä tullaan pudottamaan bensiiniautojen tasolle.

6.2.2 Sähköautot

Tieliikenne alkoi alun perin sähköautoista, mutta bensiini- ja dieselautojen kehitys pysähdytti sähköautojen kehityksen. Sähköautot ovat taas uudestaan kehitteillä ja nyt voi Suomessakin ostaa kaupallisia sähkökäyttöisiä henkilöautoja.

Kehitys oli voimakasta Kaliforniassa 2000-luvun alussa, kun valmistajilta vaadittiin, että tietty osa uusista autoista tulee olla vähäpäästöisiä tai täysin päästöttömiä. Markkinoille tuotiin koeautoja mm. General Motorsin *EV1*, Toyotan *RAV4 EV* (Electric Vehicle) ja Fordin *Think*.

Myös monet nk. nyrkkipajat muunsivat tavallisia autoja sähkökäyttöön sopivaksi asentamalla niihin akut. Useimmat autot olivat kuitenkin valmistajien omistamia vuokra-autoja.

Sähköautoja on ollut Suomessa käytössä Postilla 1980-luvulta alkaen. Niitä on valmistettu 160 kappaletta. Suomessa on myynnissä ainakin neljä sähköautomerkkiä (Taulu 6.2.5). Lisäksi Toyota Corollaan on saatavissa tarvikkeet sen muuttamiseksi sähköautoksi.

6.2.5 Suomessa myytävät sähköautot.

Malli	Kulutus kWh/km	Akku kWh	Ajomatka km	CO ₂ g/km
1 Peugeot iOn Active	0,16	16	100	24
2 Citroen C-Zero	0,16	16	100	24
3 Mitsubishi i-Miev	0,16	16	100	24
4 Nissan Leaf	0,14	25	175	21

Mitsubishi i-MiEV (Kuva 6.2.1) on japanilainen sähköauto, jota myydään Euroopassa myös merkeillä Citroen ja Peugeot. Niiden myyntimäärät ovat jo useita tuhansia. Sen litium-ioni akun kapasiteetti on 16 kWh, jolla pääsee USA:n standardien mukaan laskettuna 100 km. Japanin standardien mukaan yhdellä latauksella pääsee 160 km.

6 Liikenne



Kuva 6.2.1 Mitsubishi i-Miev-sähköauto latauksessa Saksassa.

Nissan Leaf-sähköauton akun kapasiteetti on 24 kWh, jolla voi ajaa noin 175 km. Keskimääräinen kulutus noin 0,14 kWh/km. Kun sähköntuotannon päästöt ovat Suomessa noin 150 gCO₂/kWh, tulee sähköauton päästöksi noin 21 gCO₂/km eli noin viidesosa parhaiden polttomoottoriautojen kulutuksesta. Ajomatkan määrittäminen vaihtelee suuresti USA:n, Japanin ja Euroopan standardien mukaan mitattaessa. Myös sähköntuotannon päästöt ovat useimmissa maissa Suomea suuremmat.

Uusien akkujen kehitys on ollut viime vuosina hyvin voimakasta. Uusimmat akkutyypit on litiumioni- ja litiumrautafosfaattiakut, jotka ovat metallihydridiakkuja selvästi kevyempiä. Litiumakut ovat käytössä jo lähes kaikissa uusissa kännyköissä ja kameroissa samasta syystä.

Sähköautojen yleistymistä rajoittaa akkujen kapasiteetin ja latauspaikkojen vähäisyys. Perinteinen lyijyakku on luotettava, mutta sen tehopainosuhde on pieni (30–40 Wh/kg). 200 km:n matkaan tarvittava latausenergia on 200 km x 0,2 kWh/km eli noin 40 kWh, jolloin siihen tarvittavat lyijyakut painaisivat noin 1000 kg.

6 Liikenne

Taulu 6.2.6 Akkujen vertailu.

Tyyppi	Kenno- jännite V	Teho- painosuhte Wh/kg	Paino eri latausmäärillä			
			10 kWh kg	20 kWh kg	50 kWh kg	100 kWh kg
Lyijyakku	2,1	35	286	571	1 429	2 857
NiMH	1,2	50	200	400	1 000	2 000
Li-rauta	3,25	100	100	200	500	1 000
Li-ioni	3,6	160	63	125	313	625

Sähköautot on yleensä varustettu litiumioniakuilla, joilla on suuri tehopainosuhte (160 Wh/kg), mutta niiden takuu-aika on vain kahdeksan vuotta. 200 km:n matkaa varten tarvittavien litiumioniakkujen painoksi tulee 40 kWh/0,160 kWh/kg eli 250 kg.

Uusimmissa sähköautoissa on käytetty myös huoltovapaita litiumrauta-fosfaattiakkuja, joiden tehopainosuhte on noin 100 Wh/kg ja elinikä yli kymmenen vuotta. Noin 200 km:n matkaa varten tarvittavien akkujen paino olisi noin 400 kg.

6.2.3 Hybridiautot

Hybridiautot ovat tavallisesti polttomoottoriauton ja sähköauton yhdistelmiä. Tavallisesti autoissa on bensiinikäyttöinen polttomoottori ja sähkömoottori. Nyt on myynnissä myös dieselmoottorikäyttöisiä hybridiautoja. Suomessa myynnissä olevan kymmenen vähäpäästöisimmän auton CO₂-päästöt ovat keskimäärin 65 g/km (Taulu 6.2.7).

Taulu 6.2.7 Hybridiautojen kulutus ja päästöt /Ake/.

Malli	Poltto- aine	Kulutus l/100 km	CO ₂ g/km	CO mg/km	HC mg/km	Nox mg/km
1 Opel Ampera	bensiini		27	178	16	1
2 Chevrolet Volt	bensiini		27	178	16	1
3 Volvo V6	diesel		48	20		36
4 Toyota Prius PHEV	bensiini		49	169	23	1
5 Fisker Karma	bensiini		53			
6 Toyota Yaris Hybrid	bensiini		79			
7 Peugeot 3008 Hybrid4	diesel	3,4	88	202		154
8 Citroën DS5	diesel	3,5	91	199		133
9 Toyota Auris 1,8 Hybrid	bensiini	3,9	91	124	19	6
10 Toyota Prius HSD	bensiini	4	92	258	58	6
Keskiarvo		3,7	65	166	26	42

6 Liikenne

Eniten myyty hybridiauto on **Toyota Prius** (Kuva 6.2.2), jota on myyty jo yli neljä miljoonaa kappaletta. Auto on keskikokoinen perheauto, jonka keskipulutus on 4,1 l/100 km. Sen 1,8 litran bensiinimoottorin puristussuhde on 13 ja teho 73 kW. Auton hiilidioksidipäästöt ovat 96 gCO₂/km.



Kuva 6.2.2 Toyota Prius hybridiauto.

Toyotan hybridiauton sähkömoottori pyörittää saamaa akselia kuin polttomoottori. Näin kiihdytettäessä molemmat moottorit voivat syöttää tehoa akselistoon yhtä aikaa. Vastaavasti moottorijarrutuksessa sähkömoottori toimii generaattorina ja syöttää sähköä takaisin akkuun. Akkukäyttö on hyvin lyhytaikaista ja autolla ei voi ajaa pelkästään akkuja käyttäen.

Toyotalla on myynnissä myös ladattava hybridiauto **Prius PHV**, jossa 5,2 kWh:n akku on mitoitettu noin 20 km ajoon ilman polttomoottoria. Kulutukseksi tulee 0,26 kWh/km. Auto sopii hyvin kaupunkiajoon varsinkin sellaisissa kaupunkien keskustoissa, joissa polttomoottorin käyttö on kielletty. Auton CO₂-päästö on AKE:n mukaan 49 g/km (Taulu 6.2.7).

Ladattava hybridiauto on saatavissa myös Volvosta. **Volvo V60 Plug-in hybrid** on suunniteltu kulkemaan 50 km sähköllä. Auton litiumioniakun (11,2 kWh) lataus tavallisista 10 A sulakkeista kestää noin viisi tuntia. Sen etupyöriä pyörittää dieselmoottori ja takapyöriä sähkömoottori. Kun molemmat moottorit toimivat yhtä aikaa, kiihtyvyys 0-100 km/h on 6,2 sekuntia.

6 Liikenne

Taksiautoilijoiden suosikkiautosta **Mercedes-Benz E 300**-mallista on nyt saatavana myös hybridimalli **E 300 Hybrid**, jonka polttomoottorina toimii E-malleissa autoissa yleisesti käytetty 250 CDI–dieselmoottori ja akkuina toimivat litiumioniakut. Auton etuna on pieni keskimääräinen polttoaineenkulutus (4.2 l/100 km), joka sopii juuri takseihin. Koska hinta on veroedun takia suunnilleen sama molemmissa malleissa, voidaan olettaa, että autosta tulee suosittuja taksiautoilijoiden keskuudessa. Autosta on saatavissa myös farmarimalli.

Myös **Peugeot** on tehnyt hybridiauton, joka perustuu dieselmoottorin ja sähkömoottorin yhdistelmään. Se poikkeaa muista hybrideistä, koska sen NOx-päästöt ovat muita suurempia (Taulu 6.2.7).

Suomessa valmistettavassa **Fisker Karma**-hybridiautossa sähkömoottori pyörittää takapyöriä ja polttomoottori etupyöriä. Tällöin autolla voi ajaa kummalla moottorilla tahansa ja litiumioniakut voi ladata 230 Voltin pistokkeesta. Fisker Karman 20 kWh:n akut on mitoitettu 83 km (TÜV) ajoon ilman polttomoottoria. Auton kulutukseksi tulee tällöin 0,25 kWh/km.

Chevrolet Volt ja **Opel Ampera** poikkeavat muista hybrideistä siten, että polttomoottorikäytössä moottori ei pyöritä suoraan pyöriä, vaan energia muutetaan ensin sähköksi. Sähkön avulla pyöritetään sähkömoottoreita tai sähkö otetaan akusta.

Chevrolet Volt ja Opel Ampera käyttävät litiumioniakkuja. Niiden hyvänä puolena on hyvä tehopainosuhte, mutta akkujen kestävyys taataan vain kahdeksaksi vuodeksi, jolloin niiden kapasiteetin on luvattu laskevan vain noin 20 %.

Yleisin akkutyyppe lyhemmän ajomatkan hybridiautoissa on nikkelimetallihydridiaku, joka on hyvin kestävä, mutta se purkautuu itsestään aika nopeasti. Se soveltuu tämän vuoksi hybridiautoihin, joiden akkuja ladataan aina ajettaessa.

Akkujen kestoon vaikuttaa oleellisesti se, että akkuja ei pureta alle 30 %:n varaustason eikä ladata aivan täyteen. Näin 16 kWh energiasisällöstä käytetään vain noin 10,3 kWh, jolla voi ajaa noin 56 km.

Kaupungit voivat myös kieltää polttomoottoriautojen käytön tietyillä alueilla halutessaan rajoittaa ilman saasteita esimerkiksi kriittisinä aikoina. Esimerkiksi monessa Ruotsin kaupungissa sähkö- ja hybridiautoille annetaan ilmainen pysäköinti ja ne saavat ajaa ilman tietulleja.

6.2.4 Polttokennoauto

Kehitteillä on myös vetykäyttöisiä autoja, joissa voimanlähteenä toimii PEM (Proton Exchange Membrane) -polttokenno. Polttokenno tuottaa kemiallisesti vedystä sähköä. Vedyn (H) ja hapen (O) yhtyessä syntyy vettä (H₂O).

6 Liikenne

Polttokennoauto käy vedyllä, joka varastoidaan esimerkiksi Mercedes B-sarjan autossa kolmeen 700 barin tankkiin (Kuva 6.2.3). Tankit sijoitetaan takapenkkien alle. Polttokenno tuottaa vetyä akkuihin, jotka syöttävät sähkömoottoreita samalla tavalla kuin sähköautoissa. Polttokennossa platinakatalyytti hajottaa vedyn protoneiksi ja elektroneiksi. Positiivisesti varautuneet protonit pääsevät PEM-kalvon läpi ja aiheuttavat sähkövirran.



Kuva 6.2.3 Mercedes-Benz B-sarjan rungolle tehdyn polttokennoauton sarja-valmistus alkaa 2014.

Vety on hyvin ympäristöystävällinen polttoaine, mutta vedyn tuotanto ja jakelu saattaa olla vaikeaa. Helpointa vetyä on tuottaa vedestä sähköä käyttämällä. Tällöin jokainen voi tankata autonsa itse kotipihallaan. Suuressa mittakaavassa vedyn tekeminen voi tulla kyseeseen tulevaisuudessa esimerkiksi Saharaan sijoitettujen aurinkopaneeleissa tehdyn sähkö ja veden elektrolyysin kautta.

Toinen vaihtoehto on reformoida vetyä maakaasusta. Senkin voi tehdä kotona, jos taloon tulee maakaasuputki. Näin onkin useimmissa Keski-Euroopan ja USA:n kodeissa.

6 Liikenne

Polttokennot ovat vielä kalliita laitteita, joita myydään tällä hetkellä hintaan 2000 €/kW. Jos autoon hankkii 50 kW:n polttokennon, niin kustannuksiksi tulee 100 000 euroa. Se on samaa luokkaa kuin loistoauton hinta. Sarjatuotannossa hinnat tietysti laskisivat tälläkin tekniikalla huomattavasti.

Tulevaisuuden vaihtoehto on hankkia polttokennovoimala kotiin ja ladata sen avulla sähköauton akkuja suoraan sähköllä. Edullisin tapa on ostaa kotiin esimerkiksi 5 kW:n kenno, joka voi ostaa noin 20 000 eurolla. Sillä voisi tuottaa sekä auton lataussähkön että kodin tarvitseman sähkön ja lämmön. Tämä edellyttää, että talo kuuluu maakaasuverkkoon.

Polttokennoautot tulevat tavalla tai toisella markkinoille. Islanti saattaa olla paras koekenttä vetyautoille, ja siellä on avattu ensimmäinen vetyvaltatie. Ensimmäiset kaupalliset sovellutukset polttokennoille ovat kuitenkin tulossa kiinteistöjen energialähteinä Japanissa. Silloin sähköauton lataus voidaan suorittaa kiinteistöön sijoitetun polttokennon avulla.

6.2.5 Taloudellisuusvertailu

Seuraavassa (Taulu 6.2.8) on verrattu Toyotan mallien päästöjä ja kustannuksia. Kustannusmielessä Prius-hybridiauto asettuu Toyota-malliston keskivaiheille. Päästöissä Prius on selvästi malliston paras (96 gCO₂/km).

Edullisimmat kilometrit saadaan edelleen bensiinikäyttöisillä pikkuautoilla. Autojen pääomakustannukset vaikuttavat enemmän kuin käyttökulut. Kuitenkin pienin moottori tekee pienestä autosta myös käyttökustannuksiltaan edullisimman.

Tuloksista puuttuu ladattava hybridi, jonka käyttökustannukset riippuvat siitä, kuinka paljon ajetaan sähköllä ja kuinka paljon bensiinimoottorilla. Jos molemmilla ajetaan yhtä paljon, tulee auton bensiinikustannuksiksi 3,7 c/km ja sähkönostokustannuksiksi 1,5 c/km (0,22 kWh/km x 14 c/kWh/2). Tällöin kokonaiskustannukset ovat 5,2 c/km, jotka ovat 30 % edullisemmat kuin tavallisella hybridillä.

Autoa ostaessa ympäristötietoinen ihminen ajattelee rahan lisäksi myös millaisen kuvan hän antaa itsestään maailmalle. Useimmat yhtiöt eivät enää hanki yli 150 gCO₂/km päästäviä leasing-autoja henkilökunnalleen. Ympäristötietoiset vaativat jo 100 gramman päästön alitusta, jolla päästään eko-autojen luokkaan. Se on saavutettavissa ainakin monilla hybridiautoilla (Taulu 6.2.6).

Kannattaa huomata, että esimerkiksi Toyota Prius-merkkisen hybridiauton käyttö tulee kilometriä kohti laskettuna jo selvästi edullisemmaksi kuin samanhintaisen Toyotan dieselauton käyttö. Samalla päästöt pienenevät huomattavasti. Jos ajaa 20.000 km vuodessa, hybridiautolla voi säästää vuodessa 1000 euroa.

6 Liikenne

Taulu 6.2.8 Toyota-henkilöautojen taloudellisuusvertailu.

Malli		Verso	Avensis	Prius	Auris	Yaris
Polttoaine		Diesel	Vagon	Hybridi	Bensiini	Bensiini
Tekniset tiedot						
Polttoaine		Diesel	Diesel	Bensiini	Bensiini	Bensiini
Moottorin koko	l	2,2	2,2	1,8	1,3	1,0
Teho	kW	110,0	110	73,0	73,0	53,0
0-100 km	s	10,0	9		12,0	
Kulutus	l/100 km	6,0	5,5	4,1	5,5	4,8
Päästö	gCO2/km	159,0	147	96,0	87,0	111,0
Hinta	€	39653	35630	39375	20075	15000
Kiinteät kulut						
Pääoma	€	3182	2859	3160	1611	1204
Verot	€	608	572	80	110	94
Vakuutukset	€	793	713	788	402	300
Yhteensä	€	4583	4144	4027	2122	1598
Muuttuvat kulut						
Polttoaine	€/l	1,6	1,6	1,8	1,8	1,8
Polttoaine	c/km	9,6	8,8	7,4	9,9	8,6
Huolto	c/km	5,9	5,3	5,9	3,0	2,3
Yhteensä	c/km	15,5	14,1	13,3	12,9	10,9
Vuosikustannukset						
10000 km	€	6138	5558	5356	3413	2687
15000 km	€	6915	6265	6020	4059	3231
20000 km	€	7693	6973	6684	4705	3776
25000 km	€	8470	7680	7349	5350	4320
30000 km	€	9247	8387	8013	5996	4865
Kustannukset per km						
10000 km	c/km	61	56	54	34	27
15000 km	c/km	46	42	40	27	22
20000 km	c/km	38	35	33	24	19
25000 km	c/km	34	31	29	21	17
30000 km	c/km	31	28	27	20	16
Päästöt vuodessa						
10000 km	kgCO2	1590	1470	960	870	1110
15000 km	kgCO2	2385	2205	1440	1305	1665
20000 km	kgCO2	3180	2940	1920	1740	2220
25000 km	kgCO2	3975	3675	2400	2175	2775
30000 km	kgCO2	4770	4410	2880	2610	3330

6.3 JOUKKOLIIKENNE

6.3.1 Liikennemäärät

Ympäristötietoinen ihminen pyrkii käyttämään joukkoliikennettä aina, kun se on suinkin mahdollista. Joukkoliikenteestä tärkein on bussiliikenne, jonka osuus joukkoliikenteestä on 58 %. Bussiliikenne on kuitenkin vähentynyt jatkuvasti, kun taas rautatieliikenne on kasvussa.

Taulu 6.3.1 Joukkoliikenteen matkustajakilometrit /5/

Vuosi	1990 mrd.h-km	2000 mrd.h-km	2010 mrd.h-km	2011 mrd.h-km	%
Maantieliikenne					
Linja-auto	8,5	7,7	7,5	7,5	58 %
Kiskoliikenne					
Rautatie	3,3	3,4	4,0	3,9	30 %
Metro	0,3	0,4	0,4	0,4	3 %
Raitiotie	0,1	0,1	0,1	0,1	1 %
Yhteensä	3,7	3,9	4,5	4,4	34 %
Lentoliikenne					
Lentokone	1,0	1,3	1,1	1,1	8 %
Yhteensä	13,2	12,9	13,1	13,0	100 %
Indeksi	100,0	97,7	99,2	98,5	

6.3.2 Bussiliikenne

Bussiliikenne toimii vielä tänä päivänä melkein kokonaan dieselpolttoaineen varassa. Vain pieni osa pääkaupunkiliikenteen busseista toimii maakaasulla, biopolttoaineilla tai sähköllä. Uusien energialähteiden käyttöön olisi kuitenkin hyvät mahdollisuudet.

Dieselbussi

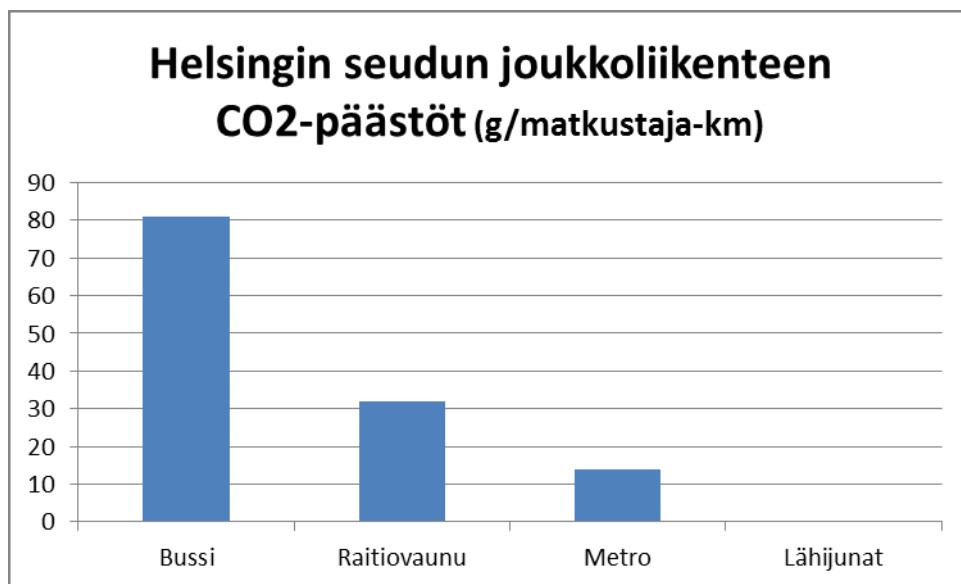
Perinteinen dieselbussi toimii dieselmoottorin avulla. Dieselmoottorin etuna ovat pienet polttoainekustannukset, mutta se aiheuttaa hiukkas- ja NO_x-päästöjä. Uusimpien dieselbussien (EEV-luokka) keskimääräiset CO₂-päästöt ovat noin 1120 gCO₂/km (Taulu 6.3.2).

6 Liikenne

Taulu 6.3.2 Uusien EEV-luokan bussien päästöt (VTT).

Haitta-aine		Bussien päästöt			Päästö matkustaja-km kohti		
		Diesel	Kaasu	Hybridi	Diesel	Kaasu	Hybridi
CO ₂	g/km	1120	1280	784	92	105	64
Nox	g/km	5,9	3,2	4,1	0,5	0,3	0,3
Partikkelit	mg/km	60	7	6	4,9	0,6	0,5

Dieselbussien CO₂-päästöt Helsingin seudun joukkoliikenteessä ovat noin 80–100 gCO₂/matkustaja-km (Kuva 6.3.1). Uusien henkilöautojen keskimääräiset CO₂-päästöt ovat 140–150 gCO₂/km. Jos henkilöautossa on kaksi matkustajaa, henkilöauton CO₂-päästöt ovat pienemmät kuin bussissa. Sähköautojen päästöt ovat yksin matkustavalle pienemmät kuin bussilla matkustaessa.



Kuva 6.3.1 Helsingin seudun joukkoliikenteen CO₂-päästöt /11/.

Keskimääräisen dieselbussin hiukkaspäästöt ovat noin 60 mg/km. Hiukkaspäästöihin tulee parannuksia, kun busseissa otetaan käyttöön hiukkassuodattimet. Euro-6 normien mukainen hiukkaspäästön yläraja on 5 mg/km. Bussien hiilidioksidipäästöt saadaan myös alas, jos bussiliikenteessä siirytään maakaasun, biopolttoaineiden tai hybridi-bussien käyttöön.

6 Liikenne

Kaasubussit

Tavanomaista dieselbussia selvästi ympäristöystävällisempiä ovat maakaasu- tai biokaasubussit. Maakaasubusseja on jo runsaasti Helsingin ja monien muiden, lähinnä ulkomaisten kaupunkien joukkoliikenteessä. Tukholmassa lähes kaikki bussit toimivat biokaasulla.

Maakaasun käytön etuna ovat pienet hiukkaspäästöt, jotka ovat perinteisten dieselbussien suurin ongelma. Maakaasubussit ovat myös jonkin verran hiljaisempia kuin dieselbussit.

Kaasubussi voi toimia myös kaatopaikkakaasulla tai jätevedenpuhdistamon biokaasulla. Tällöin sen ympäristövaikutus on neutraali, koska se käyttää polttoainetta, joka muuten poltettaisiin lämpökeskuksissa tai voimalaitoksissa. Monet Ruotsin kaupungit ovat tässä kymmenen vuotta Suomea edellä.

Hybridibussit

Bussiliikenteen kilpailukyky ja ympäristöystävällisyys paranee huomattavasti uusien hybridibussien tultua markkinoille. Voidaan hyvin ajatella, että samat edut kuin henkilöautoilla parantavat hybridautojen kilpailukykyä varsinkin kaupunkien sisäisessä joukkoliikenteessä.

Hybridibussi soveltuu parhaiten kaupunkiajoon, jossa on paljon pysähtymisiä ja kiihdytyksiä. Tällöin jarrutettaessa talteen saatava energia voidaan varastoida akkuun ja käyttää hyväksi hetken päästä, kun bussi lähtee pysäkiltä tai liikennevaloista.

General Motorsin kehittämät hybridibussit ovat olleet liikenteessä vuodesta 2004 alkaen Seattlessa (USA). New Yorkin joukkoliikenne toimii jo nyt noin 1600 hybridibussia. Neljäsosa New Yorkin 5900 bussista on jo hybridibusseja.

Suomessa hybridibusseja on käytössä Turussa ja Helsingissä. Bussit ovat Volvon toimittamia dieselhybridejä, joissa dieselmoottori ja sähkömoottori toimivat rinnakkain (Kuva 6.3.2). Auton jarruttaessa energiaa varastoidaan akkuihin, josta se otetaan kun auto lähtee pysäkiltä.

Hybridibussit kuluttavat noin 30 % vähemmän polttoainetta kuin tavanomaiset dieselbussit. Myös hiukkaspäästöt ovat merkittävästi tavanomaisia busseja pienemmät. Lisäksi jarrupalojen kesto on kaksinkertaistunut, kun jarrutusenergiasta otetaan puolet talteen. Tavallisessa bussissa dieselmoottori on noin 10 litran kokoinen, kun hybridibussissa riittää viisilitrainen moottori. Tällöin moottori toimii parhaan hyötysuhteen alueella pitemmän aikaa.

6 Liikenne



Kuva 6.3.2 Hybridibussit aloittivat liikenteen ensimmäisenä Turussa.

Euroopassa hybridibusseja kehittävät Mercedes-Benz, MAN, Scania ja Volvo. Myös Suomessa Koiviston Auto ja Kabus Oy kehittävät hybridibusseja yhdessä VTT:n kanssa. Kabussin hybridibussi on ns. rinnakkaistoiminen bussi, jossa dieselmoottori ja sähkömoottori pyörittävät yhtä aikaa kardaaniakselia. Rinnakkaishybridin etuna on varmatoimisuus. Jos sähköpuoli pettää, niin bussi toimii pelkän polttomoottorin avulla.

Sarjahybridissä polttomoottori lataa akkuja ja auto kulkee pelkästään sähkömoottorien avulla. Sarjahybridi on puolestaan osoittautunut edullisimmaksi suurkaupunkien keskusta-ajossa, jossa nopeudet ovat hyvin pieniä ja moottori käy tyhjäkäyntiä suuren osan ajasta.

Sähköbussi

Uusin tulokas joukkoliikenteessä on sähköbussi, joka sopii varsinkin kaupunkien keskustan lyhyen matkan liikenteeseen. Espoossa aloitti marraskuussa 2012 liikenteen Suomen ensimmäinen sähköbussi. Bussi on valmistettu Portugalissa. Se liikennöi linjalla Friisilä-Tapiola. Liikennöinnin yhteydessä on tarkoituksena tutkia sähköbussin soveltuvuutta olosuhteissa, joissa lämpötila laskee jopa 30 astetta pakkasen puolelle.

Vuonna 2013 Espooseen on tulossa samalle linjalle koeajoon myös Kiinassa valmistettu BYD-bussi, jonka akkujen koko on 300 kWh (Kuva 6.3.3). Sähköä kuluu 1,2 kWh kilometriä kohti ja ajomatka täydellä latauksella on 250 kilometriä.

6 Liikenne



Kuva 6.3.3 Kiinassa valmistettu BYD-sähköbussi tulee koeliikenteeseen Espooseen.

Sähköbussien arvioidaan soveltuvan hyvin vuonna 2014 valmistuvan Matinkylän metron liityntäliikenteeseen. Metroasemille tulee latauspisteet, joista bussien akkuja voidaan ladata. Metron ja sähköbussien avulla joukkoliikenteen aiheuttamia CO₂-päästöjä voidaan alentaa noin 70–80 %.

6.3.3 Kiskoliikenne

Suurkaupunkien joukkoliikenteessä järkeviä kulkuneuvoja ovat bussin ohella myös metro ja raitiovaunu. Niiden etuna on toimiminen paikallisesti katsoen lähes ilman päästöjä, koska niiden käyttämä energia tuotetaan jossain muualla. Kuitenkin niiden raskasmetallipäästöt ovat merkittävät, koska pyörät ja kiskot kehittävät hienoa teräspölyä.

Metro

Metro eli maanalainen on suurkaupunkien joukkoliikennemuoto. Se pystyy kulkemaan suhteellisen nopeasti liikenneruuhkista välittämättä. Matka-aikojia voi arvioida HSL:n reittioppaan avulla. Syksyllä 2012 arvioitiin matkan (15,1 km) Vuosaaresta Kamppiin kestävän reittioppaan mukaan 21 minuuttia sekä sunnuntaisin että ruuhka-aikoina, jolloin metron keskinopeus on noin 43 km tunnissa.

Vastaavasti matka bussilla Länsiväylää pitkin Espoonlahden keskustasta Kamppiin (17,1 km) kestää sunnuntaisin 18 minuuttia, jolloin keskinopeus on 57 km tunnissa. Ruuhka-aikana matka kestää 23 minuuttia, jolloin keskinopeus on 45 km tunnissa. Metro ei ole yhtään bussia nopeampi myöskään ruuhka-aikoina, kun bussi voi käyttää bussikaistoja. Kaupungin keskustassa metro on kuitenkin bussia nopeampi.

Metron haittana on myös tarvittava liityntäliikenne ja aina pitempi kävelymatka metrotunneliin. Nämä lisäävät matka-aikojia, jolloin useimmille lähiöiden asukkaille

6 Liikenne

metro ei tuo parannusta joukkoliikenteeseen. Sen vuoksi metron soveltuvuus pienempiin kaupunkeihin on hyvin kyseenalaista.

Metron liikennöintikustannukset ovat noin 0,11 euroa matkustajakilometri eli noin puolet bussiliikenteen keskimääräisistä kustannuksista (0,24 €/h-km) Helsingissä. Metro on kuitenkin pääomakustannuksiltaan hyvin kallis vaihtoehto. Metro Ruoholahdesta Matinkylään (13,4 km) maksaa noin 1000 miljoonaa euroa (75 milj.euroa/km).

Matinkylän metron pääomakustannukset ovat 5 %:n laskentakorolla ja 30 vuoden pitoajalla laskettuna noin 60 miljoonaa euroa vuodessa. Vaikka liikennöintikustannuksissa saadaan noin 10 miljoonan euron säästö, metro on kokonaiskustannuksiltaan noin 50 miljoonaa euroa vuodessa kalliimpi kuin bussi. Tämä on enemmän kuin Espoon ja Kauniaisten sisäisen joukkoliikenteen kokonaiskustannukset (35 M€).

Metroinvestoinnin takaisinmaksuaika voidaan laskea jakamalla investointikustannukset (1000 milj. euroa) liikennöintikustannusten säästöillä (10 milj. euroa). Takaisinmaksuajaksi saadaan sata vuotta. Yleensä kannattavien investointien takaisinmaksuaika on 10–20 vuotta.

Investoinnin kannattavuutta voidaan verrata vaikkapa ydinvoimalainvestointiin. Esimerkiksi 1100 MW:n ydinvoimala maksaa noin 5,5 miljardia euroa ja se tuottaa vuodessa katetta noin 370 miljoonaa euroa (Liite 1.1). Ydinvoimainvestoinnin takaisinmaksuajaksi tulee noin 15 vuotta.

Raitiovaunu

Vaikka raitiovaunu on suhteellisen hidas kulkuneuvo, sillä on omat kannattajansa. Sen etuna on kulkemisen helppous. Ei tarvitse kävellä pitkiä matkoja metroasemalle, kun linjoja on runsaasti. Se on eräänlainen bussin ja metron välimuoto.

Raitiovaunun etu on myös sen saasteettomuus käyttöpaikalla, koska sähkö tulee muualta. Sen melutasoltaan on selvästi busseja alhaisempi. Hybridibussi ja sähköbussi ovat hyvin samanlaisia kuin raitiovaunu, mutta ne kykenevät liikkumaan missä vain ilman kiskoja.

Helsingin raitiotieliikenne on pysynyt lähes samansuuruisena vuosikausia. Nyt uusia linjoja on rakennettu kantakaupungissa esimerkiksi Länsisatamaan. Ympäristöystävällisenä liikennemuotona raitioliikenne säilyttäneenä paikkansa myös tulevaisuuden liikennevälineenä.

6 Liikenne

Pikaraitiotie

Uusin tulokas joukkoliikenteessä on pikaraitiotie, joka on monissa kaupungeissa korvannut metron. Pikaraitiovaunut liikkuvat suuremmalla nopeudella keskustan ulkopuolella, mutta hitaasti kaupunkien keskustoissa.

Espoossa pikaraitiotietä pidettiin jopa metroa parempana vaihtoehtona, mutta Helsingin päättäjät halusivat laajentaa metroverkkoa Espooseen. Pikaraitiotie vaatii kuitenkin maan päällisen liikennetilän, jota metro ei tarvitse. Raide-jokeria suunnitellaan parhaillaan Kehä I:n varrelle Itäkeskuksesta Tapiolaan pikaraitiotienä. Radan pituus on 25 km ja sen ja kaluston investoinnin kustannusarvio on noin 300 miljoonaa euroa (12 milj.euroa/km). Pikaraitiotien haittana on nopeus, joka on noin 25 km tunnissa, kun metron nopeus on noin 40 km tunnissa.

Pikaraitiotien erona metroon on se, että se ottaa sähkönsä ilmajohdoista, kun taas metro ottaa sähkönsä kiskojen viereisistä johtimista. Toinen suuri ero on, että metro vaatii erittäin kalliit metroasemat, joiden ympärille rakennetaan samalla liikekeskuksia. Sen vuoksi metron pysäkkivälit ovat yleensä paljon pitemmät kuin pikaraitiotiellä.

Juna

Juna on energiaystävällisin kuluneuvo pitkillä matkoilla. Junat toimivat sähköllä ja kuluttavat vähän energiaa. Nykyiset sähköjunat ovat myös nopeampia kuin lentokoneet jopa 300–500 km:n matkoilla. Junalla pääsee suoraan kaupungin keskustaan ja odottelu lentoasemilla jää pois.

Junaliikenne kasvaa taas selvästi. Ihmiset tiedostavat junan ympäristöedut keskipitkillä matkoilla. Lyhyemmillä matkoilla tarvitaan taas joustavuutta, jota saa bussiliikenteestä. Pitkillä matkoilla taas lentokone tarjoaa ainoan vaihtoehdon, kun matkustusaika tulee kriittiseksi.

Juna on selvästi edullisin kulkumuoto pitkillä matkoilla. Noin 75 km:n pituinen oikorata Keravalta Lahteen maksoi noin 300 miljoonaa euroa. Junaradan hinnaksi tulee noin neljä miljoonaa euroa kilometriä kohti. Juna kuluttaa myös vähiten energiaa matkustajakilometriä kohti laskettuna. Kun lisäksi tarvittava energia on sähköä, niin junan ympäristöpäästöt ovat vain murto-osa muun liikenteen päästöistä.

Juna on edullinen kulkuneuvo myös lähiliikenteessä. Vantaan lentokentälle tuleva kehärata on 18 km pitkä ja se maksaa 650 miljoonaa euroa. Se kulkee suuren osan matkasta maan alla, jonka vuoksi kustannukset ovat 36 miljoonaa euroa kilometriä kohti. Vantaan lähijunan kustannukset kilometriä kohti laskettuna ovat vain puolet Espoon metron kilometrikustannuksista.

6 Liikenne

Suomen henkilöjunaliikenne kuluttaa sähköä yhteensä 390 GWh vuodessa ja sen matkustajakilometrit ovat vuodessa 3,5 mrd. henkilökilometriä (h-km). Näin keskimääräinen sähkönkulutus on noin 0,12 kWh/h-km. Se on suunnilleen sama määrä kuin sähköautoissa, joissa on kaksi matkustajaa.

Junan keskimääräiset CO₂-päästöt ovat tällöin noin 18 gCO₂/h-km, jos sähkön CO₂-pitoisuus on 150 g/kWh. Koska VR siirtyi vuoden 2009 alussa päästöttömän sähkön ostoon, ei junalla liikkumisesta Suomessa synny merkittäviä CO₂-päästöjä.

6.3.4 Lentokone

Lentoliikenteen polttoaineen kulutus riippuu lentokoneiden täyttöasteista ja matkojen pituudesta. Finnair on raportoinut kulutuksen olevan 3 l/h-km lomalennoilla ja 5 l/h-km reittilennoilla. Lentoliikenteen CO₂-päästöt ovat vastaavasti 76–126 gCO₂/h-km.

Lentoyhtiöiden CO₂-päästöt on yleensä ilmoitettu yhtiöiden nettisivuilla. Yleensä uudella kalustolla lentävät yhtiöt ovat tässä suhteessa edistyksellisimpiä. Finnairin lentojen päästöt voi laskea päästölaskurilla (www.finnair.fi/paastolaskuri).

Päästölaskurin mukaan lomalento Helsingistä Bangkokiin (7886 km) kuluttaa polttoainetta 232 litraa matkustajaa kohti (2,9 l/100 km) suoralla lennolla ja 320 litraa (4,1 l/100 km) Frankfurtin kautta tapahtuvalla lennolla. Lennon CO₂-päästöt ovat 584–805 kgCO₂ (74–102 gCO₂/h-km).

Matka Helsingistä Kanarian saarille kuluttaa polttoainetta 110 l/henkilö (2,4 l/100 h-km) ja CO₂-päästöt ovat 279 kg eli 60 g/h-km. Helsinki-Oulu matkalla kuluu henkeä kohti polttoainetta 22 litraa (4,3 l/100 h-km) ja päästöt ovat 108 g/h-km. Lentokoneen energiatehokkuus huononee lyhyillä matkoilla, koska nousujen aikana energiankulutus on suurinta.

7 ENERGIANSÄÄSTÖ

7.1 ENERGIALASKU

Energiakustannukset

Edullisinta energiaa on säästetty energia. Energian säästö alkaa siitä, kun selvität, mihin käytät energiaa ja mitä ostamasi energia maksaa vuodessa. Taulussa 7.1.1 on esitetty oman perheen energiakustannusten laskelma vuodelta 2012.

Taulu 7.1.1 Esimerkkiperheen energiakustannukset vuonna 2012.

Kulutuskohde	Kulutus	Ominaiskulutus	Vuosikulutus		Hinta	Kustannus €/vuosi
ASUMINEN						
Kaukolämpö						
Asunto	83 m2	162 kWh/m2	13 446	kWh	6,9 c/kWh	928
Sähkö						
Taloyhtiö	83 m2	15 kWh/m2	1 245	kWh	17,0 c/kWh	212
Asunto	83 m2	43 kWh/m2	3 580	kWh	14,1 c/kWh	506
Kesämökki	100 m2	115 kWh/m2	11 500	kWh	14,4 c/kWh	1 656
Koivuklapit	2 pm3	1700 kWh/pm3	3 400	kWh	60,0 €/pm3	120
Asuminen yht.	183 m2		33 171	kWh		3 422
LIIKENNE						
Polttoaineet						
Auto	21000 km	7 l/100 km	1 470	l	1,6 €/l	2 352
Linja-auto	500 km	4 l/100 km	20	l	1,6 €/l	32
Laiva	175 km	4 l/100 km	7	l	0,6 €/l	4
Lentokone	km	5 l/100 km	-	l	0,9 €/l	-
			1 497	l		2 388
			=	14 970	kWh	
Sähkö						
Auto	0 km	0,22 kWh/km	-	kWh	14 c/kWh	-
Metro	100 km	0,15 kWh/km	0,2	kWh	14 c/kWh	2
Raitiovaunu	10 km	0,20 kWh/km	0,0	kWh	14 c/kWh	0
Juna	500 km	0,12 kWh/km	0,6	kWh	14 c/kWh	8
Liikenne yht.	22285 km		14 971	kWh		2 399
ASUMINEN JA LIIKENNE			48 142	kWh		5 821

7 Energiansäästö

Yhteensä energian hankintaan kuluu perheessämme rahaa noin 5820 euroa vuodessa. Asumiseen kuluu 3420 euroa (58 %), josta 2400 euroa kuluu sähkön hankintaan ja 928 euroa kaukolämmön hankintaan. Asumisen energiankustannuksiin vaikuttaa entinen asuntojen koko ja lämmitystapa. Kerrostalomme (Kuva 7.1.1) energia on kaukolämpöä ja kesämökkimme sähköä. Koska vapaa-ajan asunto on suurempi kuin kerrostaloasunto, sähköä kuluu enemmän.



Kuva 7.1.1 Kerrostaloasunnon energiankulutus on pääasiassa kaukolämpöä.

Liikenteeseen kului 2400 euroa eli 42 % koko energialaskusta. Liikenteen energialasku kului melkein kokonaan henkilöautoiluun. Meillä on dieselauto, joka kuluttaa 7 l/100 km. Autoilutottumuksia voi muuttaa ja auton voi vaihtaa ekomalleihin, joiden kulutus on luokkaa 4–5 l/100 km, tai vaihtaa ladattavaan hybridimalliin, jolla pääsee vieläkin pienempiin lukuihin.

Lentomatkailun energiankulutus vastaa henkilöautoilun kulutusta. Junalla matkustava säästää eniten. Perhe voi matkustaa edullisesti myös henkilöautolla, kun kyydissä on kaksi tai useampia matkustajia.

Kukin energialasku muodostuu kolmesta osasta: käyttötarpeesta, ominaiskulutuksesta ja energian hinnasta. Kaikkiin noihin osiin voi vaikuttaa. Jos aikoo todella säästää energiaa, kannattaa aloittaa autosta, johon voi itse myös vaikuttaa eniten. Seuraavassa tutkimme kutakin energiankäytön muotoa tarkemmin ja selvitämme, miten kulutusta voi vähentää.

7.2 ASUNTOJEN LÄMMITYS

7.2.1 Tilan tarve

Suurin lämmitykseen vaikuttava tekijä on tilantarve. Jos lämmitettävä tila kasvaa, niin lämmönkulutus kasvaa samassa suhteessa. Keskimääräinen asumisväljyys on Suomessa noin 40 m²/asukas. Yleensä tiloja varsinaisesti tarvitsevat eli lapsiperheet asuvat ahtaammin ja monet suureen kotiin tottuneet eläkeläiset väljästi. Säästäminen alkaa tilan tarpeen oikealla mitoittamisella.

7.2.2 Lämmön kulutus

Lämmöntarve on vesikeskuslämmitystaloissa tyypillisesti noin 140–200 kWh/m² vuodessa. Siitä noin 20–40 % kuluu lämpimän käyttöveden valmistukseen ja loput asunnon lämmitykseen. Jos talossa on suora sähkölämmitys, kulutus on tyypillisesti 100–140 kWh/m².

Lämmönkulutukseen voi vaikuttaa, kun huolehtii siitä, että patteriveden lämpötilan säätö lämmönjakuhuoneessa toimii ja se on oikein viritetty. Suosituslämpötila on kaikissa huoneissa välillä +20...+22 °C.

Patterikohtaiset termostaattiventtiilit huolehtivat huonekohtaisesta lämmönsäädöstä. Kun ostat termostaattiventtiilit, osta malli, jossa on esisäätömahdollisuus. Pyydä venttiilitoimittajaa tai konsulttia laskemaan kullekin venttiilille oikeat säätöarvot. Vaadi, että asentaja säätää venttiilit noihin arvoihin ja pyydä takuu siitä, että kaikkien huoneiden lämpötilat ovat +20 ja +22 °C välillä.

Sähkölämmitystalojen lämpötilan säätö on tarkempaa, koska sähköpatterien elektroniset termostaatit toimivat tarkasti ja luotettavasti. Sähköjohdoissa ei synny myöskään yhtä suuria häviöitä kuin lämminvesiputkistossa ja lämmönjakuhuoneissa.

7.2.3 Energiatodistus

Jokaiselle myytävälle pientalolle tulee tehdä Energiatodistus, jossa määritellään talolle E-luku. Määräys ei koske loma-asuntoja eikä alle 50 m² suuruisia asuntoja. Ympäristöministeriön määrittelemä E-luku antaa taloille luokituksen teoreettisen lämmönkulutuksen perusteella. E-luku poikkeaa aikaisemmasta Energiatodistuksen E₂₀₀₇-luvusta siten, että se arvostaa eri energialähteitä hyvin eri tavalla.

Fossiilisilla polttoaineilla tehty lämpö kerrotaan luvulla yksi ja sähköllä tehty lämpö luvulla 1,7, vaikka se olisi tehty tuulivoiman avulla. Vastaavasti kaukolämmöllä tehty lämpö kerrotaan luvulla 0,7, vaikka se olisi tehty turpeen tai kivihiilen avulla.

Talojen energiankäyttö luokitellaan E-luvun mukaan seitsemään luokkaa (Taulu 7.2.1). A-luokka tarkoittaa, että energiankulutus tulee olla alle 150 kWh/m².

7 Energiansäästö

Taulu 7.2.1 Ympäristöministeriön energialuokat (kWh/n-m²).

A	B	C	D	E	G	F
-150	151-170	171-190	191-230	231-270	271-320	320-

Ympäristöministeriön E-luku ei kuitenkaan kerro koko totuutta. Esimerkiksi A-luokan talossa voidaan kuluttaa energiaa G-talon mukaisesti. Vastaavasti G-luokan talo voi järkevän energian käytön avulla kuluttaa vähemmän kuin tyypillinen A-luokan talo. Uusi E-luku ei perustu todellisiin mittaustietoihin.

Ympäristöministeriön Energiatodistus mittaa teoreettista lämmön kulutusta talon nettoalaa kohti. Nettoala on lämmitetty pinta-ala mitattuna ulkoseinien sisäpintoista laskien sisäseinät mukaan laskettuna. Esimerkiksi tyypillisessä 120 huoneistoneitiön (h-m²) talossa on noin 125 nettoneliötä (n-m²). Energiatodistuksen laatii auktorisoitu tarkastaja laskemalla talon lämmöntarpeen perustuen seinä-, katto-, ikkuna-, ovi- ja alapohjarakenteiden U-arvoihin (esim. Taulu 5.6.4).

Ympäristöministeriön E-luku on mielestäni myös hyvin poliittinen ja se johtaa ihmiset käyttämään fossiilisia polttoaineita. Ilmeisesti yllä mainittujen poliittisten kertoimien takana ovat olleet öljy- ja kaasuteollisuuden lobbarit, koska se suosii fossiilisia polttoaineita sähkön kustannuksella. Se työllistää myös energiakonsultteja, koska yhden todistuksen tekeminen maksaa 500–1000 euroa.

Sähkön käytön tehokkuutta mittaavan Energiatodistuksen voi asunnosta tehdä todelliseen kulutukseen perustuen Energianet.fi-sivustolla helposti parissa minuutissa (Kuva 7.3.1).

7.2.4 Lämmin käyttövesi

Käyttöveden lämmitykseen tarvitaan tyypillisesti 15–30 kWh/h-m² energiaa. Vaihtelut ovat suuria käyttötottumusten mukaisesti. Noin 120 m² omakotitalon lämpimän käyttöveden energiatarve on noin 2000–4000 kWh vuodessa. Se on suunnilleen 1000 kWh asukasta kohti.

Lämpimän käyttöveden arvon taas tulisi olla koko ajan +55 °C asteessa. Monesti säätöventtiilin koko on liian suuri ja venttiili menee aina välillä kokonaan kiinni. Silloin suihkusta tulee vaihtelevan lämpöistä vettä.

Nykyaikaiset yhtiötehanat antavat sopivan määrän oikeanlämpöistä vettä, jos ne ovat kunnossa. Jos eivät ole, niin ne kannattaa vaihtaa uusiin. Termostaattihanat eivät tarvitse säätöä, jolloin niistä saa sopivan lämpöistä vettä vielä nopeammin. Esimerkiksi suihkussa lämmintä vettä voi säästää, jos sulkee hanan saippuoinnin ajaksi. Juoksevan veden alla tiskaaminen tulisi myös lopettaa kokonaan.

7 Energiansäästö

Keskimääräinen vedenkulutus Suomessa on 155 l/vrk/henkilö. Hajonta on +/- 20 %. Omakotitaloissa päästään tyypillisesti arvoon 120 l/vrk/hlö. Vuokrataloissa kulutetaan 180 litraa/vrk/hlö. Omakotiasukas maksaa itse jokaisen vesikuution ja on motivoitunut vedensäästäjä. Tulevaisuudessa kaikissa uusissa taloissa tulee olla vesimittarit. Tämän jälkeen jokainen joutuu maksamaan itse kuluttamastaan vedestä ja veden lämmityksestä

7.2.5 Aurinkolämmitys

Lämmönkulutusta voi Suomenkin oloissa pienentää 10–20 % asentamalla taloon aurinkolämmityksen, jolla saa lähinnä kesäaikana tuotettua lämpimän käyttöveden. Lämpimän käyttöveden varaajaan asennetaan aurinkolämpökierukka, josta auringosta saatu lämpö johdetaan varaajaan. Aurinko lämmittää puolestaan esimerkiksi katolle sijoitettuja aurinkokerääjiä.

Tyypillinen kerääjä on kooltaan 2,5 m² ja sen avulla saadaan talteen noin 500–1000 kWh lämpöä. Tyypillisesti talossa on neljä kerääjää, joista saa lämpöä 2000–4000 kWh vuodessa.

Neljä kerääjää maksaa noin 10 000 euroa. Niiden lisäksi tarvitaan erityinen pystymallinen varaaja, joka maksaa noin 5000 euroa. Energiansäästö vastaa kustannuksiltaan noin 300–500 euron säästöä rahassa mitattuna, jolloin investoinnin takaisinmaksuaika on noin 30–50 vuotta.

7.2.6 Lämmön kulutuksen tarkkailu

Lämmönkulusta kannattaa tutkia kuukausittain Taulussa 7.2.2 esitetyn vertailun mukaisesti. Siinä lasketaan joka kuukausi sääkorjattu lämmönkulutus ja verrataan sitä edellisen vuoden tai aikaisempien vuosien sääkorjattuun kulutukseen.

Sääkorjattu kulutus lasketaan korjaamalla jokaisen kuukauden lämmönkulutus astepäiväluvulla seuraavasti:

Korjattu kulutus = (Mitattu kulutus-lämmin vesi) x KDN/KDI +lämmin vesi,

missä KDN = Normaalit astepäivät (Kelvinpäiviä)

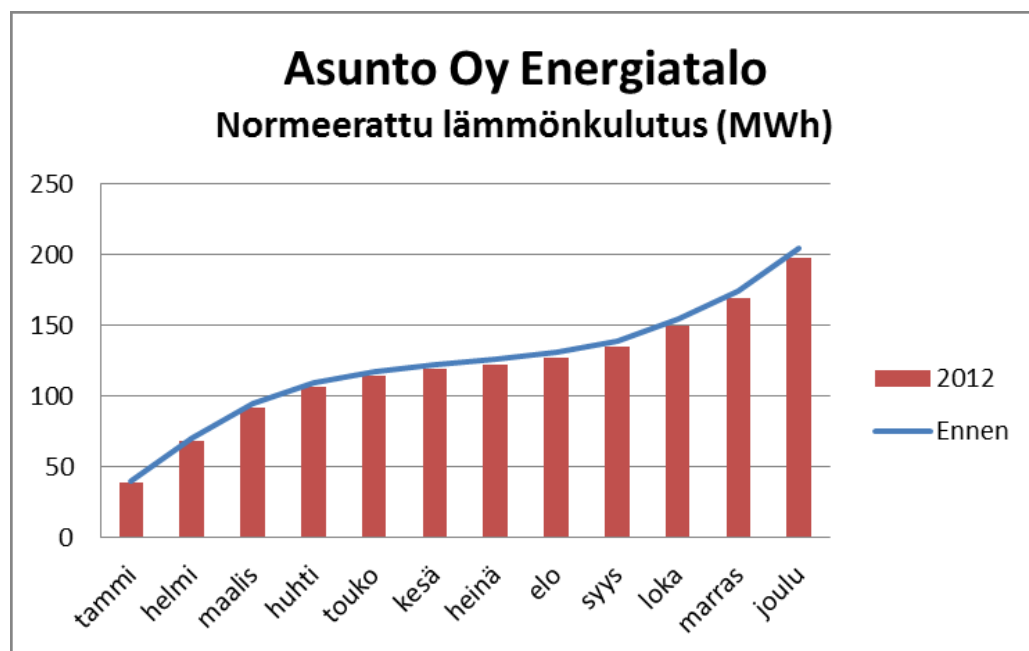
KDI = kuluvan vuoden astepäivät

Vertailu voidaan esittää myös kuvan 7.2.1 muodossa, jossa nähdään, miten kuluvan vuoden lämmönkulutus on verrattuna edelliseen vuoteen. Samalla tavalla kannattaa seurata myös taloyhtiön vedenkulutusta. Vertaamalla selviää, jos järjestelmässä on vikoja, jotka vaativat pikaista korjausta. Esimerkiksi vuotava WC saattaa kuluttaa vettä litran minuutissa. Siitä tulee 60 litraa tunnissa ja 1,4 m³ päivässä ja 43 m³ kuukaudessa.

7 Energiansäästö

Taulu 7.2.2 Normeeratun (astepäiväkorjatun) lämmönkulutuksen laskeminen.

Kuukausi	Lukema 5000	Mitattu kulutus MWh	Astepäiväluvut		Lämmin käyttövesi MWh	Talon lämmitys MWh	Normeerattu kulutus	
			Tämä vuosi Kd	Normaali Kd			2012 MWh	Ennen MWh
tammi	5040	40,0	680,0	657,0	3,3	35,4	38,8	40,0
helmi	5070	30,0	630,0	619,0	3,3	26,2	29,5	30,0
maalis	5095	25,0	600,0	574,0	3,3	20,7	24,1	25,0
huhti	5110	15,0	450,0	404,0	3,3	10,5	13,8	14,0
touko	5118	8,0	180,0	169,0	3,3	4,4	7,7	8,0
kesä	5124	6,0	20,0	12,0	3,3	1,6	4,9	5,0
heinä	5129	5,0	10,0	2,0	3,3	0,3	3,7	4,0
elo	5134	5,0	20,0	15,0	3,3	1,3	4,6	5,0
syys	5142	8,0	150,0	144,0	3,3	4,5	7,8	8,0
loka	5157	15,0	350,0	331,0	3,3	11,0	14,4	15,0
marras	5177	20,0	480,0	468,0	3,3	16,3	19,6	20,0
joulu	5207	30,0	620,0	594,0	3,3	25,5	28,9	30,0
Yhteensä		207,0	4 190,0	3 989,0	40,0	157,7	197,7	204,0
Ominaiskulutus kWh/m³					10,0	39,4	49,4	51,0



Kuva 7.2.1 Normeerattu lämmönkulutus.

7.2.7 Lämmönsäästöselvitykset

Lämmön johtuminen rakenteista

Lämmönsäästöselvitysten pohjaksi täytyy talolle tehdä ensin lämmönkulutuslaskelma, jollainen on esitetty Taulussa 5.1.1. Siitä selviää, että esimerkkitalon seinien energiahäviö on 1043 kWh vuodessa. Näin pieni häviö syntyy, kun talon eristyksenä on 30 cm vuorivillaa tai 20 cm vuorivillaa ja sen lisäksi sisällä 60 mm SPU-eristettä, jolloin U-arvo on 0,11 W/m²/K.

Tavallisesti 1990-luvun taloissa on 15 cm vuorivillaa ja sen seinien lämpöhäviö oli kaksinkertainen eli noin 2086 kWh (Taulu 7.2.3). Tästä voidaan arvioida, että eristekerroksen kaksinkertaistaminen säästää 1043 kWh sähköä. Kun sähkön hinta on 0,14 €/kWh, tulee säästökäsi rahassa mitattuna 146 euroa vuodessa. Jos kannattavuuden kriteerinä pidetään 20 vuoden takaisinmaksuaikaa, investointi saa maksaa korkeintaan 20 x 146 euroa eli 2920 euroa.

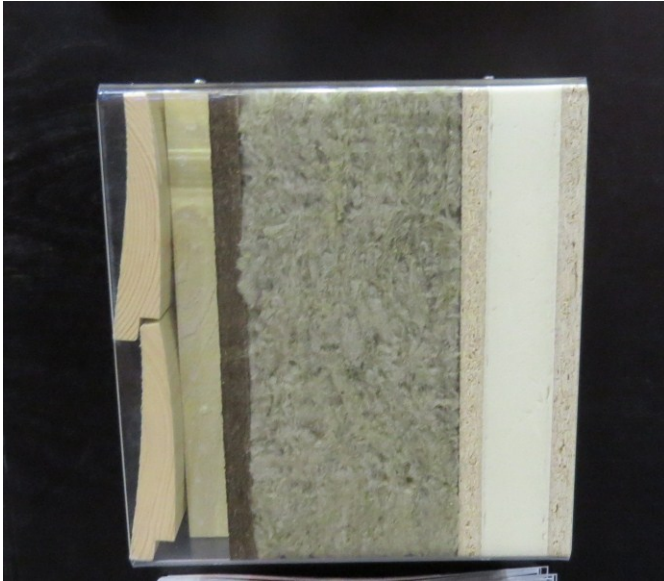
Taulu 7.2.3 Laskennallisia energian ja rahan säästöarvioita, jos siirrytään vanhasta talosta ns. matalaenergiataloon.

Häviö	Pinta- ala m ²	U-arvo ennen W/m ² /K	Lämpö- häviö W/K	Aste- päivät Kd	Kulutus ennen kWh	Kulutus nyt kWh	Säästö kWh	Säästö euroa/v
Lämmön johtuminen								
Seinät	100	0,22	22,00	3952	2 087	1043	1 043	146
Yläpohja	120	0,15	18,00	3952	1 707	797	911	127
Ikkunat	13	1,80	23,40	3952	2 219	925	1 295	181
Ovet	9	2,00	18,00	3952	1 707	854	854	120
Alapohja	120	0,20	24,00	3240	1 866	1306	560	78
Yhteensä	120				9 587	4925	4 662	653

Talon lisäeristyksen voi toteuttaa sisäpuolelta laittamalla sinne esimerkiksi 6 cm paksun SPU-eristyslevyn (Kuva 7.2.2). Levy parantaa samalla talon tiiviyyttä tai kosteuseristystä merkittävästi, mutta pienentää hieman huoneiston pinta-alaa. Ulkopuolella lisäeristeenä voi käyttää esimerkiksi 5 – 10 cm kerrosta kovaa Isover-eristevillaa (Kuva 7.2.3).

Kun tekee korjauksen sekä sisältä että ulkopuolelle tulee talosta matalaenergiatalon eristysluokkaa. Talon U-arvoksi tulee noin 0,11 W/m²/K. Samalla rakenteen kosteuseristys tehostuu, ilmanvuotokerroin laskee ja rakenne pysyy kuivana.

7 Energiansäästö



*Kuva 7.2.2
Lisäeristäminen sisältä
kosteussulkuna toimivan
SPU-levyn avulla.*



*Kuva 7.2.3
Eristäminen ulkopuolelta
hengittävän Isover-levyn
avulla.*

Ikkunat

Samalla tavalla on Taulussa 7.2.3 laskettu myös muiden parannuskohteiden säästöt, kun tavoitteena on saavuttaa Taulussa 5.1.1 esitetyn matalaenergiatalon lämmönkulutus. Siitä voidaan todeta, että suurin säästö voitaisiin saada vaihtamalla vanhat, U-arvoltaan 1,8 olevat ikkunat U-arvon 0,75 ikkunoihin.

Säästö on 181 euroa vuodessa, jolloin investointi on kannattava, jos ikkunat maksavat korkeintaan 20 x 181 euroa eli 3620 euroa. Tietysti uusilla ikkunoilla on muutakin arvoa, koska ne ovat vedottomat ja talon arvo nousee. Kolmikerroksisten lämpölaselementtien etuna on lisäksi pesuntarpeen väheneminen.

Ilmanvaihto

Suurin energiahukka tapahtuu talojen ilmanvaihdossa, jos talossa ei ole lämmön talteenottoa. Vanhoissa kerrostaloissa oli yksinopeuksiset huippuimurit, jotka toimivat 100 % teholla läpi koko vuorokauden. Kun niiden nopeutta alettiin säätää, saavutettiin helposti 20–30 %:n säästö taloyhtiön lämpölaskussa.

Tämän kirjan kustannusyhtiö, Ekoenergo Oy, perustettiin, kun asensimme kerrostalon sähkökeskukseen huippuimurien ohjauslaitteen, joka säätöi huippuimurien virtausta kolmiportaisesti. Yöllä pidettiin pienintä nopeutta, joka on noin 20–25 % täydestä tehosta. Aamulla nopeus nostettiin 80–90 %, kun ihmiset menevät suihkuun ja keittävät kahvia. Päivällä nopeus pidettiin 40–50 %:ssa, kun ihmiset ovat töissä. Illalla taas teho nostettiin 80 %:iin, kun valmistettiin ruokaa ja käytiin suihkussa.

Laitteista oltiin kiinnostuneita eri puolella Pääkaupunkiseutua ja niiden myymistä varten perustettiin Ekoenergo Oy vuonna 1979. Näitä Ekoair-säätimiksi nimettyjä laitteita myytiin useisiin kerrostaloihin, joissa oli yksinopeuksiset huippuimurit. 1980-luvulla huippuimureissa oli jo yleensä kaksinopeuksiset moottorit, eikä niihin enää tehty asennuksia. Uusissa taloissa ilmanvaihtoa ei yleensä enää ylimitoitettu.

Lämpötilan tasaisuus

Lämpötilan tasaisuus voidaan mitata huoneissa, kun patteriventtiilit pidetään kaikissa huoneissa auki ja käydään mittaamassa niiden lämpötila. Tavoitteena on, että kaikkien huoneiden lämpötila on välillä 20–22 °C.

Jos talossa on sellaiset termostaattiset patteriventtiilit, joiden esisäätö on mahdollista, niin jokaiselle venttiilille kannattaa pyytää omat säätöarvot, joihin ne säädetään. Patteriverkoston linjojen tasaussäädön avulla saadaan kaikkiin nousulinjoihin sama vesivirtaus. Nämä ovat molemmin tehtäviä, joihin tarvitaan säätöön erikoistuneiden yhtiöiden apua.

7 Energiansäästö

Pienet asiat

Helpoin tapa säästää lämpöä on pitää lämpötila alhaisena ja huolehtia siitä, että kaikki laitteet ovat kunnossa. Syksyllä on hyvä myös katsoa, että ikkunoiden ja ovien tiivisteet ovat ehjät. Monesta pienestä asiasta muodostuu suuri säästö.

Suuri energiahukka tulee myös lämpimän veden käytöstä. Oleellista on, kuinka kauan vesi on päällä suihkussa. Jos suihkun voi sammuttaa saippuoinnin ajaksi, säästö on huomattava. Tässä hyvä asia on termostaattinen sekoitusventtiili, jonka lämpötila pysyy aina samana. Toinen asia on tiskaus, joka pitää tehdä pesukoneessa tai tiskialtaissa. Juoksevan veden avulla tiskatessa kuluu helposti kymmeniä litroja lämmintä vettä.

7.3 SÄHKÖN KÄYTTÖ

7.3.1 Energianetin energiatodistus

Energianet.fi–sivuston kautta voi asunnoille laatia energiatodistuksen, josta selviää asunnon sähkönkulutus samanlaisten ja samankokoisten asuntojen kulutukseen verrattuna (Kuva 7.3.1).

Todistukset jaetaan viiteen eri luokkaan. Keskiluokassa (kolme tähteä) asuntosi kuluttaa sähköä saman verran kuin vastaavat asunnot. Jos kulutuksesi on standardipoikkeaman verran pienempi, saat neljä tähteä. Jos se on standardipoikkeaman verran suurempi, saat kaksi tähteä.

Jos kulutuksesi on kahden standardipoikkeaman verran pienempi, saat viisi tähteä. Jos kulutuksesi on kahden standardipoikkeaman verran suurempi kuin keskiarvo, saat yhden tähden.

Sähkönkulutusta voi verrata myös liitteissä 2–6 esitettyihin Energianetin keräämiin keskimääräisiin sähkönkulutustietoihin. Niistä saa ohjearvot myös uusille taloille, joiden kulutuksesta ei vielä ole mittautustietoa saatavissa.

Energiatodistus perustuu Energianetin vuosina 2006–2012 keräämään yli kahdenkymmenentuhannen asunnon tietokantaan. Sitä analysoimalla on saatu keskimääräiset sähkönkulutusluvut kaikenlaisille asunnoille huoneistoneliötä kohti laskettuna.

Energianetin Energiatodistus poikkeaa Ympäristöministeriön vaatimasta Energiatodistuksesta. Energianetin todistus vertaa pelkästään sähkön käyttöä, kun Ympäristöministeriön vaatima Energiatodistus koskee vain talon lämmitystarvetta eli se annetaan talon seinien, katon ja ikkunoiden rakenteiden perusteella.

Energianetin Energiatodistus luokittelee talon pelkästään huoneistoalan perusteella. Huoneistoala on yksikäsitteinen tieto, joka on saatavissa esimerkiksi kerros- tai rivitalon isännöitsijätodistuksesta. Huoneiston bruttoalatietoja ei niistä yleensä selviä.

7.3.2 Sähkölämmitys

Sähkölämmityksessä talossa lämmitykseen kuluu noin 100–140 kWh/m² (25–40 kWh/m³) sähköä. Suora sähkölämmitys kuluttaa selvästi vähemmän sähköä kuin vesikiertoinen järjestelmä, koska lämmityksen säätö on tarkkaa ja huonekohtaista.

Vesikiertoisen järjestelmän lämmönkulutusta nostavat putkistohäviöt ja epätarkka lämpötilansäätö. Lisäksi yleensä vesikiertoisessa järjestelmässä on erillinen lämmönjakuhuone, jonka lämmitys menee hukkaan.

7 Energiansäästö

(No 000014770)

ENERGIATODISTUS

Asunnon tiedot		
Kohde	Rantakuja, 00200, Kesämaa	
Talotyyppi	Omakotitalo <input type="checkbox"/> Rivitalo <input type="checkbox"/> Paritalo <input type="checkbox"/> Kerrostalo <input type="checkbox"/> Vapaa-ajan asunto <input checked="" type="checkbox"/>	
Lämmitystapa	Varaava sähkölämmitys <input type="checkbox"/> Suora sähkölämmitys <input checked="" type="checkbox"/> Lämpöpumppu <input type="checkbox"/> Öljylämmitys <input type="checkbox"/> Kaukolämmitys <input type="checkbox"/>	
Rakennusvuosi	1998	
Huoneistoala	100 m ²	
Asukkaiden lukumäärä	2	
Sähkönmittaustapa ja sähkönkulutus		
Sähkönmittaustapa	Yksialkamittari <input type="checkbox"/> Kaukoluettava tuntimittari <input checked="" type="checkbox"/> Yö-sähkämittari <input type="checkbox"/> Vuodenalkamittari <input type="checkbox"/>	
Sähkönkulutus	11200 kWh/vuosi	
Tulokset		
Kohteen sähkönkulutus	11200 kWh/vuosi	89.6 %
Vastaavien kohteiden sähkönkulutus	12502 kWh/vuosi	100.0 %
Erotus	-1302 kWh/vuosi	-10.4 %
Johtopäätökset		
Sähkönkulutus on vertailuainelustoon nähden	Merkittävästi keskimääräistä pienempi <input type="checkbox"/> Keskimääräistä pienempi <input type="checkbox"/> Keskimääräinen <input checked="" type="checkbox"/> Keskimääräistä suurempi <input type="checkbox"/> Merkittävästi keskimääräistä suurempi <input type="checkbox"/>	
Annamme kohteen sähkönkäytölle	★ ★ ★	
Energiatodistus perustuu Energinetin keräämään yli 10 000 asunnon tietokantaan. Energinetissä ylläpitää Ekoenergo Oy, joka on vuonna 1979 perustettu energiansäästöön ja isännöintiin erikoistunut yritys.		
25.11.2012 Ekoenergo Oy - http://www.energinet.fi		

Kuva 7.3.1 Energinetin Energiatodistuksia on laadittu jo yli 15 000 kappaletta.

Kotona/poissa-kykin

Sähkölämmitystalon kulutusta pudottaa mahdollisuus käyttää lämmönpudotusta kotona/poissa-kytkimellä. Yhden asteen pudotus säästää 5 %. Kun säädöt toimivat, jokaisessa huoneessa voi ylläpitää oikeaa lämpötilaa: esimerkiksi olohuoneessa +20 °C ja makuuhuoneissa +18 °C. Tästä tulee helposti keskimääräiseksi säästökseksi 10 %.

Ilmalämpöpumppu

Lämmönkulutusta voi pienentää myös asentamalla ilmalämpöpumpun, joka tekee jokaisella kilowattitunnilla sähköä 2–4 kilowattituntia lämpöä, ulkolämpötilasta riippuen. Tyypillinen sähkön säästö on noin 15–30 kWh/m², jolloin 120 m² talossa säästetään noin 2500 kWh vuodessa.

Säästö on sitä suurempi, mitä suurempi on lämpöpumpun teho ja lämpökerroin ja kuinka moneen pakkasasteeseen asti pumppu jaksaa talon lämmittää. Tilavuudeltaan 400 m³ olevan talon lämmöntarve on -25 °C pakkasella noin 6 kW, -15 °C asteessa 4,5 kW, -5 °C asteessa 3 kW ja +5 °C asteessa 1,5 kW (Kuva 5.5.1).

Ilmalämpöpumpun asetuslämpötila tulee asettaa esimerkiksi +22 °C:n lukemaan ja sähköpatterien asetusarvo +20 °C:n lukemaan. Tällöin pakkasella ilmalämpöpumppu toimii aina ensin täydellä teholla. Sen jälkeen vasta patterit antavat lisälämpöä, jos sisälämpötila laskee alle 20 °C:n lukemaan.

Ilmalämpöpumppu on hyvä laite tasaamaan myös huoneen lämmön pakkautuminen katon rajaan. Tuuletusasennossa ilmalämpöpumppu imee lämmintä ilmaa katosta ja puhalttaa sitä alaspäin. Kesällä ilmalämpöpumppua voi käyttää myös jäähdytykseen kuumalla ilmalla.

Meillä on kesämökillä kuusi vuotta vanha ilmalämpöpumppu, jonka matalin asetusarvo sisälämpötilalle on +14 °C. Sähköä voisi säästää, jos vaihdamme ilmalämpöpumpun uudempaan malliin, joka pitää sisälämpötilan +10 °C:ssa. Sähkönkulutuksen säästö olisi talvella luokkaa 20 %.

Säästö voidaan arvioida siitä, että sisä- ja ulkolämpötilojen ero talvella putoaa arvosta 19 °C arvoon 15 °C. Muutos on 4 °C eli 20 %. Talven kulutuksesta, joka on noin 7000 kWh, 20 % olisi 1400 kWh ja rahassa noin 200 euroa vuodessa. Pumppu maksaa noin 2000 euroa, jolloin takaisinmaksuaika olisi noin kymmenen vuotta.

7.3.3 Kotitaloussähkö

Tyypillinen kaukolämmitetty, 120 m²:n kokoinen omakotitalo kuluttaa noin 7300 kWh sähköä (Taulu 7.3.1). Eniten kuluttavat LVI-laitteille (1500 kWh), joiden kulutus lasketaan yleensä kuluvan lämmitykseen. Toiseksi suurin sähkönkuluttaja on valaistus (1150 kWh) ja kolmantena on sähkökiuas (1000 kWh).

7 Energiansäästö

Taulu 7.3.1 Omakotitalojen sähkönkulutus /7/

Lämmitystapa Asukasluku Varustetaso	Sähkölämmitys		Muu lämmitys	
	2 tavallinen kWh	4 tavallinen kWh	4 tavallinen kWh	4 korkea kWh
Lämmitys	11000	9600		650
Lämmin vesi	2000	3600		
Lämmitys	13000	13200	0	650
LVI-laitteet			1500	1600
Kylmälaitteet	700	600	600	1200
Ruoanvalmistus	450	680	680	700
Pyykinpesu ja kuivaus	140	600	600	700
Elektroniikka	500	700	770	1650
Valaistus	800	1120	1150	1500
Sähköiuas	800	1000	1000	1000
Autonlämmitys	250	400	300	650
Muuta	750	700	700	1000
Kotitaloussähkö	4390	5800	7300	10000
Yhteensä	17390	19000	7300	10650

Taulu 7.3.2 Kerros- ja rivitaloasuntojen sähkönkulutus /7/

Asukkaita	Kerrostalot		Rivitalot	
	1 kWh	3 kWh	2 kWh	3 kWh
Kylmälaitteet	430	430	450	600
Ruoanvalmistus	250	550	430	600
Pyykinpesu ja kuivaus	80	150	120	180
Elektroniikka	390	650	500	600
Valaistus	170	500	650	750
Sähköiuas			600	700
Muut	80	120	550	570
Yhteensä	1400	2400	3300	4000

7 Energiansäästö

Hyvin varustetussa omakotitalossa sähköä kuluu 10 650 kWh. Suurin lisäys on elektroniikan kulutuksessa ja pesutilojen lattialämmityksessä.

Tyypillisessä kerrostaloasunnossa sähköä kuluu noin 1400–2400 kWh vuodessa (Kuva 7.3.2) asukasluvusta riippuen. Saunalla varustettu asunto kuluttaa noin 500–700 kWh enemmän kuin ilman saunaa oleva asunto. Rivitaloissa sähköä kuluu enemmän (3300 – 4000 kWh), koska niissä on yleensä aina sähkösuuna ja osa valaistuksesta tarvitaan pihan valaistukseen.

7.3.4 Valaistus

Lamput

Tavalliset 40 W hehkulamput antavat noin 400 lumenin valovirran. Niiden valovirran suhde sähkötehoon oli noin 10 lm/W. Hehkulamput luokitellaan energialuokkaan E ja niiden käyttöaika on 1000 tuntia. Lampun käyttämä energia on 40 W x 1.000 h eli 40 kWh, joka maksaa noin 6 euroa. Jos lamput maksavat euron kappale, tulee 30.000 tunnin valaistuksen kustannuksiksi 30 x 7 euroa eli 210 euroa.

Esimerkiksi 7 W:n led-lampulla saa 470 lumenin (lm) valovirran, jolloin valovirran suhde sähkötehoon on 70 lm/W. Lampun käyttöikä on 30.000 tuntia. Lamppu tarvitsee 30.000 tunnin aikana sähköä 7 W x 30.000 h eli 210 kWh, joka maksaa noin 30 euroa. Kun lampun hinta on 15 euroa, maksaa 30.000 tunnin valaistus yhteensä 45 euroa. Hehkulamput 210 euroon verrattuna säästöä syntyy 165 euroa eli noin 80 %.

400 lumenin valovirran saa myös 9 W:n energiansäästölampulla. Se on hieman halvempi kuin led-lamppu, mutta se syttyy hitaammin. Toinen ongelma on lampun sisältämä elohopea, jonka takia lamput ovat käytettyinä ongelmajätettä. Sen vuoksi en itse sellaisia enää osta, kun led-lamput ovat tulleet markkinoille.

Sisävalaistus

Sisävalaistuksen energiansäästöillä ei ole kovin suurta merkitystä sähkölämmityksellä toimivassa omakotitaloissa, koska valaisimeen syötetty sähkö muuttuu talviaikana melkein kokonaan lämmöksi. Sen sijaan kaukolämmitetyssä tai lämpöpumpputaloissa sähkö on yleensä kalliimpaa kuin kaukolämpö tai lämpöpumpun tuottama lämpö, joten led-lamput säästävät myös selvää rahaa.

Taulussa 7.3.3 on kerrottu oman asuntonne sisävalaistukseen tällä hetkellä käytetyt lamput ja niiden ottama sähköteho. Lamput kuluttavat sähkötehoa yhteensä 390 W. Jos ne olisivat päällä viisi tuntia joka päivä, niin valaistukseen kuluisi sähköä 5 x 390 W eli 2 kWh päivässä ja vuodessa yhteensä 730 kWh. Kuitenkin lamppujen energiasta menee hukkaan vain kesäkuukausina käytetty osuus; 3 kk/12 kk eli 25 %. Tässä tapauksessa valaistusenergiasta vain 180 kWh on hukkaenergiaa ja 550 kWh menee talon lämmitykseen.

7 Energiansäästö

Taulu 7.3.3 Kotitalouden lamppujen lukumäärä, tyypit ja niiden ottama sähköteho.

Tyyppi	Luku- määrä kpl	Teho W	Yhteis- teho W	Valovirta/ valaisin lumen	Valovirta yhteensä Lumen	Valovirta/ Sähköteho lumen/W
Led-lamput	11	3,5	38,5	250	2750	71
Led-lamput	5	8	40	400	2000	50
Led-lamput	2	11	22	810	1620	74
Loisteputki	3	10	30	200	600	20
Energiansäästö	4	7	28	200	800	29
Energiansäästö	2	15	30	400	800	27
Hehkulamput	5	40	200	400	2000	10
Yhteensä	32		388,5	2660	10570	27

Taulukossa kannattaa huomioida, että asunnossa olevat viisi hehkulamppua kuluttaa yhtä paljon sähköä kuin muut 27 led- tai energiansäästölamppua yhteensä. Koska hehkulamput ovat himmentimen takana olevia kynttilälamppuja, niin nekin kannattaa vaihtaa led-lamppuihin, kun himmennettäviä led-lamppuja on saatavissa. Silloin lamppujen energiankulutus putoaa arvoon 200 W ja sähkönkulutus arvoon 400 kWh vuodessa.

Lopullista sähkönkulutusta voi verrata tilanteeseen neljä vuotta sitten, kun kaikki led-lamput olivat vielä hehkulamppuja. Silloin näiden 19 led-lamppujen sähkönkulutus oli noin 800 W ja muiden valaisemien 300 W. Sähköteho oli yhteensä 1100 W, joka on viisinkertainen määrä vuoden 2013 tavoitearvoon 220 W verrattuna. Säästö tulee olemaan yli 80 %, vaikka kaikkia lamppuja ei ole vaihdettu led-lamppuihin.

Led-lamppujen vaihdon kustannukset ovat noin 23 x 20 eli 460 euroa. Jos säästökäsi lasketaan hehkulamppujen jatkuvan uusimistarpeen kustannukset ja kesän hukkaenergia, siinä säästyy noin 70 euroa vuodessa. Investoinnin takaisinmaksuaika on noin kuusi vuotta. Kaukolämpö- tai lämpöpumpputalossa säästökäsi voi laskea myös talvella säästetyn sähkön ja lämmön hinnan erotuksen, josta tulee säästöä noin 100–200 euroa vuodessa. Tällöin takaisinmaksuajaksi tulee noin kaksi–kolme vuotta.

Ulkovalaistus

Varsinkin sellaisissa paikoissa, joissa lämpöä ei saada talteen, kannattaa käyttää energiansäästö- tai led-lamppuja. Niillä saadaan sama valoteho noin 70–90 % pienemmällä sähkönkulutuksella.

Ulkotiloihin kannattaa ostaa sellainen energiansäästölamppun malli, jossa on valokytkin mukana. Tällöin valo syttyy automaattisesti illalla pimeään tultua ja sammuu aamulla, kun on taas valoisaa.

7 Energiansäästö

Pihavalaistuksessa olen itse käyttänyt mökillä myös aurinkokennolamppuja, joissa aurinkokenno on asennettu valaisimen hattuun. Pihavalon ei tarvitse olla kovin kirkas, koska kirkaat pihavalot estävät näkemästä esimerkiksi iltaruskoa. Aurinkokennovalot toimivat itseksensä monta vuotta kuluttamatta verkkosähköä.

Aurinkokennovalaisimet ovat myös led-valaisimia, joiden sähkön kulutus on Watin osasia. Led-valaisimia on nyt saatavissa myös moneen sisäkohteen valaisuun. Led-lamppujen etuna on niiden nopea syttyminen ja siksi niitä voi käyttää kohteissa, joissa tarvitaan heti täysi valoteho.

7.3.5 Sauna

Mitä suurempi sauna, sitä kauemmin saunaa pitää lämmitellä ja sitä enemmän kuluu sähköä. Suurempi kiukaan teho kuitenkin yleensä nopeuttaa lämmitysaikaa ja pienentää sähkönkulutusta.

Saunan lämmitysaikana kuluu noin puolet saunomisen sähkötarpeesta. Saunomisajana ja saunan kuivatusajana kuluu toinen puoli. Molempiin voi vaikuttaa.

Voi saada aikaan suuria säästöjä, jos tyytyy saunomisessa 60–70 °C:n lämpötilaan. Kymmenen asteen ero lämpötilassa vastaa noin 20 %:n eroa sähkönkulutuksessa. Keskimääräinen saunominen kuluttaa noin 5–10 kWh sähköä. Tarkempaan säätöön pääsee, kun hankkii kiukaan, jossa on elektroninen kauko-ohjaus (Kuva 7.3.2) ja erillinen termostaatti.



Kuva 7.3.2 Kiukaan elektronisesta ohjauspaneelistä voi antaa saunan lämpötilalle asetusarvon. Esimerkiksi 60 °C voisi olla sopiva lämpötila energiansäästäjälle.

7 Energiansäästö

Jos saunassa käy kerran viikossa, sähköä kuluu noin 250–500 kWh vuodessa. Kerran päivässä saunoja kuluttaa noin 2000–4000 kWh vuodessa. Kulutukseen voi vaikuttaa laittamalla sauna päälle tarkalleen esim. puoli tuntia ennen saunomisen aloitusta, jolloin sauna on sinne mentäessä juuri lämmennyt tavoitelämpötilaan.

Jatkuvalämmitteinen sauna kuluttaa sähköä tasaisesti koko ajan. Kulutus on vuodessa noin 3000 kWh. Sama kulutus syntyy, jos lämmittää tavallisen saunan joka päivä. Jos talossa on sähkölämmitys, niin saunan lämmitys pienentää esimerkiksi lattialämmityksen kulutusta. Näin saunan kuluttama sähkö pienentää muuta lämmitystä, jos ne kytkeytyvät pois, kun sauna on muita huoneita lämpimämpi. Lämmönhukka kasvaa, jos saunan lämpötilan pitää väliaikoina muiden huoneiden lämpötilaa korkeamana.

7.3.6 Auton lämmitys

Auton lämmittäminen talvella kuluttaa noin 1–2 kWh sähköä lämmityskertaa kohti, jos lämmitystolppaan on asennettu kahden tunnin kellokytkin. Jos auto on tolpassa joka päivä lokakuusta maaliskuun loppuun, sähköä kuluu talven aikana noin 200 - 400 kWh. Jos lämmittää auton vain, kun lämpötila laskee pakkasen puolelle, kulutus on puolta pienempi.

Auton sähkölämmitys maksaa noin 30–60 euroa vuodessa. Auton lämmittämisen ansiosta polttoainetta säästyy ensimmäisten kilometrien aikana suunnilleen yhtä paljon rahassa mitattuna. Säästö auton häkä-, HC- ja hiukkas-päästöissä on sen verran suuri, että auton lämmitystä voi hyvällä syyllä suositella kaikille myös ympäristön kannalta katsottuna.

Auton lämmittäminen säästää myös auton moottoria, koska sen ansiosta moottoriöljy on heti lämmintä, jolloin se voitelee moottorin pintoja paremmin. Samalla tavalla vaikuttaa myös moottoriöljyn vaihto talveksi talvilaatuun. Notkeamman öljyn ansiosta myös moottorin käyttöikä pitenee.

Sähköinen esilämmitys on tarpeellista varsinkin sähkö- ja hybridautoilla. Silloin myös akkujen kesto saadaan pitemmäksi. Sähköauton lämmitys on tehokkainta suorittaa ennen autoon astumista.

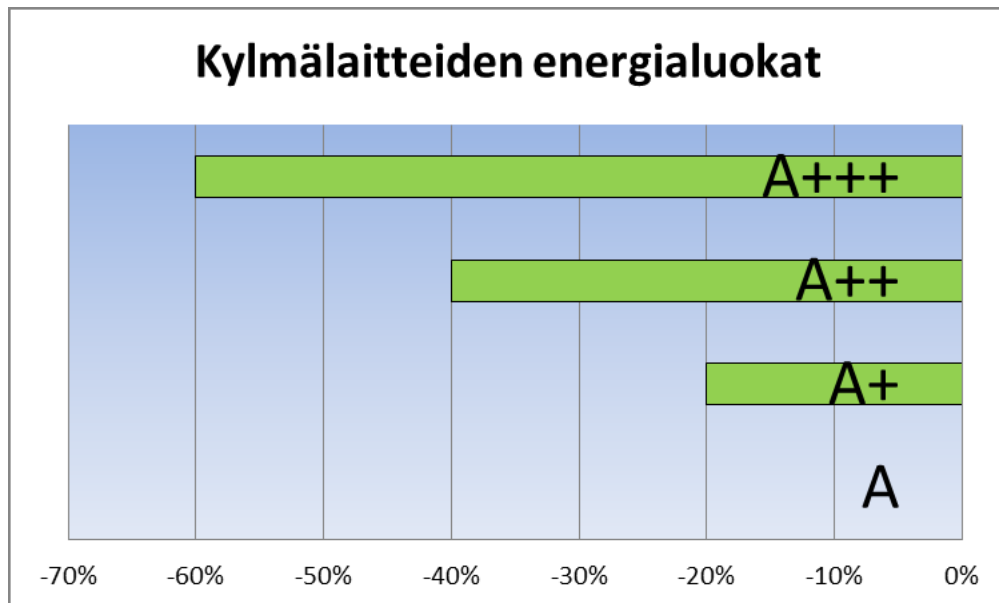
7.3.7 Kodinkoneet

Jääkaappi ja pakastin

Jääkaappi ja pakastin käyvät lähes jatkuvasti ja kuluttavat noin neljänneksen kodin sähköstä. Koska ne sijoitetaan tavallisesti keittiöön, niin niistä tuleva lämpö menee yleensä suureksi osaksi hukkaan keittiön tuuletusventtiilien kautta.

7 Energiansäästö

Kylmälaitteiden kulutukseen voi vaikuttaa ostamalla A+++-luokan laitteita (Kuva 7.3.3) ja pitämällä niiden takaosien pinnat puhtaina pölystä ja tuuletusaukot vapaina. Uusien kylmälaitteistojen esitteistä selviää yleensä niiden keskimääräinen sähkökulutus.



Kuva 7.3.3 Kylmälaitteiden energialuokitus.

Jääkaapin ja pakastimen kulutukseen voi myös vaikuttaa, kun muistaa sulattaa pakastinosa pari kertaa vuodessa. Pakastimesta otetut tavarat, esimerkiksi jäätelön, voi laittaa lämpenemään ensiksi jääkaappiin, jolloin $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ asteessa oleva pakaste pienentää jääkaapin sähkökulutusta. Jääkaapin suosituslämpötila on tuoreille kaloille $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja muille riittää $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Korkea jääkaappipakastinyhdistelmä kuluttaa sähköä yleensä yhden kilowattitunnin vuorokaudessa eli 365 kWh vuodessa. Jää/viileäkaappi kuluttaa sähköä noin 180 kWh ja arkkupakastin noin 240 kWh vuodessa.

Sähköliesi ja mikro

Tavallinen 700 W:n mikro lämmittää aterian kahdessa–kolmessa minuutissa, jolloin sähköä kuluu yleensä alle kymmenesosa liesi- tai uunilämmitykseen verrattuna. Jos uunia käytetään, niin monet ruoat voi laittaa uuniin jo sen esilämmitysvaiheessa.

Pyykinpesukoneet ja kuivausrummut

Pyykinpesukoneiden sähkönkulutus määräytyy pesukertojen ja pesulämpötilan perusteella. Jos pesee täysiä koneellisia ja alhaisissa lämpötiloissa, voi säästää huomattavasti sähköä. Tehokas linko voi pienentää kuivaustarvetta, jos pyykin kuivaa koneellisesti.

Pyykinpesukone kuluttaa sähköä keskimäärin 1 kWh/ohjelma. Jos pyykin pesee kerran päivässä, kulutukseksi tulee 365 kWh vuodessa. Kuivausrummut kuluttavat noin 4 kWh/kuivauskerta. Näin kerran viikossa käytetty kuivaaja kuluttaa 200 kWh sähköä vuodessa.

Tietokoneet ja televisio

Tietokoneen tyyppi ja teho vaikuttaa sen kulutukseen. Vähiten kuluttaa kannettava mikro, jossa on LCD-näyttö (20–40 W). Jos kannettava tietokone on päällä koko ajan, vuodessa kuluu sähköä noin 200–400 kWh. Tietokoneen voi myös sammuttaa aina, kun lopettaa sen käyttämisen. Samalla tietokonetta voi suojata vakoilu-ohjelmilta.

Mitä suurempi televisio, sitä suurempi on sen sähkönkulutus. Pienin kulutus on LED-taulutelevisiolla ja suurin Plasma-televisiolla. 40 tuuman LCD-televisio kuluttaa noin 180 W ollessaan päällä ja noin 10 W valmiustilassa. Vuorokauden kulutus voi olla 1 kWh. Pienemmän 26 tuuman LCD-televisioiden kulutus on 90 W, eli noin 0,5 kWh vuorokaudessa, jos sitä käytetään kuusi tuntia.

Kaikki kodin viihdelaitteet kannattaa kytkeä samaan jatkojohtoon, jossa on katkaisija. Kun katkaisijan aukaisee, niin samalla kytkeytyvät pois kaikki laitteet yhtä aikaa: televisio, digiboksi, video, DVD jne.

Termospullo

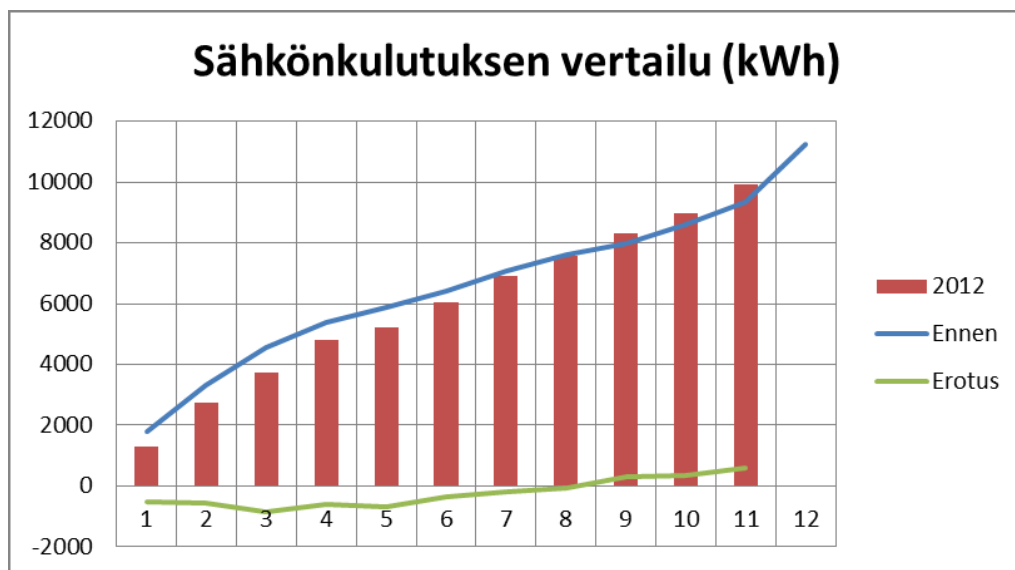
Termospullon avulla voi myös säästää energiaa. Kun kahvin panee heti keittimestä termospulloon, se säilyy siellä käyttövalmiina monta tuntia. Samalla kahvinkeitin voi sammuttaa, jolloin sen kulutus lakkaa ja sähköä säästyy. Usein kahvinkeitin voi jäädä päälle moneksi tunniksi ja sieltä otettu kahvi maistuu kitkerältä.

Lattialämmitys

Suuri sähkönkuluttaja on pesutilojen lattialämmitys, joka on yleensä asennettu myös kaukolämpöaloihin. Saman asian voi hoitaa esimerkiksi asentamalla lattialle puuritilät. Lattialämmittimen teho voi olla 500 W ja se voi kuluttaa vuodessa yhtä paljon sähköä kuin huoneistosauna. Jos talossa on sähkölämmitys, niin asialla ei ole suurta merkitystä lämmityskaudella, koska lämpö tulee sähköstä joka tapauksessa.

7.3.8 Kulutuksen tarkkailu

Sähkönkulutusta voi tarkkailla helposti, jos sähkönkulutus mitataan kuukausittain. Omalla mökillämme on ollut kuukausikohtainen sähkönlaskutus jo muutaman vuoden ajan. Kuukausittaiset tiedot voi esittää vuosittain esimerkiksi Kuvan 7.3.4 muodossa, josta selviää kunkin kuukauden loppuun mennessä käytetty sähköenergia.



Kuva 7.3.4 Kesämökin sähkönkulutuksen seuranta.

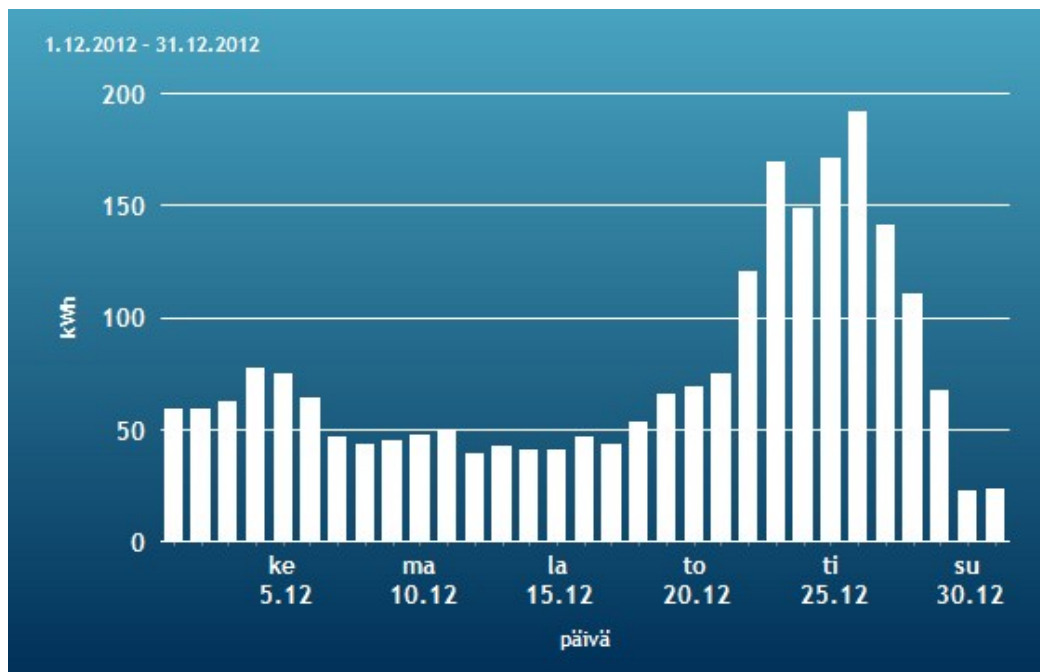
Kuvasta selviää, että aiemmin sähköä on kulunut keskimäärin noin 11.000 kWh. Vuosi 2012 oli aluksi alle entisen tason, mutta marraskuun loppuun mennessä kulutus on ollut samalla käyrällä kuin aiemmin. Vaikka keväthalvi oli leuto, niin kesällä käytettiin lämpöpumpua jäähdytykseen tavallista enemmän.

Yllä olevien tietojen avulla voisi ennustaa, että vuoden 2012 sähkönkulutus tulee olemaan noin 12.000 kWh. Ilmalämpöpumppu on säädetty sisätilan lämmölle +14 °C, mutta ulkolämpötilan vaihtelua on vaikea tietää etukäteen.

Kulutuksen tarkkailun avulla oppii vähitellen kaikille laitteille oikean käyttötavan ja oppii ymmärtämään, mikä oikeasti vaikuttaa sähkön kulutukseen. Esimerkiksi kesämökillä kului ennen kaukoluettavia mittauksia sähköä noin 10 % enemmän kuin tänään. Säästö on tarkkailun ja kokeilun ansiota. Tässä tärkeimpinä asioina ovat kaikki lämmityslaitteet ja ilmastointi.

Päiväkohtaisten tietojen seuranta

Kaukoluettavien tuntimittarien ansiosta, nyt voi seurata myös päiväkohtaista kulutusta (Kuva 7.3.5). Kuvasta havaitaan, että sähköä kului tasaisesti 50 kWh päivittäin joulukuun alussa, kun mökkiä lämmitti ilmalämpöpumppu, joka piti lämpötilaa + 14 °C:ssa. Sähkön käyttö kasvoi yli 100 kWh:n joulukuussa, kun lämpötila nostettiin + 22 °C:een ja laski 20 kWh:iin, kun ilmalämpöpumppu otettiin pois käytöstä ja lämpötila laskettiin arvoon + 8 °C.



Kuva 7.3.5 Päivittäisten kulutustietojen seuranta netin kautta.

Sähkölämmitystalon lämmönkulutus

Myös sähkölämmitystalon lämmönkulutuksen voi mitata helposti. Eräs tapa on mitata kulutus pakkasyönä esimerkiksi kello 23 ja 7 välillä, kun kaikki valot, kodinkoneet ja vedenlämmittimet on kytketty pois käytöstä.

Jos sähköä kuluu kahdeksan tunnin aikana 32 kWh, on kulutettu teho 32 kWh/8h eli 4 kW. Jos sisälämpömittari on keskimäärin +20 °C:ssa ja ulkolämpötila -10 °C, tulee lämpötilaeroksi 30 °C. Tällöin saadaan ominaiskulutukseksi 4000 W/30 °C eli 133 W/°C.

7 Energiansäästö



Kuva 7.3.6 Kesämökki kuluttaa sähköä talvella, jos peruslämpö on päällä. Kulutusta voi huomattavasti vähentää, jos lämmön pitää alle 8 °C:ssa.

Jos lämmitysjärjestelmä mitoitetaan -27 °C ulkoilman lämpötilalle, silloin lämpötilaero on 44 °C (+17+27 °C). Tehontarve on puolestaan 44 °C x 133 W/°C eli 5852 W. Jos talon tilavuus on 300 Rm³, tulee huippukulutukseksi 20 W/m³. Jos paikkakunnan astepäiväluku on 3986 Kd (Helsinki), kuluu talossa lämmitykseen vuodessa 3986 Kd x 24 h x 133 W/°C eli 12.720 kWh sähköä. Vastaavasti Jyväskylän korkeudella (4945 Kd) sähköä kuluisi lämmitykseen 15 780 kWh.

Samalla tavalla on mahdollista tutkia myös ilmalämpöpumpun vaikutusta sähkön kulutukseen. Mitataan sähkönkulutuksen erotus, kun lämpöpumppu on poissa päältä ja päällä. Havaittu kulutuksen erotus näiden kahden mittauksen välillä voidaan tulkita ilmalämpöpumpun ansioksi.

Yksittäisten laitteiden sähkönkulutus

Kuluttajavirastosta voi lainata kilowattituntimittareita, joiden avulla voi tutkia jokaisen kodinkoneen sähkönkulutusarvot erikseen. Jos havaitsee jonkun kojeen (esim. jääkaapin) olevan varsinainen energiasyöppö, sen voi vaihtaa uuteen energiapiihiin tuotteeseen.

Kannattaa keskittyä niihin laitteisiin, jotka vievät eniten sähköä: jääkaappipakastin, pesukone, televisio, tietokone ja sähköhella. Jos kulutus on erityisen suurta, kannattaa laite vaihtaa uuteen pelkästään sähkön säästön takia.

7.4 HENKILÖAUTOILU

7.4.1 Auton valinta

Työsuhdeauto

Henkilön matkustustarve on tietysti kovin yksilöllinen asia. Oleellinen ero auton käytössä syntyy siitä, onko ihmisillä työsuhdeauto vai omistusauto. Työsuhdeautoilija ajaa helposti 50 % enemmän kilometrejä vuodessa kuin oman auton omistava henkilö. Henkilöauton käyttö kasvaa yleensä heti, kun saa työsuhdeauton ja vähenee yhtä nopeasti, kun siitä luopuu.

Kannattaa laskea, tarvitseeko työsuhdeautoa todella. Monesti autoilun kustannukset vähennetään suoraan nettopalkasta ja keskipalkkoisen auton autoetu on 500–800 euroa kuukaudessa. Sillä rahalla monesti kannattaa jo ostaa oma auto. Oman auton voi aina viedä mukanaan, jos vaihtaa työpaikkaa.

Oma auto

Kun auto on oma ja bensat joutuu maksamaan itse omasta pussista, oppii säästämään. Bensakuluissa pystyy säästämään helposti 50 %. Autolla ajetaan vaan silloin, kun sitä oikeasti tarvitaan ja käytetään busseja työmatkoihin.

Siirtyminen kahdeksan litraa satasella kuluttavasta autosta viisi litraa kuluttavaan säästää melkein 40 % polttoainetta. Ajokilometrimäärän pudottaminen 25 000 kilometristä 20 000 kilometriin säästää 20 % kustannuksista. Näin voidaan saavuttaa jopa 50 %:n säästö (Taulu 7.4.1).

Taulu 7.4.1 Auton polttoaineen kulutus.

	Ajomatka km/a	Kulutus l/100km	Kulutus l
Ennen	25000	8,0	2000
Nyt	20000	5,0	1000
Säästö	20 %	38 %	50 %

Tällä hetkellä myynnissä on useita alle 5 l/100 km kuluttavia automalleja. Ne ovat tietysti selvästi pienempiä ja kevyempiä kuin perinteiset perheautot (Taulut 6.2.3 tai 6.2.4). Myös alle 5 litraa kuluttavia keskipalkkoisia autoja on jo kauppoissa.

7.4.2 Oikea ajotapa

Kiihdytys

Järkevä ajotapa säästää 10–20 % bensalaskusta. Tärkein tekijä autolla ajattaessa on kiihdytys. Jos auto kiihtyy hyvin, silloin tekee mieli ajaa hitaampien ohi. Jos taas auto ei kiihdy, kaasujalkaa tulee käytettyä rauhallisemmin.

Jos konepellin alla on lisää hevosvoimia, bensaa alkaa palaa lisää kuin itsestään. Tärkein harkittava asia autoa hankittaessa on hevosvoimien määrä. Kun valitset auton, valitset samalla myös ajotavan.

Toisaalta isotehoinen auto käy suurimman osan ajasta vajeateholla, jolloin sen kulutus on huomattavasti suurempaa kuin pienitehoisen auton, joka käy koko ajan lähempänä pienimmän kulutuksen tehoa.

Isotehoinen auto on yleensä myös raskaampi ja vaatii sen vuoksi enemmän energiaa liikkumiseen. Toisaalta painavampi dieselauto voi kuluttaa vähemmän kuin kevyempi bensiiniauto.

Ajonopeus

Kulutukseen vaikuttaa maantieajossa eniten nopeus, koska ilmanvastus kasvaa nopeuden kolmannessa potenssissa ja ominaiskulutus toisessa potenssissa. Nopeuden nostaminen arvosta 100 km/tunti arvoon 120 km/tunti kasvattaa polttoaineen kulutusta 44 %.

Seitsemän litraa kuluttava auto muuttuu 10 litraa kuluttavaksi, jos nopeuden nostaa arvosta 100 km/h arvoon 120 km/h. Vastaavasti nopeuden pienentäminen 100 km/h arvoon 80 km/h laskee kulutusta 36 %. Tällöin seitsemän litraa kuluttava auto muuttuu viisi litraa kuluttavaksi autoksi.

Myös ajonopeuden pitäminen vakiona vaikuttaa melkoisesti kulutukseen. Siinä auttaa vakionopeudensäädin, jos autossa on sellainen. Uusissa hybridautoissa voi olla myös ns. vapaakytkin, jolloin moottori sammuu alamäessä.

Jarrutus

Yksi kulutukseen vaikuttava tekijä on myös oikea jarrutus. Jos jarrutat alamäessä ja vauhtia hidastaessasi pelkästään moottorilla (kytkin ylhäällä), koko sen matkan polttoainekulutus putoaa nolnaan. Siinä ei myöskään jarrupalat kulu. Jos painat jarruttaessasi kytkimen pohjaan, polttoainetta kuluu koko ajan saman verran kuin tyhjäkäynnillä.

7 Energiansäästö

Tyhjäkäynti

Vältä myös tyhjäkäyntiä, kun joudut pysähtymään. Sammuta moottori, jos pysähtyminen kestää minuuttia kauemmin. Polttoainetta kuluu aina, kun auton moottori on käynnissä. Hybridi-auton polttoainekulutuksen vähäisyys selittyy myös sillä, että sen moottori pysähtyy aina liikennevaloissa. Myös monessa uudessa autossa moottori pysähtyy automaattisesti, jos pysähdys jatkuu pidempään.

7.4.3 Kulutuksen seuranta

Uusille autoille ilmoitetaan aina kulutus maantieajossa, kaupunkiajossa ja niiden yhdistelmä. Yhdistelmäarvo antaa autoilijalle tavoitearvon. Sitä on helppo seurata koko ajan, jos autossa on nk. ajotietokone, joka ilmoittaa koko ajan sekä hetkellisen että nollauksesta asti tapahtuneen ominaiskulutuksen (esim. 5,5 l/100 km).

Ajotietokoneen voi nollata kerran kuukaudessa, jolloin siitä näkee keskimääräisen kulutuksen kuukauden aikana. Kuukausittain ajetut kilometrit ja polttoainekulutukset voi kirjata myös ylös. Niistä voi laskea kuukauden keskikulutuksen. Jos keskikulutuksesi on sama kuin autollesi ilmoitettu normiarvo, ajotapasi on oikea ja moottori on kunnossa.

Taulussa 7.4.2 olen laskenut oman autoni kustannukset vuodelta 2012. Sen mukaan kulut olivat noin 10.260 euroa. Kun ajoin noin 20.800 km, tuli autoilun keskihinnaksi 49 c/km. Tässä on huomattava, että henkilöauton arvon aleneminen (20 %/a) on samaa luokkaa kuin käyttökustannukset.

Taulu 7.4.2 Henkilöauton vuosikustannukset.

Kk	Lukema 103369	Matka km	Polttoaine l	Kulutus l/100	Polttoa. €	Vakuutus €	Verot €	Huolto €	Katsast. €	Renkaat €	Yhteensä €
1	104398	1 029	80	7,7	127						127
2	105592	1 194	92	7,7	148		123				271
3	106981	1 389	99	7,1	158	246					404
4	108637	1 656	125	7,5	200				40		240
5	109957	1 320	99	7,5	159		148				306
6	111830	1 873	129	6,9	207						207
7	115615	3 785	208	5,5	332	240					572
8	116908	1 293	94	7,2	150		144				294
9	118598	1 690	120	7,1	192	260		616			1 068
10	121290	2 692	191	7,1	306						306
11	123107	1 817	128	7,1	205		144				350
12	124148	1 041	85	8,1	136	228					363
Käyttökulut		20 779	1 449	7,0	2 319	974	560	616	40	-	4 509
Pääomakulut											
	Arvon lasku	Auton arvo alussa		25 000	eur		Lasku	20 %			5 000
	Korot						Korko	3 %			750
Kokonaiskulut											10 259

0,49 €/km

7.5 MATKAILU

7.5.1 Junamatkat

Juna kuluttaa keskimäärin matkustajakilometriä kohti laskettuna noin 0,12 kWh energiaa, joka on suureksi osaksi sähköenergiaa. Junamatkailu kuluttaa energiaa huomattavasti vähemmän kuin lentoliikenne, joten sitä kannattaa suosia aina, kun se on mahdollista. Suomessa VR ostaa sähkön päästöttömistä lähteistä, joten junamatkailu on Suomessa selvästi ekotehokkain matkustustapa.

7.5.2 Bussimatkailu

Bussi vastaa energian kulutukseltaan suunnilleen samaa kuin henkilöauto, jossa on kaksi matkustajaa tai moderni hybridauto, jonka kulutus on 4 l/100 km. Päästöt ovat noin 100 g/hkm.

7.5.3 Lentomatkailu

Jokainen lentomatka vastaa suunnilleen yhtä suurta energiankulutusta kilometriä kohti laskettuna kuin henkilöautomatka pienellä ekoautolla (3–5 l/100 km). Lentomatkailun aiheuttamat CO₂-päästöt ovat 76–126 gCO₂/km.

Koska lentokoneilla tehdään yleensä pikiä matkoja, tulee jo yhden lomalennon energiankulutus suureksi. Esimerkiksi yksi kaukomatka Bangkokiin voi kuluttaa 500–600 litraa eli yhtä paljon kuin henkilöauto, jolla ajetaan noin 10.000 km vuodessa.

7.5.4 Henkilöautomatkailu

Henkilöautomatkailu kuluttaa polttoainetta henkeä kohti suunnilleen yhtä paljon kuin bussi, jos kyydissä on vähintään kaksi matkustajaa (4 l/100 km). Erot eri automallien välillä ovat suuria. Tulevaisuudessa lähes nollapäästöön voi päästä sähkö- tai kaasuautoilla, jos ostaa sähkön hiilivapaasta tuotannosta.

Esimerkiksi kolmihenkinen perhe voi näin hyvinkin matkailla omalla autolla pienin ympäristövaikutuksin. Polttoainetta kuluu tällöin noin 2–3 l/100 h-km. Samalla voi nähdä maailmaa huomattavasti enemmän kuin aurinkorannalla loikoillessa.

Jos käy omalla autolla vaikka Pariisin kautta Espanjan Aurinkorannikolla, matkan pituus on noin 7000 km. Polttoainetta kuluu matkaan noin 400–500 litraa. Jos kyydissä on kolme henkeä, niin kulutus on noin 150 litraa henkeä kohti. Autolla matkatessa CO₂-päästöt ovat noin 1000 kg eli 330 kg henkeä kohti. Lentokoneella matkustettaessa CO₂-päästö on noin 500 kg/henkilö.

7.6 ENERGIAA RAVINNOSTA

Ihmisen tarvitsemaa energiaa on tapana mitata kilokaloreina. Uusi kilokalori tarkoittaa energiamäärää, joka tarvitaan, että yhden kilogramman suuruinen vesimäärä lämpenee yhden Celsius-asteen. 80 kg painava aikuinen mies tarvitsee päivässä energiaa noin 2500 kcal (Taulu 7.6.1), joka vastaa 3 kWh lämpömäärää (860 kcal= 1 kWh). Jos talossa asuu neljä henkeä, kulutus voi olla 10 kWh päivässä eli 3600 kWh vuodessa. Se vastaa suunnilleen samaa kuin perheen sähkön käyttö.

Taulu 7.6.1 Aikuisen miehen energiankulutus päivässä (WHO).

Miehen Paino (kg)	Miehen ikä (vuotta)						
	20	30	40	50	60	70	80
	kcal	kcal	kcal	kcal	kcal	kcal	kcal
60	2 083	2 083	2 052	2 052	2 052	1 690	1 690
65	2 181	2 181	2 128	2 128	2 128	1 766	1 766
70	2 280	2 280	2 204	2 204	2 204	1 843	1 843
75	2 378	2 378	2 280	2 280	2 280	1 920	1 920
80	2 476	2 476	2 356	2 356	2 356	1 997	1 997
85	2 575	2 575	2 432	2 432	2 432	2 074	2 074
90	2 673	2 673	2 508	2 508	2 508	2 150	2 150
95	2 772	2 772	2 584	2 584	2 584	2 227	2 227
100	2 870	2 870	2 660	2 660	2 660	2 304	2 304
105	2 968	2 968	2 736	2 736	2 736	2 381	2 381

Taulu 7.6.2. Aikuisen naisen energiatarve päivässä (WHO).

Naisen Paino (kg)	Naisen ikä (vuotta)						
	20	30	40	50	60	70	80
	kcal	kcal	kcal	kcal	kcal	kcal	kcal
50	1 608	1 608	1 644	1 644	1 644	1 447	1 447
55	1 705	1 705	1 698	1 698	1 698	1 506	1 506
60	1 802	1 802	1 752	1 752	1 752	1 565	1 565
65	1 900	1 900	1 806	1 806	1 806	1 623	1 623
70	1 997	1 997	1 860	1 860	1 860	1 682	1 682
75	2 094	2 094	1 914	1 914	1 914	1 741	1 741
80	2 191	2 191	1 968	1 968	1 968	1 800	1 800
85	2 288	2 288	2 022	2 022	2 022	1 859	1 859
90	2 386	2 386	2 076	2 076	2 076	1 917	1 917
95	2 483	2 483	2 130	2 130	2 130	1 976	1 976

7 Energiansäästö

Itsensä voi pitää ihannekunnossa, jos syö korkeintaan suositusten mukaisen määrän energiaa päivässä. Silloin painoindeksin arvon tulisi olla alle 25, joka on lievän ylipainon raja. Tällöin 1,8 m pitkä mies saisi painaa korkeintaan $25 \text{ kg/m}^2 \times 1,8 \text{ m} \times 1,8 \text{ m}$ eli 81 kg. Liikalihavuuden raja (30) saavutetaan, jos painoa on yli $30 \times 1,8 \times 1,8$ eli 97 kg.

Naisten energiantarve on pienempi kuin miehen (Taulu 7.6.2). Noin 30-vuotias ja 60 kg painava nainen tarvitsee noin 1800 kilokaloria päivässä. Jos pituutta on 170 cm, lievän ylipainon raja on $25 \times 1,7 \times 1,7$ eli 72 kg. Liikalihavuuden raja on vastaavasti $30 \times 1,7 \times 1,7$ eli 87 kg.

Eri ruokalajien kalorimäärä vaihtelee suuresti (Taulu 7.6.3). Päivittäisen kalorintarpeensa voi tyydyttää syömällä 240 grammaa kasvisöljyä, 1 kg ruisleipää tai lihaa, 3,5 kg perunoita tai 11 kg tomaatteja.

Taulu 7.6.3 Ruoka-aineiden energiasisältö.

Ruoka-aine	Energiasisältö kcal/100g	Määrä g/päivä	Määrä kg/vuosi
Kasviöljy	900	244	89
Sokeri	406	540	197
Juusto	350	626	229
Kala (lohi)	220	996	364
Ruisleipä	205	1 069	390
Sianliha	204	1 074	392
Naudanliha	200	1 096	400
Broileri	170	1 289	471
Kananmuna	143	1 533	559
Riisi	120	1 826	667
Peruna (keitetty)	63	3 479	1 270
Kuiva papu (vihreä)	29	7 558	2 759
Tomaatti (kasvihuone)	20	10 959	4 000

Ruislevästä saisi myös melkein kaikki ravintoaineet. Jos ruislevän sijasta syö munkkeja tai viinereitä, niin niitä tarvitaan vain noin viisi kappaletta (500 kcal/kpl), mutta hyödyllisiä ravintoaineita niistä ei juuri saa.

Energian kulutukseen voi myös vaikuttaa liikkumalla. Yhden hillomunkin tai viinerin (500 kcal) energiamäärän saa kulumaan esimerkiksi, jos hiihtää tunnissa noin 8 kilometriä. Paljon helpompaa on jättää hillomunkki ostamatta.

7.7 YHTEENVETO

On monia tapoja säästä energiaa ja ympäristöä. Edellä niistä on käsitelty kahta tärkeintä eli asumista ja liikennettä. Asumisessa merkittävin tekijä on perheasunnon ja vapaa-ajan asuntojen koko ja liikenteessä auton tyyppi.

Taulussa 7.7.1 on esitetty energialasku, kun perhe on ostanut ladattavan hybridi-auton, jolla ajetaan 10.000 km sähköllä ja 10.000 km dieselillä. Energialasku on 1100 euroa (20 %) pienempi kuin alkutilanteessa (Taulu 7.1.1). Samalla on pystytty kuitenkin puolittamaan perheen CO₂-päästöt, joita käsitellään tarkemmin kohdassa 8.4.

Taulu 7.7.1 Perheen energialasku ladattavan hybridi-auton hankinnan jälkeen.

Kulutuskohde	Kulutus	Ominaiskulutus	Vuosikulutus		Hinta	Kustannus €/vuosi
ASUMINEN						
Kaukolämpö						
Asunto	83 m ²	162 kWh/m ²	13 446	kWh	6,9 c/kWh	928
Sähkö						
Taloyhtiö	83 m ²	15 kWh/m ²	1 245	kWh	17,0 c/kWh	212
Asunto	83 m ²	43 kWh/m ²	3 580	kWh	14,1 c/kWh	506
Kesämökki	100 m ²	115 kWh/m ²	11 500	kWh	14,4 c/kWh	1 656
Koivuklapit	2 pm ³	1700 kWh/pm ³	3 400	kWh	60,0 €/pm ³	120
Asuminen yht.	183 m²		33 171	kWh		3 422
LIIKENNE						
Polttoaineet						
Auto	10000 km	5 l/100 km	500	l	1,6 €/l	800
Linja-auto	500 km	4 l/100 km	20	l	1,6 €/l	32
Laiva	175 km	4 l/100 km	7	l	0,6 €/l	4
Lentokone	km	5 l/100 km	-	l	0,8 €/l	-
			527	l		836
			=	5 270	kWh	
Sähkö						
Auto	10000 km	0,25 kWh/km	25,0	kWh	14 c/kWh	350
Metro	100 km	0,15 kWh/km	0,2	kWh	14 c/kWh	2
Raitiovaunu	10 km	0,20 kWh/km	0,0	kWh	14 c/kWh	0
Juna	500 km	0,12 kWh/km	0,6	kWh	14 c/kWh	8
Liikenne yht.	21285 km		5 296	kWh		1 197
ASUMINEN JA LIIKENNE			38 467	kWh		4 619

8 YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

8.1 HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖT

Muun muassa hiilidioksidi ja metaani ovat kasvihuonekaasuja. Hiilidioksidia syntyy hiiltä poltettaessa ($C + O_2 = CO_2$) ja metaania esimerkiksi biojätteiden mädäntyessä kaatopaikoilla. Erilaisten kasvihuonekaasujen ilmastovaikutukset on kerrottu liitteessä 11.

Suomen päästöt

Suomen polttoaineperäiset CO₂-päästöt olivat vuonna 2010 noin 56 Mt eli 10,4 tonnia asukasta kohti (Taulu 8.1.1). Päästöt olivat vuodesta 1990 lähtien pysyneet samalla tasolla, mutta vuonna 2010 ne olivat 18 % korkeammat kuin vuonna 1990. Vaihtelua aiheuttaa eniten kivihiilen käyttö huonoina vesivuosina sähkön tuotannossa.

Taulu 8.1.1 Polttoaineperäiset hiilidioksidipäästöt Suomessa /1/

Vuosi	1990	2000	2010	Osuus
	Mt	Mt	Mt	%
Öljytuotteet				
Raskas polttoöljy	5,6	3,8	2,9	5 %
Kevyt polttoöljy	7,8	7,2	6,0	11 %
Liikenne polttoaineet	11,6	11,7	12,7	23 %
Muut	2,8	2,9	3,1	6 %
Yhteensä	22,2	21,8	21,8	39 %
Osuus	47 %	44 %	39 %	
Muut				
Maakaasu	5,0	7,8	8,1	14 %
Kivihilli	12,0	9,2	13,4	24 %
Muu hiili	2,5	3,7	2,8	5 %
Turve	5,6	6,5	9,9	18 %
Yhteensä	25,1	27,2	34,2	61 %
Yhteensä	47,3	49	56	100 %
Indeksi	100,0	103,6	118,4	

8 Ympäristövaikutukset

Päästöistä 39 % syntyi öljyn polttamisesta ja 29 % kivihiilen ja masuunikaasujen poltosta. Turpeen polttaminen aiheuttaa 18 % hiilidioksidipäästöistä. Kivihiilen ja turpeen päästöt aiheuttivat yhdessä melkein puolet päästöistä. Jos päästöjä aiotaan pudottaa 30 %, kivihiilen ja turpeen käyttöä tulisi vähentää merkittävästi tulevaisuudessa.

Yleensä turve- ja hiilikattilat ovat vanhoja eikä uusia enää rakenneta. Runsas kivihiilen käyttö on seurausta ennen muuta Olkiluoto 3 ydinvoimalan myöhästymisestä. Olkiluoto 3 pystyy tuottamaan noin 12 TWh sähköä, jonka ansiosta CO₂-päästöjä voitaisiin vähentää noin 10 miljoonaa tonnia.

Öljytuotteiden päästöt ovat pysyneet lähes (22 Mt) samana kuin vuonna 1990. Kevyen ja raskaan polttoöljyn osuudet ovat samassa ajassa laskeneet arvoihin 11 % ja 5 %. Vieläkin moni talo lämpiää öljyllä, vaikka kaikki talot kannattaisi muuttaa maalämmön tai kaukolämmön käyttöön.

Liikennepolttoaineiden päästöt ovat sen sijaan olleet kasvussa. Niiden päästöt ovat 23 % kokonaispäästöistä. Myös liikenteessä aletaan saada vähennyksiä, kun sähkö ja biopolttoaineet yleistyvät. Neste myy jo biodieseliä, jonka CO₂-sisältö on vain puolet raakaöljystä valmistetusta dieselistä. ST-1 asemat myyvät puolestaan jätteestä tehtyä etanolin ja bensiinin seosta E85, jonka CO₂-vaikutus on 85 % pienempi kuin bensiinillä. Nyt myös Gasum myy biokaasua, jonka pitäisi myös olla hiilineutraali tuote.

Maailman päästöt

Maailman CO₂-päästöt polttoaineiden käytöstä vuonna 2011 olivat 34,0 Gigatonnia (Gt) (Taulu 8.1.2). Päästöt ovat kasvaneet vuodesta 1990 lähtien 51 % eli noin 2 % vuodessa. Kun maailman väkiluku oli vuonna 2011 noin 7 miljardia ihmistä, CO₂-päästöt asukasta kohti olivat 4,9 tonnia.

Taulu 8.1.2 Maailman polttoaineperäisten CO₂-päästöjen kehitys /2/.

Lähde	1990 Mt	2000 Mt	2010 Mt	2011 Mt	Osuus %
Öljy	9 776	11 057	12 481	12 565	37 %
Maakaasu	4 069	5 002	6 541	6 685	20 %
Kivihiihi	8 741	9 328	13 889	14 645	43 %
Yhteensä	22 586	25 466	33 040	34 033	100 %
Indeksi	100,0	112,8	146,3	150,7	

Eniten päästöjä (43 %) aiheutuu tänään kivihiilen polttamisesta. Kivihiilen päästöt ovat kasvaneet vuodesta 1990 lähtien 64 %. Kivihiihi on ollut tärkein energialähde mm. Kiinan ja USA:n sähköntuotannossa. Kiina on lisännyt hiilivoimalaitosten rakentamista koko ajan.

8 Ympäristövaikutukset

Kiina oli kivihiilen polton takia suurin hiilidioksidin päästöjen aiheuttaja maailmassa vuonna 2011. Sen osuus maailma polttoaineperäisistä CO₂-päästöistä on 26 % (Taulu 8.1.3). USA on toiseksi suurin päästöjen aiheuttaja 18 %:n osuudella. EU:n osuus päästöistä on 12 %.

Taulu 8.1.3 CO₂-päästöt maanosittain /2/.

Vuosi	1990 Mt	2000 Mt	2010 Mt	2011 Mt	Osuus %
Amerikka					
USA	5 445	6 377	6 128	6 017	18 %
Kadana ja Meksikko	784	972	1 063	1 085	3 %
Etelä-Amerikka	712	980	1 292	1 332	4 %
Yhteensä	6 941	8 329	8 483	8 433	25 %
Osuus	31 %	33 %	26 %	25 %	
Eurooppa ja Euraasia					
EU	4 492	4 331	4 178	4 061	12 %
Venäjä	2 350	1 543	1 629	1 675	5 %
Muut	1 821	1 136	1 256	1 325	4 %
Yhteensä	8 663	7 010	7 063	7 061	21 %
Osuus	38 %	28 %	21 %	21 %	
Aasia ja Tyynen meren valtiot					
Kiina	2 387	3 551	8 210	8 979	26 %
Intia	581	953	1 683	1 798	5 %
Japani	1 164	1 329	1 304	1 307	4 %
Muu Aasia	1 429	2 309	3 241	3 315	10 %
Yhteensä	5 561	8 142	14 438	15 400	45 %
Osuus	25 %	32 %	44 %	45 %	
Afrikka ja Lähi-itä					
Lähi-itä	751	1 171	1 949	2 025	6 %
Afrikka	670	814	1 107	1 113	3 %
Yhteensä	1 421	1 985	3 056	3 138	9 %
Osuus	6 %	8 %	9 %	9 %	
Maailma yhteensä	22 586	25 466	33 040	34 033	100 %
Indeksi	100,0	112,8	146,3	150,7	

8 Ympäristövaikutukset

EU:n kasvihuonekaasujen päästöt ovat pienentyneet vuodesta 1990 lähtien 12 %. EU:n tavoitteena on leikata kasvihuonekaasupäästöjä 20 % vuoteen 2020 mennessä. Vuodesta 1990 lähtien Kiinan päästöt ovat kasvaneet puolestaan 276 % ja ovat jo yli kaksi kertaa EU:n päästöjen kokoiset. Näin päästöjen leikkaus EU:ssa on kumoutunut Kiinan päästöjen kasvun takia.

Myös öljyn käyttö on kasvanut koko ajan, kun autoistuminen jatkuu myös kehitysmaissa. Öljyn tuotannolle ei näy vielä kukaan loppua, mutta öljyn hinnan noustessa öljystä siirrytään muihin polttoaineisiin myös liikenteessä. Biopolttoaineiden osuus autojen polttoaineena kasvaa koko ajan ja myös ladattavia sähköautoja tulee markkinoille.

Maakaasun käyttö on kasvanut 69 % vuoden 1990 jälkeen eli vielä nopeammin kuin hiilen käyttö. Maakaasu aiheuttaa 20 % energiantuotannon CO₂-päästöistä. Maakaasusta on tullut kivihiilen jälkeen tärkein voimalaitospolttoaine. Kaasu on tulossa myös laivojen ja autojen polttoaineeksi ympäristösyistä.

Kun kaasun hinta on noussut Euroopassa voimakkaasti vuoden 2000 jälkeen, hiili on mennyt voimalaitosten ajojärjestyksessä maakaasun edelle. Nyt tarvitaan CO₂-päästöille vero, joka tekisi maakaasusta edullisempaa ja muuttaisi ajojärjestyksen siten, että kaasuvoimalat ajaisivat pohjakuormaa. Tällöin päästöissä saavutettaisiin merkittäviä säästöjä. On kuitenkin vaikea saada Kiinaa mukaan tähän päätökseen, koska sen energiankäyttö perustuu kivihiiileen.

USA:n päästöt ovat alentuneet vuoden 2000 jälkeen, kun siellä on löydetty liuskekaasua, jonka hinta on jopa kivihiihtäkin halvempi mm. Teksasin osavaltiossa. Lisäksi USA:ssa on monessa osavaltiossa (mm. New York) käytössä kivihiihivoimalaitosten rakentamisen käytännössä kieltävät päästömääräykset. Näin sähkön-tuotannossa on siirrytty kivihiilestä maakaasun käyttöön.

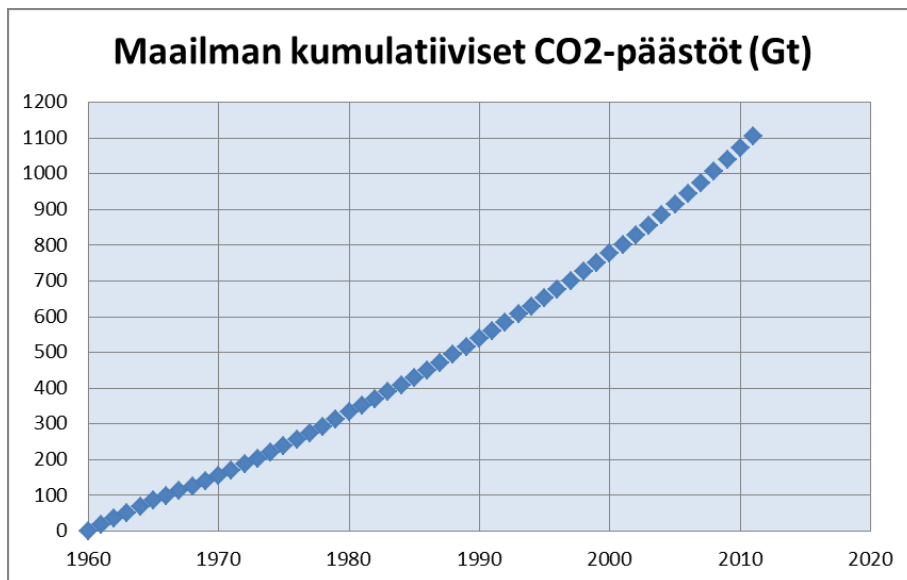
Energiantuotannon päästöistä nopeimmin ovat vuoden 2000 jälkeen kasvaneet kivihiilen polton aiheuttamat CO₂-päästöt. Tämä aiheutuu ennen muuta Kiinan kasvavasta sähköntuotannosta, joka perustuu melkein kokonaan kivihiiilen käyttöön. Myös öljyn ja maakaasun aiheuttamat päästöt ovat kasvaneet koko ajan.

Suurimmat säästöt on aikaansaataavissa siirtymällä kivihiilestä ydinvoiman ja uusiutuvien energialähteiden käyttöön. Suomessa jo noin puolet energianlähteistä perustuu ydinvoimaan tai uusiutuviin energialähteisiin.

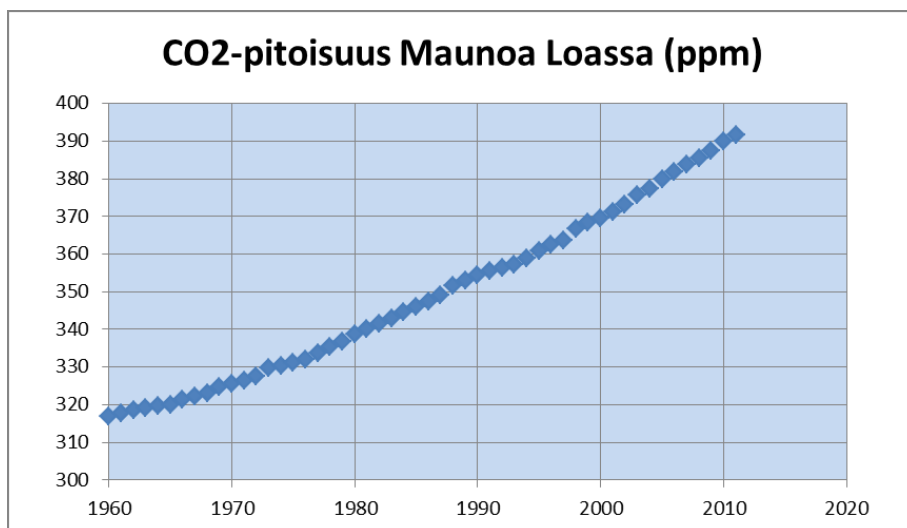
Kumulatiiviset CO₂-päästöt ja CO₂-pitoisuus

Maailman kumulatiiviset polttoaineperäiset CO₂-päästöt vuodesta 1960 vuoteen 2011 mennessä ovat 1110 Gt. Kehitys on tapahtunut koko ajan nousevan trendin mukaisesti, koska päästöt kasvavat jatkuvasti (Kuva 8.1.1).

8 Ympäristövaikutukset



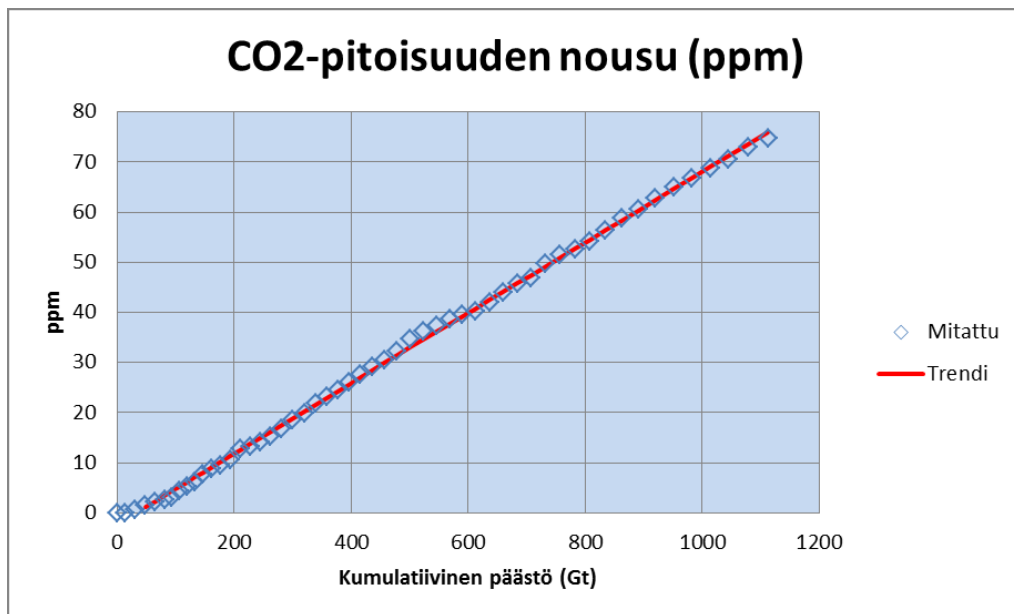
Kuva 8.1.1 Kumulatiiviset hiilioksidipäästöt vuoden 1960 jälkeen.



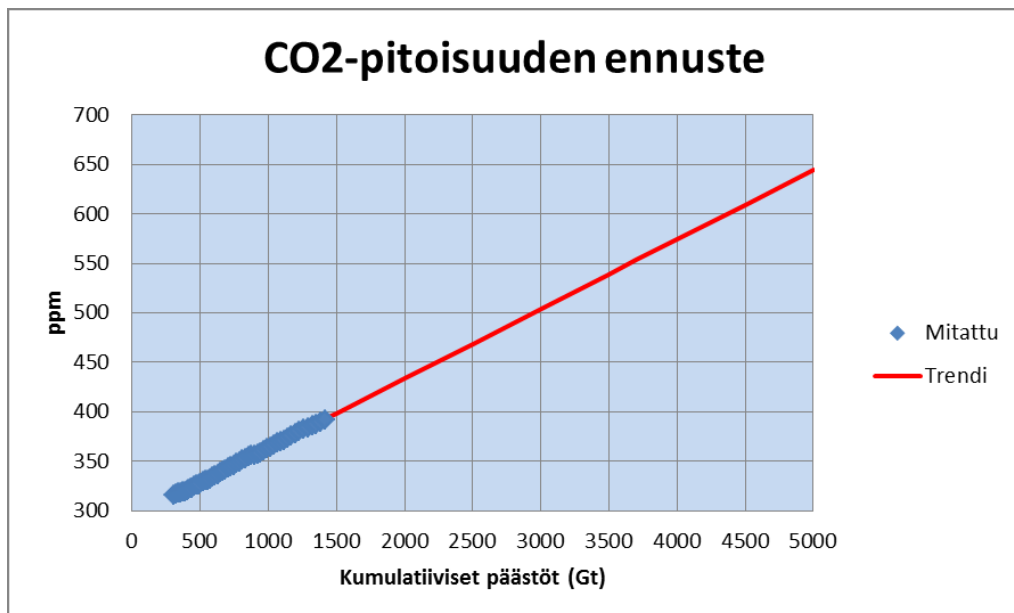
Kuva 8.1.2 Mitattu CO₂-pitoisuus Havaijilla.

Huomataan helposti, että CO₂-pitoisuuden (Kuva 8.1.2) ja kumulatiivisten CO₂-päästöjen (Kuva 8.1.1) nousukäyrät ovat hyvin samanmuotoisia. Kun CO₂-pitoisuuden nousu ja kumulatiiviset päästöt esitetään samassa kuvassa (Kuva 8.1.3), havaitaan, että 1110 Gigatonnin päästö on aiheuttanut 76 ppm:n pitoisuuden nousun.

8 Ympäristövaikutukset



Kuva 8.1.3 CO₂-päästöjen nousu ja kumulatiiviset CO₂-päästöt vuoden 1960 jälkeen.



Kuva 8.1.4 Ilmakehän CO₂-pitoisuuden ennuste.

8 Ympäristövaikutukset

CO₂-pitoisuuden ennustaminen

Tämän tiedon perusteella voidaan tehdä ennuste, miten ilmakehän CO₂-pitoisuus kehitty tulevaisuudessa (Kuva 8.1.4). Aiemmin kriittisenä pidetty arvo, 550 ppm, saavutetaan, kun päästöt vuoden 1960 jälkeen ovat 3420 Gt.

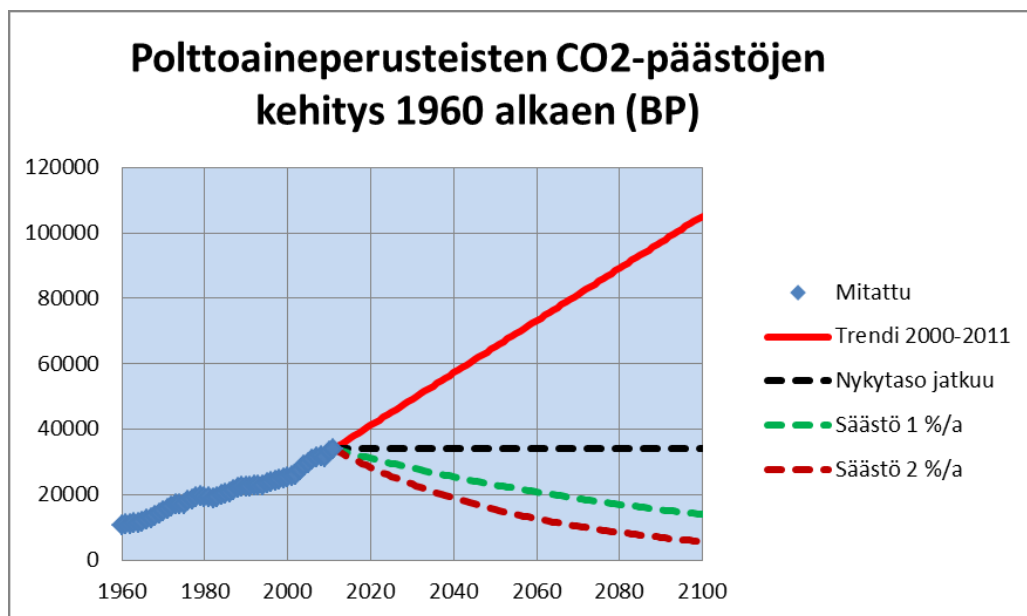
Tämä arvo saadaan kaavasta:

$550 \text{ ppm} - 316 \text{ ppm} = 76 \text{ ppm}/1110 \text{ Gt} \times \text{Emissio}$, josta saadaan

$\text{Emissio} = 1110 \text{ Gt} \times (550 \text{ ppm} - 316 \text{ ppm})/76 \text{ ppm} = 3420 \text{ Gt}$

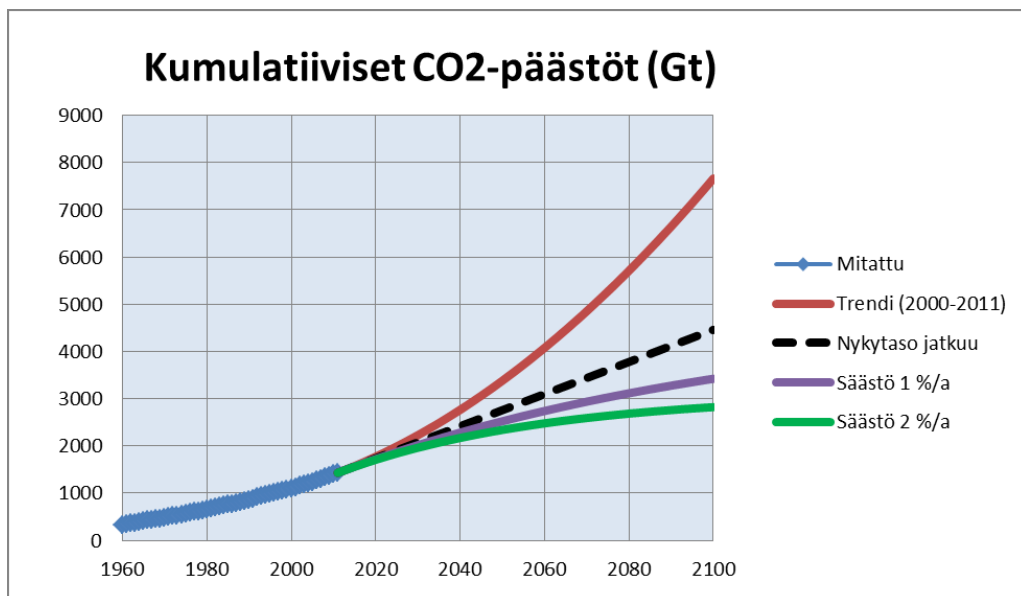
Kumulatiiviset CO₂-päästöt vuoteen 1960 mennessä ovat noin 310 Gt, joten kumulatiivisten päästöjen kriittinen arvo on 3420 Gt + 310 Gt eli 3730 Gt. Tähän mennessä päästöjä on kertynyt yhteensä 310 + 1110 Gt eli 1420 Gt. Olemme siis päästäneet yli kolmasosan sallituista CO₂-päästöistä (3730 Gt), jos tavoitteena on alittaa 550 ppm:n pitoisuus.

Päästöjen kehitysennusteen on esitetty Kuvassa 8.1.5. Nykytrendin (2000–2011) mukaiset vuosipäästöt kasvavat koko ajan, jolloin kumulatiiviset päästöt ylittäisivät 7000 Gt vuonna 2100 (Kuva 8.1.6). Ilmakehän CO₂-pitoisuus nousisi tämän seurauksena arvoon 820 ppm (Kuva 8.1.7).

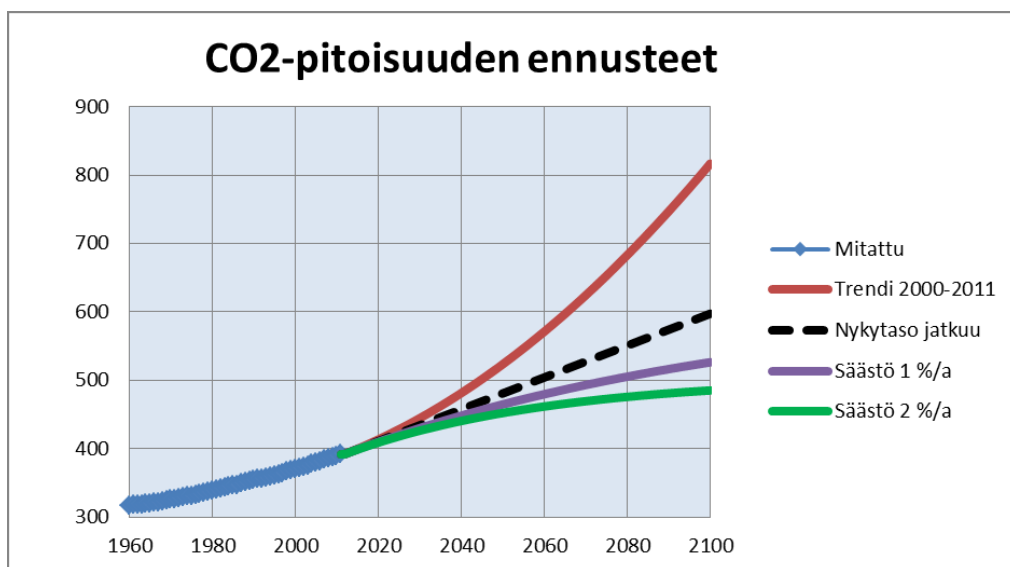


Kuva 8.1.5 Päästöjen kehitysennusteet.

8 Ympäristövaikutukset



Kuva 8.1.6 Maailman kumulatiivisten CO₂-päästöjen ennusteet (Gt).



Kuva 8.1.7 Ilmakehän CO₂-pitoisuuden ennusteet (ppm).

8 Ympäristövaikutukset

Jos päästöt pystytään pysäyttämään nykytasolle (34 Gt/a), kumulatiiviset päästöt ovat 4500 Gt vuonna 2100, jolloin CO₂-pitoisuus nousee yli 600 ppm. Jos päästöjä onnistutaan pienentämään 1%/a, päästään arvoon 3400 Gt vuonna 2100 ja CO₂-pitoisuus jää arvoon 530 ppm. Jos päästöjä onnistutaan leikkaamaan 2 % vuodessa, kumulatiiviset päästöt ovat alle 3000 Gt vuonna 2100 ja CO₂-pitoisuus jää arvoon 485 ppm.

Käytännössä päästöjä ei kuitenkaan pystytä leikkaamaan heti, vaan kasvu jatkuu ensin joka tapauksessa ja säästö voi alkaa ehkä vasta vuoden 2040 jälkeen. Tämä johtuu ennen muuta voimalaitosten pitkistä rakentamisajoista. Sen vuoksi 500 ppm arvo tullaan todennäköisesti ylittämään vuonna 2100.

Parasta olisi leikata päästöjä heti nykyhetkestä alkaen, jolloin tulevaisuudessa säästytäisiin rajuimmilta leikkauksilta. Päästöjen leikkaus tapahtuisi nopeasti, jos kaasuvoima siirrettäisiin voimalaitosten ajojärjestyksessä ennen kivihiihtä.

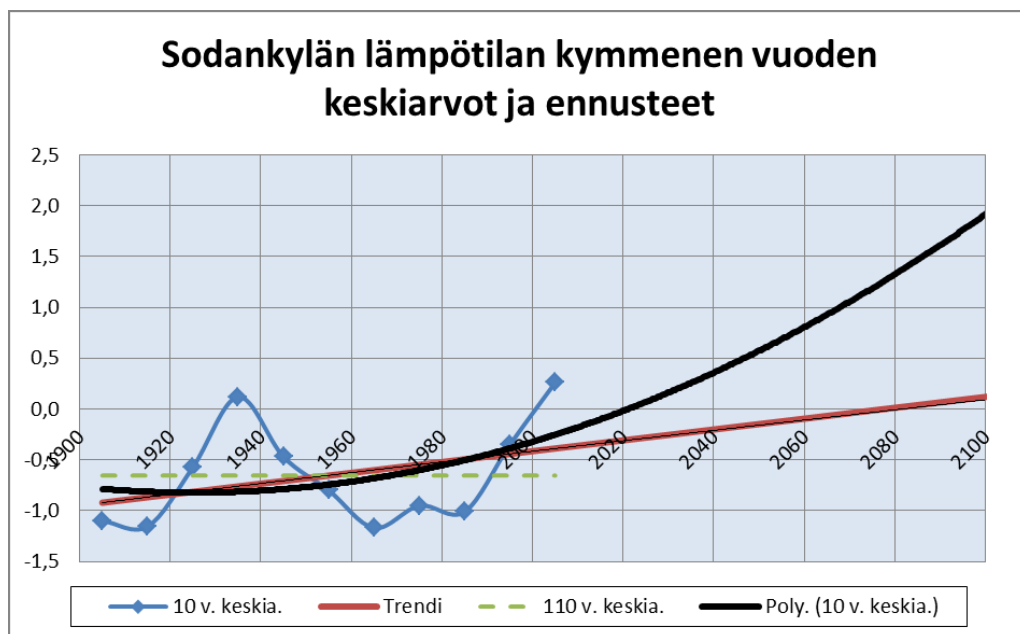
Se voitaisiin järjestää esimerkiksi CO₂-päästöjen verotuksella tai päästömääräyksillä. CO₂-päästöjen verotuksella voitaisiin nostaa kivihiihivoiman muuttuvia kustannuksia. Päästömääräyksien avulla kivihiihivoimalaitosten käyttö voitaisiin rajoittaa korkeintaan 4000 tuntiin vuodessa ja uusille voimalaitoksilta vaadittaisiin USA:ssa käytössä oleva päästöraja 450 gCO₂/kWh.

8.2 ILMASTONMUUTOS

8.2.1 Tapahtunut lämpötilan nousu Suomessa

Kemian Nobelin palkinnon saanut ruotsalainen tiedemies Svante Arrhenius julkaisi vuonna 1896 artikkelin, jossa hän osoitti, että CO₂-pitoisuus ilmakehässä aiheuttaa maapallon lämpötilan nousun ns. kasvihuoneilmiön ansiosta. Hän havaitsi, että CO₂-pitoisuuden nousu estää infrapunasäteilyn heijastumisen avaruuteen. Hänen mukaansa hiilidioksidipitoisuuden kaksinkertaistuminen nostaa maapallon lämpötilaa 5–6 °C.

Sodankylän mittaukset kuvaavat ehkä parhaiten keskimääräistä kehitystä pohjoisella leveysasteilla, koska mittauspaikka on kaukana merestä ja kaupungeista. Lämpötilan nousu Sodankylässä (Kuva 8.2.1) alkoi kiihtyä 1900-luvun alussa, josta lämpötila on noussut noin 0,6 °C edellisen vuosisadan aikana lineaarisen trendin mukaan laskettuna. Vuoden 1990 jälkeen kasvu on uudelleen kiihtynyt. Kymmenen ja kahdenkymmenen vuoden keskiarvot Sodankylässä vuonna 2010 olivat 1,4 ja 1,1 °C korkeampia kuin vuosina 1910 ja 1920.



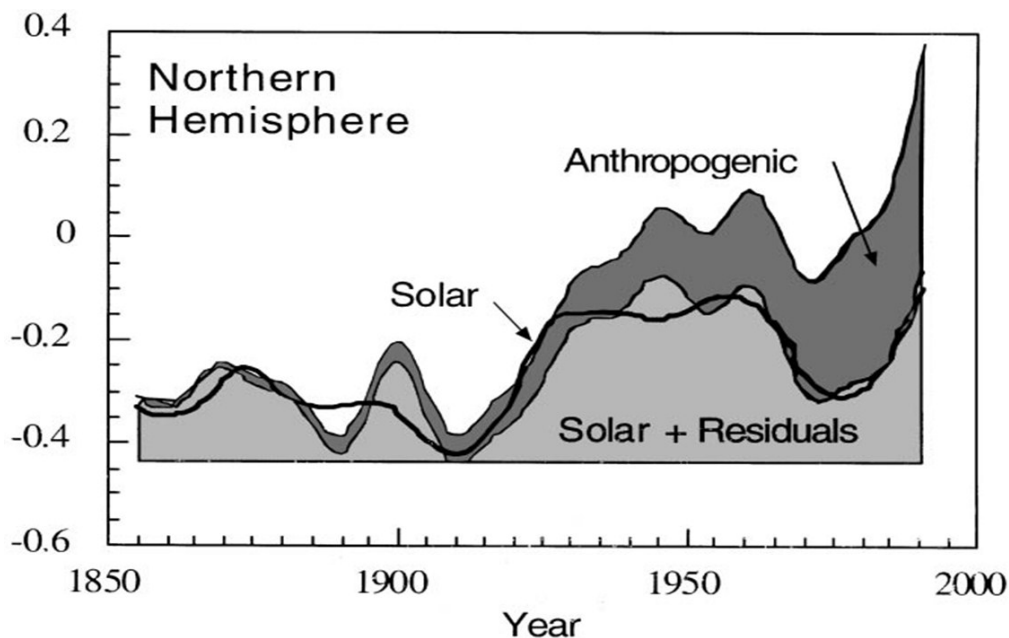
Kuva 8.2.1 Sodankylän lämpötilamittaukset (Ilmatieteen laitos).

8 Ympäristövaikutukset

Kuvasta 8.2.1 on havaittavissa myös voimakas lämpötilan lasku vuosina 1940–1970. Oma näkemyseni on, että sen aiheuttivat pienhiukkaset, joiden määrä alkoi lisääntyä huomattavasti toisen maailmansodan seurauksena. Ruutia ammuttiin sodan aikana taivaalle runsaasti. Vuosina 1956–63 tehtiin paljon ydinkokeita Novaja Zemljalla, joiden pölypilvet saastuttivat myös Pohjois-Suomea. Kivihiilen kasvava käyttö lisäsi myös Pohjolan rikkilaskeutumia.

1970-luvulla ydinkokeet loppuivat ja savukaasuja alettiin pudistaa. 1980-luvulla asennettiin Suomen kivihiililaitoksiin ensimmäiset rikkipesurit. 1990-luvulla uudet autot varustettiin katalysaattoreilla. 2000-luvulla dieselautot käyttävät rikitöntä dieseliä ja ne varustetaan hiukkassuodattimilla. Ilman puhdistumisen seurauksena auringon säteily pääsee kesällä lämmittämään tehokkaammin, joka on aiheuttanut lämpenemisen nopeutumisen.

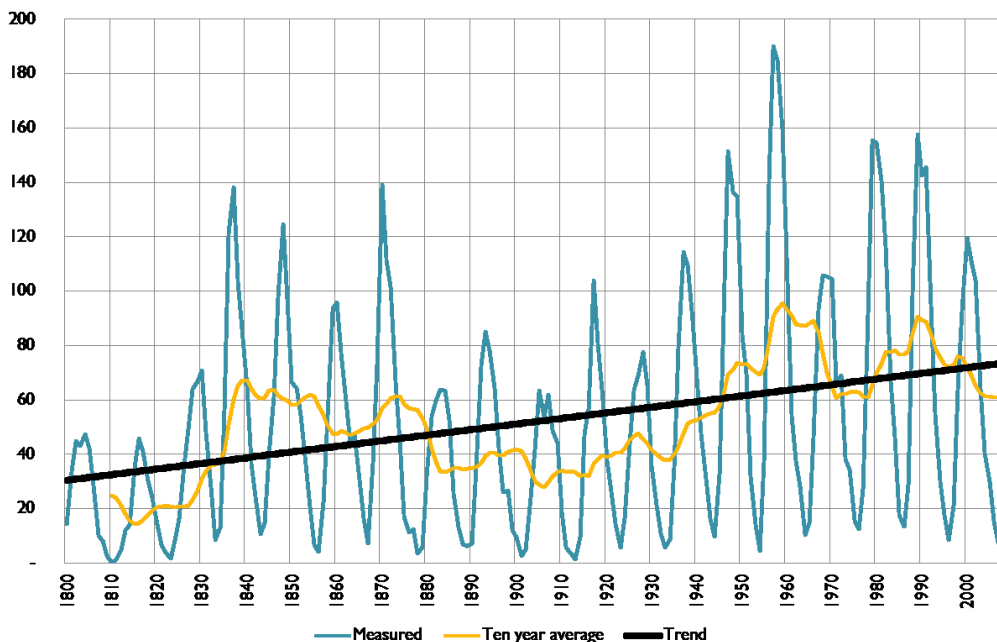
Tähän tulokseen ovat tulleet myös monet tutkimukset, joiden mukaan 40- ja 50-lukujen lämpötilan nousu aiheutui auringon ja aerosolien vaikutuksesta. Kuvan 8.2.2 mukaan näiden muiden tekijöiden osuus lämpötilan noususta olisi noin kolmannes. Ihmisten vaikutus (anthropogenic) osuus 0,8 °C:een noususta olisi näin noin 0,5 °C /13/.



Kuva 8.2.2 Ihmisten vaikutus (anthropogenic) ilmastonmuutokseen /13/

8 Ympäristövaikutukset

Auringon vaikutusta ilmastonmuutokseen voidaan arvioida auringonpilkkujen määrän lisääntymisenä 1800-luvulta alkaen (Kuva 8.2.3). Siinä on havaittavissa 11 vuoden jaksoja ja jatkuvasti nouseva trendi, jonka ansiosta maahan tulee 2000-luvulla selvästi enemmän säteilyä kuin 1800-luvulla.

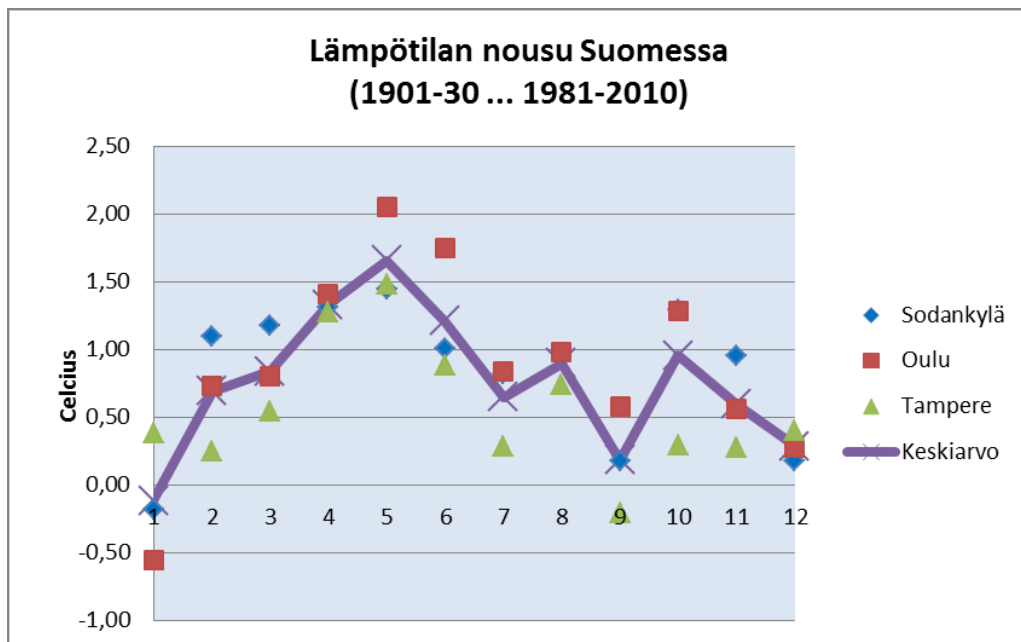


Kuva 8.2.3 Auringonpilkkujen määrän kehitys vuodesta 1800 alkaen.

Lämpötilan nousu 80 vuoden aikana kunakin kuukautena 30 vuoden keskiarvoista laskettuna on näytetty kuvassa 8.2.2 kolmella eri paikkakunnalla siten, että niistä on eliminoitu vuosisadan alussa ollut mittausvirhe. Korjattujen tietojen mukaan laskettu 30 vuoden keskilämpötila on noussut 80 vuodessa (vuodesta 1915 vuoteen 1995) Sodankylässä 0,85 °C, Oulussa 0,89 °C ja Tampereella 0,55 °C. Keskimääräinen nousu näillä paikkakunnilla on 0,77 °C eli 0,01 °C joka vuosi.

Suurin nousu (1,6 °C) on tapahtunut toukokuun lämpötiloissa. Sen sijaan tammikuun lämpötiloissa ei ole havaittavissa lämpötilan nousua. Toukokuun lämpötilan nousun vuoksi kevät tulee nykyisin aiemmin kuin ennen. Vuodesta 1700 lähtien raportoitu jäiden lähtö Tornion joesta tapahtuu nykyisin noin kaksi viikkoa aiemmin kuin 300 vuotta sitten (www.ymparisto.fi).

8 Ympäristövaikutukset



Kuva 8.2.2 Havaittu lämpötilan nousu Sodankylässä, Oulussa ja Tampereella 80 vuoden aikana 30 vuoden keskilämpötiloissa eri kuukausien aikana.

8.2.2 Lämpötilan nousun ennustaminen

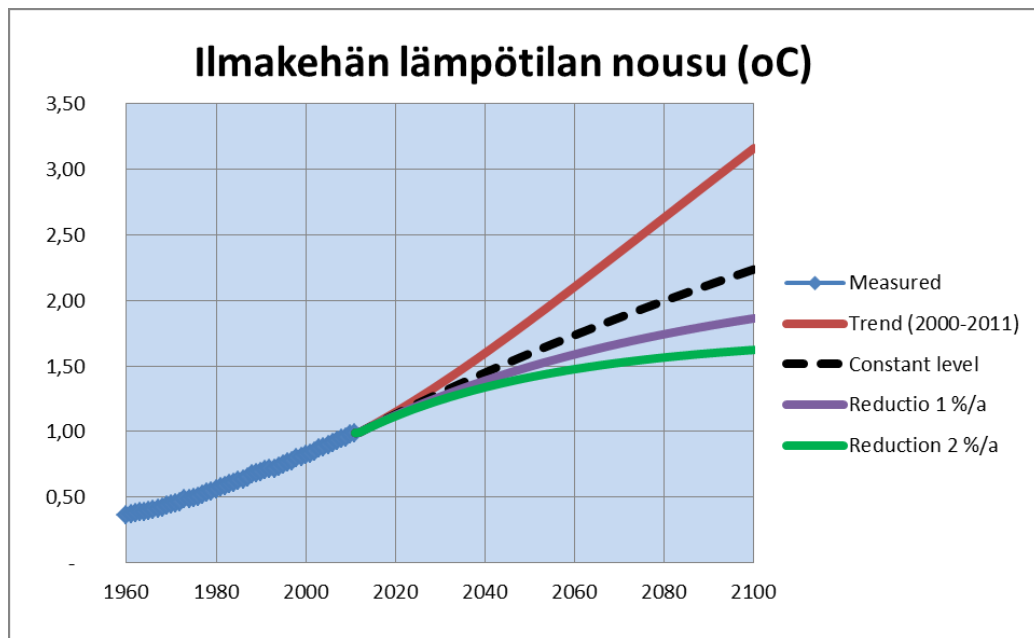
On hyvin epävarmaa ennustaa lämpötilan nousua tulevaisuudessa käyttämällä toteutuneita lämpötilatietoja. Lineaarinen trendin mukaan piirretty suora ennustaa (Kuva 8.2.1), että lämpötila nousisi 1,2 °C vuodesta 1900 vuoteen 2100 mennessä. Polynomisen trendin mukaan lämpötila nousisi noin kolme astetta.

Arrheniuksen mukaan lämpötilan nousu on suoraan verrannollinen CO₂-pitoisuuden logaritmiin, jolloin havaintojen perusteella Suomen lämpötilan nousulle saadaan matemaattinen ennustemalli:

$$T = 6,8 \times \log (C/280)$$

Kaavan mukaan lämpötilan nousu on ollut tähän mennessä noin 1 °C, kun pitoisuus on noussut 280 ppm:stä arvoon 394 ppm vuonna 2012 (Kuva 8.2.3). Mallin avulla saadaan myös lämpötilan nousuksi vuoteen 1995 mennessä (C=361 ppm) 0,75 °C, joka on hyvin lähellä mitattua 0,77 °C nousua, joka on havaittu Suomessa (Kuva 8.2.2).

8 Ympäristövaikutukset



Kuva 8.2.3 Lämpötilan nousu päästöjen kehittyessä eri oletuksin.

Jos oletetaan, että päästöjen kehitys jatkuu vuosien 2000–2011 päästöjen kasvun trendin mukaisesti, saadaan lämpötilan nousun ennusteeksi vuoteen 2100 mennessä noin 3,2 °C. Jos päästöt onnistutaan pysäyttämään nykytasolle (34 Gt/a), lämpötilan nousu olisi 2,0 °C vuoteen 2080 mennessä ja 2,3 °C vuoteen 2100 mennessä. Lämpeneminen jatkuisi myös tämän jälkeen ja vuoteen 2200 mennessä lämpötila olisi noussut jo 3,5 °C.

Nousu voidaan kuitenkin rajoittaa alle kahteen asteeseen, jos päästöjä onnistutaan pienentämään joka vuosi 1 %. Tällöin lämpötilan nousu olisi 1,9 °C. Jos päästöjä onnistuttaisiin pienentämään 2 % vuodessa, olisi lämpötilan nousu vuoteen 2100 mennessä vain noin 1,6 °C.

Kun maailman CO₂-päästöt olivat vuonna 2011 noin 34 Gt, niiden 1 %:n vuosisäästön jälkeen ne olisivat vuonna 2100 noin 14 Gt eli noin 1,4 tonnia asukasta kohti. Kumulatiiviset päästöt olisivat 3400 Gt. Kahden prosentin säästövuuhdilla CO₂-päästöt olisivat vuonna 2100 noin 5,6 Gt eli 0,6 t/asukas. Kumulatiiviset kokonaispäästöt siihen mennessä olisivat 2800 Gt.

Jatkuviin vuosittaisiin säästöihin kuitenkin käytännössä mahdoton päästä nopeasti, koska päästöjen kasvu jatkuu edelleen ainakin vuoteen 2020 asti. Seuraavassa kohdassa (8.3) tarkastelemme, mitkä olisivat sopivat päästötavoitteet maailmalle ja Suomelle.

8.3 PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISTAVOITTEET

8.3.1 Vuoteen 2020 mennessä tarvitaan 20–30 %:n vähennys

Ilmastonmuutosta voidaan myös hillitä säästämällä energiaa ja etenkin sellaista energiaa, joka aiheuttaa eniten kasvihuonekaasupäästöjä. Euroopan Unioni on sitoutunut vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä 20 % vuoteen 2020 mennessä.

Kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen vaatii toimenpiteitä kaikissa maissa ja kaikkien kansalaisten kohdalla. Suomalaiset ovat asukasta kohti laskettuna suurimpia energiankäyttäjiä maailmassa. Käytämme primäärienergiaa noin 6,5 toe/asukas, kun keskimääräinen kulutus EU:ssa on 3,4 toe/asukas ja maailmassa noin 1,9 toe/asukas.

Myös energiantuotannosta aiheutuvat hiilidioksidipäästömme ovat keskimääräistä suurempia. Suomen päästöt olivat vuonna 2010 noin 56 miljoonaa tonnia eli 10 tCO₂/asukas (Liite 10). Maailman kokonaispäästöt olivat 34 mrd. tonnia eli noin 4,9 tCO₂/asukas.

8.3.2 Tavoitteet maailmalle

Mielestäni päästötavoitteet vuodelle 2040 tulisi olla kaikille samat ja ne määriteltäisiin asukasluvun perusteella. Suurimmat päästöjen aiheuttajat ovat rikkaita maita, joten niillä on varaa investoida myös puhtaaseen tekniikkaan. Esimerkiksi Suomen päästöt ovat maailman huipputasolla asukasta kohti laskettuna, mutta Suomella on käytettävissä esimerkiksi ydinvoimatekniikkaa.

Olen tehnyt ennusteen maailman sähköntuotannosta kirjassani ”*Planning of Nuclear Power Systems to Save the Planet*”. Tästä on luvussa 9 johdettu ennuste maailman CO₂-päästöille vuoteen 2100 mennessä. Johtopäätös on, että maailman päästöt kehittyvät parhaassa tapauksessa siten, että vuonna 2040 alitetaan nykytaso 36 Gt (Kuva 9.3.1).

Kun ihmismäärä on vuonna 2040 noin 8,5 miljardia, tulee päästökseen keskimäärin 4,2 tonnia asukasta kohti. Kaikkien maiden tavoitteena tulisi olla alittaa 4,2 t/asukas päästötaso vuoteen 2040 mennessä.
--

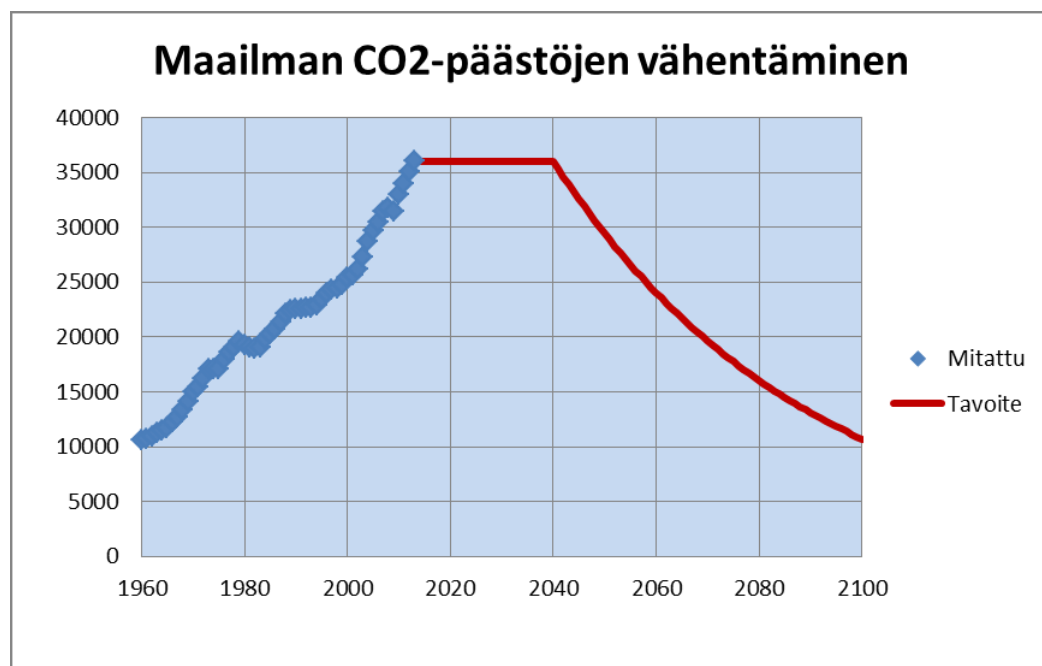
Jos tämän jälkeen päästöjä vähennetään kaikissa maissa 2 % vuodessa, tulee kumulatiiviseksi päästökseen vuoteen 2100 mennessä 3700 Gt. Se vastaa noin 550 ppm pitoisuutta ja kahden asteen lämpötilannousua vuoteen 2100 mennessä (Taulu 9.3.1).

Vuoden 2040 jälkeen kaikki maat voisivat kulkea samassa tahdissa, jolloin vuonna 2100 maailmassa olisi noin 10 mrd. ihmistä ja päästöt olisivat 10,7 Gt vuodessa eli noin yksi tonnia asukasta kohti. Vuonna 2100 Suomen päästöjen tulisi olla 87 % pienemmät kuin vuonna 2010. Se edellyttää yksinkertaisesti sitä, että fossiilisten polttoaineiden käyttöä vähennetään 87 %.

8 Ympäristövaikutukset

Taulu 8.3.1 Tavoitteet maailman ja Suomen CO₂-päästöille vuonna 2040 ja 2100.

Vuosi	Maailma				Kumulat. päästö Mt	Suomi			
	Väkiluku milj.	Päästö Mt	Säästö %	Päästö t/asukas		Väkiluku milj.	Päästö Mt	Säästö %	Päästö t/asukas
2010	7,0	36,0	0 %	5,1	1364	5,4	56,0	0 %	10,4
2020	7,5	36,0	0 %	4,8	1724	5,6	43,0	-23 %	7,7
2030	8,0	36,0	0 %	4,5	2084	5,8	33,1	-41 %	5,7
2040	8,5	36,0	0 %	4,2	2444	6,0	25,4	-55 %	4,2
2050	9,0	29,4	-18 %	3,3	2771	6,2	20,8	-63 %	3,3
2060	9,2	24,0	-33 %	2,6	3038	6,4	17,0	-70 %	2,7
2070	9,4	19,6	-45 %	2,1	3257	6,6	13,9	-75 %	2,1
2080	9,6	16,0	-55 %	1,7	3435	6,8	11,3	-80 %	1,7
2090	9,8	13,1	-64 %	1,3	3581	7,0	9,3	-83 %	1,3
2100	10,0	10,7	-70 %	1,1	3700	7,2	7,6	-87 %	1,0

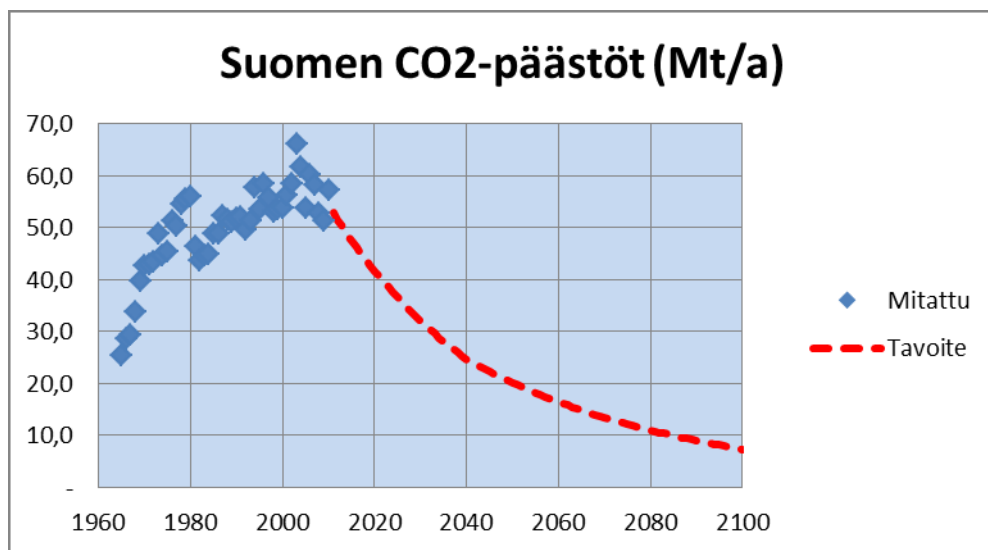


Kuva 8.3.1 Maailman CO₂-päästöjen vähentämistavoitteet vuoteen 2100 asti.

8 Ympäristövaikutukset

8.3.3 Tavoitteet kehittyneille maille

Suomelle vuoden 2040 päästötavoite 4,2 t/asukas tarkoittaa CO₂-päästöjen vähentämistä keskimäärin 2,6 % vuosittain (Kuva 8.3.2). Vuoteen 2020 mennessä päästöjä tulisi laskea 23 %, vuoteen 2030 mennessä 41 % ja vuoteen 2040 mennessä noin 55 % (Taulu 8.3.1). Suomelle nämä tavoitteet tuntuisivat kohtuulliselta ja olisivat saavutettavissa.



Kuva 8.3.2 CO₂-päästöjen vähentämistavoite Suomelle.

Yhdysvalloille tavoite olisi huomattavasti vaikeampi toteuttaa. Yhdysvaltojen tulisi pudottaa päästöjään nykyisestä 19 t/asukas arvoon 4,2 t/asukas eli noin 80 % vuoteen 2040 mennessä. Päästöjä tulisi pudottaa keskimäärin noin 5 % vuodessa vuoteen 2040 asti, jonka jälkeen vähennys olisi 2 % vuodessa.

Kiinan pitäisi pudottaa päästöjä arvosta 6,8 t/asukas arvoon 4,0 t/asukas, jolloin Kiinalle riittäisi 1,5 %:n pudotus vuosittain. Sekin tuntuu mahdottomalta, kun päästöjen lisäystahti on ollut viiden viimeisen vuoden aikana keskimäärin 7 % vuodessa. Tavoitteiden onnistuminen on vaikeinta USA:lle ja Kiinalle, jotka eivät ole vielä selvästi ilmoittaneet ryhtyvänsä pienentämään päästöjään.

Kolmenkymmenen suurimman maan tulisi pudottaa ominaispäästöjä 34 % (Liite 10). Toisaalta monet 30 suurimman päästäjän ryhmään kuulumattomat maat saisivat lisätä päästöjään huomattavasti. Niiden päästöt ovat tänään vain 12 % kokonaispäästöistä.

8.4 PERHEEN CO₂-PÄÄSTÖT

8.4.1 Lähtötilanne

Perheemme aiheuttamat CO₂-päästöt vuonna 2012 olisivat olleet 10,3 tonnia vuodessa, jos olisimme ostaneet sähkömme keskimääräisenä tuotteena (Taulun 8.4.1).

Taulu 8.4.1 Esimerkkiperheen energiankulutus ja CO₂-päästöt vuonna 2012, jos sähkö olisi ostettu keskimääräisenä (180 gCO₂/kWh).

Kulutuskohde	Vuosikulutus		Päästökerroin	Vuosipäästö kgCO ₂
ASUMINEN				
Kaukolämpö				
Asunto	13 446	kWh	250 g/kWh	3 362
Sähkö				
Taloyhtiö	1 245	kWh	180 g/kWh	224
Asunto	3 580	kWh	180 g/kWh	644
Kesämökki	11 500	kWh	180 g/kWh	2 070
Koivuklapit	3 400	kWh	0 g/kWh	-
Asuminen yhteensä	33 171	kWh	190 g/kWh	6 300
LIIKENNE				
Polttoaineet				
Auto	21 000	km	186,2 g/km	3 910
Linja-auto	500	km	106,4 g/km	53
Laiva	175	km	106,4 g/km	19
Lentokone	-	km	133 g/km	-
Yhteensä	21 675	km		3 982
Sähkö				
Auto	-	km	33 g/km	-
Metro	100	km	11 g/km	1
Raitiovaunu	10	km	23 g/km	0
Juna	500	km	0 g/km	-
Liikenne yhteensä	22 285	km	179 g/km	3 983
ASUMINEN JA LIIKENNE	48 142	kWh	214 g/kWh	10 283

Säästö -

8 Ympäristövaikutukset

Perheemme päästökerroin olisi ollut 10.280 kg/48.142 kWh eli 214 gCO₂/kWh. Asumisesta aiheutui 6,3 tonnin päästöt ja asumisen päästökerroin on 190 g/kWh. Liikenteen aiheuttama päästö oli 4,0 tonnia ja päästökerroin 179 g/km.

Ostimme sähkömme kuitenkin päästöttömänä, jolloin päästömme olivat Taulun 8.4.2 mukaiset. Kokonaispäästö oli 7570 kgCO₂ eli noin 3780 kg/henkilö ja ominaispäästöt olivat 157 g/kWh. Päästöttömän sähkön oston avulla saavutimme 26 %:n säästön vuosipäästöissämme.

Taulu 8.4.2 Esimerkkiperheen aiheuttamat CO₂-päästöt vuonna 2012, kun sähköt ostettiin päästöttömistä lähteistä.

Kulutuskohde	Vuosikulutus		Päästökerroin	Vuosipäästö kgCO ₂
ASUMINEN				
Kaukolämpö				
Asunto	13 446	kWh	250 g/kWh	3 362
Sähkö				
Taloyhtiö	1 245	kWh	180 g/kWh	224
Asunto	3 580	kWh	0 g/kWh	-
Kesämökki	11 500	kWh	0 g/kWh	-
Koivuklapit	3 400	kWh	0 g/kWh	-
Asuminen yhteensä	33 171	kWh	108 g/kWh	3 586
LIIKENNE				
Polttoaineet				
Auto	21 000	km	186,2 g/km	3 910
Linja-auto	500	km	106,4 g/km	53
Laiva	175	km	106,4 g/km	19
Lentokone	-	km	133 g/km	-
Yhteensä	21 675	km		3 982
Sähkö				
Auto	-	km	0 g/km	-
Metro	100	km	11 g/km	1
Raitiovaunu	10	km	23 g/km	0
Juna	500	km	0 g/km	-
Liikenne yhteensä	22 285	km	179 g/km	3 983
ASUMINEN JA LIIKENNE	48 142	kWh	157 g/kWh	7 569

Säästö 26 %

8 Ympäristövaikutukset

8.4.2 Päästöjen leikkaus

Kun selvitys päästöistä on tehty, alkaa säästöjen etsiminen. Kaksi suurinta päästökohdetta olivat vuonna 2012 auto ja asunnon kaukolämpö (Taulu 8.4.2). Autoilun päästöihin voi helposti vaikuttaa, jos hankkii ladattavan hybridauton, jolla ajetaan puolet sähköllä (0,25 kWh/km) ja puolet dieselillä (6 l/100 km). Ladattavan hybridauton hankinnan jälkeen CO₂-päästömme putoavat arvoon 4990 kg vuodessa ja ominaispäästömme arvoon 130 g/kWh (Taulu 8.4.3).

Taulu 8.4.3 Perheemme CO₂-päästöt, kun ostamme sähkön päästöttömistä lähteistä ja siirrymme ladattavaan hybridautoon.

Kulutuskohde	Vuosikulutus		Päästökerroin	Vuosipäästö kgCO ₂
ASUMINEN				
Kaukolämpö				
Asunto	13 446	kWh	250 g/kWh	3 362
Sähkö				
Taloyhtiö	1 245	kWh	180 g/kWh	224
Asunto	3 580	kWh	0 g/kWh	-
Kesämökki	11 500	kWh	0 g/kWh	-
Koivuklapit	3 400	kWh	0 g/kWh	-
Asuminen yhteensä	33 171	kWh	108 g/kWh	3 586
LIIKENNE				
Polttoaineet				
Auto	10 000	km	133 g/km	1 330
Linja-auto	500	km	106 g/km	53
Laiva	175	km	106 g/km	19
Lentokone	-	km	133 g/km	-
Yhteensä	10 675	km		1 402
Sähkö				
Auto	10 000	km	0 g/km	-
Metro	100	km	11 g/km	1
Raitiovaunu	10	km	23 g/km	0
Juna	500	km	0 g/km	-
Liikenne yhteensä	21 285	km	66 g/km	1 403
ASUMINEN JA LIIKENNE	38 467	kWh	130 g/kWh	4 989
			Säästö	51 %

8 Ympäristövaikutukset

Verrattuna alkutilanteeseen (Taulu 8.4.1) päästömme ovat pudonneet 51 %. Tämän jälkeen noin 67 % päästöistämme aiheutuu kaukolämmön hankinnasta ja 28 % autoilusta.

Autoilun päästöjä voisi pudottaa nopeasti myös hankkimalla kaasulla tai etanolilla käyvän auton. Molemmissa ongelmana on tankkausasemien vähäisyys. Etanolin (E85) tankkausasemia on ainakin 57 kappaletta eri puolella Suomea. Kaasun tankkausasemia on vasta kuusitoista. Flexifuel-autolla voi tankata jo kaikkialla Suomessa, Pohjoismaissa ja Keski-Euroopassa. Maakaasulla voi tankata vain Etelä-Suomessa Espoo-Lahti-Kotka alueiden sisällä.

8.4.3 Kaukolämmön päästöjen pudottaminen

Kaukolämmön päästöihin ei itse voi paljoa vaikuttaa. Voi vain toivoa, että Pääkaupunkiseutu siirtyisi nopeasti päästöttömien energialähteiden käyttöön. Suurin säästö olisi aikaansaataavissa, jos Pääkaupunkiseutu siirtyisi Loviisan ydinkaukolämmön käyttöön. Tällöin Salmisaaren, Hanasaaren, Martinlaakson ja Suomenojan kivihiihivoimalat voitaisiin ottaa pois käytöstä.

Toinen vaihtoehto olisi asentaa Suomenojalle lämpöpumppu, jolla voitaisiin tuottaa suurin osa seudun kaukolämmöstä. Espoon peruslämpö tehtäisiin Suomenojan lämpöpumpulla, jolloin sähköä otettaisiin valtakunnan verkosta, jossa sen CO₂-pitoisuus vuonna 2020 olisi noin 150 g/kWh.

Kun lämpöpumpun avulla tehdään sähköstä kolminkertainen määrä lämpöä, olisi lämpöpumpulämmön CO₂-sisältö noin 50 g/kWh. Loput lämmöstä tehtäisiin kaasuvoimalla, jossa CO₂-sisältö on noin 250 g/kWh. Jos lämmöstä tehdään 70 % lämpöpumpulla ja 30 % kaasulla, olisi keskimääräinen CO₂-päästö 80 g/kWh. Näin kaukolämmön ominaispäästöt putoaisivat noin 70 %.

Kolmas vaihtoehto olisi muuttaa Suomenojan voimalaitos biovoimalle sopivaksi. Siinä voitaisiin polttaa hiilen asemasta esimerkiksi puusta tehtyä puuhiiltä. Puun saatavuudesta voisi tulla kuitenkin ongelma. Esimerkiksi Jyväskylässä Keljonlahden uudessa biovoimalassa on jouduttu käyttämään paljon turvetta, jolloin päästöjä ei ole saatu vähennettyä.

Perheen päästöjen pudottaminen alle 2 tonnia henkilöä kohti on täysin mahdollista. Se ei kuitenkaan voi onnistua helposti kaukolämpötaloissa, joissa lämpö tehdään fossiilisilla polttoaineilla. Kaukolämmön muuttaminen vähäpäästöiseksi tulisi olla kuntien ensisijainen tavoite Suomessa.

8 Ympäristövaikutukset

8.4.4 Liikenteen päästöjen pudottaminen

Junaliikenne siirtyi vuoden 2009 alussa päästöttömän sähkön hankintaan. Toivottavasti myös metro-, lento- ja bussiliikenne siirtyvät hyötysuhteeltaan parempiin kulkuvälineisiin ja päästöttömien tai vähäpäästöisten energialähteiden käyttöön.

Myös bussiliikenne voisi sähköistyä, kun uudet sähköllä toimivat bussit tulevat vähitellen kaupunkiliikenteeseen. Hybridibusseilla päästöjä voi pudottaa helposti 30 %, kun niissä jarrutusenergiaa saadaan talteen. Suurin säästö voidaan saada aikaan kaupunkien keskustojen liikenteessä, jossa pysähdyksiä on paljon.

8.4.5 Ruuan hankinnan päästöt

Kohdassa 7.6 laskettiin miesten ja naisten energiantarve kaloreina. Kilokalorit voidaan muuttaa myös CO₂-päästöiksi käyttäen päästökertoimia. Ruoan aiheuttama päästökerroin (kgCO₂/kg) vaihtelee suuresti siitä, muodostuuko ruoka kasvikunnan vai eläinkunnan tuotteista (Taulu 8.4.4).

Taulu 8.4.4 Aikuisen miehen vuotuisen kaloritarpeen (8000 Mcal) tyydyttämisen aiheuttama ilmastovaikutus eri ruokalajeilla (Ilmastovaikutus www.ilmasto-opas.fi)

Ruoka-aine	Ilmastovaikutus kg CO ₂ -ekv/kg	Energiasisältö kcal/100g	Määrä kg	Ilmastovaikutus kgCO ₂ -ekv
Tomaatti (kasvihuone)	5	20	4 000	20 000
Naudanliha	15	200	400	6 000
Riisi	5	120	667	3 333
Juusto	13	350	229	2 971
Sianliha	5	204	392	1 961
Kuiva papu (vihreä)	0,7	29	2 759	1 931
Broileri	4	170	471	1 882
Kananmuna	2,5	143	559	1 399
Kala (lohi)	1,5	220	364	545
Ruisleipä	1,3	205	390	507
Kasviöljy	3	900	89	267
Peruna (keitetty)	0,2	63	1 270	254
Sokeri	1,1	406	197	217

Myös ruoan tarve riippuu paljon siitä, mikä on ruoan kalorisisältö. Pienimmän ympäristövaikutuksen aiheuttaa, jos täyttää kaloritarpeensa kalalla, ruisleivällä, kasviöljyllä, perunalla tai sokerilla. Suurin ilmastovaikutus kalorimäärään suhteutettuna on yllättäen kasvihuoneessa kasvatetulla tomaatilla, naudanlihalla, riisillä ja juustolla. Sopivalla ruokavaliolla ruoan tarpeen aiheuttama ilmastovaikutus on alle 1000 kg/henkilö.

8 Ympäristövaikutukset

Jos kalorientarve tyydytetään siten, että annoksessa on kolmannes kalaa, kolmannes ruisleipää ja kolmannes perunaa, syömisen aiheuttama ilmastopäästö on vuodessa noin 500 kgCO₂-ekv. Jos vuotuisen annokseen lisää suomalaisen keskimääräisen annoksen (76 kg) lihaa, niin CO₂-päästö kasvaisi arvolla 540 kgCO₂-ekv. vuodessa (Taulu 8.4.5). Kokonaispäästö olisi noin 1000 kgCO₂-ekv/henkilö.

Taulu 8.4.5 Suomalaisen kuluttaman liharuuan ilmastovaikutus.

Tuote	Kulutus kg	Ilmastovaikutus		
		CO ₂ -ekv./kg	kgCO ₂ -ekv.	%
Naudanliha	19	15	285	53 %
Sianliha	35	5	175	33 %
Siipikarjanliha	15	4	60	11 %
Muut	7	2,5	18	3 %
Yhteensä	76	7,1	538	100 %

Naudanliha aiheuttaa noin 53 % lihan ilmastovaikutuksesta. Ympäristötietoinen ihminen rajoittaa ennen muuta ulkomaisen naudanlihan syöntiä. Karjatalous ja sokeriruoko uhkaavat esimerkiksi Brasilian sademetsiä. Niiden takia sademetsiä kaadetaan runsaasti ja samalla metsien hiilidioksidia sitova vaikutus pienenee.

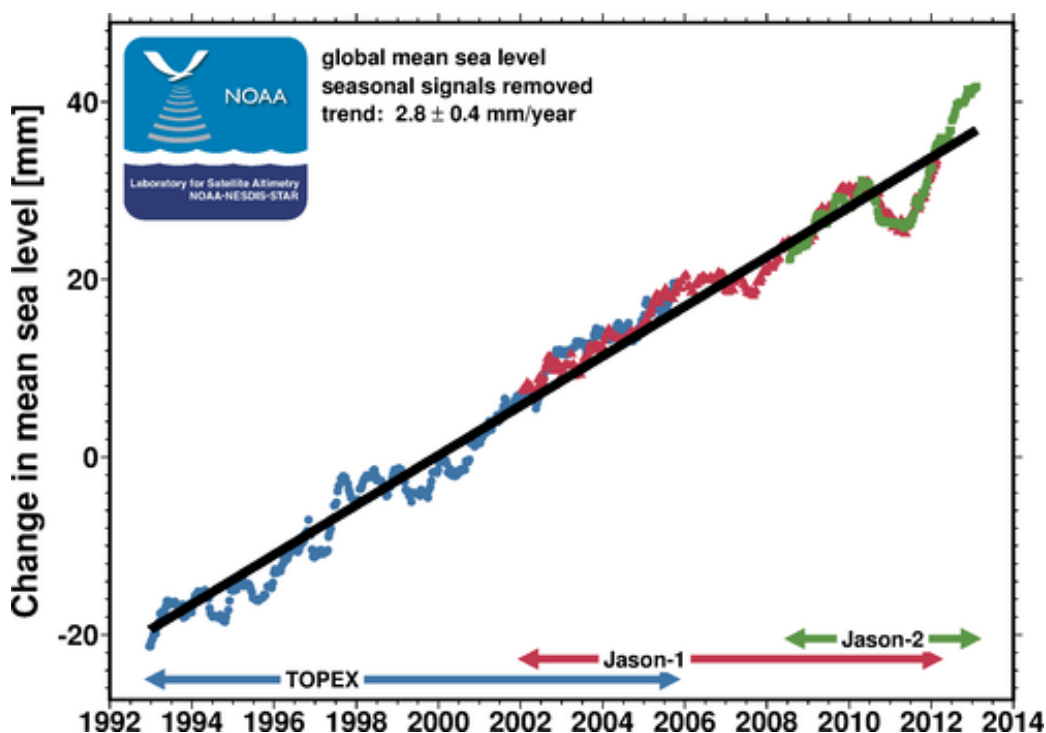
8.5 ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUKSET

8.5.1 Jäätiköiden sulaminen ja meren pinnan nousu

Kahden asteen nousua pidetään maksimina, minkä ei katsota aiheuttavan suuria vaikutuksia. Jos nousu on sitä suurempi, maailmassa tapahtuu monia arvaamattomia muutoksia. Ehkä dramaattisin asia on Grönlannin jäätikön sulaminen, joka puolestaan aiheuttaa meren pinnan nousun.

Meren pinta nousee jäätiköiden sulamisen vuoksi noin 3–10 millimetriä vuodessa. Nousu on kiihtynyt koko ajan. Vuosina 1880–1930 nousu oli noin 5 cm eli 1 mm vuodessa. Vuosina 1930–1990 nousu oli 12 cm eli 2 mm vuodessa.

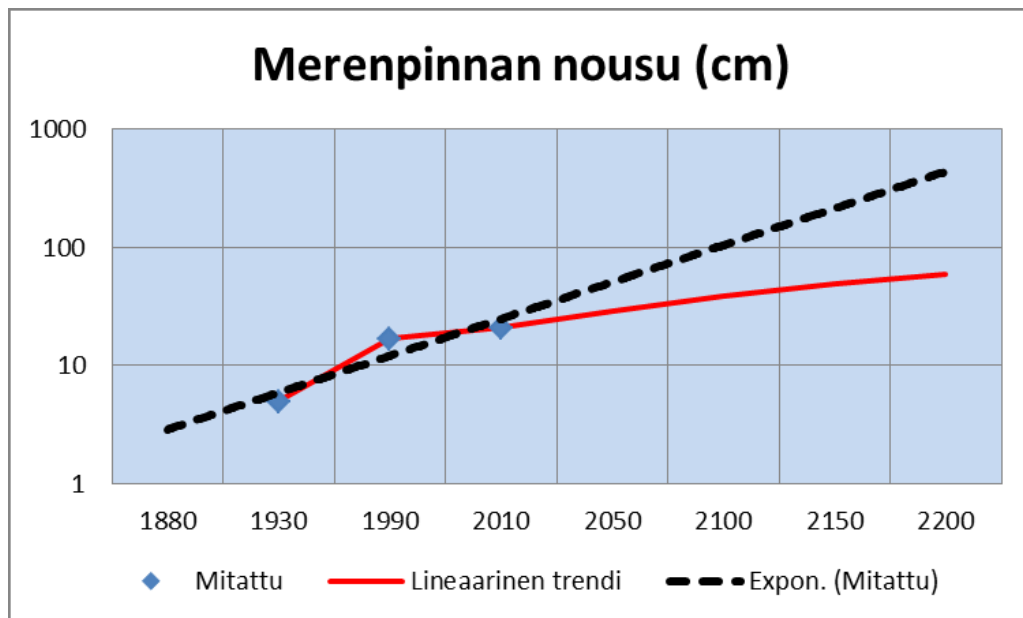
Satelliittihavaintojen mukaan on todettu (Kuva 8.5.1), että vuosina 1990–2010 nousu oli noin 6 cm (2,8 mm vuodessa). Meren pinta on noussut vuodesta 1880 alkaen noin 21 cm eli keskimäärin 1,6 mm vuodessa.



Kuva 8.5.1 Merien pinnan nousu satelliittihavaintojen perusteella (NOAA)

8 Ympäristövaikutukset

Voidaan olettaa, että nousuvauhti kiihtyy tästä edelleen sitä mukaan, kun lämpeneminen etenee. Jos havaituista nousuista piirtää eksponentiaalisen ennusteen, niin valtamerien pinta nousee yli metrin vuoteen 2100 mennessä ja yli 6 metriä vuoteen 2200 mennessä (Kuva 8.5.2). Lineaarisen trendin mukaan nousu olisi noin 60 cm vuoteen 2200 mennessä. Tässä on kuitenkin huomattava, että ennustaminen on toteutuneen nousun perusteella hyvin vaikeaa. Täytyisi laatia ensin malli, miten lämpötilan nousu vaikuttaa sulamisnopeuteen.



Kuva 8.5.2 Valtamerien pinnan nousu, jos seurataan eksponentiaalista trendiä.

Grönlannin jäätiköiden sulaminen merkitsisi, että meren pinta nousisi noin kuusi metriä muutaman sadan vuoden kuluessa. Tiedemiehet pelkäävät myös, mitä tapahtuu, jos Siperian ikirouta sulaa. Silloin jäähän sitoutunut metaani voi vapautua ilmakehään ja aiheuttaa kasvihuoneilmion kiihtymisen. Metaani on noin 25 kertaa tehokkaampi kasvihuonekaasu kuin hiilidioksidi. Jos sitä alkaa vapautua, niin lämpeneminen voi olla useita asteita voimakkaampaa ja jäätiköiden sulaminen jatkuu loputtomasti.

Siperian ikijään ja napaseutujen jääpeitteen sulaminen merkitsee myös sitä, että jään ja lumen heijastusvaikutus vähenee. Tällöin maa ja vesi absorboivat enemmän lämpöä, joka kiihdyttää näiden seutujen lämpenemistä. Toisaalta on olemassa takaisinkytkentä-ilmio jään sulamisen ja Golf-virran heikkenemisen välillä. Jos mereen päätyy runsaasti makeaa vettä se voi vähentää Golf-virran kiertokulkua ja aiheuttaa kylmenemistä.

8 Ympäristövaikutukset

8.5.2 Meren lämpeneminen ja hurrikaanit

Merien lämpötilan nousu vaikuttaa myös hurrikaanien yleistymiseen. Hurrikaani voi syntyä vain silloin, kun meressä on syvällä oleva vesikerros, jonka lämpötila on vähintään + 26 °C. Kun meret lämpenevät, niin hurrikaanit yleistyvät.

Marraskuun lopussa vuonna 2012 Yhdysvalloissa riehunut Sandy-myrsky aikaansai suuria vahinkoja jopa New Yorkin korkeudella asti, kun talot hajosivat (Kuva 8.5.3), sähköt katkesivat ja metrotunnelit täyttyivät vedestä. Sähköt ja metro olivat tämän jälkeen monta päivää poissa Ala-Manhattanilta ja monesta muusta paikasta itärannikolla.



Kuva 8.5.3 Sandy-myrskyn tuhoja New Yorkin Queensissä.

8.5.3 Kuivuus ja ruuan tuotanto

Lämpenemisen arvioidaan aiheuttavan kuivuutta ja lisäävän aavikoitumista. Suurin haitta lämpenemisestä aiheutuu myös viljan tuotannolle päiväntasaajaa lähellä olevissa maissa. Samalla pelätään, että ennestään köyhien maiden nälänhätä vaikeutuu. Kuivuutta on havaittu vuonna 2012 myös Yhdysvalloissa, jossa viljan hinnat ovat nousseet ennätyskorkealle. Tämä vaikuttaa varsinkin köyhien maiden mahdollisuuksiin tuoda viljaa Yhdysvalloista.

8.5.4 Varautuminen

En jaksa uskoa, että ilmastopäästöt saadaan rajoitettua siten, että ilmaston lämpeneminen rajoittuu kahteen asteeseen. Jos lämpötila nousee tätä enemmän, on mahdollista, että Grönlannin jäätiköt sulavat ennakoitua nopeammin ja meren pinta nousee noin kuudella metrillä. Suomessa myös maan pinta nousee noin 60–180 cm seuraavan kolmensadan vuoden aikana, joten varautumistarve on noin 5–6 metriä.

Tähän voidaan varautua siten, että talot rakennetaan vähintään seitsemän metriä meren pinnan yläpuolelle. Tällöin voi olla varma, että talot eivät jää veden alle tulevaisuudessa. Jos asutusta on tätä alempana, sitä kannattaa vähitellen siirtää pois meren rannasta.

Hurrikaanien yleistyminen merkitsee myös sitä, että rannikon talot kannattaa tehdä etelässä entistä vahvemmiksi. Tällöin ne kestävät myrskytuulia paremmin. Esimerkiksi monta kertaa New Jerseyssä riehuneet myrskyt eivät ole pystynyt särkeämään suomalaisten uudisasukkaiden Erkki ja Olavi Mulikan rakentamia hirsitaloja, jotka on rakennettu vuonna 1704. Ne ovat koko New Jerseyyn osavaltion yhdet vanhimmista vielä käytössä olevista omakotitaloista. Koska hirsitalot kestävät myös maanjäristyksiä, niistä saattaisi tulla yksi vientituote suomalaiselle talonrakennusteollisuudelle.

Ilmastonmuutos merkitsee myös sateiden lisääntymistä. Siihen voi varautua tekemällä tulvasuojauksia ja tehokkaampia sadevesiviemäreitä. Talojen sadevedet kannattaa laittaa putkeen ja viedä suoraan sadevesiviemäriin. Rankat lumisateet merkitsevät sähkökatkoja avojohtojen takia. Niihin voi varautua kaapeloimalla sähköverkkoa.

Tärkeä asia on myös varautua tuottamaan pääosa suomalaisten tarvitsemasta ruuasta omatoimisesti. Elintarvikehuolto maailmassa saattaa vaikeutua eteläisempien maiden kuivuuden seurauksena.

8.6 YHTEENVETO

Lainaan Nobelin rauhanpalkinnon saajan Al Goren ajatuksia /8/: **”Mitä sinä aiot kertoa lastenlapsillesi ilmastonmuutoksesta? Kerrotko, että tiedit, mutta et välittänyt koko asiasta? Kerrotko ehkä, että et ymmärtänyt, mistä on kysymys?”**

Al Gore on kylläkin itse unohtanut, mitä hänen omat valintansa vaikuttavat ilmaston lämpenemiseen. Hän asuu itse suuressa talossa, joka käyttää kuukaudessa yhtä paljon energiaa, kuin tavallinen pientalo koko vuodessa. Hän lentelee ympäri maailmaa yksityiskoneella luennoimassa ja aiheuttaa samalla merkittävästi päästöjä.

Hiilidioksidipäästöjen ja ilmaston lämpenemisen yhteys oli todistettu tieteellisesti ruotsalaisen Nobel-kemistin, Svante Arrheniuksen, toimesta 110 vuotta ennen Al Gorea. Arrhenius julkaisi tutkimuksensa ilmaston lämpenemisestä vuonna 1896 Philosophical Magazinessä, jossa hän todisti seuraavaa:

”Jos ilmakehän hiilidioksidipitoisuus kaksinkertaistuu, ilman lämpötila nousee 5–6 °C. Jos hiilidioksidipitoisuus puolittuu, ilman lämpötila laskee 3–4 °C.”

Lämpötila on tähän mennessä noussut Suomessa noin yhden asteen, kun CO₂-pitoisuus on noussut 280 ppm:stä arvoon 396 ppm (41 %). Takaisinkytkentöjen takia lämpötilan nousu onkin selvästi pienempää, kuin Arrhenius arvioi. **Havaintojen mukaan CO₂-pitoisuuden kaksinkertaistuminen aiheuttaa ilman lämpötilan nousun kahdella asteella.**

Ilmakehän lämpötila nousee vuoteen 2100 mennessä 2–3 °C, jos energiantuotannon CO₂-päästöjä ei pystytä vähentämään nykytasosta. Jos päästöt jatkavat kasvua, nousu on yli 3 °C.

Ilmastonmuutos on vakava uhka ihmiskunnan tulevaisuudelle. Jokaisen kansalaisen ja yrityksen pitäisi vähentää päästöjään. Energiantuotannon aiheuttamat CO₂-päästöt olivat vuonna 2011 noin 34 miljardia tonnia. Päästöt tulisi pysäyttää vuoteen 2040 mennessä tälle tasolle, jolloin päästö olisi kaikissa maissa noin 4,2 tonnia asukasta kohti.

Kotitalouksien osuus energian käytöstä ja päästöistä on noin puolet. Tällöin perheen tavoitepäästö vuonna 2040 voisi olla korkeintaan kaksi tonni henkeä kohti. Vuonna 2100 päästöt saisivat olla 10 miljardia tonnia eli noin yksi tonnia asukasta kohti. Tästä puolet olisi vain 500 kg henkeä kohti laskettuna.

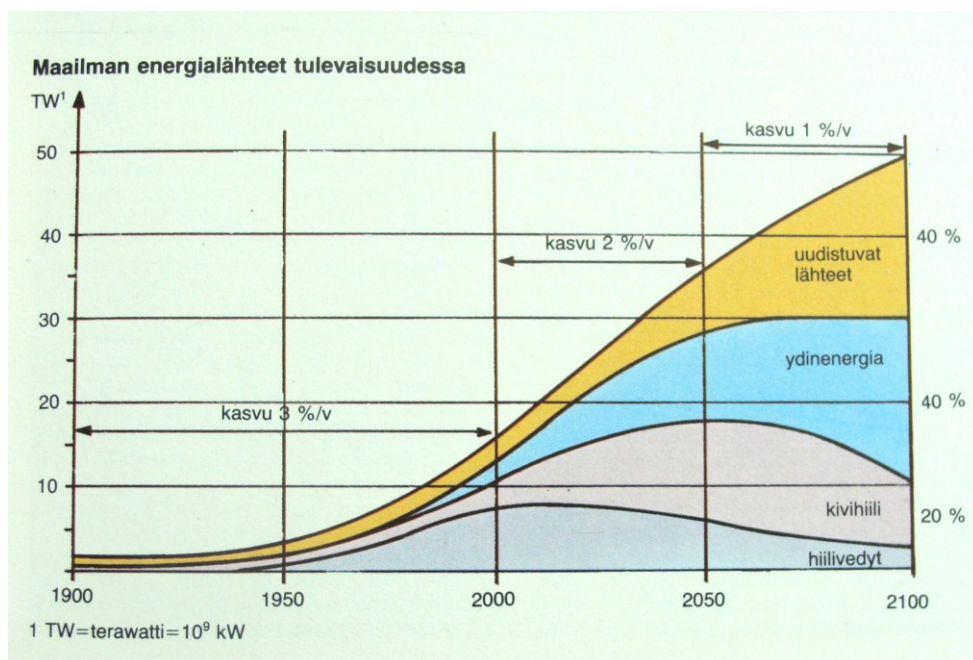
Jokaisen tulisi pysyä vähintään EU:n tavoitteiden tahdissa. Viisainta olisi vähentää kasvihuonekaasujen päästöjä heti 30 %, jolloin vaikutus ilmastonmuutokseen on tehokkainta. Perheemme kohdalla 30 % säästö toteutui jo vuonna 2010, kun siirryimme päästöttömän sähkön ostoon ja kaukolämpö alkoi tulla pääosin kaasuvoimalasta. Tavoitteen 2 tonnia/henkilö saavuttaminen on mahdollista vuoteen 2020 mennessä.

9 MAAILMAN ENERGIATULEVAISUUS

9.1 TULEVAISUUDEN ENERGIASKENAARIOT

9.1.1 Vanhat ennusteet

Kun vuonna 1980 tein ”Voimaviesti”-lehteä ja Tammen ”Suomi Tänään” kirjaa varten (Kuva 9.1.1) arvion maailman energiantuotannosta vuoteen 2100 mennessä, usko uusiutuvan energian ja ydinvoiman mahdollisuuksiin oli jo silloin vankasti esillä. Silloin pelättiin hiilivetyjen, öljyn ja kaasun, loppuvan ja ydinenergiaa ja uusiutuvia energialähteitä tarvittiin niiden korvaajana.



Kuva 9.1.1 Maailman energiantuotanto vuoteen 2100 asti ”Suomi Tänään” kirjaan vuonna 1980 tekemäni arvion mukaan /9/.

Ennuste päättyi arvoon 17 TWa (13 Gtoe) vuonna 2000, 35 TWa (26 Gtoe) vuonna 2050 ja 50 TWa (38 Gtoe) vuonna 2100. Uusiutuvien energialähteiden osuuden arvioin olevan 20 % vuonna 2050 ja 40 % vuonna 2100. Ydinvoiman osuuden arvioin olevan 30 % vuonna 2050 ja 40 % vuonna 2100.

9 Maailman energiatulevaisuus

Arvion pohjana oli silloin oletus, että kaikki tunnetut fossiilisen energian varat käytetään ensin loppuun. Sen jälkeen siirrytään nopeasti ydinvoimaan ja myöhemmin uusiutuvien energialähteiden käyttöön. Näin kivihielestä tulee hiilivetyjen jälkeen tärkein energialähde.

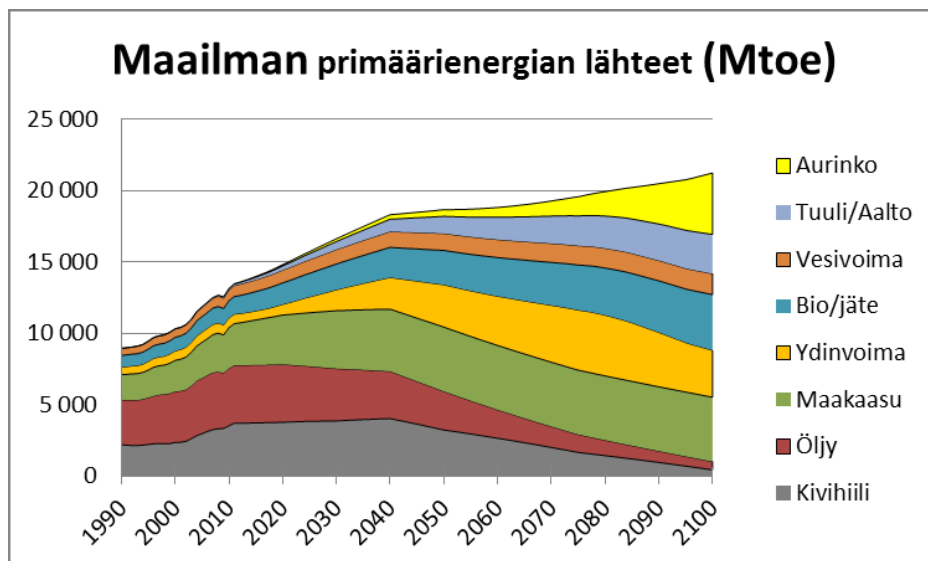
Energian tarpeen kasvu on ollut ennustettua hitaampaa. Vuonna 2010 primäärienergiaa käytettiin noin 13 Gtoe eli 17 TWa (Liite 7), joka oli sama kuin vuodelle 2000 tehty ennuste. Kasvu on ollut vuoden 1980 jälkeen vain 2 % vuodessa, kun Kuvan 9.1.1 ennusteessa kasvun arvioitiin jatkuvan 3 % vuodessa vuoteen 2000 asti.

Energiansäästöistä ja ilmastonmuutoksen hillinnästä tuli 1990-luvulla tärkeä tavoite valtioiden energiapolitiikassa. Esimerkiksi Suomi otti ensimmäisten joukossa käyttöön CO₂-verot vuonna 1990. Energiaverot ovat vaikuttaneet energian käytön kasvua hillitsevästi.

Säästetty energia on ollut ennen muuta ydinenergiaa, jonka tuotannon kasvu loppui Tshernobylin onnettomuuden jälkeen. Nyt voidaan arvioida, että ydinvoiman osuus on jäämässä puoleen vuoden 1980 arvioista. Puuttuva ydinenergian tuotanto on korvautumassa uusiutuvien energialähteiden avulla.

9.1.2 Uudet arviot

Tänään arvioin maailman primäärienergiatuotannon kehittyvän Kuvan 9.1.2 mukaisesti (Liite 7). Arvion pohjana on olettamus, että maat ryhtyvät aktiivisesti rajoittamaan CO₂-päästöjään ja tavoitteena on rajoittaa ilmaston lämpeneminen alle kahden asteeseen.



Kuva 9.1.2 Primäärienergian lähteet tulevaisuudessa.

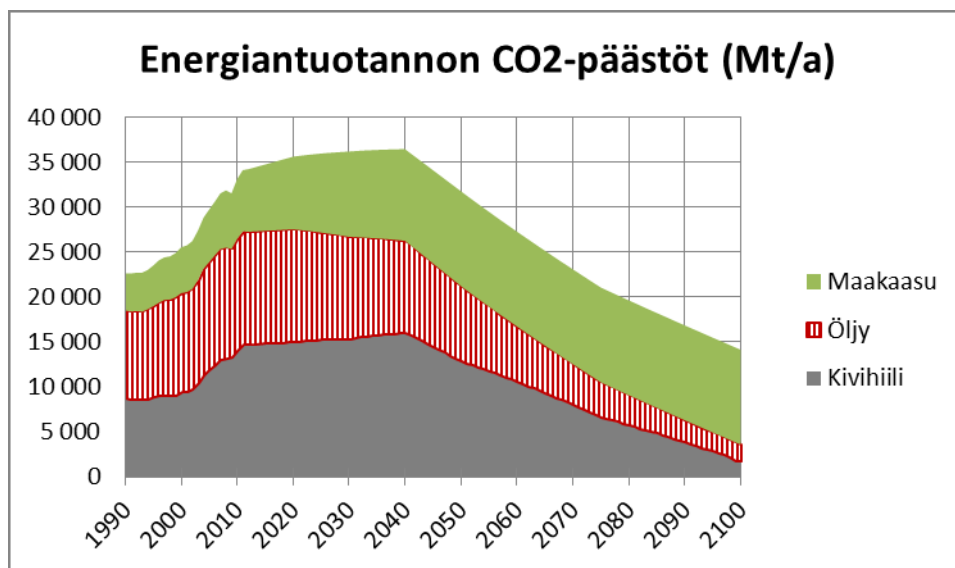
9 Maailman energiatulevaisuus

Primäärienergian tarve vuonna 2100 olisi tämän uuden ennusteen mukaan 21 Gtoe (28 TWa), joka on vain 55 % kuvan 9.1.1 ennusteesta. Kasvu olisi vuoteen 2040 asti 1 % vuodessa ja sen jälkeen noin 0,4 % vuodessa.

Tämän uuden ennusteen mukaan vuoden 2100 primäärienergian tarpeesta 59 % tuotetaan uusiutuvia energialähteitä ja 15 % ydinvoimaa käyttäen (Liite 7). Uusiutuvien energialähteiden kehitys voisi olla nopeampaa kuin vuonna 1980 arvioin ja ydinvoiman kehitys selvästi hitaampaa. Fossiilisten lähteiden osuus vuonna 2100 näyttää puolestaan olevan 26 % eli suurempi kuin vuoden 1980 arvio 20 %. Vuoden 1980 arviosta ovat maakaasun ja öljyn varannot kasvaneet merkittävästi. Nyt onkin pelättävissä, että uusiutuvan energian ja ydinvoiman kehitys jäävät sen takia taka-alalle.

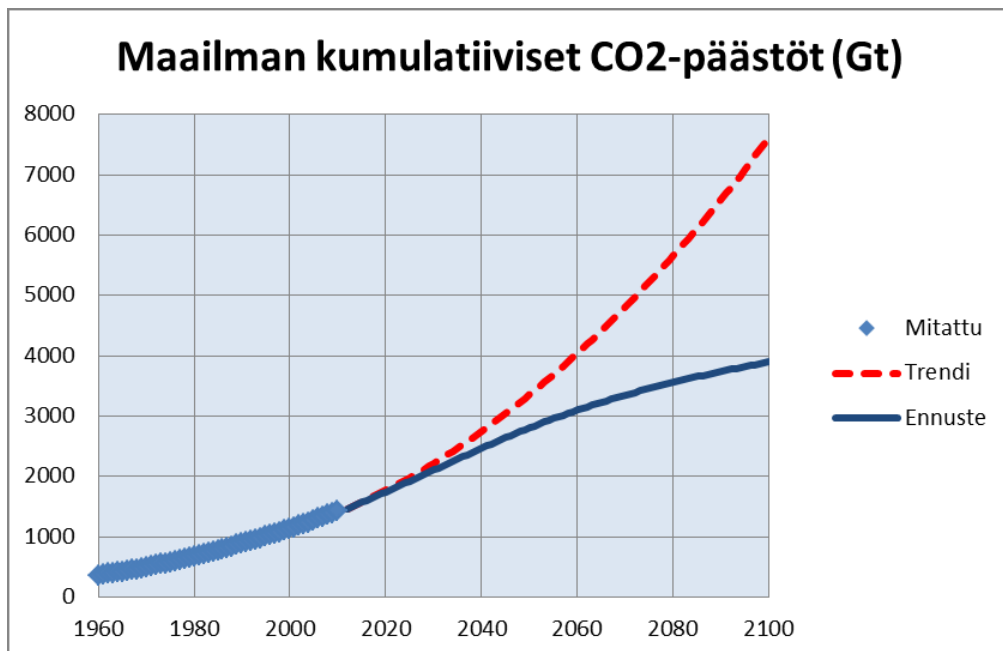
Uuden arvion taustalla on oletus, että CO₂-päästöt halutaan puolittaa viimeistään vuoteen 2100 mennessä. Silloin hiilivoiman käyttöä rajoitetaan voimakkaasti ja sitä korvataan lähinnä maakaasu-, aurinko-, tuuli- ja ydinvoiman avulla. Tämä voidaan tehdä esimerkiksi siten, että CO₂-päästöveroksi säädetään 50 €/tonni, jolloin jo käytössä olevat maakaasuvoimalat käynnistetään ennen hiilivoimaa eri maiden sähköjärjestelmissä.

Tämän uuden ennusteen mukaan CO₂-päästöt kasvavat maailmassa ainakin vuoteen 2040 asti (Kuva 9.1.3), jolloin päästöt ovat 36 Gt (4,2 t/capita). Sen jälkeen päästöt voisivat pienentyä hitaasti siten, että vuonna 2050 alitetaan nykyinen päästötaso, 34 Gt (3,8 t/capita). Vuonna 2100 CO₂-päästöt olisivat vielä 14 Gt (1,4 t/capita).

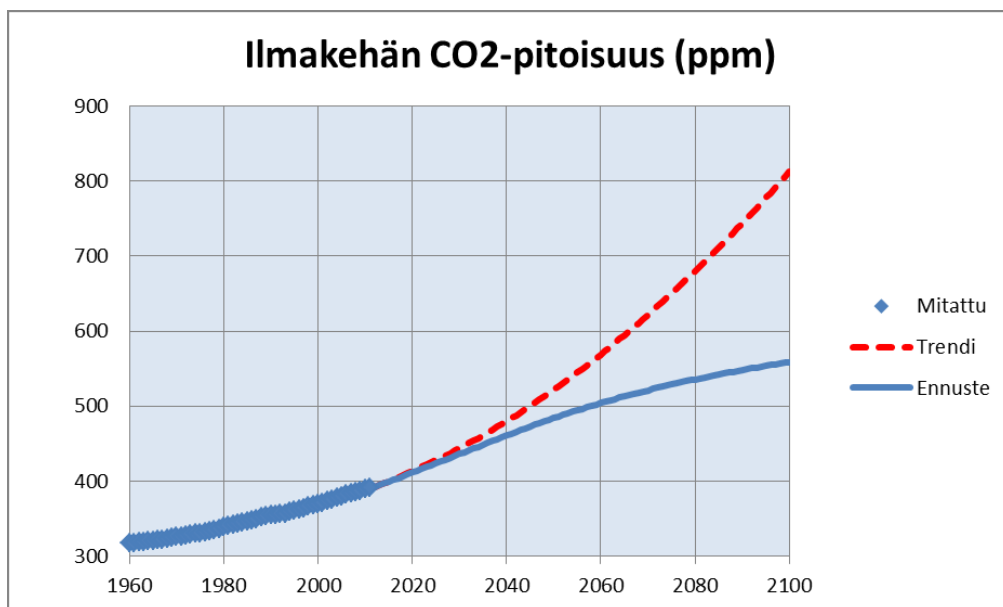


Kuva 9.1.3 CO₂-päästöjen kehitys.

9 Maailman energiatulevaisuus



Kuva 9.1.4 Maailman kumulatiiviset CO₂-päästöt vuoden 2010 jälkeen.

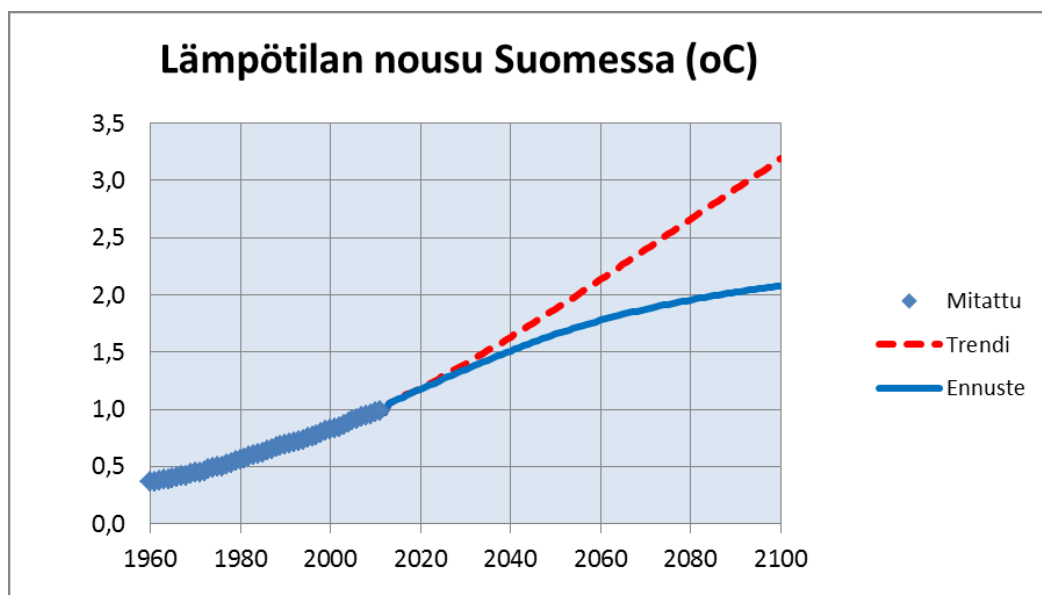


Kuva 9.1.5 Ilmakehän CO₂-pitoisuus.

9 Maailman energiatulevaisuus

Tehdyn energiaennusteen kumulatiiviset kokonaispäästöt ovat 4000 Gt vuodesta 1750 lähtien (Kuva 9.1.4). Tällöin ilmakehän CO₂-pitoisuus olisi vuonna 2100 noin 560 ppm (Kuva 9.1.5). Se olisi hieman yli suurempi kuin tavoitteena oleva 550 ppm.

Lämpötilan nousulle saadaan mallista $T = 6,8 \times \log(560/280)$ arvo 2,1 °C (Kuva 9.1.6). Jos ei ryhdytä tehokkaisiin toimiin päästöttömien energiamuotojen edistämiseksi, ilmakehän lämpötila nousee + 3,2 °C vuoteen 2100 mennessä. Tämä merkitsisi katastrofia, jolloin napa-alueet ja Siperian ikeirouta sulaisivat. CO₂-ongelman lisäksi seuraisi myös CH₄- eli metaaniongelma. Merenpinta nousisi ja hurrikaanit lisääntyisivät valtavasti.



Kuva 9.1.6 Ennustettu lämpötilan nousu Suomessa on 2,0 °C.

Päästöjen syntyä voi teoriassa rajoittaa energiareservien riittävyys. Vuonna 2012 tunnetut fossiiliset energiavarat olivat 10 826 PWh eli noin 1000 Gtoe (Taulu 9.1.1). Jos ne kaikki poltettaisiin, siitä syntyisi CO₂-päästöjä 3200 Gtoe. Kun tähän lisätään jo aiheutetut CO₂-päästöt (1400 Gt), tulisi kokonaispäästöiksi 4600 Gt.

Koska maailmasta kuitenkin löydetään koko ajan uusia fossiilisten polttoaineiden lähteitä, on luultavaa, että energiavarat kaksinkertaistuvat. Jos nämäkin varat poltetaan, saadaan kokonaispäästöiksi 1400 Gt + 2 x 3200 Gt eli 7800 Gt. Näin suuri päästö tarkoittaisi, että ilmakehän CO₂-pitoisuus olisi 850 ppm (Kuva 9.1.5) ja lämpötilan nousu 3,2 °C (Kuva 9.1.6).

9 Maailman energiatulevaisuus

Taulu 9.1.1 Tunnetut fossiilisten polttoaineiden varannot vuonna 2011 /2/.

Resurssi		Öljy Gt	Kaasu Tm3	Kivihiili Gt	Yhteensä
Tunnetut varat		234	208	861	
Energiamäärä	PWh	2 719	2 080	6 027	10 826
CO ₂ -sisältö	kg/MWh	262,8	198	342	
CO ₂ -päästö	GtCO ₂	715	412	2 061	3 188

Potentiaalisten kaasuvarojen on arveltu olevan jopa viisi kertaa tunnettuja varoja suuremmat, kun uutta liuskekaasutekniikkaa aletaan käyttää kaikkialla. Myös Euroopassa arvellaan olevan suuria kaasuvarantoja, joita ei ole aiemmin kannattanut hyödyntää.

Fossiiliset energialähteet voidaan korvata ydinvoimalla verrattain nopeasti Suomen mallin mukaisesti. Ydinvoiman ja biovoiman osuudet tulevat olemaan 25 % Suomen primäärienergian tuotannosta jo vuosina 2016–2020 ja niistä tulee samalla tärkeimmät primäärienergian lähteet.

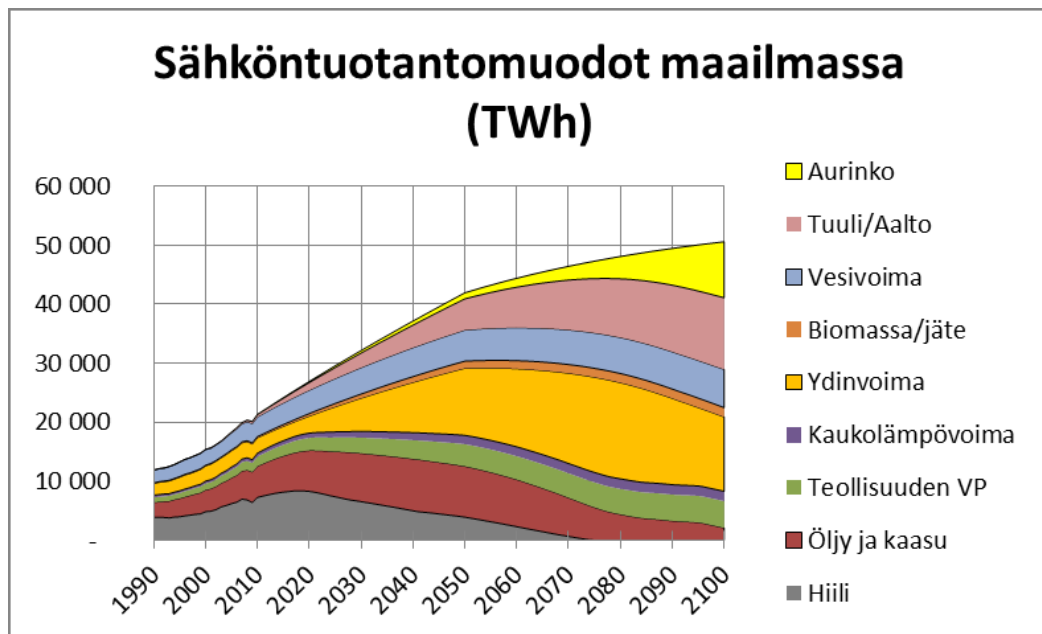
Uusiutuvista energialähteistä varsinkin tuulivoima, biovoima ja aurinkovoima kasvavat myös nopeasti. Niiden avulla tulisi kattaa pääosa primäärienergian tarpeen kasvusta.

9.1.3 Sähköntuotanto vuonna 2100

Edellä esitetty primäärienergian kulutuksen kehitysarvio pohjautuu vuonna 2011 tekemässäni kirjassani, ”*Planning of Nuclear Power Systems to Save the Planet*” /3/, esitettyyn suunnitelmaan siitä, kuinka maailma voidaan pelastaa lämpötilan nousulta.

Kirjan mukaan vuodelle 2100 tehdyssä suunnitelmassa maailmasta tuotetusta sähköstä ydinvoiman osuus on 25 %, tuuli/aaltovoiman osuus on 24 % ja aurinkoenergian osuus on 18 % (Liite 8 ja Kuva 9.1.7).

Suunnitelman mukaan kivihiili on merkittävin sähköntuotannon energialähde vuoteen 2020 asti. Jos CO₂-päästöjä halutaan vähentää, niin kivihiili täytyy korvata nopeasti ensin maakaasulla ja sen jälkeen ydinvoimalla. Jo 50 \$/tonni oleva CO₂-vero tekee maakaasun kivihiiltä edullisemmaksi myös USA:ssa.



Kuva 9.1.7 Sähköntuotanto maailmassa esitetyn suunnitelman /3/ mukaan.

Elokuussa 2012 USA:ssa kivihiili maksoi 46 \$/tonni eli noin 5 €/MWh EIA:n (http://www.eia.gov/electricity/monthly/epm_table_grapher.cfm?t=epmt_es2a) nettisivujen mukaan. Kun hiilivoimalan hyötysuhde on 38 %, tulee sähkön polttoainekustannuksiksi noin 13 €/MWh. Kun siihen lisätään CO₂-veroa 50 €/t, saadaan kivihiilisähkön muuttuviksi kustannuksiksi noin 61 €/MWh.

Maakaasun hinta oli 5 \$/Mcf eli noin 14 €/MWh. Kun maakaasuvoimalan hyötysuhde on 50 %, saadaan sähkön polttoainekustannuksiksi 28 €/MWh. Kun siihen lisätään CO₂-veroa 50 €/t, saadaan sähkön muuttuviksi kustannuksiksi 53 €/MWh. Tällöin kaasusähkö olisi yli 10 % edullisempaa kuin kivihiilisähkö.

Jos CO₂-verot nostetaan tasolle 100 €/tonni, myös vanhat kivihiilivoimalaitokset kannattaa poistaa käytöstä. Sama asia voidaan tehdä asettamalla CO₂-päästöille tiukemmat päästönormit. Maakaasusta tulee suunnitelman mukaan tärkein sähköntuotannon energialähde vuosille 2020–2040, jolloin kaasun osuus olisi 26–30 % sähköntuotannosta.

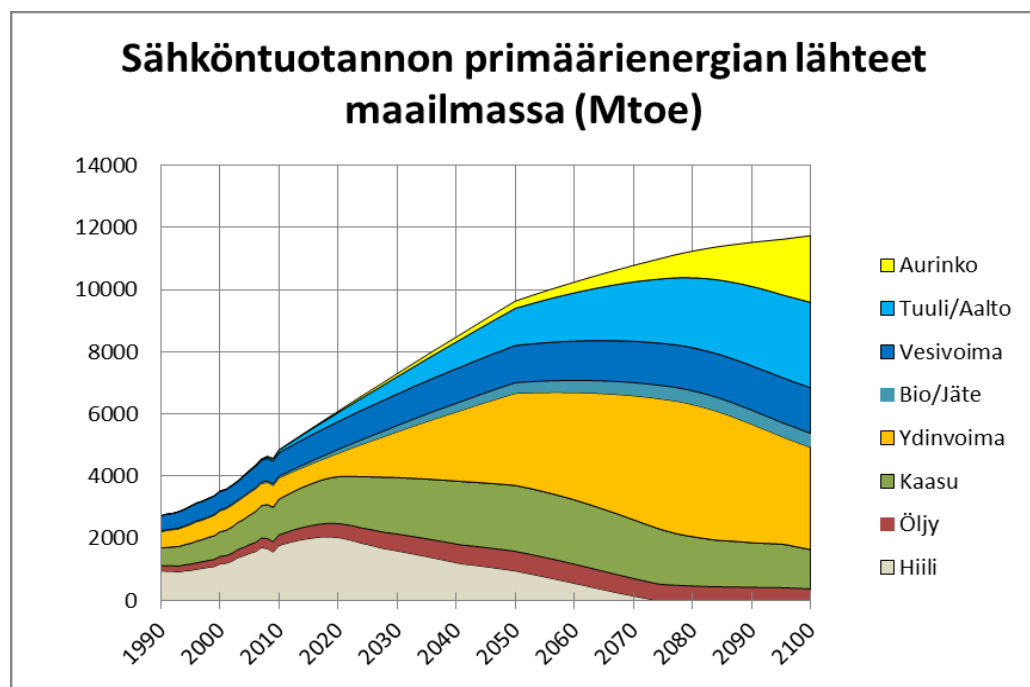
Maakaasu on ennen muuta järkevä polttoaine yhdistetyssä sähkön- ja lämmön- sekä säätövoiman tuotannossa. Se voi myös korvata kivihiilen erillisessä sähköntuotannossa, jos maakaasuvoimalan muuttuvat kustannukset tehdään CO₂-verotuksen avulla hiilivoimaa halvemmiksi.

9 Maailman energiatulevaisuus

Suunnitelman mukaan ydinvoima ohittaisi maakaasun tärkeimpänä sähköntuottajan vuonna 2050, jolloin ydinvoiman osuus olisi 25–35 % sähkön tuotannosta vuosina 2050–2100. Ilman ydinvoiman lisäystä fossiilisten polttoaineiden käyttö lisääntyisi vuoteen 2050 asti voimakkaasti. Ydinvoiman tuotannon kasvu on hidasta, koska tyypillinen ydinvoimalaprojekti kestää kymmenen vuotta.

Ydinvoiman jälkeen tulee tärkeimmäksi sähköntuotannon lähteeksi ensin tuuli- ja aaltovoima vuosina 2100–2150 ja lopulta aurinkosähkö suunnilleen vuodesta 2150 alkaen. Vaikka tuulivoiman ja aurinkosähkön rakentaminen edistyy nopeasti, vaatii kuitenkin monta kymmentä vuotta ennen kuin ne nousevat merkittäviksi sähkönlähteiksi koko maailman mittakaavassa.

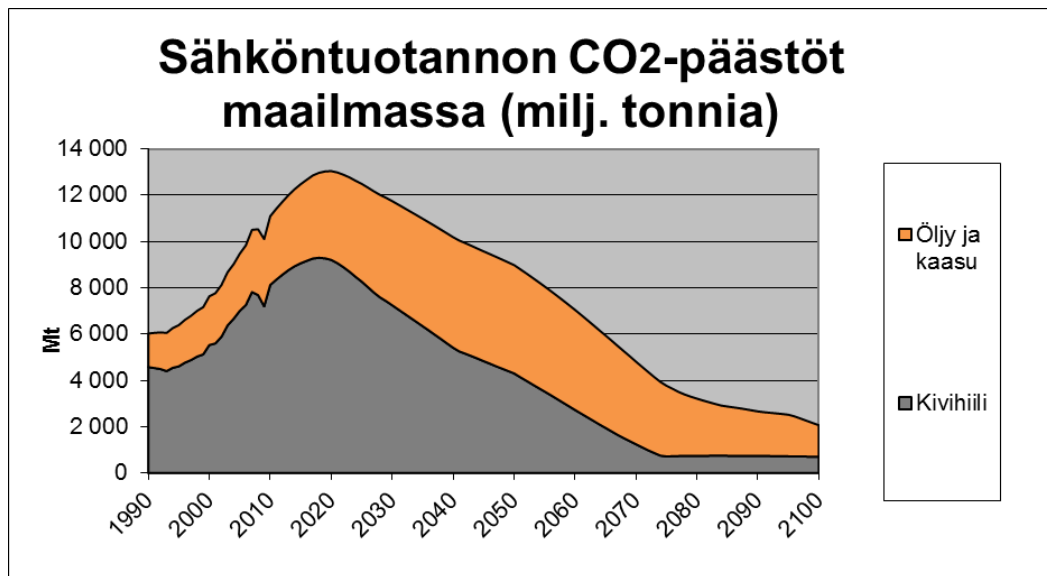
Sähköntuotannon primäärienergian lähteet kehittyvät suunnitelman mukaan siten, että fossiilisten polttoaineiden käyttö alkaa vähentyä vuodesta 2020 alkaen (Kuva 9.1.8). Niitä korvataan ydinergian ja uusiutuvien energian avulla vähitellen. Sähköntuotanto käytti vuonna 2010 noin 37 % primäärienergiasta. Tämä osuus kasvaa ja sähkön osuus vuoden 2100 primäärienergiasta olisi noin 55 %.



Kuva 9.1.8 Sähköntuotannon primäärienergian lähteet.

9 Maailman energiatulevaisuus

Sähköntuotannon aiheuttamat CO₂-päästöt maailmassa kasvavat joka tapauksessa vuoteen 2020 asti, jolloin niiden huippu olisi 13 Gigatonnia (Kuva 9.1.9). Tällöin sähköntuotannon ominaispäästöt maailmassa olisivat 480 gCO₂/kWh. Tämän jälkeen päästöt vähenevät nopeasti ydinvoiman ja uusiutuvan energian ansiosta. Vuonna 2100 CO₂-päästöt olisivat 2 Gigatonnia eli noin 40 gCO₂/kWh.



Kuva 9.1.9 Sähköntuotannon aiheuttamat CO₂-päästöt maailmassa /3/

Sähköntuotanto aiheutti vuonna 2010 noin 33 % energiantuotannon CO₂-päästöistä. Sähköntuotannon päästöjä on kuitenkin mahdollista leikata, koska monet energian lähteet, esimerkiksi vesi-, tuuli- ja ydinvoima, ovat käytettävissä vain sähköntuotannon yhteydessä.

9.2 ENERGIASYKLIT

9.2.1 Puun aikakausi

Maailman energiatuotannossa on havaittavissa pitkiä syklejä, joiden mukaan vuosisatojen energiahuolto kulkee. Alun perin tultiin toimeen pelkästään uusiutuvia energialähteitä, lähinnä puuta käyttämällä. Puun avulla lämmitettiin asuntoja ja tehtiin ruokaa. Näin tapahtuu vieläkin monessa kehittyvässä maassa, joissa ei ole sähköä.

Puuta alettiin käyttää myös höyrykoneiden energianlähteensä laivoissa ja junissa 1800-luvulla. Suomessakin junien pääasiallinen energialähde oli koivuhalot aina 1950-luvulle asti.

Nyt puuta on opittu käyttämään myös sähkön tuotantoon. Puu on ollut tärkein polttoaine useimmissa sähköä ja lämpöä tuottavissa voimalaitoksissa. Vuonna 2011 puupolttoaineiden osuus sähköä ja lämpöä tuottavien yhteistuotantolaitoksien polttoaineista oli noin 20 % ja kaukolämmön polttoaineista 23 %.

9.2.2 Hiilen aikakausi

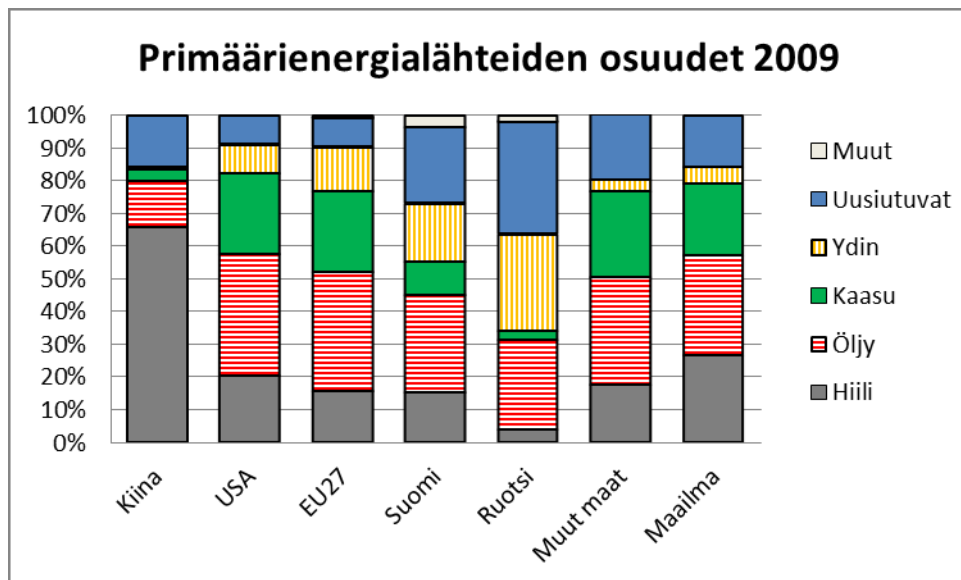
Höyrykoneiden vallankumous aloitti kivihiilen käytön kasvun 1800-luvulla. 1880-luvulla kivihielestä tuli tärkein kaupallinen energialähde. Höyrykoneiden avulla alkoi myös maailman teollinen vallankumous.

Kun höyryturpiinit otettiin käyttöön, hielestä tuli sähköntuotannon tärkein energialähde 1900-luvun alkuvuosina. Edelleenkin hiili on säilyttänyt asemansa sähköntuotannon tärkeimpänä energialähteenä useimmissa maissa. Noin 45 % maailman sähkön- tuotannosta perustuu edelleen kiinteisiin polttoaineisiin.

Vuonna 2009 kivihiili oli edelleen tärkein primäärienergian lähde monissa EU:n ulkopuolisissa maissa (Kuva 9.2.1). Kiinassa hiilen osuus oli vuonna 2009 vielä 66 % ja Kiinan takia kivihiilen käyttö kasvaa edelleen voimakkaasti.

Myös USA:ssa hiilen osuus oli vuonna 2009 vielä 21 %, kun EU:ssa sen osuus oli enää 16 % (Liite 9.1). EU:ssa on tiedostettu kivihiilen aiheuttamat päästöongelmat aiemmin ja ryhdytty toimiin hiilen käytön vähentämiseksi päästömaksujen avulla.

Suomessa hiilen osuus oli vuonna 2009 vielä 15 %. Ruotsissa hiilen osuus oli enää vain 4 %, kun pääosa sähköstä tuotettiin päästöttömästi ydin- tai vesivoiman avulla. Suomen on mahdollista päästä samaan 2020-luvulla, kun suunnitteilla olevat uudet ydinvoimalat valmistuvat ja tuulivoimasta tulee tärkeä energialähde sähköntuotannossa.



Kuva 9.2.1 Primäärienergiälähteiden osuuden vuonna 2009.

9.2.3 Öljyn aikakausi

Kivihiihikautta kesti noin 90 vuotta. 1960-luvulla öljystä tuli maailman tärkein energialähde ja se kattoi vuonna 2010 noin 30 % maailman primäärienergian kaupallisesta tuotannosta (Liite 9.1). Puhuttiin öljyn tai hiilivetyjen aikakaudesta.

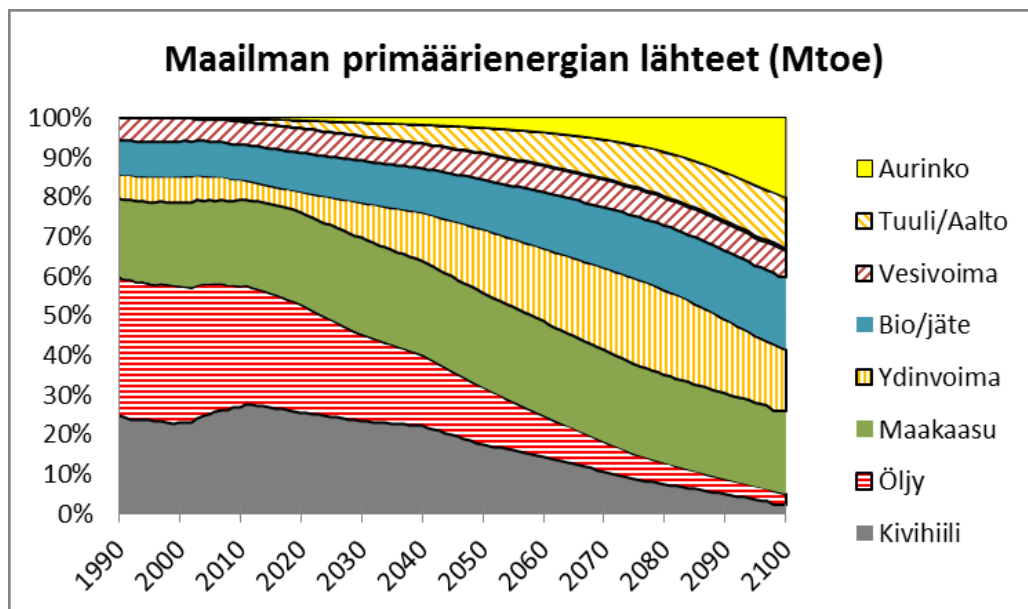
Öljy sopii ihanteellisesti myös junien, laivojen ja autojen polttoaineeksi. Öljystä tuli myös yleisin kiinteistöjen lämmityksen polttoaine. Mantereella öljyvarannot hupenevat kuitenkin jatkuvasti ja tuotanto siirtyy yhä syvemmillä vesillä. Tämän takia öljyn hinta on noussut jatkuvasti. Hinnannousu on siirtämässä öljyn käytön pois lämmityksestä lähinnä liikenteen polttoaineeksi. Tämän vuoksi öljyn osuus primäärienergian lähteistä jatkaa laskuaan myös tulevaisuudessa.

Öljystä ei varsinaisesti tule pulaa lähiaikoina, koska nykyiset öljyvarannot riittävät yli 50 vuodeksi nykyisellään käytöllä. Jos käyttö vähenee esimerkiksi prosentin vuodessa, öljyä riittää vielä sadaksi vuodeksi, vaikka uusia lähteitä ei löydetäisi.

Uusia öljylähteitä löydetään edelleen lisää ja esimerkiksi USA:sta on tulossa lähiaikoina maailman tärkein öljyntuottaja liuskeöljyn ansiosta. Liuskeöljyn tuotantoa ollaan tutkimassa myös Euroopassa ja Pohjanmeren kentillä.

9.2.4 Maakaasun aika

Maailma on siirtymässä koko ajan kevyempien energiamuotojen käytön suuntaan. Maakaasun (CH₄) energiasisällöstä puolet on hiiltä ja puolet vetyä. Maakaasun osuus maailman sähköntuotannosta on kasvanut koko ajan. Samalla energian vetyosuus on kasvanut jatkuvasti. Jos trendi jatkuu samanlaisena, maakaasusta on tulossa tärkein energialähde vuosien 2020 ja 2030 välillä (Kuva 9.2.2). Maakaasuaika jatkuisi ennusteen mukaan aina vuoteen 2100 asti.



Kuva 9.2.2 Energialähteiden osuudet primäärienergiasta.

Maakaasusta on tullut myös omakotitalojen tärkein lämmönlähde Keski-Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa. Maakaasun osuus oli 22 % maailman primäärienergian tuotannosta vuonna 2010 (Liite 7). Monessa Euroopan maassa kaasun osuus oli vuoden 2010 primääri-energian käytöstä öljyä suurempi. Tällaisia maita olivat mm. Venäjä, Ukraina, Unkari, Romania, Turkki ja Englanti.

Maakaasuvarannot ovat kasvaneet viime vuosina, kun maakaasua keksittiin tuottaa liuskekaasusta. Vuonna 2000 USA:n kaasuvarojen arvioitiin olevan 5000 mrd. m³, mutta vuonna 2011 niiden arvioitiin olevan 70 % suuremmat eli 8500 mrd. m³. Liuskekaasun avulla esimerkiksi USA:sta on tulossa nesteytetyn maakaasun (LNG) viejä, kun se aiemmin joutui tuomaan suuren osan kaasusta.

Maakaasuvarat riittävät nykyisellä käytöllä seuraavat 60 vuotta. Kuitenkin uusia maakaasuvaroja löydetään koko ajan lisää. Vuonna 1990 maailman kaasuvarat olivat 125.000 mrd. m³ ja vuonna 2011 noin 208.000 mrd. m³, vaikka kaasun käyttö on

9 Maailman energiatulevaisuus

kasvanut koko ajan. Näin ollen on oletettu, että maakaasun käyttö säilyy suunnilleen samalla tasolla vuoteen 2100 asti. Sillä on suuri markkinapotentiaali kivihiiltä korvaavana voimalaitospolttoaineena.

9.2.5 Ydinenergian aika

Fossiilisten polttoaineiden jälkeen alkaa ydinvoiman aika monissa maissa. Vaikka ydinvoiman osuus oli vuonna 2010 vain 5 % koko maailman primäärienergiasta, niin Ranskassa siitä oli tullut jo tärkein energialähde. Ydinenergian osuus Ranskan primäärienergian kulutuksesta vuonna 2009 oli noin 40 %, kun öljyn osuus oli 34 % (Liite 9.2).

Suomen primäärienergian lähteistä vuonna 2009 oli öljyn osuus 29 % ja ydinvoiman osuus 18 % (Liite 9.2). Vuoteen 2017 mennessä öljyn osuus pienenee edelleen ja ydinvoiman osuus suurenee, kun viides ydinvoimala valmistuu. Tällöin ydinenergiasta tulee Suomessakin tärkein primäärienergian lähde, jolloin ydinvoima kattaa noin 25 % Suomen primäärienergian tarpeesta ja 45 % sähköntarpeesta. Kun kuudes ydinvoimala otetaan käyttöön 2020-luvulla, noin kolmannes primäärienergian tarpeesta ja yli puolet sähköstä katetaan ydinvoimalla.

Ydinvoiman osuus nousee merkittäväksi maissa, jossa on suuri sähköverkko. Tällaisia ovat EU, Yhdysvallat, Venäjä, Japani ja Kiina. Ennusteen mukaan noin 30 % sähköstä tehdään näissä maissa ydinvoimalla vuonna 2050. Mutta on paljon maita, joihin ydinvoima ei sovellu, koska niissä sähköverkko on liian heikko. Ydinvoiman vahvuus on alueilla, joissa on pitkä kylmä talvi ja auringon laajamittainen hyödyntäminen on vaikeaa.

Monissa maissa ydinvoimaa ei oteta käyttöön lainkaan ja niissä siirrytään suoraan uusiutuvan energian aikaan. Uusiutuva energia on oikeastaan auringon säteilyyn perustuvaa fuusiovoimaa. Aurinko on kaukana sijaitseva fuusioreaktori, joka perustuu vedyn isotooppien deuteriumin (^2H) ja tritiumin (^3H) yhdistymisessä syntyvään fuusioenergiaan. On myös mahdollista, että fuusiovoimasta tulee joskus merkittävä energiatuottaja tulevaisuuden ydinvoimaloissa.

Ensimmäinen kokeiluvoimala, ITER, on jo rakenteilla Ranskassa. Voimalan kustannusarvio on 13 mrd. euroa ja sen pitäisi tuottaa sähköä vuonna 2027. Ei ole kuitenkaan varmaa, onko sen tuottama sähkö yhtä edullista kuin aurinkokennojen sähkö. Aurinkokennot edustavat jo tänään täysin kaupallista fuusioenergian sovellutusta.

9.2.6 Aurinkoenergian aika

Uusiutuvia energialähteitä ovat biovoima, vesivoima, tuulivoima ja aurinkoenergia. Niiden osuus oli vuonna 2009 noin 16 % maailman primäärienergian tarpeesta ja 9 % EU:n energiasta (Liite 9.2). EU:n välitavoitteena on nostaa uusiutuvan energian osuus

9 Maailman energiatulevaisuus

20 %:iin vuoteen 2020 mennessä eli yksi prosenttiyksikkö vuodessa. Samalla tahdilla vuoteen 2050 mennessä uusiutuvan energian osuus voisi olla 50 % koko maailmassa.

Uusiutuvat energialähteet olivat vuonna 2009 suurin primäärienergiälähde Ruotsissa ja Latviassa, joissa niiden osuudet olivat 34 % ja 36 % vastaavasti. Itävallassa ja Suomessa uusiutuvien osuus oli vuonna 2009 vastaavasti 27 % ja 23 %, mutta niiden osuus kasvaa koko ajan.

Tuulivoimasta on tulossa merkittävä energialähde sähköenergian tuotannossa. Tanskassa jo yli viidennes sähköstä tehdään tuulivoimalla. Tanska tavoittelee 50 %:n osuutta vuonna 2030. Tuulivoiman avulla maailman sähköntarpeesta voidaan kattaa 25 % vuoteen 2050 mennessä.

Aurinko on tuottanut välillisesti tähän mennessä lähes kaiken käyttämämme energian. Fossiiliset polttoaineet ovat kauan sitten varastoitunutta aurinkoenergiaa. Nyt me käytämme tuon varaston loppuun seuraavien kahden vuosisadan aikana. Sen jälkeen jää jäljelle vain aurinkoenergia ja ydinvoima.

Auringosta voidaan tulevaisuudessa konvertoida suoraan tai välillisesti kaikki se energia, jonka ihmiskunta tarvitsee. Bioenergia on tämän päivän tärkein välillinen aurinkoenergiamuoto. Vesivoima ja tuulivoima perustuvat myös välillisesti auringon säteilyyn.

Tulevaisuudessa yhä suurempi osuus sähköstä tuotetaan tuulivoimalla tai aurinkokennojen avulla suoraa auringon säteilyä hyödyntäen. Aurinkoenergiasta tulee tärkein energialähde siellä, missä aurinko paistaa runsaasti. Aurinkokennot ovat tänään suhteellisesti nopeimmin kasvava energiamuoto. On mahdollista, että päiväntasaajan lähellä olevissa maissa siitä tulee tärkein sähköntuotantomuoto lähitulevaisuudessa.

Uusiutuvat energialähteet ohittavat maakaasun maailman tärkeimpänä energialähteenä vuonna 2040, jolloin niiden molempien osuus olisi noin 24 % primäärienergiasta. Tällöin primäärienergiasta tuotettaisiin 13 % bioenergialla, 6 % vesivoimalla, 6 % tuuli ja aaltovoimalla sekä 2 % aurinkoenergialla.

Aurinkoenergiasta tulee tämän arvion mukaan tärkein primäärienergian muoto vuonna 2100, jolloin se voisi ohittaa maakaasun tärkeimpänä lähteenä. Aurinkoenergiaa tuotetaan moni tavoin, joista tärkeimpiä ovat aurinkosähkö ja aurinkolämpö. Uusi tapa olisi tuottaa aurinkosähköä esimerkiksi Saharassa ja muuttaa sähkö vedyksi. Vetyä voitaisiin hyödyntää kaasuverkoissa ja tulevaisuuden polttokennoautoissa.

Auringon säteilyenergia Välimeren etelärannikolla on noin 2000 kWh/m² vuodessa. Jos aurinkokennojen hyötysuhde on 4 %, sähköä saadaan 80 kWh/m² eli 0,08 TWh/km². Maailman sähköntarve on tänään noin 23 000 TWh, jolloin 290 000 km² (23.000 TWh/0,08 TWh/m²) maa-ala riittäisi koko maailman sähköntarpeen tuottamiseen.

9 Maailman energiatulevaisuus

Tarvittava maa-ala olisi kooltaan 550 km x 550 km eli Suomea pienempi. Toisaalta Afrikan mantereen leveys on Saharan autiomaan kohdalla noin 4000 km, jolloin tarvittava pinta-ala saadaan, jos aurinkokennoja käsittävä voimala olisi sijoitettuna sinne 75 km levyiselle kaistalle.

Maailmassa käytetään öljyä ja kaasua 4000 Mtoe ja 2800 Mtoe vuodessa vastaavasti. Kaiken tarvittavan öljyn ja kaasun (90 000 TWh) tekemiseen tarvittaisiin 1600 000 km² (90 000 TWh/0,08 TWh/km²/0,7) maata, jos vedyn konversion hyötysuhde olisi 70 %.

Kaiken tarvittavan kaasun ja öljyn tuottamiseen tarvittava alue olisi noin Pohjoismaiden kokoinen (1300 km x 1300 km). Vastaavasti Afrikassa tarvittaisiin noin 400 km levyinen kaistale, joka ulottuisi Atlantin rannikolta Punaiselle merelle.



Kuva 9.2.3 Saharaan sijoitettu aurinkopaneelivoimala, joka olisi kooltaan 4000 km pitkä ja 500 km leveä, riittäisi maailman energiantarpeen tyydyttämiseen loputtomasti.

9.3 YHTEENVETO

Maailman energiantuotanto on kasvanut vuoden 1980 jälkeen noin 2 % vuodessa. Vaikka kasvu pienenee tulevaisuudessa välille 0,5 - 1 % vuodessa, primäärienergian tarve kasvaa noin 60 % vuoteen 2100 mennessä. Sähkön tarve kasvaa primäärienergian tarvetta nopeammin ja kaksinkertaistuu vuoteen 2050 mennessä.

Maailmassa tarvitaan edelleen runsaasti energiaa, jotta köyhyys voidaan poistaa. Kasvun kärjessä ovat kehitysmaat sekä ennen muuta Aasian jättiläiset Kiina ja Intia. Mielestäni kehitysmailla on oikeus lisätä energiantuotantoa. Energiantarpeen kasvusta sinänsä ei kannata olla huolissaan. Energiaa kyllä riittää vaikka energiantarve kasvaa koko ajan.

Jotta ympäristön lämpeneminen saadaan pidettyä 2 °C rajoissa, tulee fossiilisten energiamuotojen, hiilen, kaasun ja öljyn, käyttöä vähentää radikaalisesti. Maailmassa pitää valtaosa uudesta energiatuotannosta rakentaa käyttäen CO₂-vapaita energiantuotantomuotoja. Näitä ovat vesivoima, biovoima, ydinvoima, tuulivoima ja aurinkoenergia.

Ydinvoima on tärkein primäärienergian lähde Ranskassa. Siitä tulossa tärkein primäärienergian lähde myös Suomessa jo vuonna 2017, kun Olkiluoto 3 ydinvoimala valmistuu. Samalla tavalla ydinvoima voi tulla merkittävimmäksi energialähteeksi etenkin teollisuusmaissa. Varsinkin Kiina ja Venäjä aikovat rakentaa runsaasti uusia ydinvoimalaitoksia.

Uusiutuvat energialähteet tulevat tärkeimmäksi energialähteiksi varsinkin päivän-tasaajan lähellä olevissa kehitysmaissa. Niiden avulla kehitysmaat voivat tuottaa suurimman osan sähkötarpeestaan jo lähitulevaisuudessa. Saharaan sijoitetut aurinkopaneelit voisivat tuottaa myös kaiken maailmassa tarvittavan sähkön sekä kaasun ja öljyn, jos ne korvattaisiin aurinkosähkön avulla tehdyllä vedyllä.

Myös Suomessa uusiutuvien energialähteiden käyttö kasvaa. Suomessa tärkein uusiutuvan energian muoto on bioenergia, josta on tulossa tärkein energiamuoto kaukolämmöntuotannossa sekä yhdistettyjen sähköä ja lämpöä tuottavien voimalaitosten polttoaineena. Vuonna 2020 biovoima voi ohittaa myös ydinvoiman maan tärkeimpänä energialähteenä.

Jos Suomen kuudes ja seitsemäs ydinvoima valmistuvat 2020-luvulla, ydinvoimasta tulee Suomelle tärkein energianlähde, jolloin sen avulla tuotetaan yli puolet maan tarvitsemasta sähköstä ja kolmannes primäärienergiasta.

LÄHDEKIRJALLISUUTTA

- /1/ *Energiatilasto 2011. Tilastokeskus.*
- /2/ *Statistical Data 2012. BP 2012*
- /3/ *Asko Vuorinen. "Planning of Nuclear Power Systems to Save the Planet". Ekoenergo Oy. 2011. www.ekoenergo.fi*
- /4/ *Asko Vuorinen. "Planning of Optimal Power Systems 2009 Edition". Ekoenergo Oy. 2008, www.ekoenergo.fi*
- /5/ *Suomen Tilastollinen vuosikirja 2012. Tilastokeskus*
- /6/ *Uuden auton kulutustiedot. Ekoake. Marraskuu 2012*
- /7/ *Kotitalouksien sähkönkäyttö 2011, Adato 26.2.2013*
- /8/ *Epämiellyttävä totuus. Elokuva Al Gore 2006*
- /9/ *Suomi Tänään Tammi 1982*
- /10/ *Power Reactor Information System (PRIS). IAEA. Internet-tiedosto.*
- /11/ *HSL. Helsingin seudun liikenteen ympäristöraportti 2010.*
- /12/ *EU Energy Portal. www.energy.eu*
- /13/ *J. Beer, W. Mende, R. Stellmacher. The role of the sun in climate forcing. Quarterly Science Review. 2000*

Yksiköiden etuliitteet

k	kilo	1 000	10^3
M	Mega	1 000 000	10^6
G	Giga	1 000 000 000	10^9
T	Tera	1 000 000 000 000	10^{12}
P	Peta	1 000 000 000 000 000	10^{15}

LIITTEET

Liite 1 Sähkötuotantokustannukset

Liite 1.1 Sähkötuotantokustannukset 7500 h/a

Liite 1.2 Sähkötuotantokustannukset 500 h/a

Liite 1.3 Sähkötuotantokustannukset yhdistetyssä tuotannossa 5000 h/a

Liite 1.4 Kaukolämpödinvoimalan kustannukset

Liite 1.5 Ydinvoima / lämpöpumppuhybridi

Liite 1.1 Sähköntuotannon kustannukset pohjavoimakäytössä (7500 h/a).

Polttoaine Tyyppi		Ydin- lauhdutus	Kivihiili- lauhdutus	Maakaasu- kombi	Tuulivoima maalla	Tuulivoima merellä
Suoritusarvot						
Sähkäteho	MW	1100	500	300	30	30
Hyötysuhde	%	35 %	42 %	53 %		
Polttoaineteho	MW	3 143	1 190	566		
CO2-sisältö	kg/MWh	-	341	198	-	-
Tuotanto						
Käyttötunnit	h/a	7 500	7 500	7 500	2 500	3 000
Sähkön tuotanto	GWh	8 250	3 750	2 250	75	90
Polttoaineenkulutus	GWh	23 571	8 929	4 245		
CO2-päästöt	kt	-	3 041	841	-	-
Hinnat						
Sähkö	€/MWh	60	60	60	60	60
Lämpö	€/MWh					
Polttoaine	€/MWh	2,5	12	35		
CO2-vero	€/t	20	20	20		
Valmisteverot	€/MWh	-	-	-	-	-
Käyttökustannus	€/MWh	8	10	7	11	15
Investointi	€/kW	5 000	1 600	800	1 500	2 000
Tuotot						
Sähkö	k€	495 000	225 000	135 000	4 500	5 400
Käyttökustannukset						
Polttoaine	k€	57 750	107 143	148 585		
CO2-verot	k€	-	60 814	16 827	-	-
Valmisteverot	k€	-	-	-		
Käyttö	k€	66 000	37 500	15 750	825	1 350
Yhteensä	k€	123 750	205 457	181 162	825	1 350
	€/MWh	15,0	54,8	80,5	11,0	15,0
Käyttökate	k€	371 250	19 543	- 46 162	3 675	4 050
Investointi	k€	5 500 000	800 000	240 000	45 000	60 000
Käyttöaika	a	40	30	30	25	25
Pääomakustannukset	k€	320 530	52 041	15 612	3 193	4 257
Laskentakorko 5 %	€/MWh	38,9	13,9	6,9	42,6	47,3
Tuotantokustannukset	k€	444 280	257 498	196 774	4 018	5 607
Omakustannushinta	€/MWh	53,9	68,7	87,5	53,6	62,3
Takaisinmaksuaika	a	14,8	40,9	- 5,2	12,2	14,8

Liite 1.2 Huippu- ja varavoiman kustannukset (500 h/a).

Polttoaine Tyyppi		Maakaasu kombi	Maakaasu moottori	Raskasöljy moottori	Bioöljy moottori	Dieselöljy moottori
Suoritusarvot						
Sähkäteho	MW	250	120	120	120	120
Hyötysuhde	%	53 %	42 %	42 %	42 %	42 %
Polttoaineteho	MW	472	286	286	286	286
CO2-sisältö	kg/MWh	341	198	284	-	273
Tuotanto						
Käyttötunnit	h/a	500	500	500	500	500
Sähkön tuotanto	GWh	125	60	60	60	60
Polttoaineenkulutus	GWh	236	143	143	143	143
CO2-päästöt	kt	80	28	41	-	39
Hinnat						
Sähkö	€/MWh	220	220	220	220	220
Lämpö	€/MWh					
Polttoaine	€/MWh	35	35	50	70	70
CO2-vero	€/t	20	20	20	20	20
Valmisteverot	€/MWh	-	-	-	-	-
Käyttökustannus	€/MWh	10	7	10	10	10
Investointi	€/kW	800	600	800	700	600
Tuotot						
Sähkö	k€	27 500	13 200	13 200	13 200	13 200
Käyttökustannukset						
Polttoaine	k€	8 255	5 000	7 143	10 000	10 000
CO2-verot	k€	1 606	566	811	-	780
Valmisteverot	k€	-	-	-	-	-
Käyttö	k€	1 250	420	600	600	600
Yhteensä	k€	11 111	5 986	8 553	10 600	11 380
	€/MWh	88,9	99,8	142,6	176,7	189,7
Käyttökate	k€	16 389	7 214	4 647	2 600	1 820
Investointi	k€	200 000	72 000	96 000	84 000	72 000
Pääomakustannukset	k€	13 010	4 684	6 245	5 464	4 684
(5 %, 30 v.)	€/MWh	104,1	78,1	104,1	91,1	78,1
Tuotantokustannukset	k€	24 121	10 670	14 798	16 064	16 064
Omakustannushinta	€/MWh	193,0	177,8	246,6	267,7	267,7
Takaisinmaksuaika	a	12,2	10,0	20,7	32,3	39,6

Liite 1.3 Yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotantokustannukset (5000 h/a)

Polttoaine Tyyppi		Kivihiili Lämmitys	Puuhake Lämmitys	Maakaasu Kombi	Maakaasu Moottori	Maakaasu Turbiini
Suoritusarvot						
Sähköteho	MW	60	60	100	50	40
Lämpöteho	MW	120	120	100	50	70
Yhteensä	MW	180	180	200	100	110
Hyötysuhde	%	85 %	85 %	85 %	85 %	85 %
Polttoaineteho	MW	212	212	235	118	129
CO2-sisältö	kg/MWh	341	-	198	198	198
Tuotanto						
Käyttötunnit	h/a	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000
Sähkön tuotanto	GWh	300	300	500	250	200
Lämmön tuotanto	GWh	600	600	500	250	350
Tuotanto yhteensä	GWh	900	900	1 000	500	550
Polttoaineenkulutus	GWh	1 059	1 059	1 176	588	647
CO2-päästöt	kt	361	-	233	117	128
Hinnat						
Sähkö	€/MWh	60	60	60	60	60
Lämpö	€/MWh	40	40	40	40	40
Polttoaine	€/MWh	12	18	35	35	35
CO2-vero	€/t	20	20	20	20	20
Valmisteverot	€/MWh	18,4	-	9,0	9,0	9,0
Käyttökustannus	€/MWh	12,0	10,0	7,0	7,0	7,0
Investointi	€/kW	1 800	2 000	800	800	800
Tuotot						
Sähkö	k€	18 000	18 000	30 000	15 000	12 000
Lämpö	k€	24 000	24 000	20 000	10 000	14 000
Yhteensä	k€	42 000	42 000	50 000	25 000	26 000
Vuosikustannukset						
Polttoaine	k€	12 706	19 059	41 176	20 588	22 647
CO2-verot	k€	7 212	-	4 663	2 332	2 565
Käyttö	k€	3 600	3 000	3 500	1 750	1 400
Yhteensä	k€	23 518	22 059	49 340	24 670	26 612
Valmisteverot	k€	9 909	-	4 059	2 030	2 841
Sähkö	€/MWh	26,1	24,5	49,3	49,3	48,4
Lämpö	€/MWh	38,2	24,5	58,7	58,7	55,7
Käyttökate	k€	8 573	19 941	- 3 399	- 1 699	- 3 453
Investointi	k€	108 000	120 000	80 000	40 000	32 000
Pääomakustannukset (5 %, 30 v.)	k€	7 026	7 806	5 204	2 602	2 082
	€/MWh	23,4	26,0	10,4	10,4	10,4
Tuotantokustannukset	k€	30 543	29 865	54 544	27 272	28 693
Sähkö	€/MWh	49,5	50,5	59,7	59,7	58,8
Lämpö	€/MWh	38,2	24,5	58,7	58,7	55,7
Takaisinmaksuaika	a	12,6	6,0	- 23,5	- 23,5	- 9,3

Liite 1.4 Kaukolämpödinvoimalan kustannukset

Polttoaine Tyyppi		Ydin- lauhdutus	Kaukolämpödinvoimala		
			Lauheajo	Lämmitysajo	Yhteensä
Suoritusarvot					
Sähköteho	MW	1100	1100	770	1 100
Lämpöteho	MW			1200	1 200
Yhteensä	MW	1100	1100	1970	2 300
Hyötysuhde	%	35 %	35 %	63 %	
Polttoaineteho	MW	3 143	3 143	3 143	4 286
Tuotanto					
Käyttötunnit	h/a	7 500	2 500	5 000	7 500
Sähkön tuotanto	GWh	8 250	2 750	3 850	6 600
Lämmön tuotanto	GWh	-	-	6 000	6 000
Polttoaineenkulutus	GWh	23 571	7 857	15 714	23 571
Hinnat					
Sähkö	€/MWh	60	60	60	
Lämpö	€/MWh	40	40	40	
Polttoaine	€/MWh	2,5	2,5	2,5	
Käyttökustannus	€/MWh	8	8	12	
Voimala	€/kWe	5 000	5 200		
Lämpöputki	€/kWt			1 000	
Tuotot					
Sähkö	k€	495 000	165 000	231 000	396 000
Lämpö	k€	-	-	240 000	240 000
Yhteensä	k€	495 000	165 000	471 000	636 000
Käyttökustannukset					
Polttoaine	k€	58 929	19 643	39 286	58 929
Käyttö	k€	66 000	22 000	46 200	68 200
Yhteensä	k€	124 929	41 643	85 486	127 129
	€/MWh	15,1			19,3
Käyttökate	k€	370 071			508 871
Investointi					
Voimala		5 500 000	5 720 000		5 720 000
Lämpöputki		-		1 200 000	1 200 000
Yhteensä	k€	5 500 000	5 720 000	1 200 000	6 920 000
Pääomakustannukset	k€	320 530			403 285
Laskentkorko 5 %	€/MWh	38,85			61,10
Tuotantokustannukset					
Lämpötuotot	k€	445 458			530 413
Sähkötuo-	k€	-			240 000
tuotot	k€	445 458			290 413
	€/MWh	54,0			44,0
Takaisinmaksuaika	a	14,9			13,6

Liite 1.5 Kaukolämpödinvoimala/lämpöpumppuhybridi

Polttoaine Tyyppi	Ydin- lauhdutus- voimala	Kaukolämpödinvoimala			Yhteensä	
		Lauhde- ajo	Lämmitys- ajo	Lämpö- pumppu		
Suoritusarvot						
Sähköteho	MW	1100	1100	880	-182	1 100
Lämpöteho	MW			600	600	1 200
Yhteensä	MW	1100	1100	1480		2 300
Hyötysuhde	%	35 %	35 %	47 %		
Polttoaineteho	MW	3 143	3 143	3 143		3 143
Tuotanto						
Käyttötunnit	h/a	7 500	2 500	5 000	8 000	7 500
Sähkön tuotanto	GWh	8 250	2 750	4 400	- 1 455	5 695
Lämmön tuotanto	GWh	-	-	3 000	4 800	7 800
Polttoaineenkulutus	GWh	23 571	7 857	15 714	-	23 571
Hinnat						
Sähkö	€/MWh	60	60	60	60	60
Lämpö	€/MWh	40	40	40	40	40
Polttoaine	€/MWh	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Käyttökustannus	€/MWh	8	8	12	2 %	11
Voimala	€/kWe	5 000	5 200			3 600
Lämpöputki	€/kWt			600		1 000
Tuotot						
Sähkö	k€	495 000	165 000	264 000	- 87 273	341 727
Lämpö	k€	-	-	120 000	192 000	312 000
Yhteensä	k€	495 000	165 000	384 000	104 727	653 727
Käyttökustannukset						
Polttoaine	k€	58 929	19 643	39 286		58 929
Käyttö	k€	66 000	22 000	52 800	12 000	86 800
Yhteensä	k€	124 929	41 643	92 086	12 000	145 729
	€/MWh	15,1				25,6
Käyttökate	k€	370 071				507 999
Investointi						
Voimala		5 500 000	5 720 000			5 720 000
Lämmön siirto		-		360 000		360 000
Lämpöpumppu					600 000	600 000
Yhteensä	k€	5 500 000	5 720 000	360 000	600 000	6 680 000
Pääomakustannukse	k€	320 530				389 298
Laskent korko 5 %	€/MWh	38,85				68,35
Tuotantokustannukset						
	k€	445 458				535 027
Lämpötuotot	k€	-				312 000
Sähkökustannus	k€	445 458				223 027
	€/MWh	54,0				39,2
Takaisinmaksuaika	a	14,9				13,1

Liite 2. Omakotitalojen sähkönkulutusarviot

Liite 2.1 Omakotitalojen sähkönkulutus. Suora sähkölämmitys ja yksiaikamittaus

Huoneisto- ala m ²	Valmistumisvuosi					keskiarvo kWh
	< 1970 kWh	1970-79 kWh	1980-89 kWh	1990-99 kWh	2000-09 kWh	
50	7 365	7 808	6 929	7 033	7 092	7 245
60	8 678	9 201	8 165	8 287	8 356	8 537
70	9 970	10 570	9 380	9 520	9 600	9 808
80	11 243	11 920	10 578	10 736	10 826	11 060
90	12 500	13 253	11 761	11 936	12 037	12 297
100	14 144	14 971	13 330	13 523	13 634	13 920
110	15 375	16 276	14 489	14 699	14 819	15 131
120	16 595	17 569	15 636	15 864	15 994	16 331
130	17 804	18 852	16 774	17 019	17 158	17 521
140	19 005	20 124	17 904	18 165	18 314	18 702
150	20 597	21 788	19 425	19 703	19 862	20 275
160	21 780	23 043	20 539	20 833	21 002	21 440
170	22 957	24 290	21 646	21 957	22 135	22 597
180	24 127	25 530	22 746	23 074	23 261	23 748
190	25 290	26 764	23 841	24 184	24 381	24 892
200	26 847	28 390	25 329	25 689	25 895	26 430
210	27 998	29 611	26 412	26 789	27 004	27 563
220	29 144	30 826	27 490	27 883	28 107	28 690
230	30 285	32 035	28 563	28 972	29 205	29 812
240	31 420	33 239	29 632	30 056	30 299	30 929
250	32 951	34 838	31 096	31 536	31 788	32 442
260	34 078	36 032	32 156	32 612	32 872	33 550
270	35 200	37 222	33 211	33 683	33 953	34 654
280	36 318	38 407	34 263	34 751	35 029	35 753
290	37 432	39 588	35 311	35 814	36 102	36 849
300	38 542	40 765	36 356	36 874	37 171	37 941

Liite 2.2 Omakotitalojen sähkönkulutus. Suora sähkölämmitys ja yösähkömittaus

Huoneisto- ala m ²	Valmistumisvuosi					keskiarvo kWh
	< 1970 kWh	1970-79 kWh	1980-89 kWh	1990-99 kWh	2000-09 kWh	
50	7 978	7 867	7 845	7 769	7 427	7 777
60	9 401	9 270	9 244	9 154	8 751	9 164
70	10 800	10 650	10 620	10 517	10 053	10 528
80	12 179	12 010	11 976	11 860	11 337	11 872
90	13 541	13 353	13 315	13 186	12 605	13 200
100	15 288	15 081	15 040	14 897	14 259	14 913
110	16 621	16 396	16 351	16 196	15 500	16 213
120	17 943	17 699	17 650	17 483	16 730	17 501
130	19 253	18 991	18 939	18 759	17 950	18 778
140	20 554	20 274	20 218	20 025	19 160	20 046
150	22 245	21 947	21 887	21 682	20 762	21 704
160	23 527	23 211	23 148	22 931	21 956	22 955
170	24 802	24 468	24 402	24 172	23 142	24 197
180	26 069	25 718	25 647	25 406	24 322	25 432
190	27 329	26 960	26 886	26 633	25 494	26 660
200	28 982	28 596	28 519	28 253	27 061	28 282
210	30 229	29 826	29 745	29 467	28 222	29 498
220	31 470	31 050	30 966	30 676	29 377	30 708
230	32 706	32 268	32 181	31 879	30 528	31 912
240	33 936	33 481	33 390	33 077	31 673	33 112
250	35 561	35 089	34 995	34 670	33 213	34 706
260	36 781	36 293	36 195	35 858	34 349	35 895
270	37 997	37 491	37 390	37 042	35 480	37 080
280	39 208	38 685	38 581	38 221	36 608	38 261
290	40 414	39 875	39 768	39 396	37 731	39 437
300	41 617	41 061	40 950	40 567	38 850	40 609

Liite 2.3 Omakotitalojen sähkönkulutus. Vaaraava sähkölämmitys

Huoneisto- ala m ²	Valmistumisvuosi					keskiarvo kWh
	< 1970 kWh	1970-79 kWh	1980-89 kWh	1990-99 kWh	2000-09 kWh	
50	9 559	9 441	8 621	8 843	7 609	8 815
60	11 264	11 124	10 158	10 419	8 966	10 386
70	12 940	12 780	11 670	11 970	10 300	11 932
80	14 592	14 412	13 160	13 499	11 615	13 456
90	16 224	16 024	14 632	15 008	12 914	14 960
100	18 238	18 017	16 487	16 901	14 599	16 848
110	19 836	19 595	17 928	18 379	15 870	18 322
120	21 419	21 159	19 356	19 843	17 131	19 782
130	22 989	22 710	20 772	21 296	18 380	21 229
140	24 547	24 248	22 177	22 737	19 620	22 666
150	26 494	26 176	23 972	24 568	21 252	24 492
160	28 030	27 694	25 358	25 989	22 475	25 909
170	29 557	29 202	26 735	27 402	23 690	27 317
180	31 075	30 701	28 104	28 806	24 899	28 717
190	32 585	32 192	29 466	30 202	26 100	30 109
200	34 487	34 075	31 220	31 992	27 696	31 894
210	35 981	35 551	32 568	33 374	28 885	33 272
220	37 468	37 020	33 909	34 750	30 069	34 643
230	38 949	38 482	35 244	36 119	31 247	36 008
240	40 423	39 938	36 573	37 482	32 420	37 367
250	42 290	41 787	38 297	39 240	33 989	39 121
260	43 752	43 231	39 615	40 593	35 153	40 469
270	45 209	44 670	40 929	41 940	36 312	41 812
280	46 660	46 103	42 237	43 282	37 467	43 150
290	48 105	47 530	43 541	44 619	38 618	44 483
300	49 546	48 953	44 841	45 952	39 764	45 811

Liite 2.4 Omakotitalojen sähkönkulutus. Lämpöpumppulämmitys

Asukas- luku	Kerros- ala m ²	Valmistumisvuosi		Keskiarvo kWh
		< 2000 kWh	2000 - 09 kWh	
2	50	4 824	4 898	4 861
2	60	5 684	5 771	5 728
2	70	6 530	6 630	6 580
2	80	7 364	7 477	7 420
2	90	8 187	8 313	8 250
3	100	9 402	9 540	9 471
3	110	10 208	10 358	10 283
3	120	11 007	11 169	11 088
3	130	11 799	11 974	11 886
3	140	12 585	12 772	12 679
4	150	13 766	13 965	13 865
4	160	14 541	14 752	14 647
4	170	15 312	15 534	15 423
4	180	16 078	16 312	16 195
4	190	16 840	17 086	16 963
5	200	17 998	18 255	18 126
5	210	18 752	19 021	18 886
5	220	19 502	19 783	19 642
5	230	20 249	20 541	20 395
5	240	20 993	21 296	21 145
6	250	22 134	22 448	22 291
6	260	22 872	23 197	23 035
6	270	23 607	23 944	23 775
6	280	24 339	24 687	24 513
6	290	25 068	25 428	25 248
6	300	25 795	26 166	25 981

Liite 2.5 Omakotitalojen sähkönkulutus. Puulämmitys

Huoneisto- ala m ²	Valmistumisvuosi						Keskiarvo kWh
	< 1960 kWh	1960-79 kWh	1970-79 kWh	1980-99 kWh	1990-99 kWh	2000-10 kWh	
50	4 395	3 346	3 346	3 952	3 952	3 900	3 816
60	5 179	3 943	3 943	4 657	4 657	4 596	4 496
70	5 950	4 530	4 530	5 350	5 350	5 280	5 165
80	6 710	5 108	5 108	6 033	6 033	5 954	5 825
90	7 460	5 680	5 680	6 708	6 708	6 620	6 476
-	-	-	-	-	-	-	-
100	8 895	6 772	6 772	7 998	7 998	7 893	7 721
110	9 692	7 379	7 379	8 714	8 714	8 600	8 413
120	10 481	7 980	7 980	9 424	9 424	9 301	9 098
130	11 264	8 576	8 576	10 128	10 128	9 996	9 778
140	12 041	9 167	9 167	10 827	10 827	10 685	10 452
-	-	-	-	-	-	-	-
150	13 571	10 332	10 332	12 203	12 203	12 043	11 781
160	14 383	10 950	10 950	12 932	12 932	12 763	12 485
170	15 189	11 564	11 564	13 658	13 658	13 479	13 185
180	15 991	12 175	12 175	14 379	14 379	14 190	13 881
190	16 789	12 782	12 782	15 096	15 096	14 898	14 574
-	-	-	-	-	-	-	-
200	18 384	13 997	13 997	16 530	16 530	16 314	15 959
210	19 209	14 625	14 625	17 272	17 272	17 046	16 675
220	20 031	15 250	15 250	18 011	18 011	17 775	17 388
230	20 848	15 873	15 873	18 746	18 746	18 501	18 098
240	21 662	16 493	16 493	19 478	19 478	19 223	18 804
-	-	-	-	-	-	-	-
250	23 308	17 745	17 745	20 957	20 957	20 683	20 233
260	24 145	18 383	18 383	21 710	21 710	21 426	20 960
270	24 979	19 018	19 018	22 460	22 460	22 167	21 684
280	25 810	19 651	19 651	23 208	23 208	22 904	22 405
290	26 639	20 281	20 281	23 952	23 952	23 639	23 124
300	27 464	20 909	20 909	24 694	24 694	24 371	23 841

Liite 2.6 Omakotitalojen sähkönkulutus. Öljylämmitys

Huoneisto- ala m ²	Valmistumisvuosi					Keskiarvo kWh
	< 1970 kWh	1970-79 kWh	1980-89 kWh	1990-99 kWh	2000-09 kWh	
50	4 019	4 040	4 256	4 332	4 165	4 162
60	4 273	4 278	4 527	4 554	4 385	4 403
70	4 500	4 490	4 770	4 750	4 580	4 618
80	4 706	4 682	4 991	4 927	4 756	4 812
90	4 896	4 859	5 194	5 089	4 916	4 991
100	5 501	5 446	5 838	5 680	5 492	5 592
110	5 680	5 612	6 029	5 830	5 642	5 759
120	5 849	5 767	6 210	5 971	5 782	5 916
130	6 008	5 914	6 381	6 103	5 914	6 064
140	6 160	6 053	6 543	6 229	6 039	6 205
150	6 678	6 552	7 095	6 723	6 522	6 714
160	6 824	6 686	7 252	6 843	6 642	6 850
170	6 965	6 815	7 402	6 958	6 757	6 979
180	7 100	6 938	7 547	7 068	6 867	7 104
190	7 230	7 057	7 687	7 173	6 972	7 224
200	7 691	7 499	8 178	7 607	7 397	7 674
210	7 818	7 615	8 315	7 709	7 499	7 791
220	7 941	7 727	8 447	7 808	7 598	7 904
230	8 061	7 835	8 575	7 904	7 694	8 014
240	8 177	7 941	8 700	7 997	7 787	8 120
250	8 598	8 342	9 149	8 387	8 169	8 529
260	8 712	8 445	9 271	8 477	8 260	8 633
270	8 823	8 546	9 390	8 566	8 349	8 735
280	8 932	8 644	9 507	8 651	8 435	8 834
290	9 038	8 740	9 621	8 735	8 519	8 930
300	9 141	8 833	9 732	8 816	8 600	9 025

Liite 2.7 Omakotitalojen sähkönkulutus. Kaukolämmitys

Huoneisto- ala m ²	Valmistumisvuosi				Keskiarvo kWh
	< 1990 kWh	1980-89 kWh	1990-99 kWh	2000-09 kWh	
50	4 074	4 074	4 378	4 378	4 276
60	4 462	4 462	4 796	4 796	4 685
70	4 820	4 820	5 180	5 180	5 060
80	5 153	5 153	5 538	5 538	5 409
90	5 465	5 465	5 874	5 874	5 738
100	6 248	6 248	6 714	6 714	6 559
110	6 553	6 553	7 042	7 042	6 879
120	6 844	6 844	7 355	7 355	7 185
130	7 123	7 123	7 655	7 655	7 478
140	7 392	7 392	7 944	7 944	7 760
150	8 105	8 105	8 710	8 710	8 509
160	8 371	8 371	8 996	8 996	8 788
170	8 628	8 628	9 273	9 273	9 058
180	8 879	8 879	9 542	9 542	9 321
190	9 122	9 122	9 803	9 803	9 576
200	9 786	9 786	10 517	10 517	10 273
210	10 028	10 028	10 777	10 777	10 527
220	10 264	10 264	11 030	11 030	10 775
230	10 494	10 494	11 278	11 278	11 017
240	10 720	10 720	11 521	11 521	11 254
250	10 941	10 941	11 758	11 758	11 486
260	11 572	11 572	12 436	12 436	12 148
270	11 792	11 792	12 673	12 673	12 380
280	12 009	12 009	12 906	12 906	12 607
290	12 221	12 221	13 134	13 134	12 830
300	12 430	12 430	13 359	13 359	13 049

Liite 3. Rivitalojen sähkönkulutus

Liite 3.1 Rivitalojen sähkönkulutus. Suora sähkölämmitys, yksiaikamittaus

Huoneisto- ala m ²	Valmistumisvuosi					keskiarvo kWh
	< 1970 kWh	1970-79 kWh	1980-89 kWh	1990-99 kWh	2000-09 kWh	
20	3 347	3 347	3 065	3 650	3 564	3 395
30	4 997	4 997	4 591	5 433	5 310	5 066
40	6 592	6 592	6 066	7 157	6 997	6 681
50	8 547	8 547	7 904	9 238	9 042	8 656
60	10 071	10 071	9 314	10 885	10 654	10 199
70	11 570	11 570	10 700	12 505	12 240	11 717
80	13 047	13 047	12 066	14 102	13 803	13 213
90	14 507	14 507	13 416	15 679	15 347	14 691
100	16 349	16 349	15 150	17 638	17 273	16 552
110	17 778	17 778	16 471	19 182	18 784	17 999
120	19 194	19 194	17 780	20 712	20 282	19 432
130	20 597	20 597	19 079	22 230	21 767	20 854
140	21 990	21 990	20 367	23 735	23 241	22 265
150	23 774	23 774	22 046	25 630	25 104	24 065
160	25 147	25 147	23 317	27 115	26 557	25 457
170	26 513	26 513	24 579	28 591	28 002	26 839
180	27 870	27 870	25 835	30 058	29 438	28 214
190	29 220	29 220	27 083	31 517	30 866	29 581
200	30 963	30 963	28 725	33 368	32 686	31 341
210	32 299	32 299	29 960	34 812	34 100	32 694
220	33 628	33 628	31 190	36 249	35 506	34 040
230	34 952	34 952	32 414	37 680	36 907	35 381
240	36 270	36 270	33 633	39 104	38 301	36 716
250	37 982	37 982	35 247	40 923	40 089	38 445

Liite 3.2 Rivitalojen sähkönkulutus. Suora sähkölämmitys, yö sähkömittaus

Huoneisto- ala m ²	Valmistumisvuosi					keskiarvo kWh
	< 1970 kWh	1970-79 kWh	1980-89 kWh	1990-99 kWh	2000-09 kWh	
20	3 085	3 085	3 596	3 648	3 496	3 382
30	4 619	4 619	5 356	5 431	5 212	5 047
40	6 102	6 102	7 057	7 154	6 870	6 657
50	7 949	7 949	9 116	9 234	8 887	8 627
60	9 366	9 366	10 741	10 881	10 472	10 165
70	10 760	10 760	12 340	12 500	12 030	11 678
80	12 134	12 134	13 916	14 096	13 566	13 169
90	13 491	13 491	15 472	15 673	15 083	14 642
100	15 233	15 233	17 411	17 631	16 984	16 498
110	16 561	16 561	18 934	19 175	18 469	17 940
120	17 878	17 878	20 444	20 704	19 941	19 369
130	19 183	19 183	21 941	22 221	21 400	20 786
140	20 479	20 479	23 427	23 726	22 849	22 192
150	22 165	22 165	25 302	25 620	24 687	23 988
160	23 443	23 443	26 768	27 104	26 115	25 375
170	24 713	24 713	28 224	28 580	27 535	26 753
180	25 975	25 975	29 672	30 046	28 946	28 123
190	27 230	27 230	31 111	31 504	30 350	29 485
200	28 879	28 879	32 943	33 355	32 146	31 241
210	30 122	30 122	34 368	34 798	33 535	32 589
220	31 358	31 358	35 787	36 235	34 918	33 931
230	32 589	32 589	37 198	37 665	36 294	35 267
240	33 815	33 815	38 604	39 089	37 664	36 597
250	35 435	35 435	40 404	40 907	39 429	38 322

Liite 3.3 Rivitalojen sähkönkulutus. Kaukolämmitys

Huoneisto- ala m ²	Valmistumisvuosi					keskiarvo kWh
	< 1970 kWh	1970-79 kWh	1980-89 kWh	1990-99 kWh	2000-09 kWh	
20	1 740	1 740	1 889	1 899	2 753	2 004
30	2 131	2 131	2 314	2 325	3 371	2 455
40	2 461	2 461	2 672	2 685	3 893	2 834
-	-	-	-	-	-	-
50	3 161	3 161	3 431	3 448	4 999	3 640
60	3 463	3 463	3 759	3 777	5 477	3 988
70	3 740	3 740	4 060	4 080	5 915	4 307
80	3 998	3 998	4 340	4 362	6 324	4 604
90	4 241	4 241	4 604	4 626	6 707	4 884
-	-	-	-	-	-	-
100	4 848	4 848	5 263	5 288	7 667	5 583
110	5 084	5 084	5 519	5 547	8 042	5 855
120	5 310	5 310	5 765	5 793	8 399	6 116
130	5 527	5 527	6 000	6 030	8 742	6 365
140	5 736	5 736	6 227	6 257	9 072	6 606
-	-	-	-	-	-	-
150	6 289	6 289	6 827	6 861	9 947	7 242
160	6 495	6 495	7 051	7 086	10 273	7 480
170	6 695	6 695	7 268	7 304	10 589	7 710
180	6 889	6 889	7 479	7 515	10 896	7 934
190	7 078	7 078	7 684	7 721	11 195	8 151
-	-	-	-	-	-	-
200	7 593	7 593	8 243	8 284	12 010	8 745
210	7 781	7 781	8 446	8 488	12 306	8 960
220	7 964	7 964	8 645	8 688	12 596	9 171
230	8 143	8 143	8 840	8 883	12 879	9 377
240	8 318	8 318	9 030	9 074	13 156	9 579
250	8 805	8 805	9 558	9 605	13 926	10 140

Liite 4. Kerrostaloasuntojen sähkönkulutus. Kaukolämmitys

Asukas- luku	Pinta-ala m ²	Valmistumisvuosi				Keskiarvo kWh
		< 1980 kWh	1980-89 kWh	1990-99 kWh	2000-09 kWh	
1	20	1 340	1 363	1 503	1 698	1 476
1	30	1 641	1 670	1 841	2 080	1 808
1	40	1 895	1 928	2 126	2 402	2 088
2	50	2 434	2 476	2 730	3 085	2 681
2	60	2 666	2 713	2 990	3 379	2 937
2	70	2 880	2 930	3 230	3 650	3 173
2	80	3 079	3 132	3 453	3 902	3 392
2	90	3 266	3 322	3 662	4 139	3 597
3	100	3 733	3 798	4 187	4 731	4 112
3	110	3 915	3 983	4 391	4 962	4 313
3	120	4 089	4 160	4 586	5 183	4 505
3	130	4 256	4 330	4 774	5 394	4 689
3	140	4 417	4 494	4 954	5 598	4 866
4	150	4 843	4 927	5 431	6 138	5 335
4	160	5 002	5 088	5 609	6 339	5 510
4	170	5 156	5 245	5 782	6 534	5 679
4	180	5 305	5 397	5 950	6 723	5 844
4	190	5 450	5 545	6 113	6 908	6 004
5	200	5 847	5 949	6 558	7 410	6 441

Liite 5. Vapaa-ajan asuntojen sähkönkulutus. Sähkölämmitys

Asukas- luku	Ala m2	Valmistumisvuosi			keskiarvo kWh
		< 1990 kWh	1990 -99 kWh	2000 - 09 kWh	
1	20	1 469	2 628	2 492	2 196
1	30	2 292	3 961	3 766	3 340
1	40	3 087	5 250	4 997	4 445
2	50	4 262	6 907	6 597	5 922
2	60	5 023	8 139	7 773	6 978
2	70	5 770	9 350	8 930	8 017
2	80	6 507	10 544	10 070	9 040
2	90	7 234	11 723	11 196	10 051
3	100	8 354	13 289	12 710	11 451
3	110	9 066	14 444	13 813	12 441
3	120	9 772	15 588	14 905	13 422
3	130	10 472	16 722	15 989	14 394
3	140	11 167	17 848	17 064	15 360
3	150	11 857	18 965	18 131	16 318
3	160	12 542	20 076	19 192	17 270
4	170	13 623	21 579	20 646	18 616
4	180	14 300	22 676	21 693	19 556
4	190	14 973	23 767	22 735	20 492
5	200	16 043	25 252	24 172	21 822
5	210	16 709	26 332	25 203	22 748
5	220	17 372	27 406	26 229	23 669
5	230	18 032	28 476	27 251	24 586
5	240	18 690	29 541	28 268	25 499
6	250	19 744	31 001	29 681	26 809
6	260	20 396	32 058	30 690	27 714
6	270	21 045	33 110	31 695	28 617
6	280	21 692	34 159	32 696	29 516
6	290	22 337	35 203	33 694	30 411
6	300	22 979	36 244	34 688	31 304

Liite 6. Maatilojen sähkönkulutus, Puulämmitys

Asukas- luku	Huoneisto- ala m ²	Keskikulutus kWh
2	50	10 076
2	60	11 873
2	70	13 640
2	80	15 382
2	90	17 102
3	100	20 391
3	110	22 218
3	120	24 027
3	130	25 822
3	140	27 603
4	150	31 111
4	160	32 972
4	170	34 821
4	180	36 659
4	190	38 487
5	200	42 145
5	210	44 036
5	220	45 919
5	230	47 794
5	240	49 660
6	250	53 431
6	260	55 351
6	270	57 263
6	280	59 169
6	290	61 067
6	300	62 959

Liite 7. Primäärienergian kulutus maailmassa

Vuosi	1990 Mtoe	2010 Mtoe	2030 Mtoe	2050 Mtoe	2075 Mtoe	2100 Mtoe
Fossiliset lähteet						
- Kivihiili	2207	3532	3874	3240	1668	448
- Öljy	3158	4032	3671	2713	1267	592
- Maakaasu	1769	2843	4046	4496	4496	4496
- Yhteensä	7134	10407	11590	10448	7430	5535
Muut lähteet						
- Ydinvoima	522	685	1474	2966	4212	3289
- Bio/jäte	811	1198	1798	2398	3148	3898
- Vesivoima	490	757	1015	1194	1359	1466
- Tuuli/aalto	0	87	558	1197	2083	2748
- Aurinko	0	20	198	465	1339	4296
- Yhteensä	1823	2748	5043	8220	12140	15697
Yhteensä	8957	13155	16633	18668	19571	21233
Indeksi	100,0	146,9	185,7	208,4	218,5	237,1
Kasvu %		1,6 %	1,3 %	0,6 %	0,2 %	0,3 %

Vuosi	1990 Mtoe	2010 Mtoe	2030 Mtoe	2050 Mtoe	2075 Mtoe	2100 Mtoe
Fossiliset lähteet						
- Kivihiili	25 %	27 %	23 %	17 %	9 %	2 %
- Öljy	35 %	31 %	22 %	15 %	6 %	3 %
- Maakaasu	20 %	22 %	24 %	24 %	23 %	21 %
- Yhteensä	80 %	79 %	70 %	56 %	38 %	26 %
Muut lähteet						
- Ydinvoima	6 %	5 %	9 %	16 %	22 %	15 %
- Bio/jäte	9 %	9 %	11 %	13 %	16 %	18 %
- Vesivoima	5 %	6 %	6 %	6 %	7 %	7 %
- Tuuli/aalto	0 %	1 %	3 %	6 %	11 %	13 %
- Aurinko	0 %	0 %	1 %	2 %	7 %	20 %
- Yhteensä	20 %	21 %	30 %	44 %	62 %	74 %
Yhteensä	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %

Liite 8. Sähköntuotanto maailmassa /3/

Vuosi	1990 TWh	2010 TWh	2030 TWh	2050 TWh	2075 TWh	2100 TWh
Fossiiliset lähteet						
- Kivihiili	3 880	7 226	6 509	3 884	-	-
- Öljy	745	1 500	2 378	2 773	2 290	1 653
- Kaasu	2 979	5 999	9 512	11 090	9 158	6 613
- Yhteensä	7 604	14 724	18 400	17 746	11 448	8 266
Muut lähtet						
- Ydinvoima	2 002	2 628	5 654	11 375	16 151	12 613
- Biomassa/jäte	125	280	691	1 189	1 503	1 570
- Vesivoima	2 162	3 343	4 480	5 274	6 000	6 475
- Tuuli/Aalto	2	386	2 463	5 284	9 197	12 134
- Aurinko	-	43	436	1 026	2 955	9 484
- Yhteensä	4 292	6 680	13 725	24 148	35 806	42 275
Yhteensä	11 896	21 404	32 124	41 895	47 254	50 541
Indeksi	100,0	179,9	270,0	352,2	397,2	424,9

Vuosi	1990 TWh	2010 TWh	2030 TWh	2050 TWh	2075 TWh	2100 TWh
Fossiiliset lähteet						
- Kivihiili	33 %	34 %	20 %	9 %	0 %	0 %
- Öljy	6 %	7 %	7 %	7 %	5 %	3 %
- Kaasu	25 %	28 %	30 %	26 %	19 %	13 %
- Yhteensä	64 %	69 %	57 %	42 %	24 %	16 %
Muut lähtet						
- Ydinvoima	17 %	12 %	18 %	27 %	34 %	25 %
- Biomassa/jäte	1 %	1 %	2 %	3 %	3 %	3 %
- Vesivoima	18 %	16 %	14 %	13 %	13 %	13 %
- Tuuli/Aalto	0 %	2 %	8 %	13 %	19 %	24 %
- Aurinko	0 %	0 %	1 %	2 %	6 %	19 %
- Yhteensä	36 %	31 %	43 %	58 %	76 %	84 %
Yhteensä	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %

Liite 9.1 EU:n primäärienergian kulutus vuonna 2009 /1/

Maat	Kivi- hiili Mtoe	Öljy Mtoe	Maa- kaasu Mtoe	Ydin- voima Mtoe	Sähkön tuonti Mtoe	Uusiut. lähteet Mtoe	Muut Mtoe	Yhteensä Mtoe
1 Alankomaat	7,46	33,65	35,09	1,09	0,42	3,15	0,74	81,6
2 Belgia	3,02	25,12	15,11	12,18	- 0,16	2,24	0,71	58,2
3 Bulgaria	6,40	4,39	2,16	3,96	- 0,44	1,09	0,01	17,6
4 Espanja	10,54	63,01	31,31	13,61	- 0,70	12,09	0,32	130,2
5 Irlanti	2,16	7,69	4,28	-	0,07	0,64	0,01	14,9
6 Iso-Britannia	29,57	74,37	78,12	17,82	0,25	6,21	0,46	206,8
7 Italia	12,75	71,63	63,90	-	3,87	16,03	0,74	168,9
8 Itävalta	2,89	12,80	7,17	-	0,07	8,81	0,56	32,3
9 Kreikka	8,43	16,99	2,97	-	0,38	1,86	0,00	30,6
10 Kypros	0,02	2,67	-	-	-	0,10	0,01	2,8
11 Latvia	0,09	1,31	1,23	-	0,14	1,57	0,00	4,3
12 Liettua	0,17	2,54	2,18	2,85	- 0,25	0,87	-	8,3
13 Luxemburg	0,07	2,74	1,11	-	0,29	0,12	0,03	4,4
14 Malta	-	0,82	-	-	-	-	-	0,8
15 Portugali	2,86	12,61	4,22	-	0,41	4,74	0,14	25,0
16 Puola	51,49	25,03	12,01	-	- 0,19	6,27	0,70	95,3
17 Ranska	11,23	88,52	38,46	105,7	- 2,23	19,77	1,25	262,7
18 Romania	7,56	9,15	10,60	3,03	- 0,20	5,27	0,02	35,4
19 Ruotsi	1,93	12,64	1,24	13,46	0,40	15,82	0,45	45,9
20 Saksa	71,64	113,3	76,58	34,81	- 1,06	27,69	3,54	326,5
21 Slovakia	3,88	3,45	4,42	3,69	0,11	1,22	0,05	16,8
22 Slovenia	1,43	2,61	0,83	1,48	- 0,26	0,89	0,02	7,0
23 Suomi	5,22	10,17	3,48	6,07	1,12	7,89	0,14	34,1
24 Tanska	4,01	7,83	3,92	-	0,03	3,24	0,38	19,4
25 Tsekki	17,52	9,55	6,73	7,04	- 1,17	2,43	0,19	42,3
26 Unkari	2,57	7,20	9,15	3,99	0,47	1,85	0,07	25,3
27 Viro	3,05	0,99	0,53	-	0,01	0,72	-	5,3
EU27	267,9	622,8	416,8	230,8	1,4	152,5	10,6	1 703
USA	499	896	591	212	3	212	0	2 412
Kiina	1579	332	90	16	0	374	0	2 391
Muut maat	1186	2181	1746	227	-4	1325	-11	6 650
Maailma	3532	4032	2843	685	0	2063	0	13 155

Liite 9.2 Energialähteiden osuudet EU:n primäärienergiasta vuonna 2009

Maat	Kivi- hiili Mtoe	Öljy Mtoe	Maa- kaasu Mtoe	Ydin- voima Mtoe	Sähkön tuonti Mtoe	Uusiut. lähteet Mtoe	Muut Mtoe	Yhteensä Mtoe
1 Alankomaat	9,1 %	41,2 %	43,0 %	1,3 %	0,5 %	3,9 %	0,9 %	100,0 %
2 Belgia	5,2 %	43,1 %	26,0 %	20,9 %	-0,3 %	3,8 %	1,2 %	100,0 %
3 Bulgaria	36,4 %	25,0 %	12,3 %	22,5 %	-2,5 %	6,2 %	0,1 %	100,0 %
4 Espanja	8,1 %	48,4 %	24,1 %	10,5 %	-0,5 %	9,3 %	0,2 %	100,0 %
5 Irlanti	14,5 %	51,8 %	28,8 %	0,0 %	0,5 %	4,3 %	0,1 %	100,0 %
6 Iso-Britannia	14,3 %	36,0 %	37,8 %	8,6 %	0,1 %	3,0 %	0,2 %	100,0 %
7 Italia	7,5 %	42,4 %	37,8 %	0,0 %	2,3 %	9,5 %	0,4 %	100,0 %
8 Itävalta	9,0 %	39,6 %	22,2 %	0,0 %	0,2 %	27,3 %	1,7 %	100,0 %
9 Kreikka	27,5 %	55,5 %	9,7 %	0,0 %	1,2 %	6,1 %	0,0 %	100,0 %
10 Kypros	0,5 %	95,7 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	3,5 %	0,3 %	100,0 %
11 Latvia	2,0 %	30,1 %	28,3 %	0,0 %	3,3 %	36,2 %	0,1 %	100,0 %
12 Liettua	2,0 %	30,4 %	26,1 %	34,1 %	-3,0 %	10,5 %	0,0 %	100,0 %
13 Luxemburg	1,5 %	62,9 %	25,5 %	0,0 %	6,7 %	2,8 %	0,6 %	100,0 %
14 Malta	0,0 %	100,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	100,0 %
15 Portugali	11,5 %	50,5 %	16,9 %	0,0 %	1,6 %	19,0 %	0,6 %	100,0 %
16 Puola	54,0 %	26,3 %	12,6 %	0,0 %	-0,2 %	6,6 %	0,7 %	100,0 %
17 Ranska	4,3 %	33,7 %	14,6 %	40,2 %	-0,8 %	7,5 %	0,5 %	100,0 %
18 Romania	21,3 %	25,8 %	29,9 %	8,6 %	-0,6 %	14,9 %	0,1 %	100,0 %
19 Ruotsi	4,2 %	27,5 %	2,7 %	29,3 %	0,9 %	34,4 %	1,0 %	100,0 %
20 Saksa	21,9 %	34,7 %	23,5 %	10,7 %	-0,3 %	8,5 %	1,1 %	100,0 %
21 Slovakia	23,1 %	20,5 %	26,3 %	21,9 %	0,7 %	7,2 %	0,3 %	100,0 %
22 Slovenia	20,4 %	37,3 %	11,9 %	21,2 %	-3,8 %	12,7 %	0,3 %	100,0 %
23 Suomi	15,3 %	29,8 %	10,2 %	17,8 %	3,3 %	23,1 %	0,4 %	100,0 %
24 Tanska	20,7 %	40,3 %	20,2 %	0,0 %	0,1 %	16,7 %	2,0 %	100,0 %
25 Tsekki	41,4 %	22,6 %	15,9 %	16,7 %	-2,8 %	5,7 %	0,5 %	100,0 %
26 Unkari	10,1 %	28,4 %	36,2 %	15,8 %	1,9 %	7,3 %	0,3 %	100,0 %
27 Viro	57,7 %	18,7 %	9,9 %	0,0 %	0,1 %	13,5 %	0,0 %	100,0 %
EU 27	15,7 %	36,6 %	24,5 %	13,6 %	0,1 %	9,0 %	0,6 %	100,0 %
USA	20,7 %	37,2 %	24,5 %	8,8 %	0,1 %	8,8 %	0,0 %	100,0 %
Kiina	66,1 %	13,9 %	3,7 %	0,7 %	0,0 %	15,6 %	0,0 %	100,0 %
Muut maat	17,8 %	32,8 %	26,3 %	3,4 %	-0,1 %	19,9 %	-0,2 %	100,0 %
Maailma	26,8 %	30,6 %	21,6 %	5,2 %	0,0 %	15,7 %	0,0 %	100,0 %

Liite 9.3 Primäärienergian ja sähkön kulutus asukasta kohti vuonna 2009 sekä sähkön hinta EU:ssa 2011 primäärienergian kulutuksen suuruuden mukaisessa järjestyksessä /1/

Maat	Primääri-energia kgoe/capita	Sähkön kulutus kWh/capita	Sähkön hinta c/kWh	Hinnan poikkeama %
1 Luxemburg	8841	12379	14,5	17 %
2 Suomi	6385	14496	10,8	-13 %
3 Belgia	5415	7184	15,7	26 %
4 Ruotsi	4962	13329	13,8	11 %
5 Alankomaat	4950	6305	13,0	4 %
6 Ranska	4081	6578	9,9	-20 %
7 Tsekki	4040	5246	12,3	-1 %
8 Saksa	3983	6043	14,1	13 %
9 Viro	3948	4961	7,0	-44 %
10 Itävalta	3865	6927	14,4	16 %
11 Tanska	3521	5730	12,6	1 %
12 Kypros	3499	5962	17,3	39 %
13 Slovenia	3437	5556	10,8	-13 %
14 Iso-Britannia	3358	5234	13,7	10 %
15 Irlanti	3338	5611	15,8	27 %
16 Slovakia	3105	4270	13,7	10 %
17 Espanja	2841	5572	16,0	29 %
18 Italia	2813	4830	14,2	14 %
19 Kreikka	2720	4859	10,0	-20 %
20 Unkari	2523	3305	13,4	8 %
21 Puola	2499	2955	11,5	-8 %
22 Liettua	2492	2499	10,0	-20 %
23 Portugali	2350	4503	10,2	-18 %
24 Bulgaria	2310	3529	6,9	-45 %
25 Malta	1985	4127	16,2	30 %
26 Latvia	1914	2699	9,6	-23 %
27 Romania	1648	1749	8,5	-32 %
Yhteensä	3408	5441	12,4	0 %

Liite 10. CO₂-päästöt vuonna 2011 ja päästöjen vähennystarve, että maat pääsevät tasolle 4,2 tonnia/asukas.

No	Maat	CO ₂ - Päästöt Mt	Asukas- luku milj.	CO ₂ - päästöt t/asukas	Päästöraja 2040 t/asukas	Säästö- tarve (%)
1	Kiina	8979	1347	6,7	4,2	37 %
2	USA	6017	315	19,1	4,2	78 %
3	Intia	1798	1210	1,5	4,2	-183 %
4	Venäjä	1675	143	11,7	4,2	64 %
5	Japani	1307	128	10,3	4,2	59 %
6	Saksa	803	82	9,8	4,2	57 %
7	Etelä-Korea	738	50	14,8	4,2	72 %
8	Kanada	624	35	17,8	4,2	76 %
9	Saudi Arabia	602	23	25,7	4,2	84 %
10	Iran	594	75	7,9	4,2	47 %
11	Britannia	511	62	8,2	4,2	49 %
12	Brasilia	482	194	2,5	4,2	-69 %
13	Meksikko	460	112	4,1	4,2	-3 %
14	Etelä-Afrikka	457	52	8,8	4,2	52 %
15	Indonesia	452	238	1,9	4,2	-121 %
16	Italia	430	60	7,1	4,2	41 %
17	Australia	392	23	17,2	4,2	76 %
18	Ranska	376	65	5,7	4,2	27 %
19	Puola	350	39	9,1	4,2	54 %
20	Espanja	340	46	7,4	4,2	43 %
21	Taiwan	329	23	14,1	4,2	70 %
22	Turkki	323	75	4,3	4,2	3 %
23	Ukraina	321	46	7,0	4,2	40 %
24	Thaimaa	297	66	4,5	4,2	7 %
25	Alankomaat	265	17	15,8	4,2	73 %
26	Yhd. Arabiemiirikunta	227	8	27,3	4,2	85 %
27	Egypti	212	83	2,6	4,2	-64 %
28	Singapore	210	5	40,4	4,2	90 %
29	Malesia	202	30	6,9	4,2	39 %
30	Venetsuela	196	29	6,8	4,2	38 %
Yhteensä		29970	4680	6,4	4,2	34 %
Muut maat		4030	2320	1,7	4,2	-142 %
Koko maailma		34000	7000	4,9	4,2	14 %
Suomi		56,0	5,4	10,4	4,2	60 %
Ruotsi		54,8	9,5	5,8	4,2	27 %

Liite 11. Kasviuonekaasujen ilmastovaikutus (IPCC)

Aine	Kemiallinen kaava	Elinaika (vuotta)	Säteilypakotepotentiaali (GWP) eri aikajänteillä		
			20 a	100 a	500 a
Hiilidioksidi	CO ₂	*)	1	1	1
Metaani	CH ₄	12	72	25	8
Dityppioksidi	N ₂ O	114	289	298	153
CFC-12	CCl ₂ F ₂	100	11 000	10 900	5 200
HCFC-22	CHClF ₂	12	5 160	1 810	549
Tetrafluorimetaani	CF ₄	50 000	5 210	7 390	11 200
Heksafluorimetaani	C ₂ F ₆	10 000	8 630	12 200	18 200
Rikkiheksafluoridi	SF ₆	3 200	16 300	22 800	32 600
Typpitrifluoridi	NF ₃	740	12 300	17 200	20 700

*) CO₂ vaikuttaa pääasiassa kolmen aikavakion mukaan. Pisimmän aikavakion (T=173 v.) vaikutuskerroin on 0,26, toiseksi pisimmän (T=19 v.) vaikutuskerroin on 0,34 ja kolmanneksi pisimmän aikavakion (T=1,2 v.) kerroin on 0,19.

Eri kasviuonekaasujen vaikutus säteilypakotteeseen

Aine	Kemiall. kaava	Pitoisuus		Pitoisuuden nousu	Lämmitys- teho W/m ²	Teho- osuus %
		vuonna 1750	vuonna 2010			
Hiilidioksidi	CO ₂	280 ppm	390,5 ppm	39 %	1,79	63 %
Metaani	CH ₄	700 ppb	1871 ppb	167 %	0,50	18 %
Dityppioksidi	N ₂ O	270 ppb	1800 ppb	567 %	0,18	6 %
Otsoni (Tropsf.)	O ₃	25 ppb	34 ppb	36 %	0,35	12 %
Yhteensä					2,82	100 %

Liite 12. Energiayksiöiden ja CO₂-päästöjen arvoja

Polttoaineiden arvoja (Energiatilasto 2008, Tilastokeskus)

Yksikkö	Polttoaine	Lämpöarvoja			CO ₂ -päästö gCO ₂ /kWh	Tiheys kg/l
		GJ	MWh	toe		
1 toe	Ekvivaletti öljytonni	41,868	11,63	1,000		
1 t	Raakaöljy	41,8	11,61	0,998		0,855
1 t	Raskas polttoöljy	40,5	11,25	0,967	284	0,987
1 t	Kevyt polttoöljy	42,7	11,86	1,020	267	0,845
1 t	Dieselöljy	42,8	11,89	1,022	265	0,845
1 t	Lentopetrol (Kerosiini)	43,3	12,03	1,034	264	0,795
1 t	Moottoribensiini	43,0	11,94	1,027	262	0,750
1 t	Jyrsinturve	10,1	2,81	0,241	381	
1 t	Kivihiili	25,5	7,08	0,609	341	
1000 m ³	Maakaasu	36,0	10,00	0,860	198	
1 m ³	Puuhake	3,30	0,92	0,079	-	
1 i-m ³	Koivuhalat	3,64	1,01	0,087	-	
1 p-m ³	Koivuhalat	6,12	1,70	0,146	-	
1 t	Puupelletti	17,1	4,75	0,408	-	
1 t	Rypsiöljy	36,5	10,14	0,872	-	
1 t	Palmuöljy	36,8	10,22	0,879	-	

Liikenteen päästökertoimia

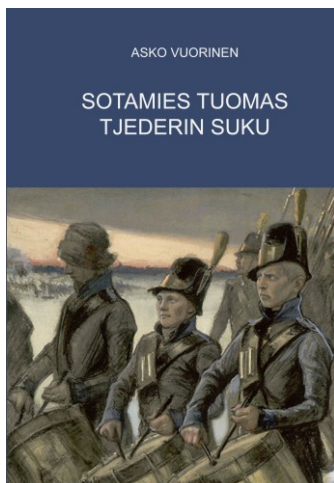
Ajoneuvo	Polttoaine	Energian kulutus			CO ₂ -kerr. g/kWh	CO ₂ -päästö gCO ₂ /km
		l/100 km	kWh/l	kWh/km		
Lentokone	Reittilennot (Finnair)	5,0	0,096	0,478	264	126
Lentokone	Lomalennot (Finnair)	3,0	0,096	0,287	264	76
Lentokone	Keskiaarvo	4,0	0,096	0,383	264	101
Henkilöauto	Bensiini	7,2	0,090	0,645	262	169
Henkilöauto	Diesel	6,3	0,100	0,629	265	167
Henkilöauto	Hybridi (bensini)	4,5	0,090	0,403	262	106
Bussi (hkm)	Diesel	4,0	0,100	0,400	265	106
Henkilöauto	Sähkö			0,20	150	30
Juna (hkm)	Sähkö			0,12	150	18

Sähkön- ja lämmöntuotannon päästökertoimia

Laitos	Polttoaine	Sähkö- hyötys.	Kokonais- hyötys.	CO ₂ -kerr. g/kWh	Lämpö gCO ₂ /kWh	Sähkö gCO ₂ /kWh
Lauhdutusvoima						
	Jyrsinturve	37%	37%	381	-	1030
	Kivihiili	42%	42%	341	-	811
Lämmitysvoima (CHP)						
	Jyrsinturve	30%	85%	381	449	449
	Kivihiili	35%	85%	341	401	401
	Maakaasu	45%	90%	198	220	220

Kirjat

Sotamies Tuomas Tjederin suku

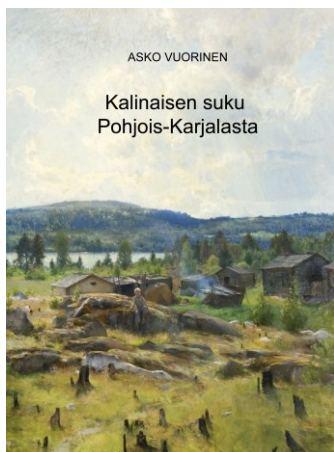


Sukukirja kertoo Asko Vuorisen isän puoleisesta suvusta. Suku alkaa sotamies Heikki Stensiöstä, joka palveli Porin Jalkaväkirykmentin Ruoveden komppaniassa 1700-luvulla.

Hänen poikansa oli sotamies Tuomas Tjeder, joka soti mm. Kustaan sodassa ja Suomen sodassa. Tuomas Tjederistä Vääksyn kartanon lampuoteja Keuruun Niemisvedellä. Hokkalan ja Tenhulan rälssitalot siirtyivät hänen poikiensa omistukseensa 1800-luvulla ja heistä tuli maanviljelijöitä.

Kirjassa on 423 sivua. Se on kovakantinen ja kokoa B5 (250 x 176 mm). Julkaisuvuosi 2009. Ekoenergo Oy. ISBN 978-952-67057-0-5.

Kalinaisen suku Pohjois-Karjalasta

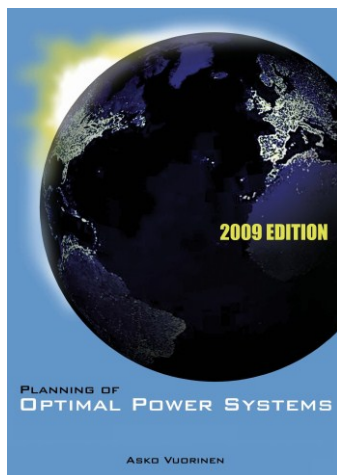


Sukukirja kertoo Asko Vuorisen äidinpuoleisesta suvusta, jotka ovat lähtöisin Pohjois-Karjalasta. Lähtöhenkilöllä, Joakim Kalinalla, oli talo Ilomantsin Ryökkylän kylässä 1700-luvun alussa.

Kylä poltettiin pikkuvihan aikana. Sieltä Joakim muutti Luutalahdelle, joka oli Suomen puolella Uudenkaupungin rajaa. Sukua asui Luutalahden lähellä Ilomantsin ja Korpiselän kuntaan kuuluvilla alueilla.

Kirjassa on 300 sivua. Se on kovakantinen ja B5-kokoinen (250 x 176 mm). Painovuosi 2010. Ekoenergo Oy. ISBN 978-952-67057-3-6.

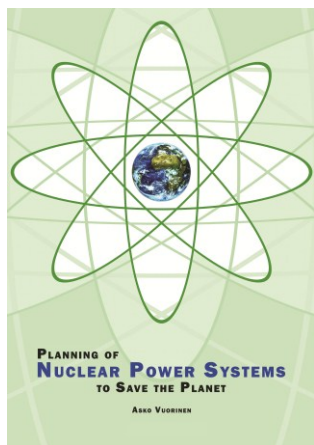
Planning of Optimal Power Systems



Englanninkielinen kirja sähköntuotantojärjestelmien suunnittelun oppikirjaksi teknillisiin korkeakouluihin ja ammattikorkeakouluihin. Kirja kertoo perustiedot voimantuotantomuodoista, niiden kustannuksista ja päästöistä. Kirjassa esitetään, miten suuret maanlajoiset sähköjärjestelmät suunnitellaan kustannusten kannalta optimaalisesti. Siinä suunnitellaan myös, miten maailman sähköntuotantoa tulisi kehittää vuoteen 2050 mennessä, jotta CO₂-päästöt voidaan puolittaa.

Kirjassa on 349 sivua. Se on kovakantinen ja kokoa B5 (250 x 176 mm). Ensimmäinen painos 2007 ja toinen painos 2008. Ekoenergo Oy. ISBN 978-952-67057-1-2. Kirjaa on käytetty kurssikirjana Lappeenrannan Teknisessä Yliopistossa.

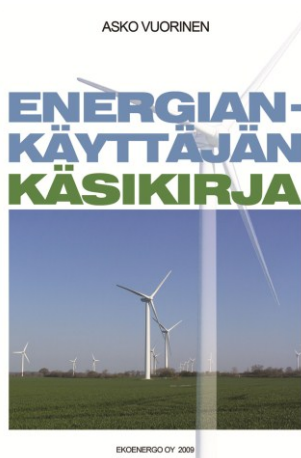
Planning of Nuclear Power Systems to Save the Planet



Kirjassa on esitetty suunnitelma, miten ydinvoiman tuotannon pitäisi kehittyä vuoteen 2100, jotta ilmaston lämpeneminen voitaisiin rajoittaa kahteen asteeseen. Uraania riittää maailmassa niin paljon, että hyötöreaktoreita ei tarvita, vaikka ydinsähkön tuotanto nousee moninkertaiseksi nykyisestä. Tuotannon laajeneminen edellyttää, että uudet ydinvoimalat ovat nykyisiä pinempiä ja niiden valmistus siirretään telakoille.

Kirjassa on 303 sivua. Se on pehmeäkantinen ja kooltaan B5 (250 x 176 mm). Julkaisuvuosi 2011. Ekoenergo Oy. ISBN 978-952-67057-4-3.

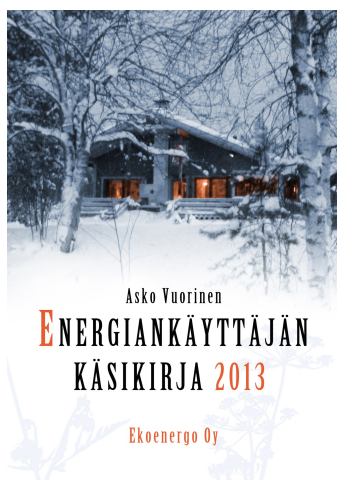
Energiankäyttäjän käsikirja



Kirja on tehty käsikirjaksi tavalliselle energiankäyttäjille, jotka haluavat suunnitella omaa energian käyttöään. Siinä kerrotaan, miten sähköä ja lämpöä tuotetaan maailmassa ja miten oman energiankäyttöön voi vaikuttaa. Siinä kerrotaan, miten energiaa voi säästää ja miten hiilidioksidipäästöjä voi vähentää. Kirjaan liittyy nettisivusto Energianet.fi, jossa voi tehdä energiatodistuksen sähkön käytöstä ja sähkön oston voi kilpailuttaa.

Kirjassa on 204 sivua. Se on pehmäkantinen ja kooltaan A5 (210 x 148 mm). Ensimmäinen painos 2009. Ekoenergo Oy. ISBN 978-952-67057-2-9.

Energiankäyttäjän käsikirja 2013



Energiankäyttäjän käsikirjasta on tehty uusi painos e-kirjana. Kirja on tarkoitettu nyt myös oppikirjaksi korkeakouluihin ja oppilaitoksiin. Siihen on lisätty luku maailman CO₂-päästöistä ja ilmaston lämpenemisestä.

”Mitä sinä aiot kertoa lastenlapsillesi ilmastonmuutoksesta? Kerrotko, että tiesit, mutta et välittänyt koko asiasta? Kerrotko ehkä, että et ymmärtänyt, mistä on kysymys?”

Al Gore

Kirja on kooltaan B5 (250 x 176 mm) 263 sivua. Siinä on värikuvitus. Kirja on julkaistu sähkökirjana maaliskuussa 2013. Ekoenergo Oy.

ISBN 978-952-67057-5-0 (PDF)

Asko Vuorinen



Asko Vuorinen on suorittanut Teknillisessä korkeakoulun Sähköosastolla diplomi-insinöörin tutkinnon vuonna 1971 ja Koneinsinööriosastolla tekniikan lisensiaatin tutkinnon vuonna 1994.

Hän on toiminut suunnitteluinsinöörinä Imatran Voima Oy:n Atomivoimaprojektissa 1971-79 ja pääsuunnittelijana Voimalaitososastolla 1980-92. Hän toimi Wärtsilä Oy:n tytäryhtiön Modigen Oy:n toimitusjohtajana ja Wärtsilän energiasuunnittelun johtajana 1992-2010. Hän on konsultoinut järkevästä energiankäytöstä ja julkaissut kirjoja vuonna 1979 perustamansa yhtiön, Ekoenergo Oy, toimeksiannosta.

Asko Vuorinen on toiminut myös luennoitsijana sähköjärjestelmien suunnittelussa Lappeenrannan Teknillisen Yliopiston tekniikan tohtorikurssilla vuonna 2012. Hän on Suomen Tietokirjailijat ry:n jäsen.

Ekoenergo Oy

Ekoenergo Oy on vuonna 1979 perustettu perheyrittys, jonka tarkoitus oli perustamisen aikanaan valmistaa energiansäästölaitteita ja tehdä talojen energiakatselmuksia. Se päätuote oli Ekoair-säätäjä, jolla ohjataan taloyhtiöiden huippuimureita portaattomasti.

Vuosina 1982–2005 yhtiö toimi isännöitsijätoimistona, jonka teki taloyhtiöiden isännöintitehtäviä. Tuona aikana se toimi myös rakennuttajana ja rakennutti Espooseen yksityisen jalkapallohallin vuonna 1996.

Vuodesta 2007 alkaen yhtiö on julkaissut kirjoja ja nettisivustoja, jotka liittyvät energiajärjestelmien suunnitteluun ja käyttöön. Yhtiö on julkaissut neljä energiakirjaa ja kaksi sukukirjaa. Energiakirjat ovat ”*Planning of Optimal Power Systems*”, ”*Planning of Nuclear Power Systems to Save the Planet*”, ”*Energiankäyttäjän käsikirja*” ja ”*Energiankäyttäjän käsikirja 2013*”.