



Selvitysraportti

Tiekartta ja työkalut
kaukolämpöverkkojen
menolämpötilojen
laskemiseksi

Tilaaja

Energiateollisuus ry

Laatija

**Ville Korpinen &
Jarkko Olkinuora**

SISÄLLYS

1	Tiivistelmä.....	8
2	Tausta.....	10
2.1	K1 suosituksen muuttuminen.....	10
2.2	Energiatehokkuus.....	11
2.3	Kaukolämpö Suomessa.....	11
3	Kirjallisuus ja kansainvälinen näkökulma.....	14
3.1	Oleellisia suomalaisia tutkimuksia	14
3.2	Tilanne kansainvälisesti.....	17
3.2.1	Kaukolämmön tekniset kehitysaskalet (Generations).....	19
3.3	Tutkimusohjelmia.....	21
3.3.1	IEA Annex T52/Low-Temperature District Heating Implementation Guidebook	21
4	Tilanne Suomessa.....	24
4.1	Kaukolämpöyhtiöille tehty kysely lämmönjakelun kehittämistä.....	24
4.1.1	Kyselyrunko	24
4.1.2	Vastausten analysointi	24
4.2	Haastattelut/kontaktointit	27
5	Kiinteistöissä tehtävät muutokset	29
5.1	Määräykset ja ohjeet.....	29
5.2	Kuluttajat	31
5.3	Tehontarve.....	33
5.4	Radiaattoriipiiri.....	34
5.4.1	Yhteenveto käytössä olevista lämmönjakomenetelmistä.....	34
5.5	Lämmönjakokeskus	40
5.5.1	Toisiopiiri.....	44
5.5.2	Ensiöpiiri	44
5.5.3	Kytkentämuutokset	45
6	Kaukolämpöverkko	47
6.1	Paluulämpötilan laskeminen.....	47
6.1.1	Paluunenergian hyödyntäminen.....	48
6.2	Lämmöntuotannon hajauttaminen	49
6.2.1	Hukkalämmöt ja kaksisuuntainen kaukolämpö.....	49
6.2.2	Lämmönvarastointi.....	49
6.3	Pumppauksen hajautus, välipumppaamot	50
6.3.1	Investointikustannukset.....	51

6.4	Johtoinvestoinnit.....	51
6.5	Korkealämpöiset siirtolinjat tai matalalämpöiset verkosto-osat.....	51
6.6	Tukitoimet.....	52
6.6.1	Kysyntäjousto	52
6.6.2	Dokumentaatio	52
6.6.3	Verkostosimulointi.....	52
6.6.4	Digitalisaatio	53
6.6.5	Sopimustekniikka	53
6.6.6	Käytettävissä oleva paine-ero	53
6.6.7	Kesäajan lämpöhäviöt.....	54
6.6.8	Kaavoitus.....	54
7	Selvitykseen tehdyt verkostosimuloinnit.....	56
7.1	Kaukolämpöverkkojen jaottelu eri tyypeihin	56
7.2	Suoritettut kaukolämpöverkkojen simuloinnit.....	57
7.2.1	Simulointien havainnot keskitetyn tuotannon verkoissa	57
7.2.2	Simulointien havainnot hajautetun tuotannon verkoissa.....	58
7.3	Muita huomioita.....	58
8	Tiekartta	61
8.1	Kaukolämpöverkko.....	61
8.1.1	Soveltaminen.....	61
8.1.2	Keskitetyn tuotannon verkon tiekartta	62
8.1.3	Hajautettu tuotannon verkon tiekartta.....	63
8.1.4	Tyypillisestä poikkeavan jakelutavan verkon tiekartta	63
8.2	Asiakaslaitteet.....	64
8.2.1	Asiakkaan laitteet, asiakkaan omat laitteet	66
8.2.2	Asiakkaan laitteet, LJK	68
8.2.3	Yhteenveto asiakaslaitteista	70
8.2.4	Työkalut/ohjeistus kl-tarkastajille	71
8.3	Esimerkkejä verkostotiekartan hyödyntämisestä.....	71
8.3.1	Pieni keskitetyn lämmöntuotannon kaukolämpöverkko	71
8.3.2	Keskisuuri hajautetun lämmöntuotannon kaukolämpöverkko.....	72
9	Selvitystyön aikana esiin nousseet havainnot.....	75
9.1	Tiekartat.....	75
9.2	Voimassa olevat suositukset ja tarpeet päivityksille	75
10	Johtopäätökset.....	77

Määritelmät

Tässä raportissa on pääsääntöisesti käytetty samoja määriä kuin julkaisussa K1. Alla oleellimmat

Lämmönmyyjä on tässä raportissa käytetty nimitys kaukolämmön toimittajasta.

Asiakas on tässä julkaisussa käytetty nimitys kaukolämmitettävästä rakennuksesta/rakennuksista tai niiden omistajasta/haltijasta.

Lämmitysenergian tarpeella tarkoitetaan sisäilmasto-olosuhteiden ylläpitämiseksi ja lämpimän käyttöveden lämmittämiseksi tarvittavaa energiamäärää.

Rakennuksen kaukolämmityslaitteet ovat lämmityslaittekokonaisuus, joka koostuu asiakkaan kaukolämpö- ja lämmityslaitteista.

Rakennuksen lämmityslaitteet ovat laitteita, jotka jakavat lämpöenergian lämmönsiirtimistä käyttökohteisiin. Kaukolämmityksen kannalta oleellisia ovat laitteet ja kytkennät, joilla on suoranainen vaikutus kaukolämpöveden jäähtymiseen.

Lämmönjakokeskus on lämmönmyyjän mittauskeskukseen, käyttövesi- ja lämmitysverkostoihin sekä paisuntalaitteisiin liitettävä laitekokonaisuus, joka sisältää lämmönsiirtimet, ensiöpuolen ja mahdollisesti toisiopuolen säätölaitteet, pumppauslaitteet, venttiilit ja varusteet sekä tarvittavan putkiston (peruskytkentä, lämmönjakokeskuksen toimitusrajat).

Liittymisjohto on lämmönmyyjän kaukolämpöjohtohaara kaukolämpöverkosta lämmönjakohuoneeseen (mittauskeskukseen).

Sopimusteho tarkoittaa asiakkaan käyttöön varattua suurinta tuntista lämpötehoa. Sopimustehon mittayksikkö on kW.

Sopimusvesivirta tarkoittaa asiakkaan käyttöön varattua suurinta tuntista kaukolämpöveden virtaamaa. Sopimusvesivirran mittayksikkö on m³/h. **Tuntinen teho/vesivirta** tarkoittaa keskimääräistä tehoa/vesivirtaa liukuvan tunnin ajanjaksona

Ensiöpuoli käsittää putkiston ja laitteet tai laitteiden osat, joissa kaukolämpövesi virtaa tai joihin sen paine vaikuttaa. **Toisiopuoli** käsittää putkiston ja laitteet tai laitteiden osat, joissa lämmönsiirtimissä lämmitettävä neste virtaa tai joihin sen paine vaikuttaa.

Kaukolämmön tuloputkessa kaukolämpövesi tulee tuotantolaitokselta asiakkaan lämmönjakokeskukseen. **Kaukolämmön paluuputkessa** kaukolämpövesi palaa asiakkaan lämmönjakokeskuksesta takaisin tuotantolaitokselle.

Lämmitysverkoston menoputkessa toisiovesi virtaa rakennuksen lämmityslaitteille. **Lämmitysverkoston paluuputkessa** virtaa lämmönjakokeskukseen palaava toisiovesi.

Lyhenteet, yksiköt

KLY	Kaukolämpöyhtiö/lämmönmyyjä
ET	Energiateollisuus ry edustaa yrityksiä, jotka tuottavat, hankkivat, siirtävät ja myyvät sähköä, kaasua, kaukolämpöä ja kaukojäähdytystä sekä tarjoavat niihin liittyviä palveluja.
K1	Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet. Eri versioita
LJK	Lämmönjakokeskus
lkv	lämmön käyttövesi
DN	lyhenne sanoista diamètre nominal, nimellinen halkaisija. DN-mitta on putken tai laitteen sisähalkaisija
LVI	Lämpö, vesi ja ilmanvaihto
kpa	Kiinteän polttoaineen (kattila)
kV	kV-arvo: venttiilin läpi virtaavan aineen maksimimäärä (m ³ /h)
ΔT	Lämpötilaero

Yksiköt

Lämpöteho	kW, MW
Virtaama	m ³ /h, kg/s
Paine	bar

Merkintätavat

80/60 °C	Tällä merkintätavalla tarkoitetaan lämpöteknisen järjestelmään mitoitusarvoja, esim. rakennuksen patteriverkkoa, jossa mitoituksena on menoveden lämpötila 80°C ja paluueden lämpötila 60 °C mitoitusolosuhteissa
----------	---

Esipuhe

Kaukolämpöverkossa virtaavan veden lämpötilan laskeminen on yksi iso ja konkreettinen askel kohti seuraavan sukupolven puhdasta ja älykästä kaukolämpöjärjestelmää. Kaukolämpöverkkojen mitoituslämpötilan lasku on osa kaukolämpöyhtiöiden toteuttamaa valtavaa murrosta.

Lämpötilojen lasku alle sataan asteeseen mahdollistaa huomattavasti energiatehokkaamman kaukolämpöjärjestelmän ja nopeamman siirtymän kohti päästöttömyyttä. Muutos mahdollistaa hukkalämpöjen, lämpöpumppujen ja uusien tuotantomuotojen hyödyntämisen suuressa mittakaavassa. Samalla järjestelmän energiatehokkuus paranee ja lämpöhäviöitä syntyy vähemmän.

Tässä Energiateollisuus ry:n tilaamassa selvityksessä tarkasteltiin käytännön toimia, jotta K1/2021 mukaisiin lämpötilasuosituksiin päästäisiin. Työn tuloksena laadittiin tiekartat sekä kaukolämpöverkoon tehtävistä muutoksista sekä asiakaslaitteisiin tarvittavista toimenpiteistä.

Työn toteutustapana oli web-kysely, käytännön simuloinnit todellisissa kaukolämpöverkoissa, tutustuminen muihin tutkimuksiin ja kirjallisuuteen, haastattelut ja työpajat kaukolämpöyhtiöiden asiantuntijoiden kanssa.

Työn toteuttajana on toiminut Elomatic ja siihen ovat osallistuneet Ville Korpinen, Vilma Moilanen ja Jarkko Olkinuora. Energiateollisuus ry:stä työn tilaajana ja ohjaajana on toiminut Harri Hillamo.

Työn ohjausryhmässä ovat toimineet Teemu Heinonen Tampereen Energia Oy, Eetu Järvenpää Rauman Energia Oy, Jussi Kyrö Oulun Energia Oy, Panu Kauniskallio Fortum Oyj sekä Miika Lindholm Helen Oy. Lisäksi Energiateollisuus ry:n Lämmönjakelutoimikunta on jakanut näkemyksiään ja kommentoinut raporttia.

Kiitämme Energiateollisuus ry:tä mielenkiitoisesta toimeksiannosta ja lisäksi kiitämme kaikkia web-kyselyyn ja haastatteluihin osallistuneita henkilöitä ja yrityksiä.

24.11.2023

Ville Korpinen

Jarkko Olkinuora

1

Tiivistelmä

1 Tiivistelmä

Projektissa haettiin ratkaisuja ja tapoja jaella lämpöä siirtymävaiheessa mahdollisimman tehokkaasti, mahdollisimman matalassa lämpötilassa (myös paluulämpötilat), uusia ratkaisuja ja toimintatapoja käyttäen. Työssä otettiin huomioon mm. monimutkaisuus verkon suunnittelu ja käyttö, hajautetumpi tuotanto, kaksisuuntaisuus, käytön optimointi ja jakelulämpötilatasojen lasku. Muutokset haastavat perinteistä verkosto-suunnittelua ja käytettyjä ratkaisuja.

Kansainvälinen tilanne on kaksijakoinen, toisaalta käytössä on keskitetty polttava korkealämpötilainen (eli varsin perinteinen) kaukolämmitysratkaisu, toisaalta uusin tutkimus pilot-kohteineen on kohdistunut jo ns. 5. sukupolven kaukolämpöön, jossa lämpötilatasot ovat selvästi alhaisemmat kuin Suomen uusimman K1-suosituksen mukaiset.

Työn alussa toteutettiin kaukolämpöyhtiöille suunnattu web-kysely, johon saatiin runsas vastausmäärä. Tuloksia syvennettiin jatkohaastatteluilla, joihin myös sisällytettiin muita toimijoita, kuten LVI-suunnittelijat ja LJK-valmistajat. Kyselyn perusteella voidaan todeta, että kaukolämpöyhtiöt ovat hyvin tietoisia matalalämpöisen järjestelmän eduista ja ovat toteuttaneet toimenpiteitä, jotka suuntautuvat lämpötilojen alentamiseen. Esteet lämpötilan laskulle ovat verkkokohtaisia, mutta yleisimmät ovat verkon siirtokyvyn rajoitteet, ongelmakulutajat ja asiakaslaitteiden hidas uusiutuminen.

Asiakaslaitteet ovat kaukolämpöyhtiön toimitusrajan ulkopuolella, mutta vaikuttavat sekä verkkoon että itse asiakkaan olosuhteisiin. Niiden osalta selvitettiin potentiaalisia ongelmia ja kuinka kaukolämpöyhtiö voisi nopeuttaa laitteiden uusimisprosessia.

Kaukolämpöverkkojen osalta tehtävät toimenpiteet ovat kaukolämpöyhtiön omassa päätäntävallassa. Tässä työssä selvitettiin parhaita toimenpiteitä perustuen mm. verkostosimulointeihin. Selvityksissä haettiin ohjeistusta mm. tuotannon hajautukseen, verkosto- ja pumppaamoinvestointeihin ja muihin toimenpiteisiin, joilla varmistetaan verkoston siirtokyky.

2

Tausta

2 Tausta

Kaukolämpöverkossa virtaavan veden lämpötilan laskeminen on yksi iso ja konkreettinen askel kohti seuraavan sukupolven puhdasta ja älykästä kaukolämpöjärjestelmää. Kaukolämpöverkkojen mitoituslämpötilan lasku on osa kaukolämpöyhtiöiden toteuttamaa valtavaa murrosta.

Lämpötilojen lasku alle sataan asteeseen mahdollistaa huomattavasti energiatehokkaamman kaukolämpöjärjestelmän ja nopeamman siirtymän kohti päästöttömyyttä. Muutos mahdollistaa hukkalämpöjen, lämpöpumppujen ja uusien tuotantomuotojen hyödyntämisen suuressa mittakaavassa. Samalla järjestelmän energiatehokkuus paranee ja lämpöhäviöitä syntyy vähemmän.

Muutoksena aiempaan on tilojen ja ilmanvaihdon lämmityksen mitoituksen perusteena oleva kaukolämmön tuloveden lämpötila, jonka suositusta lasketaan lämpötilasta 115 °C lämpötilaan 90 °C. Lämmönjakokeskuksen mitoituslämpötilan pudottaminen mahdollistaa tulevaisuudessa kaukolämpöverkon toimintalämpötilojen laskemisen, jolloin koko energiajärjestelmän tehokkuus paranee monipuolistaen samalla lämmönhankinnan vaihtoehtoja. Uusilla matalammilla lämpötiloilla mitoitettut laitteet toimivat hyvin myös vielä käytössä olevilla, korkeammilla lämpötiloilla.

Mitoituslämpötilamuutokset lämmönjakokeskuksissa vaikuttavat välittömästi myös kaukolämpöjärjestelmän mitoitukseen, sillä verkkojen ja tuotantolaitosten tekninen käyttöikä on huomattavasti pidempi kuin asiakkaiden lämmönjakokeskusten – kaikki nyt rakennettava ja suunniteltava rakennettavat verkko-osuudet ja uudet tuotantolaitokset ovat käytössä, kun kaikki olemassa olevat lämmönjakokeskukset ovat vaihtuneet uusille nykymitoituksille. Kaikki suunnittelu tulisikin tehdä ottaen huomioon tuleva mahdollisuus siirtyä huomattavasti matalampaan kaukolämmön jakelulämpötilaan.

Lämmönjakokeskusten uusiutumisaika teknisen käyttöiän perusteella on 25 vuotta ja verkkojen uusiutumisaika jopa 100 v. Tarve verkkojen menolämpötilan laskuun on jo olemassa ennen kuin lämmönjakokeskusten laitteistokanta ja verkot ovat uusiutuneet. Menolämpötilanlaskutarve syntyy mm. hiilineutraaliustavoitteista, energiatehokkuuden parantamisesta, kaukolämmön tuotannon energiamurroksesta ja laajamittaisemmasta hukkalämpöjen hyödyntämisestä.

2.1 K1 suosituksen muuttuminen

Yhtenä haasteena kaukolämpöverkoille ja lämmönjakelulle on erityisesti siirtymäaika, jolloin asiakkailta on sekä vanhojen että uusien mitoituslaitteita käytössä ja toisaalta verkot ja olemassa oleva tuotanto on mitoitettu vanhojen mitoituslämpötilojen mukaan. Siirtymäaika on pitkä (~25 v.), ja tuotannon energiamurros tapahtuu samanaikaisesti. Siirtymäaikana muutoksen hallittuun toteutumiseen ja mahdollistamiseen tarvitaan lisätietoa, toimintamalleja ja parhaiden kokemusten ja käytäntöjen jakamista. Moni yhtiö on onnistunut jo nykyisessä tilanteessa siirtymään selvästi matalampiin jakelulämpötiloihin.

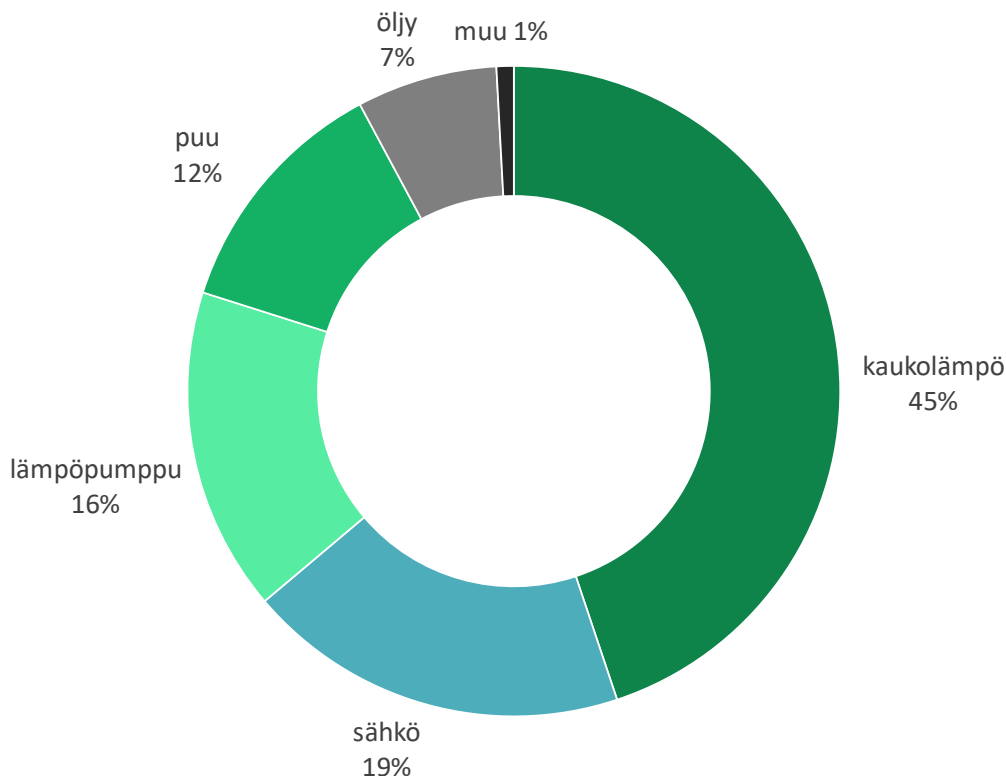
Toisena haasteena, koska verkkojen pitoaika on hyvin pitkä (50-100v.), eivät verkot uusiudu lähiaikoina vaan siirtokykyhaaste ilman käyttötapamuutoksia tulee pysymään kymmeniä vuosia, ellei verkkojen käyttöä tehosteta. Siirtymäaikana tarve ajaa verkkoa ja uusia laitoksia lähempänä tulevia mitoitusarvoja aiheuttaa haasteita mm. verkon siirtokyvyille. Haaste verkolla ja jakelussa aiheutuu pääasiassa lämpötilaerojen kaventuessa syntyvistä suuremmista vesivirroista, mikäli yritetään toimittaa sama energia ja teho pienemmällä lämpötilaerolla sekä lisäksi vesivirrasta, joka syntyy vanhojen lämmönjakokeskusten ottaessa tarvittavan tehon ja lämpötilan laitemitoituksista poikkeavilla tulolämpötiloilla.

2.2 Energiatehokkuus

Vaatumukset energiatehokkuudelle ovat kasvaneet sekä tuotannossa, energianjake- lussa että loppukulutuksessa. Tätä ohjaavat sekä kotimaiset säännökset että EU:n di- rektiivit (esim. Energiatehokkuus ensin). Verkostolämpötilan laskemisella on selvät energiatehokkuusvaikutukset.

2.3 Kaukolämpö Suomessa

Kaukolämpö on Suomen yleisin lämmitysmuoto.



Kuva 1. Lämmitysmuotojen markkinaosuudet 2020 Asuin- ja palvelurakennukset (lähde: Tilastokeskus).

Uudisrakennuksissa kaukolämmön markkinaosuus pysyy yhä korkeana, tilanne vuonna 2021¹:

¹ Lähde: Tilastokeskus Myönnetty rakennusluvut (lämmitetty rakennustilavuus)

- Kaikki rakennukset 50 %
- Asuinrakennukset 54 %
 - kerrostalot 83 %
 - pientalot 15 %
- Toimistorakennukset 84 %
- Julkiset palvelurakennukset 69 %
- Liikerakennukset 58 %
- Teollisuus ja kaivannaistoiminnot 48 %
- Varastorakennukset 38 %

3

**Kirjallisuus ja
kansainvälinen
näkökulma**

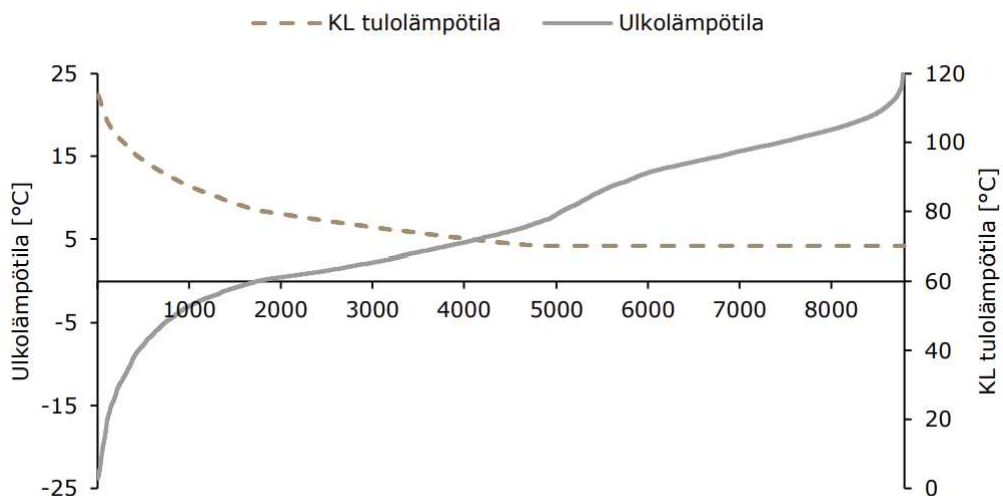
3 Kirjallisuus ja kansainvälinen näkökulma

Seuraavassa on esitetty lyhyt yhteenveto tämän työn sisältöön oleellisesti vaikuttavista tutkimuksista.

3.1 Oleellisia suomalaisia tutkimuksia

Tässä selvityksessä ei tarkasteltu mm. lämpötilojen laskemisen hyötyjen määrää tai kannattavuutta. Siksi seuraavassa on referoitu aikaisempia tutkimuksia, jotka käsittelevät näitäkin asioita.

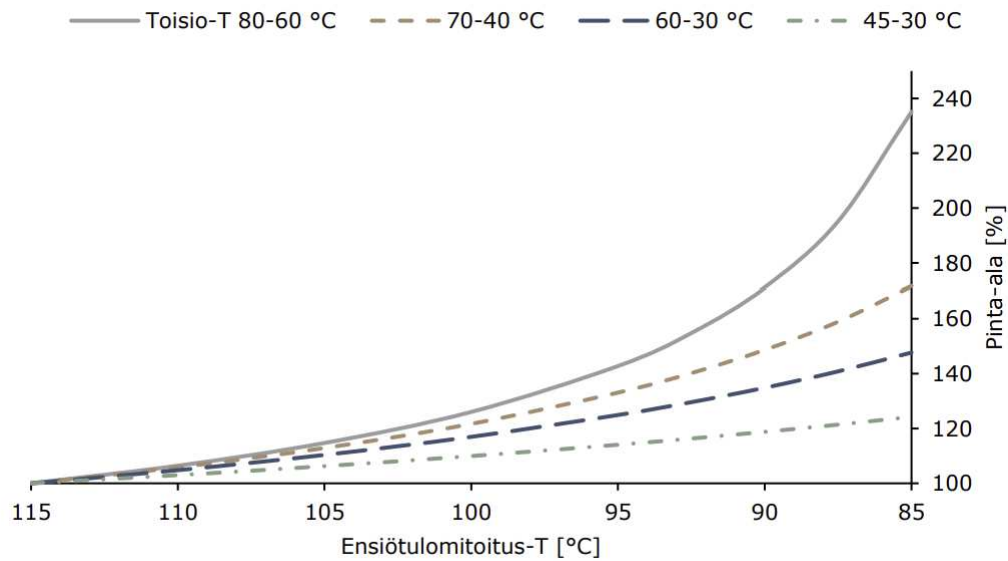
AFRY. Kaukolämpöasiakkaiden mitoitukslämpötilan laskeminen. Raportti Energiateollisuus ry:lle. 8/2020. Tässä raportissa on arvioitu, että lämmönsiirtimien pinta-ala kasvaa keskimäärin n. 40 %, jos primaaripiirin tulolämpötila laskee 25 °C, jolloin laitehankintakustannukset nousevat noin 5-7 %. Raportin perusteella Helsingissä yli 50 % rakennuksista sekundääripiiriin menolämpötila on 80 °C, kun Espoossa osuus on pienempi, koska rakennuskanta on uudempaa. Hyötyjen laskennassa tulee suorittaa pysyvyyskäyrätarkastelu. Seuraavassa kuvassa on esitetty kaukolämmön menoveden ja ulkolämpötilan pysyvyydet, alhaiset ulkolämpötilat ovat melko harvinaisia, mutta maantieteellinen vaihtelu on Suomessa merkittävää.



Kuva 2. Kaukolämpöverkon ja ulkoilman lämpötilan korrelaatio.²

Lisäksi on arvioitu, että teoreettinen primaariverkon minimilämpötila on 83-85°C. Tulee ottaa huomioon, että paine-ero lämmönsiirtimissä kasvaa, koska niiden pinta-ala kasvaa, ks seuraava kuva. Tyypillisesti lämmönsiirtimien paksuus ei lisääny, mutta pituus kylläkin.

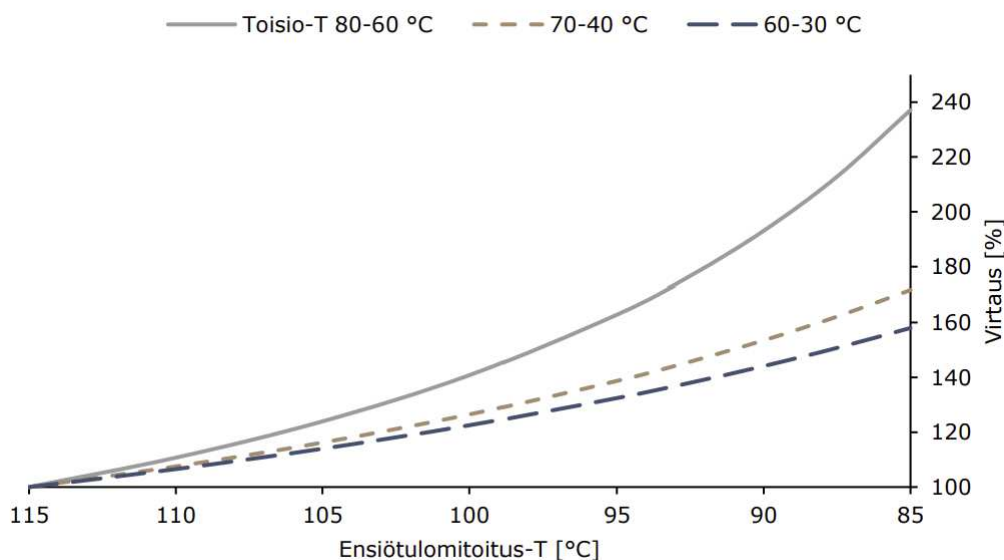
² Ilmatieteenlaitos 2020



Kuva 3. Lämmityslämmönsiirtimen pinta-alan kasvu tulomitoituslämpötilan funktiona³.

Raportissa suositellaan, että teollisuusasiakkaiden tilanne ja tarvittavat toimenpiteet on harkittava tapauskohtaisesti.

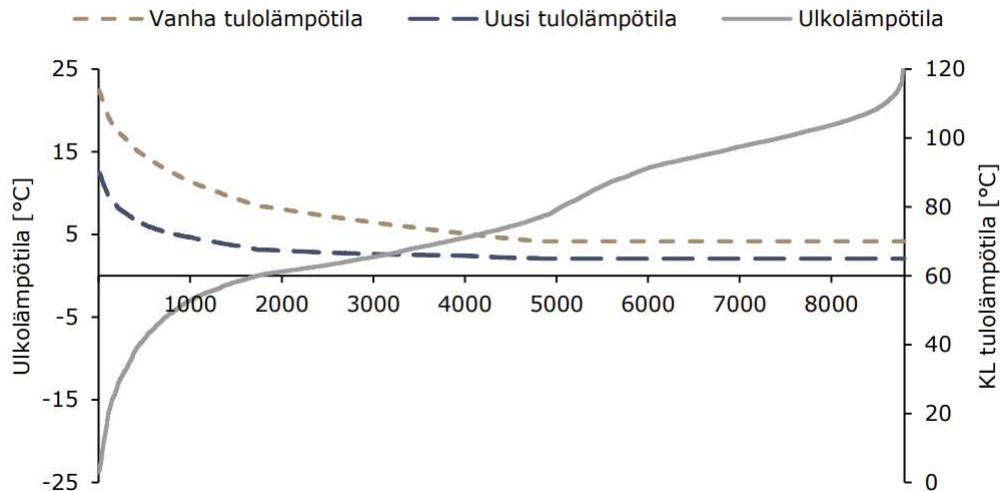
Raportin perusteella ensiöpuolen virtaamat tulevat kasvamaan, ks. Seuraava kuva.



Kuva 4. Virtauksen kasvu eri lämmityslämmönsiirtimille.

Jo lämmönjakokeskuksen uusineiden asiakkaiden vesivirtamaksut voivat alentua. Ensiövirtaamat laskevat siirtymäkauden aikana. Siirtymäkauden loppupuolella jäähtymän arvioidaan laskennallisesti olevan 1-2 °C parempi uudelleenmitoituksen ansiosta, 0°C ulkolämpötilalla menoveden lämpötila alenee lähes 10°C, kuten voi havaita seuraavasta kuvasta.

³ Afry 2020, Kaukolämpöasiakkaiden mitoitukslämpötilan laskeminen.



Kuva 5. Pysyvyykäyrä ja laskennalliset verkon säätökäyrät.

Raportti myös olettaa, että verkoston lämpöhäviöt alenevat (karkeasti) 1 % per 1°C.

AFRY. Kaukolämmön menolämpötilan optimointi.. Raportti Energiategollisuus ry:lle 2021. Tämä raportti kannustaa selvittämään ja käyttämään verkkokohtaista optimoitua ajotapaa, jossa optimoidaan kaukolämpöjärjestelmän menoveden lämpötilaa. Paikallinen kokonaisuus on aina otettava huomioon, mutta järjestelmän monimutkaisuudesta huolimatta, noudattamalla tiettyjä perusperiaatteita, voidaan verkkokohtaista optimia tavoitella jo verrattain yksinkertaisin toimin. Tärkeintä on koko ajan ymmärtää optimoitavan verkon toiminta, reunaehdot ja rajoitteet – optimoinnissa tulisikin edetä järjestelmällisesti pienin muutoksin kohti optimoitua verkon ajotapaa, varmistaen koko ajan asiakkaan häiriötön ja laadukas lämmöntoimitus.

AFRY. Energiategokkuusdirektiivin mukainen selvitys hukkalämmön potentiaalista ja kustannushyötyanalyysi tehokkaasta lämmityksestä. Raportti työ- ja elinkeinoministeriölle. 9/2020. Afryn arvion mukaan lämmönjakokeskusten hankintakustannukset nousisivat noin 5 %, jos mitoituslämpötilaa laskettaisiin alle 100 °C:n

Miika Rämä. District heating with low-carbon heat sources and low distribution temperatures. Aalto Yliopisto 2020. Väitöskirjassa esitellään laajasti matalalämpöjärjestelmien hyödyt. Lisäksi yksi johtopäätelmä on, että matalammat siirtolämpötilat edellyttävät myös tarkempaa lämpötilojen hallintaa siirtoverkossa.

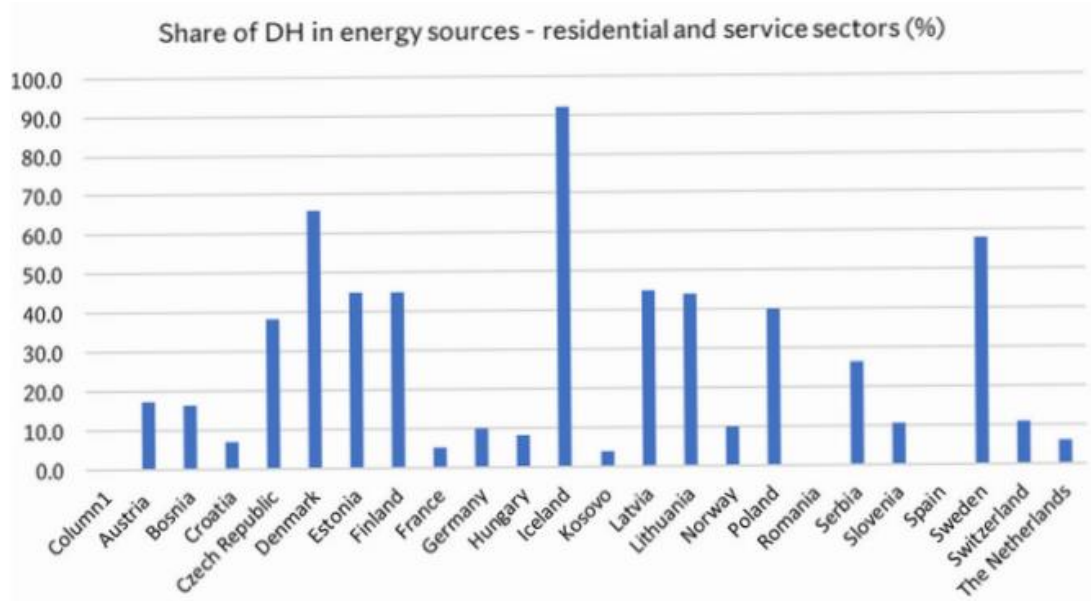
Hasan, Kurnitski, Jokiranta. A combined low temperature water heating system consisting of radiators and floor heating. VTT&Aalto University. 2009. Selvityksen johtopäätöksenä on, että radiaattoreiden lämmönluovutus on tyypillisesti riittävä matalammillakin lämpötiloilla.

Lahtela likka, Kaukolämpöasiakslaitteiden jäähtymän optimointi. Välisyöttökytkennän toimivuus julkaisun K1/2013 mukaisilla lämmönsiirtimien mitoituslämpötiloilla. JAMK. 2018. Opinnäytetyön tuloksena saatiin tietoa siitä, että välisyöttökytkentä on jäähtymän kannalta suositeltava vaihtoehto myös uusilla mitoituslämpötiloilla. Tulokset myös vahvistavat välisyöttökytkennän oleellisen vaikutuksen

jäähtymään vanhoilla mitoitusslämpötiloilla. Kustannusten osalta selvisi, että kytkentävalla ei ole yksiselitteistä vaikutusta lämmönjakokeskusten hintaan.

3.2 Tilanne kansainvälisesti

Kaukolämmön yleisyys Euroopassa ja tilannekatsaus koskien matalalämpöjärjestelmiä on esitetty seuraavassa⁴.



Kuva 6. Kaukolämmön markkinaosuus eri Euroopan maissa vuonna 2021.

Tekijöiden subjektiivinen näkemys sekä Euroheat&Power-järjestön markkinanäkemyistä eri alueiden tilanteesta on esitetty seuraavassa.

Taulukko 1. Tilanne ja trendit koskien kaukolämpöä ja matalalämpöjärjestelmiä eri Euroopan alueilla.

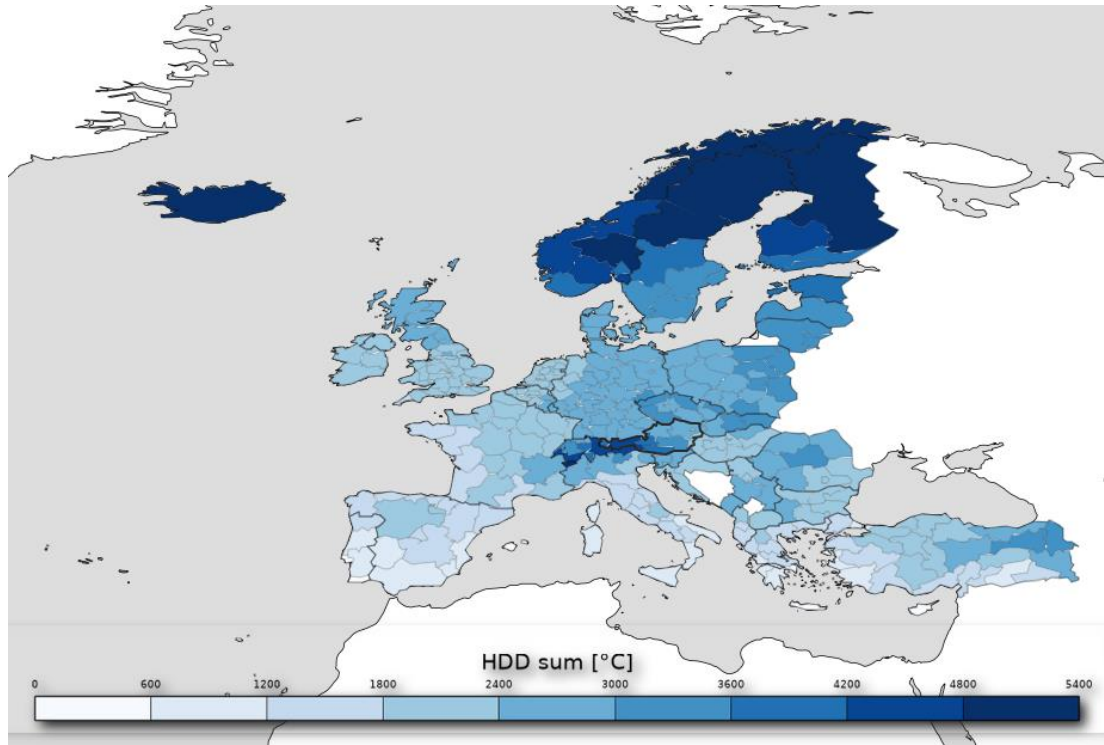
Alue/maa	Lämpötilatasot ja -trendit	Yleiset trendit
Itä-Eurooppa (Baltia, Puola)	Korkea lämpötilataso (120/70°C) Ei merkittäviä muutostrendejä koskien lämpötilatasoja. 1. tai 2. sukupolven kaukolämpö.	Kaukolämpö perustuu edelleen polttamiseen voima-/kattilaitoksilla. Keskitetty tuotanto. Joissain maissa, mm. Liettua, suuret verkot vapautettu kilpailulle
Keski-Eurooppa (Saksa)	Saksassa suuret kaukolämpöjärjestelmät käyttävät korkeita menoveden lämpötiloja (>90°C, jopa 140°C). Lukumääräisesti suurin osa verkoista on kuitenkin lämpötilatasoilla 60-90°C. 5th Generation tutkimusten kohde, joitakin pieniä pilot-kohteita.	Kaukolämpömarkkina kasvaa merkittävästi (mm. Saksassa 300-600000 asuntoa vuodessa). 22% uusista rakennuksista kytketään kaukolämpöön.

⁴ Euroheat & Power. DHC Market Outlook Insights & Trends. 2023

Alue/maa	Lämpötilatasot ja -trendit	Yleiset trendit
Länsi-Eurooppa (Ranska, Sveitsi, Hollanti)	Yleisesti menoveden lämpötila on yhtä yli 80°C. 5th Generation tutkimusten kohde, joitakin pieniä pilot-kohteita.	Kaukolämpömarkkina kasvaa merkittävästi (mm. Ranskassa yli 215000 asuntoa vuodessa). Ranskassa paljon geotermistä energiantuotantoa, joissa lämpötilatasot alhaisia. Regulaatio rajaa KLY:n toimintaa.
Tanska	Yleisesti menoveden lämpötila on yhtä yli 80°C. Pyritään jatkuvaan lämpötilaoptimointiin. EU:n energiatehokkuus ensin-direktiivi ohjaa matalalämpöjärjestelmiin. Uudet alueet toteutetaan matalilla lämpötiloilla, 5th Generation tutkimusten kohde, joitakin pieniä pilot-kohteita.	Kaukolämpömarkkina kasvaa merkittävästi kaasukattiloiden korvaamisen johdosta. Suunta hajautettuun tuotantoon, jossa hyödynnetään eri energialähteitä.
Ruotsi	Toistaiseksi menoveden lämpötila vielä tasolla 90-100°C. Ruotsissa tavoitellaan keskimääräisten lämpötilojen alentamista, joka on ollut kohtuullisen hidasta ⁵ . Tavoite on 68°C meno ja 34°C paluu 5th Generation tutkimusten kohde, joitakin pieniä pilot-kohteita.	Uusia avauksia, kuten esim. kysyntäjouston hyödyntäminen.
Suomi	Siirtymäkausi matalampiin lämpötiloihin käynnissä	

On muistettava, että ilmasto-olosuhteet aiheuttavat suurempia haasteita mm. Suomessa verrattuna Keski-Eurooppaan. Tätä havainnollistaa esim. [Heating and cooling degree days - statistics - Statistics Explained \(europa.eu\)](https://www.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table?table=sdg_7_3_1).

⁵ FVB-Nytt No. 48. Pengar att tjäna på låg temperatur.

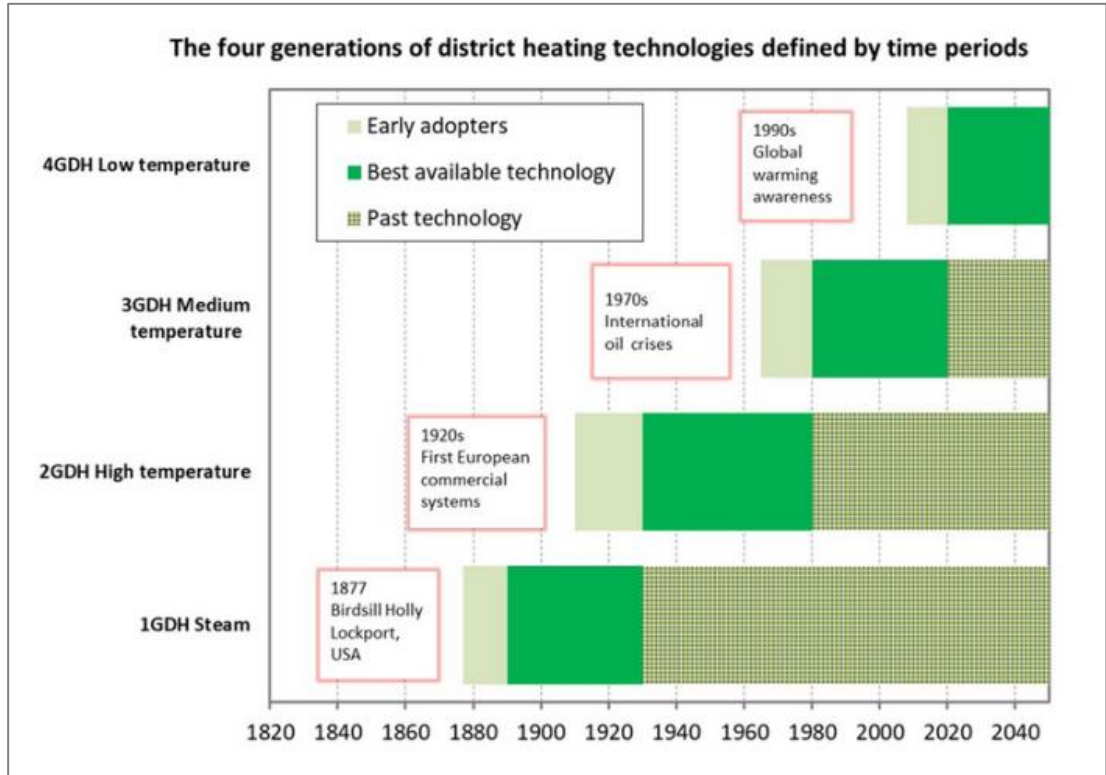


Kuva 7. Lämmitystarveluvut (heating degree days) Euroopassa⁶.

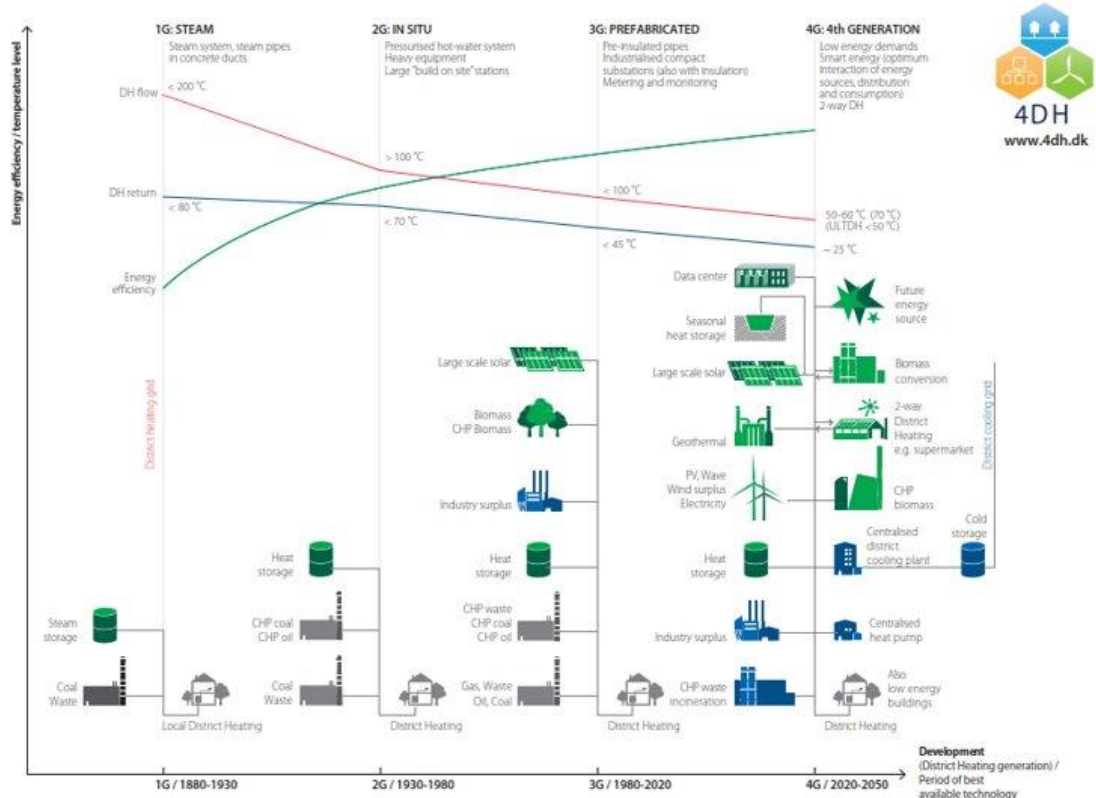
3.2.1 Kaukolämmön tekniset kehitysaskeleet (Generations)

Yllä olevassa yhteenvedossa on viitattu kaukolämmön kehityskeliin, joista on alla esitetty aikajana (Kuva 8) sekä lyhyt tekninen esittely (Kuva 9). Kaukolämpöjärjestelmät kategorisoidaan eri tekijöiden perusteella, kuten rakennusaika, putki- ja lämmönjakokeskusteknologia, lämmönsiirtomenetelmä, menoveden lämpötila jne.

⁶ <https://cds.climate.copernicus.eu>



Kuva 8. Kaukolämmön eri sukupolvet (Averfalk H et al. Low-Temperature district heating Implementation Guidebook, IEA DHC Report, 2021)



Kuva 9. Eri kaukolämpösukupolvien lämpötilatasoja.

3.3 Tutkimusohjelmia

Eri tahot rahoittavat lukuisia kaukolämpöön liittyviä tutkimusohjelmia, joissa tarkastellaan nimenomaisesti matalalämpötilaisia kaukolämpöjärjestelmiä. Näitä ovat mm. COOL DH, FLEXYNETS, Hybrid district Energy Networks (H-DisNet), RELaTED, TEMPO ja REWARDHeat.

Uusin ja laajin aiheeseen liittyvä raportti on IEA:n opaskirja, jota on analysoitu alla.

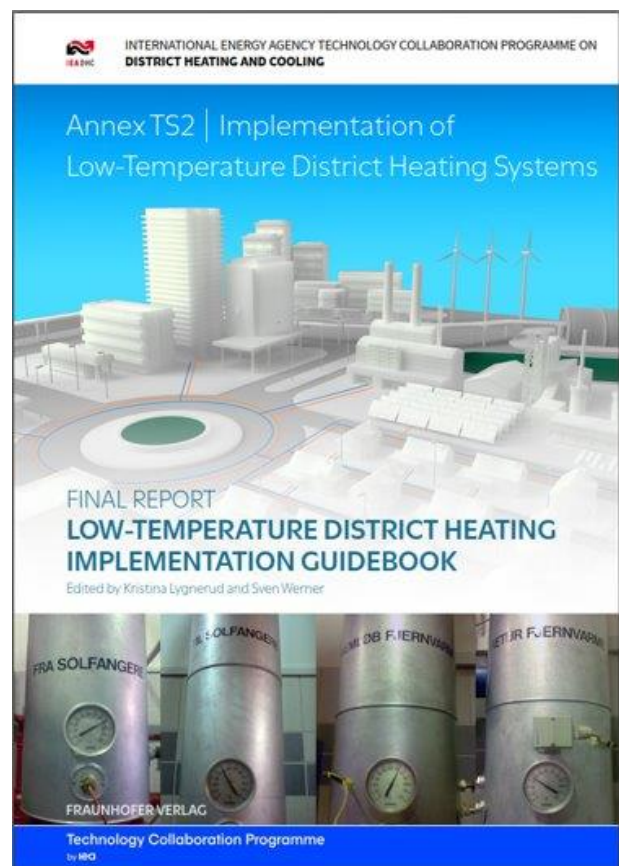
3.3.1 IEA Annex T52/Low-Temperature District Heating Implementation Guidebook

IEA:n oppaan tarkoituksena on tarjota yksinkertaisia neuvoja ja reseptejä alempien verkkolämpötilojen ja muiden uusien ominaisuuksien saavuttamiseksi olemassa olevissa ja uusissa kaukolämpöjärjestelmissä. Tämä kunnianhimo saavutetaan tiivistämällä eri kaupunkialueilla eri puolilla Eurooppaa varhaisten käyttäjien kokemuksia. Varsinkin saatuja kokemuksia voidaan soveltaa uusiin ja laajeneviin kaukolämpöjärjestelmiin. Nykyisissä ensimmäisen, toisen ja kolmannen sukupolven kaukolämpöjärjestelmissä on ominaisuuksia, jotka estävät alempien verkkolämpötilojen. Tärkeä askel matalan lämpötilan järjestelmien kehittämisessä on nykyisten esteiden ymmärtäminen niiden välttämiseksi uusissa ja laajenevissa järjestelmissä.

Opas on kirjoitettu IEA:n kaukolämpöä ja -jäähdytystä koskevan teknologiayhteistyöohjelman (tunnetaan myös nimellä IEA DHC/CHP -ohjelma, www.iea-dhc.org) TS2-liitteen puitteissa. Vuonna 2018 alkanut TS2 liite oli nimeltään "Matalalämpötilaisten kaukolämpöjärjestelmien käyttöönotto" ja toimi vuoteen 2021 saakka. Mukana on ollut useita tutkimusryhmiä Itävallasta, Tanskasta, Saksasta, Norjasta, Ruotsista ja Iso-Britanniasta.

Opaskirjassa käydään seikkaperäisesti matalalämpö-järjestelmiä seuraavalla listan mukaisesti:

- polku tulevaisuuden kaukolämpöön
- matalalämpöjärjestelmien taloudelliset hyödyt
- matalalämpöjärjestelmät ja asiakaslaitteet



- matalalämpöiset kaukolämpöverkot
- case-study Campus Lichtwiese at TU Darmstadt
- matalalämpöisen järjestelmän kilpailukyky
- käytännön toteutus (lukuisia pieniä case-kohteita)
- muutosstrategiat (tiekartat)
- yhteenveto

IEA:n raportti/opaskirja on laaja ja perusteellinen. Siinä ei ole kuitenkaan mitään perustavanlaatuaista uutta verrattuna vastaaviin suomalaisiin tutkimuksiin (ks. 3.1 Oleellisia suomalaisia tutkimuksia) tai tähän selvitykseen.

4

Tilanne Suomessa

4 Tilanne Suomessa

Suomessa tilannetta on kartoitettu melko laajasti sekä sektorikohtaisesti esim. Energiateollisuus ry:n toimesta (ks. kappale 3.1) sekä yksittäiset kaukolämpöyhtiöt ovat tehneet laajasti selvityksiä koskien heidän omia verkkojaan.

Tiekartan valmistelua varten päätettiin kartoittaa tilannetta kyselyllä sekä haastattelulla, jotka on raportoitu alla.

4.1 Kaukolämpöyhtiöille tehty kysely lämmönjakelun kehittämisestä

Kysely toteutettiin työ alussa. Käytettiin sekä vaihtoehtokysymyksiä sekä avoimia kysymyksiä. Tavoitteena oli saada selvyys tilanteesta sekä kaukolämpöyhtiöisennäkemyksiä.

4.1.1 Kyselyrunko

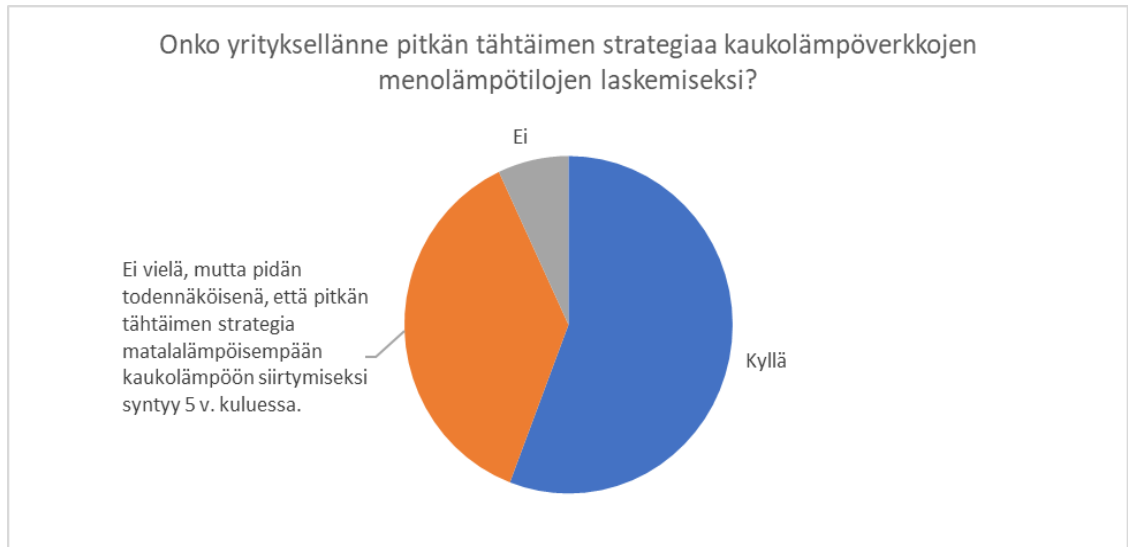
Seuraavat olivat pääkysymykset

- 1 Onko yrityksellänne pitkän tähtäimen strategiaa kaukolämpöverkkojen menolämpötilojen laskemiseksi?
- 2 Onko yrityksellänne teetetty selvityksiä tai DI-/opinnäytetöitä kaukolämpöverkkojen menolämpötilojen laskemiseksi?
- 3 Oletteko jo tehneet tähän tähtääviä toimenpiteitä?
- 4 Onko kl-verkossanne oleellisia pullonkauloja/esteitä, jotka estävät/haittaavat lämpötilojen laskemisen?
- 5 Mitkä seuraavista näette tärkeimmiksi hyödyiksi?

4.1.2 Vastausten analysointi

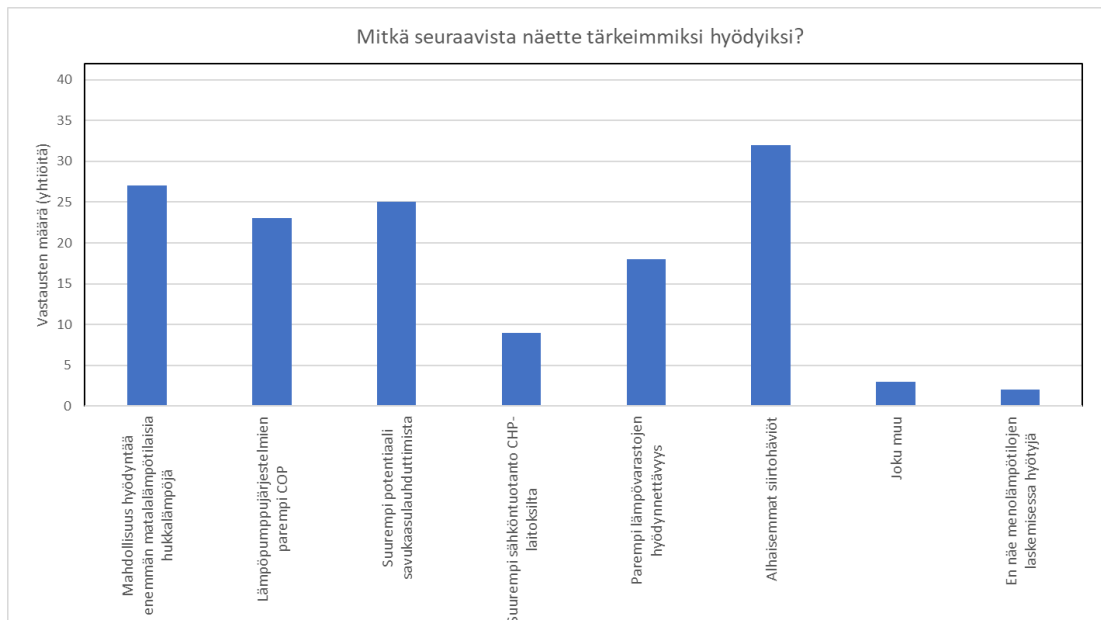
Kaukolämpöyhtiöille tehtyyn kyselyyn vastasi edustajia 43 yhtiöstä.

Yli puolella kyselyyn osallistuneista yhtiöistä on pitkän tähtäimen strategia, joka sisältää suunnitelmat menolämpötilojen laskemisen mahdollistamiseksi (kuva 10). Valtaosalla muistakin vastaajista oli tavoitteena saada strategia laadittua ja vain 3 vastaajaa ei uskonut, että heidän edustamansa yhtiö laatisi strategian seuraavan 5 vuoden aikana.



Kuva 10 Menolämpötilan laskeminen on huomioitu pitkän tähtäimen strategiassa yli puolessa kyselyyn vastanneista yhtiöistä.

Näkemyksiä menolämpötilan laskun tärkeimmistä hyödyistä kysyttiin monivalintana. Vastausten jakauma on esitetty kuvassa 11. Keskimäärin yhtiöt olivat löytäneet kolme tärkeää hyötyä. Vain yksi yhtiö oli puhtaasti sitä mieltä, ettei menolämpötilan laskemisesta ole hyötyä.



Kuva 11 Vastausjakauma kysyttäessä, mitä asioita vastaaja pitää tärkeimpinä hyötyinä matalammasta menolämpötilasta.

Menolämpötilan laskemisen suurimmaksi hyödyksi nähtiin siirtohäviöiden pienentyminen, jonka mainitsi 74 % yhtiöistä. Tärkeäksi nähtiin myös mahdollisuus hyödyntää enemmän matalalämpötilaisia hukkalämpöjä ja lämpöpumppujen parempi hyötysuhde matalammalla tuottolämpötilalla.

Kyselyssä oli tarjolla myös perusteita, jotka eivät koske kaikkia verkkoja, kuten vaikutukset savukaasupesureiden lauhdutukseen, sähköntuotantoon ja lämpövarastojen toimintaan. Vastausten määrästä voi arvioida, että nämä syyt ovat kuitenkin

merkittäviä niissä verkoissa, joissa savukaasupesureita, CHP-laitoksia tai lämpövarastoja on. Yllättäen CHP-sähkön tuotannon kasvatusta ei pitänyt tärkeänä edes kaikki sellaiset yhtiöt, joilla merkittävä osuus kaukolämmöstä tuotetaan omalla CHP-laitoksella. Sen sijaan pesurin tuotannon paraneminen on melko monen mielestä tärkeää, vaikka hyötyjä ei välttämättä edes ole saavutettavissa. Muina hyötyinä oli mainittu mm. kilpailukyvyyn ylläpito muita lämmitysmuotoja vastaan sekä joustavuuden lisääminen.

Puolet yhtiöistä on teettänyt ulkopuolisella taholla tai tehnyt sisäisesti selvityksen menolämpötilojen laskusta joko verkoston tai asiakaslaitteiden näkökulmasta. Vastaajien tietojen mukaan opinnäytetöitä aiheesta on teettänyt tai parhaillaan teettämässä 6 yhtiötä.

Noin puolessa yhtiöistä on vastausten perusteella tehty onnistuneita toimenpiteitä menolämpötilan laskemiseksi. Tyypillisimmin menolämpötilan laskemista on vain lähdetty kokeilemaan joko selvitysten, tekoälyn tai omien laskelmien perusteella. Parilla yhtiöllä kyseessä on ollut testiluonteiset ajot ja muilla on matalammat menolämpötilat otettu ihan pysyvään käyttöön. Tehdyt tai tekeillä olevat verkostotoimenpiteet mainittiin vain kolmessa vastauksessa, mutta tulevaisuudessa näitä oli jo hieman enemmän. Tulevaisuudessa toimenpiteissäkin painopiste näyttäisi olevan siinä, että optimoidaan menolämpötilaa nykyisen verkoston asettamissa rajoissa. Muutamassa vastauksessa mainittiin myös lämmöntuotannon hajauttaminen rakentamalla lämpöpumppulaitoksia sekä asiakaslaitteiden uusinnan edistäminen.

Yhtiöiltä kysyttiin myös esteitä menolämpötilan laskulle. Tähän kysymykseen pyydettiin vastauksia erityisesti verkostomitoituksen ja asiakkaiden lämpötilavaatimusten näkökulmasta. Useimmiten mainittiin verkon ahtausta, eli liian suuriksi kasvavat painehäviöt. Osalla käsitys ahtaudesta perustui verkostosimulointeihin tms. laskelmiin ja pulonkaulat osattiin täsmällisesti määrittellä tai niiden varalle oli jo toimintasuunnitelma. Tyypillistä oli kuitenkin myös epämääräisemmin ahtausta verkosta puhuminen. Vain harva oli maininnut syyksi paine-erojen tai painetasojen kasvua laitojen ja pumppaamojen lähialueella tai pumppauksia ylipäättänsä rajoittavaksi tekijäksi. Tämä toki voi johtua kysymyksen asettelusta, sillä terminä verkostomitoitus tuo mieleen verkoston ahtauden. Joissakin vastauksissa pumppaussähkön kulutus oli kuitenkin mainittu, vaikka tyypillisesti lisääntyvän pumppauksen kustannus on pienempi kuin säästöt lämpöhäviöissä.

Myös asiakaslaitteiden toiminta ja vanhan ohjeistuksen mukainen mitoitus koettiin rajoittavana tekijänä. Monessa verkossa oli myös asiakkaita, joilla oli korkeampi menolämpötilavaatimus. Tällaisia kohteita on tyypillisesti teollisuudessa. Vain harvalla yhtiöllä vaikutti olevan tarkasti selvillä ne käyttöpaikat, jotka todellisuudessa rajoittavat menolämpötilan laskua. Ehkä menolämpötilan laskua ei oltu uskallettu myöskään kokeilla kovin pitkälle, sillä vain yhdessä vastauksessa oli nostettu rajoittavana tekijänä suoraan esiin paluulämpötilan nousu, joka seuraa liiallisesta menolämpötilan laskusta.

Muutama yhtiö mainitsi rajoittavana tekijänä menolämpötilan liiallisesta laskusta seuraavan liian matalan lämpötilan verkoston latvaosilla, jolloin asiakkaan lämmönsaanti vaarantuu, mutta yleisesti tätä ei ilmeisesti pidetty rajoittavana tekijänä.

4.2 Haastattelut/kontaktoinnit

Web-kyselyn jälkeen suoritettiin tarkempi haastattelukierros, jotta tiettyjä asioita saatiin käsitellä vähän syvällisemmin. Näitä suoritettiin seuraavien tahojen kanssa:

- 10 kaukolämpöyhtiötä
- kaukolämpöyhtiön asiakaspalvelu-osasto
- LVI-suunnittelijat
- LJK-toimittajat
- hydraulinen simulointi
- tutkijoita

Haastattelujen pohjalta voidaan tuoda esiin seuraavia huomioita:

- tietämys matalalämpö-verkkoihin liittyvistä teknisistä ja taloudellisista vaikutuksista ja haasteista on korkealla tasolla,
- asiakaslaitteet voivat tuottaa vaikeuksia,
- laitekantatieto on jossain määrin puutteellista, varsinkin koskien asiakaslaitteita,
- pääsääntöisesti tiedonsiirto LVI-suunnittelun ja KLY:n välillä toimii toivotusti. Vanhoissa kohteissa lämpöhäviölaskelmat sekä pattereiden mitoitus on johtanut yleisesti ylimitoituksiin (varman päälle toteutus). Nykyisin mitoitus on tarkempaa, esim. kylmäsiltojen vaikutukset sekä sisäiset kuormat pienentävät tehontarvetta,
- KLY:n sisällä tuotanto ja jakelu voivat ajatella asioista eri tavalla. Loppukäyttäjistä huolehtiminen vaihtelee,
- verkot ovat yksilöllisiä. Pääsääntöisesti verkostoja ajetaan tehonsiirtokyvyn perusteella, paikallisesti esiintyy kapasiteettirajoituksia, jotka johtavat korkeampiin lämpötiloihin,
- suoraa korrelaatiota lämpötilan alentamisen vaikutusta verkon absoluuttisten lämpöhäviöiden alenemiseen ei välttämättä ole,
- jos teollisuusyritys tarvitsee korkeaa lämpötilaa, sen takana oleville kuluttajille shuntataan,
- asiakkaiden kipukynnyksiä etsitään usein kokeilemalla eli lasketaan lämpötiloja.
- osalla kaukolämpöyhtiöistä 65 °C tulolämpötila on yksi verkon jatkuvasti seurattavista ajoparametreista eli kaukolämpöverkostoa ohjataan siten, että minimivaade täytetään.

5

**Kiinteistöissä tehtävät
muutokset**

5 Kiinteistöissä tehtävät muutokset

5.1 Määräykset ja ohjeet

Energiateollisuus ry:n julkaisu K1 Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet kerää kulloisenkin julkaisun julkaisuhetkellä olleet ajantasaisen lainsäädännön sekä ohjeet. Näillä määräyksillä ja ohjeilla määritellään rakennuksen kaukolämmityslaitteiden suunnittelulle, asennukselle ja laitteille perusvaatimukset, joiden toteuttamisella taataan asiakkaiden laitteiden ja lämmönmyyjän kaukolämpöjärjestelmän tehokas toiminta. Käytettävien laitteiden ja varusteiden tulee olla tyyppitestattuja ja hyväksytyjä kulloinkin voimassa olevien kansainvälisten ja kansallisten lakien, määräysten, asetusten ja standardien sekä ET:n antamien määräysten, suositusten ja ohjeiden mukaisesti. K1-julkaisun kappaleessa 1.4 on lueteltu toimialan muita määräyksiä ja ohjeita.

Tiekartta-projektiin oleellisesti vaikuttavat ohjeet tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden mitoituksen perusteena olevat lämpötilat. Ko. mitoitus on aikojen myötä muuttunut, ks taulukko alla.

Taulukko 2. Mitoitusarvot K1 julkaisujen mukaisesti.

		Rakennusten kaukolämmitys			
		Määräykset ja ohjeet			
		2021 ³⁾	2013 ⁵⁾	2003 ⁴⁾	1992 ⁴⁾
Lämmin käyttövesi					
Ensiö	Tulo	70	70	70	70
	Paluu	≤20	≤20	≤25	≤25
Toisio	Tulo	10	10	10	10
	Paluu	58	58	55	55
Lämmitys: uudet rakennukset (radiaattorilämmitys)					
Ensiö	Tulo	90 (max)	115	115	115
	Paluu	≤33 ²⁾	≤33 ²⁾	≤45 ¹⁾	≤45 ¹⁾
Toisio	Tulo	60 (max)	≤45	≤70	≤70
	Paluu	30 (max)	≤39	≤40	≤40
Lämmitys: uusinnat					
Ensiö	Tulo	90	115	115	115
	Paluu	43 (...63) ²⁾	43 (...63) ²⁾	≤65 ¹⁾	≤65 ¹⁾
Toisio	Tulo	≤70	≤80	≤80	≤80
	Paluu	max 3°C >	≤60	≤60	≤60
Ilmanvaihto: uudet					
Ensiö	Tulo	90 (max)	115	115	115
	Paluu	33 (max)	33 (max)	≤65	≤65
Toisio	Tulo	60 (max)	60 (max)	60	60
	Paluu	30 (max)	30 (max)	40	40

1) asteisuus max. 5°C

2) asteisuus max.3°C

3) kahden säätöventtiilin käyttösuositus, jos k_{vs} -arvo >4,0

4) kahden säätöventtiilin suositus aina jos tehontarve vaihtelee nopeasti ja laajasti

5) kahden säätöventtiilin käyttösuositus, jos k_{vs} -arvo >6,3

Vertailun vuoksi, Ruotsissa samat mitoitusarvot ovat seuraavan kuvan mukaiset.

Heating system	District heating system supply temperature High- / low-temp. system	District heating system return temperature	Space heating system supply temperature	Space heating system return temperature
Space heating systems in new buildings	100/75 °C	<22 °C <48 °C <43 °C	40 °C 60 °C 60 °C	20 °C 45 °C 40 °C
Ventilation systems in new buildings	100/75 °C	<33 °C	60 °C	30 °C
Space heating systems in older buildings built in accordance with 1975 Building Regulations or earlier	100 °C	<63 °C	80 °C	60 °C

Kuva 12. Kaukolämmön asiakaslaitteiden mitoituslämpötilat, tilojen lämmitys⁷.

5.2 Kuluttajat

Energiateollisuus ry:n tilastot jakavat kaukolämpöasiakkaat kolmeen eri kategoriaan: asuintaloasiakkaat, teollisuusasiakkaat ja muut asiakkaat. Näiden kategorioiden määrät ovat seuraavan taulukon mukaiset.

Taulukko 3. Kaukolämpöyhtiöiden asiakkaiden keskeiset tunnusluvut⁸.

		Asuintaloasiakkaat	Teollisuusasiakkaat	Muut asiakkaat	Yhteensä
Lukumäärä	kpl	115 211	5 563	22 768	155 110
Sopimusteho	MW	8 299	1 912	7 607	19 200
	%	43,2 %	10,0 %	39,6 %	100 %
Rakennustilavuus	1000 m ³	451 728	130 392	397 964	1 019 783
Kaukolämmön käyttö	GWh	16 991	2 996	11 658	35 311
	%	48,1 %	8,5 %	33,0 %	100 %

Tätä selvitystä ajatellen asiakaskategoriat vaikuttavat seuraavasti:

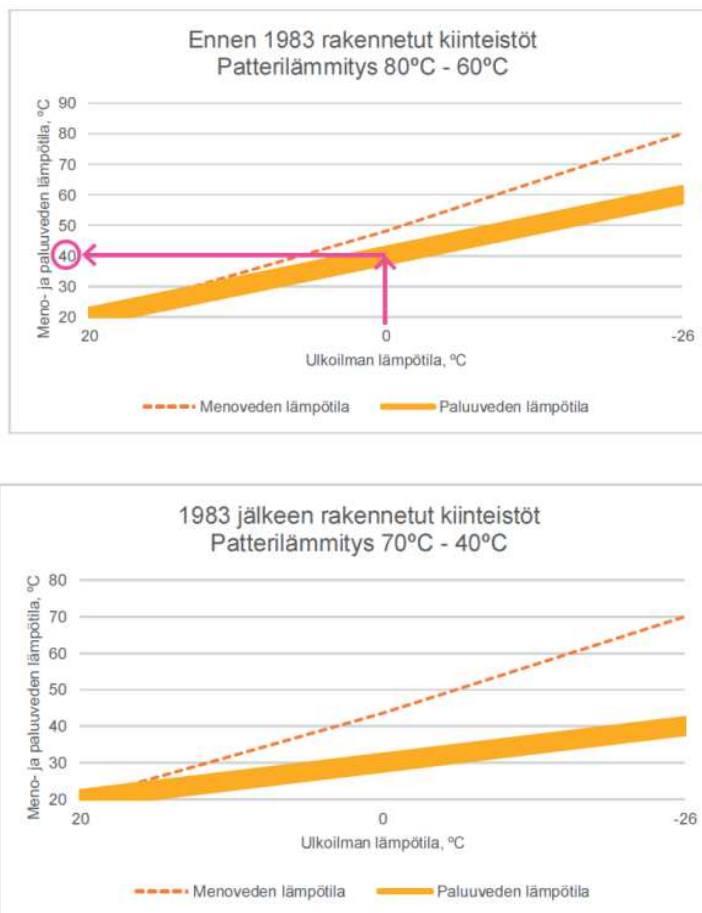
- asuintalot (lähinnä asuinkerrostalot). Lämmitysenergian kulutus koostuu tilojen lämmityksestä sekä lämpimästä käyttövedestä. Rakennusten energiantarve ja kulutus riippuu rakentamisvuodesta ja sen aikaisista rakentamismääräyksistä
- teollisuusasiakkaat: ei voida tyypittää
- muut asiakkaat: lähinnä julkiset rakennukset sekä liikerakennukset. Pienasiakkaita ovat yhden asunnon talot, kahden asunnon talot sekä pientaloihin verrattavat erilliset asuinrakennukset.

Asuinkerrostalot on suurin yksittäinen samantyyppinen kuluttaja. Lämmönkulutus jakautuu kahteen osaan: lämmin käyttövesi ja tilojen lämmitys. Uudemmissa

⁷ Svensk Fjärrvärmes Tekniska bestämmelser, F:101 Fjärrvärmecentralen-Utförande och installation, 2014

⁸ Energiateollisuus, vuositilastot 2021. Taulukko 5

rakennuksissa on myös ilmanvaihdon tuloilman esilämmitystä. Matalalämpöisen kaukolämmön mielessä rakennuksen patteriverkoston mitoituslämpötilat ovat kiinnostava tekijä (tästä tarkemmin kappaleessa 5.4). Vanhemmat rakennukset, joista osa on muutettu öljylämmityksestä kaukolämpöön, on mitoitettu lämpötiloilla 90/70°C (vanhat öljylämmityskohteet) tai 80/60°C. Noin vuoden 1983 jälkeen mitoituslämpötilat ovat olleet 70/40°C ja vielä uudemmat rakennukset on suunniteltu vieläkin alhaisimilla lämpötiloilla (ks Kuva 13).

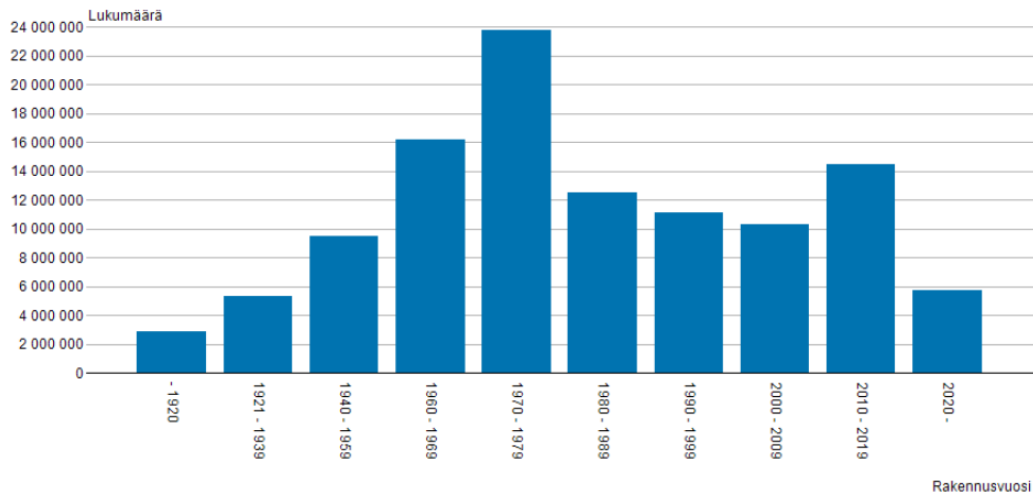


Kuva 13. Patteriverkoston mitoituslämpötilät⁹.

Ennen vuotta 1983 rakennettuja taloja on Suomen rakennuskannassa yhä merkittävä määrä (Kuva 14).

⁹ Lämmitysverkon meno- ja paluuv veden toimintalämpötilät. Helsingin Energia Oy. Moniste. 2015

Rakennukset ja kerrosala muuttujina Rakennusvuosi. 012 Kerrostalot, Kerrosala (m²), 2022.



Kuva 14. Asuinkerrostalot rakennusvuoden funktiona (Tilastokeskus).

1960-1980 rakennettujen asuinkerrostalon lämpöenergiatase on alla olevan kuvan mukainen. Pois lukien lämminkäyttövesi, muut lämpöhäviöt katetaan patteriverkostolla. Ko. lämpötehon tarve on verrannollinen ulkolämpötilaan.



Kuva 15. Asuinkerrostalojen lämpöenergiatase. Vuosina 1960-1980 rakennetut talot¹⁰.

5.3 Tehontarve

Uudisrakennuksen lämmityksen ja ilmanvaihdon tehontarpeet lasketaan Ympäristöministeriön rakentamista koskevien asetusten ja niihin liittyvien ohjeiden mukaisesti. [Suomen rakentamismääräyskokoelma]

¹⁰ Taloyhtiön energiakirja

Muissa kuin uudisrakennuksissa lämmitystehontarve lasketaan käytettävissä olevien kulutustietojen ja mittausten perusteella. Mitoituksessa otetaan huomioon, onko rakennusta ja lämmityslaitteita käytetty oikein (esim. sisälämpötilat, ilmanvaihdon käyttäjät, ilmavirrat).

5.4 Radiaattoriipiiri

5.4.1 Yhteenveto käytössä olevista lämmönjakomenetelmistä

Patteriverkostojen kytkentävaihtoehtoja ovat mm.

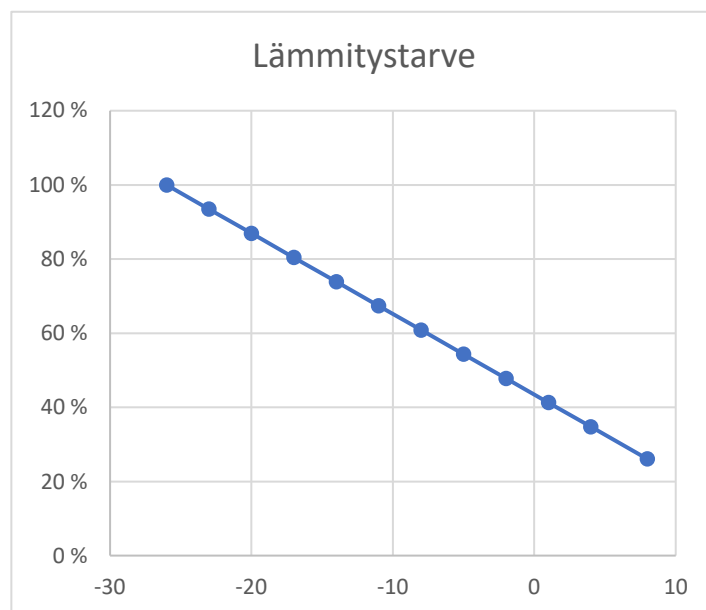
- perinteinen 2-putkijärjestelmä (patterit rinnan kytkettyinä)
- 2-putkijärjestelmä käännetyllä paluulla
- 1-putkijärjestelmä (patterit sarjaan kytkettyinä)

5.4.1.1 Tilojen lämmitys

Normaalisti lämmönjako asuinkerrostaloissa toteutetaan 2-putkipatteriverkostolla tai lattialämmityksellä. Lattialämmityksen lämpötilatasot ovat alhaiset, siksi niitä ei käsitellä tämän tiekartan yhteydessä.

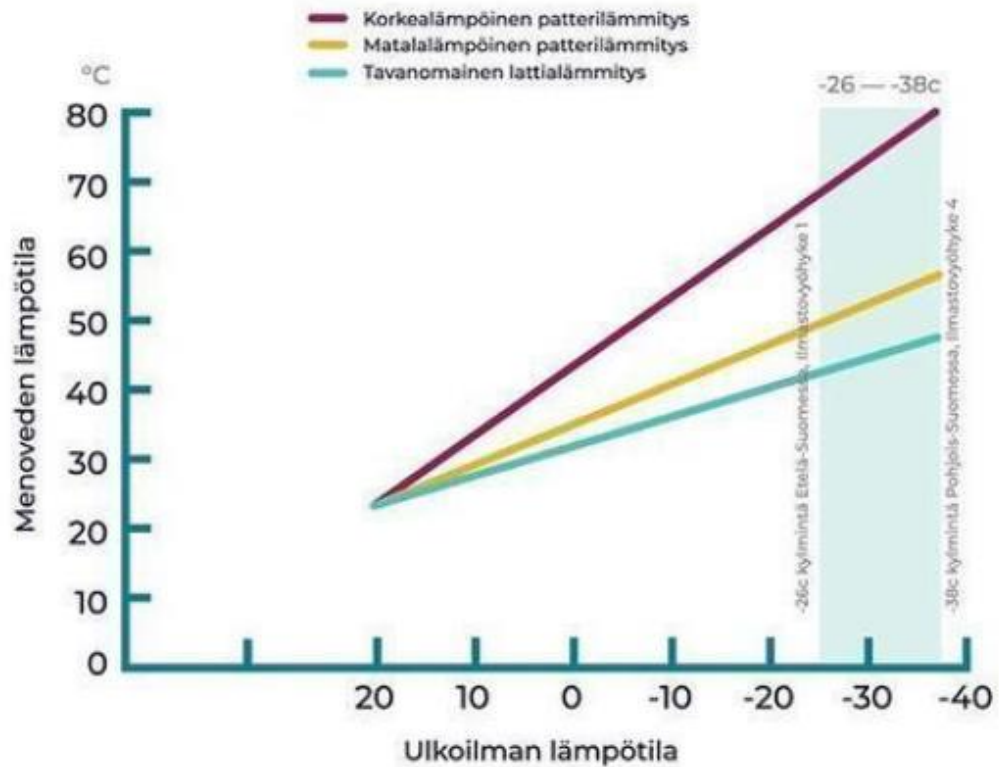
Lämmin vesi kierrätetään huonekohtaisissa lämmityspattereissa, jolloin verkossa kiertävän veden lämpö siirtyy pattereiden kautta huoneeseen. Huonekohtainen lämmityspatteri on yleinen etenkin vanhoissa pientaloissa ja kaikenikäisissä kerrostaloissa. Lämmityspatterit sijoitetaan yleensä ikkunan alle, jotta patterin tuoma lämpö tasaa ikkunoiden kautta tulevaa viileämpää ilmaa ja poistaa vedon tunnetta.

Rakennusten lämmitystarve riippuu ulkolämpötilasta – kylmempinä päivinä tarvitaan enemmän lämpöä kuin leudompina.



Kuva 16. Lämmitystehontarve ulkolämpötilan funktiona.

Lämmitystä säädetään yleisimmin säätökäyrän avulla. Säätökäyrät vaihtelevat riippuen lämmönjakomenetelmästä sekä mitoituslämpötiloista, ks. kuva alla.



Kuva 17. Lämmöntilansäädön säätökäyrän asetukset korkea- ja matalalämpöiselle patterilämmitykselle ja tavanomaiselle lattialämmitykselle¹¹.

Patteriverkoston perussäätö on tarpeen koska:

- Tietyt huoneet eivät saavuta koskaan haluttua lämpötilaa, erityisesti kuormituksen vaihdellessa.
- Halutun lämpötilan saavuttavan huoneen lämpötila vaihtelee erityisesti pienellä ja keskipiisalla kuormituksella, vaikka lämmönlähteet on varustettu pitkälle kehitetyillä säätimillä.
- Vaikka lämmitysyksiköiden teho on riittävä, se ei riitä käynnistysvaiheessa esim. viikonloppu- tai yöpudotuksen jälkeen.

Matalalämpötilaista KL-järjestelmän kannalta oleellinen tekijä on, että patteri/radiaattori toimii kuten lämmönsiirrin eli sen luovuttama lämpöteho laskee, jos patteriveden keskimääräinen lämpötila laskee (jos vesivirrat pysyvät samoina). Tämä perustuu yleiseen lämmönsiirto-oppiin sekä kokemukseräiseen patterin lämmönluovutuseksponttiin. Alla olevan yksinkertaistetun laskennan mukaan 80/60°C mitoitettun verkoston muuttaminen lämpötiloille 70/40°C alentaa teoreettisesti patterin lämmönluovutusta 58%:iin.

¹¹ Motiva Taloyhtiöt- yhdessä energiatehokkaasti (viitattu 14.9.2023)

Sama patteri, sama vesivirta

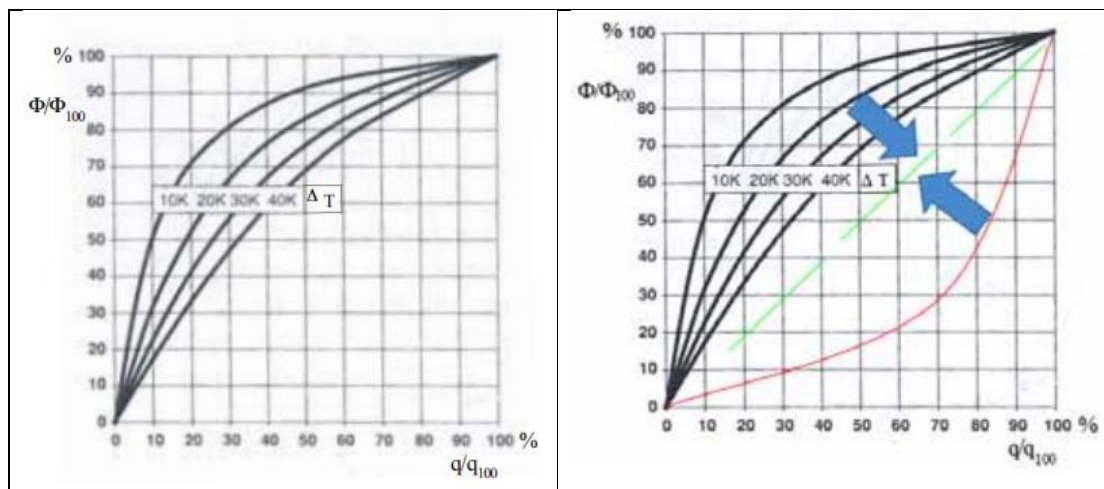
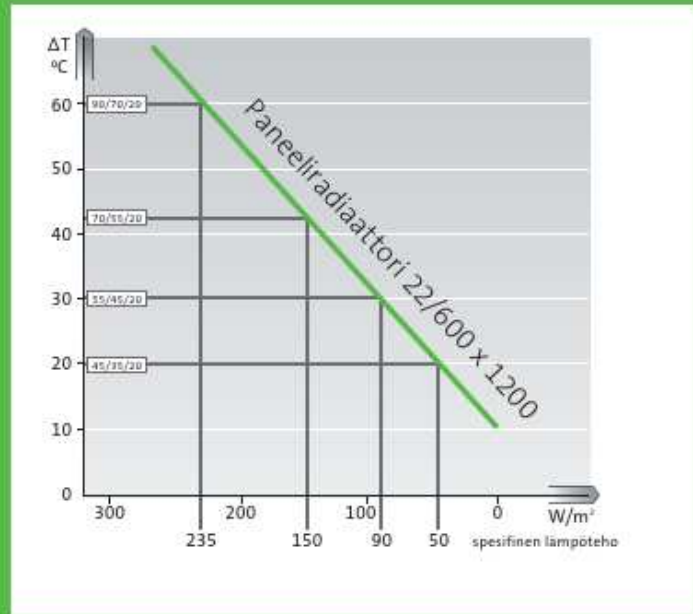
Patteri menovesi	°C	80	70
Huone	°C	21	21
Patteri paluuvesi	°C	60	40
ΔT_{in}		48,31	31,67
patterin lämmönluovutuseksponentti		1,3	
Patterin lämmönluovutus	%	100 %	58 %

Kuva 18. Arvio patterin luovuttamasta lämpötehosta eri patteriveden lämpötiloilla.

Saman voi havaita myös seuraavana olevasta radiaattorivalmistajan kuvasta.

Kuva 2.7
Saman kokoiset
radiaattorit riittä-
vät rakennuksen
energiatarpeiden
muuttuessa.

Lämmitysteho ja
lämpötila ΔT
näkyvät kaaviossa.



Kuva 19. Patterin lämmönluovutusteho vesivirran funktiona eri lämpötilaeroilla (vasen) ja patterin ja patteriventtiin yhdistäminen (oikea)¹².

Se, onko tämä todellinen ongelma, on oleellinen kysymys. Tätä on tutkittu erittäin laajasti sekä kansainvälisesti että Suomessa, sekä teoreettisesti että käytännön kokeissa. Lopputulos ensin: pääsääntöisesti eli yli 90%:ssa taloista ei ole^{13,14}.

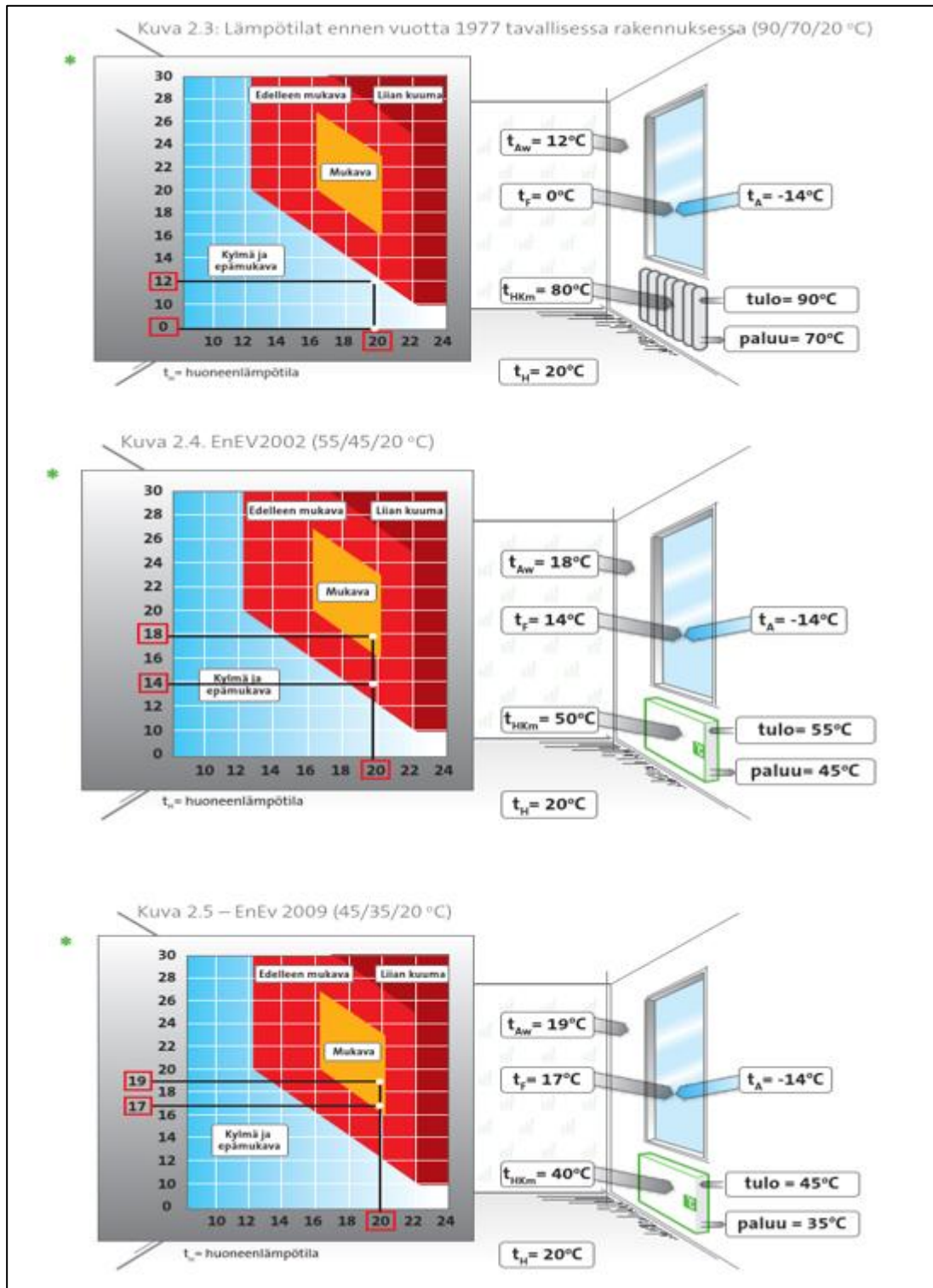
Syyt ongelmakohteiden vähäisyyteen ovat mm. seuraavat:

¹² Purmo/Rettig Lämpö Oy. Radiaattoreiden käyttöopas matalalämpöjärjestelmissä.

¹³ Hasan, Kurnitski, Jokiranta. A combined low temperature water heating system consisting of radiators and floor heating. VTT&Aalto University. 2009: Radiaattoreiden lämmönluovutus on tyypillisesti riittävä matalamillakin lämpötiloilla

¹⁴ Ljungren, Wollerstrand. Optimum performance of radiator space heating systems connected to achieve lowest possible district heating return temperature. 10th International Symposium on District Heating and Cooling. 2006.

- alkuperäiset lämpöhäviölaskelmat sisältäen sen aikaiset varmuuskertoimet mm. kylmäsiltojen varalle ovat olleet ylimitoitettuja
- patterit on sijoitettu ikkunoiden alle ikkunamittojen mukaisesti, jolloin ne ovat usein ylimitoitettuja
- talojen sisäiset lämpökuormat ovat kasvaneet alentaen tehontarvetta
- talojen energiansäästötoimenpiteet ovat alentaneet lämmitystehontarvetta sekä kulutusta
- paremmat ikkunat ja seinäeristeet ovat nostaneet pintalämpötiloja, jolloin lämpöviihtyvyys saavutetaan alhaisemmilla sisälämpötiloilla

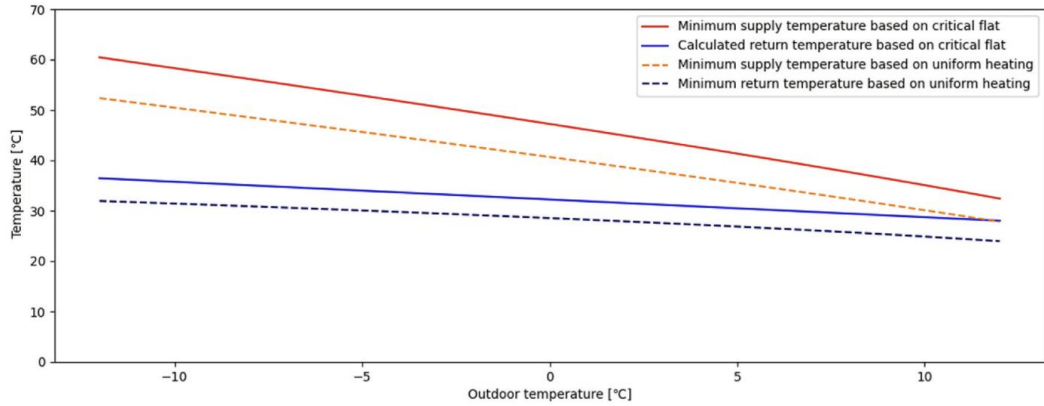


Kuva 20. Lämpöviihtyvyyden aistiminen eri tilanteissa¹⁵.

Usein ongelmakohteissa varsinaiset ongelmat kohdistuvat yksittäisiin huoneisiin/asuntoihin, tätä voi kutsua huonoimman lenkin dillemmaksi, joka usein nostaa energiakulutusta. Seuraavassa kuvassa nähdään kriittisen asunnon vaikutus meno- ja

¹⁵ Purmo/Rettig Lämpö Oy. Radiaattoreiden käyttöopas matalalämpöjärjestelmissä.

paluuveden lämpötiloihin. Tähän usein auttaa patteriverkoston uusi perussäätö uusilla järjestelmälämpötiloilla.



Kuva 21. Heikoimman lenkin vaikutus¹⁶.

5.4.1.2 Ilmanvaihto

Ilmanvaihdon tuloilman lämmitys toteutetaan ilmanvaihtokojeen lämmityspattereilla. Mitoituslämpötilat, ks Taulukko 2.

5.4.1.3 Lkv

Lämmin käyttövesi lämmitetään lämmönjakokeskuksen lkv-siirtimellä. KytKentä voi olla toteutettu välisyötöllä tai ilman.

Mitoituslämpötilat, ks Taulukko 2.

5.5 Lämmönjakokeskus

Lämmönsiirtimen ominaisuuksiin vaikuttavia tekijöitä ovat lämmönsiirtopinta-ala ja siirtimen pituus (vesivirran kulkema matka siirtimessä). Mitä pienempi lämpötilaero nesteiden välillä on, sitä suuremman lämmönsiirtopinta-alan ja pitemmän matkan lämmönsiirtyminen tarvitsee. Tämän takia lämmönsiirtimissä ei kannata pyrkiä paluuvirtaamien liian pieneen asteisuuteen (paluulämpötilojen erotukseen), ellei se ole aivan välttämätöntä. Asteisuus on nykyisin 3 °C lämmityksen lämmönsiirtimissä K1:n mukaan.

Lämmönsiirtimet mitoitetaan lämmitystehontarvetta vastaaviksi. Mitoituksessa pyritään mahdollisimman tehokkaaseen kaukolämpöveden jäähtymään kaikissa käyttötilanteissa.

Lämmönsiirtimen teho-ominaisuuksia voidaan käsitellä logaritmisen keskilämpötilaeron avulla. Logaritminen keskilämpötilaero (LMTD tai ΔT_{ln}) kertoo lämmönsiirtimen tehokkuudesta. Siirtimen tehot voidaan määrittää seuraavilla kaavoilla.

¹⁶ Tunzi, Benakopoulos, Yang, Svendsen. Demand side digitalisation: A methodology using heat cost allocators and energy meters to secure low-temperature operations in existing buildings connected to district heating networks. Energy 264 (2023)126272

Lämmönvaihtimen läpi siirtyvä teho voidaan esittää kaavoilla

$$\phi = \dot{m} c_p \Delta T = U \Delta T_{\ln} \quad (\text{VDI Heat Atlas 1993}).$$

missä	ϕ	on lämpöteho [kW]
	\dot{m}	on jommankumman virtaavan aineen massavirta [kg/s]
	c_p	on saman aineen ominaislämpökapasiteetti [J/(kgK)]
	ΔT	on saman ainevirran tulo- ja menolämpötilojen erotus [K]
	U	on lämmönvaihtimen kokonaislämmönsiirtokerroin [W/K]
	ΔT_{\ln}	on nk. logaritminen lämpötilaero [K]

Logaritminen lämpötilaero riippuu lämmönvaihtimen tyypistä, mutta esimerkiksi myötä- ja vastavirtavaihtimelle sen voi esittää muodossa

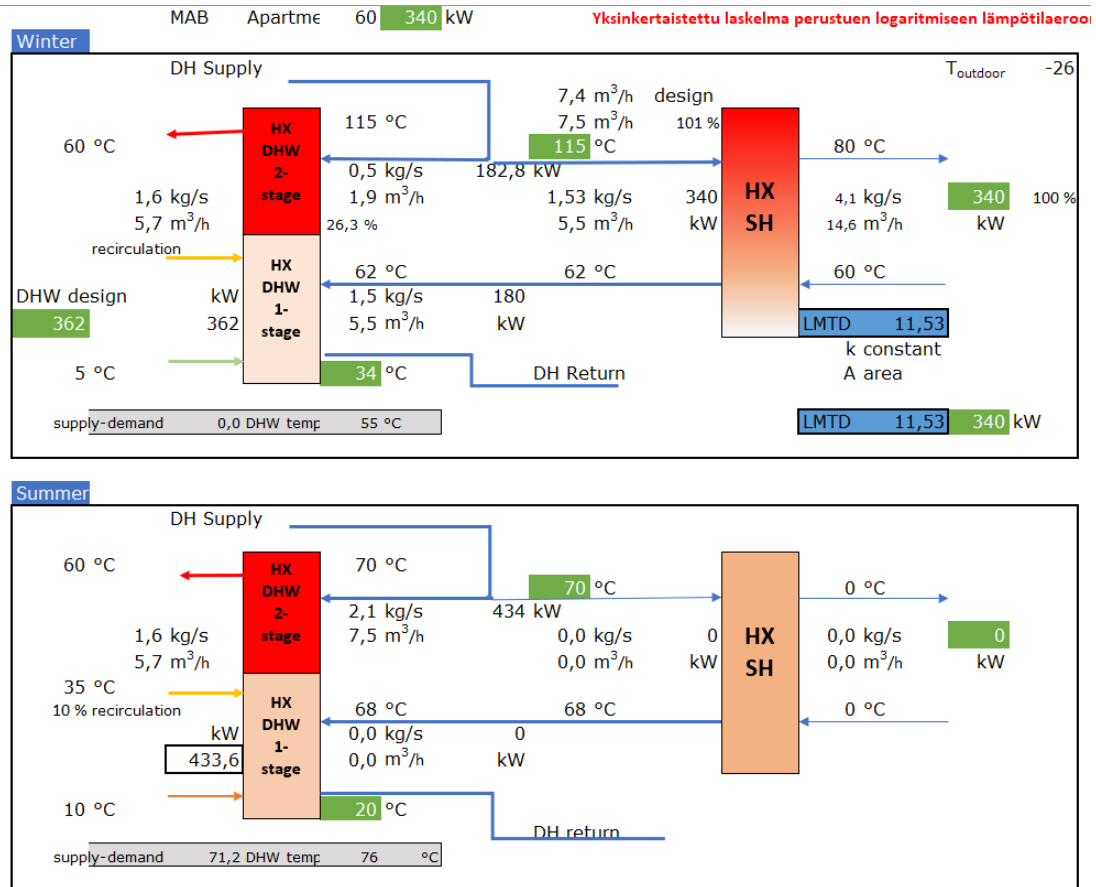
$$\Delta T_{\ln} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \quad (\text{VDI Heat Atlas 1993}),$$

missä	ΔT_1	on virtojen lämpötilaero lämmönvaihtimen alkupäässä [K]
	ΔT_2	on virtojen lämpötilaero lämmönvaihtimen loppupäässä [K]

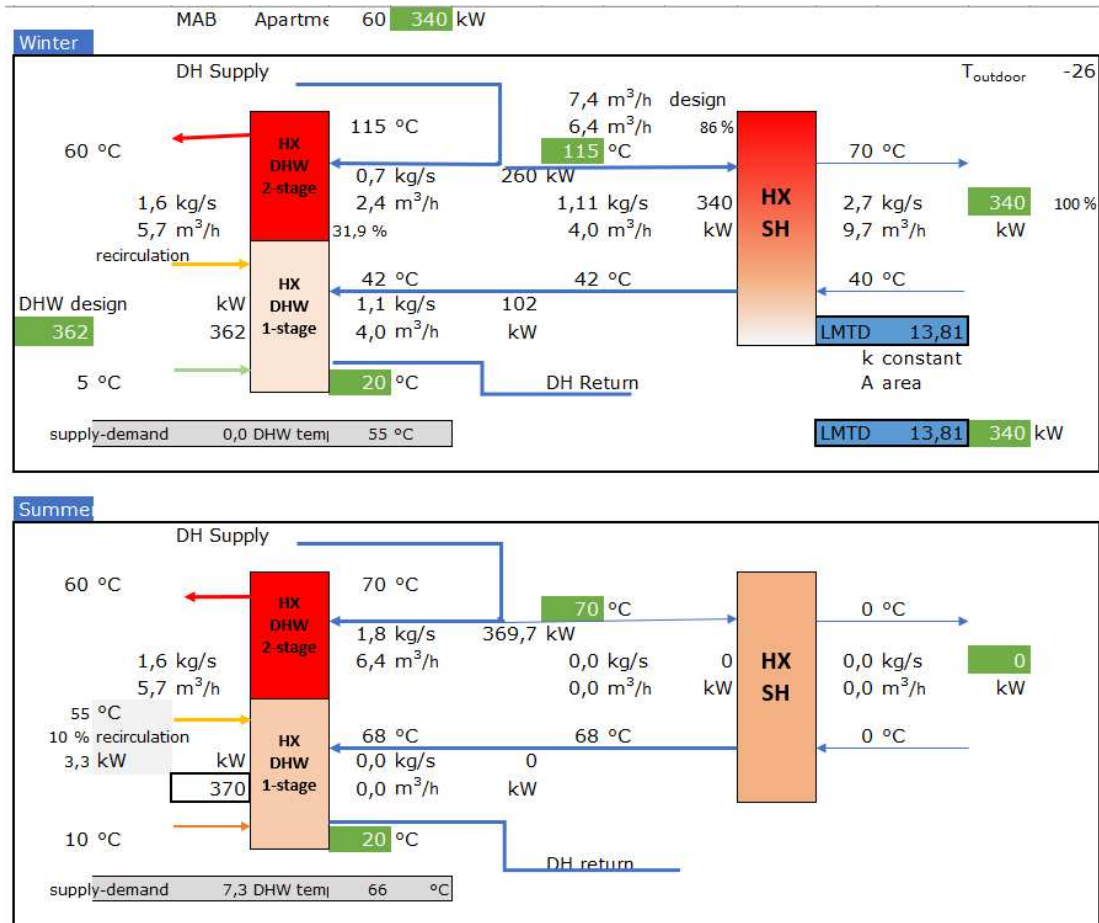
Lämmönvaihtimen tehokkuutta kuvaa puolestaan usein nk. rekuperaatioaste

$$\varepsilon = \frac{\Delta T_{\max}}{\theta_{\theta}}$$

missä	ε	on rekuperaatioaste
	ΔT_{\max}	on suurempi kylmän ja kuuman virran lämpötilamuutoksista
	θ_{θ}	on suurimman ja pienimmän lämpötilan erotus.



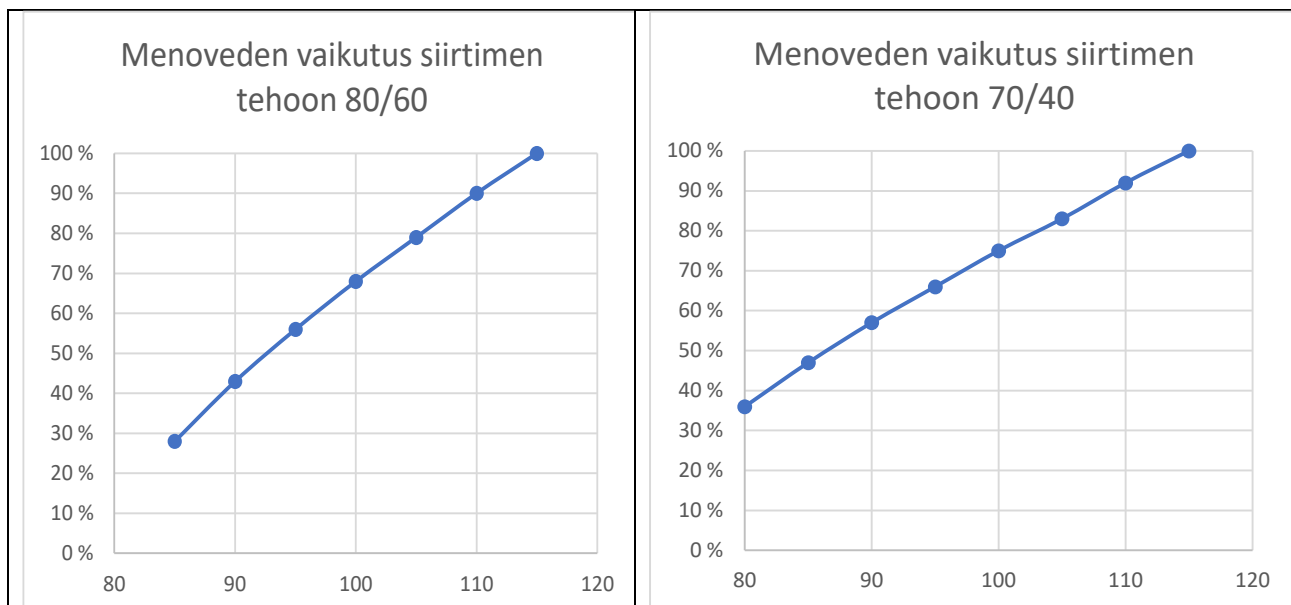
Kuva 22. LJK-laskelma perustuen logaritmiseen lämpötilaeroon, toisioverkon mitoitus 80/60°C (Elomatic).



Kuva 23. LJK-laskelma perustuen logaritmiseen lämpötilaeroon, toisioverkon mitoitus 70/40°C (Elomatic).

Lämmityksen siirtimen tehonsiirto eri toisiopiirin mitoituslämpötiloilla eri tulolämpötiloilla on havainnollistettu seuraavassa taulukossa. Kuten havaitaan vaikutus toisiopiirin 80/60-mitoituksella on merkittävästi suurempi.

Taulukko 4. Esimerkilaskelma ensiöpiirin menoveden lämpötilan vaikutuksesta lämmönsiirtimen tehoon (lähde: Elomatic).



5.5.1 Toisiopiiri

Toisiopiirissä tehtävät muutokset ovat rakennuksen omistajan vastuulla. Niillä voidaan vaikuttaa jäähtymään eli paluulämpötilaan.

5.5.1.1 Lämmönsiirtimien mitoitus

Käyttöveden lämmönsiirtimen mitoituksessa lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaamana käytetään YM asetuksen 1047/2017 tueksi laaditun ohjeen mukaista lämpimän käyttöveden jako-johdon mitoitusvirtaamaa. [Talotekniikkainfo.fi – Vesi- ja viemärilaitteistot -opas]

Lämmönsiirtimen teho mitoitetaan siten, että siitä saatavan käyttöveden lämpötila mitoitus-virtaamalla on vähintään 58 °C. Lämminvesilaitteisto (ml. lämpimän käyttöveden kiertojohto) suunnitellaan ja mitoitetaan siten, että veden lämpötila siinä on vähintään 55°C (YM asetus 1047/2017 6§).

Lämmityksen ja ilmanvaihdon lämmönsiirtimet mitoitetaan suurimman esiintyvän lämmitystehontarpeen mukaisilla lämpötiloilla. Jaksoittaisen lämmityksen yhteydessä seisontajakson jälkeinen tehohuippu on ilmoitettava todellisena mitoitus-tehona.

Lämmityspiirit, joilla on erilaiset mitoitus- tai toimintalämpötilat tai käyttöajat, toteutetaan omilla erillisillä lämmönsiirtimillä ja säätöautomaatiikalla.

Ensiöpuolen virtaamat lasketaan ja ilmoitetaan lämmönsiirtimen todellisen jäähtymän mukaisesti.

5.5.2 Ensiöpiiri

Rakennuksen sisällä toisiopiiriin kuuluvat lämmönsiirrin ja säätöventtiilit. Mitoitusta ohjaa käytettävissä oleva paine-ero, josta n. 50% tulee varata säätöventtiilillä sen auktoriteetin takaamiseksi.

5.5.2.1 Lämmönsiirtimen valinta

Lämmönsiirtimien valmistajan mukaan¹⁷ lämmönsiirrintä ei mitoiteta/valita suoraan tehon mukaan vaan sallitun painehäviön mukaisesti. K1 suosituksissa on jo aikaisemmin määritetty suurin sallittu painehäviö (yleensä 20 kPa) lämmönsiirtimelle.

5.5.2.2 Paluulämpötilan ennuste

Paluulämpötilan taso riippuu sekä toisiopiiristä että lämmönsiirtimen mitoituksesta, jolla voitaisiin tarvittaessa optimoida lämpötilatasoja (ks. Seuraava kuva).

¹⁷ Alfa Laval Internetsivut, <https://www.alfalaval.fi/teollisuusalat/lvi-teknikka/heating-and-cooling-hub/faq/#ref295719> (13.10.2023)

	<u>Oversizing of heat exchanger</u>		
	0%	100% wider	100% longer
0% oversized radiators, constant flow rate	0	-0.5	-0.8
0% oversized radiators, optimized flow rate	-1.8	-3.3	-5.8
100% oversized radiators, low flow balancing, const. flow	-12.3	-13.5	-14.6
100% oversized radiators, lowered set point, const. flow	-12.1	-12.3	-12.3
100% oversized radiators, optimized flow rate	-14.9	-16.2	-18.1

Table 2 Difference (in °C) in annual weighted return temperature from space heating heat exchanger versus reference case with a return temperature of 44.9°C

Kuva 24. Lämmityksen lämmönsiirtimen ja pattereiden ylimitoituksen vaikutus paluuveden lämpötilaan¹⁸.

5.5.3 Kytkentämuutokset

Lämmönjakokeskuksen kytkentämuutoksilla voidaan vaikuttaa paluulämpötilaan, esim. paluuvirtaaman käyttö lkv:n esilämmitykseen (normikäytäntö), lattialämmitykseen tai jopa tilojen lämmitykseen. Vaihtoehtoja on runsaasti, varsinkin tilanteissa joissa rakennukseen on suunniteltu hybridi-lämmitysjärjestelmä. Tässä ei käydä näitä räätelöityjä vaihtoehtoja tarkemmin läpi.

¹⁸ Ljunggren, Wollerstrand, Optimum Performance of Radiator Space Heating Systems Connected to achieve lowest possible district heating return temperature. 10th International Symposium on District Heating and Cooling. 2006.

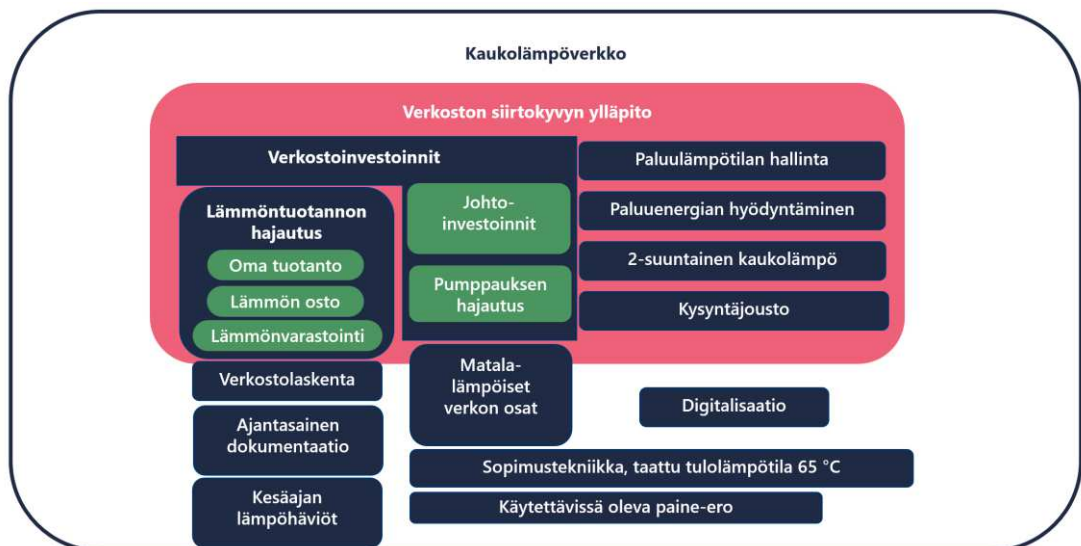
6

Kaukolämpöverkko

6 Kaukolämpöverkko

Tämän otsikon alle on kirjattu toimet, jotka ovat kaukolämpöyhtiön vaikuttamis-/päättävällässä.

Kaukolämpöverkon näkökulmasta oleellista menoveden lämpötilan laskussa on huolehtia verkoston tehonsiirtokyvystä ja sen ylläpitämisestä. Menoveden lämpötilan lasku aiheuttaa kaukolämpöverkoston jäähtymän kaventumisen, joka johtaa verkoston virtaamien kasvuun. Suuremmat massavirrat johtavat taas verkostossa isoihin painehäviöihin, koska painehäviö kasvaa toiseen potenssiin virtausnopeuden kasvaessa. Painehäviön kasvun johdosta verkostoon tulee tehdä kompensointitoimia. Alla olevaan kuvaan 25 on kuvattu toimenpiteitä, joilla edellä mainittuja kompensointitoimia pystyy toteuttamaan ja ylläpitämään verkoston siirtokykyä.



Kuva 25 Toimenpiteitä kaukolämpöverkon siirtokyvyn ylläpitämiseksi

6.1 Paluulämpötilan laskeminen

Paluulämpötilan laskulla on suuri vaikutus verkoston siirtokyvyn ylläpitämiseen. Mitoitustilalämpötilan laskiessa 115-->90 °C, kaikki kompensaatio mitä saadaan alhaisemmaksi paluulämpötilaksi tehtyä, on verkoston siirtokyvylle hyödyllistä. Näitä toimia voi toteuttaa heti vaikka itse menolämpötilatason laskua ei akuutisti tavoittelisi. Paluulämpötilan lasku hyödyttää verkoston lisäksi myös mm. CHP-tuotantoa ja savukaasun talteenottoa. Paluuveden korkeaan lämpötilatasoon vaikuttavia tekijöitä ovat:

- Asiakslaitteiden toiminta; läpikierrot
 - o käytännön toimenpiteet: asiakslaitteiden seuranta esimerkiksi energiamittauksen etäluenta hyödyntämällä
 - o Suuruusluokka ja hyöty: Yhden kiinteistön läpikierto voi vastata kymmenen vastaavanlaisen kiinteistön käyttämää virtaamaa, ja lisäksi lämmin menovesi menee suoraan paluuseen → vaikutukset verkkoon kahta eri kautta, isompi virtaus ja korkeampi paluu, vaikutukset ovat vähintäänkin paikallisia.

- Verkoston nk. Lämpimänä pidot; läpikierröt, "hullunkierrot"
 - o käytännön toimenpiteet: Tiedossa olevien läpikiertojen tarkastus, kaivokierrosten yhteydessä havainnointi ei tiedossa olevista läpikiirroista
- Lämmöntuotantoyksiköihin lämpimänä pidot; tyypillisesti vara- ja huipputuotantoyksiköt
 - o käytännön toimenpiteet: vara- ja huippulaitosten lämpimänäpidon tarkastus varmistaen ettei laitoksella ole turhia läpikiertoja.

6.1.1 Paluuenergian hyödyntäminen

Paluuenergiaa hyödynnetään tällä hetkellä mm: katujen/torien sulanapidossa sekä erilaisten pallokenttien lämmityksissä. Mahdollisuuksia paluuenergian hyödyntämiseen olisi myös kiinteistölämmityksissä, varsinkin uusissa kiinteistöissä, joissa lämmitysten toisiopiirin lämpötilat ovat lähellä kaukolämpöverkkojen tyypillistä paluulämpötilaa, joka on luokkaa 45-50 °C. Paluuenergian hyödyntäminen on erittäin haasteellista ja vaatii aina tapauskohtaisen tarkastelun koska:

- Paluuenergian hyödyntäminen on erittäin sijaintiriippuvaista suhteessa verkkoon. Paluulinjassa on oltava riittävästi virtausta tai virtauskapasiteettia. Esimerkiksi renkaslinjat tai lämmöntuotannon ajojärjestys voi sotkea paluuenergian hyödyntämistä, koska virtaussuunnat virtaukselle voivat vaihdella.
- Paluuenergiaa ei voi hyödyntää kaikille kuluttajille eli sen tulee olla kohdennettua
- Paluuenergiakohde vaatii käytännössä aina menopuolelta varmistuksen, jotta lämmönsaanti saadaan turvattua. Käyttövesi tulee joka tapauksessa tehdä menopuolelta tai paikallisella ratkaisulla → kohteeseen tehtävä kolmiputkijärjestelmä
- Potentiaali paluuenergian myynnille on noin 10-35 % läpivirtaustehosta riippuen lämpötilatasoista ja virtausmäärästä, jos oletetaan, että paikallisesti paluueden lämpötila on 45-50 °C ja se lasketaan paluuenergian hyödyntämisellä 40 °C:een.
 - o Mitä korkeampi paluulämpötila ja virtaus on, niin sitä suurempi potentiaali paluuenergian hyödyntämiseen on. Huomioitavaa on, että pitkällä aikavälillä tapahtuva paluueden lämpötilan lasku laskee myös paluuenergian myyntipotentiaalia. Menolämpötilan lasku taas tuo hyötyä paluuenergian potentiaalille, koska virtausmäärä kasvaa verkon jäähtymän kaventuessa.

Paluuenergian hyödyntämiselle paras paikka on päälaitoks(i)en lähellä, koska virtaus on "tasainen" eikä virtaussuunnat pääse yleensä vaihtumaan. Tällä ei kuitenkaan vaikutusta verkon siirtokykyyn eikä auta siirtymisessä alhaisempiin menolämpötiloihin vaan hyödyt tulevat lämmöntuotannolle (chp-tuotanto, savukaasupesuri) alhaisemman paluulämpötilan johdosta.

Seuraavana on lueteltu ideoita paluuenergian hyödyntämiseen mahdollisuuksista:

- Saneerauskohteissa osa piireistä (esim. lämmityssiirrin 45/33) paluupuolen kytetään → ajatus, että hyödynnetään verkon paluuta, eikä paranneta omaa jäähtymää.
 - o Tätä voi hyödyntää myös erittäin korkeiden paluiden hyödyntämisessä esim. lämpöpumpulla energian talteenottamisella. Tässä tapauksessa

lämpöpumppu toimii koko verkon lämpötaseessa pelkkänä sähkölämmityksenä, mutta voi edesauttaa paikallisesti verkon siirtokapasiteettia.

- o Uudiskohteissa ei niin merkittävää vaikutusta, kun tulee uudella mitoituksella. Ainoastaan siinä tapauksessa, että asiakas liittyy "pullonkaulalinjaan"

6.2 Lämmöntuotannon hajauttaminen

Lämmöntuotannon hajauttamisella on merkittävä vaikutus verkoston siirtokykyyn ja siten myös mahdollistaja matalampiin menolämpötiloihin siirtymisessä, koska kaukolämpöverkot on rakennettu nykyisten lämmöntuotantosijaintien mukaan, eikä virtausmääriä pystytä nostamaan ko. sijainneista määräänsä enempää. Verkoston näkökulmasta suotuisia sijainteja hajautettavalle lämmöntuotannolle on erityisesti: alhaisen paine-eron suunnat, verkoston pullonkaulat sekä käytössä/käytöstä poistetut vara- ja huipputuotantopaikat. Lämmöntuotannon hajauttamisella tarkoitetaan lämmöntuotannon sijoittamista verkoston näkökulmasta eri puolille verkkoa. Pienemmissä verkoissa hajautus voi tarkoittaa vain yhtä päätuotantolaitoksen ulkopuolista tuotantopistettä, isommissa verkoissa muutamaa eri tuotantopistettä ja isoissa verkoissa yli kymmentä eri tuotantopistettä.

Yleensä lämmöntuotannon hajauttamisen tai sijoittamisen määrittää muut tekijät kuin verkostonäkökulma kuten kaavoitus. Näin ollen tuotannon hajauttamisen mahdollisuus tulee arvioida mahdollisimman aikaisin, jotta tästä saada alkutiedot tarvittaville verkostoinvestoinneille/muille toimille.

6.2.1 Hukkalämmöt ja kaksisuuntainen kaukolämpö

Hukkalämmöt ja kaksisuuntainen kaukolämpö ovat yksi osa-alue lämmöntuotannon hajautumisessa. Tämän tyyppiset kohteet sijaitsevat yleensä muualla kuin päälämmöntuotantoyksiköiden välittömässä läheisyydessä, joten näissä tapauksissa tuotanto hajautuu luonnostaan. Verkkokohtaisesti on arvioitava, kuinka paljon verkostoon on hyödynnettävissä hukkalämpöjä eri sijainneista ja millä lämpötilatasolla ne voidaan verkkoon hyväksyä. Esimerkkejä: prosessiteollisuuden lämmöntalteenotot, datakeskukset, kylmävarastoiden ja ruokakauppojen lauhde-energiat, jäteveden puhdistamoiden lämmöntalteenotot.

Teholtaan pienien hukkalämpöjen verkkoon ottamisen voi käsittää myös tukitoimena. Esimerkiksi pienemmissä kunnissa on harvoin useita ruokakauppoja, jolloin tämän tyyppin hukkalämpökohteet ovat yksittäisiä ja eivät merkittäviä koko verkoston kannalta.

Haasteena hukkalämmöille sekä kaksisuuntaiselle kaukolämmölle on myös vuodenaika, usein verkkoon olisi saatavilla kesäaikana tuotantoa, silloin kun verkon kysyntä on pienimmillään ja välttämättä tarvetta ei ylimääräiselle lämmölle ole.

6.2.2 Lämmönvarastointi

Kaukolämpöakut sijaitsevat yleensä voimalaitosten tai muiden päätuotantolaitosten välittömässä läheisyydessä. Jos kaukolämpöakku on mahdollista sijoittaa muualle kuin päätuotantolaitoksille, niin tällöin akku toimii ikään kuin hajautettuna tuotantona. Haasteena akun sijoitukseen verkon varrelle on akun latauslämpötila. Ilman esimerkiksi sähkökattilaratkaisua akkuun pystyy lataamaan vain kyseisellä hetkellä verkossa

vallitsevaa menolämpötilaa. Alhaisempi latauslämpötila on suoraan pois akun kapasiteetista.

6.3 Pumppauksen hajautus, välipumppaamot

Pumppauksien hajautuksella tarkoitetaan välipumppaamoiden asentamista verkon varrelle eli pumppausta ikään kuin jaetaan lämmöntuotantolaitosten ja välipumppaamoiden kanssa. Välipumppaamoiden hyötyjä:

- Niiden avulla pystytään kasvattamaan siirto- ja runkolinjojen siirtokapasiteettia kompensoimalla kasvavaa painehäviötä. Siirto- ja runkojohtojen mitoitusohje perustuu sallittuun painehäviöön. Kapasiteettia voidaan kasvattaa tyypillisesti noin 30-40 % (viittaus tehonsiirtokäytälukkuun)
 - o Näin ollen välipumppaamoiden avulla pystytään kompensoimaan menolämpötilan laskusta aiheutuva siirtokapasiteetin pieneneminen → mahdollistaa esimerkiksi uudehkojen linjojen tehokkaamman käytön
- Pystytään hyödyntämään esimerkiksi maanpinnan korkeuksista johtuvaan painetasojen hallintaan
- Investointina edullisempi kuin vastaavan siirtolinjan/-runkolinjan uusinta, kuten kohdan 6.3.1 nähdään, koska on mahdollisuus putkikoon optimointiin
 - o Mitoitustekniikan takia välipumppaamo voi tulla välttämättömäksi johtuen pitkästä siirtomatkastasta
 - o Välipumppaamon käytön tarve voi olla vain lyhytaikaista lämmityskaudella, joten voi olla perustellumpaa investoida välipumppaamoon kuin yhtä kokoa suurempaan putkikokoon.

Välipumppaamoiden haasteita ja huomioitavaa:

- Menopuolelle asennettaessa painepuolen mahdolliset korkeat painetasot
- Paluupuolelle asennettaessa tietyissä sijainneissa riski meno- ja paluupaineen rishtiin menemiselle.
- Paluupuolelle asennettaessa on riski pumpun imupuolen alipaineisuudelle
- Rengaslinjoihin asennettaessa pumppauksen hallinta monimutkaistuu, koska pumpulla tällöin "pakotetaan" virtausta pumpattavaan linjaan. Pahimmallaan:
 - o pumppauksen kasvatuksella on negatiivinen vaikutus, koska kasvava virtaus aiheuttaa paineenkorotusta suuremman painehäviön
 - o pahimmillaan hullunkierron vaara, koska virtaus voi päästä "pyörähtämään" haaroitusten kautta pumpun painepuolelta takaisin imupuolelle.
- Vaatii ajotapojen laadinnan verkon kuormituksen ja lämmöntuotannon näkökulmasta sekä verkon painemittausten lisäämisen/hyödyntämisen
- CHP tuotannollisissa verkoissa on verokannallisesti eroa pumppauksen sijoituksella

- Aiheuttaa jatkuvia käyttökustannuksia sekä on huoltokohde verrattuna uuden putkiyhteyden rakentamiseen
- Sijoituspaikkahaasteet mihin pumppaamo voidaan sijoittaa niin kaavoituksen kuin muun infran kannalta. Välipumppaamo tulisi pystyä sijoittamaan verkon kannalta optimaaliseen paikkaan.

Täten välipumppaamon järkevyyttä (hyödyt/haitat) täytyy arvioida aina tapauskohtaisesti ja tätä arvioitaessa on huomioitava niin investointikustannukset (Capex) kuin investoinnista aiheutuvat käyttökustannukset (Opex)

6.3.1 Investointikustannukset

Välipumppaamon ja kaukolämpöjohdon investointikustannukset menevät usein lähelle toisiaan, varsinkin jos välipumppaamon avulla pystytään valitsemaan yhtä kokoa pienempi putkikoko kuin pelkää kaukolämpöjohtoa rakennettaessa. Välipumppaamo tulee edullisemmaksi mitä pitemmistä johto-osuuksista puhutaan tai jos pumppaamolla nostetaan jo olemassa olevan johdon kapasiteettia.

Teknisenä rajoitteena välipumppaamolle tulee noin 2-4 kilometrin putkipituus, jos putkikooksi on valittu yhtä putkikokoa pienempi putki, jolloin välipumppaamon käytöllä ei ole enää järkevä kompensoida aiheutuvia painehäviöitä. Toisaalta taas lähelle 10 kilometrin siirtolinjoissa välipumppaamo tulee lähes välttämättömäksi ratkaisuksi, koska putkiston painehäviöt ovat jo putkipituuden kannalta suuret vaikka itse putki mitoitettaisinkin väljälle suhteelliselle painehäviölle (0,5 bar/km).

6.4 Johtoinvestoinnit

Johtoinvestoinneilla on merkittävä vaikutus verkoston siirtokykyyn, eritoten johto-osuuksilla, joissa ei ole korvaavia/rinnakkaisia yhteyksiä nk. rengaslinjoja. Tulevaisuuden alhaisempi jäähtymä ja tätä kautta alhaisempi johdon tehonsiirtokyky tulee huomioida jo tänä päivänä, kun suunnitellaan ja toteutetaan siirto- ja runkojen saneerauksia tai uusien johtoyhteyksien rakentamista.

Kohdassa 6.3.1 on laskettu periaatteellinen investointilaskenta, jossa on arvioitu keskenään välipumppaamoja ja johtoinvestointeja. Johtoinvestoinnin arviointi on huomattavasti suoraviivaisempaa kuin välipumppaamon vastaava arviointi, olettaen että järkevä johtoreitti on toteutettavissa.

Haasteita johtoinvestoinnille verrattuna välipumppaamoon:

- painetasojen hallintaa ei voida suoraan tehdä, vaatii vähintään säätöventtiilin
- isomman putkikoon aiheuttama lämpöhäviö verrattuna pienempään johtoon sekä välipumppaamoon. Haaste eritoten matalilla virtausmäärillä.

6.5 Korkealämpöiset siirtolinjat tai matalalämpöiset verkosto-osat

Päätuotantolaitoksen sijaitessa etäällä kaukolämpöverkosta, on siirtolinja mahdollista pitää muuta verkkoa korkeammassa menolämpötilatasossa, näin pystytään maksimoimaan siirtojohdon kapasiteetti. Tällöin itse kaukolämpöverkko voi olla normaalissa menolämpötilassa, menolämpötilan lasku tehdään ns. shunttausasemalla, jossa pumpataan paluuvettä menopuolelle. Korkean menolämpötilan linja voi myös kulkea

kaukolämpöverkon läpi, mutta tällöin jakelu-/aluejohtoihin tulee asentaa shunttaus-
asemia. Tämä koskee myös tilanteita, joissa asiakaslupauksena on luvattu toimittaa
muuta verkkoa kuumempaa kaukolämpöä tai kaukolämpöä toimitetaan toiselle kau-
kolämpöyhtiölle kaukolämpöverkon kautta.

Samalla periaatteella on mahdollista toteuttaa myös normaalia menoveden lämpötila-
tasoa alhaisemmat alueet. Kyseiset alueet tulee olla suunniteltu ja toteutettu valmiiksi
alhaisempiin lämpötilatasoihin. Kytkenän voi tehdä joko shunttaamalla ns. suorana
kytkentänä tai epäsuorana kytkenänä hyödyntäen lämmönsiirintä.

6.6 Tukitoimet

Seuraavassa luetelluilta toimilla ei ole yksin niin isoa vaikutusta verkon toimintaan tai
tehonsiirtokykyyn, vaan toimivat enemmän tukevinä toimina kohti matalampia läm-
pötilatasoja. Yksittäisissä väljissä verkoissa voi olla mahdollista siirtyä verkoston kan-
nalta matalampiin lämpötilatasoihin jo nyt. Tällaisia verkkoja voivat yleensä olla lyhyet,
putkistopituudeltaan noin muutaman kilometrin pituiset kaukolämpöverkot.

6.6.1 Kysyntäjousto

Kysyntäjoustolla tässä tarkoitetaan, että kuluttaja siirtää omaa tehonottoa omiin tun-
tittasolla myöhemmäksi tai rajoittaa omaa tehon tarvettaan. Esimerkiksi 5% tehon
joustamisella ei matalampiin menolämpötiloihin siirryttäessä yleensä ole merkittävää
vaikutusta verkon siirtokykyyn, koska 5 % tehonjousto ei suuresti vaikuta verkoston
painehäviöihin ja tätä kautta verkon siirtokykyyn. Poikkeuksena tästä on kuluttajat,
jotka käyttävät ison osan kaukolämpöverkon tehosta, tällöin kysyntäjoustolla voi olla
mahdollista saada myös hyötyjä tietyillä ajanhetkillä verkon tehonsiirtoon. Lisäksi
haasteena kysyntäjoustolle on, että mukaan tulisi saada riittävästi kiinteistömassaa,
jotta joustolle saadaan vaikuttavuutta.

Näin ollen kysyntäjousto toimii tältä näkökulmalta tukitoimena. Kysyntäjouston hyö-
dyt ovat enemmän tehon tarpeen tasaantumisessa, ns. aamupiikin tasaaminen, huip-
putuotannon käynnistyksen siirtämisessä tai poikkeustilanteiden hallinnassa.

6.6.2 Dokumentaatio

Verkostodokumentaation ylläpito tulee olla perustoiminto. Dokumentoidut putkien
sijainnit sekä oikeat putkikoot mahdollistavat mm. verkostosimuloinnin hyödyntämi-
sen. Lisäksi dokumentoituina tulee olla verkoston lämmityskiertojen (hullunkierrot) si-
jainnit ja tyypit sekä alajakokeskusten lvi-suunnitelmat. Haastatteluiden perusteella
verkostoista on dokumentoituina yleensä hyvin putkien sijainnit, putkikoot ja -tyypit,
lämmityskiertojen ja lvi-suunnitelmien dokumentoinneissa on taas puutteita. Erilaiset
verkkotietopalvelut mahdollistavat mm. verkostoon liittyvän dokumentoimisen.

6.6.3 Verkostosimulointi

Kaukolämpöverkon simuloinnissa luodaan kaukolämpöverkkoa vastaava simulointi-
malli, nk. digitaalinen kaksonen. Simuloimalla on mahdollisuus varmistaa ja tarkastella
tulevia toimia, kuten johtoinvestointeja tai välipumppaamojen sijoitusta sekä mallin-
taa verkoston menolämpötilaa ja havainnollistaa lämpötilan leviämistä. Simuloinnilla
voidaan määrittää verkosta ajotilannekohtainen virtausrajoite. Lähitulevaisuudessa
mallinnus siirtyy enemmän online-tyyppiseksi, jolloin simulointimalliin syötetään

reaaliaikaista ajodataa. Myöhemmässä vaiheessa simulointimallia voidaan käyttää itse kaukolämpöverkon ohjaamiseen.

Osassa haastatteluissa kaukolämpöverkon simulointi koettiin hyväksi työkaluksi, kun tulevaisuuden verkon eri ajotapoja tai lämmöntuotanto- ja verkostoinvestointeja suunnitellaan ja varmistetaan.

6.6.4 Digitalisaatio

Digitalisaatio ja esimerkiksi mittaroinnin kehittyminen mahdollistaa verkon älykkäämän ohjaamisen. Tällä hetkellä kuluttajien etäluenta mahdollistaa jo meno- ja paluu- lämpötilojen ja virtauksen seurannan sekä verkon paine-eromittaukset pumppausien optimoimiseksi. Kaukolämpöjohtoihin ja -kaivoihin liittyvät jatkuvat lämpötila-, paine- ja virtausmittaukset tulevat mahdollistamaan esimerkiksi verkon älykkäämän ohjaamisen. Lisäksi kysyntäjouaston yhteydessä kiinteistöön asennettavat lämmityspiirikohdattaiset mittaukset tai huoneistojen olosuhdemittaukset mahdollistavat näiden mittaus- tulosten hyödyntämisen kaukolämpöverkon ajamisessa.

6.6.5 Sopimustekniikka

Kaukolämmön yleisissä sopimusehdoissa asiakkaalle on taattu normaaleissa käyttö- olosuhteissa vähintään 65 °C tulolämpötila. Tämä lämpötila on sopimuksessa laatute- kijänä eli määrittää minimitasan. 65°C raja on asetettu siten, että toisioverkoissakin lämpötila on aina yli legionellan esiintymisriskin.

6.6.6 Käytettävissä oleva paine-ero

Siirtymäkaudella, kun suurin osa asiakaslaitteita on edelleen mitoitettu 115 °C mu- kaan, voi ilmoitettu käytettävissä oleva paine-ero nousta esiin lämmityssiirtimien te- hon riittävydessä. Kuluttajille siis yhdistelmä alhainen paine-ero ja alhainen meno- lämpötila (lähellä minimi tulolämpötilaa) voi olla haastava. Alhaisen menolämpötilan kohteet sijaitsevat yleensä verkoston latvaosissa, joissa tyypillisesti myös paine-ero on matala. Tällöin ratkaisuvaihtoehtona voisi olla paine-eron korotus yli ilmoitetun käy- tettävissä olevan paine-eron, millä saadaan eritoten säätöventtiilin läpäisyä parannet- tua. Mikäli lvi-suunnitelmat on dokumentoitu tai lämmönsiirtimille on vaadittu väljä mitoitus, ei virtauksen kasvu aiheuta heti ongelmia lämmönsiirtimessä, koska läm- mönsiirtimien koot valitaan sallitun painehäviön mukaan, kuten kohdassa 5.5.2.1 on todettu.

LVI-suunnittelijalle ilmoitettava käytettävissä oleva paine-ero määrittää millä perus- teella säätöventtiilit valitaan kV arvoltaan. Jos paine-ero on iso, tällöin säätöventtiiliksi valitaan yleensä kV arvoltaan pienempi kuin jos paine-eroksi ilmoitetaan sopimukselli- sesti taattu minimiarvo 60 kPa. Edellä mainitulla minimiarvolla suunniteltaessa suosi- tuksen K1/2021 mukaan tulee myös aiempien K1-suositukseen verrattuna herkemmin useampia säätöventtiileitä rinnankytkettyinä.

Suoritettujen haastatteluissa ilmeni, että käytettävissä olevan paine-eron ilmoittami- seen on kirjavaa käytäntöä energiayhtiöittäin. Osa ilmoittaa kaikki käytettävissä ole- vaksi paine-eroksi 60 kPa, osa tätä suuremman lukeman luokkaa 80-100 kPa ja osa alueittaisen todellisen käytettävissä olevan paine-eron, joka voi vaihdella isosti.

Huomioita ilmoitettavaan käytettävissä olevaan paine-eroon:

- Jos ilmoitetaan muu kuin 60 kPa, pystytäänkö takaamaan, että alueella on lämmönjakokeskuksen teknisen käyttöiän ajan aina kyseisen arvon verran paine-eroa mitoitustilanteessa?
- Jos ilmoitetaan kaikille 60 kPa, laitteet mitoitetaan väljiksi

6.6.7 Kesäajan lämpöhäviöt

Kesäajan lämmönjakelun haasteena on yleensä menolämpötilan riittävyys eritoten verkoston latvaosissa sijaitsevilla kuluttajilla. Tässä tapauksessa rajoittavana tekijänä ei ole verkoston siirtokyky vaan tähän tilanteeseen erityisen väljät johdot, kuten rengaslinjat.

Keinoja kesäajan lämpöhäviöiden hallintaan:

- Rengaslinjojen sulkeminen, jolloin virtausta voidaan ohjata haluttuihin suuntiin. Painotus erityisesti verkoston latvoilla ja omakotitaloalueella sijaitsevat rengaslinjat
- Latvapaine-eron nosto, periaate sama kuin kohdassa 6.6.6, isommalla paine-erolla mahdollistetaan säätöventtiilin isompi läpäisy → enemmän virtausta verkostoon. Toimella varmistetaan asiakastyytyvää
- Vastaavan hyödyn saa verkoston kiertolenkeistä

6.6.8 Kaavoitus

Kaavoitus on tärkeässä roolissa kaukolämpöverkon kehittämisessä. Tyypillisesti kaukolämpöyhtiön taholta kaavoitusta on tarkasteltu enemmän lämmöntuotannon sijoituksen kannalta. Kaavoitus kuitenkin määrittelee kuinka alueet rakentuvat ja näin ollen kaavoituksessa tulisi huomioida myös kaukolämmön tarpeet, niin potentiaalisten liittymien kuin esimerkiksi kaksisuuntaisen kaukolämmön tai hukkalämpöjen hyödyntämisen näkökulmasta. Kaukolämpöyhtiöllä tulisi olla tietoa, miten eri alueiden kaavoitusprosessi etenee. Näin esimerkiksi myös verkostosaneerauksissa pystytään huomioimaan tulevan kaavoituksen vaikutukset verkostoon.

7

Selvitykseen tehdyt verkostosimuloinnit

7 Selvitykseen tehdyt verkostosimuloinnit

Tiekartan taustamateriaaliksi käytettiin olemassa olevien kaukolämpöverkkojen simulointimalleja. Simuloinnin avulla on mallinnettua ja varmennettu tiekarttaan nostettuja toimia. Suoritettujen simulointien lähtökohtana oli, että nykyiset verkoston pullonkaulat ovat selvillä.

7.1 Kaukolämpöverkkojen jaottelu eri tyyppeihin

Selvitystyössä kaukolämpöverkot on jaettu karkealla jaottelulla neljään osaan tuotannon mukaan, tyypit ovat:

- 1) Keskitetyn tuotannon verkko
- 2) Hajautetun tuotannon verkko
- 3) Edellä mainittujen yhdistelmä
- 4) Jakelutavaltaan tyypillisestä poikkeavat verkot, ns. shunttauksin (tai epäsuorin kytkennöin) toimiva verkko

Keskitetyn tuotannon verkoilla tarkoitetaan tässä verkkoa, jossa verkon teho tuotetaan verkon koosta ja laajuudesta riippuen 1-3 kohdassa. Verkot voivat sisältää useita päätuotantoja, jonka lisäksi huipputuotantoa, joilla pystytään kattamaan koko verkon tehon tarve. Tyypillisenä tuotantomallina voimalaitokset sekä kpa-lämpökeskukset. Pienemmissä verkoissa mahdollista myös erilaiset hukkalämmöt päätuotantomuotoina.

Hajautetun tuotannon verkoilla tarkoitetaan verkkoa, jossa voimalaitos ja/tai kpa-lämpökeskus tuotannon lisäksi osa verkon tehosta tuotetaan erilaisilla hukkalämmöillä tai muilla edullisilla tuotantomuodoilla (esimerkkinä useita KPA-ratkaisuita) verkon eri suunnista.

Yhdistelmäverkoilla tarkoitetaan verkkoa, jossa tuotanto on lievästi hajautunut. Verkossa on esimerkiksi pieniä (luokkaa 1-2% verkon huipputehosta) hukkalämmön hyödyntämisistä. Tai hukkalämpöjä ei ole saatavilla kaikkiin tilanteisiin, esimerkkinä kylmävarastoiden lauhdelämmöt, joista saatavilla tehoa eniten lämmityskauden ulkopuolella.

Jakelutavaltaan tyypillisestä poikkeava verkko, shunttausratkaisu. Tarkoittaa verkkoja, joissa eri verkon alueet on eri lämpötilatasossa. Verkon siirtolinjat ovat tavanomaisesti koko ajan kuumemmassa lämpötilassa, luokkaa 105-120 °C. Tämä tyyppisiä verkkoja käytössä mm. pienemmissä verkoissa, joissa lämmöntuotanto tulee keskustaajan ulkopuolelta prosessiteollisuudesta. Suomessa myös laajoja verkkoja on toteutettu tällä tavalla, jolloin korkeampi lämpöinen siirtoverkosto kulkee läpi kaupungin. Kuumemmalla siirtolinjalla on maksimoitu siirtojohton/siirtoverkoston tehonsiirtokapasiteetti.

Korkeampi menolämpötila voi perustua myös asiakaskohtaiseen sopimukseen, näistä esimerkkinä erilaiset prosessiteollisuuden kohteet, kuten kuivaamot tai erilaiset maa-lausprosessit.

Selvitysten tekijöiden subjektiivisen arvion mukaan yleisesti Suomessa olevat kaukolämpöverkot ovat tyypiltään joko selkeästi keskitetyn tuotannon verkkoja tai yhdistelmiä keskitetystä ja hajautetusta tuotannosta.

7.2 Suoritetut kaukolämpöverkkojen simuloinnit

Suoritetut simulointitarkastelut tehtiin seuraavin rajauksin ja näkökulmin:

- Lähtökohtana menolämpötilan pudotus 90 °C:een lämmöntuotantolaitoksilla mitoitussulkolämpötilassa, paluulämpötilan oletettiin pysyvän samana:
 - o Tuotannon hajauttamisen vaikutus verkostoinvestointeihin alemmalla mitoitussulkolämpötilalla.
 - o Paluuveden lämpötilan laskun (5 °C kauttaaltaan) vaikutus tuotannon hajauttamiseen/verkostoinvestointeihin.
- Tämän lisäksi simulointiin vastaavat tilanteet mitoitussulkolämpötilaa korkeammalla ulkolämpötilalla.
 - o Verkon tehon tarpeet 75 ja 85 % mitoitussulkolämpötilan tehon tarpeesta.

Simulointeja suoritettiin eri tyyppisiin verkkoihin:

- Keskitetyn tuotannon verkot. Referenssinä käytettiin muutamaa eri kokoista verkkoa, jotka sijaitsevat eri puolella Suomea
- Hajautetun tuotannon verkot. Referenssinä käytettiin kahta eri kokoista verkkoa, jotka sijaitsevat eri puolella Suomea

7.2.1 Simulointien havainnot keskitetyn tuotannon verkoissa

Keskitetyn tuotannon verkoissa tuotannon hajauttamisella nähtiin olevan merkittävä rooli verkostoinvestointien kannalta. Iso vaikutus oli myös paluulämpötilan laskemisella, niin tuotannon hajauttamiseen kuin verkostoinvestointeihin.

Alla olevaan taulukkoon on kirjattu nyrkkisäännöt tuotannon hajauttamiselle, jolloin verkostoinvestointeja ei tarvittaisi tai ne voidaan hoitaa ns. normaalin verkoston investointiohjelman puitteissa. Taulukosta nähdään, että hajautustarve laskee puoleen, mikäli kaikista kylmimmät ajanjaksot ajetaan 90 °C korkeampana.

Taulukko 5 Tuotannon hajautustarve eri ajotilanteissa.

Verkon tehontarve	Tuotannon hajautustarve	Tuotannon hajautustarve, jos paluulämpötilaa pysytetään laskemaan 5 °C	Sijaintipaikkakunnasta riippuen tehoa vastaava ulkolämpötila
100 % verkon mitoitustehon tarpeesta	~20 % verkon mitoitustehon tarpeesta	~10 % verkon mitoitustehon tarpeesta	Mitotussulkolämpötila
85 % verkon mitoitustehon tarpeesta	~10 % verkon mitoitustehon tarpeesta	~5 % verkon mitoitustehon tarpeesta	-15 - -25 °C
75 % verkon mitoitustehon tarpeesta	~5 % verkon mitoitustehon tarpeesta	Ei tarvetta lisähajautukseen	-10 - -20 °C

Alla olevassa taulukossa on ilmatieteenlaitosten sääasemilta haettu tilasto, jossa näkyvät tuntimäärät, jolloin ulkolämpötila on ollut alle lämpötilarajan. Tuntitilasto perustuu

kolmen vuoden keskiarvoon (2020-2022). Taulukkoa voi hyödyntää, kun arvio tuotannonhajautuksen tarvetta eri ulkolämpötiloilla. Taulukosta nähdään, että etelässä alle – 15 °C tunteja ole useita päiviä enempiä, kun taas vastaavasti keski- ja pohjoissuomessa vastaavia tunteja yli viikosta kuukauteen.

*Taulukko 6 Montako tuntia ulkolämpötila on alle lämpötilarajan vuodessa, keskiarvo vuosilta 2020-2022.
Lähde: Ilmatieteenlaitos*

2020-2022 Ulkolämpötila	Helsinki	Tampere	Kuopio	Oulu	Rovaniemi	Saari- selkä
< -10 °C	204	327	541	676	1090	1431
< -15 °C	50	111	238	244	473	731
< -20 °C	4	29	74	65	161	327
< -25 °C	0	1	14	5	33	68

Mikäli tuotantoa ei pystytä hajauttamaan, tarkoittaa se merkittäviä investointeja verkostoon, erityisesti jos tavoitellaan 90 °C menolämpötilaa mitoitusilanteissa. Simulointien tuloksina nähtiin, että iso- tai valtaosa verkostojen siirto- ja runkolinjoista jäävät ahtaiksi, jolloin verkon tehonsiirtokyky ei riitä. Samalla havainnointiin, että tilanteessa paluuedenlämpötilatason laskulla ei ole niin isoa vaikutusta, että se riittäisi ai-noaksi ratkaisuksi.

Tuotannon hajautuksella on vaikutus koko verkoston pumppaussähkön kulutukseen. Verkoston jäähtymän kaventaminen nostaa affiniteettisäännön mukaisesti pumppaukseen tarvittavan sähkön määrää. Tuotannon hajautuksella, kuten välipumppaamoilla-kin pystytään myös vähentämään koko verkoston pumppaussähkön tarvetta. Vastaa- van tasoisen hyödyn saa myös johtoinvestoinneilla.

7.2.2 Simulointien havainnot hajautetun tuotannon verkoissa

Hajautetun tuotannon verkoissa isoin rooli on tuotannon ajojärjestyksellä. Simuloinneissa havaittiin, että hajautetussa tuotannossa pienillä ajotapamuutoksilla olisi mahdollista ajaa verkkoa heti alhaisemmalla 90 °C menolämpötilalla mitoitusilanteessa. Käytännössä ajotapoja ei pystytä optimoimaan täysin verkon tarpeen perusteella, joten tarkasteluissa havaittiin, että yksittäiset siirto-/runkojohdot jäävät ahtaiksi. Pullonkaulalinjoja voidaan havaita nämä verkkokohtaisilla arvioilla tai verkostosimuloinneille. ja näistä haastavimmat kohdat on mahdollista hoitaa ns. normaalilla investointiohjelmalla kohdistamalla investoinnit tunnistettujen pullonkaulojen poistamiseksi noin viiden vuoden aikajänteellä. Paluulämpötilatason laskulla on mahdollista verkkokohtaisesti joko poistaa tai vähentää näitä verkostoon aiheutuvia ahtaita putkiosuuksia. Tuotannon hajauttamiselle ei ole tarvetta.

Näin ollen hajautetun tuotannon tärkeimmät toimet ovat paluulämpötilatason laske- minen, lämmöntuotantojen ajotapa verkoston siirtokyvyn kannalta sekä verkostoin- vestoinnit.

7.3 Muita huomioita

Suoritettuja simulointeja ei kohdistettu shunttauksiin perustuviin verkkoihin, koska näissä korkeamman menolämpötilan käyttö mm. perustuu kohdassa 7.1 esitettyihin

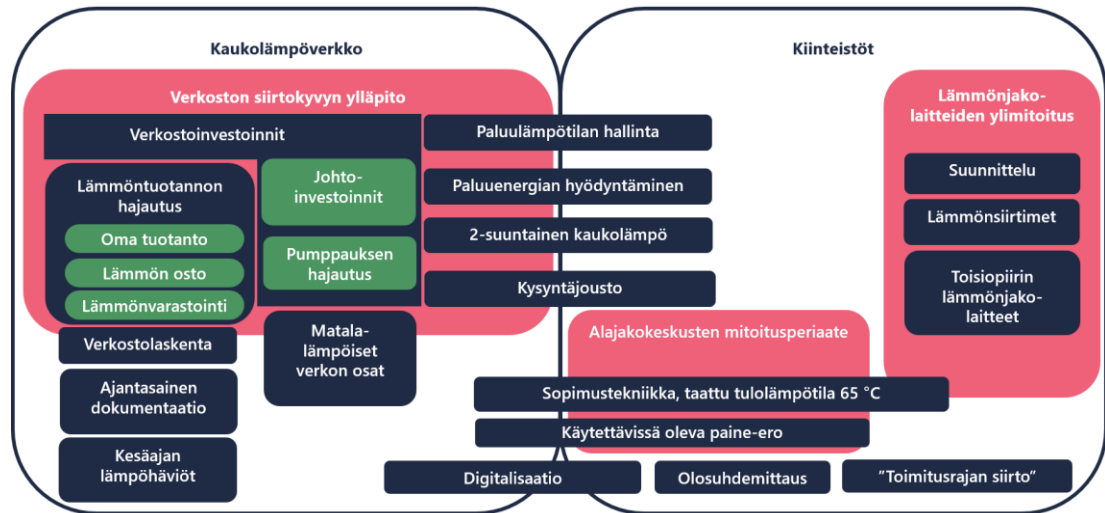
perusteisiin. Shunttauksien jälkeen kohdan 7.2 huomiot ovat sovellettavissa shunttausalueittain, aluekohteisesti on arvioitava mihin tyyppiin ko. alue kuuluu.

8

Tiekartta

8 Tiekartta

Alla olevaan kuvaan on koottu kaukolämpöverkkoon ja kiinteistöihin liittyvät toimet. Toimet on kerätty tämän selvitystyön tuloksena. Osa toimista vaikuttaa suoraan vain kaukolämpöverkkoon tai kiinteistöön, joten tämän johdosta tiekartat on seuraavassa jaettu kahteen osaan: asiakaslaitteet ja kaukolämpöverkko.



Kuva 26. Tiekartan osiot ja jako.

8.1 Kaukolämpöverkko

Suoritettujen simulointien havainnoista johtuen kaukolämpöverkoille tehtiin useampi tiekartta. Verkkokohtaisesti on arvioitava mihin verkkotyyppiin kaukolämpöverkko kuuluu, kriteeristö arviointia varten on esitetty otsikossa 7.1.

8.1.1 Soveltaminen

Tiekartat on laadittu sillä perusteella, että erilaisille toimille on määritelty ns. tämän päivän minimi- ja perustaso. Tasot on määritelty siksi, että eri verkot tai kaukolämpöyhtiöt voivat olla hyvin eri vaiheessa tiekartan mukaisissa toimissa. Verkon kuullessa useampaan eri tyyppiin on arvioitava toimi kerrallaan mitä tiekarttaa sovelletaan. Minimitasoksi on pyritty määrittämään toimenpiteitä, jotka tulisi jokaisesta verkosta tehdä muutaman lähivuoden aikana.

Tulevaisuuden toimet on jaettu kahteen eri vaiheeseen: lyhyen ja pitkän aikavälin toimenpiteisiin. Näille voi käyttää esimerkiksi seuraavia aikavälejä: lyhyt aikaväli 5-10 vuotta eteenpäin, pitkä aikaväli 10-15 vuotta. Pitkän aikavälin jälkeen siirtymäkausi K1/2021 suosituksen mukaan alkaa olla loppuillaan.

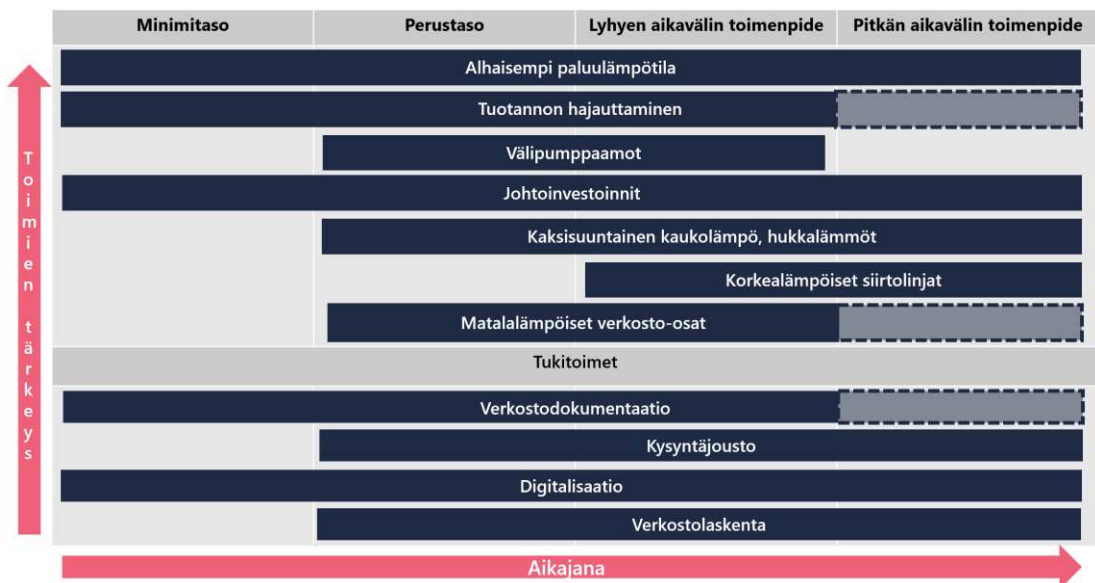
Tämän jälkeen aikajanan päälle on tuotu erilaisia toimia otsikkotasoina tärkeysjärjestyksessä, tarkemmat selitteet ovat avattu liitteenä olevissa taulukoissa, joissa toimet ovat vaikuttavuusjärjestyksessä. Eli soveltamisen helpottamiseksi tulee taulukoita katsoa eri näkökulmalta esim. alhainen paluulämpötila on tärkein toimi, mutta se ei ole arvioitu olevan vaikuttavin toimi, koska se hajautuu useaan eri pienempään osaan. Tuotannon hajautuminen on taas tärkein toimi ja myös vaikuttavuudeltaan ratkaiseva.

Tiekarttaan on nostettu myös erilaisia tukitoimia, jotka eivät suoraan ratkaise haastetta, mutta ovat tukemassa tavoitetta.

Yhtiö- ja erityisesti verkkokohtaisesti on arvioita lähtötavoitetaso ja yleisesti toimien toteutettavuus. Toimet ovat suositeltavaa käydä verkkokohtaisesti läpi, koska yrityksillä voi olla useita verkkoja, jotka voivat tyypiltään tai kooltaan olla hyvin erilaisia. Esimerkiksi pienissä verkoissa voidaan harppoa tiekarttaa eteenpäin yhdellä toimella hyvinkin nopeasti, kun taas isommissa verkoissa toimia voi joutua tekemään useita päästäkseen kohti tavoitetta, K1-mukaisia menolämpötiloja. Lisäksi on huomioitavaa, että osa toimista on suoraan toisiaan poissulkevia, esimerkkinä tuotannon hajautus suhteessa verkkoinvestointeihin, joten kaikkia toimia ei välttämättä tule viedä esim. perustasoa pidemmälle. Osa toimista saattaa olla myös verkkokohtaisesti toteuttamiskelvottomia.

8.1.2 Keskitetyn tuotannon verkon tiekartta

Alla on esitettyä tiekartta keskitetyn tuotannon verkoille. Liitteessä 1 on kirjattuna tarkemmin eri toimien toimenpide-ehdotukset tärkeysjärjestyksessä, liitetiedossa toimet ovat järjestetty vaikuttavuusjärjestykseen (laskeva).

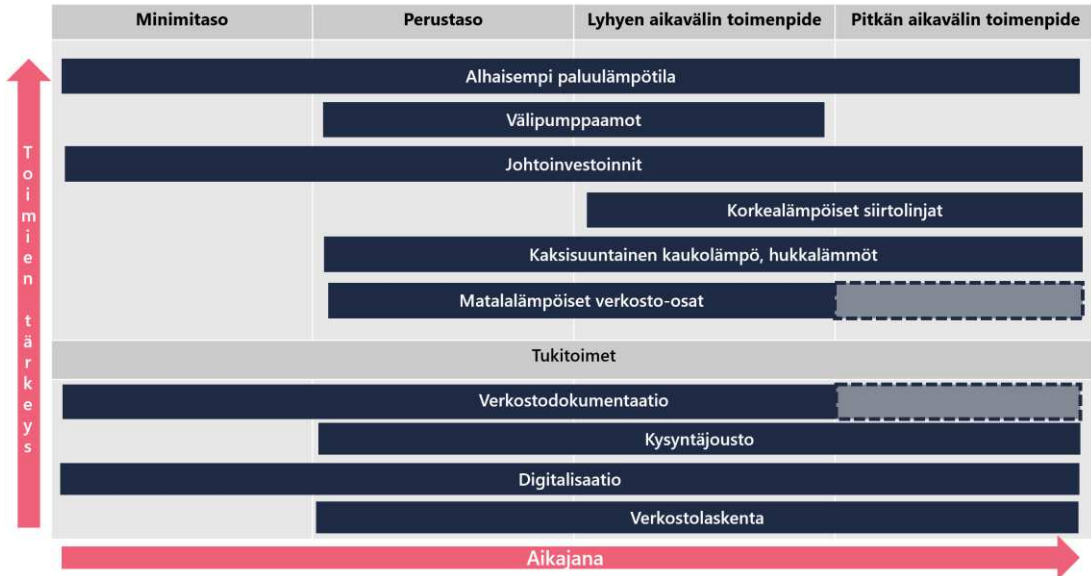


Kuva 27 tiekartta keskitetyn tuotannon verkoille. X-akselilla aikajana, y-akselilla toimen tärkeys nousevana

Tiekartta on laadittu, ja tulee tulkita, siten että tärkeämpänä toimena on panostukset alhaisempaan paluulämpötilaan, joka sisältää itsessään monia erilaisia toimia. Seuraavaksi tärkeimpänä toimena lämmöntuotannon hajauttamisen arviointi, joka myös sisältää useita eri vaihtoehtoja, myös mm. kaksisuuntaisen kaukolämmön, joka on tiekartassa alempana. Kun toimet lämmöntuotannon hajauttamiseksi on arvioitu, niin siirrytään kohti tarvittavia verkostoinvestointeja, jossa voidaan samalla arvioida mahdollisuuksia erilaisiin lämpötilatasoihin. Tukitoimia pystytään edistämään näiden rinnalla omanaan, mutta osaa tukitoimista tarvitaan jo minimi-/perustason toimissa.

8.1.3 Hajautettu tuotannon verkon tiekartta

Alla on esitettyä tiekartta hajautetun tuotannon verkoille. Liitteessä 2 on kirjattuna tarkemmin eri toimien toimenpide-ehdotukset, liitetiedossa toimet ovat järjestetty vaikuttavuusjärjestykseen (laskeva).



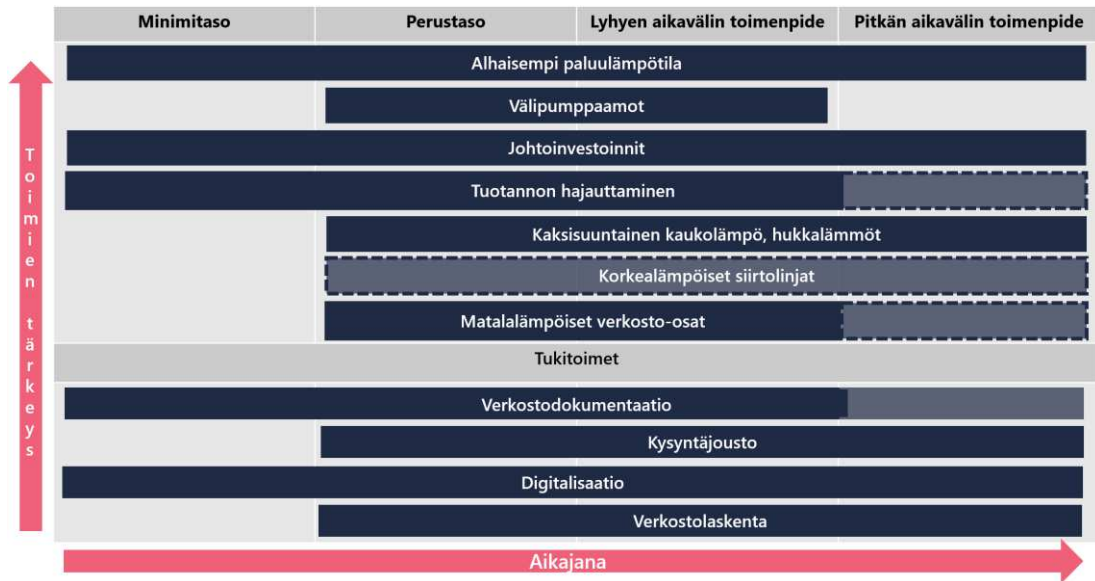
Kuva 28 tiekartta hajautetun tuotannon verkoille. X-akselilla aikajana, y-akselilla toimen tärkeys nousevana

Tiekartta on laadittu, siten että tärkeämpänä toimena on panostukset alhaisempaan paluulämpötilaan. Seuraavaksi tärkeimpänä toimena on erilaiset verkostoinvestoinnit. Tämän jälkeen tärkeysjärjestyksessä tulevat toimet eri lämpötilatasoihin sekä mahdollisuudet erilaisten hukkalämpöjen vastaanottoon. Tukitoimia pystytään edistämään näiden rinnalla omanaan, mutta osaa tukitoimista tarvitaan jo minimi-/perustason toimissa.

Huomioitavaa on, jos kaukolämpöverkko laajenee voimakkaasti, tulee uudelleen arvioida, onko verkko tyypiltään edelleen hajautetun tuotannon verkko.

8.1.4 Tyypillisestä poikkeavan jakelutavan verkon tiekartta

Alla on esitettyä tiekartta tyypillisestä poikkeavan jakelutavan verkoille. Liitteessä 3 on kirjattuna tarkemmin eri toimien toimenpide-ehdotukset, liitetiedossa toimet ovat järjestetty vaikuttavuusjärjestykseen (laskeva).



Kuva 29 tiekartta jakelutavaltaan tyypillisestä poikkeavalle verkolle. X-akselilla aikajana, y-akselilla toimien tärkeys nousevana

Tiekartta on laadittu, siten että tärkeämpänä toimena on panostukset alhaisempaan paluulämpötilaan. Seuraavaksi tärkeimpänä toimena on erilaiset verkostoinvestoinnit. Tämän jälkeen tulee tuotannon hajautus, joka on haasteellisempaa kuin tyypillisissä "tasalämpöisissä" verkoissa, koska lämpötilatasoja voidaan joutua muuttamaan useasti, jos tehoa halutaan siirtää usean lämpötila-alueen läpi. Pienemmissä alueellisissa ratkaisuissa tätä haastetta ei ole.

Tämän jälkeen tärkeysjärjestyksessä tulevat toimet edelleen eri lämpötilatasoihin. Tukitoimia pystytään edistämään näiden rinnalla omanaan, mutta osaa tukitoimista tarvitaan jo minimi-/perustason toimissa.

8.2 Asiakslaitteet

Asiakslaitteiden osalta tiekartan toteuttaminen on haasteellisempaa, koska laitteistot ja toisiopiiri ovat asiakkaan omaisuutta, vaativat asiakkaan aktiivisuutta ja investointeja. Tiekartta on jaettu eri osiin riippuen kohderyhmästä. Alla olevassa taulukossa on esitetty kohteet, perustelut sekä vastuut.

Oleellista on se, että kaukolämpöyhtiö ja asiakaspää toimivat yhteistyössä.

Taustoitusta tähän kappaleeseen on esitetty kappaleessa 5 Kiinteistöissä tehtävät muutokset. Taulukossa on esitetty eri fonteilla ja väreillä eri toimijoiden tekemiset (pinkki taustaväri = KLY). Käytännössä järjestelmän muutosprosessi lienee seuraava:

1. KLY:t identifioivat jatkuvasti huonoja jäähdyttäjiä tuntidatan perusteella ja lähestyvät heitä eri tavoilla (suorat kontaktit, asiakaskirjeet jne.)
2. Huonon jäähdytyksen syyt selvitetään yhteistyössä asiakkaan, asiakkaan teknisen tahon ja KLY:n kesken
3. Asiakas vaihtaa enemmän tai myöhemmin LJK:n
4. Talon sisäinen lämmitysjärjestelmä reagoi uusiin toimintaolosuhteisiin

5. Kylmät linjat/huoneet selviävät ajan mittaan ja asiakas toteuttaa tarvittavat toimenpiteet (perussäätö, pattereiden vaihto jne)

Kohde	Perustelu	Vastuu	Tavoite
Asiakkaan laitteet Yleisesti	Asiakkaiden lämmönkäytön mitoitus voi rajoittaa ensiöpiirin lämpötilojen laskua. Asuinkerrostaloissa merkittävin tekijä on patteriverkoston lämpötilat eri ikäisillä taloilla. Teollisuuskohteet ovat räätälöityjä.	Asiakas ja KLY	Luotettavien ja vaivattomien olosuhdepalvelujen mahdollistaminen. Hintakilpailukyvyyn ylläpito. Ei osaoptimointia.
Asiakkaan laitteet. Asuintalot. Sisäiset lämmönluovuttimet. Vanhat kohteet.	Vanhat asuinkerrostalot suunniteltu 90/70 tai 80/60 °C lämpötiloille. Alhaisemmillä lämpötiloilla lämmönluovutus laskee (80/60=>70/40, 100%=>58%), jos virtaamat eivät muutu Kuitenkin käytännössä (perustuen haastatteluihin ja kirjallisuuteen) ylimitoituksen ansiosta riittävä lämpö saadaan taattua pääosissa kohteista. Tämä johtuu osittain ylimitoituksesta, mutta myös siitä, että rakennusvaipan paremmat eristyksen ansiosta pintalämpötilat ovat madaltuneet, jolloin riittävä lämpimän tunne aikaansaadaan alhaisemmillä patterien pintalämpötiloilla.	Taloyhtiö KL-yhtiö voisi neuvoa (tai lainata tarvittavaa mittauskalustoa)	Patteriverkoston toimivuuden takaaminen uusilla verkostolämpötiloilla
Asiakkaan laitteet. Asuintalot Lämmöjako Vanhat kohteet	Vanhat asuinkerrostalot suunniteltu 90/70 tai 80/60 °C lämpötiloille. Alhaisemmillä lämpötiloilla lämmönluovutus laskee. Uudet lämpötilat vaativat vesivirtojen muuttamisen.	Taloyhtiö KL-yhtiö voisi neuvoa (tai lainata tarvittavaa mittauskalustoa)	Patteriverkoston toimivuuden takaaminen uusilla verkostolämpötiloilla
Asiakkaan laitteet. Muut asiakkaat. julkiset rakennukset, joissa koneellinen tuloilmanvaihto. Vanhat kohteet.	Uudet lämpötilat vaativat vesivirtojen muuttamisen Käyttö- ja kunnossapito ammattimaista. 2-suuntainen lämpökauppa yleisempää. Kysyntäjousto vaihtoehtona.	Kiinteistön omistaja KL-yhtiön rooli: voisi ohjata huipputehosen ajoitusta	Ilmanvaihdon lämmityksen toimiminen uusilla verkostolämpötiloilla kaikissa toimintapisteissä
Asiakkaan laitteet. Teollisuusasiakkaat. Vanhat laitteet.	Teollisuusprosessit ovat tapauskohtaisia, joissa lämpötilatasot ja lämmönkäyttöprofiilit ovat erilaisia. Potentiaalia kysyntäjoustoon. Teollisuudessa voi myös olla asiakaskohtaisia sopimuksia. Käyttö- ja kunnossapito ammattimaista.	Teollisuusyritys KL-yhtiön rooli: neuvonta	Lämmityksen toimiminen uusilla verkostolämpötiloilla kaikissa toimintapisteissä
Asiakkaan laitteet. Pientalot. LJK. Vanhat kohteet.	Kaksi mitoitukseen liittyvää pulmaa: patteriverkoston mitoituslämpötilat sekä pientalojen pieni tehontarve ja lämmönsiirtimien mitoitusportaat. Hybridi-lämmitys yleistyy, joten KL:n käyttö vähenee entisestään.	Talon omistaja KL-yhtiön rooli: yleisesti neuvonta esim. Omakotiliiton tai vastaavan kautta	Tarvittavan lämpötehon siirron takaaminen uusilla verkostolämpötiloilla
Asiakkaan laitteet. Asuintalot. LJK. Vanhat kohteet.	Vanhat LJK:t suunniteltu korkeammilla lämpötiloilla. Lämmönluovutus laskee (70/40-kohteissa kapasiteetti 57%, ja 80/60-kohteissa 43%). Kiinteistönhoidon taso on kirjavaa ja osaamista selkeästi puuttuu.	Taloyhtiö: hallituksen tehtävä PTS KL-yhtiö voisi neuvoa tai lainata tarvittavaa mittauskalustoa Joku puolueeton julkinen taho voisi valmistella tietoiskuja LJK:n toiminnasta	Lämmityksen toimiminen uusilla verkostolämpötiloilla kaikissa toimintapisteissä
Asiakkaan laitteet. Asuintalot. LJK. Vanhat peruskorjattavat kohteet.	Vanhat LJK:t suunniteltu korkeammilla lämpötiloilla. Lämmönluovutus laskee. LJK:n uusinnan yhteydessä kiertopumppu voidaan uusida ja vesivirrat säätää. Peruskorjaustilanteissa LJK suunniteltava K1/2021 mukaisesti.	Suunnittelija & urakoitsija KL-yhtiö: tarkastaa suunnitelmat ja asennukset	Tarvittavan lämpötehon siirron takaaminen uusilla verkostolämpötiloilla. Riittävän alhaisen paluuveden lämpötilan takaaminen

<p>Asiakkaan laitteet. LJK, lämmönjako ja lämmönluovuttimet. Uudet kohteet</p>	<p>Uudet kohteet on suunniteltava K1/2021 määräysten mukaisesti. LVI-suunnittelussa ei pullonkauloja</p>	<p>Suunnittelija & urakoitsija KL-yhtiö: tarkastaa suunnitelmat ja asennukset, K1/2021 kohdan 13 mukaisesti</p>	<p>Riittävän alhaisen paluuveden lämpötilan takaaminen</p>
---	--	---	--

8.2.1 Asiakkaan laitteet, asiakkaan omat laitteet

Vastuu toimista on laitteiden/kiinteistön omistajalla. KLY:n rooli on lähinnä jakaa taustatietoa.

8.2.1.1 Asiakkaan laitteet, rakennusten sisäiset laitteet

Vanhat asuinkerrostalot suunniteltu 90/70 tai 80/60 °C lämpötiloille. Alhaisemmilla lämpötiloilla lämmönluovutus laskee (80/60=>70/40, 100%=>58%), jos virtaamat eivät muutu

Kuitenkin käytännössä (perustuen haastatteluihin ja kirjallisuuteen) ylimitoituksen ansiosta riittävä lämpö saadaan taattua pääosissa kohteista. Tämä johtuu osittain ylimitoituksesta, mutta myös siitä, että rakennusvaipan paremmat eristyksen ansiosta pintalämpötilat ovat madaltuneet, jolloin riittävä lämpimän tunne aikaansaadaan alhaisemmilla patterien pintalämpötiloilla.

Patteriverkoston osalta vanhat asuinkerrostalot suunniteltu 90/70 tai 80/60 °C lämpötiloille. Alhaisemmilla lämpötiloilla lämmönluovutus laskee. Uudet lämpötilat vaativat vesivirtojen muuttamisen.

Keskeinen tavoite: **Patteriverkoston toimivuuden takaaminen uusilla verkostolämpötiloilla**

Kohde	Tämän päivän tila/minimitavoitetaso	Lyhyen aikavälin toimenpide	Keskipitkän aikavälin toimenpide	Pitkän aikavälin toimenpide = Lopputavoite
<p>Asiakkaan laitteet. Asuintalot. Sisäiset lämmönluovuttimet. Vanhat kohteet.</p>	<p>Lämmönluovutuksen pitää toimia Julkaisujen K1/2013, 2003 & 1992 Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet mitoituslämpötilojen mukaisesti. Kattava laitekannan dokumentointi.</p>	<p>Aloitetaan primäärikierron lämpötilojen vähittäinen alentaminen. Odotetaan asiakkaiden palautetta, jos huonelämpötilat alkavat laskea. Selvitetään ongelmat esim. Kysymypatterin avulla.</p>	<p>Pattereiden termostaattien esisäätöarvon muutokset patteriverkoston perussäädön yhteydessä.</p>	<p>Lämmönluovuttimet uusittu elinikänsä loppussa</p>
<p>Asiakkaan laitteet. Asuintalot. Lämmönjako Vanhat kohteet.</p>		<p>Identifioidaan kylmimmät huoneistot, tarkastetaan patterien koko ja esisäätöarvo</p>	<p>Patteriverkoston perussäätö Ylimitoituksen hyödyntäminen Ylimitoituksen hyödyntäminen</p>	<p>Lämmönjako uusittu elinikänsä loppussa</p>

80/60-mitointi oli vallitseva käytäntö rakennuksissa, jotka on rakennettu ennen vuotta 1983 (ks. kuvat alla). Näitä rakennuksia on rakennuskannassa vielä runsaasti (ks. kuva alla). Lämmönluovuttimissa on usein ylimitoitusta, joko rakennusvaiheen aikaisia tai energiansäästötoimenpiteiden johdosta. Lämpöpattereiden tekninen käyttöikä on pitkä, jopa 100 vuotta. Uusinta ei ole hankalaa. Uusin teknologia sisältää termostaattisen radiaattoriventtiilin, jolla langaton yhteys rakennusautomaatiojärjestelmään.

8.2.1.2 Asiakkaan laitteet, ilmanvaihto

Uudet lämpötilat vaativat vesivirtojen muuttamisen. Käyttö- ja kunnossapito ammatti- maista. 2-suuntainen lämpökauppa yleisempää. Kysyntäjousto vaihtoehtona

Keskeinen tavoite: **Ilmanvaihdon lämmityksen toimiminen uusilla verkostolämpö- tiloilla kaikissa toimintapisteissä**

Kohde	Tämän päivän tila/minimi- tavoitetaso	Lyhyen aikavälin toimenpide	Keskipitkän aikavälin toimenpide	Pitkän aikavälin toimenpide = Lopputavoite
Asiakkaan laitteet. Muut asiakkaat. Julkiset rakennukset, joissa koneellinen tuloilmanvaihto. Vanhat kohteet.	Lämmönluovutuksen pitää toimia Julkaisujen K1/2013, 2003 & 1992 Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet mitoituslämpötilojen mukaisesti. Kattava laitekannan dokumentointi.	Identifioidaan ongelmalliset asiakkaat. Tyypitetään ongelmat ja kehitetään tyypipiratkaisut	Huipputehon rajaaminen keskusteluyhteydessä	Laitteet ja automatiikka uusittu

Huom! Hybridilämmitys (lähinnä poistoilmalämpöpumppu PILP) yleistyy. Joillain KLY:llä erityisehtoja, esim. hybridilämmityskytkennän suhteen. Ilmanvaihdossa korkeita huipputehoja jaksottaisen käytön vuoksi (aamuisin). IV-kojeiden (pattereiden) käyttöikä on 20-30 vuotta. Lämmönvaihtimen tehonnosto riippuu käytettävissä olevasta fyysisestä tilasta.

8.2.1.3 Asiakkaat, vanhat teollisuusasiakkaat

Teollisuusprosessit ovat tapauskohtaisia, joissa lämpötilatasot ja lämmönkäyttöprofiilit ovat erilaisia. Potentiaalia kysyntäjoukseen. Teollisuudessa voi myös olla asiakaskoh- taisia sopimuksia.

Keskeinen tavoite: **Lämmityksen toimiminen uusilla verkostolämpötiloilla kaikissa toimintapisteissä**

Kohde	Tämän päivän tila/minimi- tavoitetaso	Lyhyen aikavälin toimenpide	Keskipitkän aikavälin toimen- pide	Pitkän aikavälin toimenpide = Lopputavoite
Asiakkaan laitteet. Teollisuusasiakkaat. Vanhat laitteet	Lämmönluovutuksen pitää toimia Julkaisujen K1/2013, 2003 & 1992 Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet mitoituslämpötilojen mukaisesti. Kattava laitekannan dokumentointi.	Tarkastetaan lämpötila- vaatimukset. Asiakaskohtainen lämpötilojen seurantajärjestelmä	Harkitaan tarvittaessa asiakaskohtaista lämmön priimausta.	Asiakkaan ja lämmönmyyjän räätälöity ratkaisu.

Huom: Usein yksittäisiä, merkittävän suuria asiakkaita. Paluuenergian myynti. Sekä kysyntäjousto että 2-suuntainen lämpökauppa mahdollista. Asiakaskohtainen palvelu, lämmön primaus voi olla kannattavaa.

8.2.2 Asiakkaan laitteet, LJK

8.2.2.1 LJK, pientalot

Kaksi mitoitukseen liittyvää pulmaa: patteriverkoston mitoituslämpötilat sekä pientalojen pieni tehontarve ja lämmönsiirtimien mitoitusportaat. Hybridi-lämmitys yleistyy, joten KL:n käyttö vähenee entisestään

Keskeinen tavoite: **Tarvittavan lämpötehon siirron takaaminen uusilla verkostolämpötiloilla**

Kohde	Tämän päivän tila/minimitavoitetaso	Lyhyen aikavälin toimenpide	Keskipitkän aikavälin toimenpide	Pitkän aikavälin toimenpide = Lopputavoite
Asiakkaan laitteet. Pientalot LJK Vanhat kohteet	Lämmönluovutuksen pitää toimia Julkaisujen K1/2013, 2003 & 1992 Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet mitoituslämpötilojen mukaisesti. Kattava laitekannan dokumentointi.	Yleisneuvontaa esim. Asiakaskirjeiden muodossa	Suositellaan asiakasta uusimaan laitteet	Laitteisto/järjestelmät uusittu. Uudet pientaloalueet omilla lämpötilatasoilla Laitteisto/järjestelmät uusittu. Uudet pientaloalueet omilla lämpötilatasoilla

Huom: Pientalot usein viivyttävät laitteistojen uusintaa mahdollisimman paljon. ARA tukea tällä hetkellä saatavissa lämmönvaihtimien uusimiseen. Arvioitu LJK:n käyttöikä on n. 20-25 vuotta.

8.2.2.2 LJK, vanhat asuinkerrostalot

Vanhat LJK:t suunniteltu korkeammilla lämpötiloilla. Lämmönluovutus laskee (70/40-kohteissa kapasiteetti 57%, ja 80/60-kohteissa 43%). Kiinteistönhoidon taso on kirjavaa ja osaamista selkeästi puuttuu.

Keskeinen tavoite: **Lämmityksen toimiminen uusilla verkostolämpötiloilla kaikissa toimintapisteissä**

Kohde	Tämän päivän tila/minimitavoitetaso	Lyhyen aikavälin toimenpide	Keskipitkän aikavälin toimenpide	Pitkän aikavälin toimenpide = Lopputavoite
Asiakkaan laitteet. Pientalot LJK Vanhat kohteet	Lämmönluovutuksen pitää toimia Julkaisujen K1/2013, 2003 & 1992 Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet mitoituslämpötilojen mukaisesti. Kattava laitekannan dokumentointi.	Lähestytään niitä asiakkaita, joilla on vanhat laitteet ja muistutetaan laitteistojen teknisestä käyttöiästä ja ikäriskeistä. Identifioidaan huonot jäädyttäjät ja tehdään niille kohdekohtainen suunnitelma. Tarkastellaan toisiopiiriin menovesikäyriä. Pyritään takaamaan riittävä jäähdytys	Suositellaan asiakasta uusimaan laitteet, tai harkitaan KLY:n investointeja asiakkaan laitteisiin. Kysyntäjoustopotentialin selvittäminen.	Harkitaan toimitusrajan siirtoa, jotta järjestelmät tunteva toimija (KLY) on enemmän vastuullinen järjestelmien toiminnasta. Myytävä tuote: olosuhdepalvelut.

Huom: Asuinkerrostalot uusivat laitteet, vaadittava pitkän tähtäimen suunnitelma ohjaa uusintaan. Usein ammatti-isännöitsijät. Ongelmana on pientalot ja rivitaloyhtiöt, jotka mahdollisesti viivyttävät laitteistojen uusintaa mahdollisimman paljon. ARA tukea tällä hetkellä saatavissa lämmönvaihtimien uusimiseen. Arvioitu LJK:n käyttöikä on n. 20-25 vuotta.

8.2.2.3 LJK, uusittavat laitteet

Vanhat LJK:t suunniteltu korkeammilla lämpötiloilla. Lämmönluovutus laskee. LJK:n uusinnan yhteydessä kiertopumppu voidaan uusida ja vesivirrat säätää. Peruskorjaustilanteissa LJK suunniteltava K1/2021 mukaisesti

Keskeiset tavoitteet: **tarvittavan lämpötehon siirron takaaminen uusilla verkostolämpötiloilla ja riittävän alhaisen paluuveden lämpötilan takaaminen**

Kohde	Tämän päivän tila/minimitavoitetaso	Lyhyen aikavälin toimenpide	Keskipitkän aikavälin toimenpide	Pitkän aikavälin toimenpide = Lopputavoite
Asiakkaan laitteet. Asuintalot. LJK. Vanhat peruskorjattavat kohteet.	Vaaditaan K1/2021 määräysten mukaiset laitteet. Taulukko K.	Peruskorjauksen laitemitoituksen tulee perustua: todelliseen tehontarpeeseen (tuntimittausdatan perusteella), K1/2021 3.3 Lämmitystehontarve.	Harkitaan toimitusrajan siirtoa, jotta järjestelmät tunteva toimija (KLY) on enemmän vastuullinen järjestelmien toiminnasta.	Laitteisto/järjestelmät uusittu Rakennusautomaatio seuraa huoneiden lämpötilaa.

Joskus korjauksista ei tule tietoa KLY:lle. ARA tukea tällä hetkellä saatavissa lämmönvaihtimien uusimiseen. Arvioitu LJK:n käyttöikä on n. 20-25 vuotta.

8.2.2.4 LJK, uudet kohteet

Uudet kohteet on suunniteltava K1/2021 määräysten mukaisesti. LVI-suunnittelussa ei pullonkauloja

Keskeinen tavoite: **riittävän alhaisen paluveden lämpötilan takaaminen**

Kohde	Tämän päivän tila/ minimitavoitetaso	Lyhyen aikavälin toimenpide	Keskipitkän aikavälin toimenpide	Pitkän aikavälin toimenpide = Lopputavoite
Asiakkaan laitteet LJK, lämmönjako ja lämmönluovuttimet Uudet kohteet	Vaaditaan K1/2021 määräysten mukaiset laitteet. Mitoituslämpötilat, Taulukko B (lämmitys) ja C (lkv), kohta 3.4.3 (IV)		Ei toimenpiteitä	

Hybridilämmitys (lähinnä PILP) yleistyy. Joillain KLY:llä erityisehtoja, esim. hybridilämmityskytkennän suhteen. Pysähtyykö verkostolämpötilojen lasku tähänkään?

8.2.3 Yhteenveto asiakaslaitteista

Asiakkaiden lämmönkäytön mitoitus voi rajoittaa ensiöpiirin lämpötilojen laskua. Asuinkerrostaloissa merkittävin tekijä on patteriverkoston lämpötilat eri ikäisillä ta-
loilla. Teollisuuskohteet ovat räätälöityjä.

Päätavoitteena ovat: **Luotettavien ja vaivattomien olosuhdepalvelujen mahdollistaminen, hintakilpailukyvyyn ylläpito sekä osaoptimoinnin välttäminen**

Kohde	Tämän päivän tila/ minimitavoitetaso	Lyhyen aikavälin toimenpide	Keskipitkän aikavälin toimenpide	Pitkän aikavälin toimenpide = Lopputavoite
Asiakkaan laitteet Yleisesti	Lämmönluovutuksen pitää toimia Julkaisujen K1/2013, 2003 & 1992 Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet mitoituslämpötilojen mukaisesti. Kattava laitekannan dokumentointi Hyödynnetään tuntienergia-dataa analyysiin Ongelma-asiakkaiden identifiointi.	Tunnetaan asiakkaat ja heidän laitekantansa. Tuotetaan tietoa taloyhtiöille/ isännöitsijöille/kiinteistöhoitajille, esim. Motivan välityksellä Valmistellaan matalalämpötila-strategia	Kannustetaan asiakasta uusimaan laitteensa. Harkitaan erityistoimenpiteitä erityisasiakkaille Harkitaan toimitusrajan siirtoa, jotta järjestelmät tunteva toimija (KLY) on enemmän vastuullinen järjestelmien toiminnasta.	Kaikki asiakaslaitteet päivitetty K1/2021 mitoitusten mukaisiksi. Kaikki erityisasiakkaiden tilanteet selvitetty.

Huom: Tässä ei käsitellä kysyntäjoustoa tai 2-suuntaista lämpökauppaa. Määrävän markkina-aseman tuomat rajoitukset: jäädytysbonus vs. kohteen sijainti, paluunenergian hinnoittelu, kysyntäjoustopalvelut vs. kaupalliset toimijat tai olosuhdepalvelut vs. kaupalliset toimijat

8.2.4 Työkalut/ohjeistus kl-tarkastajille

K1-julkaisu sisältää kattavan ohjeistuksen laitteiden ja järjestelmien laadunvalvontaan ja tarkastukseen. Tähän hankkeeseen liittyen nostetaan seuraavia asioita:

- vastaavtko suunnitelmien mukaiset lämpötilatasot toteutuneita
- millä perusteella käytettävissä oleva paine-eroarvo ilmoitetaan
- tulee kartoittaa muiden käyntien ohessa aina tyyppikilpiarvot, minkä vuoden laitteet, mitkä tehot jne.
- suunnitelmia ja saneerauksia ei saa toteuttaa ilman kaukolämpöyhtiön hyväksyntää

8.3 Esimerkkejä verkostotiekartan hyödyntämisestä

Seuraavassa on käytännön esimerkkejä verkostotiekartan hyödyntämiseen. Esimerkit on laadittu kahdelle eri tyyppiselle ja kokoiselle kaukolämpöverkolle.

8.3.1 Pieni keskitetyn lämmöntuotannon kaukolämpöverkko

Ensimmäisenä tavoitteiden luonti, onko tavoite menolämpötilatasossa K1 mukaisia lämpötiloja kaikissa normaaleissa ajotilanteissa vai ajetaanko edelleen esim. alle -20 °C ulkolämpötilan ajotilanteet nykyisen ajotavan mukaisesti. Suositeltavaa on myös luoda rinnakkaisia tarkasteluja eli hakea yritykselle sopivaa tavoitetasoa. Seuraavana tärkeimmät alkuvaiheen toimet kohdittain:

Alhaisempi paluulämpötila:

- vara- ja huippulaitosten lämpimänä pitojen tarkastus
- tiedossa olevien verkon lämpimänä pitojen (kiertolenkit) tarkastus ja turhien pois sulkeminen, verkon läpikiertojen dokumentointi kaivokierrosten yhteydessä
- etäluentadatan hyödyntäminen (tunti tai vuorokausidata) huonojen asiakasjäähdyttäjiä etsimiseksi → huonojen jäähdyttäjiä kontaktointi.
- Huom. Yllämainitut toimet tehdään vaikka tuotannon hajautuminen olisi mahdollista

Tuotannon hajauttaminen:

- Tuotannon hajauttamisen kartoittaminen peilaten tavoiteltavaan menolämpötilatasoon
- Mahdollisten tuotantopaikkojen kartoitus: kuten käytössä ovat/olleet vara- ja huippulämpökeskustontit, joiden sijainti muualla kuin päälämpökeskuksen tontilla. Nämä sijainnit ovat yleensä kaavoituksen puolelta positiivisia. Myös verkon alhaisen paine-eron suunta suositeltava kartoittaa
- Hukkalämpöjen/kaksisuuntaisen kaukolämmön kartoitus

- Tuotannon hajauttamisen tarkasteluun voi hyödyntää esimerkiksi verkostosimulointia

Verkostoinvestoinnit (johto- tai välipumppaamoinvestoinnit), mikäli tuotannon hajautus ei mahdollista tai toimet riittämättömiä menolämpötilatavoitteeseen nähden.

- Ahtaiden putkiosuuksien saneerauksien tarkastelu. Pienissä verkoissa välipumppaamoille enemmän suotuisia sijoitusvaihtoehtoja, koska verkot yleensä vähemmän "rengastettuja", lisäksi pumppaamoinvestointi tyypisesti edullisempi kuin vastaava johtoinvestointi. Huom isommassa kokoluokassa kustannukset arvioitava tapauskohtaisesti.
- Verkostoinvestointeja tarkasteltaessa voidaan arvioida mahdollisuudet korkealämpöisten siirtolinjojen toteuttavuudelle erityisesti, jos päälämmöntuotanto sijaitsee kauempana varsinaisesta kaukolämpöverkosta.
- Investointien tarkasteluun voidaan hyödyntää verkostosimulointia

Tiekartassa tukitoimina olevia toimia viedään em. toimien rinnalla eteenpäin, painottaen erityisesti dokumentaatiota ja digitalisaatiota. Digitalisaatiosta on suositeltavaa tehdä oma suunnitelma/sisäinen tiekartta, mille tasolla esimerkiksi verkostomittaukset on järkevä viedä, huomioiden yrityksen resurssit.

8.3.2 Keskisuuri hajautetun lämmöntuotannon kaukolämpöverkko

Ensimmäisenä tavoitteiden luonti, onko tavoite menolämpötilatasossa K1 mukaisia lämpötiloja kaikissa normaaleissa ajotilanteissa vai ajetaanko edelleen esim. alle -20 °C ulkolämpötilan ajotilanteet nykyisen ajotavan mukaisesti. Suositeltavaa on myös luoda rinnakkaisia tarkasteluja eli hakea yritykselle sopivaa tavoitetasoa. Hajautetun tuotannon verkoissa alkuvaiheen toimet ovat vähäisiä verrattuna keskitetyn tuotannon verkkoon, seuraavana tärkeimmät alkuvaiheen toimet kohdittain:

Alhaisempi paluulämpötila:

- vara- ja huippulaitosten lämpimänä pitojen tarkastus, huomioiden myös hukkalämpö- ja kaksisuuntaiset kohteet
- tiedossa olevien verkon lämpimänä pitojen (kiertolenkit) tarkastus ja turhien pois sulkeminen, verkon läpikiertojen dokumentointi kaivokierrosten yhteydessä
- etäluentadatan hyödyntäminen (tunti tai vuorokausidata) huonojen asiakasjäähdyttäjien etsimiseksi → huonojen jäähdyttäjien kontaktointi.

Verkostoinvestoinnit (johto- tai välipumppaamoinvestoinnit)

- Ahtaiden putkiosuuksien saneeraustarkastelut. Tarkastelut johto- ja välipumppaamoinvestointien välillä.
- Korkealämpöisten siirtolinjojen toteuttavuustarkastelut, erityisesti jos jokin päälämmöntuotanto sijaitsee kauempana varsinaisesta kaukolämpöverkosta.
- Verkostoinvestointien tarkasteluun voidaan hyödyntää verkostosimulointia

Digitalisaatio

- Mittarointisuunnitelman luominen, hajautettu lämmöntuotanto vaatii mittaroinnin hyödyntämistä esimerkiksi verkoston tilanteen visualisoimiseksi valvomoon, kuten verkostolämpötilojen, paineiden ja virtausten esittämiseksi.

Edellä mainittujen keskeisten toimien rinnalla voi kehittää edelleen verkon hajautusta tai kaksisuuntaisuutta. Huomioitavaa on, että verkon laajentuessa tulee edelleen huomioida, että verkon hajautus on riittävä tai laajentumisen rinnalla on vietävä pitkän tähtäimen suunnitelmaa verkostoinvestoinneista.

9

Selvitystyön aikana esiin nousseet havainnot

9 Selvitystyön aikana esiin nousseet havainnot

9.1 Tiekartat

Yhteisenä havaintona eri tiekartoista voidaan todeta, että tuotannon hajauttaminen on keskeisessä roolissa ja siihen verkoston näkökulmasta pyrittävä. Samaten panostuksia erilaisiin välipumppaamoratkaisuihin olisi suositeltavaa tehdä, perinteisemmän johtoinvestointien ohella, koska niiden monikäyttöisyyden vuoksi niillä on samalla mahdollisuus kasvattaa verkon siirtokapasiteettia sekä sijoittaa esimerkiksi mittalaitteita tai shunttauksia. Lisäksi toimien keskiössä tulisi olla panostukset alhaisempiin paluulämpötiloihin, mutta näissä toimet ovat hyvin moninaiset ja ei aina täysin lämpöyhtiön omassa päätäntävallassa. Muita varteenotettavia ratkaisuja voivat olla erilaiset korkealämpöiset siirtolinjat eli tulevaisuudessa osa siirtolinjoista jäisi nykyisiin lämmityskauden lämpötiloihin ja erilaisin shunttausratkaisuin varsinainen jakeluverkko olisi K1-suosituksen mukainen. Tällä tavalla ei kavennettaisi mahdollisesti jo ahtaiden siirtojohtojen kapasiteettia. Tämä myös tukisi tämän hetken suuntausta, joissa mm. sähkökattiloita investoidaan nykyisten päälaitosten yhteyteen, jolloin päälaitoksen kokonaisnimellisteho nousee ja tarpeen mukaan päälaitokselta syötetään nykyistä suurempia tehoa.

9.2 Voimassa olevat suositukset ja tarpeet päivityksille

K1/2021 suosituksen kohdassa 3.4.1 mainitaan, että *”Lämmönmyyjä antaa laskennan perusteeksi tiedon kaukolämmön tulolämpötilasta eri ulkolämpötiloilla. Jos em. tietoa ei ole saatavissa, voidaan ensiöpuolen tulolämpötilana käyttää seuraavia arvoja:”* Suositus on, että lämpöyhtiöllä olisi käytettävissä ja jaettavassa ko. tulolämpötilat jatkossa, varsinkin, jos alitetaan em. kohdassa mainittu kaukolämmön tulolämpötila. Huomioitavaa on, että kohteen tulolämpötila saattaa vaihdella samassa ulkolämpötilassa myös lämmöntuotannon ajojärjestyksestä johtuen.

Kaukolämpöyhtiön ilmoittavasta käytettävissä oleva paine-eron vaikutuksia olisi suositeltavaa arvioida ja ohjeistoa yhtenäistää (mm. suositus T1/2021 kohta 2.3). Lämpöyhtiöiden haastatteluiden perusteella käytettävissä olevan paine-eron ilmoituksille on käytössä kirjavaa käytäntöä. Samalla tulisi arvioida aikaisemmat vaikutukset eli selittääkö tämä osaltaan haasteet lämmityskauden ulkopuolisen ajan lämmönjakelussa sekä kylmimpien ulkolämpötilojen paluuveden lämpötilan nousussa.

Energiateollisuuden suosituksessa L11/2013 putkien mitoitusohjeet on ohjeistettu kohdassa 1. suunnittelu- ja mitoitusperiaatteet. Suositeltavaa olisi laatia tarkemmat mitoitusohjeet, koska tiekartan perusteella mitoituksiin on tulossa erilaisia variaatioita kuten: välipumppaamot (korkeamman painehäviön salliminen?), kaventuva jäähtymä (tehonsiirtokyvyn lasku), eri lämpötilatasoille mitoitettavat linjat (nykyisellä lämpötilatasolla vai K1-mukaisilla vai vielä matalammilla), paluuenergian hyödyntäminen (kytkentäesimerkit).

10

Johtopäätökset

10 Johtopäätökset

Tässä työssä taustoitettiin tutkimus- ja käytännön tilannetta koskien siirtymistä matalalämpöiseen kaukolämpöjärjestelmään julkaisun K1/2021 ohjeistuksen mukaisesti.

Suomessa siirtymää on pohjustettu useilla tutkimuksilla ja selvityksillä, joita on teettänyt sekä Energiategollisuus ry. että yksittäiset kaukolämpöyhtiöt.

Kansainvälinen tutkimus on harpannut jo yhden kehityskaskeleen eteenpäin eli tutkitaan ja pilotoidaan pienimuotoisesti 5. sukupolven kaukolämpöjärjestelmiä. Tosin siirtymä 4. sukupolveenkin on vielä kesken. Em. kehitystrendi on käynnissä Länsi-Euroopassa, Itä-Euroopan kaukolämpö perustuu vielä polttavaan keskitettyyn korkealämpöiseen järjestelmään.

Suoritetun web-kyselyn ja haastattelujen pohjalta voidaan todeta, että siirtymän hyödyt ovat hyvin tunnettuja. Kaukolämpöyhtiöt ovat identifioineet verkostojensa yksittäisiä pullonkauloja, mutta varsinaista strategiaa ei ole tehty.

Tässä työssä tarkastelu jaettiin kahteen osaan, (i) kaukolämpöyhtiöiden itse suorittamat toimenpiteet omien toimitusrajojensa puitteissa sekä (ii) toimenpiteet, jotka pitäisi toteuttaa asiakaspäässä eri vastuuorganisaatioiden toimesta.

Tuotannon hajauttaminen on keskeisessä roolissa ja siihen verkoston näkökulmasta pyrittävä. Samaten panostuksia erilaisiin välipumppaamoratkaisuihin olisi suositeltavaa tehdä, perinteisemmän johtoinvestointien ohella, koska niiden monikäyttöisyyden vuoksi niillä on samalla mahdollisuus kasvattaa verkon siirtokapasiteettia sekä sijoittaa esimerkiksi mittalaitteita tai shunttauksia. Lisäksi toimien keskiössä tulisi olla panostukset alhaisempiin paluulämpötiloihin, mutta näissä toimet ovat hyvin moninaiset ja ei aina täysin lämpöyhtiön omassa päätäntävallassa. Muita varteenotettavia ratkaisuja voivat olla erilaiset korkealämpöiset siirtolinjat eli tulevaisuudessa osa siirtolinjoista jäisi nykyisiin lämmityskauden lämpötiloihin ja erilaisin shunttausratkaisuin varsinaisen jakeluverkko olisi K1-suosituksen mukainen. Tällä tavalla ei kavennettaisi mahdollisesti jo ahtaiden siirtojohtojen kapasiteettia. Tämä myös tukisi tämän hetken suuntausta, joissa mm. sähkökattiloita investoidaan nykyisten päälaitosten yhteyteen, jolloin päälaitoksen kokonaisnimellisteho nousee ja tarpeen mukaan päälaitokselta syötetään nykyistä suurempia tehoa

Asiakaspäässä toimitaan kaukolämpöyhtiön toimitusrajan ulkopuolella, eikä sen päätäntävallassa. Kaukolämpöyhtiö joutuu osittain toimimaan passiivisesti ja odottamaan, että asiakkaat uusivat laitteensa niiden käyttöiän loppuessa. Tätä prosessia nopeuttaakseen kaukolämpöyhtiöt voivat kontaktoida asiakkaitaan sekä tuottaa taustamateriaalia. Lämpötilojen alentaminen voi johtaa rajoitetusti talojen sisäisten lämmitysjärjestelmien toimintarajoitukseen. Tällaiset tilanteet tulee hoitaa yhteistyössä omistajan ja kaukolämpöyhtiön välillä. Uudet ja uusittavat lämmönjakokeskukset tulee mitoittaa voimassaolevien ohjeiden mukaisesti, ja suunnittelua ja toteutusta tulee valvoa. Kaukolämpöyhtiön hallussa olevan laitedokumentaation kattavuutta tulee parantaa, jotta voidaan varautua tuleviin tilaisuuksiin.

Lähteet

Kotimaiset ja kansainväliset julkaisut ja tutkimukset

Tilastokeskus Myönnetty rakennusluvut (lämmitetty rakennustilavuus). Viitattu 15..9.2023

AFRY. Kaukolämpöasiakkaiden mitoituslämpötilan laskeminen. Raportti Energia-teollisuus ry:lle. 8/2020

AFRY. Kaukolämmön menolämpötilan optimointi.. Raportti Energiateollisuus ry:lle 2021

AFRY. Energiatehokkuusdirektiivin mukainen selvitys hukkalämmön potentiaalista ja kustannushyötyanalyysi tehokkaasta lämmityksestä

Miika Rämä. District heating with low-carbon heat sources and low distribution temperatures. Aalto Yliopisto 2020

Hasan, Kurnitski, Jokiranta. A combined low temperature water heating system consisting of radiators and floor heating. VTT&Aalto University. 2009.

Lahtela Iikka, Kaukolämpöasiakaslaitteiden jäähtymän optimointi. Välisyöttökytkennän toimivuus julkaisun K1/2013 mukaisilla lämmönsiirtimien mitoituslämpötiloilla. JAMK. 2018.

Euroheat & Power. DHC Market Outlook Insights & Trends. 2023

Averfalk H et al, Low-Temperature District Heating Implementation Guidebook. IEA DHC Report, 2021

IEA Annex T52/Implementation of Low-Temperature District Heating Systems. Final Report.

Energiateollisuus ry. Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet. Julkaisu K1/2021

Energiateollisuus ry. Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet. Julkaisu K1/2013

Energiateollisuus ry. Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet. Julkaisu K1/2003

Energiateollisuus ry. Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet. Julkaisu K1/1992

Svensk Fjärrvärmes Tekniska bestämmelser, F:101 Fjärrvärmecentralen-Utförande och installation, 2014

Energiateollisuus ry, vuositilastot 2021. Taulukko 5

Lämmitysverkon meno- ja paluuveden toimintalämpötilat. Helsingin Energia Oy. Moniste. 2015

Tilastokeskus. Asuinkerrostalot rakennusvuoden funktiona

Virta & Pylsy. Taloyhtiön energiakirja http://issuu.com/mediat/docs/taloyhtion_energiakirja/1 Kiinteistöalan Kustannus Oy

Motiva Taloyhtiöt- yhdessä energiätehokkaasti (viitattu 14.9.2023)

Purmo/Rettig Lämpö Oy. Radiaattoreiden käyttöopas matalalämpöjärjestelmissä

Hasan, Kurnitski, Jokiranta. A combined low temperature water heating system consisting of radiators and floor heating. VTT&Aalto University. 2009: Radiaattoreiden lämmönluovutus on tyypillisesti riittävä matalammillakin lämpötiloilla

Ljungren, Wollerstrand. Optimum performance of radiator space heating systems connected to achieve lowest possible district heating return temperature. 10th International Symposium on District Heating and Cooling. 2006.

Tunzi, Benakopoulos, Yang, Svendsen. Demand side digitalisation: A methodology using heat cost allocators and energy meters to secure low-temperature operations in existing buildings connected to district heating networks. Energy 264 (2023)126272

Alfa Laval Internetsivut, <https://www.alfalaval.fi/teollisuusalat/lvi-tekniikka/heating-and-cooling-hub/faq/#ref295719> (13.10.2023)

Liitteet

Liite 1 Keskitetyn tuotannon verkon tiekartta

Liite 2 Hajautetun tuotannon verkon tiekartta

Liite 3 Tyypillisestä poikkeavan jakelutavan verkon tiekartta

Taulukko ei ota kantaa siihen, onko menolämpötila 90 °C myös mitoitusulkolämpötilassa vai ajetaanko tätä korkeampaa lämpötilaa. Verkko kohtaisesti on arvioitava lyhyen ja pitkän aikavälin toimenpiteiden laajuutta, kun on selvillä missä ajotilanteissa tavoitellaan 90 °C menolämpötilaa.

Toimet ovat vaikuttavuudeltaan laskevassa järjestyksessä.

Toimi	Minimitaso	Perustaso	Lyhyen välin toimenpide	Pitkän välin toimenpide	Selite/huomioita
Lämmöntuotannon hajauttaminen	Lämmöntuotannon hajauttamisen kartoitus	Mahdollisten tuotantopaikkojen kartoitus	Investointiohjelman laadinta, jos tuotannon hajauttaminen on mahdollista. Mahdolliset investoinnit jo tässä vaiheessa Mikäli tuotannon hajautus ei ole mahdollista siirtyy painotus verkostoinventointeihin (johtoinvestoinnit, välipumppaamot).	Investoinnit, mikäli hajauttaminen on mahdollista	Tarkoitetaan lämmöntuotannon sijoittamista verkostonäkökulmasta eri puolille kaukolämpöverkkoa, verkon kannalta tuotantona voidaan tässä tapauksessa käsittää myös erilaiset akkuratkaisut, joista syötetään lämpöä verkkoon. Kaukolämpöverkon koosta riippuen hajatus voi olla yhdestä yli kymmeneen tuotantopisteeseen. Kuitenkin tuotannon hajauttamisen määrittävät yleensä muut tekijät kuin pelkkä verkostonäkökulma. K1-mukaisiin lämpötiloihin siirryttäessä pelkällä tuotannon hajautustoimella verkon siirtokyvyn parantaminen vaatisi ~20 % tuotannon hajautusta verkon huippukuormatilanteessa laskettuna ko. tehon tarpeesta.
Johtoinvestoinnit	Verkostoinvestointiohjelman laadinta. Yhteisrakentamisen kartoitus.	Keskusta-alueiden yhteistoiminta eri infratoimijoiden kanssa. Virtausmittauspaikkojen kartoitus verkoston päälinjoista.	Investoinnit, erityisesti ydinkeskusta-alueilla yhteistyössä eri infratoimijoiden kanssa.	Investoinnit.	Johtoinvestoinneilla merkittävä vaikutus verkoston siirtokyvyn, mutta tämän tyyppin verkoissa pelkillä johtoinvestoinneilla tehtävä siirtokyvyn kompesointi tarkoittaa merkittäviä investointeja käytännössä isoon osaan siirto-/runkojohtoihin. Putkimitoituksissa on huomioitava K1/2021 suosituksen vaikutukset putkimitoituksiin jo nyt.
Välipumppaamot		Välipumppaamoinvestoinnit. Pumppaamojen yhteyteen mahdollisuus mm: ▪ Shunttauksien toteuttamiselle ▪ Verkoston virtausmittaukselle	Välipumppaamoinvestoinnit.		Välipumppaamoilla pystytään parantamaan verkon siirtokykyä 30-40 %:a, joten pumppaamoilla pysytään kompensoimaan jäähtymän kapenemisesta aiheutuva siirtokyvyn lasku. Pitkillä siirtomatkoilla voi tulla välttämättömäksi ratkaisuksi. Lisäksi välipumppaamot mahdollistavat painetasojen hallinnan.
Alhaisempi paluulämpötila ▪ korkeat paluu- lämpötilat ▪ paluuenergian hyödyntäminen	Korkeiden paluulämpötilojen syiden selvittäminen: Verkoston ja lämpölaitosten läpikiertojen (lämpimänä pidot) kartoitus ja poissulku	Heikkojen/valittujen asiakkaiden paluulämpötilan seuranta → toimet jäähtymän parantamiseen asiakaskohtaisesti. Paluuenergian myynnin potentiaalin kartoitus ja sisäiset liiketoimintamalli. Huomio paluuenergian myynti ei ole mahdollista kaikille vaan on mahdollista vain kohdennetusti	Valittujen asiakkaiden paluulämpötilan jatkuva seuranta → toimet jäähtymän parantamiseen. Paluuenergian myynnin potentiaalin kartoitus ja sisäiset liiketoimintamalli. Huomio paluuenergian myynti ei ole mahdollista kaikille, vaan on mahdollista vain kohdennetusti. Potentiaalisten kohteiden liittäminen verkkoon.	Kaikkien asiakkaiden jatkuva paluulämpötilan seuranta. Potentiaalisten paluuenergian kohteiden liittäminen verkkoon.	Paluueden lämpötilan laskulla on iso vaikutus verkoston siirtokyvyn. Verkostosimuloinneissa havaittiin, että jos paluulämpötilaa saadaan verkostossa laskettua esimerkiksi 50 → 45 °C:een, putoaa huipputilanteessa tuotannon hajautustarve puoleen. Keinoja paluueden lämpötilan laskemiseksi: läpikiertojen (asiakaslaitteet, verkosto, lämmöntuotanto) kartoitus, paluuenergian hyödyntäminen.
Kaksisuuntainen kaukolämpö ja hukkalämmöt		Kohteiden potentiaalin kartoittaminen ja kohteiden teknistaloudelliset laskelmat. Verkostokohtainen arviointi kuinka paljon verkostoon on hyödynnettävissä hukkalämpöjä tai kaksisuuntaista kaukolämpöä	Potentiaalisten kohteiden liittäminen verkkoon.	Potentiaalisten kohteiden liittäminen verkkoon.	Kaksisuuntainen kaukolämpö ja hukkalämmöt ovat yksi mahdollinen toimi tuotannon hajauttamiseksi, koska nämä kohteen sijaitsevat yleensä muualla kuin päälämmöntuotantoyksikön lähellä. Kohteet voivat olla suoran lämmöntalteenoton kohteita tai erilaisia lämpöpumppusovellutuksia, kuten datakeskuksia, kaupan kylmälaitteiden tai kylmävarastojen lauhteiden lämmöntalteenottoa.
Korkealämpöiset siirtolinjat			Potentiaalin kartoittaminen, toimii mahdollisena vaihtoehtona verkostoinvestoinnille.	Investoinnit shunttausasemaa ja mahdolliseen välipumppaamoon.	Siirtolinja on mahdollista pitää korkealämpöisempänä kuin varsinainen kaukolämpöverkko. Tällä pystytään maksimoimaan siirto johdon kapasiteetti, korkealämpöisellä tarkoitetaan tässä tapauksessa noin tämän hetkisiä maksimilämpötiloja eli noin 105-120 °C tai tapauskohtaisesti näistä vielä korkeampia lämpötila. Siirtolinjat voivat olla esim. päälämmöntuotantolaitosten siirtojohtoja tai muita vastaavia siirtojohtoja.
Matalalämpöiset verkosto-osat		Potentiaalin kartoitus. Painotus erityisesti uusille alueille tai K1/2021 mitoituksella, tai matalammalla lämpötilatasolla, tehdyt tai suunnitteilla olevat kohteet/alueet	Investoinnit. KytKentätapana tapauskohtaisesti joko shunttaus tai epäsuorakytkentä	Investoinnit.	Potentiaalisten kohteiden/alueiden kartoitus jo suunnitteluvaiheessa. KytKentävaihtoehdot joko suorakytkentäisenä shunntaamalla tai epäsuorakytkentä.
Verkosto-dokumentaatio	Dokumentaation ajantasaistaminen huomioiden putkiston sijainti, dn-koot, putkityypit sekä kiertolenkkien sijainnit.	Tarvittavat ohjelmistohankinnat. Dokumentaation ylläpito	Alajakokeskusten LVI-suunnitelmien dokumentaation ajantasaistaminen	Dokumentaation ylläpito	Tukitoimi. Yhtiöillä verkostodokumentaatio kattaa tyypillisesti putkien sijainnit, koot sekä tyyppit. Kiertolenkkien dokumentoinneissa tyypillisesti puutteita, kuten myös alajakokeskusten lvi-suunnitelmien dokumentoinnissa.
Kysyntäjousto		Potentiaalisten kiinteistöjen kartoitus	Potentiaalisten kohteiden liittäminen verkkoon. Kysyntäjouston hyödyntäminen. Kysyntäjouston mahdollistavien laitteiden vaatiminen laiteuusinnoissa tai lämpöyhtiön osallistuminen hankintaan	Kysyntäjouston hyödyntäminen. Kysyntäjouston mahdollistavien laitteiden vaatiminen laiteuusinnoissa tai lämpöyhtiön osallistuminen hankintaan	Tukitoimi. Tarkoituksena siirtää tai rajoittaa kuluttajatasolla tehonottoa. Kysyntäjousto mahdollisuus hyödyntää vara-/huipputeholaitoksen kaltaisesti, mutta vaatii merkittävän kiinteistömäärän ja tällöinkin potentiaali verkon siirtokyvyn parantamiselle rajallinen. Poikkeuksena kuluttajat, jotka käyttävät ison osan verkon tehosta. Kysyntäjouston hyödyt ovat enemmän hetkittäisen tehon tarpeen (esim. aamupiikki) tasaantumisessa tai poikkeustilanteissa.
Digitalisaatio	Olemassa olevan mittausdatan hyödyntäminen. Esim kuluttajien etämittaridata ja verkon paine-eromittaukset huomioiden vara- ja huippu-laitokset. Kuluttajien etäluentapalvelun hankinta, mikäli tätä ei käytössä.	Olemassa olevan mittauksien kehitys. Kuten kuluttajien etäluennan päivitys tuntiseen ja mahdollisimman reaaliaikaiseen luentaan, jotta dataa voisi hyödyntää verkon ajamiseen.	Verkon mittarointisuunnitelman teko. Lämpö/paine/virtausmittausten lisääminen verkon kriittisiin kohtiin suunnitelman mukaan. Asiakkaiden lämmityspiirin mittarointi esimerkiksi kysyntäjouston kautta	Verkon mittaroinnin laajentaminen koko verkkoa kattavaksi. Asiakkaiden olosuhdemittausten hyödyntäminen, jos se nähdään järkevänä.	Tukitoimi. Tarkoituksena hyödyntää verkosta ja kuluttajilta tulevaa mittausdataa verkon ajamiseen, verkossa olevat mittaukset voivat sijaita esim. kaukolämpö johdossa tai -kaivossa. Verkossa olevia mittauksia voidaan hyödyntää esimerkiksi verkon aluettaisen meno- ja paluulämpötilan havainnoimiseen ja kuluttajien etäluentadataa huonojen jäähdyttäjien kartoitukseen. Myöhemmässä vaiheessa kuluttajien lämmityspiireistä tulevaa dataa voi hyödyntää vielä tarkemmin menolämpötilan optimointiin.
Verkostolaskenta		Verkostosimulointimallin luonti kaukolämpöverkosta ja tulevien investointivaihtoehtojen mallintaminen.	Tehtyjen investointitoimien analysointi ja varmentaminen simuloimalla. Onlinemallinnus, jossa simulointimalliin annetaan reaaliaikaista dataa suoraan kaukolämpöverkosta.	Onlinemallinnus, jossa simulointimalli ohjaa tai antaa ohjausarvot kaukolämpöverkon ajamiseksi.	Tukitoimi. Verkostosimuloinnissa luodaan kaukolämpöverkkoa vastaava digitaalinen kaksonen. Simuloinnilla on mahdollisuus tarkastella esimerkiksi lämmöntuotannon hajautuksen ja ajomallien sekä erilaisten verkostoinvestointien vaikutuksia.

Ville Korpinen

Luottamuksellinen

Taulukko ei ota kantaa siihen, onko menolämpötila 90 °C myös mitoitusulkolämpötilassa vai ajetaanko tätä korkeampaa lämpötilaa. Verkkokohtaisesti on arvioitava lyhyen ja pitkän aikavälin toimenpiteiden laajuutta, kun on selvillä missä ajotilanteissa tavoitellaan 90 °C menolämpötilaa. Toimet ovat vaikuttavuudeltaan laskevassa järjestyksessä.

Toimi	Minimitaso	Perustaso	Lyhyen välin toimenpide	Pitkän välin toimenpide	Selite/huomioita
Johtoinvestoinnit	Verkostoinvestointiohjelman laadinta. Yhteisrakentamisen kartoitus.	Keskusta-alueiden yhteistoiminta eri infratoimijoiden kanssa. Virtausmittauspaikkojen kartoitus verkoston päälinjoista.	Investoinnit, erityisesti ydinkeskusta-alueilla yhteistyössä eri infratoimijoiden kanssa.	Investoinnit.	Johtoinvestoinneilla merkittävä vaikutus verkoston siirtokykyyn, tämän tyyppin verkoissa johtoinvestoinnit tulevat kohdistumaan jo havaittuihin pullonkauloihin. Putkimitoituksissa on huomioitava K1/2021 suosituksen vaikutukset putkimitoituksiin jo nyt.
Välipumppaamot		Välipumppaamoinvestoinnit. Pumppaamojen yhteyteen mahdollisuus mm: <ul style="list-style-type: none"> Shunttauksien toteuttamiselle Verkoston virtausmittaukselle 	Välipumppaamoinvestoinnit.		Välipumppaamoilla pystytään parantamaan verkon siirtokykyä 30-40 %:a, joten pumppaamoilla pysytään kompensoimaan jäähtymän kapenemisesta aiheutuva siirtokyvyn lasku, joten välipumppaamoinvestoinnit voivat riittää putkistosaneerausohjelman rinnalla, mikäli verkko ei oel nykyisin ahdas. Pitkillä siirtomatkoilla voi tulla välttämättömäksi ratkaisuksi. Lisäksi välipumppaamot mahdollistavat painetasojen hallinnan.
Alhaisempi paluulämpötila • korkeat paluulämpötilat • paluuenergian hyödyntäminen	Korkeiden paluulämpötilojen syiden selvittäminen: Verkoston ja lämpölaitosten läpikiertojen (lämpimänä pidot) kartoitus ja poissulku	Heikkojen/valittujen asiakkaiden paluulämpötilan seuranta → toimet jäähtymän parantamiseen asiakaskohtaisesti. Paluuenergian myynnin potentiaalinen kartoitus ja sisäiset liiketoimintamalli. Huomio paluuenergian myynti ei ole mahdollista kaikille vaan on mahdollista vain kohdennetusti	Valittujen asiakkaiden paluulämpötilan jatkuva seuranta → toimet jäähtymän parantamiseen. Paluuenergian myynnin potentiaalinen kartoitus ja sisäiset liiketoimintamalli. Huomio paluuenergian myynti ei ole mahdollista kaikille, vaan on mahdollista vain kohdennetusti. Potentiaalisten kohteiden liittäminen verkkoon.	Kaikkien asiakkaiden jatkuva paluulämpötilan seuranta. Potentiaalisten paluuenergian kohteiden liittäminen verkkoon.	Paluueden lämpötilan laskulla on iso vaikutus verkoston siirtokykyyn. Verkostosimuloinneissa havaittiin, että jos paluulämpötilaa saadaan verkostossa laskettua esimerkiksi 50 → 45 °C:een, ei välttämättä tarvita isoja verkostoinvestointeja, jos verkko on nykyisellään väljä. Keinoja paluueden lämpötilan laskemiseksi: läpikiertojen (asiakslaitteet, verkosto, lämmöntuotanto) kartoitus, paluuenergian hyödyntäminen.
Kaksisuuntainen kaukolämpö ja hukkalämmöt		Kohteiden potentiaalinen kartoittaminen ja kohteiden teknistaloudelliset laskelmat. Verkostokohtainen arviointi kuinka paljon verkostoon on hyödynnettävissä hukkalämpöjä tai kaksisuuntaista	Potentiaalisten kohteiden liittäminen verkkoon.	Potentiaalisten kohteiden liittäminen verkkoon.	Kaksisuuntainen kaukolämpö ja hukkalämpöjä on arvioitava verkon siirtokyvyn kannalta tapauskohtaisesti, koska tämän tyyppin verkoissa todennäköisesti on jo yksi tai useampi tämän tyyppinen tuotantokohde. Kohteet voivat olla suoran lämmöntalteenoton kohteita tai erilaisia lämpöpumppusovelluksia, kuten datakeskuksia, kaupan kylmälaitteiden tai kylmävarastojen laitteiden lämmöntalteenottoa.
Korkealämpöiset siirtolinjat			Potentiaalinen kartoittaminen, toimii mahdollisena vaihtoehtona verkostoinvestoinnille.	Investoinnit shunttausasemaa ja mahdolliseen välipumppaamoon.	Siirtolinjat on mahdollista pitää korkealämpöisempänä kuin varsinainen kaukolämpöverkko. Tällä pystytään maksimoimaan siirtojohtojen kapasiteetti, korkealämpöisellä tarkoitetaan tässä tapauksessa noin tämän hetkisiä maksimilämpötiloja eli noin 105-120 °C tai tapauskohtaisesti näistä vielä korkeampia lämpötila. Siirtolinjat voivat olla esim. päälämmöntuotantolaitosten siirtojohtoja tai muita vastaavia siirtojohtoja.
Matalalämpöiset verkosto-osat		Potentiaalinen kartoitus. Painotus erityisesti uusille alueille tai K1/2021 mitoituksella, tai matalammalla lämpötilatasolla, tehdyt tai suunnitteilla olevat kohteet/alueet	Investoinnit. Kytkeäntäpana tapauskohtaisesti joko shunttaus tai epäsuorakytkentä	Investoinnit.	Potentiaalisten kohteiden/alueiden kartoitus jo suunnitteluvaiheessa. Kytkeävaihtoehdot joko suorakytkentäisenä shunttaamalla tai epäsuorakytkentä.
Verkostodokumentaatio	Dokumentaation ajantasaistaminen huomioiden putkiston sijainti, dn-koot, putkityypit sekä kiertolenkkien sijainnit.	Tarvittavat ohjelmistohankinnat. Dokumentaation ylläpito	Alajakokeskusten LVI-suunnitelmien dokumentaation ajantasaistaminen	Dokumentaation ylläpito	Tukitoimi. Yhtiöillä verkostodokumentaatio kattaa tyypillisesti putkien sijainnit, koot sekä tyypit. Kiertolenkkien dokumentoinneissa tyypillisesti puutteita, kuten myös alajakokeskusten lvi-suunnitelmien dokumentoinnissa.
Kysyntäjousto		Potentiaalisten kiinteistöjen kartoitus	Potentiaalisten kohteiden liittäminen verkkoon. Kysyntäjoustopuhtaus. Kysyntäjoustopuhtaus mahdollistavien laitteiden vaatiminen laiteuusinoissa tai lämpöyhtiön osallistuminen hankintaan	Kysyntäjoustopuhtaus. Kysyntäjoustopuhtaus mahdollistavien laitteiden vaatiminen laiteuusinoissa tai lämpöyhtiön osallistuminen hankintaan	Tukitoimi. Tarkoituksena siirtää tai rajoittaa kuluttajatasolla tehonottoa. Kysyntäjoustopuhtaus mahdollisuus hyödyntää vara-/huipputeholaitoksen kaltaisesti, mutta vaatii merkittävän kiinteistömassan ja tällöinkin potentiaali verkon siirtokyvyn parantamiselle rajallinen. Poikkeuksena kuluttajat, jotka käyttävät ison osan verkon tehosta. Kysyntäjoustopuhtaus ovat enemmän hetkittäisen tehon tarpeen (esim. aamupiikki) tasaantumisen tai poikkeustilanteissa.
Digitalisaatio	Olemassa olevan mittausdatan hyödyntäminen. Esim kuluttajien etämittaridata ja verkon paine-eromittaukset huomioiden vara- ja huippulaitokset. Kuluttajien etäluentapalvelun hankinta, mikäli tätä ei käytössä.	Olemassa olevan mittauksien kehitys. Kuten kuluttajien etäluentapalvelun päivitys tuntiseen ja mahdollisimman reaaliaikaiseen luentaan, jotta dataa voisi hyödyntää verkon ajamiseen.	Verkon mittarointisuunnitelman teko. Lämpö/paine/virtausmittausten lisääminen verkon kriittisiin kohtiin suunnitelman mukaan. Asiakkaiden lämmityspiirien mittarointi esimerkiksi kysyntäjoustopuhtaus kautta	Verkon mittaroinnin laajentaminen koko verkkoa kattavaksi. Asiakkaiden olosuhdemittausten hyödyntäminen, jos se nähdään järkevänä.	Tukitoimi. Tarkoituksena hyödyntää verkosta ja kuluttajilta tulevaa mittausdataa verkon ajamiseen, verkossa olevat mittaukset voivat sijaita esim. kaukolämpöjohtossa tai -kaivossa. Verkossa olevia mittauksia voidaan hyödyntää esimerkiksi verkon aluettaisen meno- ja paluulämpötilan havainnointiin ja kuluttajien etäluentadataa huonojen jäädyttäjien kartoitukseen. Myöhemmässä vaiheessa kuluttajien lämmityspiireistä tulevaa dataa voi hyödyntää vielä tarkemmin menolämpötilan optimointiin.
Verkostolaskenta		Verkostosimulointimallin luonti kaukolämpöverkosta ja tulevien investointivaihtoehtojen mallintaminen.	Tehtyjen investointitoimien analysointi ja varmentaminen simuloinnilla. Onlinemallinnus, jossa simulointimalliin annetaan reaaliaikaista dataa suoraan kaukolämpöverkosta	Onlinemallinnus, jossa simulointimalli ohjaa tai antaa ohjauksia kaukolämpöverkon ajamiseksi.	Tukitoimi. Verkostosimuloinnissa luodaan kaukolämpöverkkoa vastaava digitaalinen kaksonen. Simuloinnilla on mahdollisuus tarkastella esimerkiksi lämmöntuotannon hajautuksen ja ajomallien sekä erilaisten verkostoinvestointien vaikutuksia.

Taulukko ei ota kantaa siihen, onko menolämpötila 90 °C myös mitoitusulkolämpötilassa vai ajetaanko lämmöntuotannossa tätä korkeampi lämpötiloja. Verkkokohtaisesti on arvioitava lyhyen ja pitkän aikavälin toimenpiteiden laajuutta, kun on selvillä missä ajotilanteissa tavoitellaan 90 °C menolämpötilaa.

Toimet ovat vaikuttavuudeltaan laskevassa järjestyksessä.

Toimi	Minimitaso	Perustaso	Lyhyen välin toimenpide	Pitkän välin toimenpide	Selite/huomioita
Johtoinvestoinnit	Verkostoinvestointiohjelman laadinta. Yhteisrakentamisen kartoitus.	Keskusta-alueiden yhteistoiminta eri infratoimijoiden kanssa. Virtausmittauspaikkojen kartoitus verkoston päälinjoista.	Investoinnit, erityisesti ydinkeskusta-alueilla yhteistyössä eri infratoimijoiden kanssa.	Investoinnit.	Johtoinvestoinneilla merkittävä vaikutus verkoston siirtokykyyn, tämän tyyppin verkoissa johtoinvestoinnit tulevat kohdistumaan jo havaittuihin pullonkauloihin. Jakelujohtojen putkimitoituksissa on huomioitava K1/2021 suosituksen vaikutukset putkimitoituksiin jo nyt.
Välipumppaamot		Välipumppaamoinvestoinnit.	Välipumppaamoinvestoinnit.		Välipumppaamoilla pystytään parantamaan verkoston siirtokykyä 30-40 %:a, joten pumppaamoilla pysytään kompensoimaan jäähtymän kapenemisesta aiheutuva siirtokyvyn lasku. Pitkillä siirtomatkoilla voi tulla välttämättömäksi ratkaisuksi myös korkealämpöisissä linjoissa. Lisäksi välipumppaamot mahdollistavat nainetasoien hallinnan.
Alhaisempi paluulämpötila ▪ korkeat paluulämpötilat ▪ paluuenergian hyödyntäminen	Korkeiden paluulämpötilojen syiden selvittäminen: Verkoston ja lämpölaitosten läpikiertojen (lämpimänä pidot) kartoitus ja poissulku	Heikkojen/valittujen asiakkaiden paluulämpötilan seuranta → toimet jäähtymän parantamiseen asiakaskohtaisesti. Paluuenergian myynnin potentiaalin kartoitus ja sisäiset liiketoimintamalli. Huomio paluuenergian myynti ei ole mahdollista kaikille, vaan on mahdollista vain kohdennetusti	Valittujen asiakkaiden paluulämpötilan jatkuva seuranta → toimet jäähtymän parantamiseen. Paluuenergian myynnin potentiaalin kartoitus ja sisäiset liiketoimintamalli. Huomio paluuenergian myynti ei ole mahdollista kaikille vaan on mahdollista vain kohdennetusti. Potentiaalisten kohteiden liittäminen verkkoon.	Kaikkien asiakkaiden jatkuva paluulämpötilan seuranta. Potentiaalisten paluuenergian kohteiden liittäminen verkkoon.	Paluueden lämpötilan laskulla on iso vaikutus verkoston siirtokykyyn. Jos paluulämpötilaa saadaan verkostossa laskettua esimerkiksi 50 → 45 °C:een, ei välttämättä tarvita normaalin saneerausohjelman ulkopuolisia investointeja. Keinoja paluueden lämpötilan laskemiseksi: läpikiertojen (asiakaslaitteet, verkosto, lämmöntuotanto) kartoitus, paluuenergian hyödyntäminen.
Lämmöntuotannon hajauttaminen	Lämmöntuotannon hajauttamisen kartoitus	Mahdollisten tuotantopaikkojen kartoitus	Investointiohjelman laadinta, jos tuotannon hajauttaminen on tarpeellista. Mahdolliset investoinnit jo tässä vaiheessa.	Investoinnit, mikäli hajauttaminen on mahdollista	Tarkoitetaan lämmöntuotannon sijoittamista verkostonäkökulmasta eri puolille kaukolämpöverkkoa, verkon kannalta tuotantona voidaan tässä tapauksessa käsittää myös erilaiset akkuratkaisut, joista syötetään lämpöä verkkoon. Tämän tyyppin verkoissa tuotannon hajauttaminen haasteellisempaa, koska sijoitukseen vaikuttavat myös alueen vallitseva lämpötilataso ja kuinka laajalle alueelle sijainnista on mahdollista tuottaa lämpöä erilaisten lämpötilatasojen johdosta. Tuotannon hajauttamisen kuitenkin määrittävät yleensä muut tekijät kuin pelkkä verkostonäkökulma. Lämmöntuotannon hajauttaminen tämän tyyppin verkoissa ei ole välttämättä pakollinen toimi, koska korkealämpöisillä siirtolinjoilla/-verkoilla on jo pyritty maksimoimaan päätuotannon siirtokapasiteetti verkkoon.
Kaksisuuntainen kaukolämpö ja hukkalämmöt		Kohteiden potentiaalin kartoittaminen ja kohteiden teknistaloudelliset laskelmat. Verkostokohtainen arviointi kuinka paljon verkostoon on hyödynnettävissä hukkalämpöjä tai kaksisuuntaista kaukolämpöä	Potentiaalisten kohteiden liittäminen verkkoon.	Potentiaalisten kohteiden liittäminen verkkoon.	Kaksisuuntainen kaukolämpö ja hukkalämpöjä on arvioitava verkon siirtokyvyn kannalta tapauskohtaisesti, koska tämän tyyppin verkoissa erilaiset lämpötilatasot voivat aiheuttaa haastetta lämpöjen ottamiseksi verkkoon. Kohteet voivat olla suoran lämmöntalteenoton kohteita tai erilaisia lämpöpumppusovelluksia, kuten datakeskuksia, kaupan kylmälaitteiden tai kylmävarastojen lauhteiden lämmöntalteenottoa.
Korkealämpöiset siirtolinjat		Laajentumispotentiaalinen kartoitus	Investoinnit shunttausasemaa ja mahdolliseen välipumppaamoon.	Investoinnit shunttausasemaa ja mahdolliseen välipumppaamoon.	Siirtolinja on mahdollista pitää korkealämpöisempänä kuin varsinainen kaukolämpöverkko. Tällä pystytään maksimoimaan siirtojohtojen kapasiteetti, korkealämpöisellä tarkoitetaan tässä tapauksessa noin tämän hetkisiä maksimilämpötiloja eli noin 105-120 °C tai tapauskohtaisesti näistä vielä korkeampia lämpötiloja. Siirtolinjat voivat olla esim. päälämmöntuotantolaitosten siirtojohtoja tai muita vastaavia siirtojohtoja.
Matalalämpöiset verkosto-osat		Potentiaalinen kartoitus. Painotus erityisesti uusille alueille tai K1/2021 mitoituksella, tai matalammalla lämpötilatasolla, tehdyt tai suunnitteilla olevat kohteet/alueet	Investoinnit. Kytchentätapana tapauskohtaisesti joko shunttaus tai epäsuorakytkentä	Investoinnit.	Potentiaalisten kohteiden/alueiden kartoitus jo suunnitteluvaiheessa. Kytchentävaihtoehdot joko suorakytkentäisenä shunttaamalla tai epäsuorakytkentä.
Verkostodokumentaatio	Dokumentaation ajantasaistaminen huomioiden putkiston sijainti, DN-koot, putkityypit sekä kiertolenkkien sijainnit.	Tarvitavat ohjelmistohankinnat. Dokumentaation ylläpito	Alajakokeskusten LVI-suunnitelmien dokumentaation ajantasaistaminen	Dokumentaation ylläpito	Tukitoimi. Yhtiöillä verkostodokumentaatio kattaa tyypillisesti putkien sijainnit, koot sekä tyytit. Kiertolenkkien dokumentoinneissa tyypillisesti puutteita, kuten myös alajakokeskusten lvi-suunnitelmien dokumentoinnissa.
Kysyntäjousto		Potentiaalisten kiinteistöjen kartoitus	Potentiaalisten kohteiden liittäminen verkkoon. Kysyntäjouoston hyödyntäminen. Kysyntäjouoston mahdollistavien laitteiden vaatiminen laiteusinoissa tai lämpöyhtiön osallistuminen hankintaan	Kysyntäjouoston hyödyntäminen. Kysyntäjouoston mahdollistavien laitteiden vaatiminen laiteusinoissa tai lämpöyhtiön osallistuminen hankintaan	Tukitoimi. Tarkoituksena siirtää tai rajoittaa kuluttajatasolla tehonottoa. Kysyntäjousto mahdollisuus hyödyntää vara-/huipputehohaitoksen kaltaisesti, mutta vaatii merkittävän kiinteistömäärän ja tällöinkin potentiaali verkon siirtokyvyn parantamiselle rajallinen. Poikkeuksena kuluttajat, jotka käyttävät ison osan verkon tehosta. Kysyntäjouoston hyödyt ovat enemmän hetkittäisen tehon tarpeen (esim. aamupiikki) tasaantumisen tai poikkeustilanteissa.
Digitalisaatio	Olemassa olevan mittausdatan hyödyntäminen. Esim kuluttajien etä-mittaridata ja verkon paine-ero-mittaukset huomioiden vara- ja huippulaitokset. Kuluttajien etäluenta-palvelun hankinta, mikäli ei käytössä.	Olemassa olevan mittauksien kehitys. Kuten kuluttajien etälueen päivitys tuntiseen ja mahdollisimman reaaliaikaiseen luentaan, jotta dataa voisi hyödyntää verkon ajamiseen.	Verkon mittarointisuunnitelman teko. Lämpö/paine/virtausmittausten lisääminen verkon kriittisiin kohtiin suunnitelman mukaan. Asiakkaiden lämmityspiirin mittarointi esimerkiksi kysyntäjouoston kautta	Verkon mittaroinnin laajentaminen koko verkkoa kattavaksi. Asiakkaiden olosuhdemittausten hyödyntäminen, jos se nähdään järkevänä.	Tukitoimi. Tarkoituksena hyödyntää verkosta ja kuluttajilta tulevaa mittausdataa verkon ajamiseen, verkossa olevat mittaukset voivat sijaita esim. kaukolämpöjohdossa tai -kaivossa. Verkossa olevia mittauksia voidaan hyödyntää esimerkiksi verkon aluettaisen meno- ja paluulämpötilan havainnointiin ja kuluttajien etäluenta-dattaa huonojen jäädyttäjien kartoitukseen. Myöhemmässä vaiheessa kuluttajien lämmityspiireistä tulevaa dataa voi hyödyntää vielä tarkemmin menolämpötilan optimointiin.
Verkostolaskenta		Verkostosimulointimallin luonti kaukolämpöverkosta ja tulevien investointivaihtoehtojen mallintaminen.	Tehtyjen investointitoimien analysointi ja varmentaminen simuloimalla. Onlinemallinnus, jossa simulointimalliin annetaan reaaliaikaista dataa suoraan kaukolämpöverkosta.	Onlinemallinnus, jossa simulointimalli ohjaa tai antaa ohjausarvot kaukolämpöverkon ajamiseksi.	Tukitoimi. Verkostosimuloinnissa luodaan kaukolämpöverkkoa vastaava digitaalinen kaksonen. Simuloinnilla on mahdollisuus tarkastella esimerkiksi lämmöntuotannon hajautuksen ja ajomallien sekä erilaisten verkostoinvestointien vaikutuksia.