



Tapio Ryysy

# Kaukolämmön ja poistoilmalämpöpumpun hybridikytkennän mitoitus asuinkerrostalorakennuksessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

30.12.2024

# Tiivistelmä

|                       |   |
|-----------------------|---|
| Tekijä:               | Tapio Ryysy   |
| Otsikko:              | Kaukolämmön ja poistoilmalämpöpumpun hybridikytkennän mitoitus asuinkerrostalorakennuksessa |
| Sivumäärä:            | 34 sivua + 2 liitettä   |
| Aika:                 | 30.12.2024  |
| Tutkinto:             | Insinööri (AMK)   |
| Tutkinto-ohjelma:     | Talotekniikka   |
| Ammatillinen pääaine: | LVI-suunnittelu   |
| Ohjaajat:             | Yliopettaja Aki Valkeapää   |

---

Insinööriyössä tarkasteltiin kaukolämmön ja poistoilmalämpöpumpun rinnan-, eli hybridikytkennän tehomitoituksen perusteita sekä laskentaa. Työn kohteena oli olemassa oleva 1970-luvun kerrostalo, jonka nykyinen lämmöntuottotapa on kaukolämpö ja ilmanvaihtotapa on koneellinen poistoilmanvaihto.

Opinnäytetyöraportissa käytiin läpi kiinteistön lämpimän käyttöveden ja lämmityksen kaukolämpösiirtimien sekä poistoilmalämpöpumppujen tehontuoton mitoitusperusteet. Lisäksi kohderakennukseen laskettiin ja mitoitettiin kaukolämmön ja poistoilmalämpöpumpun hybridijärjestelmä.

Poistoilmavirtojen laskennassa käytettiin FINVAC Ry:n opasta asuinrakennusten ilmapirtojen mitoitukseen. Tästä syystä asuinhuoneistojen ilmavirrat mitoitettiin raitisilmavirtaperusteisesti alkuperäisen poistoilmavirtaperusteisen ilmanvaihdon mitoitustavan sijasta.

Poistoilmalämpöpumpun ja kaukolämmön hybridikytkennän myötä vuositasolla ostettavan kaukolämpöenergian tarve voi kohteessa pienentyä yli 32 %. Lämpöpumpun talteen ottamasta lämpöenergiasta vuositasolla 73 % menisi lämmitysjärjestelmän käyttöön ja loput käyttöveden lämmittämiseen.

Koneellisen poistoilmanvaihdon vaatiman korvausilman lämmittämiseen kuluu merkittävä osa asuinkerrostalon lämmitysenergian kokonaiskulutuksesta, ja poistoilman sisältämän lämpöenergian talteenotto on siitä syystä järkevää. Suunnitellessa ja mitoitettaessa kaukolämmön ja poistoilmalämpöpumpun hybridikytkentää on kiinteistön lämmitys-, käyttövesi- ja ilmanvaihtojärjestelmiä tarkasteltava kokonaisuutena, jotta voidaan varmistaa hybridijärjestelmän tehokas ja taloudellinen toiminta.

Avainsanat: hybridikytkentä, poistoilmalämpöpumppu, kaukolämpö

---

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

## Abstract

Author: Tapio Ryysy  
Title: Dimensioning of District Heating and Exhaust Air Heat Recovery Hybrid Connection in Residential Apartment Building  
Number of Pages: 34 pages + 2 appendices  
Date: 30 December 2024

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Building Services Engineering  
Professional Major: HVAC Design  
Supervisors: Aki Valkeapää, Principal Lecturer

---

The final year project aimed at presenting the fundamentals of dimensioning a hybrid connection of an exhaust air recovery system and the current heating system of a case building, built in the 1970's and connected to district heating and equipped with mechanical exhaust air ventilation.

The project collected data about the calculation of heat losses, to be used in the dimensioning of heat transfer devices for district heating. Furthermore, the principles of dimensioning the power of exhaust air heat pumps were collected. In addition, both the amount of heat dissipation of the building and the amount of energy that the exhaust air heat recovery pump can recover from the exhaust air were calculated.

When calculating the volume of exhaust air, FINVAC Ry's guidebook for the residential buildings was used. Therefore, the volume of exhaust air was calculated on the basis of the required fresh air in an apartment.

The thesis showed that the amount of purchased district heat energy may be reduced by over 32 % annually due to the hybrid connection of exhaust air heat recovery pump and district heating system. 73 % of this recovered energy would be used in heating, and the rest in heating warm tap water.

Keywords: exhaust air heat recovery, district heating, hybrid connection

# Sisällys

## Lyhenteet

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Johdanto   | 1  |
| 1.1   | Työn tavoite   | 1  |
| 1.2   | Työn taustat   | 1  |
| 1.3   | Lähtötiedot  | 2  |
| 1.4   | Työn kohderakennus                                   | 3  |
| 2     | Kaukolämpö- ja lämpöpumppujärjestelmät               | 3  |
| 2.1   | Kaukolämpö   | 3  |
| 2.1.1 | Lämmityksen kaukolämpösiirtimen mitoitus             | 4  |
| 2.1.2 | Lämpimän käyttöveden kaukolämpösiirtimen mitoitus    | 8  |
| 2.1.3 | Veden lämpötila käyttövesilaitteistossa              | 9  |
| 2.2   | Poistoilmalämpöpumppu                                | 10 |
| 2.3   | Kaukolämmön ja poistoilmalämpöpumpun hybridikytkentä | 11 |
| 2.3.1 | Lämmityksen hybridikytkentä                          | 11 |
| 2.3.2 | Lämmityksen ja lämpimän käyttöveden hybridikytkentä  | 13 |
| 2.3.3 | Lämmönsiirtimien mitoitus hybridikytkennässä         | 15 |
| 3     | Laskenta   | 16 |
| 3.1   | Laskennan lähtötiedot                                | 16 |
| 3.2   | Kaukolämmön siirtimien mitoitus                      | 17 |
| 3.2.1 | Lämmityksen kaukolämpösiirtimen mitoitus             | 17 |
| 3.2.2 | Käyttöveden kaukolämpösiirtimen mitoitus             | 23 |
| 3.3   | Poistoilmapumpun tuottaman lämmitystehon laskenta    | 23 |
| 4     | Tulokset   | 26 |
| 5     | Yhteenveto   | 27 |
|       | Lähteet  | 32 |

## Liitteet

Liite 1: Kantakartta kohteesta ja metron sijainti

Liite 2: Kohteen ilmanvaihto- sekä lämmityssuunnitelmia

## Lyhenteet ja käsitteet

- EC: *Electronically Commutated*. Elektronisesti kommutoitu, esimerkiksi tasavirtamoottoreissa käytetty, sähköllä toimiva ohjaustapa.
- LJK: Lämmönjakokeskus. Kaukolämmön ja kiinteistön välinen laitteisto, joka siirtää lämpöenergian kaukolämpövedestä kiinteistön käyttöön.
- LP: Lämpöpumppu. Laite, jolla voi siirtää lämpöä kylmemmästä tilasta lämpimämpään.
- LS: Lämmönsiirrin. Laite, jossa lämpö siirtyy kahden eri verkoston välillä.
- LTO: Lämmöntalteenotto. Lämmönsiirrin, jolla otetaan poistoilman lämpöenergia talteen ennen ulospuhaltamista.
- NTP: *Normal temperature and pressure*. Normaalilämpötila ja -paine, lämpötila +20 °C ja paine 101325 Pa.
- PILP: Poistoilmalämpöpumppu. Poistoilmasta lämpöä kiinteistön lämmitysjärjestelmään ja/tai käyttövesijärjestelmään siirtävä järjestelmä.

# 1 Johdanto

## 1.1 Työn tavoite

Työn tavoitteena on tutkia olemassa olevan asuinkerrostalorakennuksen kaukolämmön sekä poistoilmalämpöpumpun hybridijärjestelmän mitoitusta, toimintaa, suunnittelun perusteita sekä toteutusta esimerkiksi mahdollisen korjausrakentamisen yhteydessä. Tarkasteltavana olevan kiinteistön ominaisuuksista johtuen keskitytään työssä vain poistoilmalämpöpumppujen ja kaukolämmön hybridikytkentään.

Koska kyseessä on olemassa oleva kiinteistö, on hybridijärjestelmien soveltuvuutta sekä järjestelmän vaatimia toimenpiteitä tarkasteltava kokonaisuutena.

## 1.2 Työn taustat

Kaukolämmön lämmönjakokeskusten tekninen käyttöikä on 20–25 vuotta [1]. Lämmönjakokeskuksen uusimisen ollessa ajankohtaista on kiinteistön omistajalla mahdollisuus pohtia kiinteistön lämmöntuottotavan muuttamista kaukolämmöstä lämpöpumppujärjestelmään joko kokonaan tai osittain.

Kaukolämmön reaalihinnan kehitys on ollut noususuuntainen jo 1990-luvulta lähtien [2]. Asuinkerrostalojen maalämpö-, ilma-vesilämpöpumppu- ja poistoilman talteenottojärjestelmille mainostetaankin takaisinmaksuajaksi jopa alle kymmentä vuotta siirryttäessä kaukolämmöstä lämpöpumppujärjestelmiin [3].

Joihinkin kiinteistöihin ei kuitenkaan ole mahdollista asentaa lämpöpumppujärjestelmää kiinteistön lämmitysenergian tarpeen kattavalla laajuudella tai lainkaan. Maalämpöpumppujärjestelmälle syitä tähän voi olla esimerkiksi pohjavesialue, maanalainen rakennettu tekniikka tai riittämätön piha-alue [4].

Poistoilmalämpöpumppu vaatii toimiakseen koneellisen ilmanvaihdon. Poistoilmalämpöpumppujen lämmöntalteenottopatterit sekä uudet huippuimurit asennetaan vanhojen huippuimureiden tilalle [5]. Tästä syystä painovoimaisella ilmanvaihdolla varustettuihin rakennuksiin tulisi tehdä kokonaisvaltainen ilmanvaihtojärjestelmien muutos painovoimaisesta ilmanvaihdosta koneelliseksi, jotta poistoilmalämpöpumppujen asentaminen olisi mahdollista.

Vaikka lämpöpumppujärjestelmä ei kykenisi yksinään kattamaan rakennuksen vaatimaa lämmitystehontarvetta ja vuotuista lämmitysenergian tarvetta, kuten poistoilmalämpöpumppujärjestelmän tapauksessa, on se mahdollista asentaa kaukolämmön kanssa rinnan [5]. Tällaista rinnan kytkentää kutsutaan kaukolämmön ja lämpöpumpun rinnakkaislämmön kytkennäksi tai hybridikytkennäksi.

### 1.3 Lähtötiedot

Lämmitysjärjestelmään tehtävät muutokset ovat riippuvaisia toisistaan, ja poistoilmalämpöpumppujen lämmitysenergian tuotto on riippuvainen poistoilman lämpötilasta sekä ilmamäärästä.

Vuonna 2019 julkaistun Finvac Ry:n Opas asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoitukseen -julkaisun myötä asuinhuoneistojen ilmanvaihdon mitoitus voidaan suorittaa raitisilmaperusteisesti aiemman, poistoilmaperusteisen mitoitustavan sijaan [7]. Raitisilmaperusteinen mitoitustapa mahdollistaa poistoilmavirtojen mitoittamisen alkuperäistä pienemmiksi. Poistoilmamäärät vaikuttavat sekä poistoilmalämpöpumppujen mitoitukseen että korvausilman määrään ja tätä kautta rakennuksen lämmitystehontarpeeseen ja siten lämmönsiirtimien mitoitukseen. Rakennuksen lämmitystehontarve vaikuttaa rakennuksen lämmitysenergian tarpeeseen.

Hybridijärjestelmään siirryttäessä onkin aina suositeltavaa suorittaa lämmitysjärjestelmän perussäätö ja ilmanvaihdon säätö- ja tasapainotus sekä uusia kaukolämpölaitteistot, jotta voidaan mahdollistaa laitteiden paras toiminta,

säädettävyys ja energiansäästö. Kiinteistöön suoritettavilla muutoksilla on vaikutuksia rakennuksen lämmitysenergian tuotantoon ja kulutukseen. [8, s. 85]

## 1.4 Työn kohderakennus

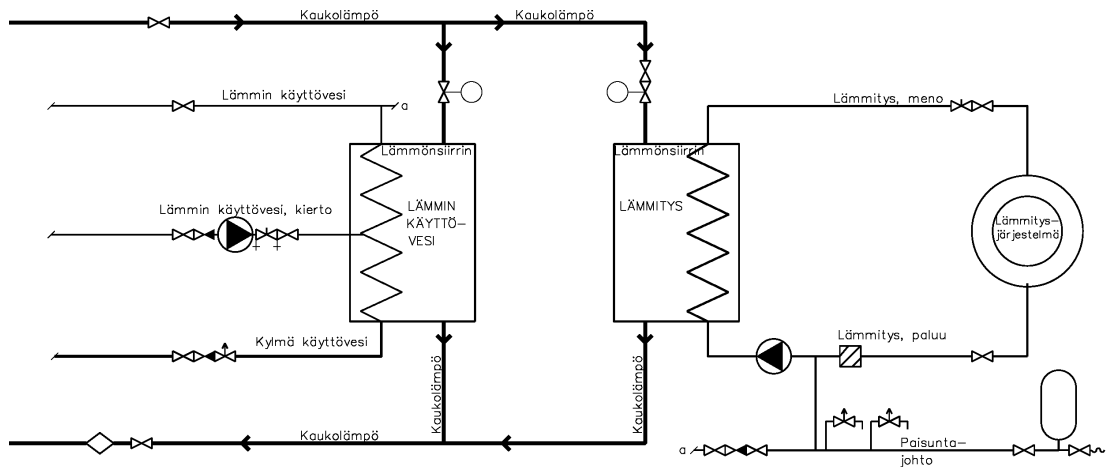
Tarkasteltava kohderakennus on 1970-luvulla rakennettu yksiportainen asuin-kerrostalo Espoossa. Rakennukseen on tehty julkisivuremontti vuonna 1999 ja linjasaneeraus vuonna 2012. Rakennuksessa on kellarikerros, pohjakerros, 10 asuinkerrosta sekä liiketiloja. Rakennuksen nykyinen lämmöntuottotapa on kaukolämpö, ja lämmönjakotapa on vesikiertoinen patterilämmitys. Rakennuksen ilmanvaihtotapa on koneellinen poistoilmanvaihto. Kiinteistön alla kulkee Länsimetro. Liitteessä 1 on kantakartta kohteesta, jossa näkyy Länsimetron reitti. Tontin koko ei myöskään ole riittävä maalämpökaivojen vaatimille vähimmäisetäisyyksille.

## 2 Kaukolämpö- ja lämpöpumppujärjestelmät

### 2.1 Kaukolämpö

Kaukolämpö on rakennuksen ulkopuolella tuotettua, rakennukseen tuotavaa lämpöä. Perinteisesti kaukolämpö on tuotettu sähkön kanssa yhteisissä tuotantolaitoksissa, kuten kombivoimalaitoksissa. Kuitenkin viime vuosien aikana toteutuneen sähkön sekä lämmön tuotannon vihreän siirtymän myötä nykyään yli 60 % kaukolämmön energianlähteistä on hiilidioksidineutraaleja [6].

Kaukolämpöverkostosta siirretään lämmitysenergiaa kiinteistön käyttövesi- ja lämmitysverkostoihin kiinteistössä sijaitsevien lämmönsiirtimien avulla. Lämmönsiirtimissä verkostojen vesi ei sekoitu keskenään, vaan ainoastaan lämpö siirtyy. Siirtimen kaukolämpökytkentää kutsutaan ensiöpuoleksi, ja kiinteistön verkoston kytkentää kutsutaan toisiopuoleksi. [8, s. 2–3] Kuvassa 1 on esitetty yksinkertainen kaukolämmön kytkentäkaavio, jossa on kaksi lämmönsiirrintä ja toisiopuolen verkostoina on käyttövesiverkosto sekä lämmitysverkosto.



Kuva 1. Yksinkertainen kiinteistön alajakokeskuksen kaukolämmön kytkentäkaavio.

### 2.1.1 Lämmityksen kaukolämpösiirtimen mitoitus

Lämmityksen lämmönsiirrin mitoitetaan suurinta lämmitystehontarvetta vastavaksi, eli lämmityksen tehontarve  $\dot{Q}_L$  on yhtä kuin lämmityksen kaukolämpösiirtimen teho. Lämmityksen tehontarpeen laskennassa tulee ottaa huomioon rakennuksen kaikki lämpöhäviöt sekä -tarpeet mitoitustilanteessa. Näihin lukeutuvat johtumislämpöhäviöt rakenteiden yli, rakennuksen vuotoilmavirrasta johtuva lämmitystehontarve, ilmanvaihdon tuloilman lämmittäminen sekä koneellisen poistoilmanvaihdon korvausilman vaatima lämmitysteho. [8, s. 13; 11, s. 17] Mitoitustilanteessa pyritään mahdollisimman tehokkaaseen kaukolämpöveden jäähtymään kaikissa käyttötilanteissa [8, s. 13].

Rakennuksen lämmöntarve sekä lämpöhäviöt eli lämmityksen tehontarve  $\dot{Q}_L$  lasketaan kaavalla 1.

$$\dot{Q}_L = \dot{Q}_{joht} + \dot{Q}_{vuoto} + \dot{Q}_{iv,tulo} + \dot{Q}_{iv,korvaus} \quad (1)$$

|                        |  |
|------------------------|--|
| $\dot{Q}_{joht}$       | on johtumislämpöhäviöiden summa (kW)       |
| $\dot{Q}_{vuoto}$      | on vuotoilman vaatima lämmitysteho (kW)    |
| $\dot{Q}_{iv,tulo}$    | on tuloilman vaatima lämmitysteho (kW)     |
| $\dot{Q}_{iv,korvaus}$ | on korvausilman vaatima lämmitysteho (kW). |

Johtumislämpöhäviöiden summa  $\emptyset_{joht}$  syntyy, kun rakennuksen tiloihin tuotu lämpöenergia siirtyy termodynamiikan toisen pääsäännön mukaisesti rakennuksen rakenneosien läpi kohti kylmää ulkoilmaa [11, s. 17–20]. Johtumislämpöhäviöiden summa on rakenneosien lämpöhäviöiden summa, ja se lasketaan kaavalla 2.

$$\emptyset_{joht} = \frac{\emptyset_{YP} + \emptyset_{US} + \emptyset_{ikk} + \emptyset_{ovi} + \emptyset_{AP} + \emptyset_{KS}}{1000} \quad (2)$$

|                   |   |
|-------------------|---|
| $\emptyset_{YP}$  | on yläpohjan lämpöhäviöt (W)            |
| $\emptyset_{US}$  | on ulkoseinien lämpöhäviöt (W)          |
| $\emptyset_{ikk}$ | on ikkunoiden lämpöhäviöt (W)           |
| $\emptyset_{ovi}$ | on ulko-ovien lämpöhäviöt (W)           |
| $\emptyset_{AP}$  | on alapohjan lämpöhäviöt (W)            |
| $\emptyset_{KS}$  | on kylmäsiltojen lämpöhäviöt (W)        |
| 1000              | on muuntokerroin wateista kilowateiksi. |

Eri rakenteiden rakenneosien lämpöhäviöt lasketaan kaavalla 3.

$$\emptyset_{rakenne} = U_{rakenne} \cdot A_{rakenne} \cdot \Delta T \quad (3)$$

|               |  |
|---------------|--|
| $U_{rakenne}$ | on rakenteen lämmönläpäisykerroin (W/m <sup>2</sup> K) |
| $A_{rakenne}$ | on rakenteen pinta-ala (m <sup>2</sup> )               |
| $\Delta T$    | on sisä- ja ulkoilman lämpötilaero (°C).               |

Rakenteen lämmönläpäisykerroin, eli U-arvo, saadaan laskemalla rakennepak-suuden sekä rakenteen lämmönjohtavuuden osamäärän, tai kerroksellisessa rakenteessa niiden osamäärien summan eli lämmönvastuksen käänteisluku. Usein joko rakennesuunnittelija laskee rakenteen U-arvon, tai rakennevalmis-taja ilmoittaa valmistamansa rakenteen lämmönläpäisykerroimen.

Rakennuksen vuotoilmavirta syntyy lämpötilaerojen sekä tuulen synnyttämistä paine-eroista, ja sen suuruuteen vaikuttavat muun muassa rakennuksen sijainti, korkeus sekä rakennusvaipan ilmanpitävyys. Vuotoilmavirta ei sisällä koneelli-sen ilmanvaihdon synnyttämää paine-eroa. [11, s. 21–22]

Vuotoilman lämpenemisen lämpötehon tarve lasketaan kaavalla 4.

$$\dot{Q}_{vuoto} = \rho_i \cdot c_{p,i} \cdot q_{v,vuoto} \cdot \Delta T \quad (4)$$

|               |  |
|---------------|--|
| $\rho_i$      | on ilman tiheys (kg/m <sup>3</sup> )       |
| $c_{p,i}$     | on ilman ominaislämpökapasiteetti (kJ/kgK) |
| $q_{v,vuoto}$ | on vuotoilman määrä (m <sup>3</sup> /s)    |
| $\Delta T$    | on sisä- ja ulkoilman lämpötilaero (°C).   |

Rakennuksen ilmanpitävyyttä merkitään ilmanvuotoluvulla  $q_{50}$ . Ilmanvuotoluvulla tarkoitetaan rakennusvaipan keskimääräistä vuotoilmavirtaa yhdessä tunnissa 50 pascalin paine-erolla kokonaissisämittojen mukaan laskettua rakennusvaipan pinta-alaa kohden. Koska korkeammat rakennukset ovat alttiimpia tuulen vaikutukselle, käytetään laskennassa taulukon 1 mukaista, rakennuksen kerrosluvun mukaan valittavaa kerrointa  $x$ . Vuotoilman määrä  $q_{v,vuoto}$  lasketaan kaavalla 5. [9; 11]

$$q_{v,vuoto} = \frac{q_{50}}{3600 \cdot x} \cdot A_{vaiippa} \quad (5)$$

|               |   |
|---------------|---|
| $q_{50}$      | on vaipan ilmanvuotoluku 50 Pa:n paine-erolla (m <sup>3</sup> /s) |
| $A_{vaiippa}$ | on rakennusvaipan pinta-ala (m <sup>2</sup> )                     |
| $x$           | on kerrosluvun mukaan määräytyvä kerroin.                         |

Taulukko 1. Rakennuksen kerrokorkeuden mukaan valittava kerroin  $x$  [11].

| Kerroksia   | 1  | 2  | 3–4 | yli 5 |
|-------------|----|----|-----|-------|
| Kerroin $x$ | 35 | 24 | 20  | 15    |

Olemassa olevan rakennuksen ilmanpitävyys ja sitä kautta ilmanvuotoluku  $q_{50}$  osoitetaan mittaamalla tai muutoin todentamalla. Jos rakennuksen rakennusvaipan ilmanvuotolukua ei ole voitu edellä mainituilla keinoilla selvittää, se määritetään taulukossa 2 esitettyjen arvojen perusteella.

Taulukossa 2 on esitetty rakennuksen ilmanvuotoluku  $n_{50}$ , jota on käytetty ilmanpitävyyden kuvaamisessa aiemmin. Vuonna 2012 käytöstä poistunut ilmanvuotoluku  $n_{50}$  kuvasi, kuinka monta kertaa tunnissa rakennuksen ilmatilavuus

vaihtui vuotoilmasta johtuen 50 Pa paine-erolla, eli rakennuksen ilmanvuotoa suhteessa rakennuksen tilavuuteen. Rakennusvaipan ilmanvuotoluku  $q_{50}$  laskeetaan ilmanvuotoluvusta  $n_{50}$  kaavalla 6.

$$q_{50} = \frac{n_{50}}{A_{vaippa}} \cdot V \quad (6)$$

$n_{50}$  on rakennuksen ilmanvuotoluku 50 Pa:n erolla (1/h)  
 $V$  on rakennuksen tilavuus ( $m^3$ ).

Taulukko 2. Rakennusvaipan ja rakennuksen ilmanvuotoluku [11].

| Rakennusluvan vireilletulovuosi     | ennen v. 1969 | 1969- | 1985- | 10/2003- | 2008- | 2010- | 2012- |
|-------------------------------------|---------------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|
| Rakennuksen ilmanvuotoluku $n_{50}$ | 6,0           | 6,0   | 6,0   | 4,0      | 4,0   | 4,0   |       |
| Rakennuksen ilmanvuotoluku $q_{50}$ |               |       |       |          |       |       | 4,0   |

Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä on koneellinen poistoilmanvaihto, josta syystä rakennuksessa ei ole koneellista tuloilmaa. Tällöin  $\dot{Q}_{iv,tulo} = 0 \text{ kW}$ .

Koneellinen poistoilmanvaihto poistaa ilmaa tiloista. Kun ilmaa poistetaan tilasta ja/tai tilaryhmästä, kuten asuinhuoneistosta, syntyy sinne ilmakehään nähden alipaine. Painesuhteet pyrkivät tasapainoon, jolloin alipaineiseen tilaan tulee korkeammasta, vallitsevasta paineesta, eli ilmakehän paineesta korvaavaa ilmaa. Korvausilma on ulkoilmaa, joka pyritään tuomaan tilaan hallitusti korvausilmaventtiileiden kautta. Korvausilmaventtiilit voivat olla esimerkiksi ikkunankarmeihin asennettuja karmiventtiileitä tai ulkoseinän läpi asennettuja korvausilmaventtiileitä.

Koska korvausilma on lämmittämätöntä ulkoilmaa, se lämmitetään lämmitysjärjestelmällä, kuten tilassa sijaitsevalla lämmityspatterilla. Korvausilman määrä on sama, kuin koneellisen poistoilmanvaihdon tiloista poistaman ilman määrä [11,

s. 25–26]. Koneellisen poistoilmanvaihdon korvausilman vaatima lämmitysteho lasketaan kaavalla 7.

$$\dot{Q}_{iv, korvaus} = \rho_i \cdot c_{p,i} \cdot q_{v, korvaus} \cdot \Delta T \quad (7)$$

|                  |  |
|------------------|--|
| $\rho_i$         | on ilman tiheys (kg/m <sup>3</sup> )       |
| $c_{p,i}$        | on ilman ominaislämpökapasiteetti (kJ/kgK) |
| $q_{v, korvaus}$ | on korvausilman määrä (m <sup>3</sup> /s)  |
| $\Delta T$       | on sisä- ja ulkoilman lämpötilaero (°C).   |

Koska korvausilman määrä on sama kuin poistoilman määrä, on  $q_{v, korvaus} = q_{v, poisto}$ .

### 2.1.2 Lämpimän käyttöveden kaukolämpösiirtimen mitoitus

Lämmin käyttövesi tuotetaan kiinteistössä kaukolämpösiirtimellä, jolla lämmitetään kunnallisverkosta tulevaa kylmää vettä. Lämpimän käyttöveden vaatima lämmitystehontarve  $\dot{Q}_{LV}$  lasketaan kaavalla 8.

$$\dot{Q}_{LV} = q_{v, VL} \cdot \Delta T \cdot c_{p, vesi} \cdot \rho_{vesi} \quad (8)$$

|               |   |
|---------------|---|
| $q_{v, LV}$   | on lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama (dm <sup>3</sup> /s) |
| $\Delta T$    | on kylmän ja lämpimän veden lämpötilaero (K)                  |
| $c_{p, vesi}$ | on veden lämpökapasiteetti vakiopaineessa (kJ/kgK)            |
| $\rho_{vesi}$ | on veden tiheys (kg/dm <sup>3</sup> ).                        |

Lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama saadaan muuntamalla lämpimän käyttöveden normivirtaama mitoitusvirtaamaksi joko kaavan 9 tai rakentamismääräyskokoelman asetuksen D1 liitteen 2 taulukon 2 avulla. Normivirtaamien summa saadaan laskemalla kiinteistön vesikalusteiden lukumäärä, ja kertomalla lukumäärä mitoituksessa käytettävillä vesikalusteiden normivirtaamilla. [12]

$$q_{v,LV} = q_{N1} + \theta \cdot (Q - q_{N1}) + A \cdot \sqrt{q_m \cdot \theta \cdot (Q - q_{N1})} \quad (9)$$

$q_{N1}$  on suurin normivirtaama mitoitettavassa putkessa (dm<sup>3</sup>/s)  
 $\theta$  on todennäköisyys, että  $q_{N1}$  on käytössä huippukulutuksen aikana  
 $Q$  on liitettyjen vesipisteiden normivirtaamien summa (dm<sup>3</sup>/s)  
 $A$  on kerroin, joka ottaa huomioon, kuinka usein  $q_{v,LV}$  ylitetään  
 $q_m$  on ko. venttiilin keskimääräinen virtaama (dm<sup>3</sup>/s).

Asuinrakennusten jakojohdojen mitoitusvirtaaman laskennassa käytetään todennäköisyysarvona  $\theta = 0,015$  ja kerroinarvona  $A = 3,1$  [12].

### 2.1.3 Veden lämpötila käyttövesilaitteistossa

Legionellabakteerit ovat luonnon makeissa vesissä ja maaperässä, ja sitä kautta myös käyttövesijärjestelmissä esiintyviä bakteereja, jotka voivat aiheuttaa ihmiselle legionelloosiksi tai legioonalaistaudiksi kutsutun infektiotaudin. Legionellabakteeri aiheuttaa infektion päästessään hengitysteihin esimerkiksi vesipisaroiden tai -aerosolien kanssa. [13; 15]

Legionellojen kasvun kannalta suotuisa veden lämpötila on 20–45 °C, mutta jo 50-asteinen vesi tappaa 90 % legionelloista muutamassa tunnissa, 55-asteinen vesi muutamassa kymmenessä minuutissa ja 60-asteinen vesi muutamassa minuutissa [13].

Legionellasta johtuen tulee lämpimän käyttöveden lämpötilan olla yli 55-astetta koko järjestelmässä. Palovammojen ja muiden tapaturmien ehkäisemiseksi lämminvesilaitteistosta saatavan veden lämpötila saa olla korkeintaan 65-astetta. [8, s. 12; 13; 14; 16]

Käyttöveden lämmönsiirtimen mitoituksessa käytetään lämpimän käyttöveden lämpötilaa 58 °C. Lämpimän käyttöveden kiertojohtoon jäähtymä voi olla siten enintään 3 °C, koska kiertovesijohdossa lämmönsiirtimelle palaavan lämpimän käyttöveden lämpötilan tulee olla yli 55 °C. [8, s. 13]

## 2.2 Poistoilmalämpöpumppu

Poistoilmalämpöpumppujärjestelmä ottaa rakennuksesta poistettavasta ilmasta lämpöenergiaa talteen [11, s 1]. Lämpöpumppu käyttää toimiakseen sähköenergiaa, ja lämpöpumpun hyötysuhde kertoo, kuinka monta yksikköä lämpöä järjestelmä ottaa talteen yhtä käytettyä yksikköä sähköä kohden.

Koska poistoilmalämpöpumpun talteen ottama lämpöenergian määrä on suoraan verrannollinen ilmavirtaan sekä poistoilman lämpötilaan, tulee ennen poistoilmalämpöpumpun mitoitusta selvittää nykyisen ilmanvaihtojärjestelmän puhaltimien ja/tai huippuimurien vaikutusalueet sekä ilmavirrat. Jotta järjestelmä on mahdollista mitoittaa kustannustehokkaasti, on poistoilmalämpöpumpun vaikutusalueella olevien tilojen ilmavirrat syytä tarpeen mukaan suunnitella ja säätää hyvissä ajoin. [11, s. 5; 17]

Poistoilmalämpöpumpun asentamisen yhteydessä vanhat poistoilmapuhaltimet on kannattavaa uusiksi energiatehokkaiksi EC-moottorilla eli sähköisesti säädettävällä moottorilla varustetuiksi puhaltimiksi. Samalla ilmanvaihto on syytä suunnitella toimimaan jatkuvasti ja poistaa mahdolliset aika- tai ulkolämpötilaohjauksella toimivat ilmanvaihdon puolitukset käytöstä. Likimain vakiona pysyvä ilmavirta helpottaa hybridijärjestelmän mitoitusta huomattavasti. [17] Jos mahdollisia aika- tai ulkolämpötilaohjauksella toimivia ilmanvaihdon ohjauksia ei poisteta käytöstä, käytetään mitoituksessa normaalikäytön ilmavirtoja muun muassa huurtumisen estämiseksi, poikkeustapauksia lukuun ottamatta [5].

Poistoilmalämpöpumpun talteen ottaman lämpöenergian määrän ollessa riippuvainen poistoilman määrästä, tarkoittaa pienempi poistoilmavirta pienempää poistoilmalämpöpumpun talteen ottaman lämpöenergian määrää. Kuitenkin poistoilman ollessa lämmityskaudella lämmitysjärjestelmällä lämmitettyä ulko-, eli korvausilmaa, tarkoittaa pienempi poistoilmavirta pienempää korvausilman tarvetta ja siten pienempää korvausilman lämmittämisestä johtuvaa lämmityshontarvetta.

Asuinhuoneistojen käyttöaika on jatkuva, josta syystä asuinrakennuksen ilmanvaihtoa ei tule sammuttaa. Ilmanvaihdon tulee olla käynnissä esimerkiksi huoneilman kosteuden poistamiseksi ja kosteudesta johtuvan mikrobikasvuston riskin minimoimiseksi rakenteissa ja laitteissa. [16; 18] Vakiona pysyvä poistoilmalämpöpumpun mitoituksessa käytettävä poistoilmavirta ei muutu, vaan pysyy likimain samana vuorokaudenajasta, viikonpäivästä tai vuodenaajasta huolimatta.

Ennen poistoilmapumppujärjestelmän vaatimien laajempien korjaus- ja muutostöiden aloittamista tulee kiinteistön poistoilmakanaviston kunto tarkastaa ja huoltaa, uusia rikkoutuneet ja väärän malliset poistoilmaventtiilit ja tarpeen vaatiessa huoltaa ja puhdistaa käyttöön jäävät venttiilit. Lisäksi raitisilmareittien sekä -venttiilien kunnon tarkastaminen, raitisilman tarpeenmukainen riittävyys ja suodattimien tarkastus ja/tai uusiminen korvausilman varmistamiseksi on syytä suorittaa. [19]

Poistoilmalämpöpumppu ottaa poistoilmasta lämpöä talteen. Koska asuinhuoneistojen sisälämpötila ja poistoilmavirta on likimain vakio ympäri vuoden, on poistoilmalämpöpumpun talteen ottama lämpöteho  $\dot{Q}_{PILP}$  likimain vakio koko vuoden ajan. Poistoilmalämpöpumpun tuottama lämpöteho lasketaan kaavalla 10.

$$\dot{Q}_{PILP} = q_{v,poisto} \cdot c_{p,ilma} \cdot \rho_i \cdot \Delta T \quad (10)$$

|                |   |
|----------------|---|
| $q_{v,poisto}$ | on poistoilman määrä (m <sup>3</sup> /s)                        |
| $c_{p,ilma}$   | on ilman ominaislämpökapasiteetti (kJ/kgK)                      |
| $\rho_i$       | on ilman tiheys (kg/m <sup>3</sup> )                            |
| $\Delta T$     | on ilman lämpötilaero ennen ja jälkeen lämmön talteenoton (°C). |

## 2.3 Kaukolämmön ja poistoilmalämpöpumpun hybridikytkentä

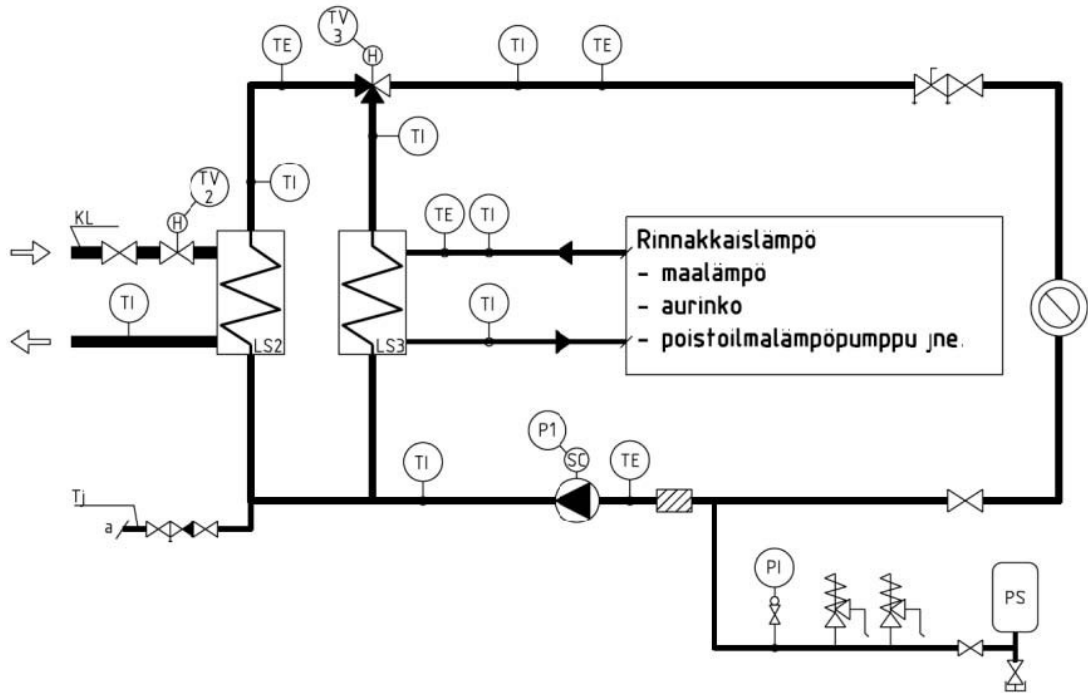
### 2.3.1 Lämmityksen hybridikytkentä

Lämpöpumpun rinnankytkentä kaukolämpölaitteiston kanssa ei saa tarpeettomasti heikentää kaukolämpöveden jäähtymää. Kaukolämmön yleisissä

sopimusehdoissa mainitaan, että kaukolämpöasiakkaan on huolehdittava kaukolämpöveden riittävästä jäähtymästä. Kaukolämpöveden jäähtymällä tarkoitetaan lämpötilaeroa kiinteistöön saapuvan ja kiinteistöstä lähtevän kaukolämpöveden välillä. [8, s. 85; 20]

Kaukolämpöveden jäähtymän takaamiseksi ei lämpöpumppujärjestelmää tule asentaa kaukolämpöjärjestelmän kanssa sarjaan. Jos lämpöpumppujärjestelmä asennettaisiin lämmitysverkoston paluupuolelle ennen kaukolämpösiirrintä, nostaisi se lämmitysverkostosta kaukolämpösiirtimen toisiopuolelle palaavan veden lämpötilaa. Tällaisessa kytkennässä siirtimen ensiöpuolelta palaavan kaukolämpöveden lämpötila nousisi karkeasti yhtä monta astetta, kuin lämpöpumppujärjestelmä lämmittäisi lämmitysverkoston paluuv veden lämpötilaa. Korkeampi kaukolämpöverkoston paluuv veden lämpötila tarkoittaa pienempää kaukolämpöveden jäähtymää, eli kiinteistölle saapuvan ja kiinteistöltä lähtevän kaukolämpöveden lämpötilaeron pienentymistä.

Näin ollen on lämpöpumppujärjestelmä asennettava rinnan kaukolämpöjärjestelmän kanssa. Lämmitysjärjestelmän, eli patteriverkoston, suunnitelluista mitoituslämpötiloista riippuen saattaa rinnankytkennän myötä olla tarve mitoittaa kaukolämpösiirtimeltä lähtevän patteriverkoston menoveden lämpötila hieman korkeammaksi, kuin ennen rinnankytkentää. Tämä johtuu siitä, että lämpöpumppujärjestelmällä on rajallinen kyky nostaa lämmitysveden lämpötilaa, jolloin mitoitus tilanteessa kahden rinnankytketyn järjestelmän tuottaman erilämpöisen lämmitysveden tulee olla sekoitusventtiilin jälkeen lämmitysjärjestelmälle mitoitettun veden lämpöistä. Kaukolämpö- ja lämpöpumppujärjestelmän rinnankytkennän yksinkertaistettu kytkentäkaavio on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Kaukolämmön ja lämpöpumpputeräjästäjän rinnankytkentä lämmitysjärjestelmässä [8, s. 92].

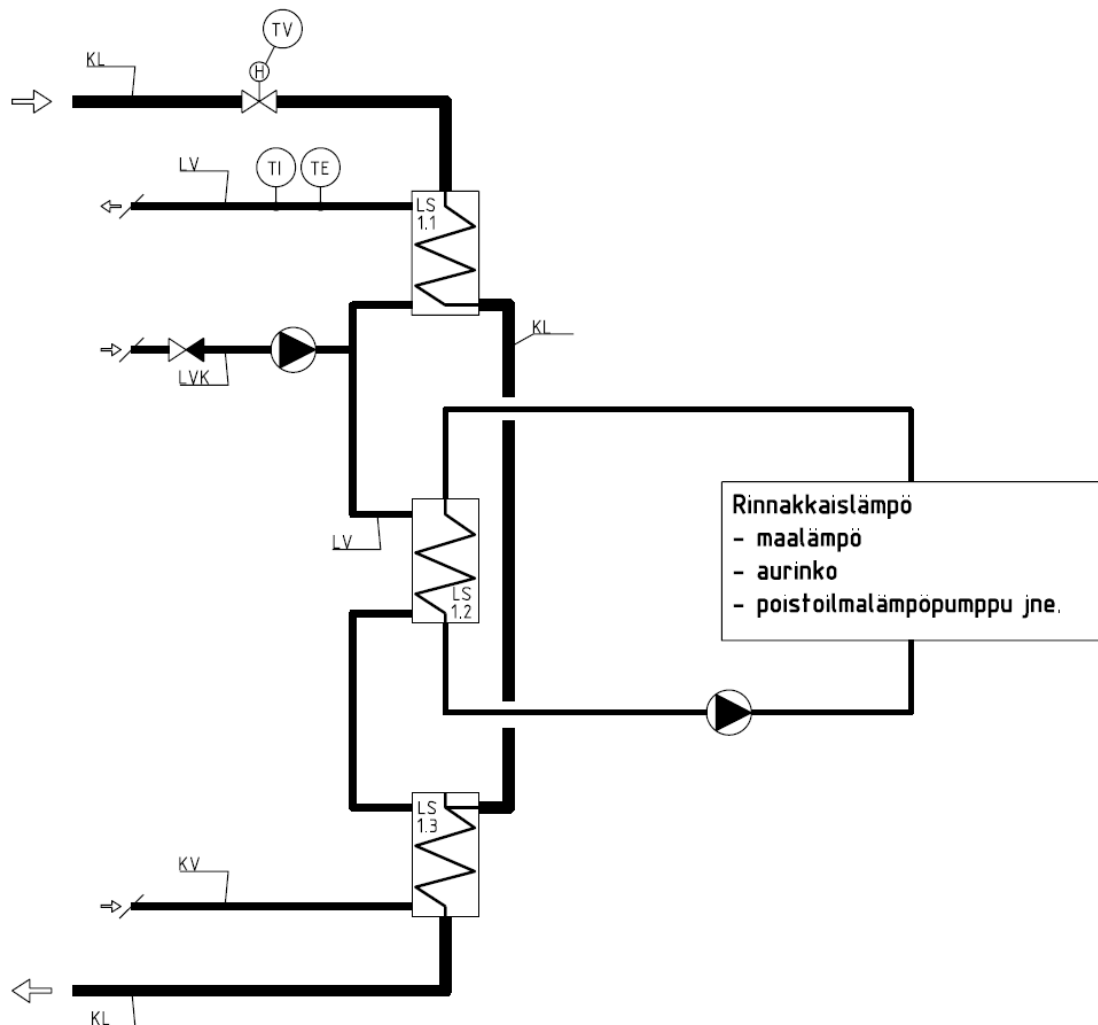
### 2.3.2 Lämmityksen ja lämpimän käyttöveden hybridikytkentä

Poistoilmalämpöpumppu ottaa lämpöä talteen poistoilmasta jatkuvasti [10]. Lämmityksen ja käyttöveden hybridikytkennässä viedään lämmityskaudella poistoilmalämpöpumpun talteen ottama lämpöenergia lämmitysjärjestelmään, mutta lämmityskauden ulkopuolella sillä voidaan lämmitellä vain lämmintä käyttövettä. Lämpimän käyttöveden vaatima lämmitysenergian tarve on riippuvainen lämpimän käyttöveden kulutuksesta, ja esimerkiksi yöaikaan voi lämpimän käyttöveden kulutus olla hyvinkin vähäistä.

Kuitenkin lämpimän käyttöveden kierto on jatkuvaa, ja jos piiriin on asennettu esimerkiksi käyttövedellä lämpeneviä pyyhekuivaimia tai lämpimän käyttöveden johdon sekä kiertojohdon eristeet ovat puutteelliset, voi kiertovedestä johtuva jatkuva kulutus olla yllättävän suuri vanhemmissa rakennuksissa. Yllättävä lämpimän käyttöveden kiertojohdosta johtuva jatkuva kulutus koskee kuitenkin vanhempia rakennuksia, koska uusien rakennusten kiertovesijohtoon ei ole sallittua

kytkeä lämmönluovuttimia. Korjaus- sekä muutostöissä on kiertovesijohtoon liitetty lämmönluovuttimet sallittua uusia, kuitenkin siten, että yhden luovuttimen enimmäislämmönluovutusteho on 200 wattia. [14]

Jotta lämpöpumppujärjestelmän hyötysuhde pysyisi suotuisana, käytetään usein lämpimän käyttöveden hybridikytkennässä lämpöpumpun talteen ottamaa lämpöenergiaa lämpimän käyttöveden esilämmitykseen, jonka jälkeen lämmin käyttövesi lämmitetään tavoitelämpötilaansa kaukolämmöllä. Kaukolämmön ja lämpöpumpun käyttöveden lämmittämisen rinnakkaiskytkennän kytkentäkaavio on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Kaukolämmön ja lämpöpumpun rinnakkaiskytkentä käyttöveden lämmityksessä [8, s. 92].

Nopeasti vaihtelevan kulutuksen vuoksi on lämpimän käyttöveden hybridikytkentään asennettava varaaja, johon lämpöpumppujärjestelmä varastoi lämpöä käyttöveden kulutuksen ollessa pienempi, kuin lämpöpumpun tuottama teho. Kulutuksen noustessa järjestelmä purkaa varaajaan varastoitua lämpöä ja siirtää sen lämmitettävään käyttöveteen.

Lämmityskaudella kaukolämmön hinta on korkeampi kuin lämmityskauden ulkopuolella eli kesällä [2]. Tästä syystä toisinaan päädytään hybridikytkennässä vain lämmityksen hybridikytkentään johtuen lämmityksen ja käyttöveden hybridikytkennän laitteisto- ja automaatiovaatimuksista aiheutuvista korkeammista investointikustannuksista. Käyttöveden lämmitys kesäaikaan, jolloin kaukolämpö on edullisempaa, saattaa pidentää järjestelmän takaisinmaksuaikaa johtuen kesäajan matalammasta kaukolämmön hinnasta. Käyttöveden lämmitystä hybridikytkennässä onkin syytä tarkastella tapauskohtaisesti [11, s. 8].

### 2.3.3 Lämmönsiirtimien mitoitus hybridikytkennässä

Kaukolämmön lämmityksen lämmönsiirtimeen ja lämpöpumpun mitoituksessa on otettava huomioon lämmitysverkoston toimintalämpötilat mitoitusilanteessa.

Jotta poistoilmalämpöpumpun hyötysuhde pysyisi mahdollisimman suotuisana, käytetään sen tuottaman lämmitysveden maksimilämpötilana noin 60 °C:ta. Lämmityksen kaukolämpösiirtimeen mitoitus hybridikytkennässä riippuu olemassa olevan lämmitysverkoston toimintalämpötiloista. Jos mitoittavassa tilanteessa lämmitysverkostolta palaavan veden lämpötila on 60 °C, eli sama kuin poistoilmalämpöpumppujärjestelmän tuottaman lämmitysveden maksimilämpötila, ei poistoilmalämpöpumppujärjestelmä pysty nostamaan palaavan veden lämpötilaa. Tällöin mitoitusilanteessa kaukolämpösiirrin on ainoa lämmitysjärjestelmän lämmöntuottotapa, ja rinnan kytketty lämpöpumppujärjestelmä ei vaikuta kaukolämpösiirtimeen mitoitukseen.

Jos mitoittavassa tilanteessa lämmitysverkostolta palaavan veden lämpötila on esimerkiksi 40 °C, voi kaukolämpösiirtimen tehomitoituksesta karkeasti ottaen vähentää lämpöpumpputekniikan tehontuoton.

Poistoilmalämpöpumppu ei vaikuta käyttöveden lämmönsiirtimen mitoitukseen lämmityksen ja lämpimän käyttöveden hybridikytkennässä, koska lämmityskaudella lämpöpumppu lämmittää vain lämmitysverkoston vettä. Tästä syystä mitoitustilanteessa on käyttöveden lämmönsiirrin mitoitettava siten, että lämmintä käyttövettä on saatavilla riittävästi lämmityskaudellakin, jolloin poistoilmalämpöpumppu ei lämmitä käyttövettä.

### **3 Laskenta**

#### **3.1 Laskennan lähtötiedot**

Laskentaa varten käytössä ovat kiinteistöstä laaditut ajantasaiset energiatodistukset niin asuinrakennuksen sekä toimistosiiven osalta. Kiinteistön isännöinnin kautta on laskentaa varten käytössä rakennuksen ilmanvaihto- sekä lämmitysuunnitelmat (liite 2). Espoon kaupunkiympäristön toimialan ylläpitämästä digitaalisten materiaalien myynti- ja jakelupalvelusta voi ostaa rakennuslupaa vaatineita kiinteistön digitoituja rakennuspiirustuksia, kuten linjasaneerauksen ja julkisivuremontin suunnitelmia.

Kaukolämpölaitokselta on käytössä kiinteistön kaukolämmön käyttöraportti, johon on kirjattu vuosilta 2020–2023 kuukausitasolla kaukolämmön laskutettu käyttö, sääkorjattu käyttö, kiertoveden määrä, kaukolämpöveden jäähtymä, kiinteistön ominaiskulutus ja vertailuryhmän ominaiskulutus.

Kiinteistön lämmönjakokeskuksessa on ajantasainen kaukolämmön kytkentäkaavio, johon on kirjattu lämmönjakokeskuksen laitteiden mitoitustiedot sekä kiinteistön lämmitystekniset tiedot. Lämmönjakokeskuksessa on tällä hetkellä kaukolämpöön kytkettynä kolme lämmönsiirrintä. Lämmönsiirrin 1 on lämpimän käyttöveden lämmönsiirrin, ja sen mitoitettu teho on 350 kW. Lämmönsiirrin 2

palvelee kiinteistön lämmitysverkostoa, ja se on mitoitusteholtaan 460 kW. Lämmönsiirrin 3 on liiketilojen tuloilmakojeiden lämmityspattereita palveleva lämmönsiirrin, ja sen mitoitusteho on 135 kW.

Lämmitysjärjestelmän putkikoot ja lämmityspattereiden koot ovat alkuperäiset, ja ne on mitoitettu alkuperäisten lämpöhäviöiden mukaan lämmityksen menoveden lämpötilalla 80 °C ja paluueden lämpötilalla 60 °C. Poistoilmavirtojen pienentämisen sekä julkisivuremontissa uusittujen ikkunoiden myötä on rakennuksen lämpöhäviöt pienemmät, kuin rakentamisvuonna, jolloin voi selvittää mahdollisuutta järjestelmän toimintalämpötilojen laskemiselle esimerkiksi menoveden lämpötilaan 70 °C ja paluueden lämpötilaan 40 °C. Tämä vaatisi laajempaa selvitystä lämmitysjärjestelmästä, koska lämpöjohtoverkoston mitoituslämpötilojen muutos vaikuttaa kokonaisvaltaisesti lämmitysjärjestelmän sekä lämmönsiirtimien mitoitukseen. Lämmitysverkoston toimintalämpötiloja muutettaessa on tärkeätä varmistaa, että nykyistä lämmitysjärjestelmää voidaan käyttää hyväksi mahdollisimman paljon ilman muutoksia. Selvityksiin kuuluu esimerkiksi nykyisten lämmityspattereiden lämmönluovutuspinna-ala riittävyys sekä nykyisen lämpöjohtoverkoston putkikokojen soveltuvuus matalammilla toimintalämpötiloilla.

Ilmatieteen laitoksen verkkosivuilta voi ladata maksutta säähavaintoja muun muassa Microsoft Excel -tiedostona. Kiinteistöä lähin havaintoasema sijaitsee Espoon Tapiolassa. Käytössä on vuosien 2020–2023 tuntikohtainen ulkoilman lämpötila.

## 3.2 Kaukolämmön siirtimien mitoitus

### 3.2.1 Lämmityksen kaukolämpösiirtimen mitoitus

Olemassa olevan rakennuksen johtumislämpöhäviöiden laskentaa varten tulee selvittää rakenneosien lämmönläpäisy- eli U-arvot. U-arvot on mahdollista selvittää esimerkiksi alkuperäisistä suunnitelmista, energiatodistuksesta, korjaushistoriaa tarkastelemalla ja viime kädessä käyttämällä tyypillisiä olemassa

olevien rakennusten alkuperäisiä suunnitteluarvoja. Rakenneosien pinta-alat lasketaan suunnitelmista, selvitetään energiatodistuksesta tai muilla keinoin.

Rakennus sijaitsee Espoossa eli säävyöhykkeellä I, joten mitoittavana ulkolämpötilana käytetään  $-26\text{ °C}$ :ta. Mitoittavana sisälämpötilana käytetään  $21\text{ °C}$ :ta. [17]

Rakennuksen yläpohjan pinta-ala on yhteensä  $1280\text{ m}^2$ , josta asuinrakennuksen osalla yläpohjan pinta-ala on  $467\text{ m}^2$  ja liikesiiven osalla on yläpohjan pinta-ala  $813\text{ m}^2$ . Koska korjaushistoriasta ei selviä, onko yläpohjarakenteiden lämmöneristävyydelle tehty rakentamisvuoden jälkeen korjaus- tai parannustoimenpiteitä, oletetaan yläpohjarakenteen olevan alkuperäiskunnossa. Alkuperäisistä leikkaussuunnitelmista selviää, että yläpohjan betoni-kevytsora-betonirakenteen U-arvo on  $0,47\text{ W/m}^2\text{K}$ , joka on yhteneväinen rakentamisvuonna voimassa olleiden, vuoden 1969 RIL-suositusten kanssa kivirakenteisen yläpohjan U-arvolle [21]. Sijoitetaan arvot kaavaan 3.

$$\begin{aligned}\varnothing_{YP} &= \left(0,47 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot 1280,0\text{ m}^2\right) \cdot (21 - (-26))\text{ °C} \\ \varnothing_{YP} &= 28275,2\text{ W}\end{aligned}$$

Asuinrakennuksessa on ulkoseinää  $2451\text{ m}^2$ , ja liiketiloissa  $301\text{ m}^2$ . Ulkoseinien pinta-ala on yhteensä  $2752\text{ m}^2$ . Vuonna 1999 tehdyn julkisivuremontin suunnitelmista ja asiakirjoista ei selviä, tehtiinkö remontin yhteydessä ulkoseinien lämmöneristävyyteen vaikuttavia toimenpiteitä, joten laskennassa käytetään alkuperäisiä arvoja. Ulkoseinien U-arvo on alkuperäisten leikkaussuunnitelmien mukaan  $0,30\text{ W/m}^2\text{K}$ . Sijoitetaan arvot kaavaan 3.

$$\begin{aligned}\varnothing_{US} &= \left(0,30 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot 2752,0\text{ m}^2\right) \cdot (21 - (-26))\text{ °C} \\ \varnothing_{US} &= 38803,2\text{ W}\end{aligned}$$

Vuonna 1999 tehdyn julkisivuremontin yhteydessä rakennuksen ikkunat uusittiin. Ikkunoiden tarkka U-arvo ei ole tiedossa, mutta julkisivuremontin aikana voimassa olleiden vuoden 1985 määräysten mukaisesti on lämpimän tilan ikkunan valoaukon U-arvo enintään  $2,1\text{ W/m}^2\text{K}$ . Koska tarkempaa tietoa ei ole

saatavilla, käytetään tätä arvoa. [21] Rakennuksessa on ikkunapinta-alaa yhteensä 721,4 m<sup>2</sup>, josta asuinrakennuksessa 552,5 m<sup>2</sup> ja liikerakennuksessa 168,9 m<sup>2</sup>. Sijoitetaan arvot kaavaan 3.

$$\begin{aligned}\varnothing_{ikk} &= \left(2,10 \frac{W}{m^2K} \cdot 721,4 m^2\right) \cdot (21 - (-26)) \text{ } ^\circ C \\ \varnothing_{ikk} &= 71202,2 W\end{aligned}$$

Parvekkeiden sekä porraskäytävien ulko-ovet uusittiin julkisivuremontin yhteydessä. Asuinrakennuksessa, parvekkeiden ulko-ovet mukaan luettuna, on ulko-ovia yhteensä 178 m<sup>2</sup>, ja liikehuoneiston osalla 52,1 m<sup>2</sup>. Yhteensä ulko-ovien pinta-ala on 230,1 m<sup>2</sup>. Koska käytännössä kaikki rakennuksen ulko-ovet ovat lasia tai karkaistua lasia, käytetään U-arvona ikkunoiden U-arvoa 2,1 W/m<sup>2</sup>K. Sijoitetaan arvot kaavaan 3.

$$\begin{aligned}\varnothing_{ovi} &= \left(2,10 \frac{W}{m^2K} \cdot 230,1 m^2\right) \cdot (21 - (-26)) \text{ } ^\circ C \\ \varnothing_{ovi} &= 22710,9 W\end{aligned}$$

Rakennuksen maanvaraisen alapohjan pinta-ala on yhteensä 1280 m<sup>2</sup>, josta asuinrakennuksen osalla 467 m<sup>2</sup> ja liiketilojen osalla 813 m<sup>2</sup>. Alapohjan tarkka rakenne ei selviä alkuperäisistä suunnitelmista, joten käytetään rakentamisaikakauden tyypillistä alapohjan U-arvoa, joka on 0,47 W/m<sup>2</sup>K. Koska alapohjan rakenne on maanvarainen, käytetään ulkolämpötilana alapohjan alapuolisen maan lämpötilaa. Alapohjan alapuolisen maan lämpötilan arvona käytetään ulkoilman vuotuista keskilämpötilaa + 2 °C. Sävyöhykkeellä 1 ulkoilman vuotuinen keskilämpötila on 5,57 °C, jolloin laskennassa käytettävä alapohjan alapuolisen maan lämpötilan arvo on 5,57 °C + 2 °C = 7,57 °C. [11; 18]

$$\begin{aligned}\varnothing_{AP} &= \left(0,47 \frac{W}{m^2K} \cdot 1280,0 m^2\right) \cdot (21 - 7,57) \text{ } ^\circ C \\ \varnothing_{AP} &= 8079,5 W\end{aligned}$$

Rakenteiden välisten kylmäsiltojen laskenta tulisi määrittää ja laskea rakennuksen asiakirjoista, mutta olemassa oleville rakennuksille voidaan kylmäsiltojen vaikutus laskea yksinkertaistetusti lisäämällä 10 % ulkovaipan johtumislämpöpöhäviöön [22].

Sijoitetaan rakennuksen johtumislämpöhäviöt kaavaan 2.

$$\begin{aligned}\varnothing_{joht} &= \frac{(28275,2 \text{ W} + 38803,2 \text{ W} + 71202,2 \text{ W} + 22710,9 \text{ W} + 8079,5 \text{ W}) \cdot 1,1}{1000} \\ \varnothing_{joht} &= \frac{185978}{1000} \text{ W} = 185,98 \text{ kW}\end{aligned}$$

Rakennuksen vuotoilma lasketaan erikseen liikekiinteistön ja asuintornin osalta, koska laskennallinen vuotoilmamäärä on riippuvainen rakennuksen korkeudesta. Liikehuoneistot ovat kahdessa kerroksessa, ja asuinhuoneistot kymmenessä kerroksessa.

Koska asuinrakennuksen ilmanpitävyyttä ei ole mitattu tai muutoin todennettu, ja rakennuksen rakennusluvan vireilletulovuosi oli 1972, käytetään rakennuksen ilmanvuotoluvulle  $n_{50}$  taulukosta 2 arvoa 6,0 1/h. Asuinrakennuksen vaipan pinta-ala saadaan laskemalla asuinrakennuksen ulkoseinien, ikkunoiden, ylä- ja alapohjan sekä ulko-ovien pinta-alat yhteen. Rakennusvaipan pinta-ala asuinrakennuksen osalta on  $A=4115,5 \text{ m}^2$ , ja ilmatilavuus on  $V=10021 \text{ m}^3$ . Asuinrakennuksen vuotoilmamäärä  $q_{50,AR}$  saadaan sijoittamalla arvot kaavaan 6.

$$\begin{aligned}q_{50,AR} &= \frac{6 \frac{1}{h}}{4115,5 \text{ m}^2} \cdot 10021 \text{ m}^3 \\ q_{50,AR} &= 14,61 \frac{\text{m}^3}{h}\end{aligned}$$

Asuinrakennuksessa on yli 5 kerrosta, joten taulukosta 1 saadaan kertoimelle  $\alpha$  arvoksi 15. Asuinrakennuksen vuotoilmamäärän  $q_{v,vuoto,AR}$  ratkaisemiseksi sijoitetaan arvot kaavaan 5.

$$\begin{aligned}q_{v,vuoto,AR} &= \frac{14,61 \frac{\text{m}^3}{h}}{3600 \frac{s}{h} \cdot 15} \cdot 4115,5 \text{ m}^2 \\ q_{v,vuoto,AR} &= 1,11 \frac{\text{m}^3}{s}\end{aligned}$$

Ilman tiheys  $\rho_i$  normaalipaineessa ja -lämpötilassa, eli NTP-olosuhteissa on  $1,2 \text{ kg/m}^3$  ja ominaislämpökapasiteetti  $c_{p,i}$   $1,0 \text{ kJ/kgK}$ . Asuinrakennuksen vuotoilmasta johtuva lämmitystehontarve  $\varnothing_{vuoto,AR}$  saadaan sijoittamalla arvot kaavaan 4.

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{vuoto,AR} &= 1,2 \frac{kg}{m^3} \cdot 1,0 \frac{kJ}{kgK} \cdot \frac{1,11m^3}{s} \cdot (21 - (-26))^\circ C \\ \dot{Q}_{vuoto,AR} &= 62,80 kW\end{aligned}$$

Liiketilöjen ilmanpitävyyttä ei ole mittauksin todennettu, joten käytetään ilmanvuotoluvulle  $n_{50}$  taulukosta 2 arvoa 6,0 1/h. Liikesiiven vaipan pinta-ala on 2148 m<sup>2</sup>, ja ilmatilavuus 2587,5 m<sup>3</sup>. Liiketilöjen ilmanvuotoluku  $q_{50,LT}$  ratkaistaan sijoittamalla arvot kaavaan 6.

$$\begin{aligned}q_{50,LT} &= \frac{6 \frac{1}{h}}{2148 m^2} \cdot 2587,5 m^3 \\ q_{50,LT} &= 7,23 \frac{m^3}{h}\end{aligned}$$

Liikesiipi on kahdessa kerroksessa, jolloin taulukosta 1 saadaan kertoimelle  $\chi$  arvo 24. Liiketilöjen vuotoilmamäärä  $q_{v,vuoto,LT}$  saadaan sijoittamalla arvot kaavaan 5.

$$\begin{aligned}q_{v,vuoto,LT} &= \frac{7,23 \frac{m^3}{h}}{3600 \frac{s}{h} \cdot 24} \cdot 2148 m^2 \\ q_{v,vuoto,LT} &= 0,18 \frac{m^3}{s}\end{aligned}$$

Liiketilöjen vuotoilmasta johtuva lämmitystehontarve  $\dot{Q}_{vuoto,LT}$  saadaan sijoittamalla liiketilöjen vuotoilmamäärän, ilman tiheyden, ilman ominaislämpökapasiteetin sekä sisä- ja ulkolämpötilöjen arvot kaavaan 4.

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{vuoto,LT} &= 1,2 \frac{kg}{m^3} \cdot 1,0 \frac{kJ}{kgK} \cdot \frac{0,18m^3}{s} \cdot (21 - (-26))^\circ C \\ \dot{Q}_{vuoto,LT} &= 10,13 kW\end{aligned}$$

Summataan asuinrakennuksen ja liikehuoneiston vuotoilmamääristä aiheutuvat lämpöhäviöt yhteen, jotta saadaan koko rakennuksen vuotoilmamääristä johtuva lämmitystehontarve.

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{vuoto} &= \dot{Q}_{vuoto,AR} + \dot{Q}_{vuoto,LT} = 62,80 kW + 10,13 kW \\ \dot{Q}_{vuoto} &= 72,93 kW\end{aligned}$$

Koneellisen poistoilmanvaihdon vaatiman korvausilman lämmittämiseen tarvittavan tehon laskemiseksi tulee ensin joko selvittää koneellisen

poistoilmanvaihdon nykyiset ilmamäärät tai lämmönjakokeskuksen uusimisen yhteydessä suunnitella sekä suorittaa ilmanvaihdon nuohous- ja säätötyöt, jolloin ilmamäärät on mahdollista asettaa suunniteltuihin arvoihin.

Koska kiinteistöön on suunnitteilla poistoilmalämpöpumpun ja kaukolämmön hybridijärjestelmä, ja poistoilmalämpöpumpun mitoitus on suoraan riippuvainen poistoilman määrästä, on syytä mitoittaa sekä säätää kiinteistön poistoilmavirrat raitisilmaperusteisiksi. Ilmavirtojen mitoitus- ja säätötyö on syytä tehdä koko kiinteistöön, mutta koska poistoilmalämpöpumput asennetaan vain asuinrakennuksen asuntoja sekä kellaritiloja palvelevien poistoilmapuhaltimien tilalle, mitoitetaan poistoilmavirrat näille tiloille.

Jokainen asuin kerros on ilmanvaihdon osalta täysin samanlainen, joten kiinteistön asuin kerrosten kerroskohtaisista pohjakuvista voi laskea kerroskohtaisen poistoilman määrän. Kellari-, sauna- ja liiketilojen poistoilmavirrat lasketaan tilan käyttötarkoituksen mukaan, kuitenkin huomioiden ne liiketilat, joita palvelee oma tuloilmakoje. Asuin kerrosten poistoilmavirta on yhteensä  $1,40 \text{ m}^3/\text{s}$ , kellari- ja saunatilojen poistoilmavirta on  $0,21 \text{ m}^3/\text{s}$  ja liiketilojen yhteenlaskettu poistoilmavirta on  $0,87 \text{ m}^3/\text{s}$ . Poistoilman määrän ollessa sama kuin korvausilman määrä, on  $q_{v,poisto} = q_{v,korvaus} = 2,48 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ . Sijoitetaan arvot kaavaan 7.

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{iv,korvaus} &= 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1,0 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot 2,48 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot (21 - (-26)) \text{ } ^\circ\text{C} \\ \dot{Q}_{iv,korvaus} &= 139,75 \text{ kW}\end{aligned}$$

Kaukolämmön lämmityksen lämmönsiirtimen mitoitusstehon ollessa sama kuin rakennuksen lämmitystehon tarve  $\dot{Q}_L$  saadaan mitoitussteho sijoittamalla arvot kaavaan 1.

$$\begin{aligned}\dot{Q}_L &= 185,98 \text{ kW} + 72,93 \text{ kW} + 139,75 \text{ kW} \\ \dot{Q}_L &= 398,66 \text{ kW} = 399 \text{ kW}\end{aligned}$$

### 3.2.2 Käyttöveden kaukolämpösiirtimen mitoitus

Käyttöveden lämmönsiirrin mitoitetaan lämpimän käyttöveden jakojohdon mitoitusvirtaaman mukaan siten, että käyttöveden lämpötila mitoitusvirtaamalla on vähintään 58 °C. Kylmän veden mitoituslämpötilana käytetään 10 °C:ta.

Lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama saadaan muuntamalla lämpimän käyttöveden normivirtaama mitoitusvirtaamaksi joko kaavan tai taulukon avulla. Normivirtaamien summa saadaan laskemalla kiinteistön vesikalusteiden lukumäärä, ja kertomalla lukumäärä mitoituksessa käytettävillä vesikalusteiden normivirtaamalla.

Kiinteistön normivirtaamien  $Q$  summa on 36,0 dm<sup>3</sup>/s. Lämpimän käyttöveden verkoston suurin normivirtaama  $q_{N1}$  on 0,2 dm<sup>3</sup>/s. Asuinrakennusten jakojohdojen mitoitusvirtaamaa laskettaessa käytetään todennäköisyyskertoimelle  $\theta$  arvoa 0,015, mitoitusvirtaaman ylityskertoimelle  $A$  arvoa 3,1 ja venttiilin keskimääräisen virtaaman  $q_m$  arvona 0,2 dm<sup>3</sup>/s. [12] Sijoitetaan lukuarvot kaavaan 9.

$$q_{v,LV} = 0,2 \frac{dm^3}{s} + 0,015 \cdot \left( 36,0 \frac{dm^3}{s} - 0,2 \frac{dm^3}{s} \right) + 3,1 \cdot \sqrt{0,2 \frac{dm^3}{s} \cdot 0,015 \cdot \left( 36,0 \frac{dm^3}{s} - 0,2 \frac{dm^3}{s} \right)}$$

$$q_{v,LV} = 1,75 \frac{dm^3}{s}$$

Veden ominaislämpökapasiteetti  $c_{p,v}$  on 4,18 kJ/kgK, ja veden tiheys  $\rho_v$  on 1,0 kg/dm<sup>3</sup>. Sijoitetaan lukuarvot kaavaan 8:

$$\emptyset_{LV} = 1,75 \frac{dm^3}{s} \cdot (58 \text{ °C} - 10 \text{ °C}) \cdot 4,18 \frac{kJ}{kgK} \cdot 1,0 \frac{kg}{dm^3}$$

$$\emptyset_{LV} = 351,12 \text{ kW}$$

### 3.3 Poistoilmapumpun tuottaman lämmitystehon laskenta

Asuinrakennuksen asuinhuoneistojen poistoilma on toteutettu kahdella vesikatolla sijaitsevalla kokoojakammiopuhaltimella. Kellari- sekä saunatilojen poistoilmat ovat toteutettu omalla huippuimurillaan. Lisäksi asuintornin vesikatolla on

kaksi liiketiloja palvelevaa huippuimuria, joista toinen on tuloilmakojeen palvelualueella. Osassa liiketiloja on omat huippuimurinsa, jotka sijaitsevat ylempään kellarikerroksen katolla eli niiden liiketilojen vesikatolla.

Tuloilmakojeen palvelualueella olevaa huippuimuria ei ole syytä ottaa poistoilmalämpöpumpputalteenottojärjestelmän piiriin, koska omalla kaukolämpösiirtimellä varustetulle tuloilmakojeelle olisi syytä asentaa oma lämmön talteenottojärjestelmänsä tai uusia koje lämmön talteenotolla varustetuksi tulo-poistoilmakojeeksi. Tuloilmakoje palvelee ravintola- ja nuorisotiloja, ja tilojen käyttöaikojen sekä käyttöasteiden myötä tilojen poistoilmavirta vaihtelee huomattavan paljon, joka hankaloittaa poistoilmalämpöpumpun lämmöntalteenoton mitoitus. Lämmön talteenottojärjestelmän asennuksen myötä kaukolämmönsiirrin 3:n mitoitus teho ja sen myötä myös tilausteho pienenisivät huomattavasti.

Poistoilmalämpöpumppu ottaa lämpöä talteen poistoilmasta, ja poistoilman ollessa asuinhuoneistojen sisäilmaa on mitoituksessa käytettävän poistoilman lämpötila sama, kuin asuntojen sisälämpötila. Lämmitysjärjestelmän mitoituksessa käytetty asuntojen sisälämpötila  $T_s$  on 21 °C. Poistoilmalämpöpumpun lämmöntalteenoton jälkeen käytetään mitoituksessa poistoilman lämpötilana noin 5 °C:ta, jäätyksen estämiseksi.

Jos asuntojen poistoilmavirrat suunnitellaan ja säädetään kaukolämmön lämmityksen lämmönsiirtimen mitoitusta varten raitisilmaperusteiseksi, on tällöin asuinhuoneistojen poistoilmavirta yhteensä 1,40 m<sup>3</sup>/s. Taloyhtiön sauna- ja kellaritiloja palvelevan huippuimurin poistoilmavirta on 0,21 m<sup>3</sup>/s, ja liiketiloja palvelevan huippuimurin poistoilmavirta on 0,50 m<sup>3</sup>/s. Poistoilmalämpöpumpun yhteenlaskettu ilmavirta on siis 2,11 m<sup>3</sup>/s. Sijoitetaan arvot kaavaan 10.

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{PILP} &= 2,11 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 1 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot 1,20 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot (21 - 5) \text{ } ^\circ\text{C} \\ \dot{Q}_{PILP} &= 40,51 \text{ kW}\end{aligned}$$

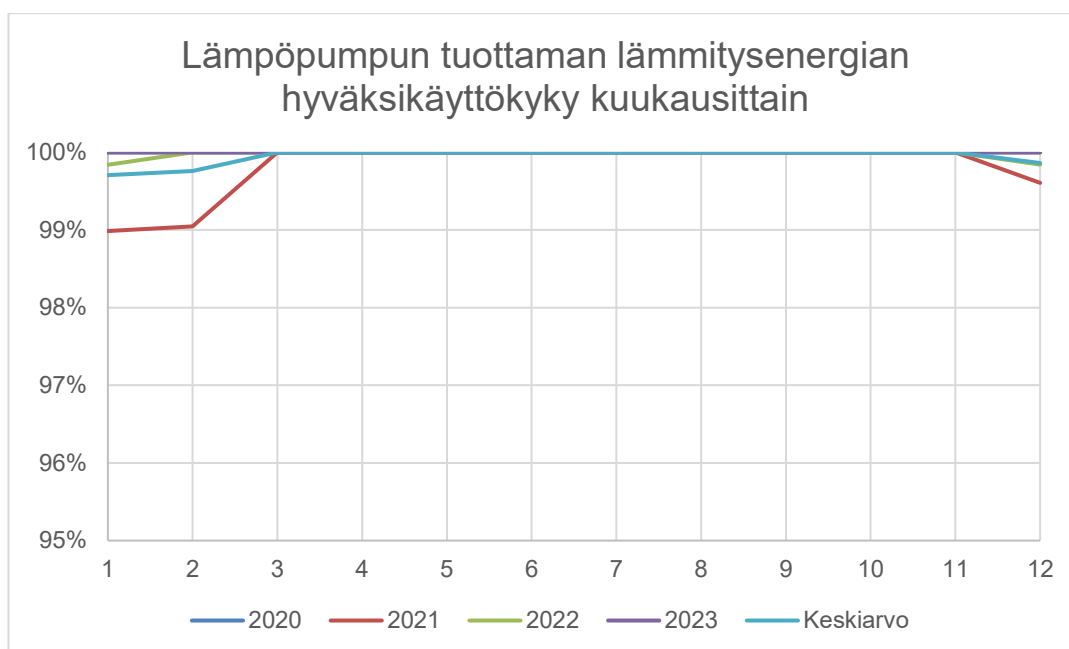
Vuositasolla lämpöpumpun lämpötehontuotto on yhteensä:

$$40,51 \text{ kW} \cdot 365 \frac{\text{p}}{\text{v}} \cdot 24 \frac{\text{h}}{\text{p}} = 354867,60 \text{ kWh/v} = 355 \text{ MWh/v}$$

Jos poistoilmalämpöpumppu on kytketty vain lämmitysjärjestelmään, vuositasolla saadaan laskennan mukaan hyväksikäytettyä rakennuksen lämmitykseen noin 259 MWh, eli noin 73 % lämpöpumpun talteen ottamasta lämpöenergian enimmäismäärästä. Laskenta on suoritettu käyttäen vuosien 2020–2023 ulkolämpötilojen tuntikohtaista dataa lämmityksen kesäsulun ollessa suljettuna kesäkuukausina.

Koska kiinteistön lämmitysverkoston paluuveden lämpötila on 60 °C, ei poistoilmalämpöpumppu kykene mitoittavassa tilanteessa lämmittämään lämmitysverkoston paluuvettä. Tämän vuoksi lämmitysverkoston meno-/paluulämpötiloilla 80 °C / 60 °C ei poistoilmalämpöpumpun ja kaukolämmön lämmönsiirtimen hybridikytkentä vaikuta kaukolämpösiirtimen mitoitukseen.

Vaikka järjestelmien mitoituksessa käytettävä ulkolämpötila on -26 °C, ei laskennassa käytettyjen vuosien 2020–2023 aikana ulkolämpötila saavuttanut kertaakaan mitoitusulkolämpötilaa. Vuosina 2020–2023 ulkolämpötila oli alle -15 °C yhteensä 229 tuntia, joista 210 tuntia vuonna 2021. Tästä johtuen vuosien 2020–2023 säädatan mukaan laskettuna lämpöpumpun tuottamasta lämpöenergiasta saataisiin lämmityskaudella hyväksikäytettyä 99,9 %, jos lämpöpumppujärjestelmä lämmittää vettä vähintään 10 °C ja lämpöpumppujärjestelmän enimmäistuottolämpötilaksi asetetaan 60 °C:ta. Kuvaan 4 on merkitty kuukausittainen laskennallinen poistoilmalämpöpumpun kyky lämmittää verkostosta palaavaa vettä, kun verkostoon palaavan lämmitysveden mitoituslämpötila on 60 °C ulkolämpötilalla -26 °C.



Kuva 4. Lämpöpumppujärjestelmän laskennallinen kyky lämmittää lämmitysverkostosta palaavaa vettä toimintalämpötiloilla 80 °C / 60 °C vuosina 2020–2023.

## 4 Tulokset

Nykyisen lämmityksen kaukolämpösiirtimen mitoitettu teho on 460 kW, joka on yhteneväinen nykyisten poistoilmanvaihtomäärien kanssa. Asuinrakennuksen osalta poistoilman määrä on nykyään 2,40 m<sup>3</sup>/s, ja tällä korvausilman määrällä laskettuna tulee rakennuksen mitoituslämmitystehontarpeeksi 453 kW.

Lämpöpumppujärjestelmän asentamisen yhteydessä säädettävien pienempien poistoilmamäärien myötä on korvausilman määrä pienempi. Pienemmillä asuntojen poistoilmamäärillä laskettuna kiinteistön lämmityksen lämmönsiirtimen mitoitusteho on 399 kW.

Lämmityksen lämmönsiirtimien tehonlaskennassa ei oteta huomioon lämmitysjärjestelmän ulkopuolelta tulevia lämmönlähteitä, kuten esimerkiksi auringon säteilyyn, ihmisten, valaistuksen, elektroniikan ja pesuhuoneiden sähköisen lattialämmityksen tiloihin tuomaa lämpökuormaa. Sisälämpötilan noustessa lämmitysjärjestelmän ulkopuolisten lämpökuormien myötä, lämmityspatterin termostaatti sulkee patteriventtiiliä ja rajoittaa patteriin virtaavan lämmitysveden

virtaamaa ja siten lämmitysjärjestelmän lämmitystehon kulutusta. Koska poistoilmalämpöpumppu ottaa lämpöä talteen poistettavasta ilmasta, se tarkoittaa käytännössä sitä, että poistoilmalämpöpumppu ottaa lämpöä myös talteen edellä mainituista lämmitysjärjestelmän ulkopuolisista lämmönlähteistä. Näin ollen lämpöpumpun todellinen prosentuaalinen osuus rakennuksen lämmön-tuotosta saattaa olla laskennallista osuutta suurempi, kuitenkin mitoitettun ja asennetun järjestelmän rajoissa.

Laskennan mukaan poistoilmalämpöpumpun vuosittaisesta lämpöenergian tuotosta kuluisi noin 73 % lämmitykseen ja loput lämpimän käyttöveden lämmittämiseen.

Lämmönmyyjän käyttöraportin mukaan kiinteistöön on myyty vuosina 2020–2023 keskimäärin 1100 MWh kaukolämpöenergiaa vuosittain. Laskennan mukaan poistoilmalämpöpumppu kykenee ottamaan poistoilmasta lämpöä talteen noin 355 MWh vuodessa, joten poistoilmalämpöpumppujärjestelmän ja kaukolämmön rinnankytkentä lämmitys- ja käyttövesijärjestelmiin vähentäisi ostetun kaukolämpöenergian määrää vuosittain yli 32 %. Jos poistoilmalämpöpumppu kytketään rinnan vain lämmitysverkostoon, vähentäisi kytkentä ostettua kaukolämpöenergian määrää noin 24 %.

## **5 Yhteenveto**

Työssä selvitettiin poistoilmalämpöpumpun ja kaukolämmön hybridikytkentään liittyviä toimenpiteitä sekä järjestelmän mitoittamiseen vaikuttavia seikkoja olemassa olevaan, 1970-luvulla rakennettuun asuinrakennukseen suunnittelun kannalta. Aikakautensa mukaisesti rakennuksen ilmanvaihtotapa on koneellinen poistoilmanvaihto. Kohde on ihanteellinen poistoilmalämpöpumppujärjestelmälle koska rakennuksessa on yksi porraskerros, kymmenen asuinkerrosta ja 60 asuntoa ja se on näin ollen korkea ja kapea.

Fossiilisten polttoaineiden luopumisen yhteydessä kaukolämpöenergian tuotanto on ollut viime vuosina murroksessa. Aiemmin fossiilisilla polttoaineilla

toimivien sähköntuotantolaitosten lauhdelämpö ajettiin kaukolämpöverkostoon, mutta tällaisten voimalaitosten, kuten hiilivoimalaitosten, sulkemisen myötä on kaukolämmön tuottamiselle löydettävä uusia keinoja. Näitä ovat muun muassa suuret lämpöpumppulaitokset ja datakeskusten hukkalämmön talteenottolaitokset. Näin ollen kaukolämpöä tuotetaan yhä enemmän sähköllä, mikä tuo kaukolämpölaitoksille kaukolämmön energianhinnan nostopaineita uusista kaukolämpöenergiantuotannon investoinneista johtuen.

Hybridikytkennän asentaminen vaatii kokonaisvaltaista järjestelmän tarkastelua, joka on syytä tehdä kunnolla. Lämmitysjärjestelmää sekä siihen liittyviä muita järjestelmiä tulee tarkastella muutoksen yhteydessä erillisinä, mutta kokonaisuuteen liittyvinä järjestelminä, jotka vaikuttavat toisiinsa. Kaukolämpökeskuksen ja valvonta-alakeskuksen uusiminen hybridilämmitykseen soveltuvaksi, lämmitysjärjestelmän säätö, järjestelmän toimiva automaatio sekä poistoilmanvaihdon mitoitus ja säätäminen varmistavat sen, että järjestelmä toimii suunnitellusti.

Lämmitysjärjestelmän toisiopuolen toimintalämpötilojen laskeminen saattaa olla mahdollista kiinteistöön aiemmin tehtyjen perusparannus ja -korjaustoimenpiteiden sekä poistoilmalämpöpumppujärjestelmän asentamisen yhteydessä tehtävien muutostoimenpiteiden myötä. Toisiopuolen lämpötilojen madaltamisen taloudellisena edellytyksenä on kuitenkin oletettava, että nykyisiä lämmityspattereita ei olisi tarvetta uusida, koska lämmitysjärjestelmän toimintalämpötilojen laskemisen myötä nykyisten pattereiden lämmönluovutusteho pienenee. Jos nykyisen järjestelmän toisiopuolen meno- ja paluulämpötilat lasketaan nykyisistä 80/60 lämpötiloista 70/40 lämpötiloihin, on nykyisten lämmityspattereiden lämmönluovutusteho 65,5 % alkuperäisestä. Tästä syystä onkin ennen lämmityksen toisiopuolen toimintalämpötilojen muutosta selvitettävä lämmityspattereiden nimelliset tehontuotot alkuperäisillä toimintalämpötiloilla, jotta sisälämpötila pysyy suunnitteluarvoissaan.

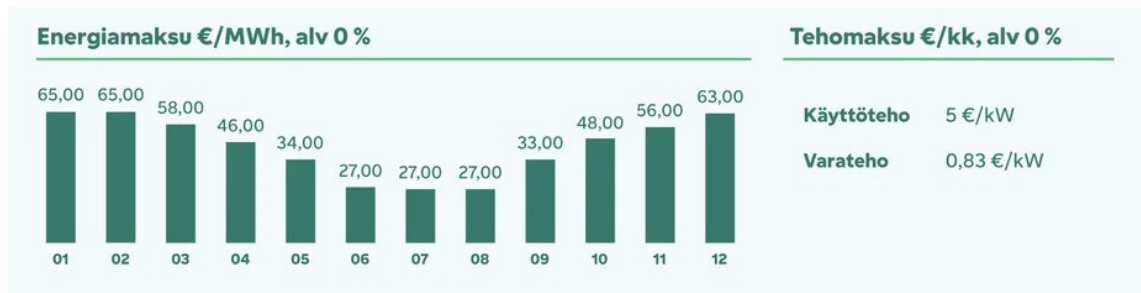
Koneellisen poistoilmanvaihdon tapauksessa tarkastelun kohteena olevan rakennuksen lämmitysenergian kulutuksesta noin 35 % menee korvausilman

lämmittämiseen. Poistoilmalämpöpumppujärjestelmän kyky ottaa tätä lämpöenergiaa talteen ja palauttaa takaisin lämmitysjärjestelmään onkin merkittävä tekijä olemassa olevien, koneellisella poistoilmanvaihdolla varustettujen asuinrakennusten energiansäästötoimenpiteitä tarkastellessa.

Koska hybridijärjestelmän suunnittelu vaatii myös kaukolämpöön kytketyn lämmitysjärjestelmän kokonaisvaltaista tarkastelua, on syytä kaukolämpökeskuksen uusimisen yhteydessä varautua hybridijärjestelmään, vaikka poistoilmalämpöpumppujärjestelmää ei lämmönjakokeskuksen uusimisen yhteydessä asennettaisikaan. Hybridijärjestelmään siirryttäessä suurin osa kustannussäästöistä syntyy pienemmästä kaukolämpöenergian tarpeesta. Lämpöpumppujärjestelmä ei loihdi lämpöenergiaa tyhjästä vaan toimii sähköllä, joten järjestelmän onnistunut mitoitus on ensiarvoisen tärkeää.

Lämpöpumppujärjestelmän mitoituksessa käytetyt poisto- ja jäteilman lämpötilat ovat laskennallisia, ja tekniikan kehittyessä järjestelmien hyötysuhteet sekä lämmöntalteenottokyky paranevat entisestään. Esimerkiksi lämmöntalteenottojärjestelmän jälkeisenä jäteilman lämpötilana on käytetty 5 °C:ta, jonka perusteena on jäätyksen estäminen, mutta toimivan sulanapito- ja jäätyksenestoautomaatiikan avulla se voidaan mitoittaa lähemmäs nollaa. Lisäksi poistoilman lämpötila voi olla yhteiskanavajärjestelmässä monta astetta korkeampi kuin mitoituksessa käytetty 21 °C, johtuen esimerkiksi pesuhuoneiden lattialämmityksistä sekä ilman lämpenemisestä kanavistossa. Suurempi poisto- ja jäteilman lämpötilaero lämmöntalteenottolaitteistossa tarkoittaa yksinkertaistetusti suurempaa talteen otetun lämpöenergian määrää.

Riippuen lämpöpumpun hyötysuhteesta sekä ostetun sähköenergian hinnasta kesäaikana lämpöpumpulla käyttöveden lämmittäminen saattaa olla taloudellisesti kannattamatonta, jos lämpöpumpun käyttämä sähköenergia on puhtaasti ostoenergiaa. Tämä johtuu siitä, että kaukolämmön hinta ei ole vakio, vaan se on riippuvainen kuukaudesta. Kuvassa 5 on kaukolämpötoimittajan energiamaksuhinnasto eri kuukausille.



Kuva 5. Kaukolämmön energiamaksu eri kuukausina [23].

Poistoilmalämpöpumpulla lämmitetään ensisijaisesti lämmitysverkoston vettä ja toissijaisesti käyttövesiverkoston vettä. Pääsääntöisesti kesäkuukausina eli kesä-elokuussa, lämmitysjärjestelmä ei ole käytössä. Näin ollen lämmityksen ja käyttöveden hybridikytkennässä poistoilmalämpöpumppu lämmittää vain käyttövettä kesäkuukausina.

Laskennassa ei ole huomioitu sopimusvesivirran pienenemisestä johtuvia kustannusmuutoksia, arvioituja kaukolämpöenergian tai sähkön hinnan muutoksia, ostosähkön spot-hintaperusteista automaatiota tai mahdollista kiinteistössä tuotettavan sähköenergian hyväksikäyttöä. Lämpimän käyttöveden hybridikytkennän vaatima laitteisto kuitenkin kasvattaa järjestelmän alkuinvestointikustannuksia, joten lämpimän käyttöveden hybridikytkennän etuja ja kustannuksia on syytä pohtia tarkemmin.

Koska poistoilmalämpöpumpun sekä poistoilmapuhaltimien vaatima sähköteho on likimain vakio, onkin mahdollisuuksien mukaan kannattavaa selvittää esimerkiksi vain poistoilmapumppujärjestelmää palvelevien aurinkopaneelien asentamista kompensoimaan poistoilmalämpöpumpun sähkönkulutusta kesäajan lämmön talteenottoa varten.

Työssä ei otettu kantaa nykyiseen, liiketilojen tuloilmapuhallinta palvelevan 135 kW LS3:n toimintaan. Kyseisen tuloilmapuhaltimen mitoitusilmavirta on noin 2,3 m<sup>3</sup>/s, ja tilojen poistoilmavirta hieman enemmän. Lämmönsiirrin tulee uusia muun lämmönjakokeskuksen uusimisen yhteydessä.

Puhaltimen palvellessa liiketiloja tulisi sen toiminta olla tarpeenmukaista. Tarpeenmukaisessa ilmanvaihdossa ilmavirta ei ole vakio, vaan se vaihtelee tarpeen mukaan. Tarpeenmukainen ilmanvaihto säätää tulo- ja poistoilmavirtoja riippuen tilojen käyttöasteesta sekä käyttöajoista, kuten ravintolatilojen aukioloajoista sekä asiakasmäärästä. Tästä syystä tuloilmapuhaltimen palvelualueiden poistoilman liittäminen poistoilmalämpöpumppujärjestelmään on lämmöntalteenottojärjestelmän mitoituksen kannalta hankalaa.

Ennen lämmönjakokeskuksen uusimista onkin syytä tarkastella tuloilmapuhaltimen kuntoa, sekä selvittää mahdollisuus asentaa esimerkiksi puhaltimen palvelualueiden poistoilmakanavaan lämmöntalteenotto tuloilmapuhaltimen esilämmitystä varten. Modernilla lämmöntalteenottoratkaisulla sekä tarpeenmukaisella ilmanvaihdon säädöllä tuloilmapuhaltimen lämmitysenergian tarve pienenee huomattavasti, mikä vaikuttaa LS3:n mitoitukseen.

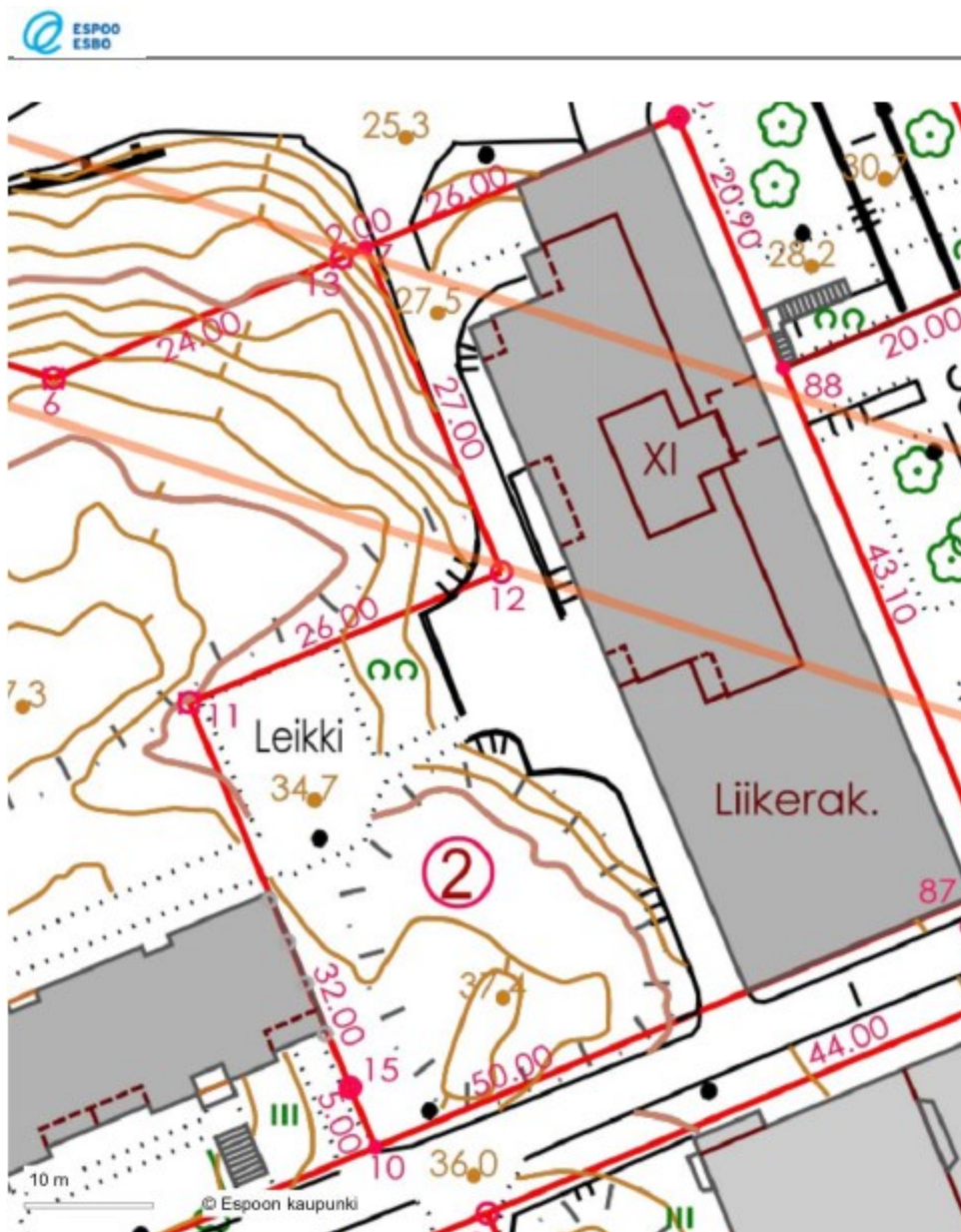
## Lähteet

- 1 Lämmönjakokeskuksen uusinta kannattaa tehdä suunnitelmallisesti. 2023. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <[https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/energiatehokas\\_taloyhtio/lammitys/lammonjakokeskuksen\\_uusinta\\_kannattaa\\_tehda\\_suunnitelmallisesti](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_taloyhtio/lammitys/lammonjakokeskuksen_uusinta_kannattaa_tehda_suunnitelmallisesti)>. Päivitetty 28.12.2023. Luettu 20.3.2024.
- 2 Kaukolämmön hintatilasto. 16.9.2024. Verkkoaineisto. Energiateollisuus Ry. <<https://energia.fi/tilastot/kaukolammon-hintatilasto/>>. Päivitetty 6.11.2024. Luettu 16.12.2024.
- 3 Maalämpö ja poistoilman lämmön talteenotto kerrostaloon. Verkkoaineisto. Tom Allen Senera Oy. <<https://www.tomallensenera.fi/maalampo-ja-poistoilman-lammon-talteenotto>>. Luettu 20.3.2024.
- 4 Maalämpö ja muu ympäristön energia. 2023. Verkkoaineisto. Ely-keskus. <<https://www.ely-keskus.fi/web/uusiutuvan-energian-lupaneuvonta/maalampo-ja-muu-ympariston-energia>>. Päivitetty 23.5.2023. Luettu 20.3.2024.
- 5 Opas asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoitukseen. 2019. Verkkoaineisto. FINVAC Ry. <<https://finvac.org/iv-oppaat/>>. Päivitetty 28.1.2020. Luettu 9.4.2024.
- 6 Kaukolämpötilasto. 6.11.2024. Verkkoaineisto. Energiateollisuus Ry. <<https://energia.fi/tilastot/kaukolampotilasto/>>. Päivitetty 12.12.2024. Luettu 16.12.2024.
- 7 Rakennusten kaukolämmitys, Määräykset ja ohjeet, julkaisu K1/2021. 2021. Verkkoaineisto. Energiateollisuus Ry. <[https://energia.fi/wp-content/uploads/2016/08/Julkaisu\\_K1\\_2021\\_Rakennusten\\_kaukolammitys\\_Maaraykset\\_ja\\_ohjeet\\_pdf-1.pdf](https://energia.fi/wp-content/uploads/2016/08/Julkaisu_K1_2021_Rakennusten_kaukolammitys_Maaraykset_ja_ohjeet_pdf-1.pdf)>. Luettu 2.4.2024.

- 8 Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatodistuksesta annetun ympäristöministeriön asetuksen liitteen 1 ja 2 muuttamisesta. 2016. 353/4.5.2016.
- 9 Energiatohokkuus, Rakennusten energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2018. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <[https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ohje---Rakennuksen-energiankulutuksen-ja-lammitystehontarpeen-laskenta-20-12-2017-4332AA81\\_75E1\\_4CA0\\_B208\\_B0ACB60A267F-133692.pdf](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ohje---Rakennuksen-energiankulutuksen-ja-lammitystehontarpeen-laskenta-20-12-2017-4332AA81_75E1_4CA0_B208_B0ACB60A267F-133692.pdf)>. Luettu 9.4.2024.
- 10 Vesilaitteiston mitoitusohjeet (D1/2007 Liite 2). Verkkoaineisto. Talteka. <<https://talotekniikkainfo.fi/vesilaitteiston-mitoitusohjeet-d12007-liite-2>>. Luettu 16.4.2024.
- 11 Poistoilmalämpöpumppu (PILP). Verkkoaineisto. Motiva Oy. <[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/poistoilmalampopumppu](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/poistoilmalampopumppu)>. Päivitetty 29.7.2024. Luettu 16.12.2024.
- 12 Käyttöveden lämpötila ja laatu. Verkkoaineisto. Talteka. <<https://talotekniikkainfo.fi/esimerkit/kayttoveden-lampotila-ja-laatu>>. Luettu 9.4.2024.
- 13 Ympäristöministeriön asetus rakennusten vesi- ja viemärlaitteistoista. 2017. 1047/22.12.2017.
- 14 Legionella. 2023. Verkkoaineisto. Terveiden ja hyvinvoinnin laitos. <<https://thl.fi/aiheet/infektiotaudit-ja-rokotukset/taudit-ja-torjunta/taudit-ja-taudinaiheuttajat-a-o/legionella>>. Päivitetty 7.12.2023. Luettu 9.4.2024.
- 15 Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. 2015. 545/23.4.2015.

- 16 Tiiviiden asuinrakennusten ilmanvaihdon suunnitteluohje paine-erojen hallintaan. 26.2.2021. Verkkoaineisto. Talteka. <[https://talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/tiiviiden\\_asuinrakennusten\\_ilmanvaihdon\\_suunnitteluohje\\_paine-erojen\\_hallintaan\\_19.3.2021.pdf](https://talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/tiiviiden_asuinrakennusten_ilmanvaihdon_suunnitteluohje_paine-erojen_hallintaan_19.3.2021.pdf)>. Luettu 15.10.2024.
- 17 Poistoilmalämpöpumput kiinteistöjärjestelmät. 2021. RT 10-3316. Rakennustieto.
- 18 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 2017. 1010/27.12.2017.
- 19 Poistoilmalämpöpumppu kaukolämpötaloon: ohjeet suunnittelijalle. 1.12.2017. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <[https://energia.fi/wp-content/uploads/2023/08/Poistoilmalampopumppu\\_kaukolampotaloon\\_ohjeet\\_suunnittelijalle.pdf](https://energia.fi/wp-content/uploads/2023/08/Poistoilmalampopumppu_kaukolampotaloon_ohjeet_suunnittelijalle.pdf)>. Luettu 23.4.2024.
- 20 Kaukolämmön yleiset sopimusehdot, suositus T1/2021. 2021. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <[https://energia.fi/wp-content/uploads/2023/08/Kaukolammon\\_yleiset\\_sopimusehdot\\_Suositus\\_T1\\_2021.pdf](https://energia.fi/wp-content/uploads/2023/08/Kaukolammon_yleiset_sopimusehdot_Suositus_T1_2021.pdf)>. Luettu 23.4.2024.
- 21 Tyypillisiä olemassa olevien vanhojen rakennusten alkuperäisiä suunnitteluarvoja. 1.11.2018. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <[https://www.motiva.fi/files/16465/Tyypillisia\\_olemassa\\_olevien\\_vanhojen\\_rakennusten\\_alkuperaisia\\_suunnitteluarvoja\\_-\\_Energiatodistusoppaan\\_2018\\_liite.pdf](https://www.motiva.fi/files/16465/Tyypillisia_olemassa_olevien_vanhojen_rakennusten_alkuperaisia_suunnitteluarvoja_-_Energiatodistusoppaan_2018_liite.pdf)>. Luettu 26.3.2024.
- 22 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta. Liite 1. 2017. 1048/20.12.2017.
- 23 Kaukolämmön hinnat taloyhtiöille ja yrityksille. 2024. Verkkoaineisto. Forum Oy. <<https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisoille/lammitys-ja-jaahdytys/kaukolampo/kaukolammon-hinnat>>. Luettu 28.11.2024.

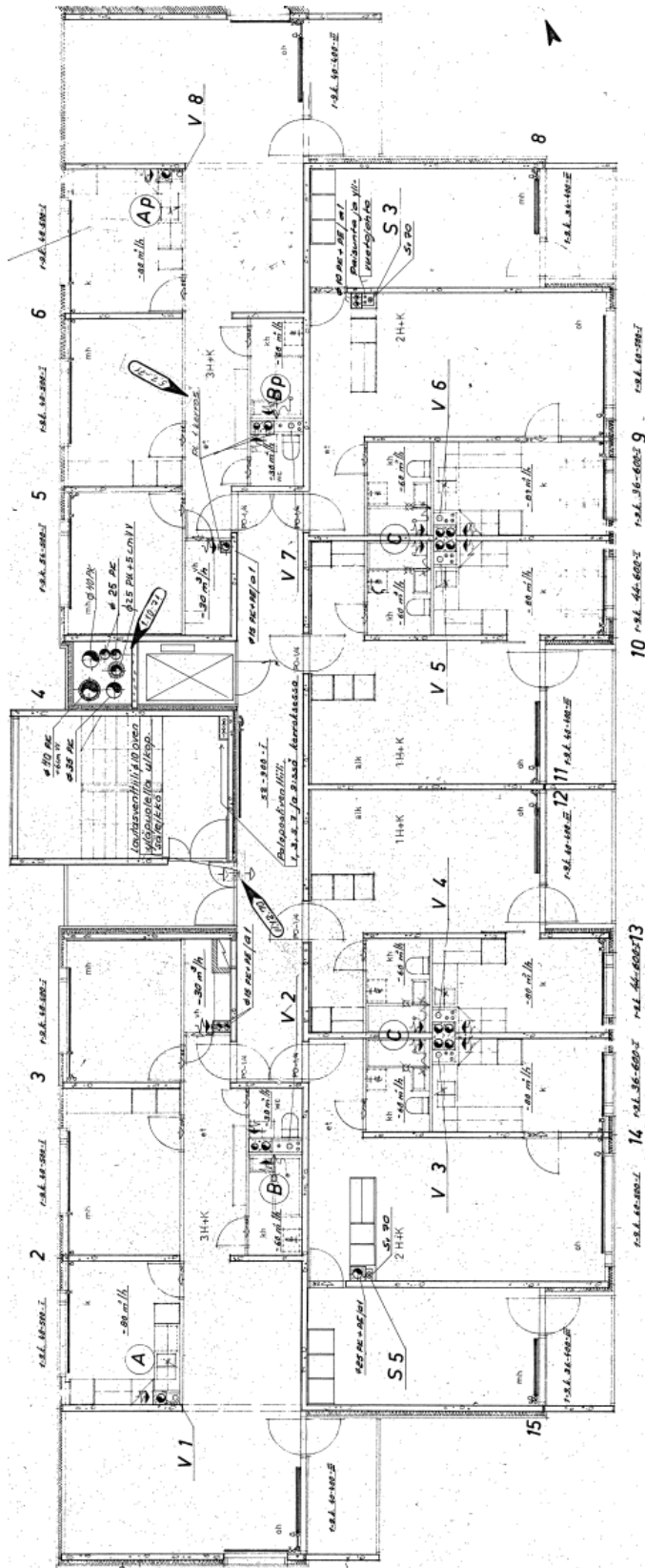
## Kantakartta kohteesta ja metron sijainti



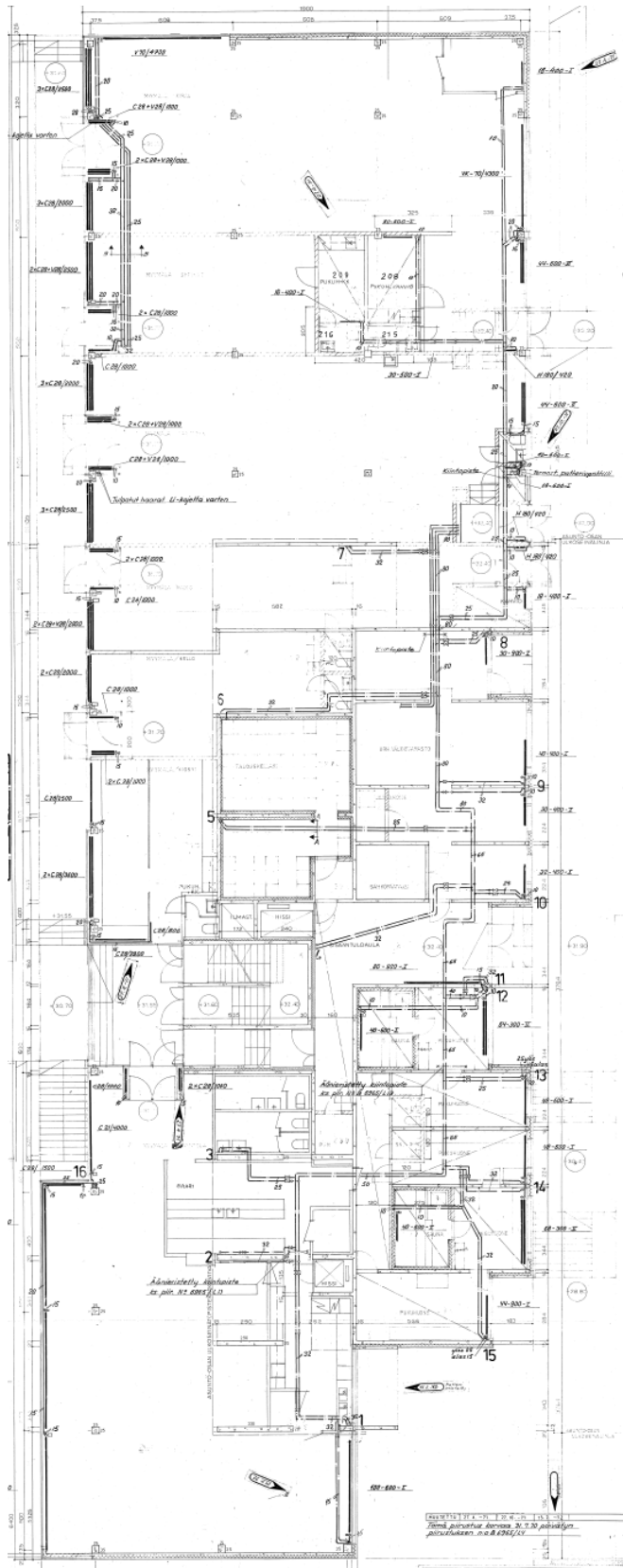
Kuva 1. Tuloste Espoon kaupungin karttapalvelusta.

Espoon kaupungin karttapalvelusta tulostettu kantakartta, jossa näkyy kohteen kiinteistön rajat punaisella viivalla. Länsimetro kulkee kiinteistön alla ja on merkitty kahdella samansuuntaisella oranssilla viivalla.





Kuva 2. Asuinkerrosten 1-9 lämmityssuunnitelma vuodelta 1970, ei mittakaavassa.



Kuva 3. Ylemmän kellarikerroksen lämmityssuunnitelma vuodelta 1970, ei mit-takaavassa.