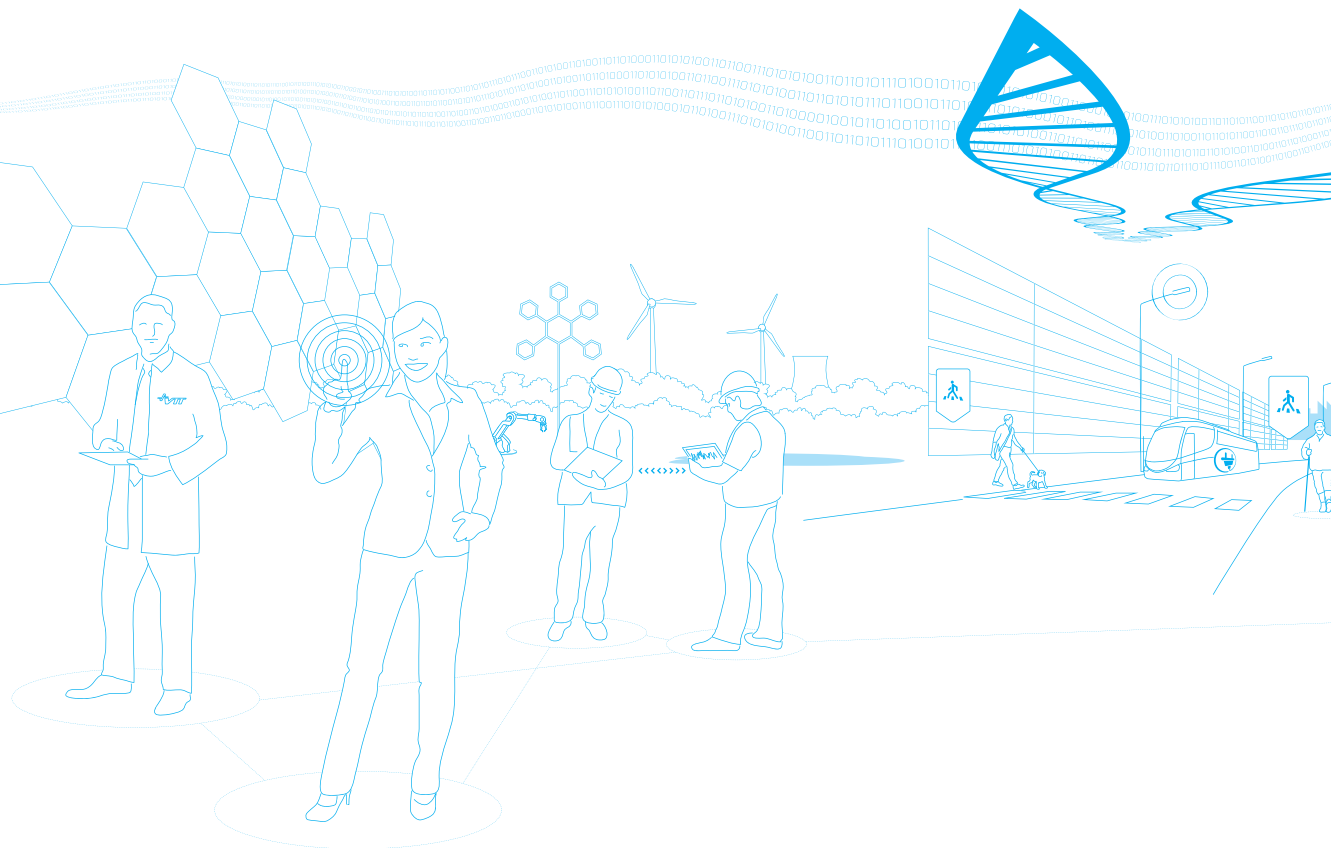




Tulevaisuuden kaukolämpöasuinalueen energiaratkaisut

Krzysztof Klobut | Antti Knuuti | Sirje Vares |
Jorma Heikkinen | Miika Rämä | Ari Laitinen |
Hannele Ahvenniemi | Ha Hoang | Jari Shemeikka |
Kari Sipilä





Alkusanat

Tämä on projektin Tulevaisuuden kaukolämpöasuinalueen energiaratkaisut (Tukalen) loppuraportti. Projektia rahoittivat Tekes, Hyvinkään Lämpövoima Oy, Hyvinkään kaupunki, Energiateollisuus ry, Ekokem Oyj, Porvoon Energia Oy, Riihimäen Kaukolämpö Oy, Helsingin Energia, Jyväskylän Energia ja VTT. Projektin toteutettiin 1.10.2011–31.5.2014 aikana. Projektissa haettiin uusia tapoja toteuttaa kaukolämmitysratkaisu vähän energiaa kuluttavissa taloissa. Ratkaisuvaihtoehtoja vertailtiin ratkaisujen elinkaaren aikaisten CO₂-päästövaikutusten ja kustannustehokkuuden perusteella sekä alue- että kaupungin tai kunnan tasolla. Samalla selvitettiin asiakkaiden tarpeita uusille palveluille kaukolämmityksen suhteen. Elinkaari-tarkasteluissa alueen energia- ja ympäristötaseessa tarkasteltiin jätteen hyödyntämistä energian tuotannossa.

Hankkeen projektipäällikkönä toimi erikoistutkija Krzysztof Klobut VTT:ltä. Eri osatehtävissä tutkijoina toimivat: tutkija Antti Knuuti, joka kirjoitti luvun 2, erikoistutkija Sirje Vares (3), erikoistutkija Ari Laitinen (5), erikoistutkija Jorma Heikkinen (5), tutkija Miika Rämä (5), ja tutkija Hannele Ahvenniemi (6). Muut luvut kirjoitettiin tutkijoiden yhteistyönä.

Työtä ohjasi johtoryhmä, johon kuuluivat:

Matti Laukkanen, puheenjohtaja, Hyvinkään Lämpövoima Oy
Angelica Roschier, Tekes
Aki Itänen, Ekokem Oyj
Jouni Kivirinne, Helsingin Energia,
Jorma Malmi, Riihimäen Kaukolämpö Oy
Marjukka Nuutinen, Jyväskylän Energia (15.6.2012 asti)
Paavo Knaapi, Jyväskylän Energia (15.6.2012–31.10.2013 aikana)
Petri Flyktman, Jyväskylän Energia (1.11.2013 lähtien)
Ari Raunio, Porvoon Energia Oy
Mirja Tiitinen, Energiateollisuus ry
Jyrki Mattila, Hyvinkään kaupunki
Jyri Nieminen, vastuullinen johtaja, VTT (30.3.2013 asti)
Jari Shemeikka, vastuullinen johtaja, VTT (31.3.2013 lähtien)
Krzysztof Klobut, sihteeri, VTT.

Ohjaukseen osallistuivat myös:

Toni Andersson, Ekokem Oyj

Juha Hildén, Hyvinkään Lämpövoima Oy.

Tekijät ja VTT esittävät lämpimät kiitokset aktiiviselle johtoryhmälle sekä muille hankkeeseen osallistuneille.

Espoo, 31.8.2014

Tekijät

Sisällysluettelo

Alkusanat.....	3
1. Johdanto	7
2. Kilpailukykyanalyysi ja elinkaarikustannuslaskenta (LCC).....	8
2.1 Kilpailukyky	8
2.2 Muuttuvat rakentamismääräykset.....	8
2.3 Elinkaarikustannuslaskenta.....	9
2.4 Tutkitut energiatehokkaat pientalot.....	10
2.5 Yhteenveto.....	12
3. Elinkaariarvio (LCA) pientalojen ja pientaloalueiden kaukolämpöratkaisuille	14
3.1 Tausta ja tavoitteet	14
3.2 Kaukolämmön tuotanto ja päästöt	16
3.2.1 Polttoaineiden päästöt.....	16
3.2.2 Kaukolämmön yhteistuotanto (CHP-laitokset) ja päästöjen kohdentaminen	17
3.2.3 Keskimääräinen kaukolämpö.....	20
3.3 Jätteenpolttoon perustuva energiatuotanto	21
3.3.1 Yhdyskuntajätteiden kertymät ja hyödyntäminen	21
3.3.2 Jätteenpoltosta energiaa.....	22
3.3.3 Jätteenkäsittelyn ja polton ympäristövaikutukset	23
3.4 Mallipientalo ja sen hiilijalanjälki	25
3.4.1 Pientalon rakenneratkaisujen hiilijalanjälki	25
3.4.2 Pientalon energiankäytön hiilijalanjälki.....	26
3.4.3 Paikallinen kaukolämpötuotanto ja yhdyskuntajätteen hyödyntäminen	29
3.4.4 Kaukolämpöalueen hiilijalanjälki	30
3.5 Yhteenveto ja johtopäätökset	31
4. Katsaus kaukolämpökytkentäratkaisuihin.....	34
4.1 Innovatiivisia kaukolämpöverkon ratkaisuja	34
4.1.1 Rengasjohtokytkentä	35

4.1.2	Matalaenergiatason kaukolämmön tutkimus.....	36
4.1.3	Lämmönsiirrin matalalämpötilatason kaukolämpöverkossa.....	37
4.1.4	Korkean suoritustason kaukolämpöputket.....	39
4.2	Innovatiivisia lämmönjakokeskusten kytkentäratkaisuja.....	40
4.2.1	Lämmönjakokeskusten konsepteja Tanskasta	40
4.2.2	Pöyryn ehdottama lämmönjakokeskus.....	41
4.2.3	Lämmönjakokeskusten konsepteja Ruotsista.....	42
4.3	Innovatiivisia kaukolämmön sovelluksia.....	44
4.4	Yhteenveto.....	45
5.	Kaukolämpökytkennät ja alueverkot	47
5.1	Kehitetyt kytkentävaihtoehdot.....	47
5.1.1	Aurinkolämpökytkennän laskenta	48
5.1.1.1	Aurinkoenergian määrä	51
5.1.1.2	Aurinkolämpöjärjestelmän toiminta	52
5.1.1.3	Kaukolämmön paluulämpötila.....	54
5.2	Tutkittu kaukolämpöverkko.....	55
5.2.1	Lähtötiedot ja tutkimuksen kohde	55
5.2.2	Verkkosimuloinnin tulokset.....	58
5.2.3	Johtopäätökset verkkosimuloinneista.....	63
5.3	Yhteenveto.....	64
6.	Uudet liiketoiminta ja hinnoittelumallit.....	66
6.1	Tutkimusmenetelmät	66
6.2	Tutkimustulokset.....	67
6.2.1	Tulevaisuuden palvelu- ja hinnoittelumallit	67
6.2.2	Uudet palvelumalli-ideat.....	68
6.2.2.1	Huoletonta lämpöä.....	68
6.2.2.2	Aurinkokaukolämpö	68
6.2.2.3	Kotisi paras lämmittäjä	69
6.2.3	Pientalonrakentajien haastattelut.....	69
6.2.4	Kyselytutkimus.....	70
6.2.4.1	Perustietoa vastaajista	70
6.2.4.2	Nykyisen asunnon lämmitysratkaisu	71
6.2.4.3	Lämmitysjärjestelmän valinnan kriteerit.....	72
6.3	Johtopäätökset kaukolämmön uusista liiketoimintamalleista.....	75
7.	Yhteenveto	77
	Lähdeluettelo.....	81
	Liitteet	
	Liite A: Tutkitun pientalon kuvaus	
	Liite B: Luettelo osatehtäväkohtaisista raporteista	
	Liite C: Kirjallisuuskatsauksen lähdeluettelo	

1. Johdanto

Rakennusten energiankulutus ja lämmöntarve vähenevät huomattavasti tulevaisuudessa. EU:n tavoitteen mukaisesti kaikkien uusien rakennusten tulisi olla lähes nollaenergiataloja vuodesta 2021 alkaen. Näiden lähes nollaenergiaratkaisujen vaikutus paikalliseen kaukolämpöverkkoon on vielä tuntematon. Polttoaineen muuntaminen hyötyenergiaksi ja itse kaukolämpöverkon toiminnan on oltava optimaalista. Lisäksi tulee varmistaa, että kaukolämpöjärjestelmän palvelukyky säilyy hyvänä loppuasiakkaalle tulevaisuuden muuttuvassa "nollaenergia"-toimintaympäristössä, jossa kulutustasot ovat alhaiset. Samalla myös kaukolämpöverkkoon kytkettyjen rakennusten järjestelmien lämpötilataso pitää suunnitella kaukolämpöverkkoon nähden oikein, jotta saavutettaisiin korkea kokonaishyötysuhde.

Teknologisen kehityksen tässä vaiheessa tarvitaan uutta tietoa vähän energiaa kuluttavien rakennusten toiminnasta ja niiden realistisesta energia- ja sähköntarpeesta, jotta voidaan luoda vankka perusta tulevien kaukolämpöratkaisujen mitoitukselle. Tässä hankkeessa etsittiin teknisesti toimivia ja kustannustehokkaita tapoja kaukolämmön yhdistämiseksi matalaenergiarakennuksiin. Kiinteistöjä ja niiden järjestelmiä käsitellään koko kaukolämpöjärjestelmän toimitusketjun kiinteinä osina. Tästä johtuen hankkeessa käytetään kokonaisvaltaista lähestymistapaa, joka kattaa koko järjestelmän huonetilan, rakennuksen lämmönjakojärjestelmän ja kaukolämmön jakokeskuksen kautta kaukolämpöverkkoon.

Projektissa tarkasteltiin kokonaisratkaisuja uusille kaukolämmitetyille pientaloalueille käyttäen vuoden 2013 Hyvinkään asuntomessujen aluetta analyysien kohteena. Ratkaisuvaihtoehtoja vertaillaan ratkaisujen elinkaaren aikaisten CO₂-päästövaikutusten ja kustannustehokkuuden perusteella sekä alue- että kaupunkitasolla. Elinkaaritarkasteluissa alueen energia- ja ympäristötaseessa tarkastellaan syntyvän jätteen (yhdyskuntajäte, rakennusjäte, loppusijoitus) hyödyntämistä energian tuotannossa. Peruslähtökohtana ovat vuoden 2012 rakentamismääräykset sekä vuoden 2012 jälkeiset arvioidut muutokset. Tavoitteena oli samalla tuottaa tietoa rakennusten energiatehokkuusdirektiivin uudistamisen yhteydessä määritellyn 'lähes nollaenergiatalon' reunaehdoista ja mahdollisuuksista Suomen ilmastossa kaukolämpöalueilla. Tätä kirjoitettaessa on Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin (EPDB) vaatima kansallinen "lähes nollaenergia"-määritelmä avoin.

Tässä julkaisussa esitetään synteesi projektin puitteissa saavutetuista tuloksista. Laajemmin työn taustat, analyysit ja niiden tulokset esitetään erillisissä, osatehtäväkohtaisista tutkimusraporteissa, jotka on lueteltu Liitteessä B.

2. Kilpailukykyanalyysi ja elinkaarikustannuslaskenta (LCC)

2.1 Kilpailukyky

Kaukolämmön kilpailukykyyn vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa uudistuvat rakentamismääräykset ja erityisesti rakennusten ominaisenergiankulutus, polttoainesten hintakehitys sekä poliittiset ohjauskeinot. Eri lämmitysmuotojen kertoimet määrittelevät kunkin lämmitysjärjestelmän ominaislämmönkulutuksen raja-arvot, jotka vaikuttavat rakennuskohteen ominaisuuksiin, kuten eristyskerrosten paksuuteen ja ilmanvaihdon tehokkuuteen. Kiristynyt kilpailu lämmitysmarkkinoilla ja uudet maalämpö- ja erilaiset hybridijärjestelmät luovat epävarmuutta kaukolämpömarkkinoiden tulevaisuudelle (Pöyry 2011).

Uusien innovaatioiden tärkeys korostuu muuttuvassa markkinatilanteessa: kaukolämpöverkon tulee kehittyä kevyempään ja halvempaan suuntaan, samoin myös kuluttajalaitteiden, jotta kaukolämpö voisi jatkossakin kilpailla vaihtoehtoisten lämmitystapojen kanssa samaan aikaan kun rakennusten energiantarve vain vähenee. Tärkeänä uudistuksena nähdään asiakkaille suunnatut palvelumallit (Nieminen 2012). Kulutustietojen avulla kaukolämpöyhtiöillä on mahdollisuus tarjota asiakkailleen esimerkiksi verkkopohjaisia palveluja, kuten tilastotietoja omasta ja muiden vastaavien rakennusten kulutuksesta. Samalla energiayhtiö voi ohjeistaa asiakasta kulutuksen ja käyttökustannusten pienentämisessä.

2.2 Muuttuvat rakentamismääräykset

Suomen rakennusten energiatehokkuutta ohjaavat uudet rakentamismääräykset astuivat voimaan heinäkuussa 2012. Näissä rakennusten kokonaisenergiankulutusta tarkastellaan laskennallisella energialuvulla (E-luku), jonka avulla energiatehokkuus on jatkossa osoitettava. (Suomen RakMK D3 2012.)

Olennessa ympäristöissä käytössä olevia rakennuksia koskeva määräyksen muutos E-luvun lisäksi on rakennusten kokonaisenergiatarkastelu (Nieminen 2012). Vuoden 2012 rakentamismääräykset eivät vielä edellytä uusiutuvan energian käyttöosuutta sähköllä ja fossiililla polttoaineilla lämpenevissä kohteissa (Suomen RakMK D3 2012).

Uusien rakentamismääräysten E-lukuvaatimusten vuoksi on hyödynnettävä jo-ko energiatehokkaampia rakenteita tai matalamman energiamuotojen kertoimen lämmitysjärjestelmää, mikä saattaa kasvattaa rakennuskustannuksia, mutta toisaalta taas madaltaa lämmityskustannuksia. Määräykset eivät rajaa pois minkään lämmitysmuodon hyödyntämistä, mutta käytännössä keskikokoisen tai sitä suuremman pientalon lämmittäminen ei voi perustua vain sähkölämmitysjärjestelmään, mikäli käytetään minimivaatimukset täyttäviä rakenteita. (Koivu 2012.)

Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin (Energy Performance of the Buildings Directive, EPBD) määräysten mukaisesti uudisrakennusten tulee täyttää lähes nollaenergiatalojen vaatimukset vuoden 2021 alusta alkaen. Julkisten rakennusten kohdalla aikataulu on tiukempi eli määräykset astuvat voimaan jo vuonna 2019. Lähes nollaenergiatalo -määritelmä ei vielä ole täysin yksiselitteinen, eikä EPBD anna termille tarkkaa kuvausta. Energiatehokkuusdirektiivin mukaan lähes nollaenergiatalolla pyritään tarkoittamaan "kustannusoptimin" kautta saatavaa minimienergiataloa, jonka energiantarpeesta merkittävä osa katetaan rakennuksessa tai sen lähistöllä tuotetulla uusiutuvalla energialla. Tämä tarkoittaa kaukolämmön kohdalla sitä, että rakennuksessa tai sen lähistöllä tuotetuksi energiaksi luetaan uusiutuvaan energiaan perustuva kaukolämpö.

2.3 Elinkaarikustannuslaskenta

Lämmitysjärjestelmän elinkaarikustannukset ovat yksi olennaisimmista tekijöistä lämmitysjärjestelmää valittaessa: "Elinkaarilaskennalla pyritään ennakoimaan tietyn valitun, rakennettavan tai jo olemassa olevan lämmitysjärjestelmän elinkaa-ren aikana muodostuvia kustannuksia." Elinkaarikustannuslaskennan (Life Cycle Cost, LCC) avulla on mahdollista tarkastella investoinnin taloudellista kannattavuutta. Menetelmä kannustaa valitsemaan energiatehokkaita ja -taloudellisia ratkaisuja – mikä vaihtoehtoisista sijoituksista on pitkällä aikavälillä kannattavin. Käytännössä laskenta toteutetaan kahden tai useamman vaihtoehtoisen tuotejärjestelmän elinkaarikustannusten vertailuna. Investoinnin edullisuutta tarkasteltaessa oletetaan, että valittuna tarkasteluajanjaksona yrityksen toimintaympäristössä ei tapahdu sellaisia muutoksia, joita nykyhetkellä ei voitaisi tunnistaa ja ennustaa. (Pulakka 2007.)

Perinteiset investointilaskennan menetelmät toimivat elinkaarikustannuslaskelmien taustalla, mutta laskelmissa huomioidaan myös yksityiskohtaisempia tietoja, kuten laitteiden tai järjestelmien energiankulutus, huoltotarve, ikääntymisen vaikutus sekä muut elinkaa-ren aikana aiheutuvat kustannukset. Lisäerona investointilaskentaan on kannattavuusehto: LCC-laskennan tulos eli suositus on aina elinkaarikustannuksiltaan edullisin vaihtoehto. (Pulakka 2007.)

Järjestelmän elinkaarenaikaiset kustannukset muodostuvat investointi-, energia-, huolto- ja kunnossapitokustannuksista. Laskelmissa on lisäksi huomioitava jäänösarvokustannukset. Elinkaarikustannuksen teoriaa voidaan periaatteessa pitää yksinkertaisena "korkoa korolle" -laskuna. Menetelmä muuttuu hankalaksi siinä vaiheessa, kun teoria viedään käytäntöön.

$$LCC_{TOT} = K_i + K_e + K_h + K_k + K_j$$

missä:

LCC_{TOT} on kustannusten nykyarvo

K_i on investointikustannus

K_e on energiakustannusten nykyarvo (sähkö, lämpö, polttoaineet)

K_h on huoltokustannusten nykyarvo (säännölliset laitehuollot)

K_k on kunnossapitokustannusten nykyarvo (epäsäännölliset, laitteiden uusimiset)

K_j on jäännösarvokustannusten nykyarvo.

Elinkaarikustannuslaskenta tarkastelee rakennuksen koko elinkaarta aina valmistuksesta ja käytöstä poistamiseen asti. Pitkällä aikavälillä edullinenkin investointi voi osoittautua kannattamattomaksi, mikä saattaa johtua esimerkiksi energia-, huolto- ja kunnossapitokustannusten muutoksista. Lisäksi yhä vain kiristyvät rakentamismääräykset johtavat aiempaa matalampaan energiankulutukseen, eli rakentamisvaiheessa saattaa olla taloudellista kannattavaa investoida kalliimpaan ratkaisuun. (Pulakka 2007.) Tämä "lisäinvestointien" kannattavuus on mahdollista osoittaa tapauskohtaisilla elinkaaritaloudellisilla laskelmilla (Saari 2004).

2.4 Tutkitut energiatehokkaat pientalot

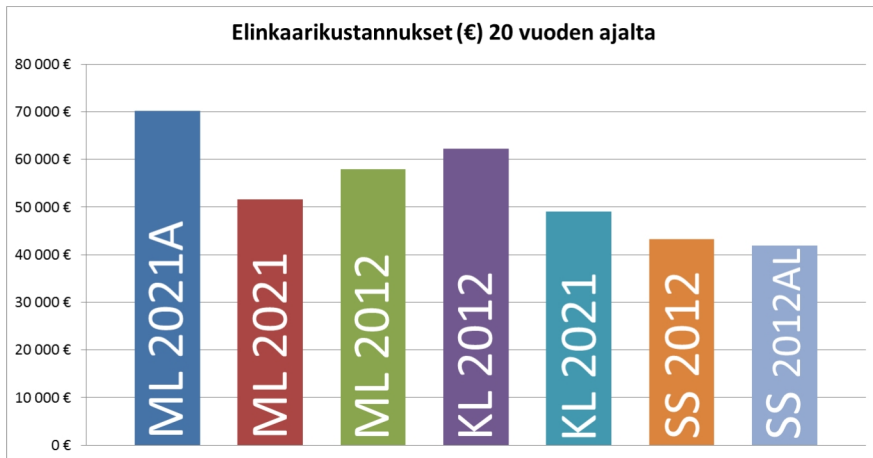
Kilpailukykyanalyyseissa tarkastellaan Hyvinkään vuoden 2013 asuntomessualueelle rakennettavien energiatehokkaiden rakennusten kaukolämpöratkaisujen kilpailukykyä vuosien 2012 ja 2021 energiatehokkuuden tasoilla verrattuna muihin lämmöntuottoratkaisuihin. Elinkaarikustannuslaskentaa (LCC) hyödynnetään kannattavuuden määrittämisessä.

Tarkastelukohteiden investointikulut muodostuvat eri tavoin, koska rakennukset ovat erilaisia ja erikokoisia; Hyvinkään uudiskohteiden kohdalla ei esimerkiksi ole tarvetta toteuttaa lämmönjakojärjestelmän vaihdoksesta aiheutuvia muutostöitä, joita ovat muun muassa sähköisten radiaattoreiden vaihtaminen vesikiertoisiksi ja lämmönjakohuoneen remontointi kaukolämmölle soveltuvaksi.

Hyvinkään asuntomessualueen omakotikohteiden kannattavuuteen vaikuttavat kululajit ja kustannukset on pyritty ennustamaan käyttäen hyväksi eri toimittajilta tiedusteltujen laitekokonaisuuksien hintoja, VTT:n asiantuntijalausuntoja, IDA-simulointeja, paikallisia vallitsevia hintatasoja ja kilpailukykyanalyyseissa selvinneitä lähtötietoja. Laskennan lähtöarvoina on käytetty tarkasteluhetken (1/2013) aikaisia talouslukuja.

Hyvinkään energiatehokkaassa pientalossa on kaukolämmön rinnalla tarkasteltu suoraa sähkölämmitystä ja maalämpöä sekä näiden yhdistelmiä pääpainon ollessa kuitenkin yksittäisten lämmöntuotantomuotojen tarkastelussa.

Elinkaarikustannuslaskennan lopputulokset on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. 20 vuoden elinkaarikustannusten nykyarvo.

Kuvan 1 liittyvät selitykset: ML = maalämpö, KL = kaukolämpö, SS = suorasähkö, 2012/2021 = vuosi, jonka rakentamismääräysten mukaisesti rakennus on suunniteltu. SS 2012 -kohde vastaa rakenteiltaan passiivitalon rakennusta, koska suorasähkörakennus on E-lukovelvoitteen vuoksi eristettävä paremmin, ts. rakenteet ovat verrattavissa KL 2021-, ML 2021- ja ML 2021A -kohteiden kanssa. Jäännösarvo on huomioitu ML 2021-, ML 2021A-, KL 2021-, SS 2012- ja SS2012AL-kohteissa, joissa on seinärakenteista jouduttu tekemään muita kohteista paksummat; jäännösarvo on tällöin lisäeristämisen kustannukset.

Kannattavin vaihtoehto 20 vuoden tarkasteluajalla ja kilpailukykyanalyyysin lähtöarvoilla on SS 2012AL (noin 42 000 euroa). Tämä perustuu rakennuksen vähäiseen energiankulutukseen, koska E-luku velvoittaa rakentamaan suorasähkölämmitteisen rakennuksen lähes passiivitalon rakenteilla, jolloin energiankulutus on matala. Toisena syynä on sähköjärjestelmän investointikustannusten pienuus suhteessa vertailukohteisiin. Lämpimän veden valmistuksessa on lisäksi hyödynnetty aurinkolämpöä, jolla on mahdollista kattaa noin puolet lämpimän veden lämmittämiseen kuluvasta energiasta.

Suorasähkölämmitteinen talo (SS 2012), jossa ei ole hyödynnetty aurinkolämpöä, on elinkaarikustannuksiltaan vain marginaalisesti SS 2012AL -kohdetta arvokkaampi. Elinkaarikustannustarkastelussa ei kuitenkaan ole huomioitu työ- ja asennuskustannuksia, jotka ovat aurinkolämpöä hyödyntävässä kohteessa korkeammat muun muassa aurinkopaneelijärjestelmän asentamisen vuoksi.

Kolmanneksi kannattavimman (noin 49 000 euroa) KL 2021 -vaihtoehdon rakenteet ovat yhtenevät SS 2012 ja SS 2012AL -kohteiden kanssa – vain lämmitystapa poikkeaa. Lopputulosten noin 7 000 euron ero on osittain selitettävissä inves-

tointikustannusten suuruuserolla, joka on noin 8 500 euroa. Investointikustannusero muodostuu laitehankinnoista ja liittymismaksuista.

ML 2012- ja KL 2012 -vertailukohteiden rakennuksissa on käytetty samanlaisia rakenteita. Vaikka maalämpökohteen investointikustannukset ovat noin 10 000 euroa kaukolämpöratkaisua suuremmat, ovat 50 ML 2012 -ratkaisun elinkaarikustannukset 20 vuoden tarkasteluaikana noin 4 000 euroa halvemmat. Tuloksissa korostuu maalämmön edullisuus vuoden 2012 rakennusstandardit täyttävissä rakennuksissa, joissa energiankulutus passiivitaloihin nähden on noin puolet enemmän. Maalämpöä voidaan täten pitää uusissa, vuoden 2012 rakentamismääräysten täyttävissä rakennuksissa merkittävänä kaukolämmön kilpailijana. Merkitys korostuu entisestään energiahintojen mahdollisen nousun yhteydessä, koska maalämpökohteissa on mahdollista tuottaa noin 2/3 lämmitysenergian tarpeesta ilman kustannuksia.

Kilpailukykyanalyysin taustalla oleva todellinen maalämpökohde (ML 2021A), jossa on hyödynnetty passiivitalon rakenteita ja aurinkolämpöä ja -sähköä, on elinkaarikustannuksiltaan kallein (noin 70 000 euroa).

Aurinkopaneelijärjestelmät kehittyvät jatkuvasti tehokkaammiksi ja hinnat laskevat. Aurinkopaneelien hinnanlaskun tulee kuitenkin olla voimakasta (noin -20 %) ja muiden tekniikoiden hintojen pysyä samana, jotta ML 2021A -tarkastelukohde olisi elinkaarikustannuksiltaan kilpailukykyinen suhteessa muihin vertailukohteisiin. Investointikustannusten madaltuminen kuitenkin parantaa ML 2021A -tarkastelukohteen kilpailukykyä tehden KL 2012 -kohteesta elinkaarikustannuksiltaan kannattamattomimman. Kaukolämmön ja aurinkoenergian yhtäaikaista hyödyntäminen saattaa olla perusteltua kohteissa, jotka kuluttavat enemmän.

2.5 Yhteenveto

Nykyiset kaukolämpöratkaisut perustuvat pientalojen lämmönkulutusta suurempaan kulutukseen, ja tämä tulee vielä korostumaan entisestään rakennusten energiatehokkuuden parantuessa. Kaukolämmön kilpailuedun säilyttämisen vuoksi on tulevaisuuden investointien oltava halvempia. Vaihtoehtona on kehittää kevyempiä ja halvempia ratkaisuja niin kaukolämpöverkon kuin kuluttajalaitteiden puolella.

Aurinkoenergia tulee todennäköisesti olemaan merkittävä kilpailija tulevaisuuden energiantuottomarkkinoilla – etenkin, jos kilpailevien energiatuottotapojen hinnat kohoavat, aurinkojärjestelmien hinnat laskevat ja lämmöntuotto-ominaisuudet paranevat. Toistaiseksi aurinkosähkön ja -lämmön ongelmana on tuoton ja kulutuksen eriaikaisuus ja siitä aiheutuva energianvarastointitarve, joka kaipaakin vielä uusia ja tehokkaita ratkaisuja etenkin aurinkoenergian kausivarastointiin. Aurinkoenergian avulla on mahdollisuus kattaa huomattavaa osaa lämpimän käyttöveden lämmöntarpeesta. Aurinkolämpöjärjestelmä yhdistettynä pienen investointikustannuksen suoräsähkölämmitykseen on haasteellinen kilpailija tulevaisuuden pientaloissa, jotka kuluttavat vain vähän energiaa. Erilaiset integroidut lämmitysjärjestelmät nähdään merkittävänä kilpailijoina kaukolämmölle.

Tutkimusten lähtöarvoilla elinkaarikustannuksiltaan kannattavimmaksi lämmitysratkaisuksi tarkastelukohteen pientaloon osoittautui suora sähkölämmitys, jossa on lämpimän veden tuotannossa hyödynnetty aurinkolämpöä (SS 2012AL). Kannattavuus perustuu rakennuksen vähäiseen energiankulutukseen, koska E-luku velvoittaa rakentamaan suorasähkölämmitteisen rakennuksen lähes passiivitalon rakenteilla, jolloin energian kulutus on matala. Toisena syynä on sähköjärjestelmän investointikustannusten pienuus suhteessa vertailukohteisiin. Suora sähkölämmitys yhdistettynä aurinkolämpökeräimiin tekee SS 2012AL -tarkastelukohteesta yhä kannattavamman vain vähän energiaa kuluttavissa pienrakennuksissa.

Tuloksia tarkasteltaessa on huomioitava, että LCC-laskennan tarkkuus on riippuvainen muun muassa lähtöarvojen tarkkuudesta sekä oletusten ja ennusteiden toteutumisesta. Pulakka et al. (2009) ovat arvioineet, että esimerkiksi 15 vuoden elinkaarella tarkkuustaso on $\pm 10\%$ ja 25–30 vuoden $\pm 25\%$. Tulosten tarkkuuteen vaikuttavat lisäksi käyttäjän toiminnan jatkuvuus, energiakustannusten kehittyminen, huolto- ja kunnossapitokustannusten reaalin kehitys, käyttäjän toiminnan vaikutukset sekä ennakoimattomat, vaurioista aiheutuneet kunnossapitotarpeet.

Kansallinen ”lähes nollaenergia” -määritelmä oli tutkimuksen tekohetkenä vielä tuntematon. Tämä saattaa vaikuttaa erityisesti suoran sähkölämmityksen johtopäätöksiin. Tehdyissä tarkasteluissa suoran sähkölämmityksen elinkaarikustannukset ovat edullisimmat, koska omaa uusiautuvan energian tuottoa (esim. aurinko) ei ollut ratkaisussa mukana. Elinkaarikustannukset kasvavat, jos kansallinen ”lähes nollaenergia” -määritelmä tuo vaatimuksen merkittävästä uusiutuvan energian tuottamisesta suoran sähkölämmityksen tapauksessa.

3. Elinkaariarvio (LCA) pientalojen ja pientaloalueiden kaukolämpöratkaisuille

3.1 Tausta ja tavoitteet

Elinkaariarvio (LCA) on menetelmä, jolla arvioidaan tuotteen tai toiminnan vaikutuksia ympäristöön koko sen elinkaaren ajalta alkaen raaka-aineiden hankinnasta, kuljetuksista, valmistuksista, asennuksista ja huolloista tuotteen loppusijoituksen saakka.

CEN 350 -työryhmän laatiman EN 15978 -standardin mukaan rakennuksen elinkaaren ympäristövaikutusten laskenta, ns. "kehdosta hautaan", voidaan jakaa neljään elinkaaren päävaiheeseen sekä tuoterajauksen ulkopuolisiin hyötyihin ja ympäristökuormiin:

- Tuotevaihe (Product stage): tunnettu myös nimellä "kehdosta tehtaan portille vaihe" (cradle to gate), sisältää rakennustuotteiden raaka-aineiden hankinnat, kuljetukset sekä tuotteen tuotannon
- Rakentamisprosessivaihe (Construction process stage): sisältää rakennusmateriaalien kuljetukset rakennustyömaalle, rakentamisen sekä tuotteiden asentamisen
- Käyttövaihe (Use stage): sisältää kunnossapidon, hoidon, korjauksen, uusimisen ja niihin liittyvät materiaalien kuljetukset sekä energian sekä vedenkulutuksen
- Elinkaaren päättymisvaihe (end-of-life stage) – sisältää purkuvaiheen, purkumateriaalien kuljetuksen, jätteen käsittelyn sekä hävittämisen
- Tuoterajauksen ulkopuolelle jäävä vaihe (Supplementary information beyond the building life cycle): sisältää tuotteen uudelleenkäytön ja kierrätyksen vaikutuksen.

Ympäristövaikutuksia kuvaavat parametrit ovat:

- potentiaalinen vaikutus ilmaston lämpenemiseen (GWP)
- potentiaalinen vaikutus otsonikatoon (ODP)
- potentiaalinen vaikutus happamoitumiseen (AP)

- fotokemiallisen oksidanttien muodostumisen vaikutus (POCP)
- potentiaalinen vaikutus rehevöitymiseen (EP).

Tässä selvityksessä keskitytään vain kasvihuonekaasujen tarkasteluun, joilla on potentiaalista vaikutusta ilmastoon lämpenemiseen (GWP). Tärkeämmät rakennus-alalla energian käytöstä ja tuotteiden valmistuksesta syntyvät kasvihuonekaasut ovat hiilidioksidi (CO_2), metaani (CH_4) ja typpioksiduuli (N_2O).

Ilmastoon lämpenemisen vaikutuksen laskemiseksi kasvihuonekaasupäästöt painotetaan vaikutuskertoimensa mukaan ja tulos ilmoitetaan CO_2 -ekvivalenttipäästöinä (CO_{2e}). Tulos lasketaan seuraavaan kaavan avulla (sisältäen tässä vain tärkeämmät kasvihuonekaasut):

$$\text{CO}_{2e} = 1 \times \text{CO}_2 + 25 \times \text{CH}_4 + 298 \times \text{N}_2\text{O}$$

Edellä mainittujen ilmapäästöjen lisäksi kasvihuonekaasuja ovat myös bromiyhdisteet, kloorifluoratut hiilivedyt sekä fluoriyhdisteet, joiden ilmastoon muutosvaikutus on monituhatkertainen hiilidioksidin verrattuna. Niitä kemikaaleja saatetaan käyttää kylmäaineissa mutta kehityssuunta on, että paljon ympäristöä kuormittavista ollaan luopumassa.

Ilmastoon muutosvaikutuksen ohella tunnetaan myös termi hiilijalanjälki. Tuotteen, toiminnan tai rakennuksen hiilijalanjälki ilmoittaa, kuinka paljon kasvihuonekaasuja (kg) tuotteen elinkaaren aikana on syntynyt (kg CO_{2e}).

Projektin yhtenä tavoitteena oli tapaustutkimuksen avulla selvittää pientalojen kaukolämpöratkaisujen hiilijalanjälkipäästöt eri energiatehokkuustasoilla sekä jätteellä tuotetun lämmön hyödyntämisen elinkaari-vaikutukset kaukolämmön päästöihin.

Tarkastus tehtiin selvittämällä ensin kaukolämmön tuotannon hiilijalanjälkipäästöihin vaikuttavat tekijät, kuten polttoaineitten laatu, erillistuotanto, yhteistuotanto ja päästöjen jakomenetelmä (sähkön ja lämmön välillä), jätteellä tuotetun energian potentiaali, jätteellä tuotetun lämmön tehokkuus ja kaukolämmöntuotannon kehitysnäkymät.

Tapaustutkimukseen valittiin Hyvinkään asuntomessujen (2013) pientalon "Blok" suunnitteluratkaisu, jota modifioitiin vastamaan nykymääräyksiä täyttäväksi ratkaisuksi tai energiatehokkaaksi ratkaisuksi (toteutettiin energiatehokkaana ratkaisuna). Taloa oletettiin lämmitettävän kaukolämmöllä, vertailuna käytettiin suoraa sähkölämmitystä, maalämpöä, sekä aurinkolämpöä.

Lopputulos esitettiin mallinnetulle pientaloalueelle, jossa oletuksena oli että kaikki liittyvät paikalliseen kaukolämpöverkkoon. Sitä varten mallinnettiin paikallinen kaukolämmöntuotanto, joka Hyvinkäällä edusti erillistuotantoa maakaasulla sekä jätteellä tuotettua lämpöä.

3.2 Kaukolämmöntuotanto ja päästöt

Kaukolämmöntuotannon ilmastomuutosvaikutus riippuu kaukolämmön tuotantotavasta sekä kaukolämmityksessä käytettyjen polttoaineiden laadusta, polttoaineiden hankinnan sekä polton päästöistä.

3.2.1 Polttoaineiden päästöt

Polttoaineiden käytön elinkaarivaikutuksista (LCA) suurin osa päästöistä syntyy itse polttoprosessissa. Polttoaineiden hankinnan vaikutus jää pienehköksi. Taulukko 1 esittää polttoaineiden hankinnan ja polton CO_{2e}-päästökertoimet, jotka perustuvat hankinnan osalta kansanväliseen keskiarvoon (ELCD-tietokantaan) sekä Tilastokeskuksen (2013) ilmoittamiin lukuihin. Tilastokeskuksen ilmoittamia polttoainekohtaisia CO₂-oletuspäästökertoimia ja lämpöarvoja on käytetty tässä, sillä ne ovat muutenkin käytössä Suomessa:

- kasvihuonekaasujen inventaarion laadinnassa
- energiakyselyissä
- päästökauppaan liittyvässä päästöjen tarkkailussa
- uusiutuvilla energialähteillä tuotetun, tuotantotukeen oikeuttavan sähkön seurannassa.

Taulukko 1. Polttoaineiden hankinnan ja polton fossiiliperusteiset ominaispäästöt.

Polttoaine	Hankinnan CO _{2e} ¹ g/MJ (g/kWh)	Polton CO ₂ ² g/MJ (g/kWh)	Yhteensä CO _{2e} g/MJ (g/kWh)
Öljy, raskas	8,6 (31,0)	78,8 (284)	87,4 (315)
Öljy, kevyt	10,7 (39,0)	72,5 (261)	83,2 (300)
Kivihiili	11,3 (40,6)	93,3 (336)	105,9 (377)
Maakaasu	9,6 (34,6)	55 (198)	65,6 (233)
Turve	4 (14,4)	106 (382)	110 (396)
Puu	1,5 (5,2)	1,9 ³ (6,8)	3,4 (12)
Yhdyskuntajäte	riippuu aluekeräys-järjestelmästä	40 (144)	

¹ ELCD data – European reference Life-Cycle Database – <http://eplca.jrc.ec.europa.eu/ELCD3/index.xhtml>.

² Tilastokeskus. Polttoaineluokitus 2013. Päiväty 1.1.2013.

³ IPCC 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 2. Energy. 2006. Chapter 2 Stationary combustion – Table 2.2 Default emission factors for stationary combustion in the energy industries.

Polttoaineista ympäristöystävällisin hiilijalanjäljen suhteen (CO_{2e}) on uusiutuvien, puupohjaisten polttoaineiden käyttö. Oletuksena on, että poltosta vapautuvien CO_2 -päästöjen määrä on yhtä suuri kuin puun kasvuun tarvitsema CO_2 -määrä. Näin olleen puupohjaisen polttoaineen polton CO_2 -päästö on ± 0 . Polttoprosessissa syntyy kuitenkin myös muita kasvihuonekaasupäästöjä, kuten CH_4 ja N_2O . Ottamalla myös nämä laskennassa huomioon saadaan puunpolton CO_{2e} -vaikutukseksi noin 7 g/kWh ja kokonaisvaikutukseksi hankinnan kanssa 12 g/kWh. Fossiilisista polttoaineista ympäristöystävällisin hiilijalanjäljen (CO_{2e}) suhteen on maakaasu (Taulukko 1).

Kaukolämmöntuotannon hiilijalanjäljen pienentämiseksi kaukolämmön tuottajat ovat kasvattaneet uusiutuvien polttoaineiden määrää vuodesta 1990 merkittävästi. Jotkut yksittäiset tuottajat tuottavat lämpöä kokonaan uusiutuvilla energialähteillä.

3.2.2 Kaukolämmön yhteistuotanto (CHP-laitokset) ja päästöjen kohdentaminen

Elinkaariperiaatteen mukaan myös kaukolämmöntuotannon hiilijalanjälkilaskennassa täytyy ottaa huomioon käytettyjen polttoaineiden polton sekä hankinnan ominaispäästöt (CO_2 , CH_4 ja N_2O), mutta myös tuotannon hyötysuhde.

Kaukolämmön tuotannosta noin 70 % tuotetaan sähkön ja lämmön yhteistuotannolla (CHP). Kun tuotantoprosessin tuloksena syntyy kaksi päätuotetta (sähkö ja lämpö), polttoaineiden ja päästöjen jaossa joudutaan käyttämään kohdentamismenetelmää. Päästöjen kohdentamismenetelmiä on useita ja niitä on esitetty useassa julkaisussa (Liikanen, 1999, Häkkinen et al. 2012, Pasanen et al. 2013). Kohdentamisperusteena voi esimerkiksi olla:

- tuotteiden energiasisältö tai hinta
- tuotettu energia
- vaihtoehtoista tuotantoa vastaava polttoaineiden kulutus.

Ennen kohdentamismenetelmän käyttöä täytyy selvittää, tuotetaanko yhteistuotantolaitoksissa lauhdesähköä silloin kun lämpökuorma on alhainen. Näissä tapauksissa kyseinen lauhdesähkön tuotanto ja sitä vastaavat polttoaineet sekä vastaavasti erillinen lämmöntuotanto ja polttoaineet erotetaan ennen valittua jakomenetelmän käyttöä yhteistuotannolle.

Tunnetaan ns. suoria päästöjä kuvaavia menetelmiä (ns. attributional approach) sekä seurannaisvaikutuksia kuvaavia menetelmiä (ns. consequential approach).

Kaksi tunnetuinta suoria päästöjä kuvaava menetelmää ovat energiamenetelmä sekä hyödynjakomenetelmä. Molemmat ovat käytössä Tilastokeskuksen energiatilastoinnissa.

- Energiamenetelmällä polttoaineet ja päästöt jaetaan tuotettujen energioitten suhteessa, mikä tarkoittaa sitä, että molemmille tuotteille päästöt kohdentuvat kokonaishyötysuhteen mukaan. Toisaalta pelkästään lämpöä tuottavien laitosten hyötysuhde on tyypillisesti vähän parempi kuin yhteis-

tuotannossa tuotettu ja näin olleen lämpö saa tätä menetelmää käyttäen ylimääräisiä päästöjä erillistuotannon nähden.

- Hyödynjakomenetelmällä polttoaineet ja päästöt jaetaan vaihtoehtoisen tuotannon mukaan. Vaihtoehtoisena tuotantona sähkölle käytetään lauhdetuotantoa ja lämmölle vesikattilalämpöä. Tätä menetelmää käyttäen yhteistuotannon hyöty jakautuu molemmille tuotteille ja molemmat tuotteet saavat paremman hyötysuhteen erillistuotantoon nähden. Tämä on oikeutetumpi menetelmä kaukolämmön osalta.

Lisäksi edellisille kohdentamismenetelmille voidaan käyttää myös skenaarioperusteisia menetelmiä, jotka ottavat huomioon yhteistuotannon seurannaisvaikutukset vältettyinä päästöinä. Menetelmät yrittävät ottaa huomioon yhteistuotannolla korvattavat sähkön- ja lämmöntuotantomuodot vähentämällä aiheutuneista päästöistä ns. vältetyt päästöt (korvattavalla energiamuodolla tuotetut päästöt).

Esimerkkinä on Ilmastopaneelin käyttämä menetelmä (ns. consequential approach), jossa perusteena käytetään sähkön marginaalituotantomuotoa, joka määritetään kullekin ajanjaksolle tarkastelemalla sähköpörssin hintaa. Vältetyt päästöt lasketaan sähkön marginaalituotannon korvaamisen perusteella, ja tämä menetelmä kuvaa muutosta energiamarkkinoilla. Marginaaliperusteinen tuotanto vaihtelee vuodenaikojen sekä tuotantovuosien mukaan. Aluekohtaisesti tarkasteluna marginaaliperusteinen tuotantomenetelmä riippuu tarkasteltavasta aluerajauksesta.

Taulukko 2. Suoran päästömenetelmän (hyödynjakomenetelmä) sekä seurannaismenetelmän (Ilmastopaneeli) vertailu.

	Hyödynjakomenetelmä	Ilmastopaneelin menetelmä
Menetelmän periaate	Kuvaa suoria päästöjä (ns. attributional approach)	Kuvaa seurannaisvaikutuksia, Voidaan käyttää ennustamiseen, mitä jos? (ns. consequential approach)
Päästöjen kohdentaminen	Päästöt kohdennetaan sähkölle ja lämmölle vaihtoehtoisen tuotantotavan mukaan	Lämmityspäästöt lasketaan ottamalla huomioon sähkön markkinahinnat – CHP:n tuotannon päästöistä vähennetään muuten marginaalisähköllä tuotetun sähkön päästöt ns. "vältetyt päästöt"
Hyöty	Yhteistuotannon hyöty jakaantuu molemmille tuotteille, molemmat saavat paremman hyötysuhteen erillistuotantoon nähden	Riippuu sähkön markkinahinnoista
Ennustettavuus	Ei sisällä ennustettavuutta, esittää vain laitoksen suorat päästöt	Pitkän aikavälin ennustettavuus heikko, suuret vaihtelut vuosien välillä mahdollisia, joten voi johtaa eri vuosina eri päätöksiin
Menetelmän käyttö	Käytetään tilastoinnissa, sekä laitostoiminnan seurannassa	Ilmastopaneelin ehdottama lämmitysmarkkinoiden huomioon ottamiseksi
Ilmastopaneelimenetelmän ESIMERKKI, CO ₂ e:n suhteellinen osuus hyödynjakomenetelmän nähden ⁴		
KL Helen, 2012	Suorat päästöt = 100 %	Suorat päästöt – vältetyt päästöt = noin 50 % suorista päästöistä.
Fortum, Keski-Uusimaan KL 2013	Suorat päästöt = 100 %	Suorat päästöt – vältetyt päästöt = noin -300 % suorista päästöistä. Fortumin Keski-Uusimaan kaukolämpöverkko on samaa kuin Tuusulan ja Järvenpään verkko, mutta siihen on rakennettu Biopohjainen CHP-laitos.
Fortum, Tuusulan ja Järvenpään KL, 2012	Suorat päästöt = 100 %	Suorat päästöt – vältetyt päästöt = 100 %, tarkoittaa että vältettyjä päästöjä ei ole

⁴ Bionova consulting. Kaukolämmön CO₂-päästöjen laskentamenetelmät päätöksenteon työkaluina, 29.08.2013.

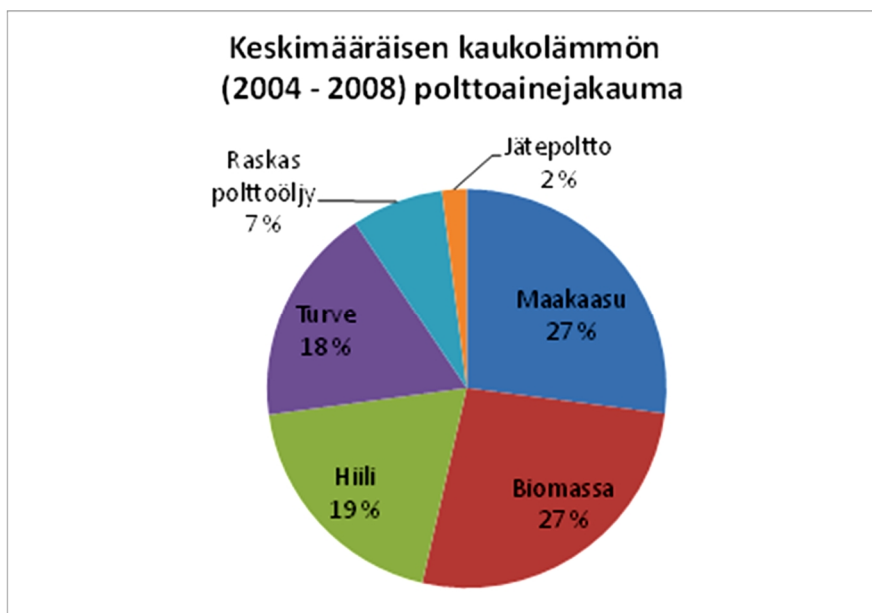
3.2.3 Keskimääräinen kaukolämpö

Kaukolämmöntuotannossa käytettiin eniten puupohjaista polttoainetta sekä maakaasua ja hiiltä. Kuitenkin lämmöntuotannon polttoaineiden jakauma vuositason riippuu paljon lämmitystarpeesta, lämmityskauden pituudesta, polttoaineiden hinnasta sekä muista tekijöistä.

Energiatuotannossa käytettyjen polttoainejakaumien vaihtelujen minimoimiseksi lämmön- sekä sähköntuotannon ympäristövaikutukset mallinnettiin:

- viiden vuoden valmistuksen keskiarvona (2004–2008),
- laskennassa käytettiin VTT:n SulCa laskentaohjelma (entinen KCL-ECO).
- CHP-laitoksien osalta sähkön ja lämmöntuotannon päästöjen kohdentamisen menetelmänä käytettiin hyödynjakomenetelmää.

Viiden vuoden kaukolämmöntuotannon polttoainejakauma on esitetty kuvassa alla, Kuva 2, ja sähkön ja lämmöntuotannon hiilijalanjälki on esitetty taulukossa, Taulukko 3.



Kuva 2. Keskimääräisen kaukolämpöenergian polttoainejakauma.

Taulukko 3. Sähkön ja lämmöntuotannon kasvihuonekaasut sekä hiilijalanjälkivaikutukset Suomessa, viiden vuoden keskiarvo (2004–2008) (CHP-laitoksien osalta käytetty hyödynjakomenetelmää). Tulos sisältää myös sähkön nettotuonnin.

	Sähkön tuotanto sekä netto- hankinta ulkomailta	Kaukolämmön tuotanto
	kg / MWh	kg / MWh
CO ₂ , fossiilinen	309	236
CO ₂ , biopohjainen	121	134
CH ₄	0,82	0,364
N ₂ O	0,000654	0,000397
CO ₂ e	330	245

Rakennuksien elinkaariarvioissa käytetään usein keskimääräisiä sähkön ja lämmöntuotannon ympäristövaikutuksia. Kuitenkin lämmön osalta voidaan todeta, että vaihtelut lämmöntuotantotavoissa aiheuttavat isoja vaihteluja myös CO₂-päästöissä. Näin olleen suositus on, että rakennuksien arvioissa käytettäisiin aina mahdollisuuksien mukaan paikallisten lämmöntuottajien ilmoittamia päästötietoja.

Laajempien päästöarvioiden laatimisessa päätetään laskennan yksinkertaistuksista aina tapauskohtaisesti. Laskennan kohdentaminen, rajausta sekä tavoitteet määrittävät myös tarvittavan tarkkuustason arviossa. Myös LCA-menetelmä (ISO 14040) painottaa tavoitteen asentamisen merkitystä (Goal and scope) lopputulokseen.

3.3 Jätteenpolttoon perustuva energiatuotanto

3.3.1 Yhdyskuntajätteiden kertymät ja hyödyntäminen

Yhdyskuntajätteitä syntyi Suomessa vuonna 2011 noin 2,7 miljoona tonnia. Yhdyskuntajätteestä on Tilastokeskuksen mukaan 44 % erilliskerättyä jätettä (jätepaperi, kartonki, biojäte ja lasijäte) ja 56 % sekajätettä. Yhdyskuntajätteitä kierrätettiin materiaalina noin 1 miljoona tonnia, kaatopaikalle sijoitettiin noin 1,1 milj. tonnia ja loput höydynnettiin energiana joko jätevoimaloissa tai energiapolttoaineena. Jätevoimalaitoksissa hyödynnettiin 382 000 tonnia yhdyskuntajätettä (2011).

Suomalaiset tuottivat keskimäärin yhdyskuntajätettä 505 kiloa asukasta kohden, josta kotitalouksien osuus oli 60 % (Tilastokeskus. Ympäristövuositilasto. Vuosikirja 2013).

EU:n jätestrategiassa on määritelty jätehuollon tavoitteiden tärkeysjärjestys. Ensisijainen tavoite on vähentää jätteen määrää. Jos tämä ei onnistu, täytyy valmistella jäte uudelleenkäyttöön tai kierrätykseen ja jos jätettä ei pystytä hyödyntämään materiaalina, se tulisi hyödyntää energiana. Viimeisenä vaihtoehtona on jätteen turvallinen sijoitus kaatopaikalle.

Jätteiden määrän vähentäminen on seuraavien lakien ja asetusten piirissä:

- Yhdyskuntajätteen erilliskeräyksen ja kierrätyksen tavoitteena on (Jäte VNA 14§), että vuoden 2016 menneessä (1.1.2016) vähintään 50 paino-% yhdyskuntajätteestä kierrätetään tai käsitellään biologisesti (tavoite sitoo Suomea EU:n jäsenvaltiona).
- Rakennus- ja purkujätteen vähentämistavoitteena on että vähintään 70 paino-% hyödynnetään materiaalina viimeistään 2020 (1.1.2020) (jäteasetus).
- Biohajoavan ja muun orgaanisen jätteen kaatopaikkakielto astuu voimaan vuonna 2016 (Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista 331/2013, voimassa 1.6.2013).
- Rakennus- ja purkujätteen lajittelussa syntyvälle jätteelle on asetettu raja-arvo 10 % vuonna 2020 (1.1.2020 lähtien), ja raja-arvo 15 % vuodesta 2016 vuoden 2020 saakka.

Lisäksi edellisille säädöksille EU:n jätedirektiivissä (2008/98/EY) säädetään arviointiperusteista, joiden mukaan voidaan päättää, milloin tietty jäte lakkaa olemasta jätettä.

Direktiivin mukainen ensimmäinen neuvoston asetus (333/2011) rauta-, teräs- ja alumiiniromun ns. end-of-waste-kriteereistä (EoW-kriteereistä) hyväksyttiin 31.3.2011 (Neuvoston asetus arviointiperusteista sen määrittämiseksi, milloin tiettyntyyppiset romumetallit lakkaavat olemasta jätettä Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2008/98/EY nojalla). Asetus on kaikilta osin velvoittava, ja sitä sovelletaan sellaisenaan kaikissa jäsenvaltioissa 9.10.2011 alkaen. Arviointiperusteista ei siten tulla säätämään erikseen kansallisessa lainsäädännössä.

EoW-kriteereitä on valmisteltu komission johdolla myös kuparille, paperille, lasille ja kompostituotteille. Myös kierrätykseen päätyvän muovin EoW-kriteereiden valmistelu on käynnistymässä.

Jätelainsäädännön primääritavoitteena on vähentää jätteiden määrää. Tavoitteena on, että kaatopaikat kielletään, uudelleenkäyttö ja kierrätys olisivat mahdollisuuksien mukaan maksimissa, kierrätys energiana olisi käytössä vain niille materiaaleille joitten materiaaliikohtainen uudelleenkäyttö ja kierrätys eivät ole mahdollista.

3.3.2 Jätteenpoltosta energiaa

Jätteiden poltolle sopivia polttotekniikoita ovat arinapoltto, leijupeti (rinnakkaispoltto lämpölaitoksissa) sekä kaasutus (toistaiseksi Suomessa vasta yksi laitos: Lahti Energia). Laitoskohtainen energiahyöty riippuu kattilan hyötysuhteesta, laitosprosessin ja esikäsittelyn energiankäytöstä sekä muista häviöistä. Lisäksi sähkön ja lämmön yhteistuotannolla voidaan kasvattaa jätteestä saatavaa energiaa. Lämmön/sähkön saanto vaihtelee polttotekniikan mukaan, kuitenkin kokonaishyötysuhde on noin 85 %.

Lämpö

Suomen kaukolämmöntuotanto vuonna 2012 oli 36,7 TWh ja siitä 1,5 % (0,534 TWh) tuotettiin sekajätettä polttamalla. Jätelaitosyhdistyksen arvion mukaan vuonna 2016 pystytään sekajätteestä tuottamaan lämpöä jo 2,038 TWh. Kun oletetaan, että kaukolämmön vuosituotanto pysyy samana, vuonna 2016 jo 5,5 % Suomen kaukolämmöstä tuotetaan sekajätteellä.

Korvattavia lämpömääriä ja vähentyneitä kasvihuonekaasupäästöjä on kuitenkin vaikeata arvioida. Jätevoimaloitteen vaikutukset CHP-laitoksien toimintaan ovat myös epävarmat. Kun jätevoimala korvaa erillisissä lämpökeskuksissa tuotettua lämpöä, silloin menetetty sähköteho ei aiheuta ympäristövaikutuksia.

Sähkö

Suomen sähköntuotanto energiateollisuuden mukaan vuonna 2012 on ollut 67,7 TWh, siitä 178 GWh tuotettiin sekajätteellä, joka on 0,2 % koko sähköntuotannosta. Jos vuonna 2016 sekajätteellä tuotettaisiin 676 GWh sähköä ja kokonaissähköntuotanto pysyisi samana, silloin jo 0,9 % sähköstä tuotettaisiin sekajätteellä ja näin välttyttäisiin 0,9 %:n osalta fossiilisten polttoaineiden, erityisesti kivihiilen, käytöstä ja päästöistä.

Jätteestä voidaan tehdä myös polttoaineita

Jätteiden suoran polton sijaan biokaasuteknologia on yleistynyt uusiutuvan energian tuottamisessa ja jätteiden ravinteiden kierrätyksessä. Biokaasutuotannon raaka-aineiksi soveltuvat: (erikseen tai yhdessä) myös yhdyskuntien biojätteet, puhdistamolietteet, lannat, leväbiomassa, kasvit ja teollisuuden jätevedet.

Biokaasun tuotanto jättepohjaisista materiaaleista menestyy hyvin erilaisissa biopolttoaineiden elinkaaritarkasteluissa. Tämä täyttää EU:n biopolttoaineiden kestävyyskriteerit kasvihuonekaasujen 60 %:n päästövähennästä (CO₂-päästö-vapaa).

Erään laskelman mukaan 860 000 tonnista yhdyskuntajätettä voidaan valmistaa biokaasua noin 0,9–1,3 TWh. Biokaasun tuotanto Suomessa vuonna 2011 oli noin 0,75 TWh, josta suurin osa, 100 milj. m³, syntyi kaatopaikkatuotannosta (Luoma, 2012).

3.3.3 Jätteenkäsittelyn ja polton ympäristövaikutukset

Jätteen keräyksestä, kuljetuksesta ja käsittelytavasta syntyy ympäristövaikutuksia. Toisaalta, jätteestä syntyvän energian tai polttoaineen hyötykäytöllä voidaan vähentää muuten käytettyjä fossiilisia polttoaineita ja niistä aiheutuvia päästöjä. Lisäksi jätteen hyötykäytöllä vältetään muuten kaatopaikalle joutuvan jätteen kaatopaikkakaasulta, erityisesti metaanipäästöiltä, jotka ovat kasvihuonevaikutuksiltaan 25 kertaa voimakkaampia kuin hiilidioksidi.

Tilastokeskuksen mukaan lajittelemattoman yhdyskuntajätteen polton CO₂-päästö on 40 g/MJ (Tilastokeskus. Polttoaineluokitus 2013). Tämä pitää sisällä

oletuksen, että lajittelematon yhdyskuntajäte sisältää 50 % biopohjaisia materiaaleja, joitten polton CO₂-päästön lasketaan olevan nolla.

IPCC:n mukaan yhdyskuntajätteen polton päästöt ovat samaa suurusluokkaa. IPCC:n mukaan (IPCC 2006) sellaisen yhdyskuntajätteen, joka ei sisältää biopohjaista ainetta, CO₂-päästö on 91,7 g/MJ (jos yhdyskuntajätteessä on 50 % biopohjaista jätettä, silloin päästö olisi $91,7/2 = 45,9$ g/MJ). IPCC esittää myös yhdyskuntajätteen polton päästön vaihteluvälin, joka on 73,3–121 g/MJ.

Jätteen prosessoinnin mukaan tämä joko luokitellaan uusiutuvaksi polttoaineeksi tai sitten ei.

- Kun sekajätteestä tuotetaan biokaasua, silloin kaasun käyttö perustuu sataprosenttiseen biopohjaiseen, uusiutuvaan raaka-aineeseen.
- Kun sekajätteestä tehdään kierrätyspolttoainetta, oletuksena on, että siitä 60 % on biopohjaista alkuperää.
- Kun sekajäte poltetaan sellaisenaan, oletuksena on, että 50 % on biopohjaista alkuperää.

Tilastokeskuksen polttoaineluokituksen mukaan (Tilastokeskus 2013) yhdyskuntajätteen sekä sekajätteen polton CO₂-päästöt ovat:

- Lajittelematon yhdyskuntajäte 144 g/kWh (40g / MJ),
- Kierrätyspolttoaine 114,5 g/kWh ja
- Biokaasun poltto 0 g/kWh.

Toisaalta vuonna 2013 valmistuneen pääkaupunkiseudun sekajätteen määrä- ja laatututkimuksen mukaan (HSY) keskimääräinen sekajäte sisältää 65 % biopohjaisia aineita ja 35 % muita jätteitä. Näin olleen voidaan olettaa, että myös polton päästöt ovat keskimäärin pienemmät. Toisaalta, tutkimuksessa todettiin myös isoja vaihteluvälejä taloyhtiön koon, asukkaiden tottumusten ja talotyyppien mukaan. Tässä tapaustutkimuksessa käytettiin kuitenkin Tilastokeskuksen ilmoittamaa päästölukua.

Yhteenvetona voidaan todeta, että jätteen hyödyntämisen käsittelytapoja on useita:

- kaatopaikkasijoitus, jossa biokaasun talteenotto
- anaerobinen käsittely
- kompostointi
- materiaalikieräty
- poltto
 - o esim. arinapolttolaitoksessa
 - o jalostus kierrätyspolttoaineeksi, jossa mahdollisuus rinnakkaispoltoon.

Kustannus- ja ympäristönäkökulmasta optimaalinen käsittelytapa pitäisi selvittää monnimuuttuja-analyysillä. Toisaalta, kaikki edellä mainitut käsittelytavat eivät ole täysin rinnakkaisia vaihtoehtoja vaan joiltakin osilta myös toisia täydentäviä ratkaisuja.

Jätteen käsittelyn ja energiatuotannon potentiaali tutkittiin kolmen skenaarion perusteella: yhdestä tonnista jätteestä valmistetaan biokaasua, kierrätyspoltto-

ainetta tai jäte käytetään voimalassa energian valmistukseen. Tulokset esitetään taulukoissa: (Taulukko 4 ja Taulukko 5). Laskennassa otettiin huomioon polttoaineitten saanto, energiavalmistuksen tehokkuus niin sähkön ja lämmön erillistuotannossa kuin myös yhteistuotannossa.

Taulukko 4. Yhden tonnin jätteen käsittelyn vaikutus polttoaineeksi. (Myllymaa 2008).

	Jätteen määrä	Poltto- aineen saanto	Käsittelyn energian- kulutus	Energia- sisältö	Polttoaine energia
		tonnia	MJ/tonni jätettä	MJ/kg	MJ/tonni jätettä
Biojätteestä biokaasu	1 tonni*	0,084	299	19	1596
Kierrätyspoltto-aine	1 tonni	0,6	330	14	8400
Sekajäte arinapolttoon	1 tonni	1		9–10	9000

Taulukko 5. Yhden tonnin jätteen sähkön- ja lämmöntuotantopotentiaali erillistuotantolaitoksessa sekä sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksessa. (Myllymaa 2008)

	Erillistuotanto	Erillistuotanto	Yhteistuotanto	
	Lämpö, MJ/tonni jätettä	Sähkö, MJ/tonni jätettä	Lämpö, MJ/tonni jätettä CHP-laitos	Sähkö, MJ/tonni jätettä CHP-laitos
Sekajätteestä biokaasua	1277	479	320	960
Sekajätteestä kierrätyspolttoainetta	6720	2520	1680	5040
Sekajätteen arinapoltto	7200	2700	1800	5400

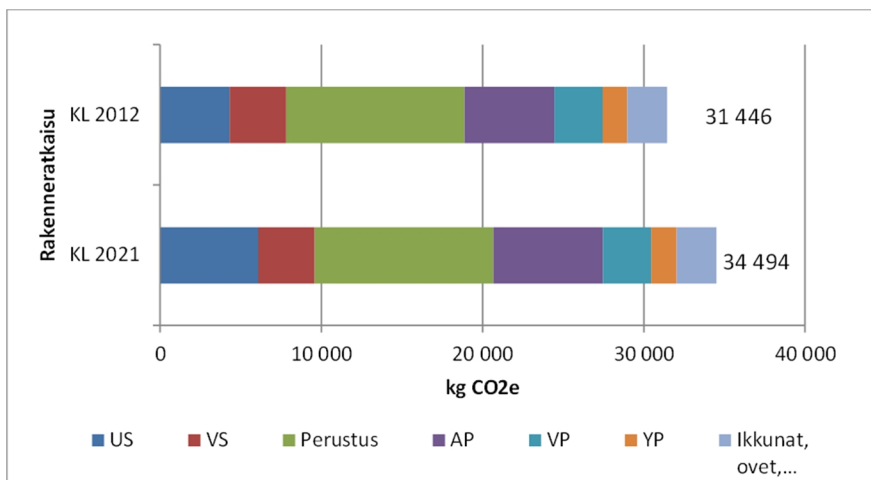
3.4 Mallipientalo ja sen hiilijalanjälki

Käsittelyn kohteena oleva rakennus ja siihen liittyvät energiasimuloinnit on esitetty Liitteessä A.

3.4.1 Pientalon rakenneratkaisujen hiilijalanjälki

Rakennuksen eristyskyvyn mallinnuksessa otettiin huomioon nykymääräykset sekä vaihtoehtoiset lämmitysjärjestelmät siten että E-lukuvaatimus alittui aina, kuitenkin E-luvun ja eristepaksuuden optimointia ei tehty.

Rakennuksessa käytettyjen materiaalien hiilijalanjälki laskettiin käyttämällä VTT:n hiilijalanjälkitietokantaa ILMARI (Ilmari – VTT:n hiilijalanjälkiarviointipalvelu ja työkalu <http://www.vtt.fi/sites/ilmari/>). Kuva 3 esittää nykymääräyksiä täyttävän kaukolämmitteisen pientalon (KL 2012) ja energiatehokkaamman kaukolämmitteisen pientalon (KL 2021) rakenneratkaisujen hiilijalanjäljen. Tulosten mukaan energiatehokkaamman rakennuksen rakenneratkaisujen hiilijalanjälki oli noin 10 % suurempi nykymääräyksiä täyttävään pientalorakennukseen nähden (Kuva 3).



Kuva 3. Puurunkoisen kaukolämmitteisen pientalon rakennusmateriaalien hiilijalanjälki. KL 2012 -pientalo on nykymääräyksiä täyttävä ratkaisu ja KL 2021 -pientalo edustaa energiatehokasta ratkaisua (rakenneteknisesti samaa kuin BLOK- talo).

3.4.2 Pientalon energiankäytön hiilijalanjälki

Nykyvaatimukset täyttävän pientalon sekä energiatehokkaan pientalon energiankulutuksen hiilijalanjälki vuodessa esitetään taulukossa 6 (Taulukko 6). Kaukolämmöntuotannon hiilijalanjälki perustuu Suomen keskimääräiseen kaukolämmöntuotantoon ja sähkönkäytön hiilijalanjälki keskimääräisen suomalaisen sähkönkäytön hiilijalanjälkeen (sisältää suomalaisen sähkönvalmistuksen sekä nettotuonnin).

Taulukko 6. Pientalon energiankäytön hiilijalanjälki vuodessa (kaukolämmön hiilijalanjälki edustaa suomen keskiarvotuotantoa ja sähkön hiilijalanjälki 5 vuoden keskiarvoa (sisältäen myös nettotuonnin).

	Nykyvaatimusten mukainen ratkaisu			Energiatehokas ratkaisu	
	KL 2012	ML 2012	SS 2012	KL 2021	lähes nolla 2021
	CO ₂ e kg/vuosi	CO ₂ e, kg/ vuosi	CO ₂ e, kg/vuosi	CO ₂ e, kg/vuosi	CO ₂ e, kg/vuosi
Valaistus	378	378	378	378	264
Jäähdytys	236	236	236	236	28
LVI	458	458	458	458	314
Taloussähkö	896	896	896	896	753
Ulkovalot, autolämmitys	127	127	127	127	127
Lämmitys	177 ^{a)} –6 681 ^{b)} 4 360 ^{c)}	1418	1 611	68 ^{a)} –2565 ^{b)} 1674 ^{c)}	770
Lämmin vesi	42 ^{a)} –1588 ^{b)} 1 036 ^{c)}	539	1 566	50 ^{a)} –1902 ^{b)} 1242 ^{c)}	270
Puulämmitys, takka	-	-	26	-	-
Yhteensä	2314 ^{a)}–10364 ^{b)} 7 491 ^{c)}	4 052	4985	2213 ^{a)}–6562 ^{b)} 4697 ^{c)}	2526

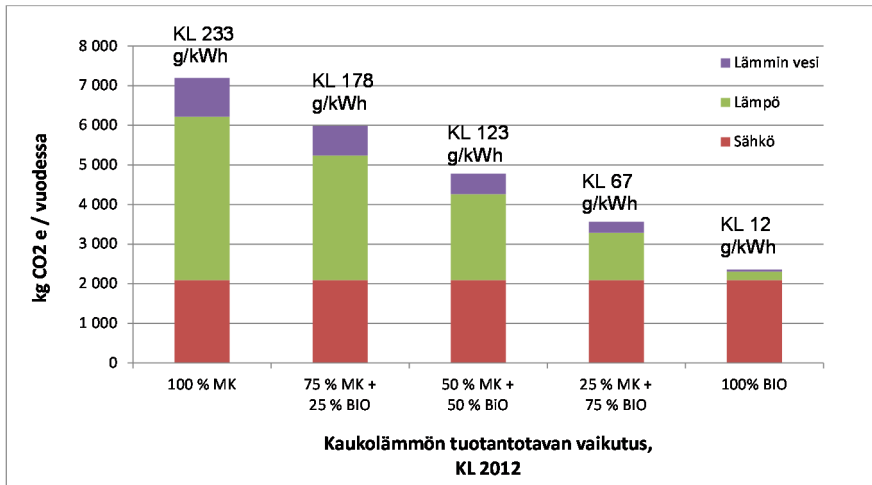
a) kaukolämmön tuotanto biopolttoaineella

b) kaukolämmön tuotanto kivihieillä

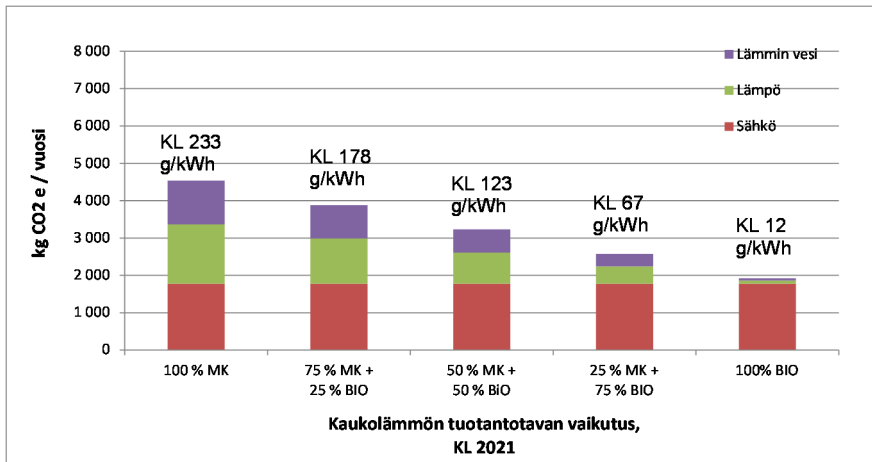
c) keskimääräinen kaukolämpö

Laskennan mukaan nykymääräysten mukaisen pientalon energiankäytön hiilijalanjälki vaihtelee noin 4000–7500 kg/vuosi, ja parannettua energiatehokkuustasoa omaavan talon hiilijalanjälki vaihtelee noin 2500–4700 kg/vuosi. Tämä suuri vaihteluväli riippuu pääasiassa rakennuksen lämmitysratkaisusta (suora sähkö, maalämpö tai kaukolämpö) ja ratkaisun energiatuotannon päästöistä.

Kaukolämmitteisen pientalon hiilijalanjälkivaihteluvälit energiankäytölle voivat olla isoja sen mukaan missä Suomen kaukolämmöntuotannon paikkakunnalla rakennus sijaitsee ja paljonko kaukolämmöntuotannossa on käytetty fossiilisia polttoainelaatujia. Vertailuna esitetään nykymääräysten mukaisen (KL 2012) ja energiatehokkaan kaukolämpötalon (KL 2021) hiilijalanjälki vuodessa, jos lämmitykseen ja lämpimän veden tuottoon olisi käytetty fossiilisella maakaasulla ja biopolttoaineella toimivaa kaukolämpölaitosta. Riippuen maakaasun ja biopohjaisen polttoaineen osuudesta lämmön valmistuksessa, kaukolämmön hiilijalanjälkiominaispäästö on 12–233 g/kWh. Tämän mukaan nykymääräysten mukaisen pientalon (KL 2012) energiankäytön hiilijalanjälki vaihtelee noin 2500–7000 kg/vuosi, ja energiatehokkaan pientalon (KL 2021) hiilijalanjälki noin 2000–4500 kg/vuosi (Kuva 4 ja Kuva 5).



Kuva 4. Nykyvaatimuksien mukaisen pientalon (KL 2012) energiankäytön hiilijalanjäljen riippuvuus kaukolämmöntuotannossa käytetyistä fossiilisista polttoaineista (maakaasu ja biopohjainen polttoaine).



Kuva 5. Energiatehokkaan pientalon (KL 2021) energiankäytön hiilijalanjäljen riippuvuus kaukolämmöntuotannossa käytetyistä fossiilisista ja biopolttoaineista (maakaasu ja biopohjainen polttoaine).

3.4.3 Paikallinen kaukolämmöntuotanto ja yhdyskuntajätteen hyödyntäminen

Jätteenpolton vaikutusta alueen kaukolämpöpäästöjen vähentämiseen tutkittiin Hyvinkään alueen lämmöntuotannon perusteella. Hyvinkäällä lämpöä tuotetaan kolmella kiinteällä lämpölaitoksella, jotka käyttävät polttoaineena pääasiallisesti maakaasua (lisäksi hyödynnetään pieniä määriä kaatopaikan biokaasua) ja Ekokem Oyj:ssä tuotettua lämpöä (CHP-laitos).

Ekokem Oyj:n sähkön ja lämmöntuotanto mallinnettiin vain yhdyskuntajätteen poltolle (ei sisällä vaarallisen jätteen polttoa). Sähkön ja lämmöntuotantorakenteessa otettiin huomioon voimalaitos VL 1 ja sen keskiarvotuotanto vuosina 2010–2012. Lisäksi laskenta suoritettiin vuoden 2013 tuotannolle, jolloin tuotannossa otettiin käyttöön savukaasujen lämmön talteenotto (LTO).

Laitoksen tuotteena syntyy sähköä, lämpöä, talteen otettuja metalleja sekä pohjakuonaa.

Jätteenpoltolla tuotetun kaukolämmön hiilijalanjälki laskettiin elinkaari vaikutuksena ottamalla huomioon myös jätteen keräys, käsittely sekä lämmöntuotanto. CHP-jätevoimalan päästöt kohdennettiin sähkölle ja lämmölle hyödynjakomennelmällä. Vuosien 2010–2012 keskimääräinen lämmöntuotannon hiilijalanjälki vaihteli kuukausittain ja oli noin 150–180 kg/MWh. Sen sijaan vuonna 2013, jolloin otettiin käyttöön LTO, lämmöntuotannon hiilijalanjälki oli noin 120–150 kg/MWh.

Kaukolämpöalueen tarkastelu tehtiin Hyvinkään tapaustutkimuksen osalta. Tämä aluekohtainen tarkastelu osoitti, että kaukolämpöalueelle on toimitettu jätevoimalasta vuositasolla jopa 60 % kaukolämpöä.

Yhdyskuntajätteen hyödyntämisellä vältetään jätteiden joutumiselta kaatopaikalle ja näin olleen jätteiden hallitsemattomasta hajoamisesta johtuvista kaatopaikkakaasuista. Arvio on, että yksi tonni jätettä aiheuttaa kaatopaikalla noin 100–200 m³ päästöjä, joista jopa 50 % on metaania, jonka kasvihuonekaasuvaikutus on 25-kertainen hiilidioksidin nähden.

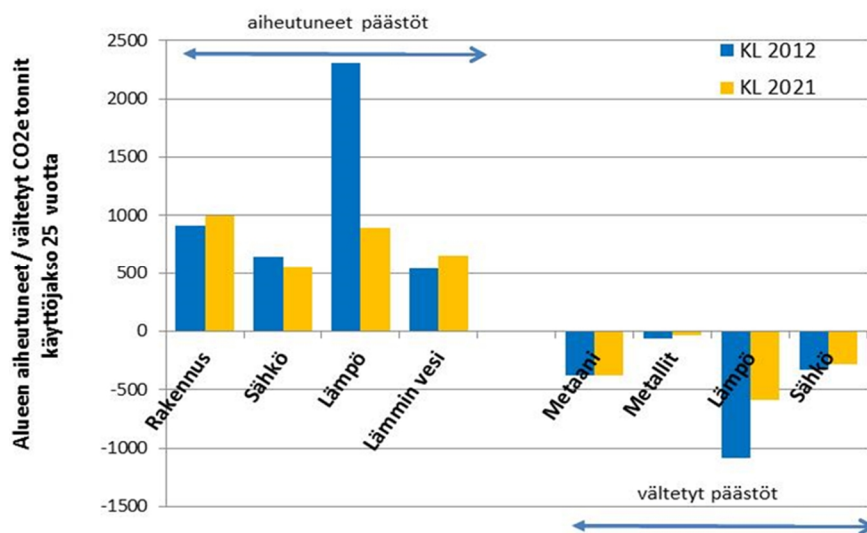
Lisäksi voidaan olettaa, että yhdyskuntajätteellä tuotetun sähkön ja lämmön osalta vältetään muuten säätonä käytettäviltä, fossiilisilla polttoaineilla tuotetun sähkön ja lämmöntuotannon päästöiltä. Suomen lämmöntuotannosta yli puolet tuotetaan fossiilisilla polttoaineilla. Marginaalituotantona voidaan lämmön osalta pitää maakaasua, hiiltä ja turvetta. Käyttämällä jätevoimalassa tuotettua lämpöä vältettäisiin näin olleen maakaasun ja hiilen aiheuttamilta päästöiltä, mutta aiheutettaisiin kuitenkin yhdyskuntajätteen polton päästöjä. Sähköntuotannon marginaalina voidaan pitää kivihiililauhdetuotantoa, jossa sähköntuotannon päästöt ovat suuria. Marginaalituotanto kuitenkin vaihtelee ja riippuu siitä, mikä on tarkasteltavan ajanjakson aikana kulloinkin edullisin tuotantomuoto.

Jätevoimalat toimivat myös materiaalien kierrätyksen ja talteenoton alalla. Jätteistä voidaan ottaa talteen erilaisia metalleja, muoveja sekä muita materiaaleja, ja näin olleen voidaan välttää neitseellisten raaka-aineiden tuotannon päästöiltä.

3.4.4 Kaukolämpöalueen hiilijalanjälki

Laskenta toteutettiin Hyvinkään seudun pientaloalueelle, jossa oletettiin rakennettavan 29 pientaloa (Asuntomessut 2013 alue). Oletuksena oli, että niissä asuu keskimäärin 3 asukasta. Alueen toteutuneen jätekeräyksen perusteella asukkaat tuottavat vuodessa 192 kg sekajätettä, jota hyödynnetään lähellä olevassa jätevoimalassa (Ekokem Oyj) sähkön- ja lämmöntuotantoon. Oletuksena oli, että kaikki alueen kotitaloudet liittyvät paikalliseen kaukolämpöverkkoon (jossa toimijana on Hyvinkään Lämpövoima).

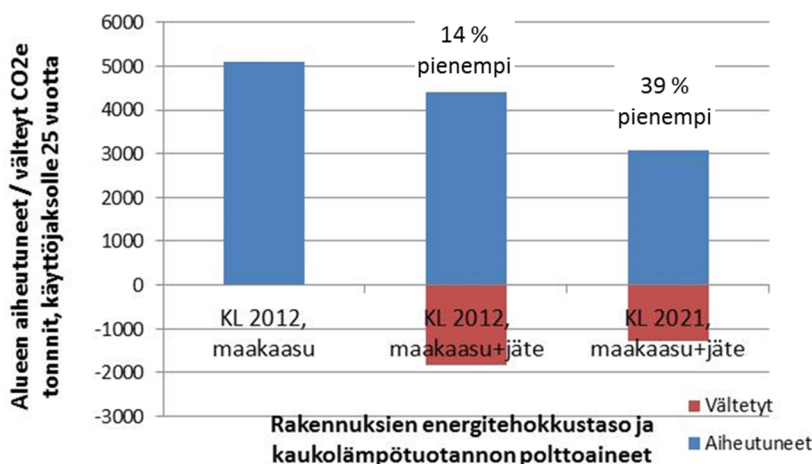
Alueen hiilijalanjälkilaskenta toteutettiin LCA-periaatteella talojen rakentamisen materiaalivehiköille, sekajätteen keräykselle ja käsittelylle sekä aluelämmön tuotannolle. Rakennuksien tarkasteluajanjaksona käytettiin 25 vuotta. Oletettiin että sinä aikana rakennuksien korjauksia ei tarvita. Tuloksena esitettiin alueen rakentamisen ja rakennuksien käytön aiheutuneet hiilijalanjälkipäästöt sekä myös vältetyt päästöt sekajätteen energiahyödyntämisen ansiosta (Kuva 6).



Kuva 6. Alueen hiilijalanjälkipäästöt rakennuksen materiaalien, sähkön, lämmityksen ja lämpimän veden käytön osalta (KL 2012) sekä vältetyt kaatopaikan metaanipäästöt, vältetyt lämmön ja sähköntuotannon päästöt sekä neitseellisistä raaka-aineista tuotetun metallien päästöt (laskennan oletuksen oli, että kaikki 29 pientaloa siirtyvät Hyvinkään alueen kaukolämmön käyttäjiksi).

Kuten edellisessä luvussa kerrottiin, Hyvinkään alueen lämmöntarpeesta on pystytty kattamaan vuositasolla jopa 60 % jätteellä tuotetulla lämmöllä. Kuva 7 esittää tämän jätteen lasketun energiahyödyntämisen vaikutuksen tarkastelualueen kokonaishiilijalanjälkeen. Analyysi osoitti, että rakennusten energiatehokkuustason

mukaan, päästöt ovat 14–39 % pienemmät verrattuna tapaukseen, jossa alue olisi saanut kokonaan lämpönsä maakaasulla toimivista lämpölaitoksista.



Kuva 7. Alueen kokonaishiilijalanjälkipäästöt (sininen väri) sekä vältetyt päästöt (punainen väri) nykymääräyksiä täyttävien rakennuksien (KL 2012) sekä energia- tehokkaiden rakennuksien (KL 2021) 25 vuoden käyttöajalle. Oletuksena oli, että kaikki alueen 29 pientaloa siirtyvät kaukolämmön käyttäjiksi.

3.5 Yhteenveto ja johtopäätökset

Kaukolämmitteisen pientalon elinkaari vaikutukset riippuvat rakennuksen materiaaleista, korjaustarpeesta, rakennuksen energiantehokkuudesta mutta myös energian tuotantotavasta.

Kaukolämpö

Kaukolämmön hiilijalanjälki riippuu lämmöntuotantotavasta (erillistuotanto tai CHP), käytetyistä polttoaineista (fossiiliset tai biopohjaiset), kaukolämmöntuotannon kehitysnäkymistä sekä myös, CHP-tuotannon osalta, laskennassa käytetystä päästöjen jakomenetelmästä.

VTT:n laskennan tuloksena keskimääräisen suomalaisen kaukolämmön hiilijalanjälki on 245 kg/MWh. Kohdentamismenetelmänä CHP-laitoksien osalta oli hyödynjakomenetelmä, ja laskenta kattoi Suomen kaukolämmöntuotannon vuosina 2004–2008. Käyttämällä CHP-laitoksien osalta seurannaisvaikutusmenetelmiä voidaan päätyä tulokseen, jossa kaukolämmöntuottajan hiilijalanjälki on miinusmerkkinen. Tällaisessa laskennassa otetaan skenaarioperusteisesti huomioon myös vältetyt päästöt, jotka sitten vähennetään aiheutuneista päästöistä.

Vältettyjen päästöjen skenaarioperusteinen laskenta voidaan toteuttaa aiheutuneitten päästöjen laskennan rinnalla, mutta ehdotuksena on, että vähennyslaskua

ei käytetä. Näin olleen laitospöytäkirja hiilijalanjälki kuvaa "oikeita" aiheutuneita päästöjä.

Paikallisesti kaukolämmön tuotanto voi olla erittäin ympäristöystävällistä, jolloin käyttämällä paikallisen lämmöntuottajan ominaispäästökertoimia rakennuksen hiilijalanjälki on pieni verrattuna siihen, jos käytettäisiin keskimääräisiä päästökertoimia. Toisaalta, paikallinen lämpövoimala saattaa toimia ainoastaan fossiilisilla polttoaineilla, jolloin kaukolämmön ominaispäästö voi olla korkea, jopa yli 400 g/kWh.

Jätteiden käyttö polttoaineena ja sen hiilijalanjälki

Jätteiden hyödyntämisen osalta kaukolämmön hiilijalanjälki riippuu siitä, mikä on jätteellä tuotetun lämmön tuotantotehokkuus, mikä on jätteen lämpöarvo, mikä on jätteen koostumus ja bio-pohjaisten jättejakeiden määrä.

Käyttämällä yhdyskuntajätteitä ja kotitalouksien sekajätteitä kaukolämmön valmistuksessa voidaan pienentää kaukolämmöntuotannon hiilijalanjälkeä.

Oletuksena on, että sekajäte sisältää ainakin 50 % biopohjaista jättejakeita. Jos yhdyskuntajäte ei sisällä lainkaan biopohjaisia jättejakeita, silloin sekajätteen käyttö lämmöntuotannossa tuottaa vain vähän vähemmän kasvihuonekaasupäästöjä kuin fossiilisen hiilen ja turpeen käyttö.

Kevytrakenteisen pientalon rakenneratkaisujen hiilijalanjälki

Hiilijalanjälkitulokset laskettiin erillistalon kahdelle versiolle: nykyääräyksiä täyttävälle ja sitä energiatehokkaammalle rakenneratkaisulle.

Tutkimuksen mukaan energiatehokkaan rakennuksen rakenneratkaisujen hiilijalanjälki oli noin 10 % suurempi nykyääräykset täyttävään pientalorakennukseen nähden (Kuva 3). Tässä laskennassa pientalo oli kevytrakenteinen ja puurunkoinen, jonka tuloksena talon rakenteiden hiilijalanjälki oli pieni. Jos rakennus olisi ollut massiivisempi, esim. kivipohjainen, sen rakennusmateriaalien hiilijalanjälki olisi ollut paljon merkittävämpi.

Rakennuksen käytönaikainen hiilijalanjälki

Rakennuksen käytönaikaiseen hiilijalanjälkeen vaikuttaa oleellisesti rakennuksen energiatehokkuus, mutta omalta osaltaan myös energiantuotannon polttoaineet ja tuotantotapaa.

Suoritettu rakennusratkaisun mallinnus eri lämmitysvaihtoehdoille osoitti, että energiankäytön hiilijalanjäljen vaihtelu on suuri riippuen energiantuotantotavasta.

Nykymääräysten mukaisen pientalon käytön hiilijalanjälki on noin 4000–7500 kg/vuosi, ja energiatehokkuudeltaan parannetun talon käytön hiilijalanjälki on noin 2500–4700 kg/vuosi (Taulukko 6). Parhaan tuloksen käytönaikaisen hiilijalanjäljen suhteen antoi maalämmitteinen pientalo. Kaukolämmitteisen pientalon hiilijalanjälkivaikutuksia voidaan pienentää rakentamalla nykyääräyksistä parempi, energiatehokas pientalo.

Toisaalta, myös kaukolämmön tuotantotavalla on merkittävä vaikutus rakennuksien ympäristövaikutusten pienentämiseen. Kun kaukolämmön tuotannossa uusiutuvien polttoaineiden määrää kasvatetaan, voidaan välttää nykymääräysten mukaisen talon ja energiatehokkaan talon 25 vuoden käyttöaikana jopa 50 % kasvihuonekaasupäästöistä (Kuva 4 ja Kuva 5).

Yhdyskuntajätteen energiahyödyntäminen

Yhdyskuntajätteen energiahyödyntämisellä on tarkoitus korvata kaatopaikkasijoitusta ja vähentää kaatopaikkojen päästöjä, erityisesti metaanipäästöjä, joilla on 25 kertaa suurempi ilmastomuutosvaikutus kuin hiilidioksidilla. Tällä hetkellä kaatopaikkasijoitukseen menee noin 40 % jätteestä, mutta oletettava on, että tämä määrä lähivuosina vähenee huomattavasti alalle laadittujen viranomaissäädösten ansiosta.

Jätteen hyödyntäminen lämmön ja sähkön tuotantoon voidaan toteuttaa lajittelemattoman jätteen arinapolttona tai jalostamalla jäte ensin kierrätyspolttoaineeksi, jolloin sitä voidaan hyödyntää myös tavallisissa lämmityslaitoksissa rinnakkaispolttoaineena. Arinapolttolla voidaan tuottaa energiaa myös kierrätykseen kelpaamattomista jätteistä ja materiaaleista sekä erilaisista kierrätysprosessin rejekteistä, jotka muutoin olisivat päättäneet kaatopaikalle ja aiheuttaisivat hallitsemattomia metaanipäästöjä ilmakehään. Vältettyinä päästöinä ovat myös säätötehona tuotetun sähkön ja lämmön tuotannon päästöt sekä talteen otetut metallit. Jätteestä voidaan lisäksi valmistaa biokaasua, jota voidaan hyödyntää myös energiantuotannossa. Toisaalta, jätteen jalostuksessa polttoaineeksi tai biokaasuksi syntyy myös huomattavia määriä jätettä /rejektiä, jota ei pysytä hyödyntämään.

Jätteen energiahyödyntäminen talojen lämmityksessä ja sähkönkäytössä pienentää rakennuksen hiilijalanjälkeä, mutta näillä näkymin vaikutus koko Suomen energiankäytön mittakaavassa jää pienehköksi jätteestä tuotettavan lämmön ja sähkön rajallisen saatavuuden takia. Oletuksena oli, että Suomen kokonaistuotannosta jätteellä voitaisiin tuottaa 6 % lämpöä ja 0,9 % sähköä. Kuitenkin, hyödyntämällä jätteellä tuotettua lämpöä kaukolämpöalueella voidaan vähentää alueen hiilijalanjälkeä.

Tässä tutkimuksessa analysoitiin sekajätteen arinapolttota tarkastelualueen paikallisessa CHP-jätevoimalassa. Tuloksen mukaan jätteen arinapolton hiilijalanjälkipäästö (hankinta ja energiantuotanto) vaihteli kuukausittain ja oli lämmöntuotannon osalta noin 150–180 kg/MWh. Jätevoimalan tuotantoprosessin parannuksien ja LTO:n käyttöönoton jälkeen jätteellä tuotetun lämmön hiilijalanjälki oli noin 120–150 kg/MWh.

Aluekohtainen tarkastelu osoitti, että jos jätteellä tuotetaan alueelle lämpöä vuositasolla 60 % tarpeesta, silloin alueen rakennuksien hiilijalanjälki pieneni 14 % verrattuna siihen, jos lämpö olisi tuotettu kokonaan maakaasulla toimivassa erillis-lämpölaitoksessa. Parantamalla rakennuksien energiatehokkuustasoa hiilijalanjälkipäästöt olivat 39 % pienenevät. Ottamalla huomioon myös vältetyt päästöt parannukset olivat vieläkin suurempia. (Kuva 7)

4. Katsaus kaukolämpökytkentäratkaisuihin

Teknologisen kehityksen tässä vaiheessa tarvitaan uutta tietoa vähän energiaa kuluttavien rakennusten toiminnasta ja niiden realistisesta lämmitysenergian- ja sähköntarpeesta (ml. lyhytaikaiset piikit), jotta voidaan luoda vankka perusta tulevien kaukolämpöratkaisujen mitoitukselle.

Tämän hankkeen fokuksessa on teknisesti toteutettavissa oleva ja kustannus- tehokas ratkaisu, jossa kaukolämpö- ja matalaenergiarakennukset yhdistetään. Kiinteistöjä ja niiden järjestelmiä käsitellään koko kaukolämpöjärjestelmän toimitusketjun kiinteinä osina. Tästä johtuen hankkeessa käytetään kokonaisvaltaista lähestymistapaa, joka kattaa koko järjestelmän huonetilasta lämmönjakoputkiston ja kaukolämmön jakokeskuksen kautta kaukolämpöverkkoon.

Projektissa tehdyssä kirjallisuuskatsauksessa etsittiin kaukolämpötekniikan tuoreimpia kehityssuuntia. Työn metodina on käytetty internethakuja; yhteensä katsastettiin yli 50 tieteellistä julkaisua (luettelo Liitteessä C). Kirjallisuuskatsauksesta on tehty erillinen englanninkielinen tutkimusraportti (Ha & Klobut 2014, Liite B), josta tässä seuraavassa esitetään valittuja otteita suomen kielellä.

4.1 Innovatiivisia kaukolämpöverkon ratkaisuja

Tuoreimpien tutkimusjulkaisujen valossa matalan energiatason kaukolämpö (low energy district heating LEDH) on mahdollista tulevaisuudessa. LEDH toisi mahdollisuuden parantaa energiatehokkuutta kaukolämmön sovelluskohteissa ja edelleen parantaa sähkökonversion hyötysuhdetta CHP-voimalaitoksissa. Toistaiseksi matalan energiatason kaukolämmöstä on vielä vähän käytännön kokemusta. Kuitenkin sen ja siihen liittyvien teknologisten ratkaisujen tutkimiseen selvästi satsataan kansainvälisesti.

Sipilä et al. (2011) käsittelee raportissaan haasteita kaukolämmön markkinoilla, jotka liittyvät asiakkaiden lisääntyvään kiinnostukseen tuottaa kohdekohtaisesti omaa lämpöä uusiutuvista energialähteistä ja sen vaikutuksesta lämmöntarpeen kausivaihteluun. Raportissa ehdotetaan strategioita hajautettujen uusiutuvien energialähteiden liittämistä uusiin tai olemassa oleviin kaukolämpöjärjestelmiin. Lisäksi raportissa tutkitaan vaihtoehtoisten ratkaisujen taloudellisia ja teknisiä rajoituksia. Raportissa päädytään tulokseen, että tulevaisuuden kaukolämpörat-

kaisujen pitäisi olla keskitettyjen ja hajautettujen energiatuotantotapojen yhdistelmiä. Ns. kolmannen osapuolen tuottajien pääsy verkkoon tulisi olla sallittua, mutta säännöt siihen pitäisi kehittää. Sekä vesivirtaus että lämpötilataso kaukolämpöverkossa alenevat nykyisestä, mikä pitäisi ottaa huomioon jo verkon ja sitä palvelevan alueen suunnitteluvaiheessa. (Sipilä et al. 2011)

Žinko et al. (2008) etsivät tutkimuksessa keinoja kaukolämmön jakelun kannattavuuden parantamiseen harvaan asutuilla alueilla. Lisäksi tavoitteena oli vähentää energiankäytön ympäristövaikutuksia näillä alueilla. Analyysitulosten mukaan kaukolämpö on taloudellisesti kannattavaa alueilla, joilla lämmöntarpeen tiheys on 10 kWh/m² vuodessa tai verkon palvelevan alueen lämmöntarve suhteutettuna verkon pituuteen on 0,3 kWh/m vuodessa. (Zinko et al. 2008)

Tanskassa tutkittiin, osana matalan lämpötilatason kaukolämmön tutkimusta, keinoja leikata lämpöhäviöitä jakeluverkossa. Yhtenä ratkaisuna nähtiin jakeluverkon uusi rakenne, jossa meno ja paluuputki ovat päällekkäin (Christiansen et al. 2009).

Hofmeisterin (2012) artikkelissa esitetään tiekarttaehdotus kaukolämmön kehittämiseksi Tanskassa. Sen mukaan tärkeimmät kehittämiskohteet ovat:

- Vapauttaminen ja kilpailukyky
- Markkinointi ja poliittinen näkyvyys
- Alan sisäinen koordinointi
- Verot
- Hintakehitys, toteutettavuus, toimitusvarmuus.

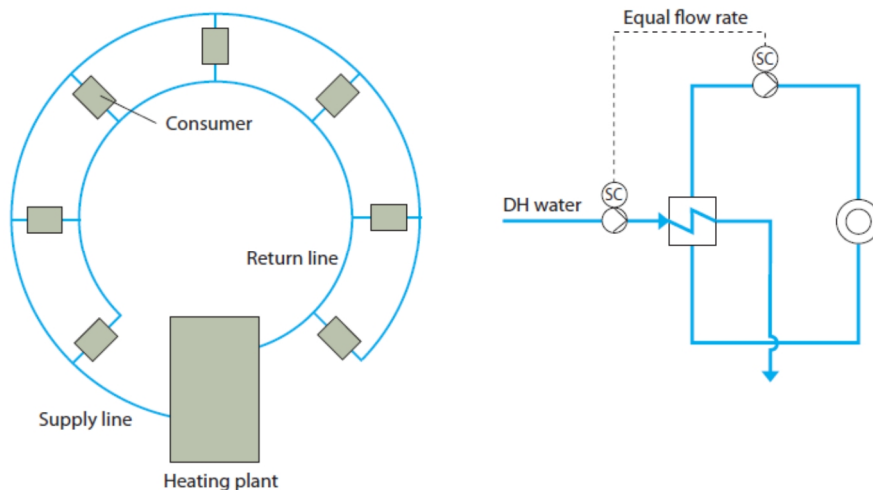
Lisäksi huomautetaan, että säännöksillä tulisi olla keskeinen tehtävä tarjota puitteet kaukolämmön kehittämiselle ja että sosioekonomiset laskelmat tukisivat uusia kaukolämpöhankkeita. (Hofmeister, 2012)

Seuraavassa esitetään valittuja esimerkkejä innovatiivisista kaukolämpöverkko-ratkaisuista.

4.1.1 Rengasjohtokytkentä

Uusi rengasjohtokentäperiaate on tarkoitettu kaukolämmön ja kaukojäähdytyksen järjestelmiin. Massavirtauksia kuluttajien lämmönjakokeskuksissa ohjataan taa-juusmuuttajilla varustetuilla pumppuilla (Kuva 8). Tällainen massavirran säätötapa korvaa perinteistä ratkaisua, jossa veden virtausta kuristetaan säätöventtiilien avulla. Uusi ohjaus mahdollistaa uusien säätökäyrien käyttöä meno- ja paluulämpötiloille. Uudella menetelmällä on selkeitä etuja: massavirtaus verkossa on 50 % pienempi, painehäviöt alenevat 30 % ja tarvittava pumppausteho on alle 20 % verrattuna perinteisen kaukolämmön vastaaviin parametreihin. Hyödyt on alustavasti verifioitu kokeiden ja matemaattisen mallinnuksen avulla. (Kuosa 2012)

Rengasjohtokytkennän rakenne on käytännössä paras pienempiin alueellisiin ja matalan lämpötilatason verkkoratkaisuihin, mutta on sovellettavissa myös nykyisten verkkojen laajennuksiin, joissa laajennus on toteutettavissa lämmönvaihtimien avulla. Periaate sopii myös kaukojäähdytysjärjestelmiin, joissa tyypillisesti on suuret massavirrat ja suuret putkikoot pienten lämpötilaerojen seurauksena.



Kuva 8. Rengasverkko ja vesivirran säätöperiaate asiakkaalla käyttäen kahta pumpua. (Kuosa et al. 2013)

4.1.2 Matalaenergiatason kaukolämmön tutkimus

Dalla Rosa & Christensen (2011) tutkivat Tanskassa 5:tä eri kaukolämmön ratkaisukonseptia, Taulukko 7.

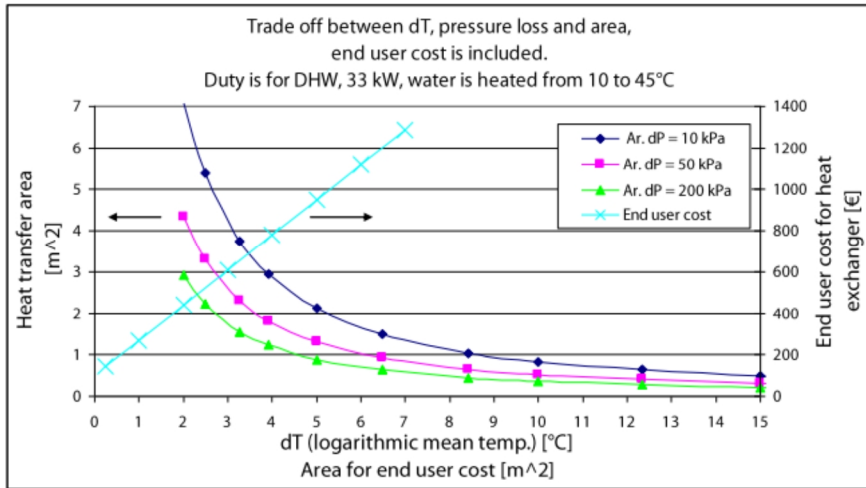
Analyysi osoitti, että alhaiseen lämpötilaan perustuvat järjestelmät (suunnitelma-variantit C, D, E) ovat sekä energia- että kustannustehokkaimpia ratkaisuja verrattuna matalavirtauskonseptiin (malli B). Primäärienergian käyttö energiatehokkaimmassa ratkaisussa (suunnitelma-varianti E) on 14,3 % pienempi kuin nykyisessä standardiratkaisussa (malli A) ja lisäksi jakelun lämpöhäviöt ovat puolittuneet. Konseptien suunnittelun pääperiaatteena oli matala lämpötilataso ja uusiutuvien energialähteiden käyttö sekä kysynnän ja tarjonnan kohdentaminen asettamalla lämpötilatasot oikeiksi, mikä myös vähensi lämpöhäviöitä jakeluverkossa. Nämä toimenpiteet sallivat alhaisemmat lämpötilatasot (50–55 °C menojohtossa ja 20–25 °C paluulinjassa) ja pienempien muoviputkien käytön vähentäen investointikustannuksia. Putkien koon supistaminen hieman alensi hankinta- ja asennuskustannuksia, mutta toisaalta kolminkertaisti pumppausenergian tarpeen. Kuitenkin todettiin, että pumppausenergian kasvulla on vähäinen merkitys, koska sen osuus koko primäärienergian kysynnästä on korkeintaan noin 2 %.

Taulukko 7. Viiden kaukolämpöverkkoratkaisun suunnitteluparametrit.

Design concepts	Design parameters
A. State-of-the-art design	Twin pipes: $T_{\text{supply}} = 85\text{ °C}$, $T_{\text{return}} = 40\text{ °C}$, $T_{\text{by-pass}} = 70\text{ °C}$, all-year round; max pressure gradient in branch pipes; 2000 Pa/m; max. velocity in distributions pipes: 1.20 m/s.
B. Low flow	Twin pipes: $T_{\text{supply}} = 85\text{ °C}$, $T_{\text{return}} = 25\text{ °C}$, $T_{\text{by-pass}} = 40\text{ °C}$, all-year round; max pressure gradient in branch pipes; 2000 Pa/m; max. velocity in distributions pipes: 1.20 m/s.
C. Low temperature	Twin pipes: $T_{\text{supply}} = 55\text{ °C}$, $T_{\text{return}} = 25\text{ °C}$, $T_{\text{by-pass}} = 40\text{ °C}$, all-year round; max pressure gradient in branch pipes; 2000 Pa/m; max. velocity in distributions pipes: 1.20 m/s.
D. Low temperature, optimization method	Twin pipes: $T_{\text{supply}} = 55\text{ °C}$, $T_{\text{return}} = 25\text{ °C}$, $T_{\text{by-pass}} = 40\text{ °C}$, all-year round; pipe sizes optimized according to max. available pressure in the network (10 bar)
E. Low temperature, optimization method, temperature boost in peak-load conditions	Twin pipes: $T_{\text{supply}} = 65\text{ °C}$, $T_{\text{return}} = 25\text{ °C}$, $T_{\text{by-pass}} = 40\text{ °C}$, in peak-load conditions (300 h/year); $T_{\text{supply}} = 55\text{ °C}$, $T_{\text{return}} = 25\text{ °C}$, for normal conditions; $T_{\text{by-pass}} = 40\text{ °C}$; pipe sizes optimized according to max. available pressure in the network (10 bar)

4.1.3 Lämmönsiirrin matalalämpötilatason kaukolämpöverkossa

Thorsen & Iversen (2012) tutkimuksen kohteena oli kaukolämpöverkon parametrien alentamisen vaikutus verkon ja kuluttajan rajapinnassa olevaan lämmönsiirtimeen. Lämpötilaeron pienentäminen nykyisestä johtaisi kompromissitarvetilanteeseen, jossa on mukana painehäviöt, lämmönsiirto ja asiakkaan kustannukset, Kuva 9. Analyysi kohdistui 116 omakotitalon alueeseen. Kodeissa asuinpinta-ala oli 159 m^2 , lämmitysjärjestelmien lämpötilat noin $30\text{--}35\text{ °C}$ ja käyttöveden lämpötila oli asetettu 45 °C asteeseen.



Kuva 9. Kompromissi lämpötilaeron, painehäviön, lämmönsiirtopinta-alan ja lopukäyttäjän kustannusten välillä.

Matalamman lämpötilatason jakeluverkossa lämpöhäviöt ovat noin 8–11 % ja perinteisessä 80/65°C:n järjestelmässä tyypillisesti (Tanskassa) n. 15–16 %. Matalammilla toimintalämpötiloilla olisi myös myönteinen vaikutus energian tuotannon puolella, jossa polttoainetehokkuus nousisi 5–10 % verrattuna perinteiseen ratkaisuun. Samalla helpottuisi aurinkoenergian- ja geotermisen energian integrointimahdollisuus kaukolämpöverkkoon. Haittapuolella olisi tarvittavan pumpausenergian vähäinen kasvu. Yhteenvedon tuloksista esittää Taulukko 8. Johtopäätöksenä kirjoittajat toteavat, että lämmönvaihtimet toimivat matalissa lämpötiloissa hyvin, ja konseptissa on potentiaalia vastaamaan tulevaisuuden haasteisiin.

Taulukko 8. Eri kaukolämpöverkostokonseptien käyttökustannukset liittyen lämpöhäviöihin ja pumpausenergiaan.

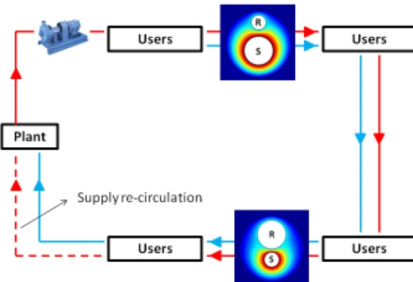
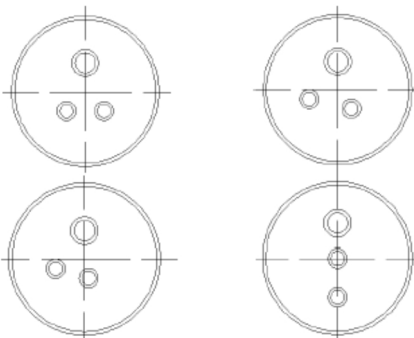
Scenarios		Heat loss in network			Pump energy		Operation cost	Savings
		MWh	%	€	MWh	€	€	%
Traditional network	Supply 80 °C	164,4	16,4	7.722	1,05	142	7.864	0
	Supply 65 °C	143,0	14,6	6.719	1,58	212	6.931	12
LTDH network	Supply 55°C	132,9	13,7	6.243	1,95	262	6.505	17
	Supply 45 °C	104,0	11,0	4.886	3,36	450	5.337	32

4.1.4 Korkean suoritustason kaukolämpöputket

Dalla Rosa et al. (2010) tutkivat kaukolämpöverkon putkia: elastisia, eristettyjä kaksoisputkia varustettuna symmetrisellä ja epäsymmetrisellä eristekerroksella, 2-putki- ja 3-putkielementtejä. Nämä teknologiat edistävät kaukolämpöverkon potentiaalia energia- ja kustannustehokkaina ratkaisuina harvaan asutuilla alueilla. Perinteisesti asiakkaan kytkentäjohto on rakennettu kahdesta erillisestä teräsputkesta: yksi syöttöputki ja yksi paluuputki. Kaksoisputket voivat olla terästä, kuparia tai PEX-materiaalia, jossa meno- ja paluuputki ovat samassa kotelossa. Niiden lämpöhäviöt ovat pienemmät verrattuna erillisiin samankokoisiin putkiin samoissa lämpötiloissa.

2-putkielementti koostuu kahdesta erikokoisesta putkesta saman eristekotelon sisällä. Kuva 10 esittää luonnoksen mahdollisista sovellusratkaisuista – huomaa putkien pystysuuntainen asemointi.

Myös 3-putkielementin eri konfiguraatioissa (Kuva 11) etsittiin mallintamalla energiateknisesti optimaalisinta ratkaisua matalaenergiasovelluksiin käyttäen mahdollisimman pieniä putkihalkaisijoita.

	
Kuva 10. Luonnos kaksoisputkikonseptin sovellusmahdollisuudesta (S = no, R =paluu).	Kuva 11. Tutkitut geometriat kolmoisputkille tyyppiä Aluflex.

Analyysi osoitti, että ilman lisäinvestointikustannuksia epäsymmetrisesti eristettyjen 2-putkielementtien avulla on mahdollista leikata lämpöhäviöitä 6–12 % kaksoisputkiratkaisuun verrattuna.

3-putkiratkaisun arveltiin sopivan matalaenergiasovelluksiin, joissa lämmönjakokeskuksessa lämmin käyttövesi tuotetaan LKV-siirtimellä. (Dalla Rosa et al. 2010)

4.2 Innovatiivisia lämmönjakokeskusten kytkentäratkaisuja

Nilsson et al. (2012) käsittelevät lämmönjakokeskusten kehittämistä toimintojen funktionaalisen yhdenmukaistamisen kautta. Kaukolämpöteknologialla on laaja potentiaali ja siten sen on tarjottava nykyaikaisia ja kustannustehokkaita ratkaisuja, jotta voidaan vastata markkinoiden vaatimuksiin myös tulevaisuudessa. Tämän varmistamiseksi tarvitaan tasokasta laadunvalvontaa jakokeskusten kaikissa tuotannon vaiheissa, minkä lisäksi tarvitaan avoimuutta kaikissa alan yrityksissä.

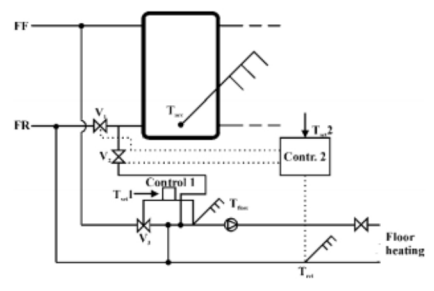
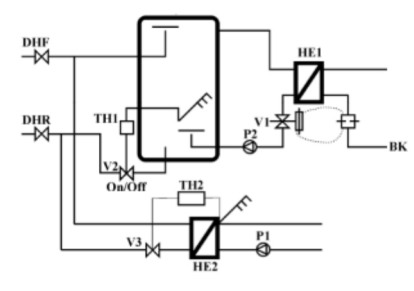
Lämmönjakokeskusten toimintojen yhdenmukaistaminen on asetettava fokukseseen. Valmistajat voivat valita komponentteja omien toiveiden ja asiakkaiden tarpeiden mukaan, mutta lämmönjakokeskuksen on kokonaisuudessaan täytettävä tietyt toiminnalliset vaatimukset. Tämä näkökulma tukee asiakaslähtöisyyttä pitkällä aikavälillä, jolloin asiakkaat voivat tilata toimintoja luottaen siihen, että standardoidussa jakokeskuksessa kapasiteetti ja tehokkuus tulevat automaattisesti riittämään. Nykyään vain jossain maissa on kansallisia vaatimuksia lämmönjakokeskuksille. Euroheat & Power organisaationa edistää kansainvälistä yhdenmukaistamista tarjoamalla suosituskytkenäkuvauksia ja teknisiä ohjeita. (Nilsson et al. 2012)

Tässä luvussa esitetään valittuja esimerkkejä uusimmista lämmönjakokeskusten kytkentäratkaisuksista, lähtienä tuoreimmat tieteelliset tutkimukset pääasiassa Tanskasta ja Ruotsista.

4.2.1 Lämmönjakokeskusten konsepteja Tanskasta

Paulsen et al. (2008) arvioivat kahta kaukolämmön jakokeskuksen ratkaisua mallintamisen avulla. Ensimmäisessä ratkaisussa on lämmityksessä ns. suorakytkentä, jossa on sekoitushaara ja shuntti menoveden lämpötilan säätöön ja lisäksi kaksi säätöventtiiliä, jotka varmistavat hyvää jäähtymää (Kuva 12). Toisessa ratkaisussa on lämmityspiirin epäsuora kytkentä siirtimen kautta, joka mahdollistaa korkeamman verkoston paineen (Kuva 13). Molemmissa malleissa on varaaja lämmintä käyttövedettä varten. Ratkaisuja sovellettiin matalaenergiataloon, pinta-alaltaan 145 m², jonka vuotuinen energiantarve on 7 000 kWh (LKV ml.). Ratkaisun muita suunnitteluparametreja olivat:

- Ensöpuolen lämpötilat 50/20 °C
- Paine-ero 0,2–1 bar
- Ulkolämpötilassa -12 °C:
 - o Lämmityksen mitoitusteho 2000 W
 - o Menolämpötila lattialämmitykseen 28 °C
- Lämpimän käyttöveden lämpötila 40–45 °C
- Kylmän veden lämpötila 10 °C.

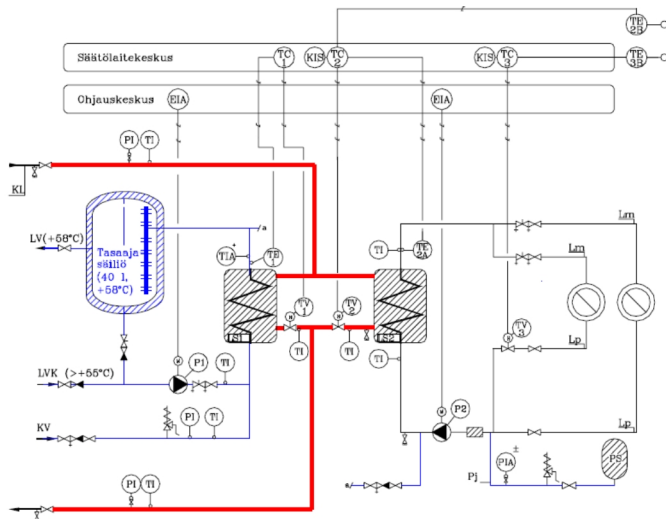
	
Kuva 12. Lämmityksen suorakytkentä. Venttiilien V1 ja V2 avulla säädetään jäähtymää. Lämmintä käyttövettä tuotetaan samalla tavalla kuin epäsuorassa kytkentäjärjestelmässä, Kuva 13.	Kuva 13. Lämmityksen epäsuora kytkentä. Lämpimän käyttöveden kulutus käynnistää pumpun P2. Vesivirtaa varaajasta lämmönsiirtimeen säädetään säätöventtiilin avulla (termostaattisesti ohjattu).

Ratkaisujen toimintaa analysoitiin TRNSYS-simulointiohjelmistolla ja varmistettiin laboratoriokokeilla järjestelmillä, joissa oli 200 litran varaaja. Tulos osoitti, että lämpötilakerrostuma laboratorion varaajassa oli itse asiassa parempi kuin TRNSYS-tuloksissa. Kokeet varmistivat, että molemmat ratkaisut pystyvät täyttämään suunnittelukriteerit. Siten on mahdollista toteuttaa kaukolämpöratkaisu yhden perheen matalaenergiatalossa, jossa menoveden lämpötila on keskimäärin hieman yli 50 °C ja paluuveden lämpötila alle 20 °C. (Paulsen et al. 2008)

4.2.2 Pöyryn ehdottama lämmönjakokeskus

Uusi elementti tässä, muuten Suomen oloissa tyypillisessä, ratkaisussa on pienen tilavuuden käyttövesivaraaja, jonka tarkoituksena on tasoittaa kuuman käyttöveden lämpötilan vaihtelut, Kuva 14. Hyvin eristetty varaaja on kytketty LKV-piiriin siten, että lämmönvaihtimesta tuleva hetkellinen kuuma pulssi varastoidaan säiliöön. Siten varaajasta lähtevän kuumen veden lämpötila pysyy lähes vakiona. Varaajan tilavuus mitoitetaan suurimman kulutuksen mukaan, niin että säätimen vastinaikana (2 minuuttia) lämpimän veden kulutus tulee lähes kokonaan säiliöstä.

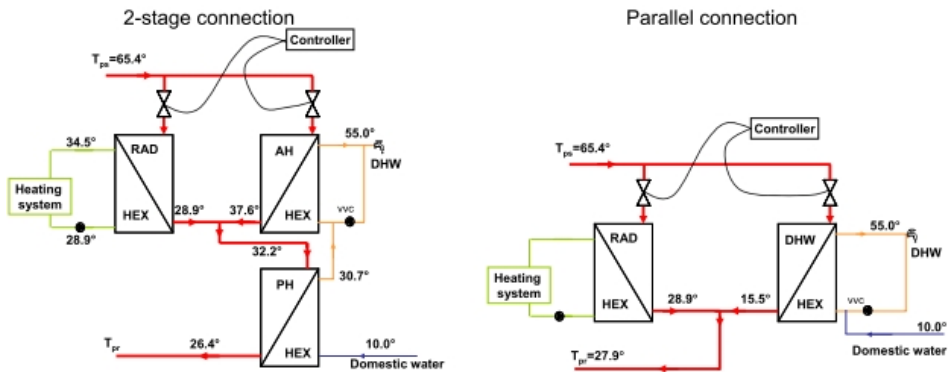
Laskettuna omakotitalon 0,3 /s kuumen veden kulutuksen mukaan 2 minuutin vastinaika vaatii 20 litran varaajan. Vastaavasti 15 asunnon rivitalon varaajan tilavuus on noin 90 litraa, kun LKV:n mitoitusvirtaama on 0,5 l / s. (Pöyry 2011)



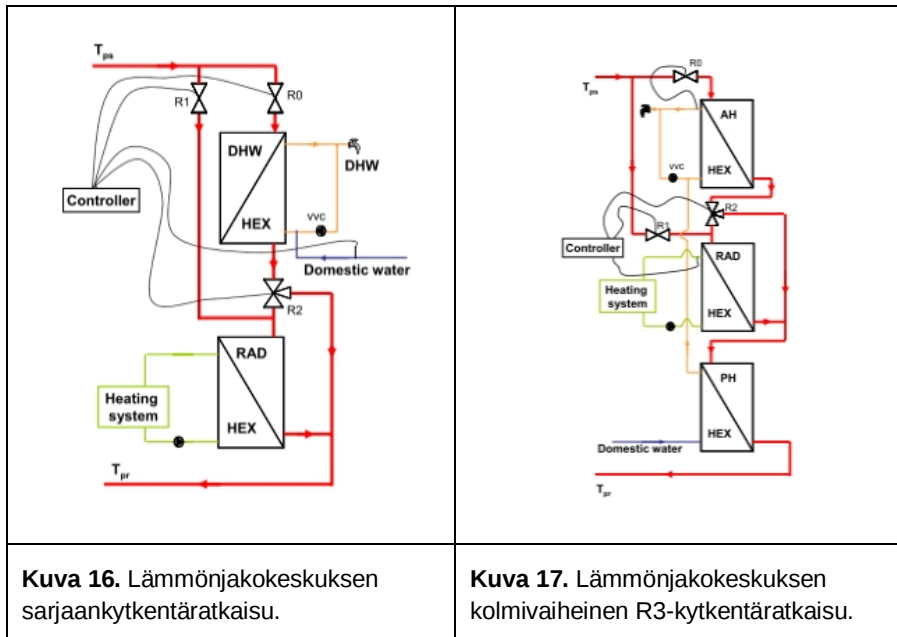
Kuva 14. Pienen tilavuuden vesivaraaja lämpimän käyttöveden kiertopiirissä. (Pöyry 2011)

4.2.3 Lämmönjakokeskusten konsepteja Ruotsista

Johanssonin et al. (2009) esittämässä tutkimuksessa pyrittiin selvittämään, mitkä eri lämmönjakokeskuksen kytkentäratkaisusta takaavat parhaan jäähtymän, eli ovat optimaalisia paluulämpötilan näkökulmasta. Tämä tehtiin vertaamalla kahta Ruotsissa tyypillistä (Kuva 15) ja kahta vaihtoehtoista kytkentäratkaisua (Kuva 16 ja Kuva 17), joiden toimintaa simuloitiin lämpötilatasoiltaan eri lämmitysratkaisuihin: 80/60, 75/35, 60/40, 55/45 ja 43/30 °C. Simulointitulokset osoittivat, ettei tyypillisissä kytkennöissä juuri ollut hyötyä siirtymisestä 80/60-tasosta matalammalle tasolle 55/40 °C. Sarjaan kytkennän todettiin olevan tehokkain primääriveden jäädyttäjän kohteissa, joissa oli LKV-kierto, ja jopa sitäkin parempi pienen LKV-kulutuksen kohteissa. Paluuv veden lämpötila oli aina matalin kolmivaiheisissa ratkaisuihin, kun taas rinnankytkentä ja 2-vaiheen ratkaisut antoivat huonompia tuloksia kaikilla kuormilla. Sekä kolmivaiheinen R3 että sarjakytkentä perustuvat samaan periaatteeseen ja edellyttävät kehittyntä säätöjärjestelmää. (Johansson et al. 2009)



Kuva 15. Lämmönjakokeskuksen kaksivaiheinen (vas.) ja rinnan (oik.) kytkentäratkaisu ulkolämpötilalla $T_{out} = 8^\circ\text{C}$ ja mitoituslämpötilalla $60/40^\circ\text{C}$ (60 asuntoa).



Kuva 16. Lämmönjakokeskuksen sarjaankytkentäratkaisu.

Kuva 17. Lämmönjakokeskuksen kolmivaiheinen R3-kytkentäratkaisu.

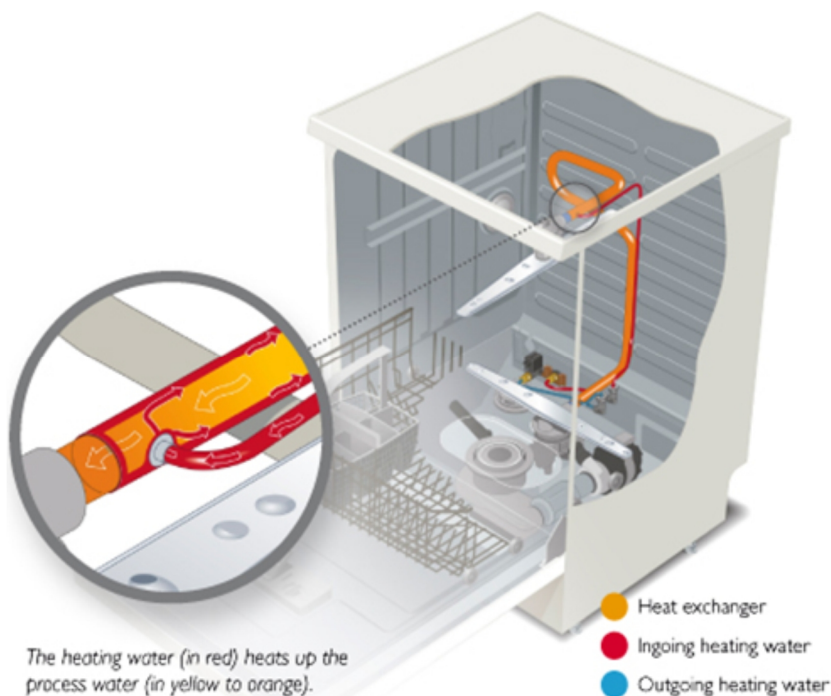
Taulukko 9. Simulointituloksia. Ensiöveden paluulämpötilan T_{pr} muutos on merkitty symboleilla: “-“ pudotus $>1\text{ }^{\circ}\text{C}$, “(-)” pudotus $0,3\text{--}1\text{ }^{\circ}\text{C}$, “+” nousu $>1\text{ }^{\circ}\text{C}$, “(+)” nousu $0,3\text{--}1\text{ }^{\circ}\text{C}$, “~“ muutokset alle $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vasemman sarakkeen luvut tarkoittavat simuloitujen talojen määrää.

	temperature program	2-stage	R3-stage	Parallel	Series	Parallel with PH/AH	Series with PH/AH
15	8060	34.3	-	+	(+)	(+)	~
	5545	30.1	-	+	~	~	(-)
	6040	29.0	-	+	(-)	~	-
	7535	28.0	-	+	(-)	~	-
	4030	26.8	-	+	-	~	-
60	8060	33.2	(-)	+	+	(+)	(+)
	5545	28.3	-	+	(+)	(+)	~
	6040	27.1	-	+	(+)	(+)	(-)
	7535	25.9	-	+	~	~	(-)
	4030	24.5	-	+	(-)	~	-
120	8060	32.0	(-)	+	+	+	+
	5545	26.8	-	+	(+)	(+)	(+)
	6040	25.4	-	+	(+)	(+)	~
	7535	24.2	-	+	(+)	(+)	~
	4030	22.7	-	+	~	~	(-)

Johtopäätös tutkimuksesta on, että kaikissa kuormitusilanteissa yksinkertainen rinnankytkentäjärjestelmä on heikoin. R3-vaiheinen kytkentä antaa kaikissa tilanteissa alimman paluuveden lämpötilan (Taulukko 9). Kuitenkin juuri tämä järjestelmä vaatii kehittyneintä säätöä. (Johansson et al. 2009)

4.3 Innovatiivisia kaukolämmön sovelluksia

Ruotsalainen yritys on kehittänyt tuoteperhettä, jossa perinteisesti sähköllä toimivia laitteita korvattiin kaukolämmöllä toimiviksi. Kaukolämpöverkkoon kytkettävällä astianpesukoneella, pyykinpesukoneella ja kuivaajalla on markkinoilla ainutlaatuinen rakenne. Nämä tuotteet kierrättävät kuumaa kaukolämpöä lämmönvaihtimen kautta laitteen sisällä, Kuva 18. Tämä lämmittää prosessiveden (astianpesukoneet ja pesukoneet) tai prosessi-ilman (kuivaimissa), mikä vähentää perinteisen sähkövastuksen käyttötarvetta. Tällä pystytään korvaamaan jopa 90 % sähköenergian kulutuksesta. Samat tuotteet pystyvät toimimaan myös ilman kaukolämpöä eli käyttäen normaalisti 100-prosenttisesti sähkölämmitystä.



Kuva 18. Kaukolämmöllä toimivan tiskikoneratkaisun esimerkki (ASKO-tuote).

4.4 Yhteenveto

Suomessa on kehitetty uusi kaukolämpöön ja kaukojäähdytykseen tarkoitettu ns. rengastyypinen verkkoratkaisu, joka perustuu uuteen massavirran säätötapaan (Kuosa et al. 2013). Lämmönjakokeskuksessa virtauksia ensiö- ja toisiopuolella ohjataan taajuusmuuttajilla varustettujen pumppujen avulla. Tällainen virtaussäätö korvaa perinteisen ratkaisun, jossa veden virtausta kuristetaan säätöventtiileillä. Uudessa ratkaisussa virtausnopeus verkossa, painehäviöt ja vaadittu pumppaus-teho ovat huomattavasti pienempiä kuin perinteisessä kaukolämpöratkaisussa.

Tanskalaisessa tutkimuksessa (Dalla Rosa & Christensen 2011) käytettiin suunnittelussa mahdollisimman matalaa lämpötilatasoa ja uusiutuvia energialähteitä sekä sovittiin lämpötilatasot verkossa ja kulutuspuolella lähelle toisiaan, jotta pystyttäisiin vähentämään lämpöhäviöitä jakeluverkossa. Tämä mahdollisti alhaisten lämpötilojen (50–55 °C ensiötulo ja 20–25 °C paluulinjassa) ja edullisempien pienikokoisten muoviputkien käytön. Pienempien putkien käyttö laski hieman investointi- ja asennuskustannuksia, mutta toisaalta lisäsi pumppausenergian tarvetta. Tällä kuitenkin todettiin olevan vähäinen merkitys, koska pumppausenergian osuus primäärienergian käytöstä on korkeintaan noin 2 %.

Monia mahdollisia kytkentävaihtoehtoja lämmönjakokeskuksessa on tutkittu erityisesti Tanskassa ja Ruotsissa (esim. Nilsson et al. 2012, Paulsen et al. 2008,

Johansson et al. 2009): suora (ilman lämmönvaihdinta) tai epäsuora (lämmönvaihtimella) kytkentä, lämmönvaihtimet kytketty rinnan tai sarjaan, yksi- tai kaksivaiheisena, lämmön varastoinnilla tai ilman, varaajan sijoituksella ensiö- tai toisiopuolella jne. Toiminnallisena tavoitteena niissä on tarjota palvelua (lämmitystä ja käyttöä) mahdollisimman lyhyellä odotusajalla (LKV), matalalla lämpötilatasolla ja varmistaa primääriveden hyvä jäähdytys.

Suomessa kehitettiin lämmönjakokeskus, jossa uutena elementtinä on pieni varaaja, jonka tehtävänä on vaimentaa vaihtelut LKV:n menolämpötiloissa (Pöyry 2011). Hyvin eristetty varaaja on liitetty kuumen veden piiriin siten, että lämmön siirtimestä tuleva hetkellinen kuuma/kylmä pulssi sekoittuu varaajaveden kanssa. Menoputki on kytketty varaajan keskiosaan, joten varaajasta lähtevän veden lämpötila pysyy lähes vakiona.

Ruotsalainen yhtiö (ASKO) on kehittänyt joukon kaukolämpöä käyttäviä kodinkoneita. Astianpesukoneissa, pyykinpesukoneissa ja kuivausrummuissa kaukolämpövesi kiertää lämmönvaihtimessa koneen sisällä ja kuumentaa prosessivettä (astianpesukoneet ja pesukoneet) tai prosessi-ilmaa (kuivausrummut) vähentäen perinteisen sähkövastuksen käyttötarvetta. Toisessa tutkimuksessa arvioitiin, että sähköä korvaavalla kaukolämmön käytöllä kodinkoneissa saattaa olla ympäristökuormitusta vähentävää potentiaalia.

Tutkittujen noin 50 vertaisarvioitujen julkaisujen, konferenssisiesitelmien ja tutkimusraporttien perusteella voidaan päätellä, että matalalämpötilainen kaukolämpö on lupaava konsepti, joka avaa sekä toimijoille että kuluttajille uusia mahdollisuuksia jakaa ja hyödyntää lämpöä. Haasteina ovat edelleen investointi- ja käyttökustannusten vähentäminen, järjestelmän lämpöhäviöiden pienentäminen, järjestelmän joustavuuden kasvattaminen kulutusvaihteluille ja asiakkaiden sovellusmahdollisuuksien lisääminen. Viimeaikaiset tutkimus- ja pilottihankkeet Tanskassa ja Ruotsissa käsittelevät näitä aiheita. Samalla kansainvälisen yhteistyön tärkeys kasvaa standardien luomisessa ja seuraavan sukupolven kaukolämpöjärjestelmien kehittämisessä ja rakentamisessa.

Suomen ja erityisesti Tanskan lähtötilanteiden eroista kannattaa huomata:

- Tanskassa käytetään huomattavasti suomalaista käytäntöä ohuempia eristeitä, eli lämpöhäviöt ovat Tanskassa huomattavasti Suomea suuremmat.
- Tanskassa kaukolämmön ja sähkön hinnat ovat huomattavasti Suomen hintoja korkeammat.
- Tanskassa kaukolämmitetään huomattavasti enemmän pientaloalueita, jotka eivät ole kovin tiiviitä.
- Tanskan ilmasto on huomattavasti Suomea lämpimämpi.
- Tanskassa on kaukolämpöön liittymisvelvoite, kaukolämmöstä ei voi erota.

Sinällään sama tekniikka on kuitenkin em. eroista huolimatta sovellettavissa muo-
lemmissa maissa.

5. Kaukolämpökytkennät ja alueverkot

35 viime vuoden aikana kaukolämmitettyjen rakennusten ominaislämmönkulutus on lähes puolittunut. Käytössä olevat pientalojen kaukolämmitysratkaisut perustuvat nykyistä suurempaan lämmönkulutukseen. Järjestelmät ovat myös teknisesti melko raskaita. Muuttuvassa markkinatilanteessa on löydettävä uusia innovaatioita, jotka johtavat kevyempiin ja halvempiin ratkaisuihin sekä kaukolämpöverkon että kuluttajalaitteiden toteuttamisessa. Koska rakennukseen myytävän lämmön määrä pienenee, on investointien oltava halvempia, jotta kaukolämmitys pystyy myös kannattavuudessa kilpailemaan vaihtoehtoisten lämmitystapojen kanssa. Lisäksi asiakkaille tulee kehittää uusia palvelumalleja. Uusien innovaatioiden löytäminen on kaukolämpöalalle ensiarvoisen tärkeää, jotta se kykenee kilpailemaan muuttuneessa tilanteessa muiden vaihtoehtoisten lämmitystapojen kanssa.

5.1 Kehitetyt kytkentävaihtoehdot

Luvussa 4 esitettyssä kirjallisuustutkimuksessa selvitettiin kehityksen kohteina olevia kytkentäratkaisuja eri maissa. Tässä hankkeessa tavoitteena oli tarkastella:

- uusia kytkentävaihtoehtoja
- kustannustehokkaita järjestelmien kevennysratkaisuja
- talotekniikkamitoituksia.

Tavoitteena oli hyvä jäähtymä kaukolämpövedelle, pieni lämpimän käyttöveden tehontarve sekä kustannustehokkuus. Tarkasteltavat osajärjestelmät olivat:

- tilojen lämmitykset (lattialämmitys)
- käyttöveden lämmitys, varaajakytkennät.

Ohjausryhmän kanssa käydyissä pohdinnoissa määritettiin tärkeimpinä kehitysnäkökulmina järjestelmä, joka mahdollistaa uusiutuvan energian liittämisen kaukolämpöön, on luotettava häiriötilanteissa, mahdollistaa kesäaikaisen mukavuuslämmityksen (erityisesti märkätilojen lämmitys) ja pienentää asiakkaan kustannuksia. Näistä lähtökohdista periaatetasolla luonnosteltiin pelkän käyttöveden varaajakytkennät ja sekä käyttöveteen että lämmitykseen liitetyt varaajakytkennät. Varaajakytkentävaihtoehdot edellyttäisivät tarkempaa laskennallista analysointia,

jotta niiden vaikutukset kaukolämpökytkennässä voitaisiin varmentaa. Etenkin vaikutukset kaukolämpöveden jäähtymään ja elinkaarikustannuksiin pitäisi selvittää.

Ruotsissa on aurinkolämmön liittämiseksi kaukolämpöön kehitetty kytkentämallit, joissa varaaja on liitetty pelkästään aurinkolämmön tuottoon, ja kaukolämpöä käytetään käyttöveden ja/tai lämmityksen "priimaukseen". Vastaavanlaisia kytkentöjä käytetään myös Suomessa, esimerkiksi poistoilmalämpöpumppujen liittämiseksi kaukolämpöön. Hankkeessa päätettiin analysoida tarkemmin näitä jo käytössä olevia kytkentävaihtoehtoja.

5.1.1 Aurinkolämpökytkennän laskenta

Ruotsalaisissa kaukolämpöohjeissa (Svensk Fjärrvärme 2009) esitetään useita aurinkolämmön kytkentävaihtoehtoja suurille kiinteistöille. Aurinkolämpöä käytetään joko pelkästään käyttöveden lämmitykseen tai myös tilojen lämmitykseen. Aurinkolämpökeräimet kytketään joko kaukolämmön primääri- tai sekundääripuolelle, suoraan tai lämpövaraajan välityksellä.

Pientaloille suositellussa varaajakytkennässä pelkän käyttöveden lämmitykseen aurinkolämpöjärjestelmän pumppua ohjataan aurinkokeräimien ja lämpövaraajan lämpötilaeron perusteella. Käyttövesi virtaa aina varaajan läpi mutta säätöventtiilillä huolehditaan siitä, ettei käyttövesi lämpene liian kuumaksi. Komponentit ovat tavanomaisia ja kytkentä on todettu toimintavarmaksi. Toisessa kytkentäratkaisussa aurinkolämpöä käytetään myös tilojen lämmitykseen. Kun lämpötila varaajan yläosassa on korkeampi kuin lämmitysverkoston paluulämpötila, säätöventtiili avautuu. Toinen säätöventtiili ja lämmityslämmönsiirtimen oma säätöventtiili säätelevät vaihteittain lämmityksen menoveden lämpötilaa.

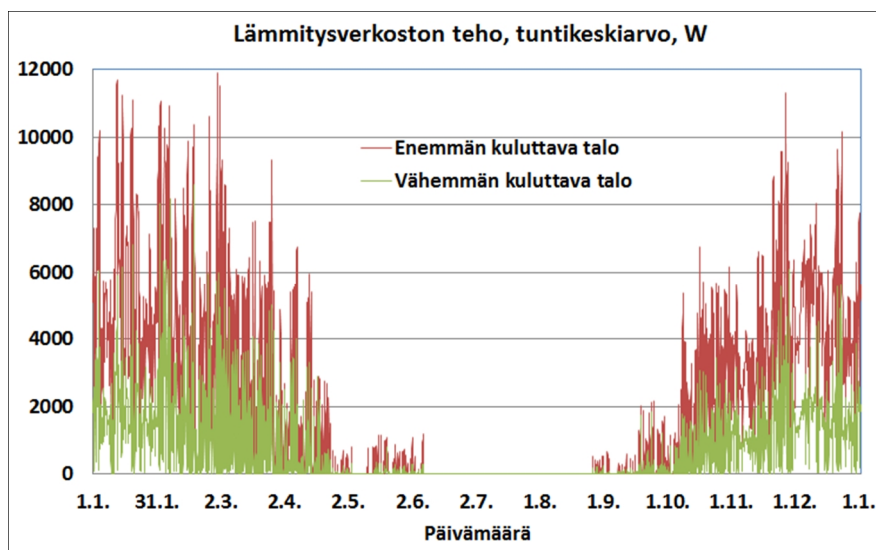
Tässä hankkeessa laskennalliseen analyysiin valittiin ruotsalaisen tapainen aurinkolämmön ja kaukolämmön kytkentä (Kuva 19). Siihen lisättiin käyttöveden kiertojohto, jonka lämpöhäviö on 250 W. Kuva 19 esittää kytkennän yksinkertaistetun kaavion ja Kuva 20 sen mallinnuskaavion IDA-ICE-laskentaohjelmassa (Equa 2013).

Laskenta suoritettiin IDA-ICE-laskentaohjelmalla (Equa 2013) Helsingin säätiedoilla tunneittain kahdelle talolle, joiden lämmön ja käyttöveden kulutukset poikkeavat toisistaan, Taulukko 10.

Taulukko 10. Vähemmän ja enemmän kuluttavan talon lämmön ja käyttöveden kulutukset vuodessa.

	Talo 1	Talo 2
Lämmitysverkoston lämmönkulutus, kWh	6 400	17 982
Lämpimän käyttöveden kulutus, litraa vuorokaudessa	133	220
Kulutetun käyttöveden lämmönkulutus, kWh	2 820	4 675
Käyttöveden kiertojohdon lämmönkulutus, kWh	2 190	2 190
Lämmönkulutus yhteensä, kWh	11 410	24 845

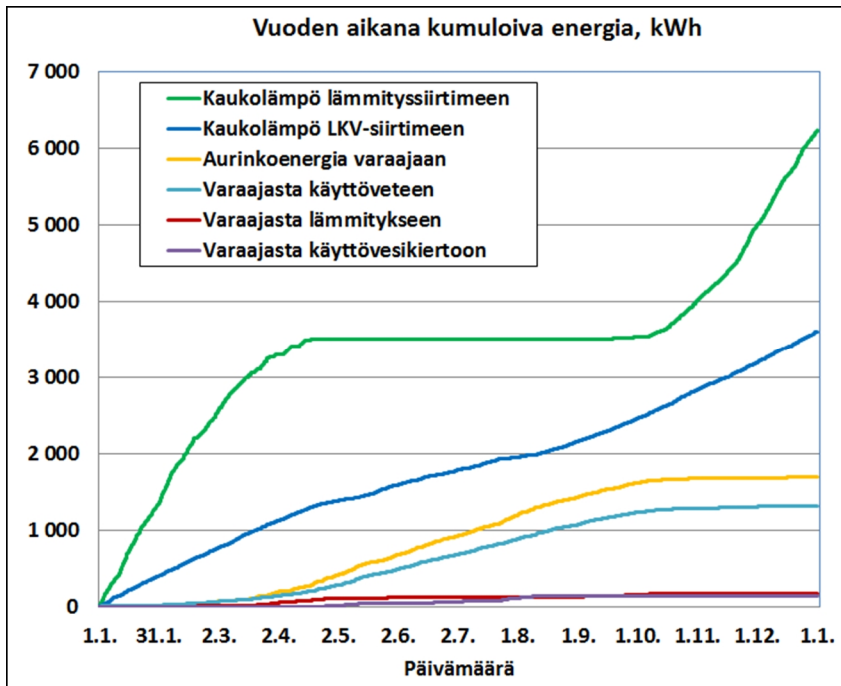
Lämmitysverkostosta jaetaan lämpöä lattialämmitykseen. Menoveden lämpötila on korkeimmillaan 38 astetta ja sitä ohjataan ulkolämpötilan perusteella. Lämmitysverkoston teho on esitetty kuvassa, Kuva 21. Lämpimän käyttöveden menolämpötila on 58 °C ja kiertoveden paluulämpötila 55 °C. Kylmän käyttöveden lämpötila on 8 °C. Kaukolämmön menoveden lämpötila on laskennassa kesäkaudella (touko–elokuu) 75 °C ja muulloin 85 °C. Samoja lämpötilatasoja käytettiin myös verkko-simuloinneissa (luku 5.2.1).



Kuva 21. Lämmitysverkoston tehontarve tunneittain enemmän ja vähemmän kuluttavassa talossa.

5.1.1.1 Aurinkoenergian määrä

Simulointituloksissa esitetään, miten aurinko- ja kaukolämpöä käytetään vuoden aikana kun aurinkokeräimen ala on 6 m^2 ja lämpövaraajan tilavuus 400 litraa (Kuva 22). Aurinkolämpöä saadaan merkittävästi maaliskuun alusta lokakuun alkuun. Suurin osa aurinkoenergiasta siirtyy varaajasta käyttöveteen. Lämmitysverkostoon siirtyvä energia jää pieneksi, koska aurinkoenergian tuotto ja rakennuksen lämmitysenergian tarve eivät kohta kovin hyvin. Myös varaajasta käyttöveden kiertojohtoon siirtyvä energia jää pieneksi, koska varaajan yläosan lämpötila on harvoin korkeampi kuin kiertojohtojen paluulämpötila 55°C .



Kuva 22. Kaukolämpö- ja aurinkoenergian kertymät vuoden aikana vähemmän kuluttavassa talossa, kun keräinala on 6 m^2 ja varaajan tilavuus 400 litraa.

Taulukko 11. Aurinkokeräimen ja varaajan koon vaikutus auringosta saatavaan energiaan. Vähemmän kuluttava talo.

Aurinko- keräin	Varaaja	Varaajasta käyttövesikiertoon	Varaajasta käyttö-veteen	Varaajasta lämmitykseen	Kaukolämpö LKV-siirtimeen	Kaukolämpö lämmitys-siirtimeen	Kaukolämmön säästö	Säästö/ keräinala
m ²	litraa	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh/m ²
3	200	42	999	67	3988	6335	1090	363
4	300	64	1143	108	3838	6294	1281	320
6	400	138	1319	161	3608	6241	1564	261
6	800	80	1326	188	3662	6213	1537	256
12	800	304	1550	280	3240	6121	2051	171
-	-				5011	6401		

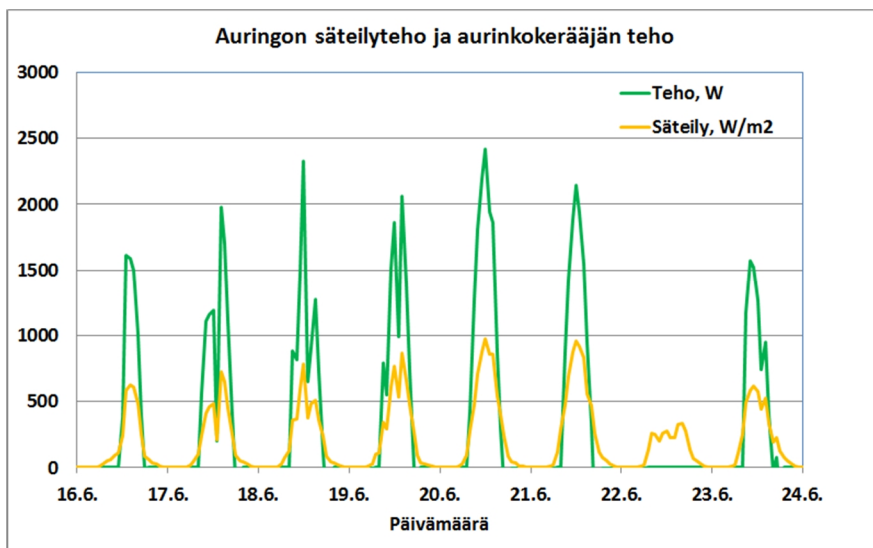
Taulukko 11 esittää varaajasta ja kaukolämmöstä otetut vuotuiset energiamäärät eri käyttökohteisiin, kun aurinkokeräimen koko ja varaajan koko vaihtelevat. Taulukkoon on laskettu myös kaukolämpöenergian säästö verrattuna tilanteeseen, jossa aurinko-energiaa ei käytetä. Säästö lisääntyy keräimen pinta-alan kasvaessa, mutta säästö keräimen pinta-alaa kohti pienenee ja vaihtelee välillä 170–360 kWh/m² vuotta kohti (enemmän kuluttavassa talossa oli noin 200–420 kWh/m²). Varaajan koon kasvattaminen ei lisää säästöä mutta se lisää hieman lämmitykseen saatavan energian määrää.

Yleinen likiarvio aurinkolämmön saannille Suomessa on puolet käyttöveden lämmitystarpeesta. Esitetyt laskentatulokset tukevat tätä. Vähemmän kuluttavassa talossa 6 m²:n aurinkokeräimillä saadaan 55 % käyttöveden lämmitystarpeesta. Enemmän kuluttavassa talossa 12 m²:n aurinkokeräimillä saadaan 54 % käyttöveden lämmitystarpeesta.

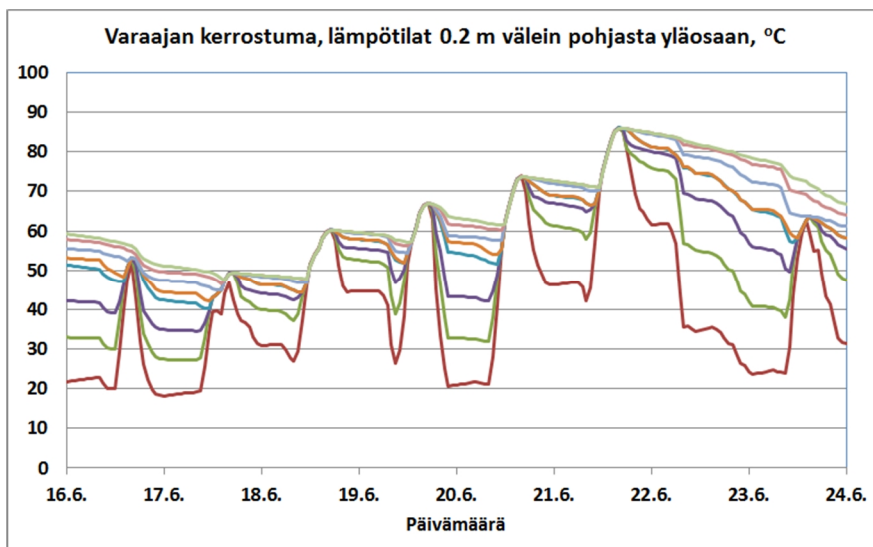
Aurinkokeräimillä saatu kaukolämpöenergian säästö on laskelmissa suurimmillaan 2 500 kWh vuodessa, kun enemmän kuluttavassa talossa on 12 m²:n aurinkokeräimet. Nykyisellä kaukolämmön keskihinnalla (0,060 €/kWh, huhtikuu 2014) kaukolämmön energiamaksun säästö on 150 € vuodessa. Vastaavan aurinkojärjestelmän hintaluokka on yli 3 000 €, joten aurinkojärjestelmän takaisinmaksuajaksi tulee 20 vuotta tai enemmän.

5.1.1.2 Aurinkolämpöjärjestelmän toiminta

Laskennat osoittivat, että aurinkokeräimistä saadaan lämpimällä kesäviikolla ajoitain yli 2000 W:n teho (Kuva 23). Lämpövaraajan kerrostuma vastaavalla jaksolla on kuvassa (Kuva 24).



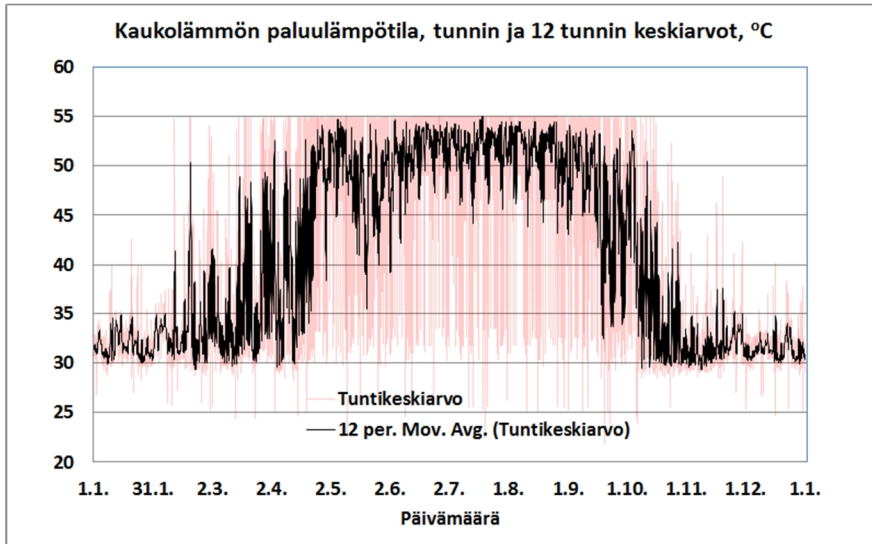
Kuva 23. Aurinkokeräimen teho kesäviikolla vähemmän kuluttavassa talossa, kun keräinala on 6 m^2 ja varaajan tilavuus 400 litraa.



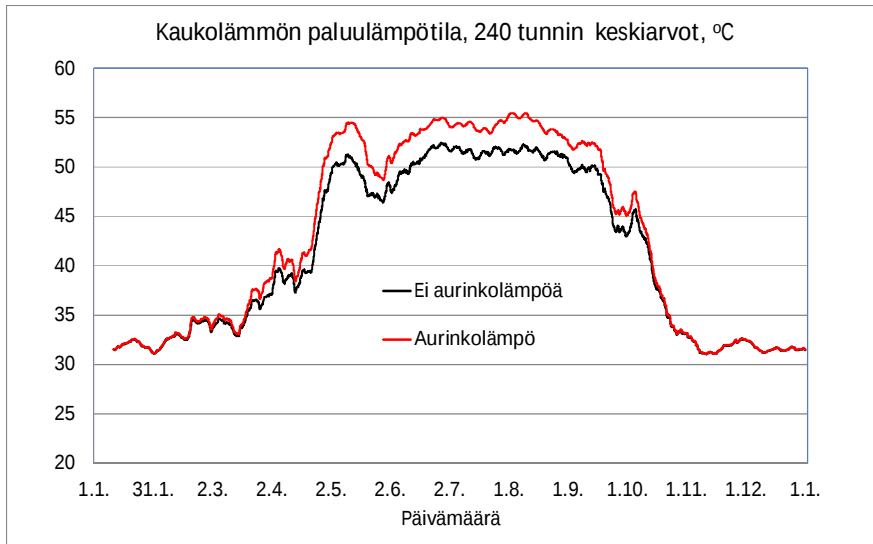
Kuva 24. Lämpövaraajan kerrostuma kesäviikolla vähemmän kuluttavassa talossa, kun keräinala on 6 m^2 ja varaajan tilavuus 400 litraa. Käyttöveden kiertojohtoa ei lämmitetä.

5.1.1.3 Kaukolämmön paluulämpötila

Kuvista (Kuva 25 ja Kuva 26) nähdään aurinkoenergian käytön vaikutus kaukolämmön paluulämpötilaan. Talvella paluulämpötila määräytyy pääosin lämmitysverkoston paluulämpötilan perusteella ja kesällä käyttöveden lämmitystarpeen sekä kiertojohtoon lämpötilan perusteella. Aurinkolämmitys nostaa paluuv veden lämpötilaa noin kolmella asteella, ks. Kuva 26.



Kuva 25. Kaukolämmön paluulämpötilan keskiarvosarjat vuoden aikana enemmän kuluttavassa talossa, kun käytetään pelkästään kaukolämpöä.



Kuva 26. Kaukolämmön paluulämpötila, kun käytetään aurinkolämpöä kaukolämmön yhteydessä tai pelkästään kaukolämpöä (enemmän kuluttava talo, 240 tunnin liukuva keskiarvo).

5.2 Tutkittu kaukolämpöverkko

Tässä luvussa käsitellään nykyisten rakennusmääräysten mukaisen pientaloalueen liittämistä kaukolämpöön ja tutkitaan alueen jakelujärjestelmän eli kaukolämpöverkon toimintaa. Konkreettisenä tutkimuskohteena oli Hyvinkään asuntomessualueen kaukolämpöjärjestelmä.

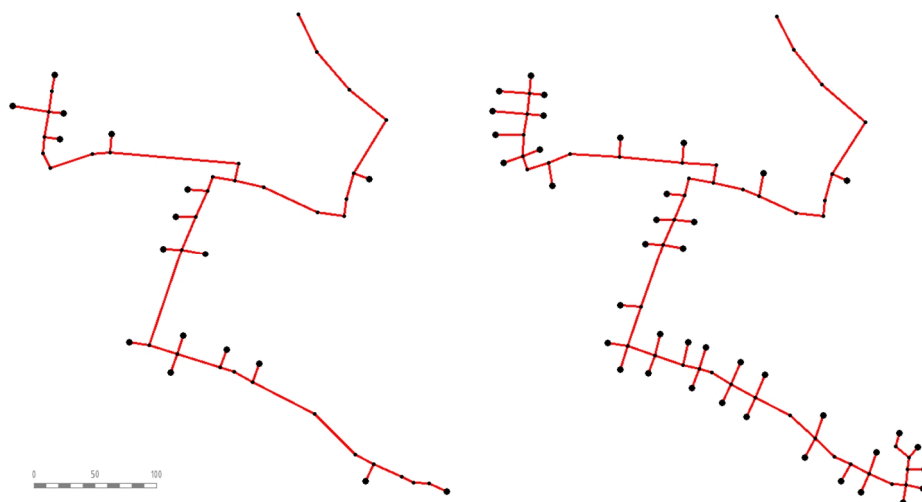
5.2.1 Lähtötiedot ja tutkimuksen kohde

Työkaluna tutkimuksessa toimii verkkolaskentamalli, joka ratkaisee lämpötilat, paineet, virtaukset ja lämpöhäviöt verkon eri osissa antaen näin kuvan järjestelmän toiminnasta kulutuksen ja muiden lähtötietojen vaihdellessa. Laskenta on lämmön osalta dynaaminen eli lämpötilavaihtelut eri puolella verkkoa mallinnetaan. Lähtötietona verkkomalli tarvitsee tiedon verkon rakenteesta ja mitoituksista, lämpötilan verkon alkupisteessä sekä kulutuksen ja toisiopuolen lämpötilat kullekin kuluttajalle. Kulutus on jaettu käyttövedelle ja lämmitykselle, joille kummallekin on määritetty omat vuoden mittaiset aikasarjansa. Lisäksi kuluttajapuolen lämmönsiirtimeet on mallinnettu määrittelemällä näille mitoitusilanteessa konduktanssi (W/K), joka oletetaan laskennassa vakioksi. Tätä laskettaessa on käytetty taulukossa esitettyjä mitoituslämpötiloja (Taulukko 12) sekä tietoa huipputehontarpeesta kulutusaikasarjoihin perustuen jättäen pois yksittäisten tuntien selkeästi normaalia tehonvaihtelua korkeammat kulutuspiikit.

Taulukko 12. Lähtöolettamuksena käytetyt lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat.

	Ensiöpiiri	Toisiopiiri
Lämmitys	70/25 °C	20/35 °C
Käyttövesi	70/25 °C	10/58 °C

Tutkimuskohteesta on muodostettu kaksi eri verkkoversiota. Toisessa järjestelmään on liitetty ne talot, jotka olivat valinneet kaukolämmön lämmitystavakseen tutkittavista verkkorakenteista päätettäessä ja toisessa on yksinkertaisesti oletettu kaikkien alueen kuluttajien olevan kaukolämpöasiakkaita. Liityntäaste ensimmäisessä tapauksessa on 47 %. Alla (Kuva 27) on esitetty tutkittavat verkkorakenteet, joissa punaiset viivat kuvaavat putkilinjoja, pienet mustat täplät solmupisteitä ja suuremmat pisteet kuluttajia. Alueelle tuodaan lämpöä oikean yläkulman haarasta.



Kuva 27. Tutkittavat verkkorakenteet, vasemmalla nykytilanteen mukainen alue ja oikealla alue 100 %:n liityntäasteella.

Alue voidaan luokitella matalan kulutustiheyden alueeksi kummassakin tapauksessa, mikä asettaa yleisesti haasteita jakelujärjestelmän tehokkuudelle ja kannattavuudelle. Koska alueen siirtokapasiteetti on mitoitettava kulutuksen mukaan ottaen huomioon myös tulevaisuuden tarpeen, putkikoot ovat helposti toteutuneeseen kulutukseen nähden suuret. Näin on myös tutkittavissa tapauksissa. Tämän vuoksi molemmat verkkorakenteet on mallinnettu yhtenä tutkimustapauksena myös kulutuksen mukaisella putkimitoituksella. Liityntäjohdot on molemmissa tapauksissa mitoitettu kulutuksen mukaan. Mitoitussääntönä on käytetty painehäviölle huippukulutuksen aikana 1–2 bar/km.

Matalan kulutuksen alueilla on erityisesti kesäaikaan tyypillistä, että menopuolen lämpötila kaukolämpöverkossa laskee pienien virtausten ja virtausnopeuksien takia liian alhaiseksi, että käyttövesi kyettäisiin lämmittämään määräysten mukaiseen 58 °C lämpötilaan. Tilanteen korjaamiseksi ratkaisuna on yleisesti käytetty kiertojohtoja verkon kriittisten osien päihin, jotta kaikille kuluttajille taattaisiin tarpeeksi korkea lämpötilataso. Näin on tehty myös tutkituissa tilanteissa määrittelemällä minimivirtaus viimeisille kuluttajille verkon kahden haaran päissä. Lisäksi on tutkittu tilannetta, jossa minimivirtaus olisi määritelty kaikille kuluttajille eli oletettu toiminnon lisääminen yleisesti kaikkien lämpökeskusten säätöjärjestelmään. Minimivirtaus on pyritty määrittelemään siten, että lämpötilataso on riittävän korkea kullakin kuluttajalla tai ainakin siten, että käyttöveden tavoitelämpötilasta joudutaan tinkimään vain yksittäisinä jaksoina kestoltaan tunnista muutamaan tuntiin. Käytännössä kuluttaja ei tätä missään tilanteessa huomaa. Verkon haarojen päässä tavoitelämpötila on 65 °C ja kuluttajakohtaisella minimivirtauksella pyritään rajoittamaan lämpötila alimmillaan 62 °C lämpötilaan. Tämä läpivirtaus alkaa kasvaa, kun lämpötila on alle 70 °C, ja se saavuttaa määritellyn maksimiarvonsa 65 °C:n lämpötilassa. Laskentateknisesti lämmönsiirrinmalli on toteutettu siten, että jos lämpötilataso ei ole riittävän korkea, tingitään sekundääripuolen tavoitelämpötilasta. Kulutustason oletetaan pysyvän muuttumattomana.

Alueen talojen lämmityksen energiankulutus on mallinnettu erikseen IDA-ICE-simulointityökalulla. Tarkat tiedot tai mallinnustulokset on saatu nykytilanteen mukaiselle alueelle 59 %:sta kuluttajia ja täyden liityntäasteen tilanteessa 25 %:sta kuluttajia. Kaikissa taloissa on lämmönjakotavaksi oletettu lattialämmitys.

Käyttöveden kulutuksen mallintamiseen on käytetty APROS-ohjelmistoon (APROS Process Simulation Software) rakennettua käyttöveden kulutusajakaarjageneraattorimallia, jonka antamat tulokset pohjautuvat kulutuksen todennäköisyyteen eri tunteina ja viikonpäivinä. Lähtötietona generaattorille on annettu asukkaiden lukumäärä, joka on arvioitu olettamalla asukkaita olevan keskimäärin kolme asuntoa kohden. Tätä lukumäärää on skaalattu asunnon koon tai rivitalojen tapauksessa asuntojen lukumäärän mukaan. Tuloksena omakotitaloissa on oletettu asuvan 3–4 henkilöä ja suuremmilla rivitaloilla noin kymmenkertainen määrä. Generaattori tuottaa uniikit aikasarjat todennäköisyysjakauman perusteella kullekin kuluttajalle 6 minuutin aika-askeleella, jonka perusteella on edelleen muodostettu aikasarjat myös yhden tunnin aika-askeleella. Lisäksi käyttöveden kiertojohtoon lämpöhäviöt eli käyttövesijärjestelmän aiheuttama pohjakuorma on arvioitu 250 W:n suuruiseksi. Kulutuksen koostuessa ainoastaan käyttöveden kiertojohtoon lämpöhäviöistä on käyttövesipiirin paluulämpötilaksi oletettu 55 °C eli kierron jäähtymäksi siis 3 °C, muulloin siirtimelle virtaavan veden lämpötila on 10 °C.

Taulukkoon alla on kerätty mallinnettujen tapausten tärkeimmät tunnusluvut (Taulukko 13).

Taulukko 13. Tärkeimmät tunnusluvut tarkastelluista tapauksista.

	Kuluttajien lukumäärä (kpl)	Kokonais-kerrosala (m ²)	Vuosi-kulutus (MWh)	Verkon pituus (m)	Kulutus tiheys (MWh/m)
Nykytilanne	17	6 033	511	1 223	0.42
100 % liityntäaste	40	14 386	1 231	1 675	0.74

Viimeinen laskennalle tärkeä lähtötieto on verkon menolämpötila alueelle tultaessa. Menolämpötilan osalta on päädytty yksinkertaistavaan määrittelyyn, jonka mukaan lämmityskauden ulkopuolella eli toukokuun alusta syyskuun alkuun (tunnit 3 000–6 000) menolämpötila on alueelle tultaessa 75 °C ja muuten 85 °C. Alueen lämpötilataso on siis normaalia kaukolämpöjärjestelmää matalampi.

5.2.2 Verkkosimuloinnin tulokset

Tutkittuja tapauksia on yhteensä kuusi kappaletta, Taulukko 14.

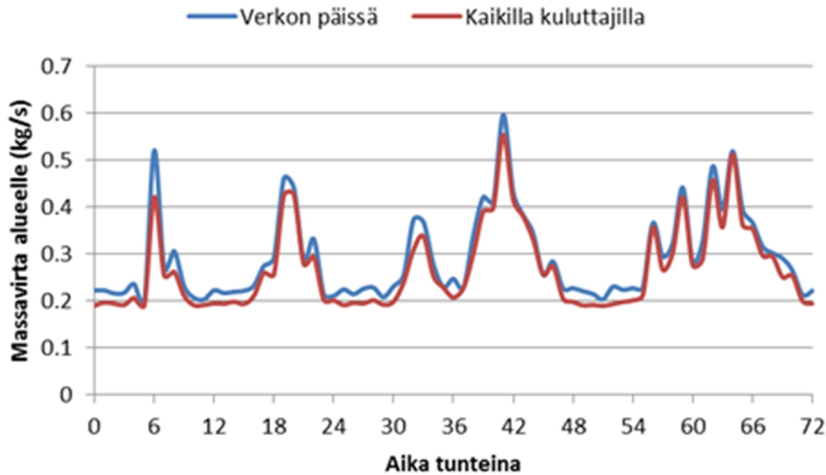
Taulukko 14. Tutkitut tapaukset ja käytetyt aika-askeleet.

Verkkorakenne	Aika-askel	Verkon mitoitus	Kiertojohdto
Nykytilanne	1 tunti	Todelliset putkikoot	Verkon päissä
100 % liityntäaste	1 tunti	Todelliset putkikoot	Jokaisella kuluttajalla
Nykytilanne	1 tunti	Kulutuksen mukaan	Verkon päissä
100 % liityntäaste	1 tunti	Kulutuksen mukaan	Jokaisella kuluttajalla
Nykytilanne	6 minuuttia	Todelliset putkikoot	Verkon päissä
100 % liityntäaste	6 minuuttia	Todelliset putkikoot	Verkon päissä

Järjestelmän toiminnan kannalta kiinnostavia tuloksia ovat kiertojohdon toiminta, menopuolen lämpötilataso yleisesti ja erityisesti lämmityskauden ulkopuolella, alueelta pois virtaavan kaukolämpöveden lämpötila, suhteelliset lämpöhäviöt sekä painehäviöt. Eri tapausten välillä on tehty näiden tulosten osalta vertailua silloin kun se on järkevää. Lisäksi on kiinnitetty huomiota valitun aika-askeleen vaikutukseen tuloksiin käytetyllä mallinnustavalla.

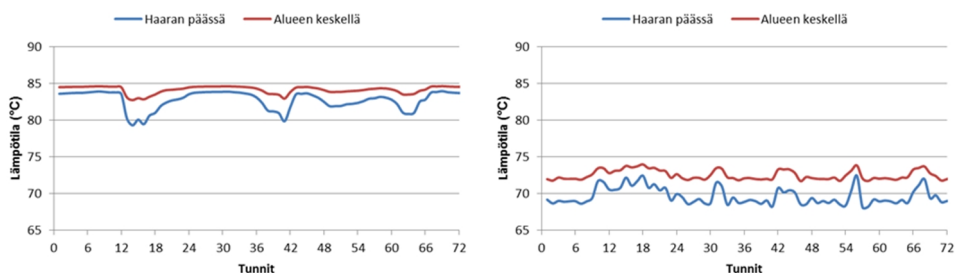
Kiertojohdto oli toteutettu tutkituissa tapauksissa kahdella eri tavalla: kierto verkon kummankin haaran päässä tai kierto jokaisella kuluttajalla. Kiertojärjestely ylläpitää virtausta verkossa matalan kulutuksen tilanteessa, ja tavoitteena on säilyttää verkossa riittävä lämpötilataso. Kierron ollessa toteutettuna verkon päissä muiden kuluttajien liityntäjohtoissa vesi liikkuu ilman kulutusta hyvin hitaasti ja tilanteen mukaan saattaa viilentyä alle tavoitelämpötilan. Jokaisella kuluttajalle

toteutetulla kierrolla tätä ei tapahdu lainkaan, vaan lämpötila on aina riittävän korkealla tasolla. Nopea kulutuksen kasvu myös kasvattaa virtausta voimakkaammin tilanteessa, jossa lämpötila on lähellä minimiarvoa kuin sen ollessa selkeästi riittävä. Tämä on nähtävissä myös simulointituloksista (Kuva 28). Määritellyin minimivirtauksin verkon päihin toteutettu kierto näkyy kautta linjan suurempina virtauksina kuin kaikille kuluttajille erikseen toteutettu vaihtoehto, kuten oli odotettua. Tutkittuina tapauksina ovat tässä nykytilanteen mukainen verkkorakenne ja todelliset putkikoot.



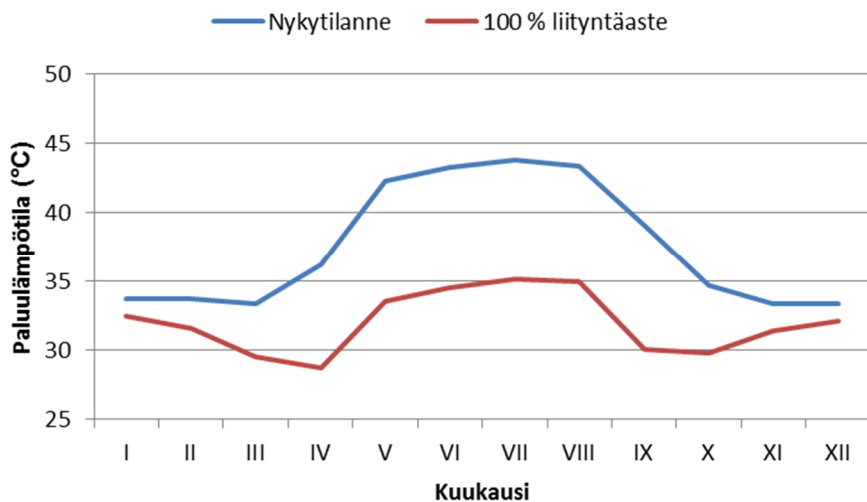
Kuva 28. Kaukolämpöveden virtaus alueelle eri kiertojärjestelyin, esimerkkinä perjantain ja sunnuntain välinen jakso kesäaikaan.

Alla (Kuva 29) on esitetty menopuolen lämpötilat aikasarjana, tässä tapauksessa kolmen vuorokauden pituisena jaksona helmikuussa ja heinäkuussa. Toinen käyrästä kuvaa lämpötilaa verkon keskivaiheilla ja toinen haaran päässä, liittymäjohtoon alussa. Lämmityskauden aikana haaran päässä havaittava huojunta johtuu mallinnuksessa käytetystä oletuksesta, jonka perusteella läpivirtausta käytetään vain, jos lämpötila laskee alle 70 °C ja virtaus on alle määritellyn minimivirtauksen. Samoin kuin kuvista yllä, voidaan alla esitetyistä kuvista tehdä samat huomiot eli lämmityskaudella lämpötila on myös verkon päässä usein riittävä ja läpivirtaukseen ei jouduta turvautumaan. Kesäaikaan läpivirtaus on taas usein päällä, ja näin lämpötilataso on vakaampi.



Kuva 29. Menopuolen lämpötilat helmikuun (vas.) ja heinäkuun alussa, 3 vuorokauden jakso.

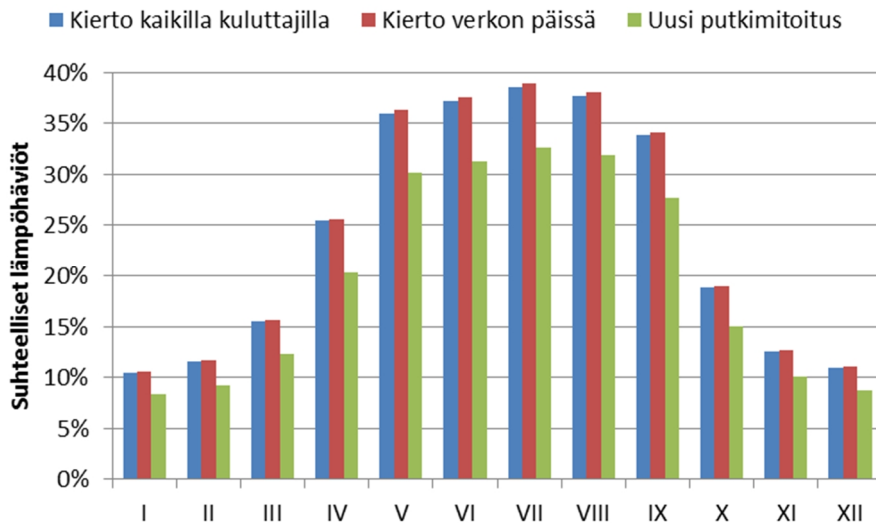
Alueelta palaavan kaukolämpöveden lämpötila vaihtelee tarkasteltavan verkkorakenteen mukaan. Alla on esitetty nykytilanteen ja 100-prosenttisen liityntäasteen mukaiset paluulämpötilat todellisilla putkiko'illa. Vuoden jokaista tuntia vastaavat paluulämpötilan arvot jäävät nykytilanteen mukaisella verkolla korkeammiksi kuin 100-prosenttisella liityntäasteella. Kuva 30 (Kuva 30) varten tulokset laskettiin tuntiarvoista ja esitetään kuukausittaisina keskiarvoina eli tuntiakohtaisia tuloksia selkeämmässä muodossa.



Kuva 30. Alueen paluulämpötilojen kuukausittaiset keskiarvot nykytilanteessa ja 100-prosenttisellä liityntäasteella.

Olettaen, että verkko suorittaa sille suunnitellun tehtävän eli kykenee tyydyttämään vaaditun lämmöntarpeen järjestelmään liittyneille kuluttajille, tärkein sen tehokkuutta kuvaava tunnusluku ovat lämpöhäviöt. Analyysissa laskettiin kuukausittaiset keskimääräiset lämpöhäviöt kummallekin verkkorakenteelle eri kiertojär-

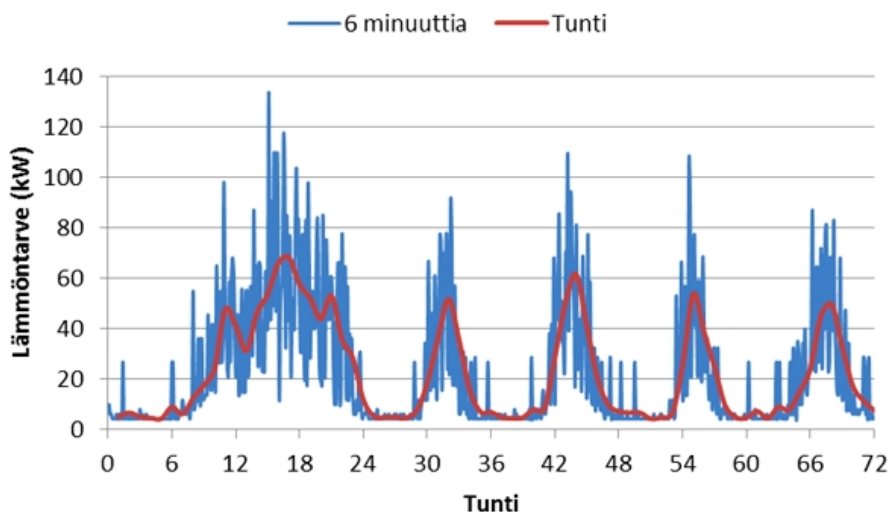
jestelyin ja kulutuksen mukaisella putkimitoituksella. Kuva 31 esittää lämpöhäviöt nykytilanteen mukaisella verkkorakenteella.



Kuva 31. Suhteelliset lämpöhäviöt nykytilanteen mukaisella verkkorakenteella.

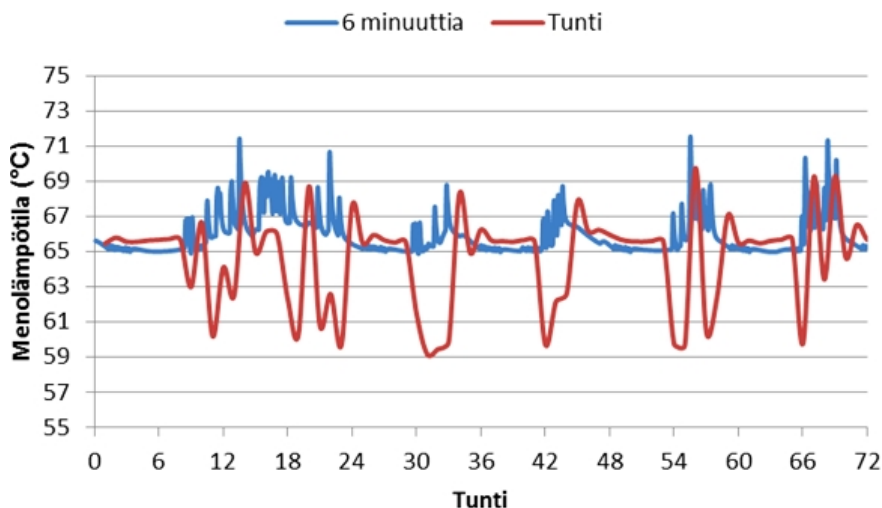
Tuloksista nähdään liityntäasteen selkeä vaikutus siirtojärjestelmän tehokkuuteen. Nykytilanteen mukaisessa järjestelmässä häviöt vaihtelevat vuodenajan ja kulutus-tilanteen mukaan n. 10–40 % välillä. Toisessa lasketussa vertailutapauksessa, 100-prosenttisella liityntäasteella, häviöt olivat noin puolet tästä. Nykytilanteen mukaista tilannetta voidaan luonnehtia heikoksi, kun taas täyden liityntäasteen tilanne on hyvä. Kiertojärjestelyllä ei ole käytännössä lainkaan vaikutusta lämpöhäviöihin, ja vain hiukan poikkeavalla minimivirtausten määrittelyllä pylväiden keskinäinen järjestys muuttuu helposti. Sen sijaan putkimitoituksella on odotettu ja selkeä vaikutus lämpöhäviöihin: vuositasolla 20 % vähemmän nykytilanteen mukaisella verkkoratkaisulla ja 12 % vähemmän 100-prosenttisellä liityntäasteella. Vuositasolla häviöt olivat nykytilanteen mukaisella verkkorakenteella noin 19 % tai 15 % kulutuksen mukaisella putkimitoituksella. Täydellä 100-prosenttisellä liityntäasteella häviöt olivat vastaavasti hieman yli 10 % tai 9 %.

Kahdella eri aika-askeleella mallinnettaessa lähtötiedot eroavat käyttöveden kulutusaikasarjojen ja sen seurauksena myös lämmönsiirrinmäärittelyn osalta. Lämmityksen tehontarve on käytännössä sama kummassakin tapauksessa. Hetkellinen käyttöveden kulutuksesta johtuva tehontarve näkyy erikorkuisina piikkeinä kulutusaikasarjoissa. Tämä voidaan havaita kuvassa alla (Kuva 32), jossa on esitetty kolmen päivän jakso kesäaikaan kummallakin aika-askeleella koko tarkasteltavalle alueelle.



Kuva 32. Kolmen vuorokauden kulutusaikasarjaesimerkki tunnin ja 6 minuutin aika-askeleella kesäaikaan.

Selkein ja merkittävin ero simulointituloksissa eri aika-askeleilla laskettuna syntyy kuluttajakohtaisissa menolämpötiloissa lämmityskauden ulkopuolella. Tässä tapauksessa lämpötila laskee voimakkaasti ja eroaa selkeästi lyhyemmän aika-askeleen tuloksista. Syy tähän on virtauksen merkittävä pieneneminen liityntäputkessa, mikä taas johtuu kulutuksen marginaalisesta kasvusta. Mikäli kulutus on minimisään eli koostuu ainoastaan käyttöveden kiertojohtoon kuormasta, lämmönsiirtimen toisiopuolen lämpötilat ovat 55/58 °C. Tunnin aika-askeleella kulutus voi kasvaa aika-askeleen mukaan vain hyvin vähän, mutta lämpötilat ovat tällöin 10/58 °C. Seurauksena on selkeästi pienempi massavirta. Kuuden minuutin aika-askeleella kulutuspiikit ovat aina suurempia eikä samanlaista ilmiötä tapahdu. Ongelma on siis enimmäkseen mallinnustekninen, mutta se on syytä huomioida tunnin aika-askelella käytettäessä sekä lämmönsiirrinmallia toteutettaessa. Tuloksena tässä tutkimuksessa käytetty yhden tunnin mallinnustapa antaa siis matalan kulutuksen tilanteessa hetimitäin liian matalia lämpötiloja. Kolmen vuorokauden esimerkkijakso menolämpötiloille kesäaikaan valitulla yksittäisellä kuluttajalla on esitetty kuvassa alla (Kuva 33).



Kuva 33. Menolämpötila kuluttajalla kolmen vuorokauden esimerkkijakson aikana kesäaikaan eri aika-askelien.

5.2.3 Johtopäätökset verkkosimuloinneista

Työssä käytiin läpi kaksi eri verkkorakennetta, joiden toimivuutta ja tehokkuutta arvioitiin eri lähtöolettamuksilla tehtyjen simulointitulosten perusteella. Verkkorakenteet erosivat liittymäasteeltaan oleellisesti ja näin saatiin luotua kuva siitä, millainen vaikutus kulutustiheydellä on kaukolämpöjärjestelmän mielekkyyteen tarkastellun kaltaisen alueen lämmitysenergiaratkaisuna.

Lisäksi yhtenä tapauksena määriteltiin molemmille verkkorakenteille kulutusta vastaava putkimitoitus, joka puolestaan tuo esille tämän merkityksen siirron tehokkuuden näkökulmasta. Koska kaukolämpöjärjestelmiä suunniteltaessa on käytännössä välttämätöntä ottaa huomioon tulevaisuuden kehitys, tämä ei ole varsinainen suora ratkaisu tehokkuuden parantamiseksi. Silti sen merkitys on syytä suunnitteluprosessissa tiedostaa.

Matalan kulutuksen alueilla on usein ongelmana varmistaa riittävän korkea lämpötilataso menopuolella kesäaikaan, näin myös tutkituissa tapauksissa. Tälle ratkaisuna toimii ohituskierto, jossa menopuolen kaukolämpövedtä kierrätetään suoraan paluupuolelle kuluttajan lämmönsiirtimien ohi nostaen virtausnopeutta verkossa. Tälle kokeiltiin kahta vaihtoehtoista ratkaisua: kiertojärjestelyä jokaiselle kuluttajalle tai yleisesti käytössä olevaan tapaa, jossa kierto toteutetaan verkon haarojen päihin. Näiden välillä ei syntynyt niin suurta eroa, että olisi kiistatta voinut osoittaa toisen olevan parempi. Verkon haarojen päissä oleva kierto on selkeästi yksinkertaisempi ja näin käytännössä toimivampi, vaikkakin jokaiselle kuluttajalle erikseen järjestetty kierto synnytti vähemmän ylimääräistä virtausta verkkoon. Ilman kiertojärjestelyä lämpötilataso ei verkon kaikissa osissa pysyisi riittävän korkealla tasolla, jotta käyttöveden tavoitelämpötila 58 °C voitaisiin saavuttaa

kesäaikaan jatkuvasti. Tästä tosin jäätäisiin todennäköisesti vain muutama aste, joten kuluttaja tuskin tilannetta käytännössä huomaisi.

Toimivuuden kannalta kaikki tutkitut tapaukset kykenivät täyttämään järjestelmälle annetun tehtävän eli tyydyttämään kuluttajien lämmöntarpeen vuoden aikana. Matalan liityntäasteen tapauksessa järjestelmän tehokkuus lämpöhäviöiden näkökulmasta jäi kuitenkin matalaksi, vuositasolla häviöt olivat lähes viidenneksen tuotetusta lämmöstä. 100-prosenttisen liityntäasteen verkkorakenteella häviöt jäivät noin 10 %:n tasolle, mikä on hyvin kohtuullinen luku matalan kulutuksen alueelle. Mikäli alueen kehitys jatkuu odotetulla tavalla ja lisää kuluttajia liittyy kaukolämpöjärjestelmään, tilanne suhteellisten lämpöhäviöiden osalta joka tapauksessa paranee.

5.3 Yhteenveto

Ohjausryhmälle tehdyn kyselyn perusteella tärkeimpinä tulevaisuuden kaukolämpöjärjestelmien kehitysnäkökulmina pidettiin järjestelmiä, jotka mahdollistavat uusiutuvan energian liittämisen kaukolämpöön, ovat luotettavia häiriötilanteissa, mahdollistavat kesäaikaisen mukavuuslämmityksen (märkätilojen lämmitys) ja pienentävät asiakkaan kustannuksia.

Hankkeessa kehitettiin periaatetasolla kaksi varaajakytkentään perustuvaa kytkentävaihtoehtoa: pelkkä käyttöveden varaaja ja yhdistetty käyttövesi- ja lämmitysvaraaja. Varaajakytkentävaihtoehdot edellyttäisivät tarkempaa laskennallista analysointia, jotta niiden vaikutukset kaukolämpökytkennässä voitaisiin varmentaa. Etenkin vaikutukset kaukolämpöveden jäähtymään ja elinkaarikustannuksiin pitäisi selvittää.

Hankkeessa analysoitiin tarkemmin Ruotsissa jo käytössä olevia pientalojen kytkentävaihtoehtoja, jotka mahdollistavat uusiutuvan energian (aurinko) hyödyntämisen käyttöveden ja tilojen lämmityksessä. Tarkasteltavina oli kaksi eri kulutustason pientaloa, jotka oli varustettu aurinkolämpöjärjestelmillä. Analysoinnissa selvitettiin aurinkojärjestelmän mitoituksen (keräimen pinta-ala, varaajan tilavuus) vaikutusta aurinkoenergian hyödyntämiseen ja kaukolämmön paluuveden jäähtymään.

Aurinkolämpöä saadaan merkittävästi maaliskuun alusta lokakuun alkuun. Suurin osa aurinkoenergiasta siirtyy varaajasta käyttöveteen. Lämmitysverkostoon siirtyvä energia jää pieneksi, koska aurinkoenergian tuotto ja lämmityksen energiantarve eivät kohtaa kovin hyvin. Myös varaajasta käyttöveden kiertojohtoon siirtyvä energia jää pieneksi, koska varaajan yläosan lämpötila on harvoin korkeampi kuin kiertojohdon paluulämpötila 55 °C.

Aurinkojärjestelmällä saavutettava säästö lisääntyy kerääjän pinta-alan kasvaessa, mutta säästö kerääjän pinta-alaa kohti pienenee, vaihdellen välillä 170–420 kWh/m² vuotta kohti. Varaajan koon kasvatus ei lisää säästöä, mutta lisää hieman lämmitykseen saatavan energian määrää.

Aurinkokerääjällä saatu kaukolämpöenergian säästö oli laskelmissa suurimmillaan 2 500 kWh vuodessa, kun enemmän kuluttavassa talossa on 12 m²:n aurinkokerääjää. Nykyisellä kaukolämmön keskihinnalla (0,060 €/kWh, huhtikuu 2014) kauko-

lämmön energiamaksun säästö on 150 € vuodessa. Vastaavan aurinkojärjestelmän hintaluokka on noin 3 000 € tai enemmän, joten aurinkojärjestelmän takaisinmaksu-ajaksi tulee 20 vuotta tai enemmän.

Talvella paluulämpötila määräytyy pääosin lämmitysverkoston paluulämpötilan perusteella ja kesällä käyttöveden lämmitystarpeen sekä kiertojohdon lämpötilan perusteella. Aurinkolämmitys nostaa paluuveden lämpötilaa muutamalla asteella.

Työssä analysoitiin kaksi eri verkkoversiota, joiden toimivuutta ja tehokkuutta arvioitiin eri lähtöolettamuksilla tehtyjen simulointitulosten perusteella. Verkkorakenteet erosivat liittymäasteeltaan oleellisesti ja näin saatiin luotua kuva siitä, millainen vaikutus kulutustiheydellä on kaukolämpöjärjestelmän mielekkyyteen tarkastellun kaltaisen alueen lämmitysenergiaratkaisuna.

Toimivuuden kannalta kaikki tutkitukset tapaukset kykenivät täyttämään järjestelmälle annetun tehtävän eli tyydyttämään kuluttajien lämmöntarpeen vuoden aikana. Matalan liityntäasteen tapauksessa järjestelmän tehokkuus lämpöhäviöiden näkökulmasta jäi kuitenkin matalaksi, vuositasolla häviöt olivat lähes viidenneksen tuotetusta lämmöstä. 100-prosentin liityntäasteen verkkorakenteella häviöt jäivät noin 10 %:n tasolle, mikä on hyvin kohtuullinen luku matalan kulutuksen alueelle.

6. Uudet liiketoiminta- ja hinnoittelumallit

Rakennusten energiatehokkuusvaatimusten kiristyessä rakennusten lämmitystarve vähenee, ja siksi kaukolämpöyhtiöiden täytyy muuttaa toimintatapojaan markkina-asemansa säilyttämiseksi. Useat tutkimukset Suomessa ja Ruotsissa ovatkin ehdottaneet, että jotta kaukolämpöyhtiöt voisivat säilyttää kilpailukykinsä, tarvitaan uusia liiketoimintamalleja sekä ajattelutavan muutosta palvelukeskeisempään suuntaan (Sernhed & Pyrko, 2008; Mäkelä et al. 2005). Tämän takia on tärkeää pohtia kaukolämmön tulevaisuuden liiketoiminta- ja palvelumalleja sekä markkinointiargumentteja tavoitteena vahvistaa kaukolämmön kilpailuasemaa pientalojen lämmitysmarkkinoilla. Talonrakentajien mieltymykset, tarpeet ja arvostukset, samoin myös yleiset trendit, on otettava huomioon kaukolämmön tulevaisuutta pohdittaessa ja etsittäessä parhaita keinoja, joilla uusia asiakkaita saataisiin houkuteltua kaukolämmön piiriin.

Tässä kontekstissa keskeisimmät tutkimuskysymykset ovat:

- Minkälaiset yleiset trendit vaikuttavat kaukolämpömarkkinoiden kehitystärpeisiin? Minkälaiset ovat kaukolämmön tulevaisuudennäkymät ja minkälaisia uusia palvelu- ja hinnoittelumalleja tarvitaan?
- Mitkä ovat talonrakentajien/omakotitaloasujien preferenssit, odotukset, arvostukset sekä ennakkoluulot liittyen kaukolämpöön sekä muihin kodin lämmitysmuotoihin?
- Mitä ovat ne lämmitykseen liittyvät palvelut, joita asiakkaat haluavat, ja minkälaisia uusia palvelumalleja tarvitaan?
- Minkälaisia markkinointiargumentteja kannattaa tulevaisuudessa käyttää kaukolämmön markkinoinnissa?

6.1 Tutkimusmenetelmät

Liiketoiminta- ja palvelumalleihin keskittyvä aihekokonaisuus jakaantuu neljään osaan. Ensimmäisessä vaiheessa, kesällä 2012, tehtiin kirjallisuuskatsaus olemassa olevista kaukolämpöpalveluista, talonrakentajien preferensseistä sekä mahdollisista tulevaisuuden ratkaisuista liittyen kaukolämpöpalveluihin sekä rahoitusmalleihin.

Toisessa vaiheessa, keväällä 2013, VTT piti yhdessä Hyvinkään Lämpövoiman kanssa kolme työpajaa, joissa pohdittiin ja kehitettiin uusia mahdollisia palvelumalleja ja käytiin nämä ratkaisut ja ratkaisuihin liittyvät ongelmat yksityiskohtaisesti läpi.

Kolmannessa vaiheessa, keväällä ja kesällä 2013, pientalorakentajia haastateltiin lämmitystavan valinnasta. Viiden Hyvinkään asuntomessualueen ja viiden Hyvinkään Lehtikorven alueen talonrakentajan haastattelun perusteella saatiin alustava käsitys siitä, minkälainen mielikuva kaukolämmöllä tällä hetkellä on talonrakentajien keskuudessa ja mitkä ovat kaukolämmön keskeisimmät vahvuudet ja haasteet. Haastatteluista oli apua myös neljänteen vaiheeseen: haastattelujen perusteella laadittiin kyselytutkimus laajemmalle vastaajaryhmälle. Vastauksia kerättiin kesällä 2013 Hyvinkäällä asuntomessuvierailta sekä syksyn 2013 aikana internet-pohjaisella kyselylomakkeella.

6.2 Tutkimustulokset

Tässä luvussa esitellään osatehtävän tutkimustulokset. Luvussa 6.2.1. tiivistetään state-of-the-art-katsauksen keskeisimmät löydökset. Luvussa 6.2.2. esitellään uudet palvelumallit, jotka kehitettiin yhteistyössä Hyvinkään Lämpövoiman kanssa. Luku 6.2.3. käsittelee pientalorakentajien haastattelujen tuloksia ja luku 6.2.4. puolestaan omakoti- ja pientaloasujille suunnatun kyselytutkimuksen tuloksia.

6.2.1 Tulevaisuuden palvelu- ja hinnoittelumallit

Jotta kaukolämmön tulevaisuuden kehitystarpeita voitaisiin ennustaa, on hyödyllistä ymmärtää asiakkaiden tarpeita, preferenssejä ja arvoja sekä yleisiä lämmitysjärjestelmiin liittyviä trendejä. Toimintavarmuus ja luotettavuus on esitetty tärkeimpinä seikkoina, kun suomalaiset kotitaloudet tekevät lämmitysjärjestelmiin liittyviä valintoja (Syvänen & Mikkonen, 2011). Saman tutkimuksen mukaan seuraavaksi tärkeimpiä valintakriteerejä ovat säästöt energiakustannuksissa, matalat hankintakustannukset sekä asennuksen helppous. Ympäristöaspektit tulevat listan viimeisenä. Tietämättömyys sekä vaikeaselkoinen tekninen informaatio saattavat vaikeuttaa päätöksentekoa. Myös Mäkelä et al. (2005) esittävät, että mikäli lämmitysjärjestelmän kustannuksissa on vain pieni ero, hankintapäätös tehdään helppouden, toimintavarmuuden sekä mukavuuden perusteella. Ruotsalaistutkimuksen mukaan valinta on harvoin rationaalinen, ja siten siihen vaikuttavat useat muut seikat, kuten lämpötilamukavuus, esteettisyys sekä käytettävyys (Sernhed & Pyrko, 2008).

Erilaisia tulevaisuuden skenaarioita on esitetty muutamissa tutkimuksissa. Pesolan et al. (2011) tutkimuksen mukaan tulevaisuudessa tarvitaan uusia älykkäitä ja joustavia ratkaisuja, kuten hajautettua tuotantoa, lämmön varastointia, reaaliaikaista seurantaa, optimointia, kulutuskonsultointia sekä uusia hinnoittelumalleja. Myös uusia liiketoimintamalleja tullaan tarvitsemaan muun muassa hybridilämmitysjärjestelmien yleistyessä. Ruotsalaistutkimus ennustaa että ne kaukolämpöyrietykset, jotka eivät pysty tarjoamaan matalahiilisiä palveluja, eivät tule pärjäämään kilpailussa (Larsson & Persson, 2012). Kokonaispalvelupaketteja tarvitaan, ja

palvelut pitää tulevaisuudessa kehittää enemmän asiakkaan näkökulmasta (Mäkelä et al. 2005). Esimerkiksi ”avaimet käteen” -palvelu on jo sellaisten asiakkaiden suosiossa, jotka kokevat päätöksenteon vaikeaksi (Syvänen & Mikkonen, 2011).

Muutamit tutkimukset ovat myös osoittaneet, että uusien asiakkaiden houkuttelemiseksi kaukolämpöyhtiöiden kannattaa panostaa markkinointi- ja viestintätaitoihin, ja uusia informaationjakamiseen liittyviä palveluja pitäisi kehittää (Larsson & Persson, 2012; Persson & Sernhed, 2004). Syväsen ja Mikkosen (2011) tutkimuksen mukaan asiakkaat olisivat kiinnostuneita etenkin internetpalvelusta, joka mahdollistaisi erilaisten energiaratkaisujen vertailun. Samalla sivusto voisi toimia alustana, jossa ihmiset voisivat vaihtaa kokemuksia ja tietoa. On myös esitetty, että kaukolämpöliiketoiminnan pitäisi enemmän siirtyä palveluliiketoimintamaiseksi, ja asiakkaille pitäisi tarjota enemmän konsultointi- ja ohjeistuspalveluja (Heikkilä, 2011).

Tulevaisuuden skenaarioita, olemassa olevia palvelumalleja sekä trendejä on kuvattu tarkemmin osatehtäväkohtaisessa tutkimusraportissa (Ahvenniemi, 2014, Liite B).

6.2.2 Uudet palvelumalli-ideat

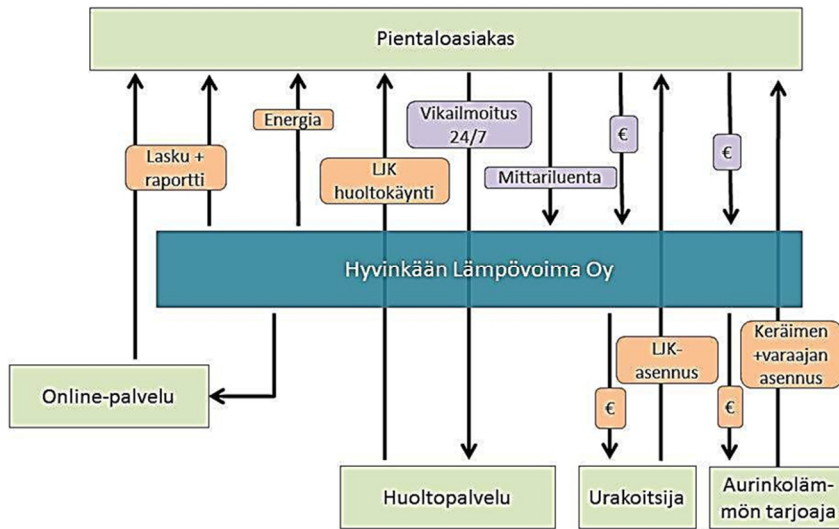
Hyvinkään Lämpövoiman kanssa pidetyn kolmen työpajan sarjassa kehitettiin kolme uutta kaukolämmön palvelumallia: 1) *Huoletonta lämpöä*, 2) *Aurinkokaukolämpö* ja 3) *Kotisi paras lämmitäjä*. Nämä palvelumallit kuvataan pääpiirteissään alla.

6.2.2.1 Huoletonta lämpöä

Palvelupaketti on kaukolämmön avaimet käteen -toimitus, joka sisältää lämmönjakokeskuksen asennuksen ja vuokrauksen asiakkaalle, huoltopalvelut sekä 24/7-käyttötuen. Palvelupaketti tarjoaa myös erilaisia maksujärjestelyjä, kuten liittymän maksamisen erissä korkean liittymismaksun sijaan. Asiakkaan ei tarvitse asioida monen eri tahon kanssa, vaan asiakasrajapinta säilyy pelkästään asiakkaan ja kaukolämpöyhtiön välillä.

6.2.2.2 Aurinkokaukolämpö

Palvelupaketti tarjoaa ympäristöstä välittävälle asiakkaalle mahdollisuuden yhdistää uusiutuvaa aurinkolämpöä jo valmiiksi ympäristöystävälliseen kaukolämpöön. Palvelupaketin järjestämiselle on kaksi vaihtoehtoa: Ensimmäinen vaihtoehto on, että kaukolämpöyhtiö tarjoaa mahdollisuuden liittyä ja tarjoaa yhteistyökumppaneiden kanssa sopivan ratkaisun asiakkaalle. Toinen vaihtoehto on, että kaukolämpöyhtiö tarjoaa kaukolämmön lisäksi myös aurinkolämpökeräimet sekä varaajan, eli ottaa kokonaisvastuun lämmöntoimittamisesta sekä muodostaa asiakasrajapinnan.



Kuva 34. Osapuolten vuorovaikutukset *Aurinkokaukolämpö*-palvelupaketissa.

6.2.2.3 Kotisi paras lämmittäjä

Kolmas palvelupaketti on kokonaispalvelupaketti, joka tarjoaa myös lämmönjakojärjestelmän (esim. patterit/lattialämmitys) asiakkaalle. Lämmön myyjä toimii konsulttina ja tarjoaa yhteistyökumppaneiden avulla suunnittelupalvelun, kokonaisratkaisun, elinkaarikustannuslaskelman sekä kulutusseurannan ja ohjauksen asiakkaalle. Asiakas tekee kuitenkin itse sopimuksen lämmitysjärjestelmän tarjoajan sekä suunnittelijan kanssa eli asiakasrajapinta (ja laskutus) säilyy kolmen eri toimijan välillä.

6.2.3 Pientalonrakentajien haastattelut

Kymmenen pientalonrakentajan (Hyvinkään asuntomessualueen ja Hyvinkään Lehtikorven alueelta) haastattelun perusteella on melko vaikea tehdä yhteenvetoa talonrakentajien mieltymyksistä, toiveista sekä asenteesta kaukolämpöä kohtaan. Haastattelujen perusteella kaukolämmölle voidaan varovaisesti kuitenkin ennustaa positiivista tulevaisuutta pientalojen lämmitysmarkkinoilla. Haastatelluista henkilöistä kolmannes oli valinnut kaukolämmön päälämmitysjärjestelmäksi. Nämä haastateltavat sanoivat tehneensä valinnan kaukolämmön toimintavarmuuden ja luotettavuuden takia. Myös kustannukset vaikuttivat olevan yksi pääkriteereistä, joiden perusteella lämmitystavan valinta tehtiin. Hankintakustannusta enemmän haastateltavat painottivat käytön ajan kustannusten tärkeyttä.

Etenkin Hyvinkään asuntomessualueen talonrakentajat olivat varsin innokkaita valitsemaan uudentyyppisiä järjestelmiä, joiden alkuinvestointi saattoi kohota hyvinkin korkealle, mutta jonka ansiosta lämmityskustannukset tulevat pysymään

hyvin alhaisina. Ekologiset arvot olivat osalle vastaajista tärkeitä, mikä viittaa siihen, että ympäristöystävällisyys tulee tulevaisuudessa ainakin jossain määrin olemaan merkittävä kriteeri lämmitysjärjestelmän valinnassa.

Hyvinkään asuntomessurakentajat sekä Lehtikorven alueen rakentajat poikkesivat jonkin verran toisistaan lämmitysjärjestelmään liittyvien mieltymysten ja vaatimusten suhteen. Tämä selittyy sillä, että asuntomessutaloiksi valikoituu hyvin moderneja ja erityislaatuisia taloratkaisuja, joten valinnat eivät edusta keskiverto-talonrakentajan preferenssejä.

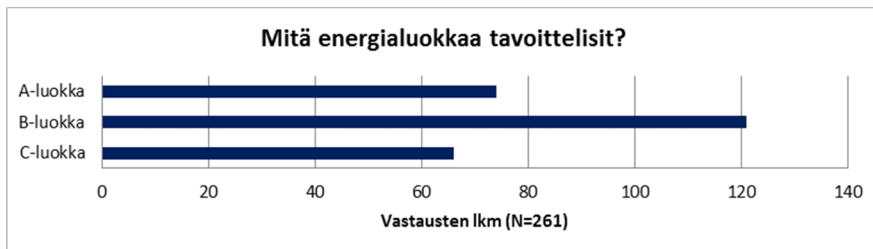
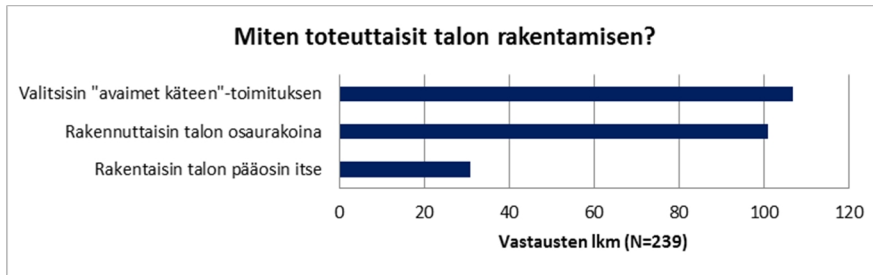
6.2.4 Kyselytutkimus

6.2.4.1 Perustietoa vastaajista

Vastauksia saatiin yhteensä 320 kpl, joista suurin osa, 256 (82 %) asui omakotitaloissa ja loput 36 (12 %) paritaloissa ja 19 (6 %) rivitaloissa. Lähes kaikki vastaajat (99 %) omistivat asuntonsa itse. Kotitalouksien keskimääräinen koko oli 2,6 henkilöä ja vastaajien keski-ikä oli 55,5 vuotta. Vastaajista miehiä oli 65 % ja naisia 35 %. Vastauksia saatiin ympäri Suomea, mutta suurin osa vastaajista asui Etelä-Suomessa (pääkaupunkiseudulla sekä Uudellamaalla).

Vastaajilta kysyttiin heidän aikomuksista/kiinnostuksesta rakentaa tulevaisuudessa itselleen talo. Suurimmalla osalla vastaajista (73 %) ei ollut aikomusta tähän ja 14 % ilmoitti ryhtyvänsä talonrakennukseen mahdollisesti myöhemmin tulevaisuudessa. Muutama vastaaja (2 %) ilmoitti rakentavana taloa parhaillaan, muutama (2 %) suunnitteli talonrakentamista parhaillaan ja 3 % vastaajista aikoi ryhtyä rakentamiseen mahdollisesti seuraavan viiden vuoden aikana. Loput vastaajat eivät osanneet sanoa (7 %). Vastaajilta kysyttiin myös, että mikäli he rakentaisivat itselleen talon, miten he suunnittelun ja rakentamisen toteuttaisivat. Suurin osa valitsisi talopakettiratkaisun (64 %) kun taas 36 % haluaisi yksilöllisesti suunnitellun talon. Avaimet käteen -toimitus sekä talon rakennuttaminen osaurakoina olivat lähes yhtä suosittuja tapoja toteuttaa talon rakentaminen (45 % ja 42 %), kun taas vain 13 % haluaisi rakentaa talon pääosin itse. Tavoiteltavaa energiatehokkuusluokkaa kysyttäessä B-luokka osoittautui kaikkein suosituimmaksi ja (46 %) A-luokka (28 %) ja C-luokka (25 %) lähes yhtä suosituiksi (Kuva 35).

Vain pieni ero vastauksissa esiintyi niiden vastaajien välillä, jotka olivat joko parhaillaan rakentamassa/suunnittelemassa, rakentamassa mahdollisesti viiden vuoden sisällä sekä muiden vastaajien välillä. Ne vastaajat, jotka aikoiivat todennäköisesti pian rakentaa, olivat muihin vastaajiin verrattuna halukkaampia rakentamaan talonsa osaurakoina (53 %) avaimet käteen -toimituksen valitsemisen sijaan (32 %). Samoin nämä vastaajat olivat hieman kiinnostuneempia valitsemaan talopakettin (42 %) yksilöllisesti suunnitellun talon sijaan (58 %).



Kuva 35. Vastaajien suunnitelmia talonrakentamiseen liittyen.

6.2.4.2 Nykyisen asunnon lämmitysratkaisu

Suurimmassa osassa vastaajien nykyisistä asunnoista käytettiin suoraa sähkölämmitystä päälämmitysmuotona (omakotitaloista 56 % ja rivi- ja paritaloista 60 %) (kuva 5). Toiseksi tavallisin lämmitysmuoto omakotitaloissa oli öljylämmitys (19 %) ja kolmanneksi tavallisin maalämpöpumppu (17 %). Rivi- ja paritaloissa puolestaan kaukolämpö oli toiseksi yleisin lämmitysmuoto (22 %) ja kolmanneksi yleisin oli öljylämmitys (20 %). Suurella osalla vastaajista oli talossaan myös täydentäviä lämmitysmuotoja, kuten varaava takka (62 %) tai lämpöpumppu (36 %), ja lisäksi kuudella vastaajalla oli aurinkolämpökeräin liitettynä taloonsa.

Noin puolet vastaajista (53 %) kertoi olevansa melko tyytyväisiä kotinsa tämänhetkiseen lämmitystapaan ja kolmasosa (35 %) vastaajista oli jopa erittäin tyytyväisiä. Melko tyytymättömiä oli 8 % ja erittäin tyytymättömiä vain 1 %. Yli puolet vastaajista (59 %) ei myöskään suunnitellut lämmitysjärjestelmän vaihtamista tulevaisuudessa. Lämmitysjärjestelmän vaihtamista parhaillaan suunnitteli kuitenkin 6 %, seuraavan viiden vuoden aikana 13 % ja mahdollisesti myöhemmin tulevaisuudessa 15 % vastaajista.

Maalämpöpumpun käyttäjät olivat kaikkein tyytyväisimpiä nykyiseen lämmitysjärjestelmäänsä ja jopa 78 % näistä kotitalouksista vastasivat olevansa erittäin tyytyväisiä ja 17 % melko tyytyväisiä kotinsa lämmitykseen. Myös kaukolämpötalon asukkaat olivat erittäin tyytyväisiä: 65 % vastasi olevansa erittäin tyytyväisiä ja 31 % melko tyytyväisiä nykyiseen lämmitysjärjestelmäänsä. Sähkö- tai öljylämmitystä käyttävät vastaajat olivat selvästi tyytymättömämpiä (Taulukko 15).

Yksikään vastaaja, joka asui maalämpöpumpulla lämmitettävässä talossa, ei suunnitellut lämmitysjärjestelmän vaihtamista, ja vain yksi kaukolämpötalon asu-

kas suunnitteli tätä. Ne kotitaloudet, jotka suunnittelivat parhaillaan tai lähitulevaisuudessa lämmitysjärjestelmän vaihtamista, lämmittivät talonsa joko öljyllä (kahdeksan vastaajaa) tai sähköllä (11 vastaajaa). Vastaajilla oli myös mahdollisuus kertoa syitä lämmitysjärjestelmän vaihtamiseen. Lähes kaikki vastaukset liittyivät taloudellisiin syihin (elinkaarikustannukset tai kulujen ennustettavuus) tai laitteiston vanhenemiseen. Lisäksi muutama vastaaja kertoi syyksi ympäristönäkökohdat tai paikallisen energiantuotannon suosimisen.

Taulukko 15. Erityyppisissä taloissa asuvien vastaajien tyytyväisyys nykyiseen lämmitysjärjestelmään.

	N	Erittäin tyytyväinen	Melko tyytyväinen	En tiedä	Melko tyytymätön	Erittäin tyytymätön
Sähkölämmitteiset talot	173	22 %	61 %	3 %	12 %	2 %
Maalämpöpumppua käyttävät talot	41	78 %	17 %	5 %	0 %	0 %
Kaukolämpöä käyttävät talot	26	65 %	31 %	0 %	4 %	0 %
Öljylämmitteiset talot	75	28 %	64 %	3 %	5 %	0 %

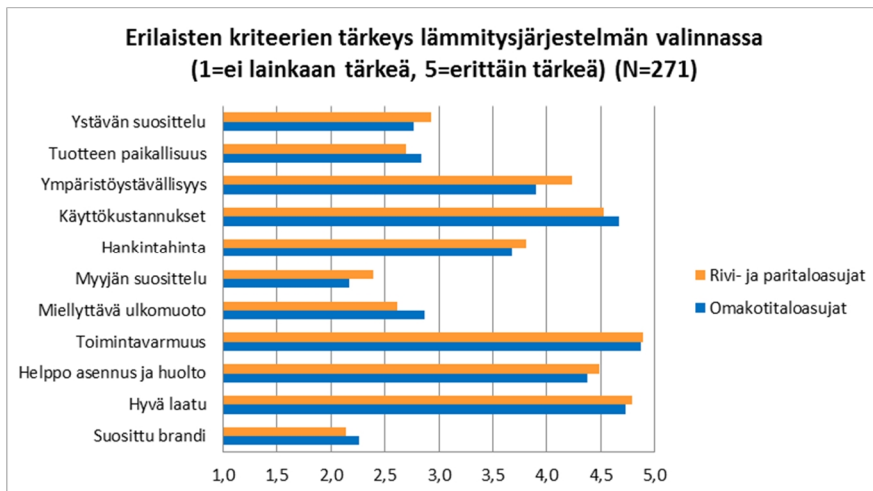
6.2.4.3 Lämmitysjärjestelmän valinnan kriteerit

Seuraavaksi vastaajilta tiedusteltiin, kuinka todennäköistä erilaisten lämmitysjärjestelmien valinta olisi asteikolla 1–5 (1 = ei lainkaan todennäköinen; 5 = erittäin todennäköinen vaihtoehto). Vastausvaihtoehdoissa ei eritelty erikseen, mitkä ovat rakennuksen pää- ja mitkä täydentäviä lämmitysmuotoja. Lämmitysjärjestelmistä suosituimmaksi osoittautui maalämpöpumppu, joka sai 4,2 pistettä. Seuraavaksi suosituimpia olivat muut lämpöpumput (3,7 pistettä), aurinkolämpökeräimet (3,5 pistettä) sekä puulämmitys (3,1 pistettä). Kaukolämpö (2,5) oli hieman sähkölämmitystä (2,4) suosituampi, ja lähes olematonta kiinnostusta esitettiin öljylämmitystä (1,4) sekä kaasulämmitystä (1,3) kohtaan.

Vastauksissa ei esiintynyt merkittäviä eroja omakotitaloasujien sekä pari- ja rivitaloasujien välillä. Merkittävin ero oli kiinnostuksessa kaukolämpöä kohtaan; rivi- ja paritaloasujien vastauksissa kaukolämpö osoittautui kolmanneksi suosituimmaksi lämmitysmuodoksi (3,3 pistettä), kun taas omakotitaloasujien vastauksissa kaukolämpö jakoi viidennen sijan (2,4 pistettä) sähkölämmityksen kanssa. Myös kiinnostus aurinkolämpöä kohtaan oli omakotitaloasujien keskuudessa hieman suurempaa (3,6 pistettä) kuin rivi- ja paritaloasujien keskuudessa (3,2 pistettä).

Samoin vastaajia pyydettiin arvioimaan erilaisia lämmitystavan valintaan vaikuttavia seikkoja (asteikolla 1–5). Tärkeimmiksi valintakriteereiksi osoittautuivat toimintavarmuus (4,9), hyvä laatu (4,7), edulliset käyttökustannukset (4,7) sekä helppo asennus ja huolto (4,4). Melko tärkeitä olivat myös ympäristöystävällisyys (4,0) sekä edullinen hankintahinta (3,7). Sen sijaan tuotteen paikallisuus (2,8),

tuttavan suosittelu (2,8), suosittu brändi (2,3) sekä myyjän suosittelu (2,2) eivät olleet kovin merkittäviä kriteerejä (kuva 9). Omakotitalo- ja rivi- ja paritaloasujien vastauksissa esiintyi vain hyvin pieniä – muutaman desimaalin – eroja.



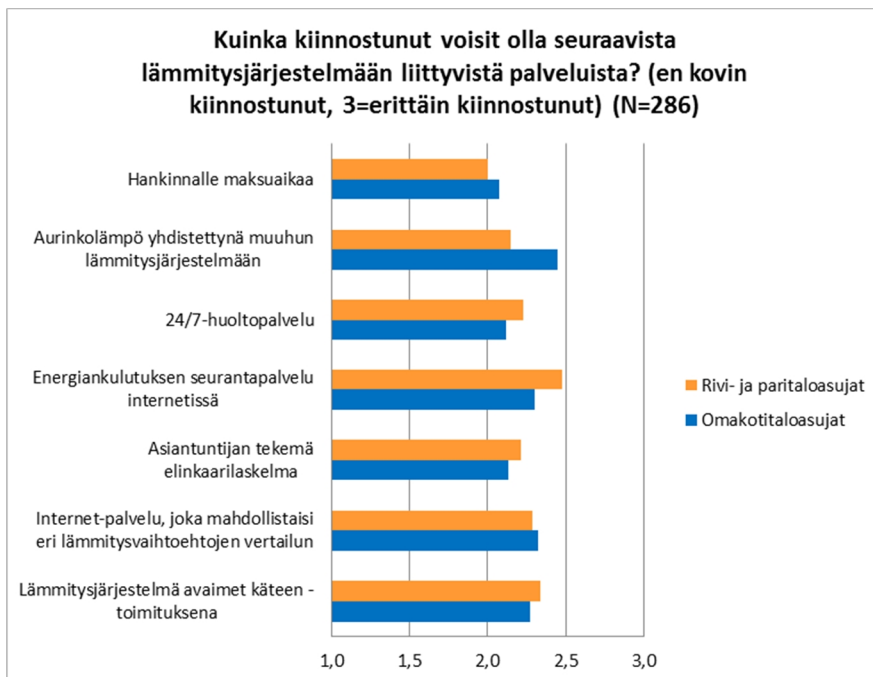
Kuva 36. Lämmitysjärjestelmän valintakriteerit.

Kun vastaajia pyydettiin arvioimaan lämmitysjärjestelmän valinnassa huolestuttavia seikkoja (asteikolla 1–5), huolestuttavimmiksi osoittautuivat odotettua korkeampi energiankulutus (3,7) ja energialasku (3,7). Myös epäluottamus myyjää kohtaan (3,4) aiheutti jonkin verran huolta, samoin myös myyjän vaikeaselkoinen ja liian tekninen kieli (3,2). Ajanpuute koettiin pienimmäksi huolenaiheeksi, mutta sekin sai 2,9 pistettä. Mikään esitetyistä seikoista ei kuitenkaan huolestuttanut keskimääräisesti hyvin paljoa tai erittäin paljoa, sillä kaikki huolenaiheet jäivät alle 4 pisteen. Myöskään tässä kysymyksessä omakoti- sekä rivi- ja paritalovastaajien välillä ei esiintynyt merkittäviä eroja.

Vastaajia pyydettiin myös arvioimaan kiinnostustaan erilaisia lämmitysjärjestelmään liittyviä palveluja kohtaan (asteikolla 1–3). Kiinnostus osoittautui melko suureksi kaikkia esitettyjä palveluja kohtaan. Kaikkein kiinnostavaksi palveluksi osoittautui – hieman yllättäen – aurinkolämpö yhdistettynä muuhun lämmitysjärjestelmään (2,4). Seuraavaksi eniten kiinnostusta herättivät energiankulutuksen seurantapalvelu internetissä (2,3), internetpalvelu, joka mahdollistaisi eri lämmitysvaihtoehtojen vertailun (2,3) sekä lämmitysjärjestelmä avaimet käteen -toimituksena (2,3). Hieman vähemmän kiinnostivat asiantuntijan tekemä elinkaari-laskelma (2,2), 24/7-huoltopalvelu (2,1) sekä hankinnalle maksuaikaa (2,1). Kuitenkaan kiinnostus näitä palveluja kohtaan ei ollut paljoa vähäisempää kuin kiinnostus muita palveluja kohtaan.

Hieman kiinnostavampia eroja eri palvelujen välillä voidaan havaita, kun tarkastellaan erikseen omakotitaloasujien sekä rivi- ja pientaloasujien vastauksia (Kuva 37).

Omakotitaloasujat olivat kaikkein kiinnostuneimpia aurinkolämmöstä sekä lämmitysjärjestelmän kokonaistoimituksesta, jotka olivat vasta viidennellä ja seitsemännellä sijalla rivi- ja paritaloasujien vastauksissa. Sen sijaan pari- ja rivitaloasujat olivat kaikkein kiinnostuneimpia energiankulutuksen seurantapalvelusta internetissä sekä internetpalvelusta, joka mahdollistaisi eri lämmitysvaihtoehtojen vertailun. Sekä omakotitaloasujat että rivi- ja paritaloasujat olivat kaikkein vähiten kiinnostuneita 24/7-huoltopalvelusta sekä pidemmästä maksuajasta lämmitysjärjestelmän hankinnalle.



Kuva 37. Kiinnostus erilaisia lämmitykseen liittyviä palveluja kohtaan.

Viimeisenä tiedusteltiin, kuinka paljon vastaajat olisivat valmiita maksamaan kotinsa lämmityksestä, ja keskimääräinen vastaus oli 1 870 €/vuosi. Vastaajat eivät osoittaneet kovin suurta mielenkiintoa maksaa ympäristöystävällisestä lämmityksestä lisähintaa (kuva 12). Lähes kolmasosa (36 %) vastaajista ei ollut halukas maksamaan ekologisesta lämmityksestä yhtään enempää, ja lähes toinen kolmannes (31 %) oli valmis maksamaan vain 1–3 %:n lisähinnan. Kuitenkin 18 % vastaajista olivat halukkaita maksamaan ekologisuudesta 3–5 % enemmän ja 9 % olivat halukkaita maksamaan 5–10 % enemmän. Loput olivat halukkaita maksamaan 10–15 % (3 %) sekä yli 15 % (3 % vastaajista) enemmän.

Vastaajat saivat myös kertoa, missä muissa tapauksissa he olisivat valmiita maksamaan lämmityksestä enemmän. Lähes kaikki tähän kysymykseen saadut

vastaukset liittyivät toimintavarmuuteen, huolettomuuteen (huoltotakuu), kustannusten ennakoitavuuteen/vakauteen sekä kotimaisuuteen/paikallisuuteen.

6.3 Johtopäätökset kaukolämmön uusista liiketoimintamalleista

Kaukolämmön kysyntä tulevaisuudessa – asiakkaiden näkökulma

Kyselytutkimuksen vastaukset osoittavat, että tietyt kriteerit ovat hyvin tärkeitä lämmitysjärjestelmän valinnassa: helppous, mukavuus ja edullisuus näyttävät olevan tärkeimpiä lämmitysjärjestelmän valintaan vaikuttavia seikkoja. Myös ympäristöystävällisyys ja uusiutuva energia vaikuttavat olevan yllättävänkin tärkeitä seikkoja. Matalat käyttökustannukset ovat luonnollisesti hyvin tärkeitä talonmistajille, kun taas alkuinvestoinnin suuruus osoittautui vähemmän merkittäväksi seikaksi.

Uudet kannattavat liiketoimintamallit

Kyselytutkimuksen ja haastattelujen perusteella vaikuttaa siltä, että talonmistajat voisivat olla jossain määrin kiinnostuneita joistakin projektissa kehitetyistä uusista kaukolämmön liiketoimintamalleista tai niihin sisältyviä palveluista. Ensimmäinen malli, *Huoleton lämpö* kokonaispalvelupaketteineen, avaimet käteen -toimituksineen ja pidennettyine hankinnan maksuaikoineen ei vastausten perusteella tällaisenaan vaikuttaisi kovin houkuttelevalta. Sekä 24/7-huoltopalvelu, lämmitysjärjestelmän avaimet käteen -toimitus että pidennetty maksuaika olivat kaikkein vähiten kiinnostavia palveluja vastaajien keskuudessa. Toisaalta taas vastaajat olivat hyvinkin kiinnostuneita talopakettiratkaisuista sekä talon rakentamisen toteuttamisesta avaimet käteen -toimituksena. Vaikuttaa siis siltä, että erilaiset pakettiratkaisut ja asiakkaan kannalta helpot toimitusjärjestelyt ovat nouseva trendi, ja on oletettavaa, että tämä koskisi myös lämmitysjärjestelmän hankintaa.

Aurinkokaukolämpö vaikuttaisi kaikkein kannattavimmalta palvelupakettilta kyselytutkimuksen vastausten perusteella, sillä kiinnostus aurinkolämpöä kohtaan osoittautui yllättävän suureksi. Myös ne vastaajat, jotka asuivat kaukolämpötalossa, tai jotka olivat kiinnostuneita valitsemaan kaukolämmön päälämmitysjärjestelmäksi, olivat hyvin kiinnostuneita myös aurinkolämmöstä. Kuitenkaan pelkkä kiinnostus aurinkolämpöä kohtaan ei vielä tarkoita, että kotitaloudet olisivat todellisuudessa valmiita investoimaan aurinkolämpökeräimiin, etenkin jos keräimien kustannukset olisivat tiedossa. Kiinnostusta kuitenkin epäilemättä löytyy, ja mahdollisesti aurinkokaukolämpöyhdistelmän aktiivinen markkinointi paljastaisi, realisoituuko tämä kiinnostus myös todellisissa valintatilanteissa.

Kolmas kehitetty palvelumalli *Kotisi paras lämmittäjä* voisi myös saavuttaa suosiota pienin muutoksin. Vaikka lämmitysjärjestelmän kokonaistoimitus (sisältäen myös lämmönjakojärjestelmän) ei saavuttanutkaan kovin suurta suosiota, jotkin pakettiin kuuluvat palvelut, kuten energiankulutuksen seurantapalvelu internetissä, oli erittäin toivottu palvelu. Internetpalvelu joka mahdollistaisi eri lämmitystapojen vertailun, oli etenkin rivi- ja paritaloasujien keskuudessa kiinnostusta herättävä

palvelu, ja tämä palvelu olisi helppo yhdistää Kotisi paras lämmittäjä -palvelumalliin. Jäi edelleen epäselväksi, olisivatko asiakkaat valmiit maksamaan lisää näistä palveluista ja tämän selvittäminen vaatisi lisätutkimusta.

Tulevaisuuden markkinointiargumentit

Kaukolämmön perinteiset vahvuudet kuten, helppous, mukavuus sekä toimintavarmuus ovat seikkoja, joita kannattaa tulevaisuudessakin korostaa kaukolämmön markkinoinnissa. Kyselytutkimuksen vastaajia huolestutti paljon energialaskun karkaaminen liian korkeaksi. Useat vastaajat myös kertoivat olevansa valmiita maksamaan lisää lämmityskustannusten ennustettavuudesta. Siten myös hinnan vakaus on asia, jota kannattaa asiakkaalle korostaa. Lisäksi asiakkailla vaikuttaa olevan kiinnostusta joihinkin palveluihin, etenkin energiankulutuksen seurantapalveluun sekä internetpalveluun, joka mahdollistaa erilaisten lämmitystapojen vertailun. Nämä palvelut olisi helppo yhdistää kaukolämpöön.

Kuten ruotsalaistutkimuksissa on aiemmin esitetty, kaukolämpöyritysten kannattaa panostaa markkinointi- ja viestintätaitoihin (Larsson & Persson, 2012; Persson & Sernhed, 2004). Myös tämän tutkimuksen kyselytutkimus viittaa siihen, että asiakkaiden voi olla vaikea luottaa myyjään ja tämän suosituksiin, mikä tuli esille kysymyksessä lämmitysjärjestelmän valintaan liittyvistä kriteereistä sekä myös kysymyksessä huolestuttavista seikoista lämmitysjärjestelmän valinnassa. Asiakaslähtöisen ajattelun lisäämiseen sekä siirtyminen palveluliiketoiminnan suuntaan ovat siis epäilemättä asioita, joihin kaukolämpöyhtiöiden on tulevaisuudessa oltava valmiita.

7. Yhteenveto

Rakennusten energiankulutus ja lämmöntarve vähenevät huomattavasti tulevaisuudessa. EU:n tavoitteen mukaisesti kaikkien uusien rakennusten tulisi olla lähes nollaenergiataloja vuodesta 2021 alkaen. Tässä tutkimuksessa selvitettiin arvioitujen lähes nollaenergiaratkaisujen vaikutusta paikalliseen kaukolämpöverkkoon.

Hankkeen tavoitteena oli kehittää teknisesti toteutettavissa oleva ja kustannustehokas ratkaisu, jossa kaukolämpö ja matalaenergiarakennukset yhdistetään. Hankkeessa käytettiin kokonaisvaltaista lähestymistapaa, joka kattaa koko järjestelmän huonetilasta lämmönjakoputkiston ja kaukolämmön jakokeskuksen kautta kaukolämpöverkkoon. Kansainvälisestä kirjallisuudesta etsittiin matalaenergiatasoon soveltuvia uusimpia kaukolämpöverkon teknisiä ratkaisuja ja lämmönjakokeskuksen kytkentätapoja. Valittuja ratkaisuja mallinnettiin ja simuloitiin käyttäen pohjana Hyvinkään asuntomessualueen toteutunutta kaukolämpöverkkoa.

Tutkittavia ratkaisuja arvioitiin elinkaarikustannusten (LCC) ja elinkaarivaikutusten (LCA) analyysien avulla. Elinkaarivaikutusten analyysin erityismielenkiinnon kohteena oli myös yhdyskuntajätteen sisältämän energian ympäristöystävällinen hyötykäyttöpotentiaali paikallisessa energian tuotannossa.

Lisäksi projektissa kehitettiin uusia kaukolämpöpalvelukonsepteja ja kyselytutkimuksella selvitettiin kaukolämpöön liittyviä kuluttajien asenteita ja asiakastarpeita.

Elinkaarikustannusanalyysin (LCC) tuloksen mukaan kaukolämpöpientalo arvioituilla 2020-luvun energiatehokkuusvaatimuksilla on hieman elinkaariedullisempi (n. -4 %) verrattuna maalämpöön. Laskenta-aikana oli 20 vuoden elinkaari. Molemmissa vertailuissa lämmitystavoissa käytettiin ns. passiivitalokonseptia 2020-lämmöntarveratkaisuna.

Pientalon elinkaarivaikutukset (LCA) riippuvat rakennuksen materiaaleista, huolto- ja korjaustarpeesta, rakennuksen energiantehokkuudesta mutta myös energian tuotantotavasta. Suoritettu analyysi osoitti, että kaukolämmitteisen pientalon hiilijalanjälkivaikutuksia voidaan pienentää rakentamalla nykymääräyksistä parempi, energiatehokas pientalo. Laskennan pientalo oli kevytrakenteinen ja puurunkoinen, ja siksi talon rakenteiden hiilijalanjälki oli pieni. Jos rakennus olisi ollut massiivisempi, esim. kivipohjainen, sen rakennusmateriaalien hiilijalanjälki olisi ollut paljon merkittävämpi. Kun myös kaukolämmön tuotannossa uusiutuvien polttoaineiden määrää kasvatetaan, voidaan välttää nykymääräysten mukaisen

talon ja energiatehokkaan talon 25 vuoden käyttöaikana jopa 50 % kasvihuonekaasupäästöistä.

Jätteen hyödyntäminen lämmön ja sähkön tuotannossa voidaan toteuttaa usealla eri tavalla. Arinapoltoilla voidaan tuottaa energiaa myös kierrätykseen kelpaamattomista jätteistä ja materiaaleista sekä erilaisista kierrätysprosessin rejekteistä, jotka muutoin olisivat päättäneet kaatopaikalle ja siellä aiheuttaisivat hallitsemattomia metaanipäästöjä ilmakehään. Vältettyinä päästöinä ovat myös säätötehona tuotetun sähkön ja lämmön tuotannon päästöt sekä talteen otetut metallit. Jätteestä voidaan lisäksi valmistaa biokaasua, jota voidaan hyödyntää myös energiantuotannossa. Toisaalta, jätteen jalostuksessa polttoaineeksi tai biokaasuksi syntyy myös huomattavia määriä jätettä/rejettiä, jota ei pysytä hyödyntämään.

Analyysi osoitti, että jätteen energiahyödyntäminen talojen lämmityksessä ja sähkönkäytössä pienentää rakennuksen hiilijalanjälkeä, mutta näillä näkymillä vaikutus koko Suomen energiankäytön mittakaavassa jää pienehköksi jätteestä tuotettavan lämmön ja sähkön rajallisen saatavuuden takia. Oletuksena oli, että Suomen kokonaistuotannosta jätteellä voitaisiin tuottaa 6 % lämpöä ja 0,9 % sähköä. Kuitenkin, hyödyntämällä jätteellä tuotettua lämpöä kaukolämpöalueella voidaan vähentää sen alueen hiilijalanjälkeä.

Hankkeessa suoritetussa kirjallisuuskatsauksessa etsittiin kaukolämpötekniikan innovaatioita ja tuoreimpia kehityssuuntia. Katsaus osoitti, että monia mahdollisia kytkentävaihtoehtoja lämmönjakokeskuksessa on tutkittu erityisesti Tanskassa ja Ruotsissa: suora (ilman lämmönvaihdinta) tai epäsuora (lämmönvaihtimella) kytkentä, lämmönvaihtimet kytketty rinnan tai sarjaan, yksi- tai kaksivaiheisena, lämmön varastoinnilla tai ilman, varaajan sijoituksella ensiö- tai toisiopuolella jne.

Suomessa on kehitetty uusi kaukolämpöön ja kaukojäähdytykseen tarkoitettu ns. rengastyypinen verkkoratkaisu, johon liittyy lämmönjakokeskuksessa käytetty uusi massavirran säätötapa taajuusmuuttajilla varustettujen pumppujen avulla. Suomessa kehitettiin myös lämmönjakokeskus, jossa uutena elementtinä on pieni varaaja, jonka tehtävänä on vaimentaa lämpötilapiikit niin, että varaajasta lähtevän lämpimän käyttöveden lämpötila pysyy lähes vakiona.

Ruotsalainen yhtiö on kehittänyt joukon uusia kaukolämpöä käyttäviä kodinkoneita. Astianpesukoneissa, pyykinpesukoneissa ja kuivausrummuissa kaukolämpövesi kiertää lämmönvaihtimessa koneen sisällä ja kuumentaa prosessivettä (astianpesukoneet ja pesukoneet) tai prosessi-ilmaa (kuivausrummut) vähentäen perinteisen sähkövastuksen käyttötarvetta.

Katsauksessa tutkittujen tuoreimpien yli 50 vertaisarvioitujen julkaisujen, konferenssisitelmien ja tutkimusraporttien perusteella voidaan johtopäätöksenä päätellä, että matalalämpötilainen kaukolämpö on lupaava konsepti ja kehitystrendi, joka avaa sekä toimijoille että kuluttajille uusia mahdollisuuksia jakaa ja hyödyntää lämpöä. Siihen liittyy usein eri lämpölähteiden kytkentämahdollisuus ja energian varastointi. Haasteina ovat edelleen investointi- ja käyttökustannusten vähentäminen, järjestelmän lämpöhäviöiden pienentäminen, järjestelmän joustavuuden kasvattaminen kulutusvaihteluille, asiakkaiden sovellusmahdollisuuksien lisääminen.

Kirjallisuuskatsauksen jälkeen hankkeessa analysoitiin tarkemmin Ruotsissa kehitettyjä pientalojen kaukolämmön kytkentävaihtoehtoja, jotka mahdollistavat

uusiutuvan energian (aurinko) hyödyntämisen käyttöveden ja tilojen lämmityksessä. Simulointianalyysissä selvitettiin aurinkojärjestelmän mitoituksen (keräimen pinta-ala, varaajan tilavuus) vaikutusta aurinkoenergian hyödyntämiseen ja kaukolämmön paluuveden jäähtymään. Tulokset osoittavat, että suurin osa aurinkoenergiasta siirtyy varaajasta käyttöveeseen kattaen noin puolet käyttöveden lämmitystarpeesta. Tilojen lämmitykseen saatava aurinkoenergia jää pieneksi, koska aurinkoenergian tuotto ja lämmityksen energiantarve eivät kohtaa kovin hyvin. Aurinkojärjestelmällä saavutettava säästö lisääntyy kerääjän pinta-alan kasvaessa, mutta säästö kerääjän pinta-alaa kohti pienenee ja vaihtelee välillä 170–420 kWh/m² vuotta kohti. Varaajan koon kasvatus ei lisää säästöä, mutta lisää hieman lämmitykseen saatavan energian määrää. Talvella paluulämpötila määräytyy pääosin lämmitysverkoston paluulämpötilan perusteella ja kesällä käyttöveden lämmitystarpeen sekä kiertojohtojen lämpötilan perusteella. Aurinkolämmitys nostaa paluuveden lämpötilaa muutamalla asteella.

Työssä käsiteltiin kahta eri kaukolämpöverkkoversiota, joiden toimivuutta ja tehokkuutta arvioitiin eri lähtöolettamuksilla tehtyjen simulointitulosten perusteella (yht. 6 kpl). Kaukolämpöverkkoversiot erosivat oleellisesti liittymäasteeltaan, ja näin saatiin luotua kuva siitä, millainen vaikutus kulutustiheydellä on kaukolämpöjärjestelmän mielekkyyteen tarkastellun kaltaisen alueen lämmitysenergiaratkaisuna. Toimivuuden kannalta tutkitut tapaukset kykenivät täyttämään järjestelmälle annetun tehtävän eli tyydyttämään kuluttajien LKV- ja lämmöntarpeen vuoden aikana. Matalan kulutuksen takia käytetyllä kiertojärjestelyllä ei simulointien mukaan käytännössä ollut vaikutusta lämpöhäviöihin. Sen sijaan putkimitoituksella oli odotettu selkeä vaikutus. Matalan liityntäasteen tapauksessa järjestelmän tehokkuus lämpöhäviöiden näkökulmasta jäi kuitenkin matalaksi, vuositasolla häviöt olivat lähes viidenneksen tuotetusta lämmöstä. 100-prosenttisen liityntäasteen verkkorakenteella häviöt jäivät noin 10 %:n tasolle, mikä on hyvin kohtuullinen luku matalan kulutuksen alueelle.

Hyvinkään asuntomessualueen talonrakentajien haastattelujen perusteella laadittiin laajalle yleisölle tarkoitettu, asenteita ja suunnitelmia kartoittava kyselytutkimus. Vastaukset osoittavat, että tietyt kriteerit ovat hyvin tärkeitä lämmitysjärjestelmän valinnassa: helppous, mukavuus ja edullisuus näyttävät olevan tärkeimpiä lämmitysjärjestelmän valintaan vaikuttavia seikkoja. Myös ympäristöystävällisyys ja uusiutuva energia näyttävät olevan tärkeitä seikkoja. Matalat käyttöaikaiset kustannukset ovat luonnollisesti hyvin tärkeitä talonmistajille, kun taas alkuinvestoinnin suuruus näyttää olevan vähemmän merkittävä tekijä.

Kehitetyistä uusista palvelupaketeista *Aurinkokaukolämpö* vaikuttaisi kaikkein kannattavimmalta palvelupaketilta kyselytutkimuksen vastausten perusteella, sillä kiinnostus aurinkolämpöä kohtaan osoittautui merkittäväksi. Myös ne vastaajat, jotka asuivat kaukolämpötalossa tai jotka olivat kiinnostuneita valitsemaan kaukolämmön päälämmitysjärjestelmäksi, olivat hyvin kiinnostuneita myös aurinkolämmöstä. Kuitenkaan pelkkä kiinnostus aurinkolämpöä kohtaan ei vielä tarkoita, että kotitaloudet olisivat todellisuudessa valmiita investoimaan aurinkolämpökeräimiin, etenkin jos keräimien kustannukset olisivat tiedossa. Tätä ajatusta tukee kysely-

tutkimuksen alhainen (15 %) halukkuus edes kohtuullisiin lisäinvestointeihin (> 5 %) energiatehokkuuden parantamiseksi.

Kaukolämmön perinteiset vahvuudet, kuten helppous, mukavuus sekä toimintavarmuus, ovat seikkoja, joita kannattaa tulevaisuudessakin korostaa kaukolämpöä markkinoitaessa. Kyselytutkimuksen vastaajia huolestutti paljon energialaskun karkaaminen liian korkeaksi. Useat vastaajat kertoivat olevansa valmiita maksamaan lisää lämmityskustannusten ennustettavuudesta. Siten myös hinnan vakaus on asia, jota kannattaa asiakkaalle korostaa. Lisäksi asiakkailla vaikuttaa olevan kiinnostusta joihinkin palveluihin, etenkin energiankulutuksen seurantapalveluun sekä internetpalveluun, joka mahdollistaa erilaisten lämmitystapojen vertailun. Nämä palvelut olisi helppo yhdistää kaukolämpöön.

Hankkeessa tehdyt simuloinnit suoritettiin pääasiassa yhden tunnin aika-askelella, paitsi rajatuissa tapauksissa kahdella eri aika-askelella (1 tunti ja 6 minuuttia). Näistä havaittiin, että tulokset eroavat käyttöveden kulutusaikasarjojen ja sen seurauksena myös lämmönsiirrinmäärittelyn osalta. Selkein ja merkittävin ero simulointituloksissa eri aika-askeleilla laskettuna syntyy kuluttajakohtaisissa menolämpötiloissa lämmityskauden ulkopuolella. Tätä ilmiötä kannattaisi tutkia lisää empiirisillä mittauksilla jatkohankkeessa. Tällaisen tutkimuksen tulosten perusteella voitaisiin päättää, minkä pituisia aika-askelia on syytä käyttää tulevaisuudessa nollaenergiatalojen laskennassa.

Lähdeluettelo

APROS Process Simulation Software, <http://www.apros.fi/en/>.

Bionova consulting. Kaukolämmön CO₂-päästöjen laskentamenetelmät päätöksenteon työkaluina, 29.08.2013.

Christiansen, H. Ch. 2009. Udvikling og demonstration af lavenergifjernvarme til lavenergibyggeri. [Development and Demonstration of Low-Energy District Heating for Low-Energy Buildings]. Hovedrapport, Energistyrelsen – EFP 2007, Dansk Teknologisk Institut, March 2009. (Tanskaksi.)

Dalla Rosa, A. & Christensen, J.E. 2011. Low-energy district heating in energy-efficient building areas. Energy, Vol. 36, No. 12, s. 6890–6899.

Dalla Rosa, A., Li, H. & Svendsen, S. 2010. Steady state heat losses in pre-insulated pipes for low-energy district heating. 12th International Symposium on District Heating and Cooling, September 5–7, 2010, Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia, 2010, s. 81.

ELCD data – European reference Life-Cycle Database. <http://eplca.jrc.ec.europa.eu/ELCD3/index.xhtml>.

EN 15978:2011 Sustainability of construction works – Assessment of environmental performance of buildings – Calculation method.

EPBD. 2010. Recast Energy Performance of Buildings. Viitattu 31.10.2012. Saatavilla: http://www.eceee.org/buildings/EPBD_Recast/EPBD_recast_19May2010.pdf.

Equa 2013. IDA Indoor Climate and Energy, User Manual, version 4.5. Equa Simulation AB.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU, annettu 19 päivänä toukokuuta 2010, Euroopan unionin virallinen lehti L 153/13, <http://eur-lex.europa.eu/JOHtml.do?uri=OJ:L:2010:153:SOM:FI:HTML>.

Heikkilä, T. 2011. Kaukolämmön hinnoittelurakenteet. Lopputyö. Metropolia University of Applied Science, Finland. <http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/32684/Insinööri%20TimoHeikkilä%2015.4.2011.pdf?sequence=1>.

- Hofmeister, M. 2012. Roadmap for district energy technology. 13th International Symposium on District Heating and Cooling, September 3–4, 2012, Copenhagen, Denmark.
- Häkkinen, T., Ruuska, A., Vares, S., Pulakka, S., Kouhia, I. & Holopainen, R. 2012. Methods and concepts for sustainable renovation of buildings,. VTT Technology 26. Espoo 2012. 266 s. + liitt. 51 s. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2012/T26.pdf>.
- ILMARI – VTT:n hiilijalanjälkiarviointipalvelu ja työkalu <http://www.vtt.fi/sites/ilmari/>.
- IPCC 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 2. Energy. 2006. Chapter 2 Stationary combustion – Table 2.2 Default emission factors for stationary combustion in the energy industries <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>.
- IPCC 2006. Stationary combustion.
- ISO 14040 2006. Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework.
- Johansson, P., Lauenburg, P. & Wollerstrand, J. 2009. Improved cooling of district heating water in substations by using alternative connections schemes. 22nd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, August 31 – September 3, 2009, Foz do Iguaçu, Paraná, Brazil.
- Kaukolämpötilasto 2012. Energiateollisuus ry 2013. ISSN 0786-4809 ETKaukolämpökansio 7/1. http://energia.fi/sites/default/files/kaukolampotilasto_2012_web.pdf.
- Koivu, V. 2012. Uudet energiamääräykset. Viitattu 20.11.2012. Saatavilla: <http://www.rakentajanabc.com/rakentajanabc-tiedottaa/uudet-energiamaaraykset/>.
- Koivu, V. 2010. Pientalon lämmitysjärjestelmän valinta. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto: Tuotantotalouden osasto.
- Kuosa, M., Kontu, K., Mäkilä, T., Lampinen, M. & Lahdelma, R. 2013. Static study of traditional and ring networks and the use of mass flow control in district heating applications. Applied Thermal Engineering 54 (2013), s. 450–459.
- Larsson, O. & Persson, A. 2012. Hur blir fjärrvärmen grönare? Kunddriven utveckling. Fjärrsyn.

- Liikanen, J. 1999. Yhdistetyn sähkön ja lämmön tuotannon päästöjen jakaminen. Kauppa ja teollisuusministeriö. 76 s. ISSN 1236-2352.
- Luoma, T. 2012. Taaleritehtaan Pääomarahastot Oy, Paljonko Suomessa voidaan tuottaa biokaasua? JLY energiapäivät, 2012, 12–13.12.2012, Lahti.
- Myllymaa, T. et al. 2008. Jätteiden kierrätyksen ja polton käsittelyketjujen ympäristökuormitus ja kustannukset. Inventaarioraportti. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 28/2008. SYKE. 82 s. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39792/SYKEra_28_2008.pdf?sequence=1.
- Mäkelä, V.-M., Nousiainen, H. & Tuunanen J. 2005. Käytettyjä ratkaisumalleja asiakasrajapinnan siirtoon. RajaLämpö project. Mikkeli University of Applied Science, Finland, 2005.
- Nieminen, J. 2012. Asiantuntijalausunto. Espoo: VTT.
- Nilsson, G., Thorsen, J.E. & Aaltonen, T. 2012, Harmonization of functions: The next generation of European substations for 2020. Euroheat and Power (English Edition), Vol. 9, No. 1, s. 36–37.
- Nummela, E. JLY – Jätehuollon energiapäivät 2012, 12–13.12.2012, Lahti.
- Pasanen, P., Bruce, T. & Sipari, A. 2013. Kaukolämmön CO₂-päästöjen laskentamenetelmät päätöksenteon työkaluina. Bionova consulting. 44 s.
- Paulsen, O., Fan, J., Furbo, S. & Thorsen, J.E. 2008. Consumer unit for low energy district heating net. 11th International Symposium on District Heating and Cooling, August 31 – September 2, 2018, Reykjavik, Iceland, 2008.
- Persson, T. & Sernhed, K. 2004. Svenska fjärrvärmebolags försälvningsstrategier I småhusområden. Svensk Fjärrvärme, Report Värmegles 2004-13.
- Pesola, A., Bröckl, M. & Vanhanen, J. 2011. Älykäs kaukolämpöjärjestelmä ja sen mahdollisuudet. Gaia Consulting Oy.
- Pulakka, S., Heimonen, I., Junnonen, J.M. & Vuolle, M. 2007. Talotekniikan elinkaarikustannukset. Espoo 2007. VTT Tiedotteita – Research Notes 2409. Viitattu 11.10.2012. Saatavilla: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2007/T2409.pdf>.
- Pöyry. 2011. Kaukolämmön asema Suomen energiajärjestelmässä tulevaisuudessa. Helsinki: Pöyry. Energiategollisuus ry:n julkaisuja 8/2011. Viitattu 5.11.2012. Saatavilla: http://energia.fi/sites/default/files/kaukolammon_asema_suomen_energiajarjestelmassa_tulevaisuudessa_poyrypdf.pdf.

- Pöyry Finland. 2011. Kaukolämmön lämmönjakokeskusten kytkennät ja lämmön-siirtimien mitoituslämpötilat [Connections of district heating substations and design temperatures for heat exchangers]. Research Report for Energy Industries, Pöyry Finland Oy, 2011 Finland.
- Saari, A. 2004. Elinkaarikustannusten laskenta. Viitattu 13.11.2012. Saatavilla: <http://virtual.vtt.fi/virtual/proj6/enviro2/rem/elinkaarikustannukset.doc>.
- Sernhed, K. & Pyrko, J. 2008. Make the heat hotter! Marketing district heating to households in detached houses. Lund University, Sweden. The 11th International Symposium on District Heating and Cooling, Reykjavik, Iceland.
- Sipilä, K., Rämä, M., Zinko, H., Ottosson, U., Williams, J., Aguiló-Rullán, A. & Bøhm, B. 2011. District heating for energy efficient building areas. IEA R&D Programme on "District Heating and Cooling, including the integration of CHP" Project: OADHC0801. January 2011.
- Suomen RakMK D3. 2012. Rakentamisen valvonta ja tekninen tarkastus. Määräykset ja ohjeet 2012. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto ja rakennusosasto. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=384865&lan=fi>.
- Svensk Fjärrvärme AB, 2009. Fjärrvärmecentralen. Kopplingsprinciper. Rapport 2009:3. ISSN 1401-9264.
- Syvänen, T. & Mikkonen, K. 2011. Saisiko olla lähienergiapalveluja? Kyselytutkimus: Omakotitalojen, taloyhtiöiden ja vapaa-ajan asunnon asukkaiden tarpeet energiaratkaisuja ja uusia lähienergiapalveluja kohtaan. Taloustutkimus Oy. Sitran selvityksiä 60. <http://www.sitra.fi/julkaisut/Selvityksi%C3%A4-sarja/Selvityksia60.pdf>.
- Tilastokeskus. Polttoaineluokitus 2013. Päivätty 1.1.2013.
- Tilastokeskus. Ympäristö ja luonnonvarat 2013. Ympäristövuosikirja. Vuosikirja 2013. ISSN 1798-3576 http://pxweb2.stat.fi/sahkoiset_julkaisut/ymparistotilasto2013/pdf/ymparistotilasto2013.pdf.
- Thorsen, J. & Iversen, J. 2012. Impact of lowering DT for heat exchangers used in district heating systems. 13th International Symposium on District Heating and Cooling, September 3–4, 2012, Copenhagen, Denmark.
- Valtioneuvoston asetus 9/2013 rakennuksissa käytettävien energiamuotojen ker-toimien lukuarvoista, Annettu Helsingissä 10 päivänä tammikuuta 2013. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=141060&lan=fi>.

Ympäristöministeriön asetus 5/2013 rakennusten energiatehokkuudesta annetun ympäristöministeriön asetuksen muuttamisesta (27.2.2013) <http://www.ym.fi/download/noname/%7BC37A4FE8-8D22-4D6A-A75E-437F14AB2975%7D/31395>.

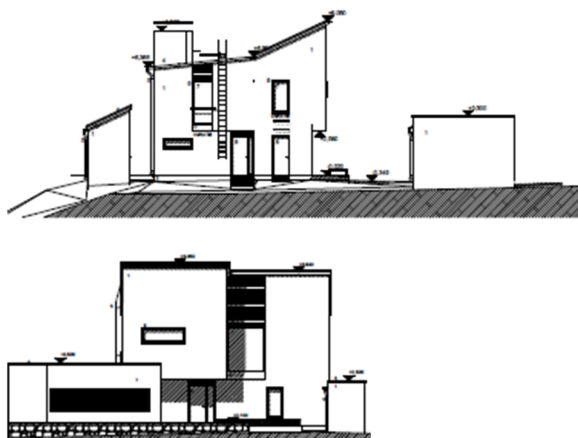
Zinko, H. (Editor), Bøhm, B., Kristjansson, H., Ottosson, U., Rämä, M. & Sipilä, K. 2008. District heating distribution in areas with low heat demand density. IEA R&D Programme on "District Heating and Cooling, including the integration of CHP" Project: 8DHC-08-03. International Energy Agency IEA District Heating and Cooling, Programme of Research, Development and Demonstration on District Heating and Cooling & NOVEM, Sittard, March 2008.

Liite A: Tutkitun pientalon kuvaus

Pientalon rakenneratkaisut

Tapaustutkimuksen kohteeksi valittiin erillistalo, joka oli kevytrakenteinen, puurunkoinen, rapatulla julkisivulla, jossa ympäristövaikutukset käytetyistä rakennusmateriaaleista olivat jo alun perin hyvin pieniä. Rakenneratkaisu edusti Hyvinkään asunomessutalon BLOK-pohjaratkaisua (Kuva A1), jossa talon rakenteet ovat seuraavat:

- puurunko
- villaeristys seinissä
- julkisivut pintarappauksella
- vesikatteena bitumikermikate
- puhallusvillaeristys yläpohjassa
- polystyreeni alapohjassa
- harkkoperusmuuri ja betoniantura.



Kuva A1. Puurunkoinen erillistalo (BLOK).

Talo mallinnettiin nykyvaatimusten mukaiselle energiatehokkuustasolle (2012) sekä parannelulle energiatehokkuustasolle (2021). Oletus parannelulle energiatehokkuustasolle oli, että kaikki uudet rakennukset ovat vuonna 2021 lähes nolla-energiataloja (EU Direktiivi 2010/31/EU). Tämän mukaan vuoden 2021 vaatimusten mukaisen talon ulkoseinän, yläpohjan sekä alapohjan eristepaksuudet ovat suuremmat vuoden 2012 tason nähden. Todellisuudessa esimerkkinä käytetty BLOK-talo rakennettiin lähes nollaenergiaratkaisuksi ja tämä vastaa rakenneratkaisuilta kaukolämmitteistä taloa KL 2021. Kaukolämmitteisen pientalon rakenteiden laajuus, rakenneratkaisujen u-arvot sekä eristystasot (KL 2012 sekä KL 2021) on esitetty taulukossa (Taulukko A1).

Taulukko A1. Erillispientalon rakenteet.

Rakenne	m ²	U-arvo, KL 2012,	U-arvo, KL 2021
Ulkoseinä, josta	165,3 m ²	0,17 (175 mm eriste)	0,09 (300 mm eriste)
ovet	10,7 m ²	Puuovet	Puuovet
ikkunat	42,7 m ²	3 lasiset, puu-alumiini ikkunat	3 lasiset puu-alumiini ikkunat
Alapohja	90 m ²	0,16 (215 mm eriste)	0,10 (350 mm eriste)
Perusmuuri + antura	43,7 m	-	-
Eristetty väliseinä	298,8 m ²	- (50 mm eriste)	- (50 mm eriste)
Eristämätön väliseinä	31,5 m ²	-	-
Välipohja	69 m ²	-	-
Yläpohja	89,4 m ²	0,09 (535 mm eriste)	0,08 (600 mm eriste)
<i>Huoneisto-ala ja varasto</i>	159 m ² 16,5 m ²		

Kaukolämmitteisen pientalon tuloksia verrattiin rakennukseen, jossa lämmitysratkaisuna olisi maalämpö tai suora sähkö. Maalämpöratkaisun osalta nykyvaatimuksia täyttävän talon rakenteet (ML 2012) ovat samat kuin nykyvaatimuksia täyttävän kaukolämmitteisen talon rakenteet (KL 2012). Sen sijaan nykyvaatimuksia täyttävä sähkölämmitteinen talo (SS 2012) vaatii parempaa eristyskykyä, ja sen takia sähkölämmitteisen talon rakenneratkaisut ovat samat kuin paremmin eristetyssä kaukolämpötalossa (KL 2021).

Energiasimulointi ja E-luku

Suomessa uudisrakennuksien energiankulutusvaatimus on säädetty E-lukuvaatimuksena, jossa otetaan huomioon talotyyppi sekä lämmitetty nettoala (Anetto). Taulukossa (Taulukko A2) esitetään pientalojen (erillinen pientalo, rivi- ja ketjutalo) energiankulutusvaatimuksen raja-arvot (RakMk D3, Ympäristöministeriön asetus 5/2013, taulukko 2.1.4)

Taulukko A2. Raja-arvot erillisen pientalon, rivi- ja ketjutalon E-luvulle uudisrakentamisessa. (Asetus 5/2013)

2.1.4 Uudisrakennuksen E-luku ei saa ylittää seuraavia arvoja:			
Luokka 1	Erillinen pientalo, rivi- ja ketjutalo	Lämmitetty nettoala, A_{netto}	kWh/m ² vuodessa
	Pientalo	$A_{\text{netto}} < 120 \text{ m}^2$	204
		$120 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 150 \text{ m}^2$	$372 - 1,4 \cdot A_{\text{netto}}$
		$150 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 600 \text{ m}^2$	$173 - 0,07 \cdot A_{\text{netto}}$
		$A_{\text{netto}} > 600 \text{ m}^2$	130

E-lukujen laskennassa energiankulutusluku kerrotaan energian laatukohtaisilla kertoimilla, jotka ovat seuraavat (Valtioneuvoston asetus 9/2013):

- sähkö 1,7
- kaukolämpö 0,7
- kaukojäähdytys 0,4
- fossiiliset polttoaineet 1,0
- rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet 0,5.

Erillisen pientalon E-lukuvaatimus on $173 - 0,07 \cdot A_{\text{netto}}$, jos lämmitettyä nettoalaa on $150 \text{ m}^2 - 600 \text{ m}^2$ (Taulukko A2). Tässä tarkastelussa pientalon netto-ala oli 160 m², joten E-luku, jota ei saa ylittää, on 162 kWhE. Tämä E-lukuvaatimus otettiin huomioon nykyvaatimusten mukaisessa ja energiatehokkaassa kaukolämmitteisessä pientaloratkaisussa. Myös vertailutaloissa tämä vaatimus täytettiin, mutta sähkölämmitteisessä talossa jouduttiin käyttämään enemmän lämmöneristettä ja lisäksi rakentamaan uusiutuvan energian tuottamiseksi takka.

Tarkasteltavan rakennuksen lämmityksen ja jäähdytyksen ratkaisut ovat seuraavat:

- KL 2012, nykymääräysten mukainen talo (2012), lämmityksessä käytetään kaukolämpöä ja perinteistä koneellista jäähdytystä
- KL 2021, rakenteiltaan sama kuin nollaenergiatalo (täyttää 2021 vaatimukset lähes nollaenergiatalolle), lämmityksessä käytetään kaukolämpöä ja perinteistä koneellista jäähdytystä
- ML 2012, nykymääräysten mukainen talo, jossa lämmityksessä käytetään maalämpöä ja perinteistä koneellista jäähdytystä
- SS 2012, nykymääräysten mukainen talo (paremmin eristetty kuin KL 2012 talo), lämmityksessä käytetään suoraa sähkölämmitystä ja perinteistä koneellista jäähdytystä. Lisälämmityksenä käytetään puulämmitteistä takkaa
- O-2021 on nollaenergiatalo, jossa energiajärjestelmänä käytetään maalämpöä, aurinkolämpöä, LED-valaistusta, A+++ sähkölaitteita (Blok-talo).

Taulukko A3 esittää energiasimuloinnin tulokset nykymääräysten mukaisille pientaloille ja Taulukko A4 energiatehokkaille vaihtoehdoille (ratkaisut, jotka täyttävät vuoden 2021 energiatehokkuusvaatimukset).

Taulukko A3. Pientalon energiankulutus, nykymääräyksiä täyttävälle rakenneratkaisulle. Vertailu toteutettu kaukolämmitteiselle pientalolle (KL 2012), maalämpöä käyttävälle pientalolle (ML 2012) sekä suoraa sähkölämmitystä käyttävälle pientalolle (SS 2012).

	KL 2012		ML 2012		SS 2012	
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
Valaistus	1 145	7	1 145	7	1146	7
Jäähdytys	715	4	715	4	400	2.4
LVI	1 388	8	1 388	8	753	5
Taloussähkö	2 715	16	2 715	16	2716	16
Ulkovalot, autolämmitys	385	2	385	2	385	2
Lämmitys	17 722	106	4 298	26	4 881	29
Lämmin vesi	4 213	25	1 634	10	4 744	28
Puulämmitteinen takka	-	-	-	-	2 000	12
Yhteensä, sähkö	6 348	38	12 280	74	15 025	90
Yhteensä, kaukolämpö	21 935	131	-	-	-	-
E-luku, kWh_E	156		121		161	

Taulukko A4. Pientalon energiankulutus, energiatehokkaalle ratkaisulle, joka tulee täyttämään vuoden 2021 energiatehokkuusmääräykset. Vertailussa käytetty O-energiarakennusta, jossa maalämpö, aurinkolämpö, LED-valaistus, A+++ laitteet (0-2021) sekä kaukolämpöratkaisu (KL 2021).

	lähes nolla 2021		KL 2021	
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
Valaistus	800	5	1 146	7
Jäähdytys	86	1	400	2.4
LVI	953	6	753	5
Taloussähkö	2 281	14	2 716	16
Ulkovalot, autolämmitys	385	2	385	2
Lämmitys	2 333	14	6 804	41
Lämmin vesi	817	5	5 047	30
Lämmitystakka (puu)	-	-	-	-
Yhteensä, sähkö	7 655	51	5 400	32
Yhteensä, kaukolämpö	-	-	11 851	58
<i>E-luku, kWh_E</i>	74		105	

Liite B: Luettelo osatehtäväkohtaisista raporteista

Knuuti, A. 2014. Tukalen projekti – Kilpailukykyanalyysi. Tutkimusraportti VTT-R-04349-14.

Vares, S. 2014. Tukalen projekti – Elinkaariarvio (LCA) pientalojen kaukolämpö-ratkaisuille. Tutkimusraportti VTT-R-03720-14.

Hoang, H., Klobut, K. 2014. Tukalen projekti – District heating – State-of-the art literature survey. Tutkimusraportti VTT-R-04354-14.

Heikkinen, J., Laitinen, A., Rämä, M., Klobut, K. 2014. Tukalen projekti – Kauko-lämpökytkennät ja alueverkot. Tutkimusraportti VTT-R-04343-14

Ahvenniemi, H. 2014. Tukalen projekti – Kaukolämmön uudet liiketoimintamallit. Tutkimusraportti VTT-R-04346-14.

Liite C: Kirjallisuuskatsauksen lähdeluettelo

- Alsbjær, M. & Boss, A. 2012. Experiences from development of substations through certification. 13th International Symposium on District Heating and Cooling, September 3–4, 2012, Copenhagen, Denmark.
- Berge, A. & Adl-Zarrabi, B. 2012. Using high performance insulation in district heating pipes. 13th International Symposium on District Heating and Cooling, September 3–4, 2012, Copenhagen, Denmark.
- Bernotat, K. & Lübke, C. 2012. Integration of low energy building areas into district heating systems using subnet solutions. 13th International Symposium on District Heating and Cooling, September 3–4, 2012, Copenhagen, Denmark.
- Brand, M., Thorsen, J.E. & Svendsen, S. 2012. Numerical modelling and experimental measurements for a low-temperature district heating substation for instantaneous preparation of DHW with respect to service pipes. *Energy*, Vol. 41, No. 1, s. 392–400.
- Brand, M., Thorsen, J.E., Svendsen, S. & Christiansen, C.H. 2010. A direct Heat Exchanger Unit used for domestic hot water supply in a single-family house supplied by Low Energy District Heating. 12th International Symposium on District Heating and Cooling, September 5–7, 2010, Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia, 2010, s. 60.
- Christiansen, C.H., Dalla Rosa, A., Brand, M., Olsen, P. & Thorsen, J. 2012. Results and experiences from a 2-year study with measurements on a new low-temperature district heating system for low-energy buildings. 13th International Symposium on District Heating and Cooling, September 3–4, 2012, Copenhagen, Denmark.
- Christiansen, H. Ch. 2009. Udvikling og demonstration af lavenergifjernvarme til lavenergibyggeri [Development and Demonstration of Low-Energy District Heating for Low-Energy Buildings]. Hovedrapport, Energistyrelsen – EFP 2007, Dansk Teknologisk Institut, March 2009. (Tanskaksi.)
- Dalla Rosa, A., Brand, M. & Svendsen, S. 2012. Energy-efficient and cost-effective use of district heating bypass for improving the thermal comfort in bathrooms in low-energy buildings. 13th International Symposium on District Heating and Cooling, September 3–4, 2012, Copenhagen, Denmark.
- Dalla Rosa, A. & Christensen, J.E. 2011a. Low-energy district heating in energy-efficient building areas. *Energy*, Vol. 36, No. 12, s. 6890–6899.

- Dalla Rosa, A., Li, H. & Svendsen, S. 2011b. Method for optimal design of pipes for low-energy district heating, with focus on heat losses. *Energy*, Vol. 36, No. 5, s. 2407–2418.
- Dalla Rosa, A., Li, H. & Svendsen, S. 2010. Steady state heat losses in pre-insulated pipes for low-energy district heating. 12th International Symposium on District Heating and Cooling, September 5–7, 2010, Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia, 2010, s. 81.
- Euroheat & Power, 2008. Guidelines for district heating substations. October 2008.
- Fahlen, E., Trygg, L. & Ahlgren, E.O. 2012. Assessment of absorption cooling as a district heating system strategy – A case study. Elsevier Ltd, Langford Lane, Kidlington, Oxford, OX5 1GB, United Kingdom, s. 115.
- Fröling, M. & Nystrom, I. 2010. District heating as part of the energy system: An environmental perspective on 'passive houses' and heat replacing electricity use. 12th International Symposium on District Heating and Cooling, September 5–7, 2010, Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia, 2010, s. 202.
- Gudmundsson, O., Nielsen, A. & Iversen, J. 2012. The effects of lowering the network temperatures in existing networks. 13th International Symposium on District Heating and Cooling, September 3–4, 2012, Copenhagen, Denmark.
- Gustafsson, J., Makitaavola, H., Delsing, J. & Van Deventer, J. 2010. Integration of an IP based low-power sensor network in district heating substations. 12th International Symposium on District Heating and Cooling, September 5–7, 2010, Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia, 2010, s. 4.
- Henchoz, S., Favrat, D. & Weber, C. 2012. Performance and profitability perspectives of a CO₂ based district energy network in Geneva's city center. 13th International Symposium on District Heating and Cooling, September 3–4, 2012, Copenhagen, Denmark.
- Hofmeister, M. 2012. Roadmap for district energy technology. 13th International Symposium on District Heating and Cooling, September 3–4, 2012, Copenhagen, Denmark.
- Johansson, P.-O. 2011. Buildings and district heating – contributions to development and assessments of efficient technology. Doctoral Dissertation, Lund University, Department of Energy Sciences, Lund 2011.

- Johansson, P. & Wollerstrand, J. 2010. Improved temperature performance of radiator heating system connected to district heating by using add-on-fan blowers. 12th International Symposium on District Heating and Cooling, September 5–7, 2010, Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia, 2010.
- Johansson, P., Lauenburg, P. & Wollerstrand, J. 2009. Improved cooling of district heating water in substations by using alternative connections schemes. 22nd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, August 31 – September 3, 2009, Foz do Iguaçu, Paraná, Brazil.
- Kuosa, M., Kontu, K., Mäkilä, T., Lampinen, M. & Lahdelma, R. 2013. Static study of traditional and ring networks and the use of mass flow control in district heating applications. *Applied Thermal Engineering* 54 (2013), s. 450–459.
- Lauenburg, P., Brand, M. & Wollerstrand, J. 2012. Space heating in district heating-connected low-energy buildings. 13th International Symposium on District Heating and Cooling, September 3–4, 2012, Copenhagen, Denmark.
- Lauenburg, P., Johansson, P.-O. & Wollerstrand, J. 2010 A. District heating in case of power failure. *Applied Energy*, Vol. 87, s. 1176–1186.
- Lauenburg, P. & Wollerstrand, J. 2010 B. Adaptive control of radiator systems for a lowest possible return temperature. 12th International Symposium on District Heating and Cooling, September 5–7, 2010, Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia, 2010.
- Liunggren, P., Johansson, P. & Wollerstrand, J. 2008. Optimized space heating system operation with the aim of lowering the primary return temperature. 11th International Symposium on District Heating and Cooling, August 31 – September 2, 2008, Reykjavik, Iceland, 2008.
- Li, H., Dalla Rosa, A. & Svendsen, S. 2010. Design of low temperature district heating network with supply water recirculation. 12th International Symposium on District Heating and Cooling, September 5–7, 2010, Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia, 2010, s. 73.
- Nilsson, G., Thorsen, J.E. & Aaltonen, T. 2012. Harmonization of functions: The next generation of European substations for 2020. *Euroheat and Power* (English Edition), Vol. 9, No. 1, s. 36–37.
- Nilsson, S.F., Reidhav, C., Lygnerud, K. & Werner, S. 2008. Sparse district-heating in Sweden. *Applied Energy*, Vol. 85, No. 7, s. 555–564.

- Olsen, P.K., et al. 2008. A new low-temperature district heating system for low-energy buildings. 11th International Symposium on District Heating and Cooling, August 31 – September 2, 2018, Reykjavik, Iceland, 2008.
- Paulsen, O., Fan, J., Furbo, S. & Thorsen, J.E. 2008. Consumer unit for low energy district heating net. 11th International Symposium on District Heating and Cooling, August 31 – September 2, 2018, Reykjavik, Iceland, 2008.
- Persson, U., Nilsson, D., Möller, B. & Werner, S. 2012. Mapping local European heat sources – a spatial approach to identify favourable synergy regions for district heating. 13th International Symposium on District Heating and Cooling, September 3–4, 2012, Copenhagen, Denmark.
- Pöyry Finland. 2011. Kaukolämmön lämmönjakokeskusten kytkennät ja lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat [Connections of district heating substations and design temperatures for heat exchangers]. Research Report for Energy Industries, Pöyry Finland Oy, 2011 Finland.
- Reidhav, C. & Werner, S. 2008. Profitability of sparse district heating. *Applied Energy*, Vol. 85, No. 9, s. 867–877.
- Sipilä, K., Rämä, M., Zinko, H., Ottosson, U., Williams, J., Aguiló-Rullán, A. & Bøhm, B. 2011. District heating for energy efficient building areas. IEA R&D Programme on "District Heating and Cooling, including the integration of CHP" Project: OADHC0801. January 2011.
- Thorsen, J. & Iversen, J. 2012. Impact of lowering DT for heat exchangers used in district heating systems. 13th International Symposium on District Heating and Cooling, September 3–4, 2012, Copenhagen, Denmark.
- Thorsen, J.E. 2010. Analysis on flat station concept. Preparing DHW decentralised in flats. 12th International Symposium on District Heating and Cooling, September 5–7, 2010, Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia, 2010, s. 16.
- Tol, H.I. & Svendsen, S. 2012. Improving the dimensioning of piping networks and network layouts in low-energy district heating systems connected to low-energy buildings: A case study in Roskilde, Denmark. *Energy*, Vol. 38, No. 1, s. 276–290.
- Tol, H.I. & Svendsen, S. 2012. Case studies in low-energy district heating systems: determination of dimensioning methods for planning the future heating infrastructure. IFME2012 Conference Proceedings, June 4–10, 2012, Helsinki, Finland.

- Zinko, H. (Editor), Bøhm, B., Kristjansson, H., Ottosson, U., Rämä, M. & Sipilä, K. 2008, "District heating distribution in areas with low heat demand density. IEA R&D Programme on "District Heating and Cooling, including the integration of CHP" Project: 8DHC-08-03. International Energy Agency IEA District Heating and Cooling, Programme of Research, Development and Demonstration on District Heating and Cooling & NOVEM, Sittard, March 2008.
- Zvingilaite, E., Ommen, T., Elmegaard, B. & Franck, M.L. 2012. Low temperature district heating consumer unit with micro heat pump for domestic hot water preparation. 13th International Symposium on District Heating and Cooling, September 3–4, 2012, Copenhagen, Denmark.
- Åberg, M. & Henning, D. 2011. Optimisation of a Swedish district heating system with reduced heat demand due to energy efficiency measures in residential buildings. *Energy Policy*, Vol. 39, No. 12, s. 7839–7852.

Nimeke	Tulevaisuuden kaukolämpöasuinalueen energiaratkaisut
Tekijä(t)	Krzysztof Klobut, Antti Knuuti, Sirje Vares, Jorma Heikkinen, Miika Rämä, Ari Laitinen, Hannele Ahvenniemi, Ha Hoang, Jari Shemeikka & Kari Sipilä
Tiivistelmä	EU:n tavoitteen mukaisesti kaikkien uusien rakennusten tulisi olla lähes nollaenergiataloja vuodesta 2021 alkaen. Tässä projektissa tavoiteltiin energiatehokkaiden pientaloalueiden kaukolämmitysratkaisuja. Valittuja ratkaisuja mallinnettiin ja simuloitiin käyttäen pohjana Hyvinkään asutomessualueen toteutumisvaiheessa olevaa passiivitasen rakennusta ja alueen kaukolämpöverkkoa. Elinkaarikustannusanalyysin (LCC) tuloksen mukaan kaukolämpöpienotalo arvioiduilla passiivitalokonseptin 2020-luvun energiatehokkuusvaatimuksilla on hieman elinkaariedullisempi verrattuna maalämmöllä lämpiävään taloon. Elinkaari-vaikutusanalyysi (LCA) osoitti, että kaukolämmitteisen pientalon hiilijalanjälkivaikutusta voidaan pienentää rakentamalla nykymääräyksistä parempi, energiatehokas pientalo. Kun myös kaukolämmön tuotannossa uusiutuvien polttoaineiden määrää kasvatetaan, voidaan 25 vuoden aikana välttää liki 50 % kasvihuonekaasupäästöjä. Yhdyskuntajätteistä tuotetun lämmön ja sähkön hyödyntäminen talojen lämmityksessä ja sähkönkäytössä pienentää rakennuksen hiilijalanjälkeä. Hankkeessa analysoitiin pientalon kaukolämmön kytkentävaihtoehtoja, jotka mahdollistavat uusiutuvan energian (aurinko) hyödyntämisen käyttöveden ja tilojen lämmityksessä. Simulointitulosten mukaan suurin osa aurinkoenergiasta siirtyy varajasta käyttöveeseen, ja se kattaa noin puolet käyttöveden lämmitystarpeesta. Tilojen lämmitykseen saatava aurinkoenergia jää pieneksi. Tarkastelualueen kaukolämpöjärjestelmän simulointitulosten mukaan täyden liityntäasteen verkkorakenteella lämpöhäviöt jäivät kohtuulliselle noin 10 %:n tasolle. Projektissa toteutetun kyselytutkimuksen vastauksissa lämmitysjärjestelmän valinnassa matalat käyttöaikaiset kustannukset olivat hyvin tärkeitä talonmistajille, kun taas alkuinvestoinnit olivat vähemmän merkittävä tekijä. Kaukolämpöyhtiön kanssa yhteistyössä kehitetyistä uusista palvelupaketeista Aurinkokaukolämpö vaikuttaisi kaikkein kannattavimmalta palvelupaketilta kyselytutkimuksen vastausten perusteella.
ISBN, ISSN	ISBN 978-951-38-8159-7 (nid.) ISBN 978-951-38-8160-3 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp) ISSN-L 2242-1211 ISSN 2242-1211 (Painettu) ISSN 2242-122X (Verkojulkaisu)
Julkaisu-aika	Syyskuu 2014
Kieli	Suomi, englanninkielinen tiivistelmä
Sivumäärä	85 s. + liitt. 11 s.
Projektin nimi	Tulevaisuuden kaukolämpöasuinalueen energiaratkaisut (Tukalen)
Rahoittajat	Tekes, Hyvinkään Lämpövoima Oy, Hyvinkään kaupunki, Energiateollisuus ry, Ekokem Oyj, Porvoon Energia Oy, Riihimäen Kaukolämpö Oy, Helsingin Energia, Jyväskylän Energia, VTT
Avainsanat	Kaukolämpö, lähes nollaenergiatalo, elinkaarianalyysi, yhdyskuntajätteen energiahyödyntäminen, palvelukonsepti
Julkaisija	VTT PL 1000, 02044 VTT, puh. 020 722 111

Title	Future district heating solutions for residential districts
Author(s)	Krzysztof Klobut, Antti Knuuti, Sirje Vares, Jorma Heikkinen, Miika Rämä, Ari Laitinen, Hannele Ahvenniemi, Ha Hoang, Jari Shemeikka & Kari Sipilä
Abstract	EU directive requires that all new buildings should be nearly zero energy buildings from the year 2021 onwards. This project aimed to find solutions for combining district heating and low energy buildings. Selected solutions were modelled and simulated using a passive building and a district heating network of Hyvinkää housing fair area as a case. According to life cycle cost analysis (LCC) the district heating solution in a single-family passive house, complying with the 2020s energy efficiency requirements, is a little more competitive compared to solution using ground heat pump. Life Cycle Impact Analysis (LCA) showed that the carbon footprint of a small district heated house can be reduced by building more energy-efficient house than current standards require. Additionally, approx. 50 % of greenhouse gas emissions can be avoided during the life cycle of 25 years, by increasing the share of renewable fuels in the district heat production. Utilization of heating and electricity generated from municipal waste will reduce the building's carbon footprint. Different district heating connection options for a small house were analysed, which enable renewable energy (solar) use for hot water and space heating. Results of simulations showed that the majority of the solar energy is transferred from the storage tank to the domestic hot water, covering about half of its annual heating needs. Solar energy available for space heating is small. Simulations of different district heating network versions in the studied area showed that for the full connection rate case and adequate network structure, the heat losses were at a reasonable 10 % level. A survey of the general public was conducted to explore attitudes and plans regarding selection of heating systems. According to the responses the low operating costs are very important for the house owners while the initial investment cost seems to be less important. We developed a few new service packages in cooperation with the district heating company. Of those, the Solar District Heating service package received the most favourable responses in the survey.
ISBN, ISSN	ISBN 978-951-38-8159-7 (Soft back ed.) ISBN 978-951-38-8160-3 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp) ISSN-L 2242-1211 ISSN 2242-1211 (Print) ISSN 2242-122X (Online)
Date	September 2014
Language	Finnish, English abstract
Pages	85 p. + app. 11 p.
Name of the project	Tulevaisuuden kaukolämpöasuinalueen energiaratkaisut (Tukalen)
Commissioned by	Tekes, Hyvinkään Lämpövoima Oy, Hyvinkään kaupunki, Energiategollisuus ry, Ekokem Oyj, Porvoon Energia Oy, Riihimäen Kaukolämpö Oy, Helsingin Energia, Jyväskylän Energia, VTT
Keywords	District heating, energy efficient buildings, life cycle analysis, municipal waste, carbon footprint, renewable energy sources, heating related services
Publisher	VTT Technical Research Centre of Finland P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland, Tel. 020 722 111

Tulevaisuuden kaukolämpöasuinalueen energiaratkaisut

Tässä projektissa tavoiteltiin energiatehokkaiden pientaloalueiden kaukolämmitysratkaisuja.

Ratkaisuvaihtoehtoja vertailtiin elinkaarenaikaisten CO₂-päästövaikutusten ja kustannustehokkuuden perusteella. Elinkaaritarkastelujen osana alueen energia- ja ympäristötaseessa tarkasteltiin syntyvän jätteen hyödyntämistä energian tuotannossa. Mallinnettiin valittuja kaukolämpöverkon teknisiä ratkaisuja ja lämmönjakokeskuksen kytkentätapoja, jotka mahdollistavat uusiutuvan energian (aurinko) hyödyntämisen käyttöveden ja tilojen lämmityksessä. Simulointien pohjana käytettiin Hyvinkään asuntomessualueen toteutumisvaiheessa olevaa passiivitason rakennusta ja alueen kaukolämpöverkkoa. Analyysien peruslähtökohtina olivat vuoden 2012 rakentamismääräykset sekä vuoden 2012 jälkeiset arvioidut muutokset. Lisäksi projektissa kehitettiin uusia kaukolämpöpalvelukonsepteja ja selvitettiin kyselytutkimuksella kaukolämpöön liittyviä kuluttajien asenteita ja asiakastarpeita.

ISBN 978-951-38-8159-7 (nid.)

ISBN 978-951-38-8160-3 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

ISSN-L 2242-1211

ISSN 2242-1211 (Painettu)

ISSN 2242-122X (Verkkojulkaisu)