

Ilmalämpöpumppujen lämmitysenergian säästöpotentiaali kerrostalojen lämmityksessä

Jaakko Honkanen

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2022

Talotekniikan koulutusohjelma
LVI-talotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutus
LVI-talotekniikka

HONKANEN, JAAKKO:

Ilmalämpöpumppujen lämmitysenergian säästöpotentiaali kerrostalojen lämmityksessä

Opinnäytetyö 47 sivua, joista liitteitä 4 sivua
Toukokuu 2022

Kerrostaloasuntoihin on asennettu 2020-luvun alussa ilmalämpöpumppuja enemmän kuin koskaan ja lähes tulkoon kaikki asennettavat ilmalämpöpumput ovat vain viilennyskäyttöön, koska kerrostaloissa on yhteinen lämmönjako ja lämmityskustannukset jaetaan kaikkien osakkaiden kesken hoitovastikkeen muodossa. Tässä opinnäytetyössä tutkittiin, onko ilmalämpöpumpulla lämmitysenergian säästöpotentiaalia kerrostaloasunnon lämmityksessä. Energialaskenta suoritettiin Tampereella sijaitsevaan kerrostaloasuntoon, ja laskelmissa käytettiin apuna ympäristöministeriön teettämää lämpöpumppujen energialaskentaopasta. Energialaskelmat suoritettiin kolmelle eri valmistajan ilmalämpöpumpulle, ja niitä vertailtiin asunnon kaukolämpökustannuksiin.

Laskennassa saatiin selville ilmalämpöpumppujen vuotuinen sähköenergiankulutus, SPF-luku ja asunnon lisälämmitysenergian tarve. Vuotuinen lämmitysenergian kustannus ilmalämpöpumpulla on laskelmien mukaan 30–40 % kaukolämmön lämmitysenergian kustannusta pienempi. Lisälämmitysenergiaa laskennallisesti tarvitsee vain yksi vertailun ilmalämpöpumpusta ja sekin vain 11 kWh lämmityskaudessa. Lämmittävän ja viilentävän ilmalämpöpumpun investointien erotuksena lasketulla takaisinmaksuajalla, investointi lämmittävään ilmalämpöpumpuun voi maksaa itsensä takaisin jopa 1–3 vuodessa.

Laskelmien perusteella ilmalämpöpumpulla voidaan säästää lämmityskustannuksissa jopa noin 40 % vuodessa, joten lämmittävän ilmalämpöpumpun investointi kerrostaloasuntoon on järkevä. Haasteita kerrostalossa ilmalämpöpumpulla lämmittämisessä kuitenkin löytyy, esimerkiksi kaukolämmön energiamittarointi asuntokohtaisesti, jotta osakas ei maksaisi kaukolämmöstä, jota hän ei käytä lämmittäessään asuntoa ilmalämpöpumpulla. Joten suurimpana jatkotutkimuskesymyksenä työssä on, kuinka ilmalämpöpumpun tuottama säästö saadaan kustannustehokkaimmin ja luotettavimmin osakkaalle, joka ilmalämpöpumppua käyttää?

Asiasanat: ilmalämpöpumppu, kerrostalo, lämmitysenergia

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Services Engineering
HVAC Systems

HONKANEN, JAAKKO:

Heating Energy Saving Potential of Air Source Heat Pumps in Apartment Buildings

Bachelor's thesis 47 pages, appendices 4 pages
May 2022

In the early 2020`s, more air source heat pumps were installed in apartment buildings than ever before. Almost all of these are for cooling use only. In the thesis, it was examined if heating an apartment building with an air source heat pump saves energy. The calculations were performed for an apartment building in Tampere with three heat pumps from different manufacturers.

The energy calculations were performed using an energy calculation guide for heat pumps prepared by the Ministry of the Environment. The calculations provided the annual electricity consumption, the SPF figure, and the additional heating energy demand of the apartment.

According to the calculations, heating an apartment building with an air source heat pump is 30-40% cheaper than with district heating. An investment in a heating air source heat pump, instead of a cooling one, can pay for itself in 1-3 years.

The challenge in heating with an air source heat pump in an apartment building is in measuring the district heating energy consumed and the electrical energy consumed by the heat pump. The question for further research is: What is the most cost-effective and reliable way to get the heating energy savings from an air source heat pump to the occupant who heats with it?

Key words: air source heat pump, apartment building, heating energy

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	KERROSTALOJEN LÄMMITYS	7
	2.1 Lämmitysmuodot.....	7
	2.1.1 Kaukolämpö	8
	2.2 Lämmönjakotavat.....	9
	2.2.1 Patterilämmitys.....	10
	2.2.2 Lattialämmitys.....	10
3	ILMALÄMPÖPUMPPU.....	12
	3.1 Toimintaperiaate	14
	3.1.1 Lämmitys.....	14
	3.1.2 Jäähdytys	16
	3.1.3 Kylmäaineen kiertoprosessi.....	17
	3.2 Käyttökohteet	20
	3.3 Käyttö ja rajoitukset kerrostalossa.....	20
4	LASKELMAT JA VERTAILU	23
	4.1 Kohde kerrostalo	23
	4.2 Ilmalämpöpumpun energialaskenta	24
	4.2.1 Panasonic.....	29
	4.2.2 Fujitsu.....	33
	4.2.3 Gree	35
	4.3 Investointikustannukset.....	37
5	VERTAILU JA POHDINTA.....	39
	5.1 Vertailu.....	39
	5.2 Pohdinta.....	41
	LÄHTEET.....	42
	LIITTEET	44
	Liite 1. Panasonic CZ25TKE.....	44
	Liite 2. Gree Amber 25-A/2/W.....	45
	Liite 3. Fujitsu Nordic premium power KHCAN 9	46
	Liite 4. Energialaskennan säätiedot säävyöhykkeellä 2.....	47

LYHENTEET JA TERMIT

COP-luku	Lämpöpumpun hyötysuhde eli kulutetun sähköenergian ja tuotetun lämpöenergian suhde tietyssä lämpötilassa.
SCOP-luku	Lämpöpumpun hyötysuhde suhteutettuna vuodenaikoihin eli lämpötilan muutoksiin. Luku mitataan neljänä eri vuodenaikana.
Kylmäaine	Neste, jolla siirretään lämpöenergiaa sen olomuodonmuutosten avulla sisä- ja ulkoyksikön välillä lämpöpumpuissa.
Isentrooppinen hyötysuhde	Kompressorin häviöttömän ja todellisen puristustyön suhde kompressorin imu- ja paineliitäntöjen tilojen perusteella.
Sähkön ottoteho	Laitteen tarvitsema sähköenergia toimiakseen.
Mitoituslämpötila	Alin ulkolämpötila, milloin rakennuksen lämmityslaitteet kattavat koko lämmitystehontarpeen.
Lämmityskausi	Kausi, jolloin lämmitysjärjestelmä on säännöllisesti käytössä. Lämmityskausi vaihtelee sään ja rakennuksen käyttötarkoituksen mukaan.
SPF-luku	Lämpöpumpun vuoden keskimääräinen lämpökerroin, joka on lämpöpumpulla tuotetun vuotuisen energian suhde lämpöpumpun sekä apulaitteiden vuotuisen sähkönkulutukseen.
Tehomitoituspiste	Matalin ulkolämpötila, johon asti lämpöpumpulla voidaan tuottaa rakennuksen lämmitystehontarve ilman lisälämmitystä.
Takaisinmaksuaika	Aika, milloin investoinnin kustannukset on katettu kokonaisuudessaan investoinnilla saaduilla säästöillä.

1 JOHDANTO

Ilmalämpöpumppuja asennetaan kerrostaloihin kasvavassa määrin, mutta lähes tulkoon kaikki asennettavat ilmalämpöpumput ovat vain viilennykseen tarkoitettuja. Miksi ei asennettaisi viilennykseen sekä lämmitykseen tarkoitettuja ilmalämpölämpöpumppuja vain vähän suuremmalla investoinnilla ja säästettäisi mahdollisesti lämmitysenergiakustannuksissa varsinaisen lämmityksen rinnalla?

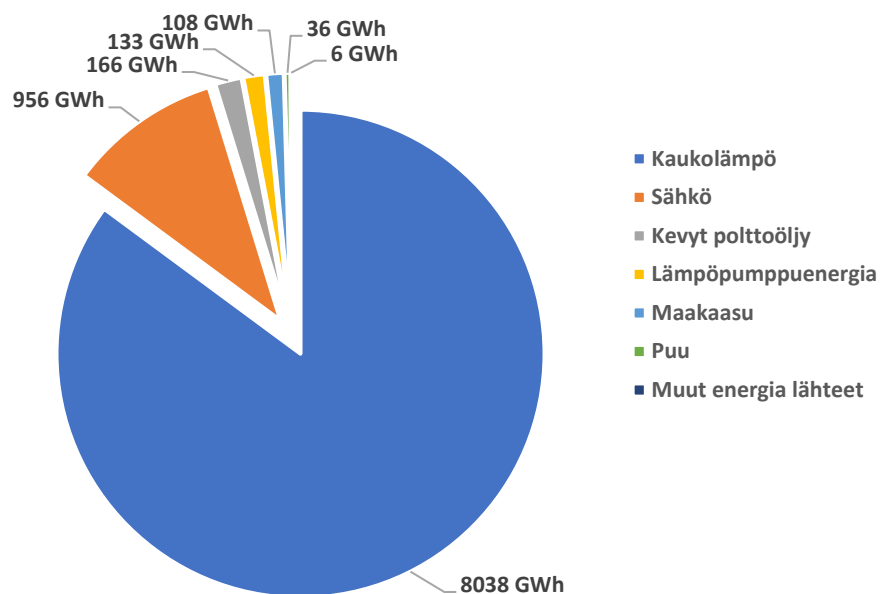
Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan ilmalämpöpumpun lämmitysenergian säästöpotentiaalia kerrostaloasunnon lämmityksessä. Ilmalämpöpumpun vuotuisesta lämmitysenergiankulutuksesta pyritään samaan kattavat laskelmat, joilla voidaan suorittaa luotettava vertailu ja pohdinta siitä, onko lämmittävä ilmalämpöpumppu kannattava ratkaisu kerrostaloasunnossa. Vertailukohteen kerrostalossa lämmitysmuotona on kaukolämpö. Vertailun kohteeksi otettiin kaukolämpö, koska suurin osa maan kerrostaloista lämmitetään kaukolämmöllä ja sen rinnalla ilmalämpöpumpulla voisi olla lämmitysenergian säästöpotentiaalia.

2 KERROSTALOJEN LÄMMITYS

2.1 Lämmitysmuodot

Tilastokeskuksen mukaan vuonna 2020 asuinkerrostalojen yhteenlaskettu lämmitysenergian kulutus oli 9 444 GWh ja kaukolämmön osuus siitä oli 8 038 GWh. Kaukolämpö on selvästi yleisin kerrostalojen lämmitysmuoto sen saatavuuden ja toimintavarmuuden takia. Toiseksi suurin osuus lämmitysenergiankulutuksesta oli sähkölämmityksellä noin 10 % osuudella. Nopeimmin kasvava lämmitysmuoto on lämpöpumppuenergia, jonka osuus vuonna 2020 lämmitysenergiankulutuksessa oli kuitenkin vain noin 1,5 %. Lämpöpumppuenergiaan kuuluu maalämpö, ilma-vesilämpöpumppu ja poistoilmalämpöpumppu. (Tilastokeskus)

Asuinkerrostalojen lämmitysenergiankulutus vuonna 2020

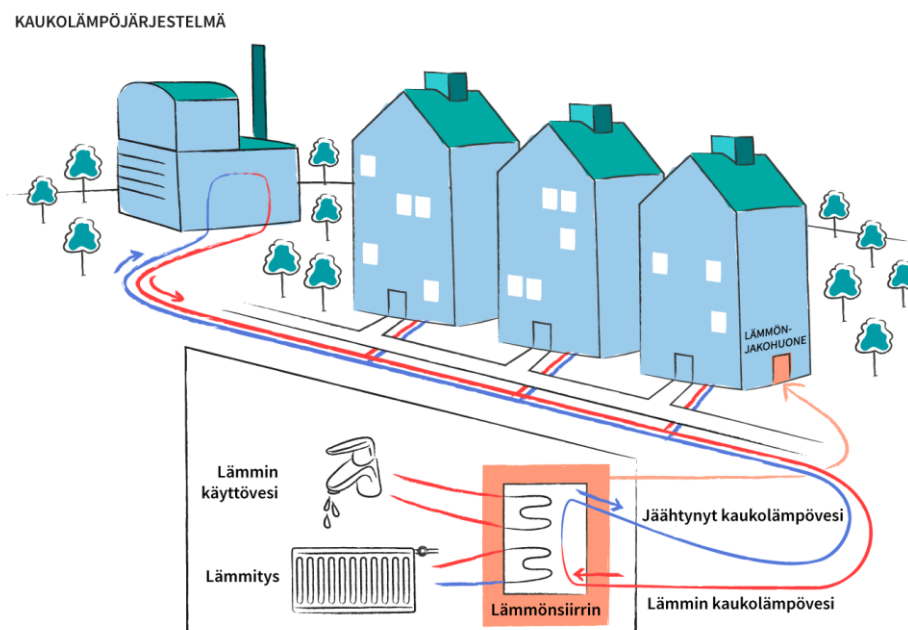


KUVIO 1. Asuinkerrostalojen lämmitysenergiankulutus vuonna 2020. (Tilastokeskus)

2.1.1 Kaukolämpö

Kaukolämpö tuotetaan voimalaitoksessa, josta se pumpataan lämpöverkkoa pitkin taloyhtiöiden lämmönjakokeskuksiin. Jotta taloyhtiö voi liittyä kaukolämpöverkkoon, täytyy sen sijaita kaukolämpöverkon alueella. Lämpö tuotetaan lämpölaitoksella polttamalla polttoainetta tai hyödyntämällä yhteistuotantolaitoksen sähkötuotannosta syntyvää hukkalämpöä.

Lämpö siirretään käyttäjille maanalaista kaukolämpöputkea pitkin ja jäähtynyt lämmitysvesi palautetaan paaluputkea pitkin takaisin kaukolämmön tuottajalle. Taloyhtiöllä täytyy kaukolämpöön yhdistyessä olla lämmönjakohuone, jossa sijaitsee lämmönjakokeskus. Lämmönjakokeskukseen tyypillisesti kuuluu lämmönsiirtimet, säätölaitteet, kiertovesipumput sekä paisunta- ja varolaitteet. Lämpimälle käyttövedelle, lämmitysjärjestelmälle ja mahdolliselle IV-lämmitykselle on lämmönjakokeskuksessa omat lämmönsiirtimet ja muut laitteet. Lämmin kaukolämpövesi kiertää jokaisen lämmönsiirtimen kautta, jossa se luovuttaa lämpöä toiseen siirtimessä kiertävään nesteeseen eli esimerkiksi lämmitysjärjestelmän lämmitysvedeen. (koutsu.hsy)



KUVA 1. Kaukolämpöjärjestelmän peruseriaate. (koutsu.hsy)

Kaukolämmön hinta koostuu liittymis-, vesivirta- ja energiamaksusta. Kaukolämmön hinnat määritellään sopimusvesivirran (m^3/h) mukaan, mikä tarkoittaa suurinta kaukolämpöveden virtaamaa, jonka rakennus tarvitsee ulkolämpötilan ollessa mitoituslämpötilassa, eli Tampereella, $-29\text{ }^\circ\text{C}$. Energiateollisuus ry pitää kaukolämmön hintatilastoa, johon se kerää kaukolämmön hintoja joka vuosi lämmityskauden aikaan ja kesä aikaan. Tilastoon on kerätty 228 kaukolämmön hintaa eri toimittajilta ja paikkakunnilta. Tilastossa on eritelty energia- ja tehomaksu. Tilastossa kerrostalon talvikauden keskiarvo energiamaksulle on $71,33\text{ €/MWh}$ ja tehomaksulle $12,99\text{ €/MWh}$. Energian keskimääräinen kokonaishinta on siis Suomessa 2022 talvikaudella ollut $84,36\text{ €/MWh}$. Hintatilastoon on listattu myös uudisrakennusten liittymismaksut eri toimittajilta ja paikkakunnilla ja kerrostalolle keskimääräinen liittymismaksu tilaston mukaan on $19\,994\text{ €}$. Energiateollisuus ry:n tilaston liittymismaksu on keskiarvo ja se koostuu perus-, vesivirta- ($\text{€/m}^3/\text{h}$) ja johtomaksusta (€/m), joten se on täysin rakennuskohtainen hinta. (Energiateollisuus ry)

2.2 Lämmönjakotavat

Kerrostalossa tyypillisimmät lämmönjakotavat ovat vesikiertoinen patterilämmitys ja vesikiertoinen lattialämmitys. Molemmat lämmönjakotavat toimivat lähestulkoon kaikkien lämmitysmuotojen lämmönjakotapana ja ilmalämpöpumppu sopii kummankin lämmönjakotavan kanssa tukilämmitykseksi. Kerrostaloissa nähdään lisäksi enenevässä määrin vesikiertoisia kattosäteilijöitä, jotka sopivat myös viilennykseen kesähelteillä.

Kaikissa lämmönjakotavoissa lämmitystä voidaan ohjata erilaisilla aikaohjelmilla tai ulkolämpötilan mukaan. Lämmitystä voidaan myös optimoida energian hinnan tai sääennusteen mukaan. Lämmitystehoa säädetään lämmitysveden lämpötilaa muuttamalla tai säätämällä patteriverkoston veden virtamaa linjasäätöventtiileillä ja patteritermostaateilla. Mitä kylmemmäksi sää menee, sitä lämpimämmäksi lämmitysveden lämpötilaa säädetään. Kerrostaloissa linjasäätöventtiilit sijoitetaan aina ennen jokaista runkonousua, jotta saadaan lämpö jaettua tasaisesti jo-

kaiseen kerrokseen. Jokaista patteria ja lattialämmityspiiriä ennen täytyy olla vähintään yksi linjasäätöventtiili, jotta järjestelmän säätö on mahdollista toteuttaa tasaisesti koko rakennukseen. (Motiva)

2.2.1 Patterilämmitys

Vesikiertoinen patterilämmitys on yleisin lämmönjakotapa kerrostaloissa. Sen isoimmat edut ovat hyvä huollettavuus ja rakennusaikaiset kustannukset ovat lattialämmitystä pienemmät. Patterilämmitys koostuu vesikiertoisista lämpöpattereista, joissa on kiinni lämmitysveden virtausta säätävä patteriventtiili. Patteriventtiileihin on asetettu esisäätöarvo, jolla määritellään, kuinka lämpimäksi huoneiston voi maksimissaan lämmittää. Esisäädöillä pyritään myös tasaamaan huoneistojen väliset lämpötilat tasaisiksi, huoneiston ilmasuunnan ja kerroksen mukaan. Patteriventtiilissä on kiinni patteritermostaatti, joka säätyy automaattisesti sisäilman lämpötilan mukaan. Patteriventtiiliin voidaan asentaa myös toimilaite, jota ohjaa automaatiojärjestelmä. Patteritermostaattia voidaan säätää myös käsin, jos huoneen lämpötilaa haluaa laskea esimerkiksi makuuhuoneessa. Lämpöpatterit ovat sijoitettu yleensä ikkunan alle, jotta vältetään vedon tunneelta. (Motiva; koutsi.hsy)

2.2.2 Lattialämmitys

Vesikiertoisessa lattialämmityksessä lattian sisällä kiertää muovinen lattialämmitysputki, jossa virtaa lämmitysvesi. Kerrostalossa asunnoissa on omat lattialämmitysjakotukit, joista lämmitysvesi jaetaan jokaiseen lattialämmityspiiriin. Jokaisella huoneella on vähintään yksi oma lattialämmityspiiri ja jokaista piiriä säädetään jakotukilta automaattisella säätöventtiilillä, jota ohjaa huoneessa oleva ohjainyksikkö. Ohjainyksikössä on huoneen sisälämpötilamittari, jonka mukaan jakotukin säätöventtiiliä säädetään. Lattialämmitys jakaa lämmön tilaan tasaisesti ja estää vedon tunnetta. Lattialämmitysjärjestelmässä ei jää tilaan muita näkyviä osia kuin tilan lämmityksen ohjainyksikkö, jossa sijaitsee myös lämpötilamittari.

Lattialämmitys voidaan toteuttaa myös sähköisellä lattialämmitysmatolla tai -johdolla. Useasti patterilämmityskohteessa kylpyhuoneisiin on asennettu sähköinen lattialämmitys, niin sanottu mukavuuslattialämmitys. Mukavuuslattialämmitystä käytetään myös kesällä, jotta kylpyhuoneeseen ei pääse syntymään kosteusvaurioita. Kylpyhuoneissa laattalattia tuntuu varsinkin talvella kylmien säiden aikaan epämukavalta, joten lattialämmityksellä tuodaan mukavuutta ja samalla katetaan kylpyhuoneen lämmitystarve. Sähköinen lattialämmitys kykenee reagoimaan lämmönvaihteluihin vesikiertoista lattialämmitystä nopeammin. (Motiva)

Lattialämmityksen etuna patterilämmitykseen on saman järjestelmän hyödyntäminen viilennyksessä. Lattialämmitykseen voidaan yhdistää lattiaviilennys, jolloin kesähelteillä lattialämmitysputkissa juoksetetaan kylmää viilennys vettä, joka jakaa viilennyksen energiatehokkaasti ja miellyttävän tuntuisesti. (Uponor)

3 ILMALÄMPÖPUMPPU

Ilmalämpöpumpulla voidaan edullisesti parantaa rakennuksen asumisviihtyvyyttä ja energiatehokkuutta, sekä säästää lämmityskustannuksissa. Lämpöenergia otetaan ulkoilmasta, joten se on ekologinen lämmitys tapa. Monella ilmalämpöpumppu valmistajalla on pohjoisen ilmastoon suunniteltuja ilmalämpöpumppuja, jotka kykenevät tuottamaan lämpöä järkevällä hyötysuhteella, jopa -30 °C ulkolämpötilaan asti. Laitteistolla säädellään huoneen sisälämpötilaa siirtämällä lämpöä ulkoilmasta sisäilmaan tai päinvastoin huoneen sisäilman jäähdyttämiseksi. Ilmalämpöpumpulla lämmitettäessä tilan patteri- tai lattialämmitystermostaatit säädetään pari astetta matalammalle lämpötilalle, jotta vältetään järjestelmien yhtäaikainen toiminta. (Talotekniikkainfo)

Ilmalämpöpumppu koostuu sisä- ja ulkoyksiköstä. Sisäyksikköön kuuluu puhallin ja lauhdutinpatteri. Ulkoyksikkö koostuu höyrystinpatterista, kompressorista ja ohjauslaitteista. Jotta ilmalämpöpumpulla voidaan lämmittämisen lisäksi viilentää sisäilmaa, täytyy se olla varustettu nelitieventtiilillä. Nelitieventtiilillä voidaan kääntää prosessin suuntaa päinvastaiseksi. Sisä- ja ulkoyksikön välillä kiertää suljetussa piirissä kylmäaine, jonka avulla lämpöenergia siirretään yksiköiden välillä. (Scanoffice)

Sisäyksikkö on useimmiten seinäasenteinen ja se asennetaan katonrajaan. Sisäyksikön patterille ilma imetään ylhäältä päin ja se puhalletaan alapuolelta. Ilmalämpöpumpun puhalluksen voimakkuutta, suuntausta ja lämpötilaa voidaan säätää kaukosäätimellä. Sisäyksikössä on ilmavirtauksen ohjaimia, joilla ilma voidaan ohjata haluamaan suuntaan. Lämmitäessä ilma on järkevintä puhaltaa suoraan kohti lattiaa, jolloin se leviää tehokkaasti oleskeluvyöhykkeelle ja nousee fysiikan lakien mukaan ylöspäin. Jäähdyttäessä ilma imetään katonrajasta, mutta puhalletaan suoraan eteenpäin, joten viileä ilma laskeutuu oleskeluvyöhykkeelle rauhassa ilman vedon tunnetta. (Scanoffice)



KUVA 2. Ilmalämpöpumpun sisä- ja ulkoyksikkö ja säädin (K-rauta)

Ilmalämpöpumpun tehokkuus eli höytysuhde ilmoitetaan COP lämpökertoimella. Ilmalämpöpumpussa COP-luku tarkoittaa lämpöpumpun energiankulutuksen ja lämpöenergiantuoton suhdetta. Esimerkiksi jos COP-luku on 4, saadaan ilmalämpöpumpulla tuotettua 1 kWh sähköenergialla 4 kWh edestä lämpöenergiaa. Ilmalämpöpumpun höytysuhde vaihtelee ulkoilmanlämpötilan mukaan. Mitä alhaisempi on ulkoilmanlämpötila, sitä pienempi on höytysuhde. (Wiher)

Ilmalämpöpumpuista ilmoitetaan myös SCOP-luku, joka kuvaa lämpöpumpun vuosihöytysuhdetta eli laskennassa on otettu huomioon vuodenaikojen lämpötilamuutokset. Etenkin pohjoismaissa suurien lämpötilan muutoksien takia SCOP on oleellisempi lukema lämpöpumpun höytysuhteesta kuin COP. (Wiher)

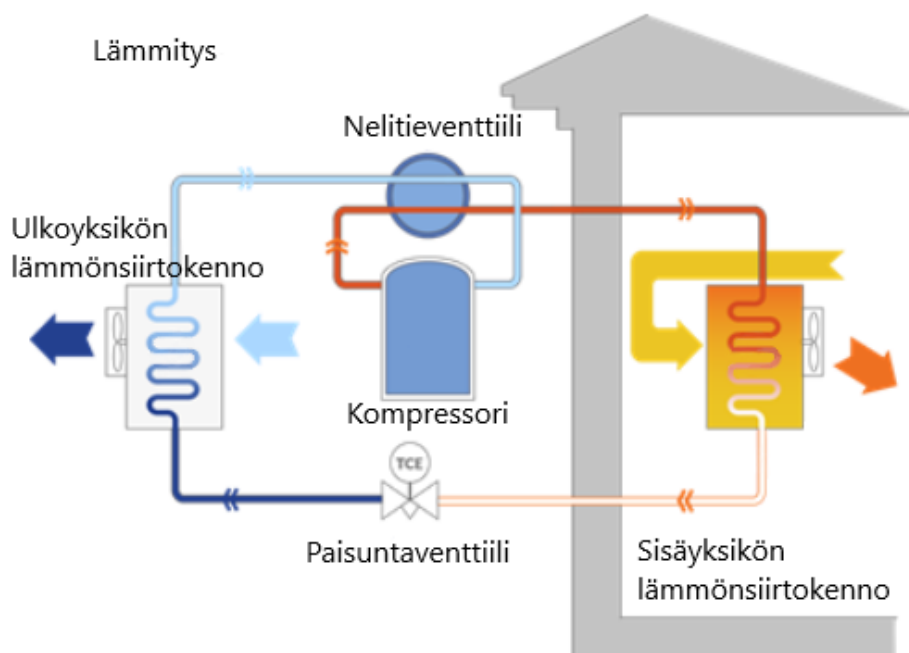
Ilmalämpöpumpuja on sekä on/off- ja invertteri-ohjauksella. On/off-tyyppisessä ilmalämpöpumpussa kompressorin pyörimisnopeutta ei voi säätää eli se on vakio. Kompressori lakkaa pyörimästä, kun sisälämpötilan asetusarvo on saavutettu. Kun termostaatti havaitsee lämpötilan laskeneen tarpeeksi matalalle, kompressori käynnistyy vakio nopeudelle. On/off-tyyppisissä ilmalämpöpumpuissa kompressorin käyttöikä on lyhyempi, koska kompressorin uudelleen käynnistäminen on sille kuluttavaa. Etuna näissä malleissa kuitenkin on niiden edullisempi

hinta. Ilmalämpöpumpuissa, joissa on invertteri-ohjaus, kompressorin pyörimisnopeus on säädettävissä lämmitystehon tarpeen mukaan. Tämän tyyppisessä ilmalämpöpumpussa kompressorin käyttöikä on pidempi ja vuotuinen lämpökerroin on suurempi, koska kompressorin käyttöjaksot ovat pidempiä. Etuna invertteri-ohjauksessa on myös tarkempi lämmöntuoton säätö. Hankintahinta näissä malleissa on kuitenkin on/off-tyyppistä kalliimmat. (Motiva)

3.1 Toimintaperiaate

3.1.1 Lämmitys

Ilmalämpöpumpun lämmönsiirto prosessi on esitetty kuvassa 3. Prosessi alkaa, kun ulkoyksikössä sijaitseva kompressori puristaa kovalla paineella höyrymuodossa olevan kylmäaineen kaasumuotoon. Kylmäaineen puristuessa kompressorissa kaasumuotoon, paineen lisäksi myös lämpötila kasvaa. Kompressorilla puristettu kylmäaine johdetaan nelitieventtiilin kautta sisäyksikön lämmönsiirtokennolle. Lämmönsiirtokennolla puhalletaan patterin läpi ilmaa, jolloin kylmäaine luovuttaa lämpöä sisäilmaan. Lämmönsiirtokennon läpi virratessa kylmäaineen lämpötila laskee voimakkaasti ja se muuttuu kaasumuodosta nestemäiseksi. Sisäyksikön lämmönsiirtokennolla nestemäiseksi muuttunut kylmäaine johdetaan elektroniselle paisuntaventtiilille, joka sijaitsee ulkoyksikössä. Paisuntaventtiilillä lasketaan kylmäaineen painetta, jotta kylmäpiiriin saadaan oikea paine-ero. Paisuntaventtiilissä kylmäaineen paine laskee rajusti, jolloin sen lämpötilakin laskee ja kylmäaine höyrystyy. Paisuntaventtiilillä höyrystynyt kylmäaine johdetaan ulkoyksikön lämmönsiirtokennolle. Lämmönsiirtokennon läpi puhalletaan suurella virtaamalla ulkoilmaa läpi, jolloin suuri määrä lämpöenergiaa sitoutuu kennon läpi virtaavaan höyrystyvään kylmäaineeseen. Paisuntaventtiilin tehtävä on huolehtia, että se syöttää lämmönsiirtokennoon kylmäainetta semmoisella paineella, että kylmäaine höyrystyy kokonaan ulkoyksikön lämmönsiirtokennossa. Kokonaan lämmönsiirtokennolla höyrystynyt kylmäaine johdetaan nelitieventtiilillä kompressoriin ja näin alkaa prosessi alusta. (Scanoffice)



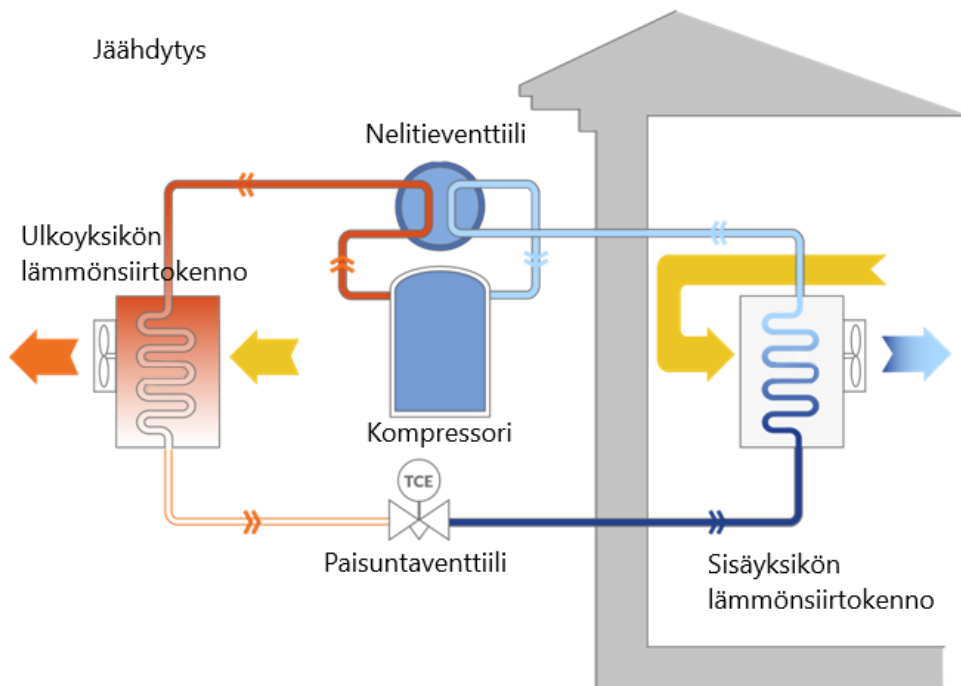
KUVA 3. Ilmalämpöpumpun toimintaperiaate lämmityksessä. (Scanoffice, muokattu)

Sisäilmaa lämmittäessä ulkoilmaa jäähdytetään. Ulkoyksikön lämmönsiirtokennon ottaessa lämpöä ulkoilmasta muodostuu huurretta ja sen muodostuminen on suurinta ulkolämpötilan ollessa nollan tuntumassa. Huurre vaikeuttaa lämmön siirtymistä lämmönsiirtokennon pinnalla ja ilman virtaus heikkenee, joten huurre täytyy poistaa aika-ajoin. Pohjoismaiden markkinoilla olevissa ilmalämpöpumpuissa on lähes aina automaattinen sulatustoiminto. Sulatus voi tapahtua joko sähkövastuksilla tai kääntämällä prosessin kylmäaineen kierron suunnan hetkeksi toiseen suuntaan, jolloin kompressorilla puristettu kuumakaasu virtaa ulkoyksikön lämmönsiirtokennolle sulattaen kennon. Lämmönsiirtokennon sulatusjaksot alentavat lämpöpumpun lämpökerrointa. (Motiva)

Ilmalämpöpumpun lämmitysteho laskee ulkoilmanlämpötilan laskiessa, koska höyrystymislämpötila laskee niin matalalle, ettei kompressori kykene tarpeeksi isoon paineen kasvuun ja kylmäaineen massavirta laskee.

3.1.2 Jäähdytys

Ilmalämpöpumppu toimii jäähdyttäessä käytännössä samalla tavalla kuin lämmitäessä, mutta prosessi kulkee toiseen suuntaan. Prosessi voidaan kääntää toiseen suuntaan nelitievalventtiin avulla. Kuvassa 4 on esitetty prosessin kulku samaisella laitteella kuin lämmitysprosessi. Nelitievalventtiilitä käännetään kompressorilla kaasumuotoon puristettu kylmäaine ulkoyksikön lämmönsiirtokennolle, jossa kylmäaine luovuttaa lämpöenergiaa kennon läpi puhallettavaan ulkoilmaan. Luovutettaessa tarpeeksi lämpöenergiaa ulkoilmaan, kylmäaineen olomuoto muuttuu kaasusta nesteeksi. Ulkoyksikön lämmönsiirtokennolta nestemäinen kylmäaine johdetaan elektroniselle paisuntaventtiilille, jossa kylmäaineen painetta lasketaan, jolloin kylmäaine höyrystyy. Paisuntaventtiililtä höyrystymään alkanut kylmäaine siirretään sisäyksikköön. Sisäyksikön lämmönsiirtokennon läpi sisäilmaa puhallettaessa suuri määrä lämpöenergiaa sitoutuu höyrystyvään kylmäaineeseen. Näin ollen sisäilma jäähtyy kennon läpi mentäessä. Sisäyksikön lämmönsiirtokennossa kokonaan höyrystynyt kylmäaine johdetaan takaisin kompressorille nelitievalventtiin kautta. (Scanoffice)



KUVA 4. Ilmalämpöpumpun toimintaperiaate jäähdytyksessä. (Scanoffice, muokattu)

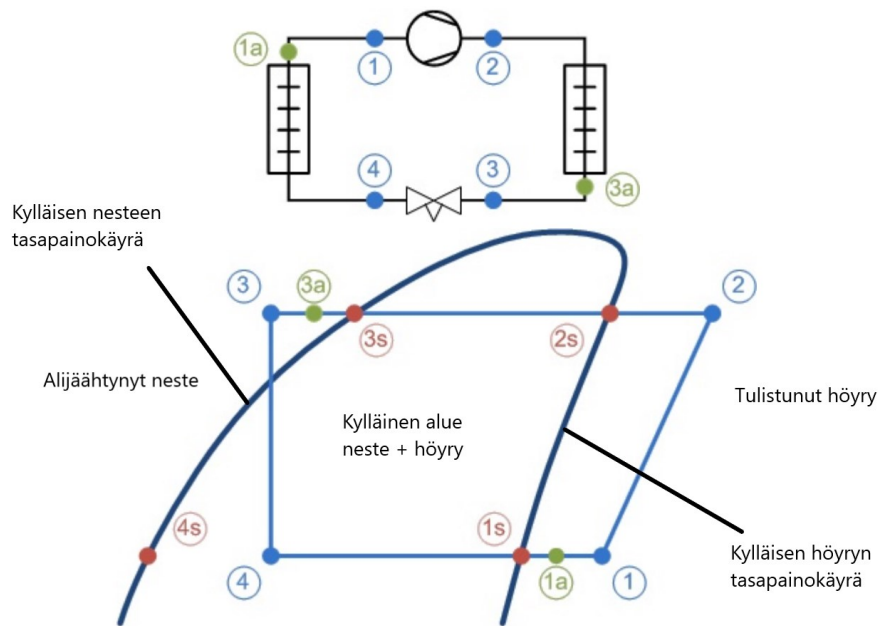
3.1.3 Kylmäaineen kiertoprosessi

Ilmalämpöpumpun kylmäaineen kiertoprosessia voidaan tarkastella log p,h-tilapiirroksella. Log p,h-tilapiirros on kaavio, josta nähdään kylmäaineen entalpia, entropia, paine ja lämpötila. Kaaviossa on esitetty kylmäaineen paineen logaritmi pystyakselilla ja entalpia vaaka-akselilla. Log p,h-tilapiirros on ehdoton työkalu, kun halutaan tarkastella kylmäaineen eri olomuotojen suhteellisia osuuksia prosessin eri kohdissa ja prosessin toimintaa yleisesti. Kaaviosta saatavilla arvoilla voidaan laskea mm. ilmalämpöpumpun lauhduttimen ja höyrystimen teho ja lämpökerroin eli COP-luku. (Kylmäteknikan perusteet. 2014. 19–23.)

Kuvassa 5 nähdään ilmalämpöpumpun kylmäaineen kiertoprosessin olomuodot eri komponenttien kohdalla. Kuvan 5 Log p,h prosessi eroaa kuvan 6 prosessista niin, että kuvassa 6 piste 3 sijaitsee kylmäaineen nesteen tasapainokäyrällä ja piste 1 sijaitsee kylmäaineen höyryn tasapainokäyrällä. Taulukossa 1 on listattu kaikkien pisteiden kuvaukset kylmäkiertossa.

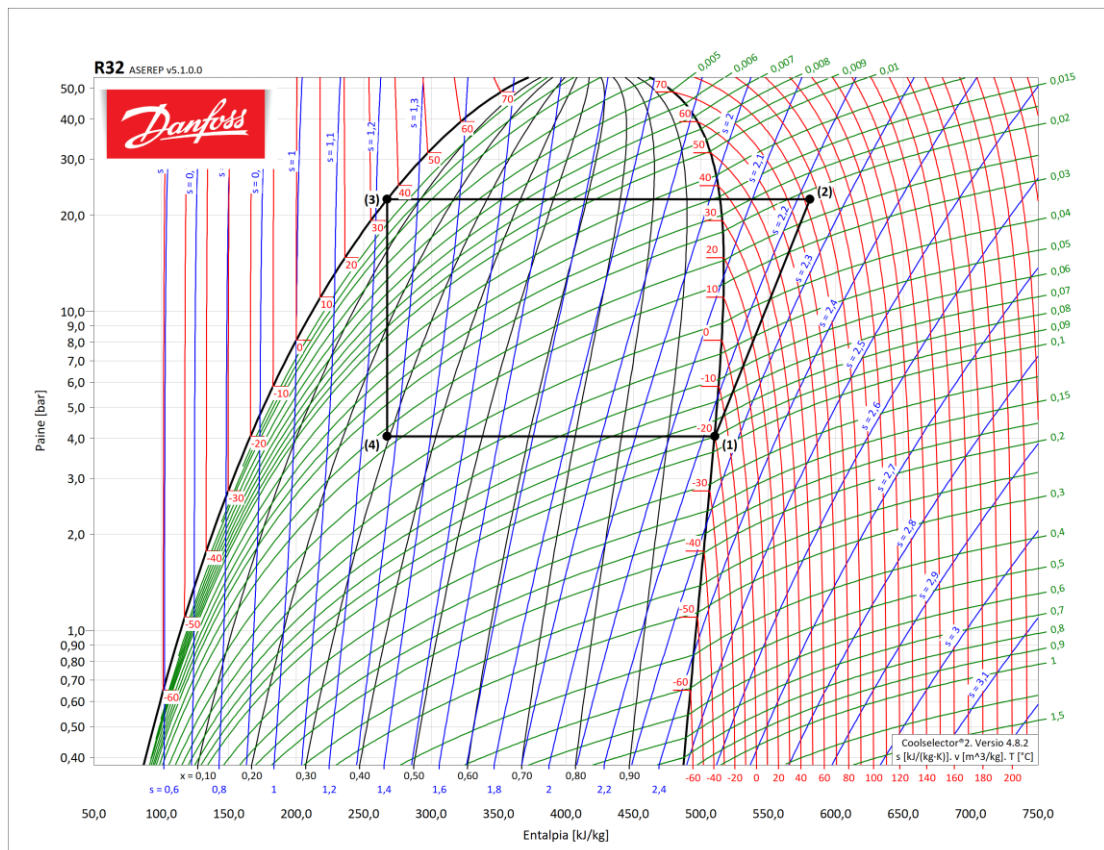
TAULUKKO 1. Tilapisteet (Danfoss)

Piste	Kuvaus
1	Kompressorin imu
2	Kompressorin kuumakaasu
2s	Lauhtumislämpötila kastepiste
3s	Lauhtumislämpötila kuplapiste
3a	Lauhdutin ulos
3	Sisältäen lisäälijäähtymisen
4	Paisuntaventtiilin jälkeen
4s	Höyrystyminen kuplapiste
1s	Höyrystyminen kastepiste
1a	Höyrystin ulos



KUVA 5. Log p,h piirroksen olomuotoalueet ja prosessin tilapisteet. (Danfoss, muokattu)

Kuvassa 6 on esitetty ilmalämpöpumpun kylmäaineprosessi, kun ulkoilmanlämpötila on $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kylmäaineena on R32, jota käytetään nykyään lähes kaikissa ilmalämpöpumpuissa. kylmäaine prosessi kuvassa 6 on kuitenkin täysin teoreettinen eli häviötön. Teoreettisessa prosessissa kylmäaineen paine lauhduttimessa ja höyrystimessä pysyy vakiona eli todellisia laitteiden ja putkistojen painehäviöitä ei huomioida. Pisteessä 1 kompressorin alku puristaa kylmää höyryä ja se puristuu tulistuneeksi höyryksi. Kylmäaineen lämpötila on pisteessä 2, kompressorin jälkeen noin $83\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja entalpia kasvaa noin 70 kJ/kg eli lämpöenergiaa siirtyy kylmäaineeseen. Lauhduttimen osuus log p,h piirroksessa on pisteestä 2 pisteeseen 3. Lauhduttimessa tulistus poistuu ja kylmäaineen olomuoto muuttuu höyrystä nesteeksi, joten kylmäaine luovuttaa lämpöä. Kylmäaineen entalpia laskee lauhduttimessa noin 350 kJ/kg , mutta sen paine ja lämpötila pysyvät vakiona. Kylmäaineen höyrystyslämpötila on $36\text{ }^{\circ}\text{C}$. Paisuntaventtiilissä eli pisteestä 3 pisteeseen 4, kylmäaineen lämpötila ja paine laskevat reilusti ja entalpia pysyy vakiona. Paisuntaventtiilissä kylmäaine höyrystyy osittain. Kuvan 6 höyrystyslämpötila on $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Höyrystimessä kylmäaineen olomuoto muuttuu nesteen ja höyryn sekoituksesta puhtaaksi höyryksi ja olomuodon muutoksesta johtuen kylmäaineeseen siirtyy lämpöenergiaa ja entalpia nousee noin 250 kJ/kg . Höyrystimen jälkeen kylmäaine palaa kompressorille puristettavaksi ja kylmäaineen kierto alkaa alusta.



KUVA 6. Kylmäaineen log p,h-tilapiirros. (Danfoss)

Todellisuuden kylmäaineen kiertoprosessi ei ole häviötön. Kiertoprosessissa on erilaisia häviöitä kuten kompressorin puristuksesta syntyvän kitkan aiheuttama häviö, kompressorin paine- ja imupuolen häviöt sekä putkiston, lauhduttimen ja höyrystimen kitka- ja lämpöhäviöt. Kylmäaineen tulistuksessa menetetään kompressorista saatavaa tehoa eli kompressorin isentrooppinen hyötysuhde laskee. Todellinen kompressorin puristustyö on teoreettista puristustyötä suurempi, joten kylmäaineen lämpötila on todellisen puristustyön jälkeen suurempi ja kompressorin sähkön ottotehon tarve kasvaa. Todellisuudessa siis höyrystyminen ja lauhduttaminen eivät tapahdu vakioaineessa. Komponenttien painehäviöt näkyvät prosessin kummassakin lämmönsiirtovaiheessa paineen ja lämpötilan laskuna, kun taas teoreettisessa prosessissa molemmat pysyvät vakiona. Log p,h-tilapiirroksessa nämä häviöt näkyisivät höyrystimen ja lauhduttimen vaakaviivojen kallistumisena prosessin edetessä. Kompressorin puristuksen häviöiden johdosta kylmäaine tulistuu enemmän teoreettiseen prosessiin verrattuna, joten tilapiirroksen viiva pisteestä 1 pisteeseen 2 kaartuu todellisuudessa enemmän oikealle. Kompressorin imupuolen häviöt pienentävät puristuksen alkulämpötilaa ja painepuolen

häviöt pienentävät kylmäaineen lauhtumislämpötilaa. (Kylmätekniikan perusteet. 2014. 29–30)

3.2 Käyttökohteet

Ilmalämpöpumppuja käytetään yleensä rinnakkaisjärjestelmänä päälämmitysjärjestelmän rinnalla. Nykypäivänä lähes kaikilla ilmalämpöpumppuvalmistajilla on malleja, jotka voivat kattaa ison osan lämmitystarpeesta jopa -20...-30 °C pakkasille asti. Päälämmitysjärjestelmänä täytyy olla sellainen lämmitysjärjestelmä, joka kattaa koko lämmitystehon tarpeen myös mitoituslämpötiloissa. Ilmalämpöpumppuja asennetaan mm. omakoti-, kerros- ja rivitaloihin ja paljon myös toimisto- ja tehdasrakennuksiin. Isoimman säästön energiankulutukseen ilmalämpöpumpulla saadaan rakennuksessa, jossa lämmitysjärjestelmänä on suora sähkölämmitys ja avara pohjaratkaisu. Parhaimmillaan vuotuisesta lämmitysenergiankulutuksesta voidaan säästää 50 % pelkällä ilmalämpöpumpulla. (Talotekniikkainfo)

3.3 Käyttö ja rajoitukset kerrostalossa

Ilmalämpöpumppuja asennetaan kerrostaloihin kiihtyvässä määrin. Kerrostaloasuntoon asennettava ilmalämpöpumppu on lähes aina vain viillennykseen tarkoitettu ilmalämpöpumppu eli ei sisällä nelitieventtiiliä. Kerrostaloihin ei asenneta lämmitykseen tarkoitettuja ilmalämpöpumppuja, koska kerrostaloissa on yleensä yhteinen lämmitys ja lämmityskustannukset maksetaan yhtiövastikkeen muodossa. Jokainen osakas maksaa lämmityksestä yhtä paljon suhteutettuna asunnon neliö määrään. (Toshiba suomi)

Kerrostalossa, jossa on sähköpatterit, ilmalämpöpumppu on hyvä tukilämmitysmuoto. Sähkölämmityksen kanssa ilmalämpöpumpulla saadaan isoimmat säästöt, mutta tässä työssä kuitenkin keskitytään kaukolämmöllä lämmitettäviin kerrostaloihin, koska niitä on ylivoimaisesti eniten suomessa. Sähkölämmitteisessä kerrostalossa ilmalämpöpumpun käyttö on helpompaa, koska sähköpattereiden

energiakulutuksen mittarointi on helpompaa ja ilmalämpöpumpulla saadut lämmitys säästöt saadaan helposti sitä käyttävälle osakkaalle.

Asuntoyhtiö pystyi vielä vuonna 2020 kieltämään osakasta asentamaan ilmalämpöpumpua asuntoon ilman minkäänlaisia perusteluja tai syitä. Mutta vuonna 2021 korkein oikeus (KKO) linjasi ilmalämpöpumpun asentamista parvekkeelle ja osakkeenomistajan oikeuksia tilanteessa. KKO:n mukaan ulkoseinä, joka jää parvekkeen ja huoneiston väliin, kuuluu osaksi osakkaan omistamaa luonnollista ja kiinteää kokonaisuutta ja sen erottaminen huoneiston muutostyöoikeudesta olisi ratkaisuna tarpeeton ja keinotekoinen. KKO:n linjauksen mukaan oikeus muutostöiden suorittamiseen parvekkeella ei ole kuitenkaan täysin rajoittamaton. Muutostöille voidaan asettaa ehtoja taloyhtiön tai toisen osakkeenomistajan toimesta, jos muutostyössä on riskinä rakennuksen vaurioituminen tai siitä aiheutuu muunlaista haittaa jollekin osapuolelle. Juuri ilmalämpöpumpun asennuksessa KKO katsoi, että muutostyötä tekeväälle osakkeenomistajalle viilennyksen hyöty on huomattava, kun taas oikein toteutetusta asennuksesta ei koidu taloyhtiölle tai muille osakkeenomistajille haittaa juuri ollenkaan. (Korkein oikeus)

KKO:n päätöksessä puhutaan asunnon ja parvekkeen välisestä seinän osasta. Asuntoon, jossa on ranskalainen parveke tai ei ole parveketta ollenkaan, voi ilmalämpöpumpun asentamiseen tarvittava lupa olla vaikeaa saada.

Jokainen kaupunki määrää ja ohjeistaa itse ulkoyksiköiden asennuksessa kerrostaloihin kaavoitusalueilla. Tampereen kaupungin rakennustapaohjeet (ympäristölautakunta, ympäristö- ja rakennusjaosto, 2016) julkisivumuutoksiin ohjeistaa, että ”kerrostalossa ulkoyksikön voi sijoittaa parvekkeelle kaidetason alapuolelle tai tasakatolle. Sijoituksessa tulee huomioida melu- ja värinähaitta, sekä ilmanpuhalluksen aiheuttama haitta. Putkistot tulee käsitellä julkisivun väriin. Katurajajulkisivuun näkyviin jäävä ulkoyksikkö edellyttää suunnitelman hyväksynnän”.

Kerrostalossa täytyy huomioida ilmalämpöpumpun kondenssivesien erityisen tarkkaan. Kondenssivedet johdetaan viemäriin tai parvekkeen sadevesijärjestelmään, siten ettei rakennuksen rakenteille aiheudu kosteudesta vaurioita. Kesällä kondenssivettä kerääntyy sisäyksikön patterille ja ne johdetaan yleensä kylmäai- neputkien kanssa samassa asennuskourussa ulkoyksikölle. Syksyllä ja talvella

kondenssivettä kerääntyy ulkoyksikön patterille. Ulkoyksikön kondenssivesien juoksutus täytyy etenkin kerrostaloissa suunnitella hyvin, ettei se aiheuta muille kerrostalon asukkaille haittaa tai vaaraa esimerkiksi putoavilla jääpuikoilla. (Lämpöpumppuhuolto)

4 LASKELMAT JA VERTAILU

4.1 Kohde kerrostalo

Vertailun kohde on Tampereella 1950-luvulla rakennettu tiilirakenteinen kerrostalo, joka koostuu 31 asunnosta. Asuntojen koot vaihtelevat 25–65 m² välillä. Valitsin vertailun kohteeksi talosta 41 m² (2 h+k+s) kokoisen asunnon, joka sijaitsee talon 2. kerroksessa.

Kerrostaloon on 1990-luvun alussa tehty suuria remontteja ja samalla vaihdettiin vanha polttolaitos kaukolämpöön. Kerrostalon kaukolämmön tilausvesivirta on 3,2 m³/h. Lämmityskauden rajalämpötila kerrostalossa on +13 °C. Asunnon lämmitystehontarve mitoituslämpötilassa (-29 °C) saatiin mallintamalla asunto Magi-Cad Room-ohjelmalla. Lämmitystehontarpeeksi saatiin 3 200 W. Vuotuinen lämmitysenergiankulutus voidaan arvioida kaavalla 1 (LVI-kalenteri, 2022, 36). Vuotuinen lämmitysenergiankulutus vuoden 2021 mitoitusiedoilla oli noin 6 740 kWh.

$$Q = \frac{P \times 24 \times s}{\Delta t} \quad (1)$$

Q	energian kulutus, kWh
P	teho mitoitusolosuhteissa, kW
s	lämmitystarveluku
Δt	mitoituslämpötilaero, °C

Talvikauden 2022 keskimääräinen kaukolämmön energiamaksu oli Energiateollisuus ry:n mukaan 84,36 €/MWh. Kaukolämmön hintatilastoon oli otettu 228 kaukolämmön hintaa eri paikkakunnilta. Kaukolämmön vuotuinen energiakustannus asunnossa saadaan kertomalla asunnon lämmitysenergiantarve kaukolämmön energiamaksulla. Näin ollen vuotuisesti kaukolämmön energiamaksuksi asunnossa tulee noin 570 € (Energiateollisuus ry)

4.2 Ilmalämpöpumpun energialaskenta

Vertailuun valittiin kolme ilmalämpöpumppua, jotka voisi sopia kerrostaloasuntoon. Ilmalämpöpumput ovat kolmelta eri valmistajalta: Panasonic, Fujitsu ja Gree.

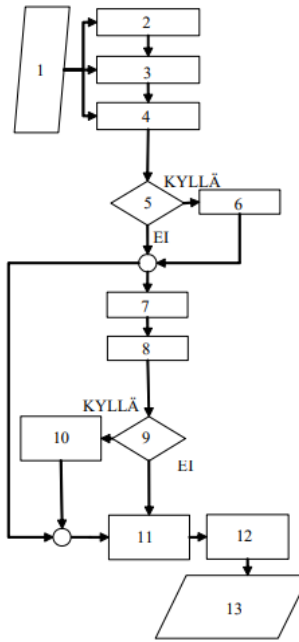
Ilmalämpöpumppujen lämmitysenergiankulutuksen laskemiseen käytettiin apuna ympäristöministeriön laatimaa lämpöpumppujen energialaskentaopasta ja kaikki laskennassa käytetyt kaavat ovat oppaasta saatuja. Energialaskentaoppaalla saadaan laskettua ilmalämpöpumpun sähköenergian kulutus ja SPF-luku. Mitoitustiedot Panasonicin ja Fujitsun ilmalämpöpumppuihin saatiin valmistajien esitteistä ja Gree ilmalämpöpumppuun Scanofficen teettämästä toimintakokeen raportista.

Energiakulutuslaskenta suoritetaan oppaassa esitetyllä yksityiskohtaisella laskentamenetelmällä koko vuodelle. Lähtötietoja laskentaan tarvitaan asunnon vuotuinen lämmitysenergian tarve, referenssivuoden säätiedot (liite 4), lämpöpumpun ominaisuudet ja tehomitoituspiste. Tehomitoituspiste tarkoittaa ulkolämpötilaa, mihin asti ilmalämpöpumppu kykenee tuottamaan kokonaan asunnon lämmitystarpeen. Laskentajärjestys yksityiskohtaiseen laskentamenetelmään on esitetty kuvan 7 vuokaaviossa.

3.2.2 Laskentajärjestys

Laskenta suoritetaan vaiheittain jokaiselle pysyvyyskäyrän lämpötilavälille seuraavasti.

- Vaihe 1 Lähtötiedot
- Tilojen ja lämpimän käyttöveden lämmitysenergian tarve (LUKU 3.3.1)
 - Säätiiedot (LIITE 2)
 - Lämpöpumpun ominaisuudet (LUKU 3.3.2)
 - Suunnitteluparametrit
 - Rakennuksen tehomitotuspiste (LUKU 3.5.1)
- Vaihe 2 Pysyvyyskäyrän lämpötilavälien valinta
- Vaihe 3 Painokertoimien ja lämmitysenergian tarpeen laskenta pysyvyyskäyrän lämpötilaväleille (LUKU 3.5.4)
- Vaihe 4 Lämpökertoimen lämpötilakorjaus (LUKU 3.5.2)
- Vaihe 5 Käytetäänkö lämpöpumpussa osatehosäätöä (invertteri-säätö): KYLLÄ / EI
- Vaihe 6 Osatehon laskenta (LUKU 3.5.4.4)
- Vaihe 7 Lisälämmitystarpeen laskenta pysyvyyskäyrän lämpötilaväleille (LUKU 3.5.5)
- Vaihe 8 Lämpöpumpun käyntiajan laskenta ja vertaaminen pysyvyyskäyrän lämpötilavälin kestoon (LUKU 3.5.5.5)
- Vaihe 9 Lämpöpumpun käyntiaika on pidempi kuin lämpötilavälin kesto: KYLLÄ / EI
- Vaihe 10 Täydentävän lisälämmityksen laskenta (LUKU 3.5.5.6 ja 3.5.5.7)
- Vaihe 11 Lämpöpumpun sähköenergiankulutuksen laskenta (LUKU 3.5.6)
- Vaihe 12 Apulaitteiden sähköenergian kulutuksen laskenta (LUKU 3.5.7)
- Vaihe 13 Lämpöpumpun tuottaman lämmitysenergian laskenta (LUKU 3.5.8)
Lämpöpumpun SPF-luvun laskenta (LUKU 3.5.9)



KUVA 7. Laskentajärjestyksen vuokaavio. (lämpöpumppujen energialaskenta-
opas)

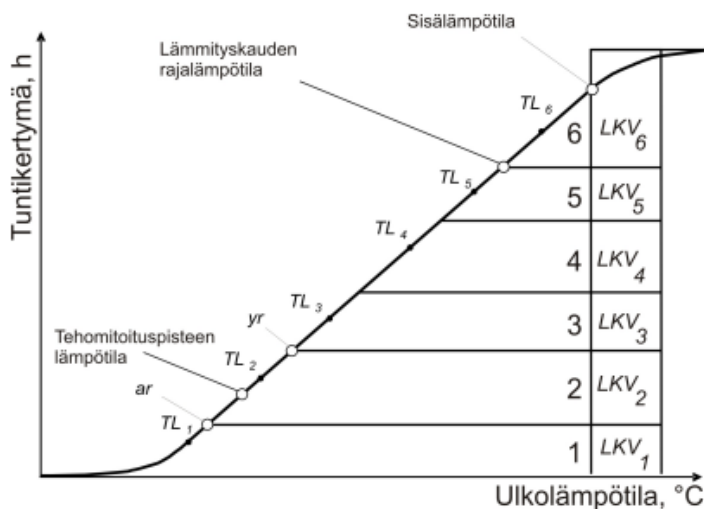
Vaiheessa 5 voidaan laskea lämpöpumpun osateho. Suurin osa ilmalämpöpumpuista on invertteri-säätöisiä eli käy joskus osateholla, mutta laskentaan tarvittaisiin lämpöpumpun lämpökerroin osateholla. Osatehoa ilmalämpöpumppu valmistajat eivät ilmoita mitoitusiedoissa, joten tässä laskelmassa ei sitä oteta huomioon. Jos ilmalämpöpumppu on mitoitettu niin, että lisälämmitystä ei laskennallisesti tarvita, voidaan jokaisen lämpötilavälin laskennassa siirtyä vaiheesta 5 suoraan vaiheeseen 11.

Laskennassa lämmöntarve jaetaan valituille lämpötilaväleille. Lämpötilapisteinä käytetään standardin SFS-EN 14511-2 mukaisia lämpötiloja, jotka ovat -15, -7, +2, +7 ja +20 °C. Pohjoisen kylmän ilmaston takia lisätään laskentamenetelmään lämpötilapiste -20 °C. Toimintalämpötilapisteet ja rajalämpötilat on esitetty taulukossa 2. Samoja toimintalämpötiloja käytetään jokaisen ilmalämpöpumpun energialaskennassa.

TAULUKKO 2. Toimintalämpötilat ja rajalämpötilat.

Toimintalämpötilat, ulkoilman lämpötila, °C	-20	-15	-7	2	7	20
Lämpötilavälin alaraja, T_{ar} , °C	-22	-18	-11	-2	4	14
Lämpötilavälin yläraja, T_{yr} , °C	-18	-11	-2	4	14	20

Panasonicin ja Fujitsun ilmalämpöpumppujen tuotetiedoissa ei ollut suoraan näille lämpötilapisteille lämpötehoa ja lämpökerrointa, mutta ne voitiin interpoloida valituille lämpötilapisteille. Kuvassa 8 on toimintalämpötilapisteet ($TL_1 - TL_6$) sijoitettu ulkolämpötilan pysyvyyskäyrälle ja lämpötilavälit on numeroitu 1–6. Kuvan 8 pysyvyyskäyrässä on esitetty myös lämpimänkäyttöveden (LKV) energiankulutus, mutta ilmalämpöpumppu ei lämmitä käyttövettä, joten sitä ei laskelmassa huomioida. Laskennassa lämpötilavälillä toimintalämpötila oletetaan pysyvän vakiona, mutta todellisuudessa toimintalämpötila muuttuu ulkolämpötilan muutosten mukaan. Laskennassa myös lämpökerroin oletetaan pysyvän vakiona lämpötilaväleillä.



KUVA 8. Ukolämpötilan pysyvyyskäyrä. (lämpöpumppujen energialaskenta-
opas)

Pysyvyyskäyrämenetelmä perustuu arvioon ulkolämpötilan kestosta ajan suhteen. Jokaiselle lämpötilavälillä on ylä- ja alarajalämpötila, joiden avulla lasketaan lämpötilaväleille painokertoimet tuntikertymän mukaan. Asetuntikertymät ilmoitetaan asetunteina liitteen 4 säätiedoissa. Lämpötilavälien painokertoimet lasketaan kaavan 2 avulla. Kun lämpötilaväleille on laskettu painokerroin, voidaan kaa-

van 3 avulla laskea tilojen lämmitysenergian tarve jokaiselle lämpötilavälille. Lämpötilavälien painokertoimet, lämmitysenergiantarpeet ja toiminta-ajat on esitetty taulukossa 3.

$$k = \frac{DH_{yr} - DH_{ar}}{DH_{lk}} \quad (2)$$

k	painokerroin
DH _{yr}	kertyneet astetunnit lämpötilavälin alaraja-arvon kohdalla, °Ch
DH _{ar}	kertyneet astetunnit lämpötilavälin yläraja-arvon kohdalla, °Ch
DH _{lk}	lämmityskauden ulkolämpötilaa vastaava astelukujen kertymä, °Ch

$$Q_{jlt} = k * Q_{klt} \quad (3)$$

Q _{jlt}	jakson lämmöntarve, kWh
Q _{klt}	tilojen kokonaislämmöntarve lämmityskaudella, kWh

Ilmalämpöpumpun toiminta-aika lämpötilavälillä lasketaan kaavalla 4 pysyvyyskäyrältä luettujen tuntien ylä- ja alarajan erotuksena.

$$t_j = N_{yr} - N_{ar} \quad (4)$$

t _j	aika lämpötilavälillä, h
N _{yr}	kertyneet tunnit ylemmälle lämpötilarajalle asti, h
N _{ar}	kertyneet tunnit alemmalle lämpötilarajalle asti, h

TAULUKKO 3. Lämpötilavälien painokertoimet, lämmitystarpeet ja toiminta-ajat.

Toimintalämpötilat, ulkoilman lämpötila, °C	-20	-15	-7	2	7	20
Painokerroin, k	0,02	0,11	0,26	0,36	0,26	0
Jakson lämmitysenergiantarve, Q _{jlt} , kWh	125	710	1 745	2 408	1 755	0
Toiminta-aika lämpötilavälillä, t _j , h	70	404	1 382	2 408	2 940	0

Jos ilmalämpöpumppu ei kykene tuottamaan kokonaan asunnon lämmitystehontarvetta, tarvitaan lisälämmitystä. Lisälämmityksenä tässä tapauksessa toimii asunnon omat vesikiertoiset lämmityspatterit. Lisälämmityskerroin lasketaan oppaan mukaan tapauskohtaisesti riippuen ilmalämpöpumpun toimintarajoista ja missä lämpötilavälissä ilmalämpöpumpun tehomitoituspiste sijaitsee.

Jakson lisälämmityskertoimen avulla lasketaan ilmalämpöpumpun lämmityksen vaatima käyntiaika. Käyntiaika lasketaan kaavalla 5.

$$t_k = \frac{Q_{jlt} * (1 - k)}{\phi_{lp}} \quad (5)$$

t_k	käyntiaika, h
Q_{jlt}	jakson lämmöntarve, kWh
k	jakson lisälämmityskerroin
ϕ_{lp}	lämpöpumpun lämmitysteho lämpötilavälillä, kW

Käyntiaika ei saa olla kaavassa 4 laskettua lämpötilavälin kestoa pidempi. Jos ilmalämpöpumpun käyntiaika on lämpötilavälin kestoa pidempi, tarvitaan täydentävää lisälämmitystä ylimenevälle ajalle. Täydentävä lisälämmitys lasketaan tapauskohtaisesti, jos sille on tarvetta.

Tämän jälkeen lasketaan kaavalla 6 ilmalämpöpumpun sähköenergiankulutus jokaiselle lämpötilavälille.

$$W_{lp} = \frac{Q_{jlt} - Q_{kll}}{COP_{tp}} \quad (6)$$

W_{lp}	ilmalämpöpumpun sähkönkulutus lämmityksessä, kWh
Q_{jlt}	jakson lämmöntarve, kWh
COP_{tp}	ilmalämpöpumpun lämpökerroin toimintapisteessä
Q_{kll}	kokonaislisälämmitysenergia, kWh

Ilmalämpöpumpun energialaskennassa ei oteta huomioon apulaitteiden sähkökulutusta erikseen, koska ne on jo huomioitu valmistajan ilmoittamassa lämpökertoimessa.

Ilmalämpöpumpun tuottama lämpöenergia lasketaan kaavan 7 avulla.

$$Q_{LP,lämmitys} = Q_{jlt} - Q_{kll} \quad (7)$$

$Q_{LP,lämmitys}$ lämpöpumpun tuottama lämmitysenergia, kWh

Q_{jlt} lämmitysjärjestelmän energiankulutus, kWh

Q_{kll} lisälämmitysjärjestelmän kokonaisenergiankulutus, kWh

Ilmalämpöpumpun tuottaman lämmitysenergian ja sähkökulutuksen suhteella saadaan ilmalämpöpumpulle SPF-luku, joka kuvastaa vuotuista hyötysuhdetta. SPF-luku lasketaan kaavalla 8.

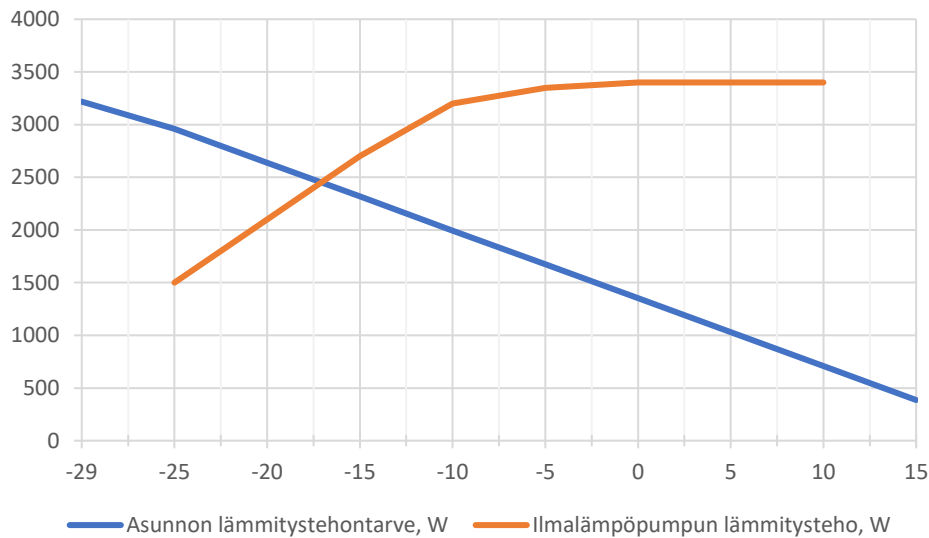
$$SPF = \frac{Q_{LP,lämmitys}}{W_{lp}} \quad (8)$$

Vuosikustannus laskennassa sähkönsiirtomaksuna käytetään energiaviraston tilaston mukaan vuoden 2022 huhtikuun keskihintaa 7,12 snt/kWh ja sähkön energia hintana käytetään Nordpoolin ilmoittamaa vuoden 2022 huhtikuun keskimääräistä sähkön spot-hintaa 9,57 snt/kWh. Sähkön kokonaishintana voidaan siis käyttää 16,69 snt/kWh. Näin ollen vuosikustannus ilmalämpöpumpulle lasketaan kertomalla sähköenergiakulutus sähkön yksikköhinnalla. (energiavirasto.fi ja sahko.tk)

4.2.1 Panasonic

Panasonicilta vertailuun valittiin pienissä tiloissa suosittu CZ-mallin 5,2 kW ilmalämpöpumppu. Mallia on asennettu paljon kerrostaloihin viilennystarkoitukseen. Ilmalämpöpumppu kykenee kattamaan koko lämmitystarpeen -17 °C ulkolämpötilaan asti, joten ilmalämpöpumpun tehomitoituspiste sijaitsee siinä ulkolämpötilassa. Ilmalämpöpumppu jatkaa kuitenkin sen jälkeen lämmittämistä aina -25 °C

asti. Kuvasta 9 nähdään kuinka ilmalämpöpumpun lämmitysteho alkaa kunnolla laskemaan ulkolämpötilan ollessa $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$.



KUVA 9. Panasonic-ilmalämpöpumpun tehomitoituspiste.

Ilmalämpöpumpun lämmitystehot ja lämpökertoimet saatiin valmistajan tuotesitteestä (liite 1). Esitteessä ei ilmoitettu mitoitus tietoja ulkoilmalämpötilalle $2\text{ }^{\circ}\text{C}$, joten se täytyi interpoloida muista arvoista. Taulukossa 4 on esitetty ilmalämpöpumpun mitoitus tiedot.

TAULUKKO 4. Panasonic-ilmalämpöpumpun mitoitus tiedot.

Toimintalämpötilat, ulkoilman lämpötila, $^{\circ}\text{C}$	-20	-15	-7	2	7	20
Lämpöteho, ϕ_{LP} , kW	2,1	2,7	3,3	3,4	3,4	-
Lämpökerroin, COP, W/W	1,91	2,16	2,54	3,6	4,66	-

Ilmalämpöpumppu tarvitsee lisälämmitystä $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$ ulkolämpötilasta alaspäin, koska tehomitoituspiste sijaitsee siinä ulkolämpötilassa. Lisälämmitysenergian tarpeen laskentaan vaikuttaa, missä lämpötilavälissä tehomitoituspiste sijaitsee ja lämmitetäänkö lämpöpumpulla vielä tehomitoituspistettä alemmilla ulkoilmalämpötiloilla. Tässä tapauksessa tehomitoituspiste sijaitsee toiseksi alimmassa lämpötilavälissä ja ilmalämpöpumppu jatkaa toimintaa vielä $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ asti, joten laskenta tapahtuu energialaskentaoppaan luvun 3.5.5.3 kaavojen mukaan. Kaavaa

9 käytetään lämpötilavälin lisälämmityskertoimen laskentaan, jossa tehomitoituspiste sijaitsee. Kaavalla 10 lasketaan niiden lämpötilavälien lisälämmityskerroin, joiden toimintalämpötila on matalampi kuin sen lämpötilavälin, missä tehomitoituspiste sijaitsee. Lisälämmityskertoimet ja -energiat on esitetty taulukossa 5

$$k = \frac{(DH_{\text{tpiste}} - DH_{\text{ar}}) - (T_s - T_{\text{tpiste}}) \cdot (N_{\text{tpiste}} - N_{\text{ar}})}{DH_{\text{yr}} - DH_{\text{ar}}} \quad (9)$$

$$k = \frac{(DH_{\text{yr}} - DH_{\text{ar}}) - (T_s - T_{\text{tpiste}}) \cdot (N_{\text{yr}} - N_{\text{ar}})}{DH_{\text{yr}} - DH_{\text{ar}}} \quad (10)$$

k	jakson lisälämmityskerroin
DH _{tpiste}	kertyneet astetunnit tehomitoituspisteeseen asti, °Ch
DH _{yr}	kertyneet astetunnit jakson ylärajalle asti, °Ch
DH _{ar}	kertyneet astetunnit jakson alarajalle asti, °Ch
T _s	astepäivälukua vastaava sisälämpötila, °C
T _{tpiste}	tehomitoituspisteen lämpötila, °C
N _{tpiste}	kertyneet tunnit tehomitoituspisteeseen asti, h
N _{ar}	kertyneet tunnit alemmalle lämpötilarajalle asti, h
N _{yr}	kertyneet tunnit ylemmälle lämpötilarajalle asti, h

Kun lisälämmityskertoimet saadaan laskettua, niin sen avulla saadaan jokaiselle lämpötilavälille laskettua erikseen lisälämmitystarve kaavalla 11.

$$Q_{\text{II}} = k \cdot Q_{\text{jlt}} \quad (11)$$

Q _{II}	jakson lisälämmitysenergiatarve, kWh
Q _{jlt}	jakson lämmitysenergiatarve, kWh

TAULUKKO 5. Lisälämmityskertoimet ja lisälämmitysenergiat.

Toimintalämpötilat, ulkoilman lämpötila, °C	-20	-15	-7	2	7	20
Lisälämmityskerroin	0,04	0,01	0	0	0	0
Jakson lisälämmitysener- giantarve, kWh	4	7	0	0	0	0

Lisälämmitys toteutetaan asunnon vesikiertoisilla lämmityspattereilla. Lisälämmitysenergiaa tarvitaan yhteensä laskennallisesti vain 11 kWh, mikä maksaa kaukolämmön energiahinnan mukaan vain noin 60 senttiä.

Lisälämmityskertoimen avulla lasketaan ilmalämpöpumpun lämmitykseen vaatima käyntiaika kaavalla 5. Jotta täydentävää lisälämmitystä ei tarvita, täytyy ilmalämpöpumpun käyntiaika olla pienempi kuin taulukossa 3 esitetyt toiminta-ajat.

Taulukossa 6 on esitetty ilmalämpöpumpun käyntiajat ja ne ovat pienempiä kuin lämpötilavälin toiminta-ajat, joten täydentävää lisälämmitystä ei tarvita.

TAULUKKO 6. Ilmalämpöpumpun käyntiaika.

Toimintalämpötilat, ulkoilman lämpötila, °C	-20	-15	-7	2	7	20
Toiminta-aika lämpötila- välillä, t_j , h	70	404	1 382	2 408	2 940	0
Ilmalämpöpumpun käynti- aika, t_k , h	57	260	529	708	516	0

Seuraavaksi lasketaan ilmalämpöpumpun sähköenergiankulutus kaavalla 6 ja tuottama lämpöenergia kaavalla 7. Tuotetun lämpöenergian ja sähkönkulutuksen suhteesta saadaan ilmalämpöpumpulle SPF-luku. SPF-luku lasketaan kaavalla 8. Tulokset on esitetty taulukossa 7.

TAULUKKO 7. Ilmalämpöpumpun sähköenergiankulutus, tuotettu lämpöenergia ja SPF-luku.

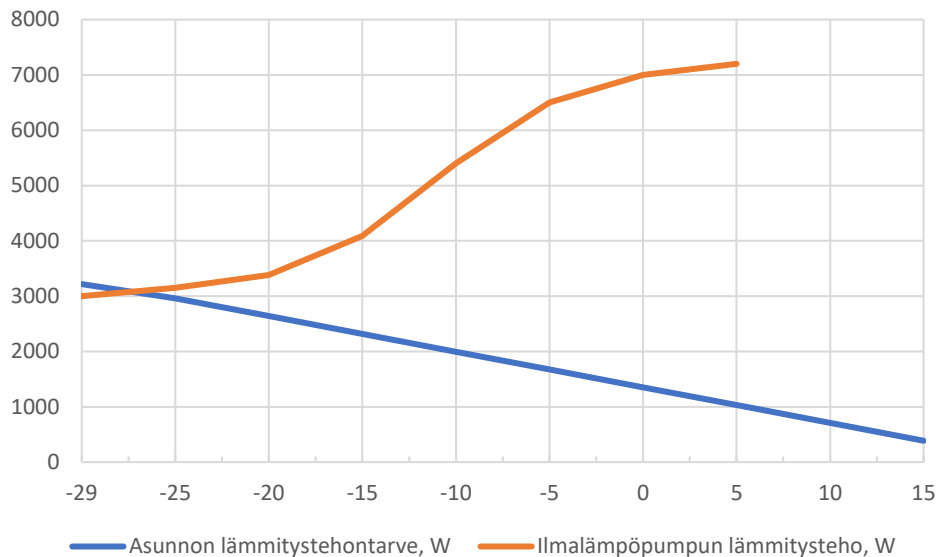
Toimintalämpötilat, ulkoilman lämpötila, °C	-20	-15	-7	2	7	20	Yhteensä, kWh
Sähköenergiankulutus, kWh	64	325	687	669	377	0	2 121
Tuotettu lämpöenergia, kWh	121	703	1 745	2 408	1 755	0	6 731
SPF-luku	3,2						

Panasonic ilmoittaa esitteessä CZ-mallin ilmalämpöpumpulle vuosihyötysuhteeksi eli SCOP-luvuksi 4,1. Se on huomattavasti parempi ja sillä luvulla lasketuna ilmalämpöpumpun sähköenergiankulutukseksi saataisiin 1642 kWh.

Ilmalämpöpumpun vuosikustannus saadaan kertomalla kokonaissähköenergiankulutus sähkön yksikköhinnalla. Laskelmassa käytetään sähkön yksikköhintana 16,69 snt/kWh. Vuosikustannukseksi tulee näin ollen energialaskentaoppaan mukaisesti lasketulla sähköenergiankulutuksella 354 €. Vuotuisesti säästöksi kaukolämpöön verrattuna tulee 215 €, eli ilmalämpöpumpulla lämmittäminen on 38 % halvempaa.

4.2.2 Fujitsu

Fujitsulta vertailuun valittiin Nordic premium power KHCAN-mallinen ilmalämpöpumppu. Fujitsu on huomattavasti tehokkaampi kuin Panasonic ja kykenee lämmittämään -30 °C ulkolämpötilaan saakka. Kuvasta 10 nähdään, että ilmalämpöpumpun tehomitoituspiste sijaitsee ulkolämpötilan ollessa -27 °C.



Kuva 10. Fujitsu-ilmalämpöpumpun tehomitoituspiste.

Taulukossa 7 on esitetty ilmalämpöpumpun lämmitystehot ja lämpökertoimet eri ulkoilmanlämpötiloilla. Valmistaja ilmoittaa mitoitus tiedot (Liite 3) 5 °C välein ja nimellis arvon eli 7 °C, joten mitoitus tiedot täytyi interpoloida toimintalämpötiloille -7 °C ja 2 °C.

TAULUKKO 7. Fujitsu-ilmalämpöpumpun mitoitus tiedot.

Toimintalämpötilat, ulkoilman lämpötila, °C	-20	-15	-7	2	7	20
Lämpöteho, ϕ_{LP} , kW	3,38	4,09	5,4	6,5	7,2	-
Lämpökerroin, COP, W/W	1,91	2,08	2,66	3,05	3,26	-

Ilmalämpöpumpun tehomitoituspiste sijaitsee -27 °C, joten laskennallisesti lisää lämmitystarvetta ei ole. Laskennassa voidaan siis edetä kuvan 7 vuokaavion mukaan suoraan vaiheeseen 11, eli ilmalämpöpumpun sähköenergian kulutuslaskelmiin. Ilmalämpöpumpun sähköenergiankulutus lasketaan kaavan 6 avulla. Lisälämmitystä ei tarvinnut, joten ilmalämpöpumpun tuottama lämpöenergia on sama kuin asunnon lämmitysenergiatarve. Tuotetun lämpöenergian ja sähköenergiankulutuksen suhteesta saadaan ilmalämpöpumpulle SPF-luku. SPF-luku lasketaan kaavalla 8. Tulokset on esitetty taulukossa 9.

TAULUKKO 9. Ilmalämpöpumpun sähköenergiankulutus, tuotettu lämpöenergia ja SPF-luku.

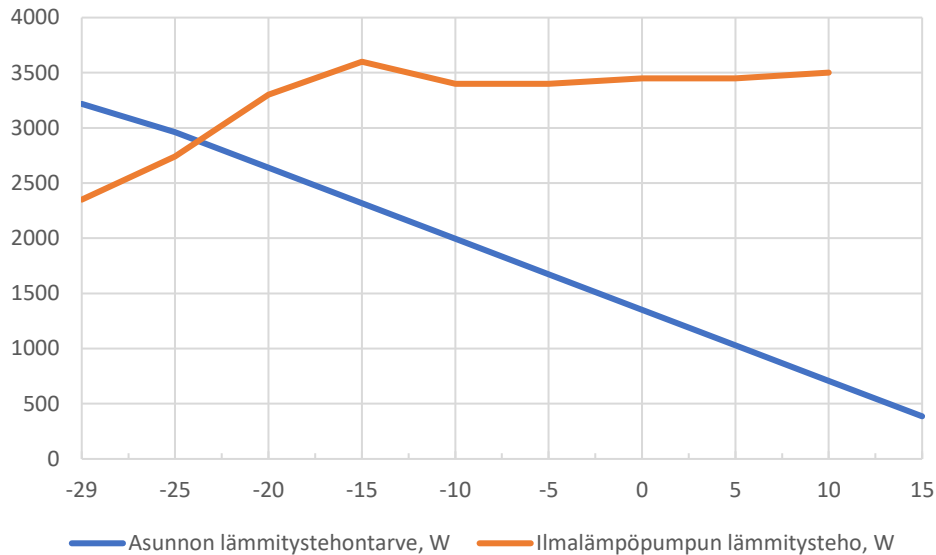
Toimintalämpötilat, ulkoilman lämpötila, °C	-20	-15	-7	2	7	20	Yhteensä, kWh
Sähköenergiankulutus, kWh	66	342	656	790	539	0	2 393
Tuotettu lämpöenergia, kWh	125	710	1 745	2 408	1 755	0	6 742
SPF-luku	2,8						

Fujitsu ilmoittaa tuote-esitteessä ilmalämpöpumpulle SCOP-luvuksi 5,21. Valmistajan ilmoittamalla vuosihyötysuhteella laskettuna ilmalämpöpumpun sähköenergiankulutus asunnossa olisi vuosittain 1 294 kWh.

Ilmalämpöpumpun vuosikustannus saadaan kertomalla kokonaissähköenergiankulutus sähkön yksikköhinnalla. Laskelmassa käytetään sähkön yksikköhintana 16,69 sntkWh. Vuosikustannukseksi tulee näin ollen energialaskentaoppaan mukaisesti lasketulla sähköenergiankulutuksella 399 €. Vuotuiseksi säästöksi kaukolämpöön verrattuna tulee 169 € eli ilmalämpöpumpulla lämmittäminen on 30 % halvempaa.

4.2.3 Gree

Kolmanneksi vertailuun valittiin Gree Amber 25-A/2/W-ilmalämpöpumppu. Gree on näistä kolmesta ilmalämpöpumpuista teholtaan keskivertoa. Gree-ilmalämpöpumppu kykenee lämmittämään -30 °C asti. Kuvasta 11 nähdään, että ilmalämpöpumpun tehomitoituspiste sijaitsee -23 °C.



Kuva 11. Gree-ilmalämpöpumpun tehomitoituspiste.

Taulukossa 10 on esitetty ilmalämpöpumpun lämpötehot ja lämpökertoimet eri toimintalämpötiloilla. Mitoitustiedot saatiin Scanofficen ilmalämpöpumpun toimintakokeen testiraportista, jonka on teettänyt erilaisten tuotteiden ja laitteiden testauksiin erikoistunut Eurofins. Toimintakoe on suoritettu Eurofins:n testaustiloissa, joissa voidaan säätää olosuhteet halutunlaisiksi.

TAULUKKO 10. Gree-ilmalämpöpumpun mitoitustiedot.

Toimintalämpötilat, ulkoilman lämpötila, °C	-20	-15	-7	2	7	20
Lämpöteho, ϕ_{LP} , kW	3,3	3,6	3,35	3,45	3,5	-
Lämpökerroin, COP, W/W	1,85	2,0	2,5	3,0	3,7	-

Ilmalämpöpumpun tehomitoituspiste sijaitsee -23 °C , joten laskennallisesti lisälämmitystarvetta ei ole. Laskennassa voidaan siis edetä kuvan 7 vuokaavion mukaan suoraan vaiheeseen 11, eli ilmalämpöpumpun sähköenergian kulutuslaskelmiin. Ilmalämpöpumpun sähköenergiankulutus lasketaan kaavan 6 avulla. Ilmalämpöpumpun tuottama lämmitysenergia on sama kuin asunnon lämmitysenergiantarve, koska lisälämmitystä ei tarvitse. Tuotetun lämpöenergian ja sähköenergiankulutuksen suhteesta saadaan ilmalämpöpumpulle SPF-luku. SPF-luku lasketaan kaavan 8 avulla. Tulokset on esitetty taulukossa 11.

TAULUKKO 11. Ilmalämpöpumpun sähköenergiankulutus, tuotettu lämpöenergia ja SPF-luku.

Toimintalämpötilat, ulkoilman lämpötila, °C	-20	-15	-7	2	7	20	Yhteensä, kWh
Sähköenergiankulutus, kWh	50	355	698	803	474	0	2 380
Tuotettu lämpöenergia, kWh	125	710	1 745	2 408	1 755	0	6 742
SPF-luku	2,8						

Gree ilmoittaa tuote-esitteessä ilmalämpöpumpulle SCOP-luvuksi 5,1. Tällä vuosihyötysuhteella laskettuna vuotuisesti sähköenergiankulutukseksi tulisi 1 322 kWh.

Ilmalämpöpumpun vuosikustannus saadaan kertomalla kokonaissähköenergiankulutus sähkön yksikköhinnalla. Laskelmassa käytetään sähkön yksikköhintana 16,69 snt/kWh. Vuosikustannukseksi tulee näin ollen energialaskentaoppaan mukaisesti lasketulla sähköenergiankulutuksella 397 €. Vuotuisesti säästöksi kaukolämpöön verrattuna tulee 172 €, eli ilmalämpöpumpulla lämmittäminen on 30 % halvempaa.

4.3 Investointikustannukset

Investointikustannukset on jokaiselle ilmalämpöpumpulle haettu lämpöpumppumyyjiltä eri nettisivuilta. Lasketaan ilmalämpöpumpuille takaisinmaksuaika yksinkertaisella laskentamenetelmällä, eli jaetaan investointikustannus vuotuisella säästöllä.

Panasonic-ilmalämpöpumppu maksaa asennettuna noin 1 600 €. Takaisinmaksuajaksi 215 € vuosisäästöllä tulee tällöin noin 7,5 vuotta.

Fujitsu-ilmalämpöpumppu maksaa asennettuna noin 2 250 €. Takaisinmaksuajaksi 169 € vuosisäästöllä tulee tällöin noin 13 vuotta.

Gree-ilmalämpöpumppu maksaa asennettuna noin 1 700 €. Takaisinmaksuajaksi 172 € vuosisäästöllä tulee tällöin noin 10 vuotta.

Takaisinmaksuaika voidaan myös ajatella siten, että otetaan vertailuun saman valmistajan vain viilennykseen tarkoitettu ilmalämpöpumppu, eli ilmalämpöpumppu, jossa ei ole nelitieventtiiliä. Näin saadaan selville, kuinka nopeasti investointi nelitieventtiilillä varustettuun ilmalämpöpumppuun, jäähdyttävän sijasta, maksaa itsensä takaisin. Lasketaan siten takaisinmaksuaika investointien erotuksella ja vuosittaisella säästöllä.

Panasonic:lta kerrostaloasuntoon sopiva viilentävä ilmalämpöpumppu mallia PZ35VKE, maksaa asennettuna noin 1 400 €. Investoinnin erotus on vain 200 €, joten investointi lämmittävään ilmalämpöpumppuun maksaa itsensä takaisin jo ensimmäisenä lämmityskautena.

Fujitsulta kerrostaloasunnon viilennykseen sopii hyvin General KMCC 09-ilmalämpöpumppu ja se maksaa asennettuna 1 700 €. Investointien erotus on noin 550 €, joten investointi lämmittävään ilmalämpöpumppu maksaa itsensä takaisin vähän yli 3 vuodessa.

Gree Bora 35-A/2/W on kerrostaloasuntoon sopiva viilentävä ilmalämpöpumppu ja se maksaa asennettuna noin 1 350 €. Investointien erotus on noin 350 €, joten investointi lämmittävään ilmalämpöpumppuun maksaa itsensä takaisin 2 vuodessa.

5 VERTAILU JA POHDINTA

5.1 Vertailu

Vertailuun ilmalämpöpumppujen lämmitysenergian säästöpotentiaalista kerrostalossa, otettiin kolme ilmalämpöpumppua eri valmistajilta. Taulukkoon 12 on lisätty jokaisesta ilmalämpöpumpusta laskennasta saatuja tuloksia.

TAULUKKO 12. Ilmalämpöpumppujen laskennan tulokset.

Ilmalämpöpumppu	Panasonic CZ25TKE	Fujitsu KHCAN 9	Gree Amber 25-A/2/W
Sähköenergian kulutus	2 121 kWh	2 393 kWh	2 380 kWh
SPF-luku	3,2	2,8	2,8
Tehomitoituspiste	-17 °C	-27 °C	-23 °C
Lisälämmitysenergiatarve	11 kWh	0 kWh	0 kWh
Vuotuinen säästö	n. 220 €	n. 170 €	n. 170 €
Hankintahinta	1 600 €	2 250 €	1 700 €
Takaisinmaksuaika	7,5 vuotta	13 vuotta	10 vuotta
Vastaavan hankintahinta ilman nelitieventtiiliä	1 400 €	1 700 €	1 350 €
Takaisinmaksuaika investointien erotuksella	1 vuotta	3 vuotta	2 vuotta

Tuloksista nähdään, että Panasonic-ilmalämpöpumppu olisi jokaisessa tuloksessa paras. Fujitsu- ja Gree-ilmalämpöpumput ovat melko tasaisia sähkönenergiankulutuksiltaan ja niillä on samat SPF-luvut, mutta Fujitsu on hieman molempia ilmalämpöpumppuja kalliimpi. Tehomitoituspiste on kuitenkin Panasonic-ilmalämpöpumpulla huomattavasti huonompi kuin muilla ilmalämpöpumpuilla.

Laskennat on suoritettu ympäristöministeriön lämpöpumppujen energialaskentaoppaan mukaan ja ne ovat täysin laskennallisia. Laskennan mukaan lisälämmitystä tulisi vain Panasonic-ilmalämpöpumpulle, joka pystyy kattamaan koko asunnon lämmitystehontarpeen -17 °C asti ja sen alin toimintalämpötila on -25

°C. Tällekin ilmalämpöpumpulle lisälämmitysenergiaa tarvitaan laskennallisesti vain 11 kWh lämmityskauden aikana. Laskentojen vähäinen lisälämmitysenergiantarve johtuu siitä, että oppaassa käytetään liitteen 4 mukaisia säätietoja Tampereen säävyöhykkeellä 2, jossa mitoituuslämpötila on -29 °C. Säätiedoissa on astetunteja merkitty alimmillaan -21 °C, eli laskennallisesti Tampereella ei ole lämmityskauden aikana referenssisäätietojen mukaan astetunteja alle -21 °C. Panasonic-ilmalämpöpumpulla saadut säästöt ovat melko varmasti todellisuudessa laskennallisia säästöjä pienemmät, koska se kykenee toimimaan vain -25 °C asti ja lisälämmitystä tarvitaan jo -17 °C alaspäin ja siitä alemmilla lämpötiloilla sen lämmitysteho laskee rajusti kuten kuvassa 9 voidaan nähdä. Nelitieventtiilillä varustetun ilmalämpöpumpun investointi verrattuna viilentävään ilmalämpöpumpun investointiin maksaisi itsensä takaisin lämmitysenergian säästöillä yhdessä vuodessa.

Gree-ilmalämpöpumppu on hintaansa nähden erittäin tehokas. Sen tehomitoituspiste sijaitsee -23 °C, joten todellisuudessa ei lisälämmitysenergiaa tulisi lämmityskauden aikana montaa kilowattituntia. Sen alin toimintalämpötila on -30 °C ja siinäkin ulkolämpötilassa se kykenee tuottamaan noin 2,4 kW lämpötehoa. Gree maksaa vain 100 € enemmän kuin Panasonic, joten Gree olisi todellisuudessa tuloksista huolimatta parempi valinta kerrostaloasuntoon. Investointi nelitieventtiilillä varustettuun, lämmittävään ilmalämpöpumppuun verrattuna saman merkin vastaavaan viilentävään ilmalämpöpumppuun, maksaisi itsensä takaisin lämmitysenergian säästöillä 2 vuodessa.

Fujitsu-ilmalämpöpumppu on vertailun laitteista selvästi kallein, mutta myös selvästi tehokkain. Sen tehomitoituspiste on ulkolämpötilan ollessa -27 °C ja kuvasta 10 voidaan nähdä, että se kykenee kattamaan melkein koko lämmitystehontarpeen ulkolämpötilassa -29 °C. Todellisuudessa Fujitsu ei luultavasti koko lämmityskautena tarvitsisi lisälämmitysenergiaa. Fujitsu maksaa noin 500 € enemmän kuin Gree, joten Gree-ilmalämpöpumppu taitaa olla kuitenkin järkevämpi näistä kahdesta. Takaisinmaksuaika nelitieventtiilillä varustetun ja viilentävän ilmalämpöpumpun investointien erotuksella lämmitysenergian säästöillä laskettuna on noin 3 vuotta.

Vertailun kolmesta ilmalämpöpumpusta mielestäniärkevin kerrostaloasuntoon olisi Gree Amber 25-A/2/W. Sen investointikustannus ei ole kovin suuri ja se kykenee kattamaan asunnon lämmitysenergiatarpeen riittävän alhaiselle ulkolämpötilalle, joten lisälämmitysenergiaa ei tarvita kuin todella harvoin talven aivan kovimmilla pakkasilla, jotka ovat nykyään todella harvassa.

5.2 Pohdinta

Ilmalämpöpumpulla lämmittämiseen kerrostaloasunnossa kuitenkin liittyy vielä paljon haasteita, että se olisi kannattavaa ja vaivatonta. Kerrostaloissa on lähes aina yhteinen lämmönjako, jolloin lämmityskustannukset maksetaan yhtiövästikkeen muodossa. Taloyhtiön kukin osakas maksaa yhtä paljon suhteutettuna asunnon neliömääriin ja lämmitystehontarpeeseen. Nykyään, jos osakas investoi ilmalämpöpumpun, on se lähes aina viilennykseen tarkoitettu. Siispä osakas kustantaa itse sen sähkönkulutuksen eli se kytketään asunnon sähkömittarin taakse. Jos osakas päättäisi lämmittää ilmalämpöpumpullaan asuntoa, ottaisi se sähkön osakkaan sähkömittarin takaa eli osakas maksaisi sähkön itse. Osakas joutuisi kuitenkin maksamaan yhteisen lämmitysmaksun myös yhtiövästikkeen muodossa, koska osakas kuitenkin käyttää kaukolämpöä mahdolliseen lisälämmitysenergiaan ja käyttövedenlämmittämiseen, joten osakas maksaisi lämmityksestä kaksi kertaa. Osakas voi siis ilmalämpöpumpulla lämmittäessä vain nostaa oman asunnon lämmityskustannuksia. Ratkaisuvaihtoehtoina voisi olla kaukolämmön asuntokohtainen energiamittarointi, tai se, että lämmityskautena ilmalämpöpumppu käyttäisi taloyhtiön sähköä ja siitä saatu säästö huomioitaisiin osakkaan yhtiövästikkeessä. Mutta mikä ratkaisu olisi helpoin ja kustannustehokkain?

Siispä isoimpana jatkotutkimuskysymyksenä tässä järjestelmässä olisi, kuinka ilmalämpöpumpulla saadun säästön saisi kustannustehokkaimmin osakkaalle, joka sillä asuntoaan lämmittää.

LÄHTEET

Tilastokeskus. Asuinkerrostalojen lämmitysenergiankulutus eri lämmitystavoilla. Tilastoitu vuonna 2020. https://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ene_asen/statfin_asen_pxt_11zr.px/table/tableViewLayout1/

Koutsi. HSY:n verkkokurssit. Lämmitys. <https://koutsi.hsy.fi/courses/vuokralaisen-energiaeksperttikurssi/lessons/lammitys-3/>

Motiva. Vesikeskuslämmitys. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentamisen/lammitysjarjestelman_valinta/lammonjaon_vaihtoehdot/vesikeskuslammitys

Uponor. Lattialämmitys ja -viilennys. <https://www.uponor.com/fi-fi/tuotejarjestelmat/lattialammitys-viilennys>

Motiva. Lämpö ilmassa. Ilmalämpöpumput. https://www.motiva.fi/files/7964/Lampoa_ilmassa_Ilmalampopumput.pdf

Scanoffice. Ilmalämpöpumppu opas. <https://www.scanoffice.fi/tuoteryhma/ilmalampopumput/opas/mika-on-ilmalampopumppu/miten-ilmalampopumppu-toimii/>

Toshiba suomi. Ilmalämpöpumppu kerrostaloon. <https://www.toshibasuomi.fi/tuotteen-valinta/ilmalampopumppu-kerrostaloon/>

Wiher. COP- ja SCOP-luvut. <https://wiher.fi/cop-scop-luku/>

Talotekniikkainfo.fi. Lämmitys ilmalämpöpumpulla. <https://talotekniikkainfo.fi/ratkaisut-etusivu/lammitys-ilmalampopumpulla>

Kaappola, E., Hirvelä, A., Jokela, M. & Kianta, J. 2014. Kylmätekniiikan perusteet.

Korkein oikeus. 2021. Linjaus osakkeenomistajan oikeudesta asentaa ilmalämpöpumppu parvekkeelleen. <https://korkeinoikeus.fi/fi/index/ajankohtaista/tiedotteet/2021/kkolinjasiosakkeenomistajanoikeuttaasentaailmalampopumppuparvekkeelleen.html>

Tampereen rakentamistapaohjeet julkisivumuutoksiin. Ympäristölautakunta 2016. [Julkisivumuutokset \[Tampereen kaupunki - Asuminen ja ympäristö - Rakentaminen ja kiinteistöt - Rakennusvalvonta - Lait ja ohjeet\]](#)

Lämpöpumppuhuolto.com. Ilmalämpöpumppu kerrostaloon. <https://www.xn--lmpumpppuhuolto-0kb22a.com/index.php/tietoa-lampopumpuista/ilmalampopumppu/ilmalaempepumpu-kerrostaloon>

LVI-kalenteri. SuLVI. 2022. Lämpötekniisiä kaavoja.

Eurofins. 2018. Gree-ilmalämpöpumpun toimintakoe matalissa ulkolämpötiloissa. <https://www.scanoffice.fi/wp-content/uploads/sites/11/2018/11/S-04171-18-printed-version.pdf>

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

Sahko.tk. Sähkön spot-hinta tilastot. 2022. <https://sahko.tk/>

Energiavirasto. 2022. Sähkön siirron verkonhaltijakohtaiset keskihinnat. <https://energiavirasto.fi/sahkon-hintatilastot>

Energiateollisuus ry. 2022. Kaukolämmön hintatilasto. https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/kaukolammon_hintatilasto.html#material-view

Biottori. Ilmalämpöpumppujen hintoja. <https://www.biottori.fi/tuoteryhma/ilmalampopumput>

LIITTEET

Liite 1. Panasonic CZ25TKE.

Vertailun ilmalämpöpumpun tekniset tiedot. [Panasonic-Z-R32-lampopumput20.pdf \(ilmalampopumppu.fi\)](https://www.panasonic-z-r32-lampopumput20.pdf)



Pieni ja pippurinen

CZ on luotu pieneen kotiin ja tiukkaan budjettiin

Suomen suosituin ilmalämpöpumppu on nyt entistäkin suosittuampi, sillä nyt myös siitä löytyy joustava ylläpitolämpö (8–15 °C). Tämä tekee siitä erinomaisen ratkaisun kesämökille, metsästysmajaan, autotalliin, työmaatoimistoon tai varastoon. Kaiken olennaisimman sisältävä peruspumppu sopii loistavasti pieneen kotiin ja tiukkaankin budjettiin. Edullisuutensa ja hiljaisuutensa vuoksi CZ on hyvä malli myös kerrostaloasunnon viilentäjäksi.



Seinään kiinnitettävä CZ • R32-KYLMÄÄINE

Maksimikapasiteetti			5,20 kW	6,70 kW
Sisäyksikkö			CS-CZ25TKE	CS-CZ35TKE
Ulkoyksikkö			CU-CZ25TKE	CU-CZ35TKE
Lämmityskapasiteetti	Nimellisarvo (min.–maks.)	kW	3,40 (0,85–5,20)	4,00 (0,85–6,70)
		W/W	4,66 A	4,08 A
Lämmityskapasiteetti, -7 °C		kW	3,30	4,05
		W/W	2,54	2,19
Lämmityskapasiteetti, -15 °C ²⁾		kW	2,70	3,60
		W/W	2,16	2,11
Lämmityskapasiteetti, -20 °C ²⁾		kW	2,10	3,00
		W/W	1,91	1,88
Lämmityskapasiteetti, -25 °C ²⁾		kW	1,50	2,40
		W/W	1,50	1,60
SCOP		W/W	4,10 A+	4,10 A+
Nimellislämpöteho, -10 °C		kW	2,80	3,60
Tuloteho, lämmitys	Nimellisarvo (min.–maks.)	kW	0,730 (0,180–1,450)	0,980 (0,180–2,000)
Vuositainen sähkönkulutus (lämmitys) ³⁾		kWh/a	956	1 229
Jäähdytyskapasiteetti	Nimellisarvo (min.–maks.)	kW	2,50 (0,85–3,00)	3,50 (0,85–4,00)
SEER		W/W	6,60 A++	6,30 A++
Nimellislämpöteho (jäähdytys)		kW	2,50	3,50
Tuloteho, jäähdytys	Nimellisarvo (min.–maks.)	kW	0,535 (0,185–0,730)	0,935 (0,185–1,140)
Vuositainen sähkönkulutus (jäähdytys) ³⁾		kWh/a	268	468
Sisäyksikkö				
Virtalähde		V	230	230
Suosittelu sulakekoko		A	10	10
Kytkenä, sisäyksikkö/ulkoyksikkö		mm ²	4 x 1,5	4 x 1,5
Ilmamäärä	Lämmitys/jäähdytys	m ³ /h	708 / 666	768 / 720
Kosteudenpoisto		l/h	1,5	2,0
Äänenpainetaso ⁴⁾	Jäähdytys-lämmitys (Hi/Lo/O-Lo)	dB(A)	40 / 27 / 21 – 39 / 25 / 22	42 / 33 / 21 – 42 / 28 / 22
Mitat/paino	K x L x S	mm / kg	290 x 850 x 199 / 8	290 x 850 x 199 / 8
Ulkoyksikkö				
Ilmamäärä	Lämmitys/jäähdytys	m ³ /h	1 782 / 1 878	1 926 / 1 974
Äänenpainetaso ⁴⁾	Lämmitys – jäähdytys (Hi/Lo)	dB(A)	47 / 44 – 46 / 43	50 / 47 – 48 / 45
Mitat ⁵⁾ / paino	K x L x S	mm / kg	622 x 824 x 299 / 36	622 x 824 x 299 / 36
Putkiliitännät	Neste-/kaasuputki	Tuumaa (mm)	1/4 (6,35) / 3/8 (9,52)	1/4 (6,35) / 3/8 (9,52)
Putkiston pituusalue / korkeusero (tulo/lähtö)		m	3 – 20 / 10	3 – 20 / 10
Putken pituus lisäkaasulle / lisäkaasun määrä		m / g/m	7,5 / 10	7,5 / 10
R32-kylmäaineen määrä		kg	0,83	0,86
Käyttöalue	Lämmitys/jäähdytys min. – maks.	°C	-25 – +24 / +16 – +43	-25 – +24 / +16 – +43

Liite 2. Gree Amber 25-A/2/W.

Vertailun ilmalämpöpumpun tekniset tiedot. https://www.scanvarm.fi/wp-content/uploads/2021/04/gree_amber-25-35_esite.pdf

Tekniset tiedot

Malli			Amber 25-A/2/W	Amber 35-A/2/W
Sisäyksikkö			GWH09YD-S6DBA2A/I	GWH12YD-S6DBA2A/I
Ulkoyksikkö			GWH09YD-S6DBA2A/O	GWH12YD-S6DBA2A/O
Lämmitystoiminto	Lämmitysteho (nimellisteho)	kW	0,7–5,5 (3,5)	0,88–7,2 (4,2)
	Toiminta-alue (ulkolämpötila)	°C	-30 ∞ +24	-30 ∞ +24
	SCOP, lämpökerroin	kW / kW	5,10	5,10
	Energiatohokkuusluokka	A–E	A+++	A+++
Jäähdytystoiminto	Jäähdytysteho (nimellisteho)	kW	0,7–5,0 (2,7)	0,85–5,0 (3,5)
	Toiminta-alue (ulkolämpötila)	°C	-18 ∞ +54	-18 ∞ +54
	SEER, energiatohokkuuskerroin	kW / kW	8,50	8,50
	Energiatohokkuusluokka	A–E	A+++	A+++
Sisäyksikkö	Mitat, k x l x s	mm	301x996x225	301x996x225
	Paino	kg	13	13,5
	Äänenpaine (min-max)	dB (A)	22-44	22-44
	Ilmavirta (min-max)	m ³ /h	350/450/580/630/680/730/800	350/450/580/630/680/730/800
	IP-luokitus	Moisture class	IP20	IP20
Ulkoyksikkö	Mitat, k x l x s	mm	596x899x378	596x899x378
	Paino	kg	44,5	45,5
	Äänenpaine maksimi (1 m päästä)	dB(A)	53	54
	IP-luokitus	Moisture class	IP24	IP24
	Sulakekoko	A	10	16
Asennustiedot	Nesteputken halkaisija	mm (tuumaa)	6,35 (1/4")	6,35 (1/4")
	Kaasuputken halkaisija	mm (tuumaa)	9,52 (3/8")	9,52 (3/8")
	Maksimi putkipituus	m	15	20
	Maksimi korkeusero	m	10	10
	Lisätäyttö 5m jälkeen	g/m	16	16
	Jännite, vaihe/taajuus	V,Vaihe/Hz	230, 1/50	230, 1/50
Sähköistys			ulkoyksikkö	ulkoyksikkö
	Kylmäaine (GWP 675)	tyyppi	R32 (1,0kg)	R32 (1,0kg)

Liite 3. Fujitsu Nordic premium power KHCAN 9

Vertailun ilmalämpöpumpun tekniset tiedot. https://www.klima-therm.com/fi/fi-les/266/Fujitsu_ASYG09-14KH.pdf

MALLI	SISÄYKSIKÖ ULKYOYKSIKÖ		ASYG09KHCA AOYG09KHCAN	ASYG12KHCA AOYG12KHCAN	ASYG14KHCA AOYG14KHCAN
Teho (min-max)	Jäähdytys Lämmitys	kW	2.5 (0.9~4.65)	3.5(0.9~4.8)	4.2 (0.9~5.5)
			3.2 (0.9~7.2)	4.0 (0.9~7.4)	5.4 (0.9~8.2)
Hyötysuhde	Jäähdytys Lämmitys	SEER/EER SCOP/COP	9.36/5.56	9.06/4.61	8.36/4.29
			5.21/5.52	4.89/5.06	4.86/4.66
Energialuokka			A+++	A+++	A++
			A+++	A++	A++
Jännite/vaihe/taajuus	V/ - /Hz/A		230/1/50	230/1/50	230/1/50
Virta (max)	Jäähdytys Lämmitys	A	2.1/6.5	3.5/7.5	4.4/9.0
			2.7/10.5	3.6/11.0	5.2/11.5
Ääni	Sisäyks: (hij./max) Ulkoyks:	dB (A)	23/41		27/44
			47 (43)		53 (49)
Ilmavirta/sisäyksikkö	Jäähd./läm.(max.)	m ³ /h	830/830		900/900
Mitat (KxLxS), nettopaino	Sisäyksikkö	mm	295x940x270		
		kg	14		
	Ulkoyksikkö	mm	620x790x290		
		kg	36		
Kylmäaine R-32		gr	1100		
Lisätäyttö 15m		gr/m	20		
Putkipituus (min-max)		m	3-20		
Putkikoot		tum	1/4" - 3/8"		
Korkeusero (max)		m	15		
Toiminta-alue	Jäähdytys Lämmitys	°C	-10~46		
			-30~24		

Oikeudet muutoksiin pidetään.

Ulkolämpötila °C	Sisälämpötila +20°C					
	ASYG09KHCAN		ASYG12KHCAN		ASYG14KHCAN	
	TC (kW)	PI (kW)	TC (kW)	PI (kW)	TC (kW)	PI (kW)
-25	3.15	1.65	3.24	1.68	4.45	2.14
-20	3.38	1.80	3.48	1.83	4.93	2.40
-15	4.09	1.97	4.20	2.00	5.88	2.60
-10	5.10	2.02	5.24	2.05	6.41	2.53
-5	5.70	2.04	5.86	2.07	6.93	2.47
0	6.09	2.08	6.26	2.11	7.46	2.40
5	6.86	2.17	7.05	2.20	7.99	2.34
7	7.20	2.21	7.40	2.24	8.20	2.31

Liiketunnistin säästää energiaa

Sensori tunnistaa liikkeen huoneessa ja säätelee pumpun toimintaa sen mukaisesti. Tyhjä huone tarvitsee vähemmän lämmitys- ja jäähdytysenergiaa. Automaatiikan ansiosta ilmalämpöpumppusi on entistäkin energiatehokkaampi.

Ylläpitolämmitys +10°C



Lämpöpumppu saadaan napin painalluksella säästeliääle +10°C ylläpitolämmitykselle. Vapaa-ajan asunto ja tilat, joissa ei oleskella säännöllisesti, pysyvät kuivina. Tekstiilit säilyvät raikkaina ja lämpö saadaan nopeasti nostettua käyttäen Power Full -toimintoa.

Liite 4. Energialaskennan säätiedot säävyöhykkeellä 2.

Säävyöhykkeet I ja II					
Ulkoilman lämpötila Tu, °C	Lämpötilavälin kesto h	Kumulatiivinen lämpötilavälin kesto		DH (20 °C) astetunnit	Kumulatiivinen DH (20 °C) kumulatiiviset astetunnit
		h	h	°Ch	°Ch
-22	0	0	0	0	0
-21	7	7	7	287	287
-20	19	26	26	771	1058
-19	23	49	49	888	1946
-18	21	70	70	799	2745
-17	30	100	100	1102	3847
-16	55	155	155	1987	5834
-15	83	238	238	2913	8747
-14	63	301	301	2144	10891
-13	72	373	373	2370	13262
-12	52	425	425	1654	14916
-11	49	474	474	1521	16436
-10	49	523	523	1472	17908
-9	76	599	599	2210	20118
-8	124	724	724	3483	23601
-7	146	870	870	3950	27551
-6	169	1039	1039	4396	31947
-5	174	1213	1213	4358	36305
-4	193	1406	1406	4625	40930
-3	214	1620	1620	4916	45846
-2	237	1856	1856	5203	51050
-1	301	2158	2158	6328	57378
0	519	2676	2676	10372	67750
1	494	3170	3170	9387	77137
2	460	3630	3630	8278	85415
3	354	3984	3984	6016	91432
4	280	4264	4264	4485	95917
5	301	4566	4566	4520	100437
6	279	4844	4844	3900	104337
7	300	5144	5144	3895	108232
8	280	5424	5424	3364	111595
9	285	5709	5709	3132	114727
10	290	5999	5999	2900	117627
11	293	6292	6292	2641	120268
12	293	6585	6585	2341	122608
13	322	6907	6907	2257	124865
14	297	7204	7204	1782	126647
15	291	7495	7495	1454	128101
16	309	7804	7804	1237	129338
17	209	8014	8014	628	129966
18	180	8194	8194	361	130327
19	160	8354	8354	160	130487
20	142	8496	8496	0	130487
21	98	8594	8594	0	130487
22	48	8643	8643	0	130487
23	41	8684	8684	0	130487
24	29	8713	8713	0	130487
25	33	8746	8746	0	130487
26	6	8752	8752	0	130487
27	3	8755	8755	0	130487
28	5	8760	8760	0	130487