

gaia



*Innovative Solutions
for Sustainability*

Älykäs kaukolämpöjärjestelmä ja sen mahdollisuudet

Loppuraportti
8.11.2011

Aki Pesola, Marika Bröckl, Juha Vanhanen
Gaia Consulting Oy



Sisällysluettelo

Executive Summary.....	3
1 Johdanto	4
2 Mitä on älykäs kaukolämpö?.....	4
3 Älykkään kaukolämmön osa-alueet	5
3.1 Lämmöntuotanto	5
3.2 Lämpöenergian varastointi	12
3.3 Mittaus, ohjaus ja optimointi.....	14
3.4 Kaukolämpötuotteet ja hinnoittelu	16
3.5 Älykkään kaukolämmön määritelmä ja ominaisuudet	17
4 Älykkään kaukolämpöjärjestelmän potentiaali.....	18
4.1 Lämmöntuotanto	18
4.2 Lämpöenergian varastointi	24
4.3 Mittaus, ohjaus ja optimointi.....	29
4.4 Hinnoittelumallit	32
5 Älykkään kaukolämmön tulevaisuus	34
5.1 Lupaavia mahdollisuuksia	34
5.2 Tutkimus- ja kehitystarpeita	35
6 Yhteenveto ja johtopäätökset	36
Lähteet	38



Executive Summary

Today's district heating system in Finland includes smart features in production, distribution and the consumption interface. Smartness is not a separate issue; but it is embedded into the whole district heating system and its components. There are several means and solutions to increase smartness of the district heating system. So far only part of this potential is utilized. Along with individual solutions it is important to find ways to make the whole system more flexible and efficient. District heating system can be optimized more successfully when heat production and storing technologies are developed and real-time metering data is available for both producers and customers.

Improvements in the flexibility of the district heating system as well as significant reductions in greenhouse gas emissions can be achieved by utilizing modern technologies of distributed heat production and heat storage. Especially investment into short- and long-term heat storage capacity seems cost-efficient solution in many cases. Along with production and storage technologies, accurate metering, heat load management and various pricing models can also be used to optimize district heating system as well as develop new kind of services and business models that create value to all stakeholders.

Smart district heating system results in benefits from the aspects of both economy and climate. Heat can be produced with more flexible production structure where distributed and centralized technologies are complementary. Peak demand can be cut using heat storages and demand flexibility, hence reducing the need to run peak load capacity which typically uses expensive fossil fuels. At the same time the share of environmentally preferable production technologies as well as efficient CHP production increases within the overall production palette. Accurate and real-time metering together with demand forecasts makes it possible to continuously optimize the system with e.g. the means of demand side management. Possibilities offered by smart technology are supported by pricing models that reward the customer actions that cuts the demand peaks.

Operational environment of district heating develops continuously. Hence, energy companies need to openly consider new business models and possibilities related to these. It needs to be emphasized that competitive edge of district heating is, above all, the reliability and simplicity. Customers are used to receive heat based on instant necessity. That is why it is essential that customer perspective drives the planning and implementation of new services. This is the way to develop district heating sector in the right direction where both customer and the company achieve additional benefits and district heating preserves its competitiveness also in the future.



1 Johdanto

Kaukolämmön toimintaympäristössä tapahtuu tulevaisuudessa useita suuria muutoksia, joilla on vaikutusta kaukolämmön kilpailukykyyn. Rakennuksiin kohdistuvat erilaiset energiatehokkuustoimet, lämmön talteenottojärjestelmät sekä rakennusten kasvavat sisäiset sähkökuormat muuttavat merkittävästi kaukolämmön kokonaiskulutusta ja kulutusprofiilia. Edellä mainitut asiat vaikuttavat kaukolämmön kokonaiskulutuksen lisäksi myös kulutusprofiiliin. Kaukolämmön huipunkäyttöaika tulee todennäköisesti tulevaisuudessa pienentymään. Tällä on puolestaan vaikutus lämmön tuotantorakenteeseen ja huipputehon mitoittamiseen.

Jotta kaukolämmön kilpailukyky säilyy tulevaisuudessa, täytyy kaukolämpöyhtiöiden yhtäältä korostaa kaukolämmön nykyisiä päävahvuuksia, ja toisaalta kehittää uudenlaisia toimintamalleja ja ratkaisuja, jotka soveltuvat tulevaisuuden toimintaympäristöön. Uusien ratkaisujen ja toimintamallien toteutuksessa pitää pystyä hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti olemassa olevaa kaukolämpöinfrastruktuuria. Tämän lisäksi tarvitaan kuitenkin ratkaisuja, joilla lisätään nykyisestä kaukolämpöverkon älykkyyttä ja joustavuutta. Tällaisia asioita voivat olla esimerkiksi hajautettu tuotanto, lämmön varastointi, nykyistä reaaliaikaisempi mittaus ja tuotannon optimointi, kulutuksen ohjaus sekä hinnoittelun kehittäminen.

Tässä selvityksessä tarkastellaan, mitä älykäs kaukolämpö tarkoittaa ja millaisia mahdollisuuksia se tarjoaa kaukolämpöyhtiöille ja muille järjestelmän osapuolille. Luvussa 2 pohditaan, mitä älykkäällä kaukolämpöjärjestelmällä tarkoitetaan ja missä kaukolämpöjärjestelmän eri osissa älykkyyttä voidaan lisätä. Luvussa 3 tarkastellaan tarkemmin älykkään kaukolämpöjärjestelmän eri osa-alueita sekä määritetään, mitkä ovat älykkään kaukolämpöverkon ominaispiirteet. Luvussa 4 arvioidaan järjestelmän potentiaalia teknisestä, taloudellisesta ja ilmastollisesta näkökulmasta. Älykkään kaukolämmön tulevaisuuden mahdollisuuksia ja haasteita pohditaan luvussa 5, ja luku 6 vetää yhteen selvityksen keskeiset havainnot ja johtopäätökset.

2 Mitä on älykäs kaukolämpö?

Kaukolämpöjärjestelmä koostuu karkeasti jaoteltuna lämmön tuotantolaitteista (voimalaitokset sekä kiinteät ja siirrettävät lämpökeskukset), jakeluverkostosta (mm. kaukolämpöjohdot ja pumppaamot), mahdollisista lämpövarastoista sekä lämmönsiirtimistä, joilla lämpö siirretään kulutuskohteisiin. Lisäksi tarvitaan koko järjestelmän toimintaa ohjaava käytönvalvontajärjestelmä, joka on oleellinen osa kaukolämpöjärjestelmän järkevän ja joustavan toiminnan kannalta.

Tällä hetkellä kaukolämpöjärjestelmän eri osa-alueet sisältävät vaihtelevassa määrin älyä. Lisäksi on huomattava, että koko järjestelmän käyttö perustuu jo nykyisinkin vahvasti teknisen ja taloudellisen tiedon älykkääseen hyödyntämiseen. Tämän vuoksi on siis ilmeistä, ettei kaukolämmön älykkyyttä voida irrottaa omaksi erilliseksi asiaksi, vaan se on upotettu osaksi järjestelmän eri osia. Kysymys on ennen kaikkea siitä, kuinka paljon älyä kaukolämpöjärjestelmään voi ja kannattaa sisällyttää, jotta siitä olisi lisähyötyä eri osapuolille (tuottajille, verkon operoijille, asiakkaille) syntyviin kustannuksiin nähden? Lisäksi oleellinen kysymys on, kuinka järjestelmän eri osat saadaan toimimaan keskenään optimaalisella tavalla?



Kaukolämpöjärjestelmän älykkyyttä voidaan lisätä sen kaikilla osa-alueilla eli tuotannossa, varastoinnissa, jakelussa ja käytössä. Erityisesti seuraavilla osa-alueilla voidaan olettaa saatavan hyötyä älykkyyden lisäämisestä:

- Eri lämmöntuotannon teknologioiden (ml. yhteistuotanto) sovittaminen osaksi älykästä kaukolämpöjärjestelmää siten, että eri tuotantomuodot tukevat toisiaan koko verkon alueella.
- Lämpöenergian varastoinnin luomat mahdollisuudet tasoittaa kysynnän vaihteluita niin tunti-, vuorokausi- kuin vuositasolla.
- Tarkennettu mittaustoiminta ja tähän liittyvät palvelut mukaan lukien kulutuksen ohjaus sekä käytön optimointi.
- Erilaiset uudet kaukolämpötuotteet ja hinnoittelumallit, joilla pystytään vaikuttamaan suotuisasti kaukolämmön kulutusprofiliin ja huipputehon tarpeeseen.

Luvussa 3 on tarkasteltu tarkemmin edellä kuvattuja asioita sekä laajemmin kaukolämmön eri osa-alueita, joiden älykkyyttä voidaan parantaa. Tämän tarkastelun perusteella luvun 3 loppuun on koottu yhteenvetona älykkään kaukolämpöverkon määrittelmä ja ominaispiirteet.

Tässä selvityksessä lähtökohtana on ollut, että kaukolämpöjärjestelmän toiminta sopeutuu kysynnän muutoksiin. Toisaalta kysyntääkin voidaan tarvittaessa ohjata; tämän tulee kuitenkin tapahtua asiakkaan ehdoilla. Joissain tapauksissa kulutuksen järkevällä ohjauksella voidaan saavuttaa hyötyjä sekä kaukolämpöyhtiön että asiakkaan kannalta. Esimerkiksi sisälämpötilan pitäminen ympäri vuoden likimain samalla tasolla helpottaa tuotantomäärien ennustettavuutta, kun ulkolämpötila (lämpötilaero) on ainakin karkealla tasolla tiedossa. Tällöin myös asumismukavuus paranee ja vältetään liian korkeilta sisälämpötiloilta huippukulutuskaudella, mikä pienentää kalliimpien huipputeholaitosten vuotuista käyttöaikaa. Lähtökohtana siis on, että asiakkaan etu ja kustannustehokkuus ohjaavat yhdessä kaukolämpöliiketoiminnan kehittämistä.

3 Älykkään kaukolämmön osa-alueet

3.1 Lämmöntuotanto

Lämpöenergiaa voidaan tuottaa joko keskitetysti suurissa voimalaitoksissa ja lämpökeskuksissa tai hajautetummin pienissä lämpökeskuksissa ja jopa kulutuspisteen yhteydessä. Lisäksi lämpöä voidaan hankkia kolmannelta osapuolelta – esimerkiksi teollisuudelta hukkalämpöä. Parhaimmillaan hajautettu tuotanto tai teollisuuden hukkalämmön hankinta voidaan liittää tukemaan keskitettyä tuotantoa, jolloin tuotannon joustavuus paranee ja keskitetyt tuotantolaitokset voidaan mitoittaa pienemmäksi.

Hajautetusti sijoitettuja lämpökeskuksia käytetään kaukolämpöjärjestelmässä nykyisin tasaamaan kulutuksen vaihteluita ja tuottamaan lämpöä huippukulutuksen aikana sekä parantamaan verkon toimintaa. Uusi tilanne syntyy silloin, kun hajautetun lämmön tuottaja on esimerkiksi kuluttaja tai kolmas osapuoli, jonka kanssa kaukolämpöyhtiö tekee sopimuksen. Tässä selvityksessä tarkasteluun on otettu mukaan kaksi vaihtoehtoista hajautetun energian toimintamallia:



1. Kohdekohtaisesti tuotetun lämmön käyttäminen rinnakkain kaukolämpöjärjestelmän kanssa, jolloin hajautettu tuotanto vähentää kaukolämpöverkosta otettavan lämpöenergian määrää.
2. Lämmön syöttäminen nykyiseen kaukolämpöjärjestelmään joko meno- tai paluupuolelle, jolloin hajautettu tuotanto on todellinen tuotantoyksikkö kaukolämpöverkon kannalta.

Molemmissa edellä kuvatuissa vaihtoehtoissa kaukolämpöyhtiö voi olla moninainen. Kaukolämpöyhtiö voi olla tuotantolaitteiden omistaja; se voi huolehtia järjestelmän käytöstä ja kunnossapidosta; tai kaukolämpöyhtiö voi tehdä sopimuksen pelkästään lämmön toimittamisesta (vaihtoehto 1) tai lämmön ostosta ja myynnistä (vaihtoehto 2).

Seuraavissa luvuissa on käsitelty eri lämmöntuotannon ja yhteistuotannon teknologioita, jotka voisivat soveltua osaksi älykästä kaukolämpöjärjestelmää. Yleisesti voidaan todeta, että tuotannon joustavuutta voidaan lisätä liittämällä kaukolämpöjärjestelmään tuotantokapasiteettia, jolla on hyvä säädettävyyttä. Lisäksi on myös hyvä huomioida, että kaukolämmön tuotannon ajojärjestys kunakin ajanhetkenä määräytyy eri tuotantolaitosten marginaalikustannusten perusteella. Siksi esimerkiksi hybridijärjestelmissä eri teknologioiden oikea mitoittaminen on eriarvoisen tärkeää, jotta myös alhaisten käyttöikäkustannusten omaavien teknologioiden pääomakustannukset saadaan kuoletettua.

3.1.1 Lämpöpumput

Maaperään, kallioon tai vesistöön varastoitunutta lämpöä voidaan hyödyntää maalämpöpumpun avulla. Lämpöä voidaan kerätä joko pintamaasta, porakaivojen avulla tai vesistöjen pohjasta. Porakaivoasennuksissa, joissa lämpöä kerätään yli 100 metrin syvyydestä, muodostuvat lämpöpumpun teho ja lämpökerroin perinteisesti suuremmiksi kuin pintamaa-asennuksissa. Maalämpöä voidaan hyödyntää joko talokohtaisesti tai keskitetysti; omakotitalolle riittää usein yksi porakaivo, kun taas kerrostalo- ja asuinalueasennuksissa reikiä tehdään useampia, jotta riittävä määrä lämpöä saadaan kerättyä.

Lämpöpumpun lämpökertoimeen (COP) ja lämmitystehoon vaikuttaa ennen kaikkea lämpötilaero lämmönlähteen ja lämmityskohteen välillä. Tätä korrelaatiota on havainnollistettu taulukossa 3.1. Tavallisesti lämmönlähteen lämpötila vaihtelee Suomen oloissa noin -5 °C ja 10 °C välillä.

Kohdekohtaisessa lämmitysratkaisussa maalämpöpumpun kompressorin avulla maaperästä saatu lämpöenergia nostetaan huoneilman ja käyttöveden lämmitykseen vaadittavalle tasolle, joka kotitalouskohteissa on tavallisesti 35–70 °C. Menolämpötilan suuruuteen vaikuttaa mm. lämmönkeruupiirissä kiertävän kylmäaineen ominaisuudet. Ulostulevaa lämpötilaa voidaan vielä edelleen nostaa esimerkiksi sähkövastuksien avulla, joka toisaalta heikentää lämpöpumppujärjestelmän kokonaisyhteyttä. Kesäkuukausina maalämpöpumppua voidaan käyttää huoneilman jäähdytykseen, jolloin lämmönkeruupiirin suunta vaihtuu ja samalla maaperä ”latautuu”, toisin sanoen siihen sitoutuu lämpöä.

Kohdekohtaisten maalämpöpumppujärjestelmien yhdistäminen kaukolämpöjärjestelmään ei ole useinkaan yksittäisen kohteen kannalta taloudellista, sillä se edellyttää investointeja sekä lämpöpumppuratkaisuun että kaukolämmön liittymismaksuun. Mikäli kaukolämpöyhtiö ottaa vastuulleen kokonaiskonseptin ja maalämpöpumppua voidaan hyödyntää lämmöntuotannon lisäksi esimerkiksi kohteessa jäähdytykseen, voi ratkaisu muodostua kokonaisuuden kannalta järkeväksi. Tässäkin yhteydessä järjestelmän mitoitus on tehtävä huolella ja pohdittava kannattaako lämpöpumpulla tuotettua lämpöä edes yrittää hyödyntää kaukolämpöverkossa.



Taulukko 3.1. Lämmönlähteen ja menolämpötilan vaikutus maalämpöpumpun lämpökertoimeen ja lämmitystehoon; referenssinä Thermia Robust 42, kylmäaine R407C, kiertopumput huomioitu.¹

Lämmönlähde	Menovesi 35 °C		Menovesi 50 °C	
[°C]	COP	kW	COP	kW
-5	3,20	35,6	2,51	34,4
0	3,59	41,5	2,79	39,5
5	3,71	44,9	3,06	45,4
10	3,96	50,8	3,17	48,9

Lämpöpumppua voidaan käyttää myös kaukolämpöverkon paluueden lämmön siirtämiseen menopuolelle. Paluuedestä (perinteisesti noin 50–55 °C) otetaan lämpöä talteen ja priimataan lämpötilatasoon, joka soveltuu menoveteen sekoitettavaksi. Lämpötila voidaan nostaa suoraan kaukolämpöasiakkaalle myyntiin soveltuvaan lämpötilaan (perinteisessä kaukolämpöverkossa noin 80–110 °C). Vaihtoehtoisesti priimaus voidaan tehdä matalampaan lämpötilatasoon, jolloin erillis- tai yhteistuotantolaitoksessa tuotetun menoveden lämpötilan tulee ennen virtausten sekoittumista olla normaalia korkeampi, jotta haluttu asiakkaalle siirrettävän kaukolämmön lämpötila saavutetaan. Etuna jälkimmäisessä vaihtoehdossa on lämpöpumpun lämpökertoimen säilyminen korkeana.² Matalalämpötilaisissa verkoissa priimausta ei välttämättä tarvita.

Eriyisen mielenkiintoinen asia lämpöpumppujen osalta on sähkön ja lämmön hintojen vaikutus optimaaliseen käyttöön. Sähkön hinnan ollessa alhainen, saattaa olla taloudellista tuottaa lämpöä lämpöpumpuilla jopa yli oman tarpeen ja ladata lämpövarastoja. Mikäli sähkön hinta on puolestaan jonakin hetkenä korkea, kannattaa lämpöä tuottaa yhteistuotantolaitoksissa. Nämä kaksi näkemystä on yhdistetty Vattenfallin *virtual power plant* -konseptissa³, jossa järjestelmään kuuluu useita lämpöpumppuja ja yhteistuotantolaitoksia, joita ohjataan keskitetysti. Suuria lämpöpumppulaitoksia suunniteltaessa tulee kiinnittää huomiota pumppumoduulien kokoon: moduulikoon kasvaessa investoinnin yksikkökustannukset pienenevät mutta toisaalta osatehon käyttöalue kapenee.

Selvityksessä tehtyjen haastattelujen perusteella energiayhtiöt kokevat ongelmana, että sähkön perustuvat lämmitysratkaisut, kuten lämpöpumput, lisäävät sähkönkulutusta talvikuukausina, jolloin sähkön hinta ja tuotannon päästöt ovat korkeat. Tämän takia yhteistuotantolaitteiston käyttäminen on usein taloudellisesti kannattavampi vaihtoehto talvella. Toisaalta yhdentyvillä sähkömarkkinoilla

¹ Thermia Robust - Tekniset tiedot. www.thermia.com

² Kaukolämpöjärjestelmän paluueden hyväksikäyttö kiinteistöjen lämmityksessä. Pöyry. District Heating and Cooling, 2010.

³ http://wn.com/Virtual_power_plant

hinnanmuodostuksessa on tapahtunut jo muutoksia eikä sähkön hinta riipu enää yhtä voimakkaasti vuodenajasta tai vuorokauden ajasta kuin on aiemmin totuttu.

3.1.2 Aurinkolämpö

Aurinkoenergiaa kannattaa hyödyntää aina kun tähän on mahdollisuus, sillä tekniikka on hyvin pääomavaltainen eikä tuotantoa voida säätää; lisäksi järjestelmän käytönaikaiset kustannukset ovat alhaiset. Aurinkolämpö vaatii tuekseen sekä lämmöntuotannon pohjakuormaa että huipputehoja tuottavia yksiköitä. Aurinkolämpöjärjestelmä voidaan toteuttaa rakentamalla laitteiston ympärille itsenäinen verkko, joka voidaan liittää mahdolliseen olemassa olevaan pääverkkoon lämmönvaihtimilla. Toinen vaihtoehto on rakentaa aurinkolämpövoimala osaksi olemassa olevaa verkkoa, jolloin aurinkoenergiaa hyödynnetään samaan tapaan kuin nykyisin verkon osana olevia lämpökeskuksia.

Suomessa aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää pääsääntöisesti helmikuun alusta marraskuuhun saakka. Aurinkolämpöä voidaan tuottaa joko taso- tai tyhjiöputkitekniikkaan perustuvilla aurinkokeräimillä sekä suoraa säteilyä että hajasäteilyä hyödyntäen. Keskittäviin keräimiin perustuvat ratkaisut soveltuvat huonosti Suomen olosuhteisiin. Tämä johtuu siitä, että keskittävä tekniikka ei pysty hyödyntämään hajasäteilyä, jonka osuus Suomessa on merkittävä.

Aurinkokeräinten hyötysuhteeseen vaikuttaa ulkolämpötila sekä tuotettavan lämmön lämpötila. Tyhjiöputkikeräimellä saadaan kerättyä tasokeräintä tehokkaammin lämpöä talteen matalassa ulkolämpötilassa. Yleistäen voidaankin sanoa, että tyhjiöputkikeräin tuottaa vuositasolla enemmän korkeassa lämpötilassa olevaa lämpöä kuin samankokoinen tasokeräin. Tyhjiöputkikeräin on kuitenkin investointikustannuksiltaan kalliimpi ratkaisu. Aurinkokeräimillä voidaan saavuttaa 60–90 °C lämpötilataso ilman erillistä priimausta. Lämpötilatasoa voidaan kuitenkin nostaa korkeammaksi esimerkiksi lämpöpumpun avulla, mikäli perinteiseen kaukolämpöverkkoon syöttäminen näin vaatii.

Aurinkolämmön tuotanto vaihtelee vuodenajan mukaan, jolloin myös ulkolämpötila vaihtelee. Tästä syystä täytyy ulkolämpötila sekä säteilyn määrä huomioida tarkoin suunnitteluaiheessa. Talvikuukausina myös leudolla säällä tuotanto voi häiriintyä, mikäli lumi estää säteilyn pääsemisen keräimelle. Tavallisimmin keräimet integroidaan talojen rakenteisiin, mutta myös kaukolämpöjärjestelmään liitettjä keskitettyjä aurinkokeräinpuistoja on toteutettu mm. Ruotsissa ja Tanskassa. Suomessa tällaisia suuren mittakaavan aurinkokeräinpuistoja ei toistaiseksi ole, mutta esimerkiksi Porvoon Skaftkärriin on suunnitteilla aurinkokaukolämpösovellus, jonka keräinalaksi on eri vaihtoehdossa kaavailtu vähintään 9 000 m².

Aurinkolämpöjärjestelmän asennuksessa tulee kiinnittää huomiota asennuskohteeseen sekä keräinten suuntaukseen ja kallistuskulmaan, joka on tavallisesti 25–60°. Rakennusten katot ovat usein hyviä asennuskohteita, mutta tässä tulee huomioida myös visuaalisuus ja mahdolliset suojelumääräykset etenkin kaupunkien ydinkeskustoissa.



Auringonsäteilyn vuodenaikaisen vaihtelun vuoksi aurinkolämpö ei lähtökohtaisesti sovellu kohteen ainoaksi lämmitysmuodoksi. Vaikka lämpöä pystyttäisiin varastoimaan kesäkuukausina⁴ suuriakin määriä, ei nykyisillä varastointitekniikoilla kyetä kattamaan vuotuista kokonaislämmöntarvetta taloudellisesti. Pullonkaulaksi muodostuu varaston koko sekä koko järjestelmän hyötysuhde, koska varastoitua lämpöä jouduttaisiin todennäköisesti ainakin osin priimaamaan. Näin ollen järjestelmän kustannustehokkuus heikkenisi. Tämän vuoksi aurinkolämpö tulisikin liittää osaksi järjestelmää, jossa aurinkolämpö joko tukee keskitettyä tuotantoa tai vaihtoehtoisesti vaadittava lisälämpö tuotetaan hajautetusti lähellä kulutuspistettä hyvän säädettävyyden omaavalla tuotantolaitteistolla, kuten lämpökattilalla.

Aurinkolämmön hyödyntämisessä on otettava huomioon tietyt reunaehdot. Mikäli tuotanto liitetään osaksi olemassa olevaa keskitettyä kaukolämmöntuotantoa, aurinkolämpöjärjestelmän mitoituksessa pitää huomioida keskitetyn tuotantolaitoksen minimitehorajoitus sekä lämmitettävän kohteen/alueen lämpimän käyttöveden tarve. Tarkoituksena on pystyä tuottamaan aurinkolämpöä ilman keskeytyksiä aina, kun säteilyä on saatavilla. Vaihtoehtoina ovat esimerkiksi seuraavat mitoitusperiaatteet:

- mitoittaa aurinkolämpöjärjestelmä lämpimän käyttöveden tarpeen mukaan siten, että vuorokauden maksimitarve kyetään tuottamaan aurinkoenergialla, ja/tai
- mitoittaa järjestelmä siten, että kesäkuukausien aurinkoisimpinakin päivinä voidaan tuottaa lämpöä siten, että ei synny päällekkäisyyttä keskitetyn lämmöntuotannon kanssa, toisin sanoen keskitetyn tuotantolaitoksen teho ei laske alle minimitehorajan.

Järjestelmän optimoinnissa on tärkeää, että yhteistuotantolaitoksessa tuotettu lämpö pystytään aina hyödyntämään. Mikäli auringon säteilyä on saatavilla runsaasti ja sähkön hinta on korkea, kannattaa laitoksen sähköntuotantoa pyrkiä teknisten mahdollisuuksien rajoissa maksimoimaan ja leikata lämmöntuotantotehoa. Vaihtoehtoisesti tuotettu ylijäämälämpö voidaan johtaa lämpöakkuun, mikäli sellainen on käytössä. Lämpöakku voidaan purkaa silloin, kun aurinkolämpöjärjestelmän tuotto laskee auringonsäteilyn vähentyessä. Lämpöakku voidaan myös hyödyntää aurinkolämmön kesäaikaisen ylituotannon varastointiin.

Järjestelmän toteutusta tulee aina pohtia tapauskohtaisesti. Vaihtoehtoisen lämmöntuotannon käyttöönotto saattaa muuttaa kaukolämpöyhtiön toiminnan logiikkaa merkittävästikin. Usein yhteistuotantokapasiteettia hallinnoivien energiayhtiöiden päätuote on lämpö. Aurinkolämmön lisääminen kaukolämpöjärjestelmään voi kuitenkin muuttaa yhteistuotantolaitoksen ajologiikkaa siten, että päätuote onkin sähkö ja lämpöä tuotetaan auringosta saatavan energian ehdoilla ja varastoidaan tarvittaessa. Yhteistuotantolaitoksessa tuotetun lämmön varastointi on sen korkean lämpötilatason takia kokonaistaloudellisesti järkevämpää, kuin aurinkolämmön varastointi. Varastoitua korkean lämpötilatason lämpöä voidaan edelleen käyttää joko aurinkolämmön priimaamiseen tai suoraan verkkoon syötössä.

⁴ Tässä viitataan lämmityskauden ulkopuolisiin kuukausiin, jotka ajoittuvat perinteisesti maalisi- ja lokakuun väliin.



3.1.3 Kattilalaitokset

Lämpökeskuksien kattiloissa polttoaineina käytetään tavallisesti joko maakaasua ja kevyttä polttoöljyä tai paikallisia biopolttoaineita (mm. metsähake) ja turvetta. Lämpökeskuksilla voidaan tuottaa korkealämpötilaista kaukolämpöä vuoden ympäri ulkoisista olosuhteista riippumatta. Lämpökeskuskattiloiden hyötysuhteet ovat tavallisesti 85–95 %. Laitosta voidaan ajaa joko osatehoilla tai sykleittäin vuoden- tai vuorokaudenajasta riippuen. Käytettävä teknologia ja polttoainetyyppi asettavat usein reunaehdoja etenkin osatehokäytölle. Osatehoajossa laitoksen hyötysuhde myös tavallisesti heikkenee nimellisteholliseen käyttöön verrattuna.

Mikäli lämpökeskus mitoitetaan kattamaan lämpöenergian maksimitarve (talvikuukausien kysynnän mukaan), on vaihtoehtona käyttää kesäkuukausina laitosta joko osateholla tai ajaa laitos alas, jolloin käyttöveden lämmitysenergia on tuotettava rinnakkaista kapasiteettina hyödyntäen. Mikäli lämpökeskuksen teho on riittävän suuri, on vaihtoehtona myös syöttää lämpöä varastoon ennen alasajoa, jolloin varastointikapasiteettia voidaan hyödyntää lämpimän käyttöveden valmistuksessa kesäaikana. Näin pitkä varastointiaika vaatii kuitenkin lämpövaraston mitoittamista suureen tilavuuteen ja todennäköisesti myös varastoidun lämmön priimaustarve lisääntyy.

Lämpökeskus voidaan mitoittaa myös kesäkuukausien lämmöntarpeen mukaan, jolloin kattilan nimellisteho riittää kattamaan ympärivuotisen käyttöveden lämmitystarpeen⁵. Talvikuukausina alijäämä tuotettaisiin rinnakkaiskapasiteetilla, kuten maalämpöpumpuilla. Myös näiden vaihtoehtojen välinen mitoitus on mahdollinen.

Seuraavassa tarkastellaan tarkemmin kolmannen osapuolen omistamaa laitosta osana alueen energiajärjestelmää. Kolmannella osapuolella tarkoitetaan tahoja, joka ei ole verkkoa hallinnoiva energiayhtiö tai asiakas. Toiminta voidaan toteuttaa joko

- tuottamalla lämpöä rinnan olemassa olevan lämmöntuotantokapasiteetin kanssa, tai
- myymällä energiayhtiölle perustehoa, tai
- myymällä energiayhtiölle huipputehoa silloin, kun alueen lämpökuorma ylittää perustehon.

Nykyään kaukolämpöyhtiön omistamia lämpökeskuksia käytetään keskitettyä tuotantoa tukevinä vara- ja/tai huippuvoimalaitoksina. Tämä tarkoittaa, että lämpökeskus käynnistetään päävoimalan vikaantuessa ja/tai hetkinä, jolloin lämpökuorma ylittää päävoimalaitoksen lämpötehon. Huipputeholaitokset ovat perinteisesti öljy- tai maakaasukäyttöisiä. Lämpöä voidaan kuitenkin hankkia myös ulkopuoliselta toimijalta. Tällaista käytäntöä sovelletaan mm. Varkaudessa ja Heinolassa, joissa kaukolämpöyhtiö ostaa lämpöä paikalliselta toimijalta, joka molemmissa edellä mainituissa tapauksissa on Stora Enso Oyj (ks. myös luku 3.1.5). Yhteistyömahdollisuuksia on tunnustettu ja realisoitu myös saha- ja puunjalostusteollisuuden sekä kaukolämpöyhtiöiden välillä (esim. Loimaan Kaukolämpö Oy - Raunion Saha Oy ja Taivalkosken Voima Oy - Ulean saha).

Kaukolämpöyhtiöt voivat käydä kauppaa lämmöstä myös keskenään tai paikallisten lämpöyrittäjien kanssa. Lämpökeskuksen omistaja/ylläpitäjä voi olla esimerkiksi asuinalueen lämmöntuotantoa

⁵ Lämpimän käyttöveden osuus vuotuisesta kokonaislämmöntarpeesta on noin 15–30 %. Osuuteen vaikuttaa kohteen maantieteellinen sijainti sekä talotekniset ominaisuudet. Osuuden voidaan olettaa kasvavan tulevaisuudessa matalaenergiarakentamisen myötä, kun lämmitysenergian kokonaistarve pienenee.



varten perustettu yhtiö (esim. lämpöosuuskunta), jossa lämpökeskus toimii ensisijaisesti alueen päälämmitysmuotona ja ylimääräistä lämpöä voidaan syöttää tarvittaessa erilliseen kaukolämpöverkkoon. Tällöin voidaan jo suunnitteluvaiheessa harkita lämpökattilan mitoittamista alueen lämmöntarvetta suuremmaksi ja tehdä energiayhtiön kanssa sopimus ylimääräisen lämmön syöttämisestä kaukolämpöverkkoon silloin, kun energiayhtiön perustehoa tuottava kapasiteetti ei riitä kattamaan verkon lämpökuormaa. Mikäli lämpöosuuskunta myös ostaa välillä lämpöä kaukolämpöverkosta, on osapuolten sovittava myös kaukolämmön liittymisestä, hinnoittelusta ja muista yksityiskohdista. Lämpöosuuskunnan kannalta tässä tapauksessa haasteeksi voi muodostua korkea liittymismaksu, joka on osin päällekkäinen investointi oman tuotantokapasiteetin kanssa.

Ylipäätään kun kaukolämpöjärjestelmään liitetään kolmas osapuoli, täytyy toimijoiden keskinäisten sopimuksien ja sopimusehtojen olla tarkoin määriteltyjä. Hyödyt ostosopimuksesta jakautuvat parhaassa tapauksessa kaikkien kaukolämpöjärjestelmän osapuolien kesken:

- energiayhtiön investointitarve kapasiteettiin vähenee ja kysynnän huippuja voidaan tasoittaa ostamalla lämpöä ulkopuoliselta toimijalta;
- asiakas saa halvempaa kaukolämpöä, kun energiayhtiön pääomakustannukset pienenevät ja tuotantokustannukset ovat paremmin ennustettavissa;
- kolmas osapuoli saa tuloja energiayhtiölle toimittamastaan lämmöstä.

3.1.4 Pienimuotoinen sähkön ja lämmön yhteistuotanto

Pienimuotoiseen CHP-tuotantoon on olemassa useita teknologioita. Kaasumoottorit ovat eniten käytettyä teknologiaa pienessä kokoluokassa. Mikroturbiinejakin on asennettu maailmalla moniin kohteisiin viime vuosina, mutta teknologian kehittyminen on ollut odotettua hitaampaa. Stirlingmoottorit ja polttokennot ovat vielä kehitysvaiheessa. Erityisesti polttokennot ovat pitkällä tähtäimellä kiinnostavia, koska niiden sähköntuotannon hyötysuhde on erittäin hyvä verrattuna muihin pienimuotoisiin teknologioihin.

Pienimuotoinen yhteistuotanto ei eroa lämmitystehon mitoitusperusteilta tai mitoituksen reunaehdoilta juurikaan kattilalaitoksista. Tuotannon logiikassa tulee kuitenkin huomioida lisäksi sähkömarkkinanäkökulma. Hetkinä, jolloin markkinasähkön hinta on alhainen, saattaa olla kannattavaa ajaa CHP-laitosta osateholla. Osateholla ajettaessa sähköntuotannon hyötysuhde voi kuitenkin laskea hyvinkin alhaiseksi, jolloin voi olla parempi vaihtoehto ajaa laitos alas ja hyödyntää lämmöntuotannossa rinnakkaiskapasiteettia, kuten lämpöpumppua tai lämpökattilaa. Mikäli sähkön hinta on korkealla - toisin sanoen ylittää yhteistuotannon kustannukset - kannattaa CHP-laitosta ajaa maksimiteholla, vaikka tuotetulle lämmölle ei olisikaan kysyntää. Tällöin ylimääräinen lämpö voidaan syöttää varastoon myöhemmin käytettäväksi tai joissain tilanteissa ajaa jopa lauhduttimeen.

Pienimuotoisen yhteistuotannon pääoma- sekä käyttö- ja kunnossapitokustannukset ovat lämpökeskuksia suuremmat, joten teknologian käyttäminen rinnan kaukolämmön kanssa ei ole lähtökohtaisesti kannattavaa. Myöskään kapasiteetin käyttäminen pelkästään huipputehon tuottamiseen ei ole taloudellisesti perusteltua.



3.1.5 Teollisuuden ylijäämälämpö

Teollisuuden ylijäämälämmön hyödyntämistä pyritään edistämään vahvasti tulevaisuudessa⁶. Ylijäämälämmöllä tarkoitetaan lämpöä, jota syntyy teollisuuden prosesseista ja jota ei hyödynnetä itse teollisuuskohteessa. Lämpöä voidaan ottaa talteen esimerkiksi savukaasuista tai jäähdytysvesistä. Ylijäämälämmön laatu (lämpötilataso, savukaasujen puhtaus jne.) vaihtelee toimialoittain ja prosesseittain. Suurin ylijäämälämpöpotentiaali on lähtökohtaisesti raskailla teollisuudenaloilla, kuten metsä- ja metalliteollisuudella. Myös elintarviketeollisuudessa syntyy ylijäämälämpöä, joka ei laadultaan tosin välttämättä vastaa ensin mainituilla teollisuudenaloilla syntyvää lämpöä. Mielenkiintoisia uusia mahdollisuuksia tarjoavat myös konesalit, joissa palvelimet synnyttävät lämpöä, joka on aiemmin jäänyt hyödyntämättä. Tällä alueella aloitteita ovat tehneet mm. Fortum Oyj ja Tieto Oyj. Tiedon konesalin jäähdytyksessä lämmennyt vesi johdetaan Fortumin lämpöpumppulaitokselle, jossa sen sisältämä lämpöenergia otetaan lämpöpumppujen avulla talteen ja johdetaan Espoon kaukolämpöverkkoon. Lämpöpumppulaitoksen uudelleen jäähdyttämä vesi johdetaan takaisin konesaliin jäähdyttämään palvelimia.

Ylijäämälämmön hyödyntämispotentiaali ja käyttökohde on arvioitava tapauskohtaisesti. Matalalämpötilaista ylijäämälämpöä voidaan hyödyntää suoraan kevennetyssä kaukolämpöverkossa tai käyttää perinteisen kaukolämpöverkon paluuveden esilämmitykseen. Vaihtoehtoisesti ylijäämälämpöä voidaan priimata korkeampaan lämpötilaan. Uudet, kaavoitusvaiheessa olevat teollisuusalueet ovat otollisia ylijäämälämmön hyödyntämiskohteita, sillä näissä ylijäämälämmön hyödyntämisen mahdollisuuksia voidaan suunnitella jo etukäteen. Ylijäämälämmön hyödyntämisen haasteet liittyvät teollisuuskohteiden maantieteelliseen sijaintiin: ylijäämälämpöpotentiaali ei ole jakautunut maantieteellisesti tasaisesti ja lisäksi suuret teollisuusalueet eivät läheskään aina sijaitse kaukolämpöverkon läheisyydessä. Tästä syystä ylijäämälämpöä saatetaan joutua siirtämään pitkiäkin matkoja, mikä lisää lämmönsiirron häviöitä.

Investoinnin kannattavuus riippuu ylijäämälämmön laadusta, etäisyydestä käyttökohteeseen sekä käyttökohteen olemassa olevasta lämmönsiirtoinfrastruktuurista. Teollisuuden ylijäämälämpöä hyödynnetään kaukolämpöverkossa perustehona, eli kaikki saatavilla oleva ylijäämälämpö siirretään verkkoon. Huippu- tai varavoimakapasiteetiksi ylijäämälämpö ei yleensä sovellu, sillä sen tuotantoa ei voida säätää ja lisäksi käytönaikaiset kustannukset ovat alhaiset.

3.2 Lämpöenergian varastointi

Lämpövarastoja käytetään kuormien hallintaan ja esimerkiksi eri vuorokaudenaikojen energiakustannusten hintaerojen hyödyntämiseen. Lähtökohtana on varastoida lämpöä silloin, kun lämmön hinta⁷ on alhainen ja/tai lämpöä tuotetaan yli tarpeen. Varastoitua lämpöä hyödynnetään kun lämmöntarve on suuri ja/tai lämmön hinta korkea. Varastoitua lämpöä voidaan näin hyödyntää tasoittamaan kysynnän vaihtelua vuosi-, vuorokausi- tai tuntitasolla. Varastoidun lämmön

⁶ Kesäkuussa 2011 laadittu Euroopan parlamentin ja neuvoston ehdotus direktiiviksi energiatehokkuudesta (energiatehokkuusdirektiivi).

⁷ Tulee huomioida, että lämmön hintaan saattaa vaikuttaa myös sähkön markkinahinta, mikäli lämpöä tuotetaan esimerkiksi lämpöpumpuilla.



hyödyntämisellä pystytään lisäksi korvaamaan huipputehokattiloiden käyttöä. Varastointimuodon valintaan vaikuttaa tavallisesti vaadittava varastointiaika ja lämpötila sekä järjestelmän taloudellisuus.

Lämpöenergian varastot voidaan jakaa tuntuvaan lämmön varastoihin, latenttilämpövarastoihin ja termokemiallisiin varastoihin. Tuntuvaan lämmön varastot perustuvat lämpötilaeron ja latenttilämpövarastot faasimuutoksen hyödyntämiseen. Faasimuutosmateriaaleja käytetään lähinnä energian lyhytaikaiseen varastointiin kuten esimerkiksi osana talojen lämmitys- ja ilmastointijärjestelmiä, joissa nämä materiaalit voidaan integroida osaksi talon rakenteita.⁸ Termokemialliset varastot perustuvat sorptio-prosessissa vapautuvaan tai sitoutuvaan reaktiolämpöön. Toistaiseksi termokemialliset varastot eivät ole vielä laajassa käytössä.

Käytännössä ainoa suuren kokoluokan keskitetty lämmön varastointimenetelmä kaukolämpöverkon mittakaavassa on tuntuvaan lämmön varastointi, johon tässä selvityksessä paneudutaan tarkemmin. Lämpövarastot voidaan jakaa paineistettuihin ja paineistamattomiin sekä lämpötilan mukaan korkea-, keski- ja matalalämpötilaisiin. Painetasot vaihtelevat alle 1 barista noin 100 bariin ja lämpötilat aina 5 °C:sta satoihin celsiusasteisiin.⁹

3.2.1 Tuntuvaan lämmön varastot

Tuntuvaan lämmön varastointi on eniten käytetty varastointimuoto. Varastoinnin aikaskaala vaihtelee teknologian mukaan riippuen varastointimateriaalin lämpökapasiteetista, määrästä ja vaaditusta lämpötilatasosta. Perinteisin tuntuvaan lämmön varastointiteknologia on vesivaraaja. Veden suurimpina etuina ovat sen suuri ominaislämpökapasiteetti sekä halpa hinta.

Tuntuvaan lämmön varasto koostuu tavallisesti varastointimateriaalista, astiasta ja laitteistosta, jolla lämpöä syötetään varastointiastiaan tai puretaan siitä. Varastointiastian suunnittelussa tulee suosia materiaaleja, jotka minimoivat energiahäviöt varastointiprosessissa. Varastointiastian eristävyys tulee kiinnittää erityistä huomiota silloin kun kyseessä on pienen kokoluokan varasto. Siirryttäessä suurempiin varastokokoihin, vähenee eristämisen tarve. Eristämättömällä, kooltaan 100 000-1 000 000 m³:n maanalaisella vesivaraajalla voidaan teoriassa saavuttaa jopa 80 %:n hyötysuhde kausivaraustoinnissa (kesäkuukausista talvikuukausiin). Paras lämpöeristys saavutetaan kalliovaraustoinnissa, jossa voidaan hyödyntää esimerkiksi olemassa olevia, alun perin öljyn varastointiin suunniteltuja louhoksia.

Riittävän suuren lämpöakun avulla voidaan minimoida lämmöntuotantokapasiteetin osa- ja huipputehoajon määrää, vähentää tarvetta tuotantokapasiteetti-investointeihin sekä nostaa verkon kokonaishyötysuhdetta. Nykyisin käytössä olevilla vesitankeilla tasoitetaan tuotantoa lähtökohtaisesti tunti- tai päivätasolla. Asiantuntijoiden arvioiden mukaan lämpöakku tulee olemaan tulevaisuudessa osa lähes jokaista kaukolämpöverkkoa. Yksittäisen suuren lämpöakun sijasta verkkoon voidaan myös liittää useita pienempiä, kohdekohtaisia lämpöakkuja, jotka voivat toimia sekä käyttövesivaraajina että lämpövarastoina verkon tukena.

⁸ Energian varastointimuodot. Virtanen Ville, 2010.

⁹ Energian varastoinnin nykytila. Alanen R., Koljonen T., Hukari S., Saari P., 2003.



Tilavuudeltaan pienempää vesivarastoa voidaan hyödyntää esimerkiksi siten, että lämpö varastoidaan arkipäivinä ja puretaan viikonloppuna. Myös aamutunneille ajoittuvia kulutuspiikkejä voitaisiin tasoittaa varastoimalla yöllä lämpöä, joka purettaisiin aamulla. Näin ollen tuotantoa voitaisiin tarvittaessa ajaa alas tasaisin väliajoin ja näin optimoida järjestelmän toimintaa ja saavuttaa kustannussäästöjä. Yhteistuotantolaitoksilla voitaisiin tuottaa sähköä ja lämpöä silloin, kun sähkön hinta on korkealla, syöttäen samalla lämpöä varastoon, mikäli lämmön tuotantomäärä ylittää tarpeen. Sähkön hinnan ollessa alhainen voidaan yhteistuotantolaitos ajaa alas ja purkaa lämpöä varastosta.¹⁰ Lämpöakku sijoitetaan lähtökohtaisesti kaukolämpöpiiriin, jotta se palvelee mahdollisimman hyvin koko järjestelmää, eikä siis olisi pelkästään tietyn lämpölaitoksen käytettävissä. Tarkoituksena on löytää optimaalinen sijoituskohde, joka minimoi lämmön siirtomatkat sekä pumppauksen tarpeen. Lyhytaikaisessa lämmön varastoinnissa varastointilämpötila on tavallisesti korkeampi kuin kausivarastoinnissa. Matalampi varastointilämpötila vähentää häviöitä pidemmällä aikavälillä, mutta lisää toisaalta priimaustarvetta varaston purkamisen aikana.

Myös kaukolämpöverkko itsessään toimii lyhytaikaisena lämpövarastona. Ulkolämpötilasta, lämmöntarpeesta ja kaukolämpöverkon laajuudesta riippuen verkon kapasiteettia voidaan hyödyntää ilman lisäsyöttöä noin tunnista vuorokauteen¹¹. Lämpöä voidaan varastoida verkkoon parhaiten silloin, kun lämmöntarve kulutuspisteissä on alhainen. Tällöin verkon menolämpötilaa nostetaan yli tarpeen. Kyseessä on kuitenkin pikemminkin vuorokauden sisäistä vaihtelua tasaava menetelmä kuin pidempiaikainen ratkaisu. Menoveden lämpötilan nostossa tulee myös huomioida, että tämä voi alentaa tuotannon hyötysuhdetta sekä lisätä verkon lämpöhäviöitä. Kovilla pakkasilla verkon oma varastointikapasiteetti pienenee. Verkon puskuri tulee ottaa tapauskohtaisesti huomioon erillisiä lämpövarastosovelluksia suunniteltaessa ja kapasiteettia mitoitettaessa. Tutkimusta verkon varastointipotentiaalista tekee tällä hetkellä suomalaisista yrityksistä mm. Fortum.

3.3 Mittaus, ohjaus ja optimointi

Kaukolämpöenergiaa mitataan kolmen pääparametrin avulla, jotka ovat veden massavirta sekä veden lämpötilat meno- ja paluuputkessa¹². Kaukolämpöveden massavirta mitataan virtausanturilla; tulo- ja paluulämpötilat mitataan lämpötila-antureilla. Vaihtoehtoisten suureiden, kuten ulkolämpötilan ja painetasojen, mittaamiseksi vaaditaan erillisten mittausantureiden asentamista kohteeseen.

Lainsäädäntö tulee lähitulevaisuudessa ohjaamaan energiayhtiöitä ja/tai kiinteistöjen omistajia kohti kehittyneempää mittaustoimintaa¹³. Tarkennetulla energian mittauksella voidaan saavuttaa merkittäviä hyötyjä. Näitä syntyy mm. tuotannon optimoinnissa, tehontarpeen ennakkoinnissa ja

¹⁰ Study on Distributed Energy Options in Skaftkärr Testbed. Pesola A., Hagström M., Vanhanen J., 2011.

¹¹ Asiakas saattaa huomata tuotannon katkeamisen käyttöveden viilentymisenä hyvinkin nopeasti.

¹² Näiden parametrien avulla saadaan määritettyä lämpöenergia sekä meno- ja tulo puolen lämpötilaero.

¹³ Kesäkuussa 2011 laadittu Euroopan parlamentin ja neuvoston ehdotus direktiiviksi energiatehokkuudesta (energiatehokkuusdirektiivi).



pumppauksen ohjauksessa. Lämpökatkojen aiheuttamien tehon muutosten ennakointi ja kapasiteetin varaaminen myös helpottuu ja tarkentuu¹⁴.

Useat energiayhtiöt saavat jo tuntikohtaista lämmönkulutustietoa asiakaskohteisiin asennettujen etäluettavien mittareiden avulla. Tuntitietoja ei seurata jatkuvasti, mutta energiayhtiö käyttää tietoa hyväksi etenkin verkon vikaantumisten ja käyttötottumusvirheiden etsimiseen. Lisäksi joidenkin energiayhtiöiden asiakkailta on mahdollisuus saada käyttöönsä palvelu, jossa asiakas saa tuntikohtaiset kulutustiedot käyttöönsä esimerkiksi kuukauden viiveellä. Myös asiakaspäähän asennettuja näyttöjä, jotka ilmoittavat kohteen energiankulutuksen sekä tästä aiheutuvat päästöt ja kustannukset on pilotoitu Suomessa. Tarkoituksena on lisätä asiakkaan tietoisuutta ja vaikuttaa kulutustottumuksiin. Reaaliaikaisen ja luotettavan kulutus-, päästö- ja kustannustiedon esittäminen vaatii kuitenkin usean erillisen tietokannan yhteensovittamista.

Erityisen kiinnostava mahdollisuus liittyy nykyistä reaaliaikaisempaan mittaukseen ja kulutuksen ennustamiseen tuotannon optimoinnissa. Lähtökohtana on, että mittaus on osa järjestelmää, joka ohjaa lämmöntuotantoa kysynnän perusteella. Mittaustiedon hankinta perustuu etäluentaan ja tieto on saatavilla sekä tuottajalle että asiakkaalle, jolloin asiakas voi yhtäältä tarpeen vaatiessa pienentää omaa lämpökuormaansa ja toisaalta tuottaja voi säätää kaukolämpöjärjestelmään liitettyjen teknologioiden toimintaa. Hybridijärjestelmissä tuotantokapasiteetti käynnistyy ja kytkeytyy pois päältä kysyntälähtöisesti siten, että vaadittava lämpö tuotetaan kokonaistaloudellisesti kannattavimmalla tavalla, huomioiden asiakkaan vaatimukset. Tuntikohtaista tarkempi mittaaminen ei kuitenkaan ole kaukolämmön tapauksessa useinkaan perusteltua, sillä reagointi ei kaukolämmön tapauksessa ole eikä tarvitse olla yhtä nopeaa kuin sähköverkossa.

Myös älykkäitä lämmönvaihtimen säätöratkaisuja on tutkittu; tarkoituksena on hetkellinen huoneilman lämmitystehon alentaminen automaattisesti silloin, kun käyttöveden kulutuksessa syntyy piikki. Toisin sanoen kohteessa lämmönvaihdin/-vaihtimet siirtäisi hetkellisesti suuremman osan - tai kaiken - kaukolämpöverkosta ottamansa lämpöenergian varaajaan ja vähentäisi tai sulkisi lämmönsiirron pattereille/lattialämmitykseen, kun asetettu tehon yläraja-arvo ylittyy. Laajassa toteutuksessa kyettäisiin näin ollen tasaamaan kysynnän vaihtelua koko verkon alueella. Asiakas ei huomaa hetkellistä vähennystä huoneilman lämmitysenergian syötössä, sillä rakennus itsessään toimii lyhytaikaisena lämpövarastona.¹⁵ Kyseinen toimintamalli vaatisi tuekseen kehittyneen taloautomaatiojärjestelmän, johon sisältyy sekä reaaliaikainen mittaus että mittaustietoon reagointi.

Reaaliaikaisesti tai lähes reaaliaikaisesti toimivan mittausjärjestelmän avulla lämmöntuottaja voi seurata kysynnän muutosta nykyistä lyhyemmällä viiveellä. Tämä mahdollisuus yhdistettynä ajantasaiseen energian hintatietoon, sääennusteeseen sekä tuotannon automaattioratkaisuihin mahdollistaa tuotantokapasiteetin käytön optimoinnin. Käytännössä tämä tarkoittaa että kulutukselle asetetaan tietyt raja-arvot, joiden ylittyessä järjestelmä ilmoittaa tästä lämmöntuottajalle. Ilmoitus johtaa automaattisesti kyseisellä hetkellä kokonaistaloudellisesti edullisimman teknologian käynnistymiseen, jolloin lämmön kysyntä voidaan kattaa. Älykäs järjestelmä analysoi jatkuvasti saatavilla olevaa kulutustietoa ja optimoi tuotantokapasiteetin

¹⁴ Etäluennan hyödyntäminen kaukolämmön mittauksen kunnonvalvonnassa ja mittauksen tarkkuuden ylläpidossa sekä sen hyödyntämismahdollisuuksista kaukolämpöpalveluissa. Mäkelä V-M., 2008.

¹⁵ Smart District Heating Station - Final Technical Report. Gumméus Peter, NordIQ Göteborg AB, 2004.



ajojärjestystä ja käyttöastetta lämmöntarpeen sekä hinta- ja säätietojen perusteella. Mittaustekniikan kehittyminen mahdollistaa myös kaukolämmön ja kaukokylmän tuotannon ja kulutuksen tietojen integroinnin samaan järjestelmään, joka tehostaa näiden kahden keskinäistä hyödyntämistä.

Mitattavan ja käsiteltävän tiedon määrä tulee tulevaisuudessa kasvamaan huomattavasti. Tämän takia myös tiedon suodattamisen ja analysoinnin tulee kehittyä, jotta mittaustoiminnan hyödyt konkretisoituvat lopulta tehokkaasti tuotannon ja kulutuksen ohjauksessa ja optimoinnissa.

3.4 Kaukolämpötuotteet ja hinnoittelu

Tarkennettu kulutuksen mittaaminen mahdollistaa periaatteessa uusien kaukolämmön hinnoittelumallien ja tariffien käyttöönoton. Erilaisilla kaukolämpötuotteilla ja näiden hinnoittelulla voidaan vaikuttaa vuotuisen lämmön kulutusprofiiliin ja tätä kautta sekä tuotanto- että varastointikapasiteetin tehomitoitukseen. Tavoitteena on lämmönkulutuksen, eli koko kaukolämpöverkon lämpökuorman mahdollisimman tasainen ympärivuotinen profiili, joka vähentäisi kalliimpien tuotantomuotojen käyttöä. Etenkin aamujen ja iltojen huipputuntien lämmönkulutus (piikki lämpimän käyttöveden kulutuksessa) on ongelmallinen. Kulutushuippuja voidaan pyrkiä leikkaamaan esimerkiksi uudenlaisten tariffien avulla. Jotta uudet tariffit tai kaukolämpötuotteet olisivat kiinnostavia, tulee ne rakentaa siten, että niiden hyödyt jakautuvat järkevästi osapuolien kesken.

Mikäli uusia hinnoittelumalleja otetaan käyttöön, tulee hinnoitteluperusteen olla mahdollisimman läpinäkyvä ja yksinkertainen, jotta kaukolämmön selkeä kilpailuetu - helppous ja vaivattomuus - ei kärsisi. Kaukolämmön hinnoittelu perustuu kuitenkin aina alueellisen energiatuotannon rakenteeseen ja esimerkiksi pohjoismaisille sähkömarkkinoille ominainen spot-hinnoittelu ei kaukolämmön tapauksessa ole mahdollinen. Kehittyneen mittaustoiminnan myötä tariffit voivat tulevaisuudessa perustua entistä paremmin kaukolämmön tuotantokustannuksiin ja tuotannon muutoksiin eri tilanteissa¹⁶. Esimerkiksi Helsingin Energialla on käytössään vuodenaikakohtainen tariffihinnoittelu (kesä/talvi/huippu), joka noudattelee tuotantokustannuksien muutoksia ja pyrkii myös lisäämään lämpöenergian kysynnän joustoa.

Hinnoittelu voisi perustua myös malliin, jossa korkea energian ominaiskulutus on hinnaltaan kalliimpaa kuin matala ominaiskulutus. Tällaista hinnoittelumallia on käytetty Kalifornian sähkömarkkinoilla – tavoitteena on ollut kulutuspiikkien leikkaaminen ja investointitarpeen vähentäminen. Tällaisella progressiivisella kaukolämmön hinnoittelumallilla voitaisiin luoda kannusteet asiakkaiden energiatehokkuuden parantamiseen ja samalla vastata EU:n energiatehokkuusdirektiivin haasteeseen. Kaukolämpöyhtiön näkökulmasta olisi edullista kohdistaa energiatehokkuustoimet mahdollisimman pitkälti huippukulutukseen tai ainakin vähintään tasaisesti koko kuormaprofiilille. Kaikista hankalinta olisi, jos energiatehokkuustoimet kohdistuisivat pääosin vain lämpimiin ajankohtiin. Progressiivinen hinnoittelumalli olisi hyödyllisintä suunnata suurasiakkaille, sillä esimerkiksi yksittäisten kerrostalohuoneistojen osalta syntyvien hyötyjen

¹⁶ Etäluennan hyödyntäminen kaukolämmön mittauksen kunnonvalvonnassa ja mittauksen tarkkuuden ylläpidossa sekä sen hyödyntämismahdollisuuksista kaukolämpöpalveluissa. Mäkelä V-M., 2008.



jakaminen on hankala toteuttaa. Tämä johtuu siitä, että kerrostalon ulkoreunojen/päätyjen asunnot kuluttavat luonnollisesti enemmän lämmitysenergiaa kuin huoneistot, joilla on vähemmän ulkoseinäpinta-alaa. Samasta syystä lämmitysenergiänsäästö on helpompi toteuttaa jäljempänä mainituissa huoneistoissa, sillä rakennuksen päätyhuoneistoista johtuu lämpöä rakenteiden läpi myös sisempänä sijaitseviin huoneistoihin, jolloin voi syntyä nk. vapaamatkustajan ongelma.

Kysyntäjouaston lisäämiseksi energiayhtiö voisi hinnoitella kaukolämmön myös huipputehopiikkien mukaan. Malli toimii käytännössä vain tilanteissa, joissa asiakkaalla on kaukolämpöliittymä ja lisäksi käytössään rinnakkainen lämmitysmuoto, kuten lämpökattila tai sähkölämmitys. Tällöin kylminä hetkinä, kun kaukolämmön kysyntä on verkon alueella korkeimmillaan, tulisi kaukolämmön hinta olla korkeampi kuin asiakkaan rinnakkaiskapasiteetin marginaalikustannus (ja toisin päin). Tämä kannustaisi asiakasta käyttämään omaa kapasiteettiaan kaukolämmön sijasta huipputehoaikana, jolloin verkkokuorma pienenee¹⁷. Kaukolämmön hetkellisesti korkea hinta kannustaa myös käyttövalintojen tehostamiseen. Jotta tällainen hinnoittelumalli ei synnyttäisi asiakkaalle ylimääräistä vaivaa, vaatii huipputehon ohjaus vähintään tuntikohtaisen energiamittauksen, energian kustannustietojen ja taloautomaation älykästä integrointia.¹⁸

Suomessa valtaosa kaukolämpöyhtiöiden myyntivolyymista muodostuu suurten kohteiden, kuten asuinkerrostalojen ja liikekiinteistöjen, kulutuksesta. Potentiaali uusien kaukolämpötuotteiden käyttöönottoon ja hyötyjen synnyttämiseen nähdäänkin tässä asiakassegmentissä suurempana kuin pientaloasiakkaiden keskuudessa. Lisäksi suurasiaakkailla on usein osaamista mm. energia- ja LVI-tekniikasta, joka mahdollistaa säätö- ja ohjausjärjestelmien tehokkaamman käytön. Vaihtoehtoisesti suurasiaakkaiden laitteita voitaisiin ohjata myös energiayhtiön toimesta tulevaisuudessa.

3.5 Älykkään kaukolämmön määritelmä ja ominaisuudet

Edellä olevissa kappaleissa on kuvattu, miten kaukolämpöjärjestelmän älykkyyttä voitaisiin lisätä niin tuotannossa kuin kulutuksessakin hyödyntämällä uutta teknologiaa sekä uusia mittausjärjestelmiä ja hinnoittelumalleja. Tämän perusteella älykäs kaukolämpöjärjestelmä voidaan määrittää seuraavasti:

Älykkäässä kaukolämpöjärjestelmässä asiakkaan tarvitsema lämpöenergia tuotetaan joustavalla tuotantorakenteella, jossa hajautettu ja keskitetty tuotanto täydentävät toisiaan. Lämmön varastoinnin sekä kulutuksen ohjauksen avulla tasataan kulutushuippuja kustannustehokkaasti. Kulutuksen ennustuksen, mittaustiedon hyödyntämisen ja järjestelmän reaaliaikaisen ohjauksen avulla optimoidaan koko järjestelmän toiminta joka hetki. Älykkään teknologian tarjoamia mahdollisuuksia tuetaan hinnoittelumalleilla, jotka palkitsevat huipputehoa tasaavasta kulutuksesta.

Älykästä kaukolämpöjärjestelmää voidaan kuvata seuraavilla ominaispiirteillä:

- joustava tuotantorakenne
- mittauksiin ja malleihin perustuva ennustava tuotannon suunnittelu
- varastojen optimaalinen hyödyntäminen tuotannon ja kulutuksen tasapainottamiseksi

¹⁷ Rinnakkaiskapasiteettia ei välttämättä tarvita, mikäli asiakas/kohde on joustava hetkellisten lämpötilavaihteluiden suhteen. Tätä vaihtoehtoa tarkastellaan myöhemmin luvussa 4.4.2.

¹⁸ Kaukolämmön hinnoittelumallit. Nuorkivi Arto, 2009.



- optimoitu käyttö joka hetki
- sopeutuvuus muuttuviin kulutusmääriin sekä lyhyellä että pitkällä tähtäimellä
- kulutuksen ohjaus tasaisemman kulutusprofiilin aikaansaamiseksi
- kustannusvastaava hinnoittelu - palkitseminen suotuisasta kulutusprofiilista
- järjestelmän vikojen nopea tunnistaminen ja korjaaminen
- lisäarvon synnyttäminen kaikille järjestelmän osapuolille etenkin energiatehokkuuden parantumisen, kustannussäästöjen sekä palveluiden lisääntymisen kautta

4 Älykkään kaukolämpöjärjestelmän potentiaali

Älykkään kaukolämpöverkon mahdollisuuksia voidaan arvioida sen eri osa-alueiden - tuotannon, varastoinnin, mittauksen ja ohjauksen sekä hinnoittelun - kautta. Seuraavassa on tarkasteltu näitä osa-alueita. Potentiaalia arvioidaan sekä teknisestä, taloudellisesta että ilmastollisesta näkökulmasta.

4.1 Lämmöntuotanto

4.1.1 Tekninen potentiaali

Kaukolämmön tuotanto Suomessa oli 34 600 GWh vuonna 2009. Tästä reilu 70 % tuotettiin yhteistuotantolaitoksissa. Erillistuotannon määrä vuonna 2009 oli hiukan alle 10 000 GWh; tämä tuotettiin pääosin fossiilisia polttoaineita käyttävissä lämpökeskuksissa. Erillistuotannon polttoainekulutus oli hiukan alle 11 300 GWh; tästä fossiilisten osuus oli 65 % (ks. taulukko 4.1)¹⁹. Erillistuotannon tuotantokustannukset on siis pitkälti sidottu fossiilisten polttoaineiden, käytännössä öljyn, markkinahinnan kehitykseen.

Taulukko 4.1. Kaukolämmön erillistuotannossa käytetyt polttoaineet vuonna 2009.

Polttoaine	Käyttö [GWh]	Osuus
maakaasu	3 023,9	26,8 %
turve	1 371,0	12,2 %
raskas polttoöljy	2 240,5	19,9 %
metsäpolttoaine	1 350,8	12,0 %
teollisuuden puutähde	747,4	6,6 %
teollisuuden ylijäämälämpö	537,9	4,8 %
kivihiili	550,7	4,9 %
biokaasu	225,0	2,0 %
lämpöpumppu	332,3	2,9 %

¹⁹ Energiämäärät Energiateollisuus ry:n kaukolämpötilastoista.



kevyt polttoöljy	191,8	1,7 %
muu biomassa	95,0	0,8 %
muut	600,6	5,3 %
Yhteensä	11 266,9	100 %

Osa erillistuotannosta on perustehoa ja osa huippu/varatehoa. Fossiilisia polttoaineita käyttävää erillistuotantoa voidaan korvata energiatehokkailta ja hiiliniukoilla tuotantoteknologioilla. Perustehon tapauksessa tämä tarkoittaa teollisuuden ylijäämälämpöä, maalämpöä sekä kesäkuukausina aurinkolämpöä. Myös paikallisten biomassojen osuutta erillistuotannon polttoainejakaumassa pyritään jatkuvasti kasvattamaan. Huipputehokapasiteettia kannattaa korvata hyvän säädettävyyden omaavilla tuotantoteknologioilla, kuten lämpöpumpuilla ja pienimuotoisella yhteistuotannolla (pien-CHP). Pien-CHP:lla tarkoitetaan tässä alle 10 MW tuotantolaitoksia.

Suomen teollisuudessa yli 55 °C ylijäämälämpömäärän on arvioitu olevan lähes 18 TWh, josta on teknisesti hyödynnettävissä useita terawattitunteja²⁰. Vuonna 2009 teollisuuden ylijäämälämpövirtoja hyödynnettiin kaukolämmityksessä noin 540 GWh (alle 5 % erillistuotannon polttoainekulutuksesta).

Lämpöpumppuja hyödynnettiin Suomen kaukolämpöverkossa reilu 330 GWh vuonna 2009. Tämä on noin 3 % erillistuotannon polttoainekulutuksesta. Ruotsissa lämpöpumpuilla tuotettiin kaukolämpöä yhteensä 5,2 TWh vuonna 2009²¹. Tämä kattoi lähes 10 % maan koko kaukolämpötuotannon energialähteistä. Suomessa voidaan olettaa olevan vähintään yhtä iso tekninen potentiaali lämpöpumppujen hyödyntämisessä. Tämä tarkoittaisi Suomessa noin 3 400 GWh:n vuosituotantoa.

Aurinkolämmön syöttäminen kaukolämpöverkkoon on nykyisin Suomessa marginaalista, mutta esimerkiksi Tanska on teknologian hyödyntämisessä huomattavasti pidemmällä. Tanskassa kaukolämpöverkoissa, joissa on integroituna aurinkolämmöntuotantoa, katetaan aurinkoenergialla tavallisesti noin viidennes vuotuisesta lämmöntarpeesta²². Kaukolämpöasiantuntijat arvioivat aurinkoenergian osuuden nousevan Euroopassa 5 prosenttiin kaukolämmöntuotannossa tulevaisuudessa²³. Tämä tarkoittaisi Suomen nykyisellä kaukolämmön tuotantotasolla 1 700 GWh:n aurinkolämpötuotantoa vuosittain. Lyhyellä aikavälillä voitaisiin päästä muutaman sadan gigawattitunnin vuotuisiin tuotantomääriin. Tämä vaatisi kuitenkin useiden satojen hehtaarien maa-alaa, sillä maa-asennus on kustannustehokkain ratkaisu suurten aurinkolämpösovelluksien tapauksessa.

4.1.2 Taloudelliset edellytykset

Taloudellisia edellytyksiä tarkasteltaessa pitää tehdä joitakin oletuksia. Tässä on oletettu, että kaukolämmön kysynnän ja tuotannon määrä pysyy lyhyellä aikavälillä samalla tasolla kuin se on

²⁰ Teollisuuden ylijäämälämmön hyödyntäminen kaukolämmityksessä. YIT Teollisuus- ja verkkopalvelut Oy, 2010.

²¹ Statistiska centralbyrån, www.scb.se.

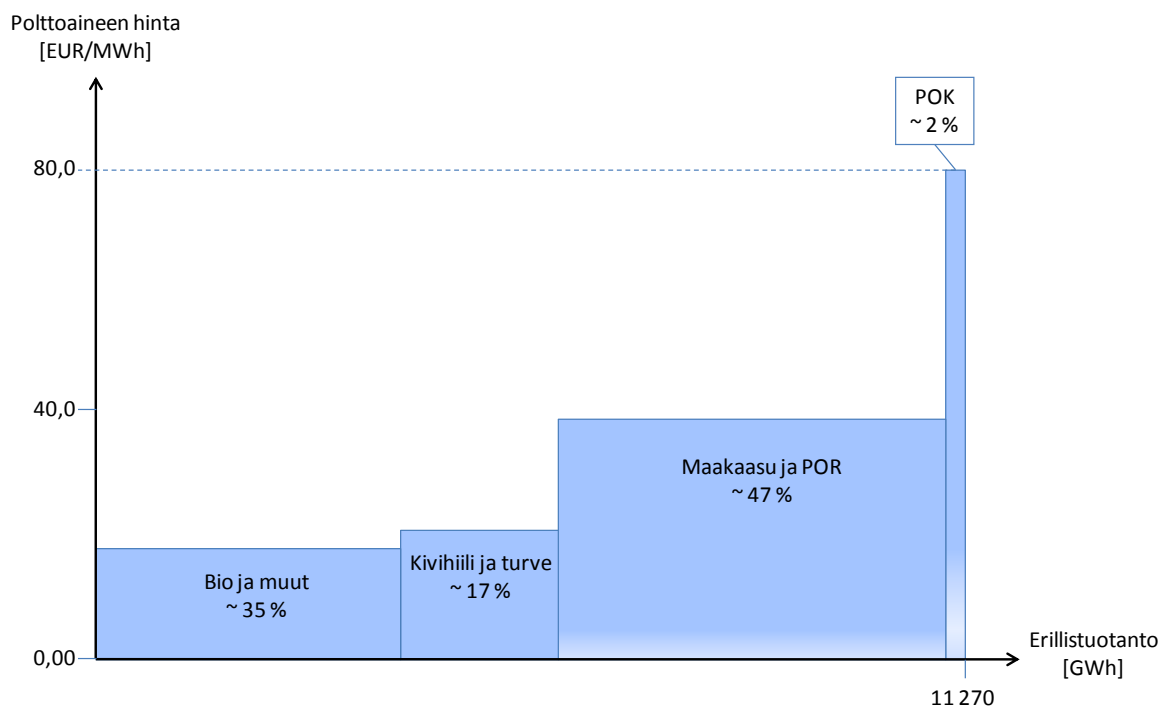
²² Global Solar Thermal Energy Council, www.solarthermalworld.org.

²³ SDHtake-off - Solar District Heating in Europe -projekti, www.solar-district-heating.eu.



nykyään. Mikäli kaukolämmön kysyntähuippuja pystytään leikkaamaan tehokkaasti, huipputehokapasiteetin tarve kuitenkin vähenee. Oletetaan, että erillistuotannon polttoaineista noin kymmenesosa kuluu vuositasolla kylmimpien pakkasjaksojen lämmöntarpeen tyydyttämiseen. Tämä huipputuotanto - arviolta 1 000 GWh - katetaan valtaosin polttoöljyllä (POK/POR) ja maakaasulla lämpökeskuksissa, joissa tuotantokustannukset ovat tavallisesti korkeat. Tuotantokustannukset muodostuvat polttoaineiden hankintakustannuksista, huoltovarmuusmaksuista, veroista, päästöoikeuksista sekä ylläpitokustannuksista (käyttö- ja kunnossapito- sekä pääomakustannukset). Tässä selvityksessä kustannuksia tarkastellaan karkealla tasolla, jonka vuoksi mm. päästöoikeuksien ja tukien vaikutusta tuotantokustannuksiin ei huomioida.

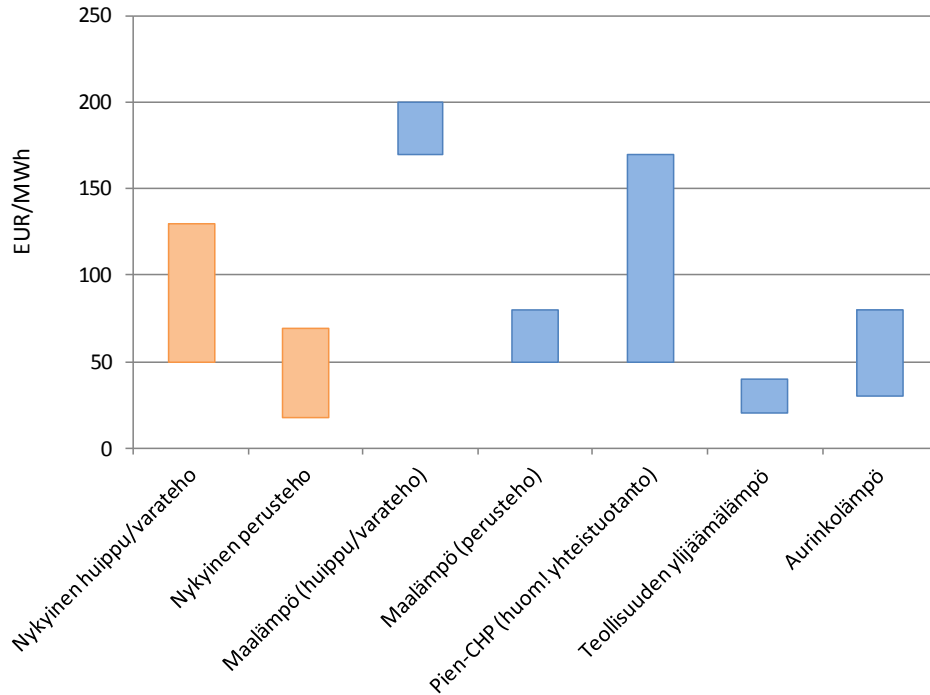
Kuvassa 4.1 on esitetty suuntaa-antavat yksikkökustannukset eri lämmöntuotannon polttoaineille. Kuvan oikeaan laitaan sijoittuvat kalleimmat polttoaineet, eli kevyt ja raskas polttoöljy sekä maakaasu, joista energiamäärällisesti noin 20 % voidaan arvioida hyödynnettävän huipputehotuotannossa. Polttoaineiden hintatiedot on kerätty eri lähteistä (mm. Tilastokeskus, Öljyalan Keskusliitto).



Kuva 4.1. Erillistuotannon polttoaineiden käyttö ja kustannukset (kustannuksissa on huomioitu verot ja huoltovarmuusmaksut sekä mahdolliset käsittely- ja kuljetuskustannukset, mutta ei arvonlisäveroa eikä päästöoikeusmaksuja). Kustannustasot ovat suuntaa antavia.

Polttoainekustannukset muodostavat keskimäärin yli 80 % kaasumaisia tai nestemäisiä polttoaineita käyttävän huippu/varakapasiteetin lämmöntuotantokustannuksista; loppuosa on ylläpitokustannuksia. Kiinteitä polttoaineita käyttävissä perustehoa tuottavissa laitoksissa polttoainekustannusten osuus on usein hiukan alhaisempi, sillä käyttö- ja kunnossapitokustannukset sekä investointi ovat suuremmat. Nykyisen erillistuotantokapasiteetin, ja tässä luvussa tarkasteltavien teknologioiden tuotantokustannusten vaihteluvälit, on esitetty suuntaa antavasti kuvassa 4.2. Teollisuuden ylijäämälämmön tuotantokustannuksilla viitataan ylijäämälämmön hankintahintaan.





Kuva 4.2. Kaukolämmön erillistuotannon tuotantokustannukset. Kustannustasot ovat suuntaa antavia, eivätkä sisällä mahdollisia tukia tai päästökaupan vaikutusta.

Huipputehon korvaaminen

Kun huomioidaan tuotannossa ja lämmön siirrossa tapahtuvat häviöt sekä arvioidaan karkeasti lämpökeskuksen ylläpitokustannuksia, saadaan huippu/varavoimakapasiteetin keskimääräiseksi tuotantokustannukseksi 50–70 €/MWh. Pelkkää kevyttä polttoöljyä käyttävän kapasiteetin lämmöntuotantokustannus voi olla yli 100 €/MWh.

Maalämmön tuotantokustannukset riippuvat tuotantoyksikön koosta. Keskitetyn suuren maalämpölaitosinvestoinnin yksikkökustannus on alhaisempi kuin jos investointi koostuu useasta pienempitehoisesta yksiköstä. Huipputuotannon kannalta ongelmana on, että lämpöpumpun käyttö jää vuositasolla vähäiseksi. Koska maalämpö on pääomavaltainen tuotantoratkaisu, tulee yksikköä hyödyntää myös perustehon tuottamisessa, jotta investoinnin takaisinmaksuaika pysyy kohtuullisena. Pelkästään huipputunteina hyödynnettäessä maalämpö ei ole taloudellisesti kannattava ratkaisu. Tällöin tuotantokustannukset saattavat nousta hajautetuissa yksiköissä 200 €/MWh tasolle²⁴. Mikäli yksikön kokoa ja vuotuista käyttöaikaa saadaan kasvatettua, päästään tuotantokustannuksissa suurin piirtein samalle tasolle öljy- ja maakaasukäyttöisten lämpökeskusten kanssa. Lämpöpumppujen haasteena on, että mikäli näiden osuus lämmöntuotannossa kasvaa, johtaa tämä

²⁴ Oletukset: investointikustannus noin 1 400 €/kW (asennettuna, sisältää lämmönkeruupiirin), käyttöikä 20 vuotta, korko 5 %, sähkön hinta 100 €/MWh, COP 3, vuotuinen käyttöaika noin 800 h.



sähköntarpeen lisääntymiseen etenkin talvikuukausina. Tästä on seurauksena pakkasjaksoille ominaisen korkean sähkön hinnan siirtyminen suoraan maalämmön tuotantokustannuksiin.

Pienimuotoisen yhteistuotannon tuotantokustannukset vaihtelevat huomattavasti riippuen käytettävästä teknologiasta ja tähän kytkeytyvästä rakennusasteesta sekä ratkaisun koosta. Koska pien-CHP:llä tuotetaan sekä sähköä että lämpöä, määritellään tuotantokustannus perinteisesti joko tuotetulle kokonaisenergialle tai tuotetulle sähkölle. Kokonaisenergian (sähkö + lämpö) tuotantokustannus asettuu teknologiasta ja polttoainekustannuksista riippuen välille 50–170 €/MWh²⁵. Kustannusten alaraja kuvaa megawattiluokan kaasumoottorivoimaloita ja yläaraja kilowattiluokan tuotantoratkaisuja. Lämmön tuotantokustannus voi olla tästä kymmeniä prosentteja alhaisempi, kun huomioidaan sähkön myynnistä saatavat tulot. Yhteistuotannon tapauksessa ajojärjestystä ohjaa lämmöntarpeen lisäksi siis myös sähkön hetkellinen markkinahinta. Pien-CHP:llä voidaan korvata huippu/varatehotuotannon lisäksi myös perustehotuotantoa.

Perustehon korvaaminen

Perustehoa tuottavan erillistuotantokapasiteetin keskimääräinen tuotantokustannus - huomioiden tuotannossa ja lämmön siirrossa tapahtuvat häviöt sekä ylläpitokustannukset - on karkeasti arvioiden 30–60 €/MWh. Pelkkää maakaasua käyttävän lämpökeskuksen tuotantokustannus saattaa nousta yli 60 €/MWh. Toisaalta turvetta, hiiltä ja biopolttoaineita käyttävien erillistuotantolaitoksien tuotantokustannus voi pudota alle 20 €/MWh tason, kun päästöoikeusmaksuja ei huomioida. Todellisuudessa päästöoikeusmaksu nostaa kuitenkin turvetta ja hiiltä käyttävän lämpökeskuksen tuotantokustannuksen tasolle 30 €/MWh, mikäli päästöoikeuden hintana käytetään arvoa 15 €/tCO₂-ekv.

Perustehokapasiteettia voidaan korvata aurinkolämpötuotannolla silloin, kun auringonsäteilyä on saatavilla. Suurten aurinkolämpösovellusten tuotantokustannus Pohjoismaissa vaihtelee välillä 30–80 €/MWh²⁶. Tuotantokustannukseen vaikuttaa huomattavasti keräintyyppin valinta (tasokeräin vs. tyhjiöputkikeräin), auringonsäteilyn määrä sekä meno- ja tuloveden lämpötilaero. Matalalämpötilaisen aurinkolämmön tuottaminen on halvempaa, johtuen aurinkolämpöjärjestelmän paremmasta hyötysuhteesta sekä vähäisemmästä priimaustarpeesta. Investointia suunniteltaessa on lisäksi huomioitava kustannukset, jotka syntyvät maan/asennuskohteen omistusoikeudesta tai vuokraamisesta.

Teollisuuden ylijäämälämmön käytön tulee synnyttää hyötyjä sekä teollisuus- että kaukolämpöyritykselle. Ylijäämälämmön talteenoton vaatimat investoinnit (lämmön keruu- ja siirtoputkisto, lämmönvaihtimet, pumput jne.) määrittelevät lämmön hinnan tapauskohtaisesti. Karkeasti arvioiden ylijäämälämmön kustannus liikkuu välillä 20–40 €/MWh. Hinnan puolesta ylijäämälämmön hyödyntäminen on usein kannattavaa perustuotannossa, mutta paikalliset erot ovat suuria. Etenkin siinä tapauksessa, että kaukolämpöyhtiön tuotantokapasiteetti perustuu sähkön ja lämmön yhteistuotantoon, ylijäämälämmön hyödyntäminen on osoittautunut hankalaksi.

²⁵ Study on Distributed Energy Options in Skaftkärr Testbed. Pesola A., Hagström M., Vanhanen J., 2011.

²⁶ Success Factors in Solar District Heating. CIT Energy Management AB, 2010.



4.1.3 Ilmastolliset näkökulmat

Ilmastollisia hyötyjä syntyy tuotantoteknologioiden valinnan kautta, kun fossiilisia polttoaineita korvataan uusiutuvilla energialähteillä ja energiatehokkaammat tuotantoratkaisut yleistyvät. Kaukolämmön erillistuotannon kasvihuonekaasupäästöt vuonna 2009 olivat noin 2 MtCO₂-ekv, joka vastaa jotakuinkin 15 prosenttia kaukolämpötuotannon kokonaispäästöistä Suomessa.²⁷

Kaukolämmön kulutushuippuja leikkaamalla voidaan vähentää päästöjä jonkin verran, mutta suurin päästövähennyspotentiaali on perustuotannossa, jossa käytetään paljon turvetta, kivihiltä, raskasta polttoöljyä ja maakaasua. Näiden polttoaineiden korvaaminen uusiutuvilla energialähteillä, teollisuuden ylijäämälämmöllä ja maalämmöllä tarjoaa huomattavan vähennyspotentiaalín. Lisäksi aurinko- ja ylijäämälämmön hyödyntäminen vähentää primäärienergian käyttöä lämmityksessä.

***Esimerkki:** Oletetaan, että kaukolämmön tuotantoon käytettyjen polttoaineiden kokonaisenergiämäärä pysyy nykyisellä tasolla. Oletetaan myös, että samalla lämpöpumppujen, teollisuuden ylijäämälämmön sekä biopohjaisten polttoaineiden käyttö erillistuotannossa kasvaa nykyisestä tasosta 20 % korvaten tasaisesti turvetta, kivihiltä, raskasta polttoöljyä ja maakaasua. Lisäksi oletetaan, että aurinkolämmön osuus erillistuotannossa nousee 10 prosenttiin, korvaten myös edellä mainittuja fossiilisia polttoaineita. Tämä skenaario johtaisi erillistuotannon päästöjen vähenemiseen noin 25 prosentilla, mikä vastaa absoluuttisina päästöinä 0,5 MtCO₂-ekv.*

4.1.4 Pohdintaa

Kesällä 2011 annettu Euroopan parlamentin ja neuvoston ehdotus uudeksi energiatehokkuusdirektiiviksi velvoittaa energiayhtiöt toteuttamaan energiatehokkuustoimia, jotka johtavat vuosittain energian loppukäytön tai primäärienergian kulutuksen vähentämiseen, joka vastaa 1,5 prosentin osuutta kyseisen energiayhtiön edellisenä vuonna myymästä energiamäärästä. Energiayhtiöiden liiketoiminnan ja nykyisen tuotantokapasiteetin optimaalisen hyödyntämisen kannalta tulisi loppukäyttöä tehostaa ennen kaikkea kulutushuippujen osalta, jolloin primäärienergian kulutuksen tehostamiseen on teknistaloudellisesti järkevintä pyrkiä lämmön erillistuotannossa, ja etenkin huippu/varatehoa tuottavissa lämpökeskuksissa. Kaukolämmön yhteistuotannossa syntyy nykyisin tuotettua lämpömäärää kohden vähemmän päästöjä kuin erillistuotannossa, jos päästöjen laskennassa käytetään hyödynjakomenetelmää²⁸. Erillistuotannossa käytetään enemmän biopohjaisia polttoaineita, mutta hyödynjakomenetelmää käytettäessä suurempi osuus yhteistuotannon päästöistä allokoidaan sähkölle. Nykyisen yhteistuotantokapasiteetin hyötysuhde on korkea ja näin ollen tehokkuuden lisääminen tuotantotekniikan näkökulmasta on haastavaa. Lisäksi yhteistuotantoa ei lähtökohtaisesti kannata

²⁷ Päästöjen laskennassa hyödynnetty Kaukolämpötilastoa sekä Defran (www.defra.gov.uk) ja Tilastokeskuksen päästökertoimia. Teollisuuden ylijäämälämmön on oletettu olevan päästötöntä ja lämpöpumppujen lämpökertoimena on käytetty arvoa 3. Kaukolämmön kokonaispäästöjen yhteistuotanto-osuus on laskettu hyödynjakomenetelmällä.

²⁸ Yhteistuotannon päästökerroin on noin 190 gCO₂-ekv./kWh ja erillistuotannon 210 gCO₂-ekv./kWh.



korvata erillistuotannolla, sillä tämä vähentää yhteistuotantosähkön myynnistä saatavaa tuloa. Yhteistuotannossa tulee kuitenkin pyrkiä pienentämään tuotannon ympäristökuormaa kasvattamalla uusiutuvien energialähteiden osuutta polttoainejakaumassa.

4.2 Lämpöenergian varastointi

4.2.1 Tekninen potentiaali

Lämpöakuilla tasoitetaan tyypillisesti lyhytaikaisia (tuntitaso) ja pidempiaikaisia (vuorokausitaso) kulutushuippuja. Myös vuodenaikavaihteluita voidaan tasoittaa pitkäaikaisilla varastoilla (kuukausitaso). Varastot toimivat sekä puskurina laitteiston vikaantumisille että apuna tuotantokustannuksiltaan kalliin erillistuotantokapasiteetin - etenkin huipputehokapasiteetin - käytön minimoimisessa.

Luvussa 4.1.2 arvioitiin, että huipputehon tuotanto on Suomessa noin 1 000 GWh. Teoriassa, mikäli kyseinen lämpöenergiämäärä varastoitaisiin yhteen maanalaiseen vesisäiliöön, vaatisi tämä yhteensä noin 20 miljoonan kuutiometrin kapasiteetin. Käytännössä varastot toteutettaisiin useina paikallisina kohteina. Koska paikalliset lämpöakut ladataan ja puretaan useammin vuoden aikana, yhteenlasketun kapasiteetin ei tarvitse olla näin suuri. Lämpöakun koon pienentyessä ja käytettäessä myös maanpäällisiä varastoja, kasvavat kuitenkin lämpöhäviöt. Karkeasti arvioiden, mikäli rakennetaan 50–70 kappaletta noin 100 000 m³:n tehokkaasti eristettyjä lämpövarastoja, jotka ladataan ja puretaan keskimäärin neljä kertaa vuodessa, voidaan korvata tämänhetkinen huipputehotuotanto Suomessa.²⁹

***Esimerkit:** Helsingin Energialla on tällä hetkellä käytössään kaksi maanpäällistä lämpöakkuja, joiden yhteenlaskettu tilavuus on 80 000 m³. Lämpöenergiämääränä tämä kapasiteetti on noin 1 GWh, jota hyödynnetään tarvittaessa Helsingin lämpökuorman tasaamisessa. Osittain lämpövarastoinnin avulla Helsingin Energia on kyennyt nostamaan CHP-tuotannon osuuden kaukolämpötuotannossaan yli 90 % tasolle, kun se ennen varastointia oli noin 80 %.*

Oulun Energia muutti vuonna 1996 käytöstä poistetun 190 000 m³:n teollisuusbenssiinin kalliovaraston lämpöakuksi. Akun varastointikapasiteetti on noin 10 GWh; varastoa voidaan ladata tai purkaa 80 MW:n teholla.

Teknisestä näkökulmasta, ja etenkin varastoinnin kokonaishyötysuhteen kannalta haastavaa on, että huipputehotuotannon korvaamisessa lämpövarastoa on purettava silloin, kun vaadittava lämpömäärä (menoveden lämpötila) on suurimmillaan. Tällöin, mikäli varastointilämpötila on alhainen (alle 60 °C), heikentää tarvittava priimaus varastointijärjestelmän kokonaishyötysuhdetta.

²⁹ Seasonal Heat Storages in District Heating Systems. Gebremedhin A., Zinko H., 2009.



4.2.2 Taloudelliset edellytykset

Lämpöä tulisi varastoida lähtökohtaisesti silloin, kun kaukolämmön tuotantokustannukset ovat alhaiset; vastaavasti varastoa puretaan, kun tuotannon kustannus on korkea. Varastoinnin kustannukset koostuvat investoinnista sekä käytöstä ja kunnossapidosta. Investoinnissa on laitehankintojen lisäksi huomioitava myös veden hinta. Käyttökustannukset muodostuvat pääosin pumppaussähkön hankinnasta. Varastointikapasiteetin kasvaessa investoinnin yksikkökustannukset (€/m³) pienenevät. Kapasiteetiltaan pienemmät varastot ovat kuitenkin usein kustannustehokkaampia, johtuen useammasta vuotuisesta lataus-purkaussyklistä. Tämä pätee kuitenkin vain hyvin eristettyjen lämpöakkujen tapauksessa.

Terässäiliövarastojen tilavuus on tyypillisesti korkeintaan 100 000 m³. Eristettyjen, vähintään 1 000 m³:n varastojen investointikustannukset, sisältäen työn osuuden, ovat noin 30–250 €/m³. Kustannusten alaraja viittaa maanpäällisiin suuren kokoluokan varastoihin ja yläraja maanalaisiin pienen kokoluokan varastosäiliöihin.³⁰ Lämpöenergian hyödyntämiskustannuksissa pitää pääomakustannusten lisäksi ottaa huomioon tuotantokustannukset, jotka syntyvät lämpöakun latauksessa. Lämmön varastoinnin taloudellisuutta voidaan arvioida varastoidun ja puretun lämmön hintaerotuksen avulla. Kun varastoinnilla leikataan aamuisin ja iltaisin syntyviä kuormituspiikkejä, ei varastointikapasiteetin tarvitse olla niin suuri kuin silloin, kun varastoinnilla pyritään tasoittamaan vuorokausia kestäviä piikkejä.

Lyhytaikaisten kuormapiikkien tasoittaminen

Tarkastellaan keskikokoista kaukolämpöverkkoa, jossa käyttöveden lämmityksen aiheuttamien aamu- ja iltapiikkien kattaminen vaatii 50 MW:n lämpötehon (piikin aiheuttama lisätehon tarve). Kuormapiikin kesto on keskimäärin 2 tuntia. Oletetaan, että varastoinnissa tapahtuvat lämpöhäviöt ovat yhden syklin aikana 10 %. Lisäksi varastoidun lämmön hetkittäinen priimaus laskee kokonaishyötysuhdetta prosentuaalisesti saman verran kuin lämpöhäviöt, jolloin varastoinnin hyötysuhteeksi arvioidaan 80 %. Varaston lataus-purkaussyklien lukumääräksi on oletettu vuodessa 150 kappaletta; varastoa ei hyödynnetä lämpiminä vuodenaikoina.

Vaadittava varastokapasiteetti yllä mainituilla lähtöoletuksilla on 100 MWh (noin 5 000 m³). Kokonaisinvestoinniksi muodostuu hiukan yli miljoona euroa (laitteisto 200 €/m³ ja vesi 2,5 €/m³). Vuotuinen varastoinnin pääomakustannus hyödynnettävälle lämpöenergialle on täten noin 5,5 €/MWh³¹. Tämä tarkoittaa, että mikäli varastoidaan yhteistuotantolämpöä, jonka tuotantokustannus on 20 €/MWh, on varastoitavan lämmön hyödyntämiskustannus häviöt huomioiden noin 30,5 €/MWh³². Kustannus on kilpailukykyinen erillistuotantoon nähden, ja lisäksi kasvanut yhteistuotantosähkön tuotanto lisää sähkön myynnistä saatavia tuloja.

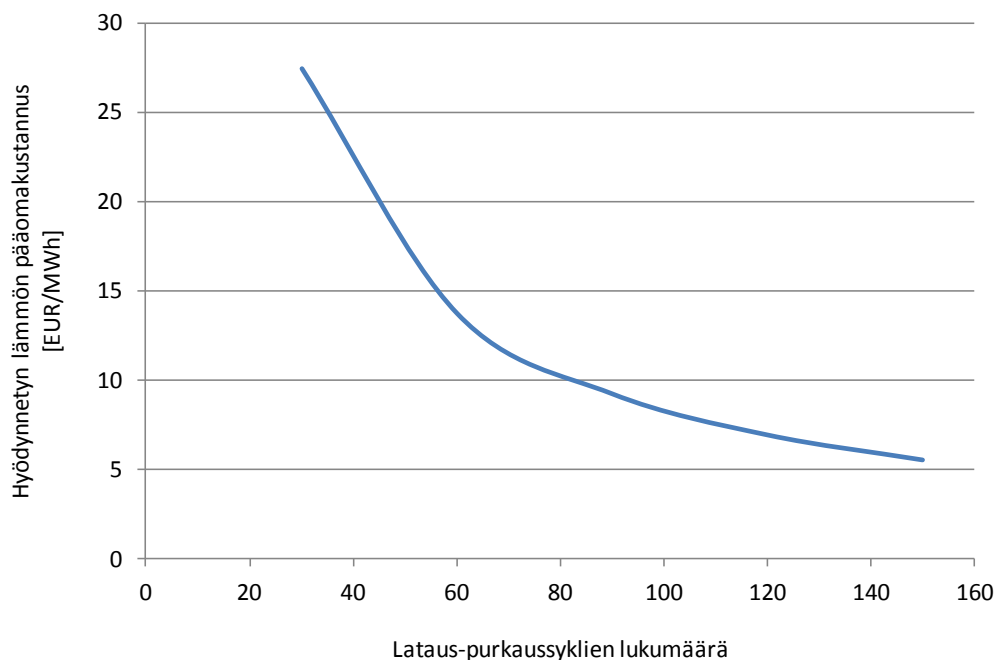
³⁰ Heat Storages for CHP Optimisation. Jan de Wit, Danish Gas Technology Centre Denmark, 2007.

³¹ Oletuksina käyttöikä 30 vuotta ja korko 5 %. Hyödynnettävällä lämmöllä tarkoitetaan lämpöenergiämäärää, joka puretaan lämpöakusta; tässä on siis huomioitu varastoinnin hyötysuhde.

³² Varastoitavan lämpöenergian tuotantokustannuksissa on huomioitava varastoinnin häviöt. Varastoitavan lämmön hyödyntämiskustannus lasketaan seuraavasti: 5,5 €/MWh + 20 €/MWh / 0,8 = 30,5 €/MWh.



On huomattava, että lataus-purkaussyklien lukumäärällä on suuri vaikutus varastoinnin kustannuksiin (ks. kuva 4.3). Syklien lukumäärää nostamalla hyödynnetyn lämmön pääomakustannus pienenee. Toisaalta, suuri syklimäärä johtaa tilavuudeltaan pienempiin varastokokoihin, jolloin investoinnin yksikkökustannukset kasvavat.



Kuva 4.3. Tilavuudeltaan pienen vesisäiliövaraston hyödynnettävän lämmön pääomakustannus vuotuisten lataus-purkaussyklien lukumäärän funktiona.

Pidempiaikaisten kuormapiikkien tasoittaminen

Tarkastellaan sellaista kaukolämpöjärjestelmää, jossa kovan pakkasjakson kattaminen vaatii 100 MW:n lämpötehon. Kuormapiikin kesto on tarkastelussa 3 vuorokautta. Varastoinnissa tapahtuvien lämpöhäviöiden oletetaan olevan yhden syklin aikana 10 %. Priimaustarve laskee kokonaishyötysuhdetta edelleen, arviolta 15 %, jolloin varastoinnin hyötysuhteeksi arvioidaan 75 %, joka on näin ollen 5 prosenttiyksikköä alhaisempi kuin lyhytaikaisen varastoinnin tapauksessa. Varaston lataus-purkaussyklien lukumääräksi on oletettu vuodessa 20 kappaletta.

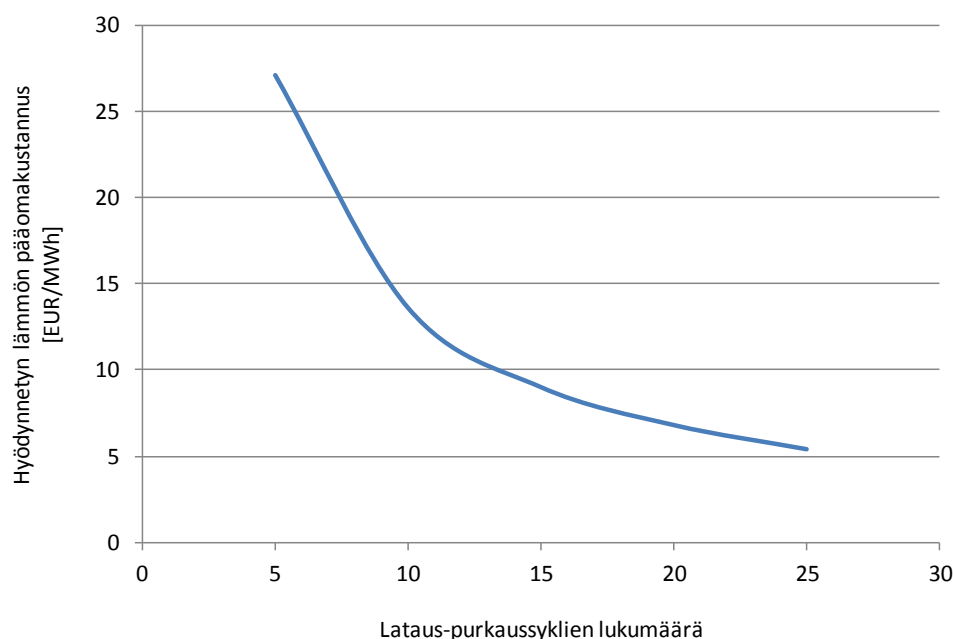
Vaadittava varastokapasiteetti yllä mainituilla lähtöoletuksilla on 7,2 GWh (noin 180 000 m³, joka jakautuu kahdeksi erilliseksi säiliöksi). Kokonaisinvestoinniksi kahdelle varastosäiliölle muodostuu noin 11,3 miljoonaa euroa (laitteisto 60 €/m³ ja vesi 2,5 €/m³). Vuotuinen varastoinnin pääomakustannus hyödynnettävälle lämpöenergialle on täten noin 6,8 €/MWh³³. Varastoitaessa yhteistuotantolämpöä, jonka tuotantokustannus on 20 €/MWh, on varastoitavan lämmön

³³ Oletuksina käyttöikä 30 vuotta ja korko 5 %. Hyödynnettävällä lämmöllä tarkoitetaan lämpöenergiamäärää, joka puretaan lämpöakusta; tässä on siis huomioitu varastoinnin hyötysuhde.



hyödyntämiskustannus häviöt huomioiden noin 33,5 €/MWh³⁴. Myös tässä tapauksessa hyödyntämiskustannus on kilpailukykyinen etenkin huipputehotuotantoon nähden. Lisäksi kovimmilla pakkasilla myös sähkön markkinahinta on korkeimmillaan, jolloin yhteistuotannossa syntyvän sähkön myynnistä saatavat tulot parantavat investoinnin kannattavuutta.

Vuotuisten lataus-purkaussyklien lukumäärän vaikutus varastoinnin kustannuksiin on esitetty kuvassa 4.4. Hyödynnettävälle lämmölle laskettu pääomakustannus on tässä keskimäärin hiukan korkeampi kuin lyhytaikaisen varastoinnin tapauksessa, jossa vuotuisten syklien määrä on korkeampi. Mikäli kuitenkin suuren varaston hyödyntämistä (vuotuisten syklien lukumäärä) saadaan nostettua, voi olla järkevää investoida kerralla suureen lämpöakkuun, jolloin sitä voidaan hyödyntää sekä lyhytaikaisten että pidempiaikaisten kuormapiikkien leikkaamisessa ja tasaamisessa.



Kuva 4.4. Tilavuudeltaan suuren vesisäiliövaraston hyödynnettävän lämmön pääomakustannus vuotuisten lataus-purkaussyklien lukumäärän funktiona.

Molemmissa esimerkkilaskelmissa esitetyt varastoidun lämpöenergian hyödyntämiskustannukset ovat suuntaa antava, eikä niissä ole huomioitu investointeja mahdollisiin pumppuihin, joilla varastoitua lämpöä voidaan priimata tarvittaessa korkeampaan lämpötilaan. Varastoinnin kannattavuus onkin lähtökohtaisesti korkeampi matalalämpötilaisissa verkoissa, joissa varastoitua lämpöä ei välttämättä tarvitse priimata ennen verkkoon syöttöä.

4.2.3 Ilmastolliset näkökulmat

Kasvihuonekaasupäästöjen vähentyminen perustuu huipputehotuotannon korvaamiseen perustehotuotannolla. Luvussa 4.1.2 arvioitiin huipputehon tuotantomäärää ja polttoainekulutusta.

³⁴ Varastoitavan lämpöenergian tuotantokustannuksissa on huomioitava varastoinnin häviöt. Varastoitavan lämmön hyödyntämiskustannus lasketaan seuraavasti: 6,8 €/MWh + 20 €/MWh / 0,75 = 33,5 €/MWh.



Arvioon perustuen polttoöljyn ja maakaasun käyttöön perustuvan huipputehotuotannon keskimääräiset ominaispäästöt ovat luokkaa 260 gCO₂-ekv./kWh. Yhteistuotannon päästökerroin vuonna 2009 oli huomattavasti alhaisempi - noin 190 gCO₂-ekv./kWh³⁵. Käytännössä perustehotuotannon päästökerroin vaihtelee polttoaineista ja tuotantotavasta (yhteistuotanto vs. erillistuotanto) riippuen välillä 0-440 gCO₂-ekv./kWh³⁶.

Kun arvioidaan, että varastoinnin kokonaishyötysuhde on 70 %, niin jokainen lämmön varastoinnilla korvattu huippu-GWh vähentää kasviuonekaasupäästöjä korkeintaan 320 tonnia³⁷. On kuitenkin huomioitava, että lämmöntuotantorakenteen paikalliset erot ovat suuria ja päästövähennysmahdollisuudet riippuvat pitkälti korvattavista ja korvaavista polttoaineista, varastoitavan lämmön tuotantotavasta sekä varastoinnin hyötysuhteesta. Joissakin tapauksissa varastointi saattaa myös lisätä päästöjä. Tämä on mahdollista, mikäli esimerkiksi maakaasulla tuotettua huipputehoa korvataan varastoidulla lämmöllä, joka on tuotettu esimerkiksi turpeella tai kivihiilellä.

4.2.4 Pohdintaa

Yhteistuotannossa on usein tilanteita, joissa markkinasähkön hinta on niin korkea, että tuotanto on kustannustehokasta, vaikka lämpöä ei mahtuisi kaukolämpöverkkoon. Tällöin lämmön varastointi on järkevä ratkaisu. Lämpöä voidaan varastoida joko meno- tai paluupuolelta. Tuotetun lämpöenergian syöttäminen varastoon tulee olla mahdollisimman tasaista, jotta ei synny turhia latauspiikkejä. Järkevintä varastointi on silloin, kun hetkellinen lämmöntarve kaukolämpöverkossa on alhainen ja yhteistuotantoa ei ole kannattavaa ajaa alas.

Lämpöakkuja puretaan silloin, kun yhteistuotantoteho ei riitä kattamaan lämmön kysyntää, eli kylmimpinä pakkasjaksoina sekä iltaisin ja aamuisin, kun lämpimän käyttöveden tarve on suurimmillaan. Lämpöakun optimaalinen käyttö vaatii tuekseen ohjausjärjestelmän sekä lämpöpumppuja, joiden avulla varastoidun lämpöenergian lämpötila voidaan tarvittaessa nostaa halutulle tasolle. Varastoitava lämpötila riippuu ennen kaikkea siitä, ladataanko varastoa verkon meno- vai paluuedellä; tämä ratkaisee osittain myös purettavan lämmön priimaustarpeen. Ylipäätään lämpöenergian varastointimahdollisuuksia tarkasteltaessa tulee sekä taloudellisia että ilmastollisia näkökulmia pohtia tilannekohtaisesti huomioiden paikallisen lämmöntuotantorakenteen ominaispiirteet.

Kaukolämpöverkkoa voidaan hyödyntää myös tuulivoiman varastointiin. Kyseinen tilanne muodostuu kuitenkin ajankohtaiseksi vasta siinä vaiheessa, kun tuulivoimatuotannon osuus kasvaa Suomessa merkittävästi. Esimerkiksi Tanskassa on suunniteltu ratkaisuja, joissa hetkellinen tuulivoiman ylituotanto muutettaisiin lämmöksi, jota voitaisiin hyödyntää kaukolämpöverkossa sen sijaan, että tuulisähkö myytäisiin ylitarjonnan hetkinä alhaiseen hintaan sähkömarkkinoilla.³⁸

³⁵ Laskenta tehty hyödynjakomenetelmällä.

³⁶ Biopolttoaineet ovat päästöttömiä, maksimiarvo kuvaa turpeen käyttöä erillistuotannossa.

³⁷ Suurin päästövähennyspotentiaali saavutetaan, kun biopohjaisella perustehotuotannolla korvataan raskasta polttoöljyä käyttävää huipputehokapasiteettia.

³⁸ Nordic Folkcenter for Renewable Energy (www.folkcenter.net). District heating can now store wind energy.



4.3 Mittaus, ohjaus ja optimointi

4.3.1 Tekninen potentiaali

Mittaus

Mittaamisen parantuneet edellytykset, eli tuntitasolla tapahtuva mittaus yhdistettynä kaksisuuntaiseen tiedonsiirtoon, tarjoavat uusia mahdollisuuksia optimoida kulutusta ja tuotantoa. Tuntimittauksen toteuttaminen parantaa lisäksi asiakkaiden palvelua ja mahdollistaa paremmat raportointimahdollisuudet asiakkaiden lisäksi myös kaukolämpöyhtiölle, jotka voivat kehittää uusia palveluja ja hallita järjestelmää entistä tehokkaammin.

Tuntimittaus yhdistettynä kaukoluentaan parantaa kaukolämpöyhtiöiden mahdollisuuksia tarkastella asiakkaiden kulutusta ja sekä järjestelmän ja verkon toimintaa. Asiakaskohtaisesti on mahdollista mm. havaita järjestelmässä tai verkostossa vikoja tai epäoptimaalista tilaustehon/virtaaman mitoitusta. Meno- ja paluupuolen lämpötilaeroja tarkkailemalla voidaan myös optimoida asiakkaan tehomaksuja tarkemmin kuin ilman tuntimittausta.

Kaukolämpöyhtiöt eivät tällä hetkellä automaattisesti seuraa kaikkien asiakkaidensa kulutusta, mutta tapauskohtaisesti voidaan tarvittaessa tarkistaa tiettyjä kohteita vikojen ja/tai väärän mitoituksen toteamiseksi. Tulevaisuudessa on mahdollista, että voitaisiin ottaa käyttöön automaattisempia analyysijärjestelmiä ja menetelmiä, joiden avulla asiakkaalle tarjottavia palveluita voidaan kehittää.

Kuormanohjaus ja optimointi

Olemassa olevassa rakennuskannassa on merkittävä lämmön varastointikyky. Uudistuvat rakentamismääräykset johtavat myös entistä energiatehokkaampaan uudisrakentamiseen, mikä käytännössä tarkoittaa suurta lämpökapasiteettia. Rakennuksen lämpökapasiteetin hyödyntämisessä on kyse siitä, että hyödynnetään rakennusmassaan varastoitunutta lämpöä. Suuri osa rakennuksista Suomessa on valmistettu betonista, joka sitoo lämpöä tehokkaasti. Rakennusten hyvä eristyskyky yhdistettynä poistoilman tehokkaaseen lämmön talteenottoon voisivat tarjota erityisen hyvät mahdollisuudet kysyntäjouston hyödyntämiselle.

Esimerkiksi kaupungin kiinteistömassan varastointikyvyn valjastaminen kysynnän joustoihin tarjoaa merkittävän potentiaalin, joka voisi täydentää lämpöakkujen tarjoamia mahdollisuuksia kaukolämpöjärjestelmän optimointiin. Karkean arvion perusteella rakennusten lämpökapasiteetin hyödyntäminen voisi mahdollistaa aamu- ja iltapäiväpiikkien tasaamisen esimerkiksi siten, että rakennuksia lämmitetään osin etukäteen ja osin jälkikäteen. Tällöin sisälämpötilan laskua tuskin edes havaittaisiin.

Uudet kaukolämmön tuntimittarit, joita otetaan jatkuvasti enenemissä määrin käyttöön Suomessa, tarjoavat usein mahdollisuuden kaksisuuntaiseen tiedonsiirtoon. Tällä hetkellä tiedonsiirtomahdollisuuksista hyödynnetään lähinnä vain tiedon keräysmahdollisuutta. Mittarien tarjoamaa mahdollisuutta kuormanohjauksiin ei ole vielä hyödynnetty, ainakaan laajassa mittakaavassa. Asiakkaiden kulutusta voitaisiin ohjata esimerkiksi yksinkertaisella GSM-käskyllä



tekemällä kytkentä kaukolämpömittarista kulutuspisteen lämmitysventtiiliin. Kyseisen ominaisuuden käyttöönotto ei alustavien arvioiden mukaan vaatisi merkittäviä teknisiä panostuksia. Tämä näyttäisi olevan mielenkiintoinen ja realistinen mahdollisuus kysyntäjoustojen toteuttamiseksi, jota kannattaisi lähemmin tutkia.

Kulutuspiikkejä esiintyy yleensä aamuisin ja iltaisin. Yksinkertaista kuormanohjausta voitaisiin kotitalouksien tapauksessa toteuttaa esimerkiksi aamuhuipun aikana, jolloin muu kodin lämmönkäyttö, kuten käyttöveden kulutus, aamiaisen valmistaminen jne. tuottaa kaukolämpöä osittain korvaavaa lisälämpöä. Kaukolämmön ohjaaminen alhaisemmalle tasolle noin tunnista kolmeen tuntiin tämän kulutushuipun aikana olisi useimmissa tapauksissa asiakkaalle lähes huomaamaton rakennuksen suuren ominaislämpökapasiteetin vuoksi, eikä vaikuttaisi olennaisesti käyttö- ja asumismukavuuteen. Tätä mahdollisuutta kannattaisikin selvittää lähemmin, ja samalla ottaa huomioon älykkäiden mittareiden uudet ominaisuudet ja etenkin ilmeisen helposti toteutettavissa olevat kuormanohjausmahdollisuudet.

Usein julkisissa rakennuksissa lämmitystä säädetään aikaohjauksella. Liikekiinteistöille tyypillinen toimintatapa on lämpötilan laskeminen viikonloppujen aikana ja lämmityksen kireminen oikealla tasolle viikonlopun päättyessä. Tällä tavalla voidaan saavuttaa toki energiansäästöä, mutta sillä saattaa kuitenkin olla merkittävästi heikentävä vaikutus rakennusten käyttömukavuuteen. Toimintatapa johtaa myös kulutuspiikkeihin silloin kun lämpötila nostetaan uudelleen halutulle tasolle. Tasaisen lämpökuorman ylläpitäminen olisi kuitenkin kaukolämpöjärjestelmän kannalta edullisempaa, jolloin hyöty jakautuu tasaisesti sekä asiakkaalle että kaukolämpöyhtiölle.

On myös melko yleistä, ettei rakennusten lämmitystä ole säädetty optimaalisesti, vaikka kiinteistönohjausjärjestelmä - etenkin kerrostalojen ja liikekiinteistöjen tapauksissa - tarjoaisi siihen hyvät mahdollisuudet. Kiinteistönohjausjärjestelmiä ei aina myöskään osata käyttää oikein. Tulevaisuuden älykkäässä kaukolämpöjärjestelmässä ohjaus voitaisiin mahdollisesti ulottaa myös asiakkaiden kiinteistönohjausjärjestelmän kautta asiakkaan lämmityksen ja ilmanvaihdon ohjaukseen. Tällä hetkellä mahdollisuus saattaa kuitenkin tuntua kaukaiselta, sillä toimintatapa vaatii tuekseen ennen kaikkea aktiivista tuntimittausdatan seuranta. Tämä vaatisi kokonaisvaltaista mittausinfrastruktuuria, jonka rakentamisessa moni kaukolämpöyhtiö on vasta suunnitteluasteella.

Toistaiseksi on ollut helpompi käyttää lämpöakkuja tai kaukolämpöverkkoa ja sen lämmönvarastointikapasiteettia optimoinnin välineenä. Akuilla on koosta riippuen saavutettavissa suuri vaikutus huipputehon leikkaamisessa ja järjestelmän käytön (kuorman) tasaamisessa. Lämpöakku on lisäksi joustavasti ja usein myös kustannustehokkaasti tuottajan hallinnassa. Akkujen kapasiteetit ovat useimmissa tapauksissa kuitenkin melko rajoittuneita, jolloin asiakkaiden kysyntäjoustopotentialin ja kiinteistömassojen varastointikapasiteetin valjastaminen akkujen rinnalle toisi uusia merkittäviäkin mahdollisuuksia koko järjestelmän optimointiin ja älykkääseen käyttöön.

4.3.2 Taloudelliset edellytykset

Useat kaukolämpöyhtiöt ovat jo investoineet tai tulevat investoimaan kaukolämmön tuntimittauslaitteistoon lähivuosien aikana. Nykyaikaiset mittarit mahdollistavat kaksisuuntaisen tiedonsiirron, joten vaikuttaa siltä, että mittari-investoinnit tehdään joka tapauksessa. Kysyntäjoustoja lisäävän kuormanohjauksen käyttöönotto vaatii kuitenkin todennäköisesti lisäinvestointeja rakennuskannan taloautomaatioratkaisuihin.



Tuotannon optimoinnilla kysynnän joustoja hyödyntäen saavutettavissa oleva hyöty on Suomen olosuhteissa useimmiten sitä, että optimointi mahdollistaa yhä suuremman osan tuotannosta tapahtuvan tehokkaalla yhteistuotannolla. Järjestelmän joustavuutta ja älykkyyttä voidaan lisätä myös taloudellisesti ja ilmastollisesti edullisemmilla erillistuotantotavoilla, kuten kappaleessa 4.1 on kuvattu. Kulutushuippujen aikana käytettävien lämpökattiloiden korvaaminen CHP-tuotannolla on mahdollisesti merkittävin saavutettavissa oleva hyöty.

Lämpökattilatuotannon korvaamisella saavutetaan ainakin seuraavanlaisia hyötyjä:

- polttoainekulutuksen vähentyminen käynnistys- ja lopetusvaiheen aikana, jolloin tuotanto ei ole vielä kytkeytynyt verkkoon;
- tuotannon kokonaishyötysuhteen ja kannattavuuden parantuminen, kun energiaa tuotetaan yhteistuotantolaitoksissa kattilalaitosten sijaan;
- lämmön tuottaminen edullisemmilla polttoainetyypeillä.

Alla on kuvattu esimerkki, jonka avulla voidaan havainnollistaa, miten rakennuskannan lämpökapasiteettia voidaan käyttää huipun leikkaamiseen ja minkälaisia taloudellisia hyötyjä tällä toiminnalla voisi olla saavutettavissa³⁹.

***Esimerkki:** Jyväskylän kaukolämpöjärjestelmän osalta on arvioitu, että 20 % huipputehon leikkaukseen tarvitaan noin 160 rakennusta, joiden jokaisen lämmitetty tilavuus olisi 20 000 m³. Simulointilaskelmien mukaan tuotantokapasiteetin käytössä voidaan saavuttaa vuositasolla noin 13 000 € säästöt. Lisäksi arvioitiin, että kyseisen suuruisen kysyntäjoustop avulla voitaisiin välttää 1,8 miljoonan euron investointi huipputehokattilaan (20 MW). 20 vuoden pitoajalla ja 5 % korkovaatimuksella se merkitsi yli 144 000 € vuotuista lisäsäästöä, kun huomioidaan myös säästöt laitoksen ylläpitokustannuksissa.*

Mikäli edellä esitetty esimerkki skaalataan vastaamaan koko Suomen kaukolämpöjärjestelmää⁴⁰, voidaan arvioida karkeasti, että 20 % huipputehroleikkaukseen tarvittaisiin yli 100 miljoonan m³:n rakennusmassa, joka vastaa jotakuinkin 5 % koko maan rakennuskannasta. Tällöin tuotantokapasiteetin käytössä saavutetut säästöt olisivat satoja tuhansia euroja, ja investointitarpeen väheneminen toisi koko maassa jo miljoonasäästöt, mikäli investointeja koskevat oletukset vastaisivat esimerkin tapaista.

4.3.3 Pohdintaa

Tuntikohtaisella mittauksella saavutetaan kaukolämpöjärjestelmässä riittävät hyödyt, sillä tiheämpi mittausväli ei näyttäisi tuottavan taloudellisessa mielessä niin merkittäviä hyötyjä, että lisäinvestoinnit tarkempaan mittaukseen olisivat kannattavia. Osittain tämä johtuu siitä että kaukolämpöverkon lämpötilavaihtelut ovat verrattain hitaita ja että asiakaspäässä

³⁹ Demand Side Management of the District Heating Systems. Kärkkäinen S., Sipilä K., Pirvola L., Esterinen J., Eriksson E., Soikkeli S., Nuutinen M., Aarnio H., Schmitt F., Eisgruber C., 2003.

⁴⁰ Jyväskylän kaukolämmön kulutuksen volyyymi on noin 3 % koko maan volyyymistä.



lämpötilamuutokset tapahtuvat hillitysti. Hintasignaalit eivät ohjaa tuotantoa ja kulutusta samalla tavalla kuin esimerkiksi sähkön ollessa kyseessä. Sähkön tuntikohtainen hinta vaihtelee voimakkaasti sähköpörssissä, jolloin hinnan tuotantoa ja kulutusta ohjaava vaikutus on luonnollisesti voimakkaampi.

Tuntimittaus luo edellytykset kaukolämpöasiakkaiden kysynnänjoustoille. Ilman tuntimittausta ei ole mahdollista rakentaa todellisia kannustimia kysynnänjoustoihin, jotka tapahtuisivat tuntitasolla. Kysynnänjoustosta ja joustoa varten rakennetuista kannustimista voi tulevaisuudessa muodostua yhä tärkeämpi ja olennainen osa kaukolämpöjärjestelmän optimointia. Oikein toteutettuna kysyntäjousto tukee kaukolämpöjärjestelmän älykkyyttä ja mahdollistaa tuloksellisen tuotannon optimoinnin ja lämmön varastoinnin.

Kuten lämpöenergian varastoinnissa, perustuu kasvihuonekaasupäästöjen vähentyminen kysyntäjoustopon hyödyntämisessä huipputehotuotannon korvaamiseen perustehotuotannolla. Näin ollen kysyntäjoustopon ilmastollisia näkökulmia ei tässä tarkastella erikseen.

Selvityksen aikana tehtyjen haastattelujen perusteella kaukolämmön ja sähkön yhteismittaamisessa ei tällä hetkellä nähdä merkittäviä etuja, ainakaan mikäli itse mittareita ja tiedonsiirtoa tarkastellaan. Vaikka yhä useampi alan yritys valmistaa nykyisin sekä etäluettavia sähkö- että kaukolämpömittareita, ovat asennettavat mittarit Suomessa useimmissa tapauksissa eri valmistajien, jolloin mittausten ja mahdollisesti tiedonsiirron osalta ei saavuteta mainittavia synergioita. Mittaustekniikoiden rajapintoja pyritään kuitenkin kehittämään ja yhtenäistämään jatkuvasti kansainvälisten standardien kautta.

4.4 Hinnoittelumallit

4.4.1 Nykyiset tariffit

Tällä hetkellä kaukolämmön myynnissä yleisesti vallitseva tariffi muodostuu kiinteästä maksusta, joka perustuu vesivirtaan (m^3/h) tai tehoon (kW), sekä energiamaksusta, joka perustuu kulutukseen (€/MWh). Tyypillisesti kaukolämpöhinnoittelussa sovelletaan samaa hintaa kesä- ja talvikuukausina. Vaihtoehtoisesti voidaan määritellä omat tariffit eri kausille.

Helsingin Energia on ottanut vuonna 2011 käyttöön uuden hinnaston, jonka tavoitteena on ohjata kulutuskäyttäytymistä. Kyseisessä tariffihinnoittelussa on määritelty eri hinnat kesälle, talvelle ja talven huippukaudelle. Uuden hinnoittelumallin kulutusta ohjaavaa vaikutusta ei ole vielä todettu; kokemuksia hinnoittelusta saataneen kuitenkin lähitulevaisuudessa. Mikään kaukolämpöyhtiö Suomessa ei vielä ole ottanut käyttöön hinnoittelumallia, joka pyrkisi ohjamaan kulutusta tuntitasolla siten, että esimerkiksi aamujen ja iltojen huipputunteina kaukolämmön hinta olisi korkeampi muihin vuorokaudenaikoihin verrattuna.

4.4.2 Uusia mahdollisuuksia

Tuntimittaus tekee mahdolliseksi tuntikohtaisen hinnoittelun ja laskutuksen. Tämä luo pohjan sille, että todellisia kannustimia voidaan luoda ja toiminnan vaikutukset voidaan myös todentaa tuntitasolla. Kysyntäjoustopon palkitseminen voidaan näin käytännössä rakentaa kaukolämmön hinnoittelumalleihin tulevaisuudessa.



Mikäli lämmönkulutuksen huipputunnit hinnoitellaan riittävän korkeiksi ja samalla sovelletaan kuormanohjausmahdollisuutta joko asiakkaan tai kaukolämpöyhtiön toimesta, voidaan ainakin teoriassa kulutusta siirtää kalliimmilta tunneilta halvemmille. Tämä on kuitenkin toteutettava asiakkaan ehdoilla ilman, että asumismukavuus kärsii.

Yksi vaihtoehto on myös määritellä kaukolämmön toimitussopimuksessa ns. takuulämpötila - esim. 19 °C - jonka alle kulutuspuheen sisälämpötila ei saa laskea. Tällöin kaukolämpöyhtiöllä olisi mahdollisuus hyödyntää joustovaraa ja katkaista asiakkaan lämmöntoimitus hetkellisesti huipputunteina. Kaukolämpöyhtiö olisi velvollinen hyvittämään tästä sopimuksesta asiakkaalle tietyn korvauksen, joka olisi kuitenkin alhaisempi kuin mitä huipputehokapasiteetin säästö aiheuttaisi.

Kaukolämmön liittymähinnoittelua ei voida tarkastella samalla tavalla kuormanohjauksen näkökulmasta kuin tariffihinnoittelua. Liittymän hinnoittelulla on kuitenkin vaikutusta kaukolämmön kilpailukykyyn. Yksi tapa madaltaa kaukolämmön hankintakynnystä voisi olla uusille asiakkaille tarjottavat mahdollisuus maksaa liittymismaksu seuraavien vuosien (esim. 3-10 vuotta) aikana edullisella korolla tai välittömästi liittymisen jälkeen ilman korkoa. Jaksotetun hinnoittelun tapauksessa kaukolämmön houkuttelevuus suoraan sähkölämmitykseen, poistoilmalämpöpumppuun ja maalämpöpumppuun nähden voisi parantua.⁴¹

4.4.3 Taloudelliset edellytykset

Hinnoittelu on hyvä keino kannustaa kaukolämpöasiakasta kysynnänjoustoon. Kaukolämpöyhtiön kokemat taloudelliset hyödyt saavutetaan samalla perusajatuksella kuin jo aiemmin on kuvattu. Taloudelliset hyödyt syntyvät mm. yhteistuotannon lisääntyvästä osuudesta lämmöntuotannossa, ja näin ollen käyttökustannuksiltaan kalliiden erillistuotantomuotojen vähäisemmästä tarpeesta. Hinnoittelun aikaansaamat kysyntäjoustot myös vähentävät investointitarvetta uuteen tuotanto- ja varastointikapasiteettiin.

Mikäli uusia hinnoittelumalleja otetaan käyttöön, tulee näiden tarjota taloudellisia kannustimia myös asiakkaalle, jotta motivaatio kysyntäjoustoihin syntyy. Tariffialennukset ja kompensatiomaksut voisivat olla toimiva kannustin kysyntäjoustopotentiaaliaan tarjoavalla asiakkaalle.

Joustojen aktivoimista harkitsevan kaukolämpöyhtiön kannattaisi suunnitella ja analysoida tähän kannustava tariffi tai muu tapa palkita asiakasta joustojen toteuttamisesta ja mahdollisesti pilotoida sitä. Valitun toimintamallin kustannusvaikutukset sekä vaikutus lämmönmyynnin kannattavuuteen tulisi kunkin yhtiön osalta analysoida omana tapauksenaan, sillä toteutuksen onnistumiseen vaikuttaa merkittävästi mm. yhtiön asiakaskunnan ja tuotannon rakenne.

⁴¹ Kaukolämmön hinnoittelumallit. Nuorkivi Arto, 2009.



5 Älykkään kaukolämmön tulevaisuus

Nykyisen kaukolämpöjärjestelmän eri osa-alueet sisältävät älykkyyttä vaihtelevissa määrin. Järjestelmä on kehittynyt viime vuosina etenkin reaaliaikaisuuden ja informaatiomäärän lisääntymisen kautta, jolloin mm. asiakaslaitteistojen vikailmoitusten automatisointi on tehostunut. Reaaliaikaisuutta ja mittauksen avulla kerättävää tietomassaa voidaan tulevaisuudessa hyödyntää entistä tehokkaammin myös tuotannon ja kulutuksen ohjauksessa ja optimoinnissa.

Jotta kaukolämpö säilyttää tulevaisuudessa kilpailukykynsä, tulee toiminnassa korostaa sen nykyisiä pätevyyksiä - asiakkaan kokemaa vaivattomuutta ja luotettavuutta - sekä toisaalta lisätä toiminnan joustavuutta niin tuotannossa, varastoinnissa kuin kulutuksen ohjauksessa.

Hybridilämmitysjärjestelmät tulevat energiayhtiöiden näkemysten mukaan yleistymään tulevaisuudessa; ajureina toimivat kilpailu ja kokeilunhalu sekä uudenlaiset liiketoimintamallit, joissa suunnittelu yhteistyö energiayhtiön, asukkaan ja teknologiatoimittajan välillä tiivistyy. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että keskitetyt ratkaisut poistuisivat tuotantopaletista tulevaisuudessa, vaan todennäköisempää on että keskitetyn tuotannon ympärille syntyy uusia palveluita ja kokonaisjärjestelmää tukevia hajautettuja ratkaisuja, jotka voidaan integroida nykyiseen kaukolämpöjärjestelmään.

5.1 Lupaavia mahdollisuuksia

Kaukolämpöverkon eri osa-alueiden älykkyyttä kehittämällä voidaan saavuttaa taloudellisia ja ilmastollisia hyötyjä. Pyrkimyksenä on tarjota kaukolämpöasiakkaille entistä vaivattomampaa, vähähiilisempää ja kilpailukykyisempää lämpöä.

Asiakkaan lähellä olevilla hybridiratkaisuilla tuotetun lämmön ei tarvitse olla yhtä korkealämpötilaista, kuin perinteisessä kaukolämpöverkossa on totuttu käyttämään. Matalalämpötilaisia verkkoja puoltaa se, että hajautetun tuotannon hyötysuhde on usein sitä korkeampi mitä alhaisemmassa lämpötilassa lämpö tuotetaan. Tämä pätee erityisesti aurinkolämpöön ja myös maalämpöön. Alhaisemmillä lämpötilatasoilla yhtäältä verkoston absoluuttiset häviöt pienenevät, mutta toisaalta tämä saattaa lisätä pumppaustehon tarvetta, jotta massavirta saadaan pidettyä riittävänä. Tällöin myös putkikoot kasvavat. Verkon lämpötilan tulee lähtökohtaisesti olla yli 65 °C, jotta mahdolliset legionellabakteerit saadaan hävitettyä lämpimästä käyttövedestä⁴².

Matalalämpötilainen verkko voidaan liittää pääverkkoon lämmönvaihtimella sen sijaan, että olemassa olevaa pääverkkoa laajennetaan uusille alueille. Tällöin kuormanvaihtelua voidaan tasoittaa siirtämällä tarvittaessa pääverkosta varastoitua lämpöä erillisverkkoon ilman varaston

⁴² Verkon lämpötila voi olla alhaisempikin, mutta tällöin verkosta saatava lämpö tulee priimata esimerkiksi sähköllä käyttöveden lämmittämiseksi.



purkuvaiheen priimausta. Kustannustehokkuutta voidaan pyrkiä parantamaan myös nykyisen kaukolämpöverkon syöttölämpötilan pitämisellä alhaisempana silloin, kun kulutus sen sallii⁴³.

Lämmön varastointi - niin erillisissä lämpöakuissa kuin rakennuskantaa ja itse kaukolämpöverkkoa hyödyntäen - vaikuttaa erittäin potentiaaliselta ratkaisulta lisäämään kaukolämpöverkon joustavuutta. Lyhytaikaisilla lämpövarastoilla voidaan useissa tapauksissa kustannustehokkaasti leikata kaukolämpöverkossa syntyviä aamu- ja iltapiikkejä ja suuremmilla varastoilla voidaan tasoittaa ulkolämpötilan vuodenaikavaihtelusta johtuvia kuormanvaihteluita. Tulevaisuudessa varastoja voidaan hyödyntää myös kaukojäähdytyksen tukena.

Myös yksittäisellä kuluttajalla tai kaukolämpöverkkoon liitettyllä teollisuuskohteella saattaa olla tulevaisuudessa mahdollisuus syöttää lämpöä verkkoon nykyistä laajemmassa mittakaavassa. Yksittäisen kuluttajan tapauksessa tämä mahdollisuus on kuitenkin olemassa vain matalalämpötilaisessa kaukolämpöjärjestelmässä, sillä esimerkiksi kovilla pakkasilla kuluttajalla ei käytännössä ole mahdollisuutta syöttää verkkoon tarpeeksi korkeassa lämpötilassa olevaa lämpöä⁴⁴. Ongelmaksi saattaa etenkin pientalokohteiden tapauksessa muodostua myös liian useasta pisteestä verkkoon syötetty lämpö; tällöin useassa verkon osassa tehty pumppaus voi aiheuttaa verkon epävakautta, johtuen mm. paine- ja lämpötilaeroista. Teollisuusprosesseista saatava ylijäämälämpö sen sijaan soveltuu usein sellaisenaan verkkoon syötettäväksi ja myös lämmön priimaaminen on mahdollista, mikäli tämä nähdään kokonaistaloudellisesti kannattavaksi.

Kaukolämmön kustannustehokkuutta voidaan joissakin tilanteissa parantaa hyödyntämällä verkon paluuveden lämpöenergiaa. On hyvä kuitenkin huomioida, että tämä saattaa lisätä perustilanteessa verkon häviöitä ja alentaa tuotannon hyötysuhdetta, mikäli verkkoon syötetty lämpö tuotetaan yhteistuotantolaitoksessa.

5.2 Tutkimus- ja kehitystarpeita

Hajautettujen lämmöntuotantomuotojen liittäminen kaukolämpöjärjestelmään luo edellä esiin nostettujen hyötyjen lisäksi myös haasteita, jotka liittyvät mm. eri teknologioiden rinnakkaiskäytön optimointiin sekä vaihtelevien lämpötilatasojen yhteensovittamiseen. Hybridiratkaisujen liittämisen vaihtoehtoja ja vaikutuksia verkon toimintaan tulisikin tutkia ja pilotoida laajemmin.

Lämpövarastoista ja niiden optimoinnista osana kuormanohjausta on jo olemassa melko kattavasti tutkimusaineistoa⁴⁵. Sen sijaan kaukolämmön kysyntäjoustopuun sekä kiinteistömassojen ja verkon lämmönvarastointikapasiteetin mahdollisuuksia tulee tutkia ja myös pilotoida aktiivisemmin tulevaisuudessa. On tärkeää selvittää kuinka paljon asiakkaiden tarjoamaa joustoa olisi hyödynnettävissä, mitä uusia mahdollisuuksia tekniikan kehittyminen ja tuntimittaus tuo tullessaan, sekä millaista kiinnostusta ja valmiutta asiakaskunnasta löytyy. Myös asiakkaiden suhtautumista

⁴³ Huippuenergiatehokkaan asuintalon kaukolämpöratkaisut. Klobut K., Heikkinen J., Shemeikka J., Laitinen A., Rämä M., Sipilä K., 2009.

⁴⁴ Pienkohteissa verkkoon syötetty lämpö on usein tuotettu aurinko- tai maalämmöllä, jolloin menoveden lämpötila ilman erillistä priimausta on usein alhainen.

⁴⁵ Ks. esim. IEA:n District Heating and Cooling -projekti (<http://www.iea-dhc.org>) ja Energy Conservation through Energy Storage -ohjelma (<http://www.iea-eces.org>).



dynaamiseen hinnoitteluun sekä uudenlaisten tariffien synnyttämien hyötyjen jakautumista lämmöntuottajan ja asiakkaan välillä tulisi tutkia. Kyselytutkimuksen avulla voitaisiin selvittää, miten asiakkaat kokisivat muuttuneen hinnoittelun vaikuttavan kaukolämmön houkuttelevuuteen ja tätä kautta kilpailukykyyn.

Kysyntäjoustoon liittyy myös kulutuspisteiden lämmönvaihtimien älykkyyden lisääminen, tarkoituksenaan siirtää huoneilman lämmittämiseen varattua lämpöä hetkellisesti pelkästään käyttöveden lämmittämiseen. Jotta tätä mahdollisuutta voitaisiin tarkemmin arvioida, tulisi selvittää miten kaukolämpöverkosta kulutuspisteisiin siirretty lämpö jakautuu huoneilman ja käyttöveden lämmittämisen välillä.

Kun pohditaan kaukolämmön älykkyyttä, ei saa unohtaa kaukojäähdytystä, jonka markkinat kasvavat nopeasti etenkin kaupunkikeskuksissa. Energiayhtiöitä kiinnostaa erityisesti, miten kaukojäähdytys voisi toimia tehokkaasti kaukolämmön kanssa siten, että molemmat tukisivat toisiaan yhtenä järjestelmänä ja hyödyntäisivät molempien käytössä syntyviä hukkaenergioita.

6 Yhteenveto ja johtopäätökset

Kaukolämpöjärjestelmän eri osa-alueet, kuten tuotanto, jakelu ja käyttö, sisältävät jo nykyisin huomattavan määrän älyä. Kaukolämmön älykkyyttä ei voida irrottaa omaksi erilliseksi asiaksi, vaan se on upotettu osaksi koko järjestelmän eri osia. Erilaisia yksittäisiä ratkaisuja kaukolämpöjärjestelmän älykkyyden lisäämiseksi on jo olemassa paljon, kuten tämä selvitys osoittaa. Toistaiseksi näitä mahdollisuuksia on hyödynnetty vain osittain. Yksittäisten ratkaisujen ohella on myös syytä pohtia, kuinka koko järjestelmä saadaan nykyistä joustavammaksi ja tehokkaammaksi. Tulevaisuudessa uusien tuotanto- ja varastointiratkaisujen kehittyessä sekä reaaliaikaisen mittauksien lisääntyessä koko järjestelmän toimintaa voidaan optimoida yhä paremmin.

Hajautettujen lämmöntuotantomenetelmien ja lämpöenergian varastoinnin avulla voidaan merkittävästi parantaa kaukolämpöjärjestelmän joustavuutta ja samalla saavuttaa merkittäviä kasvihuonekaasupäästöjen vähenemisiä. Erityisesti varastointiratkaisujen laajempi hyödyntäminen näyttäisi olevan useassa tapauksessa taloudellisesti kannattavaa. Tuotanto- ja varastointiratkaisujen lisäksi myös tarkennetulla mittauksella, kuormanohjauksella ja erilaisilla hinnoittelumenetelmillä voidaan optimoida nykyisen järjestelmän toimintaa sekä kehittää uusia palveluita ja liiketoimintamalleja, jotka synnyttävät lisäarvoa kaikille kaukolämpöjärjestelmän osapuolille.

Kaukolämpöjärjestelmän älykkyyttä lisäämällä voidaan saavuttaa sekä taloudellisia että ilmastollisia hyötyjä. Asiakkaan tarvitsema lämpöenergia voidaan tulevaisuudessa tuottaa yhä joustavammalla tuotantorakenteella, jossa hajautettu ja keskitetty tuotanto täydentävät toisiaan. Lämpöenergian kulutushuippuja voidaan tasoittaa lämpövarastoinnin sekä kysyntäjoustopuolien avulla, jolloin kalliita fossiilisia polttoaineita käyttävien huipputuotantolaitosten käyttötarve vähenee. Samalla kyetään lisäämään ympäristöystävällisempien teknologioiden sekä tehokkaan yhteistuotannon osuutta kokonaistuotannossa. Tarkkaa ja ajantasaista mittaustietoa sekä kulutusennusteita hyödyntämällä voidaan järjestelmää optimoida jatkuvasti mm. kuormanohjauksen keinoin. Älykkään teknologian tarjoamia mahdollisuuksia voidaan tukea hinnoittelumalleilla, jotka palkitsevat kulutushuippujen tasaamisesta.



Kaukolämpöliiketoiminta kehittyy jatkuvasti. Samalla kannattaa avoimesti pohtia uusia liiketoimintamalleja. Tulee myös muistaa, että kaukolämmön kilpailuetuna on asiakkaan kokema vaivattomuus ja luotettavuus. Kaukolämpöasiakkaat ovat tottuneet siihen, että lämpöä saadaan aina hetkellisen tarpeen mukaan. Siksi on erittäin tärkeää, että asiakasnäkökulma ohjaa uusien palvelujen suunnittelua ja toteutusta. Näin toimialaa kehitetään suuntaan, jossa sekä asiakas että kaukolämpöyhtiö saavuttavat lisähyötyjä ja kaukolämpö säilyttää kilpailukykyä myös tulevaisuudessa.



Lähteet

Kirjallisuus

- Alanen R., Koljonen T., Hukari S., Saari P. Energian varastoinnin nykytila. 2003.
- CIT Energy Management AB. Success Factors in Solar District Heating. 2010.
- Gebremedhin A., Zinko H. Seasonal Heat Storages in District Heating Systems. 2009.
- Gummérus Peter, NordIQ Göteborg AB. Smart District Heating Station - Final Technical Report. 2004.
- Jan de Wit, Danish Gas Technology Centre Denmark. Heat Storages for CHP Optimisation. 2007.
- Klobut K., Heikkinen J., Shemeikka J., Laitinen A., Rämä M., Sipilä K. Huippuenergiatehokkaan asuintalon kaukolämpöratkaisut. 2009.
- Kärkkäinen S., Sipilä K., Pirvola L., Esterinen J., Eriksson E., Soikkeli S., Nuutinen M., Aarnio H., Schmitt F., Eisgruber C. Demand Side Management of the District Heating Systems. 2003.
- Mäkelä V-M. Etäluennan hyödyntäminen kaukolämmön mittauksen kunnonvalvonnassa ja mittauksen tarkkuuden ylläpidossa sekä sen hyödyntämismahdollisuuksista kaukolämpöpalveluissa. 2008.
- Nordic Folkcenter for Renewable Energy. District heating can now store wind energy (9/2010).
- Nuorkivi Arto. Kaukolämmön hinnoittelumallit. 2009.
- Pesola A., Hagström M., Vanhanen J. Study on Distributed Energy Options in Skaftkärr Testbed. 2011.
- Pöyry. District Heating and Cooling. Kaukolämpöjärjestelmän paluuveden hyväksikäyttö kiinteistöjen lämmityksessä. 2010.
- Virtanen V. Energian varastointimuodot. 2010.
- YIT Teollisuus- ja verkkopalvelut Oy. Teollisuuden ylijäämälämmön hyödyntäminen kaukolämmityksessä. 2010.

Haastattelut

- | | |
|------------------------------------|-------------------------------------|
| Jouni Kivirinne, Helsingin Energia | Jani Uitti, Fortum |
| Marko Riipinen, Helsingin Energia | Ville Miettinen, Fortum |
| Juhani Aaltonen, Helsingin Energia | Jaakko Luhtala, Fortum |
| Marko Ojajarvi, Helsingin Energia | Anne Salonen, Fortum |
| Kalle Hakonen, Helsingin Energia | Lassi Kortelainen, Vantaan Energia |
| Matti Tynjälä, Vattenfall | Pekka Sahi, Vantaan Energia |
| Marko Paasu, Vattenfall | Ari Raunio, Porvoon Energia |
| Sami Rantio, Vattenfall | Mikko Ruotsalainen, Porvoon Energia |

