

Energiamurroksen ennakoidut vaikutukset 2030: Lämpöpumput, aurinkolämpö ja lämmön varastointi

Mikko Jalas
Tero Ahonen



Energiamurroksen ennakoidut vaikutukset 2030: Lämpöpumput, aurinkolämpö ja lämmön varastointi

Mikko Jalas
Tero Ahonen

Aalto-yliopiston julkaisusarja
CROSSOVER 10/2016

© Mikko Jalas, Tero Ahonen

ISBN 978-952-60-7147-3 (pdf)

ISSN-L 1799-4950

ISSN 1799-4950 (painettu)

ISSN 1799-4969 (pdf)

www.smartenergytransition.fi

Unigrafia Oy
Helsinki 2016

Smart Energy Transition -hanke (293405) kiittää Suomen Akatemian strategisen tutkimuksen neuvostoa hankkeen mahdollisestamisesta ja tukemisesta.

Tekijä

Mikko Jalas, Tero Ahonen

Julkaisun nimi

Energiamurroksen ennakoituiden vaikutukset 2030: Lämpöpumput, aurinkolämpö ja lämmön varastointi

Julkaisija Kauppakorkeakoulu**Yksikkö** Johtamisen laitos**Sarja** Aalto-yliopiston julkaisusarja CROSSOVER 10/2016**Tutkimusala** Energiatutkimus**Kieli** Suomi**Tiivistelmä**

Tämä case-julkaisu liittyy Suomen Akatemian strategisen tutkimuksen neuvoston rahoittamaan Smart Energy Transition (SET) -hankkeeseen (www.smartenergytransition.fi).

Lämpöjärjestelmien teknologiat ovat voimakkaassa murroksessa. Vaikka lämpöpumpputeknologia on jo päässyt markkinoille, sen käyttökohteiden monipuolistuminen ja teknologian kehitys tarjoavat mahdollisuuksia vähentää lämmityksen energiatarvetta merkittävästi. Yksittäinen merkittävin murros vaikutus kohdistuu lämmönjakeluverkkoon. Lämmön tarpeen odotetaan olevan laskussa. Samaan aikaan lämmön ja sähkön yhteistuotanto on vaikeuksissa vaihtelevan sähköntuotantorakenteen yleistyessä.

Kaukolämpöverkkojen toimintaa voidaan kuitenkin kehittää monella eri tavalla. Lämpövarastot ja niihin vaadittava suuri mittakaava perustelee olemassa olevan lämmönjakeluverkoston tarvetta. Kaksisuuntaisen lämpöverkon ajatus ja erillisten lämmön jakeluun keskittyvien toimijoiden tarpeellisuus jakoi asiantuntijatyöskentelyyn osallistuneiden ihmisten mielipiteitä. Aurinkolämpöteknologia ei asiantuntijatyöskentelyn valossa näytä aiheuttavan merkittäviä murroksia. Pikemminkin, kaukolämpöverkkoon tukeutuva hukkalämmön keruu hajalähteistä ja lämmön varastointi tukee lämmönjakeluverkostojen asemaa.

Avainsanat energia, älykäs energia, energiamurros**ISBN (painettu)****ISBN (pdf)** 978-952-60-7147-3**ISSN-L** 1799-4950**ISSN (painettu)** 1799-4950**ISSN (pdf)** 1799-4969**Julkaisupaikka** Helsinki**Painopaikka** Helsinki**Vuosi** 2016**Sivumäärä** 14

Sisällys

1 Johdanto	1
2 Lämpöteknologioiden merkitys	1
2.1 Lämpöpumput: läpimurron tehnyt energiatehokas lämmitysratkaisu	1
2.2 Aurinkolämpö – uusi tulokas	3
2.3 Geoterminen lämpö	4
2.4 Lämmön varastointi.....	4
3 Asiantuntijanäkemyksiä lämpöjärjestelmien kehityksestä Suomessa vuoteen 2030 mennessä	5
4 Lämpöjärjestelmiin liittyvät mahdollisuudet	6
4.1 Linkittyvät teknologiat.....	6
4.2 Potentiaaliset toimijat	6
4.3 Käyttökelpoiset ohjauskeinot	7
5 Yhteenveto	7
Lähteet	8

1 Johdanto

Smart Energy Transition (SET) on Suomen Akatemian rahoittama tutkimushanke, jossa tutkitaan globaalin energiamurroksen aiheuttamia vaikutuksia Suomessa. SET-hanke järjesti keväällä 2016 asiantuntijakyselyn ja -työpajan, joilla kartoitettiin energiamurroksen teknologioiden ennakoitua kehitystä ja käyttöönottoa Suomessa vuoteen 2030 mennessä. Kaksikierrokseen kyselyyn kutsuttiin mukaan yli 250 energia-alan asiantuntijaa, siihen osallistui noin 60 henkeä. Tulosten pohjalta kesäkuussa 2016 järjestettyyn työpajaan osallistui noin 40 henkeä. Yhdeksi teemaksi koottiin lämpöpumppujen, aurinkolämmön ja lämmönvarastointiin liittyvät muutokset.

Seuraavassa esitellään lämpöjärjestelmien teknologian ominaispiirteitä Suomessa, saatujen vastausten jakaumia ja yksittäisten vastaajien lämpöjärjestelmien kehitystä koskevia huomioita sekä osallistujien näkemyksiä ohjauskeinoista ja liiketoimintamahdollisuuksista.

2 Lämpöteknologioiden merkitys

Lämmöntuotantoa tarvitaan rakennusten ylläpitoon, palveluiden tuotantoon, teollisten prosessien syötteenä ja kotitalouksien arkisessa toiminnassa. Lämpöpalveluita tuotetaan rakennuskohtaisin lämmitysjärjestelmien avulla ja lämmönjakeluverkkoon liitetyissä lämpö- ja CHP-laitoksissa. Vuonna 2014 rakennusten lämmitykseen käytettiin 76 TWh, joka on 26 % Suomen kokonaisenergiakulutuksesta. Tästä määrästä erillislämpölaitokset tuottivat 12TWh, ja CHP-laitokset 25TWh (SVT 2016). Sähkön perustuvien lämmitysjärjestelmien ongelmana on sähkön riittävyys kulutushuippujen aikana. Kulutushuippujen aikana erimuotoisten sähkölämmitysjärjestelmien tehontarpeeksi on arvioitu 3,3-4GW, mikä vastaa noin kolmasosaa huippukuormituksen aikaisesta tehontarpeesta (Ojaniemi ja Penttinen 2008, Heljo ja Laine 2005).

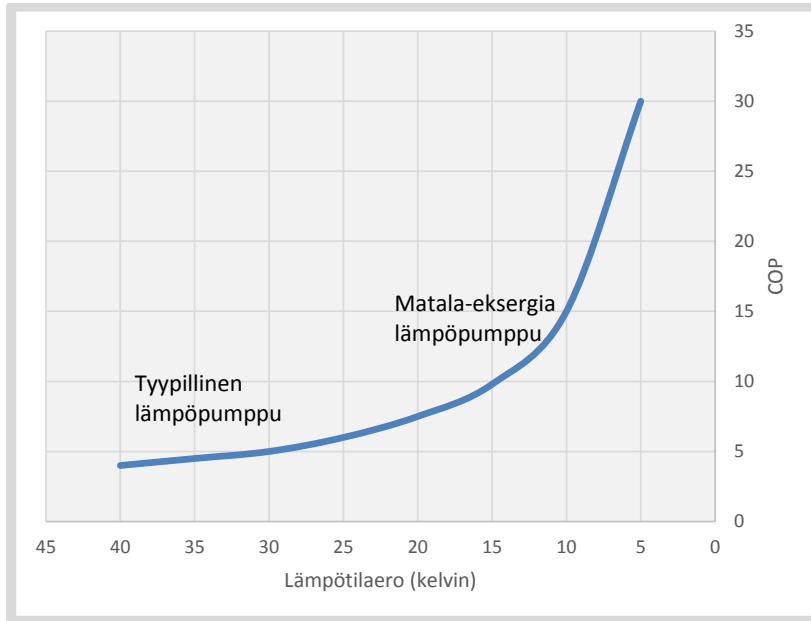
2.1 Lämpöpumput: läpimurron tehnyt energiatehokas lämmitysratkaisu

Lämpöpumppu on teknologiana vanha, mutta varsinaisen läpimurron tekniikka on tehnyt vasta 2000-luvulla. Nykyään maalämpöpumppu on yleisin uusien omakotitalojen lämmitysratkaisu. Lämpöpumpun tehtävänä on muuttaa sähköä lämmöksi: keräämällä matalalämpötilaista lämpöä rakennuksen ulkopuolelta ja nostamalla sen lämpötilaa kompressorijärjestelmän avulla, lämpöpumppu tehostaa sähköllä tapahtuvaa lämmitystä merkittävästi. Lämpöpumpuilla tuotettu lämpö haastaa laajempaan lämmönjakeluverkkoon perustuvat lämpöratkaisut.

Kotitalouksissa lämpöpumput ovat normaalisti joko seinäasenteisia ilmalämpöpumppuja tai lämminvesivaraajaan liitettyjä maalämpöjärjestelmiä. Lämpöpumppujen käyttökohteet ovat kuitenkin laajentuneet pientaloista isompiin kiinteistöihin ja erilaisten matalalämpötilaisten lämpövirtojen hyödyntämiseen (esim. poistoilma ja jätevesi). Isossa mittakaavassa (>10MW) lämpöpumppuja käytetään jäteveden lämmönkeruussa, jolloin lämpö johdetaan kaukolämpöverkkoon. Käytännön esimerkkinä Turun Kakolanmäen jätevedenpuhdistamon yhteyteen on rakennettu vuonna 2009 lämpöpumppulaitos, jossa jätevedeen sitoutuneesta lämpöenergiasta otetaan osa talteen ja siitä tuotetaan kaukolämpöä. Lämpö-pumppulaitoksen teho on 42 MW kaukolämpöä (Turun seudun puhdistamo). Helsingissä sijaitsevan, maailman suuriman jäteveden lämpöenergiaa hyödyntävän voimalan teho 90 MW kaukolämpöä. Lämpöpumppuja voidaan käyttää tuottamaan myös rakennuskohtaista jäähdytystä tai kaukojäähdytystä kaukolämpöverkon osana.

Lämpöpumppuinvestointeihin vaikuttaa mittakaavaetu. Esimerkiksi yllä mainittu Turku Energian 42 MW lämpöpumppulaitos on ollut noin 20 miljoonan euron investointi, eli noin 500 euroa/kW (Syrjälä 2015). Investointi pieniin maalämpöjärjestelmiin on huomattavasti kalliimpaa; Suomen Lämpöpumppuyhdistyksen arvioita käyttäen investointikustannus omakotitaloloukassa on noin nelinkertainen, 2000 euroa/kW. Tämän lisäksi kaukolämpöverkkoihin kytkettyjen lämpöpumppujen käyttäjät ovat rakennuskohtaisia yksiköjä suuremmat.

Lämpöpumppujen COP-kerroin kuvaa tehokkuutta, jolla pumppu pystyy parantamaan sähkönkäytön tehokkuutta lämmityksessä. Tehokkuus riippuu siitä, kuinka iso lämpötilaero lämmitettävän kohteen ja lämmönlähteen, esimerkiksi maaperän, välillä on. Tästä syystä ilmalämpöpumput eivät kovalla pakkasella säästä yhtä paljon sähköä kuin vastaavan lämmitystuloksen tuottava maalämpöjärjestelmä. Tavanomaisten ilmalämpöpumppujen COP-luku on noin 1,5. Maalämpöpumppujen COP-luku on noin 3. Lattialämmitysjärjestelmään kytketyn maalämpö-pumpun COP voi olla jopa 5. Low Exergy- rakentamisella kuitenkin tavoitellaan vielä tästäkin merkittävästi parempia COP-lukuja.



Lämpötilaeron ja COP-luvun välinen suhde (mukaillen Meggers ym. 2012). Jalas 2016 CC BY-NC-ND.

2.2 Aurinkolämpö – uusi tulokas

Toinen lämpöön liittyvä murrostekniikka on aurinkolämmön kerääminen. Aurinkokeräin muuntaa auringon säteilyä teknisesti käyttökelpoiseksi lämmöksi. Aurinkokeräinten avulla voidaan lämmittää asukkaiden käyttövettä, teollisuuden prosessivettä sekä rakennuksia. Tilojen lämmitykseen aurinkolämpöä voi hyödyntää kevästä syksyyn. Etenkin kosteissa pesu- ja kellaritiloissa pidetään lämmitystä päällä yleensä myös kesäisin. Lämmintä vettä tarvitaan myös tasaisesti ympäri vuoden. Aurinkolämpökeräimillä voidaan helposti saavuttaa lämpimän käyttöveden 55-60 asteen lämpötila ja matalaa lämpötilaa käyttävien lattialämmitysjärjestelmien vaatima lämpötila. Öljylämmitteisten lämmitysjärjestelmien patteriverkko vaatii tyypillisesti korkeampaa lämpötilaa. Korkeinta lämpöä vaaditaan nykyisiin kaukolämpöverkkoihin, joissa kiertää paineistettua 110-120 asteista vettä. Matalan lämpötilan lämpöä voidaan kerätä monenlaisista kohteista, mm asfaltoiduista katupinnoista, mutta korkeamman lämpötilan saavuttaminen vaatii kehittyneempiä ja kalliimpia keräintekniikoita.

Aurinkoenergian kannattavuutta voi arvioida vertailemalla voimalan tuottaman lämmön hintaa muiden vaihtoehtoisten energialähteiden kokonaiskustannuksiin. Aurinkolämmön tuotantohinnat ovat vuoden 2014-2015 järjestelmähintojen perusteella ilman korkoja ja tukia (Finsolar 2015):

- pienissä 4 – 20 m² kohteissa, kuten pientaloissa 46–114 €/MWh
- keskiuurissa 20 – 100 m² kohteissa, kuten asunto-osaakeyhtiöissä ja maataloilla 45 – 84 €/MWh
- suurissa 100 – 1000 m² kohteissa, kuten aluelämpöverkoissa ja teollisuudessa 35 – 55 €/MWh

Kaukolämpö on aurinkolämmön vaihtoehto kaupunkiympäristöjen rakennuksissa. Kaukolämpötoimijat ovat siirtyneet kausihinnoitteluun, jonka myötä niiden tuottaman lämmön kesähinta on laskenut. Kesähinta esimerkiksi Helsingissä vuonna 2016 on 26 €/MWh ja syysyhinta 43 €/MWh. Aurinkolämpö on kiinnostava vaihtoehto polttolaitosten käyttämiselle kesäaikana vaajaeholla. Sama pätee pienemmässä mittakaavassa mm. hakelämpölaitoksia käyttäviin rakennuskokonaisuuksiin.

2.3 Geoterminen lämpö

Jäteveden ja maalämmön hyödyntämisen lisäksi geoterminen lämpö voi olla yksi vaihtoehtoista kaukolämmön tuotantoon. Geoterminen lämpö perustuu kahden riittävän syvän (esim. 7 km) lämpökaivon (reiän) poraamiseen, johon syötettävä vesi lämpenee riittävästi tuottaakseen kaukolämpöä ilman erillistä lämpöpumppua. Suomessa Espoon Otaniemeen tehdään geotermisen lämmön kokeiluhanketta. Jos geoterminen voimala tulee toimimaan odotetusti, sen tuotanto on n. 40 MW kaukolämpöä.

2.4 Lämmön varastointi

Lämmön varastoinnilla voidaan tasoittaa sähköpohjaisten lämmitysjärjestelmien aiheuttamia kuormituspiikkejä ja jossain tapauksissa myös siirtää kesäaikaista aurinkolämpöä lämmityskaudelle. Erityisesti kaukojäähdytykseen käytettävät lämpöpumppuvoimalat pitävät sisällään usein varastointikapasiteettia, eli kallioperään varastoitua kylmää vettä, joka tasoittaa kaukojäähdytys-järjestelmien toimintaa. Tätä varastokapasiteettia voidaan vastaavasti käyttää myös lämpövarastona: esimerkiksi Arlandan lentokentällä on maanalainen vesivarasto, joka tuottaa lähes kaiken kesällä tarvittavan jäähdytysenergian. Vesivaraston lämpöenergiaa käytetään talvella lentokoneiden pysäköintipaikkojen sulattamiseen ja rakennusten tuloilman esilämmitykseen (Retermia 2016).

Kesäaikaista aurinkolämpöä tai jäähdytyksestä syntyvää hukkalämpöä voidaan käyttää lämpöpumppujen lämmönkeräyspiirien 'lataamiseen' kesäaikana. Latauksen merkityksen tutkiminen ja latausjärjestelmien kehittäminen on kuitenkin vasta aluillaan. Kanadassa on aurinkolämpövoimalaan kytketty 52 pientalon asuinalue. Aurinkolämpöä käytetään tilojen ja käyttöveden lämmitykseen. Lämpöä kausivarastoidaan lämpökaivojen kautta syvälle kiintokallioon 144 lämpökaivoon, jotka ovat noin 37 metriä syviä. Päivätasolla aurinkoenergiaa varastoidaan

kunkin talon autotallissa sijaitsevaan vesivaraajaan. Kesäpäivänä aurinkolämpöjärjestelmän teho nousee enimmillään 1 500 kilowattiin (Motiva 2016).

3 Asiantuntijanäkemyksiä lämpöjärjestelmien kehityksestä Suomessa vuoteen 2030 mennessä

Rakennusten energiankäytön ennakoidaan Suomessa tehostuvan ja vähenevän selvästi. Lähes 90 % Delfoi-tutkimuksen asiantuntijoista on sitä mieltä, että primäärienergian käyttö rakennuksissa vähenee vuoteen 2030. Julkisten rakennusten energiankulutuksen odotetaan seuraavan samaa kehitystä.

Lämpöpumppujen odotetaan muodostuvan kaikkein selkeimmäksi murrosvoimaksi vuoteen 2030 mennessä. Niiden käytön ennakoidaan laajentuvan ja samalla teknologian uskotaan parantuvan, siten että pumppujen hyötysuhdetta kuvaava COP-luku nousee. Yli puolet vastaajista arvioi, että 20-30 prosenttia rakennusten lämpötarpeesta tuotetaan lämpöpumpuilla. Huipputehotarpeeseen liittyvät huolien ennakoidaan kuitenkin rajaavan lämpöpumppujen roolia. Kyselyn vastaajat ennakoivat ja toivoivat siirtymistä tehopohjaiseen sähkömarkkinaa. Lämpöpumppujen käytön kannalta tämä muutos on merkittävä. Delfoi-keskustelija esimerkiksi kommentoi että 'lämpöpumppujen sähkön (teho) tarve olisi otettava paremmin huomioon; pelkkä energiapohjainen tarkastelu vie harhaan' (DR2, B1). Erityisesti järjestelmän 'vapaa-matkustajana' (DR2, B2) pidetyn ilmalämpöpumpuilla tuotetun lämpöenergian hinta muuttuu tehoinnoittelun myötä merkittävästi. Toisaalta kapasiteettimarkkinan käyttöönotto kannustaa suoran sähkölämmityksen tehostamiseen ja kuormituksen tasaamiseen kaikilla mahdollisilla keinoilla.

Lämmöntuotantoon ja varastointiin ennakoidaan merkittäviä muutoksia. Noin 50 % vastaajista uskoo, että vuonna 2030 geotermiäinen lämpö on kaupallisessa käytössä. Kaukolämpöverkoon ennakoidaan liitetyn lämmön kausivarastointia. Kausivarastointi ei kuitenkaan välttämättä liity aurinkolämpöön – tässä vastaajat jakautuvat selvästi kahteen ryhmään. Aurinkolämmön sijaan tai ohella jakeluverkon lämpövarastoja ylläpidetään lämpöpumpuilla. Selvästi yli puolet noin 70 % vastaajista kuitenkin ennakoivat, että ainakin 30 % kotitalouksista hyödyntää aurinkolämpöä rakennuskohtaisena lämpöratkaisuna vuonna 2030. Faasimuunnosmateriaalit ja lämpöakut jakavat vastaajien mielipiteitä. Suurin osa ei näe näiden teknologioiden olevan kaupallisessa käytössä vuonna 2030. Toisenlaisia näkemyksiäkin esiintyy: esim. 'Lämmön tehokas varastointi lämpöakuilla tulee ainakin passiivitaloissa jossain kohtaa kannattavaksi kun muut helpot temput on tehty' (R2, B3).

Biopolttoaineiden merkittävä rooli lämmöntuotannossa näyttää kyselyn valossa jatkuvan. Met-sähäkkeen käytön ennustetaan kasvaa alueellisissa lämpölaitoksissa, mikä on yhdenmu-kaista hallituksen nykyisiin tavoitteisiin nähden. Käytön ennakoidaan kasvavan myös CHP-laitoksissa ja osittain korvaavan hiiltä polttoaineena. Lähes puolet vastaajista ennakoivat hiilestä

luovuttavan kokonaan luovuttavan vuoteen 2030 mennessä (ks. erillinen raportti koskien asiantuntijanäkemyksiä bioenergian käytön tulevaisuudesta).

4 Lämpöjärjestelmiin liittyvät mahdollisuudet

4.1 Linkittyvät teknologiat

Murrosteknologioiden yleisemmät leviämisen ehdot liittyvät laajoihin taustakysymyksiin kuten hiilidioksidipäästöjen verotukseen ja sähkönsiirtokapasiteetin ylläpitoon. Lämpöjärjestelmiin liittyy kuitenkin myös selkeämmin kohdentuvia liiketoimintamahdollisuuksia ja ohjaustarpeita.

Delfoi-asiantuntijatyöpaja pohti lämmönjakeluinfrastruktuurin kehitystä. Yhtenä lähtökohtana on se, että lämmöntarve vähenee merkittävästi ja kohdistuu entistä lyhyempään aikaan. Koko lämmönjakeluinfrastruktuurin tarve nousi osittain kyseenalaiseksi. Toisaalta osallistujat korostavat infrastruktuurin muutostarvetta: tarvitaan kaksisuuntainen verkko, joka pystyy toimimaan matalammilla lämpötiloilla ja tarjoamaan kaukojäähdytyspalvelua. Sekä työpajassa että kyselyssä korostettiin alueellisten lämpövarastojen välttämättömyyttä.

Sähköllä lämmittämisen suuri ongelma on sähkön riittävä saatavuus lämmitystarpeen kysyntähuippujen aikana talvella. Tätä ongelmaa voidaan ratkoa sähköntuotantorakennetta muuttamalla, mutta myös lämpöä varastoimalla. Koska lämmöntuotantohuippuina lämmitykseen kuitenkin menee vain noin kolmasosa kokonaissähköntarpeesta, myös muuta sähkönkäyttöä uudelleenajoittamalla voidaan parantaa lämpöpumppulämmityksen käyttökelpoisuutta. Lämpöpumppujen merkitys riippuu siis rakennuskannan muutoksista, sähköntuotantorakenteesta, mahdollisuuksista varastoida sähköä ja lämpöä sekä mahdollisuuksista siirtää muuta sähkökuormaa pois lämmitystarvepiikeistä.

Lämpöpumput, aurinkolämpö, lämmön varastointi ja matalaenergiarakentaminen ovat ratkaisuja, jotka tukevat toisiaan. Aurinkolämmön, lämpöpumppujen ja eri mittakaavojen lämpövarastojen yhdistelmillä voidaan saada pienellä sähköntarpeella tuotettua lämpöpalveluita, jotka riittävät hyvin eristettyjen rakennusten lämpötarpeeseen.

4.2 Potentiaaliset toimijat

Lämpöalan murros tarvitsee uusia toimijoita ja uusia toimintatapoja. Asiantuntijatyöpajassa kaivattiin:

- kokonaisvaltaisten palveluratkaisujen toimittajia
- jakelukanavien kehittymistä (vrt. helposti ostettava ja asennettava ilmalämpöpumppu)
- sijoitus- ja investointilogiikalla toimivia ulkopuolisia rahoittajia

- rakennusliikkeiden aktiivisempaa osallistumista kokonaisuuden kannalta tehokkaiden ratkaisujen toteuttamisessa
- kaukolämpötoimijoiden jakoa siten, että siirto ja tuotanto on eritetty sähkömarkkinan tapaan

4.3 Käyttökelpoiset ohjauskeinot

Lämpöjärjestelmään liittyy laaja kirjo potentiaalisia ohjaustoimia. Niihin liittyvät yksilöidyt asiantuntijankemetykset ovat syntyneet lähinnä kesäkuussa 2016 pidetyssä asiantuntijatyöpajassa.

Työpajan osallistajat kaipaavat resursseja tai uudenlaisia toimijoita neuvontaan rakennusvalvonnan lisäksi. Esimerkiksi energia- ja rakennusdatan avaaminen voisi parantaa energiatehokkuustoimijoiden sekä hukka- ja matalalämmön hyödyntämiseen keskittyvien toimijoiden liiketoimintaedellytyksiä.

Työpajan osallistajat korostavat sekä kiinteistöjen välistä yhteistyötä, kylien ja pienlämpöverkkojen mahdollisuuksia. Samaan pohdintaan liittyy väite siitä, että rakennusten energiatehokkuuden sääntelyn taserajan pitää muuttua.

Rakennustasolla kaivataan tehokuorman suunnittelua: 'maalämpöratkaisuilta pitäisi edellyttää tehotehokkuutta sähkökäytössä. Nyt aiheuttavat kasvavaa tehopiikkiä, kun asennetaan siten, että lämmin vesi, saunan ja asunnon lämmitys voivat olla yhtä aikaa päällä.', (DR2, B3, Kommentti kirjoitettu 26.5.2016 16:20:09).

Lämpöratkaisuihin vaikuttaa myös aluepolitiikka. Kaupunkien lämpöratkaisut ovat erilaisia kuin haja-asutusalueen ratkaisut. Kaava-alueilla voidaan hyödyntää ratkaisuja, joilla parannetaan hukkalämmön hyödyntämisen mahdollisuuksia (esim. datakeskusten sijoittelu) ja varataan tilaa lämpövarastointiin. Työpajassa keskusteltiin myös lämpövarastointiin liittyvistä maaperäkysymyksistä.

5 Yhteenveto

Lämpöjärjestelmien teknologiat ovat voimakkaassa murroksessa. Vaikka lämpöpumpputeknologia on jo päässyt markkinoille, sen käyttökohteiden monipuolistuminen ja teknologian kehitys tarjoaa mahdollisuuksia vähentää lämmityksen energiatarvetta merkittävästi. Yksittäinen merkittävin murros vaikutus kohdistuu lämmönjakeluverkkoon. Lämmön tarpeen odotetaan olevan laskussa. Samaan aikaan lämmön ja sähkön yhteistuotanto on vaikeuksissa vaihtelevan sähköntuotantorakenteen yleistyessä.

Kaukolämpöverkkojen toimintaa voidaan kuitenkin kehittää monella eri tavalla. Lämpövarastot ja niihin vaadittava suuri mittakaava toisaalta perustelee olemassa olevan lämmönjakeluverkoston tarvetta. Kaksisuuntaisen lämpöverkon ajatus ja erillisten lämmön jakeluun keskittyvien toimijoiden tarpeellisuus jakoi asiantuntijatyöskentelyyn osallistuneiden ihmisten mielipiteitä. Aurinkolämpöteknologia ei asiantuntijatyöskentelyn valossa näytä aiheuttavan merkittäviä murroksia. Pikemminkin, kaukolämpöverkkoon tukeutuva aurinkolämmön tuotanto, hukkalämmön keruu hajalähteistä ja lämmön varastointi tukee lämmönjakeluverkoston asemaa.

Lähteet

Finsolar. 2015. Aurinkolämpöjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus. http://www.finsolar.net/?page_id=1398.

Fortum. 2015 Fortumin Suomenojan lämpö-pumppulaitos ottaa jäteveden hukkalämmön talteen. <http://www.fortum.com/fi/media/pages/fortumin-suomenojan-lampopumppulaitos-ottaa-jateveden-hukkalammon-talteen-espoossa.aspx>.

Heljo J. ja Laine H. 2005. Sähkölämmitys ja lämpöpumput sähkökäyttäjänä ja päästöjen aiheuttajina Suomessa. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakentamistalouden laitos. Raportti 2005:2. Saatavilla osoitteesta http://webhotel2.tut.fi/ee/Materiaali/Ekorem/EKO-REM_LP_ja_sahko_raportti_051128.pdf.

Meggens, F., Ritter, V., Goffin, P., Baetschmann, M., & Leibundgut, H. 2012. Low exergy building systems implementation. *Energy*, 41(1), 48-55.

Motiva. 2016. Aurinkolämpöyhteisö, Kanada. http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkolampo/kokemuksia_aurinkolammosta/aurinkolampoyhteiso_kanada.

Ojaniemi, A. ja Penttinen L. 2008. Selvitys: Lämmityssähkön kulutuksen vähentäminen pellettitakkojen avulla. Keski-Suomen Energiatoimisto. Saatavana osoitteesta: www.kesto.fi/GetItem.asp?item=file;5598.

Retermia. 2016. Case Arlanda, Maailman suurin maanalainen energiavarasto Arlandassa hyödyntää Retermian teknologiaa. <http://www.retermia.fi/sovellusesimerkkeja/case-arlanda/>.

St1. 2016. Puhdasta lämpöenergiaa maan syvyyksistä. <http://www.st1.fi/uusiutuva-energia>.

Sundial. Miten aurinkolämpöjärjestelmä toimii? <http://www.sundial.fi/aurinko.php?page=aurinko3>.

SVT. 2016. Suomen virallinen tilasto (SVT): Energian hankinta ja kulutus [verkkajulkaisu]. ISSN=1799-795X. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 27.9.2016]. Saantitapa: <http://www.stat.fi/til/ehk/index.html>.

Syrjälä, I. 2015. Turku Energia. Haastattelu.

Turun seudun puhdistamo. Kakolanmäen jätevedenpuhdistamo. <http://www.turunseudunpuhdistamo.fi/lampopumppu.html>.

Tätä raporttia on ollut valmistelemissa ja kirjoittamassa Mikko Jalas ja Tatu Marttila (Aalto-yliopisto). Työpajassa aurinkolämpö-, lämpöpumppu- ja lämmön varastoinnin keskustelun fasilitaattoreina toimivat lisäksi Hanna-Liisa Kangas (SYKE) ja Eva Heiskanen (Helsingin Yliopisto). Kirjurina toimi Eva Heiskanen.

Tämä case-julkaisu liittyy Suomen Akatemian strategisen tutkimuksen neuvoston rahoittamaan Smart Energy Transition (SET) -hankkeeseen (293405) (www.smartenergytransition.fi). SET-hanke tutkii, miten Suomi voi hyötyä hajautetun ja vaihtelevan uusiutuvan energian ympärille nousevista murroksellisista teknologioista. Kyse on ratkaisuksista, joissa energiaa voidaan varastoida tai sen tarvetta ohjata vaihtelevan tuotannon mukaan (kysyntäjousto). Näihin ratkaisuihin liittyvät olennaisesti uudet digitaaliset ratkaisut, kuten esineiden internet. Samalla murrokseen liittyy myös kehitys, jossa rakennusten ja liikenteen energian tarve pienenee, energiaomavaraisuus kasvaa, ja rakennukset ja liikennevälineet muodostavat yhä kiinteämmän osan energijärjestelmää.



ISBN 978-952-60-7147-3 (pdf)
 ISSN-L 1799-4950
 ISSN 1799-4950 (painettu)
 ISSN 1799-4969 (pdf)

Aalto-yliopisto
Kauppakorkeakoulu
Department of Management Studies
www.aalto.fi

**KAUPPA +
 TALOUS**

**TAIDE +
 MUOTOILU +
 ARKKITEHTUURI**

**TIEDE +
 TEKNOLOGIA**

CROSSOVER

**DOCTORAL
 DISSERTATIONS**