

LAPPEENRANNAN-LAHDEN TEKNILLINEN YLIOPISTO LUT
School of Energy Systems
Energiatekniikka
BH10A0202 Energiatekniikan kandidaatintyö

PROSUMER-TOIMINTA KAUKOLÄMPÖVERKOSSA
PROSUMERISM IN THE DISTRICT HEATING NETWORK

Työn tarkastaja: Päivi Sikiö
Työn ohjaaja: Päivi Sikiö
Lappeenrannassa 23.8.2021
Minja Mikkonen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT
School of Energy Systems
Energiatekniikka

Minja Mikkonen

Prosumer-toiminta kaukolämpöverkossa

Kandidaatintyö 2021

Tarkastaja: Tutkijatohtori Päivi Sikiö

Ohjaaja: Tutkijatohtori Päivi Sikiö

33 sivua, 6 kuvaa ja 5 taulukkoa

Hakusanat: prosumer, kaukolämpö, avoin kaukolämpöverkko, kaksisuuntainen kaukolämpöverkko, hukkalämpö, ylijäämälämpö

Tässä kandidaatintyössä käsitellään prosumer-toimintaa kaukolämpöverkossa. Työn tavoitteena on selvittää prosumer-toiminnan vaikutuksia kaukolämpöverkon toimintaan, ja sen roolia tulevaisuuden kaukolämpöverkossa.

Prosumer-toiminnan kannattavuutta ja vaikutuksia kaukolämpöverkossa tarkastellaan kaukolämpöasiakkaan ja -yhtiön näkökulmasta. Työssä esitellään esimerkitapauksia prosumer-toimijoista Suomessa ja Pohjoismaissa, ja tutustutaan suomalaisten kaukolämpöyhtiöiden hukkalämmön hinnoitteluperiaatteisiin. Lisäksi arvioidaan prosumer-toiminnan mahdollisuuksia ja haasteita toimia osana tulevaisuuden kaukolämpöjärjestelmää.

Prosumer-toiminnalla kaukolämpöverkossa voidaan saavuttaa energiavarojen pienempi kulutus ja säästää ympäristöä. Toisaalta prosumer-toimijoilla syntyneen hukkalämmön saatavuus ei kohtaa lämmön tarpeen kulutushuippuja, ja on harvoin hyödynnettävissä suoraan kaukolämpöverkossa matalan lämpötilansa vuoksi, minkä takia tarvitaan ratkaisuja lämmön varastointiin ja hyödyntämiseen alhaisemmissa lämpötiloissa.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

SISÄLLYSLUETTELO

LYHENNELUETTELO

1	JOHDANTO	5
2	KAUKOLÄMMITYS	7
2.1	Prosumer-toimija	9
2.2	Hukkalämpö	9
2.3	Kaksisuuntainen kaukolämpöverkko.....	10
2.4	Kaukolämpöliiketoiminta	11
3	PROSUMER-TOIMINTA KAUKOLÄMPÖASIAKKAAN NÄKÖKULMASTA	12
3.1	Energiayhtiö Fortumin prosumer-toimijoita.....	12
3.2	Lidlin jakelukeskus Järvenpäässä.....	13
3.3	Talonyhtiö Tampereella.....	13
3.4	Datakeskus Mäntsälässä	14
3.5	Uimahalli Hämeenlinnassa	14
4	PROSUMER-TOIMINTA KAUKOLÄMPÖYHTIÖN NÄKÖKULMASTA	15
4.1	Hukkalämmön ostohinnat ja -ehdot.....	15
5	PROSUMER-TOIMINTA POHJOISMAISSA.....	23
5.1	Trondheim, Norja	23
5.2	Malmö, Ruotsi	24
6	TULEVAISUUDEN KEHITYSSUUNNAT JA HAASTEET	26
7	YHTEENVETO	28
	LÄHTEET	29

LYHENNELUETTELO

ALV	arvonlisävero
CHP	yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto
SVT	Suomen virallinen tilasto
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats
VTT	Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

1 JOHDANTO

Vuonna 2015 solmitun Pariisin ilmastopöytäkirjan tavoitteena on saada maailmanlaajuiset kasvihuonekaasupäästöt laskuun ja pitää maapallon keskilämpötilan nousu selvästi alle kahdessa asteessa suhteessa esiteolliseen aikaan ja pyrkiä toimiin, joilla lämpeneminen saataisiin rajattua alle 1,5 asteen (United Nations Climate Change 2015). Suomen energia- ja ilmastostrategian tavoitteena on vähentää kasvihuonekaasujen määrää vähintään 80 prosenttia vuoteen 2050 mennessä verrattuna vuoden 1990 tasoon, mikä saavuttamiseksi tarvitaan ratkaisuja muuttamaan tapoja, joilla energiaa tällä hetkellä tuotetaan ja kulutetaan (Työ- ja elinkeinoministeriö 2020, 6).

Suomessa rakennusten lämmitys muodosti 26,1 prosenttia energian loppukulutuksesta vuonna 2019 (Suomen virallinen tilasto 2021). Samana vuonna kotitalouksien lämmityksestä aiheutuneet kasvihuonekaasupäästöt olivat 1 260 650 tonnia hiilidioksidiekvivalenttia (Suomen virallinen tilasto 2020a). Rakennusten lämmitysratkaisuista löytyy siis suuri potentiaali energian säästöön ja uusiutuvien energialähteiden hyödyntämiseen.

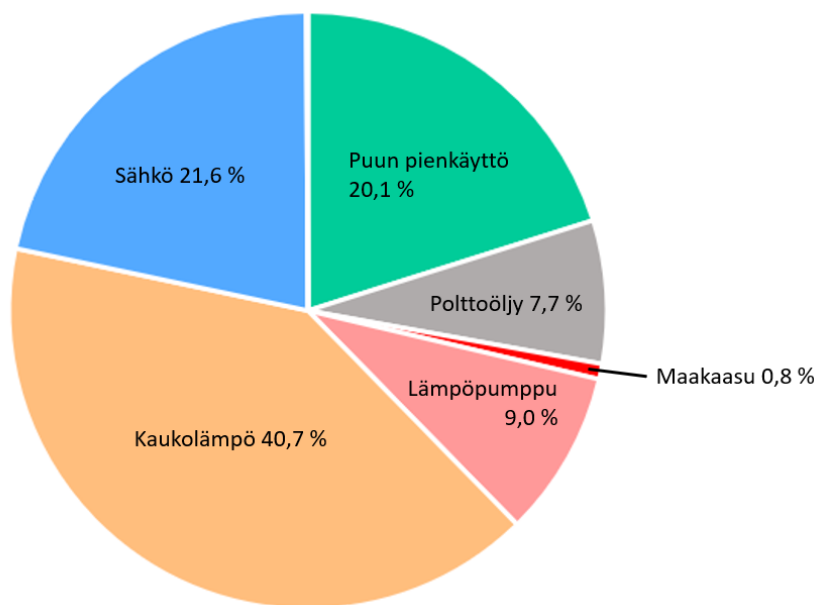
Suomen yleisin lämmitysmuoto on kaukolämmitys, ja se on historiansa suurimmassa murroksessa, kun siirrytään kohti päästötöntä energiantuotantoa (Suomen virallinen tilasto 2020b). Fossiilisista polttoaineista halutaan luopua, mutta lähes puolet Suomen kaukolämmöstä tuotetaan edelleen fossiilisia polttoaineita tai turvetta hyödyntäen (Energiateollisuus ry 2020). Kaukolämmön hiilineutraalisuutta ei voida saavuttaa pelkästään korvaamalla fossiiliset polttoaineet bio- ja puupolttoaineilla, vaan tarvitaan myös uutta ja innovatiivista teknologiaa lämmöntuotannon parissa. Samaan aikaan kiinteistöjen jäähdytysprosesseissa ja teollisuudessa syntyy valtavia määriä ylijäämälämpöä, joka jää hyödyntämättä. Prosumer-toiminnassa kaukolämpöasiakas voi myydä prosessissa syntyneen ylijäämälämpönsä kaukolämpöyhtiölle eli kaksisuuntaiseen kaukolämpöverkkoon. Hyödyntämällä hukkalämpöä kaukolämpönä säästetään ympäristöä, pienennetään kaukolämmön tuotannon päästöjä ja parannetaan energiatehokkuutta. (Kauko et al. 2018.)

Tämän työn tavoitteena on tarkastella prosumer-toiminnan vaikutuksia kaukolämpöverkossa ja vertailla suomalaisten kaukolämpöyhtiöiden hukkalämmön ostoehtoja ja hinnoittelua.

periaatteita. Työssä tehdään katsaus kaukolämpöön ja sen nykytilanteeseen Suomessa, sekä avataan prosumer-toiminnan ja kaksisuuntaisen kaukolämpöverkon toimintaa. Lisäksi esitellään esimerkkejä prosumer-toimijoista Suomessa ja Pohjoismaissa. Hukkalämmön hinnoitteluperiaatteiden vertailuun käytetään kaukolämpöyhtiöiden julkisia hukkalämmön ostohintoja. Lopussa pohditaan prosumer-toiminnan roolia tulevaisuuden kaukolämpöverkossa, ja kootaan työn aikana ilmi tulleet prosumer-toiminnan mahdollisuudet ja haasteet kaukolämpöverkossa SWOT-analyysillä (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats).

2 KAUKOLÄMMITYS

Suomessa kaukolämpö on kasvanut yleisimmäksi lämmitysmuodoksi kaupunki- ja taajama-alueilla 1950-luvulta lähtien. Valtakunnallisella tasolla kaukolämpö kattaa 40,7 prosenttia koko Suomen asuin- ja palvelurakennusten lämmitysenergian kulutuksesta, ja on suosituin lämmitysmuoto uudisrakennuksissa. Kuvassa 1 on esitetty Suomen asuin- ja palvelurakennusten lämmitysenergian lähteet vuonna 2019. (Suomen virallinen tilasto 2020b.)

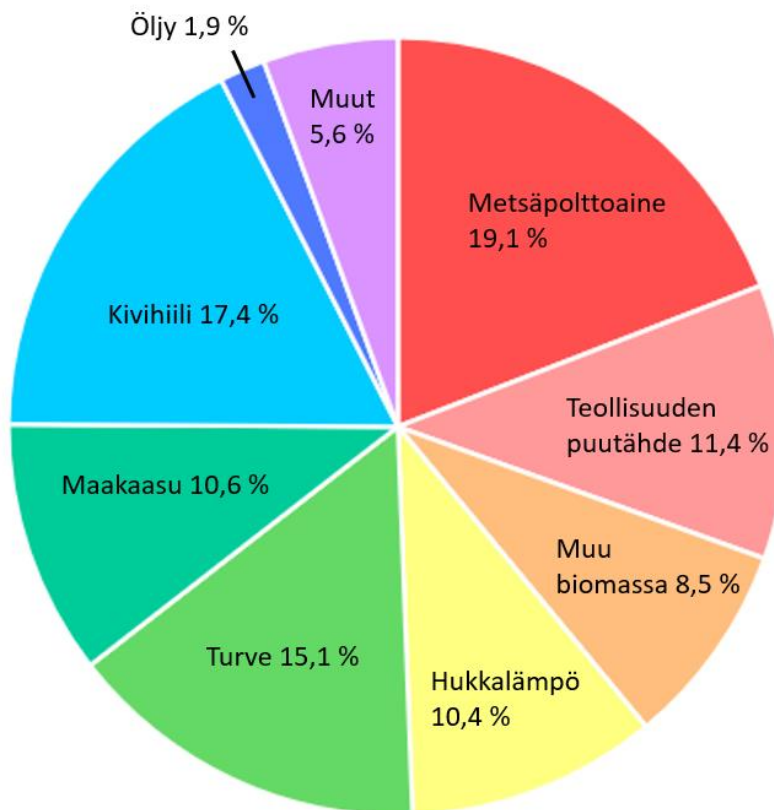


Kuva 1. Asuin- ja palvelurakennusten lämmityksen energialähteet Suomessa vuonna 2019 (Suomen virallinen tilasto 2020b).

Kaukolämmitys on kiinteistöjen ja rakennusten sisätilojen ja käyttöveden lämmitykseen käytetyn lämmön keskitettyä tuotantoa ja lämmön jakelua kaukolämpöasiakkaille kaukolämpöverkossa. Suomessa lämmönsiirto ja -jakelu perustuu suljetussa kaksisuuntaisessa putkistossa kiertävään lämmönsiirtoaineeseen eli kuumaan veteen. Kuuma kiertovesi pumpataan kaukolämpöverkosta kaukolämpöasiakkaille ja kierrätetään asiakkaiden lämmönjakokeskuksissa, joista lämpöenergia siirtyy kiinteistön lämmitysjärjestelmään hyödynnettäväksi. Jäähtynyt kaukolämpöverkon kiertovesi palaa uudelleen lämmitettäväksi. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 11.)

Kaukolämpöverkot on jaettu kiertoveden lämpötilatason ja kaukolämpökuluttajien verkko-
kytkennän perusteella eri sukupolvien verkkoihin. Kaukolämpöverkkojen kehittyessä, ver-
kon lämpötilat ovat pienentyneet ja verkon energiatehokkuus on kasvanut. Ensimmäisen
sukupolven kaukolämpöverkoissa lämpötilat vaihtelivat 100–200 °C välillä painetilasta
riippuen ja lämmönsiirtoaineena toimi vesihöyry. Tällä hetkellä on yleisesti käytössä kol-
mannen sukupolven kaukolämpöverkko, jonka lämpötilat ovat pyörivät 100 celsiusastees-
sa. Neljännen sukupolven lämmitysverkko, jota kutsutaan myös matalalämpöiseksi kauko-
lämpöverkoksi, on seuraava kehityssuunta kaukolämpöverkon toiminnassa. Matalalämpöi-
sessä kaukolämpöverkossa lämpötilat vaihtelevat 50–70 °C välillä. (Gross et al. 2021, 2.)

Vuonna 2019 kaukolämpöä tuotettiin Suomessa yhteensä 36,6 terawattituntia. Kuvassa 2
on esitetty vuoden 2019 kaukolämmön tuotannon energialähteet. Merkittävimmät lämmön-
lähteet ovat olleet puupolttoaineet, kivihiili, turve ja maakaasu ja hukkalämpö. 49,4 pro-
senttia kaukolämmöstä tuotettiin uusiutuvilla, biopohjaisilla polttoaineilla tai hukkalämpöä
hyödyntämällä. (Energiateollisuus ry 2020.)



Kuva 2. Suomen kaukolämmön tuotanto (36,6 TWh) energialähteittäin vuonna 2019 (Energiateol-
lisuus ry 2020).

2.1 Prosumer-toimija

Prosumer-toimija on energiayhtiön asiakas, joka sekä käyttää että tuottaa energiaa, kuten sähköä tai lämpöä. Sana prosumer on sulautuma englanninkielisistä sanoista consumer eli kuluttaja ja producer eli tuottaja. (Kauko et al. 2018.)

Tässä kirjallisuustyössä prosumer-toimijalla tarkoitetaan kaukolämpöyhtiön asiakasta, joka käyttää rakennuksen lämmitysmuotonaan kaukolämpöä, ja myy tuottamansa hukkalämmön paikalliseen kaukolämpöverkkoon. Työssä keskitytään tarkastelemaan prosumer-toimijoita, joiden lämmöntuotanto on vuodessa suhteellisen pientä verrattuna ison kokoluokan teollisuuden hukkalämpövirtoihin, joita jo laajalti hyödynnetään kaukolämmön tuotannossa.

2.2 Hukkalämpö

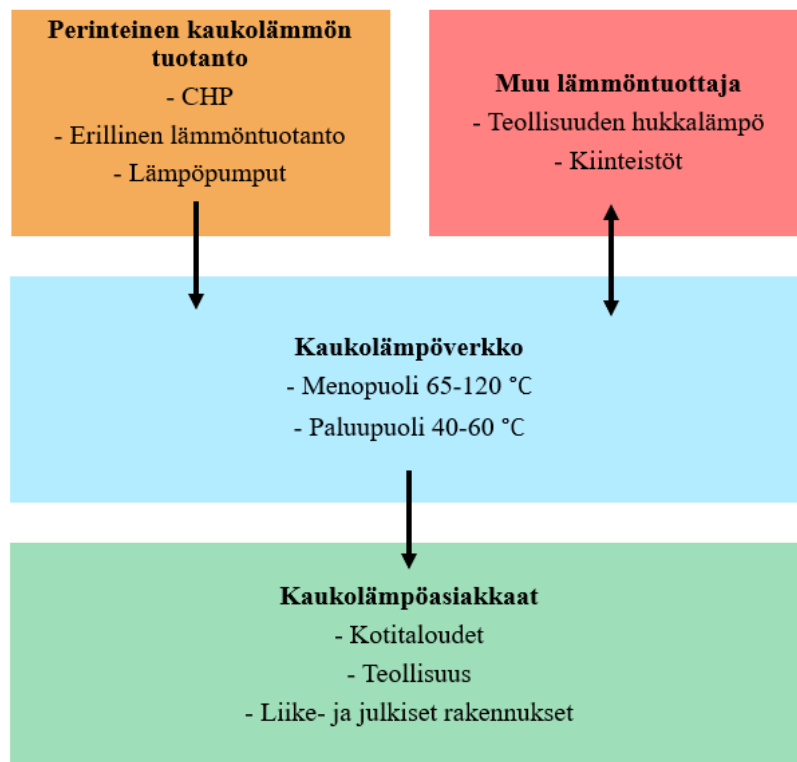
Hukkalämmöllä tarkoitetaan ylijäämälämpöä, joka jää hyödyntämättä (Fortum 2020a). Energiatehokkuusdirektiivien mukaan hukkalämmöllä tarkoitetaan lämpöä, joka syntyy väistämättä prosessien sivutuotteena ja katoaa käyttämättömänä ilmaan tai veteen. Hukkalämpö on lämpöä, joka hyödynnetään muualla, kuin missä se on syntynyt. Hukkakylmällä tarkoitetaan erilaissa prosesseissa syntyneitä kylmää, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi kaukojäähdytyksessä. (Rämä & Klobut 2020, 7–8.)

Teollisuudessa ylijäämälämpöä syntyy sivutuotteena prosessi- ja savukaasuista sekä jäte- ja jäähdytysvesistä. Kiinteistöt tuottavat hukkalämpöä esimerkiksi koneellisen ilmanvaihdon lauhdelämpönä tai lämpöpumpuilla. (Fortum 2020a.) Lisäksi hukkalämpöä syntyy esimerkiksi aurinkokeräimillä varustetuissa lämmitysjärjestelmissä, joissa ei ole lämpövarastoa. Kaikkea auringon säteilyllä tuotettua lämpöä ei välttämättä voida kuluttaa tuotannon aikana, jolloin ylimääräinen lämpö voidaan hyödyntää kaukolämpöverkossa. (Elenia 2017.)

Prosesseissa syntyvä ylijäämälämpö on mahdollista hyödyntää esimerkiksi kaukolämpöverkossa keräämällä lämpö talteen. Hukkalämpö on energiavara, jonka hyötykäyttö säästäisi muita energiavaroja sekä ympäristöä. Lisäksi ylijäämälämmön hyödyntäminen on kannattavaa ja tukee kestävästä kehitystä. (Fortum 2020a.)

2.3 Kaksisuuntainen kaukolämpöverkko

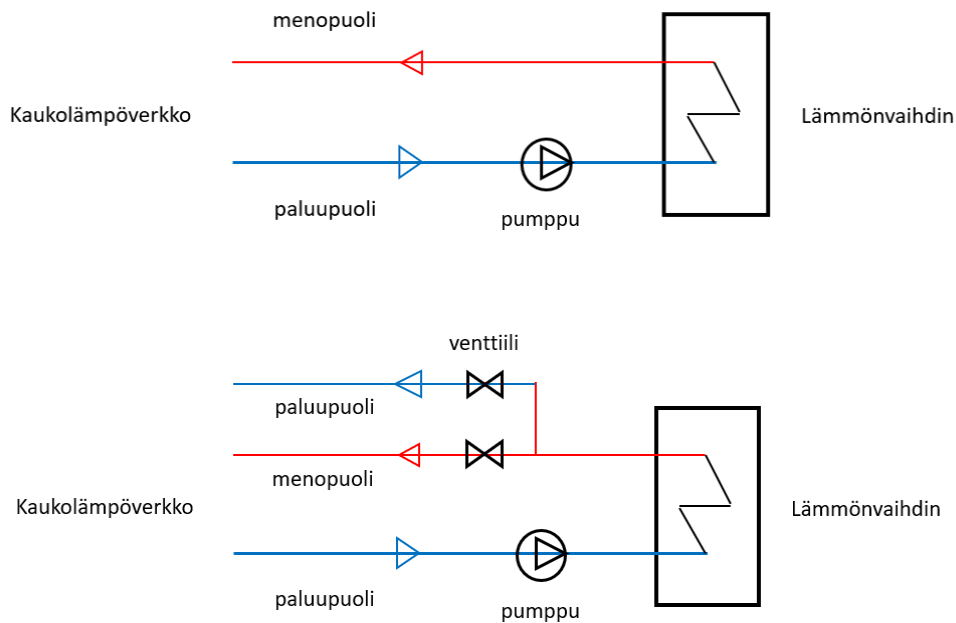
Kuvassa 3 esitetään kaksisuuntaisen eli avoimen kaukolämpöverkon toimintaperiaate. Perinteisesti kaukolämpö tuotetaan vaihtelevasti yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannon (CHP) sekä lämmön erillistuotannon välillä. Tuotettu lämpö myydään energiayhtiön omistamassa kaukolämpöverkossa kaukolämmön asiakkaille, jotka ostavat lämpöä rakennusten lämmittämiseen ja lämpimän käyttöveden tuottamiseen. Kaksisuuntaisessa kaukolämpöverkossa nykyiset lämmönkäyttäjät ovat myös potentiaalisia lämmöntuottajia. Esimerkiksi kiinteistöissä syntyy jäähtymisen seurauksena hukkalämpöä, joka voidaan ohjata kaukolämpöverkkoon sellaisenaan tai jalostettuna korkealämpöisemmäksi esimerkiksi lämpöpumpuilla tai sähköllä. (Pöyry Management Consulting Oy 2016, 6.)



Kuva 3. Kaksisuuntaisen kaukolämpöverkon toimintaperiaate (Pöyry Management Consulting Oy 2016, 6).

Hukkalämpö voidaan syöttää kaukolämpöverkon meno- tai paluupuolen putkistoon hukkalämmön lämpötilatasosta riippuen. Kaukolämpöverkon kiertovesi pumpataan paluuputkesta hukkalämmön toimittajan lämmönvaihtimeen. Jos hukkalämpö on lämpötilaltaan yli 80

celsiusasteista eli hyödynnettävissä suoraan kaukolämpöverkossa, lämmönvaihtimelta lähtevä kiertovesi syötetään kaukolämpöverkon menopuolen putkistoon. Lämpötilatasoltaan alempi hukkalämpö hyödynnetään kaukolämpöverkon paluupuolella. Hukkalämpöä voidaan toimittaa myös sekä meno- että paluupuolelle, jos hukkalämmön lämpötila vaihtelee, ja kaksisuuntainen kytkentä mahdollistaa sen. Kuvassa 4 on esitetty kaksisuuntaisen kaukolämpöliitännän kytkentäperiaate. (Fortum 2018.)



Kuva 4. Kaksisuuntainen kaukolämpöliitäntä. Ylempässä hukkalämpö syötetään kaukolämpöverkon menopuolelle ja alemmassa kaukolämpöverkon paluupuolelle hukkalämmön lämpötilan mukaan. (Fortum 2018.)

2.4 Kaukolämpöliiketoiminta

Suomessa kaukolämpöliiketoimintaa ei ole säännelty erityislainsäädännöllä, vaan liiketoiminta perustuu eri osapuolten välisiin kaupallisiin sopimuksiin. Sopimukset voidaan laatia vapaasti osapuolten välillä, sillä kaukolämpöliiketoiminta perustuu avoimiin markkinoihin. Lämmön tuottaja ja energiayhtiö voivat sopia ostettavan ylijäämälämmön hinnasta yksilöllisesti tai perustuen yleiseen kaukolämmön markkinatasoon. Lämmön kahdensuuntaisesta kaupankäynnistä sekä siihen liittyvistä palveluista voidaan sopia yhdellä tai useammalla sopimuksella, esimerkiksi erikseen kaukolämmön ostosopimus ja ylijäämälämmön myyntisopimus osapuolten välillä. Myös laskutus voidaan selvittää erillisillä laskuilla tai sisällyttämällä lämmön osto ja myynti samaan. (Energiateollisuus ry 2019, 2–5.)

3 PROSUMER-TOIMINTA KAUKOLÄMPÖASIAKKAAN NÄKÖKULMASTA

Pöyry Management Consulting Oy:n (2016) tuottaman tutkimuksen mukaan prosumer-toiminnassa mahdollisia hukkalämmön tuottajia kiinnosti energiatehokkuus ja ympäristöystävällisyys sekä mahdollisuus tehdä taloudellista voittoa myymällä prosesseissa syntynyt lämpö eteenpäin. Lisäksi monet kaukolämpöasiakkaista olivat uteliaita näkemään kaksisuuntaisen kaukolämpöverkon toiminnan käytännössä. Hukkalämmön tuottajat eivät kuitenkaan pitäneet siitä, että tuotetulle lämmölle on ainoastaan yksi potentiaalinen ostaja eli kaukolämpöverkkoyhtiö, joka voi määrittää hukkalämmön ostohinnan omien vaihtoehtoisten lämmöntuotantotapojen ja -kustannusten perusteella. Haasteena nähtiin myös kaksisuuntaisen kaukolämpöliittymän investointikustannukset ja takaisinmaksuaika, jos lämmön myynti ei olisikaan taloudellisesti kannattavaa tai yhtäjaksoista. Tärkeänä näkökulmana nähtiin myös oman prosessin häiriintymättömyys. (Pöyry Management Consulting Oy 2016, 20.)

Tässä kappaleessa esitellään esimerkkejä kaukolämpöverkon asiakkaista, jotka toimivat kaukolämpöverkossa myös lämmön myyjinä. Esimerkit koostuvat Suomessa toimivista prosumer-toimijoista, ja esittelevät erilaisia ja eri kokoisia kohteita ja prosesseja, joissa hukkalämpöä syntyy. Ne myös antavat käsityksen siitä, miten paljon hukkalämmön hyödyntämisellä voidaan korvata perinteistä kaukolämmön tuotantoa.

3.1 Energiayhtiö Fortumin prosumer-toimijoita

Suomessa yksi ensimmäisistä avoimen kaukolämpöverkon prosumer-toimijoita oli Jorviin rakennettu Espoon uusi sairaala, joka sekä käyttää kaukolämpöä lämmitykseen myös tuottaa kiinteistön jäädytyksessä ylijäämälämpöä. Espoon sairaala myy hukkalämmön Fortumille, joka lämmittelee sillä kaukolämpöverkkonsa alueella vuosittain noin 50 omakotitaloa. (Fortum 2014.)

Fortum hyödyntää kokonaisuudessaan Tiedon ja Elisan datakeskuksien palvelimista syntyneen ylijäämälämmön kaukolämmityksessä. Vuosittain datakeskuksista saadaan talteen

yhteensä 20 gigawattituntia lämpöä. Lisäksi Kirkkonummella Ericssonin datakeskuksessa tuotetaan vuosittain 10–15 gigawattituntia hukkalämpöä lämpöpumppuja hyödyntämällä. Ericssonin datakeskukseen on suunniteltu kapasiteetin kasvatusta, jolloin lämmöntalteenotto kasvaisi yli 20 gigawattituntiin vuodessa. Fortumin ostamalla, datakeskuksissa syntyneellä lämmöllä voidaan kattaa noin 2000 omakotitalon vuosittainen lämmöntarve. (Fortum 2020b.)

Fortum suunnittelee yhdessä Espoon kaupungin kanssa suurta sadan megawatin datakeskusta Espoon peltoalueelle, minkä hukkalämmöllä voitaisiin kattaa jopa kolmasosa Espoon, Kauniaisen ja Kirkkonummen kaukolämpöverkkoalueen lämmöntarpeesta. Hyödyntämällä datakeskuksesta syntynyt hukkalämpö kaukolämpöverkossa vähenisi Espoon kaupungin kasvihuonepäästöt jopa 36 prosenttia verrattuna vuoden 2019 päästötasoon. Myös sähkön ja lämmön yhteistuotannon hiilidioksidipäästöt vähenisivät 0,43 megatonnia vuodessa hyödyntämällä datakeskuksessa syntynyt lämpö. (Fortum 2021b.)

3.2 Lidlin jakelukeskus Järvenpäässä

Järvenpäässä Lidlin jakelukeskus myi kylmälaitteiden viilentämisessä syntyneen lauhdelämmön eli hukkalämmön vuoteen 2020 asti Fortumille, joka hyödynsi lämmön Järvenpään kaukolämpöverkossa. Vuodessa Lidlin jakelukeskus tuotti noin 700 megawattituntia lämpöä, joka vastaa noin 40 omakotitalon lämmön vuosikulutusta. (Fortum 2020a.) Vuodesta 2020 lähtien Järvenpää-Tuusula alueen kaukolämpöpalveluiden tarjoajana toimii Vantaan Energia (Vantaan Energia 2020).

3.3 Talonyhtiö Tampereella

Tampereen Sähkölaitos aloitti vuonna 2017 yhdessä Asunto Oy Tampereen Pohjolankatu 18–20 kanssa Suomen ensimmäisen pilotin, jossa talonyhtiö myy rakennuksen ylijäämä- lämpöä energiayhtiölle avoimeen kaukolämpöverkkoon. Pilotin avulla Tampereen Sähkölaitos selvittää lämpöenergian pientuotannon kaupallista potentiaalia avoimessa kaukolämpöverkossa, ja millaisia teknisiä ratkaisuja tarvitaan, jotta asiakkaan tuottaman ylijäämä- lämpö saadaan hyödynnettyä Tampereen kaukolämpöverkossa. Kaukolämpöverkkoon myytävä hukkalämpö jalostetaan korkeampaan lämpötilaan maalämpöpumpuilla. Vuodessa lämpöä tuotetaan noin 100 megawattituntia, mutta tulevaisuudessa talonyhtiö on arvioi-

nut myytävän lämmön määrän nousevan jopa 400 megawattituntiin, ja ostetun kaukolämmön määrän olevan enää vain 50 megawattituntia vuodessa. Asunto Oy Tampereen Pohjolankatu 18–20 saa tukea pilotin investointeihin EU-GUGLE-hankkeesta, ja VTT on mukana projektissa EU-GUGLE-hankkeen kautta tarjoamalla asiantuntemusta korvauksetta. (EnergiaKokeilut.fi 2021.) EU-GUGLE tulee sanoista ”European cities serving as Green Urban Gate towards Leadership in Sustainable Energy”, ja hankkeen tavoitteena on etsiä ja testata malleja rakennusten perusparantamiseen kohti nollaenergiatasoa pilottikaupungeissa (EUGUGLE 2021).

3.4 Datakeskus Mäntsälässä

Mäntsälässä hakukoneyhtiö Yandexin datakeskus tuottaa ylijäämälämpöä, jonka se kerää talteen lämmönvaihtimissa, ja myy Mäntsälän kunnan omistamalle Nivos energiayhtiölle. Datakeskuksen ilmanvaihdon sisääntuloilma on noin 15-asteista, ja poistuessaan jopa 37-asteista. Ilman sisältämä ylijäämälämpö myydään raakalämpönä Nivokselle, joka kasvattaa lämpötilaeroa lämpöpumppujen avulla noin 80-asteiseksi, ja kierrättää lämmön kaukolämmöksi. Vuodessa datakeskuksessa syntyneellä ylijäämälämmöllä tuotetaan 30 gigawattituntia kaukolämpöä, jolla katetaan vuosittain 75 prosenttia Mäntsälän kaukolämmöstä. Nimellisteholtaan datakeskuksen yhteydessä toimiva lämmöntalteenottolaitos on noin 6 megawattia. Lämmönkierrätys on pienentänyt Mäntsälän kaukolämmöntuotannon hiilijalanjälkeä noin 65 prosenttia verrattuna kaukolämpömäärään, joka aiemmin tuotettiin maakaasulla. Maailmanlaajuisesti Yandexin datakeskuksen ylijäämälämmön hyötykäyttö on mittaluokassaan ainutlaatuinen. (Energiatehokkuussopimukset 2019.)

3.5 Uimahalli Hämeenlinnassa

Uimahalleissa lämmön kulutus on suurta, sillä lämpimän veden tarve on suuri. Hämeenlinnan uimahallissa lämpöä tuotetaan uimahallin katolla sijaitsevilla aurinkokeräimillä. Aurinkokeräimet tuottavat lämpöä kuitenkin myös uimahallin ollessa kiinni, jolloin lämpö myydään Elenia Lämmölle käytettäväksi kaukolämpöverkossa. Myymällä ylimääräisen aurinkokeräimillä tuotetun lämmön kaukolämpöverkkoon, Hämeenlinnan uimahalli pystyy paremmin hyödyntämään koko aurinkokeräininvestoinnin tuoton ja edistämään energiatehokkuutta. (Elenia 2017.)

4 PROSUMER-TOIMINTA KAUKOLÄMPÖYHTIÖN NÄKÖKULMASTA

Avoin kaukolämpöverkko nähdään kaukolämpöyhtiöissä mahdollisuutena parantaa kaukolämmön asemaa, ja siihen on panostettava, jotta kaukolämmön rooli lämmitysmuotona pysyy kilpailukykyisenä. Prosumer-toiminnan hyötynä nähdään myös kaukolämmön imagon ja brändin parantuminen. Tärkeimpänä parannuksena kaksisuuntaisessa kaukolämmössä kaukolämpöyhtiöt pitivät asiakaslähtöisyyden lisääntymisen. Lisäksi kaksisuuntaisuus on myös mahdollisuus hankkia uusiutuvaa ja päästötöntä lämpöenergiaa. (Pöyry Management Consulting Oy 2016, 19.)

Kaukolämpöyhtiöt uskovat soveltuviissa kohteissa pienentävänsä lämmön hankinnan kokonaiskustannuksia kaksisuuntaisen kaukolämmön avulla. Kaukolämpöyhtiön ulkopuolisen tuotannon tulee kuitenkin olla kilpailukykyistä verrattaessa yhtiöiden nykyisiin lämmöntuotannon energianhankintakustannuksiin. Lisäksi huonosti suunnitellun ja toteutetun kaksisuuntaisen kaukolämpöverkon nähtiin jopa heikentävän kaukolämpöliiketoiminnan menestymismahdollisuuksia, kun ylimääräiset kustannukset katetaan muiden kaukolämpöasiakkaiden puolesta. (Pöyry Management Consulting Oy 2016, 20.)

Kaukolämpöyhtiöiden näkökulmasta myös tekniset muutokset kaukolämpöverkossa avoimen kaukolämpöverkon mahdollistamiseksi olivat toteutettavissa, mutteivat suoraviivaisesti. Lisäksi lämmöntuotannon toimintavarmuus ja sen ylläpidon tarve vaikuttavat kaukolämpöyhtiöiden mahdollisuuksiin ottaa toimintaan mukaan prosumer-toimijoita. (Pöyry Management Consulting Oy 2016, 19.)

4.1 Hukkalämmön ostohinnat ja -ehdot

Suomessa vuonna 2021 neljä energiayhtiötä on avannut kaukolämpöverkkonsa kaikille puhtaana lämpöenergian tuottajille ja ostaa asiakkailtaan hukkalämpöä julkisin ostohinnoin. Palvelua tarjoavat energiayhtiöt ovat Fortum Oyj, Helen Oy, Vantaan Energia Oy ja Tampereen Sähkölaitos Oy. Näistä ensimmäisenä kaksisuuntaisen kaukolämpöverkkonsa avasi Fortum (Fortum 2020a). Tässä työssä tarkastellaan näitä neljää kaukolämpöyhtiötä, ja nii-

den ostohintoja ja -ehtoja hukkalämmön ostolle. Myös muilla Suomessa toimivilla kaukolämpö- ja energiayhtiöillä on yksittäisiä ostosopimuksia erilaisten hukkalämmön tuottajien kanssa, mutta sopimukset ovat tapauskohtaisia ja osapuolten välisiä.

Suomessa Fortum ostaa kiinteistöissä tai prosesseissa syntynyttä hukkalämpöä, ja maksaa siitä ulkolämpötilan ja toteutuneen lämmön tuotannon mukaan. Kaukolämpöverkon menopuolelle syötetystä lämmöstä maksetaan verkon toiminnan ja lämmön hyödynnettävyyden takia enemmän kuin kaukolämpöverkon paluupuolelle syötetystä hukkalämmöstä. Hukkalämmön ostohintaan vaikuttavat ulkolämpötila ja Fortumin omat tuotantokustannukset sekä hukkalämmön tuottajan sijainti maantieteellisesti kaukolämpöverkossa. Hukkalämmönosto perustuu tunnittaiseen tuotetun lämmön mittaukseen. Ostohinnat rajautuvat alle 5 MW tuotantotehon kohteisiin. Tuotantoteho on rajattua, sillä hukkalämmölle ei ole tuotantovelvoitetta. Suurempien lämmöntuotantotehojen osalta tarvitaan takuu hukkalämmöntuotantokapasiteetille, jolloin liittyminen avoimeen kaukolämpöverkkoon on neuvoteltavissa erikseen. (Fortum 2021a.)

Fortum ostaa hukkalämpöä Espoon, Kauniaisen ja Kirkkonummen kaukolämpöverkkoalueella. Taulukossa 1 on esitetty hukkalämmön ostohinnat ulkolämpötilan funktiona sekä meno- ja paluupuolelle syötetyille hukkalämmölle yksikössä €/MWh. Ostohinnat on esitetty ilman arvonlisäveroa. Hukkalämmön myynti on arvonlisäverollista yli 10 000 euron vuosittaisissa myyntitapahtumissa. (Fortum 2021a.) Hukkalämmön myyjä vastaa kaukolämpöverkon liittymiskustannuksista ja lämmöntuotantolaitteiden investoinnista (Fortum 2020a).

Taulukko 1. Fortumin hukkalämmön ostohinnat [€/MWh] + (ALV 0 %) ulkolämpötilan mukaan meno- ja paluupuolelle syötettynä Espoossa, Kauniaisissa ja Kirkkonummella. Hinnat voimassa toistaiseksi (hinnat luettu 12.7.2021). (Fortum 2021a).

Ulkolämpötila [°C]	Menopuoli	Paluupuoli
-20	50	35
-16	50	35
-12	50	35
-10	50	35
-8	50	35
-6	45	32
-4	45	32
-2	40	28
0	30	21
2	30	21
4	30	21
6	25	18
8	20	14
10	20	10
12	20	10
16	20	10
20	15	8

Energiayhtiö Helen ostaa suoraan kaukolämpöverkossa menopuolella hyödynnettävissä olevaa ylijäämälämpöä eli matalalämpötilainen hukkalämpö tulee jalostaa esimerkiksi lämpöpumpulla vähintään 80 asteiseksi. Lämmön myyntiin tarvitaan kaukolämpöliittymä. Taulukossa 2 on esitetyt Helenin lämmön ostohinnat vuodenaikojen mukaan ilman arvonlisäveroa. Hukkalämmön oston lisäksi Helen veloittaa lämmöntuottajiltaan kuukausittain kiinteän arvonlisäveron sisältävän 38,32 euron maksun, jolla katetaan avoimen kaukolämpöliittymän aiheuttamia kustannuksia, kuten liittymän ylläpito, tuotetun energian mittauksen ja etäluennan. (Helen 2021.)

Taulukko 2. Energiayhtiö Helenin toistaiseksi voimassa olevat (hinnat luettu 12.7.2021) hukkalämmön ostohinnat [€/MWh] ilman arvonlisäveroa kausittain (Helen 2021.)

Kausi	Ajanjakso	Ostohinta [€/MWh] + (ALV 0 %)
Talvi	1.1.–28.2.	37,95
Kevät	1.3.–30.4.	28,61
Kesä	1.5.–30.9.	14,05
Syksy	1.10.–31.12.	28,22

Tampereen Sähkölaitos ostaa hukkalämpöä, joka on joko kiinteistön ylijäämälämpöä tai tuotettu uusiutuvilla energianlähteillä. Hukkalämmön tuottajan tulee sijaita Tampereen Sähkölaitoksen kaukolämpöverkon piirissä, ja lämmöntuotannon tulee olla jatkuvaluonteista. Lämmön tuottaja vastaa tuotantolaitteistonsa investoinneista ja kaukolämpöverkon liittymän kustannuksista. (Tampereen Sähkölaitos 2021a.)

Vantaan Energia lämmittelee ostetulla hukkalämmöllä Vantaan alueen rakennuksia. Ostetun hukkalämmön tulee olla sellaisenaan hyödynnettävissä kaukolämpöverkon menopuolella eli vähintään 75–85 asteista. Vantaan Energian kaukolämpöverkon asiakas maksaa liittymän ja laitteiston muutuskulut, kun kaukolämpöliittymä muutetaan avoimeksi. Liittymän ylläpitomaksu sisältyy hukkalämmön perusmaksuun. Uusi asiakas, joka haluaa myydä hukkalämpöä Vantaan Energialle, maksaa kaukolämpöverkon liittymisjohdon ja laitteiston rakentamiskustannukset sekä kuukausittaisen 100 euron maksun liittymän ylläpidosta. (Vantaan Energia 2021.)

Taulukossa 3 on esitetty Tampereen Sähkölaitoksen ja Vantaan Energian kuukausikohtaiset hukkalämmön ostohinnat ilman arvonlisäveroa jokaista tuotettua megawattituntia kohti. Tampereen Sähkölaitoksella hinnat ovat alle 1 MW tuotantotehoille (Tampereen Sähkölaitos 2021b.) Vantaan Energialla hinnat koskevat alle 5 MW kohteita (Vantaan Energia 2021).

Taulukko 3. Kuukausittaiset Tampereen Sähkölaitoksen (Tampereen Sähkölaitos 2021b) ja Vantaan Energian (Vantaan Energia 2021) hukkalämmön ostohinnat [€/MWh] + (ALV 0 %). Hinnat voimassa toistaiseksi (luettu 12.7.2021).

	Tampereen Sähkölaitos	Vantaan Energia
Tammikuu	30	37
Helmikuu	30	34
Maaliskuu	20	26
Huhtikuu	20	15
Toukokuu	20	12
Kesäkuu	10	12
Heinäkuu	10	12
Elokuu	10	12
Syyskuu	20	12
Lokakuu	20	16
Marraskuu	20	30
Joulukuu	30	34

Taulukossa 4 on koottuna kaukolämpöyhtiöiden ostohintaan vaikuttavat tekijät ja muut ehdot hukkalämmön ostoon liittyen. Taulukosta huomataan eri kaukolämpöyhtiöillä olevan hyvin erilaisia ostohintaan vaikuttavia tekijöitä ja ehtoja hukkalämmön ostolle. Kaikilla kaukolämpöyhtiöillä ostohinta perustuu toteutuneeseen tuotantoon, ja prosumer-toimija maksaa investoinnit kaksisuuntaisen kaukolämpöyhteyden avaamiseen liittyen. Fortumilla hukkalämmön ostohintaan vaikuttaa myös esimerkiksi lämmön tuottajan sijainti kaukolämpöverkossa ja lämmön syöttöpuoli. Vain Tampereen Sähkölaitos vaatii lämmöntuotannon olevan jatkuvaluonteista.

Taulukko 4. Kaukolämpöyhtiöiden hukkalämmön ostohintaan vaikuttavat tekijät ja ostoehdot.

	Ostohintaan vaikuttavat tekijät	Muut hukkalämmön ostoon liittyvät ehdot
Fortum (Fortum 2020a, Fortum 2021a)	<ul style="list-style-type: none"> - Ulkolämpötila ja toteutunut tuotanto - Lämmön syöttö kaukolämpöverkon meno- tai paluupuolelle - Lämmön tuottajan sijainti kaukolämpöverkossa - Fortumin omat tuotantokustannukset - Ostohinnat rajattu 5 MW tuotantotehoon 	<ul style="list-style-type: none"> - Prosumer-tuottaja vastaa kaukolämpöverkon liittymiskustannuksista ja lämmöntuotantolaitteiden investoinnista
Helen (Helen 2021a)	<ul style="list-style-type: none"> - Vuodenaikojen mukaan maksetaan tuotantoa vastaava ominainen hinta 	<ul style="list-style-type: none"> - Hukkalämmön oltava hyödynnettävissä suoraan kaukolämpöverkossa eli vähintään 80 °C - Kiinteä kuukausittainen 38,32 euron maksu, jolla katetaan avoimen kaukolämpöliittymän aiheuttamia kustannuksia
Tampereen Sähkölaitos (Tampereen Sähkölaitos 2021a)	<ul style="list-style-type: none"> - Tuotantoa vastaava kuukausittainen korvaus - Hukkalämmön ostohinnat koskevat alle 1 MW tuotantotehoa 	<ul style="list-style-type: none"> - Lämmöntuotannon oltava jatkuvaluonteista - Prosumer-toimijan tulee sijaita Tampereen Sähkölaitoksen kaukolämpöverkon alueella - Prosumer-tuottaja vastaa tuotantolaitteistonsa investoinneista ja liittymän kustannuksista
Vantaan Energia (Vantaan Energia 2021)	<ul style="list-style-type: none"> - Toteutuneesta tuotannosta maksetaan kuukausittain vaihtuva korvaus - Hinnat rajautuvat alle 5 MW tuotantotehoon 	<ul style="list-style-type: none"> - Hukkalämmön tuottaja vastaa kaukolämpöliittymän ja laitteiston muutoskuluista - Hukkalämmön tulee olla 75–85 °C astetta - Uusi asiakas kustantaa liittymisjohdon, laitteiston rakentamiskustannukset sekä kuukausittaisen 100 euron maksun liittymän ylläpidosta

Kaukolämpöyhtiöiden hukkalämmön ostohintojen hinnoitteluperiaatteiden vertailua varten ladataan Ilmatieteen laitoksen sivuilta Helsingin Kaisaniemen sääasemalla vuonna 2020 mitatut kuukauden keskilämpötilat (Ilmatieteen laitos 2021). Hinnoitteluperiaatteiden vertailun yksinkertaistamiseksi oletetaan hukkalämmön tuottajan sijainti merkityksettömäksi. Vertailussa oletetaan kuvitellun prosumer-toimijan tuottavan tasaisesti lämpöä alle 1 MW teholla, ja syöttävän sen kaukolämpöverkon menopuolelle vähintään 80-asteisena. Taulukossa 5 on esitetty eri kaukolämpöyhtiöiden hukkalämmön ostohinnat, joko ulkolämpötilan tai vuodenajan mukaan. Lisäksi taulukossa esitetään vuoden kokonaiskulut kaukolämpöyhtiölle hukkalämmön ostosta yksikössä €/MWh ilman toteutuneen tuotantovolyymin huomioimista.

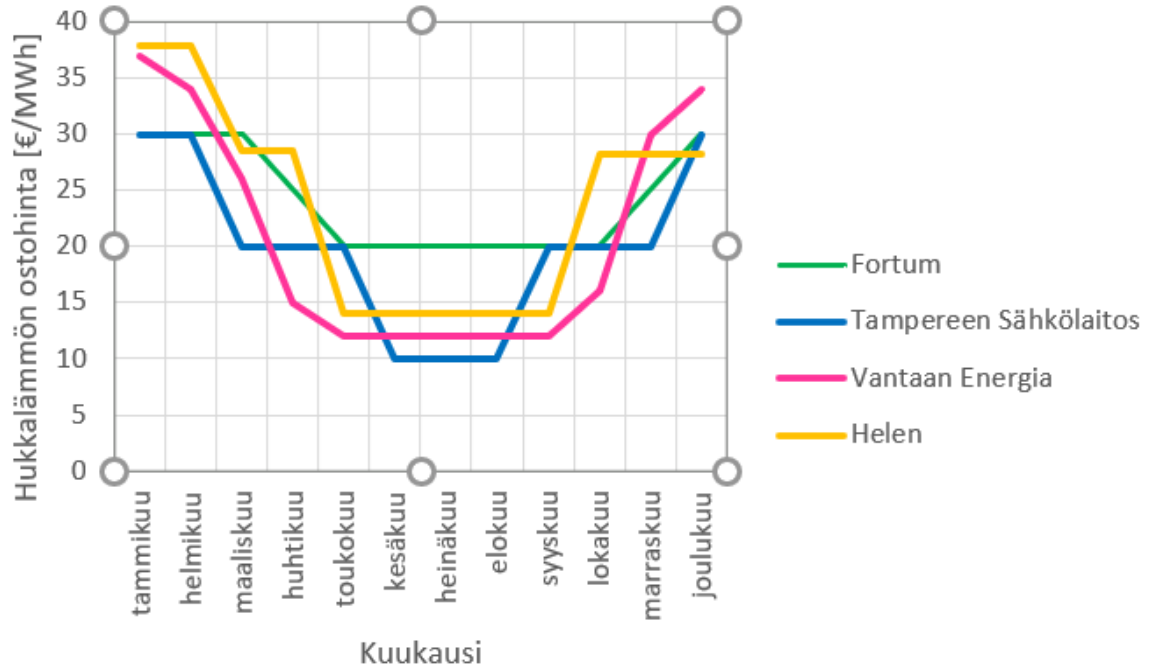
Taulukko 5. Kaukolämpöyhtiöiden hukkalämpön ostohinnan [€/MWh] + (ALV 0 %) hinnoitteluperiaatteiden vertailu.

	Kuukauden keskilämpötila [° C]	Fortum	Tampereen Sähkölaitos	Vantaa Energia	Helen
tammikuu	3	30	30	37	37,95
helmikuu	1,4	30	30	34	37,95
maaliskuu	2,4	30	20	26	28,61
huhtikuu	5,1	25	20	15	28,61
toukokuu	9,6	20	20	12	14,05
kesäkuu	17,9	20	10	12	14,05
heinäkuu	16,7	20	10	12	14,05
elokuu	17,1	20	10	12	14,05
syyskuu	13,8	20	20	12	14,05
lokakuu	9,3	20	20	16	28,22
marraskuu	5,6	25	20	30	28,22
joulukuu	1,9	30	30	34	28,22
Yhteensä		290	240	252	288,03

Taulukosta 5 huomataan, että vuonna 2020 Helsingin Kaisaniemessä mitattujen kuukauden keskilämpötilojen perusteella kaikki kaukolämpöyhtiöt maksavat ostamastaan hukkalämmöstä vuoden aikana lähes yhtä paljon erilaisista hinnoitteluperiaatteista huolimatta. Kaukolämpöyhtiöiden kannattaa maksaa ostetusta hukkalämmöstä vähemmän kuin, mitä itse tuotetun lämmön kustannuksista tulisi, jotta hukkalämmön osto olisi kannattavaa. Toisaalta kaukolämpöyhtiöiden halu parantaa imagoa päästöttömien energianlähteiden käyttäjänä voi olla syy maksaa hukkalämmöstä yhtä paljon tai jopa enemmän kuin itsetuotetusta lämmöstä. Laskelma on hyvin yksinkertaistettu, ja ei huomioi esimerkiksi Fortumin tapauksessa päivä- ja tuntikohtaisia ulkolämpötilanvaihteluita.

Kuvassa 5 on esitetty ostohinnan kuukausittaista vaihtelua eri kaukolämpöyhtiöiden välillä taulukon 5 tietoja hyväksikäyttäen. Kuvasta huomataan, että hukkalämmön ostohinnoissa on selvää vaihtelua eri kuukausina kaukolämpöyhtiöiden välillä, ja hintaerot ovat paikoitain jopa yli kaksinkertaisia. Hintaerot selittyvät muun muassa erilaisista mittausjärjestelmistä ja ostoehdoista. Kuvasta voidaan kuitenkin huomata, että kaikki kaukolämpöyhtiöt

maksavat tuotetusta hukkalämmöstä talvikautena enemmän kuin kesäkuukausina, kun kaukolämmön asiakkaiden lämmön kulutus on huipussaan.



Kuva 5. Kaukolämpöyhtiöiden välinen hukkalämmön ostohinnan [€/MWh] + (ALV 0 %) kuukausittainen vaihtelu.

5 PROSUMER-TOIMINTA POHJOISMAISSA

5.1 Trondheim, Norja

Norjan Trondheimissa tutkittiin dynaamista mallinnusta hyödyntämällä prosumer-toiminnan vaikutuksia kaukolämpöverkkoon lisäämällä prosumer-toimijoita paikalliseen matalalämpöiseen kaukolämpöverkkoon. Tutkimuksessa selvitettiin prosumer-toimijoiden osallisuuden teknisiä haasteita kaukolämpöverkossa, ja ylimääräisen lämmön hyötykäytön ja toimittamisen energia- ja ympäristöhyötyjä. Tapaustutkimuksessa tarkasteltiin neljä tapusta; korkean ja matalan lämpötilan skenaariot, joissa koko lämmöntarve katetaan lämmöntuotantolaitoksessa, ja kaksi alhaisen lämpötilan skenaariota, joissa osa kaukolämmön tuotannosta koostui hukkalämmöstä prosumer-toimijoilta. Prosumer-toimijoina toimi datakeskus ja kaksi vähittäiskauppaa eri sijainneilla, jotta voitiin tutkia myös niiden vaikutusta veden virtaukseen kaukolämpöverkon eri osissa. (Kauko et al. 2018, 1.)

Tutkimuksen tulokset osoittivat, että paikallisen ylijäämälämmön hyödyntäminen kaukolämpöverkossa vähensi lämmöntuotannon tarvetta. Hajautettu lämmön tuotanto pienensi myös kaukolämmön tuotannon ympäristövaikutuksia ja päästöjä, sekä myötävaikuttii pienempiin lämpöhäviöihin kaukolämpöverkossa johtuen lyhyemmistä lämmön siirtoetäisyyksistä. (Kauko et al. 2018, 1.)

Toisaalta ylimääräinen lämmönlähde prosumer-toimijoilla on esimerkiksi ilmastoinnista ja jäädytyksestä syntyvä lämpö. Tämänkaltaisen hukkalämmön saatavuus on korkeimmillaan kesäkuukausina, kun taas vuotuinen kaukolämmöntarve on minimissään. Lisäksi prosumer-toimijoiden lämmönsyöttö on huipussaan keskellä päivää, kun taas lämmön kokonaiskysyntä on huipussaan Keski-Euroopassa aamuisin. Hukkalämmön laajempaa hyödyntämistä varten voitaisiin ottaa käyttöön lämpöenergian varastointi, jolloin lämmön kulutshuippuja saataisiin paremmin tasattua. (Kauko et al. 2018, 10.)

Toinen haittapuoli on se, että kaukolämpöasiakkaiden paine-ero saattaa muuttua. Kaukolämpöverkossa, jossa on hajautettua lämmöntuotantoa, sijainniltaan pienimmän paine-eron omaavan asiakkaan paine-ero tulee vaihtelevaan riippuen prosumer-toimijoiden sijainnista

kaukolämpöverkossa ja hukkalämmön toteutuneesta tuotannosta. (Kauko et al. 2018, 10–11.)

5.2 Malmö, Ruotsi

Tapaustutkimuksessa Ruotsin Malmössä arvoitiin prosumer-toimijoiden eli lämmön pien-tuottajien mahdollisuuksia kaukolämpöverkossa, sekä niiden ympäristövaikutuksia alueeseen, jonka rakennuskanta on vaihteleva eli alueella on esimerkiksi asuinrakennuksia, toimistotiloja, kauppoja sekä teollisuutta. Tutkimus toteutettiin silloin rakenteilla olevalla Hyllien alueella. Kaksi erilaista skenaariota tutkittiin sen perusteella, kuinka prosumer-toimijat hallitsivat kaukolämpöverkkoon syötettävää menolämpötilaa. (Brange, Englund ja Lauenburg 2016, 1.)

Tulosten pohjalta huomattiin, että Hyllien alueella noin 50 prosenttia vuotuisesta lämmöntarpeesta voitaisiin kattaa prosumer-toimijoilla. Kun prosumer-toimijat pystyivät toimittamaan lämpöä muillekin kuin Hyllien alueelle, lämpötase oli negatiivinen. Jopa pienimuotoisella hajautetulla lämmöntuotannolla voidaan saada huomattavasti ylimääräistä energiaa. Paras potentiaali prosumer-toiminnalle on alueilla, joissa on hyvin monipuolinen rakennuskanta ja lämmönkulutus. (Brange, Englund ja Lauenburg 2016, 6.)

Ympäristövaikutuksia tutkittaessa huomattiin, että suurin yksittäinen tekijä, joka vaikutti prosumer-toiminnan ympäristövaikutuksiin, oli lämmön jalostukseen käytetyn sähkön tuotantotapa. Prosumer-ratkaisu oli parempi ja ympäristöystävällisempi kuin tavanomainen kaukolämpöratkaisu, jos sähkö oli tuotettu uusiutuvilla lähteillä kuten tuulella. Fossiilisilla polttoaineilla tuotetulla sähköllä jalostettu prosumer-lämpö oli useinmiten huonompi ratkaisu. (Brange, Englund ja Lauenburg 2016, 7.)

Tutkimuksessa havaittiin myös, että suurin osa hukkalämmöstä syntyy kesäkuukausien aikana, kun jäähdytyskoneiden tarve on huipussaan. Prosumer-toimijoiden tuottama lämpö ei kohtaa kaukolämmön kulutushuippuja. Lämpövarastot voisivat olla tarpeen, jotta kaikki ylimääräinen lämpö saataisiin hyödynnettyä. (Brange, Englund ja Lauenburg 2016, 6.)

Lisäksi prosumer-toimijat kaukolämpöverkossa voivat aiheuttaa ongelmia kaukolämpöverkon paine-eroon, lämpötilaan ja syöttönopeuteen. Kaukolämpöasiakkaiden paine-ero voi kasvaa tai laskea, jos prosumer-toimija sijaitsee asiakkaan kanssa samalla kaukolämpöverkkoalueella. Myös syöttöveden lämpötila ja syöttönopeus voivat vaihdella, kun kaukolämmön tuotanto on hajautettua. (Brange, Englund ja Lauenburg 2016, 2.)

6 TULEVAISUUDEN KEHITYSSUUNNAT JA HAASTEET

Kaukolämpöyhtiöt ovat kiinnostuneita ylijäämälämmön ostamisesta ja lämmön pientuotannon hyödyntämisestä, mikäli se on taloudellista ja teknisesti järkevästi toteutettavissa. Hyvin pienien lämpömäärien ostoa vaatii yhtä ison työmäärän verkon operatiivisen toiminnan ja lämmön ostoon vaadittavan hallinnoinnin kannalta kuin ostovolyymltaan suurempi lämmöntuotanto, mikä ei taloudellisesti ole kannattavaa. Lisäksi lämmön tuottajan sijainnilla on suuri merkitys lämmön hyödyntämisen kannalta kaukolämpöverkossa. Useissa tapauksissa ylijäämälämpö ei ole suoraan hyödynnettävissä kaukolämpöverkostossa eli lämmöntuotannon tekniset ominaisuudet kuten lämpötila ja paine eivät vastaa asetusarvoja. Hukkalämmön hyödyntämistä vaikeuttaa myös lämmöntuotannon osuminen kaukolämpöyhtiölle tarpeettomaan aikaan esimerkiksi kesälle, jolloin lämmön tarve kaukolämpöyhtiön asiakkailta on pientä, tai lämmöntuotanto ei ole tasaista, mikä vaatii kaukolämpöyhtiöltä muuten hyvin joustavaa lämmöntuotantoa ja mukautumista kulutushuippuihin. (Bröckl, Immonen ja Vanhanen 2014.)

Kaukolämmöllä voi olla keskeinen rooli tulevaisuuden fossiilittomassa ja älykkäästi toimivassa energiajärjestelmässä. Tämän edellytys on kuitenkin siirtyminen nykypäivän korkean lämpötilan kaukolämpöjärjestelmistä kohti alhaisempia jakelulämpötiloja. Lämmön jakelulämpötilan alentaminen tarjoaa useita etuja, kuten esimerkiksi pienemmät jakelulämpöhäviöt sekä matalan lämpötilan hukkalämmön tehokkaamman hyödyntämisen ja uusiutuvat lämmönlähteet, sillä esimerkiksi kiinteistöistä saatava hukkalämpö on harvoin ilman jatkojalostamista suoraan käytettävissä nykyisessä kaukolämpöverkossa matalan lämpötilansa vuoksi. Nykyaikaiset ja kunnostetut rakennukset soveltuvat hyvin matalan lämpötilan kaukolämpöverkkoon, mutta vanhoissa ja kunnostamattomissa rakennuksissa lämmitysratkaisut tarvitsevat toimiakseen edelleen kuumaa vettä. Lämmitysratkaisujen päivittäminen matalalämpöistä kaukolämpöverkkoa varten kuitenkin maksaa. (Kauko et al. 2020.) Kaukolämpöverkon lämpötilan madaltamista rajoittaa kuitenkin lämpimän käyttöveden minimilämpötila, joka Suomessa on 50 °C, millä pyritään estämään legionellabakteerin kasvu (Terveystieteiden tutkimuskeskus ja Hyvinvoinnin tutkimuskeskus 2021).

Hukkalämmön maksimaalisen hyödyntämisen saavuttamiseksi kaukolämpöverkkoon tulisi ottaa käyttöön myös lämpövarastoja, sillä hukkalämmön tuntikohtainen ja kuukausittainen saatavuus eroaa kaukolämpöverkon lämmöntarpeesta. Ylimääräinen hukkalämpö voitaisiin varastoida lämpövarastoon kesäkuukausina, kun kaukolämmön tarve on pientä, ja hyödyn-
tää talvisin kulutushuippujen aikana tasoittamassa perinteistä kaukolämmöntuotantoa. (Doračić et al. 2020.)

Kuvassa 6 on esitetty tiivistetty SWOT-analyysi prosumer-toiminnasta ja -toimijoista kaukolämpöverkossa, eli työssä esille tulleet prosumer-toiminnan vahvuudet, heikkoudet, mahdollisuudet ja uhkatekijät.



Kuva 6. SWOT-analyysi prosumer-toiminnasta kaukolämpöverkossa.

7 YHTEENVETO

Prosumer-toiminnalla kaukolämpöverkossa voidaan pienentää kaukolämmön tuotannon päästöjä ja ympäristövaikutuksia, kun fossiililla polttoaineilla tuotettu lämpö korvataan hukkalämmöllä, joka on uusiutuva ja päästötön lämmön lähde. Hukkalämmön hyödyntäminen kaukolämpöyhtiössä parantaa energiatehokkuutta ja tukee kestäväää kehitystä. Lisäksi hajautetulla lämmöntuotannolla kaukolämpöverkon lämpöhäviöt pienenevät.

Kaukolämpöyhtiöt näkivät prosumer-toiminnan parantavan lämmöntuotannon ympäristövaikutuksia ja energiayhtiön imagoa. Hukkalämmön osto on energiayhtiölle kannattavaa, jos sitä on tarjolla halvempaan hintaan kuin omatuotettua lämpöä. Toisaalta päästöttömästä lämpöenergiasta oltiin myös valmiita maksamaan yleisen markkinatason mukaan. Haasteena nähtiin avoimen kaukolämpöverkon tekninen toteutus ja sen kustannukset.

Suomessa kaukolämpöyhtiöillä, jotka ovat avanneet kaukolämpöverkkonsa kaikille lämmön tuottajille, on hyvin erilaisia hukkalämmön hinnoitteluperiaatteita. Erilaisista hinnoitteluperiaatteista huolimatta kaukolämpöyhtiöt maksoivat ostamastaan hukkalämmöstä vuoden aikana melko lailla yhtä paljon.

Pohjoismaissa suoritetuissa tutkimustapauksissa huomattiin, ettei hukkalämmön tuotanto osu yhteen lämpöenergian kysynnän kanssa, ja tuotanto on usein epätasaista. Lisäksi hukkalämpö on harvoin sellaisenaan hyödynnettävissä kaukolämpöverkossa, minkä takia tarvittaisiin ratkaisuja lämmön varastointiin tai hyödyntämiseen alhaisemmissa lämpötiloissa. Hajautettu lämmön tuotanto voi myös aiheuttaa ongelmia kaukolämpöverkon paine-eroon, lämpötilaan ja syöttönopeuteen.

Hukkalämpöä voitaisiin hyödyntää kustannustehokkaammin, jos siirryttäisiin neljännen sukupolven kaukolämpöverkkoon eli matalalämpöiseen kaukolämpöverkkoon. Sen käyttöönotto vaatii kuitenkin suuria kustannuksia ja lämmitysjärjestelmien päivityksiä vanhoissa rakennuksissa.

LÄHTEET

Brange, Lisa; Englund, Jessica; Lauenburg, Patrick. 2016. Prosumers in district heating networks – A Swedish case study. *Applied Energy*. Julkaisu 164, 492–500. ISSN: 0306–2619. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.12.020.

Bröckl, Marika; Immonen, Iiro; Vanhanen, Juha. 2014. Gaia Consulting Oy. Lämmön pientuotannon ja pienimuotoisen ylijäämälämmön hyödyntäminen kaukolämpötoiminnassa. [verkkodokumentti]. [viitattu 14.2.2021]. Saatavissa:

https://energia.fi/files/981/Lammon_pientuotannon_ja_ylijaamalammon_hyodyntaminen_kaukolampotoiminnassa20141215_.pdf

Doračić et al. 2020. Excess heat utilization combined with thermal storage integration in district heating systems using renewables. *Thermal Science*. Julkaisu 24, 3673–3684. ISSN: 0354–9836. DOI: 10.2298/TSCI200409286D

Elenia. 2017. Elenia Lämpö toteuttaa Hämeenlinnan uimahalliin kaksisuuntaisen lämpöliittymän. [verkkojulkaisu]. [viitattu 10.5.2021]. Saatavissa: <https://www.elenia.fi/uutiset/elenia-lampo-toteuttaa-hameenlinnan-uimahalliin-kaksisuuntaisen-lampoliittyman>

EnergiaKokeilut.fi. 2021. Tampereen Sähkölaitos pilotoi kaksisuuntaista kaukolämpöä. [verkkojulkaisu]. [viitattu 3.5.2021]. Saatavissa: <https://energiakokeilut.tk/yritykset/tampereen-sahkolaitos-pilotoi-kaksisuuntaista-kaukolampoa/>

Energiatehokkuussopimukset2017-2025.fi. 2019. Nivos: Kaukolämpöä Yandexin datakeskuksen hukkalämmöstä. [verkkojulkaisu]. [viitattu 5.3.2021]. Saatavissa: <https://energiatehokkuussopimukset2017-2025.fi/nivos-kaukolampoa-yandexin-datakeskuksen-hukkalammosta/>

Energiateollisuus ry. 2019. Lämmön osto ja kaksisuuntainen lämpökauppa. [verkkodokumentti]. [viitattu 28.1.2021]. Saatavissa: https://energia.fi/files/3817/Lammon_ostoa_ja_2suuntaista_kaupaa_koskeva_ohje_lopullinen_20190521.pdf

Energiateollisuus ry. 2020. Kaukolämpötilasto 2019. ISSN 0786-4809. [verkkodokumentti]. [viitattu 4.8.2021]. Saatavissa: https://energia.fi/files/5384/Kaukolampotilasto_2019.pdf

EUGUGLE. 2021. Hankkeen kuvaus. [verkkojulkaisu]. [viitattu 24.7.2021]. Saatavissa: <http://eu-gugle.eu/fi/project-3/>

Fortum. 2014. Fortumin ratkaisu tekee Espoon uudesta sairaalasta kauko-lämmön tuottajan. [lehdistötiedote]. [viitattu 3.2.2021]. Saatavissa: <https://www.fortum.fi/media/2014/05/fortumin-ratkaisu-tekee-espoon-uudesta-sairaalasta-kaukolammon-tuottajan>

Fortum. 2018. Fortum: Avoin kaukolämpö, tekninen ohje. Versio 1. [viitattu 3.5.2021]. Fortumin sisäinen dokumentti. Julkinen, ei avoimessa levityksessä.

Fortum. 2020a. Avoin kaukolämpö. [verkkojulkaisu]. [viitattu 5.12.2020]. Saatavissa: <https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisolle/lammitys-ja-jaahdytys/kaukolampo/avoin-kaukolampo>

Fortum. 2020b. Datakeskusten hukkalämpö kaukolämmöksi. [verkkojulkaisu]. [viitattu 5.12.2020]. Saatavissa: <https://www.fortum.fi/datakeskusten-hukkalampo-kaukolammoksi>

Fortum. 2021a. Avoin kaukolämpö ostohinnat. [verkkojulkaisu]. [viitattu 12.7.2021]. Saatavissa: <https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisolle/lammitys-ja-jaahdytys/kaukolampo/avoin-kaukolampo/avoin-kaukolampo-ostohinnat>

Fortum. 2021b. Fortumin ja Espoon kaupungin suunnittelema datakeskus vähentäisi kaupungin ilmastopäästöjä merkittävästi. [verkkojulkaisu]. [viitattu 5.3.2021]. Saatavissa: <https://www.fortum.fi/media/2021/02/fortumin-ja-espoon-kaupungin-suunnittelema-datakeskus-vahentaisi-kaupungin-ilmastopaastoja-merkittavasti>

Gross et al. 2021. Implementing prosumers into heating networks. *Energy*. Julkaisu 230, p.120844. ISSN: 0360–5442. DOI: 10.1016/j.energy.2021.120844

Helen. 2021. Avoin kaukolämpö. [verkkojulkaisu]. [viitattu 12.7.2021]. Saatavissa: <https://www.helen.fi/yritykset/lamboa-yrityksille/avoin-kaukolampo>

Ilmatieteen laitos. 2021. Havaintojen lataus. Kuukauden keskilämpötila [1.1.-31.12.2020]. Helsinki Kaisaniemi, 100971. [ladattava data]. [viitattu 17.7.2021]. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>

Kauko, Hanne et al. 2018. Dynamic modeling of local district heating grids with prosumers: A case study for Norway. *Energy*. Julkaisu 151, 261–271. ISSN: 0360–5442. DOI: 10.1016/j.energy.2018.03.033.

Kauko, Hanne; Rohde, Daniel; Hafner, Armin. 2020. Local Heating Networks with Waste Heat Utilization: Low or Medium Temperature Supply? *Energies* (Basel). Julkaisu 13, 954. ISSN: 1996–1073. DOI: 10.3390/en13040954

Mäkelä, Veli-Matti; Tuunanen Jarmo. 2015. Suomalainen kaukolämmitys. Mikkelin ammattikorkeakoulu. ISBN: 978–951–588–506–7

Pöyry Management Consulting Oy. 2016. Kaksisuuntaisen kaukolämmön liiketoimintamallit. [verkkodokumentti]. [viitattu 6.4.2021]. Saatavissa: https://energia.fi/files/598/Kaksisuuntainen_KL_Yleinen_osuus_raportti_2016.pdf

Rämä, Miika; Klobut, Krzysztof. 2020. Hukkalämpö kaukolämpöjärjestelmissä. VTT. [verkkodokumentti]. [viitattu 8.2.2021]. Saatavissa:

https://energia.fi/files/4831/Hukkalampo_kaukolampojarjestelmissa_-_maarittely_ja_luokittelu_VTT_2020.pdf

Suomen virallinen tilasto (SVT): Ilmapäästöt toimialoittain. 2020a. [verkkajulkaisu]. ISSN=2323-7589. Helsinki: Tilastokeskus. [viitattu: 2.8.2021]. Saatavissa: https://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ymp__tilma/statfin_tilma_pxt_11ig.px/table/tableViewLayout1/

Suomen virallinen tilasto (SVT): Asumisen energiankulutus. 2020bf. [verkkajulkaisu]. ISSN=2323-3273. 2019, Liitetaulukko 2. Asumisen energiankulutus energialähteittäin vuonna 2019. Helsinki: Tilastokeskus. [viitattu: 2.8.2021]. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/asen/2019/asen_2019_2020-11-19_tau_002_fi.html

Suomen virallinen tilasto (SVT): Energian hankinta ja kulutus. 2021. Energian loppukulutus sektoreittain. [verkkajulkaisu]. ISSN=1799-795X. Helsinki: Tilastokeskus. [viitattu: 2.8.2021]. Saatavissa: https://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ene__ehk/statfin_ehk_pxt_12vk.px/table/tableViewLayout1/

Tampereen Sähkölaitos. 2021a. Avoin kaukolämpöverkko. [verkkajulkaisu]. [viitattu 12.7.2021]. Saatavissa: <https://www.sahkolaitos.fi/yrityksille-ja-taloyhtiaille/lamporatkaisut/omalampo/>

Tampereen Sähkölaitos. 2021b. OmaLämpö-hinnasto. [verkkajulkaisu]. [viitattu 12.7.2021]. Saatavissa: <https://www.sahkolaitos.fi/yrityksille-ja-taloyhtiaille/lamporatkaisut/omalampo/hinnasto/>

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. 2021. Legionellaa koskeva lainsäädäntö ja ohjeistus. [verkkajulkaisu]. [viitattu 29.7.2021]. Saatavissa: <https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/vesi/legionellabakteerit-vesijarjestelmissa/legionellaa-koskeva-lainsaadanto-ja-ohjeistus>

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2020. Suomen pitkän aikavälin strategia kasvihuonekaasujen vähentämiseksi. [verkkajulkaisu]. [viitattu 16.7.2021]. Saatavissa: <https://tem.fi/documents/1410877/2132096/Suomen+pitk%C3%A4n+aikav%C3%A4lin+strategia+kasvihuonekaasujen+v%C3%A4hent%C3%A4miseksi+1.4.2020/8cd55d4d-6de7-657f-a86f-bc79497d4756>

United Nations Climate Change. 2015. Paris Agreement (English). [verkkajulkaisu]. [viitattu 3.7.2021]. Saatavissa: https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf

Vantaan Energia. 2020. Vantaan Energia, Infranode ja Keva ostavat Fortumin kaukolämpöliiketoiminnan Järvenpäässä. [verkkajulkaisu]. [viitattu 11.4.2021]. Saatavissa: <https://www.vantaanenergia.fi/vantaan-energia-infranode-ja-keva-ostavat-fortumin-kaukolampoliiketoiminnan-jarvenpaassa/>

Vantaan Energia. 2021. Hukkalämmön ehdot ja hinnat. [verkkajulkaisu]. [viitattu 12.7.2021]. Saatavissa: <https://www.vantaanenergia.fi/lampo/myy-hukkalampo-eteenpain-avoimeen-kaukolampoverkkoomme/hukkalammon-ehdot-ja-hinnat/>