

Hajautettu energiantuotanto Suomessa

Nykytila ja tulevaisuus sekä vaikutukset ilmanlaatuun

Vesa Vihanninjoki

Suomen ympäristökeskus SYKE

Kulutuksen ja tuotannon keskus

Ilmansaasteet ja ilmastonmuutoksen hillintä

30.6.2015

Sisällys

1.	Johdanto.....	2
2.	Määrittelyjä.....	4
	Tuotannon mittakaava ja numeeriset raja-arvot.....	4
	Paikallisuus ja paikallisten resurssien hyödyntäminen	5
	Tuotantoyksikön tai -laitoksen suhde energian jakeluverkkoihin.....	6
3.	Potentiaaliset tekniikat ja teknologiat.....	7
	Aurinkoenergia.....	7
	Aurinkolämpö	7
	Aurinkosähkö.....	10
	Pientuulivoima	11
	Pien- ja minivesivoima.....	11
	Lämpöpumput	12
	Hajautetut lämpölaitokset ja pien-CHP.....	15
	Bioenergia ja biopolttoaineet hajautetussa energiantuotannossa	16
	Potentiaaliset pien-CHP-tekniikat.....	20
4.	Hajautetun ja pienimuotoisen tuotannon merkitys ja määrä tulevaisuudessa.....	24
5.	Hajautetun ja pienimuotoisen tuotannon erityiskysymyksiä	31
	Hajautettu sähköntuotanto, sähköverkkoon liittyminen ja älyverkot.....	31
	Lämmön pientuotannon alueellinen hyödyntäminen ja kaukolämpö.....	32
	Alueelliset edellytykset ja tuotantopotentiaalin alueellinen jakautuminen	36
6.	Hajautetut lämpölaitokset ja pien-CHP päästökysymyksenä	40
	Kasvihuonekaasut	40
	Ilmansaastepäästöt	42
	Hajautettu tuotanto ja päästölainsäädäntö.....	46
7.	Potentiaalisia ratkaisuja ja esimerkkikohteita.....	50
	Kempeleen ekokortteli	50
	Biokaasun tuotanto maatilalaitoksissa	51
8.	Yhteenveto.....	55
	Lähteet.....	58

1. Johdanto

Hajautettu energiantuotanto on toisaalta hyvin ajankohtainen ja toisaalta hieman vaikeasti määriteltävä kokonaisuus, jota on mahdollista tarkastella useasta eri perspektiivistä. Hajautettuun tuotantoon liittyvät keskeisimmät kysymykset koskevat yleisesti ottaen energiantuotannon mittakaavaa ja suhdetta energianjakeluverkostoihin sekä sitä, kuinka hajautettu tuotanto on mahdollista toteuttaa ekologisesti, sosiaalisesti ja taloudellisesti kestäväällä tavalla. Ekologisen kestävyuden osalta on arvioitava hajautetusta tuotannosta potentiaalisesti aiheutuvia haittavaikutuksia ilmastoon, ilmanlaatuun tai ympäristön muihin osaluaisiin.

Yleisesti ottaen hajautettu tuotanto on mittakaavaltaan pienimuotoista, mutta pienimuotoisuuskin voidaan määrittää monella tapaa – esimerkiksi tuotantotehon ja vuosituotannon perusteella tai suhteessa teknologiakohtaisiin standardeihin ja normeihin. Vertaamalla toisiinsa pienimuotoista hajautettua tuotantoa sekä suuren mittakaavan keskitettyä tuotantoa voidaan saada selville joitakin hajautetun tuotannon kannalta oleellisia tekijöitä ja piirteitä. Keskeisiä aspektoja ovat tällöin energiaomavaraisuus ja tuotannon riskialttuus, tuotannon ilmastollinen kestävyys ja hiilineutraalisuus sekä tuotannon suhde muihin ilmansaastepäästöihin ja päästölainsäädäntöön.

Siinä missä keskitetty tuotanto tukeutuu usein Suomen ulkopuolelta tuotaviin energiaraaka-aineisiin – kuten kivihiiileen, maakaasuun tai uraaniin – hajautettu tuotanto hyödyntää tyypillisesti paikallisia energialähteitä – kuten biomassaa ja muita biopolttoaineita, aurinko- ja tuulienergiaa sekä maaperään ja vesistöihin varastoitunutta energiaa. Tässä mielessä hajautettu energiantuotanto voi vähentää energian ja energiaraaka-aineiden tuontia ja edistää energiaomavaraisuutta.

Koska hajautettu tuotanto ei periaatteellisesti edellytä mitään tiettyä raaka-ainetta tai tuotantoteknologiaa, hajautetun tuotannon voi joustavuudessaan nähdä vähentävän niitä energiantuotannon markkina- ja teknologiakohtaisia riskejä, joita keskitettyyn ja suurilla investointeilla vaatimaan tuotantoon aina sisältyy. Kun energiantuotantoyksiköitä on lukumäärällisesti useampia ja laajemmalla alueella, potentiaaliset riskit jakautuvat myös maantieteellisesti tasaisemmin.

Nykyaikaisen hajautetun energiantuotannon lähtökohtana on ilmastollinen kestävyys ja mahdollisuuksien mukaan hiilineutraalisuus, minkä vuoksi uusiutuva energia ja uusiutuvat energiamuodot ovat hyvin keskeisessä asemassa: monessa yhteydessä hajautetulla tuotannolla tarkoitetaan nimenomaan uusiutuviin energiamuotoihin perustuvaa lähien energiantuotantoa. Hajautetusti tuotettu energia ei kuitenkaan määritelmällisesti ole uusiutuvaa energiaa, ja tämänkaltaisiin yleistyksiin voi olla syytä suhtautua tietyllä varauksella. Lisäksi suuren mittaluokan keskitetty energiantuotanto on usein kustannus- ja energiatehokkaampaa – suurten laitojen teknologia on hyvin tunnettua ja pitkälle optimoitua – mikä voi osaltaan laskea hajautetun tuotannon suhteellista ilmastoystävällisyyttä.

Kasvihuonekaasupäästöjen ohella polttoperusteisesta energiantuotannosta aiheutuu käytännössä aina ilmansaastepäästöjä, jotka heikentävät ilmanlaatua ja voivat aiheuttaa erilaisia terveys- ja ympäristöhaittoja. Suurten polttolaitosten toiminta on tarkasti säänneltyä, ja niissä on käytössä hyvin tehokkaita puhdistusjärjestelmiä, jotka vähentävät ilmansaastepäästöjä oleellisesti. Hajautettu tuotanto puolestaan on pitkälti sääntelemätöntä, ja matalien piippukorkeuksien vuoksi päästöt voivat merkittävästi nostaa paikallisia saastepitoisuuksia.

Tässä selvityksessä tarkastellaan hajautetun tuotannon nykytilaa ja tulevaisuutta Suomessa sekä määrällisten että laadullisten seikkojen osalta: tutkimuksen kohteena ovat niin hajautetun tuotannon tehollinen ja tuotannollinen potentiaali sekä tämän potentiaalın suhde energian kokonaistuotantoon kuin hajautettuun tuotantoon soveltuvat tuotantotekniikat ja -teknologiat. Erylistä huomiota kiinnitetään hajautetusta tuotannosta aiheutuviin ilmansaastepäästöihin sekä ilmanlaatuksymyksiin.

Selvityksen aluksi (luku 2) luodaan katsaus erilaisiin hajautettua tuotantoa koskeviin määrittelyihin ja määritelmiin, jotka auttavat ymmärtämään hajautettua tuotantoa ilmiönä suhteessa energiantuotannon kokonaisuuteen ja osaltaan rajaavat käsillä olevan selvityksen alaa. Tämän jälkeen (luku 3) tarkastellaan lähemmin sellaisia tekniikoita ja teknologioita, joilla on erityistä potentiaalia hajautetun ja pienimuotoisen energiantuotannon kannalta.

Tätä teknistä katsausta seuraavassa luvussa (luku 4) esitellään joitakin määrällisiä arvioita koskien hajautetun ja pienimuotoisen energiantuotannon tulevaisuutta. Tässä yhteydessä on huomattava, että erilaisissa selvityksissä ja visioissa esitetyt arviot perustuvat vaihteleviin määritelmiin ja taustaoletuksiin, minkä vuoksi eri yhteyksissä esitetyt lukuarvot eivät lähtökohtaisesti ole keskenään suoraan yhteismitallisia ja vertailukelpoisia.

Hajautetun ja pienimuotoisen tuotannon muita erityiskysymyksiä käsittelevä osio (luku 5) jakaantuu kolmeen alalukuun. Näistä ensimmäinen keskittyy sähkön pientuotantoa koskeviin seikkoihin (älyverkot ja muut sähköverkkoasiat), toinen lämmön pientuotannon alueelliseen hyödyntämiseen (kaukolämpö ja muut aluelämpöjärjestelmät), ja kolmas hajautettua pientuotantoa koskeviin yleisempiin alueellisiin kysymyksiin (sovellusmahdollisuuksien ja tuotantopotentiaalin alueellinen jakautuminen).

Hajautettuun lämmöntuotantoon sekä pienimuotoiseen sähkön ja lämmön yhteistuotantoon liittyviä päästökysymyksiä käsitellään omassa luvussaan (luku 6). Tarkastelu keskittyy polttoperusteisiin energiantuotantotekniikoihin ja erityisesti uusiutuvien polttoaineiden hajautetusta käytöstä aiheutuviin kasvihuonekaasu- ja ilmansaastepäästöihin sekä hajautettua tuotantoa koskevaan päästölainsäädäntöön.

Selvityksen lopuksi (luku 7) esitellään muutamia sellaisia potentiaalisia ratkaisuja ja esimerkkikohteita, jotka tällä hetkellä edustavat uutta ja osin kehittymätöntä tekniikkaa mutta joiden merkitys voi tulevaisuudessa olla sekä energiantuotannon volyymin että päästöjen synnyn kannalta huomattava.

Lähdemateriaalin osalta tämä selvitys nojautuu pitkälti aiemmin tehtyihin hajautettua tuotantoa koskeviin selvityksiin ja raportteihin, ja tarkoituksena onkin osaltaan vetää yhteen ja vertailla hajautetun tuotannon määrästä ja merkityksestä tehtyjä arvioita. Tämän lisäksi hyödynnetään myös teknisempiä lähteitä – erityisesti päästökysymysten kohdalla – mikä mahdollistaa aiemmin tehdyissä selvityksissä käytettyjen määritelmien ja taustaoletusten kriittisen arvioinnin. Uusimpien ja toistaiseksi kehitysasteella olevien teknologioiden osalta käytetään hyväksi suoraan laitevalmistajilta saatuja tietoja.

2. Määrittelyjä

Hajautettu energiantuotanto on laaja-alainen kokonaisuus, jossa risteää useita toisiinsa limittyneitä ulottuvuuksia tavalla, joka tekee ilmiön yksiselitteisestä määrittelystä haasteellista.¹

Hajautettua energiantuotantoa on ensinnäkin pidetty synonyyminä sähkön ja lämmön pientuotannolle eli tuotannolle, joka on jollain erikseen määritettävällä mittarilla arvioituna pienimuotoista. Näin ollen hajautetussa tuotannossa olisi kyse tuotannon – joko yhden tuotantoyksikön tai vaihtoehtoisesti kokonaisen tuotantolaitoksen – mittakaavasta, jota tarkastellaan tyypillisesti erilaisten tehoa koskevien lukujen kautta.

Toiseksi hajautettu energiantuotanto on liitetty kiinteästi tuotannon paikallisuuteen ja paikallisuusaspektiin ylipäänsä. Tällöin hajautetun tuotannon kannalta keskeistä on paikallisten resurssien hyödyntäminen sekä tästä kumpuava omavaraisuus ja tietty riippumattomuus.

Kolmanneksi on vielä erikseen huomioitava hajautetun energiantuotannon suhde erilaisiin energiaverkkoihin ja energian jakelun mahdollisuuteen. Hajautetulla tuotannolla voi ymmärrettävästi olla erityistä merkitystä alueilla, jotka ovat tavanomaisen jakeluverkoston ulkopuolella. Toisaalta hajautetusti tuotetun energian mahdollisimman täydellinen hyödyntäminen voi edellyttää tuotantolaitoksen kytkemistä jakeluverkkoon, mihin puolestaan liittyy omat ongelmansa.

Seuraavassa tarkastellaan hajautetun energiantuotannon määrittelyn mahdollisuutta ja esitettyjä määritelmiä edellä mainittujen kolmen asiakokonaisuuden kautta.

Tuotannon mittakaava ja numeeriset raja-arvot

Hajautetulla energiantuotannolla tarkoitetaan monesti energian pientuotantoa eli tuotantoa, joka on mittakaavaltaan pienimuotoista. Pienimuotoisuuden raja on kuitenkin häilyvä, ja tuotannon pienimuotoisuudesta puhuttaessa voidaan vedota useisiin eri kriteereihin. Tällaisia kriteereitä löytyy myös energiantuotantoa koskevasta lainsäädännöstä, jonka keskeisimmän ytimen muodostavat laki sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta (1260/1996), sähkömarkkinalaki (588/2013) sekä ympäristönsuojelulaki (527/2014).

Laki sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta määrittelee 1.5.2015 alkaen (sähkön) *pientuottajan*, ”jonka voimalaitoksessa tuottaman sähkön määrä on kalenterivuodessa enintään 800 000 kilowattituntia”². Tällä tavoin määriteltyjen sähkön pientuottajien ei tarvitse maksaa sähköveroä itse tuottamastaan ja käyttämästään sähköstä³, vaikka he ovatkin velvoitettuja ilmoittamaan tuotetun sähkön määrän vuosittain. Lakiuudistuksen myötä sähkö, joka on tuotettu enintään 100 kilovoltiampeeria nimellistehoissa tuotantoyksikössä eli generaattorissa (tai useiden tuotantoyksiköiden muodostamassa tuotantolaitoksessa), ei edellytä lainkaan verovelvolliseksi rekisteröitymistä. Vaikka laissa itsessään ei puhuta nimenomaan pien- ja mikrovoimalaitoksista⁴, Tullin verotusta koskeva ohjeistus noudattaa tällaista käsitteellistä kategorisointia.⁵

Ennen lakiuudistusta verovelvollisuuden absoluuttinen alaraja oli 50 kilovoltiampeerin generaattoriteho ja ehdollinen⁶ alaraja 2 000 kilovoltiampeerin generaattoriteho.⁷ Toisin sanoen uudistuksessa esitelty 800 000 kWh:n vuosituotantoa koskeva yläraja on korvannut aikaisemman 2 000 kVA:n generaattoritehoa koskevan

¹ Määrittelyn haasteellisuus näkyy myös tilastoinnin puutteellisuutena; aiheesta tarkemmin ks. Tahkokorpi 2014.

² Finlex: 1260/1996 2 §, muutossäädös 501/2015.

³ Sähköverkon kautta kulutukseen siirretty sähkö on aina verotuksen alaista.

⁴ Mikrovoimalaitokset ovat nimellisteholtaan alle 100 kVA; pienvoimalaitokset ovat nimellisteholtaan yli 100 kVA, mutta niiden vuosituotanto on enintään 800 000 kWh.

⁵ Valtionvarainministeriön ja Tullin tiedote 27.4.2015 (Tulli 2015).

⁶ Veroä ei tarvitse maksaa sähköstä, jota ei siirretä verkkoon.

⁷ Finlex: 1260/1996 5 §.

ylärajan. Verovelvollisuutta ajatellen generaattoriteho ei siis enää suoraan määrittele pientuotannon mittakaavaa.

Sähkömarkkinalaki sen sijaan pitäytyy tehollisessa määrittelyssä, sillä laissa tarkoitetaan *pienimuotoisella sähköntuotannolla* ”voimalaitosta tai usean voimalaitoksen muodostamaa kokonaisuutta, jonka teho on enintään kaksi megavoltiampeeria”⁸. Näin ollen lainsäädäntö määrittää varsinaisen pientuottajan ja pienimuotoisen tuotannon ainakin toistaiseksi eriävin perustein.

Yhdenlainen energiantuotannon pienimuotoisuuden määrittely löytyy ympäristönsuojelulaista, jossa määrätään polttoaineiden polttamiseen perustuvan energiantuotannon luvanvaraisuudesta. Lain mukaan *ympäristölupa* vaaditaan laitoksilta, joiden energiantuotantoyksiköiden yhteenlaskettu polttoaineteho on 50 megawattia tai enemmän, sekä myös laitoksilta, joihin kuuluu yksi tai useampi polttoaineteholtaan vähintään 20 megawatin kiinteää polttoainetta polttava energiantuotantoyksikkö. Lain mukaan *rekisteröintiä* puolestaan edellyttää energiantuotantolaitos, jonka polttoainetehoon lasketaan yhteen kaikki samalla laitosalueella sijaitsevat polttoaineteholtaan vähintään yhden megawatin energiantuotantoyksiköt ja jonka näin saatu kokonaispolttoaineteho on vähintään 5 megawattia.

EU:n tasolla sovellettu keskeinen määrittely käsittää keskisuuret polttolaitokset (MCP eli *Medium Combustion Plant*), joita koskien valmistellaan direktiiviä ilmaan joutuvien päästöjen rajoittamiseksi. Kyseistä MCP-direktiiviehdotusta sovellettaisiin polttoaineteholtaan 1–50 megawatin polttolaitoksiin (kattila, kaasuturbiini tai moottori), ja siinä on määritetty päästöarvot rikkidioksidi-, typenoksidi- ja hiukkaspäästöille.⁹ Näin ollen EU-tasolla varsinaisena pientuotantona voidaan katsoa pidettävän alle yhden megawatin tuotantoa.

Lainsäädännöstä siis ei ainakaan tällä hetkellä saa johdettua mitään täysin yksiselitteistä määritelmää pientuotannolle, vaan eri yhteyksissä joudutaan asettamaan tapauskohtaisia ylärajoja pienimuotoisen tuotantolaitoksen vuosituotannolle tai teholle. Tehoa kuvaavat arvot ovat kuitenkin käytännössä ratkaisevia, ja erilaisissa hajautettua ja pienimuotoista energiantuotantoa käsittelevissä selvityksissä tehollisena ylärajana onkin pidetty arvoja väliltä 1–20 MW¹⁰.

Paikallisuus ja paikallisten resurssien hyödyntäminen

Hajautetulla energiantuotannolla voidaan tarkoittaa tuotantomallia, jossa energia – sähkö-, lämpö- tai jäädytysenergia – tuotetaan lähellä loppukulutuspiistettä.¹¹ Tässä mielessä voidaankin puhua paikallisesta energiantuotannosta tai energiantuotannon paikallisuudesta, jonka myötä energian siirrosta aiheutuvat häviöt ja muut kustannukset saadaan minimoitua.

Paikallisen energiantuotannon lähtökohtana on usein juuri paikallisten resurssien mahdollisimman kattava hyödyntäminen energiantuotannon eri sovelluksissa ja vaiheissa. Paikallisiksi resursseiksi voidaan puolestaan lukea (primääristen) energialähteiden lisäksi myös erilaiset tekniset järjestelmät ja henkilöresurssit (työvoima ja tekninen osaaminen). Vaikka hajautettu tai paikallinen energiantuotanto ei määritelmällisesti olekaan uusiutuvien energiamuotojen hyödyntämistä, paikallisesti saatavissa olevat primääriset energialähteet sattuvat monesti olemaan uusiutuvia, kuten esimerkiksi aurinkoenergian, tuulivoiman, vesivoiman, biomassan ja geotermisen energian tapauksessa.¹²

Rakennetun ympäristön osalta energiantuotannon paikallisuus voi muun ohella tarkoittaa erilaisten rakennusten ja rakenteiden integroimista osaksi energiantuotantoinfrastruktuuria. Esimerkiksi aurinkoenergiaa

⁸ Finlex: 588/2013 3 §.

⁹ Suomen ympäristökeskus 2015.

¹⁰ Esimerkkejä raja-arvoista, joita pienimuotoisuuden tai pientuotannon määrittelyssä on käytetty erilaisten selvitysten yhteydessä: VTT 2005, 20 MW (sähköteho); Gaia Group 2002, 10 MW (sähköteho); Gaia Consulting 2014a, 5 MW (lämpöteho); Ilmastopaneeli 2013c, 1 MW.

¹¹ Ks. esim. Motiva 2010.

¹² Motiva 2010.

– aurinkolämpöä ja -sähköä – voidaan kerätä suoraan asuin- tai muiden rakennusten seiniin tai katolle asennettavien laitteiden kautta, ja kerätty energia voidaan periaatteessa syöttää laajempaan energiaverkkoon itse rakennukseen kuuluvien teknisten ratkaisuiden avulla.

Tuotantoyksikön tai -laitoksen suhde energian jakeluverkkoihin

Hajautettua energiantuotantoa voidaan arvioida myös sen perusteella, onko hajautettu tuotanto yhteydessä minkäänlaiseen yksittäistä tuotantoyksikköä tai laitosta laajempaan energiaverkkoon. Sekä sähkön että lämmön hajautettu tuotanto on mahdollista joko täysin eristetyksi, paikallisessa/alueellisessa järjestelmässä tai osana laajempaa energianjakoverkkoa.

Energian tuotanto eristetyksi suhteessa jakeluverkkoon tarkoittaa käytännössä, että tällä tavoin hajautetusti tuotettu energia kulutetaan itse. Tämä ei suinkaan edellytä, ettei omaan käyttöön menevää hajautettua tuotantoa voisi täydentää jakeluverkosta ostetulla energialla, ja tyypillisesti näin tehdäänkin. Konkreettisia esimerkkejä tällaisesta ratkaisusta ovat akkujen lataaminen aurinkosähköllä ja asunnon lämmittäminen maalämmöllä, joista jälkimmäinen edellyttää toimiakseen jo lähtökohtaisesti ostettua (sähkö)energiaa.

Paikalliseen tai alueelliseen järjestelmään kuuluva hajautettu energiantuotanto viittaa kokonaisuuteen, jossa hajautetusti tuotettua energiaa jää tuottajan omasta kulutuksesta yli, jolloin sitä voidaan hyödyntää varsinaisen tuotantoyksikön tai -laitoksen ulkopuolisiin sovelluksiin. Myös paikallinen tai alueellinen energiaverkko voi olla yhteydessä laajempaan jakeluverkkoon, mutta verkkojen yhdistäminen saattaa edellyttää erityistoimia, sillä eritasoisissa verkoissa käytettävä tekniikka saattaa olla erilaista. Esimerkkeinä tämänkaltaisista kytkennöistä toimivat alueellinen energiavarastoja sisältävä mikrosähköverkko ja aurinkolämpöä hyödyntävä matalalämpötilainen paikalliskaukolämpöverkko.

Hajautettu energiantuotanto on mahdollista myös suoraan osana laajempaa – potentiaalisesti valtakunnallista – energiaverkkoa. Tällöin joudutaan kuitenkin kiinnittämään erityistä huomiota tekniikan yhteensopivuuteen ja tuotetun energian laatuksiterieihin. Esimerkkitapauksia ovat tuulivoimaloiden kytkeminen suoraan valtakunnalliseen sähköverkkoon ja korkealämpötilaisen kaukolämpöverkon paluuveden lämmittäminen hajautetusti tuotetulla lämmöllä.

3. Potentiaaliset tekniikat ja teknologiat

Tässä luvussa käsitellään erilaisia tekniikoita ja teknologioita, joilla on erityistä potentiaalia hajautetun ja pienimuotoisen energiantuotannon kannalta. Tarkasteltavina ovat aurinkoenergia (aurinkolämpö ja -sähkö erikseen), tuulivoima, pien- ja minivesivoima, lämpöpumput sekä polttoprosesseihin perustuvat hajautetut lämpölaitokset ja pienimuotoiset yhteistuotantolaitokset (pien-CHP). Tässä yhteydessä ei kuitenkaan vielä oteta yksityiskohtaisesti kantaa siihen, millaisia tulevaisuudennäkymiä kunkin vaihtoehdon osalta on esitetty, sillä tähän kysymykseen palataan tarkemmin hieman myöhemmin.

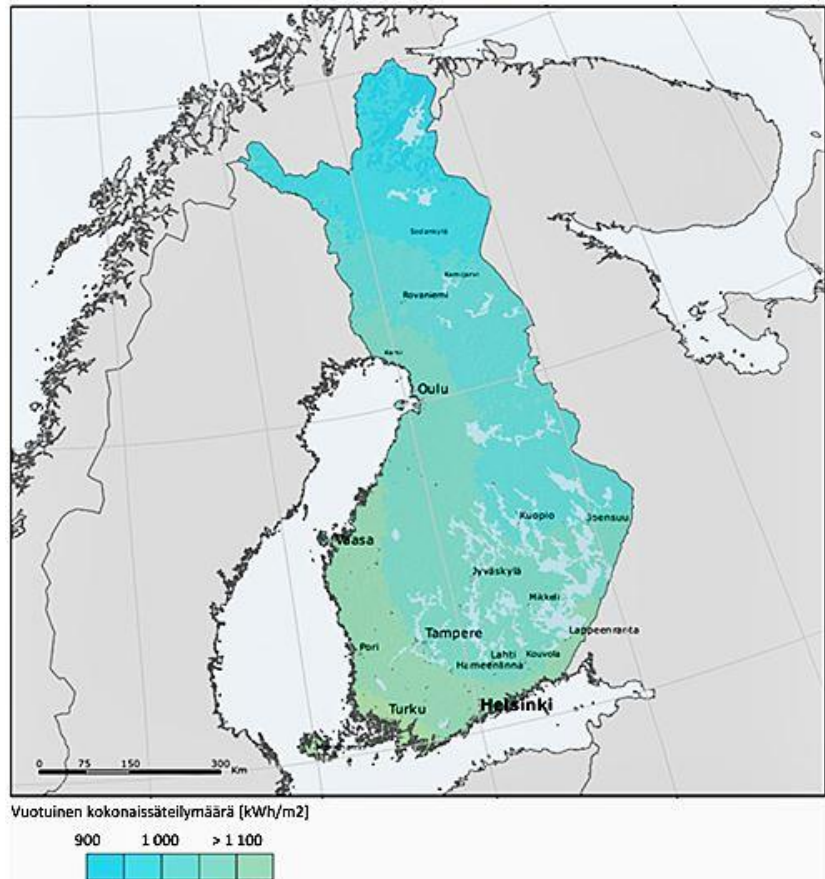
Aurinkoenergia

Auringon energiaa on mahdollista hyödyntää paljon nykyistä enemmän sekä lämmön että sähkön hajautetussa tuotannossa Suomessa. Etelä-Suomessa jokainen neliömetri vastaanottaa vuoden aikana vaakatasossa laskettuna noin yhden megawattitunnin verran auringonsäteilyä, ja Pohjois-Suomessa vastaavasti muutaman kymmenen prosenttia vähemmän (ks. Kuva 1). Aurinkopaneelilla säteilyn määrästä voidaan muuttaa noin 15 prosenttia sähköksi ja aurinkokeräimillä noin 25–35 prosenttia lämmöksi.¹³

Aurinkolämpö

Suomessa aurinkolämmön hyödyntäminen on ollut toistaiseksi melko vähäistä – esimerkiksi vuoden 2010 arvioitu tuotanto oli alle 20 GWh – mutta viime vuosina kiinnostus aurinkolämpöä kohtaan on kasvanut merkittävästi erityisesti pientalojen ja yleisemminkin hajautetun lämmöntuotannon yhteydessä.¹⁴ Rakennuksiin integroitavien hajautettujen keräimien osalta on huomionarvoista, että aurinkolämmön kerääminen tilojen lämmityksen ja etenkin lämpimän käyttöveden tuottamisen tueksi auttaa rakennuksia pääsemään lähemmäs yli vuoden laskettavaa nettonollaenergiatasoa.¹⁵

Aurinkolämmön hyödyntämisen erityispiirteenä on säteilyn voimakas kausi- ja vuorokausivaihtelu, ja Suomessa valtaosa vuosittaisesta säteilystä saadaan maaliskuun ja syyskuun välisenä aikana, kun taas talvikuukausina säteily jää hyvin vähäiseksi.¹⁶ Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että Suomen olosuhteissa



Kuva 1. Vuotuinen auringon säteily määrä (kWh/m²) optimaalisesti suunnatulle ja kallistetulle pinnalle Suomessa. Lähde: Motiva: "Aurinkoenergia."

¹³ Motiva: "Aurinkoenergia."

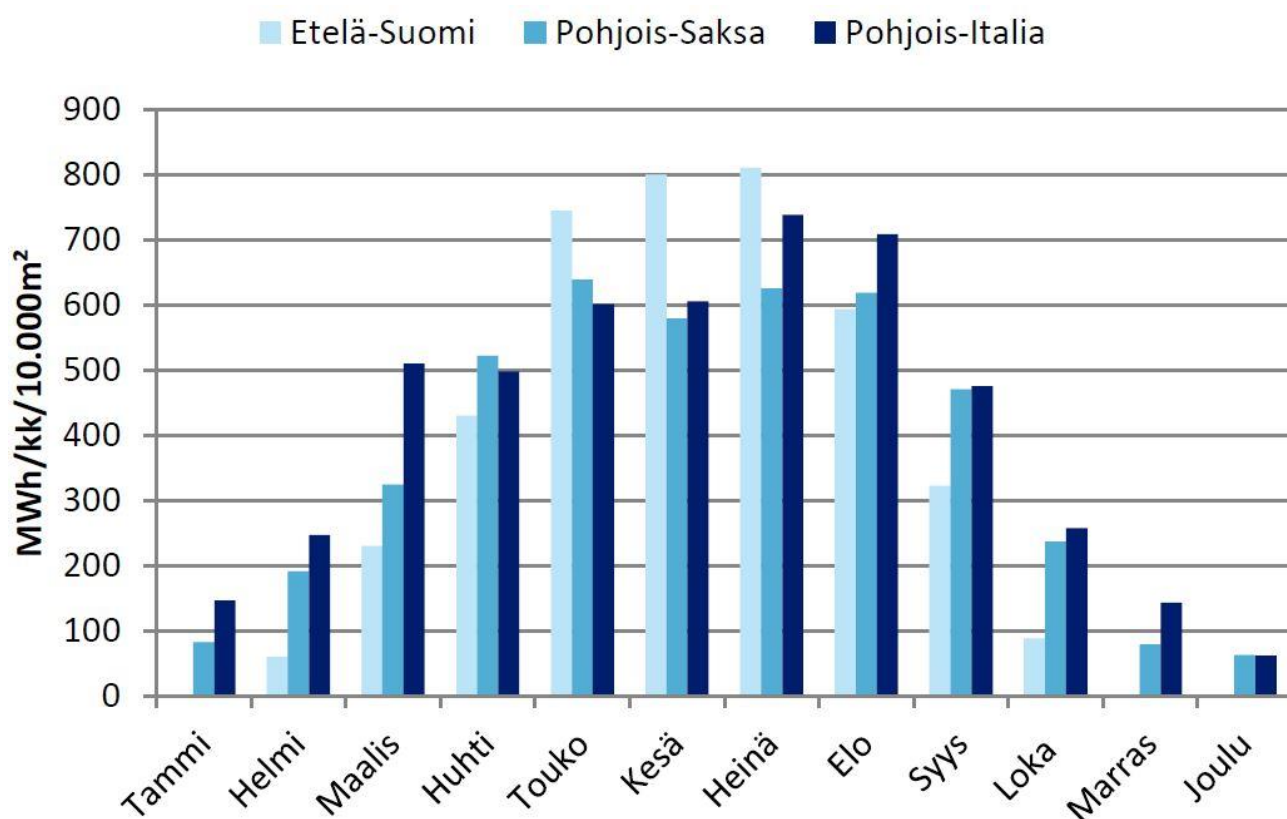
¹⁴ Pöyry 2013.

¹⁵ Ilmastopaneeli 2013c.

¹⁶ Pöyry 2013.

rakennukset tarvitsevat välttämättä muitakin lämmönlähteitä, sillä talvikuukausina, jolloin lämmönkulutus on suurimmillaan, on auringon säteilyä saatavilla vähiten.¹⁷

Suomen pohjoisesta sijainnista johtuen suoran säteilyn teho on huomattavasti vähäisempää kuin lähempänä päiväntasaajaa, mikä käytännössä tekee keskittävien aurinkoenergiaratkaisujen hyödyntämisen vaikeaksi. Lisäksi Suomessa säteilyn tulokulma on kohtuullisen matala, mikä osaltaan laskee säteilyn intensiteettiä ja lisää varjostushäviöitä. Optimaalisen lämmöntuotannon saavuttamiseksi säteilyn tulokulma on huomioitava keräinten asennuksessa.¹⁸



Kuva 2. Aurinkolämmön tuotanto kuukausittain hehtaarin keräinalalla Etelä-Suomessa, Pohjois-Saksassa ja Pohjois-Italiassa. Keräimen toimintalämpötila 75/50 °C. Lähde: Pöyry 2013.

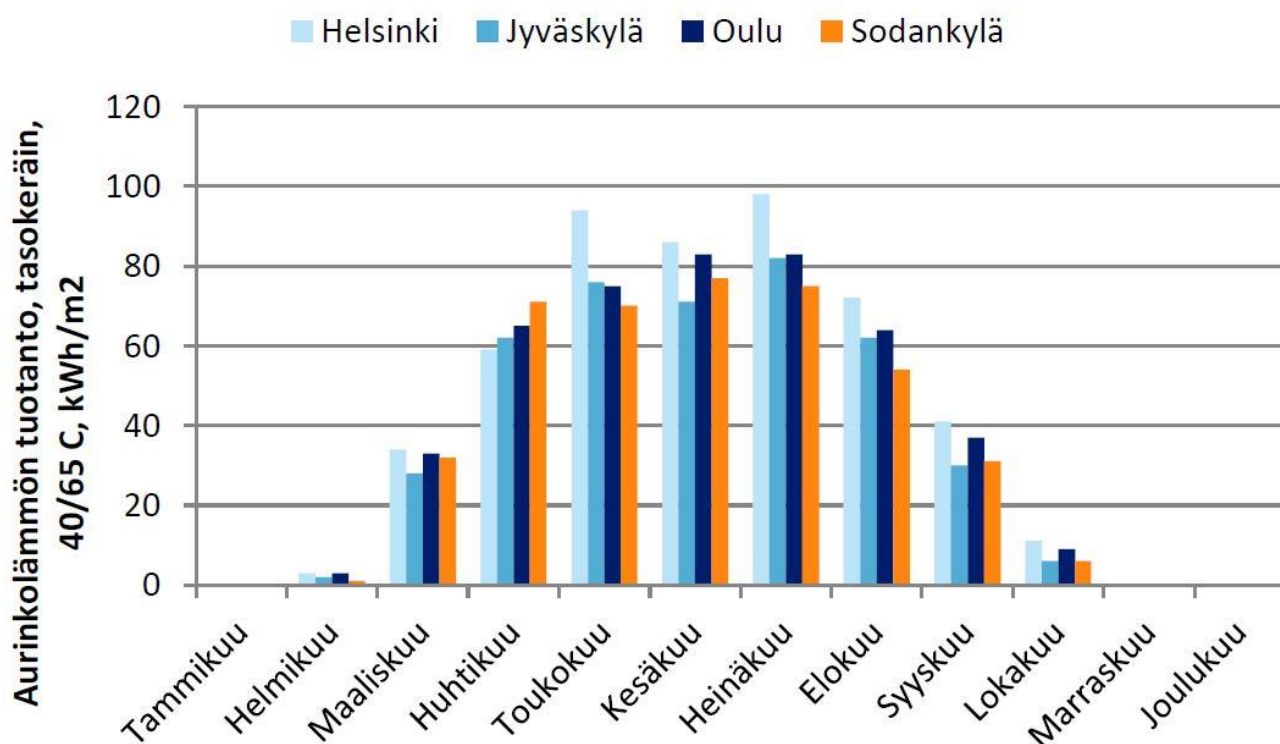
Suomen vuosittainen aurinkolämmön saanto on kuitenkin vain vajaat 10 % alhaisempi kuin Keski-Euroopassa ja noin 20 % Pohjois-Italiaa vähäisempää. Vähäinen ero selittyy kesäkuukausilla, jolloin auringon säteilyä saadaan Suomessa jopa enemmän kuin Italiassa (ks. Kuva 2). Suomessa alueelliset erot auringon säteilyssä näkyvät siten, että Pohjois-Suomen (Sodankylä) vuosittainen aurinkolämmön tuotanto on noin 10 % Etelä-Suomen (Helsinki) saantoa vähäisempää (ks. Kuva 3). Lisäksi rannikon läheisyydessä lämpöä saadaan suotuisempien sääolosuhteiden ansiosta kerättyä enemmän kuin sisämaassa, ja esimerkiksi Oulussa lämmöntuotanto on pohjoisemmasta sijainnistaan huolimatta keskimäärin noin 5 % enemmän kuin Jyväskylässä.¹⁹

¹⁷ Ilmastopaneeli 2013c.

¹⁸ Pöyry 2013.

¹⁹ Pöyry 2013.

Aurinkolämpöä voidaan käyttää veden ja tilojen lämmitykseen, höyryn tuotantoon ja jäähdytykseen. Keskeisin potentiaali hajautetun energiantuotannon kannalta liittyy käyttöveden ja tilojen lämmitysratkaisuihin. Aurinkolämpöjärjestelmässä auringon säteilyenergiaa otetaan talteen aurinkokeräinten avulla ja siirretään käyttökohteeseen järjestelmässä kiertävällä nesteellä. Kerättyä lämpöä voidaan myös varastoida varaajaan myöhempää käyttöä varten.²⁰



Kuva 3. Aurinkolämmön tuotanto tasokeräimellä Suomessa paikkakunnittain. Keräimen toimintalämpötila 65/40 °C. Lähde: Pöyry 2013.

Suhteellisen helposti saavutettava ensiaskel aurinkolämmön käytön lisäämiseksi onkin juuri 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.²¹

Viime aikoina on markkinoille tullut erillisten keräinyksiköiden rinnalle myös seinä- ja kattorakenteisiin integroituja keräimiä, mutta rakennusteknisistä kompromisseista johtuen integroitujen järjestelmien hyötysuhde saattaa jäädä erillisiä järjestelmiä matalammaksi.²² Tämä koskee erityisesti tiiviisti rakennettuja kerrostaloalueita, sillä kerrostaloissa saatavilla olevien sijoituspintojen rajallisuus ja korttelissa syntyvät varjostukset aiheuttavat ongelmia.²³ Toisaalta integroidut järjestelmät voivat olla huomaamattomia ja täten sopeutua paremmin kaupunkikuvaan, eikä erillisten keräinten kiinnittämisestä aiheutuvia haasteita ole.²⁴

Aurinkolämpöjärjestelmät ovat useimmiten talokohtaisia, mutta aurinkolämmön hyödyntäminen alueellisessa lämpöjärjestelmässä tai osana laajempaa kaukolämpöverkkoa on myös mahdollista.²⁵ Tavallisimmat

²⁰ Pöyry 2013.

²¹ Ilmastopaneeli 2013c.

²² Pöyry 2013.

²³ Ilmastopaneeli 2013c.

²⁴ Pöyry 2013.

²⁵ Aurinkolämmön alueellista hyödyntämistä on selvitetty muun muassa Porvoon Skaftkärrin alueen suunnittelun yhteydessä (Sitra 2010a, ks. myös Gaia Consulting 2014a ja Pöyry 2013).

aurinkokeräimet ovat pinta-alaltaan 1–2 m², ja yhden neliömetrin keräin tuottaa Suomen oloissa yleensä noin 250–400 kWh vuodessa.²⁶ Tältä pohjalta voidaan yleistäen sanoa, että tavanomaisessa omakotitalossa puolet vuotuisesta lämpimän käyttöveden energiantarpeesta saadaan 5–8 m² keräinpinta-alalla, ja huoneiden lämmitys mukaan luettuna tarvitaan 10–12 m² keräinpinta-alaa.²⁷

Yhteen vetäen voidaan todeta, että aurinkolämmön ensisijaisia käyttökohteita ovat muun muassa asuintalojen lämmin käyttövesi ja lämmitys, maaseudun sovellukset kuten viljan kuivatus, hotellit, urheiluhallit ja uima-altaat, leirintäalueet sekä aluelämpöjärjestelmät (aurinkolämpö kesäajan täydentävänä energialähteenä).²⁸

Aurinkosähkö

Aurinkosähkön tuotantoa koskee lähtökohtaisesti samat kausiluonteisesta vaihtelusta aiheutuvat rajoitukset kuin aurinkolämpöäkin. Sähköverkon ulkopuolisissa ja verrattain pienimuotoisissa sovelluksissa aurinkosähkötuotannon kausiluonteisuus aiheuttaa sähkön tuotannon ja kulutuksen eriaikaisuudesta johtuvia sähköenergian riittävyyttä koskevia haasteita, jotka voidaan usein ratkaista aurinkosähköjärjestelmään liitettävien akkujen avulla.²⁹ Koska sähköenergiaa ei vielä suuressa mittakaavassa ole mahdollista varastoida, sähköverkkoon yhdistettynä kausiluonteisesti tuotettu (laajamittainen) aurinkosähköenergia edellyttää mahdollisuutta verkkoon kuuluvan kokonaistuotannon säätelyyn muiden energialähteiden avulla (so. säätövoimaa³⁰), jotta sähkön kulutus ja tuotanto pysyvät tasapainossa.

Aurinkosähkösovellukset ja -järjestelmät voidaan jakaa viiteen kategoriaan: (1) liikuteltavat laitteet kuten kannettavat akkujen latauslaitteet, (2) sähköverkon ulkopuoliset kohteet kuten kesämökkijärjestelmät, (3) sähköverkkoon kytketyt pientalojärjestelmät, (4) isojen kiinteistöjen ja yritysten järjestelmät (pääosin sähköverkkoon kytkettyjä), (5) teollisuuskokoluokan aurinkosähkövoimalaitokset (koko tuotanto sähköverkkoon).³¹

Aurinkosähköjärjestelmät koostuvat yleensä useista aurinkopaneeleista, joita rinnan tai sarjaan kytkemällä voidaan saavuttaa haluttu jännite- ja tehotaso.³² Pientalojärjestelmät ovat tyypillisesti kokoluokaltaan 2–5 kW ja yritysjärjestelmät 10–300 kW.³³ Yhtä asennettua kilowattia kohti saadaan Suomen oloissa noin 1 000 kWh sähköenergiaa vuodessa.³⁴

Suomen aurinkosähkötuotantokapasiteetista ei toistaiseksi ole saatavilla tilastoitua tietoa. Alan toimijoiden arviot verkkoon kytketyn aurinkosähkön tuotantokapasiteetista Suomessa vaihtelevat yhdestä kolmeen megawattiin. Pientalojärjestelmiä arvioidaan olevan Suomessa asennettuna joitakin satoja, ja lisäksi asennettuna on yksittäisiä suuremman kokoluokan järjestelmiä. Verkkoon kytkemättömiä kesämökkijärjestelmiä³⁵ arvioidaan olevan luokkaa 40 000.³⁶

Aurinkosähköjärjestelmien toimitusmäärät ovat vahvassa kasvussa, ja esimerkiksi verkkoon kytketyn kumulatiivisen kapasiteetin arvioidaan kaksinkertaistuneen pelkästään vuoden 2013 aikana. Suurin syy tähän on paneelien ja tätä kautta kokonaisjärjestelmien hintojen halpeneminen: aurinkosähköjärjestelmien hinta

²⁶ Motiva 2010.

²⁷ Motiva: ”Aurinkokeräimet.”

²⁸ Gaia Group 2002.

²⁹ Motiva 2010.

³⁰ Energiateollisuus: ”Säätövoima.”

³¹ Gaia Consulting 2014b.

³² Motiva 2010.

³³ Gaia Consulting 2014b.

³⁴ Motiva 2010.

³⁵ Sähköverkon ulkopuolisten kesämökkijärjestelmien kokoluokka on tyypillisesti 50–150 W (Motiva 2010).

³⁶ Gaia Consulting 2014b.

laskee Suomessa johtuen sekä globaalista hintojen alentumisesta että järjestelmiä toimittavien yritysten kilpailusta kotimarkkinoilla.³⁷

Pientalojärjestelmiä toimitetaan tällä hetkellä joitakin satoja vuodessa ja myös toimitettujen järjestelmien keskikoko on kasvanut tasaisesti. Viiden-kymmenen vuoden päästä verkkoon kytkettyjä pientalokohteita arvioidaan olevan jo noin 150 000. Yritysjärjestelmiä puolestaan toimitetaan Suomessa tällä hetkellä vain muutamia vuodessa, mutta tämänkin määrän uskotaan kasvavan lähitulevaisuudessa huomattavasti aurinkosähkön taloudellisuuden kehittymisen myötä.³⁸

Pientuulivoima

Tehonsa puolesta suurin osa yksittäisistä tuulivoimalaitoksista voidaan laskea kuuluvan hajautetun pientuotannon piiriin, kun taas tuulivoimapuistot edustavat keskitettyä energiantuotantoa. Varsinaiset pientuulivoimalat ovat teholtaan vähäisempiä kuin teolliseen tuotantoon käytetyt turbiinit; määritelmän mukaan pientuulivoimalat ovat voimaloita, joiden potkurin pinta-ala on alle 200 m², ja käytännössä tämä tarkoittaa nimellisteholtaan alle 50 kW:n laitteita.³⁹

Pientuulivoima voidaan jakaa neljään eri luokkaan käyttötavan ja tyypillisen laitetehton mukaan: (1) mökkituotanto ja akkujen latauslaitteet (alle 1 kW, tyypillisesti 200–400 W), (2) liikerakennukset ja taajama-asunnot (alle 5 kW), (3) suuret yritykset ja maatalous (5-50 kW), (4) telecom-käyttö (muutamia kilowatteja).⁴⁰

Pientuulivoiman käyttöastetta voidaan arvioida pientuulivoimalaite markkinoiden ja toimitusten avulla. Laitteiden toimitusten lukumäärä jakautuu yllä mainittujen kategorioiden kesken siten, että mökeille asennettavia järjestelmiä toimitetaan valmiina paketteina noin 100–200 laitetta vuodessa, kun taas asuntoihin ja liikerakennuksiin kytkettäviä verkkovoimalajärjestelmiä sekä telecom-järjestelmiä toimitetaan molempia noin kymmenen kappaletta vuodessa. Suurempia pientuulivoimajärjestelmiä (teholtaan 5–50 kW) asennetaan vuodessa vain yksittäisiä kappaleita. Toimitusmääristä päätellen pientuulivoimaa hyödynnetään vielä hyvin vähän, ja mökeille toimitettavien järjestelmien osuus on yli 90 % kokonaismäärästä.⁴¹

Kiinteistökohtaiseen pientuulituotantoon on kohdistunut pitkään odotuksia, mutta sähkön tuottaminen pientuulivoimaloilla on edelleen kallista.⁴² Investointikustannukset tuotettua energiaa kohden pienenevät yksikkökoon kasvaessa, mikä suosii hieman suurempia laitoksia ja keskitettyä tuotantoa, ja usein pientuulivoimaan turvaudutaan lähinnä sähköverkon ulkopuolisissa kohteissa.⁴³ Lisäksi paikalliset tuuliolosuhteet vaihtelevat paljon, ja Suomen tuulikartta antaa vain hyvin karkean suunnittelunperustan pientuulivoiman rakentamiselle.⁴⁴

Pien- ja minivesivoima

Vesivoima voidaan jaotella voimalan nimellistehon perusteella suur-, pien- ja minivesivoimaan; suurvesivoima tarkoittaa nimellisteholtaan yli 10 MW:n voimaloita, pienvesivoima 1–10 MW:n voimaloita ja minivesivoima alle 1 MW:n voimaloita.⁴⁵ Tähän kategorisointiin nojaten hajautettuna energiantuotantona voidaan pitää ensisijaisesti pien- ja minivesivoimaa. Yleisesti ottaen paikalliset pienvoimalat sopeutuvat

³⁷ Gaia Consulting 2014b.

³⁸ Gaia Consulting 2014b.

³⁹ Tuulivoimayhdistys: ”Pientuulivoima.”

⁴⁰ Gaia Consulting 2014b.

⁴¹ Gaia Consulting 2014b.

⁴² Ilmastopaneeli 2013c.

⁴³ Motiva 2010.

⁴⁴ Ilmastopaneeli 2013c.

⁴⁵ Kokoluokittelu perustuu Tilastokeskuksen käyttämään jaotteluun. (Gaia Group 2002.)

verrattain hyvin ympäristöönsä, sillä tällaiset laitokset eivät tarvitse erillisiä vesialtaita, jolloin niiden aiheuttamat maisemalliset ja ekologiset vaikutukset ovat usein pieniä.⁴⁶

Pien- ja minivesivoimaa koskeva tilastointi on rajallista, ja hyödynnetyn sekä hyödyntämättömän potentiaalin arviointi on haasteellista. 2000-luvun alussa vesivoiman yhteenlaskettu nimellisteho oli noin 3 GW, josta pienvesivoimaa oli noin 284 MW ja minivesivoimaa noin 40 MW, ja vuonna 2000 pien- ja minivesivoimaloissa tuotettiin yhteensä noin 1 174 GWh.⁴⁷ Vuonna 2009 pienvesivoimalaitoksia oli 83 kappaletta ja minivesivoimalaitoksia 67 kappaletta; tällöin vesivoimalla tuotetusta energiasta pienvesivoimaa oli noin 8 % ja minivesivoimaa noin 1 %.⁴⁸ Pien- ja minivesivoiman käyttämättömäksi potentiaaliksi (suojelemattomissa vesistöissä) puolestaan on arvioitu 288 MW (144 + 144 MW), joka vastaa noin 1 413 GWh:n (392 + 1 021 GWh) vuosituotantoa.⁴⁹

Vain osa hyödyntämättömästä tuotantopotentiaalista on teknis-taloudellisen kannattavuuden piirissä, ja maisemalliset tekijät – luonto- ja kulttuuriympäristön vaaliminen – asettavat merkittäviä lisärajoituksia. Pien- ja minivesivoimahankkeet voidaan jakaa kolmeen kategoriaan: (1) uudet kohteet suojelemattomissa vesistöissä, (2) käytöstä poistettujen kohteiden (vanhat myllyt, padot ja voimalat) tilalle rakennettavat uudet laitokset, (3) vanhojen laitosten uusiminen (tehonkorotukset ja ohijuoksuutusten hyödyntäminen).⁵⁰ Ongelmallisten ympäristövaikutusten – käsittäen sekä luontoon että kulttuuriympäristöön kohdistuvat vaikutukset – minimoimisen kannalta käytöstä poistettujen kohteiden tilalle rakentaminen ja vanhojen laitosten uusiminen ovat kaikista suotuisimpia ratkaisuja.

Arvioiden mukaan pienvesivoimapotentiaalista olisi taloudellisesti kannattavaa ottaa käyttöön vuoteen 2020 mennessä noin 61 MW ja minivesivoimapotentiaalista noin 22–75 MW. Erityisesti minivesivoiman kohdalla hyödynnetyn potentiaalin suhde teoreettiseen potentiaaliin on matala, minkä voi nähdä johtuvan muun muassa suuresta suojeleasteesta, käytössä olevan tekniikan iästä ja huonommista hyötysuhteista sekä sijoittumisesta vesitaloudellisesti heikompiin vesistöihin; tehon osalta minivesivoiman hyödyntämisaste on vain 13,1 prosenttia sille kuuluvasta teoreettisesta potentiaalista ja energian osalta ainoastaan 6,5 prosenttia.⁵¹ Taloudellisesti kannattaviksi arvioituja minivesivoimakohteita on kaikkiaan noin 350 kappaletta.⁵²

Lämpöpumput

Lämpöpumppujen avulla siirretään ilmaan, maahan, kallioon tai veteen auringosta varastoitunutta lämpöenergiaa niin, että sitä voidaan käyttää rakennusten ja käyttöveden lämmittämiseen.⁵³ Lämpöpumppujen toiminta perustuu vallitsevaan lämpötilaeroon lämmönlähteen ja lämmityskohteen välillä.⁵⁴ Lämpöpumppu ottaa lämpöä matalalämpötilaisesta, edullisesta lämmönlähteestä ja luovuttaa sitä korkeammassa lämpötilassa käyttökohteeseen; tämä on mahdollista käyttämällä arvokkaampaa ja pidemmälle jalostettua energiaa kuten sähköä tai noin 50 astetta lämmönluvutustilaa kuumempaa vettä, ja pumpun voikin ajatella hyödyntävän arvokkaammassa energianlähteessä olevan potentiaalin tehdä työtä.⁵⁵

⁴⁶ Motiva: ”Pienvesivoima.”

⁴⁷ Gaia Group 2002.

⁴⁸ Motiva 2010.

⁴⁹ Motiva: ”Pienvesivoima.”

⁵⁰ Gaia Group 2002.

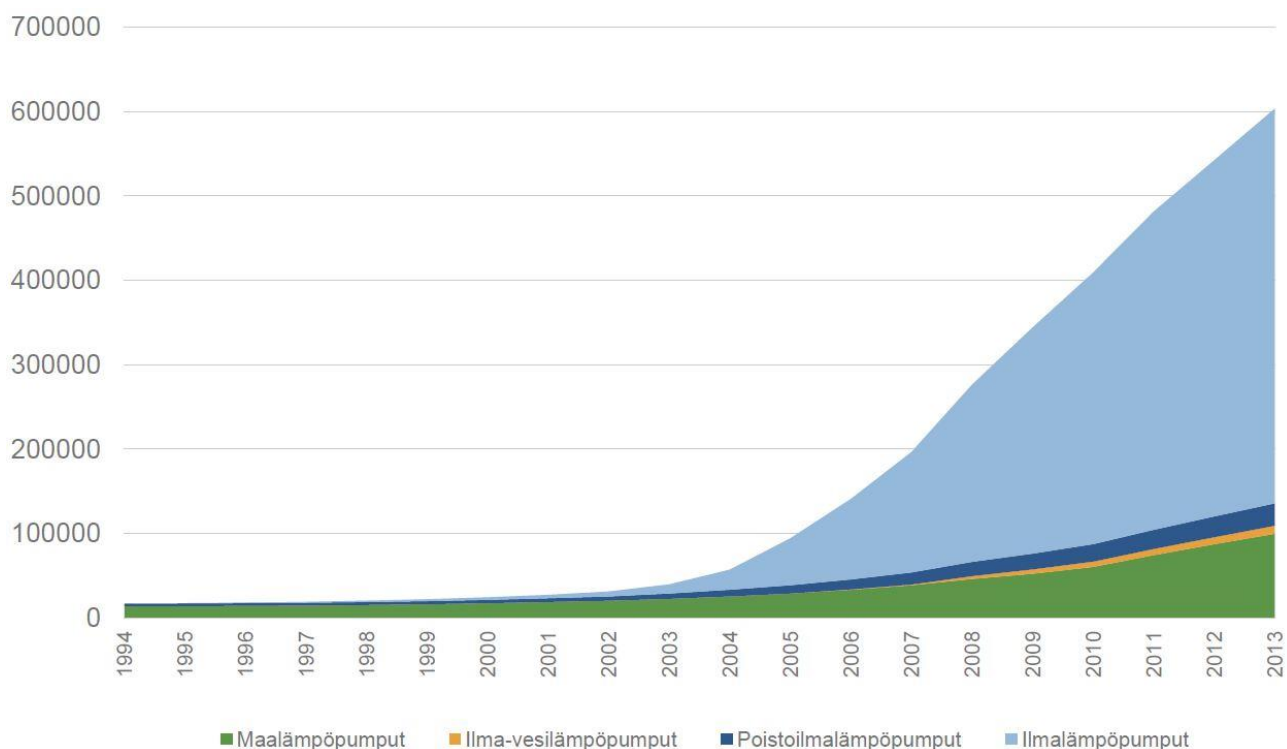
⁵¹ Pien- ja suurvesivoiman osalta vastaavat arvot ovat 95,2 % ja 46,8 %. (PR vesisuunnittelu 2005.)

⁵² Motiva: ”Pienvesivoima.”

⁵³ Motiva 2010.

⁵⁴ Gaia Group 2014a.

⁵⁵ Ilmastopaneeli 2013b.



Kuva 4. Suomessa käytössä olevat lämpöpumput vuosittain 1994–2013. Lähde: Suomen Lämpöpumppuyhdistys: ”Lämpöpumpputilasto.”

Siis vaikka lämpöpumppu hyödyntää periaatteessa ilmaista, esimerkiksi maaperään varastoitunutta energiaa, tarvitsevat lämpöpumput toimiakseen käytännössä sähköä, mikä vaikuttaa niiden kokonaishyötysuhteeseen. Lämpötilaero lämmönlähteen ja lämmityskohteen välillä on merkittävin lämpöpumpun lämpökertoimeen (COP, *Coefficient Of Performance*) ja lämmitystehoon vaikuttava tekijä. Lisäksi lämmönkeruupiirissä kiertävän kylmäaineen ominaisuudet vaikuttavat lämpöpumpusta saatavan hyödyn määrään. Ulos tulevaa lämpötilaa voidaan tarvittaessa nostaa lisää sähkövastuksien avulla, mikä kuitenkin laskee pumpun lämpökerrointa ja kasvattaa lämmöntuotannon kustannuksia.⁵⁶

Investointikustannusten pienentämiseksi lämpöpumput mitoitetaan usein noin 40–60 %:lle tarvittavasta maksimilämmitystehosta, jolloin loppu lämmönkulutuksen huipputehosta tuotetaan lisälämmönlähteellä, yleensä sähkövastuksilla, öljykattilalla tai tulisijalla.⁵⁷ Tämä johtaa käytännössä usein siihen, että lämpöpumppuja hyödyntävien kiinteistöjen sähkönkulutus kasvaa huomattavasti kovilla pakkasilla, jolloin sähkönkulutus on muutenkin suurimmillaan.⁵⁸

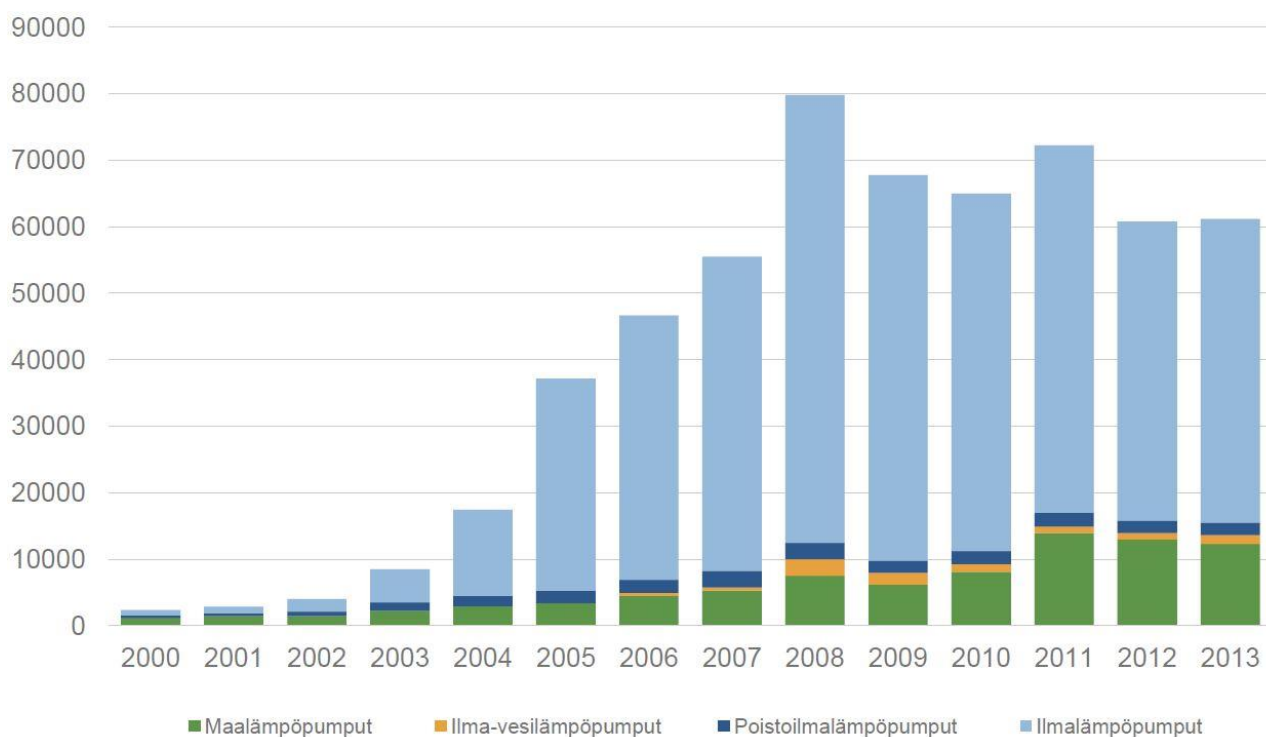
Mitä pienempi lämpötilannostotarve on, sitä vähemmän arvokasta energiaa tarvitaan eli sitä parempi on pumpun lämpökerroin eli COP. Maalämpöpumpuilla COP on yleensä välillä 2,5–4,5 lämmityskierto on menevän veden ollessa 30–60-asteista; tällöin lämmönlähteen eli maaputkistossa kiertävän nesteen lämpötila on noin 0 °C. Ilmalämpöpumpuilla COP on yleisesti ottaen huonompi – vuositasolla arvioituna noin 2,5 – ja kovilla pakkasilla ilmalämpöpumput lopettavat toimintansa kokonaan tai ainakin teho heikkenee huomattavasti (COP laskee lähelle yhtä ja pumppu muuttuu käytännössä sähkölämmittimeksi).⁵⁹

⁵⁶ Gaia Group 2014a.

⁵⁷ Jos lämpöpumppu mitoitetaan kattamaan 40–60 % maksimilämmitystehosta, saadaan pumpulla tuotettua arviolta 80–90 % vuotuisesta lämmitysenergian tarpeesta. (Gaia Group 2002.)

⁵⁸ Ilmastopaneeli 2013b.

⁵⁹ Ilmastopaneeli 2013b.

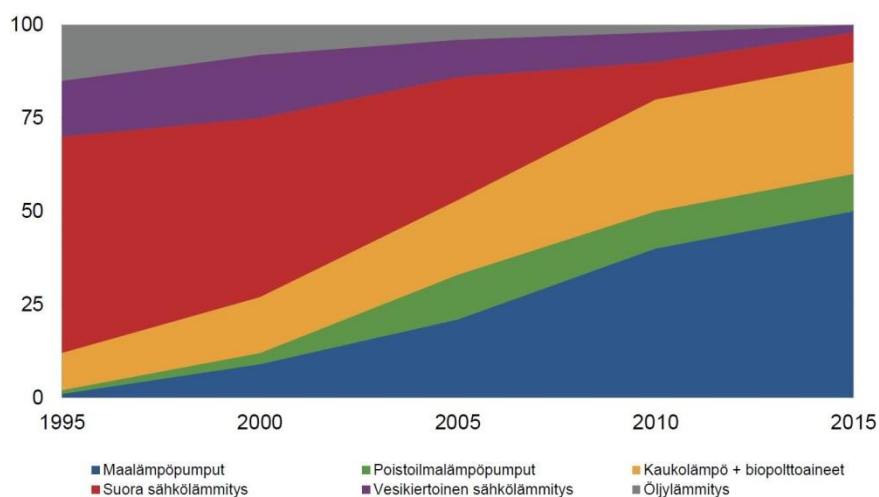


Kuva 5. Suomessa käyttöön otetut lämpöpumput vuosittain 2000–13. Lähde: Suomen Lämpöpumppuyhdistys: ”Lämpöpumpputilasto.”

Lämpöpumppujen käyttöönotto on nykyisin kannattavaa, ja erityisesti maalämmön kasvattamiselle on suuri potentiaali, sillä Suomen rakennuskannassa on noin 220 000 öljykattilaa, puoli miljoonaa suorasähkölämmitysrakennusta ja 100 000–200 000 vesikiertoista sähkölämmityskohdetta.⁶⁰ Lämpöpumppujen suosio on kasvanut voimakkaasti 2000-luvulla: laitteita oli käytössä noin 600 000 kappaletta vuonna 2013 (ks.

Kuva 4), jolloin uusia pumppuja asennettiin yhteensä noin 60 000 kappaletta (ks. Kuva 5).⁶¹ Uusien pientalojen osalta erilaiset lämpöpumput ovat jo kaikista yleisin päälämmitysmuoto, ja yli puoleen uusista pientaloista valitaan päälämmitysmuodoksi jonkinlainen lämpöpumppu (ks. Kuva 6).⁶²

Lämpöpumpuista saatavaksi lämpöenergiaksi on vuoden 2010 osalta arvioitu noin 4 TWh, jonka tuottaminen



Kuva 6. Uusien pientalojen lämmitysmuodot. Lähde: Suomen Lämpöpumppuyhdistys: ”Lämpöpumppujen merkitys ja tulevaisuus.”

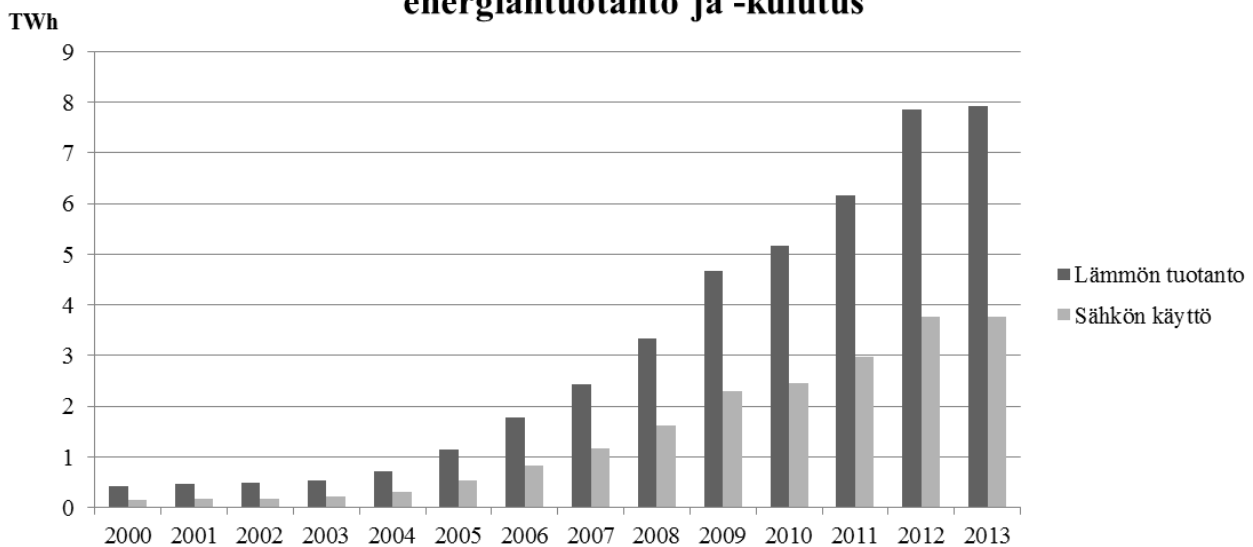
⁶⁰ Ilmastopaneeli 2013c.

⁶¹ Suomen Lämpöpumppuyhdistys: ”Lämpöpumpputilasto.”

⁶² Suomen Lämpöpumppuyhdistys: ”Lämpöpumppujen merkitys ja tulevaisuus.”

tarkoittaa noin 1,4 TWh:n sähkönkulutusta.⁶³ Lämpöpumppuja koskevaan tilastointiin liittyy kuitenkin tiettyjä määrittely- ja laskentateknisiä kysymyksiä, jotka aiheuttavat yhteismitattomuutta ja hankaluuksia eri lukujen vertailussa; esimerkiksi Tilastokeskuksen Energia 2014 -taulukkopalvelun mukaan vuonna 2010 asuin- ja palvelurakennusten maa-, ilma- ja ilmajavesilämpöpumpuilla tuotettiin yhteensä noin 5,2 TWh lämpöenergiaa, johon kului noin 2,4 TWh sähköenergiaa (ks. myös Kuva 7).⁶⁴ Joka tapauksessa kasvava trendi on sekä lämpöpumpuilla tuotetun lämpöenergian että tämän tuotannon vaatiman sähköenergian kohdalla erittäin selvä.

Asuin- ja palvelurakennusten lämpöpumppujen energiantuotanto ja -kulutus



Kuva 7. Asuin- ja palvelurakennuksiin asennettujen lämpöpumppujen bruttolämmöntuotanto ja sähkönkulutus 2000-luvulla. Aineistolähde: Tilastokeskus 2014.

Hajautetut lämpölaitokset ja pien-CHP

Erilaisiin polttoprosesseihin⁶⁵ perustuvat tekniikat muodostavat huomattavan osan hajautetun energiantuotannon kokonaispotentiaalista. Polttoprosesseilla saadaan tuotettua lämpöä, jota voidaan jalostaa sähköenergiaksi generaattoreilla. Tällöin puhutaan sähkön ja lämmön yhteistuotannosta (CHP, *Combined Heat and Power*). Pienen mittakaavan polttoperusteisissa tuotantolaitoksissa sähkön tuottamisen hyötysuhde on kuitenkin yleisesti ottaen matalampi suuren kokoluokan laitoksiin verrattuna, mikä johtuu pääasiassa laitojen teknisistä ominaisuuksista ja siitä, että tuotantoprosessin optimointi on pientuotannossa suhteellisesti kalliimpaa.

Pienimuotoisten lämpö- ja yhteistuotantolaitosten yhteydessä on tyypillisesti kiinnitetty erityistä huomiota uusiutuvien ja bioperäisten polttoaineiden eli bioenergian käyttöön. Osaltaan tämä johtuu siitä, että molemmat ilmiöt – hajautettu pientuotanto ja bioenergian hyödyntäminen – ovat keskeisiä nykyaikaiselle tarkastelutavalle, joka näkee tuotantoprosessin entistä kokonaisvaltaisempaan tapahtumana (elinkaariajattelu) ja korostaa energiantuotannon moniulotteista kestävyyttä (tuotannon sosiaaliset, taloudelliset, ilmastolliset ja muut ympäristölliset aspektit) pitkällä aikavälillä.

⁶³ Ilmastopaneeli 2013c.

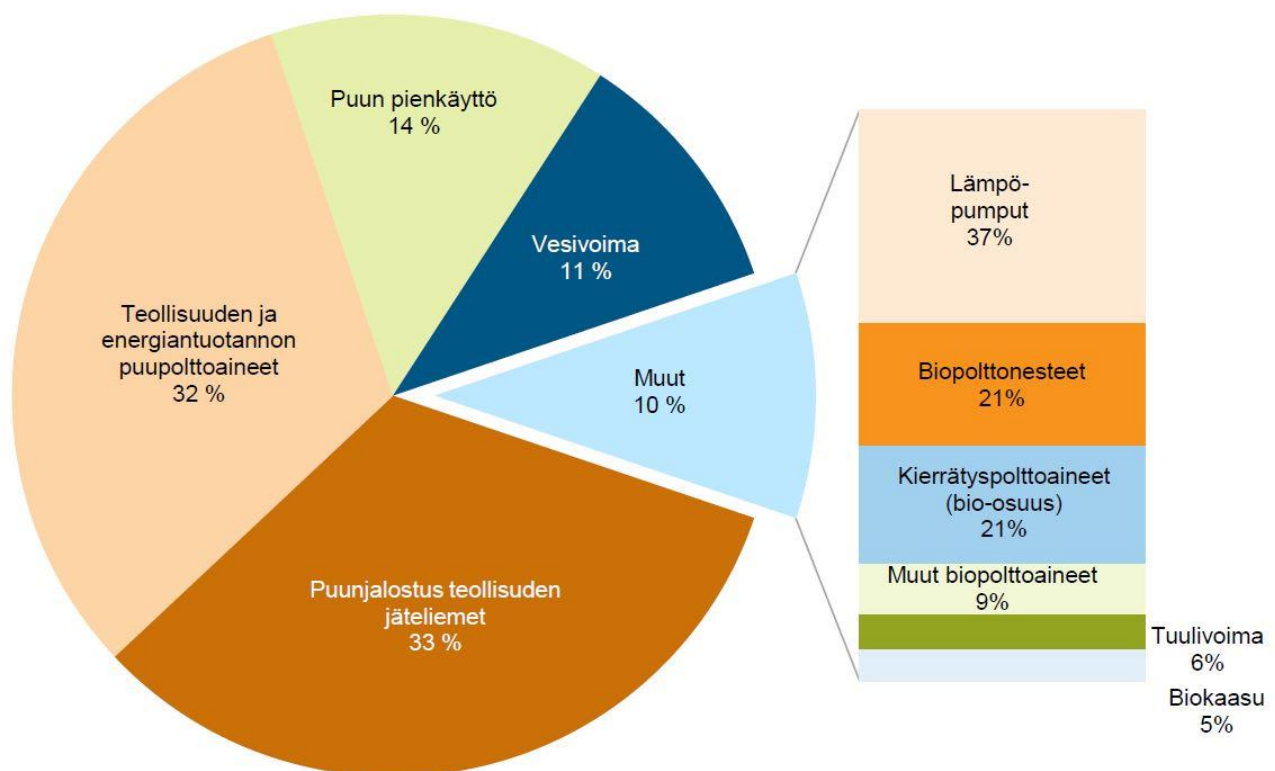
⁶⁴ Tilastokeskus 2014.

⁶⁵ Polttoaineen ja hapettimen kemiallista energiaa voidaan hyödyntää myös ilman varsinaista palamistapahtumaa, kuten on polttokennon tapauksessa. Koska polttokennoteknologia on vielä pääosin esikaupallisella kehitysasteella ja sen merkitys hajautetun energiantuotannon kokonaisuuden kannalta on pieni, jatkossa keskitytään polttoprosesseja hyödyntäviin teknologioihin.

Seuraavassa käsitellään erikseen bioenergian ja biopolttoaineiden hyödyntämistä pientuotannossa sekä sähkön ja lämmön pienimuotoiseen yhteistuotantoon (pien-CHP) liittyviä kysymyksiä.

Bioenergia ja biopolttoaineet hajautetussa energiantuotannossa

Bioenergia on erityisesti Suomen kontekstissa erittäin keskeinen osa sitä eri energiamuotojen kokonaisuutta, josta voidaan käyttää nimitystä *uusiutuva energia*.⁶⁶ Esimerkiksi vuonna 2013 erilaiset bioenergiaan pohjautuvat energiamuodot käsittivät yhteensä noin 85 % uusiutuvien energialähteiden käytöstä Suomessa (ks. Kuva 8).⁶⁷ Bioenergialla tarkoitetaan biopolttoaineista saatua energiaa, ja biopolttoaine on biomassasta valmistettu kiinteä, nestemäinen tai kaasumainen polttoaine; biomassa puolestaan viittaa eloperäiseen, fotosynteesin kautta syntyneeseen kasvimassaan, käytännössä metsä- ja peltobiomassaan sekä teollisuuden ja yhdyskuntien jätteiden biohajoavaan osaan.⁶⁸



Kuva 8. Uusiutuvien energialähteiden käyttö vuonna 2013 energiamuodoittain. Lähde: Tilastokeskus 2014.

Biopolttoaineita on mahdollista kategorisoida monella eri tavalla. Jaottelukriteereinä voidaan pitää esimerkiksi polttoaineen olomuotoa, tuotantoprosessia tai tuotannossa käytetyn biomassan laatua ja alkuperää. Kiinteitä biopolttoaineita ovat muun muassa erilaiset metsäbiomassat (halot, rangat, pilkkeet, hakkeet, murskeet, kuoret, sahanpurut, lastut ja mahdolliset muut metsäteollisuudet tähteet), peltobiomassat (ruokohelpi, viljakasvit ja oljet) sekä osa teollisuus- ja yhdyskuntajätteestä. Nestemäisiä biopolttoaineita ovat esimerkiksi bioetanoli, biodiesel ja biopolttoöljy. Kaasumaisia biopolttoaineita puolestaan ovat (mädättämällä tuotettu)

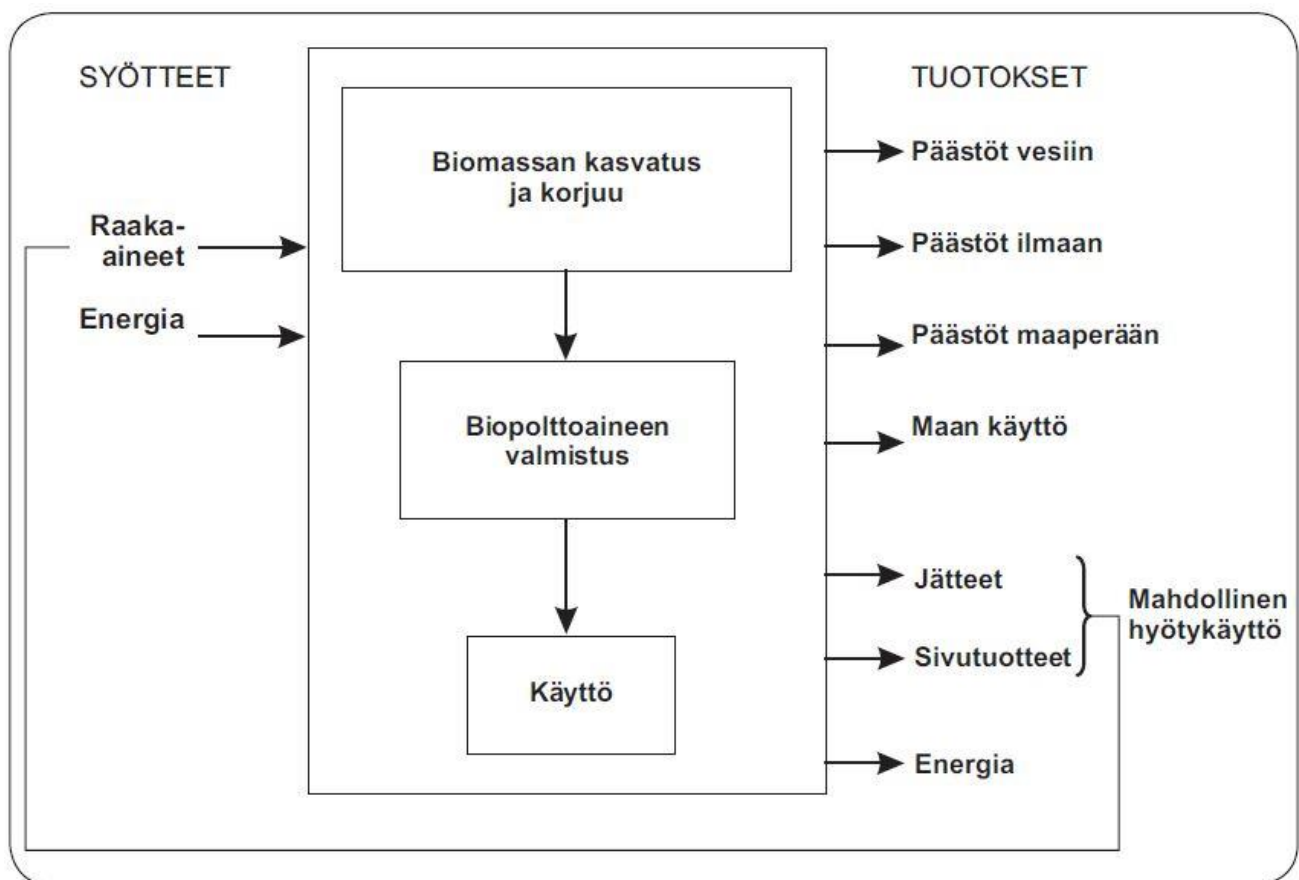
⁶⁶ Uusiutuvina energialähteinä voidaan yleisesti pitää sellaisia energialähteitä, joita on mahdollista hyödyntää vähentämättä niiden varantoja pitkällä aikavälillä. Suomessa käytettäviä uusiutuvia energialähteitä ovat bioenergian ohella vesi- ja tuulivoima, aurinkoenergia sekä lämpöpumpuilla talteen otettu maa-, vesi- ja ilmalämpöenergia.

⁶⁷ Tilastokeskus 2014.

⁶⁸ Suomen ympäristökeskus 2007. Toisaalta myös tietyt eläinperäiset tuotteet – kuten eläinrasvat – luokitellaan biomassaksi (Tilastokeskus 2015). Näin ollen tärkeintä biomassan määrittelyssä lienee juuri biohajoavuus eikä niinkään kasviperäisyys.

varsinainen biokaasu ja (pyrolyysin tuloksena saatu) puukaasu tai yleisemmin synteetikaasu⁶⁹. Yleisesti ottaen nestemäiset ja kaasumaiset biopolttoaineet ovat kiinteitä polttoaineita energiapitoisempia (niiden lämpöarvo per massa- tai tilavuusyksikkö on suurempi), mikä johtuu siitä, että ne ovat energiaa kuluttavan jalostusprosessin tuloksia. Näin ollen nestemäisten ja kaasumaisten biopolttoaineiden käyttöarvo on suurempi ja mahdollisten sovellusten kirjo on laajempi.

Bioenergian ja biopolttoaineiden tuotantoprosessi on laaja ja pitkälle ulottuva toimintojen ketju, joka käsittää biomassan kasvatuksen, korjuun, käsittelyn, varastoinnin ja kuljetukset sekä polttoaineen valmistuksen, kuljetuksen, varastoinnin ja käytön (ks. myös Kuva 9).⁷⁰ Sellaisenaan poltettavaksi tarkoitettut kiinteät biopolttoaineet (lähinnä metsä- ja peltobiomassat) eivät edellytä valmistajaltaan pitkälle menevää kemiallista tai muuta teknologista osaamista, vaan materiaalin (biomassan) mekaaninen käsittely voi riittää. Samoista raaka-aineista voidaan kuitenkin jalostaa energiapitoisempia sekä helpommin ja monipuolisemmin



Kuva 9. Bioenergian tuotantojärjestelmä. Lähde: Suomen ympäristökeskus 2007.

hyödynnettäviä biopolttoaineita, mikä tarkoittaa tuotantoprosessin pitenemistä ja monimutkaistumista. Esimerkiksi puuperäistä biomassaa voidaan hyödyntää karkeana hakkeena, tiiviinä pelletteinä tai (pyrolyysin avulla tuotettavana) puukaasuna, jota voidaan edelleen jalostaa synteettiseksi biokaasuksi (SBG tai BioSNG).⁷¹

⁶⁹ Synteetikaasuksi kutsutaan yleisesti ottaen kaasuseosta, jonka pääkomponentit ovat vety ja hiilimonoksidi (VTT 2008). Näin ollen puuperäisen biomassan kaasutuksesta saatu puukaasu on yksi synteetikaasun alalaji, ja synteetikaasua voidaan valmistaa myös muunlaisista biomassoista kuten ylijäämärehusta ja ruoantähteistä.

⁷⁰ Suomen ympäristökeskus 2007.

⁷¹ Puukaasun jatkojalostaminen synteettiseksi biokaasuksi on toistaiseksi vähäistä, ja prosessiin liittyvä kaupallinen tekniikka on vielä kehitysasteella. Ks. esim. Rehling ym. 2011.

Toisaalta esimerkiksi biokaasua on mahdollista tuottaa usealla eri tavalla ja useita eri raaka-aineita hyödyntäen. Biokaasua valmistetaan ennen kaikkea mädättämällä orgaanista materiaalia kuten kasvibiomassaa, lantaa, jätevesilietettä tai biojätettä, mutta myös kaatopaikoilla muodostuu vastaavaa kaasua, ns. kaatopaikkakaasua.⁷² Mädätykseen perustuvien biokaasulaitosten ja niiden käyttämien raaka-aineiden osalta voidaan tehdä karkea (lähtökohtaisesti laitosten kokoluokkaan perustuva) kolmijako maatilalaitoksiin, jätevedenpuhdistamolaitoksiin ja yhteiskäsittelylaitoksiin: maatilalaitoksilla käsitellään tyypillisesti vain tilan omaa tai sopimustilojen lietelantaa sekä kasvibiomassaa, jätevedenpuhdistamoilla yhdyskuntien jätevesilietettä sekä muita lietteitä, kun taas yhteiskäsittelylaitoksilla raaka-ainepohja voi olla edellisten lisäksi erilliskerättyjä biojätteitä, teollisuuden jätevesiä ja lietteitä ja muuta orgaanista materiaalia.⁷³

Hajautetun energiantuotannon kannalta keskeisimmän käyttö- ja kehityspotentiaalın muodostavat Suomessa nykyisellään toisaalta verrattain matalan jalostusasteen kiinteät biopolttoaineet, toisaalta pienen mittakaavan laitoksissa tuotetut kaasumaiset biopolttoaineet.⁷⁴ Erilaisia kiinteitä biopolttoaineita on saatavissa verrattain kattavasti ympäri Suomen, ja niiden paikallinen hyödyntäminen hajautetuissa pienen mittakaavan energiantuotantolaitoksissa yleistyy entisestään. Erilaisten biomassojen hyödyntäminen kaasumaisten biopolttoaineiden lähituotannossa puolestaan lisää paikallisen bioenergian käyttömahdollisuuksia entisestään, sillä pidemmälle jalostettujen tuotteiden avulla yhä useammanlaiset laitteistot ja sovellukset saadaan tuotua biopolttoaineiden piiriin.

Kiinteiden biopolttoaineiden osalta metsäbiomassan – kuten polttopuiden, hakkeen ja puupohjaisten pellettien – merkitys on hajautetun energiantuotannon kannalta kaikista suurin, vaikka myös erilaisia peltobiomassoja olisi mahdollista hyödyntää huomattavasti entistä enemmän. Esimerkiksi vuonna 2013 puun pienkäyttö⁷⁵ muodosti noin 14 % kaikenlaisten (ei mittakaavarajoituksia) uusiutuvien energialähteiden käytöstä⁷⁶, mikä antaa ymmärtää, että puun pienkäytön osuus hajautetusta energiantuotannosta on joka tapauksessa suuri, vaikka mitään yksiselitteistä tilastointia asiaa koskien ei olekaan saatavilla.

Taulukko 1. Biokaasun sekä biokaasuperäisen sähkön ja lämmön tuotanto maatilalaitoksissa ja kaikissa Suomen biokaasulaitoksissa yhteensä vuonna 2013. Aineistolähde: Huttunen & Kuittinen 2014.

	Maatilalaitokset	Koko maan tuotanto yhteensä	Maatilalaitosten osuus koko maan tuotannosta (%)
Biokaasua tuotettu (milj. m³)	0,972	153,9	0,63
Biokaasua hyödynnetty (milj. m³)	0,965	124,7	0,77
Sähköä tuotettu (GWh)	1,108	151,3	0,73
Lämpöä tuotettu (GWh)	2,972	404,4	0,73

Peltobiomassan hyödynnetty potentiaali puolestaan vastaa nykyisellään alle puolta prosenttia uusiutuvien energialähteiden käytöstä, mutta hyödyntämätön peltobiomassapotentiaali voi suuruusluokaltaan hyvinkin vastata tämänhetkistä puun pienkäyttöä kokonaisuudessaan.⁷⁷ Ei kuitenkaan ole täysin selvää, kuinka hyvin peltobiomassa on hyödynnettävissä pienimuotoisessa ja hajautetussa energiantuotannossa, sillä tärkeimpien

⁷² Suomen ympäristökeskus 2007.

⁷³ Suomen ympäristökeskus 2009.

⁷⁴ Myös nestemäisten biopolttoaineiden – kuten rypsipohjaisen biodieselin (RME) – lähinnä omaan käyttöön tarkoitettu hajautettu tuotanto on periaatteessa mahdollista, mutta tällainen pientuotanto on toistaiseksi ollut teknis-taloudellisesti haastavaa ja monesti kannattamatonta (MTT 2006).

⁷⁵ Pienkäytöllä eli pienpoltolla tarkoitetaan yleensä puun tai muun kiinteän polttoaineen polttoa kattilassa tai tulisijassa, jonka lämpöteho on alle 300 kW (STTV 2008).

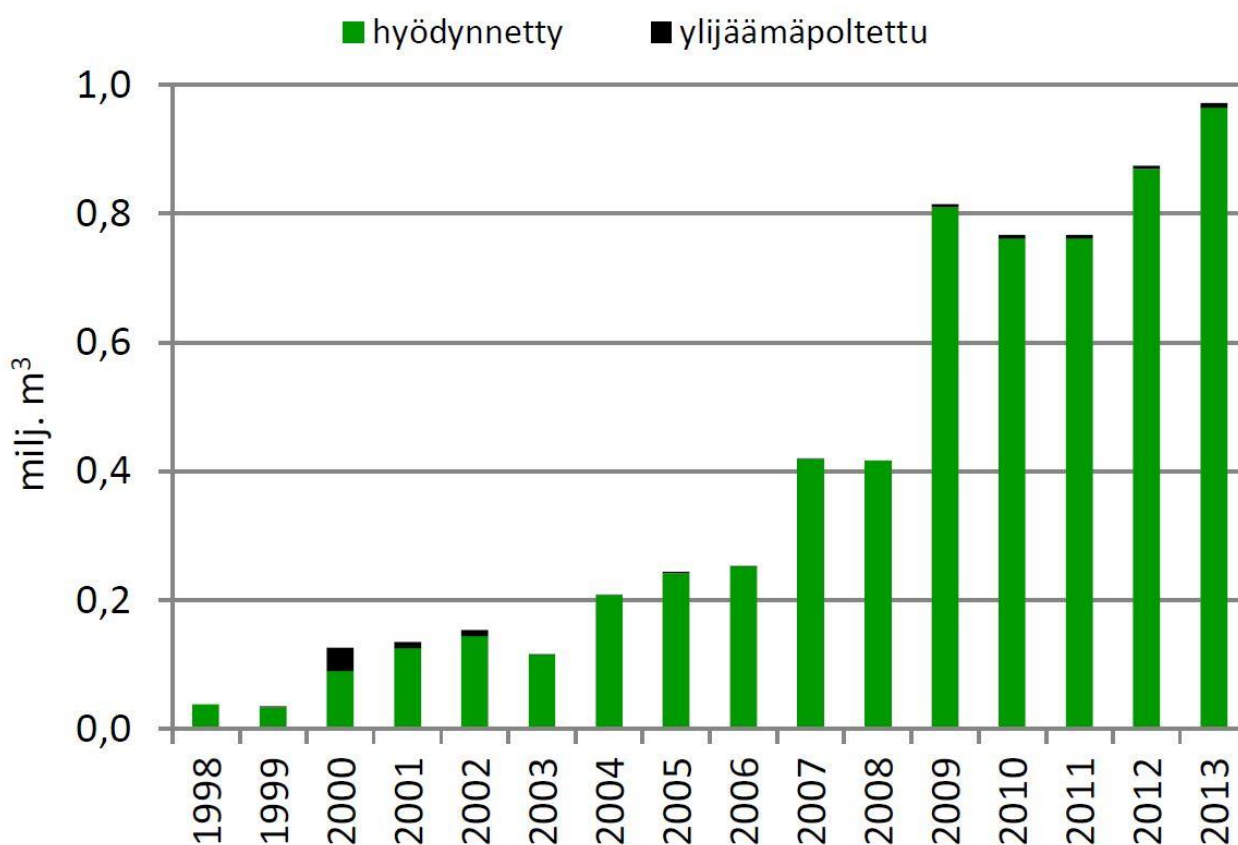
⁷⁶ Puun pienkäyttö vuonna 2013 n. 61 PJ; uusiutuvat energialähteet yhteensä n. 429 PJ. (Tilastokeskus 2014.)

⁷⁷ Tässä yhteydessä peltobiomassana käsitellään vain ruokohelpeä ja olkia, joiden yhteenlaskettu hyödynnetty potentiaali vuodessa on nykyisellään noin 0,5 TWh eli alle 2 PJ; käyttämätöntä potentiaalia on (ruokohelven) viljelyalan laajuudesta riippuen arviolta 9,5–19,5 TWh eli noin 34–70 PJ. (Mikkola 2012.)

peltobiomassojen – ruokohelven ja oljen – ominaisuudet puoltavat massan käyttämistä ensisijaisesti seospolttoaineena suuremmissa voimalaitoksissa.⁷⁸

Pienen mittakaavan biokaasun tuotantolaitokset⁷⁹ tarkoittavat käytännössä juuri maatilojen yhteydessä toimivia mädätyslaitoksia, joissa käsitellään lähinnä maatilalta itseltään tai lähiseudulta peräisin olevia kasvi- ja eläinperäisiä biomassoja kuten lietelantaa, rehua (ruohokasvit, siemenet, juurekset, maissi, sokerijuurikkaan naatit), biojätteitä, biodieselin valmistuksen sivutuotteita ja elintarviketeollisuuden jätteitä. Suomen nykyisissä noin parissakymmenessä maatalouden biokaasulaitoksessa pääasiallinen raaka-aine on juuri lanta.⁸⁰

Biokaasua tuottavien maatalaitosten osuus koko maan yhteenlasketusta biokaasun tuotannosta on toistaiseksi ollut melko vähäinen – vuonna 2013 esimerkiksi 0,63 % (ks. Taulukko 1) – vaikka maatalaitoksilla tuotetun biokaasun määrä on viime vuosina kasvanut huomattavasti (ks. Kuva 10). Maatalaitoksilla tuotettu biokaasu on toisaalta saatu hyödynnettyä hyvin tehokkaasti: mautiloilla tuotetusta biokaasusta hyödynnettiin peräti 99 %, mikä on merkittävästi enemmän verrattuna koko maan biokaasutuotannon hyödyntämistasteeseen (81 %) ja jonkin verran myös kaikkien reaktorilaitosten⁸¹ keskimääräistä hyödyntämistastetta (91 %) korkeampi.⁸²



Kuva 10. Maatalaitoksilla tuotettu ja hyödynnetty biokaasu vuosittain 1998–2013. Lähde: Huttunen & Kuittinen 2014.

⁷⁸ MMM 2007.

⁷⁹ Syötteen määrän mittakaava tyypillisesti alle 5 000 tonnia vuodessa (Suomen ympäristökeskus 2009).

⁸⁰ Motiva 2013.

⁸¹ Reaktorilaitoksia ovat yhdyskuntien ja teollisuuden jätevedenpuhdistamot, maatalaitokset sekä biojätteen käsittelylaitokset eli yhteismädätyslaitokset. Reaktorilaitoksilla ylijäämäpoltetun kaasun määrä on yleensä varsin pieni, sillä ylijäämäpolttoa käytetään pääsääntöisesti vain generaattoreiden ja lämpökattiloiden huoltotöiden tai häiriöiden aikana. (Huttunen & Kuittinen 2014.)

⁸² Huttunen & Kuittinen 2014.

Mädättämällä saatavan biokaasun lisäksi myös pyrolyysitekniikalla metsäbiomassasta tuotettava puukaasu on potentiaalinen ratkaisu pien-CHP:ta ajatellen, ja vaikka puun kaasutustekniikan hyödyntäminen on kokonaisuudessaan vielä hyvin vähäistä, joitakin pyrolyysiin ja kaasutukseen⁸³ perustuvia pienen mittakaavan kaupallisia sovelluksia on jo saatavilla. Puun kaasutuksen avulla saadaan ennen kaikkea parannettua pien-CHP-tuotannon sähköhyötysuhdetta verrattuna suoraan polttoon perustuviin pien-CHP tekniikoihin, ja teoriassa kaasutukseen perustuvan sähköntuotannon maksimihyötysuhde voi olla jopa kahdeksan prosenttiyksikköä parempi kuin vastaavalla suoraan polttoon perustuvalla laitoksella.⁸⁴

Syynä kaasutusteknologian hitaalle kehittymiselle ja hyödyntämisen vähäisyydelle ovat olleet tuotekaasun puhtauteen ja laatuun liittyvät seikat, jotka näkyvät käytännössä laitteiston kustannuksissa: ongelmana on erityisesti tervan ja tuhkan muodostuminen, minkä vuoksi on tarvittu kalliita puhdistuslaitteistoja. Tekniset parannukset kannattaisikin kohdistaa ennen kaikkea kaasutusolosuhteisiin, jolloin saataisiin tarpeeksi puhdasta tuotekaasua, niin ettei sekundäärisiä puhdistusmenetelmiä tarvittaisi.⁸⁵

Puukaasun koostumuksen johdosta potentiaalisimpia pien-CHP-tuotantoteknologioita arvioitaessa joudutaan kiinnittämään huomiota laitteiden tavanomaisten ominaisuuksien lisäksi siihen, kuinka hyvin eri tekniikat kestävät mahdollisia epäpuhtauksia. Tällöin voidaan saavuttaa hankkeen kokonaiskannattavuuteen oleellisesti vaikuttavia säästöjä kaasun puhdistuslaitteiston kustannuksissa.⁸⁶

Potentiaaliset pien-CHP-tekniikat

Seuraavassa esitellään yleisimmät ja teknis-taloudellisesti potentiaalisimmat pien-CHP-tekniikat. Yhteenveto esiteltyjen tekniikoiden tyypillisimmistä sähkötehoalueista, sähkö- ja lämpöhyötysuhteista sekä muista keskeisistä ominaisuuksista on osion lopussa (Taulukko 2).

1. Kaasu- ja dieselmoottorit

Kaasu- ja dieselmoottorit käyttävät energialähteinään nimensä mukaisesti joko kaasumaisia (maakaasu, nestekaasu, biokaasu) tai nestemäisiä (dieselöljy, polttoöljy, biodiesel) polttoaineita.⁸⁷ Saatavilla on myös kaksoispolttoainemoottoreita, joissa osa tehosta tuotetaan dieselpolttoaineella ja osa imuilman mukana syötettävällä kaasulla.⁸⁸

Kaasu- ja dieselmoottorivoimalat koostuvat mäntämoottorista ja siihen liitetystä generaattorista. Vaihteluväli on pienimmistä alle 200 kW:n moottoreista aina 10 MW:n moottoreihin saakka. Kaasumoottorit ovat käytetyimpiä jatkuvatoimisessa lämmön ja sähkön yhteistuotannossa, ja dieselmoottoreita käytetään lähinnä varavoimasovelluksissa.⁸⁹

Moottorivoimalaitoksille on tyypillistä korkea sähköhyötysuhde, laaja tehoalue ja monipuolinen polttoainevalikoima. Kaasu- ja dieselmoottorit soveltuvat parhaiten kohteisiin, joissa on suhteellisen tasainen sähkön ja lämmön tarve ja joissa edellytetään hyvää sähköntuotannon hyötysuhdetta. Pienimmissä sovelluksissa ongelmaksi saattaa muodostua huoltotarve ja melu, mutta kokoluokan kasvaessa

⁸³ Pyrolyysi on ennen varsinaista kaasutusta oleva terminen hajoamisprosessi, jossa isommat hiilivedyt hajoavat pienemmiksi molekyyleiksi: pyrolyysin tarkoitus on erottaa polttoaineesta muodostuva puuhiili (sisältää alkuainehiilen lisäksi vetyä ja happea), kaasutuksessa kiinteästä hiilestä ja hiilivedyistä muodostuu atomipainoltaan kevyempiä kaasuja, kuten hiilimonoksidia ja vetyä. (Europaeus 2014.)

⁸⁴ Europaeus 2014.

⁸⁵ Europaeus 2014.

⁸⁶ Europaeus 2014.

⁸⁷ Karjalainen 2012.

⁸⁸ Gaia Group 2002.

⁸⁹ Karjalainen 2012.

moottorivoimalaitosten edut tulevat esiin. Esimerkkikohteita ovat muun muassa, hotellit, kylpylät, sairaalat, koulurakennukset, kasvihuoneet, konepajat ja sahat sekä kauko- ja aluelämpöjärjestelmät.⁹⁰

2. Mikroturbiinit

Mikroturbiinit ovat kokoluokaltaan 25–250 kW:n kaasuturbiineja, joissa polttoaine palaa polttokammiossa, josta palamiskaasut johdetaan suoraan itse turbiiniin. Syöttöilma paineistetaan kompressorissa ennen polttokammioon syöttämistä. Mikroturbiineissa on yleensä yksi akseli, johon generaattori, kompressor ja turbiini on laakeroitu. Pyörimisnopeudet ovat suuria, mistä johtuen generaattoreiden vaihtovirta on korkeataajuisia, ja mikroturbiinilaitoksen tuottama vaihtovirta on muutettava verkkotaajuiseksi taajuusmuuttajalla.⁹¹

Osa poistuvan pakokaasun lämpöenergiasta voidaan varastoida rekuperaattoriin, josta energia vapautuu seuraavassa vaiheessa sisään tulevan kaasun esilämmittämiseen sähkön tuotannon hyötysuhdetta parantaen. Turbiinista purkautuvan pakokaasun lämpötila on tyypillisesti 450–550 °C, joten sitä voidaan hyödyntää esimerkiksi höyryn tuottamiseen. Kaasuturbiinit soveltuvatkin parhaiten kohteisiin, joissa tarvitaan korkeaa lämpötilaa tai höyryä.⁹²

Kaasuturbiinien sähköhyötysuhde riippuu voimakkaasti turbiinin tehosta ja kuormituksesta. Alle yhden megawatin mikroturbiinien sähköhyötysuhde jää ilman rekuperaattoria yleensä 25 prosentin alapuolelle, mutta yli kolmen megawatin kaasuturbiinin sähköhyötysuhde voi ylittää 30 prosenttia. Lämmön ja sähkön yhteistuotantokäytössä kokonaishyötysuhde on tavallisesti 75–85 prosenttia, sillä pakokaasujen lämmön talteenotto on tehokasta.⁹³

Mikroturbiinivoimaloissa voidaan käyttää hyvin laajasti eri polttoaineita kaasumaisista ja nestemäisistä polttoaineista erilaisiin biomassoihin. Tällä hetkellä yleisin polttoaine on maakaasu, mutta myös biokaasun käyttö on yleistymässä.⁹⁴

Hotellit, kylpylät ja etenkin ympärivuotista viljelyä harjoittavat kasvihuoneet, joissa on suuri ja tasainen sähkön ja lämpöenergian tarve, voivat olla sopivia käyttökohteita mikroturbiineille pien-CHP:n näkökulmasta. Pakokaasun kuumen lämpötilan johdosta myös prosessiteollisuuskohteet kuten panimot ja elintarviketeollisuus tulevat kyseeseen.⁹⁵

3. Stirling-moottorit

Stirling-moottori on lämpömoottori, joka toimii ilman tai muiden kaasujen syklisen puristuksen ja laajenemisen avulla eri lämpötiloissa siten, että lämpöenergia muunnetaan mekaaniseksi työksi. Stirling-moottori eroaa dieselmoottorista siinä, että sen sylinteri on suljettu ja palaminen tapahtuu sylintereiden ulkopuolella. Stirling-moottori on tunnettu korkeasta hyötysuhteesta verrattuna höyrykoneisiin. Sillä on myös hiljainen käyntiäänä ja se on helppokäyttöinen, koska se voi käyttää lähes mitä tahansa polttoainetta lämmönlähteenä.⁹⁶

Stirling-moottori saa voimansa lämpötilaerosta kylmän ja kuumen pään välillä. Stirling-syklit jaetaan alfa-, beta- ja gamma-tyyppeihin riippuen sylintereiden ja lämmönvaihtimien geometrisestä sijoittelusta. Stirling-moottorin tehoa voidaan kasvattaa paineistamalla työaineena toimiva kaasu (esimerkiksi ilma, vety tai helium). Lisäksi hyötysuhdetta voidaan kasvattaa regeneraattorilla, joka absorboi itseensä osan kylmään

⁹⁰ Gaia Group 2002.

⁹¹ Gaia Group 2002.

⁹² Karjalainen 2012.

⁹³ Gaia Group 2002.

⁹⁴ Karjalainen 2012.

⁹⁵ Gaia Group 2002.

⁹⁶ Karjalainen 2012.

päähän virtaavan kuumen kaasun lämpöenergiasta, ja luovuttaa sen takaisin kylmälle kaasulle kaasun virratessa jälleen kuumaan päähän. Stirling-moottorille tulevan jäähdytysveden lämpötilalla on myös ratkaiseva merkitys saavutettavan sähkötehon kannalta.⁹⁷

Stirling-moottoreita on lähinnä talokohtaisissa sovelluksissa, ja laitteiden tyypillinen kokoluokka on pieni, noin 2–20 kW.⁹⁸ Ensisijaisia käyttökohteita ovat maakaasuverkon läheisyydessä olevat asuinrakennukset sekä mahdollisesti haja-asutusalueet ja maatilat, joissa biomassapohjaisia polttoaineita on kattavasti saatavilla.⁹⁹

4. Höyrykoneet ja -turbiinit

Höyrykoneissa ja -turbiineissa hyödynnetään höyrykattilassa tuotettua paineistettua höyryä sähköntuotantoon. Höyryturbiineissa paineistettu höyry kulkee generaattoria pyörittävien turbiinin siipien läpi, kun taas höyrykoneessa höyryä käytetään liikuttamaan sylinterissä mäntää, joka voidaan kampiakselin avulla yhdistää generaattoriin tuottamaan sähköä. Sekä höyryturbiineissa että höyrykoneissa höyryntuotanto tapahtuu erillisessä kattilassa, jolloin polttoaineeksi soveltuu periaatteessa mikä tahansa kiinteä, nestemäinen tai kaasumainen fossiilinen tai biopolttoaine.¹⁰⁰

Höyryturbiini on nykyään yleisin tapa tuottaa sähköä suurissa voimalaitoksissa, ja turbiinin hyötysuhde uusimmissa suurissa voimaloissa voi olla jopa yli 40 prosenttia, kun pienemmissä jäädään normaalisti 15–35 prosenttiin.¹⁰¹ Höyrykone on höyryturbiinia taloudellisempi vaihtoehto alle 1 MW:n sähkötehon laitoksissa, koska höyryturbiinien hyötysuhde on alhainen etenkin osakuormilla, mutta tätä suuremmissa laitoksissa höyrykoneen asemasta käytetään tyypillisesti höyryturbiinia.¹⁰²

Höyrykoneet ja -turbiinit soveltuvat parhaiten yleisesti ottaen hieman suuremman kokoluokan energiantuotantoon, ja niiden ensisijaisia käyttökohteita ovat muun muassa sahat, konepajat ja muu pk-teollisuus sekä kauko- ja aluelämpö.¹⁰³

5. ORC¹⁰⁴-prosessit

ORC-prosessissa kuumen kaasun lämpöenergia muutetaan mekaaniseksi energiaksi samantyyppisessä höyryturbiinissa kuin tavanomaisessa vesipohjaisessa höyryprosessissakin, mutta ORC-prosessissa kiertoaineena veden sijasta on sopiva orgaaninen neste. Koska käytetyn orgaanisen nesteen suhteellinen latenttilämpö on paljon pienempi kuin vedellä, voidaan yhden painetason ORC-prosessilla saavuttaa vähintään sama hyötysuhde kuin vesihöyryprosessilla.¹⁰⁵

Orgaanisen lämmönsiirtoaineen ansiosta ORC-prosessi toimii alhaisemmassa lämpötilassa kuin vesihöyryyn perustuvat prosessit, ja se soveltuu siten paremmin käytettäväksi pienessä kokoluokassa. ORC-prosessin sähkön tuotannon hyötysuhde heikkenee höyryprosesseja loivemmin osakuormalla ja on tyypillisesti noin 15–20 prosenttia, minkä ansiosta ORC on höyryprosesseja tehokkaampi pienessä mittakaavassa. ORC-tekniikkaa pidetäänkin taloudellisesti lupaavana tekniikkana erityisesti biomassapohjaista, 200–1500 kW:n sähköntuotantoon tähtäävää pien-CHP-tuotantoa ajatellen.¹⁰⁶

⁹⁷ Karjalainen 2012.

⁹⁸ Karjalainen 2012.

⁹⁹ Gaia Group 2002.

¹⁰⁰ Karjalainen 2012.

¹⁰¹ Gaia Group 2002.

¹⁰² Karjalainen 2012.

¹⁰³ Gaia Group 2002.

¹⁰⁴ ORC eli *Organic Rankine Cycle*.

¹⁰⁵ Karjalainen 2012.

¹⁰⁶ Karjalainen 2012.

ORC-prosessin vahvuuksia ovat tekniikan yksinkertaisuus, mahdollisuus kattavaan automatisointiin sekä vähäinen ylläpidon tarve. Sopivia käyttökohteita ORC-tekniikalle ovat muun muassa erilaiset teolliset kohteet kuten elintarviketeollisuus sekä kaukolämpö.¹⁰⁷

6. Polttokennot

Polttokenno on sähkökemiallinen laite, jonka avulla polttoaineen ja hapettimen kemiallinen energia voidaan muuntaa suoraan sähköksi ja lämmöksi ilman varsinaista palamista tapahtumaa. Polttokennossa toiselle elektrodille syötetään polttoainetta, ja toiselle elektrodille hapetinta (tyypillisesti happi tai ilma).¹⁰⁸

Yleisimmin polttoaineena käytetään vetyä, mutta myös muita mahdollisuuksia on olemassa (erityisesti maakaasu). Polttokennossa tapahtuva reaktio riippuu käytetystä polttoaineesta ja varauksia kuljettavasta elektrolyytistä, joka voi olla joko hapan tai alkaalinen (emäksinen).¹⁰⁹

Polttokennon merkittävin etu on sen korkea sähköhyötysuhde, ja polttokennot soveltuvat teknisesti periaatteessa useimpiin käyttökohteisiin, koska ne pystyvät toimimaan osatehoillakin hyvällä hyötysuhteella. Polttokennoteknologia on kuitenkin vielä esikaupallisella tasolla, ja eri sovellusten todellisten käyttökustannusten arvioiminen on toistaiseksi vaikeaa.¹¹⁰

Taulukko 2. Yhteenveto potentiaalisista pien-CHP-tekniikoista. Aineistolähde: Karjalainen 2012.

Tekniikka	Polttomoottorit	Mikroturbiinit	Stirling-moottorit	Höyrykoneet ja -turbiinit	ORC-prosessi	Polttokennot
Tyypillinen sähköteho (kW)	1–1000	25–250	10–150	>100, >500	150–1000	1–50000
Sähköhyötysuhde (%)	25–40	25–30	8–22			
Lämpöhyötysuhde (%)	45–50	50–60	50–60			
Tyypillinen käyttöaika	15 vuotta	15 vuotta	15 vuotta	15 vuotta	>20 vuotta	1–15 vuotta
Kehitysaste	Laajasti käytössä	Varhaiskaupallinen vaihe	Pilot-vaihe	Laajasti käytössä	Varhaiskaupallinen vaihe	Kehitysaste
Tekninen vahvuus	Korkea sähköhyötysuhde	Pieni huollon tarve	Pieni huollon tarve	Toimiva tekniikka	Sähköhyötysuhde osakuormalla	Korkea sähköhyötysuhde
Tekninen heikkous	Verrattain suuri huollon tarve	Ei kiinteitä polttoaineita	Rajallinen sähköhyötysuhde	Sähköhyötysuhde osakuormalla	Rajallinen sähköhyötysuhde	Lyhyt kestoikä

¹⁰⁷ Karjalainen 2012.

¹⁰⁸ Karjalainen 2012.

¹⁰⁹ Gaia Group 2002.

¹¹⁰ Gaia Group 2002.

4. Hajautetun ja pienimuotoisen tuotannon merkitys ja määrä tulevaisuudessa

Erilaisissa selvityksissä ja kansallisen tason visioissa¹¹¹ on systemaattisesti esitetty, että hajautetun ja pienimuotoisen energiantuotannon merkitys ja määrä tulee kasvamaan tulevaisuudessa. Laaja-alaisia ja silti yksityiskohtaisia ajantasaisia numeerisia arvioita hajautetun ja pienimuotoisen energiantuotannon osuudesta tulevaisuuden energiajärjestelmässä ei kuitenkaan ole saatavilla, mikä johtunee osaltaan hajautetun tuotannon määrittelyyn liittyvistä vaikeuksista ja epäselvyyksistä: koska (tarpeeksi) yksiselitteistä määritelmää ei ole olemassa, myöskään yksiselitteisiä lukuarvoja ei ole välttämättä mielekäästä tai ainakaan helppoa pyrkiä arvioimaan.

Toisaalta kattavien numeeristen arvioiden puuttumista ei voi selittää tai perustella pelkällä määrittelyn haasteellisuudella, sillä tarvittavat määrittelyt voidaan tehdä aina tapauskohtaisesti ja ko. selvityksen tarkoitusperiä ajatellen. Näin ollen kyse lienee enemmänkin siitä, että hajautettu energiatuotanto muodostaa hankalasti arvioitavan ja moniulotteisen kokonaisuuden, jossa toisiaan leikkaavat teknologiset kysymykset, talouteen ja kannattavuuteen liittyvät seikat, ilmasto- ja energiapoliittiset ohjelmat sekä yhdyskuntarakenteen kehittyminen. Kaikki nämä ulottuvuudet sisältäviä kokonaisvaltaisia kvantitatiivisia arvioita ei ole käytännössä tehty, vaan selvityksissä ja visioissa on keskitytty ilmiökentän kvalitatiiviseen analyysiin ja yksittäisten tunnuslukujen arviointiin.

Seuraavaan on poimittu joitakin määrällisiä arvioita koskien hajautetun ja pienimuotoisen energiantuotannon tulevaisuutta. Kuten todettua, erilaisissa selvityksissä ja visioissa sovelletut määritelmät ja muut taustaoletukset vaihtelevat, minkä vuoksi eri yhteyksissä esitetyt lukuarvot eivät lähtökohtaisesti ole

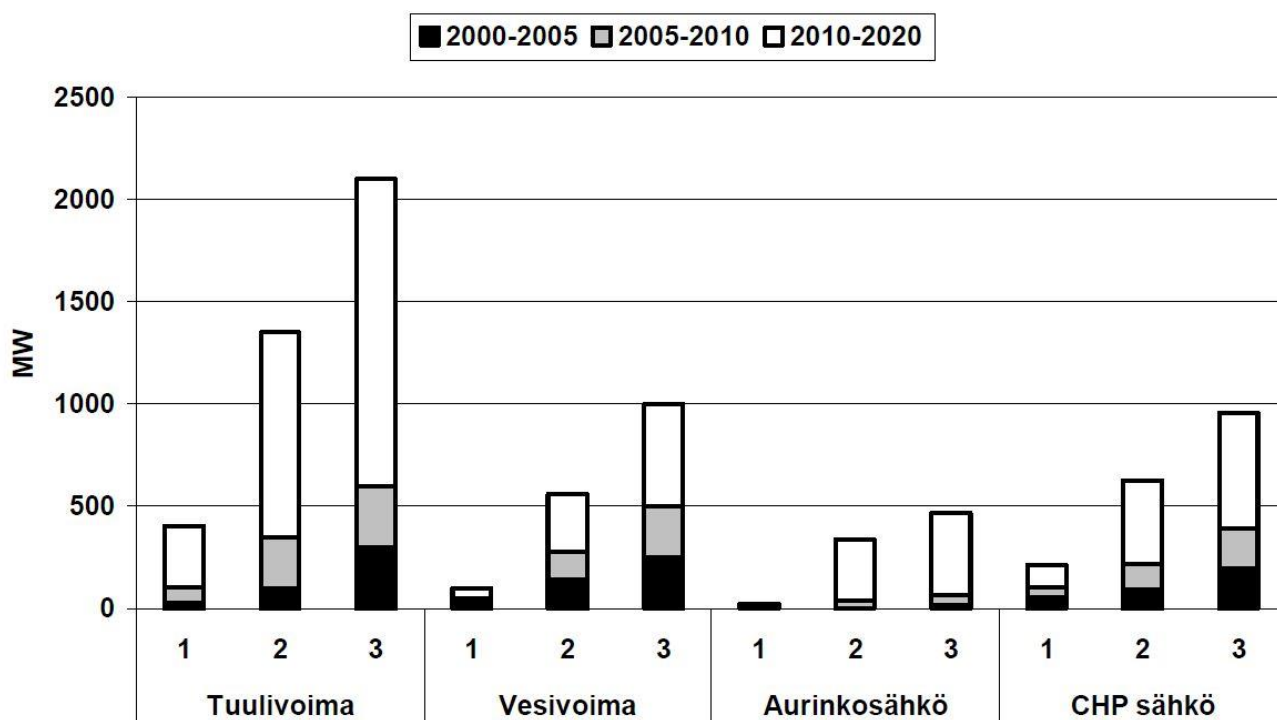
Taulukko 3. Gaia Groupin (2002) selvityksessä käytetyt skenaariot.

	SKENAARIOT		
	Business as usual	Hajautettujen ratkaisujen kohtuullinen kehitys	Hajautettujen ratkaisujen voimakas kehitys
Tekninen kehitys	Pysyy nykyisellään	Kehittyy suotuisasti	Nopeutuu
Poliittiset päätökset	Ei suuria muutoksia	Uusiutuvien energialähteiden edistämishojelman mukaisesti	Tukitoimet voimistuvat
Markkinakehitys	Pysyy nykyisellään	CHP:n polttoaineiden hinta laskee suhteessa sähkön hintaan ja saatavuus paranee	Hintatekijöiden edellistä suosiollisempi kehitys
Sosiaalinen ympäristö	Pysyy nykyisellään	Yleinen hyväksyttävyys lisääntyy ja ympäristöpäästöihin kiinnitetään enemmän huomioita	Ympäristösuojejlulliset tavoitteet kasvavat edellisestä

¹¹¹ Tällaisia kansallisen tason visioita ovat muun muassa Energiateollisuuden sähkön ja kaukolämmön hiilineutraaliuteen tähtäävä visio vuodelle 2050 (Energiateollisuus 2010), Sitran analyysi rakennetun ympäristön energiankäytöstä ja kasvihuonekaasupäästöistä vuosille 2020 ja 2050 (Sitra 2010b), Suomen ilmastopaneelin energiajärjestelmän päästönvähennystoimia koskeva selvitystyö (Ilmastopaneeli 2013a), Tekesin DENSY-ohjelma (Tekes 2008), Työ- ja elinkeinoministeriön energia- ja ilmastotiekartta 2050 (Työ- ja elinkeinoministeriö 2014a), Valtioneuvoston tulevaisuusselonteko ilmasto- ja energiapolitiikasta (Valtioneuvoston kanslia 2009) sekä VTT:n energiavisiot 2030 ja 2050 (VTT 2001 ja 2009); muista keskeisistä selvityksistä mainittakoon Gaia Group (2002), Motiva (2010) ja Työ- ja elinkeinoministeriö (2014b).

keskenään suoraan yhteismitallisia ja vertailukelpoisia. Lukuarvoja voi siis pitää lähinnä suuntaa-antavina, karkean mittakaavan indikaattoreina, joiden avulla pyritään ennakoimaan tulevaisuuden potentiaalisia tapahtumakulkuja.

Sisällöllisesti laajin ja kattavin selvitys hajautetun ja pienimuotoisen energiantuotannon tulevaisuudennäkymistä Suomen kontekstissa lienee vuodelta 2002 peräisin oleva Gaia Groupin raportti, jossa on esitetty skenaarioperusteisia arvioita hajautetun energiantuotannon¹¹² eri tuotantomuotojen ja -teknologioiden kumulatiivisesta markkinapotentiaalista lähitulevaisuudessa (vuoteen 2020 saakka). Markkinapotentiaalin lisäksi raportissa on eritelty kunkin tuotantomuodon teknologinen potentiaali ja taloudellinen potentiaali, jotka siis toimivat viitekehyksinä varsinaista markkinapotentiaalia arvioitaessa.¹¹³



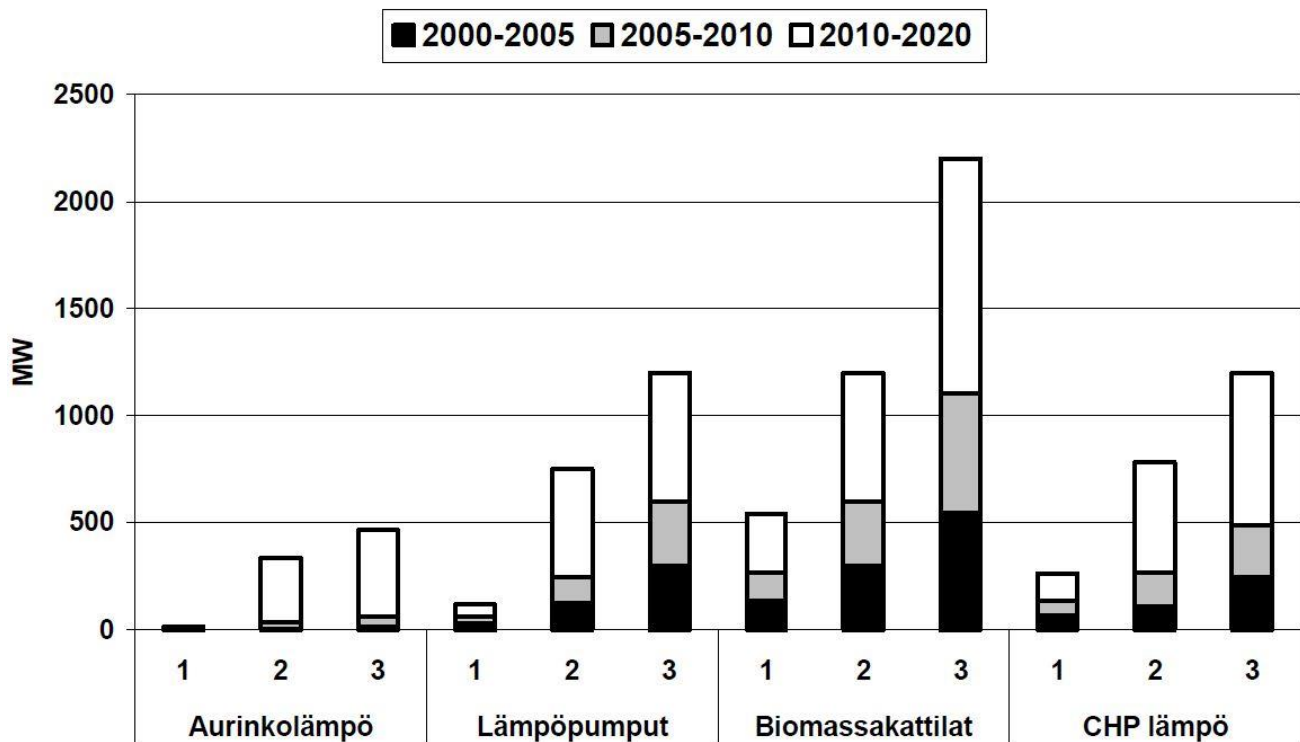
Kuva 11. Hajautetun sähköntuotannon (nimellisteho alle 10 MW) kumulatiivinen markkinapotentiaali Suomessa skenaarioittain lyhyellä, keskipitkällä ja pitkällä tähtäimellä. Lähde: Gaia Group 2002.

Tuotantoteknologioiden markkinapotentiaalit on arvioitu kolmessa eri skenaariossa: skenaario 1 ("Business as usual") vastaa kunkin teknologian nykyistä (so. vuoden 2002) kehitysvauhtia, skenaario 2 ("Hajautetun energiantuotannon kohtuullinen kasvu") perustuu KTM:n Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelmaan sekä pienimuotoisen CHP:n osalta lähinnä polttoaineiden saatavuuteen, kun taas skenaario 3 ("Hajautetun energiantuotannon voimakas kasvu") on yhteneväinen taloudellisen potentiaalin kanssa.¹¹⁴ Skenaarioiden keskeiset ominaisuudet ja taustaoletukset on taulukoitu (Taulukko 3); analyysin tulokset ovat esillä pylväsdiagrammeissa (Kuva 11 ja Kuva 12).

¹¹² Hajautetuksi energiantuotannoksi on tässä raportissa katsottu nimellisteholtaan alle 10 MW:n uusiutuviin energialähteisiin tai pienimuotoiseen yhdistettyyn sähkön ja lämmön tuotantoon perustuva energiantuotanto.

¹¹³ "Teknologinen potentiaali (MW) on kullakin teknologialla mahdollisesti rakennettavan lisäkapasiteetin yhteenlaskettu yläraja. Taloudellinen potentiaali (MW/a) ilmoittaa, kuinka paljon teknologisesta potentiaalista on taloudellisesti kannattavaa rakentaa vuodessa. Markkinapotentiaali (MW/a) on puolestaan se osa teknologisesta ja taloudellisesta potentiaalista, joka voidaan saavuttaa kulloisessakin markkinatilanteessa." (Gaia Group 2002.)

¹¹⁴ Gaia Group 2002.



Kuva 12. Hajautetun lämmöntuotannon (teho alle 10 MW) kumulatiivinen markkinapotentiaali Suomessa skenaarioittain lyhyellä, keskipitkällä ja pitkällä tähtäimellä. Lähde: Gaia Group 2002.

Koska kyseessä on jo yli kymmenen vuotta vanha selvitys, siinä käytetyt tekniikoiden sekä markkinoiden kehittymistä koskevat oletukset ja muut lähtötiedot ovat epäajankäytöisiä, eivätkä selvityksessä esitetyt pisimmän aikajänteen ennusteetkaan yletä enää kuin viiden vuoden päähän nykyhetkestä (so. vuoteen 2020). Toisaalta nyt on jo mahdollista arvioida, missä määrin vuosituhaten alussa annetut ennusteet ovat toteutuneet ja kuinka realistisilta tuolloin ennakoitujen kehityskulujen nykyperspektiivistä näyttävät. Tämänäköistä tarkastelua vaikeuttaa kuitenkin huomattavasti se, ettei mitään yksiselitteistä ja kattavaa tilastointia pienimuotoisen asennetun potentiaalinsa osalta ole olemassa.¹¹⁵

Esimerkiksi tuulivoiman kohdalla asennetun tehon kehitys on toteutunut suunnilleen skenaarion 2 mukaisesti: vuonna 2010 Suomessa oli vain noin 200 MW asennettua tehoa ja vuonna 2014 jo noin 630 MW¹¹⁶, kun raportin ennusteen mukaan skenaariossa 2 olisi vuonna 2010 asennettua tehoa noin 390 MW, minkä jälkeen

¹¹⁵ Ongelma korostuu erityisesti pienen mittaluokan polttoerusteisen lämmöntuotannon sekä lämmön ja sähkön yhteistuotannon kohdalla, sillä suuri osa polttolaitoksista edustaa periaatteessa keskitettyä ja suuren mittaluokan tuotantoa, ja minkäänlaista systemaattista kategorisointia ei laitosten tilastoinnissa lähtökohtaisesti tehdä. Tällöin pienen mittaluokan hajautettua tuotantoa (asennettu kapasiteetti ja vuosituotanto) koskevia täsmällisiä tietoja on vaikea tai mahdoton saada selville.

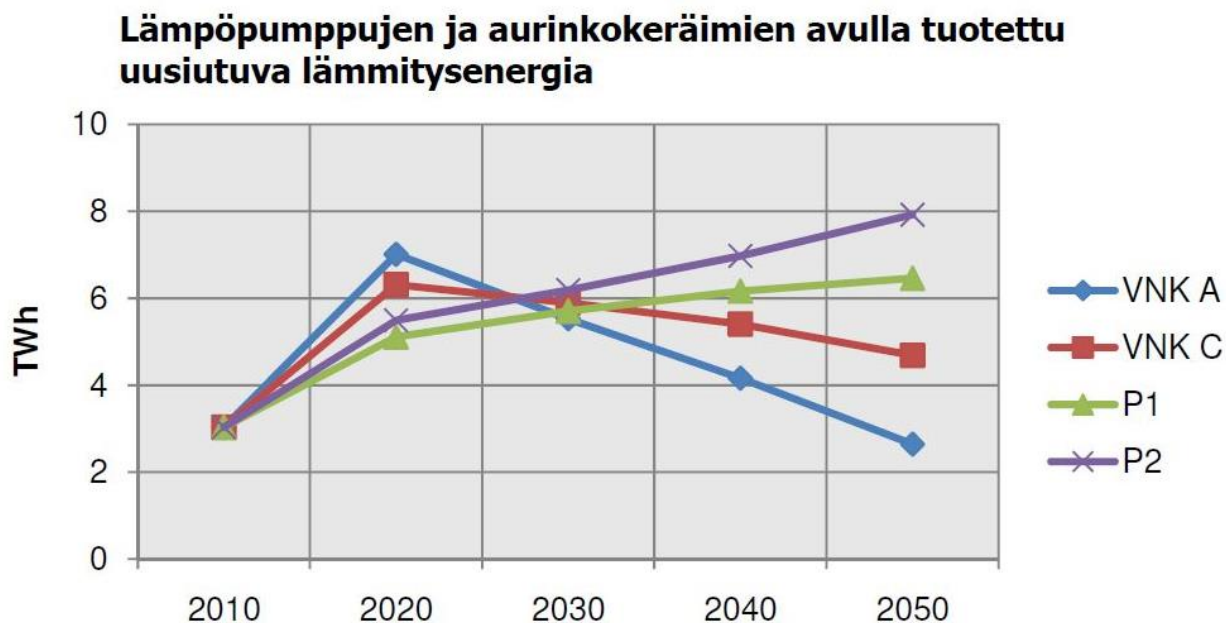
Gaia Groupin (2002) raportissa esitetyt alle 10 MW:n biomassakattiloiden potentiaaliarviot perustuvat biomassalämpökattiloiden käyttöön hajautetussa energiantuotannossa, ja niihin on sisällytetty kaukolämmön käyttämistä biopolttoaineista 15 % ja puun pienkäytön osalta 40 % kokonaiskäytöstä. Ei kuitenkaan ole selvää, mistä nämä osuudet on saatu ja mihin oletuksiin niiden käyttö perustuu.

Esimerkiksi vuonna 2013 alle 10 MW:n kaukolämpövoimaloiden osuus kaikista kaukolämpövoimaloista oli lukumäärällisesti yli 50 %, mutta tehollisesti vain noin 5 %; selvityksessä biopolttoaineiksi luokiteltuja polttoaineita käyttäviä laitoksia oli vuonna 2013 kaikista kaukolämpölaitoksista noin 23 % ja alle 10 MW:n laitoksista noin 30 %, mikä antaa joka tapauksessa ymmärtää, että biopolttoaineiden käyttö on pienen mittaluokan laitoksissa suhteellisesti yleisempää (Energiategollisuus 2014).

¹¹⁶ Tuulivoimayhdistys: ”Tuulivoima Suomessa.”

tuulivoiman vuosittainen markkinapotentiaali on huomattavasti aikaisempaa korkeampi ja voimalaitosten kumulatiivinen kokonaisteho kasvaa siis nopeammin.¹¹⁷

Lämpöpumppujen osalta kehitys on puolestaan systemaattisesti aliarvioitu, sillä jo vuonna 2010 lämpöpumppujen yhteenlaskettu bruttolämpöteho oli noin 2 220 MW¹¹⁸, josta nettolämpötehoksi¹¹⁹ voidaan arvioida noin 1 500 MW, mikä on siis jo enemmän kuin ennusteen mukainen tilanne vuonna 2020¹²⁰ runsaimman kasvun skenaariossa 3. Lisäksi vuoden 2010 jälkeen vuosittain asennettujen lämpöpumppujen lukumäärä on pysynyt tasaisen korkeana (ks. myös Kuva 5), ja vuonna 2013 lämpöpumppujen yhteenlaskettu bruttolämpöteho oli Tilastokeskuksen tietojen mukaan jo noin 3 200 MW.¹²¹



Kuva 13. Lämpöpumppujen ja aurinkokeräimien avulla hajautetusti tuotettu uusiutuva lämmitysenergia skenaarioittain vuoteen 2050 saakka. Lähde: Sitra 2010b.

Sitran selvityksessä *Rakennetun ympäristön energiankäyttö ja kasvihuonekaasupäästöt* vuodelta 2010 on keskitytty analysoimaan verrattain yleisellä tasolla Suomen rakennetun ympäristön (rakennukset ja liikenne) energiankysymyksiä ja näihin liittyviä kasvihuonekaasupäästöjä, mutta siinä otetaan lyhyesti kantaa myös hajautetun energiantuotannon tulevaisuudennäkymiin. Vuoteen 2050 ylettyvän skenaarioperusteisen analyysin pääasiallinen sanoma on, että hajautetusti tuotetun uusiutuvan energian osuus tulee kasvamaan ja että tämä kehitys realisoituu erityisesti rakennusten lämmityksen yhteydessä lämpöpumppujen ja aurinkokeräimien avulla. Muita ratkaisuja hyödyntäviä hajautetun energiantuotannon muotoja ei käsitellä samassa laajuudessa

¹¹⁷ Kuvassa 11 esitettyyn markkinapotentiaaliennusteeseen on lisättävä vuoden 2000 asennettu teho (noin 40 MW), jotta saadaan kutakin ajanjaksoa koskevat arviot kokonaiskapasiteetista. Skenaarion 2 perustana käytetyt arviot tuulivoiman vuosittaisesta markkinapotentiaalista ovat 50 MW/a keskipitkälle tähtäimelle (vuosille 2005–2010) ja 100 MW/a pitkälle tähtäimelle (vuosille 2010–2020). (Gaia Group 2002.)

¹¹⁸ VTT 2014.

¹¹⁹ Lämpöpumput tuottavat lämpöä ja kuluttavat sähköä, jolloin nettolämpöteho tarkoittaa bruttolämpötehoa vähennettynä sähkönkulutuksella; netto- ja bruttolämpötehon välinen suhde riippuu käytetystä tekniikasta ja olosuhteista (ulko- ja sisälämpötilasta), mutta karkeasti arvioituna (Gaia Group 2002) sähkönkulutus on noin kolmannes bruttotehosta.

¹²⁰ Vuoden 2000 asennettu teho ja vuosien 2000–2020 yhteenlaskettu markkinapotentiaali.

¹²¹ Tilastokeskus 2014.

tai lainkaan, ja erityisesti pienimuotoisen polttoperusteisen energiantuotannon (oletettavasti kasvava) määrä ja merkitys jäävät selvityksessä täysin avoimiksi.¹²²

Myöskään lämpöpumpuilla ja aurinkokeräimillä tuotetun uusiutuvan lämmitysenergian määrän kasvu ei silti ole itsestäänselvyys – etenkin pitkällä aikavälillä (ks. Kuva 13). Tämä selittyy osaltaan sillä, että rakennusten lämmitysenergian tarvetta alennetaan joissain skenaarioissa muilla keinoin.

Kaikissa tarkasteltavissa skenaarioissa lähdetään siitä, että vuoteen 2050 mennessä on saavutettu vähintään 80 prosentin vähennys kasvihuonekaasupäästöihin suhteessa vuoden 1990 tilanteeseen. Lisäksi yhteisenä oletuksena on, että kotimainen energiajärjestelmä rakennetaan likimain vastaamaan kotimaiseen energiatarpeeseen. Skenaarioita on valittu yhteensä neljä: peruslähtökohtana on nykyisten päätöskien mukaisen kehityskulun kaksi toteumaa, ”Perusskenaario 1” (P1) ja ”Perusskenaario 2” (P2), joiden ohella tarkasteltavina skenaarioina ovat erittäin voimakkaasti energiatehokkuuteen ja uusiutuvaan energiaan panostava ”Tehokkuuskumous” (VNK A) sekä omavaraisuuteen panostava ”Omassa vara parempi” (VNK C).¹²³

Perusskenaariot P1 ja P2 on mallinnettu käytettävissä olevien tietojen puitteissa perustuen ilmasto- ja energiapolitiisiin linjauksiin ja päätöksiin; P2 on energia- ja ympäristöpolitiikan onnistumisen kannalta pessimistisempi kuin P1. VNK A -skenaariossa energiankäytön tehokkuus parantuu ja energian loppukulutus vähenee puoleen vuoteen 2050 mennessä, ja kaikki energia tuotetaan uusiutuville energialähteillä Suomessa. VNK C -skenaariossa painotetaan asetettujen päästövähennystavoitteiden lisäksi laajasti omavaraisuuden merkitystä ja arvostetaan paikallisuuteen liittyviä näkökulmia.¹²⁴

Gaia Consultingin tuore selvitys vuodelta 2014 tarkastelee sähkön pientuotannon tulevaisuudennäkymiä kilpailukyvn ja markkinapotentiaalın perspektiivistä. Selvityksessä analysoidaan valikoitujen pienimuotoisten sähköntuotantoteknologioiden (aurinkosähkö, pientuulivoima, kaasumoottorit ja polttokennot) asemaa sähköntuotantomarkkinoilla, ja siinä esitetään tiettyihin taustaoletuksiin perustuva arvio siitä, kuinka suuria investointeja kotimaisilla markkinoilla voidaan näiden teknologioiden osalta odottaa vuoteen 2020 mennessä. Selvitys on siis markkinalähtöinen, ja toteutuvan kehityksen vaikutuksia energiantuotantorakenteeseen ja päästökysymyksiin voidaan tarkastella erikseen.¹²⁵

Taulukko 4. Hajautetun sähköntuotannon odotettavissa potentiaaliset lisäykset valikoitujen teknologioiden osalta vuoteen 2020 mennessä. Aineistolähde: Gaia Consulting 2014b.

	Aurinkosähkö	Pientuulivoima	Kaasumoottorit	Polttokennot	Yhteensä
Sähköteho (MW)	500	6	54	25	585
Sähkön vuosituotanto (GWh)	450	8,1	324	150	932,1
Sähköntuotannon hyötysuhde (%)			35	40	
Lämmöntuotannon hyötysuhde (%)			45	40	
Huipunkäyttöaika (h)	1000	1350	6000	6000	
Yksiköiden lukumäärä	100000	1200	1200	500	
Yksikön sähköteho (kW)	5	5	45	50	
Kokonaisinvestointi (milj. EUR)	800	27	320	250	1397

Asennettavien tuotantoyksiköiden koko (sähköteho), kustannukset ja muut ominaisuudet on vakioitu teknologiakohtaisesti (ks. Taulukko 4), eikä selvityksen ole tarkoituskaan antaa realistista kuvaa siitä, millaisia teknisiä ratkaisuja tosiasiallisesti asennetaan. Sen sijaan selvityksen on tarkoitus osoittaa suuntaviivoja sille, minkä suuruusluokan investoinneista voisi olla kyse ja millaisia taloudellisia

¹²² Sitra 2010b.

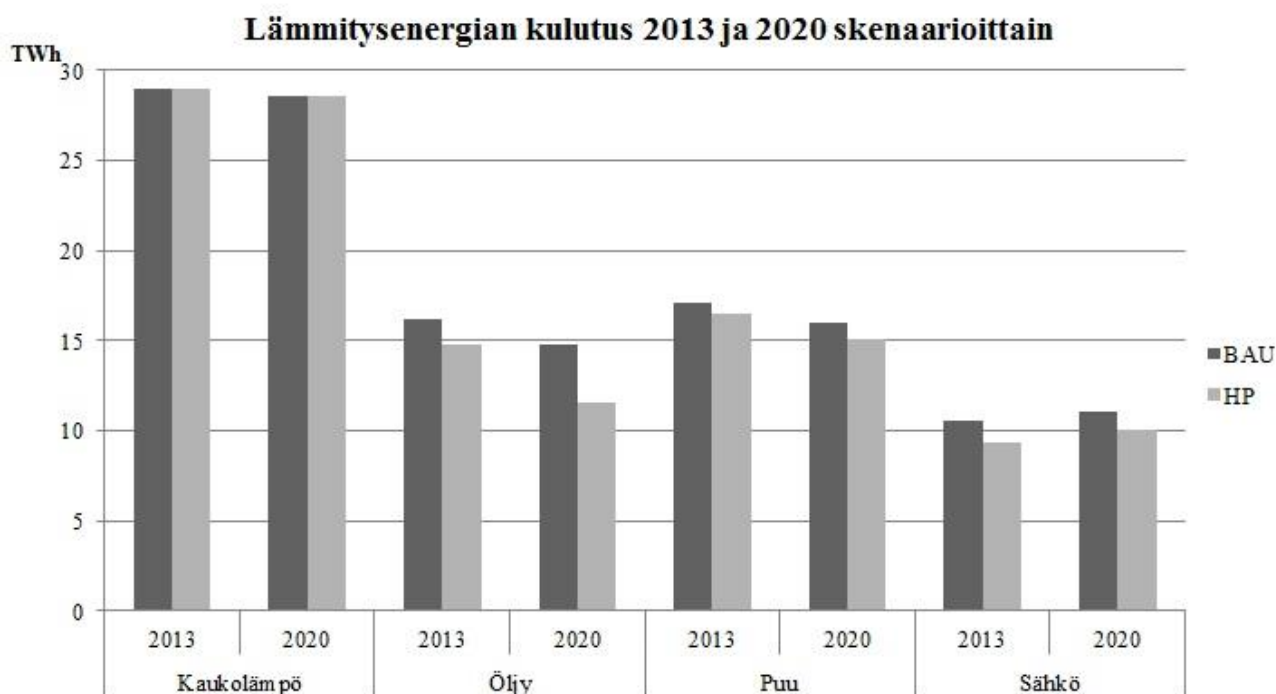
¹²³ Sitra 2010b.

¹²⁴ Sitra 2010b. Yksityiskohtaisempi selostus eri skenaarioista ja niiden välisistä eroista löytyy itse selvityksestä.

¹²⁵ Gaia Consulting 2014b.

oheisvaikutuksia (esim. työllisyys ja kansantalous) näillä investoinneilla voisi olla.¹²⁶ Selvityksen verrattain karkeasta ja yksinkertaistavasta lähestymistavasta huolimatta esitetyistä tuloksista voi päätellä jotain siitä, kuinka energiantuotantorakenne voisi lähitulevaisuudessa muuttua ja mikä hajautetun energiantuotannon rooli voisi muuttuneessa asetelmassa olla.

Erityisesti lämpöpumppujen merkitystä tulevaisuuden energiantuotannossa on tarkasteltu VTT:n (2014) selvityksessä, jossa Suomen rakennuskannan energiankulutusta käsitellään yleisemmällä tasolla eri vuosikymmenille määriteltyjen tyyppirakennusten avulla. Tyyppirakennuksille on laskettu energiansäästöpotentiaali ja uusiutuvan energian tuotto eri lämpöpumppuvaihtoehdoilla, ja koko rakennuskannan nykyistä sekä kumulatiivista energiankulutusta on arvioitu VTT:n kehittämällä REMA-mallilla. Lämpöpumppujen tulevaa vaikutusta suomalaisen rakennuskannan energiankulutukseen ja päästöihin puolestaan on pyritty arvioimaan vertaamalla perinteistä ”Business As Usual” -skenaariota (BAU) lämpöpumppuskenaarioon (”Heat Pump” -skenaario eli HP), joka kuvaa lämpöpumppujen nopeampaa yleistymistä.¹²⁷



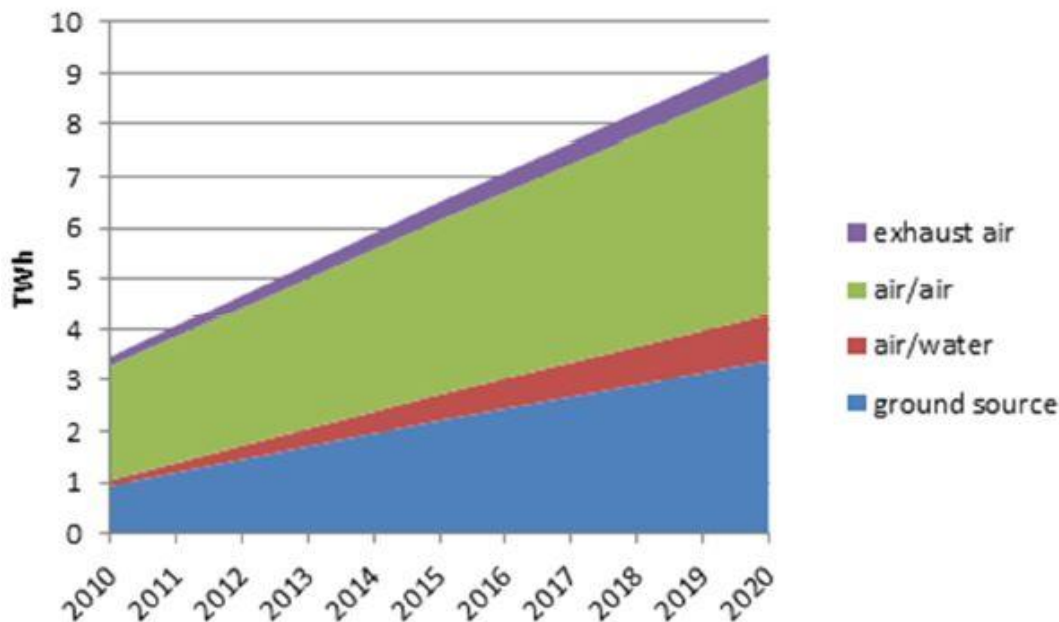
Kuva 14. Lämmitysenergian kulutus lämmitysmuodoittain vuosille 2013 ja 2020 skenaarioissa BAU ja HP. Aineistolähde: VTT 2014.

Analyysin tulokset lämmitysenergian kokonaiskulutuksen osalta on esitelty pylväsdiagrammissa (Kuva 14), jossa eri lämmitysmuotojen osuudet on eritelty skenaarioittain (BAU ja HP) vuosille 2013 ja 2020. Mallinnustuloksista nähdään, että lämpöpumppujen yleistymisen vähentää erityisesti öljyn ja puun kulutusta vuoteen 2020 mennessä molemmissa skenaarioissa. Sähkönkulutuksen osalta tilanne ei ole niin yksiselitteinen, sillä lämpöpumpput tarvitsevat aina toimiakseen sähköä; esimerkiksi lämpöpumppujen nopeampi yleistymisen (skenaariossa HP) johtaa varsin huomattavaan (lähes 660 MWh eli noin 7 % vuoteen 2013 verrattuna) sähkön lämmityspohjaisen kulutuksen kasvuun vuosien 2013 ja 2020 välillä.

¹²⁶ Gaia Consulting 2014b.

¹²⁷ VTT 2014.

Oletettavasta sähkön kulutuksen kasvusta huolimatta lämpöpumpuilla on mahdollista saada aikaan merkittäviä säästöjä lämmitysenergian kokonaiskulutuksessa, ja HP-skenaariossa lämpöpumpuilla tuotetun primääri- eli nettolämpöenergian¹²⁸ määrän arvioidaan lähestyvän kolminkertaistuvan vuosien 2010 ja 2020 välillä (arvosta 3,2 TWh arvoon 9,4 TWh; ks. Kuva 15). Vaikka nämä lämpöpumppujen avulla saadut säästöt ovat suurimmaksi osaksi uusiutuvaa energiaa¹²⁹, pumppujen sähkönkulutuksen kestävyteen liittyy vielä avoimia kysymyksiä.



Kuva 15. Arvio lämpöpumpuilla saavutettavista lämmitysenergiesäästöistä pumpputeknologioittain HP-skenaariossa vuosien 2010 ja 2020 välisenä aikana. Lähde: VTT 2014.

¹²⁸ Lämmön bruttotuotanto vähennettynä sähkönkulutuksella.

¹²⁹ Poistoilmalämpöpumppujen kohdalla saavutetut säästöt eivät suoraan vastaa uusiutuvan energian tuotantoa; silti yhteenlasketuista energiasäästöistä yhteensä noin 97 % eli 9,1 TWh on uusiutuvaa energiantuotantoa. (VTT 2014.)

5. Hajautetun ja pienimuotoisen tuotannon erityiskysymyksiä

Tässä luvussa käsitellään sellaisia hajautettuun ja pienimuotoiseen energiantuotantoon liittyviä kysymyksiä, jotka ovat jo aiemmin nousseet esille mutta joihin ei vielä ole yksityiskohtaisemmin paneuduttu. Luku jakaantuu kolmeen alalukuun, joista ensimmäinen keskittyy sähkön pientuotantoa koskeviin seikkoihin kuten älyverkkoihin ja muihin sähköverkkoasioihin, toinen puolestaan käsittelee lähinnä lämmön pientuotannon alueellista hyödyntämistä, kun taas kolmannen luvun keskiössä ovat yleisemmät hajautettua pientuotantoa koskevat alueelliset kysymykset.

Hajautettu sähköntuotanto, sähköverkkoon liittyminen ja älyverkot

Hajautettu sähköntuotanto tarkoittaa yleisesti ottaen tuotantoa, jonka ajoa ei suunnitella keskitetysti, jota ohjataan paikallisesti ja jota sijoitetaan jakeluverkon yhteen tai useampaan liittymispisteeseen. Hajautettua tuotantoa voidaan arvioida myös tuotantolaitoksen näkökulmasta; tällöin hajautettua tuotantoa edustaa tyypillisesti tuotantolaitos, joka on liitetty jakeluverkkoon tai sähkönkäyttäjän verkkoon kuluttajan puolella mittaria. Hajautetun tuotannon osalta jakeluverkolla voidaan puolestaan tarkoittaa pienjänniteverkkoa (0,4kV) ja keskijänniteverkkoa aina 20 kV:iin asti.¹³⁰

Pienet tuotantolaitokset voidaan liittää pienjänniteverkkoon joko oman liittymispisteen kautta tai sähkönkäyttöpaikan rinnalle yhteisen liittymispisteen taakse, kun taas jakelumuuntajan napoihin liitetty voimala voi olla suuruusluokaltaan muutamia satoja kilowatteja. 0,4 kV:n pienjännitejohtojen siirtokyky on muutamia kymmeniä tai satoja kilowatteja muutamalla sadalla metrillä. Keskijännitteeseen liitettävän voimalan maksimikoko riippuu liittymispisteen oikosulkutehosta ja siten vahvasti liittymispisteen etäisyydestä sähköasemasta; 20kV:n keskijännitejohdoilla voidaan siirtää muutama megawatti 20–30 kilometriä.¹³¹

Euroopassa toistaiseksi kuitenkin vain pieni määrä hajautetusta tuotannosta on suoraan kytkettynä jakeluverkkoon, ja Suomessakin hajautetun tuotannon verkkoonliitynnät joudutaan nykyisin tarkastelemaan aina erikoistapauksina – väärä tai virheellinen toteutus voi johtaa tietyissä verkon vikatilanteissa vakaviin laitevaurioihin tai jopa hengenvaaraan. Tulevaisuudessa ja hajautetun tuotannon yleistyessä tarvitaan kuitenkin vakioituja ratkaisuja, ja jotta hajautettu tuotanto saataisiin toimivammaksi ja yhtenäisemmäksi, tulee kehittää yhteisiä standardeja ja määräyksiä sekä tehokkaita tietojärjestelmiä.¹³²

Sähkönjakeluverkkojen kannalta pienimuotoisen sähköntuotannon yleistymisen saattaa johtaa sähkönsiirron vähenemiseen. Tällöin välitetyn energian kokonaismäärä pienenee suhteessa enemmän kuin mitoittava huipputeho, mikä voi asettaa haasteita asianmukaisen verkoston suunnittelulle ja rahoitukselle: hajautettu tuotanto siis pienentää verkon läpi siirrettävää energiamäärää ja siten verkkoyhtiön siirtotuloja, jolloin verkkojen ylläpitoon ja kehittämiseen jää vähemmän voimavaroja. Verkkojen mitoitus tuskin kuitenkaan voidaan keventää laskemalla sitä hajautetun tuotannon varaan. Näin ollen hajautetun tuotannon lisääntyminen näyttäisi tietyiltä osin jopa lisäävän verkostovaatimuksia, ja hajautetun tuotannon verkkoon liittäminen ja hajautettua tuotantoa sisältävän verkon hallinta saattavat johtaa merkittävään sähkönsiirtokustannusten kasvuun.¹³³

Laajamittainen hajautetun tuotannon käyttöönotto saattaa edellyttää verkon hallintajärjestelmän ulottamista kuluttajille asti. Tietoliikenne kuluttajan ja verkonhallintajärjestelmän välillä tulee olemaan kaksisuuntaista, ja kulutusta voidaan ohjata verkon tehokkaan aktiivisen hallinnan mahdollistamiseksi ja verkon siirtokapasiteetin käyttöasteen parantamiseksi. Pitkällä aikavälillä hajautettujen energiaresurssien avulla

¹³⁰ Sarvaranta 2010.

¹³¹ Sarvaranta 2010.

¹³² Sarvaranta 2010.

¹³³ VTT 2006b.

voitaneen jopa parantaa järjestelmän luotettavuutta ja sähkön laatua. Tämä edellyttää saarekekäyttäjien kehittämistä.¹³⁴

Jos pienjänniteverkkojen hajautetun tuotannon lisääntymisen ja energiavarastojen kehittymisen mahdollistama sähkön jakelun laadun ja luotettavuuden parantaminen halutaan hyödyntää, tarvitaan uudenlaisia mikroverkkoja, jotka ovat tarvittaessa itsenäiseen saarekekäyttöön kykeneviä, paikallista tuotantoa ja kulutusta sisältäviä pienjännitejakeluverkon osia, joihin kuuluu myös yksi tai useampi energiavarasto.¹³⁵ Mikroverkko voi olla ainakin osittain omavarainen – sen ei tarvitse jatkuvasti kytköksissä valtakunnan verkkoon – jolloin sähkön saanti voidaan turvata kriittisille kulutuskohteille, vaikka valtakunnan verkossa olisi häiriöitä.¹³⁶

Hajautetun sähköntuotannon kannalta keskeinen käsite on älykäs sähköverkko eli älyverkko, joka mahdollistaa ja tehostaa useita energiatehokkuutta ja sähkömarkkinoiden toimivuutta parantavia toimintoja, kuten hajautettujen tuotantolaitosten ja energiavarastojen joustava verkkoonliityntä sekä kuormanohjaus. Keskeisessä asemassa älykkäässä sähköverkossa on älykäs energiamittari sekä kaksisuuntainen tiedonsiirto asiakasliittymän ja verkon välillä.¹³⁷

Älykäs verkko mahdollistaa siis ennen kaikkea hajautetun tuotannon joustavan verkkoonliittymän, mikä parantaa pientuottajien osallistumismahdollisuuksia sähkömarkkinoilla. Lisäksi asiakkaiden sähkön laatua voidaan lyhyiden keskeytysten sekä jännitekuoppien osalta aktiivisesti parantaa tehoelektroniikan ja hajautettujen energiavarastojen avulla.¹³⁸

Lämmön pientuotannon alueellinen hyödyntäminen ja kaukolämpö

Lämmön pientuotannolla voidaan tarkoitaa joko kiinteistökohtaista, alueellista tai yleisesti ottaen luonteeltaan ”ei-keskitettyä”¹³⁹ lämmöntuotantoa. Erityisesti lämmön kiinteistökohtaisen pientuotannon hyödyntäminen osana alueellista lämmönjakojärjestelmää tai varsinaista kaukolämpöverkkoa on verrattain tuore ilmiö, ja käytännön kokemuksia koskien niin teknologisia kuin sopimusteknisiä seikkoja on vielä varsin rajoitetusti.¹⁴⁰

Erilaisten pientuottajien osuus kaukolämmön kokonaistuotannosta ja -kulutuksesta onkin viime vuosina ollut suhteellisen pieni, ja esimerkiksi alle viiden megawatin pientuottajat myivät lämpöä kaukolämpöyhtiöille vuoden 2013 aikana yhteensä 194 GWh, mikä vastaa vain noin puolta prosenttia Suomen koko kaukolämmön kulutuksesta.¹⁴¹

Suomessa on kuitenkin kaukolämpötilastoinnin piirissä yli 400 lämpövoimalaitosta, joiden nimellislämpöteho alle 10 MW; näistä alle 5 MW:n laitoksia on melkein 300 ja alle 1 MW:n laitoksia hieman yli 30 (ks. Kuva

¹³⁴ VTT 2006b.

¹³⁵ VTT 2006b. Sähköenergian varastoinnilla tarkoitetaan yleisesti ottaen mahdollisuutta varastoida sähköä (tai energiaa sähkön vapauttamiseksi) sellaisille hetkille, kun sen käyttö on hyödyllisempää tai kustannukset alhaisemmat. Tehokas, luotettava ja kustannustehokas sähköenergian varastointitekniikka on välttämätön edellytys syrjäisillä alueilla tapahtuvan hajautetun energiantuotannon hyödyntämiselle ja integraatiolle sähköjärjestelmiin. Lisäksi varastointi on keskeinen tekijä tulevaisuuden hajautetun energian järjestelmiä kehitettäessä, ja sitä tarvitaan muun muassa mikroverkkojen saarekekäytössä. (Sarvaranta 2010.)

¹³⁶ Sarvaranta 2010.

¹³⁷ Energiateollisuus 2010.

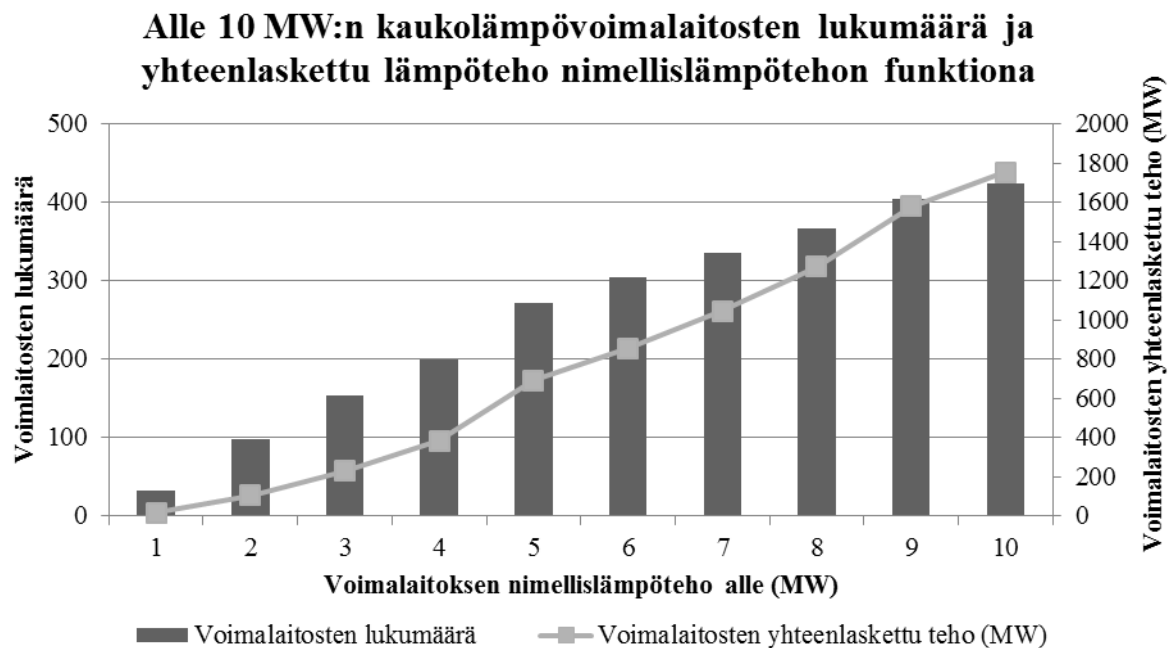
¹³⁸ Energiateollisuus 2010.

¹³⁹ Ei-keskitetty lämmöntuotanto viittaa siis käytännössä kaikkeen sellaiseen tuotantoon, joka tapahtuu varsinaisten keskitettyjen lämpölaitosten (kaukolämpölaitosten) ulkopuolella.

¹⁴⁰ Suomessa kiinteistökohtaisen lämmöntuotannon laajempaan alueelliseen hyödyntämiseen tähtäviä sovelluksia tai kehitysprojekteja on ollut toistaiseksi vain muutamia: Jyväskylän asuntomessualueella on toteutettu pilottihanke, jossa omakotitalossa tuotettua aurinkolämpöä voidaan siirtää kaukolämpöverkkoon (Jyväskylän Energia: ”Älykkäät energiaratkaisut”); Turku Energia ja VTT puolestaan suunnittelevat yhteistyössä uudenlaista kaksisuuntaista matalalämpötilaista kaukolämpöverkkoa Turussa sijaitsevan Skanssin alueelle (Turku Energia 2015).

¹⁴¹ Gaia Consulting 2014a.

16). Näin ollen jonkinlaista kaukolämmön pientuotantoa on jo nykyisellään olemassa, vaikka tämän tuotannon kokonaisvolyymi jäisikin verrattain pieneksi.



Kuva 16. Alle 10 MW:n tilastoitujen kaukolämpövoimalaitosten lukumäärä ja yhteenlaskettu lämpöteho nimellislämpötehon mukaan luokiteltuna. Aineistolähde: Energiatiedot 2014.

Toisaalta jos lämmön pientuotannolla tarkoitetaan ylipäänsä sellaista tuotantoa, joka tapahtuu varsinaisten kaukolämpölaitosten ulkopuolella, teollisuuden ylijäämälämmön hyödyntäminen muodostaa kokonaisuuden, jonka yhteydessä hajautettua kaukolämmön tuotantoa koskevia kysymyksiä on jo jouduttu pohtimaan.¹⁴²

Teollisuuden prosesseista saatavan ylijäämälämmön tehollinen ja vuosituotannollinen volyyymi on kuitenkin melko suuri verrattuna tyypillisiin kiinteistökohtaisiin sovelluksiin¹⁴³, minkä vuoksi aiemmin hyväksi ja toimiviksi havaittuja ratkaisuja ei välttämättä voida sellaisenaan käyttää pienimuotoisemman hajautetun tuotannon kohdalla. Tästä huolimatta tietyt kaukolämpöverkkoa ja siihen liittymistä koskevat huomiot pätevät myös kiinteistökohtaisessa hajautetussa tuotannossa.

Kaukolämpötoimintaa ei Suomessa ole säännelty erityislainsäädännöllä, ja kaukolämpöön liittyvä liiketoiminta perustuu eri osapuolten välisiin sopimuksiin, jotka voidaan laatia osapuolten välillä vapaasti. Näin ollen sopimusehdot on mahdollista räätälöidä tapauskohtaisesti, mikä edellyttää sopijaosapuolilta perehtyneisyyttä ja kykyä määrittää asianmukaiset sopimustekniset seikat erilaisissa tilanteissa. Yleisesti

¹⁴² Myös teollisuuden ja kaukolämpöyhtiöiden välinen yhteistyö on melko kehittymätöntä ja hyödyntämisaste on hyvin alhainen: kaikesta teollisuuden ylijäämälämpömäärästä vain noin 0,5 % käytetään edelleen hyväksi tehtaiden ulkopuolella; silti kaukolämmitykseen hyödynnetty ylijäämälämpömäärä (noin 770 gigawattituntia vuodessa) vastaa noin 2,5 %:a Suomen kaukolämpöenergiasta (YIT 2010).

¹⁴³ Teollisuuden ylijäämälämpöön liittyvät lämpötehot ovat tavanomaisesti vähintään kymmeniä mutta usein satoja megawatteja, mikä vastaa kokoluokaltaan vähintään kymmenien mutta jopa tuhansien gigawattituntien suuruista lämmön tuotantoa (YIT 2010). Kokoluokkansa puolesta kyseessä voisi olla keskitetty lämmöntuotanto, ja ero kiinteistökohtaisiin sovelluksiin on huomattava; esimerkiksi puolen hehtaarin keskitetyllä aurinkokeräimellä voidaan odottaa noin kahden gigawattitunnin vuosituotantoa Suomen oloissa, ja yhden suuripinta-alaisen kiinteistökohtaisen aurinkolämpöjärjestelmän odotettavissa oleva vuosituotanto on tästä noin yksi kahdeskymmenesosa eli suuruusluokkaa sata megawattituntia (Pöyry 2013).

ottaen kaukolämmön ostajien ja tuottajien tarpeet sekä tekniset reunaehdot voivat vaihdella suuresti, mikä hankaloittaa yleispätevien sopimuskäytäntöjen laatimista.¹⁴⁴

Kaukolämmölle tunnuksenomaista on paikallisuus: kaukolämmön tuotanto ja jakelu on aina optimoitu paikallisen kulutuksen mukaan, sillä kaukolämmöllä ei ole valtakunnallista verkkoa kuten sähköllä. Tämä ei ole este uuden tuotannon liittämiseksi kaukolämpöverkkoon, mutta kulutuksen, tuotannon ja siirron yhteensovittaminen on aina tapauskohtaisesti määritettävä kolmansien osapuolien (pientuottajien) verkkoon pääsyä suunniteltaessa.¹⁴⁵

Kaukolämpölaitosten ulkopuolisten tuotantoyksiköiden vaikutukset kaukolämmön keskitettyyn tuotantoon ja siirtoon riippuvat huomattavasti verkkoon liitettävän tuottajan koosta: yksittäisen pienen tuottajan vaikutukset ovat hyvin vähäiset, mutta mikäli useita lämpöä tuottavia kiinteistöjä tai suuremman kokoluokan pientuotanto liitettäisiin verkkoon, on kaukolämpöyhtiön tarpeellista ennakoita mahdolliset vaikutukset.¹⁴⁶

Yleisesti ottaen verkkoon liitettävän pientuotannon tulisi sijaita lähellä kaukolämpöverkkoa, ja lämmönlähteen tulisi olla teknisesti ja taloudellisesti hyödynnettävissä; yksittäisen kohteen potentiaali riippuukin siitä, mikä on taloudellisesti järkevä kokoluokka, jotta lämmön talteenoton ja siirron investoinnit olisivat kannattavia.¹⁴⁷ Käytännössä tämä on tarkoittanut tehollista alarajaa¹⁴⁸, jota pienemmän tuotannon hyödyntämisen kustannukset ylittävät verkkoon liittämistä saavutettavat hyödyt. Teknis-taloudellisesti määrittyvä tehollinen alaraja voi puolestaan olla merkittävä este kiinteistökohtaisen lämmön pientuotannon hyödyntämiseksi kaukolämpönä.

Kaukolämpöverkot on rakennettu siten, että tuotantolaitosten lähellä siirtojohdot ovat suurimpia ja kaukana tuotantolaitoksista pienempiä. Siirtojohtojen koko (veden virtaama) puolestaan määrittää sen, kuinka suuri lämpöteho saadaan siirrettyä. Näin ollen mikäli uutta tuotantolaitosta ei sijoiteta olemassa olevien runkojohtojen varrelle, joudutaan investoimaan uusiin siirtojohtoihin, jotta uuden tuotantolaitoksen lämpöteho saadaan jaettua.¹⁴⁹

Kaukolämmön pientuotannon osalta ei ole itsestään selvää, kuinka järeää kaukolämpöverkkoa ko. tuotannon hyödyntäminen edellyttää. Vaikka pienimuotoinen lämpöteho voidaankin saada siirrettyä verkon virtauskapasiteetin puolesta, pientuotannosta saatavan lämmön lämpötila määrittää sen, voidaanko pientuotanto liittää kaukolämpöverkon meno- vai paluupuolelle.¹⁵⁰ Hieman suuremman mittaluokan hajautetun tuotannon – kuten teollisuuden ylijäämälämmön – kohdalla myös liitoksen sijainnilla on enemmän merkitystä, ja liityttäessä kaukolämmön paluujohtoon tuleekin varmistaa, että kytkentäpisteessä on riittävästi virtausta eli että liitoskohta on päärunkolinjassa tai lähellä primäärilämmön lähdeä eli varsinaista kaukolämpövoimalaa.¹⁵¹

Kaukolämpöverkon menoveden lämpötila Suomessa vaihtelee kuormituksen mukaan 65–115 °C välillä, ja paluueden lämpötila vaihtelee vastaavasti 45–60 °C välillä; menoveden keskimääräinen lämpötila on noin 85 °C ja paluueden noin 50 °C.¹⁵² Kaukolämmön menolämpötilaa laitoksilta säädetään ulkolämpötilan mukaan, ja lähtökohtaisesti kaikki tuotantolaitokset tuottavat saman lämpöistä vettä samalla ajanhetkellä.¹⁵³ Pientuotannosta saatavan lämmön lämpötilan ollessa vähintään 55 °C voidaan sitä siirtää suoraan

¹⁴⁴ Gaia Consulting 2014a.

¹⁴⁵ Pöyry 2013.

¹⁴⁶ Pöyry 2013.

¹⁴⁷ Gaia Consulting 2014a.

¹⁴⁸ Teollisuuden ylijäämälämmön kohdalla tehollisena alarajana on tyypillisesti pidetty 100 kW (Gaia Consulting 2014a).

¹⁴⁹ Pöyry 2013.

¹⁵⁰ Pöyry 2013.

¹⁵¹ YIT 2010.

¹⁵² YIT 2010.

¹⁵³ Pöyry 2013.

lämmönsiirtimellä kaukolämpöverkon paluuveteen, kun taas lämpötilan ollessa alle 55 °C tarvitaan yleensä lämpöpumppua ylijäämälämmön hyödyntämiseen.¹⁵⁴

Vaihtoehtoisesti hajautetusti tuotettua lämpöä voidaan syöttää erilliseen matalalämpöiseen lämpöverkkoon, jolloin ei tarvita lisälämmitystä, minkä ansiosta voidaan välttyä ylimääräisten lämmityslaitteiden aiheuttamilta kustannuksilta. Tällainen ratkaisu voikin sopia erityisen hyvin hajautetun lämmöntuotannon alueellisen hyödyntämiseen, kunhan tavanomaista kaukolämpöverkkoa matalampi lämpötila otetaan jo suunnitteluvaiheessa asianmukaisesti huomioon.

Matalalämpötilaista lämpöä voidaan käyttää järjestelmissä, joissa kuluttajalaitteiden mitoitus tehdään normaalia lämmitysverkosta matalammilla lämpötilatasoilla. Esimerkiksi lattialämmityksen käyttö sopii erityisen hyvin matalille lämpötiloille, kun taas radiaattorilämmityksessä matalien lämpötilojen soveltuvuus ja tarvittavat muutokset tulee aina erikseen tarkastaa. Matalalämpötilaisissa verkoissa käyttöveden lämpötila voi jäädä liian alhaiseksi (alle 55 °C), jolloin käyttövedettä täytyy lisälämmittää sähköllä, kaukolämmön menovedellä, lämpöpumpulla tai aurinkoenergialla.¹⁵⁵

Alhaisimmillaan matalalämpötilaisissa lämmitysjärjestelmissä voidaan käyttää 35–40 °C menolämpötilaa, jolloin paluulämpötila on noin 25–30 °C. Tällaisissa lämmitysjärjestelmissä lämmitysveden jäähtymä on vähäistä, jolloin verkoston virtaamat ja pumppauskustannukset voivat puolestaan nousta suuriksi.¹⁵⁶

Putkistoina matalalämpötilajärjestelmissä voidaan käyttää valmiiksi eristettyjä kelalta asennettavia muoviputkia, joiden asennuskustannukset ovat noin 30–40 % pienemmät kuin samankokoisen teräsputkiston. Putkikoot pienillä jäähtymillä ovat kuitenkin yhden tai jopa kaksi kokoa suuremmat kuin tavallisilla lämpötilatasoilla, jolloin menetetään edullisemmasta asennuskustannuksista saatavaa hyötyä.¹⁵⁷

Matalammasta lämpötilasta johtuen lämpöhäviöt ovat noin 20–40 % pienemmät kuin normaalilla kaukolämpöputkella, mutta pienemmän jäähtymän (suurempi virtaama) vuoksi joudutaan valitsemaan suurempi putkikoko kuin normaalilla kaukolämpöputkella. Suuremman putkikoon vuoksi lämpöhäviöt kasvavat, mutta lämpöhäviöt ovat silti kokonaisuudessaan pienemmät kuin normaalilla kaukolämpöputkella.¹⁵⁸

Kaukolämpöyhtiön sähkön ja lämmön yhteistuotanto (CHP-tuotanto) rajoittaa merkittävästi mahdollisuutta hankkia varsinaisen kaukolämpölaitoksen ulkopuolella tuotettua lämpöä, sillä CHP-laitoksen sähköntuotannon hyötysuhde saattaa laskea, mikäli paluupuolelle syötetään lämpöä. Kaukolämpöyhtiölle on usein taloudellisesti kannattavampaa tuottaa samalla sähköä, vaikka hajautetusti tuotettua lämpöä olisi helposti saatavilla, mikä heikentää mahdollisuuksia hyödyntää pientuotannon potentiaalia kaukolämmön piirissä.¹⁵⁹

Sen sijaan kaukolämpöyhtiössä, jossa tuotetaan vain lämpöä, on periaatteessa melkein aina kannattavaa hyödyntää hajautetusti tuotettua lämpöä, mikäli se maksaa vähemmän kuin lämmön tuottaminen muulla tavoin. Tuotantokustannuksissa polttoaineen hinnalla on merkittävä rooli, ja kaasun tai kevyen polttoöljyn käyttö polttoaineena tekee hajautetusti tuotetun lämmön hankinnan usein kannattavaksi.¹⁶⁰

Kokonaisuuden kannalta on oleellista huomioida myös etenkin kiinteitä polttoaineita käyttävien laitosten mitoitus ja erityisesti minimitehot eli ne teholliset raja-arvot, joita pienemmällä tehoilla lämpöä ei ko. laitoksissa pystytä tuottamaan. Mikäli minimitehoja ei huomioida lämmöntuotantorakenteen muutosten suunnittelussa, saattaa hajautettu lämmöntuotanto pakottaa ajamaan kiinteän polttoaineen

¹⁵⁴ Gaia Consulting 2014a.

¹⁵⁵ YIT 2010.

¹⁵⁶ YIT 2010.

¹⁵⁷ YIT 2010.

¹⁵⁸ YIT 2010.

¹⁵⁹ Gaia Consulting 2014a.

¹⁶⁰ Gaia Consulting 2014a.

peruskuormalaitoksia alas, jolloin lämmön tuotannosta aiheutuvat kustannukset ja päästöt kasvaisivat huippukattiloiden käytön lisääntyessä.¹⁶¹

Alueelliset edellytykset ja tuotantopotentiaalin alueellinen jakautuminen

Hajautetun energiantuotannon edellytykset ja tuotantopotentiaali vaihtelee alueittain, ja yleisesti ottaen voidaan todeta, että tiiviillä asuinalueilla ja taajamissa erilaisia (kannattavia) energiahuoltoratkaisuja on tarjolla enemmän kuin harvaan asutuilla haja-asutusalueilla.¹⁶² Tämä pätee erityisesti hajautetun lämmöntuotannon suhteen, sillä lämmön siirto tuotantolaitoksesta käyttökohteeseen on jo suhteellisen lyhyillä etäisyyksillä huomattavasti haasteellisempaa. Käytännössä hajautetusti tuotetun lämmön siirto edellyttääkin aluelämpöverkon perustamista, mikä puolestaan tarkoittaa aina merkittäviä investointeja.¹⁶³

Toisaalta alueellisista tekijöistä johtuvat haasteet hajautetussa lämmöntuotannossa heijastuvat myös hajautettuun sähköntuotantoon, sillä sähkön ja lämmön yhteistuotannossa (CHP) tuotannon volyyymi mitoitetaan aina lämmöntarpeen perusteella. Näin ollen pienimuotoisessa yhteistuotannossa paikallinen lämpöverkko mitoitetaan palvelemaan kyseisen alueen kuluttajia, ja itse tuotetun sähkön määrä määräytyy lämpökuorman perusteella. Tällöin kun tuotantolaitoksen piirissä oleva lämpökuorma on pieni – johtuen esimerkiksi lämmön siirtoon liittyvistä ongelmista – osa sähköstä joudutaan lähtökohtaisesti hankkimaan muilla keinoin kuin yhteistuotantoon tarkoitettulla laitteistolla.¹⁶⁴

Pienimuotoisen yhteistuotannon suurin etu on sen korkea hyötysuhde, joka perustuu yhteistuotantotekniikkaan sekä lyhyisiin siirtoetäisyyksiin, kun sähkö- ja lämpöenergiaa ei tarvitse kuljettaa pitkiä matkoja. Haja-asutusalueilla lämpöverkon rakennuskustannukset voivat kuitenkin muodostua hyvin suuriksi suhteessa lämpökuormaan sekä hyödynnettävän lämmön määrään, ja myös tuotantokustannukset ovat yleensä selvästi korkeammat kuin suuremman mittakaavan tuotannossa. Päästöjen hallinta on niin ikään helpompi toteuttaa suuressa mittakaavassa.¹⁶⁵

Rakennusten ostoennergian tarpeen vähetessä alueellinen lämpökuorma pienenee, jolloin kaukolämmön ja aluetason ratkaisujen kannattavuus heikkenee. Rakennusten ostoennergian tarpeeseen vaikuttaa ennen kaikkea rakennusten energiatehokkuus ja kiinteistökohtaisten (uusiutuvien) energialähteiden käyttö. Erityisesti lämpöpumput ovat yleistyneet viime vuosina voimakkaasti, ja ne ovatkin nousseet suosituimmaksi tavaksi kiinteistökohtaisen uusiutuvan energian käyttöön (ks. myös Kuva 6). Lämpöpumppujen käyttö siis toisaalta vähentää lämmön tarvetta ja toisaalta kuitenkin lisää sähkön kulutusta, minkä vuoksi lämpöpumppujen sovittaminen yhteen hajautetun pien-CHP:n kanssa on verrattain ongelmallista.¹⁶⁶

Lämpöä voidaan tuottaa myös polttoaineilla talokohtaisesti tai korttelikohtaisesti ilman sähköntuotantoa; tällöin puhutaan erillisestä hajautetusta lämmöntuotannosta, jonka suurimman yksittäisen ongelman muodostavat hiukkas- ja typenoksidipäästöt, jotka ovat helpommin hallittavissa suuren mittakaavan laitoksissa.¹⁶⁷

Hajautetussa lämmöntuotannossa voidaan käyttää monenlaisia polttoaineita, kuten puupohjaisia kiinteitä polttoaineita ja erilaisia kaasumaisia polttoaineita. Eri polttoaineet voivat edellyttää eritasoista tekniikkaa ja vaihtelevan määrän tilaa, ja eri polttoaineiden soveltuvuus kuhunkin tilanteeseen riippuu tuotannon volyymistä; jotkin polttoaineet soveltuvat esimerkiksi paremmin talokohtaisiin ratkaisuihin, toiset taas aluekohtaiseen lämmöntuotantoon.

¹⁶¹ Pöyry 2013.

¹⁶² Motiva 2010.

¹⁶³ Motiva 2010.

¹⁶⁴ Sitra 2010a.

¹⁶⁵ Sitra 2010a.

¹⁶⁶ Sitra 2010b.

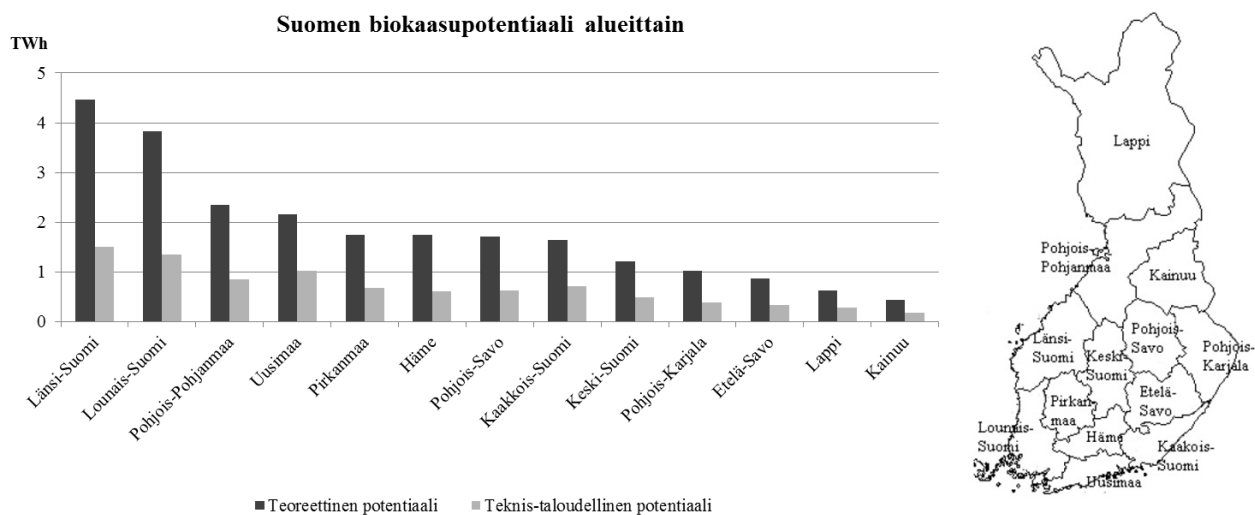
¹⁶⁷ Sitra 2010b.

Puupolttoaineita voidaan käyttää sekä talokohtaisessa lämmityksessä että aluelämpökeskuksissa. Viime vuosina erityisesti pellettilämmitys on kasvanut Suomessa, ja pelletit sopivat hyvin pienen mittakaavan ratkaisuihin. Pientalojen pellettilämmityksen etuina muihin hajautettuihin järjestelmiin verrattuna ovat laitteiston kohtuullinen hankintahinta, lämmityksen vaivattomuus ja vähäinen huoltotarve. Pellettejä poltetaan polttimessa, joka kytketään kattilaan vesikiertoisessa lämmitysjärjestelmässä. Pellettejä voidaan polttaa myös pellettitakassa tai -kamiinassa lisälämmön lähteenä jonkin muun päälämmitysmuodon rinnalla.¹⁶⁸

Pellettejä käytettäessä rakennuksessa on oltava tilaa pellettien varastoinnille: tonni pellettiä vaatii noin 1,5 kuutiometriä varastotilaa, ja pientaloon sopiva varasto on usein noin 8–10 kuutiota. Suurempi, mahdollisesti useamman talon yhteinen varasto kuitenkin mahdollistaa tilaukset suuremmissa ja edullisemmissa erissä, mutta varaston pitäisi joka tapauksessa olla lähellä käyttökohdetta. Pellettivarastoa pitää sopia myös täyttämään isollakin jakeluautolla enintään 15 metrin etäisyydeltä.¹⁶⁹

Puupolttoaineista hake soveltuu paremmin yksittäisiä taloja suurempiin ratkaisuihin, kuten korttelien tai julkisten rakennusten lämmitykseen. Hakkeen käsitteleminen on pellettejä selvästi vaikeampaa ja tilavaatimus suurempi, mutta hakkeen polttoainekustannukset ovat pellettejä alhaisemmat. Aluelämmitykseen soveltuvan noin 500 kW:n kiinteän puupolttoainekattilan vuotuinen polttoainetarve on noin 2 000 MWh haketta. Hakekattila tarvitsee rinnalle öljykattilan varakattilaksi ja huipputehon tuottajaksi.¹⁷⁰

Kaasumaisten polttoaineiden osalta vaihtoehdot ovat käytännössä maakaasu, biokaasu ja biomassan kaasutuksesta saatava synteesikaasu (yleensä puukaasu). Hajautetussa ratkaisussa maakaasua käyttävä toimiva lämmitysjärjestelmä koostuu talokohtaisesta lämmityskattilasta, siihen liitetystä kaasupolttimesta ja vesikiertoisesta lämmönjakojärjestelmästä; näin ollen maakaasulämmitys on hyvin samantyyppinen kuin öljylämmitys, mutta tuottaa neljänneksen vähemmän hiilidioksidipäästöjä kuin öljylämmitys, eikä maakaasu ei juuri aiheuta hiukkas- tai rikkipäästöjä.¹⁷¹ Maakaasun alueellinen saatavuus on kuitenkin öljyä heikompi, sillä maakaasua ei ole mahdollista varastoida kuten öljyä, vaan järjestelmä liitetään paikkakunnan jakeluverkostoon, mikä siis edellyttää kohteen edullista sijaintia maakaasuverkoston nähden.¹⁷²



Kuva 17. Suomen teoreettinen ja teknis-taloudellinen biokaasupotentiaali (biometaani ja -vety) alueittain sekä käytetty aluejako. Aineistolähde: Tähti & Rintala 2010.

¹⁶⁸ Sitra 2010a.

¹⁶⁹ Sitra 2010a.

¹⁷⁰ Sitra 2010a.

¹⁷¹ Sitra 2010a.

¹⁷² Motiva: ”Maakaasu.”

Biokaasua voidaan käyttää maakaasun tapaan, ja sitä on mahdollista myös lisätä maakaasun sekaan. Biokaasun raaka-aineena voidaan käyttää esimerkiksi maatilojen biojätteitä ja lantaa, jätevedenpuhdistamoiden lietettä sekä puunjalostus- ja elintarviketeollisuuden orgaanisia jätteitä. Lisäksi kaatopaikoilla muodostuu metaania orgaanisen jätteen hajotessa.¹⁷³

Suurin osa Suomen biokaasulaitoksista on pieniä yhdistetyn sähkön ja lämmön tuottajia eli pien-CHP-laitoksia, joissa tuotetaan lämpö- ja sähköenergiaa laitoksen omaan käyttöön tai muuten paikallisesti, mutta kaikista pienimmät laitokset tuottavat yleensä vain lämpöenergiaa. Lämpöenergian tuotannossa kaasu poltetaan paikallisen lämpölaitoksen kattilassa, kun taas yhdistettyyn sähkön- ja lämmöntuotantoon voidaan käyttää kaasumoottoreita tai mikroturbiiniyksiköitä.¹⁷⁴

Suomen biokaasuntuotantopotentiaali ei jakaannu tasaisesti ympäri maata, vaan tietyillä alueilla on sopivia raaka-aineita saatavilla huomattavasti toisia alueita enemmän (ks. Kuva 17). Potentiaali keskittyy Länsi- ja Lounais-Suomeen sekä Pohjois-Pohjanmaalle, missä on paljon maataloudesta peräisin olevia peltobiomassoja ja lantaa; Uudellamaalla puolestaan on käytettävissä huomattavia määriä yhdyskunnan toiminnasta aiheutuvia jakeita, kuten biojätettä ja kaatopaikkakaasuja.¹⁷⁵

Kaasumoottorivoimaloiden kokoluokka alkaa tyypillisesti noin 200 kW:n laitoksista, ja laitoksia voidaan rakentaa lisää alueen kasvaessa. Yksi moottorivoimalaitos voi siis tuottaa lämpöä esimerkiksi muutaman kymmenen rakennuksen lämmöntarpeen verran, minkä lisäksi laitokset tuottavat sähköä, vaikka laitokset mitoitetaan yleisesti ottaen lämpökuorman mukaan. Kaasua käyttävien mikroturbiinien – kokoluokka noin 25–250 kW – hinnat ovat vielä moninkertaiset kaasumoottoreihin verrattuna, mutta niiden etuina ovat niiden pieni koko ja hiljainen ääni. Talokohtaisiin sovelluksiin voidaan puolestaan käyttää Stirling-moottoreita, joiden kokoluokka alkaa 2 kW:n yksiköistä.¹⁷⁶

Biomassaa ja kierrätyspolttoaineita voidaan hyödyntää sähkön ja lämmön pienimuotoisessa yhteistuotannossa kaasuttamalla, jolloin erityisesti sähköntuotannon hyötysuhdetta saadaan parannettua. Tuotekaasua voidaan periaatteessa käyttää muun muassa kaasumoottoreissa, kaasuturbiineissa, mikroturbiineissa ja polttokennoissa¹⁷⁷, mutta tuotekaasun epäpuhtaus asettaa ainakin toistaiseksi rajoituksia laiteteknologian valintaa ajatellen, minkä vuoksi kaasumoottorit ovat nykyisellään yleisin ja laitteiden keston kannalta turvallisin ratkaisu.¹⁷⁸ Kaasutusratkaisut soveltuvat parhaiten usean rakennuksen yhteiseen lämpöverkkoon tai hieman suuremman mittaluokan kohteisiin.¹⁷⁹

Polttoperusteisten lämmitysratkaisuiden ohella lämpöpumput muodostavat oleellisen osan hajautetusta lämmöntuotannosta. Erilaisista lämpöpumpuista erityisesti maalämpöpumppujen ja ilmalämpöpumppujen

Taulukko 5. Asuin- ja palvelurakennusten lämpöpumppujen lukumäärä, kapasiteetti, lämmön nettovuosituotanto ja sähkön kulutus vuonna 2013 tilastokeskuksen mukaan. Aineistolähde: Tilastokeskus 2014.

	Lukumäärä		Kapasiteetti		Lämmön vuosituotanto		Sähkön kulutus	
	Kpl	%	MW	%	GWh	%	GWh	%
Maalämpöpumput	83 677	14,6	787	25,0	2 418	30,0	706	18,6
Ilmavesilämpöpumput	9 499	1,7	111	3,5	256	3,2	141	3,7
Ilmalämpöpumput	456 964	79,7	2 175	69,0	5 252	65,2	2 918	76,7
Poistoilmalämpöpumput	23 066	4,0	77	2,4	126	1,6	40	1,1
Yhteensä	573 206	100	3 150	100	8 052	100	3 805	100

¹⁷³ Sitra 2010a.

¹⁷⁴ Motiva: ”Biokaasun hyödyntäminen.”

¹⁷⁵ Tähti & Rintala 2010.

¹⁷⁶ Sitra 2010a.

¹⁷⁷ Sitra 2010a.

¹⁷⁸ Europaeus 2014.

¹⁷⁹ Sitra 2010a.

osuus on niin laitteistojen lukumäärän, tuotantopotentialin kuin vuosituotannon kannalta merkittävin (ks. Taulukko 5).

Talokohtainen maalämmitys on yleensä kilpailukykyisin normaalia suuremmissa pientaloissa, joissa lämmöntarve on suurehko. Lämmönkeruuputkiston mitoitukseen vaikuttavat lämpöpumpun tyyppi, tarvittava lämmitysteho sekä maaperän ominaisuudet. Porakaivo on yleisin lämmönlähde maalämmölle: kaivon maksimisyvyys on noin 150–200 metriä, ja kaivoja voidaan rakentaa myös useita, jolloin niiden on oltava noin 15–20 metrin etäisyydellä toisistaan.¹⁸⁰

Keskitettyssä maalämpöratkaisussa toimintaperiaate on sama kuin talokohtaisessa maalämmityksessä, mutta järjestelmä mitoitetaan ja rakennetaan vastaamaan useamman kiinteistön tarpeita. Lämpöpumput sijoitetaan keskitetysti huoltorakennuksiin ja lämpö tuodaan niille lämpökaivokentiltä, joissa on useita kaivoja. Keskittämisen ansiosta maalämpöjärjestelmä voi olla jopa 30 prosenttia tehokkaampi kuin kiinteistökohtaiset maalämpöpumput. Katujen varret ja esimerkiksi leikkikentät ovat otollisia lämpökaivojen sijoituspaikkoja.¹⁸¹

Ilmalämpöpumppujen lämmöntuotantoon ja siitä saatavaan energiansäästöön (suhteessa puhtaaseen sähkölämmitykseen) vaikuttaa laitteen sijoittelu, maantieteellinen sijainti ja sen käyttötapa. Yleisesti ottaen laite tulisi sijoittaa siten, että aurinko lämmittää sitä mahdollisimman paljon, koska ilmalämpöpumpun lämpökerroin heikkenee huomattavasti ilman viiletessä. Maantieteellinen sijainti on sitä parempi laitteen lämpökertoimelle mitä lämpimämpi ilmasto on kyseessä.¹⁸²

Aurinkosähkön ja pientuulivoiman osalta voidaan todeta, että niillä ei sähkön varastoinnin hankaluuden vuoksi voida taata omavaraisuutta sähköntuotannon suhteen suuressa mittakaavassa, vaan kyseiset ratkaisut ovat enemmänkin keinoja vähentää verkosta ostettavan sähkön määrää. Tämä pätee sekä tiiviiden asuinalueiden ja taajamien että haja-asutusalueiden kohdalla, vaikka siirtoetäisyyksien ja -häviöiden kasvaessa haja-asutusalueilla on oman pienimuotoisen tuotannon lisääminen tyypillisesti suhteessa houkuttelevampaa.¹⁸³

¹⁸⁰ Sitra 2010a.

¹⁸¹ Sitra 2010a.

¹⁸² Sitra 2010a.

¹⁸³ Motiva 2010.

6. Hajautetut lämpölaitokset ja pien-CHP päästökysymyksenä

Yksi hajautetun energiantuotannon keskeisimmistä haasteista liittyy päästöihin sekä erilaisten päästöjen hallintaan, ja erityisesti polttoperusteisessa energiantuotannossa keskitetty ratkaisu voi olla ilmaan tulevien päästöjen kokonaismäärän kannalta tehokkaampi ja toimivampi vaihtoehto. Suurimittakaavaisessa keskitetyssä tuotannossa tekniikat ovat yleisesti ottaen hyvin pitkälle kehittyneitä ja tehokkaiden päästövähennysteknologioiden käyttö on suhteessa edullisempaa. Keskitetyssä tuotannossa toimijoita on verrattain pieni määrä, toimijat ovat ammattimaisia ja toiminnan sääntely lainsäädännöllisten päästörajojen avulla on helpompaa. Lisäksi hajautetussa tuotannossa polttoprosessin savukaasut johdetaan ilmakehään tyypillisesti suhteellisen matalien piippujen kautta, jolloin ne leviävät pienemmälle alueelle ja niiden vaikutus paikalliseen ilmanlaatuun on suhteellisesti suurempi.

Tässä luvussa käsitellään hajautettua lämmöntuotantoa ja pienimuotoista CHP:ta ilmaan tulevien päästöjen näkökulmasta. Tarkastelu keskittyy polttoperusteisiin energiantuotantotekniikoihin ja erityisesti uusiutuvien polttoaineiden hajautetusta käytöstä aiheutuviin kasvihuonekaasu- ja ilmansaastepäästöihin sekä hajautettua tuotantoa koskevaan päästölainsäädäntöön.

Kasvihuonekaasut

Tärkeimmät energiantuotantoon liittyvät kasvihuonekaasut ovat hiilidioksidi (CO₂) ja metaani (CH₄). Hiilidioksidipäästöt aiheutuvat yleisesti ottaen fossiilisiin polttoaineisiin varastoituneen hiilen vapautumisesta ilmakehään polttoprosessin seurauksena. Energiantuotannon metaanipäästöt puolestaan viittaavat lähinnä hyödyntämättä jääneeseen metaaniin, eli käytännössä metaanivuotoihin ja polttoprosessissa palamatta jääneeseen osuuteen, joka poistuu tuotantolaitteistosta pakokaasujen mukana. Tässä alaluvussa keskitytään hiilidioksidiin ja siihen, kuinka polttoperusteinen hajautettu energiantuotanto ja sen piirissä tehdyt ratkaisut voivat vaikuttaa syntyvien hiilidioksidipäästöjen määrään.

Polttoperusteisessa hajautetussa energiantuotannossa pyritään yleisesti ottaen vähentämään hiilidioksidipäästöjä, minkä vuoksi hyödynnetään tyypillisesti biopolttoaineita. Biopolttoaineet voivat olla teoreettisessa tarkastelussa hiilineutraaleja, mutta käytännössä niidenkin tuotanto, kuljetus ja hyödyntäminen aiheuttavat hiilidioksidipäästöjä. Toisaalta paikallisten resurssien hyödyntäminen osana hajautettua tuotantoa voi olla kokonaispäästö määrän kannalta edullista.

Bioenergian käyttö ei periaatteessa lisää ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta, jos uutta biomassaa kasvaa yhtä paljon kuin sitä käytetään: biopolttoaineiden käytöstä ilmaan vapautuvan hiilen ajatellaan siis sitoutuvan jälleen biomassaan, jolloin ilmakehän kokonaishiilimäärä ei kasva. Tämän vuoksi biopolttoaineiden poltossa vapautuvaa hiilidioksidia ei oteta mukaan laskettaessa biopolttoaineiden kasvihuonekaasupäästöjä, mutta elinkaariajattelun periaatteiden mukaan biopolttoaineiden käytön ilmastonmuutosvaikutusta tulee tarkastella ottaen huomioon koko elinkaari-ajan aikaiset kasvihuonekaasupäästöt.¹⁸⁴

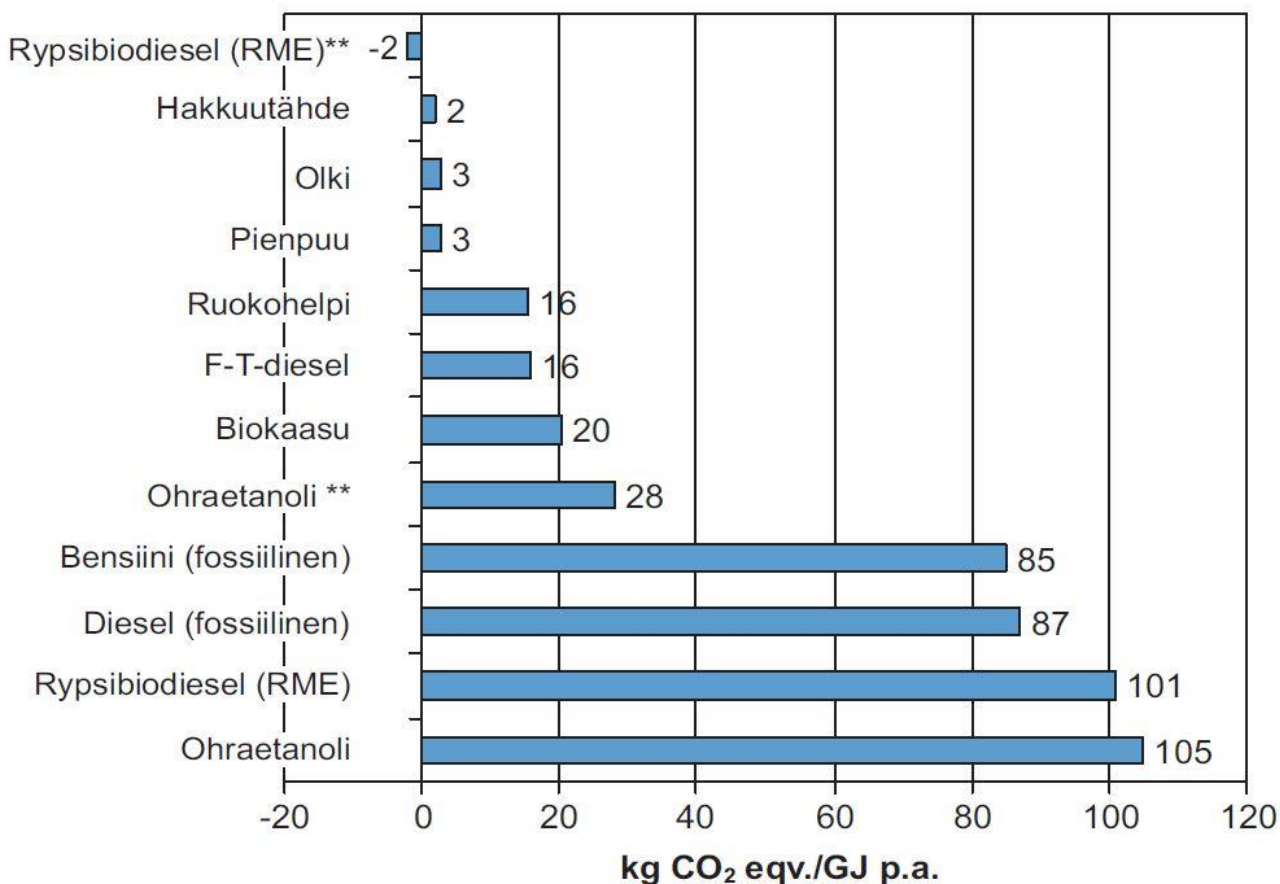
Suomen kotimainen bioenergian tuotanto perustuu pääosin metsäbiomassaan, jota saadaan suoraan metsätaloudesta ja metsäteollisuuden sivuvirroista.¹⁸⁵ Metsäbiomassan energiakäyttö ei ole päästötöntä, vaan se lisää kasvihuonekaasujen määrää ilmakehässä ja aiheuttaa lämmittävän ilmastovaikutuksen; nämä ilmakehä- ja ilmastovaikutukset johtuvat siitä, että biomassan korjaaminen pois metsästä vähentää metsiä varastoitunutta hiilimäärää ja sen polttaminen energiantuotannossa vapauttaa hiilen ilmakehään.¹⁸⁶

¹⁸⁴ Suomen ympäristökeskus 2007.

¹⁸⁵ Ilmastopaneeli 2013a.

¹⁸⁶ Suomen ympäristökeskus 2011.

Vaikka biopolttoaineiden raaka-aineena käytetään uusiutuvia biomassoja ja ne ovat tässä mielessä laskennallisesti hiilineutraaleja, polttoaineiden koko elinkaaren aikaiset kasviuonekaasupäästöt voivat olla jopa suuremmat kuin fossiilisten polttoaineiden päästöt: muun muassa rypsiä valmistetun biodieselin ja ohrasta valmistetun bioetanolin elinkaaristen kasviuonekaasupäästöjen on havaittu olevan merkittävästi suuremmat kuin fossiilisen dieselin ja bensiinin (ks. Kuva 18).¹⁸⁷



Kuva 18. Valikoitujen polttoaineiden tuotannon ja polton kasviuonekaasupäästöjä polttoaineen energiasisältöä kohden. Rypsi biodieselin ja etanolin päästöt on laskettu sekä ilman tuotantoon liittyvän oljen energiahyödyntämistä että olettaen, että olki korvaa turvetta (*) energian tuotannossa. Lähde: Suomen ympäristökeskus 2007.**

Toisaalta ns. toisen sukupolven biopolttoaineiden¹⁸⁸ kasviuonekaasupäästöt ovat huomattavasti pienemmät, ja esimerkiksi nurmesta ja ruokohelvestä valmistetun peltobiokaasun kasviuonekaasupäästöt ovat noin 23–42 % fossiilisen bensiinin tai dieselin päästöistä. Vastaavasti lannasta, elintarviketeollisuuden jätteistä ja orgaanisesta yhdyskuntajätteestä valmistetun biokaasun kasviuonekaasupäästöt ovat vain noin 13–23 % fossiilisten polttoaineiden kasviuonekaasupäästöistä. Lisäksi biokaasun tuotanto lannasta vähentää kasviuonekaasupäästöjä myös epäsuorasti, sillä perinteinen lannan varastointimenetelmä aiheuttaa suuria metaani ja ammoniakkipäästöjä.¹⁸⁹

Biomassan hyödyntämiseen liittyy hiilidioksidin sitoutumisen ja vapautumisen lisäksi myös muita maapallon lämpenemiseen vaikuttavia tekijöitä, jotka tunnetaan toistaiseksi suhteellisen epävarmasti: poltosta vapautuu tekniikasta ja käyttötavoista riippuen hyvin pieniä määriä metaania ja dityppioksidia, joilla on lämmittävä

¹⁸⁷ VTT 2006a.

¹⁸⁸ Toisen sukupolven biopolttoaineilla tarkoitetaan yleisesti sellaisia hyvälaatuisia hiilivety-polttoaineita, joihin ei liity merkittäviä käyttörajoitteita. (Suomen ympäristökeskus 2007.)

¹⁸⁹ Tuomisto 2006.

vaikutus, minkä lisäksi aiheutuu erinäisiä hiukkaspäästöjä, joilla on viilentävä vaikutus. Toisaalta hiukkaspäästöihin lukeutuvalla mustalla hiilellä on lämmittävä vaikutus. Lisäksi metsähakkuut vaikuttavat paikalliseen heijastuskertoimeen (*albedo*) ja ilman kosteusoloihin, jotka voivat vaikuttaa lämpenemiseen, kun taas metsästä vapautuvilla aerosoleilla on varsin epätarkasti tunnettu viilentävä vaikutus.¹⁹⁰

Varsinaisten polttoperusteisten energiantuotantomuotojen ja niihin liittyvien hiilidioksidipäästöjen lisäksi on aiheellista kiinnittää huomiota siihen, kuinka sähköä hyödyntävät lämmitysmuodot – erityisesti erilaiset lämpöpumput – vaikuttavat energiantuotannon hiilitaseeseen. Kasvihuonekaasupäästöjen kannalta lämpöpumppujen ja kaukolämmön välinen ero riippuu lämpöpumppujen käyttämän sähkön tuotannon päästöistä ja kaukolämmön tuotannon päästöistä, jotka vaihtelevat merkittävästi paikkakuntaakohtaisesti; tähän vaikuttavat ensisijassa käytetyt polttoaineet (tuotetaanko sähköä ja lämpöä bio- vai fossiilisilla polttoaineilla) ja toissijaisesti yhteistuotannon (CHP) osuus kaukolämmön tuotannosta sekä teollisuuden sekundäärilämmön hyödyntäminen.¹⁹¹

Lämpöpumppujen sähkönkulutus kasvaa niiden höytysuhteen laskiessa erityisesti talven kylmimpinä päivinä, jolloin sähkön kulutus on muutenkin huipussaan, minkä vuoksi lämpöpumput käyttävät huomattavan määrän lauhdevoimaloissa tuotettua sähköä. Lauhdevoimalat puolestaan käyttävät pääsääntöisesti fossiilisia polttoaineita (erityisesti kivihiiltä ja turvetta), mikä osaltaan nostaa lämpöpumppujen keskimääräistä hiilidioksidipäästökerrointa. Siis vaikka lämpöpumput kuluttavatkin sähköä huomattavasti vähemmän verrattuna puhtaaseen sähkölämmitykseen, niiden laajamittainen käyttö aiheuttaa nykyisessä energiantuotantorakenteessa merkittäviä hiilidioksidipäästöjä – myös verrattuna CHP-pohjaiseen kaukolämmöntuotantoon.¹⁹²

Ilmansaastepäästöt

Ilmansaastepäästöillä tarkoitetaan tässä raportissa sellaisia (ennen kaikkea polttoprosesseista aiheutuvia) päästöjä, joilla on mahdollisten ilmastovaikutusten lisäksi haitallisia vaikutuksia ihmisen ja ympäristön hyvinvoinnille. Tällaisia ilmansaastepäästöjä ovat muun muassa hiilimonoksidi eli häkä (CO), typen oksidit (NO_x), rikkidioksidi (SO₂) ja erilaiset pienhiukkaspäästöt (Particulate Matter eli PM)¹⁹³.

Yleisesti ottaen polttoperusteisen energiantuotannon ilmansaastepäästöjen määrä ja laatu riippuu toisaalta itse palamistapahtuman ominaisuuksista (so. käytetystä tekniikasta, laitteistosta ja käyttöolosuhteista), toisaalta polttoaineen ominaisuuksista. Hajautetusta energiantuotannosta aiheutuvien ilmansaastepäästöjen määrään vaikuttaa lähinnä kaksi tekijää: tuotannon sekä tuotantolaitteiden pieni mittakaava ja biopolttoaineiden runsas käyttö.

Tuotannon ja tuotantolaitteiden pieni mittakaava ei välttämättä suoraan tarkoita suurempia päästöjä, vaikka päästöjen hallinta ja päästövähennysteknologian käyttöönotto on suhteessa halvempaa ja helpompaa keskitettyssä tuotannossa. Biopolttoaineiden koostumus on puolestaan lähtökohtaisesti jonkin verran erilainen fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna, mikä näkyy myös syntyvien päästöjen määrässä ja koostumuksessa.

Biopolttoaineiden käytön NO_x-päästöt teollisuudesta ja voimalaitoksista eivät yleisesti merkittävästi eroa vastaavista fossiilisten polttoaineiden aiheuttamista päästöistä, vaikka teknologiakohtaisia eroja luonnollisesti onkin. Rikkidioksidipäästöt ilmaan puolestaan ovat biopolttoaineista pääsääntöisesti alhaisemmat verrattuna vastaaviin fossiilisiin polttoaineisiin, sillä biopolttoaineiden rikkipitoisuus on hyvin pieni: esimerkiksi puun

¹⁹⁰ Ilmastopaneeli 2013a.

¹⁹¹ Sitra 2010b.

¹⁹² Ilmastopaneeli 2013b.

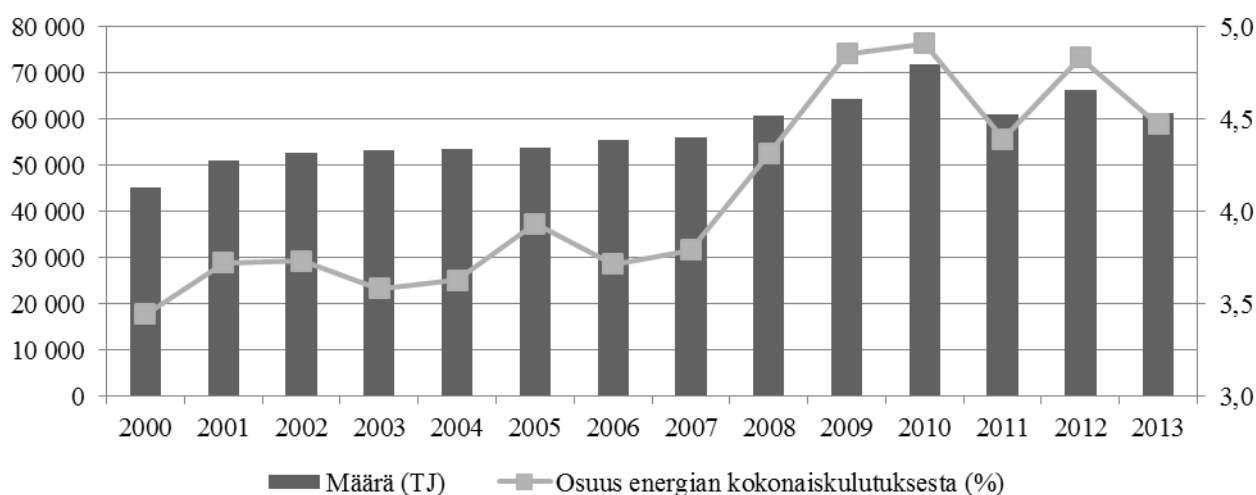
¹⁹³ Pienhiukkaset luokitellaan niiden koon mukaan: PM10 tarkoittaa pienhiukkasia, joiden aerodynaaminen halkaisija on alle 10 µm, PM2,5 ja PM1 vastaavasti halkaisijaltaan alle 2,5 µm ja 1 µm pienhiukkasia (Suomen ympäristökeskus 2007).

rikkipitoisuus on alle 0,02 %, kun taas kivihiilen rikkipitoisuus on noin 1 % ja raskaan polttoöljyn rikkipitoisuus vaihtelee välillä 0,9–2,5 %.¹⁹⁴

Hiilimonoksidi eli häkä muodostuu polttoaineen hiilen palaessa vajavaisesti heikoissa palamisolosuhteissa, minkä vuoksi erityisen suuri potentiaali hiilimonoksidipäästöihin onkin tyyppillisesti pienissä polttoyksiköissä eli juuri hajautetussa polttoperusteisessa energiantuotannossa.¹⁹⁵ Biopolttoaineiden käytön vaikutuksista hiilimonoksidipäästöihin on ristiriitaista tietoa; esimerkiksi joidenkin tutkimusten mukaan biopohjaisten polttoaineiden käyttö liikennevälineissä lisää hiilimonoksidipäästöjä verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin, kun taas toisten tutkimusten mukaan päästöt ovat vähäisemmät.¹⁹⁶ Tällä hetkellä vaikuttaakin siltä, että mitään yksiselitteistä ja yleistettävää yhteyttä biopolttoaineiden käytön ja hiilimonoksidipäästöjen määrän välillä ei ole olemassa.

Puupohjaisten ja muiden kiinteiden biopolttoaineiden käyttö ei voimalaitoskokoluokassa hiukkaspäästöjen osalta eroa merkittävästi kiinteistä fossiilisista polttoaineista, sillä suuret laitokset on varustettu tehokkailla hiukkassuodattimilla, jolloin hiukkaspäästöt ovat lähtökohtaisesti vähäisiä. Sen sijaan pienissä laitoksissa, joissa ei ole erotinlaitteita savukaasun puhdistuksessa, saattaa polttoainevalinnalla olla merkittävä vaikutus syntyvien hiukkaspäästöjen koostumukseen ja määrään.¹⁹⁷

Puun pienpoltto 2000-luvulla



Kuva 19. Puun pienpoltossa tuotettu energia ja tämän energian osuus energian kokonaiskulutuksesta Suomessa 2000-luvulla. Aineistolähde: Tilastokeskus 2014.

Hajautetussa energiantuotannossa käytettävien kiinteiden biopolttoaineiden aiheuttamia hiukkaspäästöjä voidaan arvioida suhteessa puun pienpolttoon¹⁹⁸ ja siitä aiheutuviin hiukkaspäästöihin, sillä puun pienpolttoa

¹⁹⁴ Suomen ympäristökeskus 2007.

¹⁹⁵ Ilmanlaatuportaali: ”Hiilimonoksidi.”

¹⁹⁶ Suomen ympäristökeskus 2007.

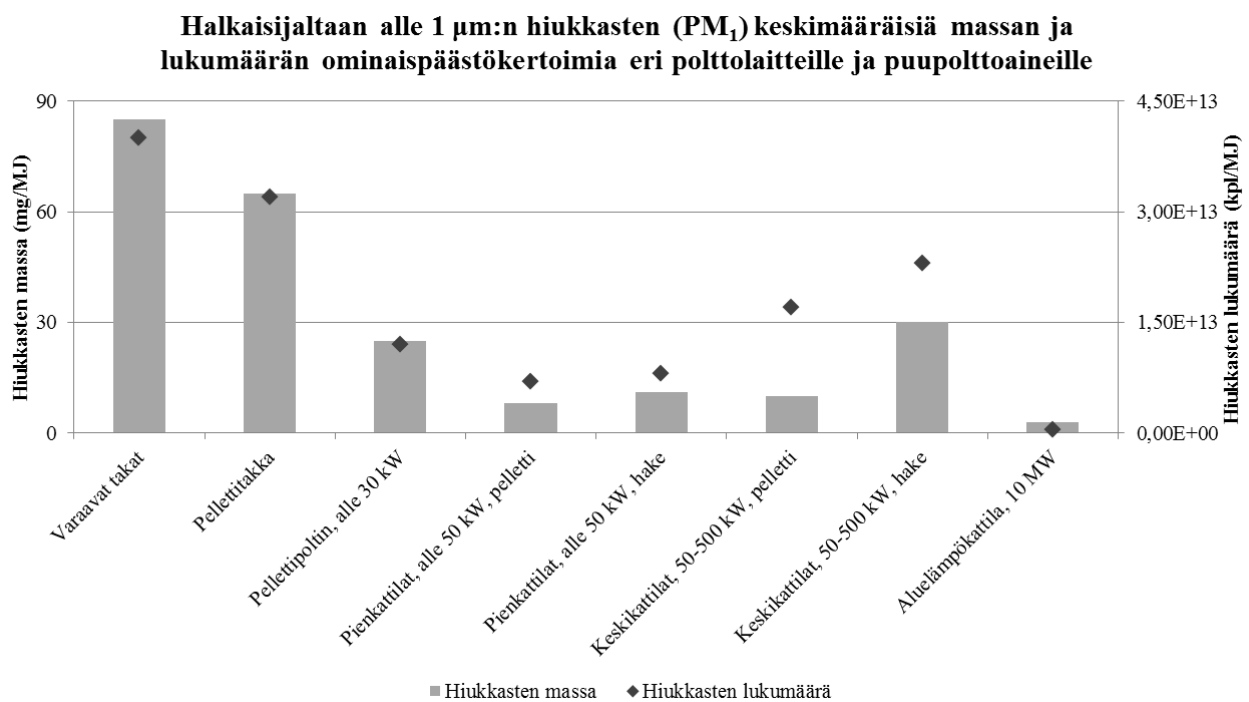
¹⁹⁷ Suomen ympäristökeskus 2007. Palamisessa syntyvien hiukkasten koostumus, määrä ja syntyprosessit vaihtelevat huomattavasti palamistapahtuman ja polttoaineen ominaisuuksien mukaan; hiukkasissa on nokea, hiilivetyjä ja tuhkaa, ja niitä syntyy eri reaktioissa palamisessa ja savukaasun jäähtyessä. Hiukkasten kokoon vaikuttavat monet asiat: esimerkiksi epätäydellisessä palamisessa syntyvät hiilivedyt voivat kondensoitua hiukkasten pinnalle, jolloin hiukkaset kasvavat; korkea lämpötila voi puolestaan aiheuttaa tuhkakomponenttien höyrystymistä, joka johtaa pienten nanohiukkasten tiivistymiseen. Hiukkaslukumääräpitoisuus on yleisesti ottaen aikariippuvainen suure, sillä hiukkaset törmäilevät ja takertuvat toisiinsa muodostaen suurempia hiukkasia. (Northern Solutions 2009.)

¹⁹⁸ Puun pienpoltolla tarkoitetaan yleensä puun tai muun kiinteän polttoaineen polttoa kattilassa tai tulisijassa, jonka lämpöteho on alle 300 kW (STTV 2008), ja kyseessä on siis lähtökohtaisesti osa hajautetun energiantuotannon

ja sen vaikutuksia ilmanlaatuun on tutkittu useissa kansallisen tason hankkeissa¹⁹⁹. Toisaalta juuri hajautetun energiantuotannon nykyaikaista teknologiaa hyödyntävät energiatehokkaat ja ympäristöystävälliset ratkaisut voivat olla potentiaalisia vaihtoehtoja pelkälle puun pienpoltolle, ja kestävää hajautettua energiantuotantoa edistämällä ja kehittämällä myös puun pienpoltosta aiheutuvien haittavaikutusten määrää voidaan saada vähennettyä.

Puun pienpoltto on nykyisellään merkittävä osa suomalaista energiantuotantokokonaisuutta, eikä mitään nopeaa muutosta tähän ole ennakoitavissa, sillä sekä puun pienpoltton kokonaismäärä että suhteellinen osuus kaikesta energiantuotannosta on noussut tasaisesti 2000-luvulla (ks. Kuva 19). Puun pienpoltto tuottaa suuren määrän hiukkaspäästöjä, joilla on huomattavia negatiivisia terveys- ja ympäristövaikutuksia. Esimerkiksi vuoden 2000 puun pienpoltosta aiheutuvien hiukkaspäästösten (7580 tonnia vuodessa, mikä tarkoittaa 23 % kaikista Suomen hiukkaspäästöistä) on arvioitu johtavan yli 250:n ennen aikaiseen kuolemaan Suomessa.²⁰⁰ Puun pienpoltton hiukkaspäästöt ovat vuoden 2000 jälkeen kasvaneet, ja vuonna 2010 päästöjen määräksi on arvioitu jo 11 950 tonnia.²⁰¹

Erityyppisten puuta käyttävien pienpolttolaitteiden päästöt vaihtelevat suuresti. Tehokkainta palaminen on jatkuvalpolttoisissa laitteissa, kuten pellettikäyttöisissä polttimissa ja kattiloissa sekä ns. hakestokereissa. Panospolttoon perustuvissa takoissa päästöt ovat edellä mainittuja suuremmat. Huonointa polttotekniikkaa



Kuva 20. Halkaisijaltaan alle yhden mikrometrin hiukkasten keskimääräisiä massan ja lukumäärän ominaispäästökertoimia eri polttolaitteille ja puupolttoaineille. Aineistolähde: STTV 2008.

kokonaisuutta. Hajautettu energiantuotanto on kuitenkin huomattavasti laajempi ilmiö, joka kattaa suuren määrän erilaisia tuotantotekniikoita sekä energialähteitä. Oikeastaan juuri hajautetun energiantuotannon määrittämissä puitteissa voidaan arvioida puun pienpoltton määrää ja merkitystä sekä tämän energiantuotantotavan mielekkyyttä ja kestävyyttä niin energiatehokkuuden kuin ympäristökysymysten kannalta.

¹⁹⁹ ”Pienhiukkasten lähipäästöjen terveysriskit: puun pienpoltto ja tieliikenne” eli PILTTI -hanke (THL 2010) ja Ecodesign-hanke (Savolahti ym. 2015).

²⁰⁰ THL 2010.

²⁰¹ Savolahti ym. 2015.

edustavat kiukaat, kamiinat, liedet ja avotakat. Laitteiden käyttötapaa vaikuttaa merkittävästi polttotehokkuuteen ja päästöihin.²⁰²

Puun poltto pientulisijoissa siis heikentää paikallista ilmanlaatua sekä aiheuttaa lisäksi myös merkittäviä mustan hiilen (*black carbon*) päästöjä, joilla on huomattava lämmittävä vaikutus erityisesti arktisilla alueilla. Aiheutuvia päästöjä voidaan pienentää kehittämällä tulisijoja ja niiden käyttötapoja, siirtymällä pellettien käyttöön sekä tuottamalla biomassaperusteinen energia esimerkiksi aluelämpökeskuksissa tai pienen mittakaavan CHP-laitoksissa, joissa palamisolosuhteet ovat paremmin hallinnassa kuin perinteisissä tulisijoissa (ks. Kuva 20).²⁰³

Näin ollen pelkän puun pienpolton sijasta olisi energiatehokkuuden, ilmaston ja muiden ympäristöaspektien kannalta huomattavasti kestävämpää käyttää puupohjainen biomassa pienen mittakaavan CHP-laitoksissa; tällöin lämmön lisäksi saataisiin myös sähköä, joka on jalostusarvoltaan korkeampaa kuin lämpö.²⁰⁴ Puupohjaisten biomassojen ja muiden kiinteiden biopolttoaineiden hyödyntäminen pien-CHP:ssä on kuitenkin verrattain haasteellista, sillä kaikista pienimmän mittaluokan CHP-laitteistot edellyttävät tyypillisesti kaasumaisia tai nestemäisiä polttoaineita. Juuri tämän vuoksi erilaiset bioperäisen kaasun tuotantotekniikat – pyrolyysiperusteiset kaasutustekniikat ja mädättäminen – ovat biomassojen ja bioenergian kattavan hyödyntämisen kannalta oleellisia.

Erityisesti hiukkaspäästöjen osalta kaasumaiset polttoaineet ovat yleisesti ottaen kiinteitä polttoaineita otollisempia – kaasun polttamisesta aiheutuu tyypillisesti vain hyvin vähäisiä määriä hiukkasia – mikä pätee myös biokaasun ja synteetikaasun kohdalla. Toisaalta maakaasu, biokaasu ja synteetikaasu ovat koostumukseltaan erilaisia: siinä missä maakaasu on käytännössä puhdasta metaania, biokaasu sisältää tyypillisesti noin 55–70 tilavuusprosenttia metaania ja 30–45 tilavuusprosenttia hiilidioksidia²⁰⁵, kun taas (kuivan) synteetikaasun pääkomponentteja ovat vety ja hiilimonoksidi²⁰⁶.

Tämän koostumuseron lisäksi synteetikaasu sisältää usein huomattavia määriä tervaa²⁰⁷ ja muita hiukkasia, jotka ensisijaisesti aiheuttavat ongelmia laitteiston kestossa²⁰⁸ mutta saattavat laitteiston läpi kulkeutuessaan myös johtaa lisääntyneisiin hiukkaspäästöihin, joita voidaan tarvittaessa erilaisin puhdistusmenetelmin vähentää.²⁰⁹ Synteetikaasua hyödyntävissä kaupallisissa lämmön- ja sähköntuotantosovelluksissa ilman pääsevien hiukkasten määrä onkin yleisesti ottaen saatu hyvin alhaiseksi; kiinteiden hiukkasten päästöt ovat tyypillisesti luokkaa $<1 \text{ mg/m}^3$.²¹⁰

Muiden ilmansaastepäästöjen osalta synteetikaasulaitosten tulokset ovat vaihtelevia: rikkidioksidia päästöissä on vain hyvin vähän ($<10 \text{ mg/m}^3$), kun taas hiilimonoksidin ja typen oksidien määrät ovat teknologiasta

²⁰² STTV 2008.

²⁰³ Ilmastopaneeli 2013a. Mustan hiilen merkityksestä arktisella alueella, ks. AMAP 2011.

²⁰⁴ Ilmastopaneeli 2013c.

²⁰⁵ Lehtomäki ym. 2007.

²⁰⁶ Synteetikaasun koostumus vaihtelee huomattavasti raaka-aineiden ja tuotantoteknologian mukaan, mutta kaupallisissa ja koekäyttösovelluksissa vetyä on tavanomaisesti noin 15–40 tilavuusprosenttia ja hiilimonoksidia noin 15–25 tilavuusprosenttia. Muita keskeisiä komponentteja ovat hiilidioksidi, metaani ja typpi. (Pieniniemi & Muilu 2011, Rehling ym. 2011, Volter 2015.)

²⁰⁷ Terva on yleisesti ottaen paksua, mustaa, suuriviskoosista nestettä, jota tiivistyy kaasuttimeen matalamman lämpötilan alueilla; koostumukseltaan terva on monimutkainen seos tiivistymiskelpoisia hiilivetyjä, joita ovat esimerkiksi 1–5-renkaiset tai monimutkaisemmat polyaromaattiset hiilivedyt sekä happea sisältävät hiilivedyt (Europaeus 2014). Toisaalla terva on määritelty orgaaniseksi epäpuhtauksiksi, joiden molekyylipaino on suurempi kuin bentseenin (Pieniniemi & Muilu 2011).

²⁰⁸ Synteetikaasun pitoisuuksien raja-arvoina eri laitteistoille (kaasumoottori / kaasuturbiini) on pidetty tervalle 50–500 / $0,05\text{--}5 \text{ g/m}^3_{\text{N}}$ ja hiukkasille 30 / $0,1\text{--}120 \text{ g/m}^3_{\text{N}}$ (Basu 2010).

²⁰⁹ Europaeus 2014.

²¹⁰ Community Power Corporation 2015, Volter 2015.

riippuen kohtalaisia tai jopa huomattavia (CO: ~400–2500 mg/m³; NO_x: ~15–2000 mg/m³).²¹¹ Erityisesti tyyppien oksidien määrää on kuitenkin mahdollista saada pienemmäksi erilaisin puhdistusmenetelmin, mikä kuitenkin tarkoittaa aina lisäkustannuksia ja täten energiantuotantomuodon taloudellisen houkuttelevuuden heikkenemistä.

Hajautettu tuotanto ja päästölainsäädäntö

Seuraavassa käsitellään lyhyesti hajautetun energiantuotannon suhdetta sekä jo voimassa olevaan että valmisteilla olevaan päästölainsäädäntöön. Tarkastelu käsittää kansallisen tason ja EU-tason säädökset, joihin kansallisen tason lainsäädännön tulee erikseen määrätyn aikataulun puitteissa mukautua. Keskeisimpien yleisen tason huomioiden jälkeen esitellään kootusti hajautettua tuotantoa koskevien säädösten määrittämät päästöraajat ja valmisteilla olevan lainsäädännön osalta arviot voimaantulon aikataulusta.

Suomessa voimassa oleva päästölainsäädäntö käsittää ympäristösuojelulain²¹² perusteella annetut kaksi asetusta, jotka koskevat soveltamisalansa mukaisesti suuria ja pieniä polttolaitoksia: valtioneuvoston asetus suurten polttolaitosten päästöjen rajoittamisesta (936/2014; ns. SuPo-asetus) koskee polttolaitoksia, joiden polttoaineteho on vähintään 50 MW, kun taas valtioneuvoston asetus polttoaineteholtaan alle 50 megawatin energiantuotantoyksiköiden ympäristösuojeluvaatimuksista (750/2013; ns. PiPo-asetus) koskee käytännössä²¹³ polttoaineteholtaan 1–50 MW:n polttolaitoksia.

Taulukko 6. 1–5 MW:n kattilalaitoksia koskevat keskeisimmät päästöraajat (olemassa olevat / uudet laitteet; mg/m³) PiPo-asetuksen ja MCP-direktiivin mukaisesti 1.1.2030. Aineistolähteet: Finlex: 750/2013 ja Euroopan unionin neuvosto 2014.

	PM		NO _x		SO ₂	
	PiPo	MCP	PiPo	MCP	PiPo	MCP
Kiinteät polttoaineet						
Biomassa	300 / 200	100 / 50	450 / 375	650 / 500	200 / 200	200 / 200
Turve	300 / 200	100 / 50	600 / 500	650 / 500	500 / 500	1100 / 1100
Hiihi	50 / 50	100 / 50	420 / 270	650 / 500	1100 / 850	1100 / 1100
Nestemäiset polttoaineet						
Kevyt polttoöljy/kaasuöljy	50 / 50	-	900 / 800	200 / 200	350 / 350	-
Muut	140 / 50	50 / 50	900 / 800	650 / 300	350 / 350	350 / 350
Kaasumaiset polttoaineet						
Maakaasu	-	-	400 / 340	250 / 100	-	-
Muut	-	-	400 / 340	250 / 250	-	200 / 110

Polttoperusteisen energiantuotannon päästöjä rajoitetaan myös Euroopan neuvoston ja parlamentin direktiiveillä, joihin kansallisen lainsäädännön tulee mukautua. Päästöjen kannalta keskeisin voimassa oleva

²¹¹ Community Power Corporation 2015, Volter 2015.

²¹² Ko. asetukset on annettu ympäristösuojelulain kahden eri säädösversioon (86/2000 ja 527/2014) perusteella.

²¹³ Asetuksen soveltamisalaa koskeva täsmällinen sanamuoto on seuraava: ”Tätä asetusta sovelletaan kiinteää, nestemäistä tai kaasumaista polttoainetta käyttäviin energiantuotantoyksiköihin, joiden polttoaineteho on: 1) vähintään 5 megawattia, mutta alle 50 megawattia; ja 2) vähintään 1 megawatti, mutta alle 5 megawattia, jos energiantuotantoyksikkö sijaitsee samalla laitosalueella muiden energiantuotantoyksiköiden kanssa ja niiden yhteenlaskettu polttoaineteho ylittää 5 megawattia tai jos energiantuotantoyksikkö on osa muutoin ympäristöluvanvaraista toimintaa.” (Finlex: 750/2013.)

direktiivi on ns. teollisuuspäästödirektiivi (2010/75/EU), joka säätelee muun muassa yli 50 MW:n²¹⁴ polttolaitosten päästötasot keskeisimpien päästölajien²¹⁵ osalta. Valmistelutyön alla oleva MCP-direktiiviehdotus (KOM(2013) 919 lopullinen) puolestaan käsittää keskisuuret eli polttoaineteholtaan 1–50 MW:n laitokset ja näissä laitoksissa syntyvät päästöt.²¹⁶

Taulukko 7. 1–5 MW:n moottori- ja kaasuturbiinilaitoksia koskevat keskeisimmät päästörajat (olemassa olevat / uudet laitteet; mg/m³) PiPo-asetuksen ja MCP-direktiiviehdotuksen mukaisesti 1.1.2030. Aineistolähteet: Finlex: 750/2013 ja Euroopan unionin neuvosto 2014.

	PM		NO _x		SO ₂	
	PiPo	MCP	PiPo	MCP	PiPo	MCP
Moottorit						
Öljy/kaasuöljy	30 / 30	-	1850 / 1600	190 / 190	120 / 120	-
Maakaasu	-	-	1850 / 1600	190 / 95	-	-
Muut kaasut	-	-	1850 / 1600	190 / 190	-	15 / 15
Kaksoispolttoainemoottorit						
Nestemoodi	70 / 20	10 / 10	2300 / 2000	1850 / 225	300 / 300	120 / 120
Kaasumoodi	-	-	380 / 380	380 / 190	-	15 / 15
Turbiinit						
Kaasuöljy	-	-	150 / 115	200 / 75	-	-
Maakaasu	-	-	150 / 115	150 / 50	-	-
Muut kaasut	-	-	150 / 115	200 / 75	-	15 / 15

Näiden voimalaitoskokoluokan energiantuotantoa koskevien direktiivien lisäksi on olemassa pienimuotoiseen energiantuotantoon tarkoitettujen kaupallisten laitteiden ominaisuuksia säätelevää EU-tason lainsäädäntöä: vuonna 2009 voimaan tullut Ecodesign-direktiivi (2009/125/EY) on puitedirektiivi²¹⁷, jonka nojalla annetaan tuoteryhmäkohtaisia täytäntöönpanosäädöksiä, joissa määritellään muun muassa energiantuotantolaitteiden päästötasoja²¹⁸. Ecodesign-direktiivin perusteella annettuja päästörajoitusasetuksia ei vielä toistaiseksi ole voimassa, mutta useita erilaisia laitteistoja koskevia asetuksia on joko valmisteilla tai jo hyväksytty niin, että suunnitteluvaatimukset eivät vielä ole tulleet voimaan.²¹⁹

²¹⁴ Näin ollen teollisuuspäästödirektiivin soveltamisala laajenee aiempaan direktiiviin (LCP-direktiivi; 2001/80/EY) verrattuna kattiloiden yhteenlaskemissäännön perusteella, vaikka kokonaispolttoainetehoraja säilyy 50 megawattissa. Polttolaitoksen polttoaineteho määrätään nykyisellään laskemalla yhteen sellaisten vähintään 15 megawatin kattiloiden polttoainetehot, joiden savukaasut johdetaan samaan ulkopiippuun. Uusissa laitoksissa lähtökohtana on myös se, että savukaasut voitaisiin johtaa yhteiseen piippuun. Laskentaan sisällytetään ne kattilat, joiden polttoaineteho on yli 15 megawattia. (Suomen ympäristökeskus 2012.)

²¹⁵ Rikkidioksidi (SO₂), typen oksidit (NO_x) sekä pienhiukkaset (PM).

²¹⁶ Päästölajit ovat samat kuin teollisuuspäästödirektiivissä. (Suomen ympäristökeskus 2015.)

²¹⁷ Puitedirektiivi velvoittaa tuotteiden valmistajia ja maahantuojia vasta, kun kyseiselle tuotteelle on Euroopan komission johdolla laadittu tuoteryhmäkohtaiset vaatimukset. Direktiivissä on määritelty perusteet tuoteryhmien valitsemiseksi: edellytyksenä on, että tuotetta myydään vähintään 200 000 kappaletta vuodessa EU:n alueella, että tuotteella on huomattavat ympäristövaikutukset ja että tuotteeseen liittyy merkittäviä mahdollisuuksia ympäristövaikutusten parantamiseen ilman kohtuuttomia kustannuksia. (Ympäristöministeriö: ”Ekosuunnitteludirektiivi.”)

²¹⁸ Päästötasoja määritellään eri asetuksissa vaihtelevasti seuraavien päästölajien osalta: pienhiukkaset (PM), kokonaishiilivedyt (OGC), hiilimonoksidi (CO) ja typen oksidit (NO_x).

²¹⁹ Ekosuunnittelu.info: ”Lämmityslaitteet ja -kattilat.”

Hajautettu energiantuotanto on näin ollen nykyisellään päästölainsäädännön osalta hieman moniselitteisessä asemassa, sillä keskisuurten (1–50 MW) voimalaitosten osalta on voimassa kansallinen lainsäädäntö (PiPo), kun taas mittakaavaltaan kaikista pienintä tuotantoa (alle 1 MW) ei tällä hetkellä säännellä lainkaan. Ecodesign-direktiivin perusteella annetut asetukset tulevat muuttamaan tilannetta kaikista pienimuotoisimman tuotannon (alle 500 kW) osalta, ja MCP-direktiiviehdotus edellyttäneen voimaan tullessaan keskisuurta tuotantoa koskevan kansallisen lainsäädännön tiukentamista paikoittain²²⁰.

Kokoluokaltaan yli yhden megawatin hajautetun tuotannon päästöjä rajoitetaan PiPo-asetuksella, jota tullaan täydentämään MCP-direktiivin edellyttämällä tavalla; keskeisimmät²²¹ päästöraja-arvot 1–5 MW:n laitosten (kattilalaitokset sekä moottorit ja kaasuturbiinit) osalta on koostettu taulukkoihin (Taulukko 6 ja Taulukko 7, tilanne 1.1.2030).

Taulukko 8. Teholtaan enintään 400 kW:n tila- ja yhdistelmälämmittimiä koskevat typen oksidien päästöraja-arvot (mg/kWh) Ecodesign-direktiivin perusteella annetun asetuksen (813/1013) mukaisesti 26.9.2018 alkaen. Aineistolähde: Euroopan komissio 2013.

	Kattilalämmittimet		Yhteistuotantotilalämmittimet ja lämpöpumppulämmittimet			
	Kaasumaiset polttoaineet	Nestemäiset polttoaineet	Ulkoinen polttomoottori		Sisäinen polttomoottori	
			Kaasumaiset polttoaineet	Nestemäiset polttoaineet	Kaasumaiset polttoaineet	Nestemäiset polttoaineet
NO _x	56	120	70	120	240	420

Alle yhden megawatin energiantuotantolaitosten päästöjä tullaan rajoittamaan Ecodesign-direktiivin perusteella annetuilla erinäisillä asetuksilla. Näistä ensimmäisenä lanseerataan teholtaan enintään 400 kW:n tila- ja yhdistelmälämmittimien typen oksidien päästöjä rajoittava komission asetus (813/2013), jonka päästörajat tulevat voimaan 26.9.2018 (ks. Taulukko 8).

Tilalämmittimellä tarkoitetaan tässä yhteydessä laitetta, joka tuottaa lämpöä vesikiertoiseen keskuslämmitysjärjestelmään (halutun sisälämpötilan saavuttamiseksi ja ylläpitämiseksi suljetussa tilassa kuten rakennuksessa, asunnossa tai huoneessa) ja joka on varustettu yhdellä tai useammalla lämmönkehittimellä. Yhdistelmälämmittimellä puolestaan tarkoitetaan tilalämmitintä, joka on suunniteltu tuottamaan lämpöä myös lämpimän juoma- tai talousveden toimittamiseksi. Yhteistuotantotilalämmitin on tilalämmitin, joka tuottaa samanaikaisesti lämpöä ja sähköä samassa prosessissa, ja lämpöpumpputilalämmitin on tilalämmitin, joka käyttää lämmön tuotantoon ilmasta, vedestä tai maaperästä talteen otettua ympäristölämpöä ja/tai hukkalämpöä.²²²

²²⁰ Suomen voimassaoleviin säädöksiin verrattuna MCP-direktiiviehdotus kiristäisi etenkin kiinteitä polttoaineita käyttävien kattiloiden hiukkaspäästörajoja. (Suomen ympäristökeskus 2015.)

²²¹ Sekä PiPo-asetuksen että MCP-direktiiviluonnoksen mukaiset päästörajat sisältävät huomattavan määrän poikkeuksia ja täsmennyksiä, joita ei tässä yhteydessä erikseen esitellä; päästörajat yksityiskohtineen, ks. Finlex: 750/2013 ja Euroopan unionin neuvosto 2014. Tämän lisäksi kansallisen tason ja EU-tason säännöksissä käytetyt kategorisoinnit poikkeavat jossain määrin toisistaan, joten eri lähteistä saadut päästöraja-arvot on jouduttu sovittamaan yhteen tapauskohtaista harkintaa käyttäen.

²²² Euroopan komissio 2013.

Taulukko 9. Teholtaan enintään 500 kW:n kiinteän polttoaineen kattiloita koskevat päästöraja-arvot (mg/m³) Ecodesign-direktiivin perusteella annetun asetusluonnoksen mukaisesti 1.1.2020 alkaen. Aineistolähde: Euroopan komissio 2014a.

	Automaattisyöttöiset kattilat	Käsisyöttöiset kattilat	Biomassakattilat	Fossiilisen polttoaineen kattilat
PM	40	60		
OGC	20	30		
CO	500	700		
NOx			200	350

Asetuksesta on rajattu pois joukko erilaisia lämmittimiä, kuten kiinteitä polttoaineita käyttävät lämmittimet, joiden päästörajoja koskevat asetukset ovat valmisteilla. Asetusluonnoksissa kiinteitä polttoaineita käyttävät lämmittimet on jaettu kahteen kategoriaan: kiinteän polttoaineen kattiloihin ja kiinteän polttoaineen paikallisiin tilälämmittimiin. Kiinteän polttoaineen kattilalla tarkoitetaan laitetta, joka on varustettu yhdellä tai useammalla kiinteää polttoainetta käyttävällä lämmönkehittimellä ja joka tuottaa lämpöä vesikiertoiseen keskuslämmitysjärjestelmään (halutun sisälämpötilan saavuttamiseksi ja ylläpitämiseksi yhdessä tai useammassa suljetussa tilassa).²²³ Kiinteää polttoainetta käyttävällä paikallisella tilälämmittimellä puolestaan tarkoitetaan tilälämmityslaitetta, joka säteilee lämpöä (suoralla lämmönsiirrolla tai suoralla lämmönsiirrolla yhdistettynä lämmönsiirrolla nesteeseen) ja joka on varustettu yhdellä tai useammalla lämmönkehittimellä, joka muuttaa kiinteän polttoaineen suoraan lämmöksi.²²⁴

Taulukko 10. Teholtaan enintään 50 kW:n kiinteän polttoaineen paikallisia tilälämmittimiä koskevat päästöraja-arvot (mg/m³) Ecodesign-direktiivin perusteella annetun asetusluonnoksen mukaisesti 1.1.2022 alkaen. Aineistolähde: Euroopan komissio 2014b.

	Edestä avoimet tilälämmittimet		Edestä suljetut tilälämmittimet		
	Biomassalämmittimet	Fossiilisen polttoaineen lämmittimet	Pellettilämmittimet	Muut biomassalämmittimet	Fossiilisen polttoaineen lämmittimet
PM	50	50	20	40	40
OGC	120	120	60	120	120
CO	2000	2000	300	1500	1500
NOx	200	300	200	200	300

Kiinteän polttoaineen kattiloita koskeva asetusluonnos käsittää enintään 500 kW:n laitteet, ja siinä on määritelty päästöraja-arvot erikseen automaattisyöttöisille ja käsisyöttöisille sekä biomassaa ja fossiilisia polttoaineita käyttäville kattiloille (ks. Taulukko 9); päästöraja-arvojen on tarkoitus tulla voimaan 1.1.2020 alkaen. Kiinteän polttoaineen paikallisia tilälämmittimiä koskeva asetusluonnos puolestaan käsittää enintään 50 kW:n laitteet, ja siinä on määritelty päästöraja-arvot erikseen edestä avoimille ja edestä suljetuille²²⁵ sekä pellettejä, muuta biomassaa ja fossiilisia polttoaineita käyttäville lämmittimille (ks. Taulukko 10); näiden päästöraja-arvojen on tarkoitus tulla voimaan 1.1.2022.

²²³ Euroopan komissio 2014a.

²²⁴ Euroopan komissio 2014b.

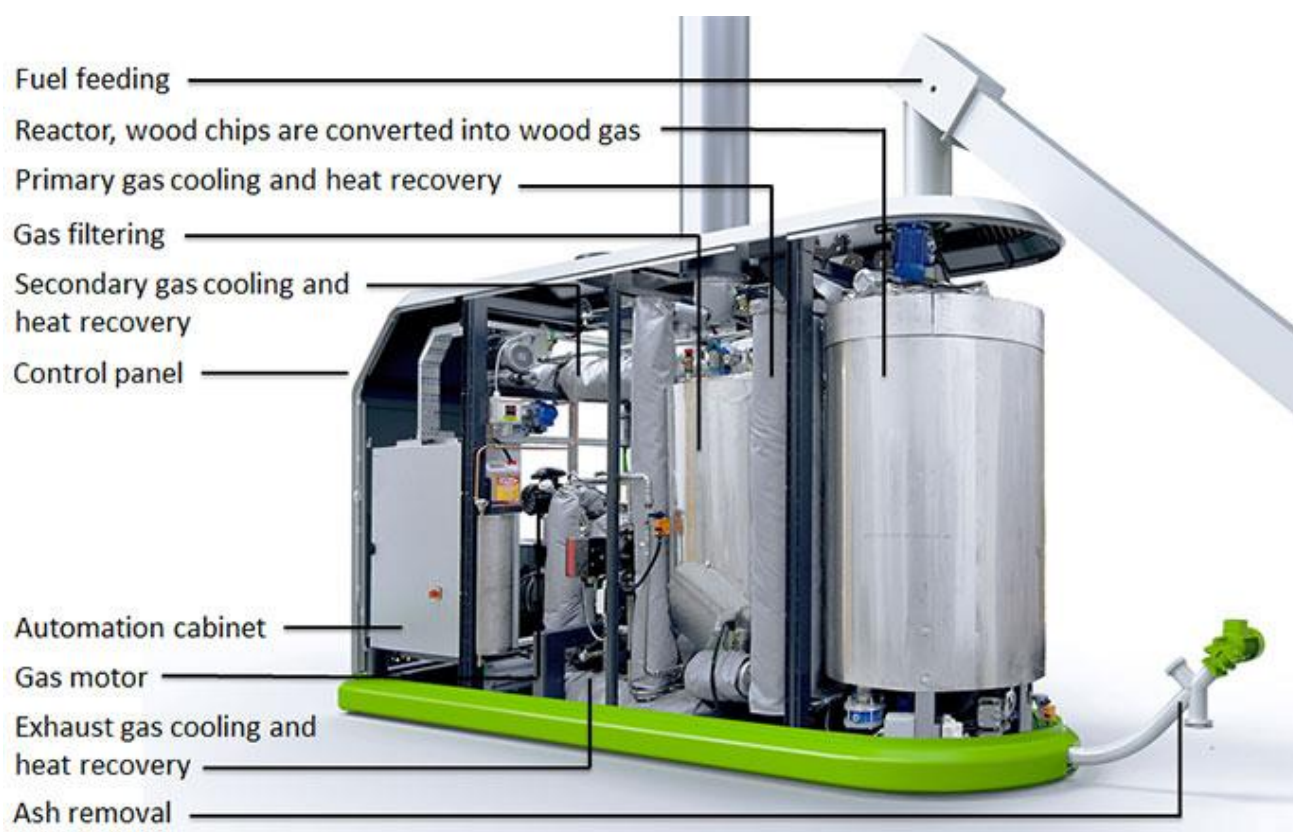
²²⁵ Edestä avoin kiinteää polttoainetta käyttävä paikallinen tilälämmitin on lämmitin, jossa palavaa kerrosta ja polttokaasuja ei ole eristetty tilasta, johon tuote on asennettu; edestä suljettu lämmitin puolestaan voi olla eristetty tilasta, johon tuote on asennettu (Euroopan komissio 2014b).

7. Potentiaalisia ratkaisuja ja esimerkkikohteita

Tässä luvussa esitellään joitakin sellaisia potentiaalisia ratkaisuja ja esimerkkikohteita, jotka tällä hetkellä edustavat uutta ja osin kehittymätöntä tekniikkaa mutta joiden merkitys voi tulevaisuudessa olla sekä energiantuotannon volyymin että päästöjen synnyn kannalta huomattava. Tarkastelu keskittyy kaasumaisiin biopolttoaineisiin ja niiden hyödyntämiseen hajautetussa tuotannossa, sillä ne ovat kiinteitä polttoaineita energiapitoisempia ja niiden käyttöarvo on suurempi sekä mahdollisten sovellusten kirjo on laajempi. Kaasumaisten polttoaineiden entistä laajamittaisempi hajautettu käyttö sisältää myös huomattavan potentiaalin erityisesti hiukkaspäästöjen määrän vähentämiseen.

Kempeleen ekokortteli

Kempeleen ekokortteli edustaa uudentyyppistä energiaomavaraisuuteen ja paikallisten energiaressurssien hyödyntämiseen perustuvaa lähestymistapaa, ja kyseessä onkin eräänlainen pioneerikohde Suomen kontekstissa.²²⁶ Valtakunnan sähköverkosta irrallaan olevassa ekokorttelissa kymmenen omakotitalon tarvitsema sähkö- ja lämpöenergia tuotetaan alueen omassa pien-CHP-voimalaitoksessa suomalaisen Volterin puunkaasutus teknologialla (ks. Kuva 21) sekä tuulivoimalalla. Polttoaineena kaasutuslaitoksessa käytetään kotimaista metsähaketta; laitoksen sähköteho on 30 kW ja lämmitysteho 70 kW.²²⁷



Kuva 21. Suomalaisen Volterin puunkaasutusyksikkö. Lähde: Volter: "Teknologia."

Sähköntuotantoprosessissa syntyvä lämpö käytetään hyväksi talojen lämmityksessä matalalämpötilaisen lähilämpöverkon avulla; verkossa kiertävän veden lämpötila on 65 °C, mikä riittää vesikiertoisen

²²⁶ Muun muassa Suomen Rakennusinsinöörien liitto (RIL) valitsi Kempeleen ekokorttelin vuoden 2010 rakennuskohteeksi. (Volter: "Kempeleen ekokortteli.")

²²⁷ Motiva 2010.

lattialämmityksen lisäksi myös käyttöveden lämmittämiseen. Verkossa ei ole käytössä lämmönvaihtimia, vaan lämmin vesi tulee suoraan voimalaitoksen kymmenen kuution lämminvesivaraajasta.²²⁸

Koska ekokortteli on irrallaan valtakunnan sähköverkosta, mahdollisten häiriötilanteiden varalta voimalaitoksessa on 6 000 Ah:n akusto, josta riittää energiaa alueelle noin vuorokaudeksi. Lisäksi kohteessa on biodieselillä toimiva varavoimalaite.²²⁹

Kempeleen ekokortteli on pioneerihanke muutenkin kuin puunkaasutusteknologian osalta, ja alue halutaan tehdä tunnetuksi ekologisesta sekä bioenergiaan pohjautuvasta asumisesta ja yritystoiminnasta yleisemminkin. Keskeisimmät muut teknologiset kehityshankkeet liittyvät lämmönsäätöön ja sähkön huippukulutuksen optimointiin, akku- ja invertteriteknologioihin sekä pienvoimalan savukaasujen puhdistukseen ja säätötekniikkaan.²³⁰

Vaikka projektin tarkoitus onkin osoittaa, että ekologisesti kestävä haja-asuminen on mahdollista elämisen puitteista ja käyttömukavuudesta tinkimättä, asukkailta on vaadittu huomattavaa sitoutumista projektin tavoitteisiin. Ostaessaan tontin ekokorttelialueelta tulevat asukkaat liittyivät energiaosuuskuntaan, minkä myötä he sitoutuivat ostamaan käyttämänsä energian osuuskunnan omasta voimalaitoksesta. Tämän lisäksi kaikkien alueelle rakennettavien talojen pitää täyttää matalaenergiatalon vaatimukset (energiatehokkuusluokka A), ja taloissa hyödynnettävä lämpöenergia tulee hankkia keskitetysti alueen voimalaitoksesta: yleisesti ottaen sähköä ei saa käyttää lämmitykseen, mikä koskee myös astianpesukoneiden käyttöä. Sähkön käyttöä on muutenkin rajoitettu, ja esimerkiksi sähkökiukaat sekä talojen jäähdyttäminen sähköllä on kielletty.²³¹

Biokaasun tuotanto maatilalaitoksissa

Hajautetun energiantuotannon kannalta juuri maatilakohtaiset biokaasulaitokset sisältävät erityisen potentiaalin, sillä sekä muuntotyypiset reaktorilaitokset²³² että kaatopaikkalaitokset ovat kokoluokaltaan ja tuotannon määrältään tyypillisesti paljon suurempia.²³³ Seuraavassa esitellään maatilakohtaiseen biokaasuntuotantoon liittyviä keskeisimpiä huomioitavia seikkoja ja potentiaalisia ongelmakohtia.

Biokaasutuotanto voidaan toteuttaa pienessä mittakaavassa²³⁴ yksittäisellä tilalla tai useamman tilan yhteislaitoksena. Biokaasutuotannossa alle 1 MW:n laitokset ovat erittäin todennäköisiä, erityisesti maatilojen laitosten yhteydessä. Esimerkiksi noin 100 lypsylehmän maatilaa on esitetty mahdollisesti toteuttamiskelpoiseksi alarajaksi maatilakohtaiselle biokaasulaitokselle. Tällaisen laitoksen energiatuotannon teho on kuitenkin matalahko, arviolta luokkaa 30–60 kW (sähkö- ja lämpöteho yhteensä). Suomen nykyinen syöttötariffijärjestelmä biokaasulla tuotetulle sähkölle (voimaan 2011) on rajattu 100 kVA:n tuotannon ylittäviin laitoksiin, ja käytännössä tätä rajaa ei ylitä edes kahden maatilan yhteinen laitos.²³⁵

²²⁸ Motiva 2010.

²²⁹ Motiva 2010.

²³⁰ Salmela 2010.

²³¹ Motiva 2010.

²³² Yhdyskuntien ja teollisuuden jätevedenpuhdistamot sekä biojätteen käsittelylaitokset eli yhteismädätyslaitokset.

²³³ Esimerkiksi vuonna 2013 maatilalaitosten keskimääräinen biokaasun tuotantovolyymi oli vain 88 m³, kun taas jätevedenpuhdistamolaitosten keskimääräinen vuosituotanto oli 1825 m³, yhteismädätyslaitosten 2460 m³ ja kaatopaikkalaitosten 2432 m³. Sähköä tuottaneiden maatilalaitosten sähkön vuosituotannon keskiarvo oli 158 MWh; lämmön tuotannon osalta vastaava luku on 297 MWh. (Huttunen & Kuittinen 2014.)

²³⁴ Syötteen määrä on tällöin tyypillisesti alle 5 000 tonnia vuodessa, jolloin ympäristölupa-asiassa toimivaltainen viranomais on kunta (Suomen ympäristökeskus 2009).

²³⁵ Ilmastopaneeli 2013c.

Biokaasua voidaan tuottaa eläinten lannasta²³⁶, ja suurin etu biokaasun tuotannon yleistymisessä olisikin 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.²³⁷

Maatiloilla muodostuvat lietteet on perinteisesti levitetty pellolle, jossa ne toimivat lannoitteena. Tiheästi asutuilla alueilla lietteiden peltovetyksestä aiheutuu kuitenkin usein hajuhaittoja. Tällaista hajuhaittaa voidaan itse asiassa vähentää käsittelemällä pelloille levitettävä liete biokaasulaitoksella, sillä hajua aiheuttavat yhdisteet hajoavat prosessissa. Biokaasulaitoksessa käsitelty liete onkin poikkeuksetta huomattavasti hajuttomampaa kuin käsittelemätön liete. Biokaasulaitoksella voi kuitenkin häiriötilanteessa syntyä hajukaasupäästöjä, kasvihuonekaasupäästöjä sekä terveydelle haitallisia päästöjä.²³⁸

Biokaasua voidaan tuottaa myös peltobiomassoista, ja ympäristön kannalta parhaita vaihtoehtoja olisivat monivuotiset kasvit, kuten nurmet. 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.²³⁹

Taulukko 11. Maatilakohtaisen biokaasuntuotannon keskeisimpien raaka-ainemateriaalien tyypillisiä metaanintuottopotentiaaleja. Ko. arvot ovat nimenomaan metaanintuottopotentiaaleja – siis ei biokaasuntuottopotentiaaleja – ja eri materiaaleista saatavan metaanin ja biokaasun määrän välinen suhde ei ole vakio, sillä tuotetun biokaasun metaanipitoisuus vaihtelee materiaaleittain. Aineistolähde: Lehtomäki 2007.

Materiaali	Metaanintuottopotentiaali	
	m ³ / tonnia orgaanista ainetta	m ³ / tonnia märkää paino
Teurasjäte	570	150
Biojäte	500-600	100-150
Kasvibiomassa	300-450	30-150
Ruokohelpi	340-430	100-170
Olki	240-320	200-260
Sianlanta	300-400	17-22
Naudanlanta	100-250	7-14

Lisämateriaalien – kuten nurmi – käyttö lannan ohella lisää biokaasun saantoa, mutta eri materiaalit soveltuvat vaihtelevasti biokaasun tuotantoon, ja tuotetun kaasun määrä ja laatu (metaanipitoisuus) riippuu tuotannon raaka-aineista (ks. Taulukko 11). Yleisesti ottaen vähän vettä ja paljon helposti pilkkoutuvaa orgaanista

²³⁶ Lanta on hyvä biokaasuprosessin perusmateriaali, koska se sisältää useimmat mikrobien tarvitsemat ravinteet, sillä on korkea puskurikapasiteetti ja sitä on tyypillisesti saatavilla tasaisesti ympäri vuoden (Lehtomäki 2007).

²³⁷ Ilmastopaneeli 2013c.

²³⁸ Suomen ympäristökeskus 2009.

²³⁹ Ilmastopaneeli 2013c.

materiaalia sisältävä raaka-aine tuottaa paljon kaasua. Paljon kuitua ja ligniiniä²⁴⁰ sisältävä aines – kuten puu tai olki – sopii huonosti biokaasun tuotantoon mädättämällä.²⁴¹

Maatilan oma ja yhteislantaloiden lanta sekä kasvijäte voidaan käsitellä tilan tai yhteislantalan biokaasulaitoksessa suoraan ilman esikäsitelyä. Lopputuotetta pidetään tällöin edelleen käsittelemättömänä lantana, ja siihen sovelletaan muun muassa raakalannalle annettuja käyttösuosituksia ja sopimusmenettelyjä. Tämä koskee tilojen biokaasulaitoksia, kun käsittelyjännös levitetään tilojen pelloille eikä lannassa tai lisätyissä kasvijätteissä ole tautiriskiä.²⁴²

Tyypillisesti lietelanta siirretään suoraan eläinsuojasta siirtoputkea pitkin esisäiliöön, josta se pumpataan biokaasureaktoriin. Esisäiliössä on usein myös sekoitin ja esilämmitin, jolla lietelanta saadaan tasalaatuiseksi ja valmistetaan syötettäväksi seokseksi. Peltobiomassoja varten laitoksella voi olla erillinen murskain, joka syöttää murskatun biomassan suoraan esisäiliöön. Kasvibiomassa voidaan myös hienontaa silppurilla tai apevaunulla ja syöttää erillisellä syöttölaitteella suoraan reaktoriin.²⁴³

Kaasun varastointi on tyypillisesti melko lyhytaikaista ja tapahtuu joko varsinaisen reaktorin yläosassa tai katetun jälkikaasuuntumissäiliön yläosassa. Puskurivaraston koko on yleensä verraten pieni ja sillä pystytään kompensoimaan vain hetkittäistä kaasuntuotannon vajetta, ja mikäli biokaasureaktorin prosessi keskeytyy kokonaan, ei varastoitu kaasu riitä hyödyntämislaitteiston normaalilla teholla ajamiseen.²⁴⁴

Myös maatilalaitokset suunnitellaan ja mitoitetaan lähtökohtaisesti siten, että niissä muodostuva biokaasu hyödynnetään lämmön tai sähkön tuotannossa (tai liikennepolttoaineena). Laitoksilla tulee olla soihtu tai muu vararatkaisu sen varalta, että ensisijainen biokaasun hyödyntämislaitteisto rikkoontuu tai kaasua ei voida hyödyntää energiantuotannossa. Tällöin biokaasu poltetaan eikä sen sisältämä metaani pääse vapautumaan ilmaan. Soihtupoltton käyttö tulisi rajoittaa lähinnä häiriötilanteisiin, sillä soihtupoltossa palamisolosuhteet vaihtelevat ja palaminen on epätäydellistä; soihtupoltton on myös todettu aiheuttavan hajuyhdisteiden muodostumista.²⁴⁵

Yleisesti ottaen suurin osa Suomen biokaasulaitoksista on pieniä yhdistetyn sähkön ja lämmön tuottajia eli pien-CHP-laitoksia²⁴⁶, ja esimerkiksi vuonna 2013 yli puolet maatilakohtaisista laitoksista tuotti lämmön ohella sähköä.²⁴⁷ Biokaasupohjaisessa lämpöenergian tuotannossa kaasu poltetaan paikallisen lämpölaitoksen kattilassa, kun taas yhdistettyyn sähkön- ja lämmöntuotantoon voidaan käyttää kaasumoottoreita tai mikroturbiiniyksiköitä.²⁴⁸

Maatilakohtaiset biokaasulaitokset käyttävät suuren osan tuotannostaan omaan käyttöönsä esimerkiksi maatilan rakennusten lämmittämiseen sekä lämpimän veden tuottamiseen. Useat maatilalaitokset kykenevät tyydyttämään oman lämmöntarpeensa biokaasulla, mutta sähkön suhteen omavaraisuus on harvinaisempaa.²⁴⁹

Mikäli maatilalaitoksen biokaasuntuotanto on huomattavasti suurempi verrattuna tilan omaan kulutukseen²⁵⁰, tuotettu biokaasu (tai osa siitä) on mahdollista johtaa putkistoa pitkin alueelle, jossa energian tarve on

²⁴⁰ Ligniini on kasvisoluissa esiintyvä yhdiste, joka suojaa rakenteellisesti kasvin soluseinämän muita kuituja, selluloosaa ja hemiselluloosaa. Kasvien ikääntyessä niiden ligniinipitoisuus tyypillisesti kasvaa, joten kasvien ikä ja kypsyysaste vaikuttavat oleellisesti niiden kaasuntuottopotentiaaliin. Kasvien korjuuajankohta onkin tämän vuoksi optimoitava niin, että biokaasuntuottopotentiaali on (ligniininipitoisuuden kannalta) mahdollisimman korkea ja sadon määrä mahdollisimman suuri. (Lehtomäki 2007.)

²⁴¹ Motiva 2010.

²⁴² Suomen ympäristökeskus 2009.

²⁴³ Suomen ympäristökeskus 2009.

²⁴⁴ Suomen ympäristökeskus 2009.

²⁴⁵ Suomen ympäristökeskus 2009.

²⁴⁶ Motiva: ”Biokaasun hyödyntäminen.”

²⁴⁷ Huttunen & Kuittinen 2014.

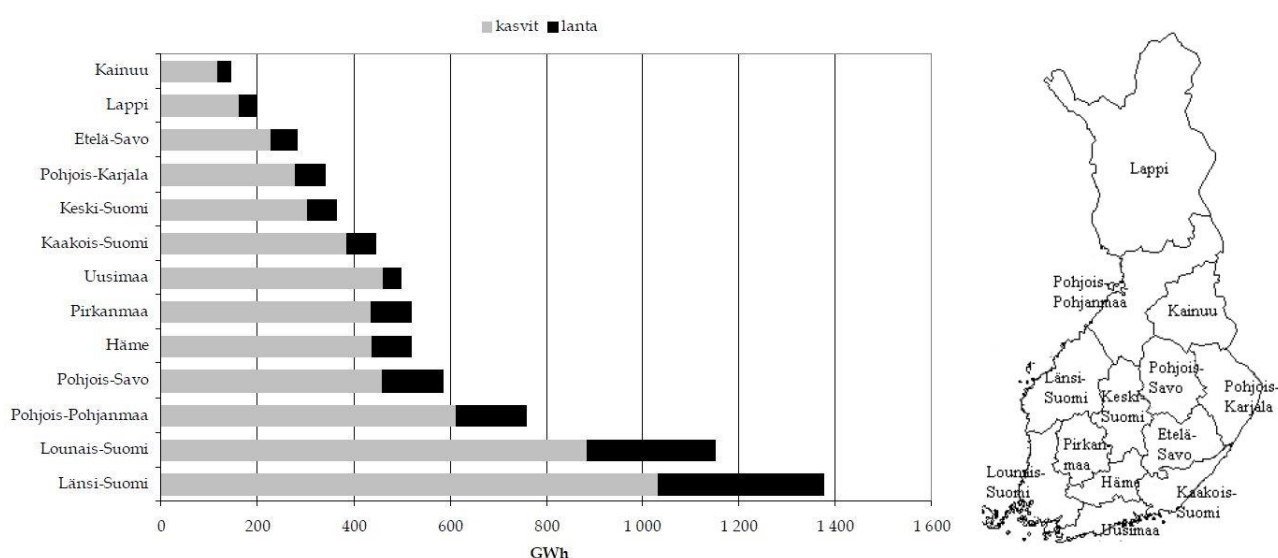
²⁴⁸ Motiva: ”Biokaasun hyödyntäminen.”

²⁴⁹ Motiva 2008.

tarpeeksi suurta. Biokaasulaitoksessa tuotettu ylimääräinen energia on järkevää siirtää käyttöpisteeseen nimenomaan biokaasuna eikä lämpönä tai sähkönä, sillä kaasun putkistokuljetuksessa ei juurikaan synny hävikkiä, toisin kuin sähkön ja erityisesti lämmön siirrossa.²⁵¹

Maatilalaitoksella tuotettua biokaasua voidaan myös jalostaa liikennekäyttöön soveltuvaksi. Tällöin siitä poistetaan hiilidioksidi sekä mahdolliset rikkiyhdisteet; jäljelle jää käytännössä puhdas metaani, ja tuote voidaan rinnastaa maakaasuun. Jalostetulle biokaasulle ajoneuvokäytössä ei ole Suomessa annettu laatumäärittäviä. Biokaasun jalostaminen liikennekäyttöön on kuitenkin hyvin harvinaista Suomessa, mikä johtunee ensisijaisesti ajoneuvokannan puutteesta.²⁵²

Jalostettua biokaasua on periaatteessa mahdollista syöttää myös maakaasuverkkoon, jolloin sen tulee vastata maakaasua voimassa olevien määräysten mukaisesti sekä lämpöarvoltaan että hajultaan.²⁵³ Suomen maakaasuverkko on kuitenkin toistaiseksi niin rajallinen, että tällainen vaihtoehto ei monestikaan tule käytännössä kyseeseen.



Kuva 22. Lannan ja peltobiomassojen hyödyntämiseen perustuvan biokaasun (biometaani ja -vety) tuotannon teknis-lautoudellinen energiapotentiaali Suomessa alueittain sekä käytetty aluejako. Lähde: Tähti & Rintala 2010.

Maatilakohtaisten biokaasulaitosten sisältämä energiantuotantopotentiaali ei ole jakautunut tasaisesti ympäri Suomen, sillä biokaasun raaka-aineiksi soveltuvien materiaalien määrä vaihtelee huomattavasti alueittain. Lantaan ja erilaisiin peltobiomassoihin perustuva biokaasuntuotantopotentiaali on suurin Länsi-Suomessa (Keski- ja Etelä-Pohjanmaalla; ks. Kuva 22), jonne on keskittynyt paljon maataloutta: alueella sijaitsee esimerkiksi noin 20 % Suomen nautakarjatiltoista, 30 % Suomen sikaloista ja 90 % Suomen turkistarhoista sekä paljon perunanjalostusteollisuutta.²⁵⁴

²⁵⁰ Kaasuntuotantoa on verrattava erityisesti lämmön kulutukseen, sillä myös sähkön ja lämmön yhteistuotannossa lämmön tuotanto (lämmön kulutus) toimii aina mitoittavana tekijänä (Sitra 2010a).

²⁵¹ Motiva 2010.

²⁵² Suomen ympäristökeskus 2009.

²⁵³ Motiva 2010.

²⁵⁴ Tähti & Rintala 2010.

8. Yhteenveto

Hajautettu energiantuotanto on laaja-alainen kokonaisuus, jonka yksiselitteinen määrittely on hyvin haasteellista: hajautettua energiantuotantoa voidaan pitää synonyyminä sähkön ja lämmön pientuotannolle eli tuotannolle, joka on jollain erikseen määritettävällä mittarilla arvioituna pienimuotoista; toiseksi hajautettu energiantuotanto on liitetty kiinteästi tuotannon paikallisuuteen ja paikallisuusaspektiin ylipäänsä; kolmanneksi on huomioitava hajautetun energiantuotannon suhde erilaisiin energiaverkkoihin ja energian jakelun mahdollisuuteen.

Hajautetun energiantuotannon kannalta keskeisiä energiantuotantomuotoja ovat aurinkoenergia (aurinkolämpö ja -sähkö), tuulivoima, pien- ja minivesivoima, lämpöpumput sekä polttoprosesseihin perustuvat hajautetut lämpölaitokset ja pienimuotoiset yhteistuotantolaitokset (pien-CHP). Erilaisiin polttoprosesseihin perustuvat tekniikat muodostavat huomattavan osan lämmön ja sähkön hajautetun tuotannon kokonaispotentiaalista, vaikka pienen mittakaavan polttoprosesseissa sähkön tuottamisen hyötysuhde on kuitenkin yleisesti ottaen matalampi suuren kokoluokan laitteisiin verrattuna.

Pienimuotoisten lämpö- ja yhteistuotantolaitosten yhteydessä on tyypillisesti kiinnitetty erityistä huomiota uusiutuvien ja bioperäisten polttoaineiden eli bioenergian käyttöön. Hajautetun energiantuotannon kannalta keskeisimmän käyttö- ja kehityspotentiaalin muodostavat Suomessa nykyisellään toisaalta verrattain matalan jalostusasteen kiinteät biopolttoaineet, toisaalta pienen mittakaavan laiteissa tuotetut kaasumaiset biopolttoaineet. Erilaisia kiinteitä biopolttoaineita on saatavissa verrattain kattavasti ympäri Suomen, ja niiden paikallinen hyödyntäminen hajautetuissa pienen mittakaavan energiantuotantolaitoksissa yleistyy entisestään. Erilaisten biomassojen hyödyntäminen kaasumaisten biopolttoaineiden lähituotannossa puolestaan lisää paikallisen bioenergian käyttömahdollisuuksia entisestään, sillä pidemmälle jalostettujen tuotteiden avulla yhä useammanlaiset laitteistot ja sovellukset saadaan tuotua biopolttoaineiden piiriin.

Pienen mittakaavan biokaasun tuotantolaitokset tarkoittavat käytännössä maatilojen yhteydessä toimivia mädätyslaitoksia, joissa käsitellään lähinnä maatilalta itseltään tai lähiseudulta peräisin olevia kasvi- ja eläinperäisiä biomassoja. Biokaasua tuottavien maatalalaitosten osuus koko maan yhteenlasketusta biokaasun tuotannosta on toistaiseksi ollut melko vähäinen – vuonna 2013 esimerkiksi vain 0,63 % – vaikka maatalalaitoksilla tuotetun biokaasun määrä on kasvanut huomattavasti.

Mädättämällä saatavan biokaasun lisäksi myös pyrolyysitekniikalla biomassasta tuotettava synteetikaasu (tyypillisesti puukaasu) on potentiaalinen ratkaisu pien-CHP:ta ajatellen. Biomassan kaasutuksen avulla saadaan ennen kaikkea parannettua pien-CHP-tuotannon sähköhyötysuhdetta. Syynä kaasutusteknologian hitaalle kehittymiselle ja hyödyntämisen vähäisyydelle ovat olleet tuotekaasun puhtauteen ja laatuun liittyvät seikat, jotka näkyvät käytännössä laitteiston kustannuksissa.

Erilaisissa selvityksissä ja kansallisen tason visioissa on systemaattisesti esitetty, että hajautetun ja pienimuotoisen energiantuotannon merkitys ja määrä tulee kasvamaan tulevaisuudessa. Laaja-alaisia ja silti yksityiskohtaisia ajantasaisia numeerisia arvioita hajautetun ja pienimuotoisen energiantuotannon osuudesta tulevaisuuden energiajärjestelmässä ei kuitenkaan ole saatavilla, mikä johtunee osaltaan hajautetun tuotannon määrittelyyn liittyvistä vaikeuksista ja epäselvyyksistä.

Sähköntuotannon osalta hajautettu tuotanto tarkoittaa yleisesti ottaen sellaista tuotantoa, jonka ajoa ei suunnitella keskitetysti, jota ohjataan paikallisesti ja jota sijoitetaan jakeluverkon yhteen tai useampaan liittymispisteeseen. Euroopassa toistaiseksi vain pieni määrä hajautetusta tuotannosta on suoraan kytkettyinä jakeluverkkoon, ja Suomessakin hajautetun tuotannon verkkoonliittynät joudutaan nykyisin tarkastelemaan aina erikoistapauksina. Tulevaisuudessa ja hajautetun tuotannon yleistyessä tarvitaan kuitenkin vakioituja ratkaisuja.

Sähkönjakeluverkkojen kannalta pienimuotoisen sähköntuotannon yleistymisen saattaa johtaa sähkönsiirron vähenemiseen. Tällöin välitetyn energian kokonaismäärä pienenee suhteessa enemmän kuin mitoittava huipputeho, mikä voi asettaa haasteita asianmukaisen verkoston suunnittelulle ja rahoitukselle. Laajamittainen hajautetun tuotannon käyttöönotto saattaa edellyttää verkon hallintajärjestelmän ulottamista kuluttajille asti; tietoliikenne kuluttajan ja verkonhallintajärjestelmän välillä tulee olemaan kaksisuuntaista, ja kulutusta voidaan ohjata verkon tehokkaan aktiivisen hallinnan mahdollistamiseksi ja verkon siirtokapasiteetin käyttöasteen parantamiseksi. Hajautetun tuotannon lisääntymiseen ja energiavarastojen kehittymiseen liittyvän potentiaalinen hyödyntäminen edellyttää uudenlaisia mikroverkkoja, jotka ovat tarvittaessa itsenäiseen saarekekäyttöön kykeneviä, paikallista tuotantoa ja kulutusta sisältäviä pienjännitejakeluverkon osia, joihin kuuluu myös yksi tai useampi energiavarasto.

Lämmön kiinteistökohtaisen pientuotannon hyödyntäminen osana alueellista lämmönjakojärjestelmää tai varsinaista kaukolämpöverkkoa on verrattain tuore ilmiö, ja käytännön kokemuksia koskien niin teknologiaa kuin sopimusteknisiä seikkoja on vielä varsin rajoitetusti. Kaukolämpötoimintaa ei Suomessa ole säännelty erityislainsäädännöllä, ja kaukolämpöön liittyvä liiketoiminta perustuu eri osapuolten välillä vapaasti tehtyihin sopimuksiin.

Kaukolämmön tuotanto ja jakelu on aina optimoitu paikallisen kulutuksen mukaan, sillä kaukolämmöllä ei ole valtakunnallista verkkoa kuten sähköllä. Tämän vuoksi kulutuksen, tuotannon ja siirron yhteensovittaminen on määritettävä aina tapauskohtaisesti kolmansien osapuolien (pientuottajien) verkkoon pääsyä suunniteltaessa; kaukolämpölaitosten ulkopuolisten tuotantoyksiköiden vaikutukset kaukolämmön keskitettyyn tuotantoon ja siirtoon riippuvat oleellisesti verkkoon liitettävän tuottajan koosta. Yleisesti ottaen verkkoon liitettävän pientuotannon tulisi sijaita lähellä kaukolämpöverkkoa, ja lämmönlähteen tulisi olla teknisesti ja taloudellisesti hyödynnettävissä. Käytännössä tämä on tarkoittanut tehollista alarajaa, jota pienemmän tuotannon hyödyntämisen kustannukset ylittävät verkkoon liittämistä saavutettavat hyödyt, mikä voi puolestaan olla merkittävä este kiinteistökohtaisen lämmön pientuotannon hyödyntämiselle kaukolämpönä.

Kaukolämpöyhtiön sähkön ja lämmön yhteistuotanto rajoittaa merkittävästi mahdollisuutta hankkia varsinaisen kaukolämpölaitoksen ulkopuolella tuotettua lämpöä, sillä yhteistuotantolaitoksen sähköntuotannon hyötysuhde saattaa laskea, mikäli kaukolämpöverkon paluupuolelle syötetään lämpöä. Sen sijaan pelkkää lämpöä tuottavassa kaukolämpöyhtiössä on periaatteessa melkein aina kannattavaa hyödyntää hajautetusti tuotettua lämpöä, mikäli se maksaa vähemmän kuin lämmön tuottaminen muulla tavoin. Kokonaisuuden kannalta on oleellista huomioida myös laitosten mitoitus ja minimitehot, sillä hajautettu lämmöntuotanto saattaa pakottaa ajamaan erityisesti kiinteän polttoaineen peruskuormalaitoksia alas, jolloin lämmön tuotannosta aiheutuvat kustannukset ja päästöt kasvaisivat huippukattiloiden käytön lisääntyessä.

Hajautetun energiantuotannon edellytykset ja tuotantopotentiaali vaihtelee alueittain, ja yleisesti ottaen voidaan todeta, että tiiviillä asuinalueilla ja taajamissa erilaisia energiahuoltoratkaisuja on tarjolla enemmän kuin harvaan asutuilla haja-asutusalueilla. Tämä pätee erityisesti hajautetun lämmöntuotannon suhteen, sillä lämmön siirto tuotantolaitoksesta käyttökohteeseen on jo suhteellisen lyhyillä etäisyyksillä huomattavasti haasteellisempaa.

Alueellisista tekijöistä johtuvat haasteet hajautetussa lämmöntuotannossa heijastuvat kuitenkin myös hajautettuun sähköntuotantoon, sillä sähkön ja lämmön yhteistuotannossa tuotannon volyyymi mitoitetaan aina lämmöntarpeen perusteella. Pienimuotoisessa yhteistuotannossa paikallinen lämpöverkko mitoitetaan palvelemaan kyseisen alueen kuluttajia, ja itse tuotetun sähkön määrä määräytyy lämpökuorman perusteella. Tällöin tuotantolaitoksen piiriin kuuluvan lämpökuorman ollessa pieni joudutaan osa sähköstä lähtökohtaisesti hankkimaan muilla keinoin kuin yhteistuotantoon tarkoitettulla laitteistolla. Pienimuotoisen yhteistuotannon suurin etu on sen korkea hyötysuhde, joka perustuu yhteistuotantotekniikkaan sekä lyhyisiin siirtoetäisyyksiin, kun sähkö- ja lämpöenergiaa ei tarvitse kuljettaa pitkiä matkoja.

Yksi hajautetun energiantuotannon keskeisimmistä haasteista liittyy päästöihin sekä erilaisten päästöjen hallintaan, ja erityisesti polttoperusteisessa energiantuotannossa keskitetty ratkaisu voi olla ilmaan tulevien päästöjen kokonaismäärän kannalta tehokkaampi ja toimivampi vaihtoehto. Suurimittakaavaisessa keskitetyssä tuotannossa tekniikat ovat yleisesti ottaen hyvin pitkälle kehittyneitä ja tehokkaiden päästövähennysteknologioiden käyttö on suhteessa edullisempaa. Keskitetyssä tuotannossa toimijoita on verrattain pieni määrä, toimijat ovat ammattimaisia ja toiminnan sääntely lainsäädännöllisten päästöraja-arvojen avulla on helpompaa. Lisäksi hajautetussa tuotannossa polttoprosessin savukaasut johdetaan ilmakehään tyypillisesti suhteellisen matalien piippujen kautta, jolloin ne leviävät pienemmälle alueelle ja niiden vaikutus paikalliseen ilmanlaatuun on suhteellisesti suurempi.

Polttoperusteisessa hajautetussa energiantuotannossa pyritään yleisesti ottaen vähentämään hiilidioksidipäästöjä, minkä vuoksi hyödynnetään tyypillisesti biopolttoaineita. Biopolttoaineet voivat olla teoreettisessa tarkastelussa hiilineutraaleja, mutta käytännössä niidenkin tuotanto, kuljetus ja hyödyntäminen aiheuttavat hiilidioksidipäästöjä. Toisaalta paikallisten resurssien hyödyntäminen osana hajautettua tuotantoa voi olla kokonaispäästömäärän kannalta edullista.

Varsinaisten polttoperusteisten energiantuotantomuotojen ja niihin liittyvien hiilidioksidipäästöjen lisäksi on aiheellista kiinnittää huomiota siihen, kuinka sähköä hyödyntävät lämmitysmuodot – erityisesti erilaiset lämpöpumput – vaikuttavat energiantuotannon hiilitaseeseen. Lämpöpumppujen ja kaukolämmön välinen ero riippuu lämpöpumppujen käyttämän sähkön tuotannon hiilidioksidipäästöistä ja kaukolämmön tuotannon päästöistä, jotka vaihtelevat merkittävästi paikkakuntaakohtaisesti. Erityisesti lämpöpumppujen sähkönkulutus kasvaa niiden höytysuhteen laskiessa talven kylmimpinä päivinä, jolloin sähkön kulutus on muutenkin huipussaan, minkä vuoksi lämpöpumput käyttävät huomattavan määrän lauhdevoimaloissa fossiililla polttoaineilla tuotettua sähköä.

Polttoperusteisen energiantuotannon ilmansaastepäästöjen – kuten esimerkiksi hiilimonoksidi eli häkä (CO), typen oksidit (NO_x), rikkidioksidi (SO₂) ja erilaiset pienhiukkaspäästöt (Particulate Matter eli PM) – määrä ja laatu riippuu toisaalta itse palamistapahtuman ominaisuuksista ja toisaalta polttoaineen ominaisuuksista. Hajautetusta energiantuotannosta aiheutuvien ilmansaastepäästöjen määrään vaikuttaa näin ollen lähinnä kaksi tekijää: tuotannon sekä tuotantolaitteiden pieni mittakaava ja biopolttoaineiden runsas käyttö. Tuotannon ja tuotantolaitteiden pieni mittakaava ei välttämättä suoraan tarkoita suurempia päästöjä, vaikka päästöjen hallinta ja päästövähennysteknologian käyttöönotto on suhteessa halvempaa ja helpompaa keskitetyssä tuotannossa. Biopolttoaineiden koostumus on puolestaan lähtökohtaisesti jonkin verran erilainen fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna, mikä näkyy myös syntyvien päästöjen määrässä ja koostumuksessa.

Hajautetussa lämmöntuotannossa puun ja puupohjaisten kiinteiden polttoaineiden pienpoltolla on hyvin suuri merkitys, ja puun pienpoltto onkin nykyisellään oleellinen osa suomalaista energiantuotantokokonaisuutta sekä merkittävin yksittäinen pienhiukkaspäästöjen lähde. Pelkän puun pienpoltton sijasta olisi energiatehokkuuden, ilmaston ja muiden ympäristöaspektien kannalta kuitenkin huomattavasti kestävämpää käyttää puupohjainen biomassa pienen mittakaavan yhteistuotantolaitoksissa. Puupohjaisten biomassojen ja muiden kiinteiden biopolttoaineiden hyödyntäminen pienimuotoisissa yhteistuotantolaitoksissa on kuitenkin verrattain haasteellista, sillä kaikista pienimmän mittaluokan laitteistot edellyttävät tyypillisesti kaasumaisia tai nestemäisiä polttoaineita.

Hajautettu energiantuotanto on nykyisellään päästölainsäädännön osalta hieman moniselitteisessä asemassa, sillä keskisuurten (1–50 MW) voimalaitosten osalta on voimassa kansallinen lainsäädäntö (PiPo-asetus), kun taas mittakaavaltaan kaikista pienintä tuotantoa (alle 1 MW) ei tällä hetkellä säännellä lainkaan. Euroopan neuvoston ja parlamentin Ecodesign-puitedirektiivin perusteella annetut kaupallisia energiantuotantolaitteita koskevat asetukset tulevat muuttamaan tilannetta kaikista pienimuotoisimman tuotannon (alle 500 kW) osalta, ja MCP-direktiiviehdotus edellyttäne voimaan tullessaan keskisuurta tuotantoa koskevan kansallisen lainsäädännön tiukentamista paikoittain.

Lähteet

AMAP 2011. *The Impact of Black Carbon on Arctic Climate.*

Basu, Prabir. 2010. *Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory.*

Community Power Corporation 2015. Henkilökohtainen tiedonanto.

Ekosuunnittelu.info: ”Lämmityslaitteet ja -kattilat.” Verkkosivu, viitattu 23.6.2015.

[http://www.ekosuunnittelu.info/tuoteryhmat/lammityslaitteet_ja_kattilat]

Energiateollisuus: ”Säätövoima.” Verkkosivu, viitattu 19.5.2015. [<http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/sahkontuotanto/saatovoima>]

Energiateollisuus 2010. *Haasteista mahdollisuuksia – sähkön ja kaukolämmön hiilineutraali visio vuodelle 2050.*

Energiateollisuus 2014. *Kaukolämpötilasto 2013.*

Euroopan komissio 2013. Komission asetus (EU) N:o 813/2013 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2009/125/EY täytäntöönpanemisesta tilalämmittimien ja yhdistelmälämmittimien ekologista suunnittelua koskevien vaatimusten osalta.

Euroopan komissio 2014a. Luonnos komission asetukseksi Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2009/125/EY täytäntöönpanemisesta kiinteän polttoaineen kattiloiden ekologista suunnittelua koskevien vaatimusten osalta.

Euroopan komissio 2014b. Luonnos komission asetukseksi Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2009/125/EY täytäntöönpanemisesta kiinteää polttoainetta käyttävien paikallisten tilalämmittimien ekologista suunnittelua koskevien vaatimusten osalta

Euroopan unionin neuvosto 2014. Ehdotus Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiiviksi tiettyjen keskisuurista polttolaitoksista ilmaan joutuvien epäpuhtauspäästöjen rajoittamisesta – Yleisnäkemykset. KOM(2013) 919 lopullinen.

Europaeus, Veera 2014. *Puubiomassan kaasutukseen perustuva hajautettu energiantuotanto.* Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Teknillinen tiedekunta, Energiatekniikan koulutusohjelma.

Finlex: ”Ajantasainen lainsäädäntö.” [<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/>]

Gaia Consulting 2014a. *Lämmön pientuotannon ja pienimuotoisen ylijäämälämmön hyödyntäminen kaukolämpötoiminnassa.* Loppuraportti 15.12.2014.

Gaia Consulting 2014b. *Sähkön pientuotannon kilpailukyvyyn ja kokonaistaloudellisten hyötyjen analyysi.* Loppuraportti 3.10.2014.

Gaia Group 2002. *Hajautettu energiantuotanto: teknologia, polttoaineet, markkinat ja CO₂-päästöt.*

Huttunen, Markku & Kuittinen, Ville 2014. *Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 17.* Tiedot vuodelta 2013. Publications of the University of Eastern Finland, Reports and Studies in Forestry and Natural Sciences, No 19. University of Eastern Finland, Faculty of Science and Forestry, School of Forest Sciences.

Ilmanlaatuportaali: ”Hiilimonoksidi.” Verkkosivu, viitattu 23.6.2015.

[<http://www.ilmanlaatu.fi/ilmansaasteet/komponentit/co.html>]

Ilmastopaneeli 2013a. *Energiajärjestelmä ja päästönvähennystoimet – yhteenvetoraportti.* Suomen ilmastopaneelin raportti 5/2013.

- Ilmastopaneeli 2013b. *Lämpöpumput ja kaukolämpö energijärjestelmässä*. Suomen ilmastopaneelin raportti 3/2013.
- Ilmastopaneeli 2013c. *Rakennetun ympäristön hajautetut energijärjestelmät*. Suomen ilmastopaneelin raportti 4/2013.
- Jyväskylän Energia: ”Älykkäät energiaratkaisut.” Verkkosivu, viitattu 25.5.2015.
[<http://www.jyvaskylanenergia.fi/asuntomessut/alykkaat-energiaratkaisut>]
- Karjalainen, Timo 2012. *Pienimuotoisen lämmön ja sähkön yhteistuotannon tilannekatsaus – laitteet ja niiden käyttöönnotto*. Oulun yliopisto, Kajaanin yliopistokeskus, Cemis-Oulu.
- Lehtomäki, Annimari ym. 2007. *Biokaasusta energiaa maatalouteen – raaka-aineet, teknologiat ja lopputuotteet*. Jyväskylän yliopiston Bio- ja ympäristötieteiden laitoksen tiedonantoja 85.
- Mikkola, Hannu 2012. *Peltobioenergian tuotanto suomessa. Potentiaali, energiasuhteet ja nettoenergia*. Väitöskirja. Helsingin yliopisto, Maataloustieteiden laitos.
- MMM 2007. *Peltobiomassa, liikenteen biopoltonesteet ja biokaasu -jaoston loppuraportti*. MMM:n työryhmämuistio 2007:2. Helsinki 2007.
- Motiva: ”Aurinkoenergia.” Verkkosivu, viitattu 20.5.2015.
[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia]
- Motiva: ”Aurinkokeräimet.” Verkkosivu, viitattu 19.5.2015.
[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkolampo/aurinkokeraimet]
- Motiva: ”Biokaasun hyödyntäminen.” Verkkosivu, viitattu 10.6.2015.
[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/energiaa_pelloilta/biokaasu/biokaasun_hyodyntaminen]
- Motiva: ”Maakaasu.” Verkkosivu, viitattu 12.6.2015.
[http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/maakaasu]
- Motiva: ”Pienvesivoima.” Verkkosivu, viitattu 19.5.2015.
[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/vesivoima/pienvesivoima]
- Motiva 2008. *Biokaasulaitosten energiatase maatilojen biomassoja hyödyntävissä laitoksissa*.
- Motiva 2010. *Selvitys hajautetusta ja paikallisesta energiantuotannosta erilaisilla asuinalueilla*. Loppuraportti 12/2010.
- Motiva 2013. *Biokaasun tuotanto maatilalla*.
- MTT 2006. *Rypsi biodieselin (RME) maatilatuotannon kannattavuus*. MTT:n selvityksiä 115.
- Northern Solutions 2009. *Pienpolton hiukkaspäästöt ja niiden vähentäminen*.
- Pieniniemi, Kari & Muilu, Yrjö 2011. ”Kaasutus ja tuotekaasun analysointi.” Teoksessa *Biomassan kaasutus sähköksi, lämmöksi ja biopolttoaineiksi*, HighBio-projektijulkaisu, toim. Lassi, Ulla & Wikman, Bodil.
- PR vesisuunnittelu 2005. *Pienvesivoimakartoitus. Minivesivoimasektori < 1 MW*. Kauppa- ja teollisuusministeriölle tehty selvitys. Raportti 31.3.2005.
- Pöyry 2013. *Aurinkolämmön liiketoimintamahdollisuudet kaukolämmön yhteydessä Suomessa*. Loppuraportti 52X116181, 7.6.2013.
- Rehling, Barbara ym. 2011. ”BioSNG—process simulation and comparison with first results from a 1-MW demonstration plant.” *Biomass Conv. Bioref.* (2011) 1:111–119, DOI 10.1007/s13399-011-0013-3.

Salmela, Pekka 2010. *Kempeleen ekokylä*. Esitys kuntien ilmastokonferenssissa 6.5.2010.

Sarvaranta, Anni 2010. *Älykkäät sähköverkot ja niiden kehitys Euroopan unionissa ja Suomessa*. Harjoitustyö. Aalto-yliopisto, Energiatekniikan laitos.

Savolahti ym. 2015. *Pienpolton päästövähennyskeinojen kustannustehokkuus ja vaikutukset väestöaltistukseen*. Julkaisematon raportti.

Sitra 2010a. *Energiatehokkuus kaavoituksessa. Skaftkärr, Porvoo. Kaavarunkovaiheen loppuraportti*. Sitran selvityksiä 41.

Sitra 2010b. *Rakennetun ympäristön energiankäyttö ja kasvihuonekaasupäästöt*. Sitran selvityksiä 39.

STTV 2008. *Puun pienpolttota koskevat terveydelliset ohjeet*. Sosiaali- ja terveydenhuollon tuotevalvontakeskuksen oppaita 6/2008.

Suomen Lämpöpumppuyhdistys: ”Lämpöpumppujen merkitys ja tulevaisuus.”
[<http://www.sulpu.fi/documents/184029/209175/Lampopumppujen-merkitys-ja-tulevaisuus-SULPU.pdf>]

Suomen Lämpöpumppuyhdistys: ”Lämpöpumpputilasto.”
[<http://www.sulpu.fi/documents/184029/209175/Lampopumpputilastoja-SULPU.pdf>]

Suomen ympäristökeskus 2007. *Bioenergian uudet haasteet Suomessa ja niiden ympäristönäkökulmat*. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 11/2007.

Suomen ympäristökeskus 2009. *Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT). Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä*. Suomen ympäristö 24/2009.

Suomen ympäristökeskus 2011. *Metsäbiomassan energiakäytön ilmastovaikutukset Suomessa*. Suomen ympäristö 5/2011.

Suomen ympäristökeskus 2012. *Teollisuuspäästädirektiivin toimeenpanon vaikutukset Suomessa*. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 19/2012.

Suomen ympäristökeskus 2015. *Päästökattodirektiiviehdotuksen ja keskisuurten polttolaitosten direktiiviehdotuksen toimeenpanon vaikutukset Suomessa*. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 6/2015.

Tahkokorpi, Markku 2014. *Lähienergiatilastointi Suomessa 2013*.

Tekes 2008. *Energiantuotannon hajautus ja hallinta. DENSY-teknologiaohjelman loppuarviointi*. Tekesin ohjelmaraportti 5/2008.

THL 2010. *Health Risks from Nearby Sources of Fine Particulate Matter: Domestic Wood Combustion and Road Traffic (PILTTI)*. THL Report 3/2010.

Tilastokeskus 2014. *Energia 2014 -taulukkopalvelu*.
[http://pxweb2.stat.fi/sahkoiset_julkaisut/energia2014/start.htm]

Tilastokeskus 2015. *Tilastokeskuksen polttoaineluokitus 2015*.
[<https://tilastokeskus.fi/meta/luokitukset/polttoaineet/001-2015/index.html>]

Tulli 2015. ”Sähkön pientuotannon verotus helpottuu toukokuun alussa.” Valtionvarainministeriön ja Tullin tiedote 27.4.2015, viitattu 25.5.2015.
[http://www.tulli.fi/fi/tiedotteet/lehdistotiedotteet/0000_tiedotteet/tiedote_20150427_5/index.html]

Tuomisto, Hanna 2006. *Peltobiokaasu liikenteen biopolttovaihtoehtona energia-, kasvihuonekaasu- ja ravinnetaseiden kannalta*. Pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto, Soveltavan biologian laitos, Agroekologia.

Turku Energia 2015. ”Turku Energia ja VTT yhteistyöhön Skanssin alueen uudenlaisen kaukolämpöratkaisun kehittämisessä.” Turku Energian tiedote 26.2.2015, viitattu 25.5.2015. [<http://www.turkuenergia.fi/tietoa-meista/medialle/mediatiedotteet/2015/turku-energia-ja-vtt-yhteistyohon-skanssin-alueen-uudenlaisen-kaukolamporatkaisun-kehittamisessa/>]

Tuulivoimayhdistys: ”Pientuulivoima.” Verkkosivu, viitattu 19.5.2015. [<http://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/pientuulivoima>]

Tuulivoimayhdistys: ”Tuulivoima Suomessa.” Verkkosivu, viitattu 5.6.2015. [<http://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoima-suomessa-ja-maailmalla/tuulivoima-suomessa>]

Työ- ja elinkeinoministeriö 2014a. *Energia- ja ilmastotiekartta 2050. Parlamentaarisen energia- ja ilmastokomitean mietintö 16. päivänä lokakuuta 2014.* Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja, Energia ja ilmasto 31/2014.

Työ- ja elinkeinoministeriö 2014b. *Pienimuotoisen energiantuotannon edistämisyöryhmän loppuraportti 5.12.2014.* Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja, Energia ja ilmasto 55/2014.

Tähti, Hanne & Rintala, Jukka 2010. *Biometaanin ja -vedyn tuotantopotentiaali suomessa.* Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksen tiedonantoja 90.

Valtioneuvoston kanslia 2009. *Valtioneuvoston tulevaisuusselonteko ilmasto- ja energiapolitiikasta: kohti vähäpäästöistä Suomea.* Valtioneuvoston kanslian julkaisusarja 28/2009.

Volter: ”Kempeleen ekokortteli.” Verkkosivu, viitattu 25.6.2015. [<http://volter.fi/fi/portfolio/kempeleen-ekokortteli/>]

Volter: ”Teknologia.” Verkkosivu, viitattu 26.6.2015. [<http://volter.fi/fi/teknologia/>]

Volter 2015. Henkilökohtainen tiedonanto.

VTT 2001. *Energy Visions 2030 for Finland.*

VTT 2005. *Small-Scale Biomass CHP Plant and District Heating.* VTT Research Notes 2301.

VTT 2006a. *Liikenteen biopolttoaineiden ja peltoenergian kasvihuonekaasutaseet ja uudet liiketoimintakonseptit.* VTT Tiedotteita 2357.

VTT 2006b. *Verkkovisio 2030. Jakelu- ja alueverkkojen teknologiavisio.* VTT Tiedotteita 2361.

VTT 2008. *Synteetikaasun ja puhtaan polttokaasun valmistus.* VTT Publications 682.

VTT 2009. *Energy Visions 2050.*

VTT 2014. *Renewable energy production of Finnish heat pumps. Final report of the SPF-project.* VTT Technology 164.

YIT 2010. *Teollisuuden ylijäämälämmön hyödyntäminen kaukolämmityksessä.* YIT Teollisuus- ja verkkopalvelut Oy. Projekti nro. 860308, 20.10.2010.

Ympäristöministeriö: ”Ekosuunnitteludirektiivi.” Verkkosivu, viitattu 23.6.2015. [http://www.ym.fi/fi-fi/maankaytto_ja_rakentaminen/Rakentamisen_ohjaus/Rakennustuotteiden_tuotehyvaksynta/Ekosuunnitteludirektiivi_ja_energiamerkintadirektiivi]