

Opinnäytetyö (AMK)

Insinööri | Lvi-tekniikka

2024

Niko Kangas

ILMA-VESILÄMPÖPUMPUN ENERGIATEHOKKUUDEN TARKASTELU

– Lämmönjakojärjestelmänä radiaattoriverkosto

Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Lvi-tekniikka

2024 | 52 sivua + 2 liitettä

Niko Kangas

Ilma-vesilämpöpumpun energiatehokkuuden tarkastelu

- Lämmönjakojärjestelmänä radiaattoriverkosto

Opinnäytetyön tarkoitus oli tarkastella radiaattoreiden uusimisen kannattavuutta ja nykyisten radiaattoreiden soveltuvuutta ilma-vesilämpöpumppu lämmitysjärjestelmässä. Opinnäytetyön kohteena olevassa omakotitalossa oli aikaisemmin ollut öljylämmitys, jonka vuoksi radiaattorit on mitoitettu korkealle lämpötilatasolle. Lämpöpumpun energiatehokkuuden kannalta ei ole kannattavaa tuottaa lämmitysverkostoon korkealämpöistä vettä.

Nykyisten- ja uusien radiaattoreiden lämmitystehojen määrittämistä varten selvitettiin rakennuksen lämpöhäviöt. Eri radiaattorijärjestelmien lämmitysenergian kulutus määritettiin TRY2012:n referenssivuoden ulkolämpötilojen ja kohteen ilmavesilämpöpumpun suorituskyvyn perusteella.

Eri järjestelmien vertailussa energiansäästön ja kustannusten suhteen todettiin, että radiaattorijärjestelmän mitoittaminen erittäin alhaiselle lämpötilatasolle ei ole taloudellisesti kannattavaa.

Asiasanat:

ilma-vesilämpöpumppu, radiaattori, lämpökerroin

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

HVAC

2024 | 52 pages + 2 attachments

Niko Kangas

Examination of the energy efficiency of the air-to-water heat pump

- A radiator network as a heat distribution system

The purpose of the thesis was to examine the profitability of renewing radiators and the suitability of existing radiators in an air-source heat pump heating system. The private house that is the subject of the thesis previously had oil heating system, for that reason the radiators are sized for a high temperature level. In terms of the heat pumps energy efficiency, it is not profitable to produce high-temperature water for the heating network.

In order to determine the heating power of the existing and new radiators, the building's heat losses were determined. The heating energy consumption of different radiator systems was determined based on the outdoor temperatures of the reference year TRY2012 and the performance of the air-source heat pump.

In the comparison of different systems in terms of energy savings and costs, it was found that dimensioning the radiator system for a very low temperature level is not economically profitable.

Keywords:

Air-source heat pump, radiator, heat coefficient

Sisällys

| | |
|--|-----------|
| Käytetyt lyhenteet | 8 |
| 1 Johdanto | 9 |
| 2 Ilma-vesilämpöpumppu | 10 |
| 2.1 Ilma-vesilämpöpumpun suosio Suomessa | 10 |
| 2.2 Toimintaperiaate | 12 |
| 2.3 Lämpöpumpun periaate | 14 |
| 2.3.1 Lämpökerroin | 15 |
| 2.3.2 R32-kylmäaineen kuvaaminen log p,h-piirroksella | 17 |
| 2.4 Kohteen ilmavesilämpöpumpun ominaisuudet | 19 |
| 3 Lämmitysteho | 22 |
| 3.1 Rakenteiden U-arvot | 22 |
| 3.2 Lämmitystehon määrittäminen | 25 |
| 3.2.1 Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöteho | 26 |
| 3.2.2 Vuotoilman lämpenemisen lämpöteho | 28 |
| 3.2.3 Tuloilman lämpenemisen lämpöteho | 29 |
| 3.3 Tilojen lämpöhäviöt | 29 |
| 3.4 Lämmitysjärjestelmän kytkentä | 30 |
| 4 Lämmitysjärjestelmä | 33 |
| 4.1 Radiaattorit | 34 |
| 4.1.1 Nykyiset radiaattorit | 36 |
| 4.1.2 Pattereiden lämmitystehon nosto kasvattamalla vesivirtaa | 38 |
| 4.1.3 Uusien radiaattoreiden valinta | 40 |
| 4.2 Lämmitysverkoston säätökäyrät | 41 |
| 4.3 Lämpöpumpun tehomitoituspiste | 42 |
| 5 Energiankulutus ja investointien kannattavuus | 44 |
| 5.1 Lämpökerroin lämmitysveden- ja ulkolämpötilan perusteella | 44 |
| 5.2 Energiankulutuksen laskenta | 45 |

| | |
|--|-----------|
| 5.3 Pattereiden kustannukset asennuksineen | 47 |
| 5.4 Vaihtoehtojen vertailu | 48 |
| 6 Yhteenveto | 49 |
| Lähteet | 50 |

Liitteet

Liite 1. Omakotitalon pohjakuva

Liite 2. TRY2012 referenssivuosi

Kaavat

| | |
|---|----|
| Kaava 1. Carnot'n lämpökerroin (Aittomäki 2012). | 16 |
| Kaava 2. Lämpökertoimen laskentakaava (Aittomäki 2012). | 16 |
| Kaava 3. Todellisen lämpökertoimen laskentakaava (Aittomäki 2012). | 17 |
| Kaava 4. Lämpökerroin log p.h-piirros (Kaappola ym. 2022). | 19 |
| Kaava 5. U-arvo (RakMK C4). | 22 |
| Kaava 6. Kokonaislämmönvastus (RakMK C4). | 23 |
| Kaava 7. Ainekerroksen lämmönvastus (RakMK C4). | 23 |
| Kaava 8. Lämmitystehon tarve (Ympäristöministeriö 2018a). | 26 |
| Kaava 9. Johtumislämpöhäviötehon laskenta (Ympäristöministeriö 2018a). | 27 |
| Kaava 10. Rakenneosan johtumislämpöhäviö (Ympäristöministeriö 2018a). | 27 |
| Kaava 11. Kylmäsiilat (Ympäristöministeriö 2018a). | 27 |
| Kaava 12. Vuotoilmavirta lämpöteho (Ympäristöministeriö 2018a). | 28 |
| Kaava 13. Vuotoilmavirran laskenta (Ympäristöministeriö 2018b). | 28 |
| Kaava 14. Tuloilman lämpenemisen lämpöteho (Ympäristöministeriö 2018a). | 29 |
| Kaava 15. Vesivirta lämpöteho (Seppänen & Seppänen 2007). | 33 |
| Kaava 16. Patterien lämmönluovutusteho (Purmo 2018). | 35 |
| Kaava 17. Logaritminen yllilämpötila (Purmo 2018). | 36 |

Kuvat

| | |
|---|----|
| Kuva 1. Myydyt lämpöpumput suomessa 1996-2022 (Suomen lämpöpumppu yhdistys 2023). | 11 |
| Kuva 2. IVLP toimintaperiaate (Motiva 2012). | 13 |
| Kuva 3. Lämpöpumpun toimintaperiaate (Aittomäki 2012). | 15 |
| Kuva 4. R32 log p,h-piirros (Danfoss coolpack). | 18 |
| Kuva 5. IVLP:n suorituskyky (Ecodan r32 databook). | 20 |
| Kuva 6. Rakenteiden detaljikuvat. | 24 |
| Kuva 7. Säävyohykkeet (Ympäristöministeriön asetus 1010/2017). | 25 |
| Kuva 8. Lämmitysjärjestelmän kytkentäkaavio. | 31 |
| Kuva 9. Purmo Compact-sarjan patteri (Purmo 2018). | 34 |
| Kuva 10. Purmo Compact-sarja mallisto (Purmo 2018). | 35 |
| Kuva 11. Nykyinen patteri. | 36 |

Kuviot

| | |
|---|----|
| Kuvio 1. Säätokäyrät ja lämmitystehontarve eri ulkolämpötiloilla. | 42 |
| Kuvio 2. Lämpöpumpun tehomitoituspiste. | 43 |
| Kuvio 3. Lämpökerroin eri mitoitustemperatuureilla. | 45 |
| Kuvio 4. Pattereiden takaisinmaksuaika. | 48 |

Taulukot

| | |
|---|----|
| Taulukko 1. Lämpöpumppujen myynnin muutos edelliseen vuoteen 2021–2022 (Suomen lämpöpumppuyhdistys 2023). | 12 |
| Taulukko 2. Huoneiden lämmitystehot. | 30 |
| Taulukko 3. Nykyisten pattereiden lämmitysteho 45/35°C ja 55/45°C mitoitustemperatuureilla. | 38 |
| Taulukko 4. Nykyisten pattereiden lämmitystehon nosto vesivirtaa lisäämällä. | 39 |
| Taulukko 5. Uudet radiaattorit mitoitustemperatuureilla 45/35°C ja 55/45°C. | 41 |

| | |
|--|----|
| Taulukko 6. Energiankulutus eri mitoituslämpötiloilla. | 46 |
| Taulukko 7. Pattereiden hinnat asennuksineen. | 47 |

Käytetyt lyhenteet

| | |
|--------|--|
| COP | Lämpökerroin ,coefficient of performance |
| IVLP | ilma-vesilämpöpumppu |
| MLP | maalämpöpumppu |
| PILP | poistoilmalämpöpumppu |
| U-arvo | lämmönläpäisykerroin |

1 Johdanto

Suomessa asuinrakennukset kuluttavat energiaa noin 20 prosenttia kaikkien rakennusten käyttämästä energiasta, josta lämmitykseen kuluva energia on noin kaksi kolmasosaa. Loput asuinrakennusten energiankulutuksesta koostuvat sähkölaitteista, lämpimän käyttöveden lämmityksestä ja valaistuksesta, joten lämmitykseen kuluva energia on merkittävä. Uusien asuinrakennusten energian kulutus pitäisi olla Suomen rakennusmääräysten ja Euroopan unionin määräysten mukaisesti energiatehokasta, ja lämmitykseen kuluva energia voi olla vain puolet rakennuksen energiankulutuksesta. Vanhojen olemassa olevien rakennusten energiatehokkuutta voidaan parantaa monilla tavoin, kuten esimerkiksi lämmitysmuotoa vaihtamalla. (Ilmasto-opas 2022.)

Opinnäytetyössä tutkittava kohde on 1970-luvulla rakennettu omakotitalo, jossa energiatehokkuuden parantaminen on jo aloitettu asentamalla öljylämmityksen rinnalle ilma-vesilämpöpumppu. Lämmönjakojärjestelmänä on vesikiertoinen radiaattorijärjestelmä, joka on suunniteltu alkuperäisen lämmitysmuodon mitoituslämpötilojen mukaan. Joissakin huoneissa on todettu olevan ongelmia huonelämpötilan suhteen ja lämmitysverkostoon lähtevän veden lämpötilaa on jouduttu nostamaan lämpöpumpun toiminnan kannalta epäedulliseksi. Tarkoituksena on arvioida lämmönjakoverkoston toimivuutta ja energiatehokkuutta uuden lämmitysmuodon kanssa selvittää energiansäästö kahden matalammalla lämpötiloilla toimivan radiaattoriverkoston kanssa. Matalalämpöistä lämmönjakoverkostoa suositellaan käytettäväksi lämpöpumpun yhteydessä, koska sillä on lämpökertoimeen huomattava merkitys (Motiva 2023a).

Uusien radiaattoreiden mitoitusta varten selvitetään omakotitalon huonekohtaiset lämpöhäviöt. Kohteeseen asennetusta ilmavesilämpöpumpusta on saatavilla suorituskykytiedot lämmitysverkoston eri lämpötilatasoilla ja ulkolämpötiloilla, jota käytetään energiankulutuksen selvittämisessä menneiden vuosien säätietojen lisäksi.

2 Ilma-vesilämpöpumppu

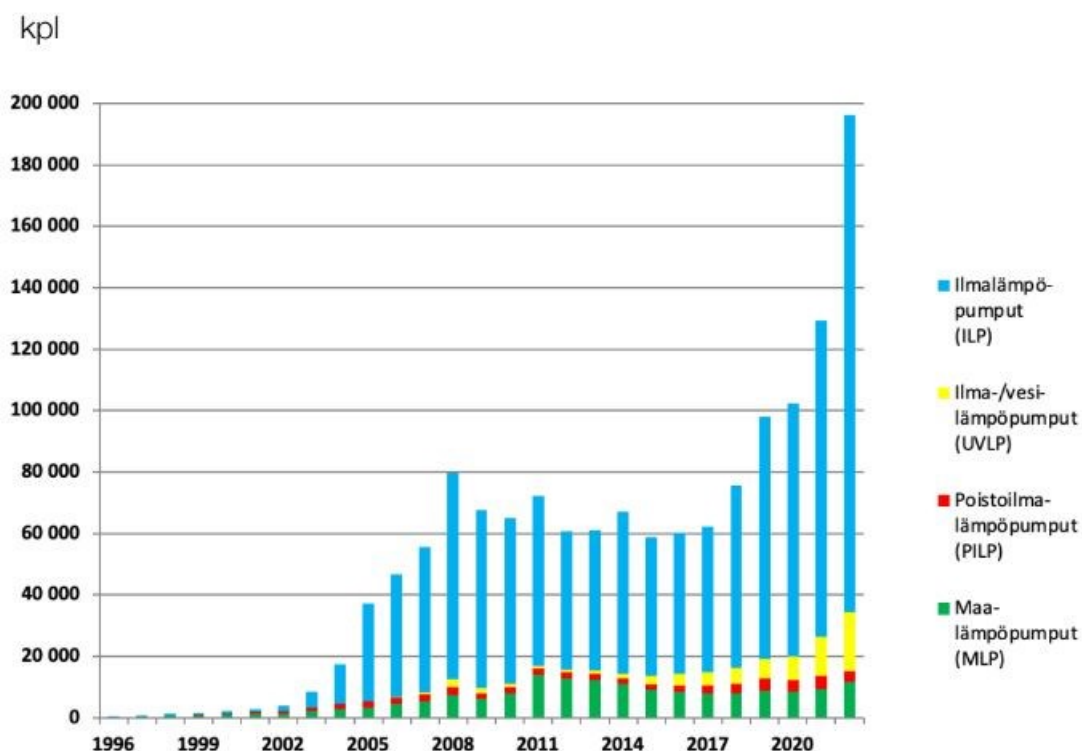
Ilma-vesilämpöpumppu, maalämpöpumppu ja poistoilmalämpöpumppu siirtävät lämmitysenergiaa vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään. Ilmavesilämpöpumpun investointikustannukset ovat yleensä maalämpöä pienemmät ja sen voi asentaa paikkoihin, mihin maalämmön vaatimaa keruupiiriä tai energiakaivoa ei voida toteuttaa. Koska ilmavesilämpöpumppu tuottaa lämmitysenergian ulkoilmasta sen vuosihyötysuhde on heikompi kuin maalämpöpumpun. (Motiva 2023b.)

Ulkolämpötilan laskiessa ilma-vesilämpöpumpun kyky tuottaa lämmitysenergiaa heikkenee, samalla myös sen lämpökerroin huononee. Riippuen laitteen ominaisuuksista, jossain ulkolämpötilassa se sammuttaa itsensä kokonaan ja lämmitys joudutaan tekemään varajärjestelmällä, joka voi olla esimerkiksi laitteen sähkövastukset tai järjestelmän rinnalle kytketty jokin muu lämmitysjärjestelmä. Varalämmitysjärjestelmää voidaan tarvita jo aikaisemminkin tukemaan ilma-vesilämpöpumppua, jos se ei pysty tuottamaan lämpimän käyttöveden ja lämmityksen vaatimaa tehontarvetta. (Motiva 2022a.)

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella lämmönjakoverkoston toimintaa, jotta ilma-vesilämpöpumpulla pystyttäisiin tuottamaan kaikki tai ainakin mahdollisimman paljon kyseisen kohteen lämmitysenergiasta ja arvioida näiden kannattavuutta.

2.1 Ilma-vesilämpöpumpun suosio Suomessa

Lämpöpumppujen myynti on ollut kasvussa viime vuosina (kuva 1). Kaikista lämpöpumpputyypeistä ilma-vesilämpöpumppu on vuonna 2022 ollut toiseksi suosituin. Suosiota voidaan osittain selittää valtion tarjoamalla tuella, jota pientalojen omistajat ovat saaneet luopuessaan öljylämmityksestä (Ely-keskus 2023).



Kuva 1. Myytyt lämpöpumput suomessa 1996-2022 (Suomen lämpöpumppu yhdistys 2023).

Ilma-vesilämpöpumppujen (IVLP) suosio jatkoi kasvuaan myös vuonna 2022. Myytyjä pumppuja oli yhteensä 19 035 kappaletta. Myynnin kasvu edellisvuoteen nähden oli 53,3 prosenttia, joka oli suurempi kuin muihin veteen lämmitysenergiaa siirtävien, kuten maalämpö- (MLP) ja poistoilmalämpöpumppujen (PILP) vastaava myyntikehitys. (taulukko 1.)

Taulukko 1. Lämpöpumppujen myynnin muutos edelliseen vuoteen 2021–2022 (Suomen lämpöpumppuyhdistys 2023).

| Lämmönlähde | Lämmönjako | Vuosi | Mitoituslämpöteho (kW) | | | | | Yhteensä | Muutos % |
|-------------------------------|-------------------|-------|------------------------|-------|-------|--------|------|----------|----------|
| | | | 0-6 | 7-10 | 11-25 | 26-100 | 101- | | |
| Ulkoilma | Vesi (IVLP) | 2022 | 2653 | 8344 | 7564 | 474 | 0 | 19035 | 53,3 % |
| | | 2021 | 956 | 5629 | 5514 | 317 | 0 | 12416 | |
| | Ilma (ILP) | 2022 | 156247 | 5152 | 407 | 114 | 0 | 161920 | 57,0 % |
| | | 2021 | 98522 | 4014 | 476 | 124 | 0 | 103136 | |
| Poistoilma | Vesi, ilma (PILP) | 2022 | 3632 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3632 | -15,7 % |
| | | 2021 | 4307 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4307 | |
| Maa, vesi, kallio, hukkalämpö | Vesi, ilma (MLP) | 2022 | 1862 | 2762 | 5186 | 1864 | 98 | 11772 | 23,7 % |
| | | 2021 | 1510 | 2334 | 4170 | 1428 | 74 | 9516 | |
| Yhteensä | | 2021 | 164394 | 16258 | 13157 | 2452 | 98 | 196359 | 51,8 % |
| | | 2020 | 105295 | 11977 | 10160 | 1869 | 74 | 129375 | |

Lämpöpumppujen myynnissä tulee olemaan kasvua myös tulevaisuudessa ilmastonmuutoksen taltuttamiseksi. Hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi polttoon pohjautuvista lämmitysjärjestelmistä koitetaan päästä eroon. Vähäisen sähköenergian kulutuksen vuoksi lämpöpumput ovat ympäristöystävällinen valinta lämmitysmuodoksi. (Suomen lämpöpumppuyhdistys 2023).

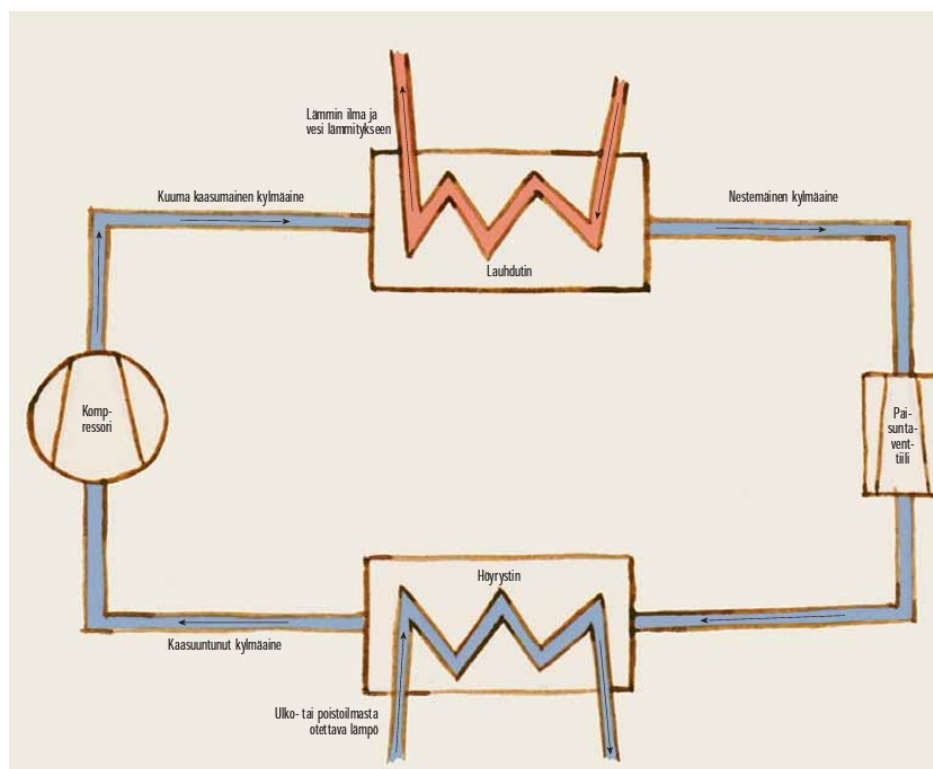
2.2 Toimintaperiaate

Ilma-vesilämpöpumppuja on toimintaperiaatteeltaan kahdenlaisia, split- ja monoblock-laitteita. Split-laitteen ulko- ja sisäyksikön välillä kiertää kylmäaine, monoblock-laitteen sisä- ja ulkoyksikön välillä kiertää vesi. (Motiva 2023b.) Kyseisen kohteen lämpöpumpputyyppejä on split-laite (kuva 2), joten monoblock-laitetta ei tässä työssä käsitelty.

Ilma-vesilämpöpumppu kerää lämpöä ulkoilmasta. Ulkotiloissa sijaitseva ulkoyksikkö pitää sisällään höyrystimen, kompressorin, automatiikan ohjauslaitteita ja puhaltimen. Ulkoilmaa puhalletaan höyrystimen läpi puhaltimen avulla ja ulkoilman lämpöenergia siirtyy kylmäaineeseen saaden sen höyrystymään. Kompressori nostaa höyrystyneen kylmäaineen korkeampaan paineeseen, jolloin sen lämpötila nousee. Kuuma kaasuuntunut kylmäaine siirtää lämpöenergian sisäyksikössä sijaitsevassa lauhduttimessa lämmitysverkoston

veteen ja muuttuu takaisin nestemäiseen olomuotoon. Ennen palaamistaan höyrystimelle kylmäaine kulkeutuu paisuntaventtiin lävitse, jonka johdosta nestemäisen kylmäaineen paine ja lämpötila laskee, tämän jälkeen kierto alkaa uudestaan. (Motiva, 2012.)

Höyrystimen sulatustarve heikentää ilma-vesilämpöpumpun lämpökerrointa. Pintalämpötilan laskiessa alle 0°C :n höyrystimessä, läpi puhallettavan ulkoilman kosteus kondensoituu lamellien pinnoille ja muodostuu jäätä. Lämmönsiirron heikentyessä ulkoilman ja kylmäaineen välillä energiankulutus kasvaa ja höyrystimen kenno täytyy sulattaa. (Aittomäki 2012, 181.) Kyseessä olevan kohteen ilma-vesilämpöpumpun sulatus tapahtuu kylmäainepiirin käänteisellä toiminnalla, jossa sulatusenergia siirretään lauhduttimessa lämmityspiiriin vedestä kylmäaineeseen.



Kuva 2. IVLP toimintaperiaate (Motiva 2012).

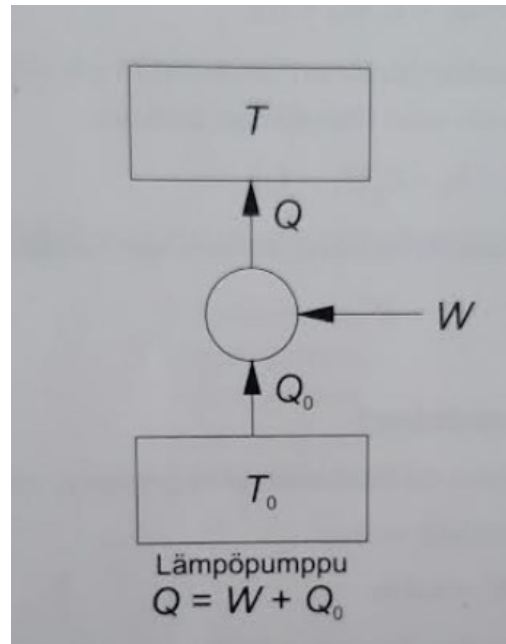
Luvussa on kuvattu ilma-vesilämpöpumpun toiminta yksinkertaistetusti. Laitteissa on todellisuudessa erilaisia teknisiä ratkaisuita, jotka vaikuttavat lämpöpumpun toimintaan. Joidenkin valmistajien pientaloihin tarkoitetuilla

malleilla on mahdollista lämmittää vesi jopa 70°C:seen ja lämpöpumpun alhaisin toimintalämpötila voi olla –28°C astetta. Laitevalinnasta riippuen, lämpöpumpun kompressorilla ja lisälämmityksellä tuotetun lämmitysenergian osuudet vaihtelevat. (Motiva, 2023b.)

2.3 Lämpöpumpun periaate

Lämmitysenergiaa voidaan lämpöpumpulla tuottaa moninkertaisesti suhteessa käytettyyn sähköenergiaan, jolloin pumpun tehokkuutta voidaan kuvata lämpökertoimen avulla (Aittomäki 2012, 336).

Lämpöpumpun kiertoprosessissa lämpöä siirretään matalammasta lämpötilasta korkeampaan, joka perustuu kylmäaineen olomuodon muutokseen. Prosessiin pitää tehdä myös työtä, joka on kompressorin sähköverkosta ottama sähköteho. (Kaappola ym. 2022, 15–16.) Esimerkiksi lämpökertoimen ollessa 4 lämpöpumppu kykenee tuottamaan nelinkertaisesti lämpöä suhteessa käyttämäänsä sähköenergiaan, jolloin kolme neljäsosaa kerättäisiin ilmavesilämpöpumpun tapauksessa ulkoilmasta ja yksi neljäsosa olisi kompressorin kuluttamaa sähköenergiaa.



Kuva 3. Lämpöpumpun toimintaperiaate (Aittomäki 2012).

Lämpökertoimeen merkittävästi vaikuttavat tekijät on lauhtumis- ja höyrystymislämpötilan välinen ero. Ulkoilmasta lämpöä ottavien lämpöpumppujen höyrystymislämpötila riippuu ulkolämpötilasta, joten siihen ei pystytä vaikuttamaan, mutta lauhtumislämpötilaan voidaan vaikuttaa mitoittamalla lämmönjakoverkosto alhaiselle lämpötilatasolle. (Perälä & Perälä 2013, 31.)

2.3.1 Lämpökerroin

Termodynamiikan toisen pääsäännön mukaan suurin mahdollinen lämpökerroin, joka lämpöpumpulla voidaan saavuttaa kuvataan Carnot'n lämpökertoimella. Se ottaa huomioon vain höyrystymis- ja lauhtumislämpötilan. Todellisuudessa lämpöpumppujen suoritusarvot jäävät tämän alle paljonkin. (Aittomäki 2012, 5-6). Carnot'n lämpökerroin lämpöä tuottavalle lämpöpumpulle lasketaan kaavalla 1.

$$COP_C = \frac{T_L}{T_L - T_H}$$

COP_C = Carnot'n lämpökerroin

T_L = Lauhtumislämpötila (K)

T_H = Höyrystymislämpötila (K)

Kaava 1. Carnot'n lämpökerroin (Aittomäki 2012).

Lauhtumis- ja höyrystymislämpötilojen arvoissa tulee ottaa huomioon, että kylmäaineen lämpötila lauhduttimessa on suurempi kuin lämmitysverkostoon lähtevän veden ja höyrystimessä alhaisempi kuin ulkolämpötilan (Perälä & Perälä 2013, 30-31).

Lämpökerroin lasketaan kaavalla 2, lämpöpumpulla tuotetun lämpötehon ja kompressorin käyttämän sähkötehon suhteena.

$$COP = \frac{Q_L}{W}$$

COP = Lämpökerroin (Coefficient of performance)

Q_L = Tuotettu lämpöteho (w)

W = Kompressorin kuluttama teho (w)

Kaava 2. Lämpökertoimen laskentakaava (Aittomäki 2012).

Lämpöpumpulla tuotetun lämmitysenergian hinta muodostuu kompressorin käyttämän sähkönsä lisäksi myös apulaitteiden kuluttamasta sähköenergiasta, jotka järjestelmään kuuluu. Muita apulaitteita ovat esimerkiksi lämmönjakoverkoston kiertovesipumput, höyrystimen sulatusvesien lämmityskaapelit ja puhallin. Apulaitteet huomioiden tulokseksi saadaan vuosilämpökerroin, joka voidaan laskea kaavalla 3.

$$COP_T = \frac{Q_L}{P_{apu} + W}$$

COP_T = Todellinen lämpökerroin (Coefficient of performance)

Q_L = Tuotettu lämpöenergia (kwh/a)

W = Kompressorin kuluttama energia (kwh/a)

P_{apu} = apulaitteiden kuluttama energia (kwh/a)

Kaava 3. Todellisen lämpökertoimen laskentakaava (Aittomäki 2012).

Todellisella lämpökertoimella voidaan vertailla lämpöpumpun taloudellisuutta, koska lauhtumis- ja höyrystymislämpötilat muuttuvat vuodenaikojen mukaan (Aittomäki 2012, 337).

2.3.2 R32-kylmäaineeseen kuvaaminen log p,h-piirroksella

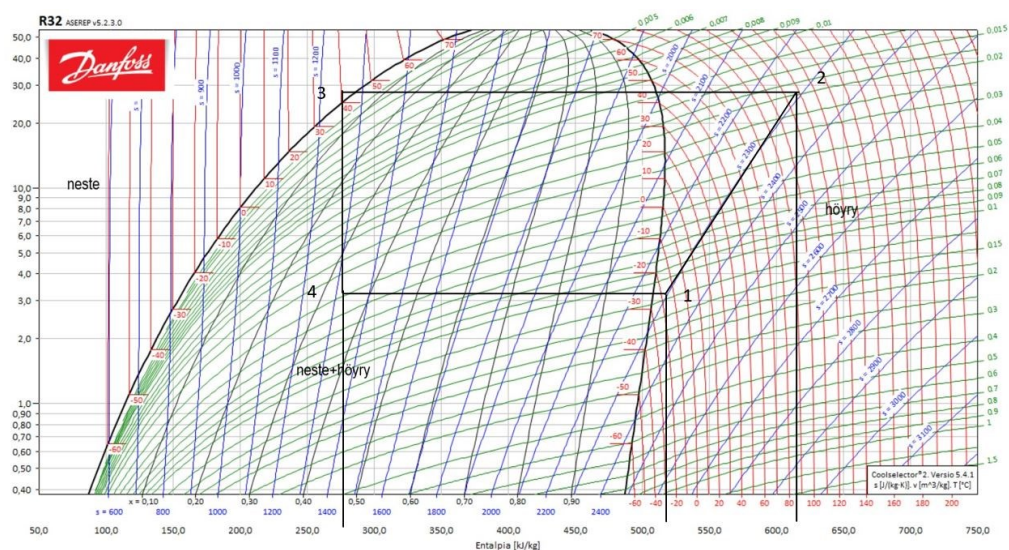
Kylmäprosessi perustuu kylmäaineen kykyyn muuttaa olomuotoaan nesteestä höyryksi, välillä luovuttaen ja välillä vastaanottaen lämpöenergiaa. Kylmäaineita jaotellaan monilla eri tavoilla, joista yksi on jaottelu höyrystymis- ja lauhtumiskäyttötymisen mukaan: yksikomponenttisiin-, atseotrooppisiin- ja tseotrooppisiin kylmäaineisiin. Jälkimmäisenä mainitut ovat seoskylmäaineita. R32 kuuluu yksikomponenttisiin, joka sisältää vain yhtä ainetta ja sen ominaisuuteen kuuluu, että lauhtuminen ja höyrystyminen tapahtuu vakiolämpötilassa. Muita jaottelu perusteita ovat mm. jaottelut kemiallisen koostumuksen ja halogeenimolekyylien mukaan, sekä turvallisuusluokituksen perusteella. (Kaappola ym. 2022, 31-33.)

Kylmäaineiden ympäristöhaitallisuutta kuvaillaan niiden GWP- (global warming potential)- ja ODP-arvoilla (Ozone depletion potential). Gwp-arvo ilmoittaa kylmäaineen kasvihuonehaitallisuuden ja sitä verrataan hiilidioksidin arvoon, joka on 1. Kylmäaineen valintaan johtavia tekijöitä on sen käyttökohteeseen soveltuvuuden lisäksi myös sen ympäristövaikutukset. (Kaappola ym, 2022, 32.)

Opinnäytetyön kohteessa olevan ilmavesilämpöpumpun kylmäaineena on r32, jonka gwp-arvo on 677.

Lämpöpumpun kiertoprosessia voidaan havainnollistaa log p,h piirroksella (Kuva 4), jossa on rajakäyrällä eroteltu kylmäaineen eri olomuodot. Vasemmalla puolella rajakäyrää kylmäaine on nesteenä, rajakäyrän sisällä nesteenä ja höyrynä ja oikealla puolella höyrynä. Rajakäyrän huipulla sijaitsee kriittinen piste, jonka ylitettyään kylmäaine ei voi muuttua enää nesteeksi. (Kaappola ym. 2022, 17.)

Kylmäaineen log p,h-tilapiirroksessa vasemmalla pystyakselilla on esitetty paine (bar), joka vastaa kylmäaineen lämpötilaa. Vaaka-akselilta voidaan katsoa kylmäaineen lämpösisältö eli entalpia (kJ/kg). Kuvassa 4 on havainnollistettu häviötöntä kiertoprosessia, kun lauhtumislämpötila on 45 astetta ja höyrystymislämpötila -25 astetta. Tilapisteet 1-2 kuvaavat kompressorin tekemää puristustyötä, jonka johdosta kylmäaineen paine ja lämpötila nousee. Välillä 2-3 tapahtuu lauhtuminen, jossa lämpö siirretään kylmäaineesta veteen. Tämän jälkeen 3-4 kylmäaine kulkee paisuntaventtiilin lävitse takaisin höyrystimelle, jonka jälkeen kylmäaine höyrystyy keräten lämpöä ilmasta välillä 4-1. (Kaappola ym. 2022, 24-26.)



Kuva 4. R32 log p,h-piirros (Danfoss coolpack).

Esimerkin kiertoprosessista voidaan laskea lämpökerroin kaavalla 4, kyseisissä höyrystymis- ja lauhtumislämpötiloissa, tilapisteiden entalpioiden avulla.

$$\varphi = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

φ = Lämpökerroin

h_2 = Entalpia puristuksen jälkeen (kJ/kg)

h_3 = Entalpia lauhtumisen jälkeen (kJ/kg)

h_1 = Entalpia ennen puristusta (kJ/kg)

Kaava 4. Lämpökerroin log p,h-piirros (Kaappola ym. 2022).

Kylmäaineen kiertoprosessissa tapahtuu myös häviötä, joita aiheuttaa muun muassa lämpö- ja painehäviöt kylmäaineen virratessa kylmäkoneiston laitteistossa, joten tilapiirros ei ole näin yksinkertainen kuin edellä on esitetty (Kaappola ym. 2022, 27-28). Log p,h-piirroksesta voidaan hyvin nähdä ulkoilmasta lämpöä tuottavan lämpöpumpun hyötysuhteen heikkeneminen, kun höyrystymis- ja lauhtumislämpötilan ero kasvaa. Näin ollen lauhtumislämpötilan merkitys on suuri.

2.4 Kohteen ilma-vesilämpöpumpun ominaisuudet

Kohteeseen on asennettu split-tyyppinen Mitsubishi Ecodan PUD-SWM100 ilma-vesilämpöpumppu, sisäyksikkönä hydrobox EHSD-YM9D. Sisäyksikkö sisältää levylämmönvaihtimen, 9kw sähkölämmittimen, kiertovesipumpun, paisuntaastian, varoventtiilin ja järjestelmän ohjaukseen tarvittavat laitteet. Valmistajan ilmoittama nimellinen lämmitysteho lämpöpumpulle on 8 kw, joka ilmoitetaan standardin EN14511 mukaisesti 35-asteisen lämmitysjärjestelmään menevän veden lämpötilalla, ulkolämpötilan ollessa 7 astetta (Motiva 2023b).

Laitteessa on scroll-kompressori, jonka kierroslukua ohjataan taajuusmuuttajan avulla, eli kyseessä on inverter-säätöinen lämpöpumppu. Kierroslukua ohjaamalla lämpöpumpun on mahdollista käydä osateholla pidempiä käyntijaksoja tehontarpeen mukaan, joka lisää kompressorin käyttöikää käynnistyskertojen jäädessä vähemmälle (Perälä & Perälä 2013, 47).

Opinnäytetyössä käytettiin lämpöpumpun lämpökertoimien ja lämmitystehojen selvittämisessä valmistajan ohjekirjaa (Kuva 5), jossa on ilmoitettu lämpöpumpun lämmöntuottoteho (capacity) kilowatteina ja lämpökerroin (COP) eri ulkolämpötilojen, sekä lämmitysverkostoon menevän veden lämpötilan perusteella (Ecodan r32 databook).

| Outdoor unit | | PUD-SWM100VAA(-BS) PUD-SWM100YAA(-BS) | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|---------|---------------------------------------|----------|------|----------|------|----------|------|----------|------|----------|------|----------|------|----------|-----|---|
| | | Water outlet temperature [°C] | | 25 | | 35 | | 40 | | 45 | | 50 | | 55 | | 60 | |
| | | Ambient temperature [°C] | Capacity | COP | Capacity | COP | Capacity | COP | Capacity | COP | Capacity | COP | Capacity | COP | Capacity | COP | |
| Max | -25 | - | - | 7.0 | 1.80 | 7.0 | 1.70 | 6.9 | 1.60 | - | - | - | - | - | - | - | |
| | -20 | - | - | 8.0 | 2.10 | 7.8 | 1.90 | 7.6 | 1.70 | 7.0 | 1.40 | - | - | - | - | - | |
| | -15 | - | - | 9.0 | 2.20 | 8.8 | 2.05 | 8.5 | 1.85 | 7.9 | 1.65 | 7.3 | 1.55 | - | - | - | |
| | -10 | 11.5 | 2.70 | 11.0 | 2.50 | 10.8 | 2.30 | 10.5 | 2.05 | 9.7 | 1.95 | 9.3 | 1.80 | - | - | - | |
| | -7 | 12.4 | 2.90 | 11.9 | 2.65 | 11.6 | 2.45 | 11.3 | 2.20 | 10.2 | 2.00 | 9.5 | 1.85 | 7.8 | 1.60 | - | |
| | 2 | 12.4 | 3.15 | 12.1 | 3.00 | 11.8 | 2.75 | 11.5 | 2.45 | 11.0 | 2.25 | 10.0 | 1.93 | 8.7 | 1.85 | - | |
| | 7 | 11.4 | 5.50 | 10.9 | 4.65 | 10.5 | 4.00 | 10.0 | 3.35 | 9.7 | 3.05 | 9.2 | 2.45 | 8.5 | 2.25 | - | |
| | 12 | 12.9 | 6.30 | 12.2 | 5.45 | 12.0 | 4.75 | 11.7 | 4.00 | 11.1 | 3.50 | 10.5 | 2.95 | 9.5 | 2.55 | - | |
| | 15 | 13.4 | 6.70 | 13.0 | 5.65 | 12.7 | 5.10 | 12.4 | 4.50 | 11.8 | 4.10 | 11.1 | 3.55 | 10.0 | 2.90 | - | |
| | 20 | 14.2 | 7.60 | 13.8 | 6.25 | 13.5 | 5.65 | 13.1 | 5.00 | 12.5 | 4.35 | 11.4 | 3.75 | 10.5 | 3.55 | - | |
| | Nominal | -25 | - | - | 7.0 | 1.80 | 7.0 | 1.70 | 6.9 | 1.60 | - | - | - | - | - | - | - |
| | | -20 | - | - | 8.0 | 2.10 | 7.8 | 1.90 | 7.6 | 1.70 | 7.0 | 1.40 | - | - | - | - | - |
| -15 | | - | - | 9.0 | 2.20 | 8.8 | 2.05 | 8.5 | 1.85 | 7.9 | 1.65 | 7.3 | 1.55 | - | - | - | |
| -10 | | 10.0 | 3.25 | 10.0 | 2.86 | 10.0 | 2.50 | 10.0 | 2.15 | 9.7 | 1.95 | 9.3 | 1.80 | - | - | - | |
| -7 | | 10.0 | 3.50 | 10.0 | 2.95 | 10.0 | 2.65 | 10.0 | 2.35 | 10.0 | 2.05 | 9.5 | 1.85 | 7.8 | 1.60 | - | |
| 2 | | 10.0 | 4.10 | 10.0 | 3.30 | 10.0 | 3.00 | 10.0 | 2.65 | 10.0 | 2.35 | 10.0 | 1.93 | 8.7 | 1.85 | - | |
| 7 | | 8.0 | 5.90 | 8.0 | 5.00 | 8.0 | 4.30 | 8.0 | 3.60 | 8.0 | 3.20 | 8.0 | 2.60 | 8.0 | 2.30 | - | |
| 12 | | 8.0 | 7.20 | 8.0 | 5.90 | 8.0 | 5.10 | 8.0 | 4.30 | 8.0 | 3.75 | 8.0 | 3.10 | 8.0 | 2.65 | - | |
| 15 | | 8.0 | 7.50 | 8.0 | 6.20 | 8.0 | 5.50 | 8.0 | 4.80 | 8.0 | 4.25 | 8.0 | 3.65 | 8.0 | 2.95 | - | |
| 20 | | 8.0 | 8.65 | 8.0 | 7.10 | 8.0 | 6.25 | 8.0 | 5.40 | 8.0 | 4.65 | 8.0 | 3.65 | 8.0 | 3.75 | - | |
| Mid | | -25 | - | - | 5.6 | 1.75 | 5.6 | 1.70 | 5.5 | 1.60 | - | - | - | - | - | - | - |
| | | -20 | - | - | 6.4 | 2.35 | 6.3 | 2.10 | 6.1 | 1.80 | 5.6 | 1.50 | - | - | - | - | - |
| | -15 | - | - | 7.2 | 2.50 | 7.0 | 2.25 | 6.8 | 2.00 | 6.3 | 1.80 | 5.8 | 1.60 | - | - | - | |
| | -10 | 8.0 | 3.70 | 8.0 | 3.10 | 8.0 | 2.70 | 8.0 | 2.30 | 7.8 | 2.05 | 7.4 | 1.85 | - | - | - | |
| | -7 | 8.0 | 3.75 | 8.0 | 3.10 | 8.0 | 2.80 | 8.0 | 2.45 | 8.0 | 2.15 | 7.6 | 1.95 | 6.2 | 1.65 | - | |
| | 2 | 8.0 | 4.45 | 8.0 | 3.60 | 8.0 | 3.25 | 8.0 | 2.85 | 8.0 | 2.50 | 8.0 | 2.15 | 7.0 | 1.95 | - | |
| | 7 | 6.4 | 5.80 | 6.4 | 5.00 | 6.4 | 4.35 | 6.4 | 3.70 | 6.4 | 3.25 | 6.4 | 2.75 | 6.4 | 2.35 | - | |
| | 12 | 6.4 | 7.25 | 6.4 | 5.55 | 6.4 | 4.95 | 6.4 | 4.30 | 6.4 | 3.75 | 6.4 | 3.10 | 6.4 | 2.70 | - | |
| | 15 | 6.4 | 7.50 | 6.4 | 6.15 | 6.4 | 5.45 | 6.4 | 4.70 | 6.4 | 4.15 | 6.4 | 3.60 | 6.4 | 2.95 | - | |
| | 20 | 6.4 | 8.35 | 6.4 | 7.05 | 6.4 | 6.20 | 6.4 | 5.30 | 6.4 | 4.60 | 6.4 | 3.80 | 6.4 | 3.70 | - | |
| | Min | -25 | - | - | 4.3 | 1.65 | 4.3 | 1.60 | 4.2 | 1.50 | - | - | - | - | - | - | - |
| | | -20 | - | - | 4.9 | 2.40 | 4.8 | 2.15 | 4.7 | 1.85 | 4.5 | 1.55 | - | - | - | - | - |
| -15 | | - | - | 5.6 | 2.70 | 5.5 | 2.40 | 5.4 | 2.05 | 5.3 | 1.85 | 5.2 | 1.55 | - | - | - | |
| -10 | | 3.8 | 3.90 | 3.6 | 2.90 | 3.5 | 2.60 | 3.4 | 2.25 | 3.3 | 1.90 | 3.1 | 1.60 | - | - | - | |
| -7 | | 3.8 | 3.70 | 3.5 | 2.90 | 3.4 | 2.60 | 3.2 | 2.25 | 3.0 | 2.00 | 2.9 | 1.70 | 3.7 | 1.65 | - | |
| 2 | | 3.5 | 4.70 | 3.2 | 3.60 | 3.0 | 3.20 | 2.7 | 2.75 | 2.4 | 2.05 | 2.1 | 1.80 | 3.2 | 1.90 | - | |
| 7 | | 2.7 | 4.90 | 2.5 | 3.55 | 2.4 | 3.35 | 2.3 | 3.10 | 2.0 | 2.60 | 1.7 | 2.30 | 2.6 | 2.25 | - | |
| 12 | | 3.4 | 6.90 | 3.1 | 4.55 | 2.9 | 4.25 | 2.7 | 3.95 | 2.3 | 3.25 | 1.9 | 2.65 | 2.9 | 2.55 | - | |
| 15 | | 4.0 | 7.30 | 3.3 | 5.70 | 3.1 | 4.95 | 2.9 | 4.20 | 2.5 | 3.60 | 2.0 | 3.00 | 3.1 | 2.75 | - | |
| 20 | | 4.3 | 7.60 | 3.8 | 6.65 | 3.5 | 5.75 | 3.2 | 4.85 | 2.9 | 4.10 | 2.6 | 3.30 | 3.5 | 3.35 | - | |

Kuva 5. IVLP:n suorituskyky (Ecodan r32 databook).

Kohteen ilma-vesilämpöpumpun suorituskyvystä on nähtävillä, että se ei kykene tuottamaan lämpöenergiaa ulkolämpötilan ollessa alle -25°C astetta ja sillä on myös toimintarajoituksia tuottamansa lämmitysveden suhteen eri ulkolämpötiloissa (Kuva 5). Lämmönjakojärjestelmän ollessa mitoitettu korkealle

menoveden lämpötilalle avuksi tarvitaan lisälämmitystä, joka täytyy tuottaa jollain muulla lämmitysjärjestelmällä.

Valmistaja on ilmoittanut taulukon (Kuva 5) arvojen olevan testattu olosuhteissa, joissa lauhduttimeen tulevan ja siitä lähtevän veden lämpötilaero on 5 astetta (Ecodan r32 databook, 53). Kun eri radiaattorijärjestelmien energiankulutus määritettiin, oletettiin lämpötilaero lauhduttimessa tämän mukaiseksi ja käytettiin taulukon mukaisia lämpökertoimia.

3 Lämmitysteho

Opinnäytetyön kohteena oli vuonna 1979 rakennettu omakotitalo pinta-alaltaan 145,5 neliometriä, joka on rakennettu aikakautensa käytäntöjen ja rakennusmääräysten mukaan. Lämmöneristysvaatimukset ovat olleet lievempiä 1970-luvulla verrattuna nykyisiin rakennettaviin omakotitaloihin, joka johtaa vanhojen rakennusten suurempaan lämmitystehon tarpeeseen ja lämmitysenergian kulutukseen.

3.1 Rakenteiden U-arvot

Lämmönläpäisykerroin eli U-arvo kuvaa lämpövirran tiheyttä, joka kulkeutuu rakenteen läpi yhden asteen lämpötilaerolla, sen yksikkö on $W/m^2\text{°C}$. Rakenteen lämmönläpäisykerroimen arvo riippuu sen rakenneosien lämmönjohtavuudesta ja paksuudesta.

RakMK C4 mukaan U-arvo lasketaan kaavalla 5:

$$U = \frac{1}{R_T}$$

U = lämmönläpäisykerroin ($W/m^2\text{°C}$)

R_T = rakenteen kokonaislämmönvastus ($m^2\text{°C/W}$)

Kaava 5. U-arvo (RakMK C4).

Rakenteessa olevien ainekerroksien lämmönvastukset lasketaan yhteen kaavalla 6:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

R_{si} = sisäpuolinen lämmönvastus ($m^2\text{°C/W}$)

R_1, R_2, \dots, R_n = ainekerroksen lämmönvastus ($m^2\text{°C/W}$)

R_{se} = ulkopuolinen lämmönvastus (m^2C/W)

Kaava 6. Kokonaislämmönvastus (RakMK C4).

Ainekerroksen lämmönvastus saadaan laskemalla sen paksuuden suhde lämmönjohtavuuteen kaavalla 7.

$$R_n = \frac{d}{\lambda}$$

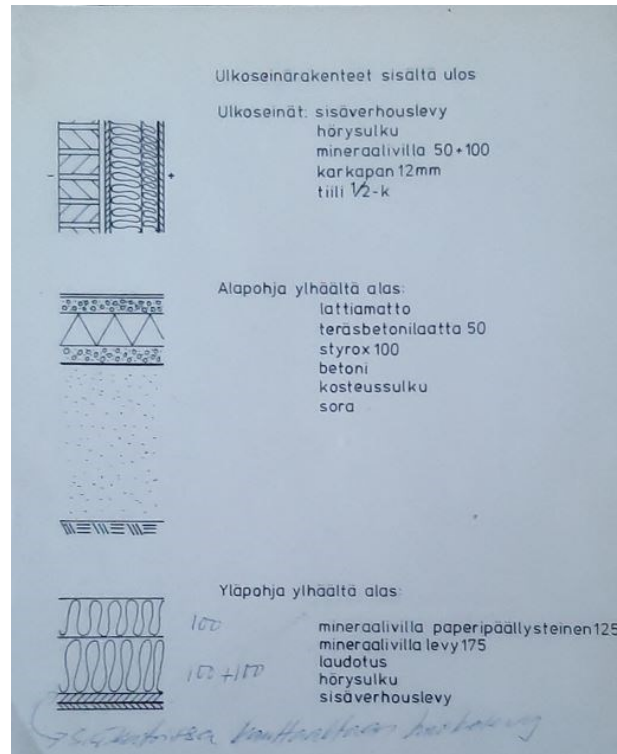
R_n = ainekerroksen lämmönvastus (m^2C/W)

d = ainekerroksen paksuus (m)

λ = ainekerroksen lämmönjohtavuus ($W/m^{\circ}C$)

Kaava 7. Ainekerroksen lämmönvastus (RakMK C4).

U-arvon määrittämisessä otettiin huomioon RakMK C4:n mukaisesti rakenneosien epätasa-aineisuus, joka tarkoittaa rinnakkain olevia ainekerroksia, joilla on eri lämmönvastus. Seinien koolauksen välinä käytettiin 600 mm ja kattoristikoiden 900 mm. Kohteen rakenteista oli saatavilla detaljikuvat (Kuva 6), joiden mukaan U-arvot laskettiin.



Kuva 6. Rakenteiden detailjikuvat.

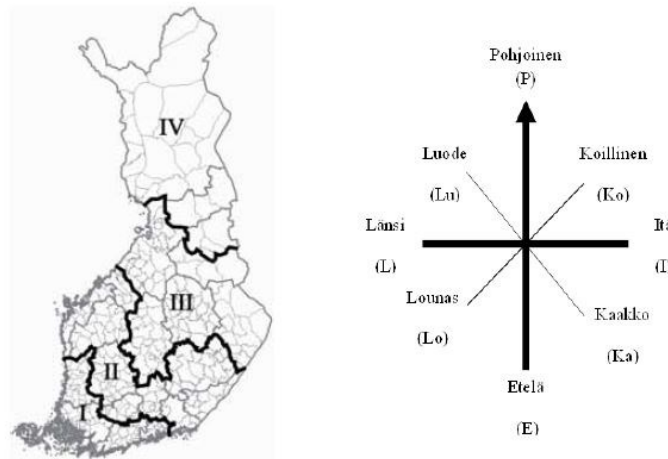
Rakenteiden U-arvoiksi saatiin:

- Ulkoseinä 0,26 W/m²°C
- Yläpohja 0,14 W/m²°C
- Alapohja 0,22 W/m²°C
- Ulko-ovet 1,0 W/m²°C
- Ikkunat 2,1 W/m²°C

Rakennusaineiden lämmönjohtavuuksina käytettiin RakMk C4 taulukkoarvoja. Ulko-ovet ovat vaihdettu uusiin ja niiden U-arvona käytettiin ympäristöministeriön asetuksen 1010/2017 mukaista taulukkoarvoa, kuten myös alkuperäisten ikkunoiden osalta.

3.2 Lämmitystehon määrittäminen

Mitoituslämpötehon laskenta tehdään rakennuksen maantieteellisen sijainnin mukaan. Lämmitystehon laskentaa varten suomi on jaettu säävyöhykkeisiin (kuva 7), joiden mitoittavaan ulkoilmanlämpötilaan rakennuksen lämmitysjärjestelmä mitoitetaan. (Ympäristöministeriön asetus 1010/2017.)



Kuva L1.1. Säävyöhykkeet ja ilmansuuntien lyhenteet.

| Säävyöhyke | Mitoittava ulkoilman lämpötila, °C |
|------------|------------------------------------|
| I | -26 |
| II | -29 |
| III | -32 |
| IV | -38 |

Kuva 7. Säävyöhykkeet (Ympäristöministeriön asetus 1010/2017).

Lämmityskaudella huonelämpötila voi vaihdella 20-25 asteen välillä, mutta suunnitteluarvona on käytettävä lämpötilaa 21 astetta (Talotekniikkainfo 2023). Opinnäytetyön kohteena oleva omakotitalo sijaitsee I-vyöhykkeellä, joten mitoitusilanteen ulkolämpötila on -26 astetta. Maanvaraisessa alapohjassa mitoittavana ulkolämpötilana käytetään maan vuotuista keskilämpötilaa lisättynä 2 asteella (Ympäristöministeriö 2018a).

Mitoituslämmitysteho lasketaan kaavalla 8, siihen ei oteta huomioon sisäisiä lämpökuormia, eikä auringon säteilylämpöä (Ympäristöministeriö 2018a).

$$\Phi_{\text{tila}} = \Phi_{\text{johtuminen}} + \Phi_{\text{vuotoilma}} + \Phi_{\text{tuloilma}} + \Phi_{\text{korvausilma}}$$

Φ_{tila} = tilojen lämmitysjärjestelmän tehontarve (W)

$\Phi_{\text{johtuminen}}$ = johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi (W)

$\Phi_{\text{vuotoilma}}$ = vuotoilman lämpenemisen tehontarve (W)

Φ_{tuloilma} = teho tuloilman lämmittämiseen tilassa (W)

$\Phi_{\text{korvausilma}}$ = teho korvausilman lämmittämiseen tilassa (W)

Kaava 8. Lämmitystehon tarve (Ympäristöministeriö 2018a).

3.2.1 Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöteho

Johtumislämpöhäviöteho lasketaan jokaisen rakenneosan läpi kaavalla 9 (Ympäristöministeriö 2018a).

$$\Phi_{\text{johtuminen}} = \Phi_{\text{us}} + \Phi_{\text{yp}} + \Phi_{\text{ap}} + \Phi_{\text{ik}} + \Phi_{\text{ovi}} + \Phi_{\text{kylmäsillat}}$$

$\Phi_{\text{johtuminen}}$ = johtumislämpöteho rakennusvaipan läpi (W)

Φ_{us} = johtumislämpöteho ulkoseinien läpi (W)

Φ_{yp} = johtumislämpöteho yläpohjien läpi (W)

Φ_{ap} = johtumislämpöteho alapohjien läpi (W)

Φ_{ik} = johtumislämpöteho ikkunoiden läpi (W)

Φ_{ovi} = johtumislämpöteho ulko-ovien läpi (W)

$\Phi_{\text{kylmäsillat}}$ = johtumislämpöteho kylmäsiltojen läpi (W)

Kaava 9. Johtumislämpöhäviötehon laskenta (Ympäristöministeriö 2018a).

Johtumislämpöhäviöt rakennusosien lävitse lasketaan kaavalla 10, jossa käytetään rakenteiden U-arvoa.

$$\Phi = UA(T_s - T_u)$$

Φ = johtumislämpöhäviöteho rakenneosan läpi (W)

U = rakennusosan lämmönläpäisykerroin (W/m²°C)

A = rakennusosan pinta-ala (m²)

T_s = sisälämpötila (°C)

T_u = mitoittava ulkolämpötila (°C)

Kaava 10. Rakenneosan johtumislämpöhäviö (Ympäristöministeriö 2018a).

Kaavalla 11 lasketaan rakenneosien liitoksista aiheutuvat kylmäsillat.

$$\Phi_{\text{kylmäsillat}} = I\psi(T_s - T_u)$$

$\Phi_{\text{kylmäsillat}}$ = johtumislämpöhäviöteho kylmäsiltojen läpi (W)

I = viivamaisen kylmäsillan pituus (m)

ψ = viivamaisen kylmäsillan lisäkonduktanssi (W/m°C)

T_s = sisälämpötila (°C)

T_u = mitoittava ulkolämpötila (°C)

Kaava 11. Kylmäsillat (Ympäristöministeriö 2018a).

3.2.2 Vuotoilman lämpenemisen lämpöteho

Kaavalla 12 lasketaan vuotoilman lämpenemisen lämpöteho tilassa ja sen lämpötila on mitoittavan ulkolämpötilan mukainen.

$$\dot{Q}_{vuotoilma} = \rho c q (T_s - T_u)$$

$\dot{Q}_{vuotoilma}$ = vuotoilman lämpenemisen lämpötehon tarve (W)

ρ = ilman tiheys (1,2 kg/m³)

q = vuotoilmavirta (m³/s)

T_s = sisälämpötila (°C)

T_u = mitoittava ulkolämpötila (°C)

Kaava 12. Vuotoilmavirta lämpöteho (Ympäristöministeriö 2018a).

Jos vuotoilmavirtaa ei ole mitaamalla selvitetty, voidaan se laskea kaavalla 13.

$$q_{vuotoilma} = \frac{q_{50}}{3600 \cdot x} A_{vaippa}$$

$q_{vuotoilma}$ = vuotoilmavirta (m³/s)

q_{50} = rakennusvaipan ilmanvuotoluku (m³/(h·m²))

x = kerroin (yksikerroksinen rakennus 35, kaksikerroksinen 24, kolme- ja nelikerroksinen 20, viisikerroksisille ja korkeammille 15)

3600 = muuntokerroin ilmavirran m³/h yksiköstä m³/s yksikköön

A_{vaippa} = rakennusvaipan pinta-ala (m²)

Kaava 13. Vuotoilmavirran laskenta (Ympäristöministeriö 2018b).

Opinnäytetyössä käytettiin ilmanvuotolukua 4, jota käytetään uusissa rakennuksissa, kun rakennusvaipan ilmanpitävyyttä ei ole osoitettu mittaamalla (Ympäristöministeriö 2018b).

3.2.3 Tuloilman lämpenemisen lämpöteho

Kohteen ilmanvaihto on painovoimainen, jolloin tuloilman lämmityksen lämpöteho lasketaan mitoittavan ulkolämpötilan mukaan, joka on -26 astetta. Tuloilma lämmitetään tilassa sisälämpötilaan ja sen tarvitsema lämmitysteho lasketaan korvausilmana kaavalla 14. (Ympäristöministeriö 2018a.)

$$\dot{Q}_{iv} = \rho c q_{iv} (T_s - T_u)$$

\dot{Q}_{iv} = tuloilman lämpenemisen lämpöteho (W)

ρ = ilman tiheys (1,2 kg/m³)

q_{iv} = tuloilmavirta (m³/s)

c = ilman ominaislämpökapasiteetti (1000J/(kg°C))

T_s = sisälämpötila (°C)

T_u = mitoittava ulkolämpötila (°C)

Kaava 14. Tuloilman lämpenemisen lämpöteho (Ympäristöministeriö 2018a).

Tuloilman lämmitystehon laskennassa käytettiin 0,4 dm³/(sm²) ilmavirtaa, joka vastaa ilmanvaihtuvuuskerrointa 0,5 1/h, eli ilmatilavuus vaihtuu kerran kahdessa tunnissa.

3.3 Tilojen lämpöhäviöt

Omakotitalon lämpöhäviöiden määrittämiseksi käytössä oli pohjakuva (Liite 1). Pohjakuva mallinnettiin cad-muotoon käyttäen Cadmatic HVAC-

suunnitteluohjelmistoa, jota käyttäen myös kaikki ilma-vesilämpöpumpulla lämmitettävien tilojen lämpöhäviöt määritettiin (Taulukko 2).

Taulukko 2. Huoneiden lämmitystehot.

| TILA | m ² | m ³ | Kerroin | W/m ² | W/m ³ | W |
|----------|----------------|----------------|---------|------------------|------------------|------|
| OH | 27,5 | 68,5 | 1 | 63,1 | 25,3 | 1735 |
| SAUNA | 5,5 | 13,5 | 1 | 60,5 | 24,7 | 333 |
| PH | 5 | 12,5 | 1 | 53,4 | 21,4 | 267 |
| KHH | 9 | 22,5 | 1 | 50,9 | 20,4 | 458 |
| WC | 2 | 4,5 | 1 | 40 | 17,8 | 80 |
| VH1 | 2 | 5 | 1 | 38,5 | 15,4 | 77 |
| ET | 3,5 | 8,5 | 1 | 74 | 30,5 | 259 |
| MH1 | 7,5 | 18 | 1 | 79,2 | 33 | 594 |
| MH2 | 9,5 | 24 | 1 | 63,8 | 25,2 | 606 |
| MH3 | 10 | 25,5 | 1 | 80,9 | 31,7 | 809 |
| K | 19 | 46,5 | 1 | 65,6 | 26,8 | 1247 |
| VH2 | 1,5 | 3,5 | 1 | 39,3 | 16,9 | 59 |
| VH3 | 1,5 | 3,5 | 1 | 12 | 5,1 | 18 |
| YHTEENSÄ | 114 | 282 | | 55,5 | 22,6 | 6542 |

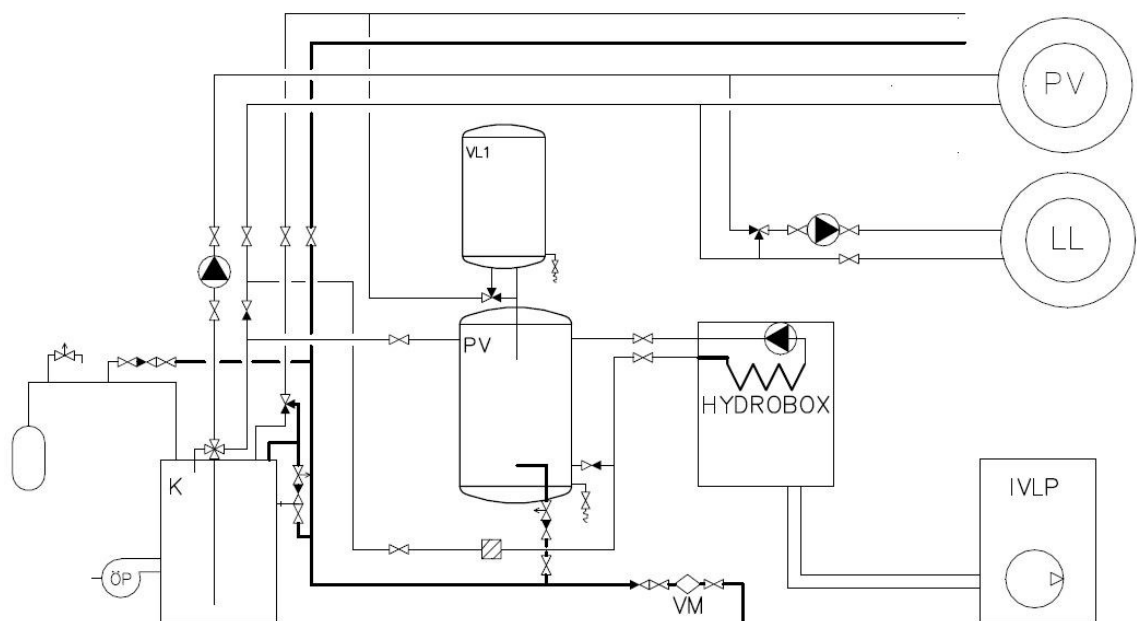
Mitoitusolosuhteiden lämmitystehoksi radiaattoreilla lämmitettävien tilojen osalta saatiin 6 275 W, kun pesuhuoneen lattialämmitystä, joka toimii matalammalla lämpötilatasolla ei oteta huomioon. Huomionarvoista on painovoimaisen ilmanvaihdon tuloilman lämmityksen tehontarve, joka esimerkiksi olohuoneen osalta on 564 W, eli n. 33 % huoneen kokonaislämpöhäviöstä.

3.4 Lämmitysjärjestelmän kytkentä

Ilma-vesilämpöpumpun sisäyksikkö on kytketty lämmitysverkoston paluujohdoton, josta vesi lähtee lämmentyneenä puskurivaraajan kautta takaisin lämmitysverkoston paluujohdoton. Puskurivaraaja mahdollistaa lämpöpumpulle pidempiä käyntijaksoja rakennuksen lämpötehon tarpeen ollessa pienempi, kuin lämpöpumpun minimi tehontuotto vallitsevissa olosuhteissa. Ilman puskurivaraajaa lämpöpumpun käynti- ja seisonajaksot voivat olla lyhyitä, joka

aiheuttaa kompressorin kulumista, koska käynnistymisen alussa laakereiden voitelu ei toimi optimaalisesti ja seisonnan aikana sen tulisi jäähtyä riittävästi (Tuuliainen 2022, 71).

Lämmitysjärjestelmän kytkentäkaaviosta (kuva 8) nähdään, että puskurivaraaja on asennettu 3-tiekytkennällä, joka mahdollistaa ilmavesilämpöpumpun toiminnan kannalta tarvittavan virtaaman lauhduttimessa, myös tilanteessa, jossa huonekohtaisten lämmönluovuttimien termostaatit sulkeutuessaan rajoittavat vesivirtaa.



Kuva 8. Lämmitysjärjestelmän kytkentäkaavio.

Kohteessa lämmintä käyttövetä ei tuoteta kokonaan ilmavesilämpöpumpulla, vaan se esilämmitetään puskurivaraajassa lämmitysjärjestelmän lämpötilatason mukaan, jonka jälkeen se lämmitetään erillisessä käyttövesivaraajassa käyttölämpötilaan. Lämpötilatason laskiessa lämmitysjärjestelmässä esilämmityksen osuus vähenee ja käyttövesivaraajan sähköenergiankulutus kasvaa. Aihetta ei otettu mukaan tässä opinnäytetyössä, vaan keskityttiin eri radiaattorijärjestelmien energiankulutuksen tarkasteluun.

Ilmavesilämpöpumpun ollessa toimintarajojensa ulkopuolella on lämmitysjärjestelmällä mahdollista tuottaa lisälämmitys öljykattilalla tai sisäyksikössä sijaitsevalla sähkövastuksella.

4 Lämmitysjärjestelmä

Vesikiertoisessa lämmitysjärjestelmässä lämpöteho kuljetetaan veden avustuksella lämmönlähteeltä lämmönluoventimille putkistoa pitkin. Vesivirta määräytyy lämmitystehon perusteella ja se voidaan laskea kaavalla 15. (Seppänen & Seppänen 2007, 115-116.)

$$q_m = \frac{\phi}{c_p \cdot (T_m - T_p)}$$

q_m = veden massavirta (kg/s)

ϕ = lämmitysteho (W)

c_p = veden ominaislämpökapasiteetti (4200 J/kg°C)

T_m = menoveden lämpötila (°C)

T_p = paluueden lämpötila (°C)

Kaava 15. Vesivirta lämpöteho (Seppänen & Seppänen 2007).

Vettä kierrätetään lämmitysverkossa kiertovesipumpun avulla, jossa se jäähtyy lämmönluoventimessa, palaten lämmönlähteelle lämpenemään. Aikaisemmin meno- ja paluueden yleisiä mitoituslämpötiloja radiaattoriverkostossa ovat olleet: 90/70°C, 80/50°C ja 70/40°C (Seppänen 2001, 120). Kohteen lämpöpumpun suorituskykyä (kuva 5) tarkasteltaessa nähdään, että se ei kykene tuottamaan näin korkeita menoveden lämpötiloja.

Nykyisin suosituksena ovat paljon alhaisemmat lämmitysverkoston mitoituslämpötilat eri lämmönlähteillä toimiviin vesikeskuslämmitysjärjestelmiin. Radiaattoriverkoston lämpötilatason laskeminen vaatii radiaattoreiden uudelleen mitoittamisen tai vaihtoehtoisesti lämpöhäviöiden vähentämistä lisäeristämällä. (Talotekniikkainfo 2020.)

Suositteluvia radiaattoriverkoston mitoituslämpötiloja:

- lämpöpumput 45/35°C

- kattilalaitos 55/45°C
- kaukolämpö 60/30°C

4.1 Radiaattorit

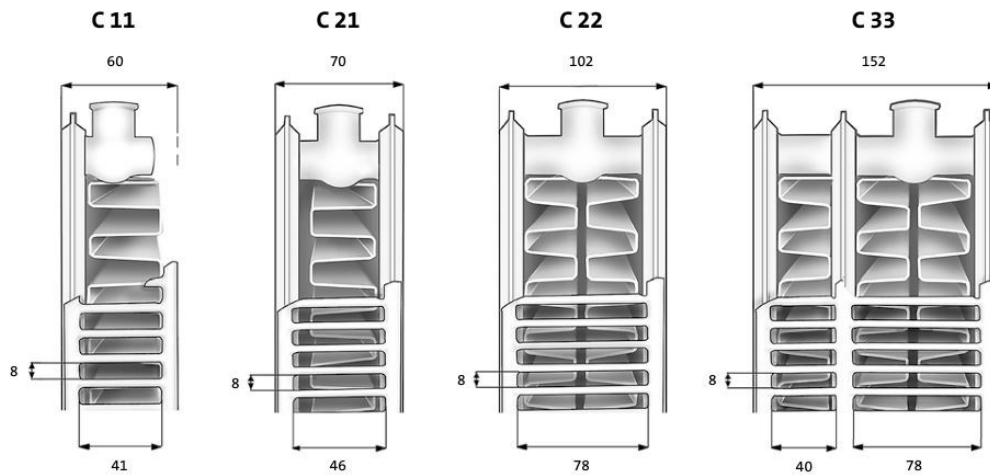
Radiaattoreiden eli pattereiden lämmönluovutus huoneilmaan tapahtuu konvektiolla ja säteilemällä. Patterit asennetaan yleisesti ikkunoiden alle, jolla saadaan kylmän ikkunapinnan aiheuttama vedontunne poistettua. Mitoituksessa tulee huomioida lämmönluovutusta haittaavat esteet, jotka vähentävät patterin lämpötehoa. Lämpöteho lisääntyy patterin pinta-alan mukaan. (Seppänen & Seppänen 2007, 118-119.)

Opinnäytetyössä päätettiin käyttää patterivalmistaja purmon pattereita. Purmolla on valikoimissaan useita malleja ulkonäöllisesti tyylikkäistä-, puhallinavusteisiin-pattereihin. Uusina matalammille lämpötiloille mitoitettavina pattereina käytettiin purmon compact-sarjan pattereita, jotka ovat poimutettua teräslevyä (Kuva 9). Näihin päädyttiin, koska ne ovat purmon patterimallistosta hinnaltaan edullisia ja putkikytkennät vastaavat melko lähelle nykyisiä.



Kuva 9. Purmo Compact-sarjan patteri (Purmo 2018).

Compact-sarjan pattereita on saatavilla 1-, 2-, ja 3-levyisinä ja teräslevyjen välissä on konvektiopellit (Kuva 10).



Kuva 10. Purmo Compact-sarja mallisto (Purmo 2018).

Konvektiopellit tehostavat patterien lämmönluovutusta, lisäten niiden pinta-alaa. Mallimerkinnässä kirjaimen jälkeen ensimmäinen numero tarkoittaa teräslevyjen ja toinen konvektiopeltien lukumäärää. (Seppänen 2001, 160.)

Uusien ja nykyisten pattereiden lämmönluovutusteho määritettiin logaritmissen yllämpötilan ja valmistajan patterikohtaisten tehotaulukoiden perusteella kaavalla 16 (Purmo 2018).

$$\frac{\phi}{\phi_n} = \left(\frac{\Delta T}{\Delta T_n} \right)^n$$

ϕ = teho (W/m)

ϕ_n = normiteho (W/m)

ΔT = logaritminen yllämpötila (K)

ΔT_n = normiylämpötila (K)

n = lämpötilaeksponentti

Kaava 16. Patterien lämmönluovutusteho (Purmo 2018).

Logaritminen yllämpötila lasketaan kaavalla 17, johon vaikuttavat meno- ja paluuveden lämpötila sekä huonelämpötila.

$$\Delta T = \frac{(T_m - T_p)}{\ln \frac{(T_m - T_h)}{(T_p - T_h)}}$$

ΔT = logaritminen yllämpötila (K)

T_m = menovesi (K)

T_p = paluuvesi (K)

T_h = huonelämpötila (K)

Kaava 17. Logaritminen yllämpötila (Purmo 2018).

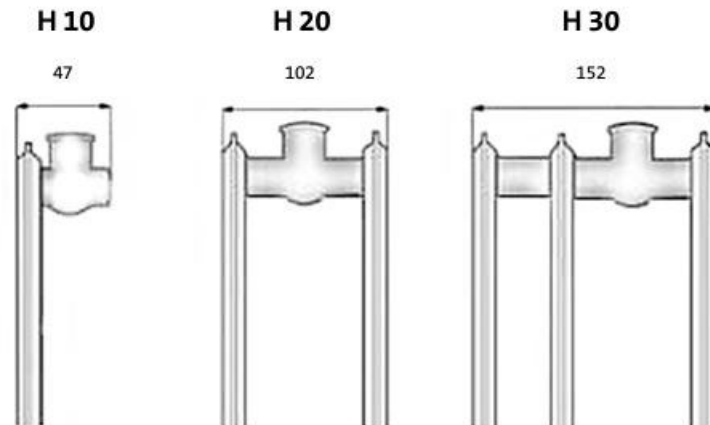
4.1.1 Nykyiset radiaattorit

Nykyiset patterit ovat 1- ja 2 levyisiä (kuva 11), joka on tyypillistä tämän aikakauden taloissa, joissa alkuperäisenä lämmitysmuotona on ollut öljylämmitys. Kuten aikaisemmin on todettu, lämmitysverkoston lämpötilat ovat ennen olleet korkeita, jonka vuoksi patterit ovat voineet olla pinta-alaltaan pienempiä. Kuvasta 11 huomataan, että asennustilan vuoksi uusien pattereiden maksimikorkeuden täytyy olla sama kuin vanhojenkin. Myöskään kytkentäjohtoihin ei aiottu tehdä isoja muutoksia, joten pattereiden pinta-alan lisäämiseksi täytyisi teräslevyjen määrää lisätä.



Kuva 11. Nykyinen patteri.

Vanhat patterit vastaavat ulkonäöllisesti Purmo Hygiene-mallin pattereita (Kuva 12), joten niiden lämmitystehoja arvioitiin purmon teknisestä esitteestä olevien hygiene-pattereiden taulukkoarvojen mukaan. Hygiene-malleissa ei ole konvektiolamelleja levyjen välissä. Patterit mitattiin kohteessa ja etsittiin purmon teknisestä esitteestä vastaavanlaiset.



Kuva 12. Purmo Hygiene-sarjan mallisto (Purmo 2018).

Nykyisten pattereiden lämmitystehon määrittämiseksi tehtiin excel- taulukkolaskentaohjelmalla laskuri, joka laskee niiden tehot meno- ja paluueden mitoitustilapötiloilla 45/35°C ja 55/45°C, kaavojen 16 ja 17 mukaisesti, sekä tarvittavan vesivirran kaavalla 15. Taulukosta 3 voidaan havaita, että pattereilla ei ole mahdollista näillä mitoitustilapötiloilla pitää asunnon sisälämpötilaa 21 asteessa mitoitusulkolämpötilassa, jossa tarvittava lämpöteho on 6 275 W. Huonekohtaisesti ajatellen pattereiden, joiden lämmitystehot olisivat riittäviä 55/45°C asteen lämmitysverkoston lämpötiloilla ei ole tarvetta vaihtaa uusiin.

Taulukko 3. Nykyisten pattereiden lämmitysteho 45/35°C ja 55/45°C mitoituslämpötiloilla.

| HUONE °C | MENO °C | PALUU °C | ΔT_{in2} | ΔT_{in1} | ΔT °C | | | | | |
|----------|---------------------|--------------|------------------|------------------|---------------|---------------|-------|---------------|--------------|--|
| 21 | 45 | 35 | 18,55 | 50 | 10 | | | | | |
| TILA | ϕ Tehontarve W | PATTERI | EKSPONENTTI | Teho W/m | PITUUS m | ϕ Teho W | % | L/s | L/h | |
| OH | 1735 | H20-300-3000 | 1,2815 | 630 | 3 | 531 | -69 % | 0,013 | 45,5 | |
| S | 333 | H10-600-1200 | 1,2916 | 639 | 1,2 | 213 | -36 % | 0,005 | 18,3 | |
| KHH | 458 | H20-500-1000 | 1,2856 | 938 | 1 | 262 | -43 % | 0,006 | 22,5 | |
| WC | 80 | H10-400-600 | 1,3255 | 449 | 0,6 | 72 | -10 % | 0,002 | 6,2 | |
| VH1 | 77 | H10-400-600 | 1,3255 | 449 | 0,6 | 72 | -6 % | 0,002 | 6,2 | |
| ET | 259 | H10-500-1400 | 1,3086 | 546 | 1,4 | 209 | -19 % | 0,005 | 17,9 | |
| MH1 | 594 | H10-500-1600 | 1,3086 | 546 | 1,6 | 239 | -60 % | 0,006 | 20,5 | |
| MH2 | 606 | H10-500-1400 | 1,3086 | 546 | 1,4 | 209 | -66 % | 0,005 | 17,9 | |
| MH3 | 809 | H20-500-1400 | 1,2856 | 938 | 1,4 | 367 | -55 % | 0,009 | 31,5 | |
| K | 1247 | H10-400-600 | 1,3255 | 449 | 0,6 | 72 | -75 % | 0,002 | 6,2 | |
| | | H10-500-1600 | 1,3086 | 546 | 1,6 | 239 | | 0,006 | 20,5 | |
| VH2 | 59 | H10-400-600 | 1,3255 | 449 | 0,6 | 72 | 23 % | 0,002 | 6,2 | |
| | | | | | | 2558 | | 0,0609 | 219,2 | |
| HUONE °C | MENO °C | PALUU °C | ΔT_{in2} | ΔT_{in1} | ΔT °C | | | | | |
| 21 | 55 | 45 | 28,71 | 50 | 10 | | | | | |
| TILA | ϕ Tehontarve W | PATTERI | EKSPONENTTI | Teho W/m | PITUUS m | ϕ Teho W | % | L/s | L/h | |
| OH | 1735 | H20-300-3000 | 1,2815 | 630 | 3 | 928 | -46 % | 0,022 | 79,6 | |
| S | 333 | H10-600-1200 | 1,2916 | 639 | 1,2 | 375 | 12 % | 0,009 | 32,1 | |
| KHH | 458 | H20-500-1000 | 1,2856 | 938 | 1 | 460 | 0 % | 0,011 | 39,4 | |
| WC | 80 | H10-400-600 | 1,3255 | 449 | 0,6 | 129 | 61 % | 0,003 | 11,1 | |
| VH1 | 77 | H10-400-600 | 1,3255 | 449 | 0,6 | 129 | 68 % | 0,003 | 11,1 | |
| ET | 259 | H10-500-1400 | 1,3086 | 546 | 1,4 | 370 | 43 % | 0,009 | 31,7 | |
| MH1 | 594 | H10-500-1600 | 1,3086 | 546 | 1,6 | 423 | -29 % | 0,010 | 36,2 | |
| MH2 | 606 | H10-500-1400 | 1,3086 | 546 | 1,4 | 370 | -39 % | 0,009 | 31,7 | |
| MH3 | 809 | H20-500-1400 | 1,2856 | 938 | 1,4 | 644 | -20 % | 0,015 | 55,2 | |
| K | 1247 | H10-400-600 | 1,3255 | 449 | 0,6 | 129 | -56 % | 0,003 | 11,1 | |
| | | H10-500-1600 | 1,3086 | 546 | 1,6 | 423 | | 0,010 | 36,2 | |
| VH2 | 59 | H10-400-600 | 1,3255 | 449 | 0,6 | 129 | 119 % | 0,003 | 11,1 | |
| | | | | | | 4508 | | 0,107 | 386,4 | |

4.1.2 Pattereiden lämmitystehon nosto kasvattamalla vesivirtaa

Radiaattorin lämmitystehoa voidaan nostaa kasvattamalla lämmitysveden virtaamaa sen lävitse, koska suurempi virtaus nostaa radiaattorin pintalämpötilaa. (Seppänen 2001, 163-164.)

Nykyisten pattereiden lämmitystehoa selvitettiin myös vesivirtaa lisäämällä tekemällä excel-tilaukollaskentaohjelmalla uusi taulukko (Taulukko 4), johon voidaan syöttää haluttu paluueden lämpötila. Taulukon tilanteessa lämmitysvettä ajateltiin kierrätettävän nykyisissä pattereissa niin, että meno- ja paluueden lämpötilaero olisi 3 astetta. Virtaaman nostosta johtuva lämmitystehon lisäys on melko pieni, joka olisi mitoituslämpötiloilla 45/42°C 721 W ja 55/52°C 782 W. Pitää myös huomioida, että tiettyyn ulkolämpötilaan asti pattereiden lämmönluovutuskyky riittäisi näilläkin lämmitysverkoston

lämpötilatasoilla ja joidenkin pattereiden tehoja voisi rajoittaa pienentämällä virtausta.

Taulukko 4. Nykyisten pattereiden lämmitystehon nosto vesivirtaa lisäämällä.

| HUONE °C | MENO °C | PALUU °C | ΔT °C | ΔT _{in2} 45/35 | | | | | |
|----------|----------------|----------|-------------|-------------------------|-------------------|----------|-------|-------|--------|
| 21 | 45 | | | 18,55 | | | | | |
| TILA | Ø Tehontarve W | ? | EKSPONENTTI | Teho 45/35 | ΔT _{in} | Ø Teho W | | L/s | L/h |
| OH | 1735 | 42 | 1,2815 | 531 | 22,47 | 678 | -61 % | 0,054 | 193,7 |
| S | 333 | 42 | 1,2916 | 213 | 22,47 | 273 | -18 % | 0,022 | 78,0 |
| KHH | 458 | 42 | 1,2856 | 262 | 22,47 | 335 | -27 % | 0,027 | 95,8 |
| WC | 80 | 42 | 1,3255 | 72 | 22,47 | 93 | 17 % | 0,007 | 26,7 |
| VH1 | 77 | 42 | 1,3255 | 72 | 22,47 | 93 | 21 % | 0,007 | 26,7 |
| ET | 259 | 42 | 1,3086 | 209 | 22,47 | 268 | 4 % | 0,021 | 76,7 |
| MH1 | 594 | 42 | 1,3086 | 239 | 22,47 | 307 | -48 % | 0,024 | 87,6 |
| MH2 | 606 | 42 | 1,3086 | 209 | 22,47 | 268 | -56 % | 0,021 | 76,7 |
| MH3 | 809 | 42 | 1,2856 | 367 | 22,47 | 470 | -42 % | 0,037 | 134,2 |
| K | 1247 | 42 | 1,3255 | 72 | 22,47 | 93 | -68 % | 0,007 | 26,7 |
| | | 42 | 1,3086 | 239 | 22,47 | 307 | | 0,024 | 87,6 |
| VH2 | 59 | 42 | 1,3255 | 72 | 22,47 | 93 | 58 % | 0,007 | 26,7 |
| | | | | 2558 | | 3279 | | 0,260 | 936,8 |
| HUONE °C | MENO °C | PALUU °C | ΔT °C | ΔT _{in2} 55/45 | | | | | |
| 21 | 55 | | | 28,71 | | | | | |
| TILA | Ø Tehontarve W | ? | EKSPONENTTI | Teho 55/45 | ΔT _{in1} | Ø Teho W | | L/s | L/h |
| OH | 1735 | 52 | 1,2815 | 928 | 32,48 | 1087 | -37 % | 0,074 | 265,2 |
| S | 333 | 52 | 1,2916 | 375 | 32,48 | 439 | 32 % | 0,030 | 107,0 |
| KHH | 458 | 52 | 1,2856 | 460 | 32,48 | 539 | 18 % | 0,036 | 131,3 |
| WC | 80 | 52 | 1,3255 | 129 | 32,48 | 152 | 90 % | 0,010 | 36,9 |
| VH1 | 77 | 52 | 1,3255 | 129 | 32,48 | 152 | 97 % | 0,010 | 36,9 |
| ET | 259 | 52 | 1,3086 | 370 | 32,48 | 435 | 68 % | 0,029 | 105,7 |
| MH1 | 594 | 52 | 1,3086 | 423 | 32,48 | 497 | -16 % | 0,034 | 120,8 |
| MH2 | 606 | 52 | 1,3086 | 370 | 32,48 | 435 | -28 % | 0,029 | 105,7 |
| MH3 | 809 | 52 | 1,2856 | 644 | 32,48 | 754 | -7 % | 0,051 | 183,9 |
| K | 1247 | 52 | 1,3255 | 129 | 32,48 | 152 | -48 % | 0,010 | 36,9 |
| | | 52 | 1,3086 | 423 | 32,48 | 497 | | 0,034 | 120,8 |
| VH2 | 59 | 52 | 1,3255 | 129 | 32,48 | 152 | 158 % | 0,010 | 36,9 |
| | | | | 4508 | | 5290 | | 0,358 | 1287,9 |

Taulukosta 4 on huomattavissa tilavuusvirran merkittävä suureneminen, kun lämmönluovutuskyvyltään huonojen pattereiden tehoa kasvatetaan nostamalla virtausta. Tällaisessa tilanteessa tulisi tarkastella myös lämmönjakoverkoston putkistoa, koska veden suuri virtausnopeus putkessa johtaa putkivirtauksen melunkehitykseen, eroosiokorroosioon ja suureen painehäviöön (Seppänen 2001, 147). Painehäviöön vaikuttavia tekijöitä ovat: Putken pituus, veden virtausnopeus, putken sisähalkaisija, putken sisäpinnan karheus, virtaavan nesteen viskositeetti ja putkiston osat (Seppänen 2001, 137-141).

Taulukon 4 mukaisten kokonaisvesivirtojen toteutumiseksi lämmitysverkoston painehäviöiden vuoksi, olisi tarpeellista tarkastella lämmitysjärjestelmän kiertovesipumppua ja putkikokoja. Putkiston ja pumppujen mitoitusta ei aiheen laajuudesta johtuen kuitenkaan käsitelty tässä opinnäytetyössä. Samaa taulukkoa 4 käyttäen määritettiin nykyisten pattereiden lämmitystehoa mitoituslämpötilanteessa meno- ja paluuvien lämpötiloilla 60/55°C astetta. Näillä lämpötiloilla kaikkien muiden paitsi keittiön- ja olohuoneen pattereiden todettiin olevan lämmönluovutuskyvyltään riittäviä, joten vaihtamalla nämä tehokkaampiin saataisiin lämmitysverkoston lämpötilat lämpöpumpun kannalta järkevä tasolle. Pattereiden lämmitystehoa tarkastellessa havaittiin lämmitysveden lämpötilalla olevan suurempi vaikutus, kuin virtaaman nostolla.

4.1.3 Uusien radiaattoreiden valinta

Uusilla matalammilla lämmitysveden lämpötiloilla toimivien pattereiden valinnassa tärkeimmät kriteerit olivat, että niiden tulisi olla mahdollisimman pieniä, korkeus tulisi olla sama kuin vanhoissakin ja myös leveys pyrittiin pitämään mahdollisuuksien mukaan nykyisellään. Näin ajatellen asennustöistä johtuvia kustannuksia tulisi vähemmän.

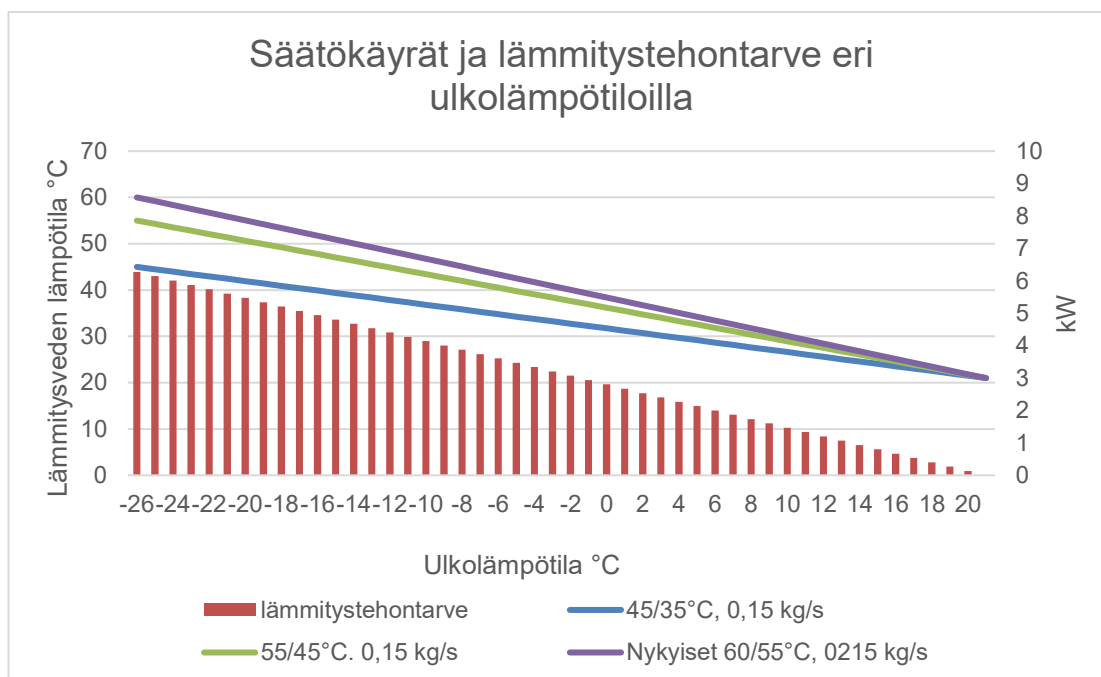
Uudet radiaattorit (Taulukko 5) mitoitettiin mahdollisimman lähelle huoneen lämpöhäviötä. Matalalämpöisen lämmitysverkoston lämpötilatason johdosta 45/35°C:n mitoituslämpötiloilla jouduttaisiin olohuoneeseen jopa lisäämään patteri.

Taulukko 5. Uudet radiaattorit mitoituslämpötiloilla 45/35°C ja 55/45°C.

| HUONE °C | MENO °C | PALUU °C | ΔT_{in2} | ΔT_{in1} | ΔT °C | | | | | |
|----------|---------------------|--------------|------------------|------------------|---------------|-------------|-------|--------------|----------------|--|
| 21 | 45 | 35 | 18,55 | 50 | 10 | | | | | |
| TILA | ϕ Tehontarve W | PATTERI | EKSPONENTTI | Teho W/m | PITUUS m | ϕ Teho | % | L/s | L/h | |
| OH | 1735 | C33-300-3000 | 1,314 | 1347 | 3 | 1098 | -2 % | 0,026 | 94,144 | |
| | | C22-300-2300 | 1,3094 | 961 | 2,3 | 604 | | 0,014 | 51,729 | |
| S | 333 | C21-600-1000 | 1,3213 | 1340 | 1 | 362 | 9 % | 0,009 | 30,993 | |
| KHH | 458 | C33-500-900 | 1,3371 | 2035 | 0,9 | 487 | 6 % | 0,012 | 41,703 | |
| WC | 80 | C11-400-400 | 1,3026 | 711 | 0,4 | 78 | -2 % | 0,002 | 6,701 | |
| VH1 | 77 | C11-400-400 | 1,3026 | 711 | 0,4 | 78 | -2 % | 0,002 | 6,701 | |
| ET | 259 | C11-500-1200 | 1,307 | 868 | 1,2 | 285 | 10 % | 0,007 | 24,435 | |
| MH1 | 594 | C22-500-1400 | 1,3094 | 1709 | 1,4 | 653 | 10 % | 0,016 | 55,996 | |
| MH2 | 606 | C22-500-1600 | 1,327 | 1470 | 1,6 | 631 | 4 % | 0,015 | 54,093 | |
| MH3 | 809 | C33-500-2000 | 1,327 | 1470 | 2 | 789 | -2 % | 0,019 | 67,617 | |
| K | 1247 | C22-400-1000 | 1,3182 | 1221 | 1 | 330 | -1 % | 0,008 | 28,328 | |
| | | C22-500-2300 | 1,327 | 1470 | 2,3 | 907 | | 0,022 | 77,759 | |
| VH2 | 59 | C11-400-400 | 1,3026 | 711 | 0,4 | 78 | 33 % | 0,002 | 6,701 | |
| | | | | | | 6380 | | 0,152 | 546,899 | |
| HUONE °C | MENO °C | PALUU °C | ΔT_{in2} | ΔT_{in1} | ΔT °C | | | | | |
| 21 | 55 | 45 | 28,71 | 50 | 10 | | | | | |
| TILA | ϕ Tehontarve W | PATTERI | EKSPONENTTI | Teho W/m | PITUUS m | ϕ Teho | % | L/s | L/h | |
| OH | 1735 | C33-300-3000 | 1,314 | 1347 | 3 | 1949 | 12 % | 0,046 | 167,093 | |
| S | 333 | H10-600-1200 | 1,2916 | 639 | 1,2 | 375 | 12 % | 0,009 | 32,103 | |
| KHH | 458 | C11-500-1000 | 1,307 | 868 | 1 | 420 | -8 % | 0,010 | 36,031 | |
| WC | 80 | H10-400-600 | 1,3255 | 449 | 0,6 | 129 | 61 % | 0,003 | 11,069 | |
| VH1 | 77 | H10-400-600 | 1,3255 | 449 | 0,6 | 129 | 68 % | 0,003 | 11,069 | |
| ET | 259 | H10-500-1400 | 1,3086 | 546 | 1,4 | 370 | 43 % | 0,009 | 31,702 | |
| MH1 | 594 | C11-500-1400 | 1,307 | 868 | 1,4 | 589 | -1 % | 0,014 | 50,443 | |
| MH2 | 606 | C11-500-1400 | 1,307 | 868 | 1,4 | 589 | -3 % | 0,014 | 50,443 | |
| MH3 | 809 | C21-500-1400 | 1,3076 | 1156 | 1,4 | 784 | -3 % | 0,019 | 67,158 | |
| K | 1247 | C11-400-1000 | 1,3026 | 711 | 1 | 345 | -1 % | 0,008 | 29,586 | |
| | | C21-500-1600 | 1,3076 | 1156 | 1,6 | 895 | | 0,021 | 76,752 | |
| VH2 | 59 | H10-400-600 | 1,3255 | 449 | 0,6 | 129 | 119 % | 0,003 | 11,069 | |
| | | | | | | 6574 | | 0,160 | 574,517 | |

4.2 Lämmitysverkoston säätökäyrät

Lämmitysverkostoon menevän veden lämpötilaa on nostettava ulkolämpötilan laskiessa, koska samalla rakennuksen lämmitystehontarve kasvaa (Seppänen & Seppänen 2007, 124). Lämmitystehontarve eri ulkolämpötiloissa ja radiaattorijärjestelmien säätökäyrät oletettiin lineaarisiksi. Lämmitystehontarve ja pattereille lähtevän veden lämpötila, joita tarvittiin myös energiankulutuksen selvittämisessä on esitetty kuviossa 1.



Kuvio 1. Säätökäyrät ja lämmitystehontarve eri ulkolämpötiloilla.

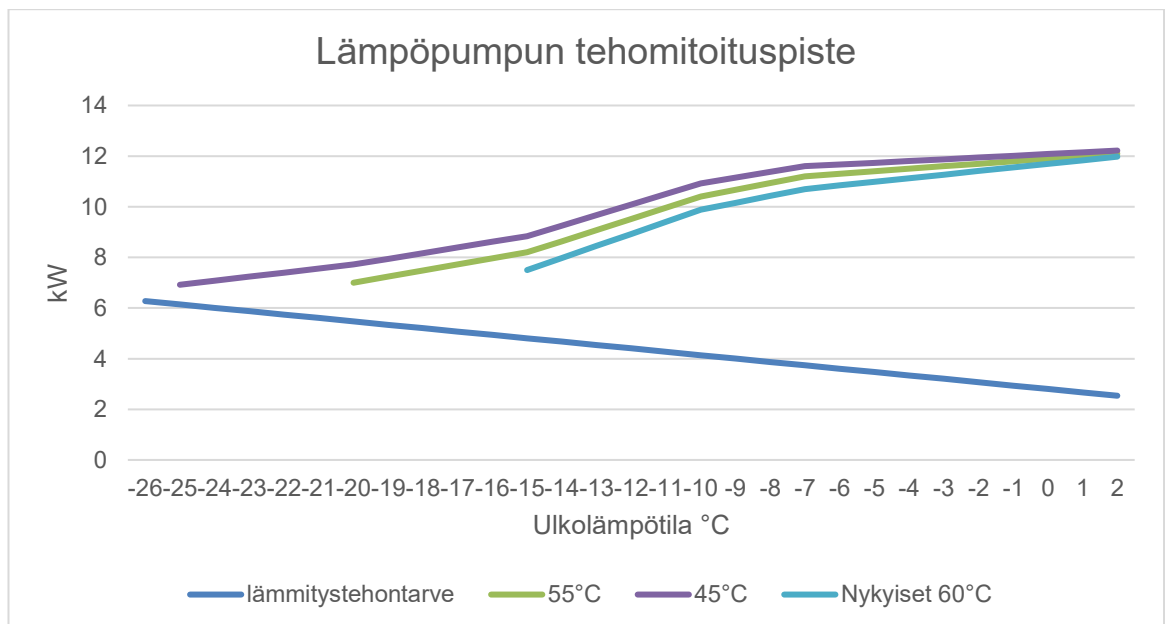
Lämmönjakoverkoston toiminnan kannalta ja lämpöpumpun suorituskykyä tarkastellessa (kuva 5) voidaan havaita, että korkeammille lämpötilatasoille mitoitetuille pattereille lähtevää vettä ei saada lämmitettyä kaikissa ulkolämpötiloissa tarvittavaan lämpötilaan, vaan sitä joudutaan nostamaan laitteen lisälämmittimenä toimivan sähkövastuksen avulla.

4.3 Lämpöpumpun tehomitoituspiste

Ulkolämpötilassa, jossa lämpöpumpulla voidaan tuottaa kaikki rakennuksen vaatima lämmitystehontarve käytetään nimitystä tehomitoituspiste, jonka jälkeen lämmitystehontarpeen kattamiseksi tarvitaan lisälämmitystä (Ympäristöministeriö 2012).

Työssä tehomitoituspisteen määrittämiseksi käytettiin patterijärjestelmien mitoitustilanteen mukaisia lämmitysverkostoon lähtevien veden lämpötiloja, jolloin saatiin lämmönluovuttimien toiminta huomioiden todellinen tehomitoituspiste. Valmistajan ohjekirjassa olevat suorituskykytiedot (kuva 5) kyseisestä lämpöpumpusta taulukoitiin excel-taulukkolaskentaohjelmaan ja

väliarvot selvitetiin interpoloimalla. Kuviosta 2 voidaan havaita, että matalammalla 45/35°C asteen lämpötilatasolla toimivat patterit riittäisivät tuottamaan kaiken lämmitystehon -25°C asteen ulkolämpötilaan asti, joka on myös lämpöpumpun alin toimintaraja. Korkeammalla 55/45°C asteen lämpötilatasolla toimivan patterijärjestelmän tehomitoituspisteeksi tulisi -19°C astetta, jossa lämpöpumppu kykenee vielä tuottamaan 50°C asteista vettä tarvittavalla teholla, kun nykyisten lämmönluovutukseltaan heikompien pattereiden osalta tehomitoituspiste on -14°C astetta.



Kuvio 2. Lämpöpumpun tehomitoituspiste.

Lämpöpumpun toimintarajojen mukaisesti lämmitysverkoston vaatiman veden lämpötilan ollessa korkeampi kuin mitä lämpöpumppu pystyy tuottamaan, tarvitsee sitä nostaa lisälämmittimen avulla. Tämä korostuu erityisesti ulkoilmaa lämmönlähteenä käytävässä ilma-vesilämpöpumpussa, koska sen teho laskee ulkolämpötilan laskiessa (Perälä & Perälä 2013, 37).

5 Energiankulutus ja investointien kannattavuus

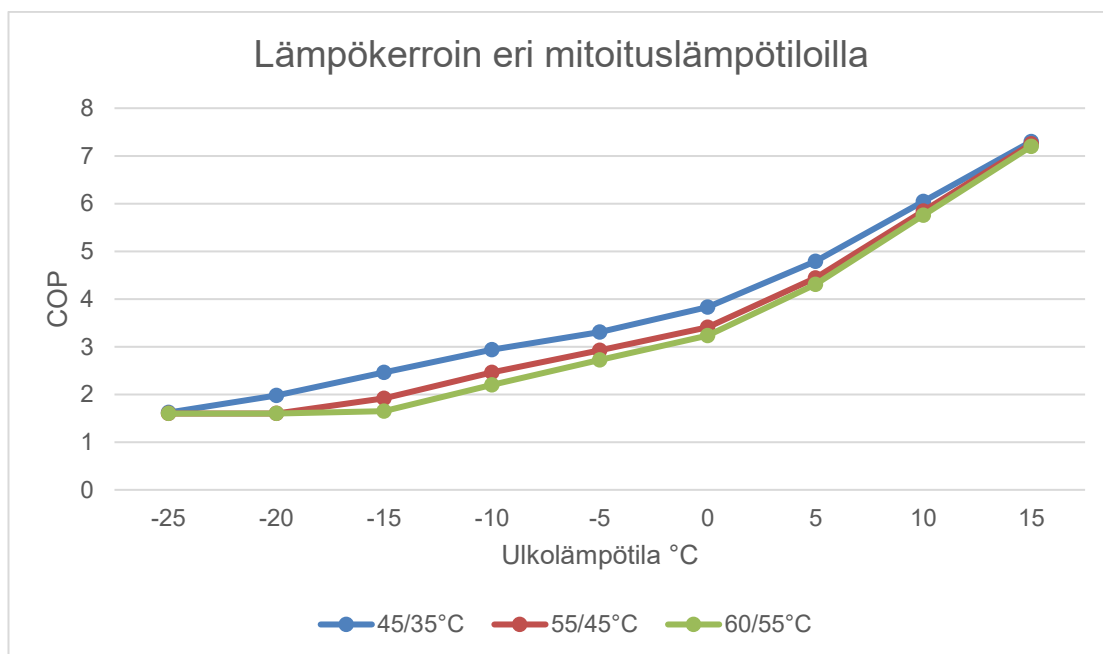
Energiankulutuksen laskennassa tarvittavina ulkolämpötilatietoina käytettiin myös lämpöpumppujen energialaskentaoppaan yksityiskohtaisessa laskentamenetelmässä käytettävää TRY2012 referenssivuotta (Liite 2), jossa on ilmoitettu vuoden aikana esiintyvien ulkolämpötilojen kesto tunteina säävyöhykkeittäin (Ympäristöministeriö 2012).

Energiankulutuksen laskemisessa käytettävät säävyöhykkeet ovat samoja, kuin aikaisemmin esillä olleet lämmitystehon määrittämisessä käytettävät säävyöhykkeet. Vyöhykkeille 1 ja 2 käytetään samoja sääolosuhteita. Testivuoden sääolosuhteet ovat keskiarvo kolmelta säähavaintoasemalta kerätyistä tiedoista vuosien 1980–2009 väliseltä ajalta. Kohteen omakotitalo sijaitsee säävyöhykkeellä 1, jossa energianlaskennassa käytettävä alin ulkolämpötila on -21°C astetta ja lämmitysteho mitoitetaan ulkolämpötilaan -26°C astetta. (Ilmatieteenlaitos 2024.)

5.1 Lämpökerroin lämmitysveden- ja ulkolämpötilan perusteella

Inverter-säätöisen lämpöpumpun ei ole tarpeen tuottaa lämpöä aina täydellä teholla, vaan toimiessaan osateholla se pystyy tuottamaan lämpöä paremmalla hyötysuhteella eri toiminta-alueilla (Perälä & Perälä 2013, 62).

Energiankulutuksen laskemista varten selvitettiin lämpökertoimien arvot säätökäyrien mukaisten lämmitysverkkoon eri ulkolämpötiloilla menevien veden lämpötilojen perusteella, jotka on esitetty kuviossa 3. Lämpöpumpun valmistajan ohjekirjassa olevaa suorituskykytaulukkoa (Kuva 5) käytettiin myös tässä vaiheessa olettaen, että inverter-säätöinen lämpöpumppu säätyy omakotitalon lämmitystehontarvetta vastaavaan toimintapisteeseen.



Kuvio 3. Lämpökerroin eri mitoituslämpötiloilla.

Lämpökertoimia tarkasteltaessa huomattiin, että matalimmalla- ja korkeimmalla lämpötasolla toimivilla lämmitysverkostoilla eroa alkaa tulla enemmän, kun ulkolämpötila laskee alle -5°C asteen.

5.2 Energiankulutuksen laskenta

Omakotitalon energiankulutukseksi saatiin ulkolämpötilojen pysyvyyden ja lämmitystehontarpeen perusteella 18 078 kWh vuodessa radiaattoreiden osalta. Sisäisiä lämpökuormia ei otettu huomioon, vaan kulutus laskettiin huonelämpötilaan 21°C astetta. Lämmitystarpeen ajateltiin loppuvan ulkolämpötilassa 15°C astetta.

Eri mitoituslämpötiloilla toimivien patteriverkostojen energiankulutus on esitetty taulukossa 6. Ilma-vesilämpöpumpun sähkövastuksella tuotetun lisälämmityksen osuudella ei voitu sanoa olevan suurta merkitystä korkeammillakaan lämpötilatasoilla energiankulutukseen, sen käyttötuntien jäädessä vähäisiksi verrattuna lämpöpumpun energiantuottoon.

Taulukko 6. Energiankulutus eri mitoituslämpötiloilla.

| | teho Kw | h | kWh | 45/35 | 55/45 | | 60/55 | |
|-----|---------------------|------|-------|--------|--------|----------|--------|----------|
| | | | | Lp kWh | Lp kwh | lisä kWh | Lp kwh | lisä kWh |
| -21 | 5,6 | 7 | 39 | 21 | 7 | 28 | | 48 |
| -20 | 5,5 | 19 | 104 | 52 | 23 | 68 | | 104 |
| -19 | 5,3 | 23 | 123 | 59 | 74 | | 38 | 61 |
| -18 | 5,2 | 21 | 109 | 50 | 64 | | 39 | 44 |
| -17 | 5,1 | 30 | 152 | 67 | 85 | | 63 | 48 |
| -16 | 4,9 | 55 | 271 | 115 | 146 | | 129 | 59 |
| -15 | 4,8 | 83 | 398 | 162 | 208 | | 214 | 46 |
| -14 | 4,7 | 63 | 294 | 115 | 145 | | 168 | |
| -13 | 4,5 | 72 | 326 | 123 | 153 | | 175 | |
| -12 | 4,4 | 52 | 229 | 83 | 102 | | 116 | |
| -11 | 4,3 | 49 | 209 | 74 | 89 | | 100 | |
| -10 | 4,1 | 49 | 203 | 69 | 82 | | 92 | |
| -9 | 4,0 | 76 | 304 | 102 | 119 | | 132 | |
| -8 | 3,9 | 124 | 479 | 157 | 182 | | 199 | |
| -7 | 3,7 | 146 | 545 | 176 | 200 | | 216 | |
| -6 | 3,6 | 169 | 608 | 190 | 215 | | 232 | |
| -5 | 3,5 | 174 | 603 | 182 | 206 | | 221 | |
| -4 | 3,3 | 193 | 643 | 188 | 213 | | 228 | |
| -3 | 3,2 | 214 | 685 | 195 | 220 | | 234 | |
| -2 | 3,1 | 237 | 727 | 201 | 226 | | 240 | |
| -1 | 2,9 | 301 | 883 | 237 | 267 | | 282 | |
| 0 | 2,8 | 519 | 1453 | 379 | 427 | | 449 | |
| 1 | 2,7 | 494 | 1317 | 335 | 376 | | 395 | |
| 2 | 2,5 | 460 | 1165 | 288 | 324 | | 339 | |
| 3 | 2,4 | 354 | 850 | 198 | 219 | | 228 | |
| 4 | 2,3 | 280 | 635 | 140 | 153 | | 158 | |
| 5 | 2,1 | 301 | 642 | 134 | 145 | | 149 | |
| 6 | 2,0 | 279 | 558 | 111 | 118 | | 121 | |
| 7 | 1,9 | 300 | 560 | 106 | 112 | | 115 | |
| 8 | 1,7 | 280 | 485 | 88 | 92 | | 94 | |
| 9 | 1,6 | 285 | 456 | 79 | 82 | | 83 | |
| 10 | 1,5 | 290 | 425 | 70 | 73 | | 74 | |
| 11 | 1,3 | 293 | 391 | 62 | 64 | | 65 | |
| 12 | 1,2 | 293 | 352 | 54 | 55 | | 56 | |
| 13 | 1,1 | 322 | 343 | 51 | 51 | | 52 | |
| 14 | 0,9 | 297 | 277 | 39 | 40 | | 40 | |
| 15 | 0,8 | 291 | 233 | 32 | 32 | | 32 | |
| | | YHT. | 18078 | 4782 | 5482 | | 5975 | |
| | Energianpeitto Lp % | | | 100 % | 99 % | | 98 % | |

Energiankulutuksen arvioinnissa ei otettu huomioon ulkoyksikön sulatus- ja apulaitteiden energiankulutusta.

5.3 Pattereiden kustannukset asennuksineen

Valittujen pattereiden hintoina käytettiin valmistajan purmon ohjevähittäishinnastoa, jossa ilmoitetut hinnat ovat arvonlisäverottomia (alv. 0%). Pattereiden hintoihin lisättiin myös asennuksessa tarvittavat kannakkeet pattereiden verokannan lisäksi (Purmo 2023).

Uusien pattereiden asennukseen ja vanhojen purkamiseen kuluvan ajan arvioitiin olevan 1,5h patteria kohden ja työn verolliseksi tuntihinnaksi 65 euroa. Kotitalous voi saada perusparannus- ja kunnostustyöhön menevistä kuluista vähennystä verotuksessa, joka on 40 % työn osuudesta. Tästä vähennetään vielä omavastuu, joka on 100 euroa. Kotitalousvähennys huomioitiin asennuskustannuksissa. (Verohallinto 2023.)

Kalleimman ja halvimman vaihtoehdon hintaeroksi tulisi 5 696 euroa, joka voidaan laskea taulukosta 7. Lämmitysverkoston veden lämpötilan laskemisen hinnan voitiin todeta olevan melko suuri etenkin, kun patterikoko kasvaa 3-levyiseksi.

Taulukko 7. Pattereiden hinnat asennuksineen.

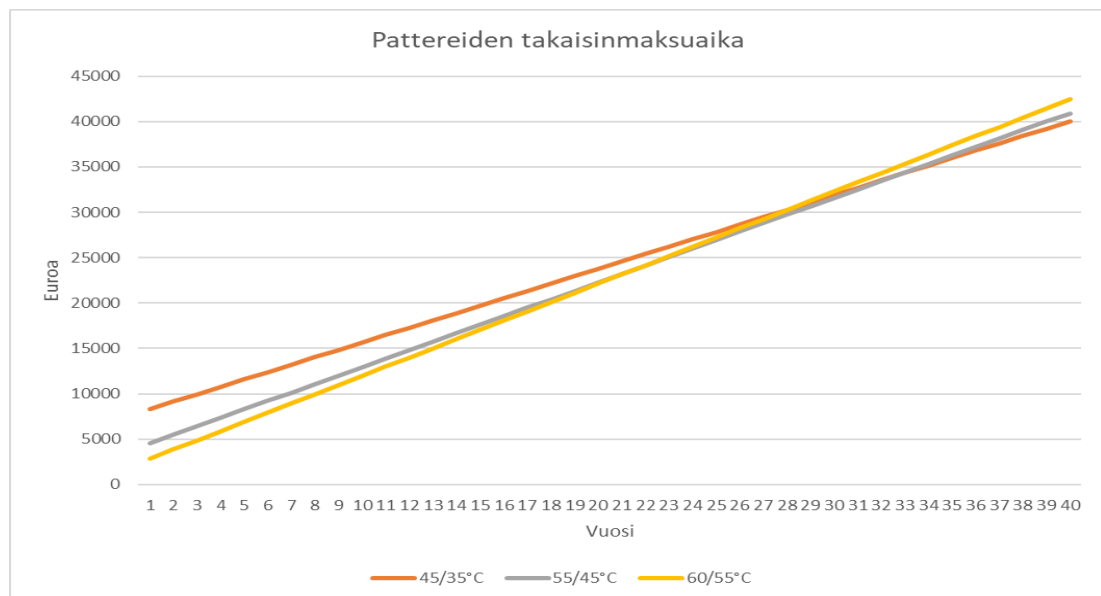
| | e alv. 24% | as. 65 e/h | | e alv. 24% | as. 65 e/h | | e alv. 24% | as. 65 e/h | |
|--------------|------------|------------|--------------|------------|------------|--------------|------------|------------|-------------|
| 45/35°C | | | 55/45°C | | | 60/55°C | | | |
| C33-300-3000 | 1072 | 1,5 | C33-300-3000 | 1072 | 1,5 | C33-300-3000 | 1072 | 1,5 | |
| C22-300-2400 | 572 | 1,5 | C11-500-1000 | 231 | 1,5 | C21-500-1600 | 526 | 1,5 | |
| C21-600-1000 | 392 | 1,5 | C11-500-1400 | 302 | 1,5 | | | | |
| C33-500-900 | 577 | 1,5 | C11-500-1400 | 302 | 1,5 | | | | |
| C11-400-400 | 150 | 1,5 | C21-500-1400 | 471 | 1,5 | | | | |
| C11-400-400 | 150 | 1,5 | C11-400-1000 | 206 | 1,5 | | | | |
| C11-500-1200 | 264 | 1,5 | C21-500-1600 | 526 | 1,5 | | | | |
| C22-500-1400 | 514 | 1,5 | | | | | | | |
| C22-500-1600 | 573 | 1,5 | | | | | | | |
| C33-500-2000 | 1102 | 1,5 | | | | | | | |
| C22-400-1000 | 332 | 1,5 | | | | | | | |
| C22-500-2300 | 801 | 1,5 | | | | | | | |
| C11-400-400 | 150 | 1,5 | | | | | | | |
| Yht. | 6650 | 861 | 7511 | 3109 | 510 | 3619 | 1598 | 217 | 1815 |

5.4 Vaihtoehtojen vertailu

Vertailukohdaksi otettiin 60/55°C asteen lämpötiloilla toimiva järjestelmä, koska aiemmin määritetyt kustannukset ja energiankulutus eri järjestelmien välillä olivat jo antaneet käsitystä kannattavuudesta.

Mitoittamalla patterit siten, että lämpöpumpulla pystyttäisiin kattamaan koko omakotitalon lämmitysenergian tarve, saataisiin säästöä vuodessa 1193 kWh. Tällöin matalimmalla- ja korkeimmalla lämpötiloilla toimivia järjestelmiä vertailtaessa omakotitalon pattereiden yhden vuoden energiankulutus säästettäisiin noin 15 vuoden aikana. Korkeammilla lämpötiloilla toimivien patterijärjestelmien välillä ei suurta eroa ole, vain 494 kWh vuositasolla.

Taloudellista kannattavuutta arvioitiin vertailemalla järjestelmien suoraa takaisinmaksuaikaa. Sähköhintana opinnäytetyössä käytettiin 0,17 e/kWh sisältäen energia-, siirron- ja veronhinnan. Pattereiden korkeasta hintatasosta johtuen takaisinmaksuajasta tulisi melko pitkä, joka nähdään kuviosta 4. Suora takaisinmaksuaika alkuinvestoinnit huomioon ottaen verrattuna 60/55°C asteen lämpötiloilla toimivaan järjestelmään olisi: 45/35°C 29 vuotta ja 55/45°C 23 vuotta.



Kuvio 4. Pattereiden takaisinmaksuaika.

6 Yhteenveto

Lämmönjakojärjestelmää suositellaan mitoitettavaksi matalalämpöiseksi, koska ilmavesilämpöpumpun lämpökertoimen arvo riippuu hyvin paljon lauhtumislämpötilasta. Opinnäytetyössä lämpökertoimet eri mitoitustilastoilla toimiville patterijärjestelmille selvitettiin suoraviivaisesti käyttämällä lämpöpumpun valmistajan ohjekirjassa olevia suorituskykytietoja. Joitakin asioita lämpökertoimen määrittämisessä myös oletettiin, mutta saatuja tuloksia voidaan pitää kuitenkin tarpeeksi tarkkoina, koska työssä vertailtiin vain lämpöpumpun energiatehokkuutta eri lämpötilatasoilla toimiville patteriverkostoille (Motiva 2023a).

Lämpökertoimien ja TRY2012 referenssivuoden säätietoihin perustuvassa lämmitykseen kuluvan energian määrittämisessä voitiin todeta energiansäästöä tulevan, kun lämmitysverkoston lämpötilaa lasketaan. Energiansäästö on tärkeää niin taloudellisesti kuin myös yhteiskunnallisesti (Motiva 2022b).

Lämmitysveden lämpötilan laskeminen sille tasolle, että lämpöpumpulla voitaisiin tuottaa kaikki patteriverkoston lämmitysenergia johtaisi kaikkien pattereiden uusimiseen. Pattereiden hintataso on kuitenkin niin korkea, että taloudellisesti ajatellen tämä vaihtoehto voitiin todeta kannattamattomaksi. Nykyisten pattereiden lämmitystehoa tarkasteltaessa huomattiin, vain kahden patterin olevan sopimattomia lämpöpumpun toiminnan kannalta, koska niiden vaatiman lämmitysveden lämpötila todettiin olevan liian korkea huoneen lämmitystehon kattamiseksi. Taloudellisesti parhaaksi vaihtoehdoksi todettiin näiden kahden patterin vaihtaminen.

Lähteet

Aittomäki, A. 2012. Kylmäteknikka. 4. painos. Porvoo: Bookwell Oy.

Ecodan r32 databook. Viitattu 24.12.2023

https://library.mitsubishielectric.co.uk/pdf/book/ATW_Databook_R32_2020#page-1

Ely-keskus, 2023. Viitattu 10.12.2023 <https://www.ely-keskus.fi/oljylammituksen-vaihtajalle>

Hakala, P & Kaappola, E. 2013. Kylmälaitoksen suunnittelu. 3.painos. Helsinki: Opetushallitus

Ilmasto-opas, 2022. Viitattu 10.12.2023 <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/rakennusten-lammitys-kuluttaa-runsaasti-energiaa>

Ilmatieteenlaitos, 2024. Energialaskennan testivuodet nykyilmastossa. Viitattu 15.2.2024. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/energialaskennan-testivuodet-nyky>

Kaappola, E.; Hirvelä, A; Jokela, M & Kianta. J. 2022. Kylmäteknikan perusteet. 2. painos. Helsinki: Opetushallitus.

Motiva, 2012. Viitattu 20.12.2023

https://www.motiva.fi/ajankohtaista/julkaisut/kaikki_julkaisut/lampoa_ilmassa_ilmalampopumput.9236.shtml

Motiva, 2022a. Viitattu 20.12.2023

https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/ilma-vesilampopumppu_ivlp

Motiva, 2022b. Viitattu 20.2.2024

https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/energiansaasto_on_varautumista

Motiva, 2023a. Viitattu 15.12.2023

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumppujen_hankintaopas_kunnille_ ja_ taloyhtiaille/lampopumppujen_valinta_eri_kohteisiin/lammonjakoverkon_vaikutus_lampopumppuvalintoihin

Motiva, 2023b. Viitattu 19.12.2023.

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpput_eknologiat/ilma-vesilampopumppu

Perälä, R & Perälä, O. 2013. Lämpöpumput. 3. painos. Helsinki: Alfamer/Karisto Oy.

Purmo 2018. Tekninen esite. Viitattu 22.1.2024.

www.purmo.com/public/prod/bcd2c0f2-6156-46c6-99cd-ddcde7354507/11515/8e64f9e9b0210a44798cb3581d6cf8c1/fi-fi-files-purmo_technicalbrochure_fi_0718_web.pdf

Purmo 2023. Ohjehinnasto. Viitattu 18.2.2024.

www.purmo.com/public/prod/bcd2c0f2-6156-46c6-99cd-ddcde7354507/15608/36a21235b8d44eb967aeb04b1b8244f4/fi-fi-files-purmo_hinnasto_0123v2_fi_web.pdf

Seppänen, O. 2001. Rakennusten lämmitys. 2.painos. Helsinki: Suomen Ivi-liitto ry.

Seppänen, O & Seppänen, M. 2007. Rakennusten sisäilmasto ja Ivi-tekniikka. 4. painos. Espoo: SIY sisäilmatieto oy.

Suomen lämpöpumppuyhdistys 2023. Viitattu 18.12.2023.

<https://www.sulpu.fi/lampopumppuja-myyntiin-viime-vuonna-lahes-200-000-kappaletta-kasvu-50/>

Talotekniikkainfo 2020. Radiaattoriverkoston uudelleenmitoittaminen. Viitattu 22.1.2024. <https://talotekniikkainfo.fi/page/export/html/221>

Talotekniikkainfo 2023. Huonelämpötilojen suunnitteluarvot. Viitattu 10.1.2024. <https://talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas/4-huonelampotilojen-suunnitteluarvot>

Tuuliainen, I. 2022. Maalämpöjärjestelmän suunnittelun ja mitoituksen lähtökohdat. Opinnäytetyö (YAMK). Talotekniikka. Helsinki: Metropolia ammattikorkeakoulu. Viitattu 22.1.2024

www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/781785/Tuuliainen_Ismo.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Verohallinto, 2023. Kotitalousvähennys. Viitattu 15.2.2024.
<https://www.vero.fi/henkiloasiakkaat/verokortti-ja-veroilmoitus/vahennykset/kotitalousvahennys/>

Ympäristöministeriö 2003. Suomen rakentamismääräyskokoelma C4. Lämmöneristys.

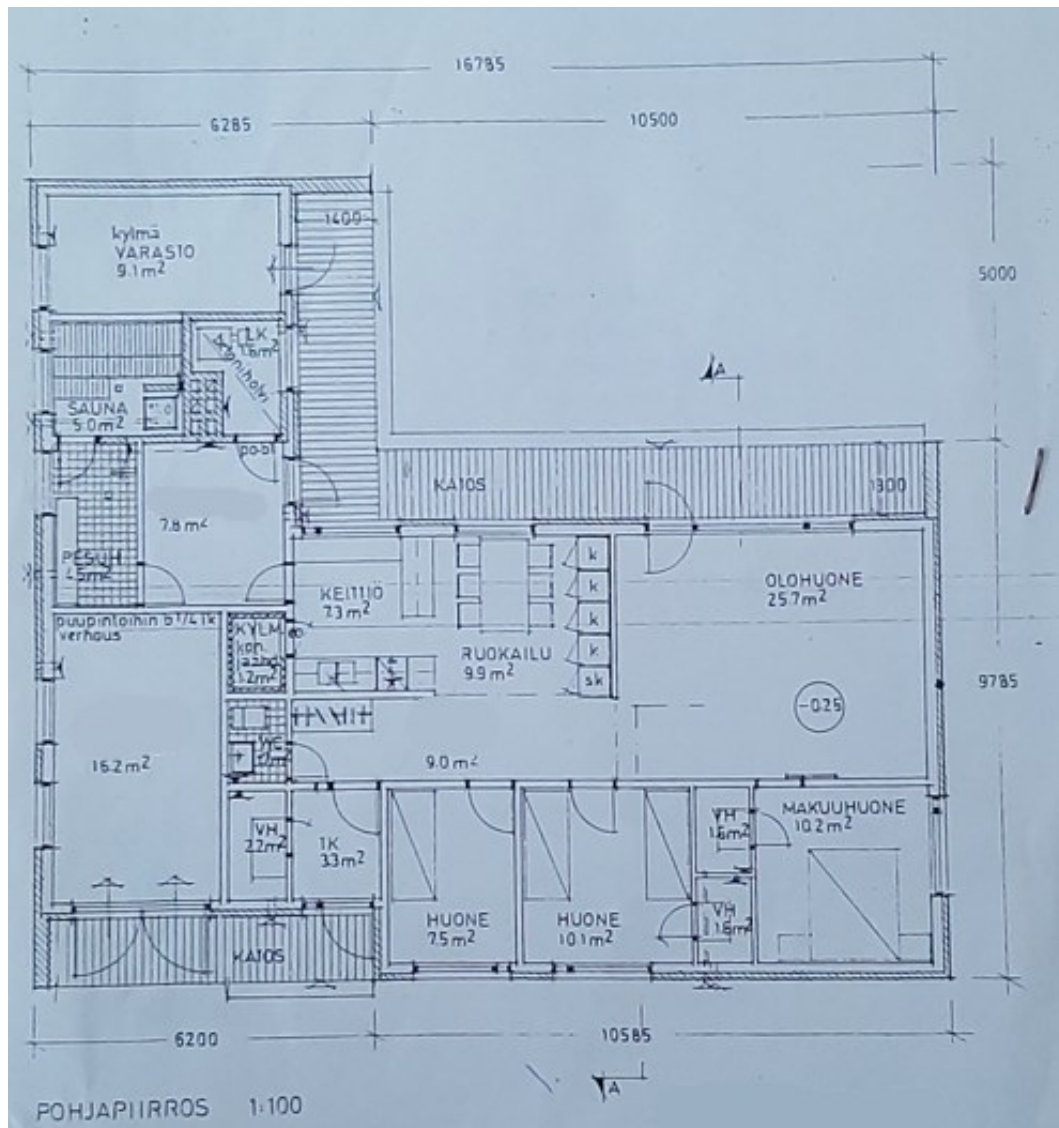
Ympäristöministeriö 2012. Lämpöpumppujen energialaskentaopas. Viitattu 29.1.2024. ym.fi/documents/1410903/38439968/Lampopumppujen-energi-laskentaopas-3.10.2012-10A732A6_EA2F_45F9_869C_6F909138CB26-30757.pdf/1d053cd5-1865-e174-6424-841fac831c48/Lampopumppujen-energi-laskentaopas-3.10.2012-10A732A6_EA2F_45F9_869C_6F909138CB26-30757.pdf?t=1603260214849

Ympäristöministeriön asetus 1010/2017. Liite 1.

Ympäristöministeriö 2018a. Energiatehokkuus. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta.
<https://ym.fi/documents/1410903/0/Ohje+-Rakennuksen+energiankulutuksen+ja+lammitystehontarpeen+laskenta+20-12-2017.pdf/3efb5c34-e921-592e-3d54-aaf9ecc1b62e/Ohje+-Rakennuksen+energiankulutuksen+ja+lammitystehontarpeen+laskenta+20-12-2017.pdf?t=1647934666563>

Ympäristöministeriö 2018b. Tasauslaskentaopas. Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittaminen.
[https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Tasauslaskentaopas-2018-310317-181217-\(002\)-8DA891B6_94AC_4367_9E45_D59ECED00CCF-133703.pdf/acb4fd5e-e622-c6e7-c0f0-97aa59de0886/Tasauslaskentaopas-2018-310317-181217-\(002\)-8DA891B6_94AC_4367_9E45_D59ECED00CCF-133703.pdf?t=1603260250564](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Tasauslaskentaopas-2018-310317-181217-(002)-8DA891B6_94AC_4367_9E45_D59ECED00CCF-133703.pdf/acb4fd5e-e622-c6e7-c0f0-97aa59de0886/Tasauslaskentaopas-2018-310317-181217-(002)-8DA891B6_94AC_4367_9E45_D59ECED00CCF-133703.pdf?t=1603260250564)

Omakotitalon pohjakuva



Try2012 ulkolämpötilan pysyvyystiedot

Säävyöhykkeet I ja II

| Ulkoilman lämpötilä Tu, °C | Lämpötilavälin kesto h | Kumulatiivinen | DH (20 °C) | Kumulatiivinen DH (20 °C) |
|-------------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------|----------------------------------|
| | | lämpötilavälin kesto h | astetunnit °Ch | kumulatiiviset astetunnit °Ch |
| -22 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -21 | 7 | 7 | 287 | 287 |
| -20 | 19 | 26 | 771 | 1058 |
| -19 | 23 | 49 | 888 | 1946 |
| -18 | 21 | 70 | 799 | 2745 |
| -17 | 30 | 100 | 1102 | 3847 |
| -16 | 55 | 155 | 1987 | 5834 |
| -15 | 83 | 238 | 2913 | 8747 |
| -14 | 63 | 301 | 2144 | 10891 |
| -13 | 72 | 373 | 2370 | 13262 |
| -12 | 52 | 425 | 1654 | 14916 |
| -11 | 49 | 474 | 1521 | 16436 |
| -10 | 49 | 523 | 1472 | 17908 |
| -9 | 76 | 599 | 2210 | 20118 |
| -8 | 124 | 724 | 3483 | 23601 |
| -7 | 146 | 870 | 3950 | 27551 |
| -6 | 169 | 1039 | 4396 | 31947 |
| -5 | 174 | 1213 | 4358 | 36305 |
| -4 | 193 | 1406 | 4625 | 40930 |
| -3 | 214 | 1620 | 4916 | 45846 |
| -2 | 237 | 1856 | 5203 | 51050 |
| -1 | 301 | 2158 | 6328 | 57378 |
| 0 | 519 | 2676 | 10372 | 67750 |
| 1 | 494 | 3170 | 9387 | 77137 |
| 2 | 460 | 3630 | 8278 | 85415 |
| 3 | 354 | 3984 | 6016 | 91432 |
| 4 | 280 | 4264 | 4485 | 95917 |
| 5 | 301 | 4566 | 4520 | 100437 |
| 6 | 279 | 4844 | 3900 | 104337 |
| 7 | 300 | 5144 | 3895 | 108232 |
| 8 | 280 | 5424 | 3364 | 111596 |
| 9 | 285 | 5709 | 3132 | 114727 |
| 10 | 290 | 5999 | 2900 | 117627 |
| 11 | 293 | 6292 | 2641 | 120268 |
| 12 | 293 | 6585 | 2341 | 122608 |
| 13 | 322 | 6907 | 2257 | 124865 |
| 14 | 297 | 7204 | 1782 | 126647 |
| 15 | 291 | 7495 | 1454 | 128101 |
| 16 | 309 | 7804 | 1237 | 129338 |
| 17 | 209 | 8014 | 628 | 129966 |
| 18 | 180 | 8194 | 361 | 130327 |
| 19 | 160 | 8354 | 160 | 130487 |
| 20 | 142 | 8496 | 0 | 130487 |
| 21 | 98 | 8594 | 0 | 130487 |
| 22 | 48 | 8643 | 0 | 130487 |
| 23 | 41 | 8684 | 0 | 130487 |
| 24 | 29 | 8713 | 0 | 130487 |
| 25 | 33 | 8746 | 0 | 130487 |
| 26 | 6 | 8752 | 0 | 130487 |
| 27 | 3 | 8755 | 0 | 130487 |
| 28 | 5 | 8760 | 0 | 130487 |