



Hannu Ruokosalo

Kaukolämmön mitoituslämpötilan alentaminen Helsingissä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Talotekniikka

Opinnäytetyö

1.4.2023

Tiivistelmä

Tekijä: Hannu Ruokosalo
Otsikko: Kaukolämmön mitoituslämpötilan alentaminen Helsingissä
Sivumäärä: 33 sivua + 1 liite
Aika: 1.4.2023

Tutkinto: insinööri (YAMK)
Tutkinto-ohjelma: talotekniikka
Ammatillinen pääaine: LVI-tekniikka
Ohjaajat: lehtori Seppo Innanen
yleissuunnittelupäällikkö Tero Korhonen

Tässä YAMK-insinööriyössä selvitetään kaukolämmön mitoituslämpötilan laskun vaikutuksia kaukolämpöjärjestelmässä sekä erityisesti Helenin kaukolämpöverkon alueella. Kaukolämmön mitoituslämpötilaa laskettiin 115 °C:sta 90 °C:seen Energiategollisuuden julkaisussa K1/2021-Rakennusten kaukolämmitys - Ohjeet ja määräykset. Kaukolämmön mitoituslämpötilan laskun taustalla on tavoite parantaa kaukolämmön energiatehokkuutta, mahdollistaa hukkalämpöjen, lämpöpumppujen sekä uusien tuotantomuotojen hyödyntäminen suuressa mittakaavassa ja nopeuttaa siirtymää kohti päästöttömyyttä. Uuden mitoituslämpötilan mahdollistaman lämpötilatasojen laskun hyötyjä selvitettiin kaukolämmön tuotannon, kaukolämpöverkon sekä asiakkaiden lämmönjakokeskusten ja talotekniikan osalta.

Opinnäytetyöstä käy ilmi, että lämpötilatasojen madaltaminen parantaa kaukolämmön tuotannon energiatehokkuutta, mahdollistaa hukkalämpöjen hyödyntämistä ja päästöjen pienentämistä. Kaukolämpöverkolla iso hyöty tulee lämpöhäviöiden pienentymisestä, mutta muutos aiheuttaa myös haasteita lämpötilaeron pienentyessä ja virtausten kasvaessa. Muutoksen myötä käyttöpaikkojen jäähtymän merkitys kasvaa entisestään ja lämpötilaero on pidettävä kohtuullisena ja paluulämpötilaa laskettava nykyiseltä tasolta.

Uudet kaukolämpöön liitettävät rakennukset sekä olemassa olevien käyttöpaikkojen lämmönjakokeskukset uusitaan laiteuusinnassa matalammalle 90 °C:n lämpötilalle. Lämmönjakokeskusten lisäksi kiinteistöjen lämmitysjärjestelmien toisiopiirin lämpötilat vaikuttavat tarvittavaan menolämpötilaan sekä kaukolämmön paluulämpötilaan, joten asiakkailta on iso merkitys kaukolämpöjärjestelmän toiminnalle. Asiakkaiden laiteinvestoinnit kasvavat hiukan, mutta asiakkaat voivat myös hyötyä vesivirtamaksun pienentymisestä, kaukolämmön suotuisasta hintakehityksestä sekä päästöjen laskusta.

Kaukolämmön lämpötilatasojen lasku on olennainen osa kaukolämmön kehitystä, energiatehokkuuden ja hyötysuhteen parantamista sekä hukkalämpöjen hyödyntämisen lisäämistä. Helenin tavoitteena on olla hiilineutraali vuoteen 2030 mennessä ja siirtyä pois polttavasta kaukolämmön tuotannosta. Lämmönjakokeskusten uusi mitoitus ja lämpötilojen lasku hyödyttävät erityisesti Helenin kaukolämpöasiakkaita ja kaukolämpöjärjestelmää.

Avainsanat: kaukolämpö, lämmönjakokeskus, energiatehokkuus

Abstract

Author: Hannu Ruokosalo
Title: Lowering the design temperature of district heating in Helsinki
Number of Pages: 33 pages + 1 appendix
Date: 1 April 2023

Degree: Master of Engineering
Degree Programme: Building Services Engineering
Supervisors: Seppo Innanen, Senior Lecturer
Tero Korhonen, General Planning Manager

This master's thesis aimed at establishing the benefits of the district heating design temperature drop from 115 °C to 90 °C, defined on new design guidelines for district heating customer substations. The thesis defined both the general effects on district heating and more specifically the effects in Helsinki.

The results of the thesis showed that the lower temperature improves the energy efficiency of district heating. Furthermore, it also allows the utilization of waste heat, as well as an increase in heat pump production on a large scale. In addition, the lower temperature reduces emissions and speeds up transition towards zero emission district heating. In the district heating network, the transformation reduces heat losses but increases flows. The importance of substations and the cooling of the district heating water increases. As the temperature difference must be maintained and also the return temperature needs to be lowered with supply temperature.

Keywords: District heating, substations, energy efficiency

Sisällys

Käsitteet

1	Johdanto	1
2	Kaukolämpö	3
2.1	Kaukolämpöjärjestelmä	3
2.2	Kaukolämpöjärjestelmä Helsingissä	5
2.3	Kaukolämmön lämmönjakokeskus	6
2.4	Lämmönjakokeskuksen mitoittaminen	8
3	Rakennuksen lämmitys	12
3.1	Rakennuksen lämmöntarve	12
3.2	Rakennuksen lämmitystehontarve	18
3.3	Kiinteistöjen lämmitysverkostot ja lämmityksen säätökäyrä	19
4	Mitoituslämpötilan muutosten vaikutukset kaukolämpöjärjestelmässä	25
4.1	Tuotanto	25
4.2	Kaukolämpöverkko	27
4.3	Asiakkaat	30
5	Yhteenveto	32
	Lähteet	34

Liitteet

Liite 1: K1 versioiden vertailutaulukko

Käsitteet

4GDH:	4th Generation District Heating eli neljännen sukupolven kaukolämpö.
asiakas:	Asiakkaalla tarkoitetaan tässä työssä kiinteistön omistajaa/haltijaa, joka on sopimussuhteessa lämmönmyyjään.
COP:	Coefficient of Performance, on lämpöpumpun hyötysuhteen lämpökerroin, joka kertoo tuotetun lämpöenergian lämpöpumpun kuluttaman sähkön suhteen.
lämmönjakokeskus:	Laitteisto, jolla siirretään lämpöenergia lämmönvaihdinten kautta kaukolämpövedestä kiinteistön lämmitysverkostoon ja käyttöveteen.
lämmönmyyjä:	Energiayhtiö, joka toimii kaukolämpöenergian myyjänä.
rakennusaste:	Vastapainevoimalaitosten sähkön ja lämmön hyötysuhdetta kuvataan rakennusasteella. Rakennusaste kasvaa sähkötehon kasvaessa suhteessa lämpötehoon.
sopimusteho:	Asiakkaan käyttöön varattu suurin lämmitysteho. Tehon yksikkönä käytetään kilowattia (kW).
sopimusvesivirta:	Asiakkaan käyttöön varattu suurin kaukolämmitysveden virtaama. Vesivirran yksikkönä käytetään kuutiota tunnissa (m ³ /h).

1 Johdanto

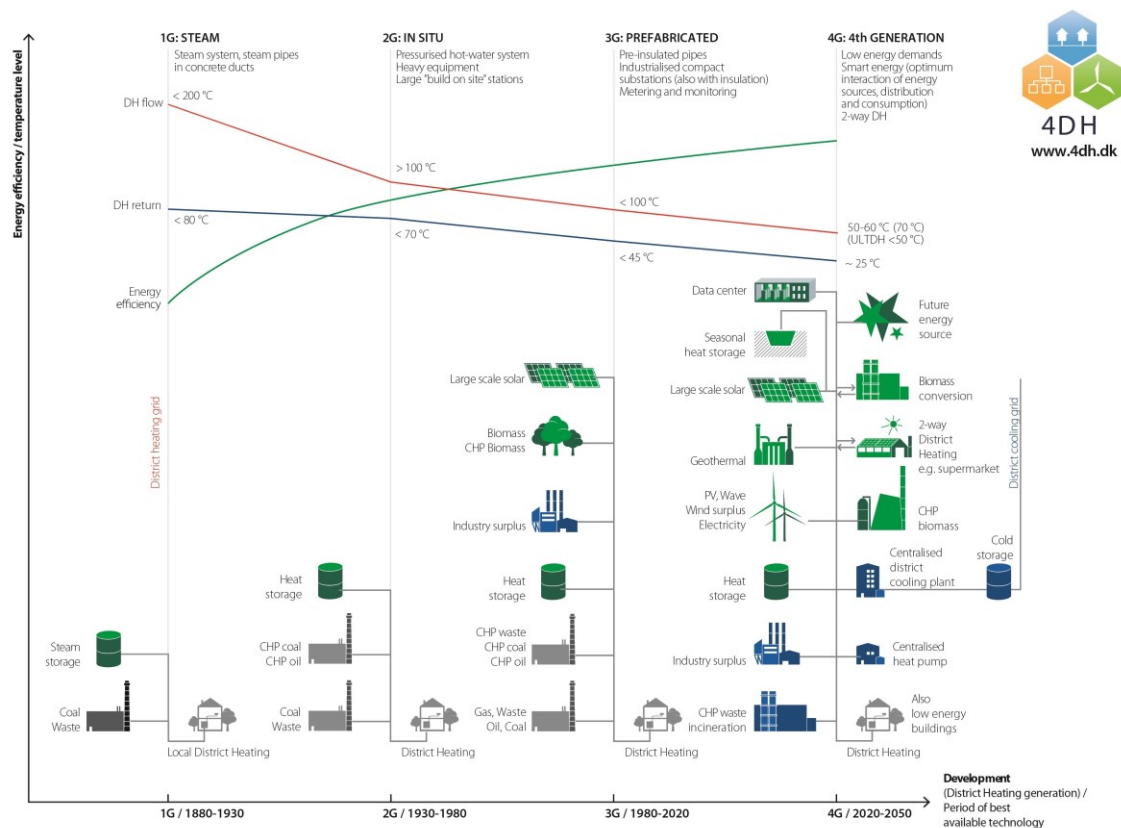
Energia-ala on murroksessa, kun ilmastonmuutoksen takia fossiilisista polttoaineista pyritään eroon. Myös kaukolämpö on muuttunut vihreämmäksi edeltävän vuosikymmenen aikana ja kehityksen ennustetaan jatkuvan edelleen. Kaukolämpöjärjestelmissä suunnitellaan uusien teknologioiden käyttöä ja kaukolämpöverkkoja kehitetään kohti matalampia lämpötiloja, joka edistäisi uusien puhaiden teknologioiden käyttöä (Puhdistuva kaukolämpö 2023.).

Suomen tavoite on olla hiilineutraali vuonna 2035 (Hallituksen ilmastopolitiikka: kohti hiilineutraalia Suomea 2035.) ja Helen sekä sen omistaja Helsingin kaupunki tavoittelevat hiilineutraalisuutta jo vuonna 2030 (Nopeutuva päästövähennystahti kirittää Helenin kasvua. 2023.). Helen on tehnyt jo päätöksen kivihiilen käytön lopettamisesta ja samalla kaukolämmön tuotanto uudistuu uusiutuvaksi ja päästöttömäksi. Tutkimusten mukaan myös asiakkaat pitävät tärkeänä energian kohtuullista hintaa sekä päästöjen vähentymistä (Suomalaisten energia-asenteet 2021, Kiinteistöliiton energia- ja ilmastokysely 2022).

Kaukolämpö on Suomen suosituin lämmitysmuoto ja toimialan yhtenäiset suunnittelun sekä asennuksen periaatteet koko maahan on koettu hyödyllisiksi. Periaatteet on koottu ET:n julkaisuun K1/2021 Rakennusten kaukolämmitys - Määräykset ja ohjeet, jonka ainoana muutoksena edelliseen versioon on mitoituslämpötilan alentaminen 1970-luvulla sovitusta 115°C:sta 90°C:n lämpötilaan (K1/2021. 2021.). Lämmönjakokeskukset kuitenkin uudistuvat hitaasti, joten muutoksen tuomia mahdollisuuksia halutaan arvioida tarkasti.

Tässä YAMK-opinnäytetyössä tutkitaan kaukolämmön lämpötilatasojen ja menolämpötilan pudottamisen vaikutuksia kaukolämpöjärjestelmälle. Työssä tutkitaan vaikutuksia kaukolämmössä yleisesti, mutta erityisesti Helsingissä Helenin kaukolämpöverkon alueella. Menolämpötilan lasku vaikuttaa kaukolämmön tuotantoon, lämmönsiirtoon kaukolämpöverkossa ja asiakkaiden lämmönjakokeskusten sekä talotekniikan toimintaan.

Tulevaisuuden kaukolämmöstä puhuttaessa puhutaan usein neljännen sukupolven kaukolämmöstä. Neljännen sukupolven kaukolämpö (4GDH) perustuu energiatehokkaiseen rakennukseen, uusiutuviin energianlähteisiin sekä älykkäaseen ja matalalämpöiseen kaukolämpöverkkoon (4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. 2014: 3–7). Neljännen sukupolven kaukolämmön konsepti on esitetty kuvassa 1. Monet neljännen sukupolven kaukolämmön ominaisuudet ovat jo käytössä suomalaisessa kaukolämmössä, mutta lämpötilat ovat 4GDH-konseptia korkeammat.



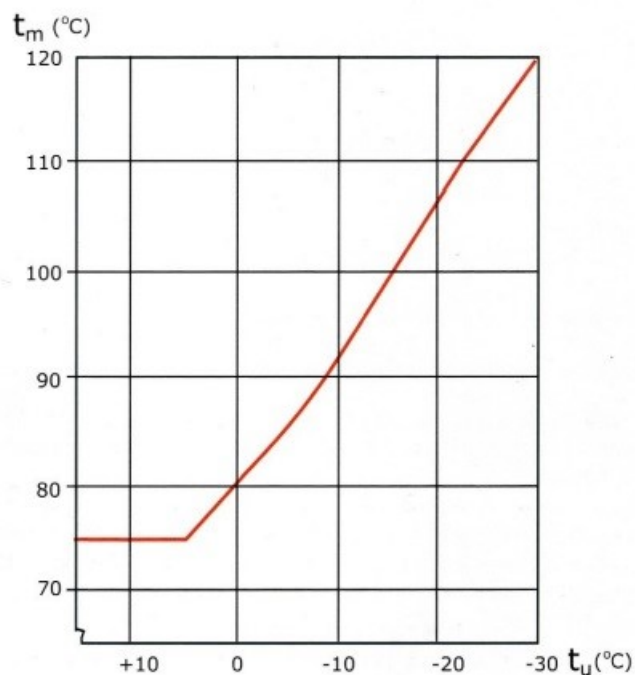
Kuva 1. Neljännen sukupolven kaukolämmön konsepti (4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. 2014.)

2 Kaukolämpö

2.1 Kaukolämpöjärjestelmä

Kaukolämpö on Suomen yleisin lämmitysmuoto, jossa rakennusten ja käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia tuotetaan keskitetysti ja jaellaan asiakkaille kaukolämpöverkon avulla. Lämpöenergia jaetaan verkossa kiertävän kuumen veden avulla tuotantolaitoksilta asiakkaiden lämmönjakokeskuksille. Suomalainen kaukolämpöverkko on toteutettu kaksiputkijärjestelmänä, jossa tuotantolaitoksella lämmitetty kuuma menovesi virtaa kaukolämmön menoputkessa asiakkaalle ja lämmön luovutettuaan palaa jäähtyneenä tuotantolaitokselle paluuputkessa. (Koskelainen ym. 2006: 43–44) Kaukolämmön menolämpötilaa säädetään ulkolämpötilan mukaan. Menolämpötilan säätökäyrä pidetään mahdollisimman alhaisena asiakaslaitteiden mitoitus ja kaukolämpöverkon rajoitteet huomioiden. Kaukolämmön menolämpötilan ohjeellinen säätökäyrä on esitetty kuvassa 2, mutta kaukolämpöyhtiöt voivat käyttää yksilöllisiä säätökäyriä oman kaukolämpöjärjestelmänsä, verkon siirtoviiveet sekä tuotannon optimointi huomioiden. (Koskelainen ym. 2006: 336)

Helenillä kaukolämmön tuotannon ja menolämpötilojen säätöä optimoidaan tarkasti ja säätö on automatisoitu. Menolämpötilan säädössä huomioidaan ulkolämpötilan ja asiakkaiden tarpeiden lisäksi tuotantokombinaatio ja sijainti, kaukolämpöverkon siirtorajoitteet ja maksimivirtaukset sekä sähkön hinta ja kaukolämmön pumppauskustannukset.



Kuva 2. Kaukolämmön menolämpötilan säätökäyrä (Koskelainen ym. 2006.)

Kaukolämmössä voi olla useita erilaisia lämmöntuotantotapoja, kuten sähkön ja lämmön yhteistuotantoa, erillislämmöntuotantoa, teollisuuden hukkalämpöä ja lämpöpumppuja. Kaukolämpöä voidaan tuottaa useilla eri polttoaineilla ja optimoida tuotantoa tilanteen mukaan. Optimointiin vaikuttaa mm. käytettävissä oleva tuotantokapasiteetti, kaukolämmön kulutus, sähkön sekä polttoaineiden hinnat ja päästöoikeuksien hinta. (Mäkelä & Tuunanen 2015: 23)

Kaukolämpöä tuotetaan yleisesti sähkön ja lämmön yhteistuotannolla (CHP), jonka etuna on hyvä hyötysuhde. Tyypillisesti CHP-laitoksessa on kattila tuottamassa höyryä, joka johdetaan ensin höyryturbiiniin tuottamaan sähköä ja sen jälkeen lämmönsiirtimiin tuottamaan kaukolämpöä. Polttoaineena voidaan käyttää esimerkiksi puuhaketta, turvetta tai kivihiltä. Kaukolämpöä voidaan tuottaa myös lämpökeskuksilla, jotka voivat toimia peruskuorma- tai huippulämpölaitoksina. Tyypillisiä lämpökeskusten polttoaineita ovat puupelletit, öljy tai maakaasu. Lisäksi kaukolämmöntuotannossa ovat lisääntyneet erilaiset lämpöpumput, joilla kerätään talteen hukkalämpöä tai tuotetaan samanaikaisesti kaukolämpöä ja -jäähdytystä. (Mäkelä & Tuunanen 2015: 24–26, 44)

Suomen kaukolämmönkulutus vuonna 2022 oli 32,8 TWh. Lämpötilakorjattuna lämmön käyttö oli 33,8 TWh ja laski hiukan edellisvuodesta. Vuonna 2020 kaukolämmön markkinaosuus asuin- ja palvelurakennusten lämmityksestä oli 45 %. Vuoden 2021 uudisrakennuksissa kaukolämmön markkinaosuus oli 50 %. Kaukolämmön tuotannon hiilidioksidineutraalien lämmönlähteiden osuus on kasvanut jatkuvasti ollen vuonna 2022 61 %, mikä näkyy kaukolämmön tuotannon ominaispäästöjen kehityksessä. Vuonna 2022 ominaispäästöt olivat 102 gCO₂/kWh ja laskivat edellisen 10 vuoden aikana 47 %. (Energiavuosi 2022 – Kaukolämpö. 2023.)

2.2 Kaukolämpöjärjestelmä Helsingissä

Helenin kaukolämpöjärjestelmä on Suomen suurin verkon koolla (1421 km) tai energiamäärällä mitattuna ja kaukolämmönkulutus vuonna 2022 oli 6 852 GWh (6,9 TWh), joka on noin 20 % Suomen kaukolämmönkulutuksesta (Helen Vastuullisuusraportti 2022: 14, 53). Kaukolämpöä tuotetaan Helenin voimalaitoksissa, lämpökeskuksilla ja lämpöpumppulaitoksilla käyttäen energialähteinä kivihiiltä (64 %), uusiutuvia polttoaineita (15 %), maakaasua (9 %), polttoöljyä (7 %) sekä hukkalämpöjä (5 %). Venäjän Ukrainassa aloittaman hyökkäyssodan takia maakaasun käyttö väheni 80 % vuodesta 2021 ja lämmöntuotantoa korvattiin lisäämällä kivihiilen, öljyn ja pelletin käyttöä lämmöntuotannossa. Vuoden 2022 energian tuotannosta 37 % oli hiilineutraalia, joten hiilineutraalin tuotannon osuus on kasvanut vuoden 2021 32 % ja vuoden 2020 26 % osuuksista. (Helen Vastuullisuusraportti 2022: 14, 28, 74)

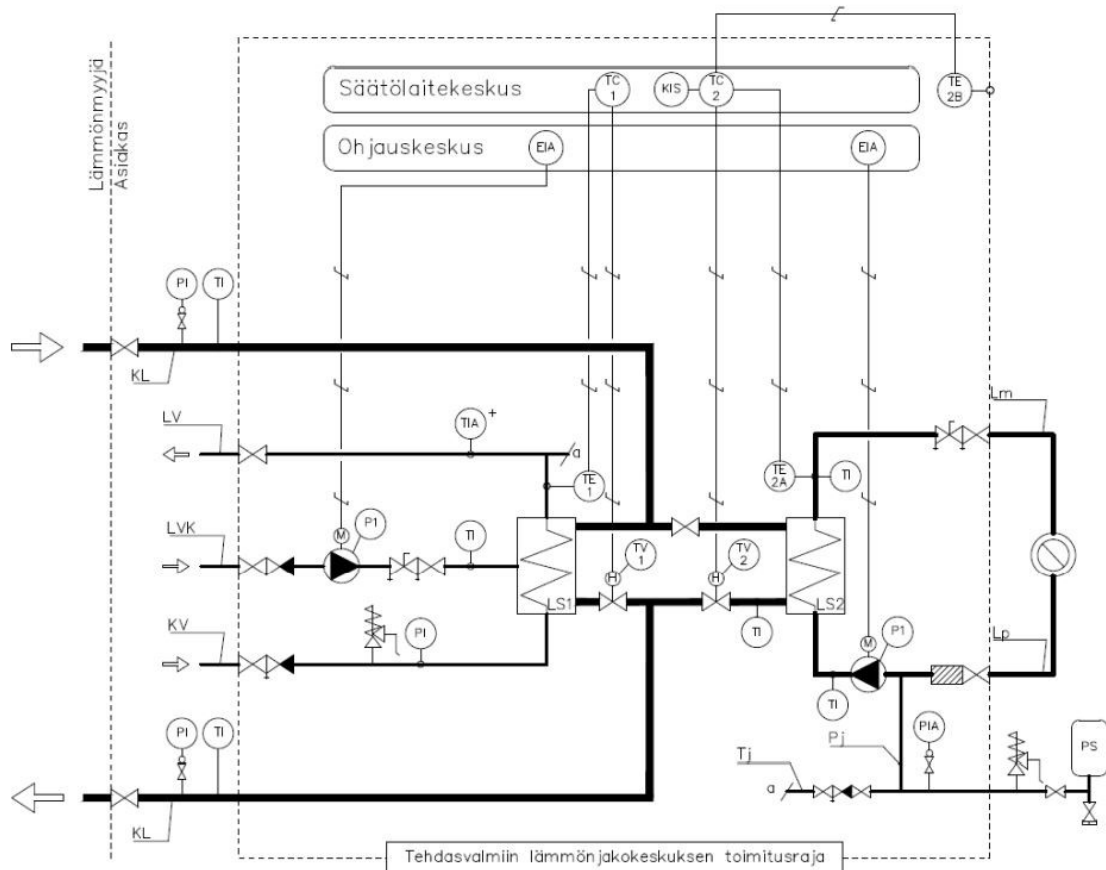
Kaukolämmön potentiaali on parempi alueilla, joissa lämmönkulutusta on paljon ja lämpötiheys suuri. Tällaisia alueita ovat taajama-alueet ja erityisesti korkean aluetehokkuuden alueet. Aluetehokkuus tarkoittaa rakennusten kerrosalan suhdetta maa-alaan. Helsingin kaupungin taajama-alueella aluetehokkuus on yli 0,3 kun tyypillisesti yli 0,15 aluetehokkuuden alueet ovat kerrostalovaltaisia. Kaukolämmön osuus 2000-luvulla valmistuneista kiinteistöistä 0,3 aluetehokkuuden alueilla on ollut yli 90 %. (Tehokas CHP, kaukolämpö ja -jäähdytys Suomessa 2010 – 2025. 2015.) Helsingin kiinteistöistä yli 90 % on liitetty kaukolämpöön.

Helenin kaukolämpöjärjestelmää kehitetään ja uuteen kaukolämmön tuotantokapasiteettiin investoidaan voimakkaasti. Helenin tavoitteena on olla hiilineutraali vuoteen 2030 mennessä ja lopettaa kivihiilen käyttö vuonna 2025. Vuoden 2025 loppuun mennessä on suunnitteilla rakentaa noin 1040 MW uutta lämmön tuotantokapasiteettia, hukka- ja ympäristölämpöjä hyödyntäviä lämpöpumppuja, sähkökattiloita, lämpövarastoja ja bioenergiaa. Energiajärjestelmää kehitetään lisäämällä digitaalisuutta ja älykästä ohjausta, alentamalla kaukolämpöverkon lämpötilaa ja kehittämällä kiinteistöjen älykästä lämmönohjausta mahdollistaen kysyntäjousto. (Päätöksiä lähivuosien investoinneista – Helen rakentaa yli 2 000 MW fossiilisen energiantuotannon korvaavaa kapasiteettia. 2022.)

2.3 Kaukolämmön lämmönjakokeskus

Suomessa rakennusten lämmitysjärjestelmät eivät ole suoraan kytkettynä kaukolämpöverkkoon, vaan vesikierrot ovat erillisiä ja välissä on lämmönjakokeskus. Lämmönjakokeskuksen ensiöpuolella virtaa kaukolämpövesi ja toisiopuolella on kiinteistön lämmönjakoverkosto. Lämmönjakokeskus muodostuu vähintään kahdesta lämmönvaihtimesta säätölaitteineen, pumppauslaitteista, venttiileistä, antureista ja mittareista, putkivarusteista sekä lämmönmyyjän mittauskeskuksesta. (Koskelainen ym. 2006: 66–80)

Nykyisissä lämmönjakokeskuksissa käytetään levylämmönsiirtimiä ja mitoituksessa pyritään kaukolämpöveden mahdollisimman suureen jäähtymään. Käyttövedelle, lämmitykselle ja mahdolliselle ilmanvaihdon lämmitykselle on omat lämmönsiirtimensä. Lämmönsiirtimet mitoitetaan suurimman lämmitystehon mukaan ja rakennuksen lämmitys suunnitellaan mahdollisimman tehokkaan energian käytön sekä hyvän sisäilmaston mukaan. Rakennuksen lämmitystä säädetään toisioverkoston lämpötilan säätökäyrällä ja ensiöpuolen säätöventtiili säätelee kaukolämpövirtausta toisiopuolen lämpötilan mukaan. (Koskelainen ym. 2006: 66–72) Lämmönjakokeskuksen peruskytkenä on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Lämmönjakokeskuksen peruskytkentä (K1/2021. 2021.)

Lämmönjakokeskuksen kytkennälle on useita kytkentävaihtoehtoja, joista asiakas ja lämmönmyyjä voivat sopia keskenään. Mitoituksessa ja kytkennässä pyritään mahdollisimman tehokkaaseen kaukolämpöveden jäähtymään sekä varmistetaan laitteiston toimivuus ja turvallisuus. Kaukolämmön lisäksi asennettavista rinnakkaislämmönlähteistä sovitaan lämmönmyyjän kanssa, mutta lähtökohtaisesti ne asennetaan kaukolämpölaitteiston rinnalle riittävän jäähtymän takaamiseksi. (K1/2021. 2021: 7–9)

Lämmönjakokeskuksen peruskytkentä on esitetty kuvassa 3. Peruskytkennässä kaukolämpöverkosta tuleva kuuma menovesi johdetaan suoraan omia haarojaan pitkin lämmityksen ja käyttöveden lämmönsiirtimille. Lämmönsiirtimiltä jäähtynyt vesi palaa kaukolämpöverkon paluuputkeen. Peruskytkentää energia-
tehokkaampi kytkentämalli on välisyöttökytkentä, jossa lämmityssiirtimeltä palaava vesi johdetaan vielä lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimelle käyttöveden

esilämmitykseen. Välisyöttökytkentä parantaa kaukolämpöveden jäähtymää peruskytkentään verrattuna. HögforsGST on kehittänyt välisyöttökytkennästä parannellun version, väliottokytkennän. Väliottokytkennässä kaukolämpövesi johdetaan ensin käyttöveden lämmönsiirtimelle. Käyttövesisiirtimeltä vesi johdetaan lämmityspiirin lämmönsiirtimelle, josta se palautetaan vielä käyttövesisiirtimelle käyttöveden esilämmitykseen ennen palautusta kaukolämpöverkkoon. Väliottokytkennällä kaukolämpöveden jäähtymä saadaan vielä välisyöttökytkentääkin paremmaksi erityisesti lämmityksen tarpeen ollessa pieni. (Kaukolämmön kytkennät tutuiksi - Peruskytkentä, välisyöttö ja väliotto. 2020.)

Perinteisesti lämmönjakokeskus on kiinteistön omistuksessa ja vastuulla, mutta tarjolla on myös lämmönjakokeskuksen hankinta palveluna. Hankittaessa lämmönjakokeskus palveluna palveluntarjoaja huolehtii sen investoinnista, ylläpidosta, säädöistä ja olosuhteiden seurannasta. (Lämmönjakokeskukset taloyhtiöille. 2023.)

2.4 Lämmönjakokeskuksen mitoittaminen

Kaukolämmön lämmönjakokeskuksen mitoittaminen määritellään Energiateollisuus ry:n Julkaisu K1/2021 Rakennusten kaukolämmitys - Määräykset ja ohjeet (K1/2021. 2021.). Julkaisun määräysten ja ohjeiden lisäksi lämmönmyyjät voivat asettaa omia lisämääräyksiä ja ohjeita. Asiakas ja lämmönmyyjä tekevät myös sopimuksen lämmönkäyttöpaikan liittämistä kaukolämpöön ja sopivat vaadittavista laitetarkastuksista. K1 tuoreimpaan julkaisuun tehtiin vuonna 2021 muutoksia mitoitusperusteena olevaan kaukolämmön tulolämpötilaan, jota laskettiin 115°C:sta 90°C:n (K1/2021. 2021.). K1 eri versioiden eroavaisuuksia on vertailtu liitteessä 1.

Kaukolämmön menolämpötilan pudottaminen tarkoittaa, että saman tehon saamiseksi täytyy uusissa lämmönjakokeskuksissa lisätä lämmönsiirtimen pinta-alaa. Muuten lämmönsiirtyminen heikkenee menolämpötilan laskiessa. (Koskelainen ym. 2006: 71) Lämmönsiirtimen lämpöteho voidaan laskea kaavalla 1:

$$Q = kA\Delta T_{ln} = m'c_p(T_{Kl,m} - T_{Kl,p}) \quad (1)$$

jossa

Q	lämpöteho, kW
k	lämmönsiirtoluku, W/m ² °C
A	lämmönsiirtopinta-ala, m ²
ΔT_{ln}	logaritminen lämpötilaero siirtimen yli, °C
m'	massavirta, kg/s
c _p	veden lämpökapasiteetti, J/kg°C
T _{Kl,m}	kaukolämmön menolämpötila, °C
T _{Kl,p}	kaukolämmön paluulämpötila, °C

Logaritminen lämpötilaero lasketaan kaavalla 2:

$$\Delta T_{ln} = \frac{(T_{Kl,m} - T_{toisio,m}) - (T_{Kl,p} - T_{toisio,p})}{\ln \frac{T_{Kl,m} - T_{toisio,m}}{T_{Kl,p} - T_{toisio,p}}} \quad (2)$$

T _{Kl,m}	kaukolämmön menolämpötila, °C
T _{Kl,p}	kaukolämmön paluulämpötila, °C
T _{toisio,m}	toisiopiirin menolämpötila, °C
T _{toisio,p}	toisiopiirin paluulämpötila, °C

Jos lämmönsiirtopinta-alaa ei lisätä, täytyy ensiöpiirin eli kaukolämmön virtausta lisätä saman tehon saamiseksi. Kaukolämpövirtausta kasvattaessa myös paluulämpötila sekä painehäviö vaihtimessa nousevat.

Uudisrakennuksessa lämmitystehontarpeet lasketaan ympäristöministeriön rakentamista koskevien asetusten ja ohjeiden mukaan. LVI-suunnittelija suunnittelee ja mitoittaa uudisrakennuksen lämmitysjärjestelmät, niiden mitoituksen ja toiminta-arvot. K1:ssä on kerrottu mitoituslämpötilojen raja-arvoja, jotka on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Uudisrakennuksen lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat (K1/2021. 2021.)

	LÄMMÖNSIIRTIMIEN MITOITUSLÄMPÖTILAT °C		
	ENSIÖ		TOISIO
	TULO	PALUU	
Lämmityksen ja ilmanvaihdon lämmönsiirtimet	90 (max)	33 (max)	LVI-suunnittelija mitoittaa järjestelmät siten, että <ul style="list-style-type: none"> • menolämpötila on enintään 60 °C • paluulämpötila on enintään 30 °C.
		Lisäksi: Ensiöpuolen paluulämpötila saa olla enintään 3 °C korkeampi kuin toisiopuolen paluulämpötila.	

Tavoitteena on kaukolämpöenergian mahdollisimman tehokas käyttö ja lämmitysverkoston lämpötilatasoksi suositellaan mahdollisimman alhaista lämpötilaa. Kiinteistön lämmitysjärjestelmän mitoitus alhaisemmalle lämpötilalle mahdollistaa myös kaukolämpöverkon toimintalämpötilojen laskemisen, energia- ja kustannustehokkaan toimimisen sekä uusien ympäristöystävällisten lämmönlähteiden hyödyntämisen. Matalammille lämpötiloille mitoitetut laitteet toimivat myös tilanteessa, jossa kaukolämmön tulolämpötila on mitoituslämpötilaa korkeampi. (K1/2021. 2021: 8) Asiakkaalle lämmitysjärjestelmän alhaisempi lämpötilataso voi mahdollistaa pienemmän sopimusvesivirran ja pienemmän vesivirtamaksun.

K1:ssä määritetään myös käyttöveden lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat, jotka on esitetty taulukossa 2. Käyttöveden lämmönsiirtimet mitoitetaan samalla tavalla sekä uudis- että olemassa olevissa rakennuksissa.

Taulukko 2. Käyttöveden lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat (K1/2021. 2021.)

	LÄMMÖNSIIRTIMIEN MITOITUSLÄMPÖTILAT °C			
	ENSIÖ		TOISIO	
	TULO	PALUU (max)	KYLMÄ VESI	LÄMMIN VESI (min)
Käyttöveden lämmönsiirtimet	70	20	10	58

Ympäristöministeriön asetuksessa 1047/2017 määritellään, että lämminvesilaitteistossa olevan veden lämpötila on oltava vähintään 55°C ja korkeintaan 65°C (Ympäristöministeriön asetus rakennusten vesi- ja viemärlaitteistoista. 2017.).

K1:ssä määritetään, että käyttöveden lähtevä minimilämpötila on vähintään 58°C ja ensiöpuolen kaukolämmön tulolämpötila on 70°C. Lisäksi on otettava huomioon mahdollinen tarve nostaa lämpötila asetuksen arvoihin, jos käytössä on kaukolämmön rinnakkainen lämmönlähde. (K1/2021. 2021.)

Olemassa olevien rakennusten laiteusintojen mitoituksessa käytetään suunniteluarvojen lisäksi hyödyksi toteutuneita energiankulutuslukuja. Uusinnan yhteydessä tarkastellaan myös toteutuneita sisälämpötiloja, tarvetta lämmitysverkoston perussäädölle sekä mahdollisuutta pudottaa lämmitysverkostoon lähtevää menolämpötilaa. Olemassa olevien rakennusten lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat laiteusinnassa. (K1/2021. 2021.)

	LÄMMÖNSIIRTIMIEN MITOITUSLÄMPÖTILAT °C		
	ENSIÖ		TOISIO
	TULO	PALUU	
Lämmityksen ja ilmanvaihdon lämmönsiirtimet	90	43 (...63)	LVI-suunnittelija mitoittaa lämmitysverkon siten, että <ul style="list-style-type: none"> • menolämpötilaksi suositellaan korkeintaan 70 °C, • tarvittaessa voidaan käyttää korkeampaa menolämpötilaa.
Lämmityksen lämmönsiirtimet, lattialämmitys	90	33 (max)	
		Lisäksi: Ensiöpuolen paluulämpötila saa olla enintään 3 °C korkeampi kuin toisiopuolen paluulämpötila.	

Olemassa oleville rakennuksille hyväksytään uudisrakennuksia korkeammat lämpötilat, mutta lämmitysverkon menolämpötilaksi suositellaan korkeintaan 70 °C. Lämmitysverkon paluulämpötila puolestaan vaikuttaa siihen, kuinka matalaksi kaukolämmön paluulämpötila voi laskea. Lämmönjakokeskuksen uusinnan yhteydessä on tavoitteena hyödyntää lämmitysverkon mahdollinen ylimitoitus ja madaltaa mitoituslämpötiloja mahdollisuuksien mukaan. (K1/2021. 2021.)

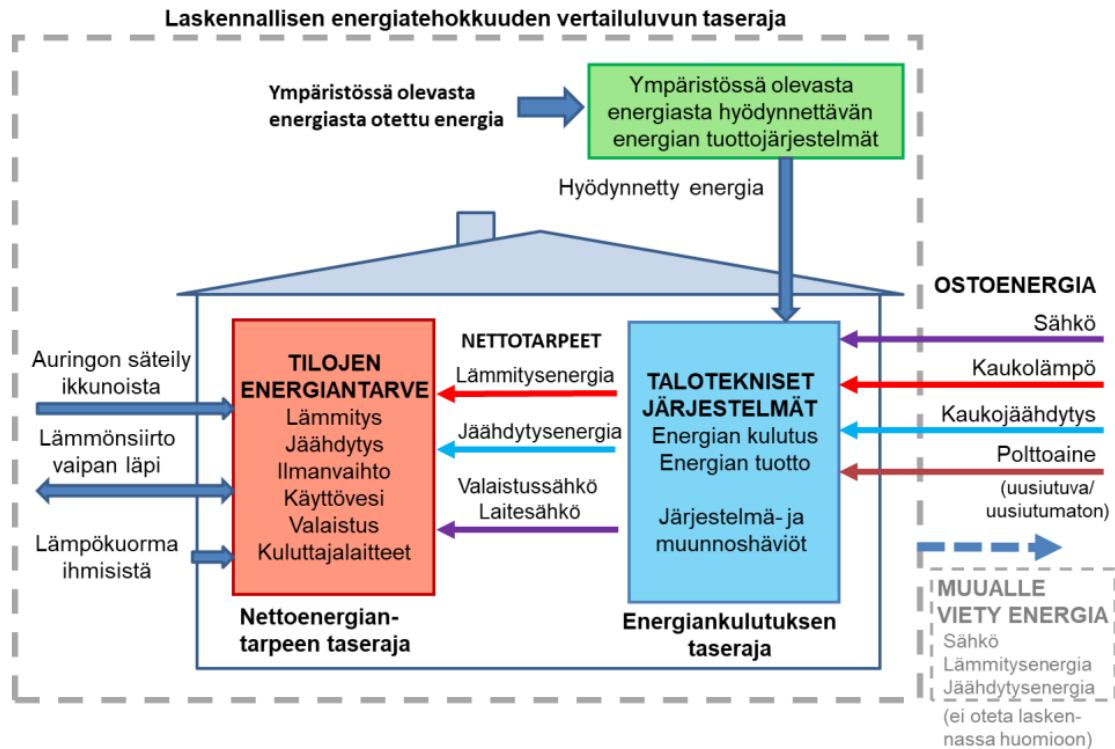
3 Rakennuksen lämmitys

3.1 Rakennuksen lämmöntarve

Rakennuksen lämmitys mitoitetaan niin, että lämmityksen teho riittää lämmittämään kiinteistön riittävän lämpimäksi sijaintipaikkakunnan mitoituslämpötilassa. Ympäristöministeriön asetus 1009/2017 määrittää rakennuksen huonelämpötilan suunnitteluarvoksi 21 °C (Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. 2017.). Vaatimuksia olemassa olevan raken-

nuksen olosuhteille sekä suunnitteluun on määritelty myös asumisterveysasetuksessa 545/2015, jossa on määritelty rakennuksen terveellisistä olosuhteista, sisälämpötilojen toimenpiderajoista sekä lämpimän käyttöveden lämpötilasta (Asumisterveysasetus. 2015.). Ympäristöministeriön asetuksessa 1010/2017 määrätään uuden rakennuksen energiatehokkuudesta, sijaintipaikan mitoitusulkolämpötilasta sekä lämmitysenergian tarpeen laskennasta (Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 2017.). Asetukset ovat tulleet voimaan asetuksissa määrättyinä päivinä ja aikaisemmin valmistuneissa rakennuksissa on käytetty kulloinkin voimassa olleita määräyksiä, esimerkiksi asetus 1010/2017 korvasi ympäristöministeriön asetuksen (2/11) rakennusten energiatehokkuudesta.

Ympäristöministeriön asetuksessa 1010/2017 määritetään vähimmäisvaatimukset rakennuksen energiatehokkuudelle sekä määritetään lämmitysjärjestelmän tehosta, että se on mitoitettava riittämään rakennuksen lämpöolojen ylläpitämiseen (Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 2017.). Ympäristöministeriö on laatinut ohjeen Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta asetuksen soveltamisesta (Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2017.). Ohjeessa esitetään energiatasemenetelmä, jolla lasketaan rakennuksen lämmityksen energiatarve, kokonaisenergiankulutus ja lämmitysteho kuukausitasolla sekä lasketaan rakennuksen laskennallinen energiatehokkuuden vertailuluku eli E-luku. E-luvun muodostuminen ja taserajat on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. E-luvun taserajat (Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2017.)

Rakennuksen laskennallinen energiatehokkuuden vertailulukku (E-luku) muodostuu rakennuksen ostoenergiankulutuksesta suhteutettuna rakennuksen lämmitettyyn nettoalaan. Laskennassa huomioidaan vain ostoenergia, jolloin ympäristöstä hyödynnettävää tai rakennuksessa kierrätettävää energiaa ei huomioida. Kulutettava ostoenergia kerrotaan energiamuotokohtaisella kertoimella. (Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2017: 15) E-luku lasketaan kaavalla 3:

$$E = \frac{f_{kl}Q_{kl} + f_{kj}Q_{kj} + \sum_i f_{polttoaine,i}Q_{polttoaine,i} + f_{sähkö}W_{sähkö}}{A_{netto}} \quad (3)$$

jossa

E rakennuksen laskennallinen energiatehokkuuden vertailuluku, kWh_E/(m²a)

Q_{kl} kaukolämmön kulutus, kWh/a

Q_{kj} kaukojäähdytyksen kulutus, kWh/a

$Q_{polttoaine,i}$ polttoaineen i sisältämä energian kulutus, kWh/a

$W_{sähkö}$ sähkön kulutus vuodessa, kWh/a

f_{kl} kaukolämmön energiamuodon kerroin

f_{kj} kaukojäähdytyksen energiamuodon kerroin

$f_{polttoaine,i}$ polttoaineen i energiamuodon kerroin

$f_{sähkö}$ sähkön energiamuodon kerroin

A_{netto} rakennuksen lämmitetty nettoala, m²

Rakennuksen energiatehokkuuden kannalta olennaista on laskea rakennuksen nettoenergiantarve. Nettoenergiantarpeeseen lasketaan kiinteistön tilojen, ilmanvaihdon sekä lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarpeet. Lisäksi huomioidaan kiinteistön sisäiset lämpökuormat, kiinteistössä talteenotettu energia, auringon säteilyenergia ikkunoiden läpi sekä mahdollinen jäähdytysenergian nettotarve. (Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2017: 4, 15) Tilojen lämmitysenergian nettotarve lasketaan kaavalla 4:

$$Q_{\text{lämmitys,tilat netto}} = Q_{\text{tila}} - Q_{\text{sis.lämpö}} \quad (4)$$

jossa

$Q_{\text{lämmitys, tilat netto}}$ tilojen lämmitysenergian nettotarve, kWh

Q_{tila} tilojen lämmitysenergian tarve, kWh

$Q_{\text{sis. lämpö}}$ lämpökuormat, jotka hyödynnetään lämmityksessä, kWh

Näistä tilojen lämmitysenergian nettotarve lasketaan kaavalla 5 ja tilojen lämpökuormat kaavalla 6 ja 7:

$$Q_{\text{tila}} = Q_{\text{joht}} + Q_{\text{vuotoilma}} + Q_{\text{iv,tuloilma}} + Q_{\text{iv,korvausilma}} \quad (5)$$

jossa

Q_{tila} tilojen lämmitysenergian tarve, kWh

Q_{joht} johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi, kWh

$Q_{\text{vuotoilma}}$ vuotoilman lämpenemisen lämpöenergia tarve, kWh

$Q_{\text{iv, tuloilma}}$ tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh

$Q_{\text{iv, korvausilma}}$ korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh

$$Q_{\text{sis.lämpö}} = \eta_{\text{lämpö}} Q_{\text{lämpökuorma}} \quad (6)$$

jossa

$Q_{\text{sis.lämpö}}$ lämpökuormat, jotka hyödynnetään lämmityksessä, kWh

$\eta_{\text{lämpö}}$ tilojen lämmitysenergian tarve

$Q_{\text{lämpökuorma}}$ rakennuksen lämpökuorma eli muun kuin säätölaitteilla ohjatun lämmityksen kautta rakennukseen vapautuva lämpöenergia, kWh

$$Q_{\text{lämpökuorma}} = Q_{\text{henk}} + Q_{\text{säh}} + Q_{\text{aurinko}} + Q_{\text{lkv kierto}} + Q_{\text{lkv varastointi}} \quad (7)$$

jossa

$Q_{\text{lämpökuorma}}$	rakennuksen lämpökuorma, kWh
Q_{henk}	henkilöiden luovuttama lämpöenergia, kWh
$Q_{\text{säh}}$	valaistuksesta ja sähkölaitteista rakennuksen sisälle tuleva lämpökuorma, kWh
Q_{aurinko}	ikkunoiden kautta tuleva auringon säteilyenergia, kWh
$Q_{\text{lkv kierto}}$	lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviöstä lämpökuormaksi tuleva osuus, kWh
$Q_{\text{lkv varastointi}}$	lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviöstä lämpökuormaksi tuleva osuus, kWh

Tilojen lämmitysenergian tarpeen lisäksi rakennuksen lämmitysenergian tarpeeseen lasketaan lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve, joka lasketaan kaavalla 8:

$$Q_{\text{lämmitys lk}} = \frac{Q_{\text{lkv,netto}}}{\eta_{\text{lkv,siirto}}} + Q_{\text{lkv,varasto}} + Q_{\text{lkv,kierto}} + Q_{\text{lkv,ulos}} - Q_{\text{lkv,lto}} \quad (8)$$

$Q_{\text{lämmitys lk}}$	lämpimän käyttöveden lämpöenergia tarve, kWh/a
$Q_{\text{lkv, netto}}$	lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve, kWh/a
$\eta_{\text{lkv,siirto}}$	lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhde
$Q_{\text{lkv, varasto}}$	lämpimän käyttöveden varastoinnin hyötysuhde, kWh
$Q_{\text{lkv, kierto}}$	lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviö, kWh
$Q_{\text{lkv, ulos}}$	lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviö lämmittämättömään tilaan, kWh
$Q_{\text{lkv, lto}}$	jäteveden lämmöntalteenotolla talteenotettu ja käyttöveden lämmityksessä hyväksikäytetty energia, kWh

3.2 Rakennuksen lämmitystehontarve

Vuosittaisen energiantarpeen lisäksi kiinteistöjen lämmitysjärjestelmissä tulee huomioida niiden lämmitystehontarve paikkakunnan mitoittavalla ulkoilman lämpötilalla. Lämmitystehon tarve lasketaan usein tilakohtaisesti, jolloin voidaan mitoittaa lämmitysjärjestelmän tarvitsemat tilakohtaiset lämmityslaitteet. Rakennuksen lämmitystehon tarve muodostuu tilojen, ilmanvaihtojärjestelmän sekä lämpimän käyttöveden samanaikaisista lämmitystehontarpeista. (Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2017: 64)

Lämmitysenergian nettotarpeen laskennasta poiketen, lämmitystehontarpeen laskennassa ei huomioida auringon säteilylämpöä ja sisäiset lämmönlähteet huomioidaan vain niiden ollessa merkittäviä ja jatkuvia. Rakennuksen lämmityksen ollessa epäjatkuvaa, huomioidaan lisäksi rakenteiden lämpökapasiteetti. Lämmöntuottolaitteistot voidaan myös mitoittaa huipputehontarpeesta poikkeavasti ja hyödyntää varaajan energiaa tehohiipuissa. (Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2017: 64)

Lämmitystehontarpeen laskenta on esitetty kaavassa 9:

$$\phi_{\text{lämmitys}} = \frac{\phi_{\text{tila}}}{\eta_{\text{tilalämmitys}}} + \frac{\phi_{\text{iv}}}{\eta_{\text{iv}}} + \frac{\phi_{\text{lkv}}}{\eta_{\text{lkv}}} \quad (9)$$

jossa

$\phi_{\text{lämmitys}}$	rakennuksen lämmitystehon tarve, W
ϕ_{tila}	tilojen lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve, W
ϕ_{iv}	ilmanvaihdon tuloilman lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve, W
ϕ_{lkv}	käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve, W
$\eta_{\text{tilalämmitys}}$	tilalämmitysjärjestelmän hyötysuhde mitoitusolosuhteissa
η_{iv}	ilmanvaihdon tuloilman lämmitysjärjestelmän hyötysuhde mitoitusolosuhteissa
η_{lkv}	käyttöveden lämmitysjärjestelmän hyötysuhde mitoitusolosuhteissa

Käyttöveden lämmityksen tehontarve saattaa kattaa pienissä energiatehokkaissa kiinteistöissä suurimman osuuden rakennuksen lämmitystehon tarpeesta, ja tehonvaihtelut ovat suuria lämpimän käyttöveden käytön mukaan. Isommissa ja useamman asunnon kiinteistöissä käyttöveden lämmityksen tehontarpeessa on eriaikaisuutta eli risteilyä, jolloin käyttöveden tehontarpeen osuus on suhteessa pienempi. (Koskelainen ym. 2006: 62–64). Lämpimän käyttöveden lämpötehon tarve lasketaan kaavalla 10:

$$\phi_{lkv} = \rho_v c_{pv} q_{v,lkv} (T_{lkv} - T_{kv}) + \phi_{lkv,kiertohäviö} \quad (10)$$

jossa

ϕ_{lkv}	käyttöveden lämmitystehon tarve, W
ρ_v	veden tiheys, 1000 kg/m ³
c_{pv}	veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/(kgK)
$q_{v,lkv}$	lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama, m ³ /s
T_{lkv}	lämpimän käyttöveden lämpötila, °C
T_{kv}	kylmän käyttöveden lämpötila, °C
$\phi_{lkv,kiertohäviö}$	lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviöt, kW

Lämpimän ja kylmän veden lämpötilaerona käytetään arvoa 50 °C ellei ole perusteltua käyttää muita arvoja. (Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2017: 69) Lisäksi K1:n julkaisussa määrätään lämmönsiirtimeltä saatavan lämpötilan olevan vähintään 58 °C ja käyttöveden mitoitusvirtaaman vähintään 0,3 dm³/s, joka vastaa lämmönsiirtimelle 60 kW lämpötehoa (K1/2021. 2021: 13).

3.3 Kiinteistöjen lämmitysverkostot ja lämmityksen säätökäyrä

Suomessa rakennusten lämmitys hoidetaan yleisesti vesikiertoisella keskuslämmityksellä. Lämpö tuotetaan kiinteistöön keskitetysti, esimerkiksi kaukolämmön

lämmönjakokeskuksella tai kiinteistökohtaisella lämmitysjärjestelmällä, kuten lämpöpumpulla. Lämpö jaetaan vesikierrolla lämmönluovuttimille, joilta vesi palaa lämmöntuottolaitteistolle. Lämmönluovutus tapahtuu yleisimmin lämpöpattereilla, mutta lisäksi käytössä on lattialämmitys, ilmanvaihdon lämmitys, kiertoilman lämmitys, säteilylämmitin ja lämpimän käyttöveden pattereita. (Korkala 2021: 30, 22–26)

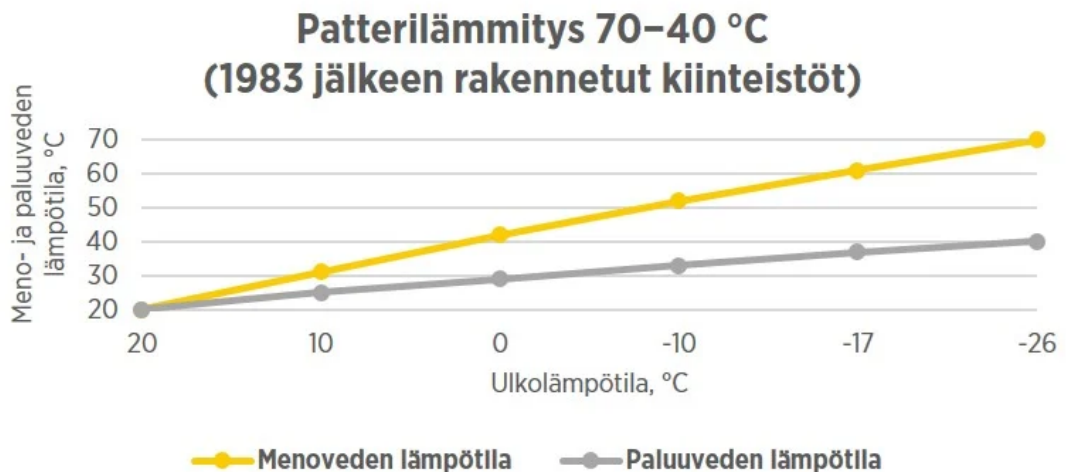
Erilaisten lämmitysverkostojen mitoituslämpötilan vaihtelevat. Patteriverkostoissa yleisesti käytettyjä lämpötiloja ovat 90/70 °C, 80/60 °C, 80/50 °C, 70/40 °C, 60/40 °C sekä 55/45 °C. (Seppänen 1995: 120, 164). 90/70 °C lämmitysjärjestelmät ovat yleensä vanhoja alun perin painovoimaisia lämmitysjärjestelmiä, jotka on myöhemmin vaihdettu pumpputoimiseksi ja niiden toimintalämpötilaa on alennettu (Korkala 2021: 51). Uudemmissa kiinteistöissä lämpötilatasot ovat madaltuneet. K1/2003 julkaisussa toisiolämpötiloiksi sallitaan enintään 70/40 °C, K1/2013 sallitaan enintään 45/30 °C sekä poikkeustapauksissa 60/30 °C ja tuoreimmassa K1/2021 toisiopiirin maksimilämpötilat ovat 60/30 °C. K1 eri versioiden sisältöä on vertailtu tarkemmin liitteessä 1.

Lattialämmityksessä lämpötilat ovat patteriverkostoja matalammat. K1/2021 julkaisussa ei oteta kantaa toisiopiirin lämmönluovutustapaan vaan maksimilämpötilat ovat 60/30 °C. K1/2013:ssa lattialämmityksen maksimilämpötilat ovat 35/30 °C ja kosteiden tilojen mukavuuslattialämmityksessä 30/25 °C. K1/2003:ssa rajoitetaan lattialämmityksen menolämpötilaksi maksimissaan 45 °C. LVI-kortissa 13-10261 ohjeistetaan lattialämmityksen menolämpötilaksi 25–45 °C ja meno-/paluueden lämpötilaeroksi 5 - 10 °C (RT 52-10801. 2003: 4). Mitoitus vaihtelee valmistajakohtaisesti.

Lattialämmityksen tehoa rajoittaa usein lattiapinnoitteen suurin sallittu lämpötila, joka on yleisesti 27–28 °C. Tämä tarkoittaa 21 °C huonelämpötilan suunnitteluarvolla saatavan lattialämmityksestä maksimissaan 66–77 W/m² ja tehontarpeen ylittäessä tämän, olisi järjestelmää täydennettävä toisella lämmönluovutuslaitteistolla. Verkoston lämpötilaan vaikuttaa tilaan vaadittu teho, lattialämmitysputken asennusväli sekä putkikoko, jäähtymä ja lattiarakenne. Lattialämmitys

voidaan myös liittää järjestelmään, jossa menolämpötila on lattialämmitystä korkeampi, jolloin suositellaan käytettävän sekoitusryhmällä varustettua jakotukkia. (Vesikiertoisen lattialämmityksen ja -viilennyksen suunnitteluopas. 2023.)

Lämmitysverkoston lämpötilaa säädetään yleensä lämmöntarpeen eli pääsääntöisesti ulkolämpötilan mukaan. Lämmitysjärjestelmän lämmönsäätimelle tai automaatiojärjestelmään on asetettu säätökäyrä, johon on asetettu ulkolämpötilan mittausta vastaavat pisteet lämmitysjärjestelmän menolämpötilalle. Paluulämpötila muuttuu lämmitysjärjestelmän lämmönluovutuksen ja jäähtymän mukaan. Esimerkiksi yleisesti käytetyssä 70/40 °C patteriverkostossa on lämmitysverkoston menolämpötila 70 °C ja paluulämpötila 40 °C sijaintipaikkakunnan mitoittavassa ulkolämpötilassa eli Helsingissä -26 °C:n ulkolämpötilassa. (Seppänen 1995: 186) 70/40 °C patteriverkoston lämpötilakäyrät on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. 70/40 °C patteriverkoston meno- ja paluulämpötilat eri ulkolämpötiloissa. (Helen)

Lämmityspattereiden teho lasketaan standardin EN442 mukaisesti laskemalla patterin yllämpötila sekä valitsemalla kyseisen yllämpötilan mukaan tarvittavan tehon kokoinen lämmityspatteri (LVI 12-10343. 2002: 5). Logaritminen yllämpötila lasketaan kaavalla 11:

$$\Delta T = \frac{t_m - t_p}{\ln \frac{t_m - t_h}{t_p - t_h}} \quad (11)$$

jossa

ΔT logaritminen yllämpötila, °C

t_m menoveden lämpötila, °C

t_p paluueden lämpötila, °C

t_h huoneen sisälämpötila, °C

Kun patterin mitoituslämpötiloja muutetaan, täytyy patterin muuttunut teho laskea uusilla lämpötiloilla. Uusi lämmönluovutusteho lasketaan kaavalla 12:

$$\emptyset = \emptyset_{ref} \left(\frac{\Delta T}{\Delta T_{ref}} \right)^n \quad (12)$$

jossa

\emptyset uusi lämmönluovutusteho, W

\emptyset_{ref} vanha lämmönluovutusteho, W

ΔT uusi logaritminen yllämpötila, °C

ΔT_{ref} vanha logaritminen yllämpötila, °C

n laitevalmistajan ilmoittama lämmönluovutusekspONENTTI

Kun olemassa olevan lämmityspatterin mitoituslämpötiloja lasketaan, laskee patterin lämmönluovutusteho samalla. Kaavoilla 11 ja 12 saadaan laskettua patterin lämmitysteho esimerkkikohteeseen uusilla mitoituslämpötiloilla:

Vanha lämmönluovutusteho 80/50/21 °C, $\Delta T_{ref} = 42,24$ °C, teho 1000 W

Uusi lämmönluovutusteho 70/40/21 °C, $\Delta T_{ref} = 31,62$ °C, teho 688 W

Laskemalla lämmityspatterien mitoituslämpötiloja 10 °C laskee lämmitysteho samalla yli 30 %. Puuttuva teho täytyy korvata parantamalla kiinteistön energia- tehokkuutta ja lämmitystehotarvetta tai lisäämällä lämmönluovutusta esimerkiksi lämmityspattereita lisäämällä. Patteriverkoston paluuveden energiaa voidaan hyödyntää myös esimerkiksi lattialämmityksessä. Patterin lämmitystehoa voidaan kasvattaa myös kasvattamalla virtausta, mutta samalla paluulämpötila nousee ja jäähtymä huononee (Seppänen 1995: 169).

Rakennusten lämmityspattereissa on usein ylimitoitusta. Ylimitoitus johtuu muun muassa siitä, että lämmityspattereiden koot valitaan usein ikkunan leveyden perusteella, mutta lämpötilat valitaan lämmönjakotavan perusteella. (RT 52-10801. 2003: 5) Jos lämmityspattereissa on ylimitoitusta, voidaan mitoituslämpötiloja laskea tai vaihtoehtoisesti pitää menolämpötila vakiona, mutta optimoida paluuveden lämpötilaa ja virtausta alhaisemmiksi. Lämmityspatterin lämmitysteho ja virtaus saadaan laskettua kaavalla 13:

$$\dot{Q} = q_m c_p \Delta T \quad (13)$$

jossa

\dot{Q}	lämmitysteho, W
q_m	lämmityspatterin virtaus, kg/s
c_p	veden ominaislämpökapasiteetti, J/kg°C
ΔT	meno- ja paluuveden lämpötilaero, °C

Kun tiedetään esimerkkitilanteen lämmityspatterin alkuperäiset mitoitus tiedot, voidaan kaavoilla 12 ja 13 laskea ylimitoitetuille patterille uudet paluuveden ja virtauksen arvot. Oletetaan, että tilan lämmitystehontarve olisikin 800 W alkuperäisen mitoituksen 1000 W sijaan.

Ylimitoitettu lämmityspatteri 80/50/21 °C, $q_m = 28,15$ kg/h, teho 1000 W

Optimoitu lämmityspatteri 80/38/21 °C, $q_m = 16,43$ kg/h, teho 800 W

Huomataan, että ylimitoitettu patteri voidaan optimoida huomattavasti, jopa 12 °C, matalammalle paluulämpötilalle, jolloin myös kaukolämmön jäähtymää saadaan parannettua vastaavasti. Myös lämmitysverkoston virtausta saadaan pienennettyä 11,7 kg/h, joka vähentää kiinteistön pumppaustehontarvetta.

Kiinteistön lämmitysverkoston säätö ja tasapainotus on tärkeää kiinteistön lämmityksen energiatehokkuuden ja hyvän sisäilmaston takia. Menolämpötilan pitää olla riittävä kiinteistön lämmitykseen, mutta sitä ei kannata pitää tarpeettoman korkealla energiatehokkuuden sekä lämmönlähteeltä vaadittavan lämpötilan takia. Lämmitysjärjestelmän riittävä jäähtymä on tärkeää kaukolämmön riittävän jäähtymän saavuttamiseksi. Jos kiinteistön kaukolämmön jäähtymä on huono, on syytä tarkistaa lämmitysjärjestelmän toisiopuolen toiminta sekä tarvittaessa säätää ja tasapainottaa lämmitysverkosto. Jäähtymän parantamiseksi on mahdollista myös investoida lämmitysverkoston lämmönluvutuksen parantamiseen esimerkiksi lämmityspattereita tai lattialämmitystä uusimalla tai lisäämällä.

4 Mitoituslämpötilan muutosten vaikutukset kaukolämpöjärjestelmässä

4.1 Tuotanto

Suomen energiatehokas kaukolämmöntuotanto on perinteisesti perustunut sähkön ja lämmön yhteistuotantoon, jossa hyötysuhde on erittäin hyvä. Yhteistuotannossa höyryllä tuotetaan ensin sähköä höyryturbiinilla, jonka jälkeen sitä käytetään kaukolämmön tuottamiseen. Madaltamalla kaukolämmön menolämpötilaa höyry paisuu turbiinissa pidempään, joka lisää sähköntuotantoa ja nostaa voimalaitoksen rakennusastetta. (Mäkelä & Tuunanen 2015: 11–14) Keskimäärin 1 °C nousu paluulämpötilassa vähentää sähköntuotantoa 0,2 % ja 1 °C nousu menolämpötilassa vähentää sähköntuotantoa 1 % (Koskelainen ym. 2006: 298). Vaikka yhteistuotannon ja polttotekniikan rooli tuleekin pieneneväksi kaukolämmössä, on menolämpötilan laskulla kuitenkin positiivinen vaikutus tuotantoon.

Lämpökattiloissa voi olla liitettynä myös savukaasupesureita ja lämmöntalteenottolaitoksia, kuten Helenin VuC hakelämpökeskuksessa. Lämmöntalteenotto on sitä tehokkaampaa, mitä alhaisempi kaukolämmön paluueden lämpötila on, koska paluulämpötila vaikuttaa suoraan savukaasujen lämpötilaan ja hukkaan menevään energiaan. Lämmöntalteenottoa voidaan tehostaa lämpöpumpuilla, mutta alhaisempi paluulämpötila parantaa myös lämpöpumpun tehokkuutta. Kaukolämmön uudet mitoituslämpötilat vaikuttavat myös paluueden lämpötilaan laskevasti, jolloin lämmöntalteenoton tehokkuus paranee.

Kaukolämmön tuotannossa käytettävien lämpöpumppujen toiminta perustuu kylmätekniiseen kiertoprosessiin, jossa lämpöä siirretään matalammasta lämpötilasta korkeampaan. Termodynamiikan 2. pääsäännön mukaan lämpö siirtyy luonnollisesti korkeammasta lämpötilasta matalampaan, joten kylmätekniisessä kiertoprosessissa tehdään työtä kompressorilla, joka kuluttaa sähköenergiaa. Työaineena toimii kylmäaine ja kylmätekniinen kiertoprosessi perustuu kylmäaineen paineen sekä olomuodon muutoksiin, höyrystymiseen ja lauhtumiseen. (Kaappola ym. 2015: 17–19)

Lämpöpumpun kylmäainekierto siirtyy lämpöä höyrystimessä, jossa matalalämpöiseen kylmäaineeseen siirtyy lämpöenergiaa lämmönlähteestä ja se höyrystyy. Lämmennyt kylmäaine imetään kompressoriin, jossa se sähköenergiaa käyttämällä puristetaan korkeampaan paineeseen. Kylmäaine tulistuu paineen noustessa ja lämpötila nousee sitä korkeammaksi, mitä korkeammalle paine korotetaan. Tulistunut höyry johdetaan lauhduttimeen, jossa lämpöenergiaa luovutetaan kaukolämpökiertoon ja kylmäaineen lämpötila laskee. Lauhduttimen jälkeen kylmäaine johdetaan paisuntalaitteelle, jossa nestemäisen kylmäaineen lämpötila sekä paine laskevat ja kylmäaine jatkaa matkaansa takaisin höyrystimelle. (Kaappola ym. 2015: 17–19) Lämpöpumpun hyötysuhdetta kuvataan COP-kertoimella, joka lasketaan kaavalla 14:

$$COP_h = \frac{Q_{lauhdutin}}{P} \quad (14)$$

jossa,

COP_h lämmityksen COP-kerroin

Q_{lauhdutin} lauhduttimen teho, kW

P kompressorin sähköteho, kW

Koska kylmäaineen tulistaminen korkeampaan lämpötilaan vaatii paineen nostamista ja samalla lisää työtä kompressorilta, saadaan lämpöpumpun hyötysuhdetta parannettua lämpöpumpulta vaadittavan kaukolämmön menolämpötilan laskemisella. Helen tuottaa tällä hetkellä kaukolämpöä lämpöpumpuilla ja suunnittelee lämpöpumppujen osuuden merkittävää kasvua, joten menolämpötilan laskulla on merkittävä taloudellinen ja tekninen vaikutus.

Miika Rämä (2020) tutki väitöskirjassaan ”District heating with low-carbon heat sources and low distribution temperatures” kaukolämpöjärjestelmien kehittämismahdollisuuksia järjestelmien tehokkuutta parantamalla, lisäämällä uusiutuvien lämmönlähteiden osuutta sekä arvioimalla matalamman kaukolämmön siirto- lämpötilan merkitystä. Rämän väitöskirjan mukaan kaukolämmön lämpötilojen

lasku kasvattaa hyötyjä voimalaitosten lämmöntalteenotossa, yhteistuotantolaitosten rakennusasteessa, parantaa lämpöpumppujen COP-kerrointa, mahdollistaa maalämmön ja teollisuuden hukkalämpöjen sekä aurinkokeräinten hyödyntämisen. Kaukolämmön lämpötilatasojen alentaminen on käyttökelpoinen strategia kehitettäessä kaukolämpöä uusiutuvaan energiaan perustuvaksi. Tavoiteltaessa 100 % uusiutuvaa kaukolämmön tuotantoa on kokonaistaloudellisesti edullisinta laskea lämpötiloja jopa 55/25 °C meno- ja paluulämpötiloihin. (Rämä 2020: 16–19)

Suunniteltaessa lämpöpumppupohjaista kaukolämpöjärjestelmää löytyi neljä oleellista tekijää, jotka vaikuttivat suurten lämpöpumppujen käyttöön: lämmönlähteet, kylmäaineet, lämpötilatasot sekä toimintatavat. Lämpöpumput ovat olennainen osa kaukolämmityksen sähköistämistä ja päästöjen vähentämistä, mutta lämpöpumppujen hyötysuhde riippuu lämpöpumpulta vaadittavasta lämpötilasta sekä käytettävästä lämmönlähteestä. Lisäksi kaukolämpöjärjestelmään liitetyt aurinkokeräimet hyötyisivät merkittävästi matalammista kaukolämmön lämpötiloista. Tuotannon mallinuksissa aurinkokeräimiltä saatiin jopa 19 % enemmän energiantuottoa, kun kaukolämpöverkossa oli käytössä matalammat lämpötilat. (Rämä 2020: 16–19, 20–35)

Rämän esiintuomat matalamman lämpötilan hyödyt ovat merkittäviä myös Helenille. Helenin tavoitteena on siirtyä pois polttavasta kaukolämmön tuotannosta ja korvata vanhaa tuotantoa lämpöpumpuilla, hukkalämmöillä ja lämpövarastoilla. Matalampi menolämpötila mahdollistaa hyvän hyötysuhteen tuotannossa ja matalampi paluulämpötila kasvattaa meno- ja paluulämpötilojen lämpötilaeroa.

4.2 Kaukolämpöverkko

Kaukolämpöverkon lämpöhäviöt aiheuttavat suurimman osan kaukolämmön jakelun käyttökustannuksista. Lämmön johtuminen on suoraan verrannollinen lämpötilaeroon, joten laskemalla kaukolämmön lämpötiloja pienenee lämpöhä-

viöt verkon ympäristöön. Lämpötilojen lisäksi lämpöhäviöihin vaikuttavat lämpöverkon kanavarakenne, putkikoot ja verkon ikä. Isoissa kaukolämpöverkoissa lämpöhäviöt ovat tyypillisesti 4–10 % vuoden tuotannosta. (Koskelainen ym. 2006: 203–209) Kaukolämpöjohtojen lämpöhäviöt lasketaan kaavalla 15:

$$\Phi = 2(k_1 - k_2)\left(\frac{T_m + T_p}{2} - T_g\right) \quad (15)$$

jossa,

Φ	lämpöhäviöteho, W/m
k_1 ja k_2	lämmönläpäisylukuja, W/mK
T_m	kaukolämmön menolämpötila, °C
T_p	kaukolämmön paluulämpötila, °C
T_g	maaperän lämpötila, °C

Maaperän lämpötilan ja lämmönläpäisylukujen voi olettaa pysyvän vakiona, koska lämmönläpäisyluvut muuttuvat vain lämpöverkon rakentamisen myötä. Kaavalla 9 laskettuna lämpöhäviöt tippuvat hetkellisesti jopa 16 %, mutta vuositasolla hyöty on pienempi ulkolämpötilan ollessa mitoituslämpötilaa lämpimämpi suurimman osan vuodesta.

Kaukolämpöveden lämpötila vaikuttaa kaukolämmön laatuun ja riittävyyteen asiakkaalle, mutta myös merkittävästi kaukolämpöverkon virtauksiin ja tehonsiirto kapasiteettiin. Kaukolämpöveden virtaus on kääntäen verrannollinen meno- ja paluulämpötilojen lämpötilaeroon. Kun menolämpötilaa halutaan minimoida tuotannon etujen sekä lämpöhäviöiden takia, on tärkeää maksimoida kulutuksen jäähtymää ja laskea paluulämpötilaa riittävän alhaiseksi. (Mäkelä & Tuunanen 2015: 43, 52) Kaukolämpöverkossa siirrettävä teho voidaan laskea kaavalla 16:

$$\Phi = \rho q_{kl} c_p (T_m - T_p) \quad (16)$$

jossa,

ϕ	kaukolämpöteho, kW
ρ	kaukolämpöveden tiheys, kg/dm ³
q_{kl}	kaukolämpöveden virtaus, dm ³ /s
c_p	veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 J/kgK
T_m	kaukolämmön menolämpötila, °C
T_p	kaukolämmön paluulämpötila, °C

Yhtälön 11 perusteella voidaan todeta, että kaukolämmön paluulämpötilan pysyessä vakiona (50 °C) ja menolämpötilaa laskettaessa vanhasta mitoituksesta 115 °C uuteen 90 °C laskee lämpötilaero ja tehonsiirtokapasiteetti 38 % virtauksen kasvaessa. Jos menolämpötilan laskun lisäksi paluulämpötilaa saadaan laskettua 10 °C, tehonsiirtokapasiteetti pienenee vain 33 %. Virtauksen kasvaessa kaukolämpölinjojen kuormitus kasvaa. Muutos saattaa aiheuttaa tarvetta rakentaa uusia siirtolinjoja tai uusia kiinteistöjen talohaarojen putkia isommiksi.

Kaukolämmön paluulämpötila riippuu pääosin asiakkaan toisiopiirin paluulämpötilasta. Paluulämpötila vaihtelee huomattavasti vuodenajan ja kulutuksen mukaan. Lämpimän käyttöveden käytön aikana paluulämpötila laskee kylmän veden lämmityksen myötä, mutta lämpimän käyttöveden kierto ja ulkolämpötilan lasku puolestaan nostavat paluulämpötilaa. Paluulämpötila onkin tyypillisesti korkeimmillaan kesällä ja talven kylmimpinä hetkinä. Asiakkaan toisiopiirin paluulämpötilan lisäksi paluulämpötilaan vaikuttavat kaukolämpöverkolla olevat suorat kytkennät meno- ja paluuputkien välissä, tuotantoprosessien lämpimänäpidot sekä asiakkaiden säätölaitteiden vikaantumiset, jotka aiheuttavat

suoraa virtausta menoputkesta paluuputkeen. Näitä virtauksia kannattaa minimoida verkon hyvän jäähtymän aikaansaamiseksi sekä turhan pumppauksen välttämiseksi.

Kaukolämpöverkolla menolämpötilan lasku pienentää lämpöhäviöitä, mutta toisaalta kasvattaa virtausta, joka lisää pumppaustarvetta sekä kasvattaa pumppauksen sähköenergian tarvetta. Virtauksen kasvu lisää itsessään pumppaustarvetta, mutta kasvattaa lisäksi verkon painehäviöitä ja tarvittavaa nostokorkeutta, joka lisää pumppaustehontarvetta entisestään. Virtauksen kaksinkertaistuessa pumppauksen affiniteettisääntöjen mukaisesti painehäviö nelinkertaistuu ja pumppauksen tehontarve kahdeksankertaistuu. (Koskelainen ym. 2006: 170) Pumppaustehontarve on esitetty kaavassa 17:

$$P = \frac{V\Delta p}{\eta} \quad (17)$$

jossa

P pumppausteho, W

V tilavuusvirta, m³/s

Δp nostokorkeus, m

η hyötysuhde

4.3 Asiakkaat

Kaukolämmön lämmönjakokeskuksen käyttöikä on noin 20 vuotta (K1/2021. 2021: 41), mutta Helenin yksittäisillä kaukolämpöasiakkailta on kuitenkin käytössä jopa yli 40-vuotiaita lämmönjakokeskuksia. Uusi matalampi mitoituslämpötila tuli voimaan 2022, joten vanhalla mitoituksella olevia lämmönjakokeskuksia on mahdollisesti käytössä 2040-luvulle saakka.

Helsingin kaukolämpöverkon alueella yleisimmät patteriverkostojen mitoituslämpötilat ovat 80/60 °C ja 70/40 °C jolloin 90 °C:n kaukolämpövesi riittää näiden lämmityspiirien lämmitykseen, mutta toisiopiirien vaatima lämpötila rajoittaa kaukolämmön menoveden lämpötilan laskua siitä alaspäin. Kiinteistöjen lämmityspiirien toisiopiirien mitoitusmenolämpötilat olivat vuoteen 1983 saakka 80 °C (Kuluttajien kaukolämpölaitteita koskeva suositus. 1978: 14), jolloin toisiopuolen mitoituslämpötilaa alennettiin 70 °C:seen (Kuluttajien kaukolämpölaitteita koskeva suositus. 1983: 11).

Kiinteistöjen toisiopuolen lämpötilat ja erityisesti toisiopuolen paluulämpötila vaikuttaa ensiöpuolen eli kaukolämmön paluulämpötilaan. Alhaisempi kaukolämmön paluulämpötila pienentää lämpöhäviöitä sekä parantaa lämpötilaeroa ja verkon siirtokapasiteettia. Helenin kaukolämmön hinta muodostuu kausittain vaihtuvasta energiamaksusta sekä kiinteästä vesivirtamaksusta, jossa kiinteistön hyvä jäähtymä pienentää vesivirtamaksua (Kaukolämmön hinnat. 2023.). Koska kaukolämmön jäähtymä vaikuttaa asiakkaiden vesivirtamaksuun, seuraavat kaukolämpöyhtiöt asiakkaiden jäähtymää ja niissä tapahtuvia muutoksia. Helen tiedottaa asiakkaita jäähtymän huonontumisesta, jotta asiakkaat voivat varmistaa laitteidensa energiatehokkaan toiminnan ja reagoida mahdollisiin viikoihin aikaisessa vaiheessa.

Kaukolämmön lämmönjakokeskusten mitoituslämpötilan muutos uudelle 90 °C:n lämpötilalle johtaa uusittavien lämmönjakokeskusten lämmönsiirtimien pinta-alan kasvuun. Tämä kasvattaa hiukan lämmönjakokeskusten hankintakustannuksia. Jesper Laitinen tutki diplomityössään lämpötilan laskun vaikutuksia lämmönjakokeskuksiin ja arvioi lämmönjakokeskusten laitehankintakustannusten nousevan keskimäärin noin 5 % (Laitinen Jesper. 2020: 32). Helenin kaukolämpöasiakkaiden on kuitenkin mahdollista saada pienennettyä vesivirtamaksuun, jolloin investointi voi maksaa itsensä takaisin. Lämmönjakokeskuksen uusinnan lisäksi asiakas voi investoida lämmitysjärjestelmänsä toisiopiireihin ja madaltaa niiden lämpötilaa. Investoinnilla lämmitysjärjestelmään olisi mahdollisuus laskea vesivirtamaksua ja muutos lisäksi parantaisi asumisolosuhteita

sekä parantaisi kiinteistön muuntojoustavuutta erityisesti lämmitystavan vaihtoa mietittäessä.

5 Yhteenveto

Kaukolämmön mitoitus- ja todellisen menolämpötilan laskun vaikutuksia tutkittiin kaukolämpöjärjestelmälle kokonaisuudessaan huomioiden kaukolämmön tuotanto, kaukolämpöverkko sekä asiakkaiden lämmönjakokeskukset sekä talotekniikka. Uusi matalampi 90 °C:n mitoituslämpötila on otettu käyttöön vuoden 2022 aikana, mutta matalamman lämpötilan käyttöönotossa koko kaukolämpöjärjestelmässä on siirtymäaika.

Kaukolämpöasiakkaat ovat siirtymässä oleellisessa osassa. Kaukolämpöjärjestelmän toiminnan ja tehokkuuden takia asiakaslaitteiden ja talotekniikan toimivuus sekä hyvä kaukolämpöveden jäähtymä ovat tärkeitä. Hyvä jäähtymä säävutetaan oikein toimivilla lämmönjakokeskuksilla sekä lämmityksen toisiopiireillä. Siirryttäessä käyttämään matalampia kaukolämmön lämpötiloja ei välttämättä jokaista kaukolämpöverkon lämmönjakokeskusta tarvitse uusia. Lämmönjakokeskusten uusinta kuitenkin varmistaa kiinteistöjen lämmityksen toiminnan ja jäähtymän pysymisen hyvänä, mutta olemassa olevien lämmönjakokeskusten kohdalla on riski paluueden lämpötilan nousemisesta menolämpötilaa laskettaessa.

Matalampi lämpötila kasvattaa hiukan lämmönjakokeskusten lämmönsiirrinten kokoa sekä kustannusta, mutta investoinnin on mahdollista maksaa itsensä takaisin vesivirtamaksujen alentuessa. Lämmönjakokeskuksen uusimiseen matalammalle lämpötilalla on myös mahdollista saada tukea ARA:lta ja investointiin saatava tuki parantaa laiteusinnan kannattavuutta asiakkaalle. Jäähtymän parantaminen saattaa vaatia investointeja myös kiinteistön lämmityksen toisiopiiriin, mutta samalla on mahdollisuus parantaa energiatehokkuutta, olosuhteita sekä muuntojoustavuutta erityisesti lämmitystavan vaihtoa tai hybridilämmitystä ajatellen.

Kaukolämpöverkon kannalta lämpötilojen lasku on kompromissi erityisesti lämpöhäviöiden vähentymisen sekä virtausten kasvun kannalta. Lämpötilojen lasku pienentää kaukolämpöverkon lämpöhäviöitä, jolloin lämpöhäviökustannusten vaikutus asiakashintaan on pienempi. Toisaalta lämpötilojen lasku ja pienempi meno- ja paluuputken lämpötilaero kasvattavat verkon virtauksia. Virtausten kasvu vaikuttaa verkoston pumppaustarpeeseen sekä painehäviöihin. Tästä syystä paluulämpötilojen lasku sekä kiinteistöjen energiatehokkuuden parantaminen ovat merkittäviä mahdollistajia myös menolämpötilan laskulle.

Kaukolämmön tuotannossa lämpötilojen laskun hyödyt tulevat suoraan kaukolämpöyhtiölle, mutta välillisesti myös asiakkaalle mahdollistaen kaukolämmön tuotannon hiilineutraaliuden, hukka- ja ympäristölämpöjen paremman hyödynnettävyyden sekä alhaisempien tuotantokustannusten myötä myös matalammat asiakashinnat. Lämpötilojen lasku tukee asiakkaiden toivomaa kaukolämmön vihreää siirtymää sekä kustannustason kurissa pitämistä. Lämpötilojen lasku parantaa tehokkuutta sähkön ja lämmön yhteistuotannossa sekä savukaasujen lämmöntalteenotossa. Suurin hyöty tulee kuitenkin lämpöpumppuihin perustuvassa kaukolämmöntuotannossa lämpöpumppujen hyötysuhteen sekä hukkalämpöjen hyödyntämisen kannattavuuden parantuessa.

Kaukolämmön mitoituslämpötilan laskun taustalla on pyrkimys parantaa kaukolämmön energiatehokkuutta, mahdollistaa hukkalämpöjen, lämpöpumppujen sekä uusien tuotantomuotojen hyödyntäminen suuressa mittakaavassa ja nopeuttaa siirtymää kohti päästöttömyyttä. Muutos tuli voimaan vuoden 2022 aikana, mutta erityisesti suurissa kaukolämpöjärjestelmissä on pitkät siirtymäajat siirryttäessä käyttämään kokonaan matalampaa menolämpötilaa. Muutosta ei myöskään kannata tehdä kerralla, vaan lämpötilaa voidaan pudottaa asteittain asiakkaiden lämmönjakokeskusten, kaukolämpöverkon ja -tuotannon uusiutuessa. Lämpötilojen muuttuessa asiakkaan lämmönjakokeskuksen ja lämmitysjärjestelmän toimivuudella on iso merkitys kaukolämpöjärjestelmän toiminnalle, mutta on asiakkaan etu, että kaukolämpöjärjestelmää kehitetään toimimaan energiatehokkaasti, vähäpäästöisesti ja mahdollistamaan edullisempi tuotanto.

Lähteet

4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. Verkkoaineisto. Lund, Henrik, Werner, Sven, Wiltshire, Robin, Svendsen, Svend, Thorsen, Jan Eric, Hvelplund Frede, Vad Mathiesen, Brian. 2014. <<https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.02.089>> Luettu 24.3.2023.

Asumisterveysasetus. 2015. 545/2015. Helsinki: sosiaali- ja terveysministeriö.

Energiavuosi 2022 - Kaukolämpö. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/energiavuosi_2022_-_kaukolampo.html#material-view> Luettu 24.03.2023

Hallituksen ilmastopolitiikka: kohti hiilineutraalia Suomea 2035. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<https://ym.fi/hiilineutraalisuomi2035>> Luettu 22.1.2023

Helen Vastuullisuusraportti 2022. Verkkoaineisto. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/helen-oy/vastuullisuus/vastuullisuus-helenissa/vastuullisuusraportti>> Luettu 24.3.2023.

K1/2021. 2021. Rakennusten kaukolämmitys - Määräykset ja ohjeet. Helsinki: Energiateollisuus Ry.

Kaappola, Esko, Hirvelä, Aulis, Jokela, Matti, Kianta, Jani. 2015. Kylmätekniiikan perusteet. Helsinki: Opetushallitus.

Kaukolämmön kytkennät tutuiksi - Peruskytkentä, välisyöttö ja väliotto. Verkkoaineisto. Verkkoaineisto. HögforsGST. <<https://hogforsgst.com/fi/ajankoh-taista/kaukolammon-kytkennat>> Luettu 1.4.2023.

Kaukolämmön hinnat. Verkkoaineisto. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/lammitys-ja-jaahdytys/kaukolampo/hinnat>> Luettu 19.3.2023.

Kiinteistöliiton energia- ja ilmastokysely. Verkkoaineisto. Kiinteistöliitto.
<<https://www.kiinteistoliitto.fi/media/7768/energia-jailmastokyselytulok-sia2112022.pdf>> Luettu 1.4.2023

Korkala, Tapio. 2021. Lämmitys – Hoito ja huolto. Helsinki: Kiinteistömedia.

Koskelainen, Lasse, Saarela, Rauli & Sipilä, Kari. 2006. Kaukolämmön käsikirja. Helsinki: Energiateollisuus Ry.

Kuluttajien kaukolämpölaitteita koskeva suositus. 1978. Lämpölaitosyhdistys R.Y.

Kuluttajien kaukolämpölaitteita koskeva suositus. 1983. Lämpölaitosyhdistys r.y.

Lämmönjakokeskukset taloyhtiölle. Verkkoaineisto. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/taloyhtiot/lampoa-taloyhtiolle/energiatehokas-lammitys/alykas-lammonja-kokeskus>> Luettu 22.1. 2023

LVI 12-10343. Vesikiertoinen patterilämmitys. 2002. Rakennustieto RTS.

Mäkelä, Veli-Matti & Tuunanen, Jarmo. 2015. Suomalainen kaukolämmitys. Mikkelin ammattikorkeakoulu.

Nopeutuva päästövähennystahti kirittää Helenin kasvua. Verkkoaineisto. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/uutiset/2021/nopeutuva-p%C3%A4st%C3%A4st%C3%B6v%C3%A4hennystahti-kiritt%C3%A4%C3%A4-helenin-kasvua>> Luettu 22.1.2023.

Puhdistuva kaukolämpö. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <https://energia.fi/energiapolitiikka/vahahiilisyyden_tiekartta/puhdistuva_energia/puhdistuva_kaukolampo> Luettu 22.01.2023

Päätöksiä lähivuosien investoinneista – Helen rakentaa yli 2 000 MW fossiilisen energiantuotannon korvaavaa kapasiteettia. Verkkoaineisto. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/uutiset/2022/paatoksi%C3%A4-lahivuosien-investoinneista-helen-rakentaa-yli-2-000-mw-fossiilisen-energiantuotannon-korvaavaa-kapasiteettia>> Luettu 24.3.2023.

Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2017. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: ympäristöministeriö.

RT 52-10801. Vesikiertoinen lattialämmitys. 2003. Rakennustieto RTS.

Rämä, Miika. 2020. District heating with low-carbon heat sources and low distribution temperatures. Helsinki: Unigrafia Oy.

Seppänen, Olli. 1995. Rakennusten lämmitys. Espoo: Suomen LVI-yhdistysten liitto ry.

Suomalaisten energia-asenteet 2021. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <https://energia.fi/files/6606/Energia-asenteet_2021.pdf>. Luettu 1.4.2023.

Tehokas CHP, kaukolämpö ja -jäähdytys Suomessa 2010 – 2025. 2015. Verkkoaineisto. VTT. https://energy.ec.europa.eu/system/files/2016-01/L%25C3%25A4mp%25C3%25B6karttaraportti_final_10-11-2015%2520%25282%2529_0.pdf Luettu 20.4.2023

Vesikiertoisen lattialämmityksen ja -viilennyksen suunnitteluopas. 2023. Roth Finland Oy.

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 2017. Helsinki: ympäristöministeriö.

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. 2017. Helsinki: ympäristöministeriö.

Ympäristöministeriön asetus rakennusten vesi- ja viemärlaitteistoista. 2017. Helsinki: ympäristöministeriö.

K1 versioiden vertailutaulukko

K1 versio	Ensiöpuoli, Kaukolämpö					Toisiopuoli, lämmitysjärjestelmät ja käyttövesi				
	KL meno- lämpötila	Sallittu KL-paluu- lämpötila	Paluulämpö- tilojen sal- littu erotus	Käyttöveden menoläm- pötila	Käyttöveden suurin sallittu paluu	Patteriverkosto toisiomenoläm- pötila	Patteriverkos- ton toisiopa- luulämpötila	Ilmanvaihdon toisiomeno- lämpötila	Ilmanvaih- don toisiopa- luulämpötila	Käyttöve- den läm- pötila
K1/2021	90	33	3	70	20	60	30	60	30	58
K1/2013	115	33	3	70	20	45	30	60	30	58
K1/2007	115	45	5	70	25	70	40	60	40	58
K1/2003	115	45	5	70	25	70	40	60	40	58
K1/1992	115	45	5	70	25	70	40	60	40	55
K1/1983	115	45	5	70	25	70	40	70	40	50
K1/1978	115	55	5	75	25	80	50	80	40	55
K1/1973	120	65	5	75	25	90	60	80	40	55
K1/1967	120	73	3	75	-	90	70	-	-	55

