

Ilmastopaneeli

RAKENNETUN YMPÄRISTÖN HAJAUTETUT
ENERGIAJÄRJESTELMÄT

SUOMEN ILMASTOPANEELI
RAPORTTI 4/2013

M. AIRAKSINEN¹, J. SEPPÄLÄ², T. VAINIO¹, P. TUOMINEN¹, P. K. REGINA², P.
PELTONEN-SAINIO², S. LUOSTARINEN², K. SIPILÄ¹, J. KIVILUOMA¹, TUOMAALA¹, I.
SAVOLAINEN¹, M. KOPSAKANGAS-SAVOLAINEN²

¹Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus VTT, PL 1000, 02044 VTT

²Suomen Ympäristökeskus SYKE, PL 140, 00251 HELSINKI

³Maatalouden Tutkimuskeskus MTT, 31600 JOKIOINEN

TIIVISTELMÄ

Rakennuskannassa muutokset ovat hitaita ja niiden vaikutukset ovat pitkäaikaisia. Rakennuskannassa tehtävien muutoksien tulisi ensisijaisesti pienentää primäärienergiankulutusta ja sitä kautta vähentää päästöjä. Tämä on tärkeää, sillä uusiutuva energia on luonnonvara, jota tulee käyttää säästeliäästi, jotta se riittäisi moniin tarpeisiin. Samalla kun energiajärjestelmää kehitetään päästöjä vähentävään suuntaan, on hyvä kiinnittää huomiota myös muihin haasteisiin kuten esimerkiksi sopeutumiseen muuttuviin ilmasto-olosuhteisiin.

Rakennuksia, hajautettua energiantuotantoa ja koko energiajärjestelmäämme on tarkasteltava kokonaisuutena. Erittäin keskeistä on tarkastella myös kokonaisuuden vaikutusta sähkön huippukulutukseen, jonka vaikutus on merkittävä sekä päästöihin että energiajärjestelmän kapasiteetti-vaatimukseen. Energiankulutuksen lisäksi myös huipputehon tarvetta on pienennettävä. Erityisesti lämpöpumput, jotka eivät ole mitoitettu täysteholle ja joissa lämpimän veden varaajat on mitoitettu pieniksi, lisäävät huipputehon tarvetta. Uusiutuvan energian hajautettu tuotanto, joka on riippuvainen säästä (kuten aurinko- ja tuulienergia) vaatii aina varastointijärjestelmää tai kaksisuuntaista liitäntää energiaverkkoon. Aurinkoenergian käyttö jäähdytetyissä rakennuksissa on suositeltavaa, sillä silloin tuotanto ja kulutus ovat likimain samanaikaista. Biopohjaisen hajautetun tuotannon etuna on sen riippumattomuus sääolosuhteista.

Uusiutuvien energioiden käyttöön tulee kannustaa ja tehdä pientuotanto mahdolliseksi hajautettujen energiajärjestelmien yhteydessä samalla ottaen huomioon koko energiajärjestelmämme toiminta ja kokonaisuuden päästöjen pienentäminen. Hajautetun energiantuotannon teknologian kysyntä kasvaa maailmalla, ja Suomella on mahdollisuus kasvattaa tällä alueella uusia liiketoimintamahdollisuuksia ja vientiä. Hajautetuista pienimuotoisista energiajärjestelmistä voidaan hyötyä myös kansantaloudellisessa mielessä. Pienimuotoiseen energiantuotantoon (alle 1 MW) liittyvistä työllisyys- ja kansatalousnäkökohdista puuttuu kuitenkin tällä hetkellä yksiselitteistä aineistoa. Hyötyjen arviointiin tulisi kehittää menetelmiä, joilla voidaan myös arvioida yhteiskunnan tukitoimien miellekkyyttä jatkossa.

Lämpöpumpuilla ja biomassoihin perustuvalla pienenergiatuotannolla on parhaimmat edellytykset vastata rakennetun ympäristön energiantuotannon ja tehostamisen tarpeeseen vuoteen 2020 mennessä. Lämpöpumppujen ilmastoystävällisyyden kehittäminen vaatii kuitenkin ratkaisuja, jolla talviaikainen sähkönkulutus voidaan minimoida. Lämpöpumppuratkaisu soveltuu erityisen hyvin alueille, joissa ei ole yhdistetyn sähkön ja kaukolämmön tuotantoa saatavilla. Sitä vastoin nykyisellä energiajärjestelmällämme yhdistetyn tuotannon kaukolämpöalueella ei päästöjen kannalta ole perusteltua suosia maalämpöä. Aurinkoenergian käyttö osana rakennetun ympäristön hajautettua energiajärjestelmää tulee yhä edullisemmaksi, jos aurinkosähkön kustannukset alenevat nykyisellä tavalla. Samalla on kuitenkin huomioitava koko järjestelmän toimivuus myös silloin, kun aurinkoa ei ole saatavilla. Tämä vaatii uusia varstointiteknologioita ja hybridijärjestelmiä. Erityisesti on tärkeää minimoida talven huippukuormia ja niitä vastaavan tuotannon päästöjä.

Maailmalla on kokemuksia hajutetuista energiajärjestelmistä osana valtakunnallista sähköverkkoa. Suomen erityispiirteenä on varsinkin kaupungeissa yhdistettyyn lämmön- ja sähköntuotantoon perustuva kaukolämpöverkko. Aurinko- ja maalämmön yhdistämistä CHP-kaukojärjestelmiin tulisi tutkia lisää, jotta löydettäisiin tavat höydyntää näitä lämmönlähteitä ilman, että synnytetään päästöjen kannalta negatiivisia kerrannaisvaikutuksia.

Käyttäjillä ja rakennusten ylläpidolla on keskeinen rooli toteutuneessa energian kulutuksessa. Näitä on kuitenkin vaikeaa säädellä, mutta kannustavia ja ohjaavia toimenpiteitä tulee kehittää. Esimerkiksi energian hinnoittelulla ja kulutuksesta informoimisella on usein osoitettu olevan selkeä kulutusta hillitsevä vaikutus.

ALKUSANAT

Rakennettu ympäristö on merkittävä energiankuluttaja, mutta rakennettuun ympäristöön voidaan myös integroida hajautettua energiantuotantoa. Hajautettu energiantuotanto tulee yhdeksi osatekijäksi myös EU:n tavoitteissa lähes nollaenergiarakentamisesta. Rakennuskannassa muutokset ovat hitaita ja niiden vaikutukset ovat pitkäaikaisia, tämänvuoksi on tärkeää tarkastella vaikutuksia kokonaisuuden kannalta, eikä vain yksittäisen rakennuksen tai alueen näkökulmasta.

Ilmastopaneeli päätti loppukeväästä 2012 käynnistää energijärjestelmän päästönvähennystoimia koskevan selvityshankkeen, johon osallistuvat ympäristöministeriön tekemillä rahoituspäätöksillä Teknologian tutkimuskeskus (VTT), Aalto-yliopisto, Suomen ympäristökeskus (SYKE), Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus (MTT) sekä Helsingin yliopiston (HY) opettajankoulutuslaitos ja metsätieteiden laitos. Työn tavoitteena on tarkastella aihepiirejä, jotka ovat haasteita ilmasto- ja energiastrategian laadinnassa ja joiden hallintaa tulisi kehittää.

Hankkeen koordinaattorina toimi tutkimusprofessori Ilkka Savolainen (VTT), lisäksi hanketyöryhmään osallistuivat ilmastopaneelin jäsenet Miimu Airaksinen (VTT), Hannele Cantell (HY), Markku Kanninen (HY), Pirjo Peltonen-Sainio (MTT), Jyri Seppälä (SYKE) ja Sanna Syri (Aalto). Lisäksi työhön osallistui useita muita henkilöitä edellä mainituista organisaatioista.

Hankkeesta laadittiin kolme osaraporttia keskeisiksi valituilta alueilta ja yhteenvetoraportti. Rakennuksia, hajautettua energiantuotantoa ja koko energijärjestelmäämme on tarkasteltava kokonaisuutena. Päästöjen vähentäminen tulee tehdä kustannustehokkaalla tavalla samalla kun täytetään yhteisesti sovittuja tavoitteita esimerkiksi hajautetun energian tuotannossa. Hajautettu energia muuttaa kustannusoptimaalista tuotantorakennetta – erityisesti joustavuudesta tulee entistä arvokkaampaa kun tuuli- ja aurinkosähkö lisääntyy.

Espoossa 20.1.2013

Miimu Airaksinen
Tutkimusprofessori, VTT
Ilmastopaneelin energijärjestelmän päästönvähennyksiä koskevan
selvityksen osatehtävän hajautettut energijärjestelmät koordinaattori

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	2
ALKUSANAT	3
SISÄLLYSLUETTELO	4
RAKENNETUN YMPÄRISTÖN HAJAUTETUT ENERGIAJÄRJESTELMÄT	5
1. JOHDANTO	6
2. RAKENNUSKANTA JA SEN ENERGIAN TARVE	6
2.1. ASUINRAKENNUKSET, LIIKE- JA PALVELURAKENNUKSET	6
2.1.1. <i>Asuinrakennusten jäähdytys</i>	9
2.1.2. <i>Olemassa olevan rakennuskannan korjaaminen</i>	10
2.2. MAATALOUDEN RAKENNUKSET	11
3. HAJAUTETUT ENERGIANTUOTTOTAVAT	12
3.1. AURINKOENERGIA	12
3.2.1. <i>Aurinkolämpö</i>	12
3.2.2. <i>Aurinkosähkö</i>	12
3.2. BIOMASSAN POLTTO	14
3.3. BIOKAASU	16
3.4. LÄMPÖPUMPUT	17
3.5. PIENTUULI- JA MINIVESIVOIMA	17
4. HAJAUTETTU ENERGIAJÄRJESTELMÄ OSANA LAAJEMPAA ENERGIAVERKKOA	18
4.1. SÄHKÖVERKKO	18
4.2. KAUKOLÄMPÖVERKKO	20
5. KANSANTALouden VAIKUTUKSET	20
5.1. YHTEISKUNNAN SUORAT TUET JA NIIDEN MERKITYS	20
5.2. TYÖLLISYYS	22
5.2.1. <i>Arviointiin liittyviä näkökohtia</i>	22
5.2.2. <i>Suomen tilanne</i>	22
5.3. TUONTIPOLTTOAINEIDEN KORVAAMINEN	23
5.4. VIENTI JA INNOVAATIOT	25
6. JOHTOPÄÄTÖKSET	25
7. LÄHTEET	26

RAKENNETUN YMPÄRISTÖN HAJAUTETUT ENERGIAJÄRJESTELMÄT

M. AIRAKSINEN¹, J. SEPPÄLÄ², T. VAINIO¹, P. TUOMINEN¹, P. K. REGINA², P. PELTONEN-SAINIO², S. LUOSTARINEN², K. SIPILÄ¹, J. KIVILUOMA¹, TUOMAALA¹, I. SAVOLAINEN¹, M. KOPSAKANGAS-SAVOLAINEN²

¹Teknologian tutkimuskeskus VTT, PL 1000, 02044 VTT

²Suomen Ympäristökeskus SYKE, PL 140, 00251 HELSINKI

³Maatalouden Tutkimuskeskus MTT, 31600 JOKIOINEN

1. JOHDANTO

Suomessa asutus sijaitsee pääosin taajamissa, mutta tyypillistä Suomen rakennetulle ympäristölle on, että asutusta on myös hajautetusti. Lisäksi asutuskeskuksissakin asutus hajaantuu. Tiiviillä alueilla on tarjolla useita eri vaihtoehtoja lämmitykseen, kun taas haja-asutusseuduilla vaihtoehtojen määrä on rajatumpi.

Rakennetun ympäristön hajautettujen energijärjestelmien tunnusmerkkinä on energia, joka tuotetaan lähellä sen kulutuskohdetta. Lähenergia voi täyttää käyttäjän energiatarpeen kokonaan tai osittain. Esimerkiksi maalämpöä voidaan pitää lähenergialähteenä, mutta se tarvitsee tuekseen - yleensä valtakunnan verkosta saatavaa - sähköä. Hajautettu energiantuotanto onkin lähenergiaa laajempi kokonaisuus. Se voi muodostua erillisistä lähenergialähteistä, mutta käytännössä nykyiset hajautetun energian ratkaisut ovat olleet yhteydessä laajempaan alueelliseen tai valtakunnalliseen energian jakeluverkkoon. Suomesta löytyy esimerkkejä, joissa lähtökohtana on useamman talon tai rivitaloyhtiön yhteinen maalämpöjärjestelmä kytkettynä valtakunnan sähköverkkoon. Hajautetun energijärjestelmien yksiköitä voi sitoa yhteen sähköverkon lisäksi myös alueellinen kaukolämpö ja -kylmäverkko. Hajautetussa energijärjestelmissä voi olla myös isoja tuotantokokonaisuuksia, jotka on liitetty osaksi hajautetun energijärjestelmän jakeluverkkoa. Osa energiasta voi tulla käyttäjälle kaukaakin. Yleensä hajautettujen energijärjestelmien lähenergiantuotantoyksiköt perustuvat uusiutuviin energialähteisiin, mikä on myös tämän selvityksen tarkastelun lähtökohtana.

Hajautettu energijärjestelmä muuttaa perinteisen energijakeluverkon toimintatarkoitusta. Jakeluverkko muuttuu jakeluverkosta siirtoverkoksi, josta sekä otetaan energiaa käyttöön että johon syötetään lähenergiantuotanto. Hajautettu energijärjestelmä luo ratkaisumallin, jossa energian käyttäjästä voi tulla myös energiantuottaja. Samalla kun energijärjestelmää kehitetään päästöjä vähentävään suuntaan, on hyvä kiinnittää huomiota myös muihin haasteisiin kuten esimerkiksi sopeutumiseen muuttuviin ilmasto-olosuhteisiin.

Selvityksen tarkoituksena on luoda katsaus rakennetun ympäristön hajautetuista energijärjestelmistä ja niiden mahdollisuuksista olla osana Suomen energiaratkaisua pyrittäessä kohti vähähiilistä yhteiskuntaa. Tässä yhteydessä hajautetun energijärjestelmien energiantuotantotavoista tarkastelun kohteena on lähemmin pientuotanto, jonka tuotanto teho on alle 1 MW.

2. RAKENNUSKANTA JA SEN ENERGIAN TARVE

2.1. Asuinrakennukset, liike- ja palvelurakennukset

Suomessa uudisrakentamisen määrä lähti kasvuun 1950-luvulla. Siitä eteenpäin 1990-luvun loppuun saakka rakennettiin jatkuvasti enemmän ja enemmän uusia rakennuksia ja alueita. Ennen vuotta 1960 rakennettujen rakennusten osuus rakennuskannasta on 20 prosenttia. Tällä hetkellä aktiivisimman korjaustoiminnan kohteena olevien rakennusten eli 60- ja 70-luvuilla rakennettujen rakennuttujen rakennusten osuus rakennuskannasta on noin 30 prosenttia.

Uudistuotanto on vaihdellut viime vuosina 8-10 miljoonassa neliömetrissä, joka on noin 1,5 prosenttia rakennuskannan kokonaismäärästä. Uudistuotanto puoliiksi korvaa poistumaa, puoliiksi kasvattaa rakennuskantaa. Poistuma liike- ja palvelurakennuskannasta on merkittävästi suurempi kuin asuinrakennuskannasta. Loma-asuntoja on 492 700 kpl (Tilastokeskus, Rakennukset ja kesämökit), joka on lukumääräisesti merkittävä määrä suhteessa koko asuntokantaan (2 835 600 kpl; Tilastokeskus, Asunnot). Loma-asunnoista suuri osa on kuitenkin pieniä ja käytössä vain kesäisin. Vuoden 2005 vapaa-

ajan asuntokannan sähkönkulutus oli noin 900 GWh/ vuosi ja nykyisellä kasvuvauhdilla sähkönkulutus kasvaisi vajaa 60 % vuoteen 2025 asti (Rytkönen ja Kirkkari 2010).

Asuinpinta ala asukasta kohti on kasvanut 1970-luvun alle 20 m² tämän päivän 40 neliometriin asukasta kohti. Jakaumassa omakotitalojen, rivitaloasuntojen ja kerrostaloasuntojen kesken ei ole tapahtunut juurikaan muutoksia viimeisten vuosikymmenien aikana. Omakotitaloja ja kerrostaloasuntoja on kumpiakin reilu 40 prosenttia ja loput asunnoista ovat rivitaloissa. Asumisväljyydessä ja -valinnoissa tulee näkymään väestön ikääntyminen. Entistä useammin asutaan yksin, väljemmin ja kerrostaloissa (Vainio, 2012).

Liikerakennuksia on rakennettu viime vuosina keskimäärin 615 000 m². 1990-luvun laman jälkeen uusien liikerakennusten yksikkökoko on kasvanut jatkuvasti. Liikerakennusten keskikoko on ollut viime vuosina 2250 m². Kokojakauma on laaja. Pienimpien uusien liikerakennusten, eli alimman neljänneksen keskikoko jää 250 neliöön. Suurimpien eli ylimmän neljänneksen keskikoko nousee 40 000 neliöön. Liikerakennusten määrä asukasta kohden on kasvanut vuosikymmenestä toiseen niin, että tällä hetkellä liiketiloja on asukasta kohti 5 m². (Tilastokeskus, Rakennukset ja kesämökit)

Uutta toimistotilaa on rakennettu viime vuosina 180 000 m². Uusien toimistorakennusten koon kehitys on ollut toisenlainen kuin liikerakennusten. Lama muutti pääkonttorityyppisten rakennusten rakentamisen business park-tyyppiseksi tuotteiksi, jossa yksittäiset uudisrakennukset ovat kohtuullisen pieniä yksiköitä (< 1200 m²). Toimistoja on asukasta kohti 3.5 m². Suuri osa näistä on rakennettu 1980-luvulla, jonka jälkeen rakentamisen määrät ovat vähentyneet merkittävästi. (Tilastokeskus, Rakennukset ja kesämökit)

Uusia opetus- ja hoitoalojen rakennuksia on rakennettu viime vuosina keskimäärin 380 000 m². Opetusalan rakentamisessa oli boomi 2000-luvun alkupuolella, jonka jälkeen rakentamisen määrät ovat vähentyneet. Hoitoalan rakentaminen sen sijaan on ollut kasvussa 1990-luvun alusta lähtien. Rakentamisen määrässä on kuitenkin vuosittaista vaihtelua. Suurin osa uusista rakennuksista on kooltaan 1000–2000 m². Opetus- ja hoitoalojen rakennuksia on asukasta kohti 5 m². (Tilastokeskus, Rakennukset ja kesämökit)

Rakennuskantaa oli vuonna 2010 arviolta noin 550 miljoonaa neliometriä kun siihen lasketaan mukaan kaikki rakennukset. Lukema on arvioitu osittain uudistuotantotietojen perusteella, koska rakennus- ja huoneistorekisteri ei sisällä kaikkia rakennuksia, etenkin ei kaikkia vanhoja rakennuksia. Tämä johtuu siitä, että rekisteriin kirjattiin väestölaskennan perusteella vain ne rakennukset, joissa asuttiin vakituisesti tai joissa työskenteli ihmisiä. Nykyisin Suomen väestölaskennat suoritetaan rekistereiden pohjalta. Muutokset rakennuskohtaisiin tietoihin tehdään rakennushankeilmoitusten perusteella.

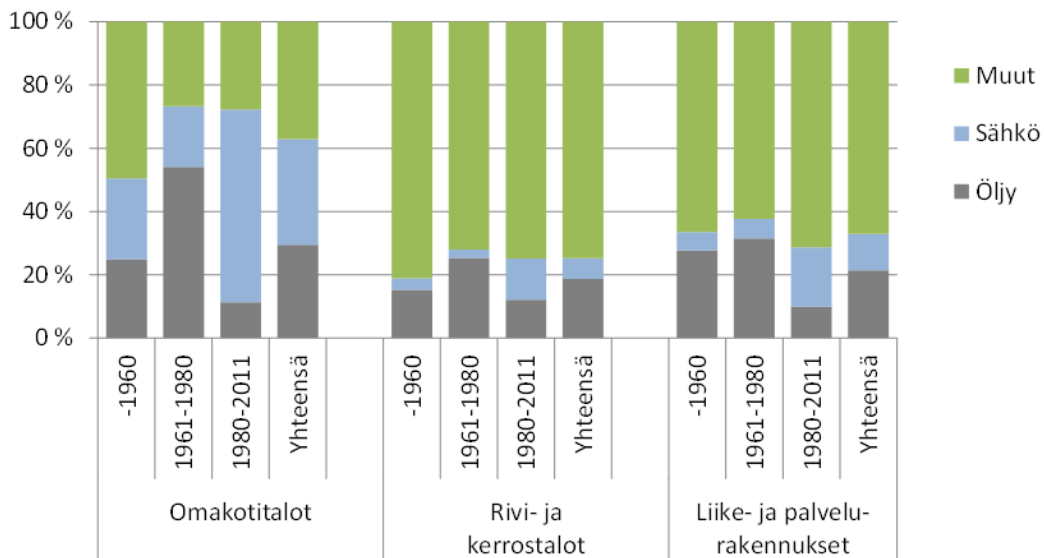
Rakennukset kuluttavat Suomessa ja useimmissa länsimaissa noin 40% energian loppukäytöstä (EU 2008 A). Tästä pelkästään 22% menee rakennusten lämmittämiseen (EU 2008 A, EU 2008 B). Asuin, liike- ja palvelurakennusten osuus on Suomessa määräävä, kerrosalasta on noin 65 prosenttia ja energiakulutuksesta 80 prosenttia. Suomen rakennuskannasta merkittävä osuus on asuinrakennuksia ja erityisesti pientalojen osuus on suuri, noin 30% energiankulutuksesta (Tilastokeskus 2011). Asuinrakennukset (pientalot, rivi- ja kerrostalot) kuluttavat 52% Suomen rakennuskannan energiasta. Tuotantorakennusten osuus on 23%, liike- ja toimistorakennusten 17% ja julkisten palvelurakennusten osuus 8%.

Koko rakennuskannan (2010) ostoenergiankulutus on noin 75 000 GWh vuodessa. Koko kannan tasolla ulkovaipan ja ilmanvaihdon lämpöhäviöt ovat lähes yhtä suuret. Asuinrakennusten ja liike- ja palvelurakennusten energiankulutusjakaumat poikkeavat merkittävästi toisistaan. Asuinrakennuksissa korostuu ulkovaipan lämpöhäviö (42%). Liike- ja palvelurakennuksissa korostuu ilmanvaihdon lämpöhäviö (44%).

Kotitaloudet omistavat rakennuskannasta 60 prosenttia joko suoraan tai asunto-osakeyhtiöiden välityksellä. He ovat siten avainryhmä energiatehokkuuden tavoittelussa. Toiseksi tärkein ryhmä ovat yritykset, jotka omistavat noin 20 prosenttia rakennuskannasta. Yritykset omistavat joko toimitilansa tai vuokratiloja kiinteistöosayhtiöiden välityksellä. Euroopan Unioni korostaa julkisen sektorin merkitystä. Tätä voi perustella esimerkkinä muille toimijoille. Julkisen sektorin omistuksessa on lopulta melko pieni osuus koko rakennuskannasta.

Suurin osa rakennuksen lämmityksestä on tällä hetkellä tuotettu fossiilisilla energioilla (Balaras ym. 1999), jotka joko suoraan tai epäsuorasti vaikuttavat paikallisia ja alueellisia ympäristövaikutuksia kuten hiukkaspäästöjä, rikkioksideja sekä typen oksideja (Kara 2004). Rakennusten energiatehokkuuden parantaminen pienentää päästöjä ympäristöön, rakennusten energiatehokkuuden parantaminen on yksi kustannustehokkaimmista keinoista päästöjä (Enkvist ym. 2007, IPCC 2007). Suomessa yli puolet omakotitaloista, viidennes rivi- ja kerrostaloista sekä 35 prosenttia liike- ja palvelurakennuksista lämmitetään joko öljyllä tai sähköllä.

Rakennuskanta - lämmönlähteet

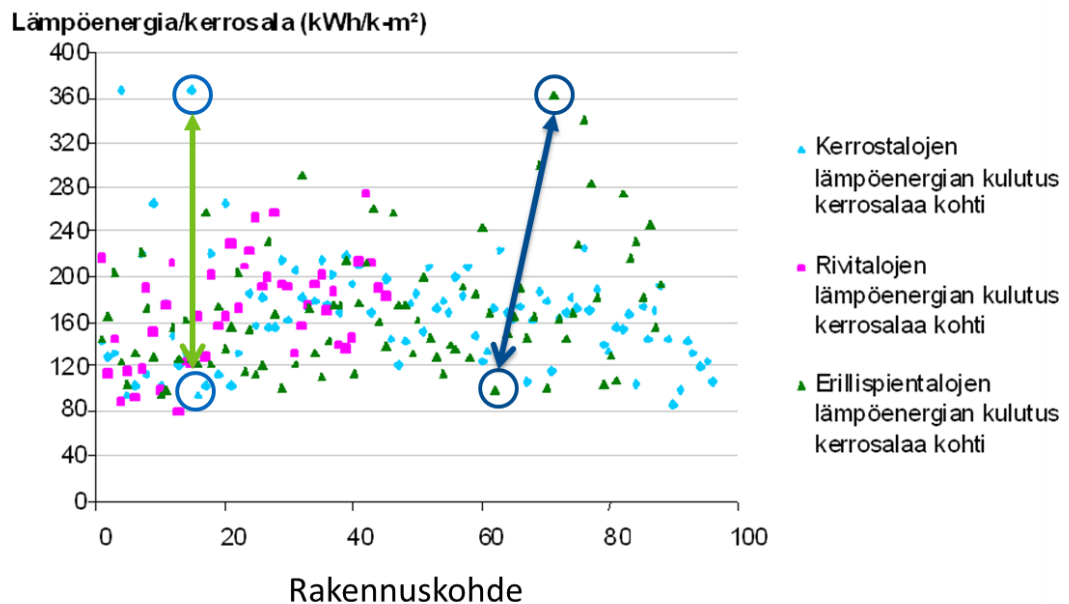


Kuva 1. Rakennuskannan lämmönlähteet.

Uudisrakentaminen tulee korvaamaan rakennuskannasta poistuvia rakennuksia ja kasvattamaan rakennuskantaa niin, että vuoteen 2050 mennessä asuin-, liike- ja palvelurakennuskannuksia tulee olemaan lähes 30 prosenttia enemmän. Vuoden 2010 asuin-, liike- ja palvelurakennuskannasta on jäljellä 75 prosenttia. Korjaustoiminnalla tulee olemaan suhteellisesti suurempi merkitys asuinrakennuskannassa.

Suomessa uuden asuinrakennuksen keskimääräinen energiankulutus on noin 130-150 kWh/m², josta rakennusten tilojen lämmittämiseen kuluu noin 70 kWh/m². Olemassa olevassa asuinrakennuskannassa keskimääräinen lämmitysenergiankulutus on noin 250 kWh/m², josta tilojen lämmittämisen osuus on 160 kWh/m². Asuinrakennusten lämmitysenergiankulutus vaihtelee kuitenkin merkittävästi käyttäjistä riippuen. Esimerkiksi samana vuonna rakennettujen, teknisiltä ominaisuuksiltaan samoja olevien asuintalojen erot voivat olla 4-5-kertaisia pelkästään lämmitysenergiankulutuksen kannalta, kuva 2.

Vuosien 2001 ja 2005 välillä valmistuneiden rakennusten ominaiskulutukset



Kuva 2. Rakennusten lämpöenergiankulutus vaihtelee merkittävästi asukkaiden käyttäytymisestä johtuen. Lähde: Boström et. al. 2012

Uudisrakentaminen on tilojen lämmitysenergiankulutukseltaan jo kohtuullisen pientä, lisäksi EU:n 2020 tavoitteet ohjaavat uudisrakentamisen lähes nollaenergiatasoon. Lähes nollaenergiataso päätetään kansallisesti, mutta Suomessa ei ole vielä määritelty tasoa. Energiankulutuksen lisäksi olisi tärkeää säädellä myös rakennusten huipputehontarvetta. Energiankulutuksen pienentyessä puoleen tai jopa pienemmäksi pienenee huipputehontarve vain noin 30 % (esim. Airaksinen ja Vuolle 2012). Lisäksi huipputehon ja normaalin käyttötehon ero suurenee (Steinfeld et.al. 2011) ja aiheuttaa esimerkiksi sähköverkolle suurempia haasteita ja lisää päästöjä nykyisellä tuotantorakenteella (Thyholt et al. 2008, Steinfeld et.al. 2011).

Käyttäjien merkityksen onkin todettu olevan suuri monissa eri tutkimuksissa. Pelkästään energian mittauksen on todettu vähentävän energiankulutusta 10-34% (esim. Norther Irelan, Canada, OntarioUS). Toisaalta myös teknologialla on pystytty saamaan merkittäviä säästöjä esimerkiksi valaistuksen energiansäästö on monissa tutkimuksissa havaittu olevan 25-50%. (esim. Audin 1993, EPRI 1994, Caddet 1995) Valaistus on yksi suurimmista sähköenergiankuluttajista erityisesti toimisto ja liikerakennuksissa.

2.1.1. Asuinrakennusten jäähdytys

Olemassa olevassa asuinrakennuskannassa jäähdytystä on vielä erittäin vähän. Sen määrä on kuitenkin kasvamassa erityisesti kalliimmissa asuinnoissa. REMA-mallilla tehdyn laskelman mukaan, jos uusiin asuinrakennuksiin asennettaisiin ilmastointi tai lämpöpumppu jota käytetään kesäisin jäähdytykseen, ja vuosittain 2,5 prosenttiin asuinrakennuksista tehtäisiin sama jälkiasennuksena, kasvaisi vuoteen 2050 sähkönkulutus 890 GWh/a verrattuna tilanteeseen jossa asennuksia ei tehtäisi. Tämä vastaa noin 5% kasvua kotitalouksien sähkönkäyttöön.

2.1.2. Olemassa olevan rakennuskannan korjaaminen

Rakennuskannan korjaamisella on merkittäviä vaikutuksia tulevaisuuden energiankäytölle. Tutkimuksessa (Airaksinen ja Vainio 2012) tarkasteltiin eri korjausrakentamisen skenaarioita Suomen rakennuskantaan. Skenaariot 0-1 olivat korjaustoimenpiteiltään erittäin pieniä, skenaario 2 vastaa Suomen rakentamismääräyskokoelman lausunnolla olevaa tasoa. Skenaario 3 sitä, että kaikki korjaaminen tehdään uudisrakentamisen tasoiseksi. Kaikissa skenaarioissa on oletuksena, että korjaaminen tehdään vasta kun rakennusosa on selvästi ylittänyt teknisen käyttöikänsä. Skenaarioissa B oletuksena oli, että korjausrakentamisen määrä kaksinkertaistuu nykyisestä. Tällä hetkellä korjausrakentamisen määrä on noin 1-1,5%.

Muutokset rakennuskannassa tapahtuvat hitaasti, tämän vuoksi rakennuskannan energiankulutus ennätää vähentyä vain vähän vuoteen 2020 mennessä. Skenaariossa 0 energiankulutus vähenee kolme prosenttia vuodesta 2012 vuoteen 2020. E-luvulla (Suomen rakentamismääräyskokoelman ”primäärienergia”) mitattuna kulutus vähenee prosentin ja hiilidioksidipäästöt kahdeksan prosenttia verrattuna vuoden 2012 tasoon. Skenaariossa 1 poikkeaa skenaariosta 0 vain prosenttiyksikön.

Skenaariossa 2 vuonna 2020 energiankulutus on 6 prosenttia vähemmän kuin vuonna 2012, E-luvulla mitattuna kulutus on 3 prosenttia ja hiilidioksidipäästöt 10 prosenttia vähemmän. Vuoteen 2030 mennessä skenaariossa 2 koko rakennuskannan energiankulutus on 13 prosenttia pienempi kuin 2012 taso, E-luku 8 prosenttia ja hiilidioksidipäästöt 23 prosenttia pienemmät verrattuna 2012 tasoon.

Skenaariossa 3 koko rakennuskannan energiansäästö kolminkertaistuu (9 prosenttia) vuonna 2020 verrattuna skenaarioon 0. E-luku on 5 prosenttia pienempi ja CO₂ päästöt 13 prosenttia pienempiä vuonna 2020 verrattuna 2012 tasoon. Vuonna 2030 energiankulutus on vähentynyt 19 prosenttia koko kannassa, E-luku on 12 prosenttia pienempi ja hiilidioksidipäästöt ovat 29 prosenttia pienemmät verrattuna 2012 tasoon.

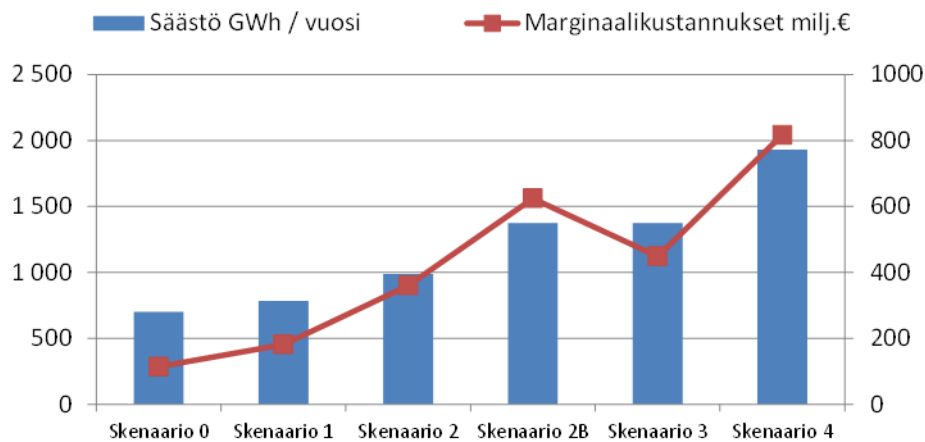
Taulukko 1. Eri skenaarioiden energiankulutuksen, E-luvun (Suomen rakentamismääräyksen ”primäärienergia”) ja hiilidioksidipäästöjen vähennystä on verrattu 2012 tasoon. Vuoteen 2050 ulottuva arvio on epävarma, koska siihen mennessä energiainfrastruktuuri voi jo muuttua radikaalisti eikä näitä muutoksia ole laskelmissa ennakoitu. Taulukko kertoo siis mikä rakennuskannan vaikutus on ilman energiainfrastruktuurin muutoksia.

	KOKO KANTA (ennen 2012 rakennettu – poistuma + uudistuotanto 2012 jälkeen)								
	2010			2030			2050		
	Energia	E	CO ₂ ekv	Energia	E	CO ₂ ekv	Energia	E	CO ₂ ekv
Skenaario 0	-3 %	-1 %	-8 %	-9 %	-3%	-20 %	-19 %	-10 %	-41 %
Skenaario 1 Business as usual	-4 %	-1 %	-9 %	-10 %	-5 %	-21 %	-21 %	-12 %	-42 %
Skenaario 2	-6 %	-3 %	-10 %	-13 %	-8 %	-23 %	-25 %	-16 %	-46 %
Skenaario 2B	-8 %	-4 %	-12 %	-17 %	-10 %	-27 %	-28 %	-18 %	-48 %
Skenaario 3	-9 %	-5 %	-13 %	-19 %	-12 %	-29 %	-33 %	-23 %	-52 %
Skenaario 4	-13 %	-8 %	-17 %	-27 %	-18 %	-36 %	-37 %	-26	-55 %

	NYKYINEN KANTA (ennen 2012 rakennettu – poistuma)								
	2010			2030			2050		
	Energia	E	CO ₂ ekv	Energia	E	CO ₂ ekv	Energia	E	CO ₂ ekv
Skenaario 0	-10 %	-8 %	-14 %	-21 %	-19 %	-31 %	-41 %	-38	%-58
Skenaario 1 Business as usual	-10 %	-9 %	-15 %	-22 %	-20 %	-32 %	-43 %	-40 %	-59 %
Skenaario 2	-12 %	-10 %	-17 %	-25 %	-23 %	-35 %	-48 %	-45 %	-63 %
Skenaario 2B	-14 %	-12 %	-18 %	-29 %	-26 %	-38 %	-50 %	-46 %	-64 %
Skenaario 3	-15 %	-13 %	-19 %	-31 %	-27 %	-40 %	-55 %	-50 %	-68 %
Skenaario 4	-19 %	-16 %	-24 %	-39 %	-33 %	-47 %	-60 %	-53 %	-71 %

Skenaarioiden kannattavuusvertailu

- ennen 2012 rakennettujen rakennusten korjaukset



Kuva 3. Skenaarioiden korjausstrategioiden kannattavuusvertailu. Poikkileikkausvuosi ajoittuu ajanjaksolle 2012–2020, jolloin asuinrakennusten korjauksiin ei liity ilmanvaihdon energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä. Energiansäästö luetaan vasemmalta akselilta ja sitä vastaavat kustannukset oikealta asteikolta. Kannattavuudeltaan parhaat skenaariot ovat 0,1 ja 3. Heikoiten kannattavat skenaariot ovat 2, 2B ja 4. (Airaksinen ja Vainio 2012).

2.2. Maatalouden rakennukset

Maatalouden tiloilla käyttämän energian kasvihuonekaasupäästöt ovat n. 1,5 Tg CO₂-ekv., mikä on noin 2-3% Suomen kokonaispäästöistä (Statistics Finland 2012). Tämä sisältää maatilojen lämmityksen (20%), viljan kuivauksen (20%) ja koneiden kuluttaman energian (60%). Tilojen kulutuksesta on viidennes sähkönkulutusta ja loppuosa polttoaineiden kulutusta (Motiva 2011).

Maatalouden rakennetun ympäristön energiansäästön toteuttamiseksi valitut toimet ovat Maatilojen energiaohjelma sekä investointituet lämpökeskuksiin, tuoreviljasiiloihin ja lämmittämättömiin karjasuojiiin.

Vuonna 2010 alkanut Maatilojen energiaohjelma tarjoaa tiloille palveluja energiansäästön ja energiatehokkuuden edistämiseen. Tilan energiankäytön tehostamiseen pyritään joko omavalvonnan, energiasuunnitelman tai energiakatselmuksen avulla. Tavoitteena on saada ohjelmaan liittymään tilamäärä, joka edustaa 80% maataloussektorin koko energiankäytöstä. Kesäkuun alkuun 2011 mennessä ohjelmaan oli liittynyt 181 tilaa ja tuettuja energiasuunnitelmia oli tehty 80 tilalle. Toistaiseksi vaikutus on ollut pieni, mutta ohjelman vaikutukseksi vuoteen 2020 mennessä on arvioitu 0,4 TWh vuotuinen säästö energian loppukulutuksessa (TEM 2011).

Rehuntuotannon energiankulutusta voidaan vähentää suosimalla viljan tuoresäilöntää kuivatun rehuviljan asemesta. Tuorerehusäilöntä on energiankulutukseltaan merkittävästi pienempää kuin perinteinen viljan kuivaus. Tuoresäilöntään käytettävien siilojen rakentamiseen on mahdollista saada investointitukea, ja tämän toimen vaikutus vuoteen 2010 mennessä on ollut 4 GWh/vuosi ja potentiaali vuoteen 2020 mennessä on 31 GWh/vuosi (TEM 2011).

Karjasuojien sähkö- ja lämpöenergian kulutusta voidaan pienentää rakentamalla lämmittämättömiä rakennuksia. Maatalouden rakennusohjeissa ja maatalouden investointituen avulla viljelijöitä ohjataan rakentamaan lämmittämättömiä karjasuojia aina kun se on eläinten hyvinvoinnin ja tuotannon kannattavuuden kannalta mahdollista. Toimen vaikutus vuotuisen energiankäyttöön vuoteen 2010 mennessä on ollut 2 GWh/vuosi ja sen arvioidaan olevan 17 GWh/vuosi vuoteen 2020 mennessä (TEM 2011).

3. HAJAUTETUT ENERGIANTUOTTOTAVAT

3.1. Aurinkoenergia

3.2.1. Aurinkolämpö

Aurinkolämmön kerääminen tilojen lämmityksen ja etenkin lämpimän käyttöveden tuottamisen tueksi auttaa rakennuksia pääsemään lähemmäs yli vuoden laskettavaa nettonollaenergiatasoa. Helsingin Kalasataman alueelle tehdyn laskelman mukaan pientalot voivat integroidun aurinkolämmön ja -sähkön tuotannon avulla saavuttaa nettonollaenergiatason, mutta kerrostaloissa sen saavuttaminen on vaikeaa saatavilla olevien sijoituspintojen rajallisuuden ja korttelissa syntyvien varjostusten johdosta.

Suomen olosuhteissa rakennukset tarvitsevat joka tapauksessa välttämättä muitakin lämmönlähteitä, sillä talvikuukausina, jolloin lämmönkulutus on suurimmillaan, on auringon säteilyä saatavilla vähiten. Nettonollaenergiatason saavuttaminen edellyttää myös kaksisuuntaisia kuluttajan verkkoliityntöjä, jolloin hetkellinen sähkön ja lämmön ylituotanto on syötettävissä verkkoon varastoitavaksi tai kulutettavaksi kun rakennuksen oma kulutus on pienempi kuin auringosta saatavan energian määrä. (Tuomaala ym. 2012) Verkkoon varastoiminen on kuitenkin vielä teknistaloudellisesti haastavaa.

Suhteellisen helposti saavutettava ensiaskele aurinkolämmön käytön lisäämiseksi on aurinkokeräimien yhdistäminen lämpimän käyttöveden tuotantoon, koska sitä kulutetaan myös kesäisin, jolloin auringosta saatu energiamäärä on suurimmillaan. Kun keräimet mitoitetaan tuottamaan keskimäärin puolet lämpimästä käyttövedestä, voidaan käytännössä kaikki tuotettu energia hyödyntää paikallisesti. Riippuen vaihtoehtoisen lämmitysenergian hinnasta järjestelmä on etenkin uudiskohteissa usein taloudellisesti kannattava, joskin vielä suhteellisen harvinainen. Kannattavuus luonnollisesti paranee mikäli asennusten määrä kasvaa, ja tuotannon skaalaedut sekä suunnittelijoiden ja rakentajien harjaantuminen tekevät järjestelmästä edullisemman hankkia. Tästä syystä alkuvaiheessa voi olla perusteltua tukea ja kannustaa tekniikan laajemmassa käyttöönotossa. Toisaalta aina tukia harkittaessa on syytä tarkastella niiden kokonaisvaikutus sekä tarkasti määritellä tukien asteittainen poistuminen.

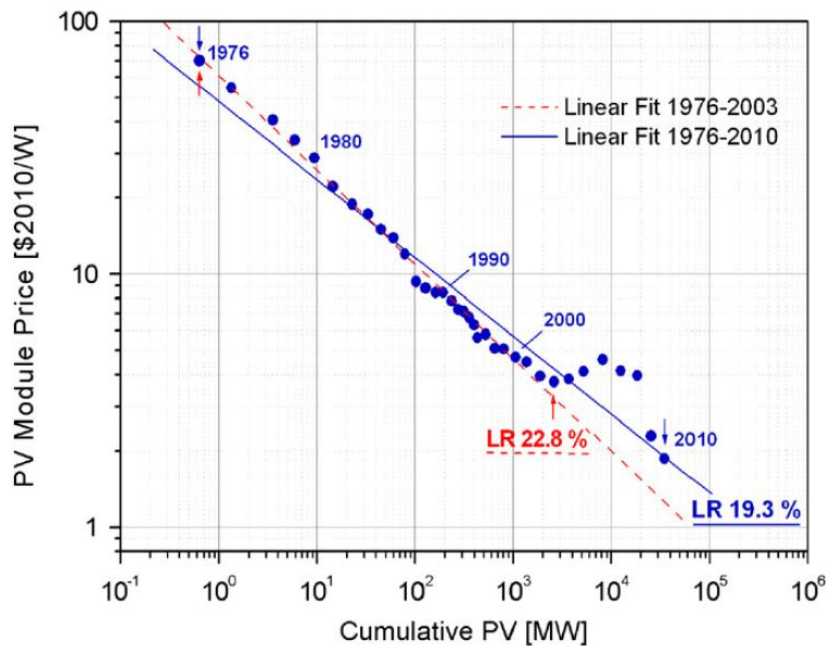
3.2.2. Aurinkosähkö

Maailmalla on erilaisia tukijärjestelmiä aurinkoenergian käytön lisäämiseksi. Lähes kaikki teollisuusmaat tukevat tavalla tai toisella aurinkosähkön käytön lisäämistä. Asennetun tuotantokapasiteetin määrän lisäyksellä mitattuna tehokkaimmaksi tukimuodoksi on tähän mennessä osoittautunut Saksan syöttötariffijärjestelmä. Vuodesta 2000, jolloin nykytuotoinen syöttötariffi otettiin käyttöön, vuoteen 2012 aurinkosähkön tuotantokapasiteetti on kasvanut Saksassa 0,06 gigawatista 29 gigawattiin, mikä on eniten maailmassa ja kattaa 5% Saksan sähkönkulutuksesta (BMU 2012a). Toisaalta Italiassa asennettiin vuonna 2011 yli 9 GW, kun Saksan ennätys (vuodelta 2010) on 7,4 GW. Kumulatiivisesti Saksa on toki edelleen edellä, mutta järjestelmän kokoon suhteutettuna ero ei ole enää niin suuri kuin aikaisemmin.

Saksan syöttötariffijärjestelmä on ensimmäinen, jossa taattiin tuottajille oletettuja tuotantokustannuksia vastaava pitkäaikainen takuuhintataso. Nykyään näitä piirteitä pidetään nykyaikaisen syöttötariffijärjestelmän perusominaisuuksina (Couture ym. 2010). Pitkäkestoinen takuuhinta merkitsee, että tuotantolaitoksiin investoijat saavat poikkeuksellisen varman pitkänaikavälin tuoton sijoitukselleen. Pienellä riskitasolla on todennäköisesti ollut ratkaiseva merkitys sähkön tuotantomäärien nopealle kasvulle ja myös merkittäväle kotimaisen aurinkosähkölaitteistojen ja komponenttien tuotantoteollisuuden laajentumiselle. Viime vuosina paneelien tuotanto on kuitenkin siirtynyt Euroopasta ja Yhdysvalloista halvempien tuotantokustannusten maihin Aasiassa.

Saksan syöttötariffijärjestelmän käänöpuolena on sitoutuminen varsin suuriin tukikustannuksiin koska hintasopimukset jatkuvat jopa 20 vuotta tulevaisuuteen. Vuoteen 2010 mennessä asennettujen aurinkopaneelien tukikustannukset huomioiden koko tukijakson nousevat 53 miljardiin euroon vuoden 2007 rahassa mitattuna (Frondele ym. 2008). Kustannuksia rajoittamaan syöttötariffijärjestelmiin voidaan sisällyttää mekanismeja kuten laskevat tariffitasot tai riippuvuus markkinahinnoista. Toisaalta juuri suuret tukisummat ovat epäilemättä olleet ratkaisevassa asemassa nopeiden, suurisuuntaisten investointien yllykkeinä.

Syöttötariffijärjestelmä on tehnyt rakennuksiin integroiduista aurinkosähköjärjestelmistä arkipäivää Saksassa ja siten auttanut yksittäisten pilottien yli laajamittaisempaan tuotantoon ja asennuksiin. Näin ollen Suomella on aurinkosähkön kohdalla mahdollisuus ottaa käyttöön suhteellisen kypsää tekniikkaa, joka edelleen kehitty nopeasti. Kuva 4 esittää aurinkosähköpaneelien hinnan suhteessa tehoon kehityksen vuodesta 1980 vuoteen 2009, sekä kaksi trendiviivaa. Kuva 4 esittää vakiintuneen käytännön mukaisesti paneelin huipputehon mukaisen kehityksen, eli sen tehon, jonka paneeli tuottaa kun siihen osuu suora auringonvalo. Trendin osoittama hinta koskee vain paneelin hintaa, joka ei sisällä asennuskusannuksia. Kuvassa näkyy kaksituhatlunun ensimmäisen vuosikymmenen aikana lyhyt hinnannousu, joka johtui Saksan yhtäkkisestä massiivisesta aurinkopaneeliliisäyksestä ja sen aiheuttamasta kysynnän kasvusta. Sitten teollisuus on sopeutunut uuteen tilanteeseen ja hintakehitys on palannut lähelle pitkänaikavälin trendiviivaa.



Kuva 4. Aurinkosähköpaneelien hinta huipputehoa kohti (pystyakseli, 2010 \$/Wp, logaritminen asteikko) on laskenut sitä mukaa kun järjestelmiä on tuotettu ja asennettu (vaaka-akseli, kumulatiivinen asennettu huipputeho, MWp, logaritminen asteikko). Aikavälistä riippuen hinta on alentunut keskimäärin 22,8 % tai 19,3 % vuodessa. (Jelle ym. 2012)

Syksyllä 2012 aurinkosähköpaneelin maailmanmarkkinahinta oli huipputehoa kohti laskien alle 1 €/Wp (Neidlein ja Gifford 2011) ja kuluttajahinta Euroopassa noin 2 €/Wp (NDP 2012). Käytännössä Suomen olosuhteissa oikein asennettu aurinkopaneeli tuottaa noin 10% huipputehostaan yli vuoden laskettuna, joten voidaan laskea että keskimääräistä tuotettua tehoa kohti aurinkosähköpaneelin hinta on noin 20 €/W. Lisäksi tulevat järjestelmän muut osat sekä asennuskustannukset, jotka vaihtelevat kohteesta riippuen, mutta nostavat kustannuksia tyypillisesti joitain kymmeniä prosentteja.

Suomelle tyypillisellä auringon säteilyn intensiteetillä Bazilian ym. (2012) arvioivat että tavanomainen asuinrakennukseen integroitu aurinkosähkön tuotanto maksaisi 0,33 \$/kWh eli 0,25 €/kWh vuoden 2012 hintatasolla. Kuvan 4 havainnollistamaa muutostrendiä seuraten vuoden 2015 hintatasolla vastaava luku olisi 0,25 \$/kWh eli 0,19 €/kWh. Paneelin tuottamaa sähköä voidaan verrata ydinvoimalla (0,04 €/kWh), maakaasulla (0,07 €/kWh) ja tuulivoimalla (0,06 €/kWh) tuotetun sähkön kustannuksiin Suomessa (Kivistö ja Vakkilainen 2011).

Aurinkosähkön tuotanto ei suoraan aiheuta päästöjä tai merkittäviä ympäristöhaittoja; huomattavimpia lienevät maisemalliset ja maankäytölliset kysymykset. Välillisesti aurinkosähkö aiheuttaa ympäristöhaittoja, joista pääosa on tuotannonaikaisia ja liittyy materiaalien ja energiankulutukseen. Näistä välillisistä ympäristöhaitoista puhuttaessa täytyy muistaa, että verrattuna tavanomaiseen fossiililla polttoaineilla tapahtuvaan energiantuotantoon aurinkosähkön elinkaarenaikaiset kokonaishaitat ovat suhteellisen pienet, noin kymmenesosa hiilivoimaan verrattuna (mm. EU 2003, Fthenakis ja Alsema 2006).

Aurinkosähkön koko elinkaaren aikaisista ympäristöhaitoista merkittävimpiä ovat luonnonvarojen kuluminen, ilmastokaasupäästöt, happamoivat päästöt, vesistöjen ympäristömyrkyt ja ihmisille haitalliset päästöt tässä järjestyksessä (Meijer ym. 2003). Yksi tapa arvioida aurinkosähkön investoinnin mielekkyyttä ympäristön näkökulmasta on mitata aikaa, joka kuluu saman energian tuottamiseen aurinkosähkölajitelmallä kuin mitä kuluu kyseisen järjestelmän valmistamiseen, kuljettamiseen, asentamiseen, purkuun yms. sen elinkaaren aikana. Laskentatavasta riippuen arviot vaihtelivat vuonna 2008 Etelä-Suomen olosuhteissa kolmesta kuuteen vuoteen, pohjoisessa Suomessa aikaa kuluisi n. 1-2 vuotta pidempään (Jungbluth ym. 2008, Stoppato 2008). Nämä ajat lyhenevät kuvan 4 mukaisen kehityksen edetessä ja ovat näin ollen vuonna 2012 jo luultavasti joitain kymmeniä prosentteja tätä lyhyempiä. Luvut voivat vaihdella myös enimmillään noin 30% riippuen käytetystä teknologiasta (Itoa ym. 2010) ja samassa mittakaavassa liikkuu myös valmistusmaan vaikutus (Dominguez-Ramos ym. 2010); riippuvathan valmistuksen aikaiset päästöt luonnollisesti valmistusmaan energiantuotannon ympäristökuormasta. Muuta kuin energiankäyttöä koskevia arvioita valmistusmaan merkityksestä on vähänlaisesti saatavilla, mutta niitä koskien valmistusmaan merkityksen voidaan arvioida olevan samassa mittaluokassa kuin energian kohdalla.

Puhtaasti markkinaehtoisesti kilpailukykyiseen tuotantoon aurinkosähköllä on vielä matkaa etenkin Suomen olosuhteissa. Toisaalta energiajärjestelmän valmistautumisella ja sopeuttamisella tulevaan tilanteeseen, jossa aurinkosähkön hinta on alentunut ja vähenevien fossiilisten polttoaineiden ja päästöoikeuksien hinta noussut, voi olla arvoa sinänsä. Lisäksi muut mahdolliset käyttöön otettavat tukimuodot kuten pientuotannon nettolaskutus (Sitra 2012, TEM Bionova selvitys), jossa pientuottaja saa vähentää tuottamaansa energian sähkölaskusta, voivat lisätä aurinkosähkön tuotantoa Suomessa nykytilaan verrattuna. Tukitoimia harkittaessa on harkittava tarkoin sen vaikutus koko energiajärjestelmään sekä tukien asteittainen poistuminen.

Kustannuksia voitaisiin alentaa myös yhtenäisillä standardeilla, jotka olisivat mieluiten EU:n laajuisia. Joillakin toimenpiteillä voitaisiin varautua aurinkosähkön myöhempään lisääntymiseen jo nyt vähäisin tai olemattomin kustannuksin, esimerkiksi uusilla asuinalueilla määräämällä kattokulmat sellaisiksi, että ne ovat suotuisia aurinkopaneelien jälkiasennuksille, sekä varautumalla uusissa sähkömittareissa ja -kytkennöissä myöskin sähkön syöttöön talosta verkkoon.

3.2. Biomassan poltto

Puunpoltolla on Suomessa pitkät perinteet, vaikkakin nykyisissä rakennuksissa tulisijat ja puukattilat ovat enää harvoin pääasiallisia lämmöntuottolaitteita. Lisälämmönlähteenä polttopuu on kuitenkin säilyttänyt merkittävän asemansa, sillä vuonna 2008 tehdyn selvityksen mukaan Suomessa on (ilman puukiukaita)

noin 2,9 miljoonaa tulisijaa, joista 1,55 miljoonaa omakotitaloissa, 800 000 vapaa-ajan asunnoissa, 100 000 rivitaloissa, 150 000 kerrostaloissa ja 300 000 tulisijaa muissa rakennuksissa (Alakangas ym. 2008).

Metsäntutkimuslaitoksen tilastojen mukaan Suomessa käytetään puupolttoaineita pientaloissa yhteensä 6,1 miljoonaa kiinto-m³ eli reilut 9 miljoonaa pino-m³ (Metsäntutkimuslaitos 2013). Tästä asuintilojen lämmitykseen on arvioitu käytettävän valtaosa eli 4,4 miljoonaa kiinto-m³, saunojen lämmitykseen 1,2 miljoonaa kiinto-m³ ja muuhun toimintaan 0,5 miljoonaa kiinto-m³. Tämän arvion mukaan asuintilojen lämmitykseen tuotetaan polttopuulla 11 TWh. Heinimö ja Alakangas (2011) ovat arvioineet pienpolton energikäytön vastaavan 15 TWh/a.

Vuoden 2007 energian loppukäyttö Suomessa oli 307 TWh, josta rakennusten osuus oli noin 123 TWh/a. Suomen energiankulutuksessa ei ole tapahtunut viime vuosina merkittäviä muutoksia, joten vuoden 2007 lukemat vastaavat hyvin tämän hetkisiä energiankulutuslukuja. Sähkönkulutuksen osuus rakennusten kokonaisenergiakulutuksesta on noin 45%, kaukolämmön 28%, öljyn ja maakaasuun 14% sekä puun ja pelletin 13%. Omakotitalojen puun ja pelletin netto-ostoenergian kulutukseksi vuonna 2007 on arvioitu 11,1 TWh, ja muiden rakennustyyppien yhteenlasketuksi puun ja pelletin netto-ostoenergian kulutukseksi 3,4 TWh/a. (Sitra 2010)

Polttopuun merkitys saattaa kasvaa hieman Suomen rakennusten lämmitysenergiälähteenä jo lähitulevaisuudessa. Tätä kehitystä vahvistavat myös Suomen kansainväliset energiapolitiittiset sitoumukset, sillä näiden sitoumusten myötä Suomen kansalliset rakennusten energiatehokkuusvaatimukset tullevat tiukkenemaan, ja uusiutuvien energialähteiden käyttöä tultaneen edistämään erilaisilla ohjeilla ja määräyksillä sekä korjaus- että uudisrakennuskohteissa.

Yhdeksi merkittäväksi esteeksi polttopuun laajamittaiselle käytölle saattaa muodostua erityisesti tulisijojen panospoltosta aiheutuvat pienhiukkaspäästöt lähiympäristöön. Tyypillisesti alle 1% puusta vapautuu pienhiukkasina eli pienhiukkasten massapäästökerroin, PM₁₀, on alle 10 g/kg. Käytännössä tällainen päästökerroin tarkoittaa kitupoltoa eli erittäin huonoja palamisolosuhteita itse laitteessa. Todelliset pienhiukkaspäästöt vaihtelevat huomattavasti paljon eri palamisolosuhteissa, ja poltettaessa hyvälaatuista polttopuuta moderneissa tulisijoissa päästään pienhiukkaspäästökerrointen arvoihin 0,3-1 g/kg (20-50 mg/MJ). (RIL 251-2010, Tissari 2008)

Tulisijojen käyttöön liittyy muutamia muista lämmitysratkaisuista poikkeavia erityispiirteitä. Ensiksikin tulisijoja voidaan käyttää myös sellaisissa poikkeusolosuhteissa, jolloin keskitetyt energianhuoltoratkaisut eivät ole käytettävissä (sähkö- tai kaukolämpöjärjestelmien käyttökätköt, jne.). Toisaalta laajamittainen puunpolto edellyttää sekä toimivaa polttopuuhuoltoa (toimitus ja varastointi) että riittävää aktiivisuutta tulijan käyttäjältä. Näiden lisäksi polttopuun käytöllä on kansantalouden tasolla suoria ja epäsuoria vaikutuksia myös työllisyyteen ja energian tuontiriippuvuuteen.

Yleisin maatalousrakennusten lämmitysmuoto nykyään on hakelämmitys (Motiva 2011). Sen rinnalla voitaisiin tuottaa yhä enemmän lämpöä polttamalla peltobiomassoja. Olkien sisältämä teknis-taloudellinen energiapotentiaali vuosittain on 2,1 TWh (Pahkala ym. 2012). Lukuun on laskettu vain puolet viljojen oljista, sillä olkien poisto vähentää maaperän eloperäistä ainesta ja pienentää maatalousmaiden hiilivarastoa, mikä näkyisi päästöinä kasvihuonekaasuraportoinnissa. Jos näin laskettu olkien energia käytettäisiin esim. korvaamaan polttoöljyä viljankuivauksessa, olisi päästövähennys n. 0,5 Tg CO₂-ekv. Yksivuotisten kasvien biomassan käyttö energiantuotantoon ei Suomen oloissa kovin tehokkaasti vähennä päästöjä, koska satotasot ovat matalat ja viljelyn päästöt suhteessa energian saantoon korkeat (Sinkko ym. 2011). Yksivuotisiin kasveihin verrattuna monivuotisten kasvien käyttö (esim. ruokohelpi) energiantuotantoon joko poltossa, biokaasuna (ks. myös 3.4) tai bioetanolina on sekä energiatehokasta että maaperän päästöjen kannalta suotuisaa. Etenkin eloperäisten maiden viljelyssä

monivuotisten kasvien viljely toimisi turvetta säästävänä menetelmänä. Talviaikainen kasvipeitteisyys ja maan muokkauksen vähäisyys vähentävät sekä typen että hiilen kaasumaisia päästöjä. Nurmiviljelyn osuuden kasvattaminen nykyisestä n. 40 %:sta kaksinkertaiseksi vähentäisi maaperän N₂O- ja CO₂-päästöjä jopa 1,2 Tg CO₂-ekv.

Pelkän puun polton sijasta olisi resurssien ja ilmaston kannalta huomattavasti kestävämpää käyttää puu pienen mittakaavan CHP-laitoksissa. Tällöin lämmön lisäksi saataisiin myös sähköä, joka on jalostusarvoltaan arvokkaampaa kuin lämpö. Biomassapolttoaineiden kaasutusteknologia on lupaava vaihtoehto pienten taajamien ja kyläyhteisöjen kokoluokkaan.

3.3. Biokaasu

Maatiloilla voitaisiin tuottaa yhä enemmän sähköä ja lämpöä biokaasusta tai biomassan poltosta. Biokaasutuotanto voidaan toteuttaa pienessä mittakaavassa yksittäisellä tilalla tai useamman tilan yhteislaitoksena. Biokaasun teknis-taloudellinen potentiaali korvata fossiilisen energian käyttöä on 5-16 TWh (Asplund ym. 2005), mikä vastaisi päästövähennyksenä 3,5-11 Tg CO₂-ekv. Samalla vähenisivät lantavarastoista tulevat päästökaupan ulkopuoliset päästöt edellyttäen, että prosessi toteutetaan jälkivarastointia myöten katetuissa säiliöissä. Lannan teoreettinen energiapotentiaali Suomessa on luokkaa 2,5-5,5 TWh/a (Luostarinen, 2012). Realistisin oletuksin laskettu lannankäsittelyn päästöissä saavutettu vähennys olisi kuitenkin vain alle prosentin maatalouden kokonaispäästöistä eli 0,03 Tg CO₂-ekv. (Regina ym. 2009). Suurin etu biokaasun tuotannon yleistymisessä olisi sen tuomat mahdollisuudet lannan prosessointiin. Tämän hetkinen eläintuotannon keskittyminen tietyille alueille on johtanut siihen, että kotieläintilan laajentuminen usein vaatii uuden peltoalan raivaamista lannanlevitysalaksi. Koska monet eläintilat sijaitsevat alueilla, joilla raivattavaksi pelloksi valikoituu turvemaata, ovat maatalouden päästöt maaperästä kasvaneet viime vuosina. Uudet mahdollisuudet käsitellä lantaa siten, että sen sisältämä fosfori saataisiin taloudellisesti kuljetettua pois kotieläintuotannon keskittymistä, vaikuttaisivat merkittävällä tavalla maaperän päästöihin pellonraivaustarpeen vähentyessä.

Biokaasutuotannossa alle 1 MW laitokset ovat erittäin todennäköisiä, erityisesti maatilojen laitosten yhteydessä. Aiemmissa selvityksissä (Hagström ym. 2005) noin 100 lypsylehmän maatilaa on esitetty mahdollisesti toteuttamiskelpoiseksi alarajaksi maatalakohtaiselle biokaasulaitokselle. Tämä tarkoittaa käytännössä kuitenkin matalahkoa energiatuotannon tehoa, arviolta luokkaa 30-60 kW (kokonaisteho). Todettakoon, että Suomen nykyinen syöttötariffijärjestelmä biokaasulla tuotetulle sähkölle (voimaan 2011) on rajattu 100 kVA:n tuotannon ylittäviin laitoksiin, käytännössä tätä rajaa ei ylitä edes kahden maatilan yhteinen laitos.

Biokaasua voidaan tuottaa myös peltobiomassoista, ja ympäristön kannalta parhaita vaihtoehtoja olisivat monivuotiset kasvit, kuten nurmet. Lisämateriaalien käyttö lannan ohella lisää biokaasun saantoa. Nurmien tuottamisessa biokaasukäyttöön on merkittävää potentiaalia ilman kilpailua ruuantuotannon kanssa. Nurmea voitaisiin tuottaa nykyisellä viljelyalalla merkittävästi nykyistä enemmän, mikäli rehutarpeen ylittävälle osuudelle olisi toimiva käyttömuoto, kuten biokaasutuotanto. Biokaasutuotantoon voitaisiin käyttää ensisijaisesti suojavyöhykkeiden, viherkesantopeltojen ja hoidettujen viljelemättömien peltojen kasvimassoja, jotka nykyään jäävät hyödyntämättä (Niemeläinen ym. 2012). Tällöin ei lisättäisi lannoituksesta tulevia päästöjä. Nurmea voitaisiin hyödyntää myös entistä enemmän viljan viljelykierrossa parantamaan maaperän kasvukuntoa. Päästöt voisivat vähentyä sekä kivennäismailla että eloperäisillä mailla, ja mahdollisuudet vaikuttaa maatalouden päästöihin voisivat kokonaisuutena olla merkittävät.

3.4. Lämpöpumput

Maalämpöpumput ottavat energiaa maahan tai vesistöön varastoituneesta auringon säteilyn tuottamasta energiasta. Niiden suosio on kasvanut nopeasti etenkin pientalojen lämpöenergian lähteenä. Myös ilma-vesi-lämpöpumppujen suosio on kasvussa. Kaiken kaikkiaan lämpöpumpuilla tuotetaan Suomessa energiaa nykyisin noin yhden Loviisan yksikön verran eli noin 4 TWh, johon kuluu sähköä noin 1,4, TWh (Rinne aj Syri 2012).

Lämpöpumppujen käyttöönotto on nykyisin kannattavaa. Maalämmön investoinnille voidaan laskea noin 10-15% vuosituotto. Maalämmön kasvattamiselle on suuri potentiaali, sillä Suomen rakennuskannassa on noin 220 000 öljykattilaa, puoli miljoonaa suorasähkölämmitysrakennusta ja 100 000-200 000 vesikiertoista sähkölämmityskohdetta (Lindell ja Weckström 2012). Heinimö ja Alakangas (2011) ovat esittäneet, että vuonna 2020 lämpöpumppujen tuottotavoite olisi 8 TWh/a. Rinteen ja Syrin (2012) mukaan tämä vastaa suunnilleen sitä potentiaalia, jolla kaikki öljyn lämmityskäyttö voitaisiin korvata lämpöpumpuilla (Rinne ja Syri 2012).

Vaikka maalämpö on ilmasta luonnon energiaa, niin maalämpöjärjestelmän riippuvuus sähköstä heikentää sen ilmastoystävällisyyttä. Maalämpöpumppuja ei kustannussyistä juuri lainkaan mitoiteta suurimman lämmöntarpeen mukaan, jolloin sähköenergian kulutus kasvaa huomattavasti kovilla pakkasilla. Usein ne toimivat kuten suora sähkölämmitys huippupakkasilla. Rinne ja Syri (2012) ovat arvioineet, että maalämpöpumpuilla tuotetun lämmön päästökerroin on tuntipohjaiseen markkinatarkasteluun ja marginaalisähköön (päästökerroin 680 gCO₂/kWh) perustuen noin 200 gCO₂/kWh, ja ilmalämpöpumpuilla yleisesti enemmän johtuen sekä huonommasta lämpökertoimesta että enemmän talviajalle painottuvasta sähkönkulutuksesta.

Lämpöpumppujen päästökehityksen kannalta on olennasita kuinka marginaalisähkön päästöt kehittyvät ja kuinka lämpöpumppujen tarvitsemää ulkoista sähköenergiaa voidaan vähentää. Lämpöpumput kuluttavat sitä vähemmän sähköä, mitä pienempi on lämmönlähteen ja lämmönluovutuksen välinen lämpötilaero. Lämpöpumppujen käytön ilmastoystävällisyyttä voidaan parantaa tekemällä lämmönjakojärjestelmä rakennuksessa siten, että se toimii mahdollisimman pienellä lämpötilaerolla huonelämpötilaan nähden.

3.5. Pientuuli- ja minivesivoima

Kiinteistökohtaiseen pientuulituotantoon on kohdistunut pitkään odotuksia, mutta niiden avulla sähkön tuottaminen on edelleen kallista. Esimerkiksi suomalaisen valmistajan pientalolle tarkoitettu 4kW:n tuulivoimala maksaa vajaa 20 000 euroa ja sen vuotuinen tuotto-odotus on paikasta riippuen 5000-12000 kWh. Paikalliset tuuliolosuhteet vaihtelevat paljon, ja Suomen tuulikartta pystyy antamaan vain hyvin karkean suunnittelunperustan pientuulivoiman rakentamiselle.

Pienvesivoimalaitokset jaetaan tehonsa puolesta kahteen kokoluokkaan varsinaisiin pienvesivoimalaitoksiin, joiden teho on 1-10 MW ja minivesivoimalaitoksiin, joiden teho on alle 1 MW. Tässä yhteydessä tarkastellaan vain minivoimaloita, joita vuonna 2009 Suomessa oli 73 kappaletta (Pienvesivoimalaitosyhdistys 2012). Minivesivoiman käyttämättömäksi potentiaaliksi on arvioitu 144 MW /1 021 GWh/a. Vanhojen patojen, voimaloiden ja ohivirtausten järkevällä käyttöönotolla ja saneerauksella on arvioitu, että minivesivoimapotentialista olisi taloudellisesti kannattavaa ottaa käyttöön vuoteen 2020 mennessä noin 22-75 MW (Motiva 2012). Rakennetun ympäristön läheisyydessä olevat voimalaitoskohteet eivät kuitenkaan välttämättä realisoidu, sillä ko. vesistöalueisiin liittyy usein virkistyskäyttötarpeita ja lupaprosessit ovat siksi vaikeita.

4. HAJAUTETTU ENERGIAJÄRJESTELMÄ OSANA LAAJEMPAA ENERGIAVERKKOA

4.1. Sähköverkko

Hajautetut sähköntuotantojärjestelmät ovat käytännössä aina yhteydessä valtakunnan sähköverkkoon. Saksalla on kokemusta haasteista, joita uusiutuvan energian nopea lisäys energiantuotannossa on merkinnyt sähköverkon sopeuttamiselle uuteen tilanteeseen. Aurinko- ja tuulienergian tuotanto ei ole samalla tavoin säädettävissä kuten perinteiset voimalaitokset ja siten niiden tuotannossa ja paikallisessa sähkönkulutuksessa voi olla merkittäviäkin epäsuhtia. Katoille asennettava aurinkosähkö liittyy sähkön jakeluverkkoihin, joita ei alun perin ole suunniteltu ottamaan vastaan merkittävää sähköntuotantoa. Tämä voi heikentää sähkön laatua tai aiheuttaa jakeluverkon komponenttien ylikuormittumista. Erityisenä ongelmana on, että toistaiseksi asennetun PV kapasiteetin ohjattavuus on pääsääntöisesti olematonta, minkä seurauksena jakeluverkon sähkön laatu voi aurinkoisina päivinä heiketä huomattavasti. Liian korkeat jännitteet voivat vahingoittaa herkimpiä sähkönkulutuslaitteita ja pahimmillaan ylijännitteet voivat johtaa verkon kaatumiseen. Tilanne on kuitenkin muuttumassa uusien vaatimusten ja jälkiasennusten myötä. Myös pienemmät tuulipuistot liittyvät usein jakeluverkkoihin, mutta tuulivoimaloilta on jo pidempään vaadittu sähköverkkoa tukevia ominaisuuksia. Aurinko- ja tuulisähkön osuuden kasvaessa yhä suuremmiksi Saksan sähköntuotannossa haasteet kasvavat merkittävästi myös kantaverkon tasolla. Saksan valtion energiakonsulttiyhtiö Dena (2011) on laskenut että uusiutuvan energian lisäykset vuoteen 2025 mennessä edellyttävät 0,9–1,6 miljardin euron investointeja vuosittain joko siirtokapasiteettiin tai sähkön varastointiin. Riippuen näiden yhdistelmästä kantaverkkoon tarvitaan 1700–3600 km uusia siirtoyhteyksiä. Investointisumma ei ole kovin merkittävä suhteessa sähkön tuotannon kustannuksiin, mutta uusien siirtoyhteyksien rakentaminen on paikallisesta vastustuksesta johtuen varsin hankalaa. Verkon rakentamisen aikataulusta riippumatta on suunniteltujen investointien lisäksi kustannustehokasta rajoittaa aurinko- ja/tai tuulisähköntuotantoa vaikeimpien tilanteiden aikana.

Hajautetun energiatuotannon osuuden selvä kasvattaminen edellyttää hajautetun tuotannon tehokasta integrointia valtakunnan verkkoon. Lisäksi sähköjärjestelmän kustannustehokkuutta voidaan parantaa kasvattamalla järjestelmän säädettävyyttä. Hajautetun energijärjestelmän tehokkaalla integroinnilla voidaan vaikuttaa päästöihin, energijärjestelmän kustannuksiin, kokonaiskapasiteetin tarpeeseen ja taloudellisiin muuttujiin. Hajautetun energian integrointi valtakunnalliseen (pohjoismaiseen) energijärjestelmään vaatii ainakin seuraavien tekijöiden suunnittelua: 1) sähkönjakelun varmistaminen ja perinteisten voimalaitosten säädettävyyden, 2) kysynnän joustavuuden merkityksen ymmärtäminen ja siihen liittyvien ohjaukeinojen hyödyntäminen, 3) älykkäiden sähköverkkojen toiminnan kehittäminen ja toimivuus. Lisäksi voidaan aluksi tarvita tukitoimenpiteitä kysynnän joustavuuden lisäämiseksi esimerkiksi tukemalla lämmityksen joustavuuden kasvattamista, sekä muiden tarkoituksenmukaisten ja tehokkaiden tukimekanismien suunnittelu ja toimeenpano. Tukitoimenpiteillä pitää kuitenkin aina olla selkeä rajattu määräaika ja niiden kokonaisvaikutuksia tulee tarkastella riittävän laajasti niin että tuet johtavat päästöjen pienemiseen kokonaisuuden kannalta.

Jatkossa älykkäiden sähköverkkojen rooli hajautetun energijärjestelmän integroimisessa valtakunnalliseen verkkoon on järjestelmän tehokkuuden kannalta keskiössä. Älykkäiden verkkojen tehokas hyödyntäminen vaatii verkon teknisten ratkaisujen lisäksi verkon kehittämiseen ja ylläpitämiseen liittyvien vastuualueiden selkeää määrittämistä ja tarpeelliseksi koetun sääntelyn kehittämistä ja toimeenpanoa. Hajautetun energijärjestelmän kasvattaessa merkitystään kokonaistuotannosta verkkojen tulee mahdollistaa nk. kaksipuoleisten markkinoiden toiminta nk. perinteisen yksipuoleisen markkinajärjestelmän sijasta. Tämä vaatii selkeät tekniset ja taloudelliset ratkaisut pienimuotoisen sähköntuotannon myynnille ja ostamiselle. Sama markkinaosuus voi toimia välillä ostajana ja välillä myyjänä. Tällöin on verkon teknisten vaatimusten lisäksi ratkaistava kaupankäynnin ehdot ja esimerkiksi hinnan määräytyminen (ja mahdollinen integrointi/vaikutus pohjoismaiseen sähköpörssiin) (Kopsakangas-Savolainen ja Svento 2012a). Olennaista on että älykäs sähköverkko mahdollistaa

kokonaistuotannon optimoinnin siten, että haluttu tavoite saavutetaan (olipa se päästöjen minimointi, kustannustehokkuus tai näiden yhdistelmä). Tässä yhteydessä tulee myös pohdittavaksi yllä mainittu kohta 2) sähkönjakelun varmistaminen. Ennen kuin hajautettuja energiajärjestelmiä integroidaan laajamittaisesti sähkönjakeluverkkoon, tulee varmistua siitä, että verkon ja hajautettujen tuotantolaitosten tekniset ominaisuudet ovat riittävät. Tällöin ei jouduta Saksan tapaan tilanteeseen, jossa liian korkeat jännitteet verkossa ovat aiheuttaneet ongelmia. Asiakasrajapinnan ohjaus- ja mittausominaisuuksien kehittyminen luo tekniset mahdollisuudet esimerkiksi nykyistä dynaamisemmille siirtotariffirakenteille. Tällöin sähköjärjestelmän optimoinnissa on mahdollista huomioida tuotannon lisäksi myös sähkön siirtoon ja verkon kuormittuvuuteen liittyviä näkökohtia (Partanen ym. 2012).

Jotta älykkäät sähköverkot voivat hyödyntää hajautetusta energiantuotannosta saatavat mahdollisuudet tehokkaasti vaatii tämä selkeästi aikaisempaa voimakkaampaa kysynnän joustavuutta. Kysynnän joustavuuteen voidaan vaikuttaa useilla eri mekanismeilla kuten aikaisempaa dynaamisemmalla hinnoittelulla, reaaliaikaisella mittaroinnilla ja älykkäällä taloteknologialla. Simuloinnin on todettu, että oikein ajoitettuna kysynnän muutoksella voidaan saada aikaan muutoksia päästöihin, kapasiteetin tarpeeseen ja vallitsevaan markkinahintaan (Kopsakangas-Savolainen ja Svento (2012b)). Hintamekanismien yhdistäminen reaaliaikaisen mittaroinnin kautta älykkääseen taloteknologiaan mahdollistaa hyötyjen saavuttamisen ja hajautetun energiatuotannon potentiaalinen hyödyntämisen. Kysynnän joustavuus aiheuttaa kotitalouksille kuitenkin haasteita erityisesti sellaisina ajanhetkinä, jolloin lämpötila on poikkeuksellisen alhainen. Tällöin valtakunnan verkkoon kohdistuvaa kysyntäpainetta voidaan vähentää (ja tietyllä tavalla siis lisätä joustavuutta) hyödyntämällä pienimuotoista lämmöntuotantoa esimerkiksi takkojen jne. kautta. Oikein ajoitettuna tällaisella lämmöntuotannolla voi olla selvä vaikutus esim. päästöihin ja kokonaiskapasiteetin tarpeeseen (voidaan välttyä ottamasta käyttöön joitain nk. huippukuormituksen tuotantoyksiköitä, jotka toimivat tyypillisesti fossiililla polttoaineilla). Tällainen toimintamalli vaatii kuitenkin asukkaiden vahvan sitoutumisen ja mahdollisuuden esim. takkojen käyttöön. Lisäksi tällaisissa tarkasteluissa on huomioitava myös muut tekijät (ilmanlaatu/pienhiukkaspäästöt).

Vaihtelevan hajautetun energiatuotannon (lähinnä tuuli- ja aurinkosähkö) lisääntyminen lisää muilta tuotantomuodoilta vaadittavia tuotannonvaihteluita. Siksi on arvioitava miten tarvittava joustavuus kannattaa hankkia. Nykyisessä sähköjärjestelmässä tuotanto vaihtelee vastaamaan kulutuksen päivä-, viikko- ja kausivaihteluja. Tuotanto on siis jo varsin säädettävää ja tutkimustulosten mukaan merkittäviäkin määriä tuuli- ja aurinkotuotantoa voidaan säätää melko vähäisillä lisäkustannuksilla myös ilman merkittäviä uusia investointeja (Holttinen ym. 2009). Kustannustehokkaimpia tapoja lisätä joustavuutta ovat markkinasääntöjen muutokset (Kiviluoma ym. 2012), jotkut kysyntäjouston muodot (esim. sähkölämmitys), yhdistetyn sähkön- ja lämmön tuotannon tarjoamat joustomahdollisuudet (Kiviluoma ja Meibom 2010), perinteisten voimalaitosten joustavuuden lisääminen (Corbus ym. 2010), uudet siirtoyhteydet Rebours ym. (2010) ja hajautetun tuotannon jousto, jos tuotanto ei mahdu järjestelmään. Vesivoimalaitosten kapasiteetin nostolla voidaan myös lisätä joustavuutta, mutta investoinnin kannattavuus riippuu voimakkaasti vesistön ja voimalan ominaisuuksista. Kun uutta termistä voimalaitoskapasiteettia tarvitaan, joko korvaamaan poistuvia laitoksia tai turvaamaan kulutuksen kasvua, niin on hyvä huomioida uuden laitoksen joustavuus myös tulevaisuutta silmällä pitäen. Mikäli alueiden ja maiden väliset siirtolinjat sen mahdollistavat voidaan vaihteluita säätää myös muilla alueilla toimivalla vesivoimalla tai muulla tuotannolla.

Hajautetun energiantuotannon osuuden lisääntyminen kokonaisenergiantuotannosta riippuu myös hajautetun energiantuotannon suunnattuista tuista. Tukien suunnittelussa ja toimeenpanossa on hyvä huomioida niiden vaikutus kokonaisenergiajärjestelmään (esim. säädön kustannukset, vaikutukset pohjoismaiseen sähköpörssiin ja sitä kautta kokonaistuotantorakenteeseen, kustannuksiin ja päästöihin (Kopsakangas-Savolainen ja Svento 2012c).

4.2. Kaukolämpöverkko

Hajautettu energijärjestelmä voi olla myös osa paikallista tai alueellista kaukolämpöverkkoa. Suomessa on poltettu perinteisesti puuta asunnoissa, vaikka kuulutaan kaukolämpöverkkoon. Suomessa kuitenkin puuttuvat kokeilut, jossa kaukolämpöverkko olisi avattu vapaasti uusille lämpöyrittäjille. Sen sijaan Tukholmassa on menossa tällainen kokeilu Fortumin toimesta.

Kaukolämpöverkkojen kehitys on osa muutosta kohti älykkäämpää energiankäyttöä kaupungeissa ja taajamissa. Tulevaisuuden sähkön ja kaukolämmön yhteistuotannon (CHP) rakennusastetta voidaan nostaa ja siten kannattavuutta parantaa siirtymällä matalalämpötilaisempiin verkkoihin, jotka ovat myös paremmin yhteensopivia paikallisen lämpötuotannon kanssa matalalämpötilaisista lähteistä, kuten ylijäämälämmön talteenotto ja aurinkokeräimet.

Helsingin Kalasataman uuden asuinalueen perustella tehdyn laskelman mukaan erittäin korkea energiatehokkuustaso ja paikallinen aurinkolämmön kerääminen on yhteen sovitettavissa taloudellisesti kannattavan kaukolämpöverkon kanssa (Tuomaala ym. 2012).

Rakennuksiin integroitu paikallinen lämmöntuotanto esim. aurinkokeräimillä tuottaa helposti lämpöä yli rakennuksen oman tarpeen mitoituksesta ja rakennuksen käytöstä riippuen (esimerkiksi kesäloma-aikana) Tällöin rakennuksen kaukolämpöverkkoliittymä, jota on kehitetty kaksisuuntaiseksi, pystyisi siirtämään energian kaukolämpöverkon kautta kohteeseen, jossa sitä tarvitaan. Lisäksi kaukolämpöverkko voi palvella myös lämpövarastona, joko verkkoon liitettyjen varsinaisten lämpövarastojen tai verkon oman melko rajallisen lämpökapasiteetin avulla.

Aurinko- ja kaukolämmön yhteensopivuutta kaupunkien sähkön ja lämmön yhteistuotannon kaukojärjestelmiin tulisi tutkia lisää, jotta löydettäisiin tavat höydyntää aurinko- ja maalämpöä ilman, että aiheutetaan päästöjen kannalta negatiivisia kerrannaisvaikutuksia. Lämmön ja sähkön yhteistuotannon vähentäminen ei ole järkevää, jos korvaavana sähköntuotantona on hiililauhde muualla sähköjärjestelmässä. Kaukolämpöä on käsitelty yksityiskohtaisemmin erillisessä ilmastopaneelin raportissa (Syri ja Rinne 2012).

5. KANSANTALouden VAIKUTUKSET

Hajautetun energiatuotannon vaikutukset kansantalouden tasolla riippuvat paljon siitä minkälaisen aseman ne tulevat saamaan energiapaletissa, millä energia tuotetaan, minkälaista tuotantoa ne tulevat korvaamaan ja minkälaisen aseman pientuotanto tulee saamaan hajautetussa energiatuotannossa. Jos yksittäiset tahot innostuvat tekemään osan energiatarpeestaan tai kokonaan itse, merkitsee se myös uudenlaista tulonjakoa energiatuotannossa. Lähtökohtana on kuitenkin tällöin se, että laajamittainen lähiennergia tuotanto on mahdollista vain jos omatoiminen tuottaja onnistuu pienentämään energiakustannuksiaan kannattavasti omalla tuotannollaan. Tällöin tuotettu energia on pois muutoin keskitetysti energiaa tuottavalta toimijalta, mutta toisaalta hajautettu energiatuotanto tarjoaa perinteiselle verkkoyhtiölle uudenlaisia liikemahdollisuuksia.

Kansantaloudellisissa vaikutuksissa tarkasteltaessa on aina huomioitava, että tarkastellaan riittävän laajasti kokonaisuuden toimivuutta.

5.1. Yhteiskunnan suorat tuet ja niiden merkitys

Omatoimisen pientuotannon kustannuskehitykseen vaikuttaa muun muassa yhteiskunnan tukipolitiikka, energiatuotantolaitteiden massatuotanto ja niihin liittyvät tekniset uudet innovaatiot sekä fossiilisten polttoaineiden markkinahinnat ja verokehitys. Yhteiskunnan tukipolitiikalla vaikutetaan etenkin uuden

teknologian käyttöönottoon, jonka kustannustehokkuus markkinoilla ei ole kilpailukykyinen, mutta sen edistämisen katsotaan pitkällä tähtäyksellä olevan kansantaloudellisesti mielekästä.

Yhteiskunnan panostukset hajautettuun energiatuotantoon on perusteltua, jos sillä pystytään muun muassa lisäämään kuluttajan hyvinvointia, valtion verokertymää ja työllisyyttä, vahvistamaan vientiä ja energiavarmuutta, korvaamaan tuontipolttoaineita ja vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä.

Suomessa valtio ei ole tukenut suoraan pienimuotoista sähköntuotantoa syöttötariffeilla. Periaatteessa ainoastaan alle 1 MW:n biokaasulaitoksille on voitu antaa vuodesta 2011 syöttötariffia. Syöttötariffijärjestelmän ohella keskeinen uusiutuvan energian tukimuoto on investointituki (valtionavustuslaki 688/2001, valtioneuvoston asetus 1313/2007), jota on voitu antaa myös penimuotoiselle alle 1 MW:n energiatuotannolle. Työ- ja elinkeinoministeriö voi hankekohtaisen harkinnan perusteella myöntää yrityksille, kunnille ja muille yhteisöille energiainvestointitukea, joilla etenkin edistetään alan innovatiivista teknologiaa. Uusien teknologioiden investointeihin on voinut saada tukea enimmillään 40%, kun tavanomaiselle teknologioille se on voinut olla enimmillään 30%. Vuonna 2011 tukea myönnettiin noin 110,6 miljoonaa euroa uusiin laitosinvestointeihin, ja vuonna 2012 tukea oli varattu 156,9 miljoonaa euroa (Motiva 2013). Tässä yhteydessä ei olla kuitenkaan pystytty arvioimaan miltä osoin tuki on kohdistunut alle 1 MW:n laitoksiin ja mikä on ollut tuella saatu päästövähennys per tuotetun energian hinta.

Tällä hetkellä syöttötariffi ei tue pienimuotoista biokaasutuotantoa käytännössä lainkaan (vrt kohta 3.3). Myös Maa- ja metsätalousministeriön myöntämät investointituet ovat suhteellisen matalat maatilojen biokaasulaitoksille: 15 % tukea ja 20 % korkotuettua lainaa, kun tuotannon lopputuotteet käytetään pääasiassa tilalla, tai 10-35 % tukea yritystoiminnassa, ts. kun tila pyrkii myymään tuotetun energian ja/tai lannoitevalmisteen. Nykytilanteessa maatilojen biokaasutuotannon haasteena on pystyä sunnitelemaan laitokset toimivaksi kokonaisuudeksi, jossa syöttömateriaalien valinta, energiantuotanto, ravinteiden kierrätys, päästöjen hallinta, kannattavuus ja riskien hallinta kohtaavat.

Nykyisin talokohtaisten energiatuotantolaitteiden asennustyöt kuuluvat kotitalousvähennyksen piiriin. Jotta omatoiminen tuotantotoiminta saavuttaisi laajempaa suosiota, liittymisehdot tulisi myös saada valtakunnan sähköverkkoon vaivattomaksi.

Yhteiskunta on tukenut moneen otteeseen asuntojen lämmitysjärjestelmämuutoksia etenkin Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskuksen (ARA) toimesta. Energia-avustus on voinut olla osittainen syy vuoden 2011 maalämpöpumppujen kysynnän kasvamiseen peräti 72 prosentilla edelliseen vuoteen verrattuna (myynti kasvoi 8000 pumpusta 14000 pumppuun) (Suomen lämpöpumppuyhdistys 2012). Avustuksilla on myös edistetty asuntojen pelletti- ja hakelämmityksen käyttöönottoa asunnoissa, jotka aikaisemmin lämpenivät öljyllä.

Maa- ja metsätalousministeriö on myöntänyt vuodesta 1996 alkaen investointitukea lämpökeskusten rakentamiseen fossiilisista polttoaineista biopolttoaineisiin siirtyville tiloille. Toimi on ollut huomattavan tehokas, sillä sen vaikutus vuoteen 2010 mennessä on ollut 1,2 TWh/vuosi ja sen vähennyspotentiaaliksi arvioidaan 1,8 TWh/vuosi vuoteen 2020 mennessä (TEM 2011).

Lämmitysjärjestelmämuutoksien tukirahoilla on pystytty lisäämään mm. työllisyyttä sekä vähentämään tuontipolttoaineiden ostoa ja asumisen lämmityksen päästöjä. Näitä vaikutuksia ei ole pystytty kuitenkaan tässä yhteydessä arvioimaan.

5.2. Työllisyys

5.2.1. Arviointiin liittyviä näkökohtia

Pienimuotoisiin uusiutuviin energialähteisiin tuotanto- ja käyttöketjun työllisyysvaikutuksista tuotettua energiamäärää kohti on tehty kansainvälisestikin vähän selvityksiä, joiden perusteella eri tuotantotapoja on vaikea saada täsmällisesti vertailukelpoiksi keskitettyihin ratkaisuihin nähden. Selvitysten tekovuodet vaihtelevat, eri energiatuotantomuotojen selvitysten välilliset työllisyysvaikutukset muun muassa välituotekäytön osalta ovat puutteelliset tai eivät ole läpinäkyvästi dokumentoitu. Hajautettujen energialähteiden osalta kotimainen aineisto puuttuu käytännössä kokonaan. Lisäksi arvioiden tekeminen uusiutuvia energiaa koskevista selvityksistä on lähes mahdotonta, koska ne kattavat etenkin suuren mittakaavan tuotantoa (ks. esim. Lindroos ym. 2012).

Olennaista kansantalouden kannalta on arvioida uusituvan energia luomien bruttotyöpaikkojen lisäksi nettovaikutus työpaikkoihin. Mm. Frondel ym. (2009) huomauttavat, että kokonaistyöllisyyttä arvioitaessa on huomioitava myös se kuinka paljon uusituvan energian lisääntyminen vaikuttaa talouden muiden sektoreiden työpaikkoihin. Nettovaikutusten arviointi on kuitenkin erittäin haasteellista. Työllisyyden kannalta kotimaiset investoinnit ja uusiutuvaan energiaan liittyvä vienti lisäävät työllisyyttä, mutta kokonaisvaikutus riippuu näiden lisäksi niin kutsutusta budjettivaikutuksesta. Tähän sisältyy mm. uusituvan energian vaatimien tukien vaikutus kuluttajien ostovoimaan sekä uusiutuvan energian vaikutus sähkön hintaan ja sitä kautta teollisuuden kilpailukykyyn. Näillä molemmilla on vaikutusta työllisyyteen.

Näitä vaikutuksia myös Saksan ympäristöministeriö (BMU 2006, 2012a, 2012b) on pyrkinyt arvioimaan. BMU on käyttänyt arvioinneissaan tyypillisesti panos-tuotos lähestymistapaa ja uusiutuvan energian työllisyysvaikutukset riippuvat hyvin paljon malleihin tehdyistä oletuksista: energian hinta, estimoidut investoinnit ja tuonnin rooli. Työllisyyttä arvioitaessa on huomioitava pidemmän ajan vaikutukset, koska nämä ovat pysyviä talouteen vaikuttavia tekijöitä. Vastakkaisia näkemyksiäkin on kuitenkin esitetty. Hillebrand ym. (2006) arvioivat ekonometrisen mallin avulla Saksan uusiutuvaan energiaan liittyvän politiikan työllisyysvaikutuksia. He jakavat vaikutukset kahteen osaan. 1) työllisyyttä parantavat vaikutukset, jotka seuraavat investointien lisääntymisestä ja 2) työllisyyttä supistavat vaikutukset, jotka aiheutuvat energian tuotannon kohonneista kustannuksista. Heidän tulostensa mukaan ensimmäinen vaikutus dominoi aluksi lisäten työpaikkoja nettomääräisesti. Tämä vaikutus kuitenkin häipyä myöhemmin jättäen nettovaikutukset hieman negatiiviselle puolelle.

Taloudellisia vaikutuksia arvioidessa on olennaista huomioida että sähkön arvo ei ole sama jokaisena vuorokauden ja vuoden tuntina. Olennaista taloudellisessa arvioinnissa on siis huomioida mihin ajanhetkeen uusiutuvan energian tuotanto tapahtuu ja mitä tuotantoteknologiaa se korvaa (ks. esim. Borenstein 2011). Tämä vaikuttaa niin työllisyyteen, kansantalouden kustannuksiin, kuluttajien kohtaamiin hintoihin kuin päästöihinkin. Täten uusiutuvan energian ja hajautetun energiantuotannon taloudelliset vaikutukset voivat vaihdella voimakkaasti eri alueiden ja maiden välillä. Epäsuoria vaikutuksia työllisyyteen tulee lisäksi mm. innovaatiotoiminnan kautta.

5.2.2. Suomen tilanne

Yleistäen voidaan sanoa, että hajautettujen energijärjestelmien tuottama energia työllistää selvästi enemmän tuotettua energiayksikkö kohden kuin keskitetty energiatuotanto.

Aurinkosähkölaitteiden valmistus tulee tapahtumaan jatkossakin ulkomailta. Sitra on kuitenkin arvioinut, että aurinkosähköinvestoinnista jopa puolet jäisi kotimaiselle toimijoille (Noponen 2012).

Työllisyysvaikutuksissa laitteiden myynnin välityspalkkio, energiatuotannon suunnittelu, asennus ja huolto jäävät Suomeen. Lisäksi osa mittaus- ja invertterilaitteista tehdään Suomessa.

Aurinkolämpökeräimiä etvoidaan asentaa sekä uudis- ja saneerauskohteisiin ja ne voidaan yhdistää kaikkiin nykyisiin lämmitysjärjestelmiin kustannustehokkaalla tavalla. Laitteina ne ovat yksinkertaisia, mutta nykyisin kotimainen valmistus on vähäistä. Aurinkolämpöjärjestelmien työllistävä vaikutus liittyy nimenomaan niiden asennuspalveluihin. Aurinkolämpöä lisättäessä kaukolämpöalueelle on kuitenkin muistettava tarkastella myös vaikutuksia kokonaisuuteen.

TEM (2012a) on puhtaan energian ohjelmassaan arvioinut aurinkoenergian rakentamisvaiheen työllistävän 3000 htv ja luovan noin 1000 pysyvää työpaikkaa vuoteen 2015 mennessä. Arvioinnin perusteita ei ole kuitenkaan esitetty läpinäkyvästi. Lopputulokseen vaikuttaa olennaisesti aurinkosähkön kustannus-tehokkuuskehitys ja pientuotannon kehitys rakennuskannassa tulevana vuosina, minkä takia aurinkoenergian työllisyysvaikutukset voivat poiketa suuresti TEMin esittämistä luvuista.

Suomessa lämpöpumppujen kysynnän odotetaan jatkuvan kovana (ks. kohta 3.4), minkä seurauksena siihen liittyvät asennus- ja huoltotyöt tulevat työllistämään myös jatkossa. Tässä yhteydessä ei ole pystytty erottelamaan lämpöpumppujen työllistävää osuutta sähköliikkeiden ja asennusyriyten muusta toiminnasta. Ilmalämpöpumppujen puolella laitteiden valmistus on ulkomaalaisten käsissä. Maalämpöpuolella on kotimaisia valmistajia, mutta kilpailu ulkomaalaisten toimittajien kanssa on kovaa.

Metsäbiomassan poltto aiheuttaa hajautetun energian pientuotannosta suurimmat työllisyysvaikutukset Suomessa. Puun pienkäytön ja maatalaratkaisujen työllistettävää vaikutusta metsäklusterin puunkorjuun ja metsänhoitotöiden työllisyysvaikutuksesta (noin 7500 htv/a) on vaikea arvioida. Suoraan puunkäytön perusteella pienpuupolton työllistävä osuus olisi tästä määrästä noin 10 % luokkaa. Toisaalta Pohjois-Karjalan bioenergiaklusterin arvio toimintansa työllisyysvaikutuksia paljastaa, että Suomessa nimenomaan tulisijojen valmistus on suuri hajautettujen energiajärjestelmien työllistävä alue. Vuonna 2004 Pohjois-Karjalan bioenergiaklusteri työllisti arvioilta 815 henkilötyövuotta, josta tulisijojen valmistuksen osuus oli vajaa 500 työpaikkaa. Sen sijaan koko alueen (isojen hakevoimaloiden tarpeet mukaan lukien) puunkorjuu työllisti alle 100 henkilötyövuotta, samoin puunkorjuun laitteiden ja koneiden valmistus (Pohjois-Karjalan maakuntaliitto 2007). Vuonna 2010 Pohjois-Karjalan bioenergiaklusterin työllisyysvaikutus on arvioitu olevan jo 1300 henkilötyövuotta. Polttokattiloiden valmistuksen työllisyysvaikutuksia ei ole tässä yhteydessä pystytty arvioimaan. Todettakoon, että Suomessa on kehittynyt osaamista pienimuotoisten biopohjaisten CHP-laitosten valmistamiseen. Jos nämä laitteet pystyvät lunastamaan niille asetetut toiveet, niille löytyy markkinoita niin koti- kuin ulkomaillakin.

Lindroos ym. (2012) ovat arvioineen maatilojen biokaasulaitosten työllistävän noin yhden henkilötyövuoden tuotettua GWh kohden. Biokaasulaitosrekisterin mukaan vuonna 2008 maatalalaitoksilla tuotettiin kahdeksalla laitoksella energiaa noin 0,002 TWh, josta saadaan siis vain 20 henkilötyövuotta. Jos kuitenkin edellä mainittu biokaasupotentiaali (1-1,8 TWh/a) saataisiin käyttöön, puhuttaisiin jo 1000-18000 henkilötyövuodesta.

Minivesivoiman työllisyysvaikutukset keskittyvät rakennusvaiheeseen sekä huoltotoimenpiteisiin. Turbiinit ovat ulkomaalaisten valmistajien käsissä. Sähköntuotantovaihe voi tapahtua hyvinkin automaattisesti. Pysyviä työpaikkoja syntyy muita uusiutuvan energian tuotantomuotoja vähemmän tuotettua energiaa kohden laskettuna.

5.3. Tuontipolttoaineiden korvaaminen

Pienten biopohjaisen lämpö- ja vesivoimalaitosten, lämpöpumppujen ja aurinkokeräinten käyttöä on jo nyt mahdollista lisätä kustannustehokkaasti Suomessa. Asuin- ja toimistoalueiden lisäksi kohteiksi

soveltuvat hyvin teollisuusalueet. Tämä vähentäisi ostolämmön ja –sähkön määrää, parantaisi kohteiden toiminnan kustannustehokkuutta ja voisi samalla osin korvata tuontipolttoaineiden määrää.

Rakennusten puu- ja pellettipohjaisella lämmityksellä on jo nyt merkittävä rooli tuontipolttoaineiden korvaajana. Niiden netto-ostoenergian kulutus on nykyisin vuositasolla 15 TWh (Sitra 2010). Sen sijaan pienimuotoisten tuulivoimaloiden ja biokaasulaitosten kustannustehokkuus on tällä hetkellä heikko eikä niiden teknis-taloudellisessa kehityksessä ole vielä nähtävissä harppauksia lähitulevaisuudessa. Ilman yhteiskunnan voimakasta tukea niiden tuontipolttoaineiden korvaamispotentiaali ei realisoitu. Toisaalta jos biokaasun suurimmaisempi tuotanto, yli sadan eläimen nauta-, sika- ja siipikarjatiloilte, saataisiin realisoitua, niin energiapotentiaaliksi saadaan 1,0-1,8 TWh/a (Luostarinen, 2012).

Pienen kokoluokan biopohjaisella CHP-tuotannolla voidaan resurssitehokkaasti korvata lämmitysöljyn käyttöä pienessä taajamissa samalla kun tuotetaan vähäpäästöistä sähköä valtakunnan verkkoon. Oljen poltolla voi niin ikään korvata öljyä suoraan viljankuivauksessa (ks. kohta 3.2). Biomassapohjaisella pienenergiatuotannolla on siis kokonaisuudessaan mahdollista korvata usean TWh:n verran öljyä vuodessa lähitulevaisuudessa. Toisaalta maalämpö ajaa saman asian öljyn korvaajana, ja vaivattomuutensa takia se tulee olemaan suosituin tapa korvata öljylämmitys pientaloasumisessa.

Puun energiakäytön lisäämisen vaikutuksista kansantalouteen on paljon ristiriitaisia tutkimuksia. Osassa tutkimuksista puunkäytön lisääminen on kannattavaa, osassa taas puun käytön lisäämistä energiakäyttöön ei suositella, vaan se tulisi käyttää korkeamman jalostusarvon tuotteisiin. Tutkimukset koskevat suurimmaksi osaksi kuitenkin suurempia voimaloita.

Kokonaisuudessaan lämpöpumppujen mahdollisuudet korvata öljyä ja sähköä vuoteen 2020 mennessä ovat uusituvista energialähteistä suurimmat. Tämän noin 4 TWh/a säästön takana on nykykäytännön mukaisesti noin 1,4 TWh sähkön tarve. Ilmastovaikutusten ja kivihiiheen pohjautuvan lauhdesähkön minimoinnin kannalta on tärkeää, että talviaikaista maalämpöpumppujen sähkönkulutusta saadaan innovatiivisilla ratkaisuilla pienennettyä (vrt. kohta 3.4).

Minivesivoiman tuotannon kaksinkertaistamisella (noin 1 TWh:iin vuodessa) voitaisiin korvata selviä määriä tuontipolttoaineita. Minivesivoiman käyttöä tuontipolttoaineiden korvaamisessa heikentää kuitenkin sen rajallisuus toimia säätövoimana. Minivesivoimaloiden yläpuolisia vesistöjä ei useinkaan voida säännöstellä.

Aurinkopaneelien osalta on nähtävissä laitteiden nopeaa kustannustehokkuuskehitystä ja niinpä 10 vuoden aikajänteellä aurinkosähkö voi näytellä myös merkittävä mahdollisuutta Suomen hajautetussa energiatuotannossa. Aurinkosähkön ongelmana on sen ajoittuminen talvikauden ulkopuolelle ja sen mahdollisuudet lämmityksessä käytettävien tuontipolttoaineiden (öljy, kaasu ja kivihiihi) korvaamisessa ovat mitättömät. Sen sijaan sähköautoistumisen myötä se mahdollistaa liikkumisessa käytetyn öljyn osittaisen korvaamisen kevään, kesän ja alkusyksyn aikana.

Tuontipolttoaineiden teknillinen korvaamispotentiaali hajautetulla energiatuotannolla on suuri energiaintensiivisen teollisuuden ulkopuolella. Öljyn korvaaminen hajautetun energijärjestelmän uusiutuvalla energialla rakennusten erillislämmityksessä on parhaat mahdollisuudet toteutua jo lähitulevaisuudessa. Kaasun ja kivihiihen suurempi korvaaminen kuitenkin edellyttäisi, että uusiutuvalla energialla tuotettu hajautettu energia korvaisi nykyisillä keskitetyillä kaukolämmön ja sähkön yhteistuotantolaitoksilla tuotettua energiaa. Tämän realisoituminen on jo teknis-taloudellisessa ja osittain poliittisessa mielessä vaikea asia.

Polttoaineiden nettotuonti Suomeen oli vuonna 2011 7,7 mrd. € (öljy ja öljytuotteet 5,36 mrd. €, maakaasu 1,1 mrd. €, hiili 0,7 mrd. €, sähkön tuonti 0,6 mrd. € ja ydinpolttoaine 0,1 mrd. €) (TEM 2012a).

Tuontipolttoaineilla tehtyjen energioiden osuudet Suomen energiakulutuksesta vuonna 2011 olivat öljy (24 %), hiili (11 %) ja maakaasu (10%). Öljytuotteiden kulutus käyttäjäryhmittäin oli liikenne (49%), raaka-aineet ja voiteluaineet (19%), teollisuuden energia (13 %), rakennusten lämmitys (10%) ja maa- ja metsätalous, rakennustoimi (9%). Suomessa öljylämmitystalojen öljynkulutus on noin 600 miljoonaa litraa vuodessa. Tämä on vajaat 2 % Suomen kokonaisenergiakulutuksesta (Öljyalan Keskusliitto 2012). Maakaasun osuus kaukolämmön tuotannossa oli vuonna 2011 31,8 %, sähkön tuotannossa 29 % ja teollisuuden prosesseissa 39,1 % (Suomen Kaasuyhdistys 2012). Kivihiilellä tuotetun sähkön osuus on vaihdellut. Kivihiilen rooli sähköntuotannossa vaihtelee vuosittain (11-21%). Kaukolämmössä ja siihen kytkettyvässä sähkön tuotannossa kivihiilen osuus on ollut viime vuosina noin 26-27% välillä (Energiateollisuus 2012).

Edellä mainittua taustaa vasten hajautetuilla energialähteillä on vielä mahdollisuus korvata tuontipolttoaineita vuositasolla sadoilla miljoonilla euroilla.

5.4. Vienti ja innovaatiot

Hajautetun pienimuotoisen energiatuotannon tämän hetken vientitoiminta keskittyy tulisijojen ja kattiloiden sekä sähkötekniisten laitteiden ympärille. Toiminta on kuitenkin toistaiseksi vähäistä, mutta toisaalta esimerkiksi vuolukiviuunien valmistuksesta noin 30-40% menee tällä hetkellä vientiin.

Hajautettu energia luo uudenlaisia liiketoimintamahdollisuuksia sekä kotimaan markkinoille että vientiin. Hajautetuilla energiajärjestelmillä on suuri ja kasvava kysyntä etenkin kehitysmaissa. Maailmanlaajuiset markkinat ovat valtavat myös teknisille innovaatioille, jolla parannetaan pienimuotoisen energiatuotannon kustannustehokkuutta keskitettyjen ratkaisujen tasolle. Hybridiratkaisut, joissa paikallisilla, erilaisilla uusituvilla energialähteillä pystytään vastaamaan kulloiseekin lähienergiatarpeeseen, ovat kysytyjä. Hajautetun energian ratkaisut, joilla integroidaan paikallinen tuotanto valtakunnan sähköverkkoon tai alueelliseen kaukolämpöverkkoon ja joilla ohjataan verkkojen energian kysyntää ja tarjontaa älykkäästi, perustuvat vahvaan informaatioteknologiaosaamiseen. Tällä alueella Suomella on vielä mahdollisuutensa.

Hajautetut energiajärjestelmät ovat osa Cleantechiä, johon Suomi haluaa jatkossa panostaa (TEM 2012b). Usein referenssi kohteet on helpompi toteuttaa kotimaassa, mikä puoltaa toimivien kotimarkkinoiden synnyttämistä myös hajautetuille energiajärjestelmille.

Hajautettua energiajärjestelmän kehittäminen integroituu luontevasti energiatehokkuustoimenpiteiden kanssa. Hajautettuun energiatuotantoon kytköksissä olevan energiaverkon optimointi tarvitsee tuekseen sekä energian tuotannon että käytön ohjausta. Näiden kahden asian integrointi avaa uusia mahdollisuuksia innovatiivisille ratkaisumahdollisuuksille, joille riittää kysyntää maamme rajojen ulkopuolellakin.

6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Rakennuskannassa muutokset ovat hitaita ja niiden vaikutukset ovat pitkäaikaisia. Rakennuskannassa tehtävien muutoksien on ensisijaisesti pienennettävä primäärienergiankulutusta ja sitä kautta vähennettävä päästöjä. Tämä on tärkeää, sillä myös uusiutuva energia on luonnonvara, jota tulee käyttää säästeliäästi.

Rakennuksia, hajautettua energiantuotantoa ja koko energiajärjestelmäämme on tarkasteltava kokonaisuutena. Päästöjen vähentäminen tulee tehdä kustannustehokkaalla tavalla samalla kun täytetään yhteisesti sovittuja tavoitteita esimerkiksi hajautetun energian tuotannossa. Hajautettu energia muuttaa kustannusoptimaalista tuotantorakennetta – erityisesti joustavuudesta tulee entistä

arvokkaampaa kun tuuli- ja aurinkosähkö lisääntyy. Aurinkoenergian käyttö jäädytetyissä rakennuksissa on suositeltavaa, sillä silloin tuotto ja kulutus on samanaikaista. Biopohjaisen hajautetun tuotannon etuna on sen riippumattomuus sääolosuhteista.

Uusiutuvien energioiden käyttöön tulee kannustaa ja tehdä siihen liittyvä pientuotanto mahdolliseksi hajautettujen energijärjestelmien yhteydessä samalla ottaen huomioon koko energijärjestelmämme toiminta ja kokonaisuuden päästöjen pienentäminen. Hajautetun energiantuotannon teknologian kysyntä kasvaa maailmalla, ja Suomella on mahdollisuus kasvattaa tällä alueella uusia liiketoimintamahdollisuuksia ja vientiä. Hajautettuihin pienimuotoisiin energijärjestelmiin liittyy myös mahdollisuus hyödyntää kotimaisia paikallisia uusiutuvia energiavaroja ja korvata fossiillista tuotipolttoainetta. Hajautetuilla energijärjestelmillä voidaan saavuttaa siten positiivisia vaikutuksia päästökehitykseen, kauppataseeseen ja kansantalouteen. Pienimuotoiseen energiatuotantoon (alle 1 MW) liittyvistä työllisyys- ja kansantalousnäkökohdista puuttuu kuitenkin tällä hetkellä yksiselitteistä aineistoa ja niiden arviointiin tulisi kehittää metodologiaa, jolla voidaan myös arvioida yhteiskunnan tukitoimien miellekkyyttä jatkossa.

Lämpöpumpuilla ja biomassoihin perustuvalla pienenergiatuotannolla on hyvät edellytykset vastata rakennetun ympäristön energiatuotanto/tehostamistarpeeseen vuoteen 2020 mennessä. Lämpöpumppujen ilmastoystävällisyyden kehittäminen vaatii kuitenkin ratkaisuja, jolla talviaikainen sähkönkulutus voidaan minimoida. Lämpöpumppuratkaisu soveltuu erityisen hyvin alueille, joissa ei ole yhdistetyn sähkön ja kaukolämmön tuotantoa saatavilla. Aurinkoenergian mahdollisuudet osana rakennetun ympäristön hajautettua energijärjestelmää voivat muodostua merkittäväksi tulevaisuudessa, jos aurinkosähkön hintakehitys jatkuu nykyisellä tavalla. Samalla on kuitenkin huomioitava koko järjestelmän toimivuus myös silloin kun aurinkoa ei ole saatavilla. Tämä vaatii uusia varastointiteknologioita ja hybridijärjestelmiä sekä huippukuormien hallintaa.

Hajautetuista energijärjestelmistä on maailmalla kokemuksia osana valtakunnallista sähköverkkoa. Suomen erityispiirteenä on varsinkin kaupungeissa yhdistettyyn lämmön- ja sähköntuotantoon perustuva kaukolämpöverkko. Aurinko- ja maa- ja merilämmön yhdistämistä CHP-kaukojärjestelmiin tulisi tutkia lisää, jotta löydetäisiin tavat hyödyntää näitä lämmönlähteitä ilman, että synnytetään päästöjen kannalta negatiivisia kerrannaisvaikutuksia.

Samalla kun energijärjestelmää kehitetään päästöjä vähentävään suuntaan, on hyvä kiinnittää huomiota myös muihin haasteisiin kuten esimerkiksi sopeutumiseen muuttuviin ilmasto-olosuhteisiin.

Käyttäjien ja rakennusten ohjauksen sekä ylläpidon rooli on keskeinen toteutunutta kulutusta seurattaessa. Tätä on kuitenkin mahdotonta säädellä mutta kannustavia ja ohjaavia toimenpiteitä tulee kehittää. Esimerkiksi hinnoittelulla ja energiankulutuksesta informoimalla on usein osoitettu olevan selkeä kulutusta hillitsevä vaikutus.

7. LÄHTEET

Airaksinen, M. ja Vainio, T. 2012, Rakennuskannan korjaamisen ja kunnossapidon energiantehokkuustoimenpiteiden vaikuttavuuden arviointi energiansäästön, CO2 ekv päästöjen, kustannuksien ja kannattavuuden näkökulmista, VTT-CR-00426-12

Airaksinen, M., Vuolle M., 2013, Heating Energy and Peak-Power Demand in a Standard and Low Energy Building, *Energies*, 6, 235-250

Alakangas, E., Erkkilä, A. ja Oravainen H. 2008. Tehokas ja ympäristöä säästävä tulisijalämmitys-Polttopuun tuotanto ja käyttö. VTT-R-10553-08. Intelligent Energy Europe. Jyväskylä 2008.

- Asplund, D., Korppi-Tommola, J. ja Helynen, S. 2005. Uusiutuvan energian lisäysmahdollisuudet vuoteen 2015.
[http://julkaisurekisteri.ktm.fi/ktm_jur/ktmjur.nsf/all/E5063805F1B754D5C22570190028414D/\\$file/34642005.pdf](http://julkaisurekisteri.ktm.fi/ktm_jur/ktmjur.nsf/all/E5063805F1B754D5C22570190028414D/$file/34642005.pdf)
- Audin, L. 1993. Occupancy sensors: promise and pitfalls, E-Source Tech Update, Old Snowmass, CO,
- Balaras, C., Droutsas, K., Argiriou, A.A. & Asimakopoulos, D. 1999. Potential for energy conservation in apartment buildings. *Energy and Buildings* 31 (2): 143–154.
- Bazilian, M. & Liebreich M. 2012. Re-considering the Economics of Photovoltaic Power. *Bloomberg New Energy Finance*, 15.5.2012.
- BMU 2006. Renewable Energy Employment effect, Impact of the Expansion of Renewable Energy on the German Labour Market, Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, Berlin.
- BMU 2008. Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland im Jahr 2008, Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, Berlin.
- BMU 2012a. Development of Renewable Energy sources in Germany 2011, http://www.bmu.de/english/renewable_energy/downloads/doc/39831.php. Luettu 31.10.2012.
- BMU 2012b. Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 7/2012.
- Borenstein, S. 2011. The Private and Public Economics of Renewable Electricity Generation, Center for Energy and Environmental Economics, University of California, E3WP-017R.
- Boström, S., Uotila, U., Linne, S., Hilliäho, K., Lahdensivu, J., 2012, Erilaisten korjaustoimien vaikutuksia lähiökerrostalojen todelliseen energiankulutukseen, Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Rakennetekniikka. Tutkimusraportti 158.
- Caddet 1995. Saving energy with efficient lighting in commercial buildings, Maxi Brochure 01, Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies, Sittard, The Netherlands.
- California Energy Commission CEC.(1993) Advanced Lighting Guidelines, CEC Publication 400-93-014, Sacramento, CA, California Energy Commission
- Corbus, D., Schuerger, M., Roose, L., Strickler, J., Surles, T., Manz, D., Burlingame, D. & Woodford, D. 2010. Oahu wind integration and transmission study: Summary report, NREL/TP-5500–48632.
- Couture, T., Cory, K., Kreycik, C. & Williams, E. 2010. A Policymaker's Guide to Feed-in Tariff Policy Design. NREL, US Department of Energy.
- Dena 2011. Integration of Renewable Energy Sources in the German Power Supply System from 2015–2020 with an Outlook to 2025. Dena German Energy Agency, 5.1.2011.
- Dominguez-Ramos, A., Held, M., Aldaco, R., Fischer, M. & Irabierna, A. 2010. Carbon footprint assessment of photovoltaic modules manufacture scenario. 20th European Symposium on Computer Aided Process Engineering – ESCAPE20, Elsevier.
- Energiateollisuus 2012. Energia ja ympäristö. www.energia.fi.
- Enkvist, P-A., Nauclér, T. & Rosander, J. 2007. A Cost Curve for Greenhouse Gas Reduction. *The McKinsey Quarterly* 1/2007

EPRI 1994. Occupancy sensors: positive on/off lighting control, EPRI BR-100323, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA.

EU 2003. External Costs – Research results on socio-environmental damages due to electricity and transport. Euroopan komissio, Bryssel.

EU 2008 A. Summary of the Impact Assessment; Communication Staff Working Document, Accompanying Document to the Proposal for a Recast of the Energy Performance of Buildings Directive (2002/91/EC); COM(2008) 755/SEC(2008) 2821; Commission of the European Communities: Brussels, Belgium, 2008.

EU 2008 B. Energy and Transport in Figures, Statistical Pocket Book 2007/2008; European Communities: Brussels, Belgium.

EU 2010. Direktiivi 2010/31/EU rakennusten energiatehokkuudesta. Euroopan parlamentti ja neuvosto, 19.5.2010.

Fronzel, M., Ritter, N. & Schmidt, C. 2008. Germany's solar cell promotion: Dark clouds on the horizon. Energy Policy, 36, 4198–4204.

Fronzel, M., Ritter, N., Schmidt, C.M. & Vance, C. 2009 Economic impacts from the promotion of renewable energy technologies: the German Experience, Ruhr economic paper, No. 156.

Fthenakis, V. & Alsema, E. 2006. Photovoltaics Energy Payback Times, Greenhouse Gas Emissions and External Costs: 2004–early 2005 Status. Progress in photovoltaics: research and applications. 14, 275–280.

Hagström, M., Vartiainen, E. & Vanhanen, J. 2005. Biokaasun maatilatuotannon kannattavuusselvitys. www.ruoko.fi/uploads/pdf/kannattavuusselvitys.pdf

Heinimö, J. ja Alakangas, E. 2011. Market of biomass fuels in Finland – an overview 2009, Lappeenranta University of Technology, Institute of Energy Technology, Research Report 19.

Hillebrand, B., Buttermann H. G., Behringer, J. M. & Bleuel, M. 2006. The expansion of renewable energies and employment effect in Germany, Energy Policy 34, 3484-3494.

Holtinen H., Meibom P., Orths A., van Hulle F., Lange B., O'Malley M., Pierik J., Ummels B., Tande J.O., Estanqueiro A., Matos M., Gomez E., Söder L., Strbac G., Shakoor A., Ricardo J., Smith J.C. & Milligan M., Ela E. 2009. Design and operation of power systems with large amounts of wind power. Final report, IEA WIND Task 25, Phase one 2006-2008. Espoo, VTT. 200 p. + app. 29 p. VTT Tiedotteita - Research Notes 2493. Available at <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2009/T2493.pdf>

http://era17.fi/wp-content/uploads/2010/10/sitran_selvityksia_39.pdf

http://www.sitra.fi/sites/default/files/u489/sahkon_pientuotanto_keskustelupaperi_2012-9-3.pdf

http://www.tem.fi/files/33435/Bionova_selvitys_sahkon_pientuotannon_nettolaskutuksesta.pdf

IPCC 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change: Mitigation, Third assessment Report, Working group III, New York

Itoa, M., Komotob, K. & Kurokawa, K. 2010. Life-cycle analyses of very-large scale PV systems using six types of PV modules. Current Applied Physics, Vol. 10, 2, Supplement, S271–S273.

Jelle, B., Breivik, C. & Røkenes, H. 2012. Building integrated photovoltaic products: A state-of-the-art review and future research opportunities. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 100, 69–96.

Jungbluth, N., Tuchschnid, M. & Wild-Scholten, M. 2008. Life Cycle Assessment of Photovoltaics: Update ofecoinvent data v2.0. ESU-services Ltd., Uster, Sveitsi.

Kara, M. (Toim.) 2004. Energia Suomessa – Tekniikka talous ja ympäristövaikutukset. VTT, Espoo.
Kivistö, E. and Vakkilainen, E. (2011) Uusiutuvan sähkön lisäämiseen käytettyjen energiaverojen vaikutus kuluttajan maksamaan sähkön hintaan. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Kiviluoma, J., Meibom, P., Tuohy, A., Troy, N., Milligan, M., Lange, B., Gibescu, M. & O'Malley, M. 2012. Short Term Energy Balancing With Increasing Levels of Wind Energy, *IEEE Trans. on Sus. Ene.*, Vol. 3, Iss. 4, pp. 769-776.

Kiviluoma, J. & Meibom, P. 2010. Influence of wind power, plug-in electric vehicles, and heat storages on power system investments, *Energy*, Vol. 35 (3), pp. 1244–1255.

Kivistö, E. ja Vakkilainen, E. 2011. Uusiutuvan sähkön lisäämiseen käytettyjen energiaverojen vaikutus kuluttajan maksamaan sähkön hintaan. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Kopsakangas-Savolainen, M. & Svento, R. 2012a. *Modern Energy Markets; Real-Time Pricing, Renewable Resources and Efficient Distribution*, Springer UK, London. ISBN 978-1-4471-2971-4.

Kopsakangas-Savolainen, M. & Svento, R. 2012b. Real-Time Pricing in the Nordic Power Markets, *Energy Economics*, Vol 34, Issue 4. pp. 1131-1142.

Kopsakangas-Savolainen, M. & Svento, R. 2012c. Promotion of market access for renewable energy in the Nordic Power markets; *Environmental and Resource Economics*, In Press. DOI 10.1007/s10640-012-9605-z

Lindell, M. ja Weckström, H. 2012. Valtakunna ensimmäinen maalämpöpumppuverailu. Tekniikan maailman erikoisnumero: Kodin energia. TM 18E/2012

Lindroos, T., Suvi, M., Honkatukia, J., Soimakallio, S. ja Savolainen, I. 2012. Arvioita uusiutuvan energian lisäämisen vaikutuksista Suomen kasvihuonekaasupäästöihin ja kansantalouteen. VTT Technology 11.

Luostarinen, S. 2012. Suullinen tiedonanto. 30.10.2012.

Meijer, A., Huijbregts, M., Schermer, J. ja Reijnders, L. (2003) Life-cycle Assessment of Photovoltaic Modules: Comparison of mc-Si, InGaP and InGaP/mc-Si Solar Modules. *Progress in photovoltaics: research and applications* 11, 275–287.

Metsäntutkimuslaitos 2013. MetInfo – Puun energiakäyttö 2007/2008.
www.metla.fi/metinfo/tilasto/puunkytto.

Motiva 2011. Maatilojen energiaohjelma. Energiaa viisaasti maatilalla.
http://www.mmm.fi/attachments/maatalous/tuotanto/5zVBwYp6Z/Maatilojen_energiaohjelma_Energiaa_viisaasti_maatilalla.pdf

Motiva 2012. Pienvesivoima. www.motiva.fi.

Motiva 2013. Investointituet uusiutuvalle energialle. www.motiva.fi

NDP 2012: Retail Price Summary – March 2012 Update. Solarbuzz.com, NDP Group.

Neidlein H.-C. & Gifford, J. 2011. EU PVSEC: Doors close on price war. *PV Magazine*, 9.9.2011.

Niemeläinen, O., Virkkunen, E., Jauhiainen, L. ja Lötjönen, T. 2012. Kuinka paljon viherkesanto- ja hoidettu viljelemätön peltolohkoilla olisi satoa biokaasun tuotantoon?. In: Toim. Nina Schulman ja Heini Kauppinen. Maataloustieteen Päivät 2012, 10.-11.1.2012 Viikki, Helsinki : esitelmät, posterit. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 28: 6 p. [Url] Julkaistu 11.1.2012

Noponen, J. 2012. Aurinkoenergian esteet on raivattava. Vieraskynä, Helsingin sanomat 6.10.2012.

Pahkala, K. ja Lötjönen, T. 2012. Peltobiomassat tulevaisuuden energiaresurssina. MTT Raportti 44: 59 s. Verkkojulkaisu päivitetty 19.6.2012.

Partanen, J., Honkapuro, S. ja Tuunanen J. 2012. Jakeluverkkoyhtiöiden tariffirakenteiden kehitysmahdollisuudet. LUT Energia tutkimusraportti 21. Lappeenranta University of Technology.

Pienvesivoimayhdistys 2012. Pienvesivoima on puhtainta uusiutuvaa energiaa. www.pinvesivoimayhdistys.fi.

Pohjois-Karjalan maaseutuliitto 2007. Pohjois-Karjalan bioenergiaohjelma 2015. Jukaisu 105.

Rebours, Y., Trotignon, M., Lavier, V., Derbanne, T. & Meslier, F. 2010. How much electric inter-connection capacities are needed within Western Europe?”, 7th International Conference on the European Energy Market (EEM), 23–25 June 2010.

Regina, K., Lehtonen H., Nousiainen J. & Esala M. 2009. Modelled impacts of mitigation measures on greenhouse gas emissions from Finnish agriculture up to 2020. Agricultural and Food Science 18, 477-493.

RIL (2010) Tulisijat – suunnittelu, toteutus ja käyttö. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry, Helsinki, 251-2010.

Rinne, S. ja Syri, S. 2012. Lämpöpumput ja kaukolämpö energijärjestelmässä. Ilmastopaneelin raportteja. Käsikirjoitus.

Rytkönen, A. ja Kirkkari, A-M. (toim.) 2010. Vapaa-ajan asumisen ekotehokkuus, Suomen Ympäristö 6, Ympäristöministeriö.

Steinfeld, J.; Bruce, A.; Watt, M. Peak load characteristics of Sydney office buildings and policy recommendations for peak load reduction. Energy Build. 2011, 43, 2179–2187.

Sinkko, T., Hakala, K. ja Thun, R. 2010. Biopolttoaineiden raaka-aineeksi viljeltävien kasvien aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt Suomessa Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2009/28/EY mukainen laskenta. MTT Raportti 9: 41 s. [Url] Verkkojulkaisu päivitetty 4.10.2010

Suomen Kaasuyhdistys 2012. Kaasutilastot. www.maakaasu.fi.

Suomen Lämpöpumppuyhdistys 2012. www.sulpu.fi.

Statistics Finland 2012. Greenhouse gas emissions in Finland 1990-2010. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol. 502 pp.

Stoppato, A. 2008. Life cycle assessment of photovoltaic electricity generation, Energy, 33, 2, 224-232.

TEM 2011. Suomen toinen kansallinen energiategokkuuden toimintasuunnitelma NEEAP-2. Energiapalveludirektiivin (32/2006/EY) 14 artiklan mukainen raportointi Euroopan komissiolle. 27.6.2011. http://www.tem.fi/files/30406/NEEAP_2.pdf.

TEM 2012a. Puhtaan energian ohjelma. Kalvosarja.

TEM 2012b. Cleantechin starteginen ohjelma. www.tem.fi.

Tissari, J. 2008. Fine Particle Emissions From Residential Wood Combustion. Kuopio University Publications C. Natural and Environmental Sciences 273, 63 p.

Tilastokeskus / rakennukset. Suomen virallinen tilasto (SVT): Rakennukset ja kesämökkit [verkkojulkaisu]. ISSN=1798-677X. Helsinki: Tilastokeskus

Tuomaala, M., Ahtila, P., Haikonen, T., Kalenoja, H., Kallionpää, E., Rantala, J., Tuominen, P., Shemeikka, J., Rämä, M., Sipilä, K., Pursiheimo, E., Forsström, J., Wahlgren, I., Lahti, P. 2012. Energiatehokkuuden mittarit ja potentiaalit. Aalto-yliopisto, 1/2012.

Thyholt, M.; Hestnes, A.G. Heat supply to low-energy buildings in district heating areas, Analyses of CO2 emissions and electricity supply security. Energy Build. 2008, 40, 131–139.

Vainio, T., Belloni, K., Jaakkonen, L. 2012. Asuntotuotanto 2030 – asuntotuotantotarpeeseen vaikuttavia tekijöitä, VTT, Espoo. VTT Technology 2.

Öljyalan Keskusliitto 2012. Tilastot. www.oil.fi/tilastot-3-suomen-oljymarkkinat .