



Tomi Turunen

Ilma-vesilämpöpumppu kiinteistön tuloilman lämmityksessä ja jäähdy- tyksessä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

23.5.2024

Tiivistelmä

Tekijä:	Tomi Turunen
Otsikko:	Ilma-vesilämpöpumppu kiinteistön lämmityksessä ja jäähdytyksessä
Sivumäärä:	43 sivua + 1 liite
Aika:	23.5.2024
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Talotekniikka
Ammatillinen pääaine:	LVI-suunnittelu
Ohjaajat:	Diplomi-insinööri Mikko Keinänen Yliopettaja Aki Valkeapää

Insinöörityössä on tarkasteltu ilma-vesilämpöpumpun soveltuvuutta korvaamaan osittain tai kokonaan kaukojäähdytys ja -lämmitys ilmanvaihdon lämmityksessä ja jäähdytyksessä. Työn tavoitteena oli selvittää, voiko ilma-vesilämpöpumpulla tuottaa lämmitystä ja jäähdytystä edullisemmin kuin pelkästään kaukolämmöllä ja -jäähdytyksellä. Tarkastelu tehtiin olemassa olevaan hotelli kiinteistöön.

Työssä tarkasteltiin kahta eri valmistajan ilma-vesilämpöpumppua ja niiden taloudellista kannattavuutta verrattiin kiinteistön nykyiseen kaukolämpöön ja -jäähdytykseen perustuvaan ratkaisuun. Työssä selvitettiin ilma-vesilämpöpumpun nettonykyarvo ja laskettiin, kuinka nopeasti ilma-vesilämpöpumput maksavat itsensä takaisin. Laskelmien perusteella molemmat ilma-vesilämpöpumput olisivat kannattava investointi kohteeseen. Carrierin ilma-vesilämpöpumpun takaisinmaksuaika oli laskelmien perusteella noin 6 vuotta ja Swegonin oli vajaa 18 vuotta. Yleensä ilma-vesilämpöpumppujen uusimistarve on noin 25 vuotta, joten kumpikin lämpöpumppu on taloudellisesti kannattava ja energiatehokas ratkaisu työssä tarkasteltuun kohteeseen.

Insinöörityö laadittiin Excel-taulukko helpottamaan ilma-vesilämpöpumpun energiankulutuksen kustannusvertailulaskelmia sekä auttamaan ilma-vesilämpöpumppujen valintaa. Työ tehtiin Insinööritoimisto Leo Maaskola Oy:lle, joka sai työn lopputuloksena syntyneen Excel-taulukon käyttöönsä.

Avainsanat: ilma-vesilämpöpumppu, takaisinmaksuaika, elinkaarilaskenta

Abstract

Author: Tomi Turunen
Title: Air to Water Heat Pump for Cooling and Heating the Building Supply Air
Number of Pages: 43 pages + 1 appendix
Date: 23 May 2024

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Building Services Engineering
Professional Major: HVAC Designer
Supervisors: Mikko Keinänen, Master of Science
Aki Valkeapää, Principal Lecturer

The purpose of the project was to study and compare the suitability of different heat pump solutions to replace or work with district heating and cooling. The aim was to establish if it is possible for an air-to-water heat pump to provide heating and cooling to supply air more economically than district heating and district cooling.

The method used in the project was a theory-based literature review. Furthermore, calculations were conducted with the Microsoft Excel programme for both systems. The calculations included hour by hour results for one year and also contained the hourly outdoor air temperatures which determined the heat demand for each hour. Finally, the calculations for both systems were compared.

The results of the project suggested that an air-to-water heat pump is more energy efficient and economically profitable. The conclusions were that for the casebuilding it is more efficient and economically profitable to choose an air-to-water heat pump than the current system.

Keywords: air-to-water heat pump, repayment period, life cycle assessment

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Kylmäkone	2
2.1	Suora ja välillinen jäähdytys	2
2.2	Kiertoprosessi	3
2.3	Pääkomponentit	5
2.3.1	Kompressori	5
2.3.2	Höyrystin	6
2.3.3	Lauhdutin	7
2.3.4	Paisuntaventtiili	7
2.3.5	Puhallinkonvektori	8
3	Vedenjäähdytyskone	9
4	Ilma-vesilämpöpumppu	10
4.1	Ilma-vesilämpöpumppu lämmityksessä	11
4.2	Ilma-vesilämpöpumppu jäähdytyksessä	12
5	Kaukokylmä	13
6	Järjestelmäkaavio ja putkituksen suunnittelu hotelliinteistölle	14
6.1	Lähtötietoja	14
6.1.1	Tuloilman jäähdytys ja lämmitys	15
6.1.2	Huoneiden jäähdytys	16
6.2	Ilma-vesilämpöpumpun kytkentäkaaviot	16
7	Energia- ja kannattavuuslaskenta	21
7.1	Excel-taulukko	21
7.2	Energian kulutustiedot	23
7.3	Ilmanvaihtokoneen lämmitys- ja jäähdytyspatterin tarkastelu	25
7.4	Ilmavesilämpöpumpulla tuotettu energia lämmityskäytössä	26
7.5	Ilma-vesilämpöpumpulla tuotettu energia jäähdytyskäytössä	27
8	Lämpöpumpun valinta ja kustannukset	29

8.1	Carrier AquaSnap 30RQ 140R	30
8.2	Swegon BlueBox Zeta sky R7 HP 14.4	31
8.3	Investointiarviot	33
8.4	Elinkaarikustannuslaskennat	34
8.5	Kannattavuuslaskenta	36
9	Yhteenveto	41
	Lähteet	44
	Liite 1: Excel-taulukko tuntitason laskennasta	

Lyhenteet

COP: *Coefficient of Performance*. Lämpöpumpun tuottaman lämpötehon suhde sen kuluttamaan sähkötehoon tietyissä olosuhteissa.

EER: *Energy Efficiency Ratio*. Lämpöpumpun tuottaman jäähdytystehon suhde sen kuluttamaan sähkötehoon tietyissä olosuhteissa.

1 Johdanto

Tässä insinööriyössä esitellään ilma-vesilämpöpumpun toimintaa sekä tarkastellaan sen soveltuvuutta korvaamaan kiinteistön kaukojäähdytys tai vedenjäähdytyskone. Soveltuvuutta arvioidaan laitteiston energiankulutusta ja investoinnin takaisinmaksuaikaa laskemalla. Työn tarkoituksena on selvittää, onko ilma-vesilämpöpumppu taloudellisesti järkevä ja energiatehokas ratkaisu tämän kokoluokan kohteissa vai onko kustannustehokkaampia vaihtoehtoja. Koska Suomi aikoo olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä (1), pitää kiinteistöjen energiaratkaisuihin miettiä energiatehokkaampia ratkaisuja. Tässä työssä tarkastellaan esimerkiksi sitä, voitaisiinko ilma-vesilämpöpumpulla saada kiinteistö energiatehokkaammaksi ja taloudellisesti kannattavammaksi kuin nykyisillä järjestelmillä.

Tarkastelu tehtiin Helsingin Hakaniemessä sijaitsevalle hotellille, jossa kiinteistön tuloilman jäähdytys on toteutettu kaukojäähdytyksellä, jota on täydennetty hotellihuoneisiin sijoitetuilla puhallinkonvektoreilla. Tyypillisesti tämän kaltaisissa kohteissa jäähdytys on toteutettu joko vedenjäähdytyskoneella tai kaukojäähdytyksellä, mutta myös ilma-vesilämpöpumput ovat yleistymässä tämän tyyppisissä kohteissa niiden lämmitys- ja jäähdytysominaisuuksien takia. Vedenjäähdytyskoneella voidaan tuottaa pelkästään jäähdytysenergiaa, kun taas ilma-vesilämpöpumpulla pystytään tuottamaan jäähdytys- ja lämmitysenergiaa. Tässä työssä ei oteta mukaan puhallinkonvektoreiden eikä muiden ilmanvaihtokoneiden kuin ilmanvaihtokone TK11/PK11:n tuottamaa jäähdytystä.

Hotellikohteen kaukokylmäsopimus loppuu vuonna 2024, ja samalla pitää uusia kaukolämpöpaketti, joka on elinkaarensa lopussa. Kiinteistöön mahdollisesti tulevilla ilma-vesilämpöpumpulla voidaan jäähdytyksen lisäksi myös lämmittää tuloilmaa. Energialaskelmista laaditaan Excel-taulukko, josta nähdään energiankulutus tuntitasolla. Työssä vertaillaan kaukokylmän, kaukolämmön ja ilma-vesilämpöpumpun kustannuksia toisiinsa.

Työ tehdään Insinööritoimisto Leo Maaskola Oy:lle. Työn päätteeksi Insinööritoimisto saa käyttöönsä työstä laadittavan Excel-taulukon, jolla voidaan

mitoittaa ilma-vesilämpöpumppuja kiinteistöön syöttämällä kiinteistön lähtötiedot niiden osoittamille kohdille taulukossa. Excel-taulukosta selviävät taloudellisen kannattavuuden ja energialaskennan tulokset lähtötietojen syöttämisen jälkeen.

Insinööriyössä käydään läpi kylmäkoneen toimintaa, ilma-vesilämpöpumppua, vedenjäähdytyskonetta, kaukokylmää ja niiden sovelluksia. Näiden lisäksi tarkastellaan järjestelmäkaavioita edellä mainituista lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmistä sekä sitä, miten tuloilman jäähdytys- ja lämmityspatteria pystytään hyödyntämään ilma-vesilämpöpumpulla. Työssä tarkastellaan myös energia- ja kannattavuuslaskentaa sekä laskujen perusteella valittavaa ilma-vesilämpöpumppua. Lopuksi työstä tehdään yhteenveto. Aiheesta on tehty jonkin verran tutkimuksia, joita hyödynnetään myös tässä työssä lähteinä. Työn toteuttamisessa käytetään AutoCAD-, MagiCAD- ja Excel-ohjelmistoja.

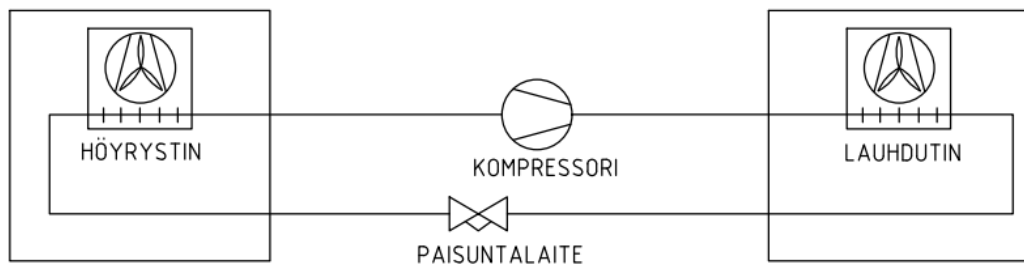
Insinööritoimisto Leo Maaskola Oy on monialainen insinööritoimisto. Palveluita, joita yritys tarjoaa, ovat LVI-suunnittelu, sähkösuunnittelu, RAU-suunnittelu, rakennesuunnittelu, talotekninen- ja rakennevalvonta, projektinjohto sekä energia- ja elinkaarisuunnittelu. Yritys on perustettu vuonna 1956 ja siellä työskentelee noin 60 työntekijää. (2.)

2 Kylmäkone

2.1 Suora ja välillinen jäähdytys

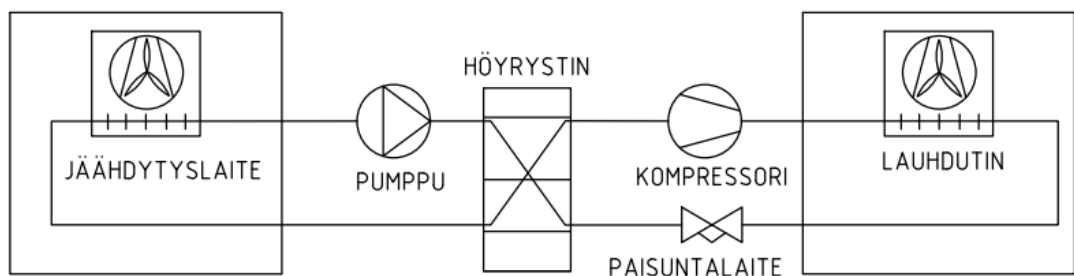
Suorajäähdytteisessä jäähdytysjärjestelmässä höyrystin on sijoitettu suoraan jäähdytettävään kohteeseen. Suorassa jäähdytyksessä on kaksi höyrystymistapaa, kuiva- ja märkähöyrystys. (3, s. 269–270.) Ilmalämpöpumppu on hyvä esimerkki kuivahöyrysteisestä suorasta jäähdytyksestä. Sen ulkoyksiköllä kerätty energia siirretään suoraan sisäilmaan sisäyksikön kautta puhaltimella

puhaltamalla. Kuvassa 1 on esitetty suora jäähdytys.



Kuva 1. Suoran jäähdytysjärjestelmän periaatekaavio.

Välillisessä jäähdytyksessä energia tuodaan kylmäliuokseen höyrystimessä kulkevalla kylmäaineella. Kylmäliuos siirtää kylmäenergian kohteeseen erillisiä pattereita, palkkeja tai lattiaviilennysputkia hyödyntäen. (3, s. 270.) Kuvassa 2 on esitetty välillinen jäähdytysjärjestelmä. Kuvasta 2 nähdään, että kylmäliuos, joka jäähdyttää ympäristöä, virtaa pumpun avulla. Välillisellä jäähdytyksellä voidaan varmistaa, ettei kylmäaineita kulkeudu jäähdytettävään kohteeseen. (3, s. 271.)



Kuva 2. Suljetun välillisen jäähdytysjärjestelmän periaatekaavio.

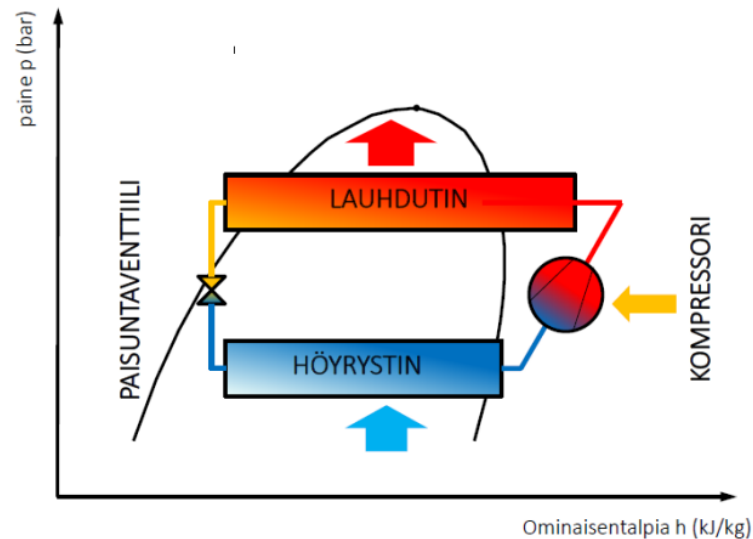
2.2 Kiertoprosessi

Lämpö siirtyy aina lämpimämmästä kylmempään termodynamiikan toisen pääsäännön mukaan. (4.) Kylmäkoneessa kiertää kylmäaine, johon kerätään

lämmitysenergiaa. Kylmäaine on väliaine lämmön siirtämiselle. Sen olomuoto riippuu paineesta ja lämpötilasta. Kylmäaine voi olla nestemäistä, kaasumaista tai nesteen ja kaasun seosta. Näiden olomuodon muutoksien takia kylmäaineella pystytään siirtämään lämpöenergiaa melko pienilläkin massavirroilla ja siksi kylmäaineet ovat niiden ominaisuuksien vuoksi hyviä lämpöenergian siirtäjiä. Kylmäaineet ovat halogeenimolekyylien perusteella jaoteltavia aineita. Halogeenimolekyylien lisäksi kylmäaineet voivat olla myös luonnonmukaisia kylmäaineita. (5.)

Kuvasta 3 voidaan tarkastella kylmäaineen kiertoprosessia. Höyrystimessä kylmäaineeseen siirtyy ympäristöstä lämpöä, jolloin kylmäaine höyrystyy nesteestä kaasuksi ja sitoo lämpöenergiaa kylmäaineeseen. Kylmäainehöyry tulistuu ja lämpenee höyrystimessä ennen kompressorille menoa. Riittävän suuri tulistuminen on tärkeää, jotta kompressorille ei kulkeudu nestepisaroita, jotka voisivat hajottaa kompressorin. Tulistus on tyypillisesti 4... 7 kelviniä. (6, s. 5.) Höyrystimen jälkeen kylmäaine siirtyy kylmäaineputkia pitkin kompressorille, joka puristaa kylmäainehöyryn korkeapaineiseksi. (6, s. 4.) Kylmäainehöyryn lauhtuessa lauhtuttimessa nesteeksi se vapauttaa lämpöenergiaa ympäristöön, jolloin kylmäaine muuttuu kaasusta takaisin nesteeksi. Lauhduttimen jälkeen kylmäaine jatkaa paisuntalaitteelle, joka kuristaa kylmäainenesteen takaisin matalapaineiseksi ja kylmäaineneste muuttuu neste-höyryseokseksi. (6, s. 5.) Tällöin kylmäaineen lämpötila laskee höyrystymislämpötilaan. Matalapaineinen kylmäaine

jatkaa paisuntalaitteelta kulkua uudestaan höyrystimelle ja kylmäkiertoprosessi jatkaa kulkuaan uudelleen kompressorille.



Kuva 3. Kylmäaineen kierto prosessi log p,h-piirroksessa. (6, s. 3.)

2.3 Pääkomponentit

2.3.1 Kompressorit

Kompressorit tuottaa paine-eron, jonka avulla kylmälaitteen kierto prosessi tapahtuu. Ennen kompressorit on matalapaine, ja kompressorin jälkeen korkeapaine. Kompressorit imee kylmäainehöyry höyrystimestä ja puristaa kylmäaineen korkeapaineeseen. Puristuksen takia kylmäaine lämpenee ja sen tiheys kasvaa. (6, s. 4.) Kompressorit on erityyppisiä. Niitä ovat mäntäkompressorit,

ruuvikompressori, turbokompressori ja kierukkakompressori eli scroll-kompressori. Kuvassa 4 on scroll-kompressori.



Kuva 4. Scroll-kompressori. (7.)

2.3.2 Höyrystin

Höyrystin on lämpöpumpun osa, joka kerää ympäristöstä lämpöä kylmäaineeseen. Höyrystimessä kylmäaine höyrystyy ja muuttuu höyryksi. Jotta tämä toteutuu, tulee kylmäaineen olla ympäristöä alhaisemmassa lämpötilassa ja matalassa paineessa. (6, s. 4.) Yleisimpiä höyrystimiä pienissä lämpöpumpuissa on pieni, teräksestä tehty levylämmönsiirrin. (Kuva 5)



Kuva 5. Levylämmönsiirrin eli höyrystin pienissä kylmäkoneissa. (8.)

2.3.3 Lauhdutin

Lauhdutin siirtää kompressorilta tulevan kylmäainekaasun lämpöenergian siirrettävään aineeseen, joko ilmaan tai veteen. (4, s. 9.) Ilmaan johdettava lämpö siirretään yleensä puhaltamalla puhaltimella lämpö ympäristöön. (4, s. 11.) Kun kuumakaasu tulee lauhduttimelle ja lauhtuu, tällöin kylmäaine muuttuu neste-höyryseokseksi. Kuvassa 6 on esimerkki ilmalauhduttimesta.



Kuva 6. Ilmalauhdutin. (9)

2.3.4 Paisuntaventtiili

Kylmäaine virtaa lauhdeputkea pitkin paisuntaventtiilille joko suoraan lauhduttimelta tai isommissa laitoksissa ja järjestelmissä varaajalta. (6, s. 4.) Erilaisia paisuntalaitteita ovat paisuntaventtiili ja kapillaariputki. (6, s. 5.) Esimerkiksi jääkaapeissa käytetään kapillaariputkea paisuntaventtiilinä. Paisuntaventtiili on yleisempi paisuntalaitteista isommissa kylmäkoneissa ja laitoksissa. Paisuntaventtiilin tehtävä on luoda paine-ero lauhduttimen ja höyrystimen välille. Paine-ero muodostuu siis kompressorin puristustyöstä ja paisuntaventtiilin kuristuksesta. Kompressorin tuottaa painetta ja paisuntaventtiili laskee höyrystimen

lauhduttimen korkeasta paineesta höyrystimen matalaan paineeseen. Kuvassa 7 on esimerkki termostaattisesta paisuntaventtiilistä.



Kuva 7. Termostaattinen paisuntaventtiili. (10.)

2.3.5 Puhallinkonvektori

Puhallinkonvektoreilla voidaan jäähdyttää ja lämmitää huoneissa olevaa sisäilmaa. Ne kierrättävät huoneilmaa konvektorin lamellipatteriston läpi puhallinta käyttäen. Lamellipatteristossa kulkee putkisto, jossa virtaa kiinteistön jäähdytysjärjestelmän kylmäliuos tai vesi, joka viilentää kierrätettävää ilmaa. Puhallinkonvektorit tuottavat kondenssivettä, joten ne pitää viemäroidä kiinteistön viemärijärjestelmään.

Puhallinkonvektoreita on erilaisia. Kuvassa 8 on kattoon asennettava puhallinkonvektori. Muita puhallinkonvektoreita ovat seinäasenteinen, lattia-asenteinen ja ikkunapenkiasenteinen puhallinkonvektori.

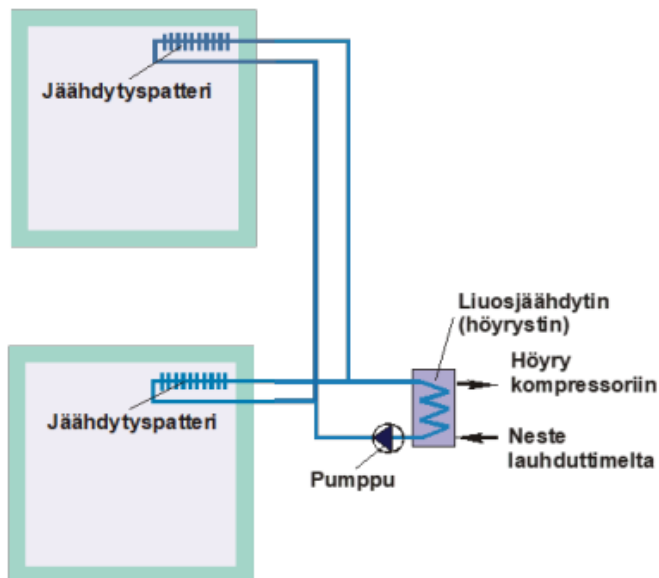


Kuva 8. Puhallinkonvektori. (15.)

3 Vedenjäähdytyskone

Vedenjäähdytyskoneet voidaan jakaa kahteen eri tyyppiin eli neste- ja ilmalauhdutteisiin. Yleisempiä Suomessa ovat ilmalauhdutteiset vedenjäähdytyskoneet. Vedenjäähdytyskone sijoitetaan usein ulos vesikatolle, ja niissä on yleensä tasaussäiliö tasaamassa koneen käyntiä.

Vedenjäähdytyskoneet ovat välillisiä jäähdytysjärjestelmiä. Tämä tarkoittaa sitä, että höyrystin ei suoraan jäähdytä tuloilmaa, vaan tuloilmaa jäähdytetään erillisillä jäähdytyspattereilla, joissa kiertää kylmäliuos tai vesi, jota vedenjäähdytyskoneen höyrystin jäähdyttää. Jäähdytyspattereiden liuosta kierrätetään erillisellä kiertovesipumpulla. (4, s. 8.) Kuvassa 8 tuodaan esiin, miten välillinen jäähdytys toimii.



Kuva 9. Välillinen ja keskitetty jäähdytys. (11.)

Kuten yllä olevasta kuvasta nähdään, kiertää välillisessä järjestelmässä tiloja jäähdyttävä liuos tai vesi jäähdytyspattereiden ja höyrystimen välillä. Höyrystimessä liuos jäähtyy ja jatkaa matkaansa kiertovesipumpun avulla jäähdytyspattereille. Jäähdytyspattereilta liuos jatkaa takaisin lämpimänä höyrystimelle. Höyrystimessä liuksesta kerätään lämpö laitteessa kiertävän kylmäaineen avulla. Kylmäaine höyrystyy kylmäliuksesta saatavan lämpöenergian takia, jolloin jäähdytysliuos jäähtyy. Samalla höyrystynyt kylmäaine jatkaa matkaansa kompressorille ja siitä edelleen lauhduttimelle.

4 Ilma-vesilämpöpumppu

Ilma-vesilämpöpumppu on höyryn puristukseen ja paineeseen perustuva lämpöpumppu, jolla lämmitetään ja jäähdytetään toisiopuolella kiertävää vettä. Lämmityskäytössä lämpöpumpun ulkoyksikkö on höyrystin ja sisäyksikkö lauhdutin. Tällöin höyrystin kerää lämmön ulkoilmasta ja lauhdutin vapauttaa sen sisätilaan. Jäähdytettäessä höyrystin ja lauhdutin käännetään keskenään

nelitieventtiin avulla. Tällöin lauhdutin luovuttaa höyrystimessä kerätyn lämpöenergian ulkoilmaan. Höyrystin taas kerää sisäilmasta lämpöä, jolloin sisäilma jäähtyy. (4, s. 9.)

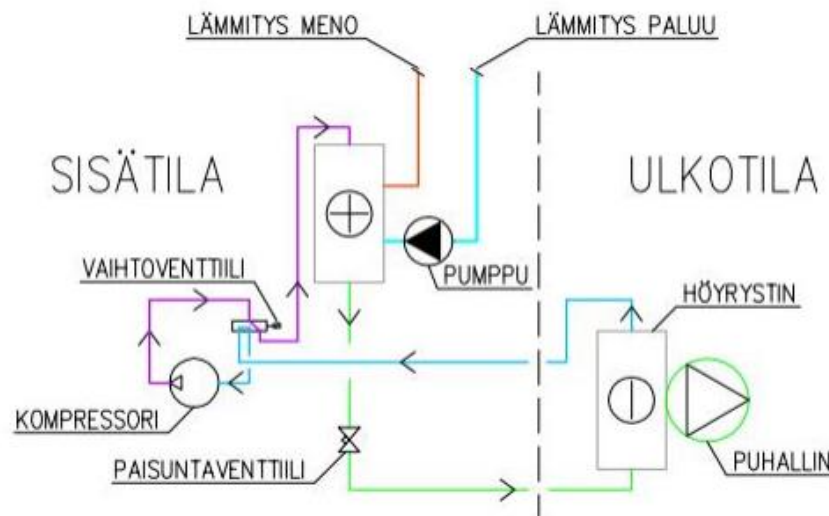
4.1 Ilma-vesilämpöpumppu lämmityksessä

Ilma-vesilämpöpumpun koneiston toiminta pohjautuu ulkoa saatavaan lämpöenergiaan. Kylmäaineen höyrystymislämpötila pitää olla alhaisempi, kuin ulkoilman. Ulkoilmasta lämpö siirretään kylmäaineeseen puhaltimella, joka puhalttaa ulkoilmaa höyrystimen läpi. Kylmäaineeseen siirretty lämpö kulkee kompressorin kautta lauhduttimelle. Lauhduttimelta lämpö johdetaan kiinteistöä lämmittävään veteen, lämpimään käyttöveteen tai tuloilman pattereille. (4, s. 9.) Ilma-vesilämpöpumpun käytössä on kuitenkin huomioitava seuraavat asiat:

- Kun ulkoilma viilenee, lämpöpumpun lämpökerroin heikkenee.
- Höyrystimeen kertyy kondenssivettä.
- Kondenssivesi jäätyy pakkasella, jolloin sitä pitää sulattaa. (4, s. 9.)

Ulkoilman lämpötilan laskiessa $-15\dots-20$ °C:een lämpöpumpun lämpökerroin laskee lähelle yhtä. (4, s. 9.) Lämpökerroin tarkoittaa lämpöpumpun ottamaa sähkötehoa verkosta suhteessa lämpöpumpun tuottamaan lämmitystehoon. Tämä tarkoittaa siis lämpöpumpun hyötysuhdetta. Mitä isompi lämpökerroin, sitä vähemmän kulutetaan sähköä tuotettuun lämmitysenergiaan verrattuna.

Kun lämpöpumppu on pakkasessa, sen höyrystimeen kerääntyy kondenssivettä, joka jäätyy ja jota pitää sulattaa. Sulattaminen heikentää kokonaislämpökerrointa, koska sulatus tehdään joko sähkövastuksilla tai kääntämällä prosessi, eli vaihtamalla höyrystin hetkeksi lauhduttimeksi, jolloin lämpöpumppu sulaa. Jos lämpökerroin laskee sulatuksen jälkeen alle yhteen, lämpöpumpulla ei ole enää järkevää tuottaa lämpöä. Tällöin sähköverkosta otettu energiamäärä on suurempi, kuin lämpöpumpulla tuotettu energiamäärä. (4, s. 9.) Kuvassa 9 on esitetty ilma-vesilämpöpumpun periaatekuva lämmityskäytössä.



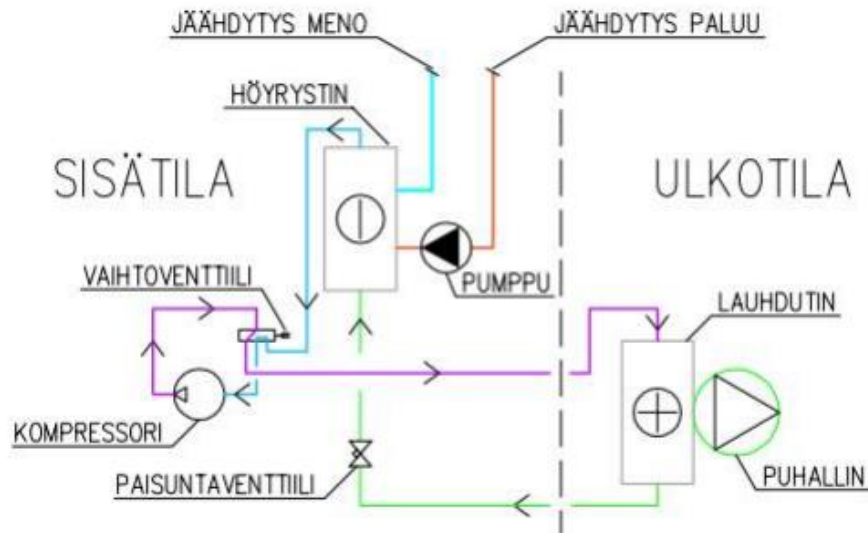
Kuva 10. Lämmityskäytössä olevan vesi-ilmalämpöpumpun periaatekuva. (4, s. 10.)

Kuten yllä olevasta kuvasta nähdään, on ulkotilassa höyrystin ja sisätilassa lauhdutin. Höyrystimeltä lähtevä putki kulkee nelitieventtiilille, joka ohjaa höyrystimeltä tulevan kylmäaineen lauhduttimelle. Höyrystimellä siis kerätään lämpöenergiaa ulkoilmasta ja johdetaan sisätilassa olevalle lauhduttimelle, josta se luovutetaan lämmitysverkostoon.

4.2 Ilma-vesilämpöpumppu jäähdytyksessä

Jäähdytyskäytössä kylmäainevirtaus käännetään vastasuuntaan nelitieventtiin avulla. Tällöin vesi-ilmalämpöpumpun lauhdutin vaihtuu sisätilasta ulkotilaan ja höyrystin vaihtuu ulkotilasta sisätilaan. (4, s. 10.) Sisätilasta höyrystimellä kerätty lämmitysenergia siirretään putkistoa pitkin nelitieventtiin kautta lauhduttimelle, joka luovuttaa lämmitysenergian ulkotilaan. Vertailemalla kuvia 9 ja 10

nähdään lämmitys- ja jäähdytyskäytössä olevien ilma-vesilämpöpumppujen erot.



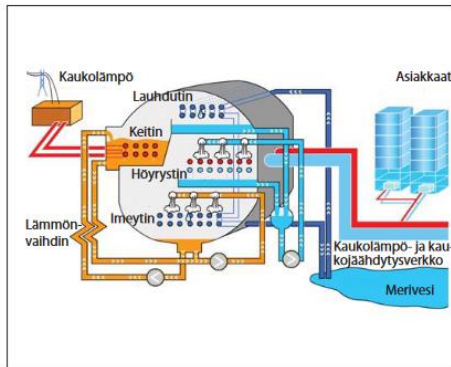
Kuva 11. Jäähdytyskäytössä olevan vesi-ilmalämpöpumpun periaatekuva (4, s. 11.).

Kuten kuvasta 10 voi huomata, luovutetaan jäähdytysliuoksen lämmitysenergia höyrytimessä kiertävään kylmäaineeseen, josta se johdetaan ulkotilassa olevalle lauhduttimelle. Lauhduttimessa lämpöenergia luovutetaan puhaltimen avulla ulkotilaan, mikä tehostaa lämmönluovutusta. (4, s. 11.)

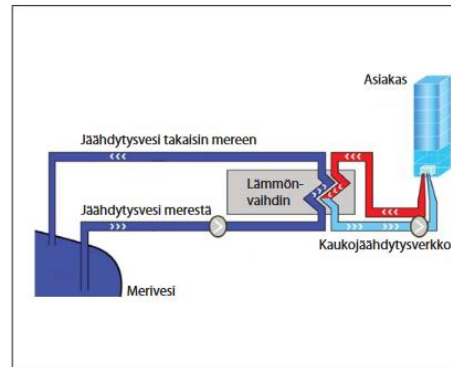
5 Kaukokylmä

Kaukokylmä, toiselta nimeltään kaukojäähdytys, tuotetaan energialaitoksissa. Kaukojäähdytysvesi tuotetaan energialaitoksissa lämpöpumpuilla, vapaajäähdytyksellä merivedestä, kompressoriteknikalla tai absorptioteknikalla. Helen Oy:n kaukojäähdytysenergia tuotetaan kesäisin absorptioteknikalla. Talvikautena kaukojäähdytys on tuotettu merivedestä. (12.) Kaukojäähdytysenergiaa on tarjolla pääasiassa vain suurissa kaupungeissa. (13.) Kiinteistöissä kaukokylmävesi hyödynnetään lämmönsiirtimien kautta jäähdytysverkostoon. Jäähdytysverkosto on yleensä toteutettu tuloilmaa jäähdyttämällä, jäähdytyspalkeilla,

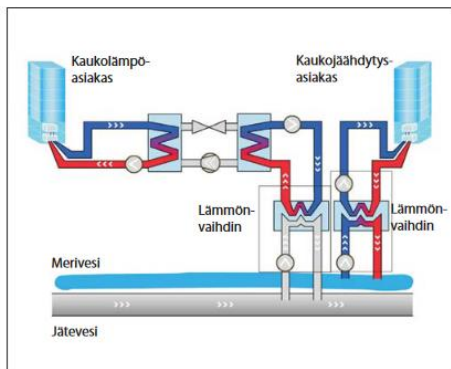
puhallinkonvektoreilla tai lattiajäähdytyksellä. (14.) Kuvassa 11 on esitetty erilaisia kaukojäähdytyksen tuotantotapoja.



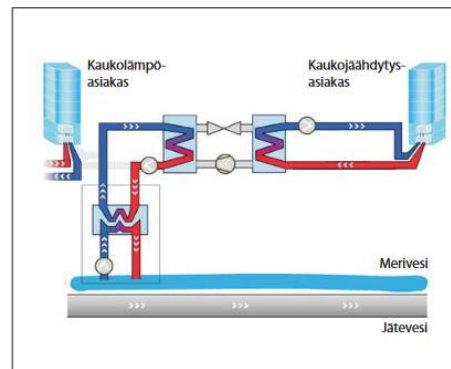
Kuva 1. Absorptiojäähdytys.



Kuva 2. Talvikauden jäähdytystuotanto merestä (vapaajäähdytys).



Kuva 3. Lämpöpumpun toimintaperiaate talvella.



Kuva 4. Lämpöpumpun toimintaperiaate kesällä.

Kuva 12. Erilaisia kaukojäähdytyksen tuotantotapoja. (12.)

6 Järjestelmäkaavio ja putkituksen suunnittelu hotelli kiinteistöille

6.1 Lähtötietoja

Tutkimuskohteena on vuonna 1959 rakennettu Helsingin Hakaniemessä sijaitseva hotelli kiinteistö. Hotellin bruttoala on 9621 brm². Hotellissa on yhdeksän kerrosta ja 180 hotellihuonetta. Kohteessa on tällä hetkellä kaukolämpö ja -jäähdytys jäähdyttämässä ja lämmittämässä hotellihuoneita ja muita tiloja.



Kuva 13. Hotellikiinteistön kaukokylmäkeskus.

Kuvassa 13 kaukokylmäkeskuksen takana näkyy musta laatikko, joka on kaukokylmäkeskuksen lämmönsiirrin. Mustan laatikon edessä on vihreä komponentti. Komponentti on kaukokylmäkeskuksen kiertopumppu.

6.1.1 Tuloilman jäähdytys ja lämmitys

Tutkittava tulo/poistoilmakone on TK11/PK11, joka on käynnissä koko ajan. Se palvelee 3.–9. kerroksen hotellihuoneita, käytäviä, sekä sähkötiloja. Ilmanvaihtokoneesta löytyy pyörivä lämmöntalteenottosiirrin, joka kerää lämpöä poistoilmaasta tuloilmaan. Lisäksi koneesta löytyy jäähdytys- ja lämmityspatteri. Lämmityspatterin menoveden mitoituslämpötila on 70 °C ja paluueden mitoituslämpötila on 40 °C. Jäähdytyspatterin menoveden mitoituslämpötila on 18 °C ja

paluuveden mitoituslämpötila on 10 °C. Ilmanvaihtokoneen tulo- ja poistoilmavirta on 3,8 m³/s.

6.1.2 Huoneiden jäähdytys

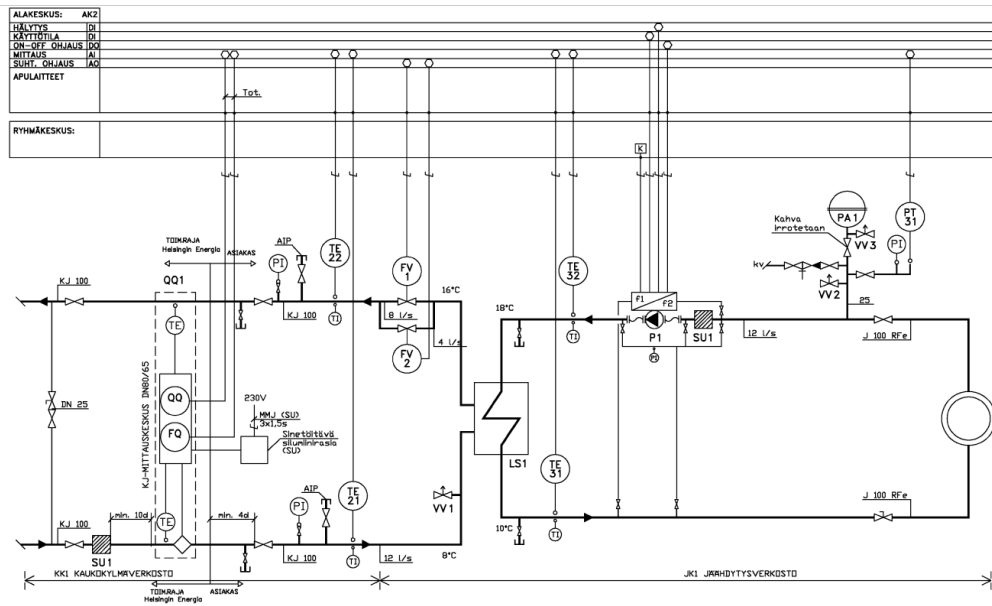
Hotellihuoneiden jäähdytys on toteutettu jäähdyttämällä huoneisiin tulevaa ilmaa ilmanvaihtokoneen jäähdytyspatterilla sekä 3.–9. kerroksien hotellihuoneiden jäähdytystä tehostamaan on huoneisiin asennettu puhallinkonvektorit, jotka kierrättävät huoneilmaa puhallinkonvektorin lamellipatterin läpi.

6.2 Ilma-vesilämpöpumpun kytkentäkaaviot

Hybridiratkaisulla tarkoitetaan kaukolämmön ja lämpöpumpun yhdistelmää tai kaukolämmön, kaukojäähdytyksen ja lämpöpumpun yhdistelmää. Kuvan 18 hybridijärjestelmäkaaviossa on esitetty kaukojäähdytys ja -lämmitys ilma-vesilämpöpumpun kanssa. Kuvan 19 järjestelmäkaaviossa kaukojäähdytys on jätetty pois ja ilma-vesilämpöpumppu on kytketty vain kaukolämmityksen kanssa.

Kuvassa 14 on esitetty hotellirakennuksen tämänhetkinen toimintakaavio jäähdytyksestä. Järjestelmäkaaviossa on myös osoitettu automaation pisteet. Lämmönsiirtimen LS1 vasemmalla puolella on kaukojäähdytyskeskuksen

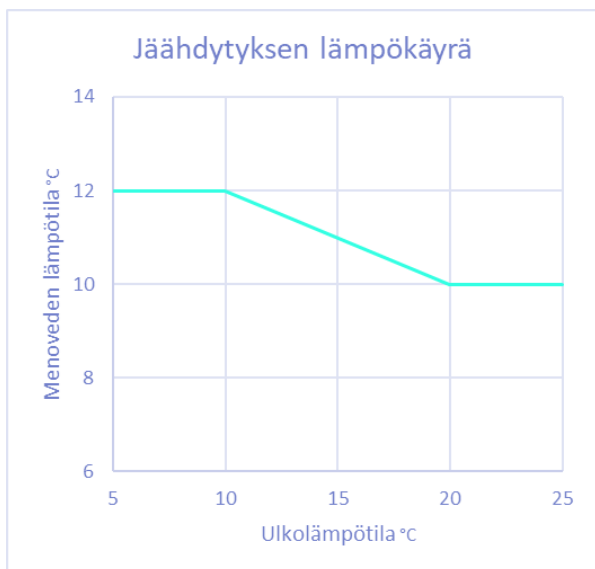
ensiöpuolen putkisto. Lämmönsiirtimen LS1 oikealla taas on esitetty kiinteistön jäähdytysverkosto.



Kuva 14. Nykyinen hotellirakennuksen kaukojäähdytyksen kytkentäkaavio.

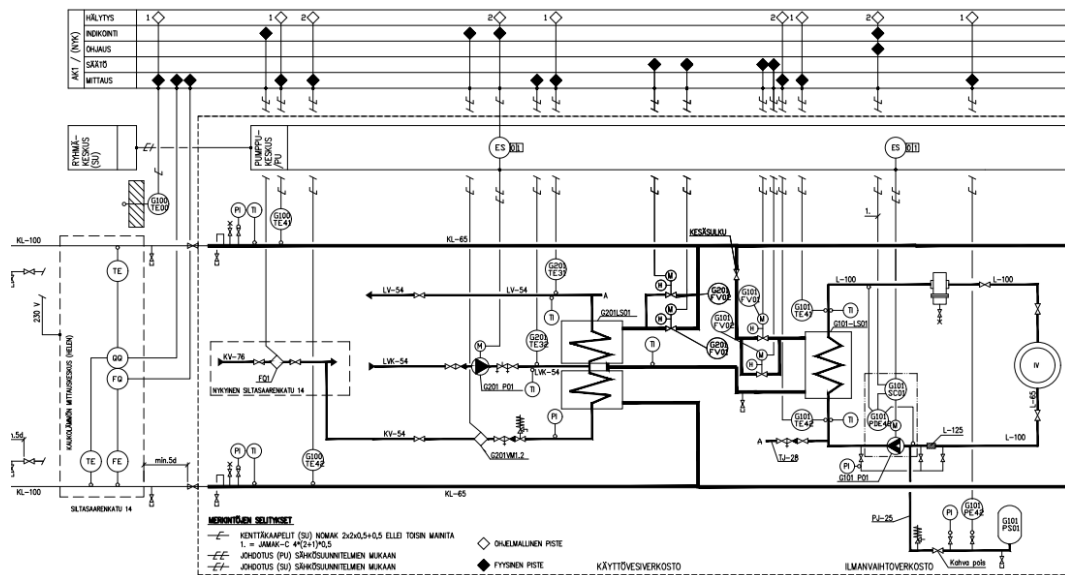
Uudessa kytkennässä kaukojäähdytys jää pois ja tilalle tulee ilma-vesilämpöpumppu. Jäähdytyksen osalta ilma-vesilämpöpumpulla voidaan toteuttaa koko

jäähdytysjärjestelmä. Kuvassa 15 on nykyinen jäähdytyksen lämpökäyrä, jossa on esitetty IV-pattereiden menoveden lämpötila ulkolämpötilan funktiona.



Kuva 15. Kohteen IV-patteriveden jäähdytyksen lämpökäyrä.

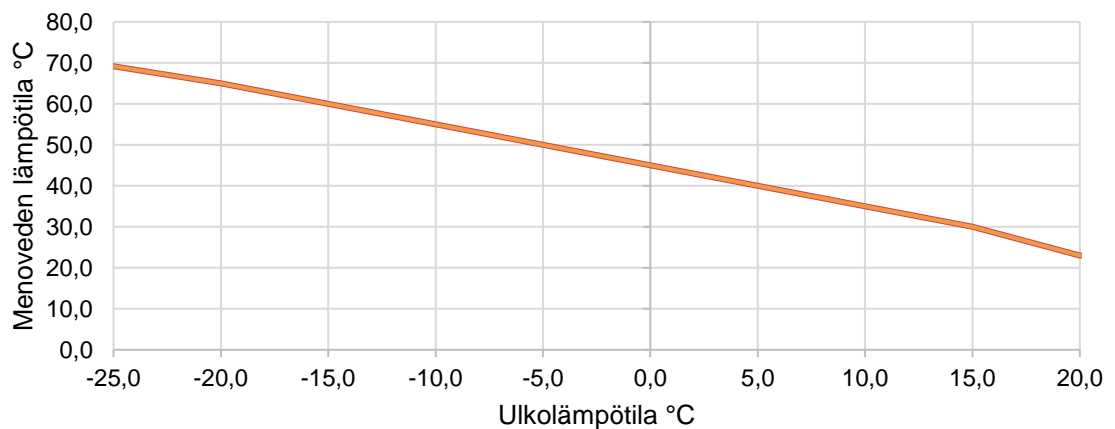
Ilma-vesilämpöpumppu ei pysty tuottamaan riittävästi lämmitystehoa, kun ulkoilman lämpötila laskee liian alhaiseksi. Tämän takia ilma-vesilämpöpumpun rinnalle pitää jättää kaukolämpö, josta saadaan puuttuva lämmitysteho. Tämän vuoksi lämmityksessä tehdään hybridiratkaisu, eli ilma-vesilämpöpumpulla esilämmitetään tuloilma ja jälkilämmitys tapahtuu lopuksi kaukolämmöllä tarvittavaan lämpötilaan. Kuvassa 16 on nykyinen kaukolämmön kytkentäkaavio.



Kuva 16. Nykyinen hotelliinteistön kaukolämmön kytchentäkaavio.

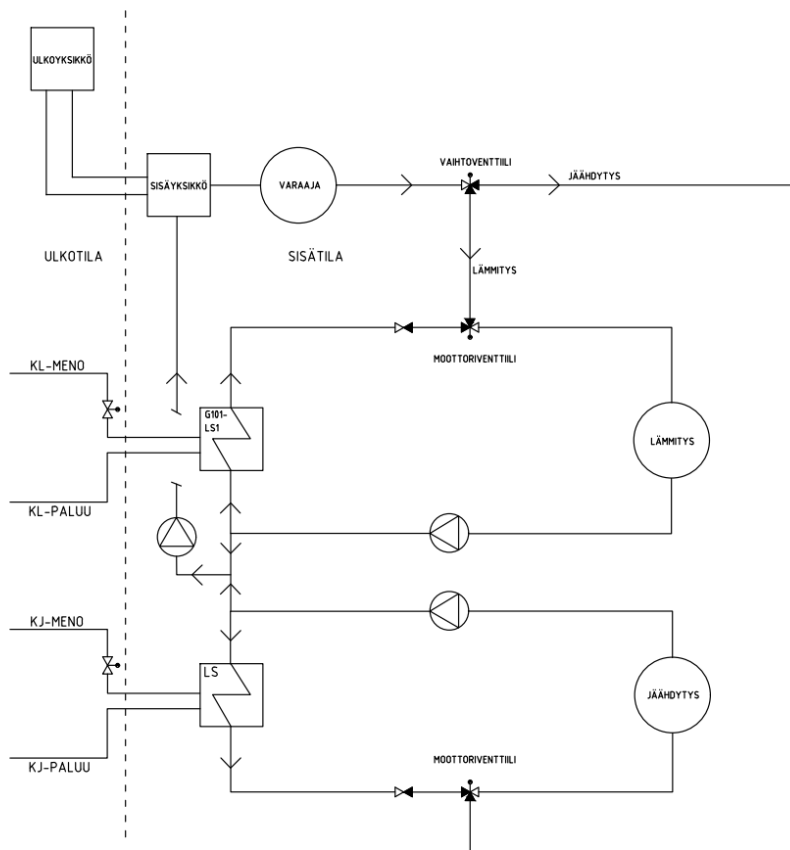
Kaukolämmön kytkentäkaaviossa on esitetty myös käyttöveden lämmitys, jota ei kuitenkaan käsitellä tässä työssä. Työssä tarkastellaan G101-LS1-lämmönsiirrintä, ja siihen hybridikytkentänä kytkettyä ilma-vesilämpöpumppua. Kuvassa 17 on kohteen lämmityskäyrä, joka on esitetty IV-patterin menoveden lämpötila ulkolämpötilan funktiona.

Lämmityksen säätökäyrä



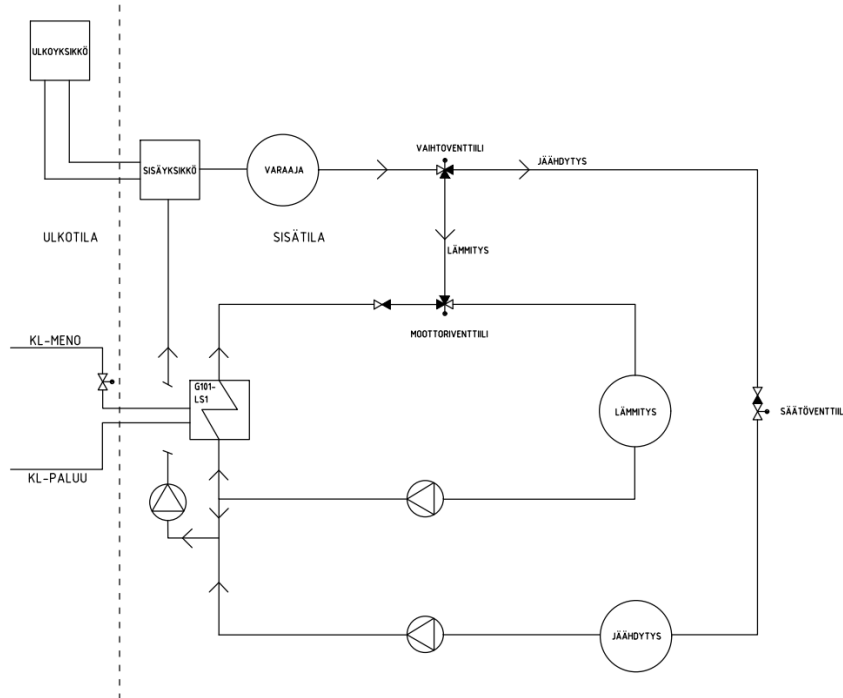
Kuva 17. Kohteen IV-patteriveden lämmityskäyrä.

Kuvassa 18 on esitetty hybridijärjestelmän kytkentäperiaate. Hybridijärjestelmässä ilma-vesilämpöpumppu on yhdistetty vaihtventtiilillä lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmään. Tällöin ilma-vesilämpöpumppua voidaan ohjata toimimaan jäähdytys- tai lämmitystilanteessa. Moottoriventtiilit säätävät ilma-vesilämpöpumpun virtaamia. Jos ilma-vesilämpöpumppu ei pysty tuottamaan tarpeeksi jäähdytys- tai lämmitystehoa, sitä otetaan kaukojäähdytys- tai kaukolämmityslinjasta moottoriventtiilien avulla tarvittava määrä. Ilma-vesilämpöpumppu kytketään varaajan kautta järjestelmään. Tällöin pumppu on pitkäikäisempi ja lämpöä sekä jäähdytystä on tasaisemmin saatavilla.



Kuva 18. Periaatekuva ilma-vesilämpöpumpun kytkennästä, kun kaukojäähdytys ja -lämmitys on mukana.

Kuvassa 19 on esitetty järjestelmäkaavio ilman kaukojäähdytystä. Tällöin säätöventtiili säätelee jäähdytyspiirin virtaamaa, eikä kolmitiemoottoriventtiiliä enää tarvita jäähdytyksessä.



Kuva 19. Periaatekuva ilma-vesilämpöpumpun kytkennästä, kaukolämmitys on mukana.

Ilma-vesilämpöpumpun ulkoyksikkö sijoitetaan kiinteistön vesikatolle tilan säätämiseksi, joka on hyvin normaali ratkaisu isompien ilma-vesilämpöpumppujen ja vedenjäähdyttimien kanssa.

7 Energia- ja kannattavuuslaskenta

7.1 Excel-taulukko

Tässä luvussa käsitellään Microsoft Excel -ohjelmistolla laadittua energialaskennan taulukkoa. Excel-taulukkoon laadittiin seuraavat välilehdet:

- lähtöarvot

- tulokset
- aikaohjelmat
- tuntitason laskenta
- UVLP eli ulkoilma-vesilämpöpumppu.

Välilehtien solut ovat yhteyksissä toisiinsa. Jos yhtä tai useampaa solua muutetaan, se muuttaa arvoja myös muilla välilehdillä. ”Lähtöarvot”- ja ”aikaohjelma”-välilehdet ovat tietojen täyttämistä varten. Excelissä on merkattu kaikki muutettavat solut vihreällä värillä, jotta käyttäjä tietää mitä soluja tulee käyttää. Vihreällä värillä täytetyt solut ovat yhteyksissä muihin soluihin. Loppuihin soluihin on rakennettu kaavat, jotka Excel täyttää automaattisesti.

”Lähtöarvot”-välilehdelle täytetään kohteen tiedot. Täytettäviä tietoja ovat esimerkiksi täysiteho- tai puoliteho-aikaohjelma, ilmanvaihdon virtaamat, laskenta-paikkakunta ja lämmöntalteenoton tiedot sekä erilaisia kustannuksia kuten lämmitysenergian hinta, investointikustannus ja sähköenergian hinta. ”Lähtöarvot”-välilehdellä on myös tuloilmapatterin säätökäyrän lämpötilojen täyttäminen.

”Aikaohjelma”-välilehdellä on tehty erilaisia aikaohjelma-taulukkoja, joista voi valita kohteelle sopivan aikaohjelman. Taulukoiden vaakarivillä on maanantaista sunnuntaihin esitetty IV-kerroin, jonka mukaisesti ilmanvaihto vaihtaa ilmaa. Pystyrivillä on alkavat tunnit, jotka määrittävät IV-kertoimen eri tunteina.

Eri aikaohjelmat lueteltuna:

- toimisto, standardi
- toimisto, tehostettu
- koulu, PK, Standardi (arki)
- koulu, PK, standardi (VKL)
- koulu, PK tuuletus (arki)
- koulu, PK, tuuletus (VKL)
- asuinkerrostalo, standardi
- liikuntahalli
- täysteho 24/7

- puoliteho 24/7
- oma valinta.

Taulukoissa on vihreällä merkitty täytettävät solut. Näiden avulla Excel täyttää automaattisesti loput IV-kertoimen solut kaikissa muissa taulukoissa, paitsi ”Oma valinta” -taulukossa, jossa jokaiselta päivältä ja tunnilta täytetään itse solut.

”Tuntitason laskenta” -välilehdellä on tulokset tuntitasolla. Tältä välilehdeltä selviävät myös aikaisemmille välilehdille täytetyt tiedot. Taulukossa on esitetty jokainen tunti vuoden tarkasteluajalta. Näin saadaan selville ilma-vesilämpöpumpun, sähkön ja kaukolämmön kulutuksen tehotiedot sekä monia muita tietoja, joita tarvitaan ilma-vesilämpöpumpun valinnassa.

7.2 Energian kulutustiedot

Taulukossa 1 on esitetty vuosien 2021–2022 kaukolämmön normeerattu kulutus. Taulukossa 2 on esitetty samojen vuosien kiinteistön kokonaiskulutuksen osalta sähköenergian kulutus ja taulukossa 3 jäähdytysenergia.

Taulukko 1. Kaukolämmön normeerattu kulutus kuukausitasolla.

Kaukolämpö normeerattu	2021 (MWh)	2022 (MWh)
tammi	162	219
helmi	139	173
maalis	100	136
huhti	89	83
touko	38	46
kesä	9	18
heinä	13	18
elo	16	16
syys	31	43
loka	108	77
marras	103	108
joulu	116	148
Yhteensä	925	1084

Taulukko 2. Sähköenergian kulutus kuukausitasolla.

Sähköenergian kulutus	2021 (MWh)	2022 (MWh)
tammi	43	54
helmi	39	50
maalis	37	55
huhti	43	52
touko	40	57
kesä	31	58
heinä	63	61
elo	56	58
syys	48	56
loka	49	58
marras	65	57
joulu	54	55
Yhteensä	568	671

Taulukko 3. Kaukojäähdytyksen kulutus kuukausitasolla.

Kaukojäähdytyksen kulutus	2021 (MWh)	2022 (MWh)
tammi	7	14
helmi	8	11
maalis	8	10
huhti	11	10
touko	16	12
kesä	46	24
heinä	82	46
elo	35	59
syys	18	17
loka	13	14
marras	15	13
joulu	16	13
Yhteensä	276	243

Kuten taulukosta 3 nähdään, on jäähdytystä käytetty myös lämmityskaudella. Ilma-vesilämpöpumpulla ei voida samanaikaisesti lämmitellä ja jäähdyttää, joten lämmityskaudella ei tuoteta jäähdytystä ja jäähdytyskaudella ei tuoteta lämmitystä ilma-vesilämpöpumpulla. Taulukoissa on mukana ilmanvaihdon lämmitys- ja jäähdytysenergia sekä lämmityspattereilla ja tilajäähdyttimillä tuotettu lämmitys- ja jäähdytysenergia.

7.3 Ilmanvaihtokoneen lämmitys- ja jäähdytyspatterin tarkastelu

Tarkasteltavan ilmanvaihtokoneen tuloilmavirta on 3,8 m³/s. Ilmanvaihtokoneessa on nestekiertoinen lämmöntalteenotto (glykoli), jonka hyötysuhde on 65 %: a. Lämmitys- ja jäähdytyspatterilta lähtevän ilman lämpötila on 17 °C. Lämmityspatterille tulevan ulkoilman lämpötila mitoituksessa on –15 °C ja jäähdytyspatterille tulevan ulkoilman 27 °C. Pattereiden tehot lasketaan kaavalla

$$\Phi = \rho \cdot q_v \cdot c \cdot \Delta t \quad (1)$$

- Φ on lämmitys- tai jäähdytysteho (kW)
- ρ on ilman tiheys (kg/m³)
- q_v on ilmavirta (m³/s)
- c on ilman ominaislämpökapasiteetti (kJ/kg°C)

Δt on ulko- ja tuloilman välinen lämpötilan ero (°C).

Jäähdytyspatterin tuntuva jäähdytysteho on kaavalla 1

$$\phi_J = 1,2 \frac{kg}{m^3} \cdot 3,8 \frac{m^3}{s} \cdot 1,006 \frac{kJ}{kg^\circ C} \cdot (27 - 17) \approx 46 kW$$

Lämmityspatterin lämpöteho on kaavalla 1

$$\phi_L = 1,2 \frac{kg}{m^3} \cdot 3,8 \frac{m^3}{s} \cdot 1,006 \frac{kJ}{kg^\circ C} \cdot (18 - (-15))^\circ C \approx 151 kW$$

7.4 Ilmavesilämpöpumpulla tuotettu energia lämmityskäytössä

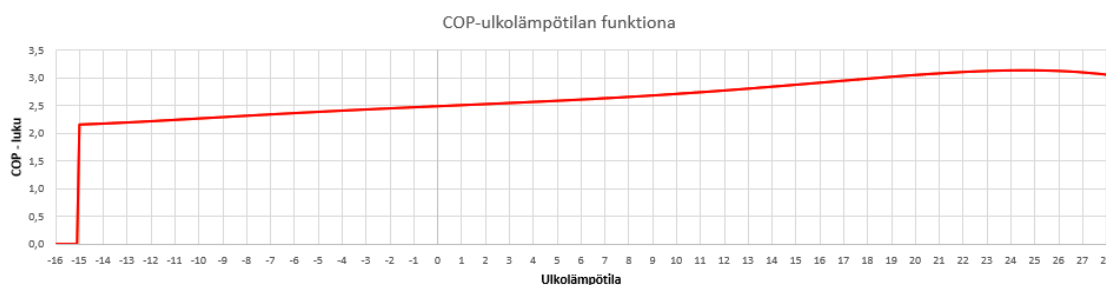
Ilma-vesilämpöpumpulla ei ole tarkoituksenmukaista lämmittää tuloilmaa, kun ulkoilman lämpötilan on alle $-15^\circ C$. Lämmityskäyrän mukaan ulkoilman ollessa $-15^\circ C$, on menoveden lämpötila $60^\circ C$. Työtä tukemaan rakennettuun Excel- taulukkoon voidaan "Lähtötiedot"-välilehdelle sijoittaa ilma-vesilämpöpumpun pakkasrajoitukseksi $-15^\circ C$, sekä muut lähtötiedot. Kun pakkasrajoitus on valittu ja muut lähtötiedot syötetty, Excel-taulukosta nähdään, miten ilmavesilämpöpumppu pystyy tuottamaan lämmitys- ja jäähdytysenergiaa, sekä paljonko sähköenergiaa kuluu. Excel-taulukon välilehdeltä "Tuntitason laskenta" tarkastellaan tuloksia tuntitasolla. Liitteestä 1 nähdään, miten "Tuntitason laskenta" -välilehti on rakennettu. Taulukosta saadaan selville vuoden ajalta, miten paljon ilmavesilämpöpumpulla pystytään lämmittämään ja jäähdyttämään tuloilmaa tuntitasolla. Taulukosta saadaan myös selville, kuinka paljon ilmanvaihdon tuloilmaa tarvitsee lämmittää enimmillään. Kuvassa 20 on esitetty ilma-vesilämpöpumpulla vuodessa tuotettu energia (UVLP teho), ilma-vesilämpöpumpun kuluttama sähköenergia (Lämmityssähkö), laskennallinen vuotuinen lämpökerroin (COP), kaukolämmön kulutus (KL-kulutus) sekä maksimi lämmitysteho, joka ilma-vesilämpöpumpulta vaaditaan. Kuvassa 20 maksimiteho $76,2 kW$ on ilma-vesilämpöpumpun teho, kun ulkolämpötila on $-15^\circ C$, tätä kylmemmällä ilma lämmitetään lämmityspatterilla.

LÄMMITYS				
Maks. teho	UVLP teho	COP	Lämmityssähkö	KL-kulutus
kW	MWh	Keskiarvo	MWh	MWh
76,2	122,6	2,6	50,7	0

Kuva 20. Ilma-vesilämpöpumppu lämmityskäytössä.

Kuvasta 20 nähdään, että kaikki lämmitysenergia pystytään tuottamaan ilma-vesilämpöpumpulla. Ilma-vesilämpöpumpun tuottama energia on taulukon mukaan 122,6 MWh ja sähkönkulutus 50,7 MWh, joten ilma-vesilämpöpumpun COP (coefficient of performance) eli hyötysuhde on 2,6.

COP-arvo vaihtelee ulkolämpötilan perusteella. Kuvassa 21 on esitetty laskelmassa käytetty ilma-vesilämpöpumpun COP-arvo ulkolämpötilan funktiona.



Kuva 21. Laskennassa käytetty ilma-vesilämpöpumpun lämpökerroin (COP) riippuen ulkoilman lämpötilasta.

7.5 Ilma-vesilämpöpumpulla tuotettu energia jäähdytyskäytössä

Ilmanvaihtokoneen jäähdytyspatteri menee jäähdytyskäytölle, kun tuloilman lämpötila nousee yli 18 °C. Tuloilma pyritään pitämään 17 °C lämpötilassa. Excel-taulukkoon sijoitettujen lähtöarvojen perusteella, voidaan "Tuntitason laskenta" -välilehdeltä tarkastella tuloksia tuntitasolla. Excel-taulukosta nähdään, että suurin tuntuva jäähdytystehon tarve on 54,1 kW. Kaavalla 1 on laskettu jäähdytyspatterin tuntuva jäähdytysteho. Aiemmin laskettiin jäähdytyspatterin

tuntuva tehoksi 46 kW. Jäähdytyspatterin teho jää riittämättömäksi vain yhtenä päivänä elokuussa. Tällöin korkein ulkoilman lämpötila oli 28,8 °C laskentapaikkakunnan Vantaa (TRY2012) mukaan. Ulkoilman ollessa 28,8 °C tuloilman lämpötila lasketaan kaavalla

$$t_{sp} = \frac{\phi}{(\rho \cdot q_v \cdot c) - t_u} \quad (2)$$

t_{sp}	on sisäänpuhalluslämpötila (°C)
ϕ	on lämmitysteho (kW)
ρ	on ilman tiheys (kg/m ³)
q_v	on ilmavirta (m ³ /s)
c	on ilman ominaislämpökapasiteetti (kJ/kg°C)
t_u	on ulkolämpötila (°C).

Sisäänpuhalluslämpötila ulkoilman ollessa 28,8 °C on

$$t_{sp} = -\left(\frac{45,9 \text{ kW}}{\left(1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 3,8 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 1,006 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}\right) - 28,8 \text{ }^\circ\text{C}}\right) = 18,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

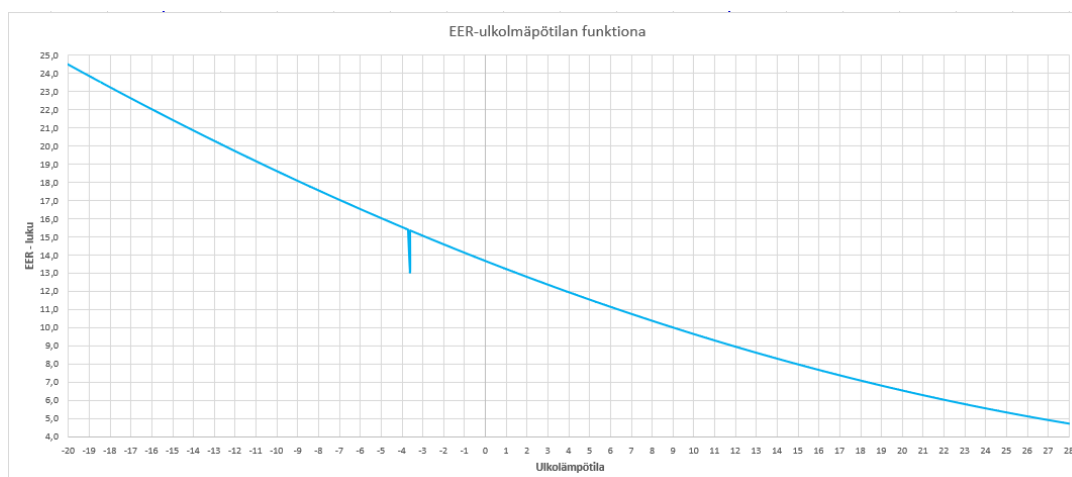
Tuloilman lämpötila nousee siis asetusarvosta 1,8 °C, kun tuloilman lämpötilan asetusarvo on 17 °C. Excel-taulukosta välilehdeltä ”Tuntitason laskenta” saadaan selville kuvassa 22 esitetyt tulokset.

Kuvassa 22 on esitetty ilma-vesilämpöpumpulla tuotettu jäähdytysenergia (UVLP teho), ilma-vesilämpöpumpun kuluttama sähköenergia (Jäähdytys-sähkö), vuotuinen kylmäkerroin (EER) ja maksimi jäähdytysteho, joka ilma-vesilämpöpumpulta vaaditaan (Maks. teho). Kuten nähdään, on ilma-vesilämpöpumpulla tuotettu 12,6 MWh ja sähköä kulutettu jäähdytykseen 2 MWh. Ilma-vesilämpöpumpun EER (energy efficiency ratio) eli kylmäkerroin on 6,4.

JÄÄHDYTYS			
Maks. teho	UVLP teho	EER	Jäähdytys­sähk­kö
kW	MWh	Keskiarvo	MWh
54,1	12,6	6,4	2

Kuva 22. Ilma-vesilämpöpumppu jäähdytyskäytössä.

Kuvasta 23 nähdään ilma-vesilämpöpumpun kylmäkerroin (EER) ulkolämpötilan funktiona. Niin kuin kuvasta huomataan, EER-arvo pienenee mitä lämpimämpi ulkona on. Ilma-vesilämpöpumppu kuitenkin tuottaa kylmäenergiaa vasta, kun tuloilman lämpötila ylittää 18 °C astetta.



Kuva 23. Ilma-vesilämpöpumpun kylmäkerroin (EER) riippuen ulkoilman lämpötilasta.

8 Lämpöpumpun valinta ja kustannukset

Ilma-vesilämpöpumpun jäähdytysteho pitäisi olla 46 kW ja sillä tuotetaan 123 MWh lämmitysenergiaa. Työssä vertaillaan kahta eri valmistajan ilma-vesilämpöpumppua: Carrier AquaSnap 30RQ on Carrierilta sopiva tuote kohteeseen ja Swegon BlueBox Zeta sky R7 HP on Swegonilta sopiva tuote kohteeseen.

8.1 Carrier AquaSnap 30RQ 140R

Carrierin sivuilta saatavasta taulukosta valitaan sopivan kokoinen ilma-vesilämpöpumppu ilmanvaihtokoneen lämmitystehontarpeen mukaan. Taulukko, joka saatiin Carrierin sivuilta, löytyy kuvasta 24. Taulukosta nähdään ilma-vesilämpöpumpun tiedot.

30RQ		140R			
Standard unit					
Heating Full load performances*	HA1	Nominal capacity	kW	136,8	
		COP	kW/kW	3,80	
	HA2	Nominal capacity	kW	134,9	
		COP	kW/kW	3,08	
Seasonal energy efficiency**	HA1	SCOP _{30/35°C}	kWh/kWh	3,76	
		η _{js heat} _{30/35°C}	%	147	
		P _{rated}	kW	99,6	
Cooling Full load performances*	CA1	Nominal capacity	kW	131,6	
		EER	kW/kW	2,85	
	Seasonal energy efficiency**	CA1	SEER _{12/7 °C} Comfort low temp.	kWh/kWh	4,20
			SEPR _{12/7 °C} Process high temp.	kWh/kWh	5,48

Kuva 24. Carrier AquaSnap 30RQ 140R -ilma-vesilämpöpumpun tekniset tiedot.

Kuvan 24 taulukosta nähdään, että pumppu tuottaa lämmitystehoa 136,8 kW ja jäähdytystehoa 131,6 kW. Tällä pumpulla voidaan tulevaisuudessa jäähdyttää muidenkin ilmanvaihtokoneiden jäähdytyspattereita, kun niitä asennetaan muihinkin ilmanvaihtokoneisiin tai tilajäähdyttimiin. Kuvassa 25 on Carrierin lämpöpumppu



Kuva 25. Carrier-merkkinen ilma-vesilämpöpumppu. (17.)

Carrierin sivuilta ei ollut saatavilla hintaa valitulle ilma-vesilämpöpumpulle, joten sitä tiedusteltiin sähköpostitse yrityksestä. Hinta saatiin myyntipäällikkö Petri Laivolta. Carrierin ilma-vesilämpöpumpun arvonlisäveroton hinta on 34 000 €.

8.2 Swegon BlueBox Zeta sky R7 HP 14.4

Swegonin sivuilta saatavasta taulukosta valittiin sopivan kokoinen pumppu ilmanvaihdon lämmitystehontarpeen perusteella. Taulukko, joka saatiin Swegonin sivuilta, löytyy kuvasta 26, josta nähdään myös taulukon perusteella valitun sopivan kokoisien pumpun tiedot.

ZETA SKY HP R7 [R32]

			14.4
Cooling			
Refrigeration capacity	(1)	kW	142.4
Total absorbed power	(1)	kW	43.98
EER	(1)		3.238
Eurovent efficiency class	(1)		A
Heating			
Heating capacity	(1)	kW	148.59
Total absorbed power	(1)	kW	44.98
COP	(1)		3.304
Eurovent efficiency class	(1)		A
Compressors			
Compressors/Circuits		n°	4/2
Minimum capacity reduction step	(7)	%	25
Refrigerant charge HP	(3)	kg	23.8
Fans			
Quantity		n°	3
Total air flow rate HP		m³/h	59000
User-side heat exchanger			
Quantity		n°	1
Water flow rate CH	(1)	m³/h	24.5
Pressure drop CH	(1)	kPa	16
Water flow rate HP	(1)	m³/h	25.5
Pressure drop HP	(1)	kPa	17
Noise levels			
Sound power level cooling	(4)	dB(A)	87
Sound pressure level cooling	(6)	dB(A)	55
Sound power level of vers. LN cooling	(4)	dB(A)	85
Sound pressure level of vers. LN cooling	(6)	dB(A)	53
Dimensions and weights**			
Length		mm	4259
Depth		mm	1126
Height		mm	2376
Operating weight		kg	1504

Kuva 26. Swegon BlueBox Zeta sky R7 HP 14.4 -ilma-vesilämpöpumpun tekni-set tiedot.

Kuten kuvasta nähdään, pystytään pumpulla tuottamaan 142,4 kW lämmityste-hoa. Jäähdytystehoa pumpulla pystytään tuottamaan enemmän mitä TK11/PK11 ilmanvaihtokoneen jäähdytys tarvitsisi. Pumpun jäähdytystehoa voi-daan siis käyttää tulevaisuudessa muihin ilmanvaihtokoneisiin tai tilajäähdytti-miin. Kuva 27 on esimerkki Swegonin lämpöpumpusta.



Kuva 27. Swegon-merkkinen ilma-vesilämpöpumppu. (18.)

Swegonin sivuilta ei ollut saatavilla suoraa hintaa kyseiselle lämpöpumpulle. Ilma-vesilämpöpumpun hinta saatiin tiedustelemalla sähköpostitse Swegonin energia-asiantuntija Mikko Karttuselta tuotteen hintaa. Lämpöpumpun arvonli säveroton hinta on 84 000 euroa. Pumpussa on esimerkiksi kylmäainevuotohälytin, hydrofobinen lamellien pinnoite, joka poistaa tehokkaasti veden lamellien pinnoilta sulatusvaiheessa, etävalvonta, energiamittari, EC-puhaltimet sekä kiertopumppu, joka voi olla on/off tai taajuusmuuttajalla ohjattu.

8.3 Investointiarviot

Nykytilanteessa ainoat investointikustannukset olisivat kaukojäähdytysenergian sopimusmaksu, joka on noin 60 000 euroa ja vuosimaksu 28 000 euroa. Lisäksi tulevat kaukojäähdytys- ja kaukolämpömaksut. Kaukojäähdytyksen energiamaksu on sama kuin kaukolämmön kesähinta, joka vuonna 2023 oli 39,96 €/MWh.

Lämpöpumppuinvestoinnin kustannukset muodostuvat lämpöpumpun hankintahinnasta, pattereiden putkiston muutostöistä, lämpöpumpun nostotyöstä ja muista oheistuotteista, joita asentaminen edellyttää. Putkitusta tarvitaan arviolta noin 20 metriä, koska ilmanvaihtokone on kiinteistön ylimmässä kerroksessa ja

ilma-vesilämpöpumppu sijoitettaisiin kiinteistön katolle. Ilma-vesilämpöpumpun sisäyksikkö mahtuisi myös kiinteistön ilmanvaihtokonehuoneeseen, joten siitä ei synny kovin paljon putkituksia. Ilmanvaihdossa olevat vanhat lämmityspatterin putket ovat DN50-kokoisia ja jäähdytyspatterin putket ovat DN65-kokoisia. Ilma-vesilämpöpumppu yhdistetään näihin putkiin. Putket ja putkistoon tulevat tarvikkeet otetaan myös laskelmiin mukaan. Urakoitsijan kustannukset arvioidaan aiempien projektien perusteella.

8.4 Elinkaarikustannuslaskennat

Elinkaarikustannuksiin kuuluvat kaikki kustannukset, joita investointi aiheuttaa elinkaarensa aikana. Tämän työn elinkaarikustannuslaskuissa huomioidaan inflaatio sekä energian hinnanmuutos ja saadaan tulokseksi diskontattu nettonykyarvo. Taulukossa 4 on työssä elinkaarilaskennassa käytettävät parametrit

Taulukko 4. Elinkaarikustannusten laskentaan käytettäviä parametrejä

Nimelliskorkokanta	5%
Inflaatio	2%
Energian hinnan muutos	3%

Elinkaarilaskennassa tarvitaan diskonttauskerrointa sekä energiakustannuksien annuiteettikerrointa. Diskonttauskerrointa käytetään kertomaan rahan arvon muutosta tietyn ajan kuluttua. Energian hinnan eskaloituminen on otettava huomioon korkokannan laskemisessa. (16.) Energian hinnan eskaloituminen lasketaan reaalikorkokannasta ja reaalikorkokanta lasketaan nimelliskorkokannasta. Reaalikorko lasketaan kaavalla

$$r = \frac{r_n - f}{1 + f} \quad (3)$$

r on reaalikorko
 r_n on nimelliskorko
 f on inflaatio.

Energian hinta muuttuu pitkällä aikavälillä, jolloin siitä puhutaan energian hinnan eskaloitumisena. (16.) Eskaloitu korkokanta lasketaan kaavalla

$$r_e = \frac{r - e}{1 + e} \quad (4)$$

r_e on eskaloitu reaalikorkokanta
 r on reaalikorko
 e on eskalaatiokerroin.

Rahan ajallinen arvo muuttuu, joten rahan nettonykyarvo lasketaan tietyssä ajanhetkenä, eli se pitää diskontata. (16.) Diskonttauskerroin lasketaan kaavalla

$$d_k = \frac{1}{(1 + r)^n} \quad (5)$$

d_k on diskonttauskerroin
 r on reaalikorko
 n on investoinnista kuluneet vuodet.

Energiakustannukset tulee laskea erikseen hintojen eskaloitumisen takia. (16.) Energiakustannuksien annuiteettikerroin lasketaan kaavalla

$$a''_n = \frac{1 - (1 + r_e)^{-n}}{r_e} \quad (6)$$

a''_n on energiakustannuksien annuiteettikerroin
 r_e on eskaloitu reaalikorko
 n on investoinnin elinikä vuosina.

Näillä esitetyillä kaavoilla voidaan laskea diskontattu rahavirta ja sitä käyttämällä voidaan selvittää nettonykyarvo. Nettonykyarvoa voidaan käyttää investoinnin taloudellisen kannattavuuden arvioinnissa.

8.5 Kannattavuuslaskenta

Kannattavuuslaskenta on laskettu arvonlisäverottomana hintana. Kustannusarviot ovat aikaisemmista projekteista otettuja arvioita kustannuksista. Taulukossa 5 on esitetty arvio Swegonin ja Carrierin ilma-vesilämpöpumpun kokonaiskustannuksista.

Taulukko 5. Ilma-vesilämpöpumppujen investointilaskenta.

Ilma-vesilämpöpumppu			
Malli:	Swegon BlueBox Zeta Sky R7 14.4 LN	Carrier AquaSnap 30RQ 140R	
Hinta:	84 000	34 000	€
Putkisto	10 000	10 000	€
Muut komponentti kustannukset	5 000	5 000	€
Sähkö- ja automaatio kulut	8 000	8 000	€
Muuta/lisätyövaraus	8 000	8 000	€
Muut asennus/nostotyö	10 000	10 000	€
Suunnittelu	7 000	7 000	€
Investointi yhteensä	132 000	82 000	€

Luvun 7 laskelmien mukaan ilmanvaihdon lämmityksen energiankulutus on 122,6 MWh. Ilmanvaihdon jäähdytyksen energiankulutus on 12,7 MWh. Taulukosta 6 nähdään ilma-vesilämpöpumpun energian tuotto, lämmitys- ja jäähdytys­sähkönkulutus sekä niiden hinnat, niiden vuotuinen sähköhinnan muutos ja vuotuiset huoltokustannukset.

Taulukko 6. Elinkaarikustannuksiin käytettäviä arvoja ilma-vesilämpöpumpun osalta

Lämmityssähköenergian kulutus	50,7	MWh
Sähkönhinta/MWh	117	€/MWh
SCOP (vuosihyötysuhde)	2,64	
Lämmitysenergia	122,60	MWh
Jäähdytys­sähköenergian kulutus	2,1	MWh
Sähkönhinta/MWh	117	€/MWh
SEER (kylmäkerroin)	6,40	
Jäähdytysenergia	12,60	MWh
Huoltokustannukset/v	4500,00	€

Kaukolämmön ja -jäähdytyksen kustannukset nähdään taulukosta 6. On vaikea arvioida kaukolämmön ja kaukojäähdytyksen vuosimaksua, sillä kyseessä on vuotuinen hinta koko lämmityksestä ja jäähdytyksestä. Työssä hyödynnetäänkin arviota vuosimaksusta suhteessa ilmanvaihdon lämmitys- ja jäähdytyspatterin energiankulutukseen. Arvio lasketaan vuoden 2022 energiakulutuksen mukaan. Vuonna 2022 kaukolämmitysenergiankulutus oli taulukon 1 mukaan 1084 MWh. Ilmanvaihtokoneen lämmityspatterin kulutus oli luvun 8.2 mukaan 122,6 MWh. Näiden suhdeluku on noin 0,1131. Saman vuoden kaukojäähdytysenergiankulutus oli taulukon 2 mukaan 243 MWh. Ilmanvaihdon jäähdytysenergian kulutus oli luvun 8.2 mukaan 12,6 MWh. Näiden suhdeluku on noin 0,0519. Taulukosta 7 nähdään kaukojäähdytyksen ja kaukolämmön elinkaarilaskennassa käytettävät arvot.

Taulukko 7. Elinkaarikustannuksissa käytettäviä arvoja kaukojäähdytyksen ja kaukolämmön osalta

	Sopimusmaksu	Vuosimaksu	Energian hinta	Energian kulutus
	€	€	€/MWh	MWh
Kaukojäähdytys	60 000	1 120	40,0	12,6
Kaukolämpö	0	1 810	89,0	122,6

Elinkaarikustannukset tehdään vertaamalla nykyistä järjestelmää ja siihen pakollista investointia, sekä kahden eri valmistajan ilma-vesilämpöpumppua ja niiden asennus- ja huoltokuluja. Näissä elinkaarikustannuksissa otetaan inflaatio huomioon laskuissa.

Nettonykyarvon määrittämiseksi, on laskettava ensin ilma-vesilämpöpumppujen vuotuiset tuotot, vuotuiset kulut ja diskontattu rahavirta. Vuotuiset kulut muodostuvat vuotuisista huoltokustannuksista. Vuotuiset tuotot selvitetään laskemalla kaukolämmön- ja kaukojäähdytyksen vuotuiset kulut yhteen ja erottamalla lämpöpumppujen vuotuiset kulut. Diskontattu rahavirta tulee kertomalla vuotuiset tuotot diskonttauskertoimella ja erottamalla niistä kertomalla vuotuiset kulut ja annuiteettikerroin keskenään. Näiden jälkeen diskontatuista vuotuisista tuotoista erotetaan kertomalla keskenään vuotuiset investointikustannukset ja annuiteettikerroin. Nettonykyarvo lasketaan alkuinvestointikustannuksiin lisäämällä vuosittain diskontattu rahavirta. Investointeja tulee lisää noin 12 vuoden iässä, jolloin ilma-vesilämpöpumpun kompressori uusitaan.

Vuotuiset tuotot lasketaan taulukon 6 ja taulukon 7 arvoja hyödyntäen. Taulukossa 8 on laskettu vuotuiset tuotot. Vuotuisiksi tuotoiksi saadaan siis 8167,8 euroa vuodessa.

Taulukko 8. Investoinnin tuotto verrattuna kaukojäähdytykseen ja -lämmitykseen.

	Vuosimaksu (€)	Energian hinta (€/MWh)	Energian kulutus (MWh)	Yhteensä (€)	IVLP-säästö (€)
Kaukolämpö	1810	89	122,6	12721,4	-
Kaukojäähdytys	1120	40	12,6	1624	-
Ilma-vesilämpöpumppu	-	117	50,7+2,1	6177,6	8167,8

Diskonttauskertoimen ja annuiteettikertoimen laskemiseksi käytetään taulukon 7 parametrejä. Diskonttauskerroin lasketaan kaavalla 5. Diskonttauskertoimeksi tulee ensimmäiseltä vuodelta

$$d_k = \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{5\% - 2\%}{1 + 2\%}\right)\right)^1} \approx 0,97$$

Diskonttauskerroin on eri joka vuosi, joten se pitää laskea vuosittain. Annuiteettikerroin lasketaan kaavalla 6. Annuiteettikertoimeksi tulee ensimmäiseltä vuodelta

$$a''_n = \frac{1 - \left(1 + \left(\frac{\left(\frac{5\% - 2\%}{1 + 2\%}\right) - 3\%}{1 + 3\%}\right)\right)^{-1}}{\left(\frac{\left(\frac{5\% - 2\%}{1 + 2\%}\right) - 3\%}{1 + 3\%}\right)} \approx 1,00057$$

Taulukon 9 mukaan Carrierin ilma-vesilämpöpumpun investoinnin nettonykyarvo 25 vuoden jälkeen on noin 96 400 euroa. Taulukon 10 mukaan Swegonin ilma-vesilämpöpumpun investoinnin nettonykyarvo 25 vuoden jälkeen on noin 46 400 euroa. Voidaan siis todeta, että ilma-vesilämpöpumppu on kannattava investointi kohteeseen.

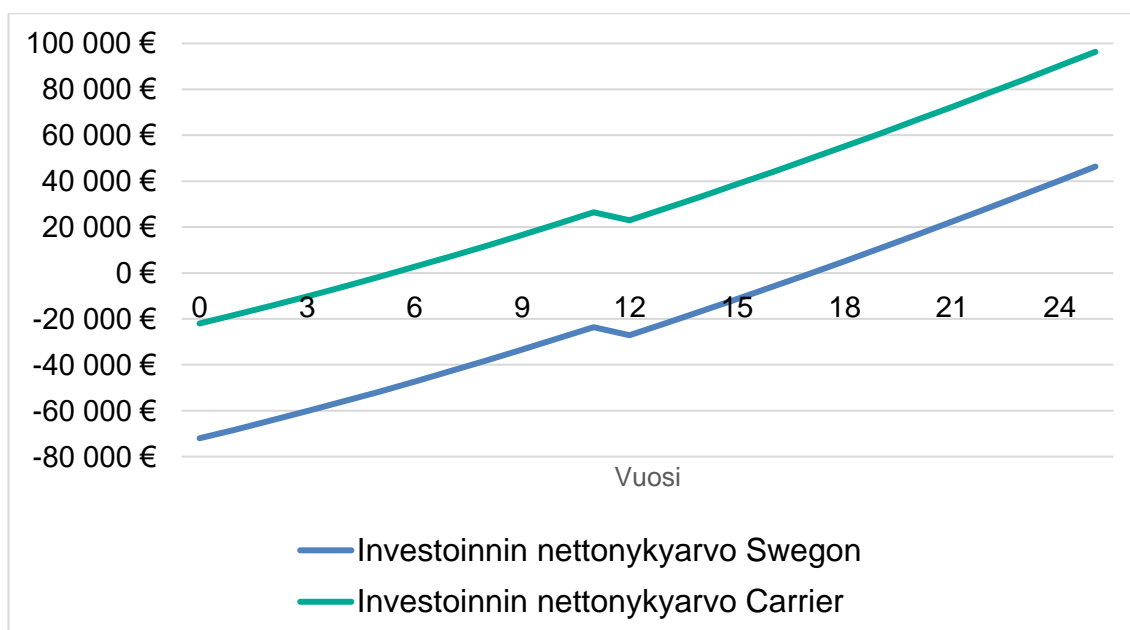
Taulukko 9. Carrierin ilma-vesilämpöpumpun elinkaarilaskenta ja nettonykyarvo.

	n	d_k	a''	Investointi €	Kulut €	Tuotot €	Diskontattu rahavirta €	Nettonykyarvo €
Carrier	0	1	1	22000	0	0	-22000	-22000
	5	0,87	1,00	0	4500	8168	4298	-1734
	10	0,75	1,01	0	4500	8168	4847	21434
	15	0,65	1,01	0	4500	8168	5325	38654
	20	0,56	1,01	0	4500	8168	5741	66551
	25	0,48	1,01	0	4500	8168	6105	96369

Taulukko 10. Swegonin ilma-vesilämpöpumpun elinkaarilaskenta ja nettonykyarvo.

	n	d_k	a''	Investointi €	Kulut €	Tuotot €	Diskontattu rahavirta €	Nettonykyarvo €
Swegon	0	1	1	72000	0	0	-72000	-72000
	5	0,87	1,00	0	4500	8168	4298	-51734
	10	0,75	1,01	0	4500	8168	4847	-28566
	15	0,65	1,01	0	4500	8168	5325	-11346
	20	0,56	1,01	0	4500	8168	5741	16551
	25	0,48	1,01	0	4500	8168	6105	46369

Swegonin ilma-vesilämpöpumpun nettonykyarvo on paljon pienempi, kuin Carrierin. Kuva 28 esittää kuvaajat ilma-vesilämpöpumppujen nettonykyarvoista. Kun kuvaajan viiva leikkaa x-akselin nollakohtan, investointi on maksanut itsensä takaisin, ja se tuottaa jatkossa kiinteistölle rahallista arvoa. Kompressorin uusitaan noin 12 käyttövuoden jälkeen, minkä vuoksi kuvaajassa näkyy tässä kohtaa pieni pykäle.



Kuva 28. Ilma-vesilämpöpumppujen nettonykyarvo (€) ja takaisinmaksuaika.

Karkealla tasolla ilma-vesilämpöpumppujen takaisinmaksuaika voidaan laskea kaavalla 7.

$$n = \frac{H}{T} \quad (7)$$

- n on takaisinmaksuaika (a)
 H on hankintahinta investoinnin erotuksella (€)
 T on säästöt (€/a).

Carrierin ilma-vesilämpöpumpun takaisinmaksuaika on kaavalla 7

$$n = \frac{(82\,000\text{ €} - 60\,000\text{ €})}{3668\text{ €}} \approx 6\text{ vuotta}$$

Swegonin ilma-vesilämpöpumpun takaisinmaksuaika on kaavalla 7

$$n = \frac{(132\,000\text{ €} - 60\,000\text{ €})}{3668\text{ €}} \approx 19,6\text{ vuotta}$$

Kuvan 28 kuvaajasta käy kuitenkin ilmi, että kun mukaan otetaan diskonttauskerroin ja annuiteettilaina, Carrierin ilma-vesilämpöpumpun takaisinmaksuaika on noin 6 vuotta ja Swegonin ilma-vesilämpöpumpun takaisinmaksuaika on noin 18 vuotta.

Kummankaan lämpöpumpun takaisinmaksuaika ei ole liian pitkä, koska ilma-vesilämpöpumpun käyttöikä on 25 vuotta. (16.) Swegonin tuotteella takaisinmaksuaika on kuitenkin suhteellisen pitkä, joten se ei ole yhtä kannattava lämpöpumppu, kuin Carrierin tarjoama pumppu. Kummallakin ilma-vesilämpöpumpulla pystyttäisiin tuottamaan jäähdytysenergiaa muihinkin järjestelmiin, jos putkistoon lisättäisiin varaus, jolla voitaisiin jäähdyttää esimerkiksi muita ilmanvaihtokoneita, jolloin lämpöpumppujen takaisinmaksuaika lyhenisi.

9 Yhteenveto

Tämän työn tarkoituksena oli verrata ilma-vesilämpöpumpun sekä kaukolämmön ja -jäähdytyksen kuluja toisiinsa ja laatia Excel-taulukko helpottamaan

lämpöpumpun energialaskentaa. Työhön valittiin tarkasteltavaksi kaksi ilma-vesilämpöpumppua, Carrierin AquaSnap 30RQ 140R ja Swegonin BlueBox Zeta sky R7 HP 14.4 LN, joilla lämmitettäisiin ja jäähdytettäisiin työssä tarkastelun kohteena olevan hotellirakennuksen huoneisiin tulevaa ilmaa. Carrierin ilma-vesilämpöpumpun lämmitysteho on 136,8 kW ja jäähdytysteho on 131,6 kW. Swegonin ilma-vesilämpöpumpun lämmitysteho on 148,59 kW ja jäähdytysteho on 142,4 kW.

Tutkimuksen kohteena oli ilma-vesilämpöpumppu, joka tulisi kiinteistön kaukojäähdytyksen tilalle ja lämmittämään tuloilmaa kaukolämmön rinnalle. Lisäksi tutkimuksessa selvitettiin, kuinka paljon ilma-vesilämpöpumppua käyttämällä pystytään säästämään rahaa vuodessa ja kuinka pitkä olisi sen takaisinmaksuaika. Tutkimuksessa laadittiin Excel-taulukko, josta työn tulokset on saatu. Ilmanvaihtokoneiden lämmöntalteenottopatterin hyötysuhde, jolla poistoilmasta voidaan siirtää lämpöä tuloilmaan, on 65 %. Lämmöntalteenoton takia ilmanvaihdon lämmitys- ja jäähdytyspatterin tehontarpeet jäävät melko pieniksi, minkä vuoksi ilma-vesilämpöpumpulla tuotetun energian vuotuinen säästö jää pieneksi.

Vuotuiset säästöt laskettiin diskonttauskerrointa ja annuiteettikerrointa käyttäen. Carrierin ilma-vesilämpöpumpun takaisinmaksuaika olisi noin 6 vuotta, joka on hyvä takaisinmaksuaika. Toinen tarkasteltava ilma-vesilämpöpumppu oli Swegonilta, mutta sen takaisinmaksuaika oli suhteellisen pitkä eli lähes 18 vuotta.

Työssä tehdyn laskennan mukaan 25 vuoden tarkastelujaksolla molemmat vertailussa olleet ilma-vesilämpöpumput tulisivat halvemmaksi kuin kaukojäähdytys ja -lämmitys. Tutkimuksen perusteella lämmitys ja jäähdytys olisi kannattava toteuttaa Carrierin ilma-vesilämpöpumpulla. Swegonin ilma-vesilämpöpumpulla ei olisi yhtä kannattavaa toteuttaa tutkittavalle ilmanvaihtokoneelle lämmitystä ja jäähdytystä, koska takaisinmaksuaika oli suhteellisen pitkä. Jos ilma-vesilämpöpumpulla pystyttäisiin tuottamaan lämmitys- ja jäähdytysenergiaa myös muihin ilmanvaihtokoneiden lämmitys- ja jäähdytyspattereihin ja tilajäähdyttimiin, ilma-

vesilämpöpumpun tuottama energia saataisiin hyödynnettyä paremmin, jolloin takaisinmaksuaika lyhenisi.

Työstä laadittua Excel -taulukkoa voidaan käyttää tulevissa energiaremonteissa syöttämällä tarvittavat lähtötiedot oikeille Excel -taulukon välilehdille ja "Tulokset" -välilehdeltä voidaan todeta ilma-vesilämpöpumpun soveltuvuus kiinteistön vaihtoehtoiseksi lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmäksi.

Lähteet

- 1 Ilmastolaki. 2022. 423/10.6.2022.
- 2 Insinööritoimisto Leo Maaskola Oy. Verkkoaineisto. Insinööritoimisto Leo Maaskola Oy. <<https://www.maaskola.fi/>>. Luettu 27.10.2023.
- 3 Aittomäki, Antero. 2012. Kylmäteknikka. Helsinki: Suomen Kylmäyhdistys ry.
- 4 Virtanen, Joel. 2013. Jäähdytyskoneen hyödyntäminen lämpöpumppuna toimistotalokäytössä. Insinööritoimisto. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 5 Collin, Tuomas. 2019. Kylmäaineiden kiristyvät ympäristövaatimukset ja tulevaisuuden ratkaisut. Insinööritoimisto. Tampereen ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 6 Valkeapää, Aki. 2020. Kylmäteknikan perusteita versio 1.1. Opintomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 7 Scroll kompressori Copeland ZR ZR48k3E-TFD-522. Verkkoaineisto. Onninen verkkokauppa. <<https://www.onninen.fi/copeland-scroll-kompressori-copeland-zr-zr48k3e-tfd-522/p/ABG210>>. Luettu 24.4.2023.
- 8 Lämmönsiirrin Danfoss XB12L-1-20. Verkkoaineisto. Onninen verkkokauppa. <<https://www.onninen.fi/danfoss-lammonsiirrin-danfoss-xb12l-1-20/p/CBW521>>. Luettu 24.4.2023.
- 9 Ilmalauhdutin Alfa Laval AGS403B 230V. Verkkoaineisto. Onninen verkkokauppa. <<https://www.onninen.fi/alfa-laval-ilmalauhdutin-alfa-laval-ags403b-230v/p/AJG130>>. Luettu 24.4.2023.
- 10 Paisuntaventtiili Danfoss TE2N JU 3/8x1/2 068Z3730. Verkkoaineisto. Onninen verkkokauppa. <<https://www.onninen.fi/danfoss-paisuntaventtiili-danfoss-te2n-ju-3-8x1-2-068z3730/p/CGS610>>. Luettu 24.4.2023.
- 11 Kapanen, Mika & Kianta, Jani. 2019. Välillinen jäähdytysjärjestelmä. Helsinki. Suomen Kylmäyhdistys ry.
- 12 Kaukojäähdytysjärjestelmät. 2009. RT 56-10967. Rakennustieto.
- 13 Videnoja, Samuel. 2014. Kauko- ja maalämmön kytkentävaihtoehdot. Insinööritoimisto. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

- 14 Kerttula, Valtteri. 2019. Asuinkerrostalon jäähdytysjärjestelmävertailu. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 15 Stravent puhallinkonvektorit. Verkkoaineisto. Stravent. <<https://stravent.fi/decoqt>>. Luettu 10.11.2023.
- 16 Morén, Oskari. 2018. Toimistorakennuksen kustannustehokas energiatehokkuuden parantaminen monitavoiteoptimoinnilla. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu. Aaltodoc-tietokanta.
- 17 AquaSnap – Ilma-vesikierukkalämpöpumppu 30RQ 40R-160R. Verkkoaineisto. Carrier Oy. <<https://www.carrier.com/commercial/fi/fi/tuotteet/lammitys-ja-ilmastointi/ilma-vesilampopumput/30rq-040r-160r/>>. Luettu 25.1.2024.
- 18 ZETA Sky. Verkkoaineisto. Swegon Oy. <<https://www.swegon.com/fi/tuotteet-ja-palvelut/jaahdytys-ja-lammitys/lammitys-ja-jaahdytys/ilmalauhdutteis-vedenjaahdyttimet-ja-lampopumput/zeta-sky/>>. Luettu 10.1.2024.

Excel-taulukko tuntitason laskennasta

KK	PVÄ	Tunti	Viikonpäivä	IV-kerroin aikaohj.	IV-KERROIN	Tuloilma	Poistoilman tiheys	an tiheys	nan tiheys	
		h			huomioi pakkasrajoituksen	m³/s	m³/s	kg/m³	kg/m³	
1	1	1	Ma	11	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,26
1	1	2	Ma	11	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,26
1	1	3	Ma	11	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,26
1	1	4	Ma	11	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,26
1	1	5	Ma	11	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,27
1	1	6	Ma	11	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,27
1	1	7	Ma	11	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,27
1	1	8	Ma	11	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,27
1	1	9	Ma	11	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,27
1	1	10	Ma	11	1,0	1,0	3,80	3,80	1,26	1,27
1	1	11	Ma	11	1,0	1,0	3,80	3,80	1,26	1,27
1	1	12	Ma	11	1,0	1,0	3,80	3,80	1,26	1,27
1	1	13	Ma	11	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,27
1	1	14	Ma	11	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,27
1	1	15	Ma	11	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,27
1	1	16	Ma	11	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,26
1	1	17	Ma	11	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,26
1	1	18	Ma	11	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,26
1	1	19	Ma	11	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,26
1	1	20	Ma	11	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,26
1	1	21	Ma	11	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,26
1	1	22	Ma	11	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,26
1	1	23	Ma	11	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,26
1	1	24	Ma	11	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,26
1	2	1	Ti	12	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,26
1	2	2	Ti	12	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,26
1	2	3	Ti	12	1,0	1,0	3,80	3,80	1,24	1,26
1	2	4	Ti	12	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,26
1	2	5	Ti	12	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,26
1	2	6	Ti	12	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,26
1	2	7	Ti	12	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,26
1	2	8	Ti	12	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,26
1	2	9	Ti	12	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,26
1	2	10	Ti	12	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,26
1	2	11	Ti	12	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,26
1	2	12	Ti	12	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,26
1	2	13	Ti	12	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,26
1	2	14	Ti	12	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,26
1	2	15	Ti	12	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,26
1	2	16	Ti	12	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,26
1	2	17	Ti	12	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,26
1	2	18	Ti	12	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,26
1	2	19	Ti	12	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,27
1	2	20	Ti	12	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,27
1	2	21	Ti	12	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,27
1	2	22	Ti	12	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,26
1	2	23	Ti	12	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,26
1	2	24	Ti	12	1,0	1,0	3,80	3,80	1,25	1,26

SAHKONKULUTUS			TULOILMAPATTERI			JAAHDYTYS IV-PAT			54,1
SFP-luku	K.A.		Tu		menovesi	Päälle	18	°C	
kW/m ² /s	m ² /s	kW	°C	kW	°C	T sp °C	Jäähdytys	Kuivateho (kW)	
2,2	3,80	8,36	-3,6	28,3	40,2	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-4,1	29,2	40,6	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-4,7	30	41,0	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-5,4	31,6	41,6	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-6	32,7	42,1	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-6,5	33,7	42,5	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-7	35,6	42,9	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-7,4	37,6	43,2	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-7,5	38,1	43,3	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-7,8	39,6	43,5	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-8	40,6	43,7	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-8,3	42,1	44,0	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-7,5	38,1	43,3	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-6,8	34,6	42,7	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-6	32,7	42,1	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-5,6	32,0	41,8	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-5,1	31,1	41,4	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-4,7	30,3	41,0	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-4,4	29,8	40,8	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-4,2	29,4	40,6	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-3,9	28,9	40,4	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-3,8	28,7	40,3	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-3,6	28,3	40,2	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-3,5	28,1	40,1	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-3,4	27,9	40,0	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-3,3	27,8	39,9	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-3,2	27,6	39,8	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-3,3	27,8	39,9	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-3,5	28,1	40,1	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-3,6	28,3	40,2	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-3,7	28,5	40,2	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-3,8	28,7	40,3	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-3,9	28,9	40,4	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-4,2	29,4	40,6	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-4,6	30,1	41,0	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-4,9	30,7	41,2	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-4,9	30,7	41,2	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-4,8	30,5	41,1	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-4,8	30,5	41,1	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-5,1	31,1	41,4	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-5,3	31,4	41,5	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-5,6	32,0	41,8	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-5,7	32,2	41,9	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-5,7	32,2	41,9	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-5,8	32,4	41,9	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-5,4	31,6	41,6	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-5,1	31,1	41,4	18,0	SEIS	0,0	
2,2	3,80	8,36	-4,7	30,3	41,0	18,0	SEIS	0,0	

IV	LÄMMITYS							JÄÄDYTYYS			
	Vesi maki/patteria meeros/VLP vai lämmitetty VLP		Lämmitystek. UVLP teko		Lämmityssiikki/kl-keleto		Jäädytystare-	Tarve	FVLP	Jäädytystek-kuo	Jäädytystek-
	°C	°C	kW	W (kyltöso)	kW	kW		kW	kW	kW	
10	60,0	40,2	UVLP	113,8	28,3	11,7	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	40,6	UVLP	113,0	29,2	12,2	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	41,0	UVLP	112,0	30,3	12,7	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	41,6	UVLP	110,9	31,6	13,3	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	42,1	UVLP	109,9	32,7	13,9	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	42,5	UVLP	109,1	33,7	14,3	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	42,9	UVLP	108,2	35,6	15,2	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	43,2	UVLP	107,6	37,6	16,1	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	43,3	UVLP	107,4	38,1	16,4	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	43,5	UVLP	106,9	39,6	17,1	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	43,7	UVLP	106,6	40,6	17,5	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	44,0	UVLP	106,0	42,1	18,3	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	43,3	UVLP	107,4	38,1	16,4	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	42,7	UVLP	108,6	34,6	14,8	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	42,1	UVLP	109,9	32,7	13,9	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	41,6	UVLP	110,6	32,0	13,5	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	41,4	UVLP	111,4	31,1	13,0	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	41,0	UVLP	112,0	30,3	12,7	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	40,8	UVLP	112,5	29,8	12,4	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	40,6	UVLP	112,9	29,4	12,2	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	40,4	UVLP	113,3	28,9	12,0	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	40,2	UVLP	113,5	28,7	11,9	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	40,2	UVLP	113,8	28,3	11,7	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	40,1	UVLP	114,0	28,1	11,6	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	40,0	UVLP	114,2	27,9	11,6	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	39,9	UVLP	114,3	27,8	11,5	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	39,8	UVLP	114,5	27,6	11,4	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	39,9	UVLP	114,3	27,8	11,5	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	40,1	UVLP	114,0	28,1	11,6	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	40,2	UVLP	113,9	28,3	11,7	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	40,2	UVLP	113,7	28,5	11,6	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	40,3	UVLP	113,5	28,7	11,9	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	40,4	UVLP	113,3	28,9	12,0	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	40,6	UVLP	112,9	29,4	12,2	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	41,0	UVLP	112,2	30,1	12,6	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	41,2	UVLP	111,7	30,7	12,9	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	41,2	UVLP	111,7	30,7	12,9	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	41,1	UVLP	111,9	30,5	12,8	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	41,1	UVLP	111,9	30,5	12,8	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	41,4	UVLP	111,4	31,1	13,0	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	41,5	UVLP	111,1	31,4	13,2	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	41,8	UVLP	110,6	32,0	13,5	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	41,9	UVLP	110,4	32,2	13,6	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	41,9	UVLP	110,4	32,2	13,6	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	41,9	UVLP	110,2	32,4	13,7	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	41,6	UVLP	110,9	31,6	13,3	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	41,4	UVLP	111,4	31,1	13,0	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	41,0	UVLP	112,0	30,3	12,7	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	41,3	UVLP	111,5	30,9	13,0	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	41,5	UVLP	111,2	31,3	13,1	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	41,7	UVLP	110,7	31,8	13,4	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	42,6	UVLP	108,9	33,9	14,4	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	43,5	UVLP	107,1	39,1	16,8	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	44,4	UVLP	105,2	44,6	19,5	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	45,3	UVLP	103,1	50,7	22,4	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	46,4	UVLP	100,7	57,3	25,7	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	47,3	UVLP	98,3	63,4	28,8	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	47,4	UVLP	98,1	63,9	29,0	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	47,6	UVLP	97,7	64,9	29,6	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	47,7	UVLP	97,5	65,5	29,8	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	47,5	UVLP	97,9	64,4	29,3	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	47,3	UVLP	98,3	63,4	28,8	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	47,2	UVLP	98,7	62,4	28,3	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	48,0	UVLP	96,7	67,5	30,9	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	48,9	UVLP	94,4	73,2	33,8	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
0,0	60,0	0,0	IV ei pöytä	92,1	0,0	0,0	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
0,0	60,0	0,0	IV ei pöytä	92,5	0,0	0,0	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	49,3	UVLP	93,2	75,7	35,1	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	49,1	UVLP	93,7	74,7	34,6	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
0,0	60,0	0,0	IV ei pöytä	92,8	0,0	0,0	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
0,0	60,0	0,0	IV ei pöytä	95,6	0,0	0,0	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
0,0	60,0	0,0	IV ei pöytä	90,7	0,0	0,0	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
0,0	60,0	0,0	IV ei pöytä	90,9	0,0	0,0	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
0,0	60,0	0,0	IV ei pöytä	90,9	0,0	0,0	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
0,0	60,0	0,0	IV ei pöytä	91,1	0,0	0,0	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	48,0	UVLP	96,7	67,5	30,9	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	46,0	UVLP	101,6	54,7	24,4	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	44,0	UVLP	106,0	42,1	18,3	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0
10	60,0	42,7	UVLP	108,7	34,1	14,5	0,0	SE12	0,0	0,0	0,0