



Lauri Korsulainen

# Kiinteistöjäähdytyksen suunnittelu saneerauskohteeseen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

20.10.2021

## Tiivistelmä

Tekijä: Lauri Korsulainen  
Otsikko: Kiinteistöjäähdytyksen suunnittelu saneerauskohteeseen  
Sivumäärä: 43 sivua + 2 liitettä  
Aika: 20.10.2021

Tutkinto: insinööri (AMK)  
Tutkinto-ohjelma: Talotekniikka  
Ammatillinen pääaine: LVI-suunnittelu  
Ohjaajat: osastopäällikkö Kim Rinne  
yliopettaja Aki Valkeapää

---

Rakennusten energiatehokkuuden parantumisen ja ilmaston lämpenemisen sekä samanaikaisesti lisääntyneen asumismukavuuden vaatimustason seurauksena kiinteistöjen jäähdytystarve kasvaa Suomessa. Suomessa kaukojäähdytykseen liittyneiden kiinteistöjen määrä on kolminkertaistunut viimeisen 10 vuoden aikana. Toisaalta haasteena on globaalisti tunnustettu tarve energiankulutuksen ja päästöjen rajoittamiseen.

Tässä työssä perehdyttiin kauko- ja kiinteistöjäähdytykseen. Työssä käydään läpi jäähdytyksen teoria fysikaalisena ilmentymisenä prosessina sekä tutkittiin jäähdytystarpeen mitoittamiseen vaikuttavia tekijöitä. Tavoitteena oli tarjota aiheesta käytännölläheinen tietopaketti työn toimeksiantajalle, joka on saneerauskohteisiin erikoistunut suunnittelutoimisto. Esimerkkikohteena oli 1930-luvulla rakennettu asuinkerrostalo Helsingin kantakaupungissa, johon osana työtä suunniteltiin kiinteistöjäähdytysjärjestelmä.

Työssä on esitelty kiinteistöjäähdytysjärjestelmän mitoitus, tekniikka ja laitteet. Osana työtä tehtiin myös salassa pidettävä excel-pohjainen kustannuslaskin, joka jää työn toimeksiantajan käyttöön. Laskimella voidaan tarjota kustannusarvioita kiinteistöjäähdytyksestä kiinnostuneille taloyhtiöille järjestelmän toteuttamiseksi.

Tämän työn tuloksena vahvistui käsitys, jonka mukaan energiatehokkaan ja vähäpäästöisen jäähdytysenergian potentiaalisin ja hinnaltaan kilpailukykyisin vaihtoehto on suomalaisilla kaupunkialueilla kaukojäähdytys – tai sen lisänä käytettävä kiinteistöjäähdytys.

Työn lähteinä on käytetty mm. aiheeseen liittyvää kirjallisuutta, ympäristöministeriön asetuksia, kauko- ja kiinteistöjäähdytyksen suunnitteluohjeita sekä asiantuntijahaastatteluja.

Avainsanat: kiinteistöjäähdytys, jäähdytysaneeraus, asuinkerrostalo, energiaa säästävä jäähdytys

## Abstract

Author: Lauri Korsulainen  
Title: Design of Property Specific Cooling for Renovation Project  
Number of Pages: 43 pages + 3 appendices  
Date: 20 October 2021

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

---

The aim of this final year project was to deliver a hands-on information package for the client of this thesis, a local design agency specializing in renovation projects. The goal of the thesis was to study sample design of a property specific cooling system for an existing building and present a simple check list of costs of implementing a cooling system in a renovation project.

The thesis studied the design of property specific cooling systems that would be suitable for urban areas where buildings are connected to a district heating network. Information on available cooling designs and theory of cooling as a physical air treatment process was collected from several sources. The multiple factors that have an effect on the dimensioning of cooling energy and the configuration of technical equipment were studied. The thesis also discussed in detail a property specific cooling solution with independently working parts.

The thesis resulted in a comprehensive information package for the commissioning company.

Keywords: property specific cooling, cooling renovation, apartment building

# Sisällys

1	Johdanto	1
2	Kauko- ja kiinteistöjäähdytys	3
2.1	Kaukojäähdytys	3
2.2	Kiinteistöjäähdytys	5
2.3	Kaukojäähdytys Suomessa	6
2.4	Helen Oy:n tarjoama jäähdytys Helsingissä	8
3	Jäähdytyksen teoria fysikaalisena ilmiönä	10
3.1	Johtuminen	10
3.2	Konvektio	11
3.3	Säteily	12
4	Jäähdytys ilmankäsittelyprosessina	13
4.1	Kuivajäähdytys	13
4.2	Märkäjäähdytys	15
5	Tilojen jäähdytys	16
6	Jäähdytystehon tarve	19
6.1	Sisäilmasto ja jäähdytyksen tavoite	19
6.2	Jäähdytystarpeen mitoittamiseen vaikuttavat tekijät	19
6.3	Jäähdytystarpeen laskenta	22
6.3.1	Käsinlaskenta	22
6.3.2	Dynaamiset energiansimulointiohjelmit	23
6.3.3	Kokemusperäiset arvot	24
6.3.4	Simuloinnin esimerkki	25
7	Kiinteistöjäähdytysjärjestelmän suunnittelu referenssikohteeseen	27
7.1	Referenssikohteen esittely	27
7.2	Kiinteistöjäähdytyksen tilaaminen	29
7.3	Referenssikohteen jäähdytystehon tarve ja lämpöpumppu	30
7.4	Tekninen laitetila	31
7.5	Liitos kaukolämpöön	34
7.6	Mittauskeskus	35

7.7	Toisiopuoli	36
7.7.1	Putki- ja eristysmateriaalit	37
7.7.2	Mitoitus	38
7.7.3	Läpiviennit ja palo-osastoinnit	39
7.7.4	Toisiopuolen verkosto referenssikohteessa	39
7.8	Puhallinkonvektorien valinta ja sijoitus asunnoissa	41
7.8.1	Kytkeä ja tehonsäätö	42
7.8.2	Mitoitus	43
7.8.3	Esimerkkitoiteutus	44
8	Yhteenveto	48
	Lähteet	49
	Liitteet	
	Liite 1: Esimerkkikytkentäkaavio 30–2 000 kW:n kiinteistöjäähdytysjärjestelmille toimisto-, liike- ja asuinrakennuksissa	
	Liite 2: Oilon ChillHeat P30 – P450 -lämpöpumput	

## 1 Johdanto

Suomessa ei ole peruskorjattavien asuinrakennusten jäähdytystehontarpeen laskemiselle määräyksiä, koska jäähdytystarve Suomen ilmastossa on vähäistä verrattuna lämmitystarpeeseen. Ilmastonmuutos ja rakennusten energiantehokkuuden parantuminen ovat lisänneet ja tulevat lisäämään saneerattavien asuinrakennusten jäähdytystarvetta. Lisäksi ihmisten elintaso, mukavuudenhalu ja lisääntynyt tietoisuus sisäilman laadun terveysvaikutuksista ovat lisänneet vaatimuksia sisäilman lämpötilan hallinnalle asuinrakennuksissa.

VTT arvioi Rakennusten jäähdytysmarkkinat -raportissaan vuonna 2015 Euroopan jäähdytysmarkkinoiden kasvavan silloisesta tasosta 330 TWh:sta 500 TWh:iin vuoteen 2030 mennessä [1]. Jäähdytystarpeen kasvuun vastaamisessa haasteena ovat Euroopan unionin tiukentuneet energiankulutuksen ja päästöjen vähennystavoitteet. Haasteita lisää myös vuoden 2015 alussa voimaan astunut F-kaasuasetus. Asetus velvoittaa EU:n jäsenvaltioita luopumaan asteittain ympäristölle haitallisten kylmäaineiden käytöstä. Näitä käyttävät myös ilmalämpöpumput, joilla nykyään asuinrakennusten jäähdytys on useimmiten ratkaistu. Tavoite on pienentää käyttöä 20 %:iin vuosien 2009–2012 tasosta vuoteen 2030 mennessä [2].

Kylmäala on haasteiden edessä tiukentuneiden päästötavoitteiden ja kasvavan jäähdytystarpeen kanssa. Asuinrakennusten energiatehokkaan ja vähäpäästöisen jäähdytysenergian potentiaalinen ja hinnaltaan kilpailukykyinen vaihtoehto on kaukojäähdytys tai sen lisänä käytettävä kiinteistöjäähdytys. Kaukojäähdytyksen ekologisuus sekä energia- ja kustannustehokkuus syntyy sen tuotantotavasta, jossa jäähdytysenergia tuotetaan keskitetysti tuotantolaitoksissa ilman ympäristölle haitallisia kylmäaineita. Yhdellä keskitetyllä tuotantolaitoksella pystytään tuottamaan kymmenien kiinteistöjen jäähdytysenergian tarve. Euroopan unioni kehottaakin energiankulutuksen ja päästöjen vähennystavoitteiden yhteydessä jäsenvaltiotaan edistämään kaukojäähdytystä. [3.]

Suomessa kaukojäähdytysenergian myynti alkoi Helsingin Energian toimesta vuonna 1998. Nykyään Suomessa on 11 kaukojäähdytysenergiaa myyvää energiayhtiötä, joiden yhteenlaskettu jäähdytysenergian myynti oli vuonna 2020 n. 290 000 MWh. Koko toimintansa ajan kaukojäähdytyksen myynti on ollut kasvussa. Pelkästään viiden viime vuoden aikana myynti on kasvanut noin 40 %.

[4.]

Tämä insinööri työ tehtiin Suunnittelutoimisto Rusttet Oy:lle. Rusttet on erikoistunut korjausrakentamisen arkkitehti-, lvi-, rakenne- ja sähkösuunnitteluun. Rusttet toimii pääasiassa pääkaupunkiseudulla, ja yrityksen työntekijöillä on yli 20 vuoden kokemus korjaushankkeiden suunnittelu-, projektijohto- ja valvonta-tehtävistä.

Energiatehokkaan ja vähäpäästöisen kauko- ja kiinteistöjäähdytyksen kysyntä on ollut viime vuosina kasvussa asuintaloyhtiöiden jäähdytysratkaisuna. Työn tavoitteena on aiheeseen liittyen ja koota tämänhetkinen tieto sekä lisätä Rusttet:n LVI-suunnittelijoiden osaamista taloyhtiöiden kauko- ja kiinteistöjäähdytysaneerauksen suunnittelussa.

Työssä käydään läpi kauko- ja kiinteistöjäähdytyksen periaatteet sekä jäähdytyksen teoria fysikaalisena ilmiönä käsittelyprosessina. Työssä esitellään Helsingin keskustassa sijaitseva saneerauskohde, johon todennäköisesti tulevaisuudessa tilataan Helen Oy:n tarjoama kiinteistöjäähdytysjärjestelmä. Tutkimusosassa käydään läpi järjestelmän toteutusta ja soveltuvuutta kyseiseen kohteeseen.

Yhtenä osiona työtä luodaan salassa pidettävä ja Rusttetin käyttöön jäävä excel-pohjainen kustannuslaskin, jonka perusteella voidaan tarjota kauko- ja kiinteistöjäähdytyksestä kiinnostuneille taloyhtiöille jäähdytysaneerauksen kustannusarvioita. Laskin tulee painottumaan aluksi Helenin kiinteistöjäähdytyksen hintaan, mutta tulevaisuudessa sitä täydennetään markkinoilla olevilla sekä muiden energiayhtiöiden tarjoamilla jäähdytysratkaisuilla. Tällöin voidaan tarjota yhtiöille kustannusvertailuja jäähdytysratkaisun valinnan avuksi.

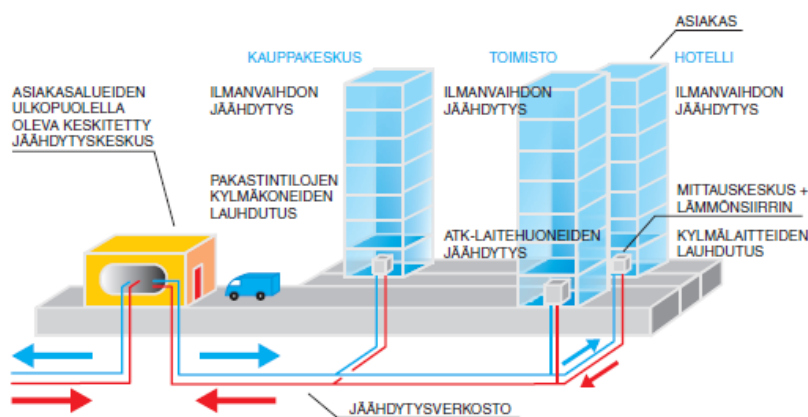
## 2 Kauko- ja kiinteistöjäähdytys

### 2.1 Kaukojäähdytys

Kaukojäähdytys on toimintaperiaatteeltaan käänteinen verrattuna kaukolämmitykseen. Kaukojäähdytyksessä siirretään kiinteistön ylimääräistä lämpöenergiaa energiatoimittajan kaukojäähdytysveteen, kun kaukolämmityksessä kiinteistöön siirretään energiaa toimittajan lämmitysvesiverkostosta. Jäähdytysenergian tuotanto tapahtuu keskitetysti tuotantolaitoksissa sitä käyttävien asiakkaiden läheisyydessä. Tuotettu jäähdytysvesi kuljetetaan energiatoimittajan putkiverkostoa pitkin verkostoon liittyneiden kiinteistöjen tarpeisiin. Tarjotakse kaukojäähdytyksen palveluita, energiatoimittaja siis tarvitsee sitä varten oman verkostonsa. [1, s. 7.]

Lämmönsiirtimen avulla kiinteistön lämpöenergia lauhdutetaan kaukojäähdytysveteen. Yleisesti kaukojäähdytysenergiaa käytetään kiinteistön ilmanvaihdon jäähdytykseen, mutta sitä voidaan käyttää myös muihinkin tarkoituksiin. Keskitetyn tuotantotavan vuoksi kaukojäähdytystä on kuitenkin saatavilla vain tiiviisti asutuilla alueilla, millä tarkoitetaan suurten kaupunkien keskusta-alueita, koska jäähdytysverkoston rakentaminen on kallista harvaan asutuille alueille. [1, s. 8.]

Kaukojäähdytyksen toimintaperiaatetta ja käyttötarkoituksia havainnollistaa kuva 1.

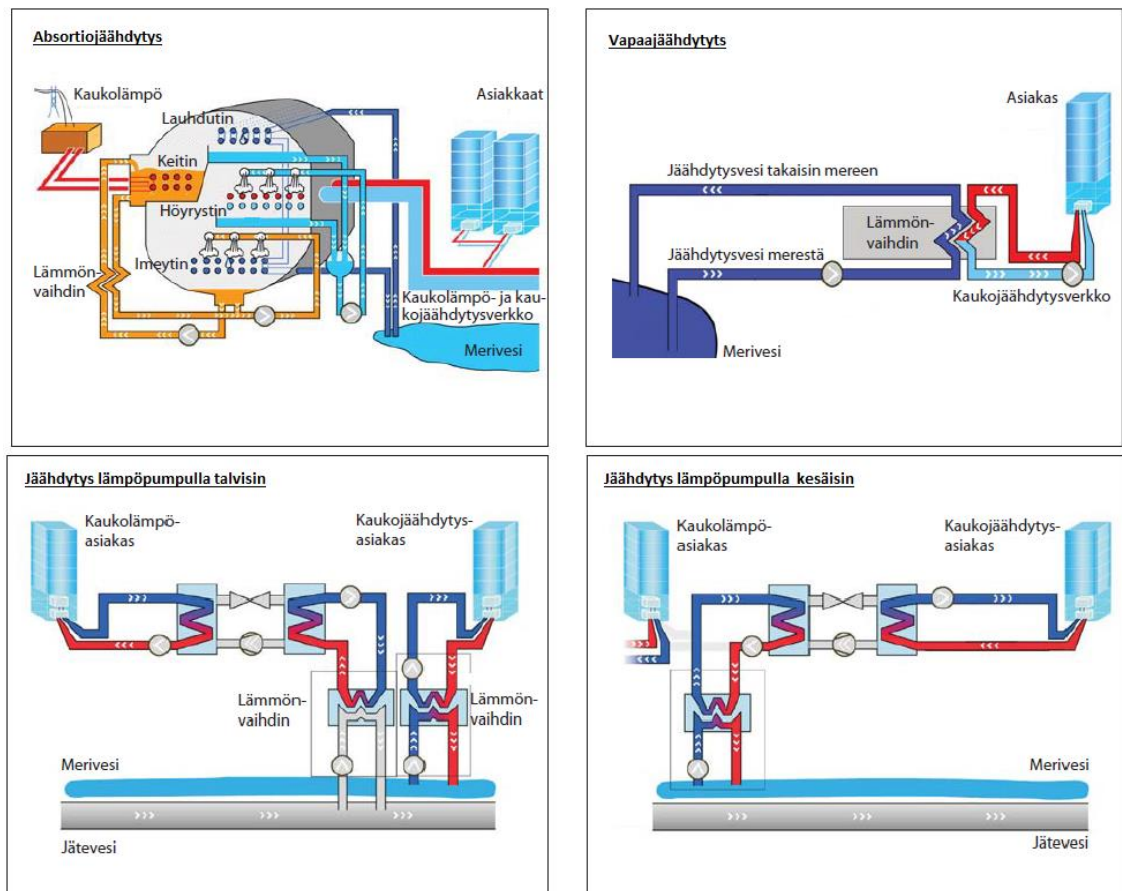


Kuva 1. Kaukojäähdytysjärjestelmän toimintaperiaate [5, s. 2].



Kaukojäähdytyksen asiakkaita voivat olla toimistot, liikekiinteistöt, myymälät ja asuinrakennukset.

Kaukojäähdytystä voidaan tuottaa useilla erilaisilla menetelmillä. Useimmiten kaukojäähdytystä kuitenkin tuotetaan vapaajäähdytyksellä, absortiojäähdytyskoneilla tai lämpöpumpputekniikalla. Tyypillisimpien tuotantotapojen toimintaperiaatteet on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Kaukojäähdytyksen tuotantotapojen toimintaperiaatteet [6, s. 2].

Vapaajäähdytysprosessi perustuu luonnon omiin energiavarastoihin, ja jäähdytysenergia tuotetaan kylmällä meri-, järvi- tai jokivedellä; näistä merivesi on käytännössä loputon jäähdytysenergian lähde noin kuuden kuukauden ajan. Vapaajäähdytysmenetelmän käyttö ja tuotanto ajoittuu lämmityskaudelle, jolloin

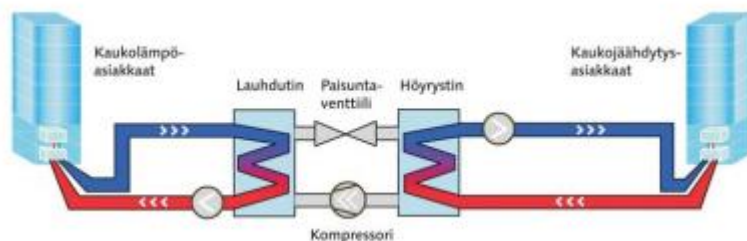
vesistöt ovat riittävän kylmiä. Järjestelmä on tekniikaltaan hyvin yksinkertainen, lämmönsiirtimen ja pumpun lisäksi ei tarvita muita laitteita. [5, s. 2.]

Vesistöjen lämmentyä keväällä vapaajäähdytyksen sijaan kesäisin kaukojäähdytystä voidaan tuottaa absorptiojäähdyttimillä. Menetelmä perustuu CHP-voimalaitoksiin (combined heat and power), joissa yhdistetyn sähkön ja lämmön tuotantolaitosten hukkalämmöllä tuotetaan jäähdytysenergiaa absorptiotekniikalla. Hukkalämpö täytyisi muuten lauhduttaa vesistöissä, kun sillä ei ole kesäisin käyttöä kaukolämpöenergiana. [5, s. 3.]

Lämpöpumpuilla voidaan tuottaa kaukojäähdytystä kesäisin ja talvisin. Prosessissa tuotetaan lämpöpumppulaitoksissa kaukolämpöä ja -jäähdytystä puhdistetun jäteveden ja kaukojäähdytyksen paluuveden sisältämää lämpöenergiaa hyödyntäen. Lämpöpumppujen kaukokylmän tuotannon apuna voidaan käyttää maanalaisia vesiakkuja, joihin voidaan varastoida isoja määriä kylmää vettä. Akuilla pystytään tasaamaan kesäiltapäivien jäähdytysenergian huipputehon tarpeita. [5, s. 3]

## 2.2 Kiinteistöjäähdytys

Kiinteistöjäähdytyksellä tarkoitetaan yhdistettyä jäähdytyksen ja lämmityksen tuotantoa. Menetelmässä asiakkaan kiinteistöön asennetaan CHC-lämpöpumppu (combined heating and cooling), joka kytketään kiinteistön kaukolämmitysverkkoon sekä jäähdytysverkkoon. Prosessissa lämpöpumpulla kerätään jäähdytysverkostosta kiinteistön ylimääräinen lämpöenergia ja lauhdutetaan eteenpäin uusiutuvaksi lämpöenergiaksi kaukolämmitysverkostoon. [7, s. 4.], Kiinteistöjäähdytyksen toimintaperiaate on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Kiinteistöjäähdytyksen toimintaperiaate [3, s. 3].

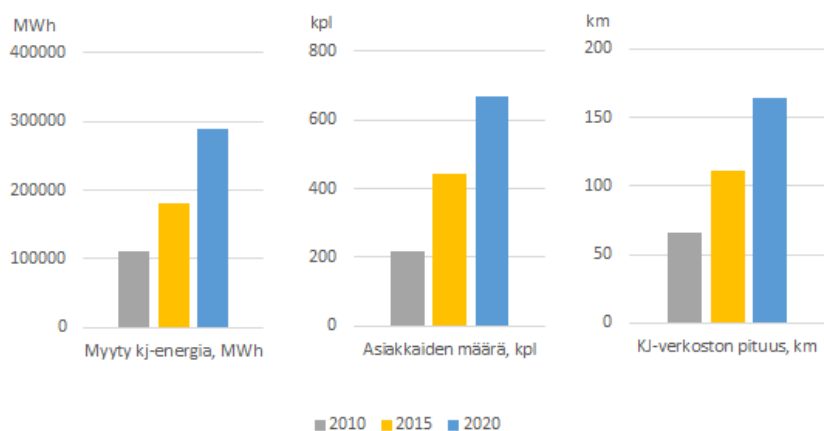
Läpi vuoden kaupungeissa tulee aina tilanteita, jolloin tarvitaan sekä lämmitystä että jäähdytystä. Tähän CHC-lämpöpumpuilla tuotettu jäähdytys ja lämmitys on taloudellinen ja ympäristöystävällinen vaihtoehto [7, s. 4]. Lämpöpumpun rakenteilla ja kytkentäratkaisuilla voidaan vaikuttaa jäähdytysenergian tuottamisessa syntyvän hukkalämmön lauhdutuslämpötilaan eli kaukolämpöverkkoon lauhdutettavan menoveden lämpötilaan. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että kiinteistön lämpöpumppuun voidaan asentaa useampi kompressori sarjaan, jolloin kaukolämpöveden lämpötila saadaan jopa 120 °C:n lämpöiseksi. Etuna prosessissa on, että jäähdytysenergian tuottamisessa syntyvä hukkalämpö saadaan kerättyä kaukolämpöverkkoon vähäisillä päästöillä ja kohtuullisen hyvällä hyötysuhteella.

Kaukojäähdytykseen verrattuna kiinteistöjäähdytystä voidaan toimittaa myös harvaan asutuille alueille, joissa liittyminen kaukojäähdytysverkkoon ei ole mahdollista. Järjestelmän toteuttaminen edellyttää kuitenkin, että kiinteistö on myös kiinteistöjäähdytystä toimittavan energiayhtiön kaukolämpöasiakas. [7, s. 4.]

### 2.3 Kaukojäähdytys Suomessa

Kaukojäähdytystoiminnan Suomessa aloitti Helsingin energia (nyk. Helen Oy) vuonna 1998. Vuosien mittaan verkostoja on rakennettu muihin Suomen suurimpiin kaupunkeihin, ja tällä hetkellä Suomessa on 11 jäähdytystä myyvää energiayhtiötä. Viimeisimpänä myynnin aloitti vuonna 2018 Etelä-Savon Energia Oy Mikkelissä. Suomen kaukojäähdytyksen myynti on ollut koko ajan

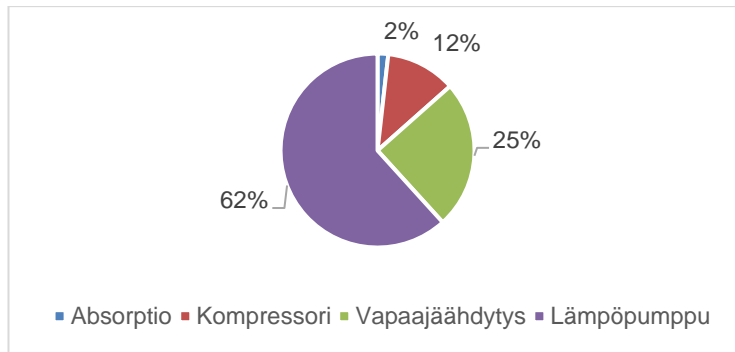
kasvussa sen yli 20-vuotisen historian aikana. [4.]. Kasvu on painottunut viimeisen 10 vuoden ajanjaksolle, mikä voidaan havaita kuvasta 4.



Kuva 4. Vuosien 2010, 2015 ja 2020 kaukojäähdytysenergian myynti sekä verkostojen asiakasmäärät ja pituudet.

Kuvasta 4 voidaan havaita, että viimeisten 10 vuoden aikana kaukojäähdytysenergian myynti on kolminkertaistunut samassa tahdissa verkostoihin liittyneiden asiakkaiden määrän sekä verkostojen yhteenlasketun pituuden kanssa.

Vuonna 2020 kaukojäähdytysenergiaa myytiin noin 288 000 MWh. Verkostojen pituus oli noin 165 kilometriä, ja verkostoihin liittyneitä asiakkaita oli 669 kpl. Jäähdytysenergiaa käytti 809 rakennusta yhteensä noin 410 MW:n sopimusteholla. Kaukojäähdytysenergiaa tuotettiin Suomessa absorptio, lämpöpumppu, kompressori ja vapaajäähdytys menetelmillä, joista lämpöpumppujen käyttö kattoi suurimman osan tuotannosta (n. 178 000 MWh). [4]. Kuvassa 5 on esitetty eri menetelmien prosenttiosuudet yhteenlasketusta tuotannosta.



Kuva 5. Suomessa tuotetun kaukojäähdytysenergian tuotantotapojen osuudet koko tuotannosta.

## 2.4 Helen Oy:n tarjoama jäähdytys Helsingissä

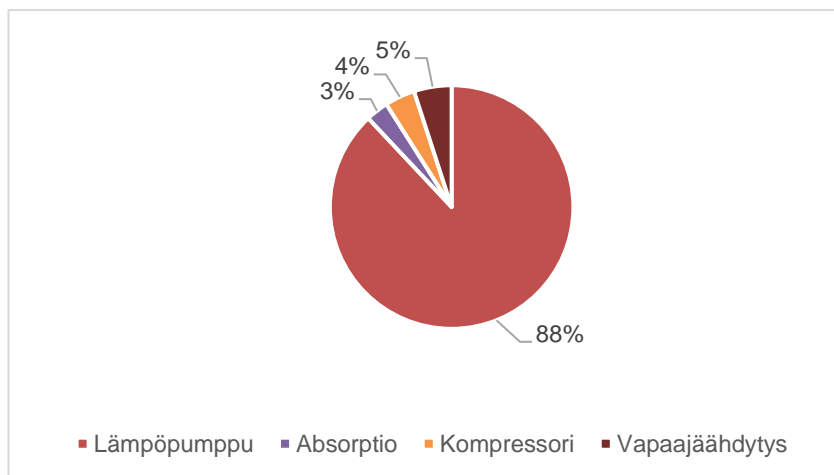
Helen Oy on Suomen suurin kaukojäähdytystä tarjoava energiayhtiö. Helenin kaukojäähdytysverkosto on myös Euroopan kolmanneksi suurin Tukholman ja Pariisin jälkeen. Vuonna 2020 verkosto oli pituudeltaan noin 90 kilometriä. Verkkoon liittyneitä asiakkaita oli 457 kpl, ja jäähdytystä toimitettiin 562 rakennukseen yhteensä noin 276 MW:n sopimusteholla. [4]. Helenin kaukojäähdytystä on tällä hetkellä saatavilla kantakaupungin alueella (kuvassa 6 tummansinisellä).



Kuva 6. Helen Oy:n kauko- ja kiinteistöjäähdytyksen toimitusalueet Helsingissä [8].

Kaukojäähdytyksen lisänä Helen aloitti noin neljä vuotta sitten kiinteistöjäähdytysjärjestelmien toimittamisen [9]. Kiinteistöjäähdytyksen avulla Helen pystyy myymään jäähdytysenergiaa koko kaukolämpöverkon alueella, mikä kattaa käytännössä Helsingin alueen kiinteistöt [7, s. 4]. Alue näkyy kuvassa 6 vaaleansinisenä.

Vuonna 2020 Helenin jäähdytysenergian myynti oli yhteensä noin 171 000 MWh, mikä kattoi noin 60 % koko Suomen myynnistä. Jäähdytysenergian tuotannossa Helen käyttää absorptio-, lämpöpumppu-, kompressio- ja vapaajäähdytysmenetelmiä. [4]. Kuvassa 7 on esitetty eri menetelmien prosenttiosuudet yhteenlasketusta tuotannosta.



Kuva 7. Helen Oy:n kauko- ja kiinteistöjäähdytyksen tuotantotapojen osuudet koko tuotannosta.

Myydystä jäähdytysenergiasta prosentuaalisesti eniten oli tuotettu lämpöpumpulaitoksilla, joiden yhteenlaskettu tuotanto oli yhteensä noin 150 000 MWh [4].

Suomen ilmastoskenaarioiden mukaan vuonna 2050 rakennusten lämmitystarve laskee 17 % ja jäähdytystarve nousee 35 % nykyisestä tilanteesta. Muutokseen sekä EU:n energiankulutuksen päästötavoitteisiin vastatakseen Helen Oy on asettanut tavoitteekseen saavuttaa hiilineutraali energiantuotanto vuoteen 2035 mennessä. Välietappina Helenin tavoite on vähentää energiantuotannon hiilidioksidipäästöjä 40 % vuoden 1990 tasosta, lisätä uusiutuvan energian osuutta

25 %:lla sekä puolittaa kivihiilen käyttö vuoteen 2025 mennessä. Kivihiilestä Helen luopuu vuoteen 2029 mennessä. Kehitysohjelman tavoitteiden saavuttamiseksi kauko- ja kiinteistöjäähdytyksellä ja erityisesti lämpöpumppujärjestelmillä on lisääntyvä merkitys tulevaisuudessa, sillä järjestelmillä pystytään hyötykäyttämään kiinteistöjen hukkalämpöä uusiutuvana lämpöenergiana erittäin taloudellisesti ja ekologisesti. Helen ilmoittaa käyttävänsä lämpöpuissaan yli 80-prosenttisesti energianlähteitä, jotka muuten jäisivät hyödyntämättä. [10]

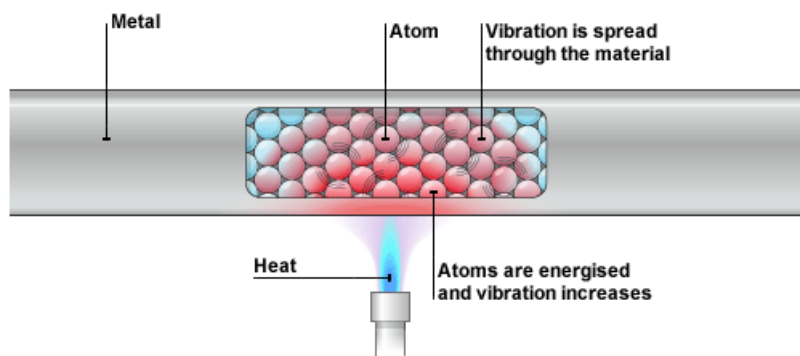
Kaukojäähdytysverkoston laajentumisen yhteydessä Helen pyrkii koko ajan laajentamaan ja lisäämään lämpöpumppulaitoksiaan sekä rakentamaan uusia laitoja. Muun muassa Katri Valan laitos on laajentunut tämän keväällä 2021, ja Vuosaaren lämpölaitos valmistuu vuonna 2022. [10]

### **3 Jäähdytyksen teoria fysikaalisena ilmiönä**

Jäähdytys on yksinkertaisimmillaan lämpöenergian sitoutumista kosteuteen ja sen myötä tapahtuvaa haihtumista. Tämän voi tuntea esimerkiksi kostean ihon kuivuessa. [11.]. Muita jäähdytyksen muotoja ovat lämpöenergian siirtäminen johtumisen, konvektion tai säteilyn avulla.

#### **3.1 Johtuminen**

Johtumisella eli konduktiolla tarkoitetaan aineessa sisäisesti tapahtuvaa lämpöenergian virtausta. Lämpöenergia varastoituu aineen molekyyliin ja aiheuttaa niissä liikettä. Liike-energia siirtyy molekyylien välisten voimien tai törmäilyjen välityksellä. Lämpöenergiaa siirtyy ainoastaan aineen lämpötilaerojen takia, ja erot pyrkivät tasoittumaan. [12, s. 35.] Kuva 8 havainnollistaa metallissa tapahtuvaa johtumista.



Kuva 8. Lämmön johtuminen metallissa [13].

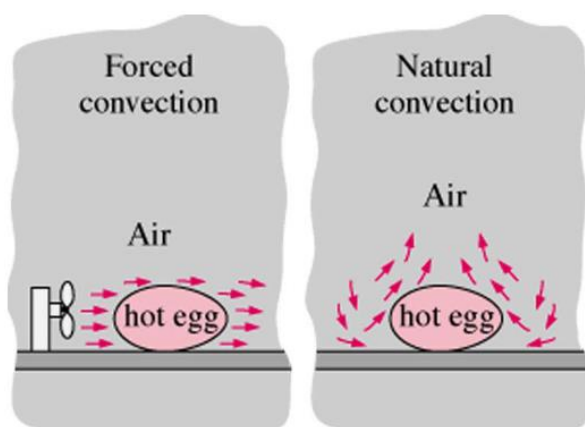
Jäähdytysjärjestelmissä tapahtuu aina johtumista. Esimerkiksi jäähdytyspatterin metalliselta pinnalta lämpöenergia johtuu patterin läpi sisäpinnalle, josta konvektiolla lämpö sekoittuu eteenpäin patterin sisällä kiertävään veteen.

### 3.2 Konvektio

Konvektiolla tarkoitetaan lämmönsiirtoa nesteen tai kaasun virtausten avulla. Jos kiinteän pinnan ja sen ohi virtaavan aineen välillä on lämpötilaero, lämpö siirtyy joko pintaan tai siitä pois. Kiinteälle pinnalle muodostuu rajakerros, jossa virtaavan aineen nopeus ja lämpötila ero pinnan kanssa laskevat nollaan. Konvektiovirtaukset syntyvät paine-eroista, ja konvektio voi olla luonnollista tai pakotettua (kuva 9). [12, s. 37–38.]

Luonnollinen konvektio syntyy painovoiman aiheuttamasta paine-erosta. Kuvassa 9 näkyy, miten kuuman kananmunan pinnan lähellä oleva ilma lämpenee. Lämmenneestä ilmasta tulee kevyempää sitä ympäröivään viileämpään ilmaan verrattuna. Tiheys eron takia syntyy paine-ero ja virtaus pintaa pitkin ylös ja alas. [12, s. 37–38.]





Kuva 9. Luonnollisen ja pakotetun konvektion periaatekuva [14].

Pakotetussa konvektiossa virtaus ja paine-ero synnytetään ulkoisella lähteellä, jolloin painovoiman aiheuttamilla ja tiheyseroista johtuvilla virtauksilla ei ole merkitystä [12, s. 37–38]. Pakotettu konvektio voidaan synnyttää esimerkiksi puhaltimella kuten kuvassa 9. Puhaltimella säädetään ilmavirtausta ja paine-eroa kananmunan kuumen pinnan ohitse. Ilmavirtaus imaisee paine-eron takia kananmunan pinnan rajakerroksessa lämmennytä ilmaa mukaansa, jolloin ilma sekoittuu ja lämpenee. Pakotettua konvektiota käytetään paljon hyödyksi rakennusten jäähdytyksessä, jolloin ilma jäähdytetään virtauksilla jäähdytyspatterin lävitse.

### 3.3 Säteily

Säteily on lämpöenergian siirtymistä sähkömagneettisten aaltojen muodossa. Lämpösäteily ei tarvitse välittäjäaineita edetäkseen, ja se etenee aina lämpimästä viileämpään. Teoreettisesti kaikki kappaleet, joiden lämpötila on absoluuttista nollapistettä korkeampi lähettävät lämpösäteilyä ympäristöönsä. Säteilevän lämpöenergian voimakkuuteen vaikuttavat kappaleen koko, sijainti sekä lämpötilaero ympäristöön nähden. Lisäksi voimakkuuteen vaikuttaa kappaleen ominaisuudet luovuttaa ja vastaanottaa lämpöä, jolloin käytetään termejä emissio- ja absorptioarvo. [12, s. 39–40.]

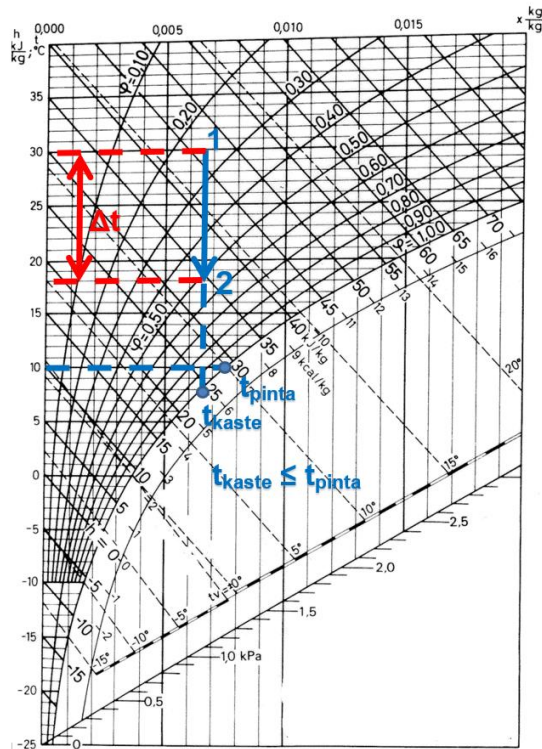
Jäähdytyksessä säteilyä käytetään hyödyksi säteilypaneeleissa, joiden toiminta perustuu niiden kykyyn vastaanottaa säteilevää lämpöenergiaa. Säteilypaneeli ei siis säteile viileää jäähdytettävään tilaan, vaan tilan pintojen lämpö säteilee kohti paneelia, jolloin ilma viilenee paneelin absorptoidessa ilmasta pintojen lähettämää lämpösäteilyä.

## 4 Jäähdytys ilmaprosessina

Jäähdytysjärjestelmissä tapahtuva ilmaprosessi on joko kuiva- tai märkäjäähdytystä.

### 4.1 Kuivajäähdytys

Kuivajäähdytykseksi kutsutaan prosessia, jossa jäähdytettävän ilman kastepistelämpötila on aina pienempi kuin sitä jäähdyttävän patterin pintalämpötila. Tällöin järjestelmässä ei tapahdu kondensoitumista, eli ilman sisältämä vesihöyry ei tiivisty jäähdytyspatterin pinnalle. Kun kondensoitumista ei tapahdu, jäähdytettävän tilan ilman suhteellista kosteusta kasvaa, koska tilan ilman absoluuttinen kosteus säilyy vakiona lämpötilan laskiessa. Kostean ilman Mollier ( $h, x$ ) -diagrammissa tarkasteltuna kuiva jäähdytysprosessi etenee pystysuoralla linjalla kohti ilman kastepistelämpötilaa (kuva 10). [15, s. 131–133.]



Kuva 10. Kuivajähdytysprosessi, kun patterin pintalämpötila on korkeampi kuin ilman kastepistelämpötila

Kuivajähdytysjärjestelmillä ei päästä kovinkaan suuriin jäähdytystehoihin, ja siksi se tuntuu myös yleensä enemmän viilennyksenä kuin jäähdytyksenä. Jäähdytystehon suuruus voidaan aina laskea kaavalla 1, kun ilman absoluuttinen kosteus säilyy vakiona.

$$\phi = q_{mi} * c_{pi} * \Delta T \quad (1)$$

$\phi$  on jäähdytysteho [kW]

$q_{mi}$  on ilman massavirta [kg/s]

$c_{pi}$  on ilman ominaislämpökapasiteetti [kJ/kgK]

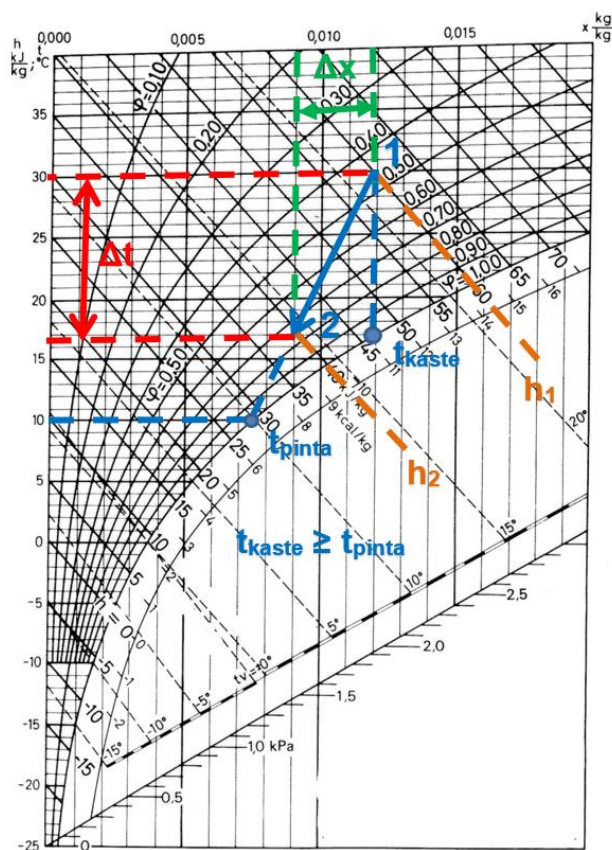
$\Delta T$  on ilman lämpötilan muutos [°C]

Kuivajähdytykseen perustuviin järjestelmiin ei tarvitse suunnitella erillistä kondenssiviemäriä eikä järjestelmän putkistoakaan aina tarvitse eristää. Eristämätön järjestelmä tulee kuitenkin olla huolellisesti suunniteltu, jotta verkosto ei

pääse mistään kohtaa olemaan lämpötilaltaan ilman kastepistelämpötilaa alhaisempi. Tällöin verkoston putkien pinnoille kondensoitua vesi voi kulkeutua rakenteisiin aiheuttaen vesivahingon.

## 4.2 Märkäjähdytys

Märkäjähdytysprosessissa ilman jäähtymisen lisäksi ilma myös kuivuu eli ilman sisältämä vesihöyry kondensoituu jäähdytyspatterin pinnalle. Märkäjähdytyksessä jäähdytyspatterin pintalämpötila on matalampi kuin sen läpi virtaavan ilman kastepistelämpötila. Mollier-diagrammissa tarkasteltuna jäähdytysprosessi etenee suoraan kyllästyskäyrälle piirrettyä jäähdytyspatterin pintalämpötilaa kohti (kuva 11). [15, s. 131–133.]



Kuva 11. Märkäjähdytysprosessi, kun patterin pintalämpötila on vakio ja matalampi kuin ilman kastepistelämpötila.

Märkäjäähdytysjärjestelmillä päästään kuivajäähdytysjärjestelmiä suurempiin jäähdytystehoihin. Tehon laskennassa täytyy kuitenkin ottaa huomioon ilman entalpian muutos, koska ilma absoluuttinen kosteus ei säily vakiona. Jäähdytysteho voidaan laskea kaavalla 2.

$$\phi = q_{mi} * (h_1 - h_2) \quad (2)$$

$\phi$	on jäähdytysteho [kW]
$q_{mi}$	on ilman massavirta [kg/s]
$h_1$	on jäähdytettävän ilman entalpia ennen patteria [kJ/kg]
$h_2$	on jäähtyneen ilman entalpia patterin jälkeen [kJ/kg]

Märkäjäähdytysjärjestelmän putkiverkoston tulee aina olla eristetty sekä pääte-laitteille tulee aina suunnitella kondenssiviemärointi, jotta kondensoituva vesi ei pääse aiheuttamaan vesivahinkoa. Märkäjäähdytys koetaan yleensä myös miellyttävämmäksi kuin kuivajäähdytys, sen ilmaa kuivaavan ominaisuuden vuoksi.

## 5 Tilojen jäähdytys

Kauko- ja kiinteistöjäähdytysjärjestelmissä rakennuksen tilojen jäähdyttäviksi päätelaitteiksi voidaan valita

- kattosäteilijät ja jäähdytyspalkit
- lattiaviilennys
- tuloilman jäähdytys
- puhallinkonvektorit (asennettuna kattoon, seinälle tai lattiaan).



kuitenkin edelleen alkuperäinen painovoimaisesti toimiva ilmanvaihto tai myöhemmin yleistynyt koneellinen poistoilmanvaihto. Näissä järjestelmissä tuloilmavirta on yleisesti järjestetty raitisilmaventtiilien tai ikkunaventtiilien kautta suoraan ulkoilmasta, jolloin jäähdytyspatterin asentaminen on mahdotonta. Tästä syystä tuloilman jäähdytys vaatisi usein myös ilmanvaihtojärjestelmän uusimisen asuinkerrostalon jäähdytysaneerauksen yhteydessä. Taloyhtiöt eivät kuitenkaan aina ryhdy uusimaan ilmanvaihtojärjestelmiään. Syynä voi olla kustannuksissa säästäminen tai tilan puute, jonka uusi järjestelmä vaatisi. Mikäli tuloilman jäähdytys on kuitenkin toteutettavissa, saatava jäähdytystehon on yleensä maltillinen asuinhuoneistojen pienistä tuloilmavirtauksista johtuen. Tuloilmavirtausten nostaminen jäähdytystehon lisäämiseksi voi aiheuttaa epämiellyttävää vedontunnetta sekä veden kondensoitumisen riskiä kanavissa ja venttiileissä. Jäähdytyksen tukena käytetään yleensä kuivajäähdytysjärjestelmiä riittävän jäähdytystehon saamiseksi.

Jäähdytyksen toteuttaminen kattosäteilijöillä ei ole järkevää, koska kattosäteilijöiden toiminta perustuu kuivajäähdytykseen. Riittävän jäähdytystehon synnyttämiseksi päätelaitteita tarvitaan usein paljon, ja ne vaativat paljon kattopinta-alaa, jolloin huoneistojen koko voi olla rajoittava tekijä. Lisäksi saneerauskohteissa ilman kosteusolosuhteet ovat yleensä hallitsemattomia, jolloin kuivajäähdytyksen toteuttaminen on haastavaa, kun järjestelmä tarvitsisi tarkkaa kastepisteautomaatiikkaa. Kattosäteilijät soveltuvat siksi paremmin kauko- ja kiinteistöjäähdytysratkaisuksi esimerkiksi toimistokiinteistöihin tai isoihin teollisuuden konesaleihin, joissa ei yleensä tule tilaongelmia.

Lattiaviilennyskään ei yleensä sovellu saneerauskohteisiin. Lattiaviilennyksessä asennetaan jäähdytysputkisto lattian sisään, jolloin lattian avaaminen on työlästä ja kallista. Lattiaviilennyksen toteuttaminen soveltuu paremmin uudiskohteisiin, jolloin putkisto voidaan asentaa rakennusvaiheessa lattian sisään kustannustehokkaasti.

## 6 Jäähdytystehon tarve

### 6.1 Sisäilmasto ja jäähdytyksen tavoite

Sisäilmasto on sisäympäristötekijöiden muodostama kokonaisuus, joka vaikuttaa rakennuksen käyttäjän viihtyvyyteen ja terveyteen. Sisäilmasto voidaan jakaa kahteen pääosa-alueeseen: rakennuksen sisäilman laatuun sekä lämpöolosuhteisiin. Lämpöolosuhteet muodostuvat sisäilman ja huoneen pintojen lämpötiloista, ilman liikkeestä, sisäilman kosteudesta ja lämpötilan vaihtelusta. Sisäilma eli rakennuksen sisäinen ilma muodostuu ilmanvaihtojärjestelmän ja rakenteiden rakojen kautta tulevasta ulkoilmasta. Sisäilman laatuun vaikuttavat ulkoilman sekä rakennuksen käyttäjien peräiset epäpuhtaudet. [17.]

Sisäilmaston aistiminen ja sen vaikutus terveyteen ovat käyttäjäkohtaisia. Sisäilman lämpötilaolosuhteilla on kuitenkin suurin vaikutus sisäilman kokemisessa miellyttävänä ja viihtyisänä. Liian korkea tai alhainen sisäilman lämpötila vaikuttaa terveyteen, suorituskykyyn ja työtehokkuuteen. Sisäilmastotutkimukset ovat osoittaneet, että lämpötilan kohotessa yli 25 °C:n ihmisen tuottavuus laskee noin 2 % astetta kohden ja noin 4 % astetta kohden lämpötilan laskiessa alle 21 °C:n. Sisäilman neutraalina lämpötilana voidaan pitää 21–25 °C:ta. [18.]

Jäähdyttämättömät asuinrakennukset yllilämpenevät kesäisin Suomessa ja sisälämpötilat nousevat helposti yli 25 °C:n. Pitkittyneet hellejaksot voivat nostaa sisälämpötilat yli 30 °C:n. Yllilämpeneminen ja sisäilmastotietoisuus ovat lisänneet vanhojen taloyhtiöiden halukkuutta ryhtyä jäähdytyssaneeraukseen, jolloin miellyttävät ja neutraalit lämpöolosuhteet tavoitetaan myös kesäisin.

### 6.2 Jäähdytystarpeen mitoitukseen vaikuttavat tekijät

Suomen pohjoisen sijainnin vuoksi jäähdytyskausi on huomattavasti lyhyempi verrattuna lämmityskauteen, joten jäähdytyksen tarve on myös paljon vähäisempää. Tästä syystä Suomen rakentamismääräykset eivät pakota taloyhtiöitä



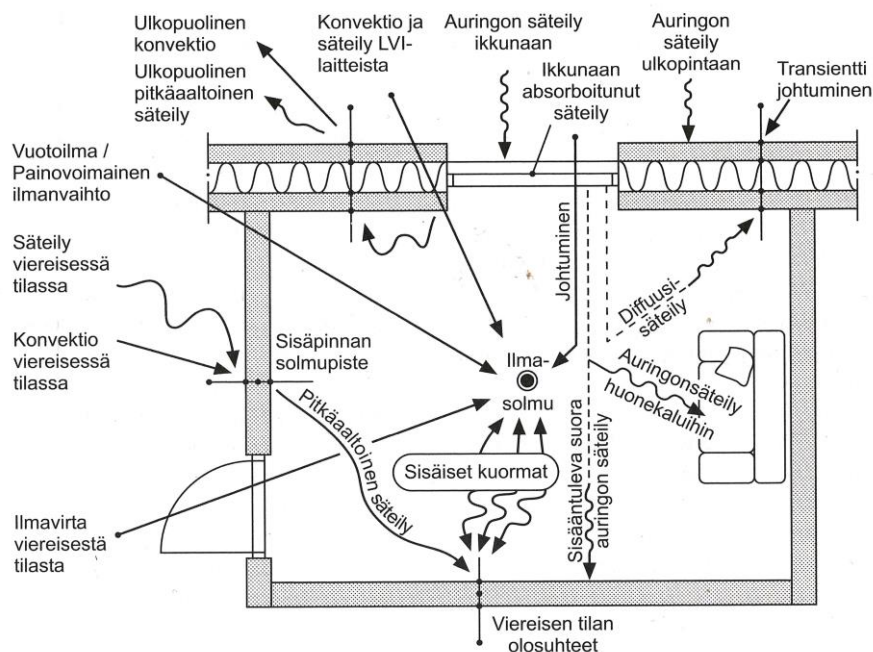
jäähdytysaneeraukseen. Jäähdytysaneeraus johtuukin yleisesti siihen ryhtyvän halusta. Tällöin ei ole myöskään olemassa vastaavanlaisia selkeitä mitoittavia sääolosuhteita rakennuksen jäähdytystehontarpeen laskemiselle, kuin lämmitystehon laskemiselle. Saneerattavien asuinrakennusten jäähdytystarpeen määrittämisessä voidaan kuitenkin tukeutua ympäristöministeriön asetukseen uuden rakennuksen energiatehokkuudesta (1010/2017). Asetuksessa asuinrakennuksen huoneen kesäaikainen lämpötila ei saa ylittää 27 °C:ta enemmän kuin 150 astetuntia kesäkuun 1. päivän ja elokuun 31 [19]. päivän välisenä aikana. Astetunnilla tarkoitetaan tietyn lämpötilan ja ajan tuloa. Esimerkiksi huoneen lämpötila on kolmen tunnin ajan kolme astetta lämpimämpi kuin sallittu lämpötilan raja-arvo, jolloin astetunteina se on 9 (°Ch). Kesäajan mitoittavina ulkoilman sääolosuhteina voidaan käyttää ympäristöministeriön asetuksen uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta (1009/2017) liitteessä 1 esitettyjä sää-tietoja [20].

Selkeiden määräysten puuttuessa jäähdytysaneeraukseen ryhtyvän kiinteistön ja suunnittelijan tulee sopia jo saneerauksen suunnitteluvaiheessa tavoiteltavien sisäolosuhteiden lisäksi myös mitoituksessa käytettävistä ulko-olosuhteista [15, s. 440]. Asetusten mukainen jäähdytyksen raja-arvo 27 °C ei yleisesti ole lämpötila, johon jäähdytyksellä pyritään. Tavoiteltavana sisälämpötilana voidaan pitää kesällä neutraalin asteikon ylärajaa n. 24–25 °C. Tätä alempien lämpötilojen tavoittelu lisää järjestelmän turhaa energiankulutusta sekä sillä voi olla kielteisiä viihtyvyys- ja terveysvaikutuksia [11, s.46].

Mitoittavat ulkoilman sääolosuhteet ja tavoiteltava sisälämpötila eivät kuitenkaan riitä rakennuksen jäähdytystehontarpeen määrittämiseksi, koska jäähdytystehoa mitoittavat sääolosuhteet muodostuvat ulkolämpötilan ja auringon säteilyn yhdistelmästä. Tätä varten tarvitaan tuntikohtaista tietoa mitoituspäivän lämpötilan vaihtelusta, auringon säteilystä ja sijainnista. Lisäksi tarvitaan tietoa rakennuksen sisäisistä lämpökuormista, ilmanvaihdosta sekä rakennuksen suuntauksesta, massiivisuudesta ja ikkunoiden pinta-alasta riippuvista auringon säteilyn lämpökuormista. [15, s. 440.]

Auringon säteilyllä ja etenkin ikkunoiden läpi kulkeutuvalla säteilyllä on suurin vaikutus jäähdytystehontarpeen mitoituksessa. Auringon säteilystä aiheutuvien lämpökuormien voimakkuuteen vaikuttavat rakennuksen ympäristön aiheuttamat varjostukset, kuten puut ja muut rakennukset, sälekaihtimet sekä mahdolliset aurinkosuojaukset ikkunoissa. Lisäksi rakennuksen rakenteiden massiivisuudella on suuri vaikutus jäähdytystarpeeseen. Auringon lämpösäteilyä varaaavat isot massat jakavat lämpökuorman vaikutuksen pidemmälle aikavälille.

Rakennuksen jäähdytystehontarvetta määriteltäessä onkin hyvä ymmärtää, mitä tarkoittaa huoneen lämpötase. Lämpötaseella tarkoitetaan kaikkien huoneeseen tulevien ja poistuvien, sekä huoneessa syntyvien lämpökuormien laskeutuvien erittelyä. Huoneen lämpötase on esitetty kuvassa 13. Lämpötase muodostaa jokaiseen rakennuksen yksittäiseen huoneeseen tilakohtaiset jäähdytystehontarpeen mitoitusolosuhteet. Tästä syystä rakennuksen jäähdytystehontarpeen tarkka laskenta on myös paljon monimutkaisempaa kuin lämmitystehontarpeen laskenta, jossa koko rakennuksen oletetaan olevan vakioituissa mitoitusolosuhteissa. [15, s. 420]



Kuva 13. Huoneen lämpötaseeseen vaikuttavia tekijöitä [15, s. 420].

### 6.3 Jäähdytystarpeen laskenta

Jäähdytystehon tarve voidaan laskea käsin, dynaamisilla energiansimulointiohjelmistoilla tai kokemusperäisillä arvoilla

#### 6.3.1 Käsinlaskenta

Tarkka käsinlaskenta on todella työlästä ja haastavaa. Käsinlaskenta vaatii kaikkien lämpötaseeseen vaikuttavien tekijöiden tuntemusta (kuva 13). Etenkin auringon säteilyn aiheuttamissa lämpökuormissa täytyy ottaa huomioon monta tekijää, kuten auringon asema ja säteilykulma sekä rakennusta ympäröivät säteilyä varjostavat tekijät. Rakenteisiin varastoituva lämmön laskenta vaatii myös rakenteiden tarkkaa tuntemusta. Tarkassa käsinlaskennassa tulee helposti virheitä. Etenkin vanhojen rakennusten jäähdytystarpeen laskennassa virheiden mahdollisuus korostuu, jos rakennuksen rakenteista ei ole tarkkaa tietoa ja varastoituvan lämmön vaikutusta on vaikea laskea. Näistä syistä laskenta voidaan tehdä yksinkertaistetusti ja hetkellisesti kaavalla 3, jolloin päästään riittävän tarkkoihin hetkellisiin huipputehontarpeen arvoihin [21]. Laskennassa otetaan huomioon pelkästään ikkunan kautta huoneeseen tuleva auringon säteilykuorma. Rakenteiden läpi huoneeseen kulkeutuvat lämpökuormat jätetään huomioimatta.

$$\phi_{j\ddot{a}äh} = \Sigma(\phi_{hl\ddot{o}} + \phi_{lait} + \phi_{aur}) \quad (3)$$

$\phi_{j\ddot{a}äh}$  on jäähdytystehon tarve [W]

$\phi_{hl\ddot{o}}$  on lämpöteho ihmisistä [W]

$\phi_{lait}$  on lämpöteho kuluttajalaitteista ja valaistuksesta [W]

$\phi_{aur}$  on auringon säteilyn lämpöteho [W]

Ihmisistä, sähkölaitteista ja valaistuksesta aiheutuvien lämpökuormien laskennan apuna voidaan käyttää ympäristöministeriön asetuksessa (1010/2017) esitettyjä rakennuksen standardikäytön mukaisia arvoja, jotka on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Sisäiset lämpökuormat lämmitettyä nettoalaa kohti rakennuksen standardikaytöllä. Taulukossa asuinkerrostalot kuuluvat luokkaan 2 ja toimisto- ja liiketilat luokkaan 3. [19.]

Käyttö- tarkoitus- luokka	Kellonaika	Käyttöaika		Käyttöaste -	Sisäinen lämpökuorma lämmitettyä nettoalaa kohti		
		Vuorokautinen h/24h	Viikoittainen d/7d		Valaistus W/m <sup>2</sup>	Kuluttaja-laitteet W/m <sup>2</sup>	Ihmiset W/m <sup>2</sup>
Luokka 1)	00:00–24:00	24	7	valaistus 0,1 muut 0,6	6	3	2
Luokka 2)	00:00–24:00	24	7	valaistus 0,1 muut 0,6	9	4	3
Luokka 3)	07:00–18:00	11	5	0,65	10	12	5
Luokka 4)	08:00–21:00	13	6	1	19	1	2
Luokka 5)	00:00–24:00	24	7	0,3	11	4	4
Luokka 6)	08:00–16:00	8	5	0,6	14	8	14
Luokka 7)	08:00–22:00	14	7	0,5	10	0	5
Luokka 8)	00:00–24:00	24	7	0,6	7	9	8

Auringon hetkellisen sisälle tulevan säteilyn aiheuttama lämpökuorma voidaan laskea kaavalla 4.

$$\phi_{aur} = a * g * f * A * I \quad (4)$$

- $a$  on auringon säteilykulmasta riippuva kerroin  
 $g$  on ikkunan auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin  
 $f$  on ikkunan suojauskerroin  
 $A$  on ikkunan auringonpaisteisen osan pinta-ala [m<sup>2</sup>]  
 $I$  on auringon säteilyteho ikkunaan [W/m<sup>2</sup>]

### 6.3.2 Dynaamiset energiansimulointiohjelmistot

Kun rakennukseen asennetaan jäähdytysjärjestelmä, se vaikuttaa rakennuksen E-lukuun ja tämä täytyy ottaa huomioon rakennuksen energiatodistuksessa.

Ympäristöministeriön asetuksessa rakennuksen energiatodistuksesta ohjeistetaan jäähdytyksestä seuraavasti:

Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus sisältyy rakennuksen laskennalliseen ostoenergiankulutukseen vain, jos rakennuksen sisälämpötilojen hallinta edellyttää jäähdytysjärjestelmää.

Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus koostuu jäähdytysenergian tuoton energiankulutuksesta ja apulaitteiden sähkönkulutuksesta. [22, s. 17.]

Rakennuksen jäähdytysjärjestelmän nettotarve, eli tilojen ja ilmanvaihdon jäähdytysenergian nettotarve, lasketaan energiatehokkuusasetuksen mukaisella vakioidullakäytöllä ja vaatimukset täyttävällä dynaamisella ohjelmistolla. [22, s. 18.]

Tämä tarkoittaa sitä, että saneerauskohteille simulointia ei ole pakko tehdä. Suomen rakentamismääräykset eivät edellytä olemassa olevien rakennusten sisälämpötilojen hallintaa jäähdytysjärjestelmällä kuten luvussa 6.2 todettiin.

Simulointiohjelmistojen käyttö voi kuitenkin olla järkevää olemassa olevan rakennuksen energiatodistusta uusittaessa, jolloin tehontarpeen lisäksi saadaan laskettua järjestelmän energiankulutus hyvin tarkasti. Simulointi voidaan tehdä esimerkiksi IDA ICE -ohjelmistolla. Onnistunut simulointi vaatii rakennuksen tarkkaa mallintamista. Tämä on työlästä ja kallista, ja siksi taloyhtiöt eivät yleensä lähde simuloimaan rakennuksiaan jäähdytysaneerauksen yhteydessä.

### 6.3.3 Kokemusperäiset arvot

Jäähdytystehontarve voidaan laskea myös kokemusperäisillä arvioilla, jolloin arvio tarpeesta saadaan laskettua hyvin nopeasti ja oikeassa suuruusluokassa. Kokemusperäisiä arvioita voidaan kysyä jäähdytystä tarjoavilta tahoilta, esimerkiksi energiayhtiöiltä.

Tätä työtä varten kysyttiin Helen Oy:n kokemukseen perustuvia arvioita. Helen ilmoitti asuinhuoneistojen jäähdytystarpeeksi  $30 \text{ W/m}^2$  ja liike- sekä toimistohuoneiden tarpeeksi  $50 \text{ W/m}^2$  [9]. Liike- ja toimistohuoneisiin halutaan yleensä matalammat työskentelylämpötilat kuin asuinhuoneistoihin työn tuottavuuden edistämiseksi, joten jäähdytystäkin tarvitaan enemmän. Lisäksi toimisto- ja liikehuoneissa sisäiset lämpökuormat ihmisistä, valaistuksesta ja sähkölaitteistoista arvioidaan suuremmiksi, jotka ilmenevät myös standardikäytön taulukosta 1.

Helenin kokemuksen mukaan vanhojen asuinkerrostalojen simuloinnit mitoittavat jäähdytystehon alakanttiin, koska simulointi ei ota huomioon rakenteisiin varastoitunutta lämpöä. Etenkin vanhat kivitalot on rakennettu massiivisemmiksi nykymääräyksiin verrattuna. Massiivisuuden takia talot varaavat huomattavasti enemmän lämpöä, ja siksi jäähdytysteho kannattaa mitoittaa yläkanttiin. Helen mainitsi myös, että massiivisissa rakennuksissa jäähdytysjärjestelmä kannattaa myös kytkeä päälle jo keväällä ulkoilman lämmentyä huhti–toukokuussa – normaalin kesäkuussa alkavan jäähdytyskauden sijaan. Tällä ennalta ehkäistään lämmön varastoituminen ja rakennuksen yllämpeneminen. Yllämmennyt ja massiivinen rakennus vaatii huomattavasti jäähdytysenergiaa viilentyäkseen. [9.]

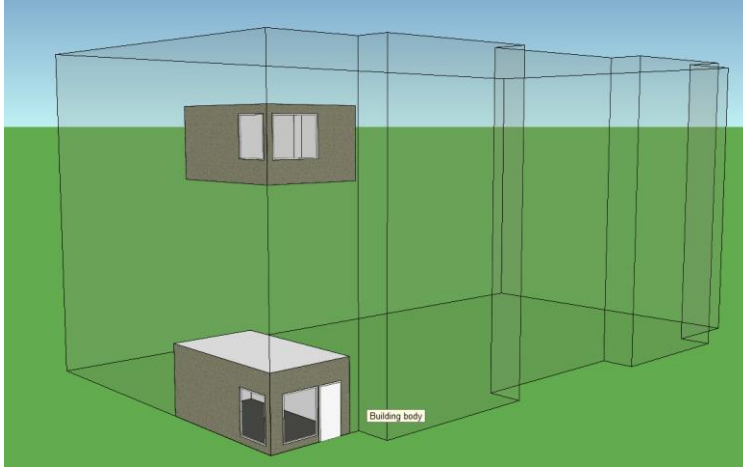
Jäähdytystehon yläkanttiin mitoittamisen johdosta jäähdytysverkoston putkitukset mitoittuvat myös väljiksi todelliseen tehontarpeeseen nähden. Tämä on siinä mielessä järkevää, että verkoston tehoa voidaan nostaa myöhemmin tulevaisuudessa. Jäähdytystehoa voidaan nostaa, jos rakennuksen tilojen käyttötarkoituksia ja tilajakoja muutetaan tai tilojen käyttäjät vaihtuvat.

#### 6.3.4 Simuloinnin esimerkki

Työtä varten tehtiin jäähdytystehon simulointi ja tuloksia verrattiin Helenin Oy:n kokemuksen peräisiin arvioihin. Simulointi tehtiin asuinhuoneelle ja toimistohuoneelle referenssikohteessa, joka esitellään myöhemmin luvussa 7. Referenssikohteeseen Helen suositteli heidän kokemusperäisten arvojen käyttöä jäähdytystarpeen laskennassa, koska rakennus on tyypillinen Helsingin keskusta-alueen vanha massiivinen ja tiilirakenteinen asuinkerrostalo.

Simulointi suoritettiin IDA-ICE -laskentaohjelmalla. Molemmat tilat sijaitsevat rakennuksen kaakkoiskulmassa, johon oletetaan auringon säteilyn olevan voimakkainta. Asuinhuone sijaitsee rakennuksen 4. kerroksessa ja liikehuone 1. kerroksessa katutasossa. Asuinhuoneen pinta-ala on noin 18,5 m<sup>2</sup> ja ikkuna pinta-alaa huoneessa on noin 4 m<sup>2</sup>. Liikehuoneen pinta-ala on noin 21,5 m<sup>2</sup> ja ikkuna pinta-alaa huoneessa on noin 5 m<sup>2</sup>.

Simuloidut huoneet ja niiden sijainnit rakennuksessa on esitetty kuvassa 14. Simuloinnissa käytettiin ympäristöministeriön asetuksen standardikäytön mukaisia arvoja sisäisille lämpökuormille ja tavoitelämpötiloille.



Kuva 14. IDA ICE 3D -näkymä simuloiduista huoneista referenssikohteessa.

Simuloinnin tuloksena jäähdytyksen huipputehontarpeiksi saatiin asuinhuoneessa noin 800 W ja liikehuoneessa noin 1 200 W. Huonelaitteiden keskimääräiset jäähdytystehot ilmenevät taulukosta 2. Simuloinnissa heinäkuun 15. päivä oli mitoitusjakson lämpimin päivä.

Taulukko 2. Simuloinnin tulokset toimisto- ja asuinhuoneen jäähdytystehontarpeesta

Vyöhyke	Ryhmä	Ala, m <sup>2</sup>	Jäähdytysteho*, W	Aika	Huonelaitteen jäähdytysteho, W
Asuinhuone 4.krs		18.4	438.1	15 Hei 13:51	443.9
Toimistohuone 1.krs		21.5	747.0	15 Hei 13:51	762.6

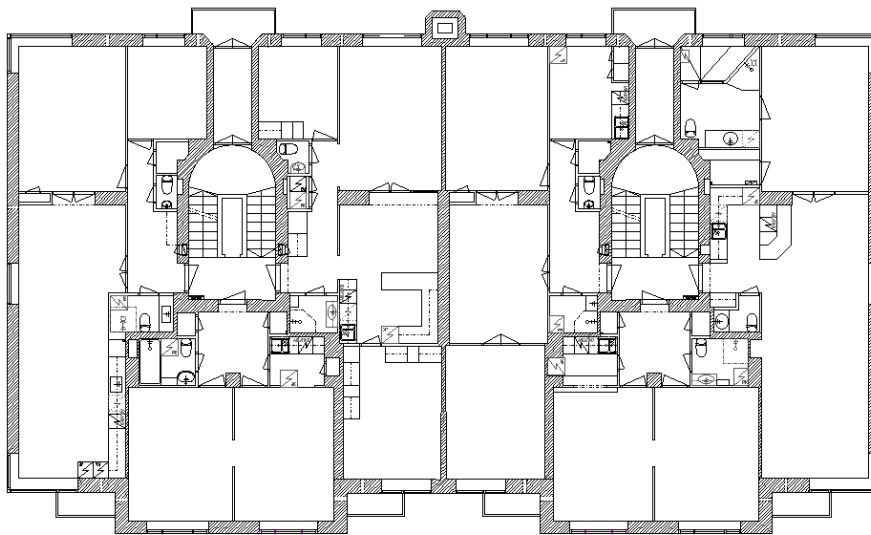
Simuloinnin perusteella asuinhuoneessa huonelaitteelta jäähdytystehoa tarvittiin noin 24 W/m<sup>2</sup> ja toimistohuoneessa noin 35 W/m<sup>2</sup>. Tulokset osoittavat,

että jäähdytysteho mitoitettiin  $6 \text{ W/m}^2$  alemmaksi asuinhuoneessa ja  $15 \text{ W/m}^2$  toimistohuoneessa kuin Helenin kokemukseräiset arvot.

## 7 Kiinteistöjäähdytysjärjestelmän suunnittelu referenssikohteeseen

### 7.1 Referenssikohteen esittely

Tämän työn referenssikohteena käytettiin Helsingin kantakaupungissa sijaitsevaa asuin kerrostaloa, joka on valmistunut vuonna 1936. Rakennuksessa on neljä maanpäällistä kerrosta sekä ullakkokerros. Rakennuksessa on 18 asuinhuoneistoa kahdessa porraskäytävässä. Katutasen kerroksessa on kolme liiketilaa ja yksi toimistotila. Rakennuksen kokonaistilavuus on noin  $7\,350 \text{ m}^3$  ja kokonaispinta-ala noin  $2\,200 \text{ m}^2$ . Pinta-alasta noin  $1\,320 \text{ m}^2$  huoneistoalaa ja noin  $230 \text{ m}^2$  liiketilaa. Rakennuksen kolme ylimmän asuin kerroksen pohjakuvat ovat keskenään lähes samanlaiset. Kuvassa 15 on esitetty 3. kerroksen pohjakuva.



Kuva 15. Referenssikiinteistön 3. kerroksen pohjapiirustus.



Rakennus on perustettu paalutetulle maaperälle ja kantaville rakenteille on valettu paaluanturat. Kantavat rakenteet ovat tiilirakenteita ja kerrosten väliset välipohjat alalaattapalkistorakenteita. Kantavat väliseinät ovat tiilirakenteisia ja ohuimmat väliseinät huokoisempaa valurakennetta.

Rakennus on liittynyt Helsingin kaukolämpöverkkoon sekä vesijohto- ja jätevesiviemäriverkostoihin. Rakennuksessa on painovoimainen ilmanvaihto ja korvausilma otetaan suoraan ulkoilmasta ulkoseinään asennettujen korvausilma-venttiilien kautta. Kiinteistössä on aiemmin suoritettu pohjaviemäreiden sukityöt ja kaukolämpökeskus on uusittu, minkä yhteydessä on myös uusittu patteriverkoston linja- ja patteriventtiilit sekä suoritettu verkoston tasapainotus.

Tällä hetkellä kiinteistössä suoritetaan linjasaneerausta ns. hybridiratkaisulla, jossa käyttövesijohdot uusitaan kauttaaltaan ja viemärit sukitetään pohjaviemäreitä lukuun ottamatta. Energiansäästötoimenpiteinä asuntoihin ja liiketiloihin asennetaan viranomais määräysten mukaiset huoneistokohtaiset vesimittarit, vesikalusteet uusitaan vedenkulutusta pienentäviksi ja päävesimittarin yhteyteen asennetaan paineenalennusventtiili. Perusparannuksena kohteessa suoritetaan ilmanvaihdon hormikartoitus, jolla varmistetaan ilmanvaihdon toimivuus kaikilta poistoilmaventtiileiltä. Kartoituksen lisäksi kaikki hormit myös nuohotaan.

Linjasaneerauksen yhteydessä kiinteistöön asennetaan myös jäähdytysjärjestelmän toisiopuolen putkiverkosto, josta on tarkemmin kirjoitettu luvussa 7.7. Loppullista jäähdytysjärjestelmää ei kohteeseen ole vielä päätetty ja suunniteltu. Valinnan ajankohta tulee olemaan aikaisintaan parin vuoden kuluttua, jolloin jäähdytys saneeraus on tarkoitus viedä loppuun. Saneerauksen hankesuunniteluvaiheessa Helen Oy:ltä tiedusteltiin alustavasti jäähdytysratkaisua. Kiinteistöllä on mahdollisuus ostaa Helen Oy:n kiinteistöjäähdytysjärjestelmä. Liittyminen kaukojäähdytysverkkoon ei ole Helenin mukaan kannattavaa eikä tällä hetkellä mahdollista, sillä verkkoa ei ole vielä rakennettu kiinteistön läheisyyteen.

Toimin itse kohteen linjasaneerauksen LVI-suunnittelijaharjoittelijana. Kohde on hyvin samankaltainen Helsingin kantakaupungissa sijaitsevien



Helen vastaa toimittamansa laitteiston mitoituksesta, asennuksesta sekä liitoksen rakentamisesta lämpöpumpulta kiinteistön kaukolämmön runkoputkiin. Asennettu laitteisto jää Helenin omistukseen. Helen myös vastaa laitteiston käytönaikaisesta huollosta, kunnossapidosta sekä etäohjauksesta yhtiön kanssa sovittujen lämpötilarajojen sekä jäähdytystarpeen mukaisesti. Yhtiön vastuulla on järjestää omalta pääkeskukseltaan tekniseen laitetilaan sähkönsyöttökaapeli lämpöpumpulle. Helen toimittaa laitetilaan sähkönkulutuksen mittauksella varustetun sähkökeskuksen, johon lämpöpumppu kytketään. Kulutetun sähkön Helen hyvittää yhtiölle laskutuksessaan. Lisäksi mittauskeskusta varten yhtiön sähköurakoitsijan tulee toimittaa kaksi MMJ 3 x 1,5 s -kaapelia ja silumiinirasiaa. [7, s. 5.]

LVI-suunnittelijan vastuulla on mittauskeskukseen liitettävän toisiopuolen eli jäähdytysverkoston suunnittelu. Suunnittelija vastaa myös verkostoon liitettävien laitteistojen ja huonelaitteiden mitoituksesta. Jäähdytyspiirin laitteistoihin asentaa yhtiön valitsema putkiurakoitsija. Jäähdytyspiiri jää kokonaisuudessaan yhtiön omistukseen, jonka hankinnasta, huollosta ja kunnossapidosta yhtiö on myös vastuulla. [7, s. 5.]

Kiinteistöjäähdytyksen sopimuskausi Helenin kanssa solmitaan 15 vuodeksi. Kiinteistöjäähdytyksen hinta yhtiölle jaetaan kolmeen osa-alueeseen: sopimusmaksuun, vuosimaksuun ja energianmaksuun. Sopimusmaksu on kertaluonteinen, ja kattaa laitteiston toimituksen ja asennuksen. Vuosimaksu on kiinteä, ja se kattaa laitteiston käytönaikaisen huollon ja etäohjauksen. Energianmaksu määräytyy aina kaukolämmön kesäaikaisen (1.5.–30.9.) hinnan mukaan, joka tällä hetkellä on 35,12 €/MWh. [23.]

### 7.3 Referenssikohteen jäähdytystehon tarve ja lämpöpumppu

Kohteen jäähdytystehontarve mitoitettiin Heleniltä saaduilla kokemukseräisillä jäähdytystarpeen arvoilla. Asuinhuoneistojen mitoitukseen käytettiin arvoa 30 W/m<sup>2</sup> ja liiketiloissa arvoa 50 W/m<sup>2</sup>. Asuinhuoneistojen yhteenlasketun pinta-alan ollessa noin 1 320 m<sup>2</sup> huipputehoksi saatiin 39,6 kW ja liiketilojen

huipputehoksi 11,5 kW noin 230 m<sup>2</sup>:n pinta-alalla. Rakennuksen yhteenlaske-  
tuksi jäädytyksen huipputehon tarpeeksi saatiin 51,1 kW.

Tulos ilmoitettiin Helenille, ja Helen mitoitti kohteeseen Oilon Oy:n P-sarjan  
60 kW:n Chillheat-lämpöpumpun. Oilonin P-sarjan pumppuja Helen yleensä  
käyttää tämän tyyppisissä kiinteistöjäähdytysjärjestelmissä. Lämpöpumpussa  
tulisi olemaan optiona n. 9 kW:n jäädytysenergian tuottovara. Tämä mahdollis-  
taa kiinteistön muuntojoustavuuden, jos rakennuksen tilojen käyttötarkoituksia  
ja tilajakoja muutetaan myöhemmin tulevaisuudessa ja jäädytystarve kasvaa  
[23]. Taulukosta 3 ilmenevät P 60 -lämpöpumpun tekniset tiedot. Liitteessä 2 on  
P-sarjan lämpöpumppujen tarkempi esittely.

Taulukko 3. Oilon Oy:n P 30- ja P 60 Chillerheat -lämpöpumppujen tekniset tiedot  
[24].

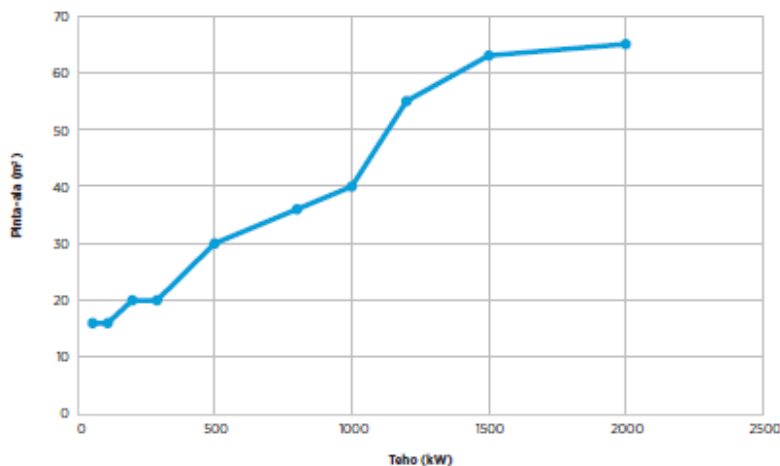
		P30	P60
Kompressorit, tyyppi ja lukumäärä		mäntä, 1	mäntä, 2
Kylmäainepiirien lkm		1	1
Mitat, ilman laitesuojaa ja lisäjalkoja	Korkeus mm	1300	2091
	Pittuus mm	1080	1571
	Leveys mm	740	911
Kylmäaine		R134a	R134a
		R513A	R513A
		R450A	R450A
		R1234ze	R1234ze
Sulakekoko		3x63A	3x125A
Paino	kg	530	1000

#### 7.4 Tekninen laitetila

Kiinteistöjäähdytysjärjestelmän suunnittelussa ensimmäisenä otetaan huomioon  
teknisen laittilan sijainti ja tilavaatimukset. Laitetilaan asennetaan lämpö-  
pumppu, varaaja ja mittauskeskus. Lisäksi tilaan sijoitetaan jäädytysverkoston  
kiertopumppu, kaukolämmön kiertopumppu sekä sähkökeskus lämpöpumppua  
varten. [7, s. 5.]

Laitetilan tulee sijaita lähellä kiinteistöön tulevia kaukolämmön runkoputkia. Käytännössä paras vaihtoehto laitetilaksi on kiinteistön lämmönjakohuone, jolloin liitospituus kaukolämpöön jää mahdollisimman lyhyeksi. Lämmönjakohuoneet täyttävät suurelta osin myös teknisen laitetilan vaatimukset, jota käsitellään myöhemmin tässä luvussa. Laitetila voidaan myös rakentaa erikseen kiinteistön tiloihin.

Suunnitteluvaiheessa on hyvä toimittaa Helenille lämmönjakohuoneen arkkitehtisuunnitelmat tilantarpeen tarkastamiseksi. Lämpöpumppu, varaaja ja mittauskeskus tulevat kiinteistöön kokonaisina paketteina, joten Helen varmistaa haausreitit laitteiston toimituksen onnistumiseksi. Lisäksi Helen varmistaa riittävän tilantarpeen laitteiden asennukselle, huollolle, kunnossapidolle sekä purkamiselle [7, s. 5]. Kuvassa 17 on esitetty toteutuneiden kiinteistöjäähdytysjärjestelmien lämpöpumpun tilantarve suhteessa jäähdytystehoon.

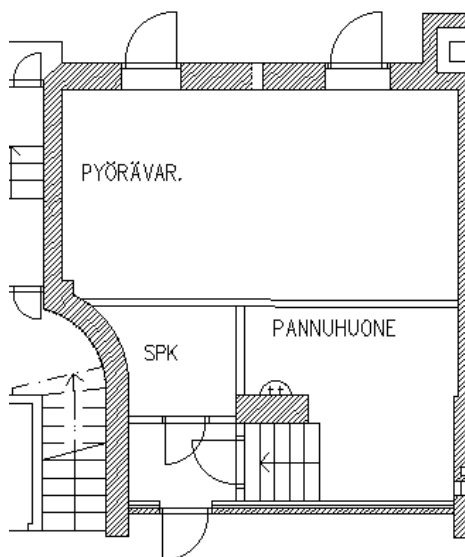


Kuva 17. Lämpöpumppujen tilantarve suhteessa jäähdytystehoon [7, s. 15].

Laitetilan tulee olla palo-osastoitu. Laitteistosta aiheutuu tilaan pistekuormitus, joten rakennustekniset kantavuustekijät tulee myös ottaa huomioon laitetilan valinnassa. Laitteistoista aiheutuu myös jonkin verran melua kiinteistön asuinhuoneistoihin ja muihin oleskelutiloihin. Melu ei saa ylittää ympäristöministeriön ohjeissa rakennuksen ääniympäristöstä asettamia tilojen maksimiäänitasoja. [7, s. 5.]

Laitetilan ilmanvaihdon tulee olla riippumaton kiinteistön muusta ilmanvaihdosta ja tilan poistoilma tulee ohjata ulos rakennuksesta. Perusilmanvaihto saa olla maksimissaan neljä ilmanvaihtokertaa tunnissa ja hätätilanteessa vähintään 15 kertaa tunnissa. Hätäilmanvaihto määritellään kuitenkin lämpöpumpun kylmäaineen määrän ja laitetilan tilavuuden suhteesta, SFS:n kylmäkone- lämpöpumpustandardin mukaisesti. Lisäksi Helenin kanssa tarkastetaan mahdollinen hätätuuletuksen tarve. Lämpötila ei saa tilassa ylittää 35 °C:ta. Tarvittaessa tilaan voidaan asentaa puhallinkonvektori lämpötilan hallitsemiseksi. Laitetilassa on oltava vesipiste ja lattiakaivo vesivuotojen varalle. Valaistus laitetilassa hoideetaan kiinteillä valaisimilla. Lisäksi tilassa tulee olla kiinteä tai siirrettävä hätävalaistusjärjestelmä. Hätävalaistuksen ja mahdollisen hätätuuletuksen rinnalle asennetaan hätäpysäytysjärjestelmä, jonka kytkin asennetaan mahdollisimman lähelle ovea. [7, s. 5.]

Referenssi kiinteistössä lämmönjakuhuone sijaitsee ensimmäisessä kerroksessa, johon on käynti rappukäytävän tuloaulasta. Huoneen pinta-ala on noin 10 m<sup>2</sup>, ja se on noin metrin verran alempana muuhun kerrokseen nähden. Kuvassa 18 on ote 1. kerroksen pohjakuvasta, jossa näkyy lämmönjakuhuone.



Kuva 18. Ote referenssi kiinteistön ensimmäisen kerroksen pohjapiirustuksesta.

Kiinteistön lämmönjakohuone on pinta-alaltaan melko pieni. Jos kiinteistöön mitoitettun lämpöpumpun tehoa (60 kW) verrataan kuvassa 17 esitettyihin tilantarpeisiin, ollaan aivan minimimitoissa. Tämän totesi myös Helen asiasta kysyttäessä. Helenin mukaan laitteisto voisi kuitenkin mahtua tilaan, vaikka tilassa sijaitsee kaukolämpökeskus ja muu LVI-tekniikka [9]. Muussa tapauksessa olisi mahdollista rajata väliseinällä lämmönjakohuoneen viereisestä pyörävarastosta oikeapuoli (kuva 17) kiinteistöjäähdytyksen konehuoneeksi. Tämä olisi myös järkevintä, koska kaukolämmön runkoputket kulkevat tilan oikeanpuolisella seinällä lämmönjakohuoneeseen. Tällöin liitospituus pumpulle ei kasvaisi turhaan eikä ylimääräisiä seinäläpivientejä tarvitsisi tehdä. Tästä aiheutuisi kuitenkin jäähdytysaneeraukselle lisäkustannuksia, kun uuden väliseinän rakentamisen lisäksi laitetila täytyisi varmistaa edellä mainittujen määräysten mukaiseksi.

## 7.5 Liitos kaukolämpöön

Kiinteistöjäähdytyksen toteuttaminen vaatii aina, sitä että yhtiöllä on oma kaukolämpöliittymä. Kiinteistöstä poistettava lämpöenergia lauhdutetaan kaukolämmön menoputkeen, jotta yhtiön lämmönsyöttöön ei aiheudu häiriöitä [7, s. 5].

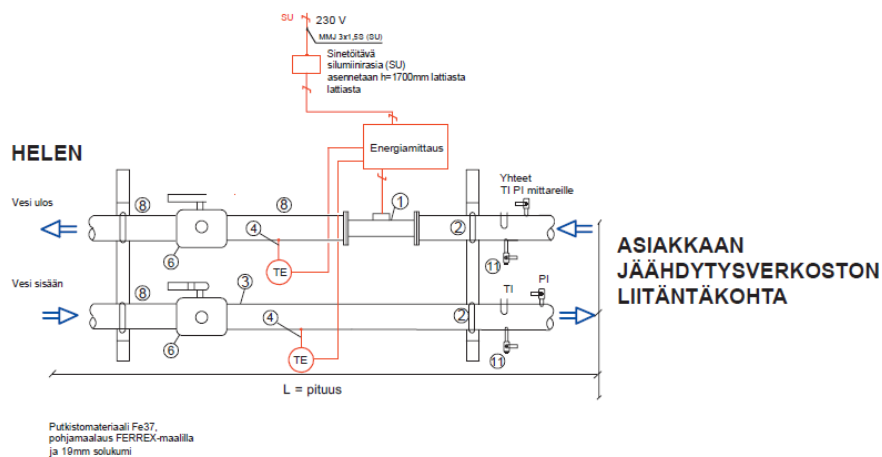
Helen rakentaa liitosputkiston pumpulle teräspankella hitsaus- ja laippaliitoksin. Putkiston suurin käyttöpaine on 1,6 MPa ja tiiveys testataan 2,1 MPa:n koepaineessa. Putkien koko mitoitetaan maksimipainehäviöllä 200 Pa/m ja taulukon 4 mukaisesti. Putkien pituus voi tällöin olla maksimissaan 25 metriä. [25, s. 16.]

Taulukko 4. Liitoksen putkien mitoitus painehäviöllä 200 Pa/m. Liitoksen pituus saa olla enintään 25 metriä. [25.]

Nimelliskoko DN	Laskettu vesivirta enintään	
	dm <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /h
50	2,3	8,4
65	4,4	15,9
80	6,9	24,9
100	13,5	48,5
125	23,4	84,2
150	38,8	139,6
200	79,0	284,5
250	142,4	512,6
300	224,4	807,7

## 7.6 Mittauskeskus

Helen asentaa lämpöpumpun jälkeen mittauskeskuksen, jolla kiinteistön jäähdytysenergian kulutus mitataan. Mittaustiedot siirretään modeemin avulla Helenille käsiteltäväksi. Halutessaan kiinteistö voi tilata keskuksen yhteyteen pulssilähdet, jolloin mittaustiedot voidaan siirtää myös kiinteistön käyttöön. Asiakas liittyy kiinteistöjäähdytykseen mittauskeskuksen jälkeen kuvan 19 mukaisesti. [7, s. 7.]



Kuva 19. Mittauskeskus DN 50/80/100 [7, s. 15].

Mittauskeskus asennetaan lämpöpumpun sivuun pystyyn tai vaakaan. Keskus voidaan asentaa myös lattialle tukijalla tai ilman [7, s. 15]. Mittauskeskuksen tekniset tiedot, laitteisto ja laitteiston tilantarve eri putkikoille on esitetty taulukossa 5. Putkikoko määritellään kiinteistön jäähdytystehontarpeen perusteella.



Taulukko 5. DN 50/80/100-mittauskeskusten tekniset tiedot, laitteistot ja tilantarpeet [7, s. 15].

DN	50	80	100
Sopimusvesivirta m <sup>3</sup> /h	0-30	31-80	81-200
Jäähdytysteho kW	0-280	280-750	750-1800
1 Virtausanturi DN	50	80	100
1 Virtausanturi L	270	300	360
1 Virtausanturi PN	25	25	25
4 Lämpötila-anturitasku kpl	2	2	2
6 Palloventtiili L	300	300	325
11 Tyhjennys DN	15	20	25
Pituus MK (Helen toim.) menoputki L	n. 940	n.1000	n. 1040
Pituus MK (Helen toim.) paluuputki L	n. 1325	n. 1420	n. 1535

Taulukon mukaan referenssikohteessa mittauskeskuksen putkikooksi tulisi DN50 noin 51 kW:n jäähdytysteholla, jolloin keskuksen tilantarve olisi kokonaisuudessaan noin 1,3 metriä.

## 7.7 Toisiopuoli

Toisiopuolen jäähdytysvesiverkoston suunnittelee yhtiön valitsema LVI-suunnittelija ja verkosto liitetään Helenin toimittamaan mittauskeskukseen (kuva 19). Verkosto on kiinteistön sisäinen verkosto, jota pitkin jäähdytetty vesi kierrätetään rakennuksen tiloihin valituissa huonelaitteissa. Verkostoon mitoitetaan suhteellisella säädöllä säätyvä kiertovesipumppu. Lisäksi verkosto suunnitellaan suljetuksi piiriksi, joten verkostoon tulee myös mitoitaa paisunta-astia sekä tarvittavat varolaitteet.

Kiinteistöjäähdytysjärjestelmän toisiopuolen verkoston suunnittelun apuna voidaan käyttää energiateollisuuden julkaisua: Rakennusten kaukojäähdytys J1/2014.

Ennen verkoston suunnittelua on tärkeää selvittää putkinousujen paikat ja verkoston vaakaputkireitit. Lisäksi tulee valita käytettävä putkimateriaali. Materiaalin valinnalla on merkitystä putkien mitoitusperusteisiin.

### 7.7.1 Putki- ja eristysmateriaalit

Taulukossa 6 on esitetty jäähdytysverkoston toisiopuolen yleisimmin käytetyt putkimateriaalit ja sallitut liitostavat.

Taulukko 6. Jäähdytysverkostoissa yleisimmin käytettävät putkimateriaalit ja liitokset [25, s. 18].

Putkimateriaali	Liitos	Huomautus
teräsputket sekä ruostumattomat ja haponkestävät teräsputket	hitsaus, laippa, kierre, puristus	SFS-EN 10216-2 SFS-EN 10217-1 SFS-EN 10217-2 SFS-EN 10217-5 SFS-EN 10217-7 SFS-EN 10255
kupari	juotos, puserrus, puristus, laippa	SFS-EN 1057
muovi • PE-X • monikerrosputket	puristus	Liitokset tehdään putki- valmistajan suosittelemilla liittimillä.

Mikäli verkosto suunnitellaan teräsputkillla, tulee verkosto pohjamaalata ruosteenestomaalilla ennen verkoston eristämistä [25, s. 18].

Jäähdytysputkisto sekä jäähdytysvettä sisältävät verkoston laitteet ja komponentit eristetään kauttaaltaan. Eristyksen tulee olla diffuusiotiivis kondenssi- veden muodostumisen estämiseksi. Materiaalina käytetään yleensä hyvän eristyskyvyn ja diffuusiokyvyn omaavaa liimattavaa ja vähintään 13 mm:n paksuista solukumieristettä. Rakennustietosäätiön ohjekortteja LVI 50-10344 ja LVI 50-10345 voidaan käyttää soveltuvien osien eristemateriaalin valinnassa ja asennuksessa. [25, s. 27.]

### 7.7.2 Mitoitus

Helenin kytkentäkaavion (kuva 16) mukaisesti kiinteistöjäähdytyksen toisiopuoli mitoitetaan +10/15 °C:n lämpötiloille. Toisiopuolen suunnittelupaine eli suurin käyttöpaine saa olla maksimissaan 1,0 MPa [25, s. 18]. Putkien mitoitusvirtausnopeutena voidaan käyttää taulukossa 7 esitettyjä nopeuksia verkoston eri osuuksille.

Taulukko 7. Virtausnopeudet putkistoissa [26, s. 28].

Putkiston osa	Virtausnopeus [m/s]
runkolinja	0,5..1,0
jakolinja	1,5..3,0

Energiateollisuuden julkaisussa (J1/2014) neuvotaan kuitenkin kupariputkia käytettäessä toisiopuolen mitoitusvirtaamaksi 0,5 m/s ja maksimivirtaamaksi 1,0 m/s kaikissa verkoston osissa eroosikorrosiovaurioiden estämiseksi [25]. Scandinavian Copper Development Association neuvoo julkaisussaan kupariputket nestekiertoisessa jäähdytyksessä kupariputkien mitoitukseksi vesikiertoisissa järjestelmissä joko painehäviön maksimin 150 Pa/m tai suurimman virtausnopeuden 1,0 m/s [27]. Julkaisussa esitetään myös taulukko 8 kupariputkien alustavaan mitoitukseen jäähdytystehon perusteella.

Taulukko 8. Kuparisten jäähdytysputkistojen mitoitusaulukko putkiston alustavaan mitoitukseen. Jäähdytysteho, W. [27.]

Ulkohalkaisija, Δt, °C / mm	12x1.0	15x1.0	18x1.0	22x1.0	28x1.2	35x1.5	42x1.5	54x1.50	64x2	76,1x2	88,9x2	108x2
4	320	620	1 170	2 200	4 200	7 440	12 200	25 000	38 000	60 000	100 000	160 000
5	400	790	1 470	2 750	5 230	9 300	15 300	31 300	48 000	75 000	120 000	210 000
6	470	940	1 760	3 300	5 300	11 100	18 300	37 600	57 000	90 000	150 000	250 000
10	790	1 570	2 930	5 500	10 500	18 600	30 600	62 700	96 000	150 000	250 000	420 000
15	1180	2 350	4 400	8 200	15 700	27 900	45 900	94 000	140 000	220 000	370 000	630 000
v=m/s	0.23	0.30	0.35	0.40	0.45	0.54	0,62	0.78	0.81	0.94	1,1	1,2

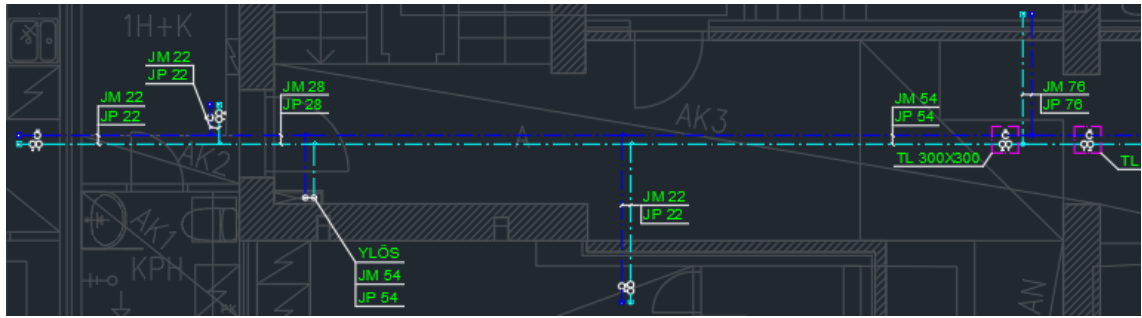
### 7.7.3 Läpiviennit ja palo-osastoinnit

Toisiopuolen läpiviennit tehdään betoni- ja tiilirakenteisiin seiniin timanttikorauksella. Mikäli läpivienti tehdään palo-osastoivaan rakenteeseen, tulee läpivienti tiivistää putkiasennuksen jälkeen rakentamismääräysten vaatimukset täyttävällä ratkaisulla. Palokatkon täytyy kestää vähintään osastoivan rakennusosan palonkestävyysaika, ja palokatkon tulee olla riittävän tiivis, jotta palo- ja savukaasut eivät pääse leviämään palo-osaston ulkopuolelle. Kaikki läpiviennit tulee merkitä asennusyrityksen toimesta. Merkinnästä tulee ilmetä mm. paloluokka, asentajan yhteystiedot ja asennusajankohta. Lisäksi saneerauskohteissa läpiviennit suunnitellaan lähtökohtaisesti uudisrakentamisen palokestävyyden vaatimuksia vastaaviksi. [25, s. 15–16.]

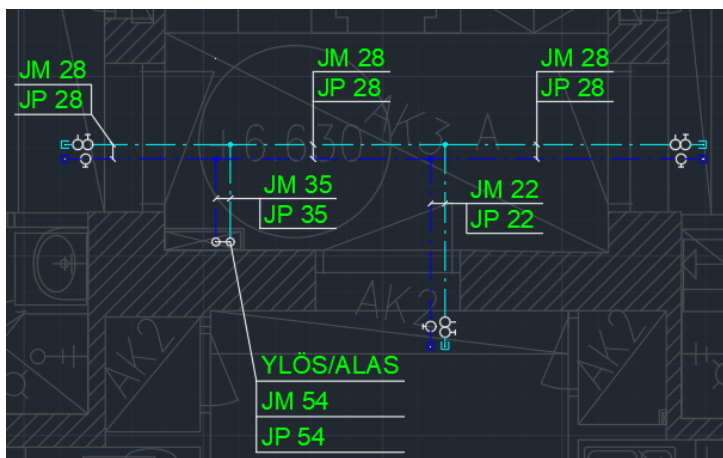
### 7.7.4 Toisiopuolen verkosto referenssikohteessa

Referenssikohteessa toisiopuolen jäähdytysverkosto suunniteltiin kupariputkella. Kohteessa on painovoimainen ilmanvaihto, joten verkosto suunniteltiin toteutettavaksi puhallinkonvektoreilla. Verkoston runkoputket, putkinousut ja vaakaputkivedot suunniteltiin kulkemaan linjasaneerauksen yhteydessä uusittavien käyttövesiputkien rinnalla samoissa pysty- ja vaakakoteloissa. Kaikki verkoston haarat suunniteltiin tulpattavaksi, koska jäähdytysaneeraus vieään loppuun vasta myöhemmin tulevaisuudessa. Lisäksi asuntojen ja liiketilojen puolelle suunniteltiin valmiiksi sulkuventtiilit verkoston menoputkeen ja paluuputkeen linjasäätöventtiilit tasapainotusta varten.

Verkoston runkoputket suunniteltiin alkamaan lämmönjakuhuoneesta, josta runko jatkuu ensimmäisen kerroksen alakatossa. Putkinousuja verkostoon suunniteltiin kaksi, ja nousut kulkevat rappukäytävien puolella koteloissa. Ylemissä kerroksissa vaakaputkivedot suunniteltiin kulkemaan rappukäytävässä alakatossa ja verkostoon suunniteltiin haarat jokaiseen huoneistoon ja liiketilaan. Kuvissa 20 ja 21 on otteita jäähdytysverkoston suunnitelmista.



Kuva 20. Ote ensimmäisen kerroksen jäähdytysverkoston runkojohtojen suunnitelmasta.



Kuva 21. Ote toisen kerroksen jäähdytysverkoston suunnitelmasta A-portaassa. Kuvasta nähdään nousujohtojen paikka porrashuoneessa.

Jäähdytysverkosto mitoitettiin lämpötilaerolla 15/10 °C. Mitoituksessa käytettiin painehäviön maksimina 150 Pa/m ja virtausnopeuden maksimina 1 m/s kaikissa verkoston osissa. Mitoitusta varten jokaiseen haaraan syötettiin laskettu jäähdytysteho ja painehäviö, joka muodostuu säätöventtiilistä sekä myöhemmin asennettavasta puhallinkonvektorista. Tehoja varten jokaisen huoneiston ja liiketilan pinta-alat laskettiin erikseen. Pinta-alat kerrottiin Helinin kokemuseräisillä jäähdytystehontarpeen arvoilla. Painehäviöt laskettiin taulukon 8 ohjearvoilla, jolloin jokaisen haaran painehäviöksi saatiin 65 kPa (säätöventtiili + puhallinkonvektori).

Taulukko 9. Jäähdytyspiirin komponenttien painehäviön ohjearvoja [16].

Komponentti	Painehäviö kPa
Jäähdytysenergian tuotanto	
Levyhöyrystin	40
Putkihöyrystin	30
Lauhdutin	45
Jäähdytystorni	35
Jäähdytysenergian luovutus	
Ilmastoinnin jäähdytyspatteri	35
Induktiolaite	35
Jäähdytyskatto	35
Puhallinkonvektori	35
Säätöventtiili	30

Verkosto suunniteltiin eristettäväksi 19 mm:n solukumieristeellä. Läpivienteihin rappukäytävästä lämmönjakohuoneeseen sekä jokaiseen asuntoon ja liiketilaan suunniteltiin palokatkot. Palokatkot suunniteltiin toteutettavaksi Hiltin CFC-S ACR -akryylipohjaisella palokatkomassalla ja EI60-palonkestäväksi.

## 7.8 Puhallinkonvektorien valinta ja sijoitus asunnoissa

Puhallinkonvektorit ovat puhaltimella varustettuja jäähdytyspattereita, joilla saadaan asuinhuoneistoihin hyvänlaatuista ja joustavaa jäähdytysilmaa. Puhallinkonvektorien toiminta perustuu huoneilman sekoittamiseen. Konvektorien sijoituksessa täytyy huomioida, että jäähdytetty ilma pääsee kiertämään vapaasti huoneiston oleskelutiloissa ja laitteen ympärille jää riittävästi tilaa huoltotöitä varten. Lisäksi konvektorista ei saa aiheutua vetoa.

Konvektoreita on markkinoilla kattoon, seinälle tai lattialle asennettavia koteloituja malleja sekä koteloimattomia malleja asennettavaksi ikkunapenkkiin tai alakattoon. Laitteet voivat olla kondensoivia tai kondensoimattomia malleja. Lisäksi on malleja, joilla voidaan jäähdytyksen lisäksi hoitaa tilan ilmanvaihto tai lämmitys, joko laitteen vakioatterilla tai erillisellä lisälämmityspatterilla (4-putkijärjestelmä). [12, s. 330.]

Referenssikohteessa konvektoreilla on tarkoitus hoitaa pelkästään tilojen jäähdytys. Asuntojen pohjaratkaisujen vuoksi konvektoreiksi soveltuvat parhaiten alakattoon tai otsapintaan upotettavat mallit. Kuvassa 22 on esimerkit malleista.



Kuva 22. Esimerkkimallit puhallinkonvektoreista. Alakattoon asennettava Chiller Box VariPro ja alakaton otsapintaan asennettava Chiller Grand VariPro. [28.]

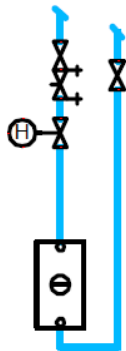
Linjasaneerauksen yhteydessä suurimmassa osassa asuntoja asennettiin alakattokotelot käyttövesiputkille eteiseen, joita suurentamalla konvektorit voidaan helposti ja kustannustehokkaasti asentaa samaan koteloon.

Linjasaneerauksen yhteydessä konvektoreita varten ei vielä suunniteltu kondenssiviemärointiä. Viemärointi suunnitellaan ja toteutetaan myöhemmin konvektorien asennuksen yhteydessä. Viemärointi on tarkoitus toteuttaa viettoviemärinä lähimpään viemärointipisteeseen. Käytännössä tämä tarkoittaa, että konvektorit on hyvä sijoittaa lähelle kylpyhuoneita ja WC-tiloja, jolloin viemärointi jää mahdollisimman lyhyeksi ja vaakaviemäriputkille saadaan kaatoa. Laitteet voidaan varustaa tarvittaessa kondenssivesipumpulla, jos viettoviemärin toteutus ei onnistu. Pumpusta voi kuitenkin aiheutua meluhaittoja asuntoon.

### 7.8.1 Kytkeä ja tehonsäätö

Puhallinkonvektorien tehonsäädössä käytetään säätöventtiileitä, jotka säätävät automaattisesti vesivirtoja jäähdytyspatterissa. Säätöventtiileiksi voidaan valita 2- tai 3-tieventtiilit. Valinta riippuu siitä, onko verkostossa vakiovirtaus vai muuttuva virtaus. Säätöventtiilien automatiikka hoidetaan joko taloautomaatiolla tai huoneistoon asennettavalla säätimellä. [30, s. 95.] Kiinteistöjäähdytyksessä

puhallinkonvektorien putkikytkentä tehdään yleensä 2-tieventtiilillä. Kuvassa 23 on esitetty kytkennän periaate 2-tieventtiilillä.



Kuva 23. Puhallinkonvektorin kytkentäkaavio 2-tieventtiilillä [7, s. 7].

2-tieventtiilit edellyttävät, että verkostoon on asennettava kiertolenkki meno- ja paluuputken välille runkolinjojen viimeisten konvektorien jälkeen. Kiertolenkeillä varmistetaan jatkuva kylmän veden syöttö konvektoreille. [7, s. 7.]

### 7.8.2 Mitoitus

Säätöventtiin lisäksi tehoa voidaan säätää konvektorin puhaltimen pyörimisnopeutta muuttamalla. Konvektoreissa on tyypillisesti kolme pyörimisnopeutta, joista suurin on yleensä tarkoitettu tehostettua jäähdytystä varten. Konvektorit mitoitetaan yleensä niin, että haluttu jäähdytysteho saadaan puhaltimen pyörimisnopeudella 2, jolloin jäähdytystehoon jää säätövaraa myös alaspäin. Valmistajat ilmoittavat konvektorien tarkat vesivirrat ja painehäviöt, mutta mitoitusarvoina käytetään yleensä lukemia 0,06 dm<sup>3</sup>/s ja 10 kPa säätöventtiileineen. [29, s. 58.] Tyypillisesti valmistajien ilmoittamat jäähdytystehot on mitoitettu tilan sisälämpötilalle 24 °C ja ilman suhteelliselle kosteudelle 50 % sekä jäähdytysnesteen lämpötiloille 7/12 °C [12, s. 332].

Konvektorit voidaan mitoittaa myös korkeammille nesteen lämpötiloille, jos halutaan rakentaa esimerkiksi kuivajärjestelmä. Kuivajärjestelmissä jäähdytysverkon nesteen lämpötilat ovat tyypillisesti 15/18 °C. Tällöin voidaan käyttää



kondensoimattomia malleja. Referenssikohteessa kiinteistöjäähdytyksen jäähdytysveden lämpötilatasot ovat 10/15 °C. Tämä täytyy ottaa huomioon järjestelmän konvektorien mitoituksessa. Lämpötasojen takia referenssikohteen järjestelmä on märkjäähdytteinen, joten tarvitaan kondensoivat mallit.

### 7.8.3 Esimerkkitoote

Referenssikohteen 18 asuinhuoneistosta 11 ovat pohjaratkaisultaan hyvin samankaltaisia. Asunnot ovat pinta-alaltaan noin 80 m<sup>2</sup> ja laskettu jäähdytystehon tarve noin 2,4 kW. Tässä luvussa tehdään jäähdytyksen esimerkkitoote yhteen näistä asunnoista.

Konvektorien valmistajilla on yleensä laitteiden mitoitus- ja valintaohjelmia järjestelmän laitteiden suunnittelun avuksi. Huoneiston konvektorit mitoitettiin Chiller Oy:n valintaohjelmalla ja malleiksi valittiin BOX VariPro (kuva 22). Huoneiston pohjaratkaisusta johtuen jäähdytysteho jaettiin kahdelle konvektorille tehoilla 1,0 kW ja 1,4 kW, jotta jäähdytysilma saadaan tasaisesti jokaiseen asuinhuoneeseen. Mitoitusperusteina käytettiin laskettuja jäähdytystehoja puhaltimen 2. pyörimisnopeudella; nestepuolen painehäviön maksimina oli 10 kPa ja virtauksen maksimina pyrittiin pitämään 0,06 dm<sup>3</sup>/s, jotta virtauksesta aiheutuvat äänihaitat eivät nouse liian korkeiksi. Lämpötilaksi valittiin 25 °C ja ilman kosteudeksi 50 %.

Pienempitehoiseksi konvektoriksi valikoitui BOX VariPro 40EL-2 ja suuremaksi VariPro 60 L-2. Valinnan tulokset on ilmoitettu taulukossa 10.

Taulukko 10. Valittujen konvektorien mitoitus tiedot [28].

Suoritusarvot	BOX VariPro 40EL-2			BOX VariPro 60L-2		
	Nopeus 1	Nopeus 2	Nopeus 3	Nopeus 1	Nopeus 2	Nopeus 3
Kokonaisteho (kW)	0,97	1,05	1,12	1,21	1,4	1,58
Tuntuva teho (kW)	0,82	0,9	0,95	1,01	1,17	1,32
Ilmamäärä (m <sup>3</sup> /s)	0,057	0,064	0,07	0,063	0,076	0,089
Tulevan ilman lämpötila (°C)	25	25	25	25	25	25
Tulevan ilman kosteus (%)	50	50	50	50	50	50
Nestevirtaus (dm <sup>3</sup> /s)	0,05	0,05	0,05	0,067	0,067	0,067
Tulevan nesteen lämpötila (°C)	10	10	10	10	10	10
Lähtevän nesteen lämpötila (°C)	14,6	15	15,3	14,3	15	15,6
Painehäviö (kPa)	4,5	4,5	4,5	1,7	1,7	1,7

Tuloksista ilmenee, että huoneistoon valituilla laitteilla päästään todella lähelle laskettua jäähdytystehoa 2. pyörimisnopeuksilla. Lisäksi nopeuksilla 1 ja 3 jäähdytystehoon jää noin  $\pm 0,3$  kW:n säätövara. Molemmassa painehäviöt jäävät alle asetetun maksimin. Suurempitehoisessa konvektorissa nestevirtaus ylittyy hie man suositellusta. Tämä näkyy myös konvektorin äänitasoissa. Taulukoissa 11 ja 12 on esitetty mitoitetujen konvektorien äänitasot. Äänitasot eivät kuitenkaan ylitä ympäristöministeriön ohjeessa rakennuksen ääniympäristöstä annettuja asuinhuoneistojen maksimitasoja.

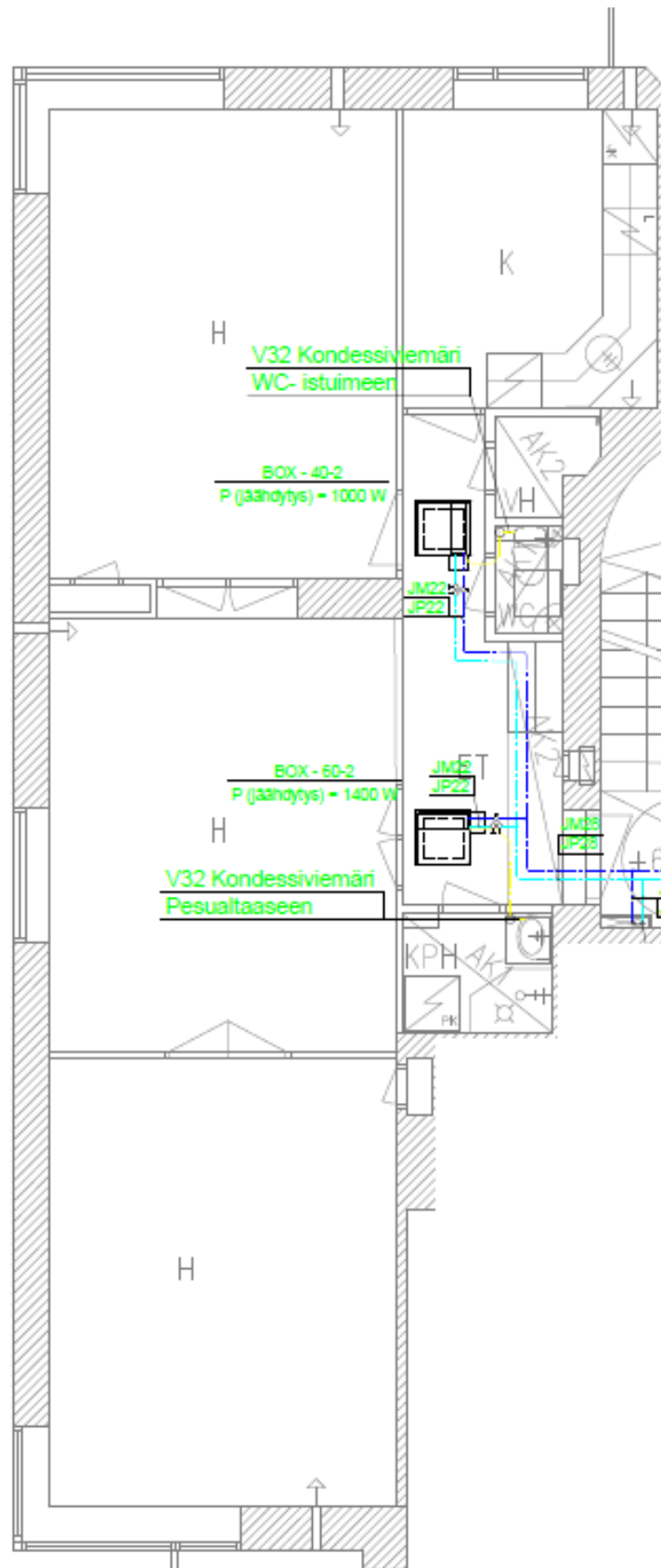
Taulukko 11. BOX VariPro 40EL-2 -konvektorin äänitasot [28].

Ääni				
Tehotaso $L_{W(A)}$	25,0	28,0	30,0	dB(A)
Painetaso 10 m <sup>2</sup> Sabine $L_{p(A)}$	21,0	24,0	26,0	dB(A)
Painetaso 100 m <sup>3</sup> tila <sup>1</sup> $L_{p(A)}$	16,0	19,0	21,0	dB(A)

Taulukko 12. BOX Varipro 60 L-2 -konvektorin äänitasot [28].

Ääni				
Tehotaso $L_{W(A)}$	27,0	32,0	36,0	dB(A)
Painetaso 10 m <sup>2</sup> Sabine $L_{p(A)}$	23,0	28,0	32,0	dB(A)
Painetaso 100 m <sup>3</sup> tila <sup>1</sup> $L_{p(A)}$	18,0	23,0	27,0	dB(A)

Molemmat konvektorit ovat ulkomitoiltaan 573 x 573 x 300. Kuvassa 24 on esimerkkitoimitus laitteiden sijoituksesta huoneistoon. Kuvasta näkee myös, että kondenssiviemärointi laitteilta onnistuu lyhyillä vaakaputkituksilla asunnon märkätiloihin.



Kuva 24. Esimerkkitoteutus huoneiston jäähdytyksestä

## 8 Yhteenveto

Insinööriyössä suunniteltiin Helen Oy:n tarjoama kiinteistöjäähdytysjärjestelmä Helsingin kantakaupungissa sijaitsevaan saneerauskohteeseen. Työssä perehdyttiin jäähdytystehon tarvetta sekä järjestelmän laitteistoja mitoittaviin tekijöihin, joiden pohjalta suunnitelma toteutettiin.

Kiinteistöjäähdytys on helppo ja turvallinen ratkaisu kiinteistöille, jotka suunnittelevat jäähdytysaneerausta. Helen Oy vastaa jäähdytysenergian häiriöttömästä tuotosta asiakkaalle. Helen toimittaa asiakkaan kiinteistöön tarvittavan jäähdytyslaitteiston, jonka käytönaikaisesta huollosta, kunnossapidosta sekä etäohjauksesta Helen myös vastaa. Asiakas maksaa sopimuksen mukaisen vuosimaksun sekä käyttämänsä jäähdytysenergian.

Insinööriyötä tehdessä ja jäähdytystekniikkaan paneutuessa sai huomata, että energiakulutus ja ympäristöasiat nousivat vahvasti esille. Suomen rakentamismääräykset eivät velvoita taloyhtiöitä jäähdytysaneeraukseen, jolloin jäähdytysjärjestelmän lisääminen jo olemassa olevan LVI-tekniikan rinnalle kasvattaa kiinteistöjen hiilijalanjälkeä. Kasvavaan jäähdytystarpeeseen sekä ilmastonmuutoksen aiheuttamiin kysymyksiin vastatessa kiinteistöjäähdytys on energiatehokas ja hinnaltaan kilpailukykyinen jäähdytysratkaisu. Samalla kun tuotetaan jäähdytysenergiaa, saadaan hyödynnettyä kiinteistöjen yllilämpö uusiutuvana lämpöenergiana kaukolämpöverkossa.

## Lähteet

- 1 Rakennusten jäähdytysmarkkinat. 2015. Verkkoaineisto. VTT. [https://energia.fi/files/399/Rakennusten\\_jaahdytysmarkkinat\\_18-12-2015.pdf](https://energia.fi/files/399/Rakennusten_jaahdytysmarkkinat_18-12-2015.pdf). Luettu 30.08.2021
- 2 F-kaasuja koskevat käyttörajoitukset ja kiellot. 2020. Verkkoaineisto. Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. <https://www.ymparisto.fi/fkaasut/kiellot>. Luettu 31.08.2021
- 3 Kiinteistöjen kaukojäähdytys. 2010. LVI 34-10462. Rakennustieto Oy.
- 4 Kaukojäähdytystilastot. 2021. Verkkoaineisto. Energiateollisuus. <https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/kaukojaahdytystilasto.html#material-view>. Luettu 02.09.2021.
- 5 Kaukojäähdytys. 2006. LVI 34-40067. Rakennustieto Oy.
- 6 Kaukojäähdytysjärjestelmät. 2009. RT 56-10967. Rakennustieto Oy.
- 7 Kiinteistöjäähdytyksen suunnitteluohje. 2020. Verkkoaineisto. Helen Oy [https://www.helen.fi/globalassets/jaahdytys/ammattilaiset/kaukojaahdytys-2017/kiinteist%C3%B6j%C3%A4%C3%A4hdytyksen\\_suunnitteluohje\\_12\\_2020.pdf](https://www.helen.fi/globalassets/jaahdytys/ammattilaiset/kaukojaahdytys-2017/kiinteist%C3%B6j%C3%A4%C3%A4hdytyksen_suunnitteluohje_12_2020.pdf). 10.09.2021
- 8 Juvonen, Anssi. 2020. Hiilineutraalin jäähdytyksen avulla lähemmäs päästövähennystavoitteita. Verkkoaineisto. Helen Oy. < <https://www.helen.fi/helen-oy/vastuullisuus/ajankohtaista/blogi/2020/hiilineutraali-jaahdytys>>. Luettu 13.09.2021.
- 9 Salmi, Jussi. 2021. Tekninen tuotepäällikkö, Helen Oy, Helsinki. Keskustelut 9.9.2021 ja 13.9.2021.
- 10 Salmi, Jussi. 2020. Lämpö- ja jäähdytystuotteet. Arcada opetusmateriaali. Helen Oy.
- 11 Sandberg, Esa. 2016. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Ilmastointiteknikka osa 1. 2. painos. Helsinki. Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- 12 Aittomäki, Antero. 2012. Kylmätekniikka. 4.painos. Helsinki. Suomen Kylmäyhdistys ry.

- 13 Lämmön siirtymistavat. 2021. Verkkoaineisto. Kotkasaaren koulu. < <https://peda.net/kotka/perusopetus/kotkansaaren-koulu/kt/oppiaineet/fy-siikka/jannen-ryhmat/l%C3%A4mp%C3%B6/ls/ls>>. Luettu 05.10.2021.
- 14 Mikkonen, Risto. 2017. DEE Sähkömagneettisten järjestelmien lämmön-siirto. < <https://docplayer.fi/32236749-Dee-sahkomagneettisten-jarjestel-mien-lammonsiirto.html>>. Luettu 05.10.2021.
- 15 Sandberg, Esa. 2016. Ilmastointilaitoksen mitoitus. Ilmastointiteknikka osa 2. 2. painos. Helsinki. Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- 16 Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaopas. 2011. Verkkoaineisto. Ympä-ristöministeriö. < [https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/jaahdy-tys\\_laskentaopas\\_2011.pdf](https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/jaahdy-tys_laskentaopas_2011.pdf)>. Luettu 06.10.2021.
- 17 Seppänen, Olli. 2006. Sisäympäristön terveys- ja tuottavuusvaikutukset. Helsinki. Talotekniikka-Julkaisut Oy
- 18 Seppänen, Olli. 2006. Sisäympäristö ja tuottavuus. Verkkoaineisto. Raken-nustieto Oy < <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK050703.pdf>>.
- 19 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 2017. 1010/2017.
- 20 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilman-vaihdosta. 2017. 1010/2017.
- 21 Mutanen, Otto. 2017. Toimistorakennuksen energiatehokas jäähdytys. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. LUTPub-julkaisuarkisto.
- 22 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta. 2017. 1048/2017.
- 23 Salmi, Jussi; Aalto, John. 2021. Helen Oy, Helsinki. Sähköpostikeskustelu 13.09.2021.
- 24 Oilon Chillheat. Kotimaiset teollisuuslämpöpumput ja -vedenjäädymtimet esite. 2021. Verkkoaineisto. Oilon Oy. < <https://oilon.com/fi/products/oilon-chillheat-p-30-p-450-teollisuuslampopumppu/>>. Luettu 22.09.2021.
- 25 Rakennuksen kaukojäähdytys, yhtenäiset laatuvaatimukset, suositukset ja ohjeet. 2014. Julkaisu J1. Helsinki: Energiateollisuus.

- 26 Kapanen, Mika. 2019. Välilliset jäähdytysjärjestelmät. Helsinki: Suomen Kylmäyhdistys Ry.
- 27 Voutilainen, Pia. 2007. Ammatilliset putket, Kupariputket nestekiertoisessa jäähdytyksessä. Verkkoaineisto. Scandinavian Copper Development Association. < [https://www.koppar.com/wp-content/uploads/2017/01/Komfortkyla\\_FI.PDF](https://www.koppar.com/wp-content/uploads/2017/01/Komfortkyla_FI.PDF)>. Luettu 23.09.2021
- 28 Option -valintaohjelma. Verkkoaineisto. Chiller Oy. <<https://www.chiller.eu/fi/valintaohjelma/>>. Luettu 27.09.2021.
- 29 Seppänen, Olli. 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Espoo: Talotekniikka-Julkaisut Oy
- 30 Kaappola, Esko; Hirvelä, Aulis; Jokela, Matti & Kianta, Jani. 2018. Kylmätekniikan perusteet. 5. painos. Helsinki. Opetushallitus.





## Oilon ChillHeat P 30 – P 450 -lämpöpumput

### Oilon ChillHeat P 30 - P 450



Korkein lämpötila 120 °C



Isot kiinteistöt



Yhdistetty jäähdytys ja lämmitys

Kylmälaitoksen lämmöntalteenotto  
(ammoniakki, HFC, CO<sub>2</sub>)Prosessilämpöjen talteenotto  
(hahduittimet, jäähdytystornit, kuivalmei)

Jäteveden lämmöntalteenotto



Oilon ChillHeat P -lämpöpumput tuottavat jopa 120 asteista vettä korkealla hyötysuhteella myös erittäin alhaisilla osatehoilla.

Kymmenien vuosien kehityksen tuloksena syntyneet energiatehokkaat mäntäkompressorit vastaavat P-sarjalaisten varmasta toiminnasta sekä alhaisista käyttö- ja huoltokustannuksista.

#### TEKNISET TIEDOT

		P 30	P 60	P 100	P 150	P 220
Kompressorit, tyyppi ja lukumäärä		mäntä, 1	mäntä, 2	mäntä, 2	mäntä, 2	mäntä, 3
Kylmäainepiirien lkm		1	1	1	1	2
Mitat, ilman laitesuojaa ja lisäjalvoja *	Korkeus mm	1300	2091	2091	2091	2091
	Pituus mm	1080	1571	1571	1571	2723
	Leveys mm	740	911	911	911	911
Kylmäaine		R134a R513A R450A R1234ze	R134a R513A R450A R1234ze	R134a R513A R450A R1234ze	R134a R513A R450A R1234ze	R134a R513A R450A R1234ze
Sulakekoko **	A, 3/N/PE 400 V 50 Hz	3x63A	3x125A	3x160A	3x200A	3x400A
Paino	kg	530	1000	1200	1600	2300

ChillHeat tuotteiden suorituskykyarvot eri olosuhteissa saat laskettua Oilon Selection Tool valintaohjelman avulla.

\*) Mitat ilman taajuusmuuttajaa.

\*\*) Sulakekoko mitoitettu vaativimmassa olosuhteessa. Pyydi tarkistusmitoitus toimittajalta.

Lopulliset tekniset tiedot antaa valmistaja. Oilon päätös oikeuden muutoksien ilman erillistä ilmoitusta.