

Energiaväylä

Pienen aluelämpöverkon hyödyntäminen
matalalämpöisenä sekä lämmönlähteiden ja
säästöjen tarkastelu

OSA 1 YLEISTARKASTELU

Kari Kauppila
EnerSys CM Oy

Toukokuu 2018

Kari Kauppila

28.5.2018/5.6.2018

SISÄLLYSLUETTELO

1	ALKUSANAT.....	3
2	PERUSKÄSITTEITÄ	3
2.1	PERINTEINEN KAUKOLÄMPÖVERKOSTO	3
2.2	ALUELÄMPÖVERKOSTO JA MATALALÄMPÖTILAINEN ALUELÄMPÖVERKOSTO.....	4
2.3	ENERGIAVÄYLÄ.....	4
3	MATALALÄMPÖVERKKOJEN HISTORIA SUOMESSA	5
4	LÄMMITYSVERKOSTOJEN LÄMPÖTILATASON MÄÄRÄYTYMISEN PERUSTEISTA.....	6
4.1	YLEISET TEKIJÄT.....	6
4.2	LÄMPÖTILATASOIHIN VAIKUTTAVIA KEHITYSSUUNTIA MARKKINOILLA	7
5	MAHDOLLISUUDET ALENTAA LÄMPÖTILATASOA	7
5.1	LÄMPÖHÄVIÖIDEN MERKITYS JA PUMPPAUSTARVE	7
5.2	OLEMASSA OLEVAT LÄMPÖVERKOT.....	8
5.2.1	<i>Uudet lämpöverkot, mitoitusperiaatteet ja lämpötilatasojen optimointi.....</i>	<i>9</i>
6	MATALALÄMPÖTILAISTEN VERKKOJEN TOTEUTUS	10
6.1	YLEISET LÄHTÖKOHDAT.....	10
6.2	KULUTTAJALAITTEET JA KYTKENNÄT	10
6.2.1	<i>Kuluttajalaitteiden merkitys lämpötilatasoihin</i>	<i>10</i>
6.2.2	<i>Lämpimän käyttöveden tuottamisen vaihtoehtoja</i>	<i>12</i>
6.2.3	<i>Kuluttajapään laitteet ja kytkennät</i>	<i>12</i>
6.3	SIIRTOVERKOSTOT	13
6.4	TUOTANTO	14
7	LÄMPÖPUMPPUTEKNIIKAN JA TALOUDEN PERUSTEET	14
7.1	LÄMPÖPUMPPUTEKNIIKAN ERITYISPIIRTEET	14
7.2	LÄMPÖPUMPUN SUORITUSARVOJEN RIIPPUVUUS LÄMPÖTILATASOISTA	15
7.3	OPTIMAALINEN TEHOMITOITUS.....	16
7.4	ALUELÄMPÖKÄYTÖN ERITYISLÄHTÖKOHDAT LÄMPÖPUMPPUKÄYTÖLLE	17
7.4.1	<i>Aluelämpökäytön erityislähtökohdat</i>	<i>17</i>
7.4.2	<i>Lämpötilan tuottokyvyn parantaminen.....</i>	<i>18</i>

7.4.3	Hyötysuhteen parantaminen.....	18
8	LÄMMÖNLÄHTEET ALUELÄMPÖKÄYTÖSSÄ.....	19
8.1	YLEISTÄ.....	19
8.2	LÄMMÖNLÄHTEET, NIIDEN PERUSOMAISUUDET JA RAJOITTEET.....	19
8.2.1	Vesistöt.....	19
8.2.2	Pintamaa.....	19
8.2.3	Kallioperä/syvä maaperä.....	20
8.2.4	Ulkoilma.....	21
8.2.5	Aurinkolämpö.....	22
8.2.6	Muut lämmönlähteet.....	22
8.2.7	Vertailutaulukko eri lämmönlähteiden tilantarpeesta.....	23
9	TALOUS.....	24
9.1	LÄMPÖPUMPPUJÄRJESTELMIEN KANNATTAVUUDESTA YLEISESTI.....	24
9.2	LÄMPÖPUMPUN KILPAILUKYKY ALUELÄMPÖVERKOISSA.....	26
9.2.1	Olemassa olevat aluelämpöverkot.....	26
9.2.2	Uudiskohteet.....	27
9.3	HYVIÄ LÄMPÖPUMPPUKOhteita.....	27
9.4	LÄMPÖPUMPPUHANKKEIDEN KEHITTÄMISESTÄ JA SUUNNITTELUSTA.....	28
10	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	28
10.1	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	28
10.2	JATKOKEHITYSTARPEET.....	29

1 ALKUSANAT

Tämä selvitystyö on tehty osana EnergiaVäylä-hankkeeseen liittyviä erillistarkasteluja.

Tässä osaraportissa 1 käsitellään yleisellä tasolla matalalämpötilaisia aluelämpöverkkoja ja lämpöpumpun hyödyntämistä niissä. Tämän lisäksi on laadittu osaraportti 2, jossa tarkastellaan lämpötilan alentamisen ja lämpöpumpputekniikan mahdollisuuksia annetussa esimerkkikohteessa.

Tämän raporttiversioiden 28.5.2018/5.6.2018 viimeiselle sivulle 29 kohtaan ”Jatkokehitystarpeet” on lisätty kappaleet aluemuuntamon hukkalämmön talteenotosta ja kaksisuuntaisen tiedonsiirron mahdollisuuksista, koska edellä mainitut asiat kannattaa ehdottomasti ottaa huomioon mahdollisissa jatkotutkimushankkeissa.

2 PERUSKÄSITTEITÄ

Seuraavassa on määritelty peruskäsitteet siten, kun niitä on sovellettu tässä työssä.

2.1 Perinteinen kaukolämpöverkosto

Perinteisellä kaukolämpöverkostolla tarkoitetaan suuremman alueen, taajaman tai kaupungin kattavaa lämmönsiirtoverkostoa. Kaukolämpöverkostossa käytetty menoveden lämpötila vaihtelee kesän noin +75°C:sta talven huippupakkasten noin +115°C:een. Myös painetasot ovat korkeat käytettävien suurten pumppaustehojen ja maastollisten korkeuserojen vuoksi, ensiöpuolen mitoituspaineenä käytetään kaukolämpöohje K1 mukaan 16 bar. Korkeiden lämpötilojen ja painetasojen vuoksi putkistossa voidaan käyttää ainoastaan teräsputkikanavaa (2Mpuk tai Mpuk).

Korkeiden lämpötilojen ja painetasojen vuoksi kuluttajat on liitetty poikkeuksetta kuluttajakohtaisten lämmönsiirrinkestusten kautta kaukolämpöverkostoon.

Lämpö kaukolämpöverkostoon tuotetaan yleensä suurilla keskitetyissä laitoksyksiköillä, joiden lisäksi verkostoissa on pienempiä vara- ja huippukuormakattiloita. Suurissa kaupungeissa perusratkaisu on yhdistetyn sähkön ja lämmön tuotannon voimalaitos (tai CHP-laitos sanoista Combined Heat and Power), pienemmissä taajamissa erillinen lämpökeskus, jonka polttoaineena on useimmiten kotimainen polttoaine tai maakaasu.

Käytännössä kaikki Suomen kaupunkien ja taajamien kaukolämpöverkostot ovat tällaisia perinteisiä kaukolämpöverkostoja, koska tämä on ollut kokonaistaloudellisesti edullisin järjestelmä varsinkin tiheästi rakennetuissa suurtaajamissa.

2.2 Aluelämpöverkosto ja matalalämpötilainen aluelämpöverkosto

Aluelämpöverkolla tarkoitetaan yleisesti suuresta kaukolämpöverkosta erillään olevaa pienehköä aluetta, jotta lämmitetään yleensä erillisillä kattilalaitoksilla. Useimmat aluelämpöverkostot on toteutettu perinteisen kaukolämmön tekniikalla (teräsputkikanavat ja lämmönsiirtimet).

Kokoluokan pienentyessä järjestelmää ei kannata enää mitoittaa yhtä korkeaan lämpötilaan eikä korkeita painetasojakaan tarvita, jolloin järjestelmää on mahdollista keventää.

Varsinaisille ”matalalämpöverkoille” ei liene olemassa tarkkoja määritelmiä, vaan termiä on käytetty sellaisten aluelämpöverkkojen yhteydessä, joissa lämpötilataso on selvästi kaukolämpöpuolella käytettyä matalampi.

Matalalämpöverkkojen toteutustavat eivät myöskään ole vakiintuneet, vaan ne vaihtelevat tapauskohtaisesti, mikä onkin järkevää, koska kohteet ovat erilaisia ja kuhunkin kohteeseen kannattaa suunnitella kyseiseen kohteeseen paras kokonaisratkaisu. Alla esitettyyn listaan on koottu muutamia matalalämpöverkoille ominaisia tunnusmerkkejä:

- Sekä lämpötila- että painetaso perinteistä kaukolämpöverkostoa alempi, menoveden lämpötila jää maksimissaan yleensä kokemusten mukaan selvästi alle +100-asteeseen. Kesällä minimitaso asettaa lämpimän käyttöveden tuotanto, kuten kaukolämmössäkin. Pääverkon lämpötilatasoa voidaan kuitenkin alentaa, jos käyttöveden tuotanto eriytetään osittain tai kokonaan (lisätietoa....
- Verkostossa tai osissa sitä voidaan käyttää PEX-muoviputkea, jolloin suurin sallittu jatkuva käyttölämpötila on noin +75°C
- Kuluttajaliitännöissä käytetään myös suoria kytkentöjä, jolloin siis lämmönsiirtimiä ei käytetä ja lämmönsiirtimen aiheuttama lämpötilan nostotarve jää pois Suorien kytkentöjen käyttämiseen liittyy riskejä ja rajoituksia, jotka tulee ottaa huomioon.
- Pienimmissä verkoissa voidaan käyttää myös neliputkaisia järjestelmiä, joissa lämmin käyttövesi ja paluukierro tuodaan rakennukseen omalla putkiparilla.

2.3 Energiaväylä

Energiaväylien osalta määritelmät ovat todennäköisesti vielä edellistä tyyppiä enemmän vakiintumattomia, koska energiaväylä-tyyppisiä hankkeita on hyvin vähän toteutettu, tiedossa olevat hankkeet ovat yleensä vasta selvitysasteella. Energiaväylät on suunniteltava lisäksi hyvin yksilöllisesti paikallisten olosuhteiden ja lähtökohtien mukaan.

Esimerkiksi tähän Energiaväylä-hankeeseen liittyvien selvitysten perusteella energiaväylien tunnusmerkkejä voivat olla esimerkiksi:

- Lämpötilataso esim. + 5..+45°C, jolloin lämpöä ei voi hyödyntää suoraan, vaan lämpötilataso on nostettava hyödyntämiskelpoiselle tasolle lämpöpumpun avulla
- Kaksisuuntaisuus, myös kuluttajat voivat ajaa ylijäämälämpöä energiaväylään
- Energiaväylää mahdollista hyödyntää tietyin edellytyksin myös jäähdytykseen.

3 MATALALÄMPÖVERKKOJEN HISTORIA SUOMESSA

Ensimmäisen lämpöpumppubuumin voidaan katsoa alkaneen Suomessa 70-luvun lopulla ns. toisen öljykriisin jälkimainingeissa. Lämpöpumppuja, pääasiassa pientalojen poistoilma- ja maalämpöpumppuja myytiin tuolloin useita tuhansia vuodessa korkean öljyn hinnan siivittämänä, myynti alkoi kuitenkin hiipua 80-luvun puoliväliin tultaessa ja loppui lähes kokonaan öljyn hinnan laskiessa vuoden 1986 aikana noin puoleen aikaisemmalta tasolta.

80-luvun puolella alettiin rakentaa myös suurempia lämpöpumppulaitoksia esimerkkinä Imatran Voima Oy:n tytäryhtiön, lämpöpalveluyhtiö Tekitermo Oy:n rakennuttamat lämpöpumppulaitokset, joita oli parhaimmillaan 14 laitosta ympäri maata sijaitseissa suurkiinteistöissä ja aluelämpöverkoissa, lämpöpumppujen teholuokka oli 200 – 700 kW ja lämmönlähteenä yhtä poikkeusta lukuun ottamatta luonnon vesistöön asennettu suljettu lämmönkeräysputkisto, joten kohteet sijaitsivat soveltuvan vesistön yhteydessä.



Kuva 1 Vesiputkiston runkolinjojen laskua Puumalassa 80-luvulla

Lämpöpumppujen käytön yleistyminen 70-luvun loppupuolella ja 80-luvun alussa johti tarpeeseen alkaa selvittää rakennusten ja aluelämpöverkkojen lämpötilatason alentamista. Myös Lämpölaitosyhdistys ry. (myöhemmin Suomen Kaukolämpö ry.) tutki 80-luvulla mahdollisuuksia alentaa varsinkin pienempien aluelämpöverkkojen lämpötilatasoa ja julkaisi mm. raportin ”Pientaloalueiden ja pientaajamien kaukolämmitysjärjestelmien kehittämismahdollisuudet”.

Lämpötilatasojen alentamista selvitettiin myös kenttämittauksin, joista esimerkkinä Puumalan kirkonkylässä vuonna 1986 tehtyt aluelämpöverkon seurantamittaukset ja säätötoimenpiteet, joiden perusteella olemassa olevan aluelämpöverkoston (kuorma tuolloin 6 GWh/v) lämpötilatasoa alennettiin jopa 5 – 10 astetta. Seurantamittauksissa todettiin kuluttajien lämmönsiirrinten kykenevän tuottamaan +55-asteista käyttövedtä ongelmitta tulevan aluelämpöveden lämpötilan ollessa noin +60..62°C (lähde raportin laatijan diplomityö ”Lämpöpumpun käyttötalouden parantaminen nykyisissä aluelämpöverkoissa”, LTKK 1987).

Lämpöpumput alkoivat yleistyä uudelleen 2000-luvun puolella alkaen pientaloista. Myös suurempiin asuintaloihin ja varsinkin palvelu- ja liikerakennuksiin on tämän jälkeen asennettu paljon lämpöpumppuja päälämmitysjärjestelmäksi, päälämmönlähteenä on käytetty useimmiten energiakaivoja. Koska tämän tyyppisiä suurkohteita on vuosien varrella tehty useita, suuriin liikerakennuksiin on pystytty kehittämään erittäin tehokas monen lämmön lähteen käyttöön perustuva lämpöpumppukonsepti.

Aluelämpöpuolella ei vastaava yleistymistä ole ollut havaittavissa, tosin kattavia tilastoja ei liene saatavissa. Muutamia kohteita on toteutettu esimerkkinä Kisakallion Urheiluopistoon v.2008 vesistölämpöpumpun asentamisen yhteydessä rakennettu aluelämpöverkko käsittäen myös aluejäähdytysverkon. Lisäksi Suomen Urheiluopiston alueella Vierumäessä on ollut käytössä vastaava järjestelmä jo 80-luvun lopulta saakka.

Lisäksi on esitelvitetty joitakin kohteita, joihin on ehdotettu matalalämpötilaista aluelämpöjärjestelmää, mutta näiden toteutuksesta ei ole tietoa.

Kohteiden vähyyden vuoksi aluelämpöympäristöön sopivan, tämän päivän vaatimuksiin vastaavan lämpöpumppukonseptin luomiseen tarvittavaa kehitystyötä ei ole myöskään pystytty tekemään, mutta mikäli potentiaalia on riittävästi, tällainen konsepti on mahdollista toki kehittää.

Kehityksen voitaneen katsoa kuitenkin jatkuneen suuremmassa kokoluokassa, koska suurimpiin kaupunkeihin (Helsinki, Turku, Espoo) on asennettu viime vuosina teholuokaltaan 20 – 60 MW lämpöpumppulaitoksia, joita käytetään sekä kaukokylmän tuotantoon, että kaukolämmön tuotantoon, jolloin lämmönlähteenä käytetään kesällä jäähdytystä ja talvella yhdyskunnan jätevettä.

4 LÄMMITYSVERKOSTOJEN LÄMPÖTILATASON MÄÄRÄYTYMISEN PERUSTEISTA

4.1 Yleiset tekijät

Lämpöverkoissa käytetyt lämpötilatasot ovat määrättyneet perinteisesti suurten verkkojen tuotannon, siirron ja toisaalta rakennusten lämmönjakoverkkojen vaatimusten eräänlaisena kompromissina.

Lämpötilatasojen määrätymisen taustalla on seuraavia tekijöitä:

- Lämpötilatasoja on ohjannut ylöspäin varsinkin aikaisemmin pyrkimys minimoida sekä rakennusten sisäisten lämmönjakoverkkojen että kaukolämpöverkkojen investointikustannuksia, koska korkeampi lämpötilataso mahdollistaa pienemmän lämmönsiirtopinnat ja putkidimensiot
- Kaukolämpöverkkojen menoveden lämpötilan alaraja on määrätynyt ja määrätty edelleen lämpimän käyttöveden lämpötilavaatimusten kautta. Nykyisten vaatimusten mukaan käyttöveden lämpötilan tulee olla käyttöpisteellä vähintään +55°C (enintään +65°C), jolloin kiertoan lähtevän käyttöveden lämpötilan tulee olla muutamaa astetta korkeampi, käytännössä asetusarvona käytetään usein +58°C, jota myös kaukolämpöohje K1 suosittelee. Taustalla on legionella-bakteereihin liittyvän riskin torjunta. Käyttöveden lämpötilavaatimusta on jopa vuosien saatossa nostettu (+50 -> +55 -> +58 C). Käyttöveden lämpötilavaatimuksen nousu lienee ainoa tekijä, joka on ohjannut lämpötilatasoja ylöspäin, muut tekijät tuntuvat vaikuttava alaspäin seuraavan kohdan mukaisesti.
- Paluuveden lämpötilatasoa on ohjannut alaspäin tarve maksimoida siirrosta käytettävää jäähdytystä, jolloin verkoston siirtokapasiteetti kasvaa ja lämpöhäviöt ja pumppaustarve pienenevät
- Yhdistettyyn sähkön ja lämmön tuotantoon perustuvissa suurissa kaukolämpöverkoissa paluuveden lämpötilatasoa ohjaa alaspäin lisäksi pyrkimys parantaa sähkön tuotannon osuutta vastapainelaitoksissa.

4.2 Lämpötilatasoihin vaikuttavia kehityssuuntia markkinoilla

Seuraavassa on lyhyesti selvitetty, millaisia mahdollisia, optimaaliseen lämpötilatasoon vaikuttavia muutoksia markkinoilla on viime vuosina tapahtunut.

- Lattialämmitys on yleistynyt voimakkaasti päälämmönjakomuotona myös suuremmissa, kerrostalokokoluokan rakennuksissa. Matalat mitoituslämpötilat ja tasainen kuorma mahdollistavat matalat lämpötilatasot myös ensiöpuolella.
- Kaukolämpöohjeistuksessa on siirrytty suosimaan yhä matalampia lämpötilatasoja kuluttajalaitteissa tavoitteena sekä kaukolämpöverkoston jäähtymän että lämpöhäviöiden pienentäminen (lisätietoa kohdassa 6.2).
- Lämmönsiirrinten lämmönsiirtokyky on kehittynyt edelleen ja johtanut niiden fyysisen koon pienenemiseen ja myös hintojen alenemiseen, jolloin kauko-/aluelämmön ensiöpiirin ja kuluttajan lämmityspiirin välistä lämpötilaeroa on mahdollista pienentää.
- Säättö- ja varsinkin tiedonsiirtotekniikka ovat kehittyneet ja erilaiset langattomat viestiyhteydet mahdollistavat kuluttajan olosuhteiden jatkuvan seurannan ja välittömän reagoinnin
- Lämpöpumput ovat yleistyneet voimakkaasti yksittäisten kiinteistöjen lämmityksessä, mutta niiden hyödyntämisessä on vielä runsaasti potentiaalia varsinkin aluelämpötyyppisissä sovellutuksissa, joissa lämpöpumput ovat edelleen melko harvinaisia.
- Kaksisuuntainen kaukolämpö, jonka toteutettavuus ja kannattavuus parantuvat olennaisesti lämpötilatasojen alentuessa.

5 MAHDOLLISUUDET ALENTAA LÄMPÖTILATASOA

Teknisiä mahdollisuuksia lämpöverkkojen lämpötilatasojen alentamiseen on olemassa yllättävän paljon varsinkin uudiskohteissa. Suurin haaste lieneekin löytää kyseiseen kohteeseen soveltuvin tapa ja optimaalinen lämpötilataso.

5.1 Lämpöhäviöiden merkitys ja pumppaustarve

Lämpöverkon lämpöhäviöiden osuus riippuu suoraan lämpöverkon energiatiheudesta, jos muut tekijät pidetään vakiona. Tätä voidaan havainnollistaa siten, että kilometrin pituisen putken lämpöhäviö on 1 yksikkö ja putken kautta voidaan siirtää lämpöä joko a) yhden yksikön kuluttavalle asiakkaalle tai b) 10 yksikköä kuluttavalle/10:lle yhden yksikön asiakkaalle. Putken lämpöhäviö pysyy samana, mutta häviöiden osuus koko lämmön tuotantotarpeesta pienenee 50 % -> alle 10 % alla olevan yksinkertaistun laskelman mukaisesti:

a) häviöiden osuus $1/(1+1) = 50 \%$ b) häviöiden osuus $1/(1+10) = 9 \%$

Asiakas maksaa vain ostamastaan lämmöstä, mutta lämmön myyjän tuotantokustannukset ovat lähes kaksinkertaiset a)-tapauksessa.

Lämpöhäviöt riippuvat seuraavista tekijöistä:

- lämmitysveden ja maaperän välinen lämpötilaero
- putkidimensio ja eristystaso
- kanavarakenne ja maalaji

Muiden tekijöiden pysyessä muuttumattomina lämpötilatasolla on suuri merkitys.

Tiheästi rakennettujen keskusta-alueiden ja suurten kaupunkien kaukolämpöverkostoissa häviöiden osuus on luokkaa 4..10 %, mutta energiatiheyden pienentyessä varsinaista ylärajaa ei ole. Esimerkiksi tämän työn osaraportin 2 tarkastelukohteessa aluelämpöverkoston lämpöhäviöiden osuus koko tuotantotarpeesta on ollut noin 45 %.

Pumppausenergialla on suhteellisen pieni merkitys verrattuna lämpöhäviöihin. Suurissa kaukolämpöverkoissa pumppausenergian osuus on luokkaa 0,5 % siirretyn lämpöenergian määrästä vastaten suuruusluokkaisesti noin 1/10 lämpöhäviöiden energiamäärästä.

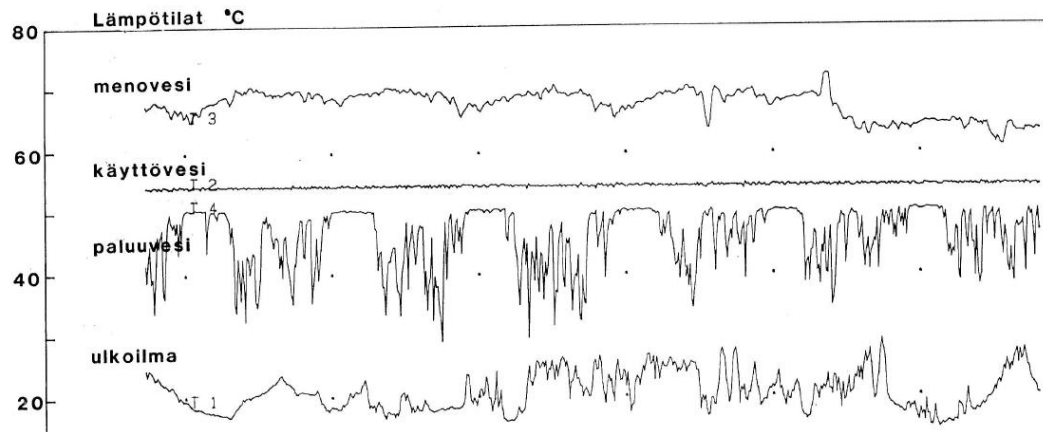
Menoveden lämpötilan alentaminen johtaa virtaaman kasvuun ja matalalämpöverkoissa ensiöpiirin veden jäähtymä on muutenkin paljon pienempi kuin kaukolämpöveden jäähtymä kuluttajalaitteissa. Em. tekijät kasvattavat pumppaustarvetta, mutta pienten aluelämpöverkkojen lyhyet siirtoetäisyydet johtavat käytännössä silti pieniin pumppaustarpeisiin verrattuna lämpöhäviöihin. Esimerkiksi tarkastelukohteessa (osaraportti 2) pumppausenergian laskennallinen tarve on ollut suuruusluokkaa 1 % lämpöhäviöistä (vrt. suurissa verkoissa luokkaa 10 %). Olennaista on säätää pumppausta todellisen tarpeen mukaan.

5.2 Olemassa olevat lämpöverkot

Mahdollisuudet alentaa lämpötilatasoja olemassa olevissa lämpöverkoissa ja ovat luonnollisesti rajallisemmat ja lämpötilatasojen alentaminen joudutaan suorittamaan usein pienten askelten kautta vähitellen. Toimenpiteitä suoritettaessa on aina varmistettava ja pidettävä mielessä, että legionella-bakteerien aiheuttama riski pysyy hallinnassa. Seuraavassa muutamia konkreettisia asioita:

- Ensimmäisenä kannattaa usein selvittää lämpöverkon vaatima todellinen lämpötilataso hakemalla alin menovesikäyrä, jolla olosuhdevaatimukset täyttyvät. Tässä kannattaa käyttää apuna langattoman tiedonsiirron mahdollisuuksia ja kaukoluettavaa mittarointia yleisesti. Kontrollimittaukset kannattaa asentaa kriittisimmille kuluttajille, joilta voi mitata aluelämpöveden tulolämpötila, käyttöveden lämpötilaa, lämmitysverkon menolämpötilaa ja aluelämpöverkon paine-eroa.
- Verkoston päissä olevien läpijuoksutuspisteiden (joilla varmistetaan veden vaihtuvuus verkossa) kiinteästi säädetty virtaus kannattaa muuttaa jatkuvasäätöiseksi asentamalla lämpötilaohjattu säätöventtiili, jota ohjataan todellisen tarpeen mukaan.
- Aluelämpöverkossa saattaa olla yksittäisiä, pitkiäkin verkostohaaroja, joiden päässä voi olla yksi tai kaksi kuluttajaa. Tällöin kannattaa harkita erillisen sähkövaraajan asentamista varmistamaan käyttöveden lämpötilaa varsinkin kesällä, jotta koko verkkoa ei tarvitse pitää ”ylikuumana” kyseisen verkostohaaran vuoksi.
- Verkoston pumppaustehoa kannattaa säätää mahdollisimman tarkasti tarpeen mukaan kriittisille kuluttajille asennettavien paine-eromittauksen mukaan.
- Saneeraustoimenpiteiden yhteydessä lämmönsiirtimiä ja jakolaitteita voidaan vaihtaa tehokkaammiksi. Varsinkin lämmönsiirrinten lämmönsiirtoteho on parantunut edelleen ja hinta/koko pienentynyt.
- Kuluttajien sisäisissä lämmönjakeluverkostoissa lämpötilatason alentamiseen pätevät suunnilleen samat periaatteen kuin aluelämpöverkoissa, olennaista on löytää oikea säätökäyrä ja huolehtia lämmitysverkon säädöistä (tarvittaessa teetetävä verkostojen perussäätö/tasapainotus).
- Lämpötilatasoa voidaan myös säätää vuorokausiohjelman avulla, jolloin menoveden lämpötilaa lasketaan yöllä ja nostetaan aamu- ja iltahuipun ajaksi. Yölämpötila tulee kuitenkin pitää sellaisella tasolla, että käyttövesikiertoon menevän veden lämpötila on vähintään +58°C vastaten nykyisiä suosituksia.
- Lisäksi uudiskohteessa käytettäviä keinoja voidaan soveltaa tapauskohtaisesti (luku 6).

Puumalassa 80-luvulla tehtyjen mittausten perusteella aluelämpöverkon menoveden lämpötila pystyttiin pudottamaan jopa 5 K päähän lämpimän käyttöveden lämpötilasta eikä usean viikon seurantamittauksissa tullut ilmi edes tilapäistä käyttöveden lämpötilan alenemista.



Kuva 2 Puumalan aluelämpöverkossa kesällä 1986 tehtyjen seurantamittausten lämpötiladataa (lähde Kauppila Kari, diplomityö 1987 LTKK)

Tämän selvitystyön yhteydessä tehdyn, tosin suppeahkon ja alustavan tarkastelun perusteella valitussa tarkastelukohteessa pienehkön aluelämpöverkoston lämpöhäviöitä pystyttäisiin pienentämään laskennallisesti noin 25 %. Tarvittavat investoinnit eivät välttämättä ole suuret, varsinkaan jos käytössä on etäluettavia lämpömäärämittareita, joita voidaan hyödyntää myös lämpötilatasojen valvontaan, joten säästöinvestoinnin takaisinmaksuaika voi olla hyvinkin lyhyt.

5.2.1 Uudet lämpöverkot, mitoitusperiaatteet ja lämpötilatasojen optimointi

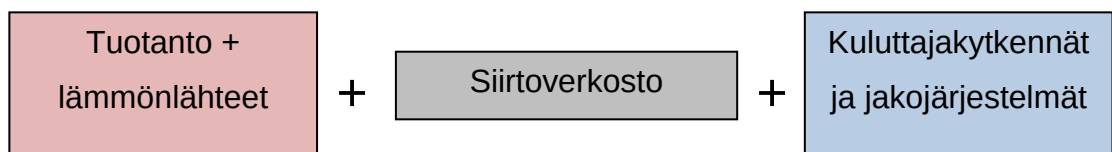
Uusilla alueilla mahdollisuudet lämpöverkkojen lämpötilatason alentamiseen ovat merkittävästi paremmat, kun asia otetaan huomioon jo suunnitteluvaiheessa, myös erilaisia toteutusvariaatioita on useita. Asiaa on käsitelty tarkemmin seuraavassa luvussa 6.

6 MATALALÄMPÖTILAISTEN VERKKOJEN TOTEUTUS

6.1 Yleiset lähtökohdat

Kuten edellä on todettu, mahdollisuudet lämpötilatasojen alentamiseen olemassa olevissa aluelämpöverkoissa ovat rajalliset ja alentaminen joudutaan tekemään usein pienten askelten kautta. Sen sijaan uusilla alueilla mahdollisuudet toteuttaa hyvinkin matalalämpötilainen aluelämpöjärjestelmä ovat aivan toista luokkaa.

Lähtökohtana on se, että aluelämpöjärjestelmä kannattaa pyrkiä aina optimoimaan kokonaisuutena:



Tässä kannattaa heti muistaa se, että lämpötilatasojen alentaminen ei ole itsetarkoitus, vaan tarkoituksena on hakea kokonaisoptimi investointi- ja käyttökustannusten välillä käyttäen yhtenä instrumenttina lämpötilatasojen hallintaa.

Kuten edellä on todettu, aluelämpöverkon kokoluokan kasvaessa lämpötila- ja painetasoja joudutaan usein nostamaan, jolloin joudutaan soveltamaan yhä enemmän perinteisen kaukolämmön tekniikka.

Yhteen keskitettyyn lämmöntuotantolaitokseen perustuvan matalalämpöverkon optimaalinen kokoluokka voisi olla lämmön kulutuksena mitaten maksimissaan luokkaa 10 -15 GWh/v (tämä on melko epävarma arvio, koska syvällisempää kokoluokkaan liittyvää optimointia ei ole pystytty tekemään tämän työn laajuuden puitteissa). Kokoluokkaa voidaan kuitenkin kasvattaa hajauttamalla tuotantoyksiköitä ottaen lisäksi huomioon kaksisuuntaisen kaukolämmön mahdollisuudet matalalämpöverkoissa. Em. toimenpiteet saattaisivat mahdollistaa laajuuden moninkertaistamisen.

6.2 Kuluttajalaitteet ja kytkennät

6.2.1 Kuluttajalaitteiden merkitys lämpötilatasoihin

Uudiskohteissa lämmitysverkostojen (ts. patterit, ilmanvaihto, lattialämmitys) lämpötilatasot mitoitetaan jo lähtökohtaisesti nykyään matalaan lämpötilatasoon kaukolämpöohjeen K1 2013 mukaisesti. Kaukolämpöön liitettävän uudistalon mitoituslämpötilat (meno/paluuvesi) ovat:

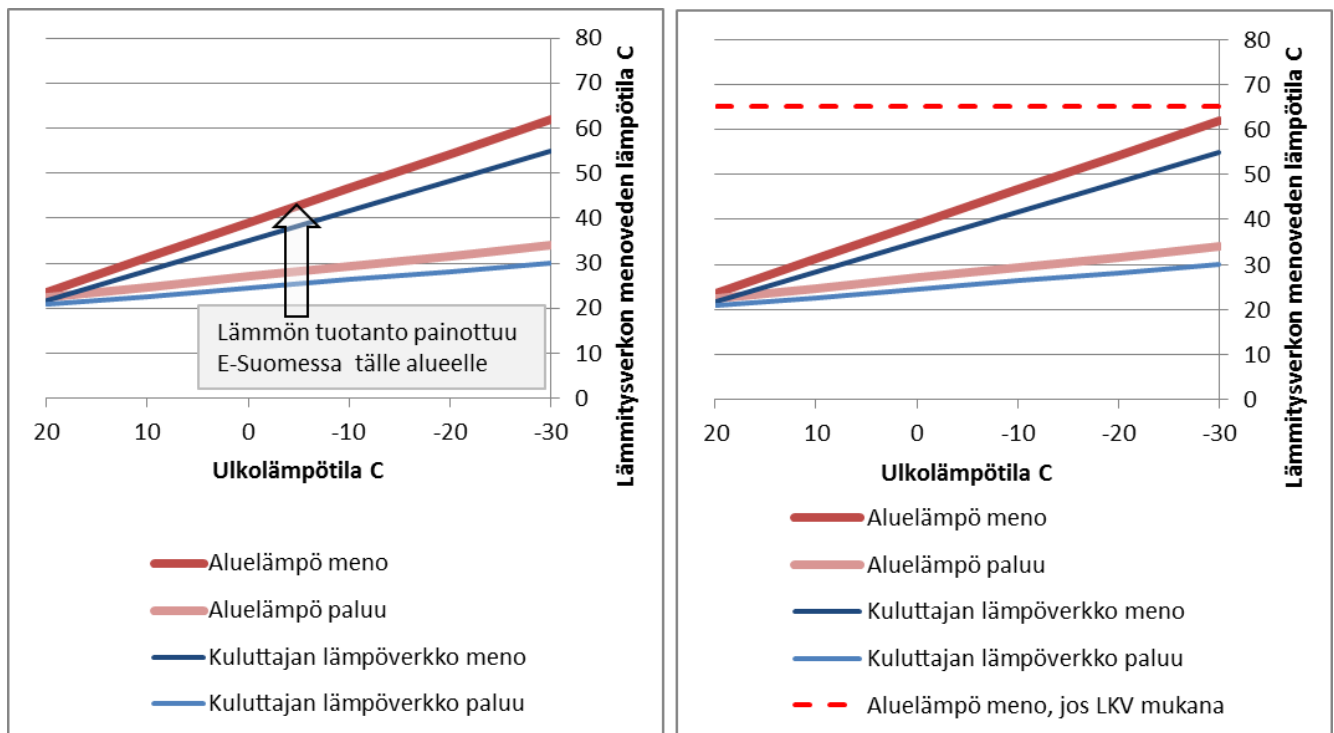
- Lattialämmitysverkosto 35/30°C
- Patteriverkosto 45/30°C (Kaukolämpöohjeen päivitys K64/2014 mahdollistaa tietyin edellytyksin korkeamman, max. 60°C mitoituslämpötilan käytön)
- Tuloilmakoneiden lämmityspatterit 60/30°C
- Lämmin käyttövesi +58°C

Varsinkin lämpöpumppukohteissa tuloilmakoneiden lämmityspatterit mitoitetaan usein matalampaan lämpötilaan, esimerkiksi 55/30°C tai jopa 50/30°C. Em. lämpötilat mahdollistavat lämmintä käyttövettä lukuun ottamatta erittäin matalat lämpötilatasot myös siirtoverkon ensiöpuolella.

Kuvassa 3 vasemmalla on esitetty malliksi aluelämpöverkon lämpötilataso laskettuna seuraavin periaattein

- Kuluttajalaitteet mitoitettu K1 mukaan muuten, paitsi IV-koneiden tuloilmapatterit 55/30°C
- Lämmityksen lämmönsiirtimet mitoitettu 5 asteen lämpötilaerolle menopuolelta
- Lämpimän käyttöveden tuotanto eriytetty

Oikean puoleiseen kuvaan on lisätty tilanne, jossa lämpimän käyttöveden tuotantoa ei ole eriytetty, jolloin aluelämpöverkon menoveden lämpötila joudutaan pitämään koko vuoden tasolla 63..65°C



Kuva 3 Vasemmalla pelkän lämmityksen tarpeiden mukaan asetetut menovesikäyrät ja oikeanpuoleiseen kuvaan lisätty tilanne, jossa lämpimän käyttöveden tuotantoa ei ole eriytetty, jolloin aluelämpöverkon menoveden lämpötila joudutaan pitämään koko vuoden tasolla 63..65°C

Etelä-Suomessa lämmityskauden painotettu keskilämpötila asettuu tyypillisesti välille -5...+5°C, jolloin aluelämpöverkon menoveden lämpötilaksi riittäisi 40..45°C. Tämä taas mahdollistaa hyvin suunnitellulla maalämpöpumppujärjestelmällä luokkaa 4 olevan COP-tason (ks. selitys alapuolella).

Oikeanpuoleisen kuvan tapauksessa käyttöveden tuotanto määrittää lämpötilatasoa koko vuoden, jolloin COP-taso jää luonnon lämmönlähteitä käyttäen noin 2,5 tasolle. Käyttöveden tuotanto kannattaa tämän vuoksi aina pyrkiä eriyttämään muun lämmityksen tuotannosta.

COP on lyhenne sanoista *Coefficient of Performance*, jolla ilmaistaan lämpöpumpun hyötysuhdetta. Hyötysuhde lasketaan tuotetun lämmön suhteena käytettyyn ostoenergiaan, joka on käytännössä kompressorin ja apulaitteiden käyttämää sähköä. COP-arvo on sitä korkeampi, mitä pienemmäksi jää lämpöpumpun lämpötilan nostotarve (ts. lämmitykseen tarvittavan lämpötilan ja lämmön lähteen lämpötilan välinen ero). Vastaava suomenkielinen termi on *lämpökerroin* (kylmälaiteissa kylmäkerroin, joka saadaan vähentämällä lämpökertoimesta yksi). Lämpökerroin riippuu lämpötilojen lisäksi monesta muustakin tekijästä ja käytännön lämpökertoimet vaihtelevat varsin laajalla skaalalla 1,5 6 olosuhteista ja laitteista riippuen.

6.2.2 Lämpimän käyttöveden tuottamisen vaihtoehtoja

Lämpimän käyttöveden tuotannon eriyttämiseen on käytettävissä monia eri keinoja, joista pitäisi pystyä valitsemaan kuhunkin kohteeseen paras tapa. Mainittuja tapoja on sovelluttu varsinkin suurissa lämpöpumppukohteissa jo vuosikymmenten ajan, joten niiden toiminta tunnetaan. Seuraavassa on käyty lyhyesti läpi eri menetelmiä:

- Lämmin käyttövesi tuotetaan käyttöpistekohtaisesti sähkövaraajilla, mikä on kokonaisedullisin tapa silloin, kun käyttövesikuorma on pieni ja käyttöpisteet hajallaan. Suurin paikallinen säästö syntyy kiertohäviöiden pienenemisestä tai loppumisesta kokonaan, mikäli varaaja sijoitetaan välittömästi käyttöpisteen yhteyteen.
- Lämmin käyttövesi esilämmitetään matalalämpötilaisella aluelämpöverkon vedellä lämmönsiirtimen avulla ja lisälämmitetään esim. sähkövaraajalla. Aluelämpöverkon lämpötilaa säädetään talvella lämmityksen ehdoilla, mutta lämpötila voidaan nostaa kesällä käyttöveden vaatimalle tasolle, kun muuta kuormaa ei ole. Esilämmityssiirtimessä lämpötila-asetusta tulee sijoittaa aluelämpöveden menoveden lämpötilaan (esim. menoveden lämpötila – 5 K).
- Lämmin käyttövesi tuotetaan keskitetysti lämpökeskuksella ja siirretään omalla putkiparillaan kuluttajille. Tämä on kannattavaa silloin, kun siirtoetäisyydet ovat suhteellisen lyhyet ja käyttövesikuormat suuret. Tämä perustuu siihen, että lämpöpumpulla voidaan tuottaa myös hyvin kuumaa vettä korkealla hyötysuhteella ikään kuin muun lämmön tuotannon sivutuotteena hyödyntämällä kuumakaasun tulistuslämpöä. Myös muita menetelmiä, kuten vuoroittaislataus, erilliset korkealämpötilakoneet ym. voidaan käyttää.
- Kuluttajan päähän asennetaan erillinen käyttövesilämpöpumppu, joka käyttää lämmönlähteenään tilojen hukkalämpöä tai jopa aluelämpöverkon matalalämpötilaisempaa vettä.

6.2.3 Kuluttajapään laitteet ja kytkennät

Kuten koko järjestelmän toteuttamiseen, myös kuluttajapään kytkentään on mahdollista käyttää useita eri vaihtoehtoja. Perustoteutus voisi olla pientaloissa kaukolämmön tyyppinen lämmönsiirrinkekus seuraavin eroin:

- Käyttöveden lämmönsiirrintä käytetään käyttöveden esilämmitykseen, jolloin lämpötilan säätötavan tulee olla hiukan erilainen (esim. kaukolämmön menoveden lämpötilaan sidottu liukuva asetusarvo)
- Käyttöveden jälkilämmitystä varten tarvitaan sähkövaraaja, tilavuus esim. 100 – 300 litraan.

Tarkoitusta varten kannattaa suunnitella mahdollisimman vakioitu kuluttajakeskus, kuten pientalojen kaukolämpöpaketitkin on suunniteltu.

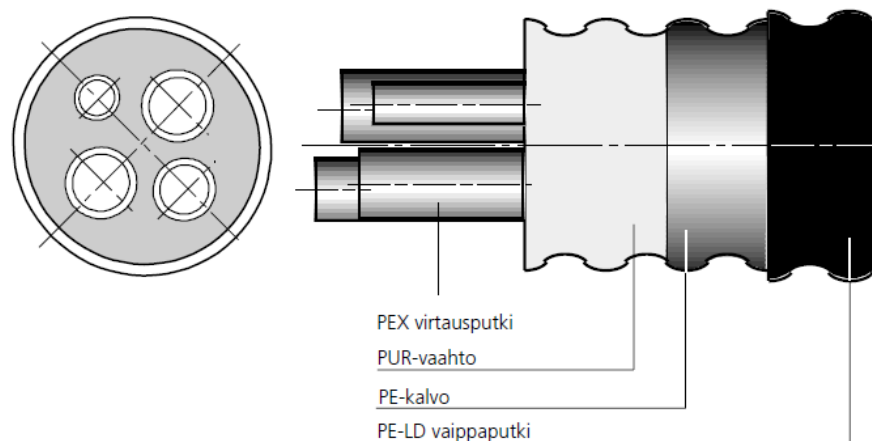
Suuremmissa kohteissa suunnittelu kannattaa tehdä yksilöllisesti kiinnittämällä erityistä huomiota mahdollisimman edulliseen tapaan lämpimän käyttöveden tuottamiseksi.

6.3 Siirtoverkostot

Aluesiirtoverkostoissa matalat lämpötila- ja painetasot tuovat mahdollisuuden myös muoviputken käyttöön. Vaihtoehtoja ovat diffuusiosuojattu PEX-muoviputkielementti tai PE-putket. PEX-putken korkein sallittu jatkuva käyttölämpötila on yleensä +75..80°C ja suurin sallittu hetkellinen käyttölämpötila +90..95 °C, joten varsinkin uudiskohteet voidaan mitoittaa helposti muoviputkille sopiviksi.

PEH-putki on hyvin edullista, mutta sen korkein jatkuva käyttölämpötila on vain luokkaa +45°C, joten se soveltuu lähinnä energiaväylä-tyyppisiin kohteisiin.

PEX-putkia on saatavissa valmiiksi eristettyinä 1-, 2- ja 4-putkielementteinä. 4-putkielementeissä on putkipari sekä lämmitystä että käyttövetä ja käyttövesikiertoa varten, mutta 4-putkielementtien kokoluokka rajoittuu yleensä max. 40 mm putkiin saakka.



Kuva 4 Esimerkki PEX-muoviputkielementin rakenteesta (lähde Calpex-tuoteluettelo)

Muoviputkielementit ovat parhaimmillaan talojohdoissa ja talojen välisissä johdoissa, koska niiden asentaminen on nopeaa ja taipuisina putkien reititys helppoa. Myöskään ulkopuolinen kosteus ei aiheuta ongelmia putkille.

Kokoluokan kasvaessa muoviputkien seinämänpaksuudet kasvavat nopeasti ja ominaishinta nousee, joten runkoputkissa edullisemmaksi tulee usein perinteinen teräsputkikanava.

Muuten matalalämpötilaisen siirtoverkon suunnitteluun ja rakentamiseen pätevät samat periaatteet kuin perinteisessä kaukolämmössä. Pienempi kokoluokka ja matalammat lämpötila- ja painetasot jopa helpottavat tietyltä osin suunnittelua ja toteutusta.

Erityistä huomiota kannattaa vielä kiinnittää matalalämpöverkon pumppauksen säätöön, koska pumppaustehon tarve voi vaihdella hyvin laajalla skaalalla käyttötilanteesta riippuen. Suositeltavaa onkin käyttää paine-eromittaukseen perustuvaa kierroslukusäätöä.

6.4 Tuotanto

Matalalämpötilaverkon hyödyt korostuvat lämpöpumppukäytössä lämpöpumpun hyötysuhteen ja tehon nousun kautta, mutta tuotantomuodosta riippumatta matalalämpötilainen aluelämpöverkko voi olla järkevä ratkaisu varsinkin pienen energiatihedyyden aluelämpöverkoissa, koska lämpöhäviöt jäävät pienemmiksi ja rakenteet joissakin tapauksissa kevyemmiksi ja siten edullisemmiksi rakentaa.

Matalalämpötilaisen verkon periaatteita voi olla järkevää soveltaa myös muun tuotannon kanssa varsinkin silloin, kun kustannusrakenne on energiapainotteinen (esim. maakaasutuotanto), koska häviöt on saatavissa merkittävästi pienemmiksi.

Seuraavassa luvussa 7 on tarkasteltu lämpöpumpputekniikan soveltamista ja erityisvaatimuksia aluelämpöympäristössä.

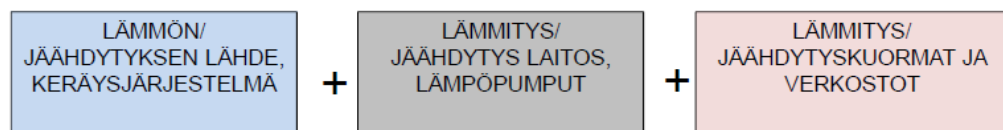
7 LÄMPÖPUMPPUTEKNIIKAN JA TALOUDEN PERUSTEET

7.1 Lämpöpumpputekniikan erityispiirteet

Tässä työssä keskitytään tarkastelemaan lämpöpumpun käyttöä aluelämpöympäristössä eikä perustana olevaa kylmäkoneprosessia ole tarkoitus käsitellä muuten kuin aluelämpöympäristöön liittyvien erityispiirteiden osalta. Tässä rajoitutaan myös mekaaniseen kompressoriin perustuviin lämpöpumppuihin, koska lämpöä käyttöenergiana hyödyntävien absorptio- ja adsorptio-lämpöpumppujen käyttöalueet ovat melko rajalliset.

Nimenomaan lämpöpumppujärjestelmiin liittyviä erityispiirteinä voidaan pitää seuraavia:

- Varsinkin suurempi lämpöpumppujärjestelmä voidaan toteuttaa usealla eri tavalla varioimalla mm. kylmäainetta, lämpöpumppuyksiköiden tyyppiä, määrää, sisäisiä kytkentöjä, laitoskytkentöjä, lämmönlähteitä, lisälämmön tuotantotapaa. Yleensä erilaiset käytännön rajoitustekijät supistavat käytännön vaihtoehtojen lukumäärää ja haasteena onkin löytää kuhunkin kohteeseen paras kokonaisratkaisu
- Suoritusarvot (teho, hyötysuhde) riippuvat todella paljon käyttöolosuhteista ja tämä riippuvuus korostuu aluelämpöympäristössä, jossa lämpötilatasot voivat olla perinteiselle lämpöpumpputekniikalle haastavat. Järjestelmän käyttötalous ja edelleen elinkaaritalous riippuu hyvin voimakkaasti näistä suoritusarvoista.
- Järjestelmän heikoin lenkki dominoi, järjestelmän heikoimmin toimiva osa yleensä dominoi koko järjestelmän toimintaa. Tämän vuoksi järjestelmät tulee suunnitella kokonaisuutena siten, että heikkoja lenkkejä ei pääse muodostumaan (kuva x).



- **ELINKAARIKUSTANNUSTEN ERO HYVIN JA HUONOSTI TOIMIVAN JÄRJESTELMÄN VÄLILLÄ VOI OLLA SUUREMPI KUIN ALKUINVESTOINTI**
- **JÄRJESTELMÄN SUUNNITELTAVA JA TOTEUTETTAVA SITEN, ETTÄ HEIKOT LENKIT ELIMINOIDAAN KAIKISSA VAIHEISSA**
 - **SUUNNITTELU** -> **TOTEUTUS** -> **KÄYTTÖÖNOTTO** -> **KÄYTTÖ**

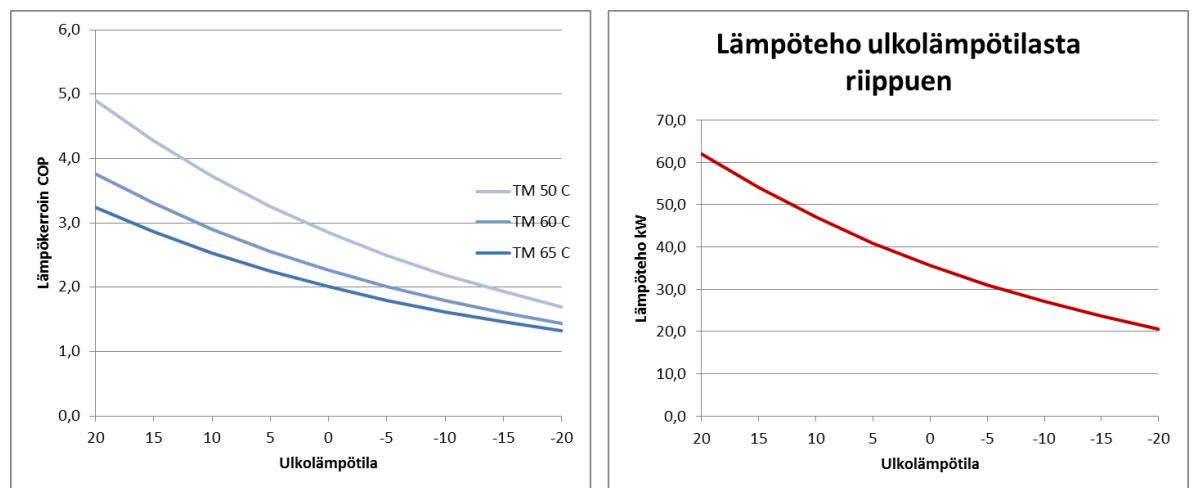
Kuva 5 Lämpöpumppujärjestelmissä heikoin lenkki määrittää koko järjestelmän toimintaa ja käyttötaloutta

Lämpöpumpputekniikan erityispiirteitä tunnetaan edelleen yllättävän heikosti, mikä ilmenee mm. siten, että kohteiden erityislähtökohtia ei edelleenkään tunnuta selvitetävän eikä järjestelmiä suunnitella kokonaisuutena eikä räätälöidä riittävästi kohteen erityisvaatimusten mukaan.

7.2 Lämpöpumpun suoritusarvojen riippuvuus lämpötilatasoista

Toimintaolosuhteilla (lämmityskuorman vaatima lämpötila ja lämmönlähteen lämpötila) on suuri merkitys sekä lämpöpumpusta saatavaan tehoon että hyötysuhteeseen. Olosuhteiden vaikutus korostuu varsinkin ilmalämpöpumpuilla, kun lämmönlähteen lämpötila vaihtelee hyvin voimakkaasti eri vuoden aikoina.

Kuvassa 6 on esitetty erään todellisen kompressorin ominaisuuksien mukaan lasketut suoritusarvokäyrät fiktiiviselle ilma-vesi-pumpulle. Kuvien mukaisesti ulkoilmalämpöpumpun suoritusarvot heikkenevät fysiikan lakien mukaisesti merkittävästi ulkoilman lämpötilan laskiessa.



Kuva 6 Erään ilma-vesi-lämpöpumpun suoritusarvojen riippuvuus lämpötiloista. Vasemman puoleisessa kuvassa lämpökerroin parametrina tuotetun veden lämpötila ja oikeanpuoleisessa kuvassa lämpötehon tuotto. Kyseisen laitteen alin käyttölämpötila on -20°C.

Maalämpöpumpulla ulkoilman lämpötila vaikuttaa huomattavasti vähemmän. Esimerkiksi kallioperässä yli 15 m syvyydellä lämpötila pysyy muuttumattomana ympäri vuoden, mutta kallioon poratuissa energiakaivoissa kaivojen kuormitus vaikuttaa paikalliseen lämpötilaan (lisätietoa kohdassa 8.2.3).

Suoritusarvoilla on luonnollisesti suuri merkitys käyttötalouteen. Lämpökerroin vaikuttaa suoraan lämpöpumpulla tuotetun lämmön muuttuviin kustannuksiin (= sähkön hankinnan muuttuvat/lämpökerroin) ja teho energiakattavuuteen.

7.3 Optimaalinen tehomitoitus

Maalämpöjärjestelmän tehon optimoinnin on tarkoitus hakea järjestelmän mitoitukselle sellainen piste, jossa käyttö- ja pääomakustannukset ovat minimissään. Optimiin vaikuttavat seuraava tekijät:

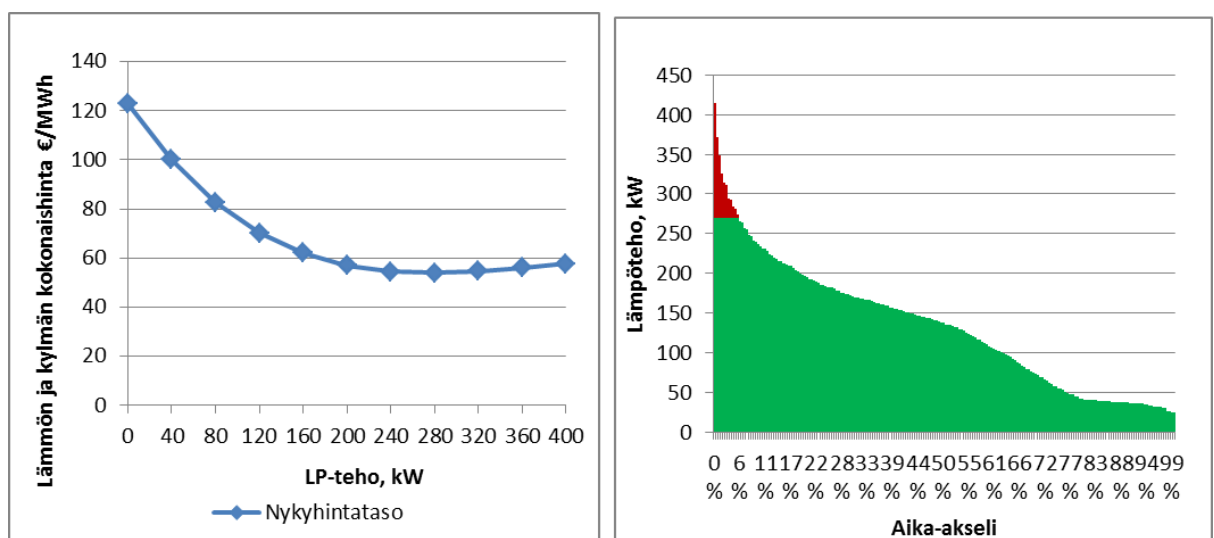
- Käytettävissä olevan/olevien lisälämmön tuotantotapojen hinta ja hintarakenne
- Sähkön hinta ja hintarakenne (esim. tehomaksujen osuus)
- Lämpöpumpputarvikkeiden ominaisinvestoinnit (€/kW) mukaan lukien lämmönlähde
- Lämpö- ja jäähdytyskuorman profiilit ja lämpötilatasot
- Lämmön lähteiden hinta ja käytettävyys
- Pääoman hinta, investointituet ym.

Koska kysymys on pitkävaikutteisesta investoinnista, em. tekijät pitäisi pystyä arvioimaan pitkälle eteenpäinkin. Optimointilaskelma kannattaa siten tehdä useammalla eri hintatasolla.

Aluelämpöverkoissa on käytettävissä lähes aina jokin polttoainekattila, jolloin lämpöpumpputarvikkeiden mitoitusaste voidaan optimoida yleensä ilman hankalia reunaehtoja. Kaukolämpöä lisälämpönä käyttäessä ongelmana on aina kaukolämmön hinnan määrittäminen huippukuormakäytössä.

Kuvassa 7 on esitetty esimerkin omainen maalämpöjärjestelmän optimointi nykyhintatasolla matalalämpöverkkoon, jossa lisä- ja varalämpö tuotetaan kevytöljykattilalla. Öljylämmön hinta on siinä mielessä selkeä myös huippulämpönä, että öljyllä ei ole tehomaksuja. Sen sijaan sähkön, kaukolämmön ja maakaasun hinnasta merkittävän osan muodostavat tehomaksut, joiden soveltaminen huippulämmön tuotantoon ei ole aina selkeää ja soveltamisperiaatteet tuntuvat vaihtelevan ja elävän varsinkin kaukolämmön osalta.

Kuvan mukaan optimaalinen mitoitusaste kevyen öljyn kanssa olisi laskennassa käytetyin oletuksin 2/3 huipputehosta, jolla saavutettaisiin jopa 98 % energiasuus normaalivuonna pysyvyyskäyrältä laskien. Lisäpolttoaineen hinnalla ei ole tällöin juuri käytännön merkitystä, kunhan teho ei maksa. Kevyen öljy sijasta voidaan käyttää toki vaikka biopohjaista öljyä, millä voi olla merkitystä hankkeen ympäristöimagolle.



Kuva 7

Esimerkki maalämpöpumpun mitoitusoptimoinnista kun lisälämpö tuotetaan öljyllä

7.4 Aluelämpökäytön erityislähtökohdat lämpöpumppukäytölle

Varsinkin olemassa olevien aluelämpöverkkojen olosuhteet ja vaatimukset asettavat perinteisellä lämpöpumpputekniikalle melko vaativat lähtökohdat, mikä lienee yksi syy lämpöpumppujen hitaaseen yleistymiseen tällä alueella.

Alue- ja kaukolämpöympäristöön on saatavissa valmiita ”avaimet käteen”- laitoksia suurempaan kokoluokkaan, käytännössä muutaman megawatin kokoluokasta aina usean kymmenen megawatin turbokompressorin perustuviin laitoksiin saakka. Sen sijaan tätä alempaan teholuokkaan ei ole tiedossa valmiita laitostekonsepteja, mutta tällaisen kehittäminen on toki mahdollista.

Mikäli olettaamus 10 GWh/v rajasta pitää paikkansa, matalalämpöverkkoihin sopivien lämpöpumppulaitosten teholuokan tulisi olla noin 2..3 MW alaspäin.

7.4.1 Aluelämpökäytön erityislähtökohdat

Viitaten edellä esitettyyn seuraavan luettelo on pyritty yksilöimään ja avaamaan erityislähtökohtia:

- Korkea lämpötilataso, käyttöveden tuotannon vuoksi aluelämpöverkon menoveden lämpötila pidetään kesälläkin noin 70°C tasolla. Jos lämmönlähteenä on esimerkiksi maaperä, lämpötilan nostokynnyksestä tulee suuri, jolloin lämpökerroin jää ilman erikoisratkaisuja noin 2 tasolle. Lisäksi tavallisten, rakennusten lämmittämiseen käytettävien vakiolämpöpumppujen korkein tuottolämpötila jää yleensä tasolle 60..65°C, joten tällaisia vakiokoneita ei voi eikä kannata käyttää aluelämpöympäristössä.
- Korvattava polttoaine usein suhteellisen edullista, pienissäkin aluelämpöverkoissa on siirrytty yhä enemmän pelletin ja hakkeen käyttöön, jolloin lämmön tuotannon muuttuva kustannus on suhteellisen edullinen eikä kahden tasolla olevalla lämpökerroin tällöin riitä säästöjen aikaan saamiseen
- Sopivien lämmönlähteiden löytäminen, yksittäinen rakennus voidaan tiettyyn rajaan asti lämmittää omalle tontille mahtuvilla lämpökaivoilla, mutta koko aluelämpöverkkoa ei pystytä lämmittämään lämpökeskustontin alueelle mahtuvilla lämpökaivoilla. Tämä on pääsyy siihen, että lämpöpumppuja asennettiin 80-luvulla ja sen jälkeenkin pääasiassa vesistöjen rannoilla sijaitseviin kohteisiin. Lisätietoja lämmönlähteistä kohdassa 8.
- Riittävän hyvät säätöominaisuudet, kesäajan minimiteho ja virtaamat voivat olla hyvinkin pienet verrattuna talvikauden tasoon, tehon säätö toteutettava siten, että kompressoreja ei jouduta liikaa ajaa on/off-katkokäytöllä, koska käynnistykset rasittavat konetta enemmän kuin jatkuva käyttö. Menetelmiä tehon säätöön käytettävissä useita, aluelämpöverkoissa myös itse verkkoa mahdollista käyttää varaajana tietyin edellytyksin.
- Riittävä käyttövarmuus, joka saadaan aikaan yleensä lisä/huippukattilana toimivan polttoainekattilan kautta. Myös lämpöpumppulaitoksen käyttövarmuutta voidaan parantaa jakamalla laitosta useampaa itsenäiseen blokkiin (myös lämmönkeräysjärjestelmät voidaan toteuttaa monipiirisenä, maksimissaan piiri/lämpöpumppuyksikkö).

7.4.2 Lämpötilan tuottokyvyn parantaminen

Itse lämpötilan tuottokyky riippuu kaikkein eniten itse kylmäaineesta/aineen fysikaalisista ominaisuuksista. Aluelämpökäyttöön sopivia kylmäaineita ovat esimerkiksi:

- R134a (+ sitä korvaavat saman tyyppiset kylmäaineet) jota on käytetty tähänkin saakka varsinkin suurissa lämpöpumpuissa. Kylmäaine on ominaisuuksiltaan varsin hyvä lukuun ottamatta suhteellisen alhaista tiheyttä, mikä johtaa suurempaan kompressorikokoon. Kylmäaineen kasvihuonevaikutus eli GWP-tekijä on 1430 ja vaikka aine ei kuulu varsinaisesti EU:n F-kaasuasetuksen piiriin (F-kaasuasetuksen nojalla käytönrajoitusohjelman alaisten kylmäaineiden GWP > 2500), sitä ollaan korvaamassa ominaisuuksiltaan samankaltaisilla kylmäaineilla.
- Luonnon aineista ammoniakki (R717) on päästävissä sekä korkeaan tuottolämpötilaan että hyötysuhteeseen (COP-arvo). Ammoniakin käyttöön liittyy sen myrkyllisyyden ja räjähdysherkkyyden vuoksi rajoituksia.

Em. kylmäaineita käyttäen pystytään saavuttamaan aluelämpöympäristössä vaadittu lämpötilataso ottaen huomioon, että huipputilanteissa tarvittava viimeisin lämpötilan nosto kannattaa lähes aina tehdä huippukattilalla. Sopivia valmiita lämpöpumpputuotteita on tarjolla hyvin rajoitetusti, mutta lämpöpumppukoneet on mahdollista suunnitella ja teettää erikoistilauksena osaavilla kylmäkonevalmistajilla

7.4.3 Hyötysuhteen parantaminen

Vielä suurempi haaste on hyötysuhteen saaminen käyttötalouden kannalta riittävälle tasolle. Lämpöpumppujärjestelmän hyötysuhde on venyvä käsite ja hyötysuhdetta voidaan eri keinoin parantaa (rajana ideaalisen ns. Carnot-prosessin hyötysuhde). Käytännössä vastaan tulevat kuitenkin taloudelliset realiteetit, joten ensin kannattaa ottaa käyttöön helpommat keinot:

- Aluelämpöverkoston paluulämpötilan alentamisen kautta voidaan parantaa lämpöpumpun hyötysuhdetta, varsinkin talviaikaiset jäähtymät kannattaa hoitaa siksi kuntoon.
- Korkealämpötilaisten lämmönlähteiden käyttö, mutta tällaisia on usein hyvin rajoitetusti saatavissa, ulkoilman käyttö lisälämmönlähteenä kesällä mahdollista lähes kaikkialla
- Itse lämpöpumppulaitoksen suunnittelu mahdollisimman tehokkaaksi, kuten sanottu, keinoja on monia esim. koneiden sarjakytkentä, paluuveteen kytketty alijäähdytin, imukaasun lisätulistus, märkähöyrystimen käyttö ym. Em. asioiden hyödyntämiseksi aluelämpökäyttöön tulisi kehitellä erityisesti tähän käyttöön optimoitu lämpöpumppukonsepti (esim. liikerakennuksiin on aikojen kuluessa kehitetty oma hyvinkin tehokas järjestelmäkonsepti, mutta käyttöympäristö on täysin erilainen kuin aluelämmössä). Mahdollisuudet hyödyntää kylmäprosessin eriytyspiirteitä paranevat laitoksen kokoluokan kasvaessa.

Luonnon lämmönlähteitä käytettäessä tehokkaalla lämpöpumpulla on päästävissä em. keinoin käytännössä noin 2,8 lämpökertoimeen tuotettaessa +70°C vettä. Lämpökerroin on saatavissa kesällä noin 3,0 tasolle, jos lämmintä ulkoilmaa käytetään lämmön lisälähteenä.

Suurkohteisiin on saatavissa sähköä edullisemmilla siirtomaksuilla, jolloin sähkön veroton hinta (ilman tehomaksuja) voi olla esimerkiksi 75 €/MWh ja kolmen lämpökerroin johtaa kohtuulliseen $75/3 = 25$ €/MWh lämmön hintaan.

8 LÄMMÖNLÄHTEET ALUELÄMPÖKÄYTÖSSÄ

8.1 Yleistä

Suomenkin olosuhteissa lämmönlähteitä löytyy yllättävän paljon ja suuremmissa lämpöpumppujärjestelmissä voidaan käyttää jopa viittä eri lämmönlähdettä. Lämmönlähdeperusta kannattaa aina optimoida, mikä tarkoittaa sitä, että lämmönlähteet toteutetaan ja niitä hyödynnetään edullisuusjärjestyksessä. Seuraavassa on käyty läpi lähinnä aluelämpökäytössä mahdollisia lämmönlähteitä. Tämän kappaleen loppuun on lisäksi koottu esimerkin omainen vertailutaulukko eri lämmönlähteistä sisältäen suuntaa antavan maapinta-alan tarpeen.

Suurissa kohteissa lämmönlähteitä voi olla useita (tilajäähdytys, laittilojen jäähdytys, poistoilma, ulkoilma, maaperä), mikä onkin järkevää, koska parhaaseen tulokseen päästävässä optimoimalla lämmönlähdeperusta (lämmönlähteitä hyödynnetään tällöin edullisuusjärjestyksessä).

8.2 Lämmönlähteet, niiden perusomaisuudet ja rajoitteet

8.2.1 Vesistöt

Vesistöjä on hyödynnetty lämmönlähteenä Suomessa suljettujen liuosputkistojen avulla jo 70-luvulta saakka. Vesistöputkistoja asennettiin yleisesti 80-luvulla vesistön rannalla sijaitsevien suurkiinteistöjen lämpöpumppujärjestelmiin ja niistä on itse asiassa kertynyt enemmän pitkäaikaista käyttökokemusta kuin esimerkiksi lämpökaivoista.

Vesistö on lämmönlähteenä käytännössä ehtymätön, mutta läheskään kaikki vesialueet eivät sovellu lämmön keräykseen. Lämpötila- ja pohjaolosuhteiden tulee olla sopivat vesistöputkiston asentamiselle ja ne on selvitettävä kulloinkin etukäteen vesistöputkiston asentamista varten.

Vesiputkisto ankkuroidaan pohjaan betonipainoin ja painotuksessa tulee ottaa huomioon mahdollinen jään noste. Jään muodostuksen hallitsemiseksi putkiston kuormitus tulee mitoittaa lämpötilaolosuhteita vastaavaksi.

Vesistöputkiston heikkoudet ovat luonnollisesti riippuvuus sopivan vesistöalueen läheisyydestä ja nykyinen hankalahko lupakäytäntö.

8.2.2 Pintamaa

Pintamaata käytettiin yleisesti lämmönlähteenä lämpöpumppujen alkuaikoina ja käytetään jonkin verran edelleenkin, mutta energiakaivot ovat lähes syrjäyttäneet pintamaan käytön. Pintaputkisto on kuitenkin käyttökelpoinen lämmönlähde edellyttäen, että kohteesta löytyy riittävästi kaivukelpoista, koostumukseltaan sopivaa maata (esim. kosteaa savimaata). Heikkoutena on lähinnä suuri pinta-alan tarve varsinkin suuremman mittakaavan järjestelmissä. Etuna mm. se, että oikein mitoitettuna ja käytettynä olosuhteet putkistoalueen maaperässä palautuvat täysin ennalleen joka kesä, joten järjestelmä on tässä mielessä ehtymätön.

Maaputket kaivetaan routarajan alle, yleensä 0,7 ..1,2 m syvyyteen, putkiväli on minimissään 1,5 m.

Pintamaa on edelleen hyvä ja käyttökelpoinen lämmönlähde edellyttäen, että pinta-alaa ja sopivaa maata on saatavissa riittävästi. Esimerkiksi tavallinen peltoalue soveltuu yleensä erinomaisesti lämmönkeräysputkiston asennusalueeksi. Pelto voi olla poistettu viljelykäytöstä, mutta putkisto ei sinänsä estä pellon käyttöä viljelyyn, koska sopivasti mitoitettuna putkiston vaikutus pintamaan lämpötilaan on vähäinen.

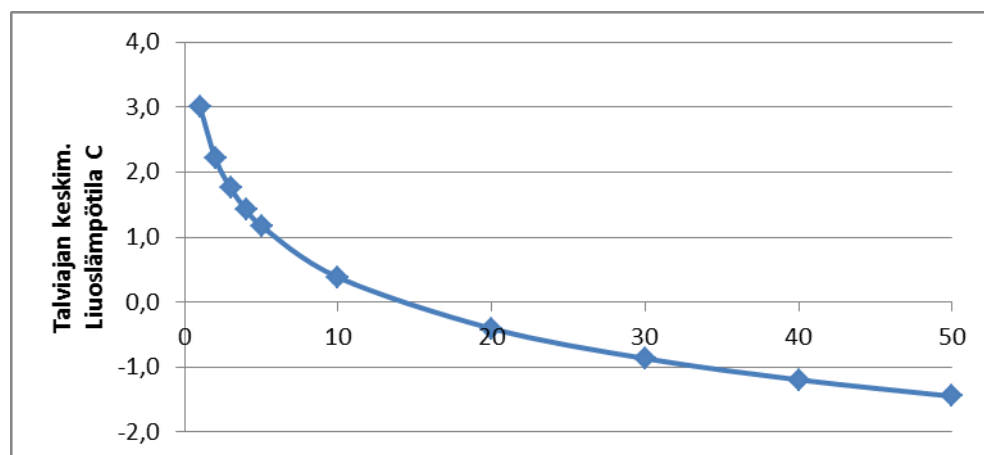
8.2.3 Kallioperä/syvä maaperä

Kallioperään sitoutunutta lämpöä hyödynnetään Suomessa lähes yksinomaan kallioon porattavien ns. energiakaivojen avulla. Toinen menetelmä olisi pohjaveden suora energiakäyttö (vakiintunut lyhenne ATES, Aquifer Thermal Energy Storage), mutta tästä lieenee toteutettu Suomessa toistaiseksi vasta yksi pilot-laitos Lahteen Askon alueelle, jossa on Salpausselän harjun ansiosta poikkeuksellisen otolliset pohjavesiolosuhteet. Kysymyksessä on siis vettä läpäisevissä hiekkakerroksissa liikkuvan pohjaveden hyödyntäminen, joka on varsin yleistä muualla maailmassa ja myös naapurimaassa Ruotsissa, jossa laitoksia on toistasataa.

Energiakaivojen rakennetekninen elinikä voi olla jopa 100 vuotta, kuten itse rakennuksellakin. Kaivojen muodostama energiakenttä kannattaa yleensä mitoittaa ja suunnitella siten, että järjestelmällä on edellytykset myös lämpöteknisessä mielessä toimia ja tuottaa tavoiteltu määrä lämpöä. Järjestelmä voi tällöin maksaa itsensä takaisin moneen kertaan elinkaarensa aikana. Energiakaivoille tulee hakea aina rakennuslupa.

Energiakentän lämpötasapainolla on suuri merkitys sekä toimintaan että mitoitukseen. Suomessa lähes kaikki geoenergiakentät ovat lämmönottopainotteisia. Mitä neutraalimmaksi kentän lämpötasapaino (kenttään tuotu lämpö – kentästä otettu lämpö) saadaan, sitä vähemmän maamassaa (pinta-alaa + syvyyttä) kentän vaikutusalueelle tarvitaan ja päinvastoin.

Lämpökaivoja kuormitettaessa vaikutuspiirissä olevan alueen maaperän lämpötila laskee hitaasti, jolloin myös saanto pienenee ajan kuluessa. Oikein mitoitettun energiakentän lämpötilan lasku on hidas ja hallittu, jolloin kenttää voidaan hyödyntää vuosikymmeniä oheisen kuvan mukaisesti. Olennaista on se, että lämpökaivoista ei oteta enempää lämpöä, kuin ympäröivästä maamassasta ehtii siirtyä uutta lämpöä tilalle.



Kuva 8 Esiimerkki geoenergiakentän pitkäaikaisesta lämpötilatrendistä indikaattorina liuoksen keskilämpötila talvella.

Geoenergiakentän + kaivojen mitoitus on huomattavasti haastavampi ja monitahoisempi tehtävä kuin vaakaputkiston, koska mitoitukseen vaikuttaa moni eri tekijä (maahan kohdistuva kulutusprofiili +/-, kentässä käytetty ryhmittelymalli, maaperän ominaisuudet,

mahdollisuudet ladata kenttää, tavoiteltu käyttöikä jne). Myös syvyys/lukumäärä-kombinaatio tulee osata valita oikein lämpöpumpun tehon ja kollektorityypin mukaan, jotta kokonaisvirtaamat saataisiin vastaamaan lämpöpumpun tarpeita.

Kehitys on kulkenut yhä syvempiä kaivoja kohti, koska rajalliselle alueelle sijoitettavasta kentästä saadaan tehokkaampi hakemalla lisää kapasiteettia syvemmältä. Syvemmälle mentäessä kallioperän lämpötila lisäksi nousee Suomessa tyypillisesti 0,8 ...noin 2 °C/100 m maan ytimestä tulevan geometrisen lämpövuon vuoksi (lämpövuoto Suomessa hyvin heikko paksun maankuoren takia, luokkaa 0,03...0,05 W/m²). Lämpötilaprofiilia kutsutaan geotermiseksi gradientiksi.

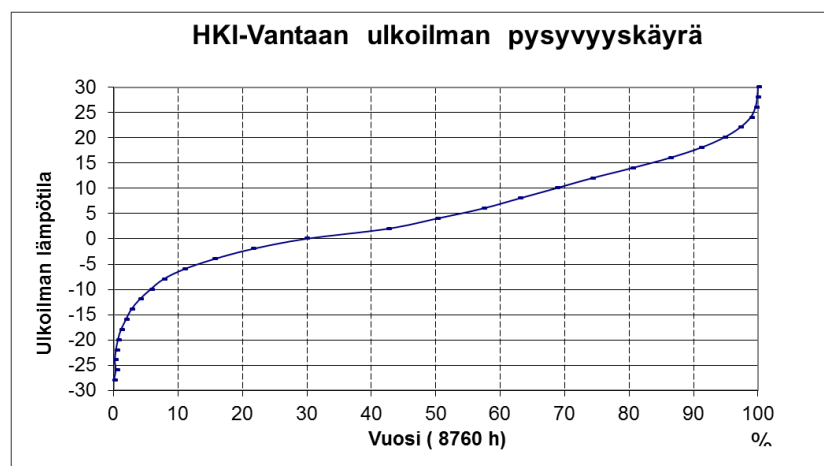
Pitkäaikaisen lämpötilatrendin lisäksi energiakaivojen lämpötila vaihtelee vuoden mittaan kuormituksen mukaan. Tämä vaihtelu tapahtuu suhteellisen lähellä kaivoja olevan kalliomassan alueella (suurin vaihtelualue n. 5 m säteellä kaivosta).

8.2.4 Ulkoilma

Ulkoilma on käyttökelpoinen lämmönlähde Suomessakin, oheisen HKI-Vantaan lämpötilajakauman mukaan ulkolämpötila on 70 % ajasta plussan puolella. Kuva perustuu vuosien 1981 – 2010 lämpötiladataan, joten keskilämpötilat ovat hiukan nousseet tästäkin.

Käytettäessä lämmönlähteenä suoraan ulkoilmaa ongelmana on lämpöpumpun suoritusarvojen romahtaminen ulkoilman lämpötilan laskiessa kuvan 8 mukaisesti. Ongelma korostuu ilma-vesi-lämpöpumpuissa, joissa myös tuottolämpötilavaatimus kasvaa talvella.

Erinomainen tapa hyödyntää ulkoilmaa on käyttää sitä lisälämmön lähteenä kesällä tai käytettäessä päälämmönlähteenä maaperää periaatteessa aina, kun ulkoilman lämpötila ylittää maaliuoksen lämpötilan.



Kuva 9

Ulkolämpötilan tilastollinen jakauma Hki-Vantaa (lähde Ilmatieteen laitoksen tilastot)

8.2.5 Aurinkolämpö

Aurinkolämpöä voidaan hyödyntää joko suoraan aurinkokeräinten avulla tai epäsuoraan erilaisten rakenteiden kautta.

Auringon kokonaissäteilyn määrä on Suomessakin maanpinnalle eri tilastojen mukaan luokkaa 1000 -1200 kWh/m²,v, mutta ongelmana on saannon epätasainen jakautuminen ja painottuminen kesäajalle, jolloin lämpöä tarvitaan vähiten.

Maalämpöjärjestelmien osalta liuospiirin matala lämpötila ja mahdollisuus varastoida aurinkolämpöä maaperään antavat kuitenkin suhteellisen hyvät lähtökohdat aurinkolämmön hyödyntämiseen. Aurinkolämpöä voidaan varastoida kesäaikana lataamalla geoenergiakenttää.

Koska aurinkolämmön saantoaika on hyvin rajoitettu, lataamiseen tarvitaan hetkellistä lämpötehoa tarvitaan suhteellisen paljon, jolloin myös aurinkokeräimiä tarvitaan paljon, jotta niillä olisi vaikutusta. Tämän vuoksi passiiviset menetelmät ovat usein kustannustehokkaampia hyvän esimerkkinä lämmitetty ulkoalue, jota käytetään kesällä aurinkolämmön keräykseen.

8.2.6 Muut lämmönlähteet

Erilaiset ylijäämälämpövirrat ovat usein parhaita lämmönlähteitä lämpöpumpulle, koska lämpötilataso on luonnonlämmönlähteitä korkeampi eikä lämmön keräämiseen tarvita yleensä suuria lämmönkeräysputkistoja. Suurin ongelma näissä on yleensä saannon vaihteleva käytettävyyys ja tietty epävarmuus, esim. tehtaalla seisokki, yhdyskunnan jäteveden lämpötilan lasku sulamisvesien aikana jne. Em. tilanteita varten tarvitaan varajärjestelmä, jolla voidaan tuottaa kohtuuhintaista varalämpöä pitkiäkin aikoja.

Hyödyntämiskelpoisen ylijäämälämpövirran saatavuus voi olla jopa kriittinen tekijä lämpöpumpun kannattavuudelle varsinkin aluelämpöverkoissa, joissa mahdollisuudet hyödyntää luonnon lämmönlähteitä ovat rajoitetut.

Seuraavassa luettelo tällaisista ylijäämälämmönlähteistä, joita kaikkia on hyödynnetty lämpöpumpuilla eri paikoissa:

- Yhdyskunnan jätevesi (myös yksittäisen kiinteistön jäteveden lämmön talteenotto yleistymään päin)
- Teollisuuden ylijäämälämpö, prosessien jäähdytys, jätevesi
- Savukaasun hukkalämpö (varsinkin kosteiden biopolttoaineiden savukaasujen vesihöyryissä runsaasti energiapotentiaalia)
- Jäähdytyslaitosten lauhdelämpö (jäähallit, kylmävarastot, kaupat)
- Laitetilojen hukkalämpö (ATK-tilat, datakeskukset, muuntamot).

8.2.7 Vertailutaulukko eri lämmönlähteiden tilantarpeesta

Alla olevaan taulukkoon on koottu havainnollisuuden ja vertailun vuoksi luonnon lämmönlähteiden suuntaa-antava kapasiteettitarve Etelä-Suomessa ja maapinta-alan tarve tuotettavaa 1000 MWh/v kohti.

Alimmalla rivillä on esitetty lisäksi putkiston asennusalueelle tuleva aurinkoenergian määrä, joka on taulukon mukaan vähintään kymmenkertainen lämmönlähteestä otettavan lämmön määrään (n. 700 MWh/v) nähden.

Huomattakoon, että taulukossa ilmoitetut kentän minimimitat voivat vaihdella kentän muodosta ja esimerkiksi energiakaivojen ryhmyksestä riippuen.

Taulukko 1 Luonnon lämmönlähteiden vertailu Etelä-Suomessa

Lämpöpumpulla tuotettavan lämmön määrä		1000	MWh/v
Lämpöpumpun teholuokka		300	kW
	<i>Energiakaivot</i>	<i>Vaakaputkisto maassa</i>	<i>Vesiputkisto</i>
Suunta-antava putkimäärä	7000 m	14000 m	4000 m
Esimerkkikombinaatio	24 x 300 m PE 45	28 x 500 m PE 40	10 x 400 m PE 63
Kentän minimimitat	50 x 120 m	80 m x 250 m	50 m x 200 m
Pinta-alan minimitarve	0,6 ha	2 ha	1 ha
Aurinkon säteilyn määrä keräysalueelle	6000 MWh/v	20 000 MWh/v	10 000 MWh/v
Suuntaa antava investointikustannus alv 0	200 000 €	100 - 150 000 €	150 000 €

9 TALOUS

9.1 Lämpöpumppujärjestelmien kannattavuudesta yleisesti

Lämpöpumppujärjestelmien taloudellinen kannattavuus perustuu yleisesti seuraaviin perustekijöihin, jotka pätevät myös aluelämpöympäristöön:

1. Tuotettu energia parhaimmillaan erittäin edullista

- Tuotetun lämmön muuttuva kustannus voi olla parhaimmillaan jopa luokkaa 20 €/MWh (alv 0), johon on päästy parhaissa suurkohteissa jopa huippulämpö mukaan lukien. Tasolle 30 €/MWh on päästävissä lähes kaikissa uudiskohteissa sähkön nykyhintatasolla.
- Jäähdytys vuositasolla parhaimmillaan alle 5 €/MWh (jäähdytyksen muuttuvat talvella negatiiviset, koska jäähdytyskäyttö parantaa lämmön tuotannon käyttötaloutta ja maalämpöjärjestelmissä merkittävä osa jäähdytyksestä saadaan ilmaiseksi maaperästä)
- Suuri, luokkaa 50 - 80 % ilmaisenergiaosuus vaimentaa sähkön hinnan vaikutusta

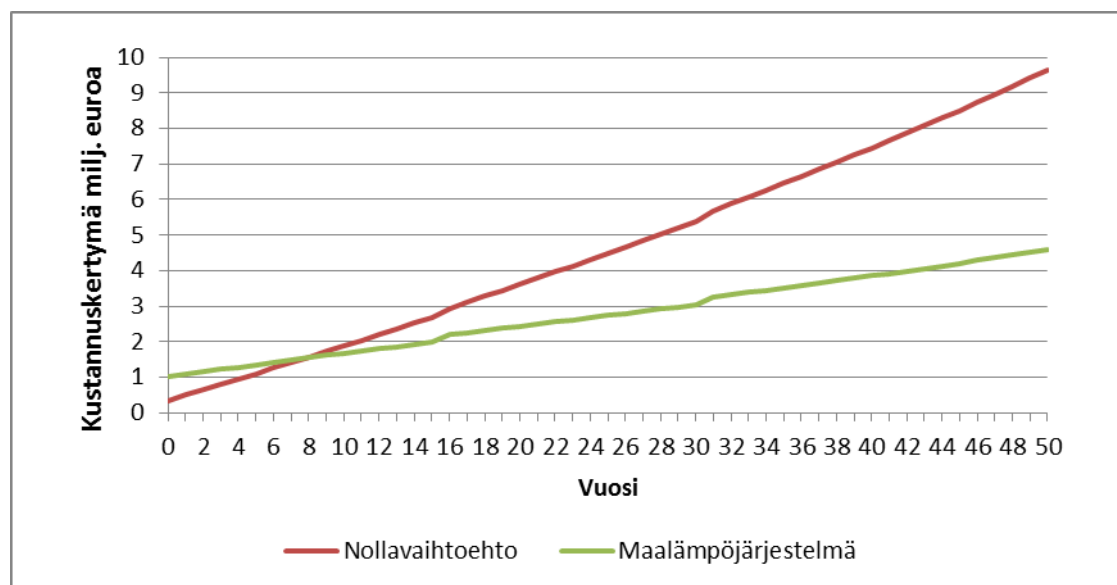
2. Tuotannollinen käyttöikä erittäin pitkä

- Varsinkin luonnon lämmönlähteisiin perustuvien, tuotannollinen käyttöikä oikein suunniteltuna ja käytettyinä erittäin pitkä. Esim. investoinniltaan kallis energiakenttä voi maksaa itsensä takaisin elinkaarensa aikana (50 – 100 v) useita kertoja ilman lisäinvestointeja (vrt. myös **aluelämpöverkot** ja uudisrakennukset pitkäaikaisia investointeja, jolloin maalämpöjärjestelmän elinkaarihyöty realisoituvissa).
- Kuluvien osien, kuten lämpöpumppujen kompressorit osuus investoinnista on suhteellisen pieni. Tiettyjä osajärjestelmiä, kuten automatiikkaa on varauduttava päivittämään järjestelmän pitkän elinkaaren aikana.

3. Pienet päästöt

- Hiilidioksidipäästöjen hinta voi nousta tulevaisuudessa ja lämpöpumpun käyttö on yksi tehokkaimmista kaupallisista menetelmistä päästöjen vähentämiseen
- Energiateollisuuden tilastojen mukaan Suomen sähkön ominaispäästöt ovat pudonneet suunnilleen tasolle 100 kg CO₂/MWh
- Ilmaisenergia huomioon ottaen lämpöpumppulämmön ominaispäästöt tuotetulle lämmölle ovat luokkaa 30 kg CO₂/MWh (fossiilisilla polttoaineilla 200 – 500 kg CO₂/MWh). Ominaispäästö lasketaan jakamalla sähkön tuotannon ominaispäästöt lämpökertoimella.
- Paikalliset päästöt lähes nolla, ei polttoaineliikennettä lukuun ottamatta lisälämpökattilan polttoaineen mahdollista vähäistä kuljetustarvetta.

Lämpöpumppujärjestelmien suurin heikkous lienee korkeahkot investointikustannukset, joiden vuoksi ne sopivat parhaiten kohteisiin, joiden elinkaari on pitkä. Lämpöpumppuhankkeissa investointikustannusten optimoinnilla elinkaarilaskelman avulla on siksi suuri painoarvo. Investointikustannuksia ei tule siis lähtökohtaisesti minimoida vaan investoinneissa kriteeriksi kannattaa asettaa elinkaarikustannusten minimi. Kuvassa 10 on esitetty erään todellisen, vuonna 2012 käyttöön otetun toimistorakennuksen (25 000 m²) elinkaarilaskelma perustuen ensimmäisten käyttövuosien toteumaan. Mikäli trendi jatkuu samanlaisena, investoinnin elinkaarihyöty voi nousta useisiin miljooniin euroihin. Kohteen energiakentän tasapaino on niin hyvä, että kenttää voidaan hyödyntää ilman lisäinvestointeja käytännössä loputtomasti. Kannattaa myös huomata alkuinvestoinnin pieni osuus elinkaarikustannuksista (nollavaihtoehdossa alle 5 %).



Kuva 10 Esimerkki hyvän lämpöpumppukohteen (toimistorakennus, jossa suuri jäähdytystarve) elinkaarikustannuksista verrattuna nollavaihtoehtoon. Huomaa investointivaiheen vähäinen osuus elinkaarikustannuksista.

Yllä oleva esimerkki kuvaa sitä, mihin lämpöpumppuun perustuvalla järjestelmällä on päästävissä parhaimmillaan edullisessa kohteessa, aluelämpökohteissa vastaavaan kokonaistalouteen pääseminen edellyttää esimerkiksi hyvän lämmön lähteen, koska jäähdytyksen osuus on yleensä pienempi tai aluejäähdytys puuttuu kokonaan.

9.2 Lämpöpumpun kilpailukyky aluelämpöverkoissa

Tämän työn yhteydessä on saatu tuntumaa lämpöpumppujen kilpailukykyä aluelämpöympäristössä nykyhintatasolla osaraportin 2 kohdekohtaisen tarkastelun ja tehtyjen laskelmien kautta. Seuraavassa on käyty läpi johtopäätöksiä, joita voi pitää tässä vaiheessa melko alustavina:

9.2.1 Olemassa olevat aluelämpöverkot

Kuten aikaisemmin on todettu, olemassa olevissa kohteissa haasteena on lämpöpumpun kannalta korkeat lämpötilatasot, jolloin lämpökerroin jää helposti 2,0 -2,5 tasolle luonnon lämmönlähteillä. Lämpöpumppuinvestoinnin osalta on mahdollista päästä kohtuulliseen kannattavuuteen ainakin seuraavissa tapauksissa

- Korvattava polttoaine kallista, esim. kevyttä polttoöljyä, jolloin öljykattilasta saa lisäksi jatkossa erinomaisen lisä/varakattilan. Luonnon lämmönlähteitäkin käyttäen lämpöpumppuinvestoinnin takaisinmaksuaika voi olla luokkaa 5..6 v, kun öljyn hintataso on luokkaa 100 €/MWh (sis. alv)
- Saatavissa edullinen lämmönlähde, jonka lämpötilataso luonnon lämmönlähteitä korkeampi (ks. kohta 8.2.6). Vaikuttaa investointia alentavasti ja käyttötaloutta parantavasti, koska lämmönlähteen lämpötilan nousu kasvattaa sekä lämpökerrointa että lämpöpumpun tehoa (ks. kuva 6 kohta 7.2). Lämpöpumppuinvestoinnin takaisinmaksuajaksi laskettu osaraportin 2 esimerkikohteessa noin 7 v.

Lisäksi on hyvä muistaa, että haastavien olosuhteiden vuoksi järjestelmää ei voi eikä kannata perustaa vakiolaitteisiin/järjestelmiin, vaan lämpöpumppulaitos tulee suunnitella kohteen erityisvaatimusten mukaiseksi.

9.2.2 Uudiskohteet

Kuten myös edellä on todettu, uudiskohteissa on olemassa olevia paremmat mahdollisuudet päästä hyvään elinkaaritalouteen, koska järjestelmä voidaan suunnitella kokonaisuutena mahdollisimman optimaaliseksi ja uudiskohteen elinkaari on pitkä.

Seuraavassa on listattu uudiskohteen kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä

- Tuotantomuodosta riippumatta alue tulee suunnitella aluelämmön kannalta edulliseksi esimerkiksi siten, että tontteja ei hajasijoiteta vaan ne kaavoitetaan riviin teiden varsille ja lämpökeskus sijoitetaan kuorman kannalta mahdollisimman keskeiselle paikalle
- Käyttöveden tuotannon optimaalinen eriyttäminen vaikuttaa merkittävästi kokonaislämpökertoimeen, joten siihen on kiinnitettävä erityistä huomiota
- Lämpöpumppukeskus kannattaa sijoittaa mahdollisimman keskeisesti paljon käyttövettä kuluttaviin erityiskohteisiin nähden, joita ovat esim. vanhustentalo, päiväkot, terveysasema, koulu keittiöineen. Em. kohteisiin voidaan vetää tällöin erilliset käyttövesiputket lämpökeskuksesta (esim. neliputkijärjestelmä) ja tehdä muuta verkostoa korkeampaa lämpötilaa vaativa käyttövesi tehokkaasti lämpöpumppukeskuksella.
- Mahdollisuus hyödyntää lämpöpumppujärjestelmän edullista jäähdytyskapasiteettia voi jopa tuplata kannattavuuden. Mikäli esim. edellisessä kohdassa mainitut kohteet tarvitsevat jäähdytystä, niihin kannattaa vetää myös jäähdytysputkipari (tehtävissä edullisella PEH-putkella).
- Suhteelliseen kannattavuuteen vaikuttaa olennaisesti käytettävissä olevan vertailuvaihtoehdon, ns. nollavaihtoehdon hinta.

Em. perusteiden kannattavuuksissa voi olla melkoinen hajonta tapauksesta riippuen, joten kannattavuusnäkökulma kannattaa selvittää kulloinkin tapauskohtaisesti.

9.3 Hyviä lämpöpumppukohteita

Lämpöpumppuun perustuvien järjestelmien kannattavuus vaihtelee kuitenkin paljon tapauskohtaisesti, joten hyvään kannattavuuteen pääsemiseksi kannattaa hakea parhaat ja potentiaalisimmat kohteet ja sen jälkeen kehittää kyseiseen kohteeseen optimaalinen kokonaisratkaisu. Ohessa hiukan lisätietoa:

Erityisen hyviä lämpöpumppukohteita ovat esimerkiksi:

- Kohteet joissa lämmitystarpeen lisäksi suuri jäähdytystarve (esim. liikerakennukset)
- Kohteet joissa on paljon tasaista matalalämpötilaista lämpökuormaa, esimerkiksi ulkoalueiden lämmitystä, mikä näyttäisi olevan yleistymään päin?
- Kohteet, joissa saatavissa hyvä lämmönlähde
- Kohteet, joissa on lämmitystarpeen lisäksi kuivaustarvetta (esim. uimahallit)
- Uudiskohteet – lähes kaikista uudiskohteista on saatavissa hyviä lämpöpumppukohteita, kun järjestelmä optimoidaan kokonaisuutena lämmönlähteet – lämpöpumppulaitos – siirtoverkosto – kuluttajajärjestelmät

9.4 Lämpöpumppuhankkeiden kehittämisestä ja suunnittelusta

Lämpöpumppuun perustuvat hankkeet vaativat enemmän hankekehitys- ja suunnittelutyötä, kuin perinteinen aluelämpöjärjestelmä, mutta hyvin tehty työ maksaa itsensä takaisin moninkertaisesti elinkaaren aikana. Aluelämpöjärjestelmä kannattaa ottaa mukaan hankesuunnitteluun mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jotta eri tyyppiset rakennukset, eri toiminnot ja yhdyskuntatekniikka (ml. lämmönkeräyskentät) saadaan sijoitettua alueelle mahdollisimman tehokkaasti ja järkevästi. Pääsuunnittelijana toimivalla arkkitehdilla on tässä hyvin merkittävä rooli, mutta arkkitehti tarvitsee toki avukseen energia- ja lämpöpumppualan erikoisasiantuntemusta.

Kuten itse rakennushankkeelle, myös lämpöpumppuihin perustuvalle aluelämpö/jäähdytysjärjestelmälle kannattaisi laadituttaa ns. "master-suunnitelma", jonka yhteydessä haettaisiin päätkaisut, kuten käyttöveden optimaalinen lämmitystapa eri kohteissa (myös lämmönlähdeperustan optimointi ja tuotantolaitoksen määrittelyt). Master-suunnitelman perusteella voidaan kilpailuttaa ja laatia varsinaiset toteutussuunnitelmat.

Lämmönkeräysjärjestelmät tarvitsevat aina rakennusluvan ja lupaprosessi riippuu useasta eri asiasta, mm. geoenergiakenttien osalta pohjavesialueiden läheisyydestä. Lupaprosessiin kannattaa varata riittävästi aikaa ja lupavaatimuksia selvittää ja ennakoida mahdollisimman aikaisessa vaiheessa.

10 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

10.1 Yhteenveto ja johtopäätökset

Lämpöpumppuun perustuva matalalämpötilainen aluelämpöjärjestelmä näyttäisi sopivan hyvin varsinkin pienehköjen uudisalueiden lämmitykseen. Samalla laitoksella olisi mahdollista tuottaa lisäksi edullista jäähdytystä. Etuna olisi alhaiset elinkaarikustannukset ja myös elinkaaripäästöt. Aluelämpöjärjestelmän kokoa voidaan kasvattaa hajauttamalla tuotantoa, mikä on lämpöpumppuja käytettäessä varsin helposti toteutettavissa.

Parhaimpaan tulokseen on päästävässä uudisalueilla, joilla koko järjestelmä

Lämmönlähteet - lämmöntuotanto (+ jäähdytyksen) – siirtoverkosto – kuluttajalaitteet

voidaan suunnitella ja optimoida kokonaisuutena.

Olemassa olevien aluelämpöverkkojen osalta lämpöpumppukäytön haasteet ovat selvästi suuremmat korkeiden lämpötilatasojen vuoksi. Mahdollisuudet lämpötilatasojen alentamiseen ovat rajalliset, joten kannattavuuden mahdollistamiseksi alueella tulisi olla käytettävissä edullinen lämmönlähde, kuten sopiva ylijäämälämpövirta (ks. kohta 8.2.6), joka mahdollistaisi korkean lämpökertoimen myös nykyisissä aluelämpöverkoissa.

Kehittynyt tiedonsiirtotekniikka tuo entistä paremmat mahdollisuudet optimoida lämpötilatasoja myös nykyisissä aluelämpöverkoissa säätämällä lämpötilaa todellisten, kuluttajilta mitattujen indikaattorilämpötilojen perusteella. Tekninen valmius tähän paranee koko ajan mittarien kaukoluennan yleistyessä ja halventuessa. Vaikka lämpötilan alentamisella on rajansa, tällaiset investoinnit voivat olla hyvinkin kannattavia hinnaltaan edullisina toteuttaa.

Matalalämpöverkot tarjoavat lisäksi erinomaiset lähtökohdat kaksisuuntaiselle kaukolämmölle, koska lämpötila- ja painetasot ovat hyvin yhteen sopivia kuluttajakohtaisten järjestelmien kanssa.

10.2 Jatkokehitystarpeet

Matalalämpöjärjestelmiä tutkittiin ja kehitettiin Suomessa ensimmäisen lämpöpumppubuumin jälkimainingeissa 80-luvulla, mutta sen jälkeen kehitystyötä ei liene juurikaan tehty. Lämpöpumput ovat yleistyneet voimakkaasti yksittäisissä rakennuksissa, suurissakin, kuten ostoskeskukset, mutta aluelämpöympäristössä yleistymistä ei ole ollut havaittavissa.

Yleistymistä voisi edesauttaa kehittämällä aluelämpöpuolelle sopivia konsepteja. Esimerkiksi liikerakennusten osalta vastaavalla kehitystyön kautta on päästy erinomaisiin käyttötaloustuloksiin.

Kehitystyö painottuisi nykyisissä aluelämpöverkoissa menetelmiin lämpötilatasojen alentamiseksi ja toisaalta lämpöpumppupuolella panostukseen korkean lämpötilan tuottamiseen mahdollisimman hyvällä hyötysuhteella.

Uusissa aluelämpöverkostoissa kehitystyö tarkoittaisi käytännössä edellä kuvatun kokonaiskonseptin luomista.

Osaraportin 2 selvityskohteessa tuli esille lisäksi aluemuuntamon hukkalämmön mahdollinen hyödyntäminen lämmönlähteenä, mikä vaikutti alustavien tarkastelujen perusteella monessa suhteessa hyvin potentiaaliselta vaihtoehdolta. Asiaa kannattaa ehdottomasti selvittää tarkemmin mahdollisissa jatkokehityshankkeissa.

Jatkokehitystarpeita pohtiessa kannattaa lisäksi muistaa, että lämpötilatasojen hallinnan lisäksi nykyinen langaton tiedonsiirtotekniikka tarjoaa monipuoliset mahdollisuudet kahdensuuntaiseen tiedonsiirtoon, mikä mahdollistaa myös kohteiden olosuhteiden ja jopa kuormien ohjaamisen, mistä on saatavissa sekä taloudellisia että laadullisia hyötyjä.