



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Samuel Rautakoski

Likaantumisen vaikutus ilmalämpöpumpun suorituskykyyn

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

29.8.2019

Tekijä Otsikko	Samuel Rautakoski Likaantumisen vaikutus ilmalämpöpumpun suorituskykyyn
Sivumäärä Aika	52 sivua + 4 liitettä 29.8.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-suunnittelu
Ohjaajat	yliopettaja Jukka Yrjölä
<p>Insinööriyön tarkoituksena oli tutkia likaantumisen vaikutuksia ilmalämpöpumppujen suorituskykyyn. Tavoitteena oli saada monipuolista tietoa likaantumisen haitoista. Ilmalämpöpumput ovat saavuttaneet suuren suosion helpon asentamisen ja pienten investointikustannusten ansiosta. Takaisinmaksuaika-arviot vaihtelevat kolmesta seitsemään vuoteen. Näissä laskelmissa ei oteta huomioon laitteiden likaantumisesta johtuvaa suorituskyvyn laskua eikä huoltokustannuksia.</p> <p>Kahden käytössä olleen ilmalämpöpumpun suorituskykyä mitattiin tallentavilla mittalaitteilla keväällä 2019. Tämän jälkeen ilmalämpöpumppujen sisäyksiköt puhdistettiin ja mittaukset toistettiin. Mitattavat ilmalämpöpumput sijaitsivat Uudellamaalla asumiskäytössä olevissa huoneistoissa.</p> <p>Tutkimus osoitti ilmalämpöpumppujen sisäyksiköiden likaantumisella olevan näissä kohteissa merkittävää haittaa laitteiston toiminnalle. Mitattujen ilmalämpöpumppujen suorituskyvyissä tapahtui merkittävää parannusta, kun sisäyksiköt puhdistettiin. Laitteiden ulospuhallusilman nopeus oli heikentynyt likaantumisen myötä merkittävästi. Lisäksi lämpötehot kasvoivat ja lämpökertoimet paranivat puhdistuksen jälkeen. Puhdistus johti myös pidempiin kompressorin käyntijaksoihin molemmissa kohteissa. Tämä saattaa pidentää laitteiden käyttöikää.</p> <p>Työn mittauksiin liittyi epävarmuutta johtuen käytetyistä mittausmenetelmistä sekä vallitsevista olosuhteista. Likaisien ja puhtaiden ilmalämpöpumppujen mittauksia ei päästy tekemään täysin samanlaisissa olosuhteissa. Lisäksi laitteiden käyntijaksojen muutoksia ei pystytty täysin selittämään.</p>	
Avainsanat	ilmalämpöpumppu, COP, suorituskyky

Author Title	Samuel Rautakoski Effect of Fouling on Air-source Heat Pump Performance
Number of Pages Date	52 pages + 4 appendices 29 August 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building services engineering
Professional Major	HVAC Engineering
Instructors	Jukka Yrjölä, Principal Lecturer
<p>The purpose of this final year project was to study the effects of indoor unit fouling on the performance of a heat pump. The aim was to gather information on the problems caused by fouling.</p> <p>The project measured the performance of two fouled air-source heat pumps. After the measurement, the indoor unit of the air-source heat pump was cleaned, and the measurements were repeated. The measurement results of fouled and cleaned air-source heat pump were compared.</p> <p>The results showed that fouling in the indoor unit reduces the performance of the air-source heat pump. The airflow produced by the indoor units of the measured air-source heat pumps increased with the cleaning of the indoor unit. A cleaned heat pump also produced more thermal energy than a fouled one. The cleaning resulted in a longer compressor cycle for both air-source heat pumps, which can extend the life of the air-source heat pump.</p>	
Keywords	air-source heat pump, COP, performance

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Ilmalämpöpumppu	3
2.1	Lämpöpumput	3
2.2	Toimintaperiaate	4
2.3	Sisäyksikkö	7
2.4	Ulkoyksikkö	8
2.5	Käyttöikä	8
3	Likaantumisen vaikutukset	9
3.1	Hygienia	9
3.2	Suorituskyky	10
4	Ilmalämpöpumpun huolto	13
5	Mittausmenetelmät	15
5.1	Mittaukset yleisesti	15
5.2	Lämpötilojen mittaus	15
5.3	Sähkön ottotehon mittaus	16
5.4	Ilmavirran mittaus	17
5.5	Lämpöpumpun asetukset	19
6	Mittaus kohteet	20
6.1	Rivitalokohde	20
6.2	Omakotitalokohde	22
7	Mittaustulokset ja laskelmat	24
7.1	Kaavat	24
7.2	Rivitalo	25
7.2.1	Ilmavirrat	25

7.2.2	Tunnin tarkastelujakso	26
7.2.3	Kahden tunnin tarkastelu	28
7.2.4	Kuuden tunnin tarkastelu	30
7.2.5	Koko mittausjakso	32
7.3	Omakotitalo	34
7.3.1	Ilmavirrat	34
7.3.2	Tunnin tarkastelujakso	36
7.3.3	Kahden tunnin tarkastelujakso	38
7.3.4	Kuuden tunnin tarkastelujakso	41
7.3.5	Koko mittausjakso	43
7.4	Mittauksien päätelmät	45
8	Pohdinta	47
9	Yhteenveto	49
	Lähteet	51
	Liitteet	
	Liite 1. Rivitalokohteen ilmalämpöpumpun tekniset tiedot	
	Liite 2. Omakotitalokohteen ilmalämpöpumpun tekniset tiedot	
	Liite 3. Lämpötilan pysyvyystiedot säävyöhykkeillä 1 ja 2	
	Liite 4. Rivitalon ilmalämpöpumpun energiansäästölaskelmat	

Lyhenteet

COP	Lämpökerroin, joka kertoo laitteen hyötysuhteen
F-kaasut	Fluoratut kasvihuonekaasut
SCOP	Lämpökerroin, joka kertoo laitteen lämmityskauden hyötysuhteen
Sulpu	Suomen lämpöpumppuyhdistys
Tukes	Turvallisuus- ja kemikaalivirasto

1 Johdanto

Perinteiset ilma-ilmalämpöpumput ovat hyvä lämmönlähde olemassa olevan lämmitysjärjestelmän rinnalle. Näissä tapauksissa on tarkoitus kattaa osa lämmitystehon tarpeesta ilmalämpöpumpulla ja loppu kiinteistön muulla lämmitysjärjestelmällä. Ilmalämpöpumput ovat olleet mediassa esillä näkyvästi ja viime aikoina myyntiluvut ovat kasvaneet voimakkaasti. Pienen investointikustannuksen ja helpon asennuksen ansiosta nämä perinteiset ulkoilmasta lämmön ottavat ja sisäilmaan sen siirtävät lämpöpumput ovat suosituimpia lämpöpumppuja Suomessa. Ilmalämpöpumpun keskimääräinen myyntihinta painotettuna laitteen teholla on Sulpun mukaan noin 2 400 € (1). Ilmalämpöpumppuja käytetään myös asumismukavuuden parantamiseen. Tehokkaan jäähdytys ominaisuuden ansiosta niillä saadaan viilennettyä sisäilman lämpötila viihtyisäksi. Lämmin kesä 2018 kasvattikin ilmalämpöpumppujen myyntiä edellisvuodesta voimakkaasti. Vuonna 2018 Suomeen myytiin noin 60 000 ilmalämpöpumppua (1). Näiden ilma-ilmalämpöpumppujen takaisinmaksuaikalaskelmat kertovat hyviä lukuja lämpöpumppujen kannattavuudesta. Lyhyimmät takaisinmaksuaika-arviot pyörivät kolmen vuoden paikkeilla (2). Kuitenkin laadukkaan ilmalämpöpumpun takaisinmaksuaika on Motivan arvion mukaan 4–7 vuotta (3). Näissä laskelmissa jätetään huoltokustannukset ja laitteiston likaantumisen aiheuttavat haitat suorituskykyyn huomioimatta. Laitteiden likaantuessa myös niiden suorituskyky heikkenee.

Työn tarkoituksena on tutkia ilmalämpöpumpun likaantumista ja mitata sen vaikutuksia suorituskykyyn. Tutkimuksia varten mitattiin kahden ilmalämpöpumpun suorituskykyä. Ilmalämpöpumput ovat olleet käytössä normaaleissa asuinrakennuksissa. Mittauksien jälkeen ilmalämpöpumppujen sisäyksiköt puhdistettiin ja tämän jälkeen mittaukset toistettiin. Likaisen ja puhtaan laitteen mittaustuloksia vertailtiin keskenään. Mittausten perusteella voidaan arvioida likaantumisen vaikutusta ilmalämpöpumpun suorituskykyyn. Työ rajataan käsittelemään ainoastaan ilma-ilmalämpöpumppuja.

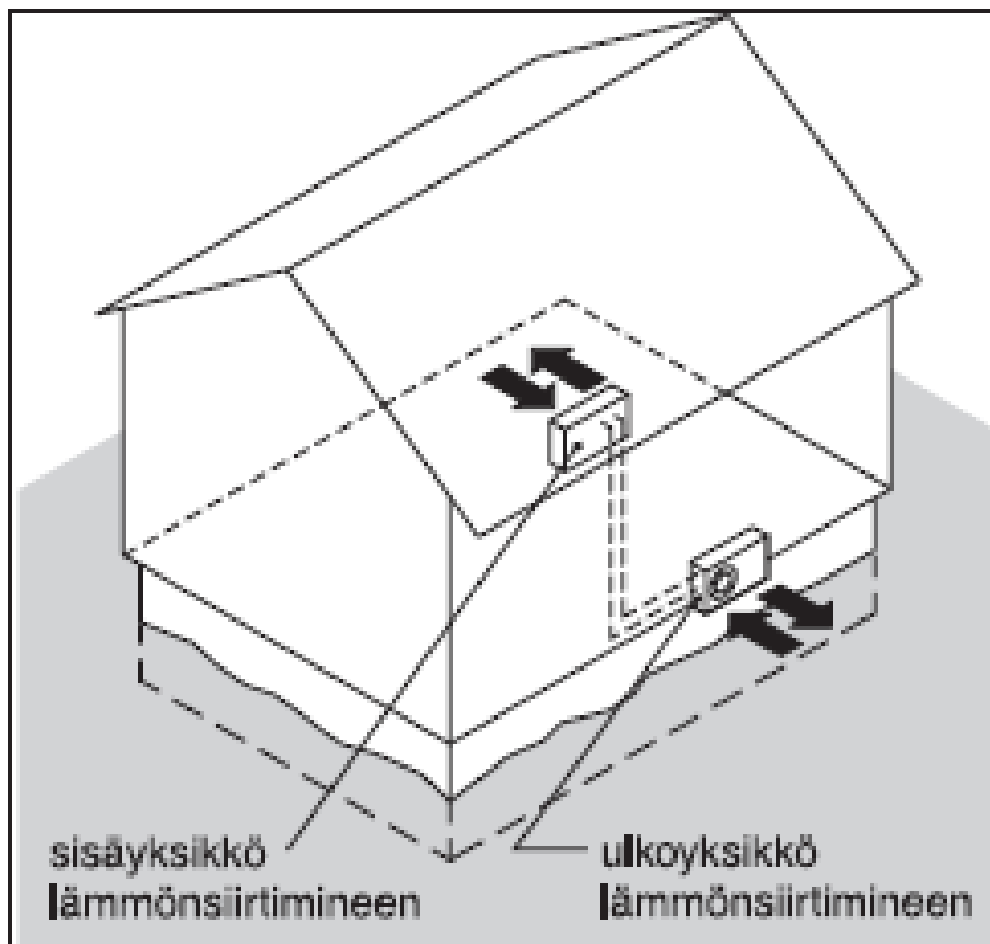
Työn tilaajana on Teamtech Oy, joka on vuonna 2009 perustettu LVI-alan yritys. Teamtech Oy on kehittänyt lämmitys- ja jäähdytyskennojen Freshwash-pesumenetelmän kasvavaan tarpeeseen. Freshwash-pesulla ilmalämpöpumput ja puhallinkonvektorit voidaan pestä paikkoja sotkematta laitteen ollessa paikallaan. Teamtech Oy tekee myös

monipuolisesti kaikkia LVI-töitä. Yrityksessä työskentelee kuusi henkilöä ja liikevaihto oli vuonna 2018 noin 550 000 €. Teamtech Oy:n kehittämää pesumenetelmää hyödyntää yli kymmenen yhteistyökumppaniyritystä eri puolilla Suomea. Yrityksen tavoitteena on toimia Pohjoismaiden johtavana erikoispesujen tekijänä yhteistyöverkostonsa avulla.

2 Ilmalämpöpumppu

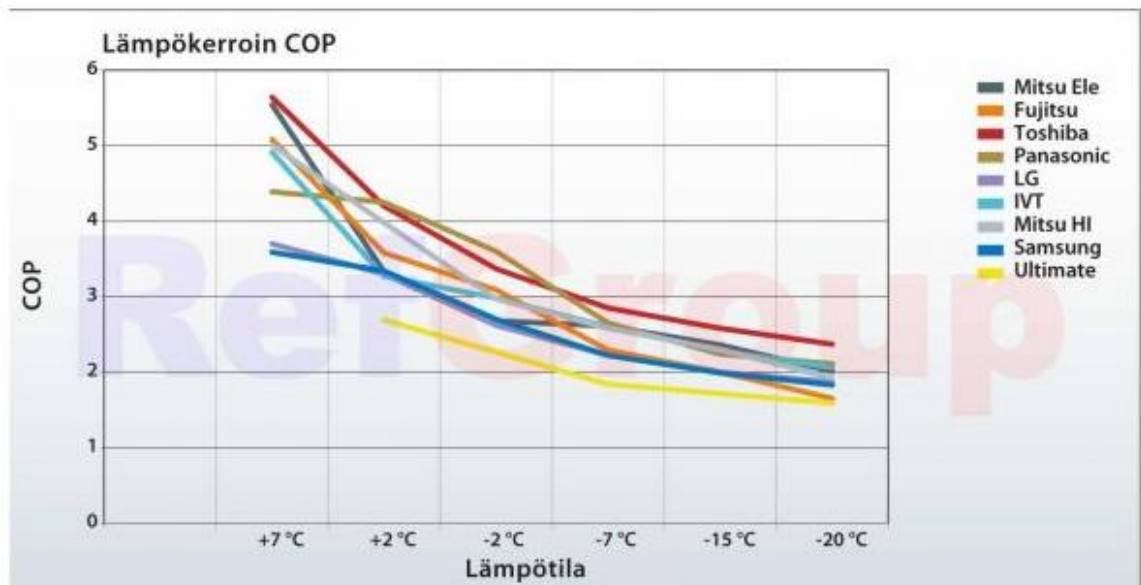
2.1 Lämpöpumput

Ilmalämpöpumput jaetaan kahteen ryhmään, ilma-ilmalämpöpumppuihin ja vesi-ilmalämpöpumppuihin. Nämä eroavat toisistaan siten, että ilma-ilmalämpöpumppu siirtää ulkoilmasta saatavan lämpöenergian sisäyksikön kautta puhalluksena lämmitettävään tai jäähdytettävään kohteeseen. Vesi-ilmalämpöpumput siirtävät lämmön veteen, jota kierätetään talon lämmönjakojärjestelmässä, esimerkiksi radiaattoreissa tai lattialämmitysputkistoissa. Tässä työssä käsitellään vain kuvan 1 mukaisia perinteisiä ilma-ilmalämpöpumppuja perinteisillä seinäasenteisilla sisäyksiköillä.



Kuva 1. Ilma-ilmalämpöpumpun toimintaperiaate (4).

Ilmalämpöpumppuja vertaillaan COP- tai SCOP-kertoimen perusteella. COP-kerroin on jäämässä pois käytöstä Euroopassa ja SCOP-lämpökerrointa tullaan käyttämään tämän tilalla. COP- tai SCOP-kerroin kuvaa laitteen tuottaman lämpöenergian suhdetta kulutetun sähköenergian määrään. COP-arvo mitataan +7 °C:n ulkolämpötilassa. Ongelman muodostaa pelkän COP-arvon vertailussa se, että tämä ei kerro laitteen suorituskyvystä Suomen olosuhteissa, jossa lämpötila on lämmityskaudella pitkän ajan alle mittaustilanteen. COP-arvosta ei voi myöskään päätellä, kuinka nopeasti lämpökerroin heikkenee ulkoilman laskiessa. Kuvassa 2 on esitetty eri valmistajien ilmalämpöpumppujen lämpökertoimien muutos ulkolämpötilan laskiessa. Kun COP-arvo ilmoitetaan yhdessä ja samassa lämpötilassa, mitataan SCOP-arvo neljässä eri ulkolämpötilassa. Realistisen laskennallisen SCOP-arvon takaamiseksi on Eurooppa jaettu kolmeen eri lämpötilavyöhykkeeseen. Pohjois-Euroopan arvot mitataan Helsingin olosuhteissa. (5)

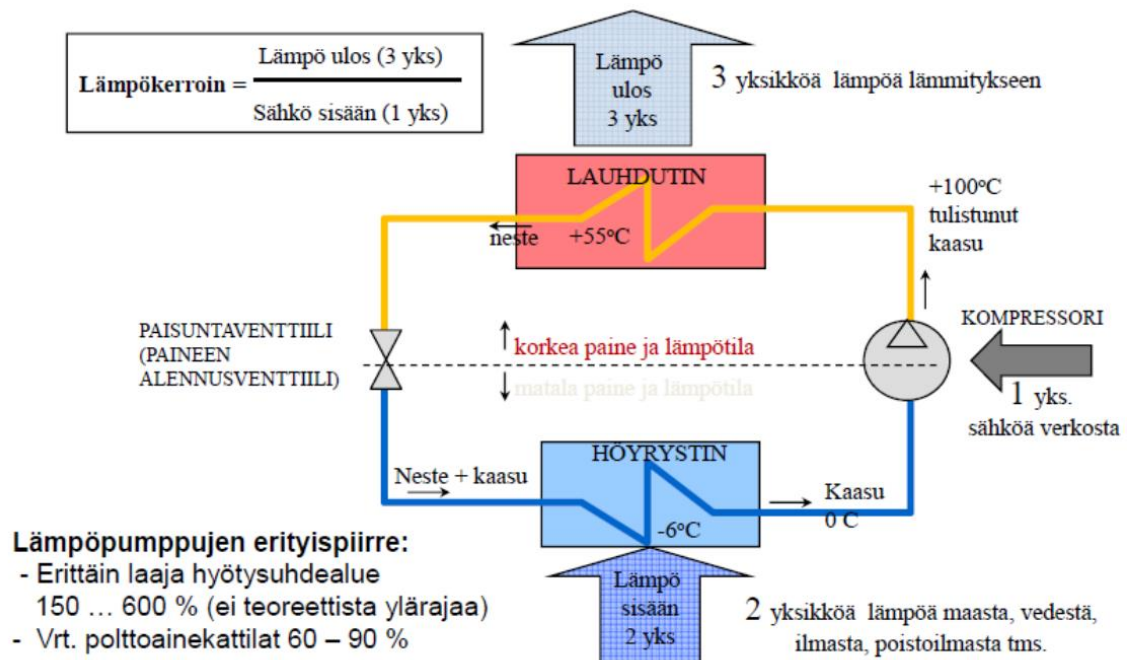


Kuva 2. Eri valmistajien ilmalämpöpumppujen lämpökertoimien muutos lämpötilan laskiessa (5).

2.2 Toimintaperiaate

Ilmalämpöpumppu ottaa ulkoilmasta energiaa ulkoyksikön avulla, joka siirretään sisäyksikön avulla lämmitettävään tai jäähdytettävään tilaan. Teoriassa ulkoilmassa on energiaa absoluuttiseen nollapisteeseen saakka, mutta tämän hetken parhainkaan ilmalämpöpumppu ei pysty hyödyntämään energiaa tehokkaasti -25 °C:n jälkeen. Sähköä

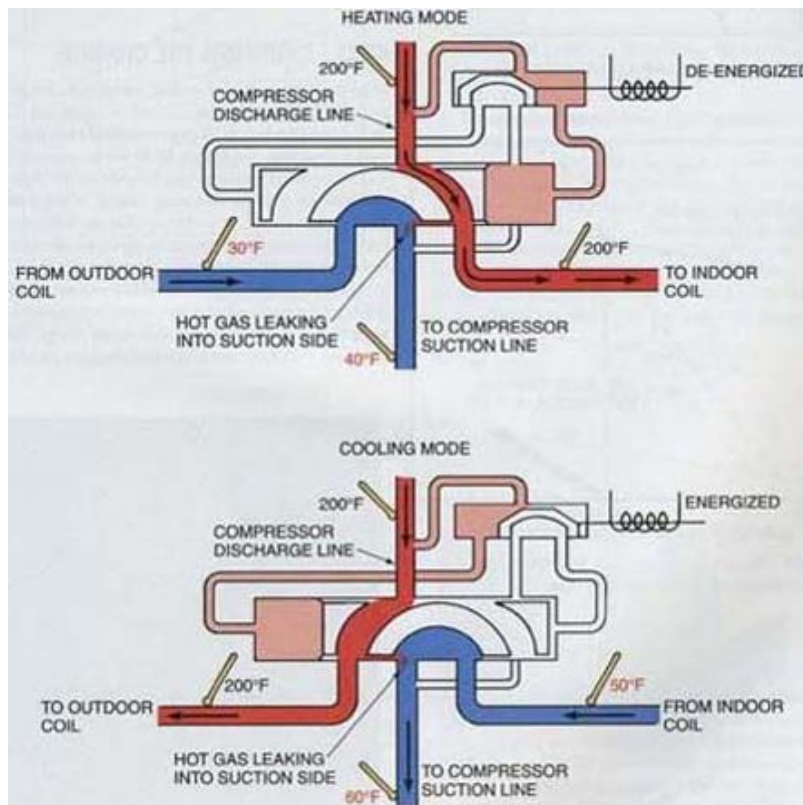
kuluttavat komponentit ilmalämpöpumpussa ovat kompressorin, puhallinmoottorit sekä ulkoyksikön sulatusvastus. Myös laitteen ohjaukseen tarvitaan vähän sähköenergiaa. Kompressorin siirtää lämpöä kylmäaineen välitykseltä ulkoyksiköltä sisäyksikölle ja jäähdytyskäytössä päinvastoin. Kuvassa 3 on esitetty lämpöpumpun yksinkertaistettu toimintaperiaate. (5)



Kuva 3. Lämpöpumpun toimintaperiaate (6).

Kompressorin avulla kylmäaine kiertää ilmalämpöpumpun sisä- ja ulkoyksikön väliä. Kompressorilla kylmäaine puristetaan korkeaan paineeseen lauhduttimeen eli sisäyksiköön. Lauhduttimessa kuuma kylmäainekaasu lauhtuu nestemäiseen olomuotoon vapauttaen samalla lämpöenergiaa lämmönsiirtimen lamellien läpi virtaavaan ilmaan. Lauhtunut nestemäinen kylmäaine jatkaa matkaansa paisuntaventtiilille. Paisuntaventtiili sijaitsee ilmalämpöpumpun ulkoyksikössä. Paisuntaventtiili kuristaa kylmäaineen virtausta niin, että kylmäaineen paine laskee voimakkaasti. Paineen laskiessa osa nesteestä höyrystyy, mikä vaatii paljon lämpöä ja aiheuttaa nesteen ja kaasun seoksen äkillisen ja suuren lämpötilan laskun. Paisuntaventtiilin ja kompressorin yhteistyöllä korkeapainepuoli pysyy korkeassa paineessa ja matalapainepuoli matalammassa paineessa. Paisuntaventtiilin jälkeen kylmäaine virtaa höyrystimeen eli ulkoyksikön

lämmönsiirtimeen. Täällä kylmäaine höyrystyy jälleen kokonaan kaasumaiseksi sitoen samalla itseensä lämpöenergiaa lämmönsiirtimeen läpi virtaavasta ilmasta. Täysin höyrystynyt kylmäaine puristetaan kompressorilla jälleen korkeapaineeseen ja kierto jatkuu samanlaisena. Nelitieventtiili mahdollistaa laitteiston käytön sekä jäähdytykseen, että lämmitykseen. Nelitieventtiilillä voidaan laitteen sisäyksikön lämmönsiirtimestä tehdä höyrystin ja ulkoyksikön lämmönsiirtimestä lauhtutin. Kuvassa 4 ylhäällä on esitetty nelitieventtiilin toiminta lämmityskäytössä ja alhaalla jäähdytyskäytössä. Lämmityskäytössä ulkoyksikön lämmönsiirtimeen kertyy kosteutta, joka jäätyy estäen ilman virtauksen. Ulkoyksikkö sulatetaan kääntämällä kylmäaineen kierto hetkellisesti päinvastaiseksi, eli ottamalla lämmitettävän kohteen sisältä lämpöenergiaa ja johtamalla se ulkoyksikön lämmönsiirtimeen.



Kuva 4. Nelitieventtiilin toiminta (7).

2.3 Sisäyksikkö

Sisäyksikkö valitaan soveltuvuuden mukaan. Suosituimmat yksiköt ovat kattoon upotettava kasettimallinen- ja seinälle asennettavat perinteiset sisäyksiköt. Etenkin kotitalouksissa suosituin sisäyksikkötyyppi on perinteinen seinälle asennettava sisäyksikkö sen helpon jälkiasennusmahdollisuuden vuoksi. Sen asentaminen ei vaadi olemassa olevien rakenteiden purkamista, vaan se asennetaan olemassa olevalle seinäpinnalle. Sisä- ja ulkoyksikön välisille putkille ja sähköjohdoille tehdään seinään 65–75 mm halkaisijaltaan oleva läpivienti. Lyhyemmän putkivedon ja siten edullisemman kustannuksen kannalta kannattaa sisäyksikkö asentaa ulkoseinälle. Tällöin läpivienti pyritään tekemään sisäyksikön taakse piiloon.

Sisäyksikön suodattimien tehtävä on estää ilmavirtauksien mukana siirtyvän pölyn ja muiden epäpuhtauksien pääsy sisäyksikön kennoon ja puhaltimeen. Karkeat ilman suodattimet tulisi puhdistaa noin kahden viikon välein. Ilmavirta etsii aina helpoimman reitin, joten suodattimien puhdistuksen laiminlyönti estää ilmavirran oikean virtausreitit ja ilma alkaa virrata suodattimien ohi pienistä raoista. Tämä edesauttaa sisäyksikön lämmönsiirtimen ja puhaltimen likaantumista.

Lämmönsiirrin eli arkikielessä kenno siirtää ulkoyksiköltä tulevan lämpö- tai jäähdytysenergian kennon läpi virtaavaan ilmaan. Kenno sijaitsee puhaltimen imupuolella. Imevällä puhaltimella hyödynnetään tehokkaasti koko kennon pinta-ala. Sisäyksikön lämmönsiirrintä kutsutaan lämmityskäytössä lauhduttimeksi. Kuuma kylmäainekaasu lauhduttaa nesteeksi luovuttaen lämpöenergiaa lamellien läpi virtaavaan ilmaan.

Sisäyksikön ilmavirtaa voidaan ohjata sisäyksikön ulospuhallusaukossa olevilla ilmanohjaimilla. Joissakin ilmalämpöpumpumalleissa voidaan ilmavirtaa ohjata sekä horisontaalisesti että vertikaalisesti. Suurella ilmavirralla saavutetaan parempi suorituskyky laitteelle (8). Asumismukavuuden ja sisäyksikön tuottaman äänen vuoksi ilmavirran säätö pidetään yleensä pienimmillä puhallusnopeuksilla. Joissakin ilmalämpöpumpuissa on myös puhallinnopeudelle automaattisäätö. Tämä säätö säätää puhallusnopeutta automaattisesti tarpeen mukaan. Suositellusta puhallustehon asetuksesta on eri koulukuntia. Motivan Ilmalämpöpumpun energiataloudellinen käyttöopas kehottaa käyttämään automaattista puhallintehon säätöä, mikäli mahdollista (8). Vastaavasti Helenin opas

kehottaa käyttämään puhallinta jatkuvalla manuaaliasetuksella. Laitteet toimivat paremalla lämpökertoimella suuremmalla puhallinnopeudella. (9) Suuri puhallusnopeus pakottaa lämpimän tai kylmän ilman leviämään suuremmalle alueelle.

2.4 Ulkoyksikkö

Ulkoyksikkö voidaan asentaa seinätelineelle tai omilla jaloillaan seisovalle maanelineelle. Maateline on parempi vaihtoehto etenkin puurunkoisissa taloissa. Ulkoyksikön sisällä oleva kompressori aiheuttaa hieman tärinää ulkoyksikön runkoon ja seinätelineellä ollessaan voi tärinä resonoida talon runkoa pitkin sisälle. Kovalla pakkasella ulkoyksikön ja telineen väliin asennettavat tärinänvaimennuskumit kovettuvat, ja resonointi kuuluu herkemmin sisälle. Ulkoyksikön on oltava riittävän korkealla maasta, jotta kennosta sulavalle vedelle on tilaa jäätymä yksikön alapuolella. Lämmityskäytössä olevaa ilmalämpöpumppua ei kannata asentaa parvekkeelle kennosta valuvan sulamisveden vuoksi. Talvella satava lumi myös huomioitava ulkoyksikön asennuskorkeutta mietittäessä. (8)

2.5 Käyttöikä

Ilmalämpöpumpun käyttöikään vaikuttavat laitteen käyttö ja ympäristön olosuhteet. Maahantuojien ilmoittamat käyttöiät vaihtelevat välillä 15–20 vuotta. Laitteiden käyttöikä voidaan pidentää säännöllisesti tehtävillä puhdistushuolloilla. Puhdas laite siirtää lämpöä paremmin ympäristöön, joten kompressori joutuu tekemään vähemmän työtä. Myös puhaltimien moottorit rasittuvat ylimääräisestä liasta. Keittiön läheisyydessä oleva ilmalämpöpumpun käyttöikä voi jäädä lyhyeksi ilmassa olevan rasvan vuoksi. (8)

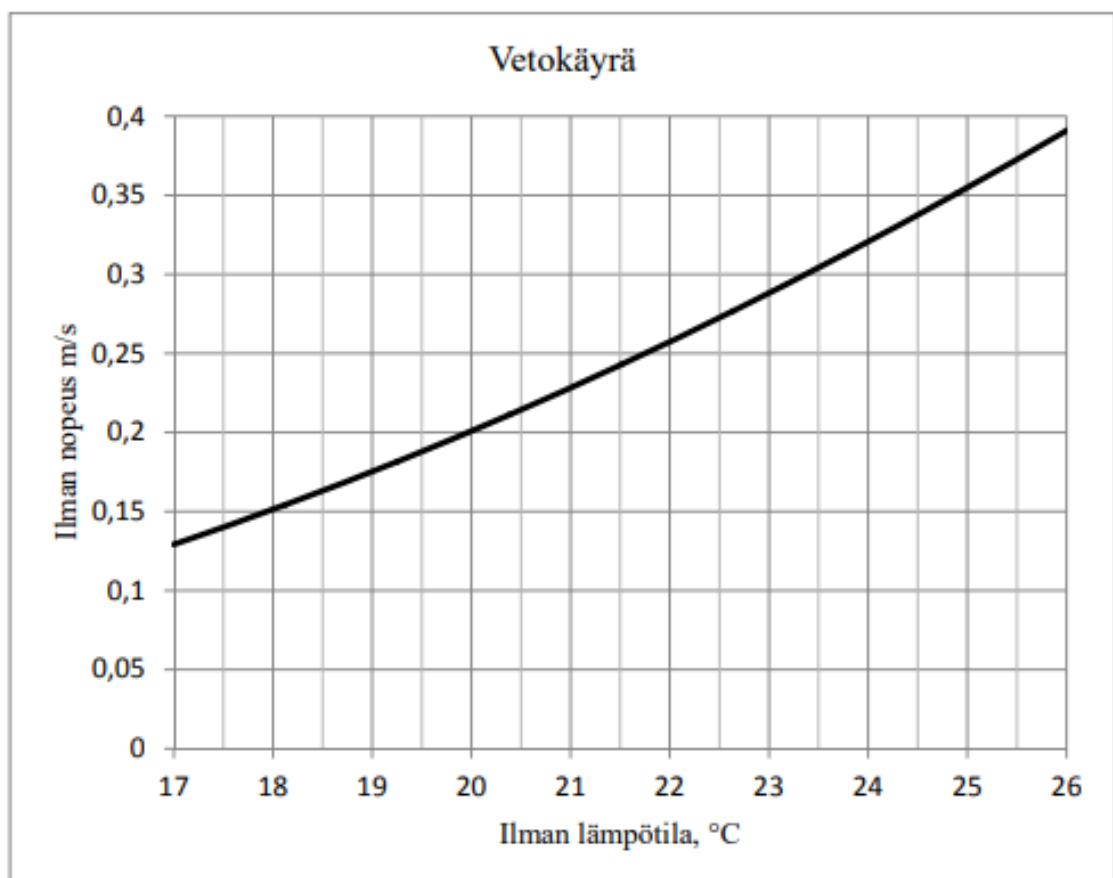
Kompressorin elinkaareen vaikuttaa laitteen käyttö ja käynnistyskertojen määrä. Kompressorin käyttöikä on Niben lämpöpumppukoulutuksen mukaan arviolta noin 80 000 tuntia tai 300 000 käynnistyskertaa. (10)

3 Likaantumisen vaikutukset

3.1 Hygienia

Jäähdytyskäytössä ilmalämpöpumppu poistaa huoneilmasta kosteutta. Laitteen sisällä voi olla mikrobikasvustolle suotuisa ilman kosteus. Kennon läpi puhaltimelle virtaa kylmää ilmaa, jonka suhteellinen kosteus on lähes 100 %. Suhteellisen kosteuden noustessa korkeaksi tarttuvat kosteat hiukkaset puhaltimeen tiukasti aiheuttaen kasvualustan mikrobeille. (11)

Riittävä ilman virtausnopeus estää mikrobien kasvua (12). Puhallinnopeutta lisättäessä ylitetään kuvan 5 mukaan ilman virtausnopeuden enimmäismäärä. Ylitys voi tapahtua jo pienimmälläkin puhallinnopeuden asetuksella, etenkin jäähdytyskäytössä.



Kuva 5. Ilman virtausnopeuden enimmäismäärä (12).

Joissakin käytetyissä lämpöpumpuissa on selkeästi havaittavaa mikrobikasvustoa puhaltimen siivissä. Kuvassa 6 on esimerkki likaisesta puhaltimesta, jossa on havaittavissa mikrobikasvustoa. (13)



Kuva 6. Likainen puhallin (13).

Ei scanoffice Oy:n VTT:ltä tilaamassa tutkimuksessa [14] eikä myöskään Anne Bergmanin tekemän opinnäytetyötutkimuksessa [15] todettu ilmalämpöpumppujen likaisuuden nostavan asuintilojen mikrobimäärää yli suositusten. Näissä tutkimuksissa kuitenkin löydettiin erilaisia määriä homeita, bakteereita, hiivoja ja sädesieniä sisäyksikön pinnoilta. (14; 15.)

3.2 Suorituskyky

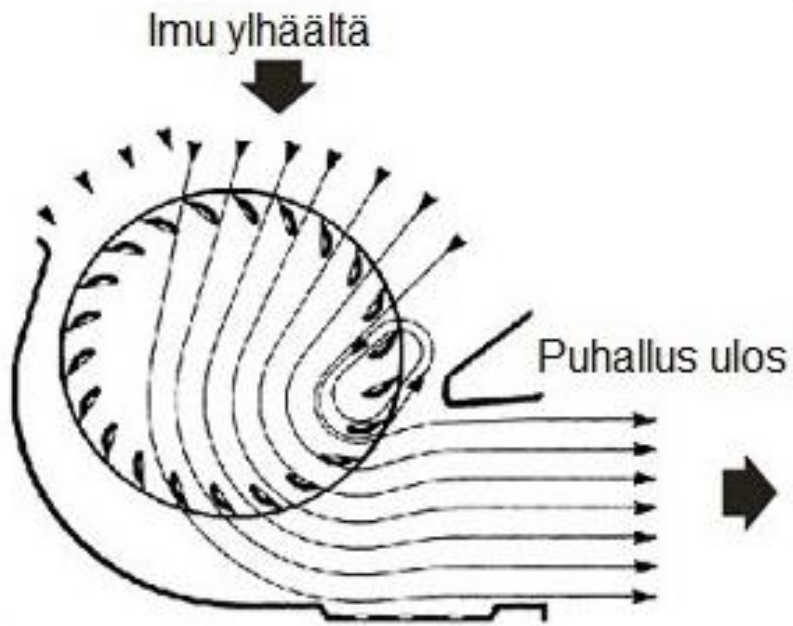
Edellä mainituissa tutkimuksissa (14; 15) ei ole tutkittu eikä oteta kantaa likaantumisen vaikutusta laitteen suorituskykyyn. Ilmalämpöpumpun sisä- ja ulkoyksikön kennot ovat

lämmönsiirtimiä, joten näihin pätevät samat ongelmat kuin mihin tahansa muihinkin lämmönsiirtimiin. Likaantuessaan lämmönsiirtimien hyötysuhde heikkenee.

Pelkkä lämmönsiirtopinnoille muodostunut likakerros lisää jo itsessään pinnan karheutta ja pienentää virtauksen poikkipinta-alaa, mikä aiheuttaa välittömästi aiempaa suuremman painehäviön. (16)

Painehäviö vaikuttaa ilman virtaukseen kennon läpi. Lika toimii myös eristeenä lämmönsiirtopinnoilla. Likaisella ilmalämpöpumpun lämmönsiirtimellä saman ilmavirran aikaansaamiseksi pitää puhaltimen pyörimisnopeutta nostaa, mikä lisää puhaltimen energiankulutusta ja räsytystä.

Ilman virtausta heikentää kennon painehäviön kasvun lisäksi puhaltimen siipipyörän likaantuminen. Puhaltimen likaantuminen itsessään jo heikentää huomattavasti puhaltimen hyötysuhdetta, täten energian kulutus kasvaa edelleen. Puhaltimen likaantuessa se ei pysty leikkaamaan ilmaa tehokkaasti, ja pahimmillaan se alkaa sakkaamaan. Sakalessa puhallin voi pyöriä todella nopeastikin, mutta se ei saa puhallettua ilmaa tehokkaasti. Puhallin muodostuu noin kahdeksasta eri osiosta, joissa kussakin on kymmeniä pieniä siipiä. Näiden siipien etäisyys toisistaan on pieni, joka hankaloittaa puhaltimen puhdistamista. Kuvassa 7 on esitetty puhaltimen toimintaperiaate. Kyseessä on tangentiaalinen puhallin (crossflow fan). Puhallin leikkaa ilmaa yläpuolelta rummun sisään, ja keskipakoisvoima puhalttaa sen samoista ahtaista väleistä alhaalta ulos. (11)



Kuva 7. Puhallinrummun poikkileikkauskuva (11).

4 Ilmalämpöpumpun huolto

Kylmäalalla toimiminen on luvanvaraista. Kylmälaitteiden asennus- ja huoltotöiden tekeminen edellyttävät Tukesin hyväksyntää ja pätevyyttä. F-kaasuja sisältäviä kylmäaineita ei saa myydä kuin hyväksynnän saaneille yrityksille. Alle 3 kg sisältävien laitteiden asennus, huolto ja kunnossapito edellyttää vähintään asentajan pätevyystodistusta e3a. Todistuksen saamiseksi vaaditaan, että jokin seuraavista pätevyyksistä on suoritettu:

- kotitalousasentajan ammattitutkinnosta osa Kylmätekniisten laitteiden asennus-, huolto- ja korjaustyöt
- lämmityslaitteasentajan ammattitutkinnosta osa Lämpöpumppulämmityslaitteistotyöt
- talotekniikan perustutkinnosta osa Pienkylmälaitteiden asennus.

Yli 3 kg kylmäainetta sisältävien laitteiden asennus, huolto ja kunnossapito edellyttää asentajan pätevyystodistusta y3a. Todistuksen saamiseksi vaaditaan, että jokin seuraavista on suoritettu:

- kylmäasentajan ammattitutkinto
- kylmäasentajan ammattitutkinnosta osat 1 sekä jokin valinnaisista osista 4–8, eli kylmäaineiden käsittely sekä valinnainen asennus- ja huolto-osa
- talotekniikan perustutkinnosta osat kylmäkomponenttien ja putkiston asennus sekä kylmälaitoksen käyttöönotto.

Näiden lisäksi on yrityksessä oltava vastuuhenkilö, joka vastaa siitä että, työssä noudatetaan ympäristönsuojeluvaatimuksia ja asentajien pätevyysvaatimuksia. (17)

Kylmäalan lainsäädäntö velvoittaa laitteiston haltijaa varmistamaan, että pätevyitetty henkilö tarkistaa 3–30 kg kylmäainetta sisältävän laitteiston vähintään kerran vuodessa. Suomessa Tukes ylläpitää kylmäalalla toimivien henkilöiden ja yritysten pätevyysrekisteriä. Tämä pätevyysrekisteri on kaikkien nähtävillä, eli työn tilaaja voi varmistaa tarkastavan henkilön pätevyyden. Tämä velvoite koskee laitteistoja, jotka sisältävät fluorattuja kasvihuonekaasuja. Poikkeuksena on ilmatiivisti suljettu järjestelmä, joka sisältää alle kuusi kilogrammaa fluorattuja kasvihuonekaasuja. Kotitalouksien ilmalämpöpumput ovat pääsääntöisesti alle 3 kg fluorattuja kasvihuonekaasuja sisältäviä laitteita, joten näissä lakisääteisiä tarkastuksia ei ole. Lisäksi yli 3 kg fluorattuja kasvihuonekaasuja sisältävän

laitteistojen haltijan on pidettävä huoltopäiväkirjaa. Tarkastavan viranomaiseen tai komission pyytäessä on huoltopäiväkirja esitettävä. (18)

Lainsäädäntö velvoittaa puhdistamaan ilmanvaihdon kanavistot vähintään kerran kymmenessä vuodessa puhtaan sisäilman ylläpitämiseksi (19).

Asuntojen ilmanvaihtojärjestelmien epäpuhtaudet ovat huonepölyä, ruoanlaiton yhteydessä kanavistoon joutuvaa rasvaa, tupakansavua ja kaupunki-ilman nokea. (19)

Ilmalämpöpumpun sisäyksikkö on alttiina samoille epäpuhtauksille, mutta ne eivät kuulu lakisääteisen puhdistuksen piiriin. Hengitysliitto suosittelee ilmalämpöpumpuille kerran vuodessa ammattilaisen tekemää vuosihuoltoa ja kerran kahdessa vuodessa laajennettua huoltoa (20).

Pienten ilmalämpöpumppujen ammattilaisen tekemä huolto käsittää yleisesti ottaen laitteen puhdistuksen sekä kylmäainemäärän- ja laitteen toiminnan tarkastuksen. Laitteen käyttäjän tekemä suodattamien puhdistaminen ei riitä pitämään ilmalämpöpumpun sisäyksikköä puhtana. Ilmalämpöpumpun sisäyksikön sisäosat likaantuvat suodattimistaan huolimatta. Sisäyksikössä voi olla kolmeakin erilaista suodatinta. Ne voivat olla tyyppiltään aktiivihiihi-, allergia- tai sähkötoimisia suodattimia.

Ympäristön olosuhteet määrittelevät ilmalämpöpumpun järkevän huoltovälin. Rasvaisessa ympäristössä esimerkiksi keittiössä oleva laite likaantuu huomattavan nopeasti. Sisäyksikön rasvoituttua alkaa rasva sitomaan itseensä myös muuta likaa.

Ilmalämpöpumpun ammattilaisten tekemiä huoltoja on monenlaisia. Edullisimmat huoltohinnat ovat 170 eurosta 390 euroon saakka. Huoltoja tehdään erilaisin menetelmin. Osa huolloista sisältää vain sisäyksikön imuroinnin, ja osassa laite pestään. Hyvän lopputuloksen edellytys on sisäyksikön kokonaisvaltainen pesu.

5 Mittausmenetelmät

5.1 Mittaukset yleisesti

Ilmalämpöpumpun suorituskykyä mitataan yleisesti standardin SFS-EN 14511 mukaan. Siinä määritellään mittausmenetelmät sekä mittauksien lämpötilarajat. Tässä mittauksissa poikettiin standardin määrittelemistä mittausmenetelmistä ja lämpötiloista. Lämpötehon laskemiseksi pitää mitata ilmavirta sisäyksikön läpi ja keskilämpötilat ennen kennon ja sen jälkeen. Lämpökertoimen laskemiseksi pitää lisäksi mitata sähkön ottoteho. Tässä työssä verrataan saman ilmalämpöpumpun suorituskykyä likaisena ja puhtaana. Likaisen ja puhdistetun laitteen mittaukset toteutettiin samalla tavalla, joten ne ovat vertailukelpoisia keskenään. Molemmissa kohteissa käytettiin samaa mittausmenetelmää. Mittaukset tehtiin olemassa olevista ilmalämpöpumpuista ennen ja jälkeen Freshwash-pesun. Laitteiston ulkoyksiköihin ei tehty toimenpiteitä mittauksen välissä. Laitteiden suorituskykyä mitattiin yhdestä kolmeen vuorokautta ennen puhdistusta ja sen jälkeen. Mittausdatasta pyrittiin poimimaan tarkastelujaksoja, joissa ulkoilman olosuhteet ovat samankaltaiset. Mittaukset suoritettiin keväällä, eikä mittauksien aikana ollut kovia pakkasjaksoja.

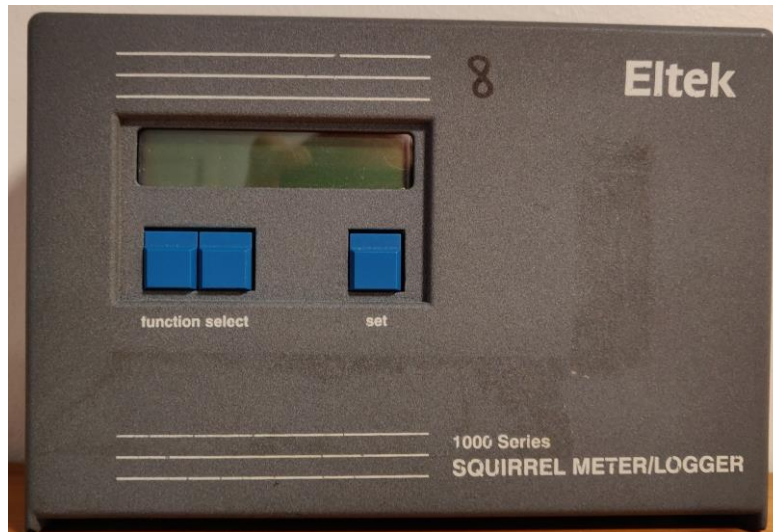
5.2 Lämpötilojen mittaus

Lämpötiloja mitattiin kuvan 8 Eltek Squirrel -dataloggerilla. Mittalaitteella mitattiin;

- ulkoilman lämpötilaa
- sisäilman lämpötilaa
- sisäyksikön imuilman lämpötilaa
- sisäyksikön puhallusilman lämpötilaa

Mittalaitteen tallennusväliksi asetettiin yksi minuutti. Anturit kiinnitettiin mitattaviin kohteisiin teipillä. Mittalaitteen anturit olivat kiinnitettyinä samalla tavoin likaisen ja puhtaan laitteen mittauksissa. Kiinnitys tehtiin siten, etteivät anturien mittauspäätkä koskettaneet laitteen pintoja vaan olivat vapaasti ilmassa. Ulkolämpötilaa mittaava anturi sijoitettiin ulkoyksikön läheisyyteen. Huoneen lämpötilaa mitattiin sisäyksikön suoran puhalluksen

ulkopuolelta 1,1 metrin korkeudelta Valviran Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaan (21). Imuilman lämpötila mitattiin sisäyksikön päälle asennetulla anturilla. Sisäyksikön puhallusilman lämpötila mitattiin keskeltä ulospuhallusaukkoa ennen huoneilman sekoittumista ilmavirtaan. Mittalaitteen valmistajan ilmoittama mittatarkkuus näissä mittauslämpötiloissa on $\pm 0,05$ °C.



Kuva 8. Eltek Squirrel -dataloggeri.

5.3 Sähkön ottotehon mittaus

Ilmalämpöpumppujen sähköverkosta käyttämää sähkön ottotehoa mitattiin ensin tietoa tallentavalla Fluke 43B -mittalaitteella. Tämä mittalaite todettiin kuitenkin epätarkaksi tuloksien analysoinnissa. Mittaustulokset eivät tallentuneet riittävän tiheällä välillä. Mittaukset aloitettiin alusta sähkönlaatu- ja energia-analysaattori Fluke 435:llä. Mittalaite asennettiin keräämään tietoa ilmalämpöpumpun sähkön ottotehon muutoksista. Mittalaite asetettiin tallentamaan ilmalämpöpumpun sähkön ottotehon keskiarvoa minuutin välein. Sähkön ottoteho mitattiin suoraan ilmalämpöpumpun syöttökaapelista. Mittalaitteen piirtämästä trendikäyrästä kuvassa 9 näkyvät hyvin kompressorin käyntijaksot. Mittalaitteen keräämä data muutettiin Power Log Classic 4.6 -ohjelmalla yhteensopivaksi excel-tiedostoon.



Kuva 9. Sähkönlaatu- ja energia-analysaattori Fluke 435

5.4 Ilmavirran mittaus

Ilmavirran mittaukset tehtiin kertaluontoisesti ennen ja jälkeen laitteen huollon. Ilmavirran puhallusnopeutta mitattiin rivitalon ilmalämpöpumpusta 20:stä ja omakotitalossa 25:stä eri kohdasta heti ilmalämpöpumpun ilmanohjaimien jälkeen kahdella eri mittalaitteella. Omakotitalon ilmalämpöpumpussa ilmavirran ohjaussiivekkeet olivat monimutkaisemmat ja siksi mittauspisteiden määrää lisättiin. Nopeutta mitattiin TSI Veloci Calc -kuumalanka-anturilla ja kuvan 10 mukaisella Testo 410i -siipipyöranemometrillä. Mittalaitteilla saatuja tuloksia verrattiin toisiinsa ja todettiin kuumalanka-anturin mittauksien heittelevän huomattavasti enemmän kuin siipipyöranemometrin. Siipipyöranemometri jo itsessään mittaa suurempaa pinta-alaa ulospuhallusaukosta ja siten mittalaite todettiin luotettavammaksi tässä tutkimuksessa. Ilmavirran mittaukset suoritettiin samoista mittauspisteistä likaisesta ja puhtaasta sisäyksiköstä. Testo 410i toimii mobiililaitteen

bluetooth-applikaation avulla ja tulokset saadaan suoraan muunnettua excel-tiedostoksi analysointia varten. Mittalaitteen valmistajan ilmoittama mittatarkkuus alueella 0,4–20 m/s on $\pm (0,2 \text{ m/s} + 2 \% \text{ ilmavirrasta})$.



Kuva 10. Testo 410i -siipipyörräänemometri.

Tilavuusvirta saatiin mittaamalla ulospuhallusaukon pinta-ala perinteisellä rullamitalla ja kertomalla se ilmavirran nopeudella yhtälön 1 mukaan. Ilmavirran suuntaussäleitä ei ole otettu huomioon.

$$q_V = A \times v \quad (1)$$

q_V on ilmavirta ulospuhallusaukon suulla, m^3/s

A on ulospuhallusaukon vapaa pinta-ala, m^2

v on mitattu ilman nopeuden keskiarvo, m/s

5.5 Lämpöpumpun asetukset

Sisäyksikön puhallusnopeuden asetus pidettiin mittauksien aikana laitteen käyttäjän määrittelemänä normaalin käytön tasolla. Käyttäjän määrittelemä puhallusnopeuden asetus oli rivitalossa 1/3 ja omakotitalossa 2/4. Yleensä lämmityskäytössä puhallusnopeuden asetus pidetään pienimmillä nopeuksilla puhaltimen äänitason vuoksi. Ilmalämpöpumpun lämpötila-asetus pidettiin myös käyttäjän määrittelemällä tasolla. Rivitalossa lämpötila-asetus oli 23 °C ja omakotitalokohteessa 21 °C. Ilmavirran ohjaussiivekkeet asetettiin puhaltamaan alaviistoon siten, että siivekkeet aiheuttavat mahdollisimman vähän vastusta ilmavirrälle. Mittaukset suoritettiin samalla tavalla likaiselle ja puhtaalle laitteelle.

6 Mittauskohteet

Mittaukset tehtiin kahdessa eri ympäristössä eri laitteille, jotta saataisiin kattavampi kuva ilmalämpöpumppujen todellisesta likaantumisen tilasta. Yrityksen Facebook-sivuille toteutettiin kampanja, jossa Teamtech Oy tarjoaa veloitusettoman huollon ja Freshwash-pesun asiakkaalle, jonka kotona mittaukset suoritetaan. Molemmat mittaukset tehtiin asumiskäytössä olevassa kiinteistöissä.

6.1 Rivitalokohde

Kohteen ilmalämpöpumppu on rivitalohuoneistossa. Huoneisto sijaitsee Vantaalla Päiväkummun alueella. Sisäyksikkö on sijoitettu tuulikaapin oven yläpuolelle puhaltamaan asuntoon päin. Asunnon päälämmitysjärjestelmä on suorasähkölämmiteinen patterilämmitys. Pattereiden lämpötila-asetukset pidettiin koko mittauksien aikana samoina. Ilmalämpöpumppu on asennettu lokakuussa 2011, ja se on mittausajankohtana ollut toiminnassa seitsemän vuotta ja viisi kuukautta. Laitteelle ei ole aiemmin tehty ammattilaisen toimesta huoltoja tai puhdistuksia. Käyttäjä on puhdistanut sisäyksikön suodattimia käyttöohjeen mukaisesti. Kuvassa 11 on kohteen sisäyksikön ennen pesua. Ilmalämpöpumppu on malliltaan IVT 12LR-N. Liitteessä 1 on esitetty ilmalämpöpumpun tekniset tiedot. Kuvassa 12 on lähikuva laitteen likaisesta kennosta.



Kuva 11. Rivitalon ilmalämpöpumppu likaisena ilman suojakantta.



Kuva 12. Rivitalon ilmalämpöpumpun likainen kenno.

6.2 Omakotitalokohde

Omakotitalon ilmalämpöpumppu on asennettu kaksikerroksisen omakotitalon yläkerrokseen. Omakotitalo sijaitsee Vantaalla Nikinmäessä. Talon keittiö ja olohuone ovat yhtä suurta tilaa, ja sisäyksikkö on sijoitettu tähän tilaan. Talon lämmitysmuoto on suora sähkölämmitteinen lattialämmitys. Lattialämmityksen lämpötila-asetus pidettiin samana koko mittauksien ajan. Kuvassa 13 kohteen ilmalämpöpumpun sisäyksikkö. Ilmalämpöpumppu on malliltaan Mitsubishi Electric MSZ-FD35. Liitteessä 2 on esitetty laitteen tekniset tiedot. Ilmalämpöpumppu on mittausajankohtana ollut toiminnassa noin 10 vuotta. Laitteelle ei ole aiemmin tehty ammattilaisen toimesta huoltoja. Käyttäjä on puhdistanut suodattimia valmistajan ohjeen mukaisesti. Tässä tilassa on suuria ikkunoita etelään ja länteen. Keväinen auringon säteily lisää hieman epävarmuutta mittauksissa. Ulkoyksikön sijainti on talon pohjoispuolella. Kuvissa 14 ja 15 on lähikuvat laitteen kennosta likaisena ja puhdistettuna.



Kuva 13. Omakotitalon ilmalämpöpumpun sisäyksikkö.



Kuva 14. Omakotitalon sisäyksikön likainen kenno.



Kuva 15. Omakotitalon sisäyksikön puhdas kenno.

7 Mittaustulokset ja laskelmat

Mittausdatasta poimittiin kolme eri tarkastelujaksoa, joissa keskiulkolämpötila oli sama likaisen ja puhdistetun laitteen mittauksissa. Tarkastelujaksot ovat yhden, kahden ja kuuden tunnin mittaiset.

7.1 Kaavat

Lämpöteho voidaan laskea yhtälöllä 2. Suomen rakentamismääräyskokoelman D5 mukaan ilman tiheytenä pidettiin arvoa $1,2 \frac{kg}{m^3}$ ja ominaslämpökapasiteettina $1000 \frac{J}{kgK}$.

$$\Phi_{\text{lämmitys}} = q_V \rho_i c_{pi} \Delta t \quad (2)$$

$\Phi_{\text{lämmitys}}$ on ilmalämpöpumpun keskimääräinen lämmitysteho mittausjaksolla, W

q_V on ilmavirta ulospuhallusaukon suulla, m^3/s

ρ_i on ilman tiheys, kg/m^3

c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti, J/kgK

Δt on imuilman ja ulospuhallusilman keskimääräinen lämpötilaero, $^{\circ}C$

Keskimääräinen sähköteho laskettiin yhtälön 3 mukaan.

$$P_{\text{sähkö}} = \frac{W}{t} \quad (3)$$

$P_{\text{sähkö}}$ on keskimääräinen sähkön ottoteho mittausjaksolla, W

W on mittausjaksolla käytetty sähköenergia, Wh

t on mittausjakson pituus, h

Lämpökerroin laskettiin yhtälön 4 mukaan.

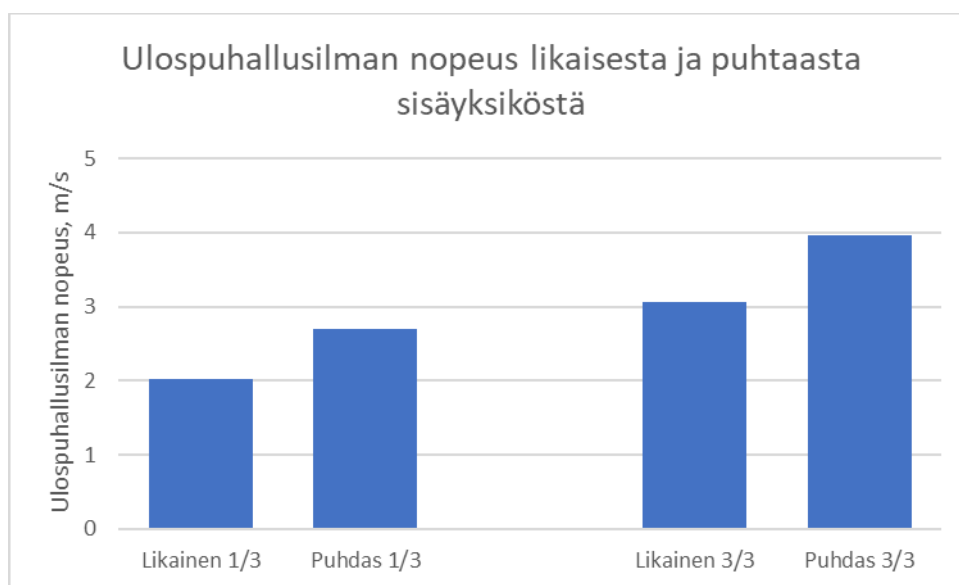
$$COP = \frac{\Phi_{\text{lämmitys}}}{P_{\text{sähkö}}} \quad (4)$$

COP on lämpöpumpun lämpökerroin eli hyötysuhde mittausjaksolla

7.2 Rivitalo

7.2.1 Ilmavirrat

Sisäyksikön läpi kulkeva ilmavirta mitattiin Testo 410i -siipipyöräänemometrillä. Kuvassa 16 on esitetty ilmavirtojen nopeudet puhallusnopeuden asetuksilla 1/3 ja 3/3. Kuvasta on nähtävissä, että puhdas ilmalämpöpumppu saavuttaa lähes saman puhallusnopeuden asetuksella 1/3 kuin likainen asetuksella 3/3. Taulukossa 1 on esitetty ilmavirtojen mitaustulokset ja laskelmat. Laitteen valmistajan ilmoittamien teknisten tietojen mukaan sisäyksikön ilmavirta lämmityskäytössä on 6,0–9,2 m³/min. Puhdistetusta sisäyksiköstä saatiin ilmavirraksi 1/3 puhallusnopeuden asetuksella 5,4 m³/min ja 3/3 asetuksella 8 m³/min.



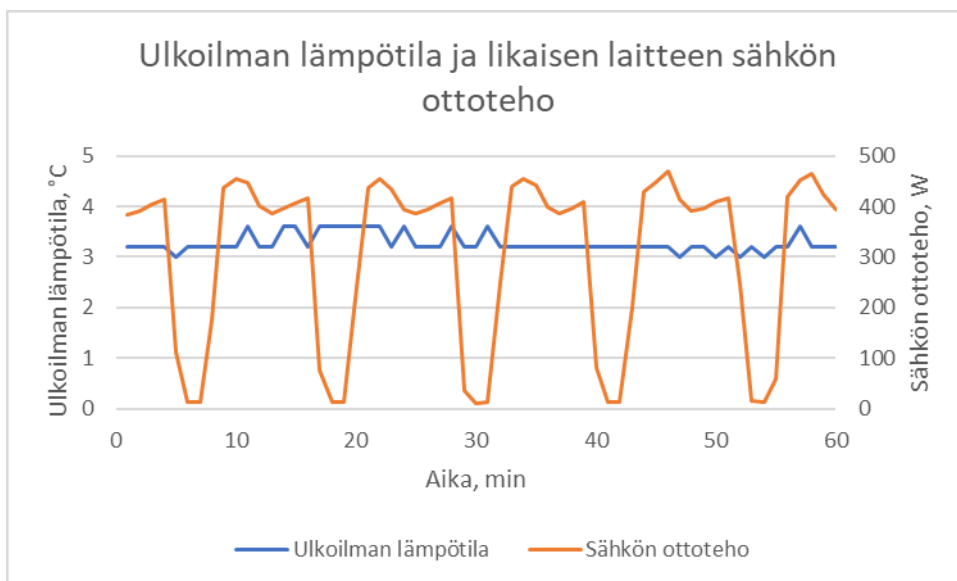
Kuva 16. Sisäyksikön ulospuhallusilman nopeudet.

Taulukko 1. Rivitalon ilmalämpöpumpun ilmavirtojen mittaustulokset ja laskelmat.

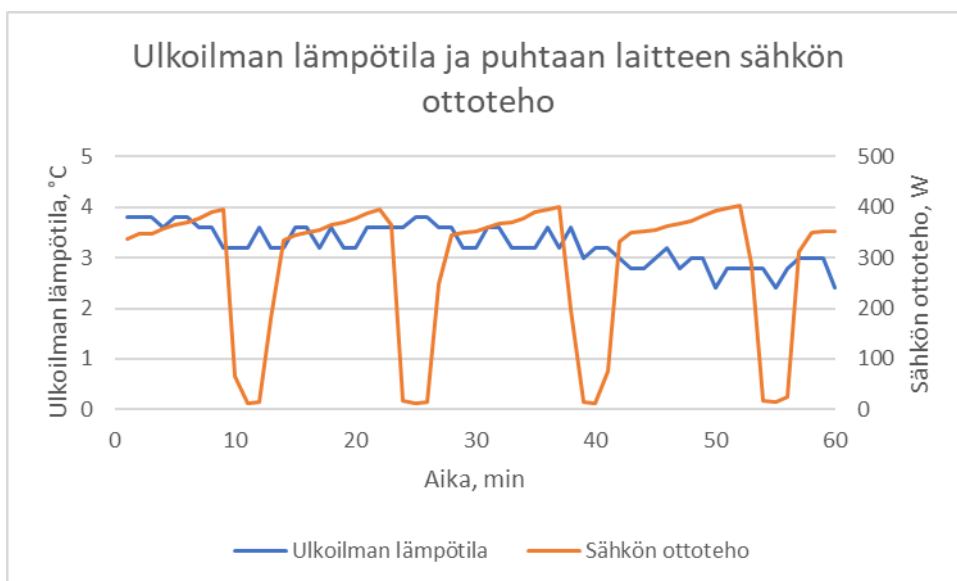
Ulospuhallusaukko					
Korkeus	58 mm				
Leveys	580 mm				
Pinta-ala A	33640 mm ²				
	0,03364 m ²				
Rivitalokohde 1/3 asetuksella			Rivitalokohde 3/3 asetuksella		
Mittauspisteet	Likainen, m/s	Puhdas, m/s		Likainen, m/s	Puhdas, m/s
1	1,2	2		1	2,3
2	1,4	2,2		2	2,8
3	1,4	2,4		3	3
4	1,3	2,3		4	2,9
5	1,9	3		5	3,5
6	2,3	3,1		6	3,3
7	2,1	3,5		7	3,2
8	2,2	3		8	2,9
9	2,3	2,8		9	3,5
10	2,1	2,9		10	3,4
11	2,3	3		11	3,2
12	2,4	3,5		12	3,3
13	2,2	2,8		13	3,6
14	2,5	2,3		14	2,4
15	2,4	3		15	2,7
16	2,3	2,7		16	4
17	1,9	2,4		17	3
18	1,8	2,5		18	2,9
19	2,6	2,2		19	2,8
20	1,9	2,4		20	2,7
Puhallusnopeuden ka., m/s	2,03	2,70		Puhallusnopeuden ka., m/s	3,07
Tilavuusvirta, m ³ /s	0,0681	0,0908		Tilavuusvirta, m ³ /s	0,1033
Tilavuusvirta, m ³ /min	4,087	5,450		Tilavuusvirta, m ³ /min	6,196
Muutos		33 %		Muutos	29 %

7.2.2 Tunnin tarkastelujakso

Kuvassa 17 on esitetty ulkoilman lämpötila ja ilmalämpöpumpun sähkön ottoteho ennen laitteen huoltoa ja kuvassa 18 vastaavat tiedot huollon jälkeen. Yhden tunnin tarkastelussa keskimääräisen ulkoilman lämpötilan ollessa 3,3 °C huomataan laitteen käyvän katkonaisesti sekä likaisena että puhtaana. Katkokäynti johtuu pienestä lämmitysenergian tarpeesta. Sähkön ottotehon kuvaajan muoto on hieman erilainen likaisena kuin puhtaana. Likaisena laite ottaa aluksi enemmän tehoa sähköverkosta, jonka jälkeen vähentää sitä, kunnes laite sammuu. Puhdas laite nostaa sähköverkosta ottamaa tehoa tasaisesti, minkä jälkeen laite sammuu. Myös käyntijaksojen pituuksissa on eroja. Likaisena laite käynnistyy tunnin tarkastelujaksolla viisi kertaa, kun puhtaana käynnistyiä on neljä.



Kuva 17. Ulkoilman lämpötilä ja likaisen ilmalämpöpumpun sähkön ottoteho tunnin mittaisella tarkastelujaksolla.



Kuva 18. Ulkolämpötilä ja puhtaan ilmalämpöpumpun sähkön ottoteho tunnin mittaisella tarkastelujaksolla.

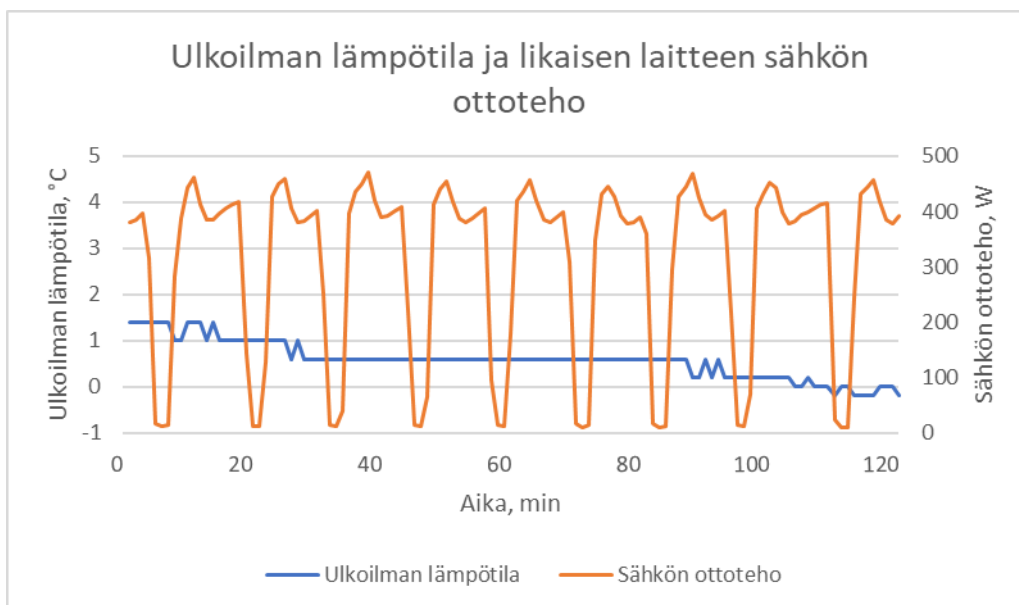
Taulukossa 2 on esitetty tunnin kestävän tarkastelujakson suorituskyvyn muutokset. Tällä tarkastelujaksolla ilmalämpöpumpun keskimääräisen lämpötehon muutos oli neljä prosenttia ja laitteen keskimääräisen lämpökertoimen kymmenen prosenttia.

Taulukko 2. Tunnin tarkastelujakson laskelmat.

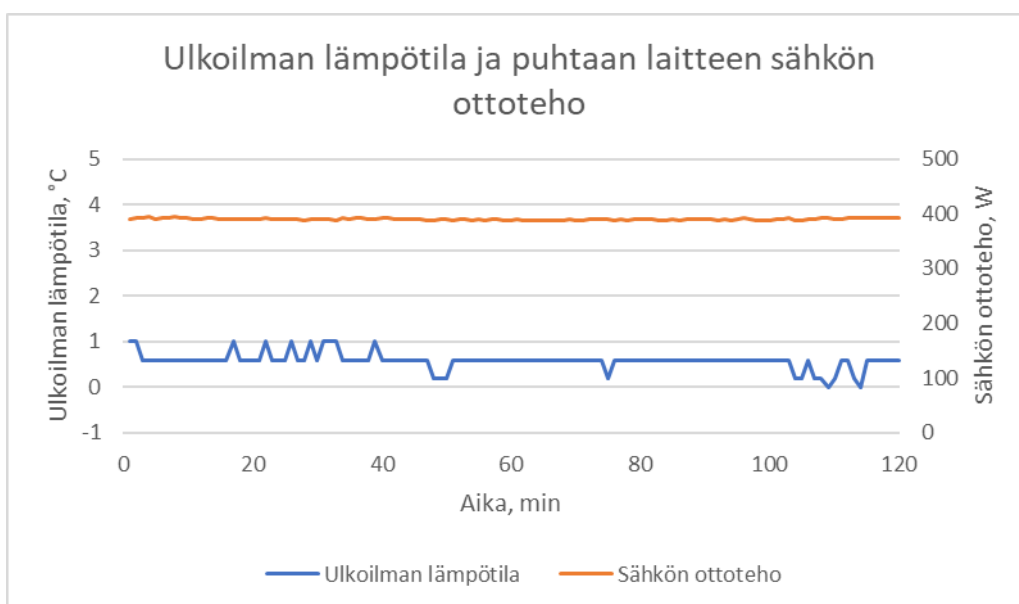
	Likainen	Puhdas
Päivämäärä	20.3.2019	22.3.2019
Aloitus	13:00	0:17
Lopetus	13:59	1:16
Ulkoilman keskimääräinen lämpötila t_u (°C)	3,3	3,3
Imuilman keskimääräinen lämpötila t_i (°C)	24,22	24,66
Puhallusilman keskimääräinen lämpötila t_p (°C)	31,07	30
Keskimääräinen lämpötilaero Δt t_p-t_i (°C)	6,85	5,34
Tilavuusvirta q_v (m ³ /s)	0,0681	0,0908
Ilman tiheys ρ_i (kg/m ³)	1,2	1,2
Ominaislämpökapasiteetti c_{pi} (J/(kgK))	1000	1000
Keskimääräinen lämpöteho $\Phi_{\text{lämmitys}}$ (W)	559,95	581,66
Lämpötehon muutos		4 %
Keskimääräinen sähköteho $P_{\text{sähkö}}$ (W)	305,07	288,09
Sähkötehon muutos		-6 %
Keskimääräinen lämpökerroin COP	1,84	2,02
Lämpökertoimen muutos		10 %

7.2.3 Kahden tunnin tarkastelu

Kuvassa 19 on esitetty kahden tunnin tarkastelujakson ulkoilman lämpötila ja likaisen ilmalämpöpumpun käyttämä sähkön ottoteho. Kuvassa 20 on esitetty vastaavat tiedot puhtaan ilmalämpöpumpun osalta. Näissä kahden tunnin tarkastelujaksoissa keskimääräisen ulkoilman lämpötilan ollessa +0,6 °C käy puhdas laite yhtäjaksoista käyntiä. Samassa keskimääräisessä ulkoilman lämpötilassa likainen laite käy edelleen katkonaisesti, mikä heikentää laitteen lämpökerrointa huomattavasti.



Kuva 19. Ulkoilman lämpötila ja likaisen ilmalämpöpumpun sähkön ottoteho kahden tunnin mittaisella tarkastelujaksolla.



Kuva 20. Ulkoilman lämpötila ja puhtaan ilmalämpöpumpun sähkön ottoteho kahden tunnin mittaisella tarkastelujaksolla.

Taulukossa 3 on esitetty kahden tunnin mittaisen tarkastelujakson suorituskyvyn muutokset. Tällä tarkastelujaksolla ilmalämpöpumpun keskimääräisen lämpötehon muutos oli 71 %. Laitteiston keskimääräinen lämpökerroin parani 36 %.

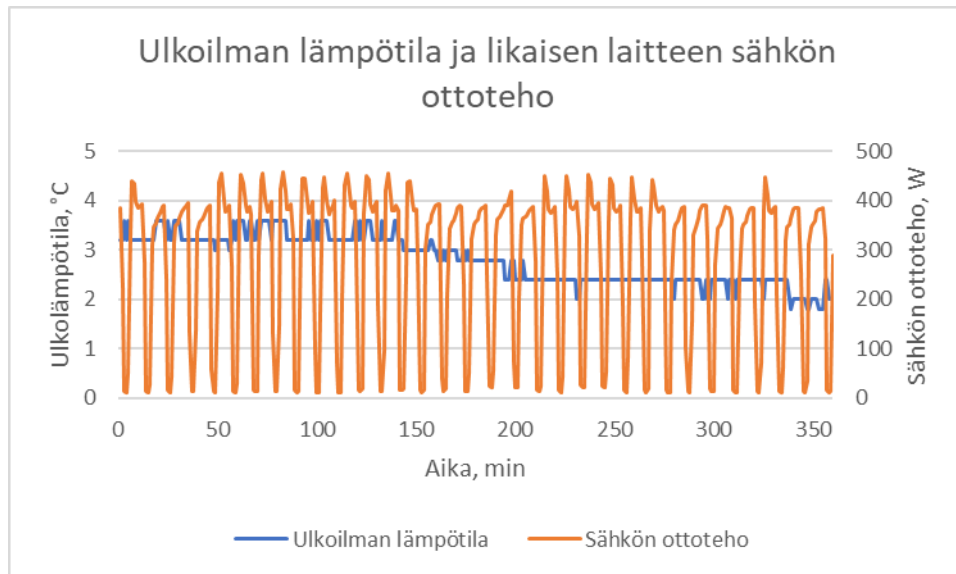
Taulukko 3. Kahden tunnin tarkastelujakson laskelmat.

	Likainen	Puhdas
Päivämäärä	20.3.2019	22.3.2019
Aloitus	21:52	5:20
Lopetus	23:51	7:19
Ulkoilman keskimääräinen lämpötila t_u (°C)	0,6	0,6
Imuilman keskimääräinen lämpötila t_i (°C)	23,93	24,80
Puhallusilman keskimääräinen lämpötila t_p (°C)	30,41	33,13
Keskimääräinen lämpötilaero Δt t_p-t_i (°C)	6,49	8,33
Tilavuusvirta q_v (m ³ /s)	0,0681	0,0908
Ilman tiheys ρ_i (kg/m ³)	1,2	1,2
Ominaislämpökapasiteetti c_{pi} (J/(kgK))	1000	1000
Keskimääräinen lämpöteho $\Phi_{\text{lämmitys}}$ (W)	530,12	907,37
Lämpötehon muutos		71 %
Keskimääräinen sähköteho $P_{\text{sähkö}}$ (W)	309,62	390,07
Sähkötehon muutos		26 %
Keskimääräinen lämpökerroin COP	1,71	2,33
Lämpökertoimen muutos		36 %

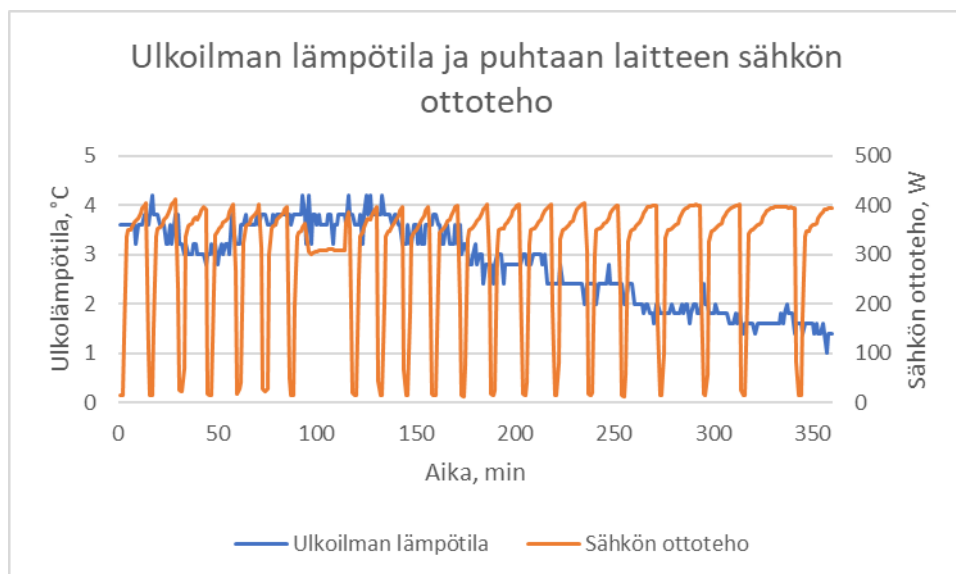
Suomen Referenssivuoden (D3 2012) ulkoilman lämpötilan pysyvyystietojen mukaan esiintyy 0–1 °C:n lämpötilaa yhteensä 1013 tuntia vuodessa säävyöhykkeillä 1 ja 2. Nämä ovat yleisimpiä lämpötiloja näillä säävyöhykkeillä. Tämä tarkoittaa, että tässä tapauksessa pelkästään 0–1 °C:n lämpötiloissa saadaan puhtaalla ilmalämpöpumpulla vuodessa 302 kWh enemmän energiaa samoilla kustannuksilla kuin likaisella ilmalämpöpumpulla. (Liitteet 3 ja 4.)

7.2.4 Kuuden tunnin tarkastelu

Kuvassa 21 on esitetty kuuden tunnin tarkastelujakson ulkoilman lämpötila ja likaisen ilmalämpöpumpun sähkön ottoteho. Kuvassa 22 on esitetty vastaavat tiedot puhtaan ilmalämpöpumpun osalta. Näissä kuuden tunnin tarkastelujaksoissa keskimääräisen ulkoilman lämpötilan ollessa 2,8 °C, käyvät sekä likainen että puhdas ilmalämpöpumppu katkonaisesti. Käynnistysten määrässä on kuitenkin huomattava ero. Siinä missä likainen laite käynnistyy tarkastelujakson aikana 33 kertaa, käynnistyy puhdas laite 21 kertaa.



Kuva 21. Ulkoilman lämpötila ja likaisen ilmalämpöpumpun sähkön ottoteho kuuden tunnin mittaisella tarkastelujaksolla.



Kuva 22. Ulkoilman lämpötila ja puhtaan ilmalämpöpumpun sähkön ottoteho kuuden tunnin mittaisella tarkastelujaksolla.

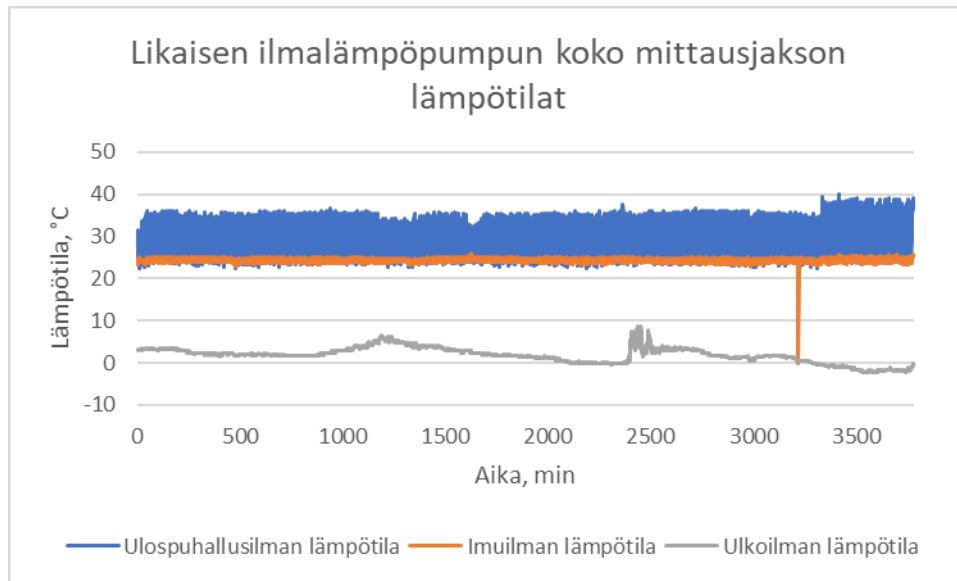
Taulukossa 4 on esitetty kuuden tunnin mittaisen tarkastelujakson suorituskyvyn muutokset. Tällä tarkastelujaksolla ilmalämpöpumpun keskimääräisen lämpötehon muutos oli 31 %. Laitteiston keskimääräinen lämpökerroin parani 19 %.

Taulukko 4. Kuuden tunnin tarkastelujakson laskelmat.

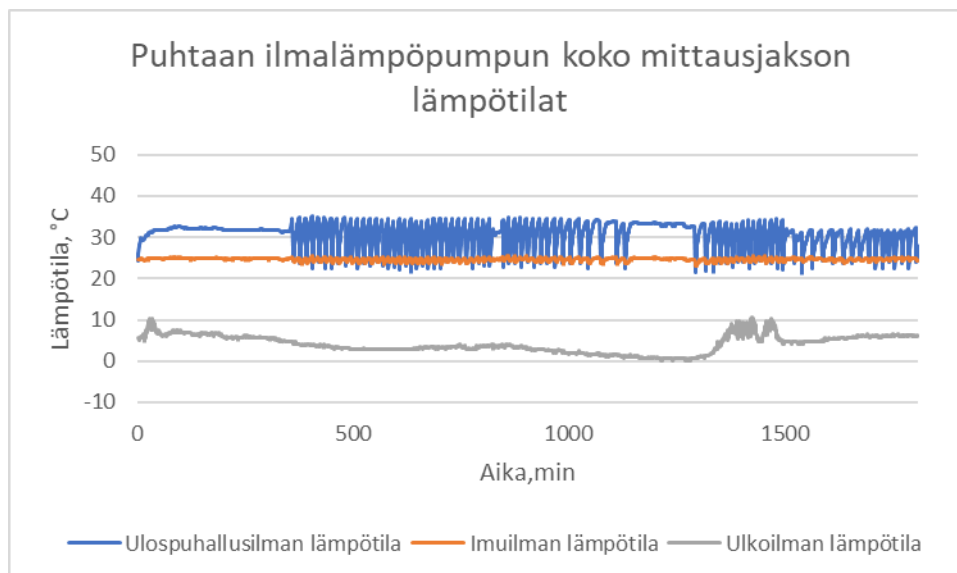
	Likainen	Puhdas
Päivämäärä	18.3.2019	22.3.2019
Aloitus	17:39	22:03
Lopetus	23:38	4:02
Ulkoilman keskimääräinen lämpötila t_u (°C)	2,8	2,8
Imuilman keskimääräinen lämpötila t_i (°C)	24,355	24,57
Puhallusilman keskimääräinen lämpötila t_p (°C)	30,24	30,36
Keskimääräinen lämpötilaero Δt t_p-t_i (°C)	5,88	5,79
Tilavuusvirta q_v (m ³ /s)	0,0681	0,0908
Ilman tiheys ρ_i (kg/m ³)	1,2	1,2
Ominaislämpökapasiteetti c_{pi} (J/(kgK))	1000	1000
Keskimääräinen lämpöteho $\Phi_{\text{lämmitys}}$ (W)	480,93	631,32
Lämpötehon muutos		31 %
Keskimääräinen sähköteho $P_{\text{sähkö}}$ (W)	273,11	301,05
Sähkötehon muutos		10 %
Keskimääräinen lämpökerroin COP	1,76	2,10
Lämpökertoimen muutos		19 %

7.2.5 Koko mittausjakso

Kuvassa 23 on esitetty likaisen ilmalämpöpumpun koko mittausjakson ulospuhallusilman-, imuilman- ja ulkoilman lämpötilat. Kuvassa 24 on esitetty puhtaan ilmalämpöpumpun koko mittausjakson vastaavat lämpötilat. Kuvia vertailemalla voidaan huomata likaisen laitteen imuilman lämpötilan vaihtelevan enemmän kuin puhtaan laitteen. Lisäksi puhtaan laitteen mittauksissa on havaittavissa enemmän yhtäjaksoista käyntiä. Likaisen ilmalämpöpumpun tarkastelujakson lopussa on nähtävissä mittalaitteen hetkellinen häiriö imuilman lämpötilassa.



Kuva 23. Likaisen ilmalämpöpumpun koko mittausjakson lämpötilat.



Kuva 24. Puhtaan ilmalämpöpumpun koko mittausjakson lämpötilat.

Taulukossa 5 on esitetty suorituskyvyn muutokset koko mittausjaksojen osalta. Mittausjaksot ovat erimittaisia, ja keskimääräisissä ulkoilman lämpötiloissa on eroa. Puhtaan laitteen mittauksissa keskimääräinen ulkoilman lämpötila on 2,3 °C korkeampi, jolloin lämmöntarve on vähäisempää. Laitteen suorituskyvyn muutoksia ei pystytä vertailemaan luotettavasti taulukon tiedoilla.

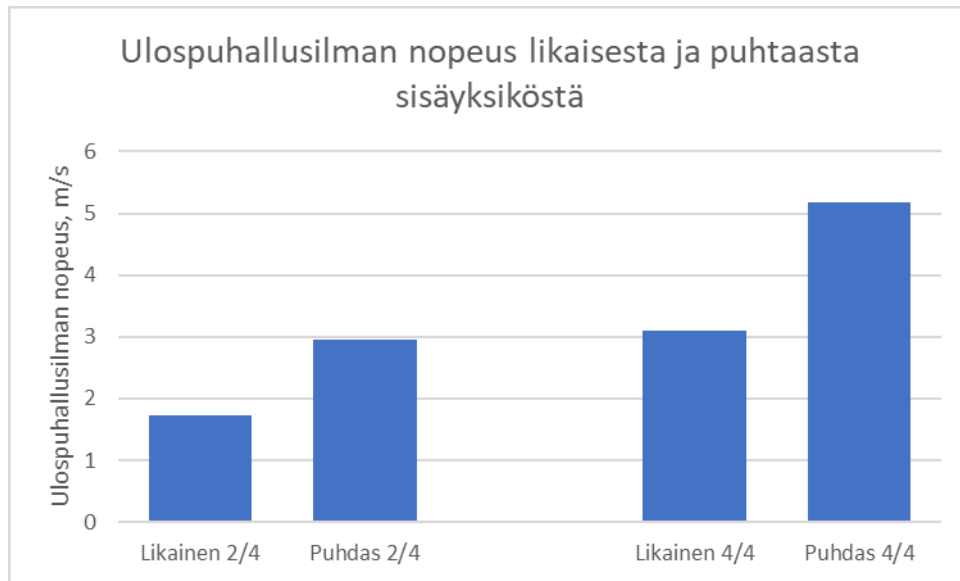
Taulukko 5. Koko mittausjakson laskelmat.

	Likainen	Puhdas
Aloituspvm.	18.3.2019	21.5.2019
Aloitusklo	16:50	9:54
Lopetuspvm.	21.5.2019	22.3.2019
Lopetusklo	7:50	16:01
Ulkoilman keskimääräinen lämpötila t_u (°C)	1,9	4,2
Imuilman keskimääräinen lämpötila t_i (°C)	24,27	24,62
Puhallusilman keskimääräinen lämpötila t_p (°C)	30,59	30,51
Keskimääräinen lämpötilaero Δt_{p-t_i} (°C)	6,32	5,89
Tilavuusvirta q_v (m ³ /s)	0,0681	0,0908
Ilman tiheys ρ_i (kg/m ³)	1,2	1,2
Ominaislämpökapasiteetti c_{pi} (J/(kgK))	1000	1000
Keskimääräinen lämpöteho $\Phi_{\text{lämmitys}}$ (W)	516,97	642,23
Lämpötehon muutos		24 %
Keskimääräinen sähköteho $P_{\text{sähkö}}$ (W)	279,50	300,92
Sähkötehon muutos		8 %
Keskimääräinen lämpökerroin COP	1,85	2,13
Lämpökertoimen muutos		15 %

7.3 Omakotitalo

7.3.1 Ilmavirrat

Sisäyksikön läpi kulkeva ilmavirta mitattiin Testo 410i -siipipyöranemometrillä. Kuvassa 25 on esitetty ilmavirtojen nopeudet puhallusnopeuden asetuksilla 2/4 ja 4/4. Kuvasta on nähtävissä, että puhdas ilmalämpöpumppu saavuttaa lähes saman puhallusnopeuden asetuksella 2/4 kuin likainen asetuksella 4/4. Taulukossa 6 on esitetty ilmavirran mittaus- tulokset ja laskelmat.



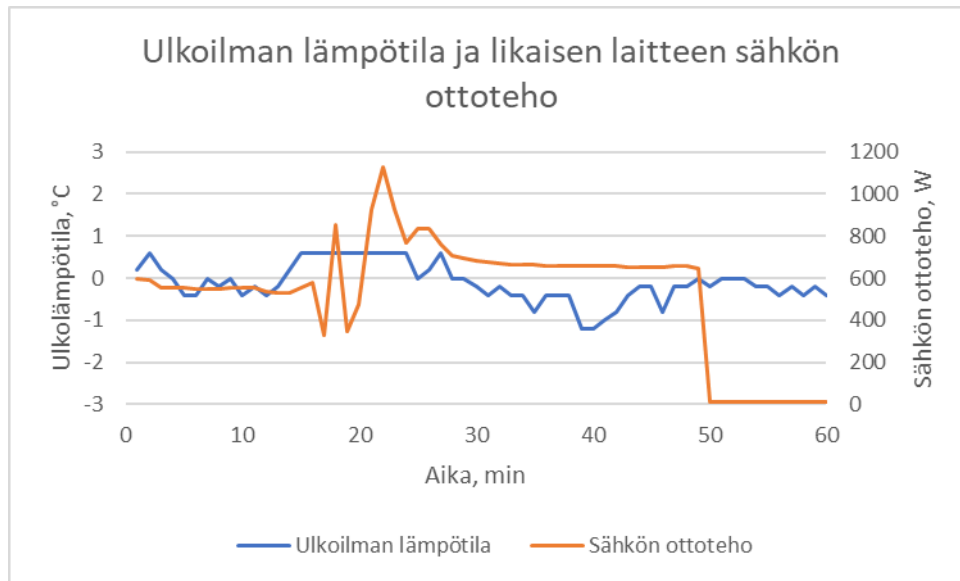
Kuva 25. Sisäyksikön ulospuhallusilman nopeudet.

Taulukko 6. Omakotitalon ilmalämpöpumpun ilmavirtojen mittaustulokset ja laskelmat.

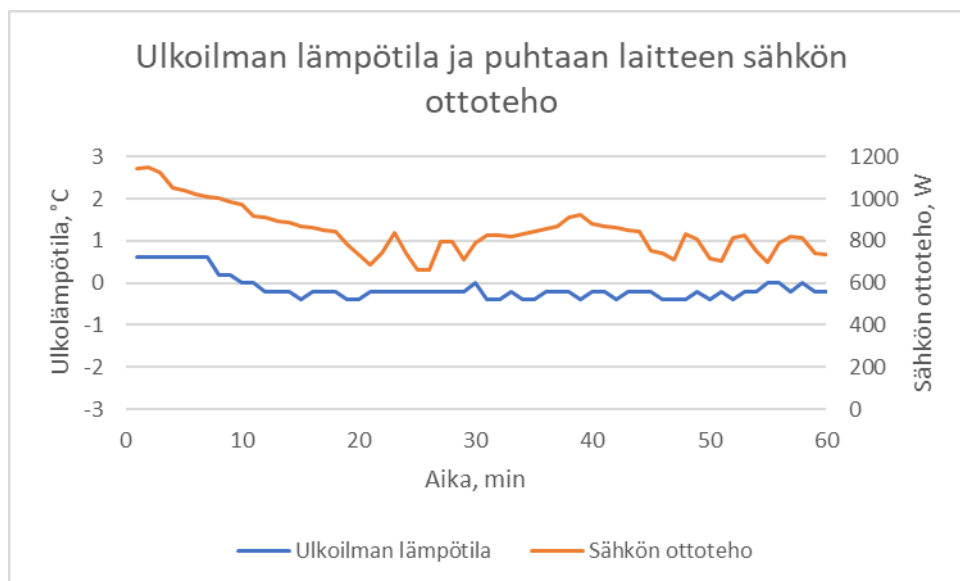
Ulospuhallusaukko						
Korkeus	60 mm					
Leveys	560 mm					
Pinta-ala A	33600 mm ²					
	0,0336 m ²					
OKT-kohde 2/4 asetuksella			OKT-kohde 4/4 asetuksella			
Mittauspisteet	Likainen, m/s	Puhdas, m/s		Likainen, m/s	Puhdas, m/s	
1	1,2	3,1		1	1,3	4
2	1,2	3,1		2	1	3,6
3	2,5	3,2		3	1,2	5,6
4	2,6	3,5		4	1,4	5,3
5	3,1	3,6		5	4,1	4,6
6	2,7	3,1		6	4,7	4,2
7	2,4	3,4		7	5,1	4,6
8	2	2,5		8	4,4	5,2
9	2,1	2,7		9	4,5	5,4
10	2,3	2,7		10	4,2	4,9
11	2,2	2,2		11	4	5,8
12	2,1	3,6		12	3,6	6,2
13	2,3	2,5		13	4,2	6,2
14	1,3	2,9		14	4,6	6,3
15	1	2,5		15	3,3	5,8
16	2,3	3,4		16	1,4	5,7
17	1,8	3,2		17	0,7	6
18	1,7	3,3		18	0,7	4,9
19	1,5	2,8		19	1,6	4,3
20	1,7	2,5		20	3	3,9
21	1,3	2,3		21	3,7	6
22	0,8	2,7		22	3,9	5,7
23	0,4	3		23	3,6	5,3
24	0,4	3		24	3,7	5,1
25	0,5	3,2		25	3,4	4,8
Puhallusnopeuden ka., m/s	1,736	2,960		Puhallusnopeuden ka., m/s	3,092	5,176
Tilavuusvirta, m ³ /s	0,0583	0,0995		Tilavuusvirta, m ³ /s	0,104	0,174
Tilavuusvirta, m ³ /min	3,500	5,967		Tilavuusvirta, m ³ /min	6,233	10,435
Muutos		71 %		Muutos		67 %

7.3.2 Tunnin tarkastelujakso

Kuvassa 26 on esitetty tunnin mittaisen tarkastelujakson ulkoilman lämpötila ja likaisen ilmalämpöpumpun sähkön ottoteho. Kuvassa 27 on esitetty vastaavat tiedot puhtaan ilmalämpöpumpun osalta. Tässä tunnin mittaisella tarkastelujaksolla ulkolämpötilan ollessa $-0,1$ °C voidaan huomata laitteen käyvän yhtäjaksoista käyntiä sekä likaisena että puhtaana.



Kuva 26. Ulkoilman lämpötila ja likaisen ilmalämpöpumpun sähkön ottoteho tunnin mittaisella tarkastelujaksolla.



Kuva 27. Ulkoilman lämpötila ja puhtaan ilmalämpöpumpun sähkön ottoteho tunnin mittaisella tarkastelujaksolla.

Taulukossa 7 on esitetty tunnin mittaisen tarkastelujakson suorituskyvyn muutokset. Tällä tarkastelujaksolla ilmalämpöpumpun keskimääräisen lämpötehon muutos oli 170 %. Laitteiston keskimääräinen lämpökerroin parani 69 %. Laitteen keskimääräinen

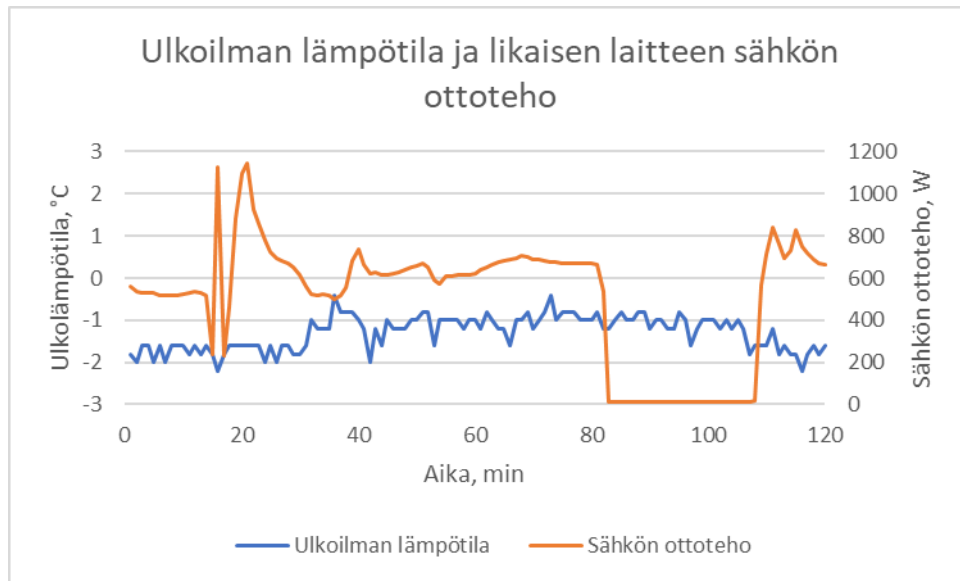
sähkön ottoteho on puhtaalla laitteella huomattavan paljon suurempi. Olettaen, että lämmöntarve on sama puhtaan ja likaisen laitteen mittauksissa, saavutettiin puhtaalla laitteella 55 % energiansäästöä.

Taulukko 7. Tunnin tarkastelujakson laskelmat.

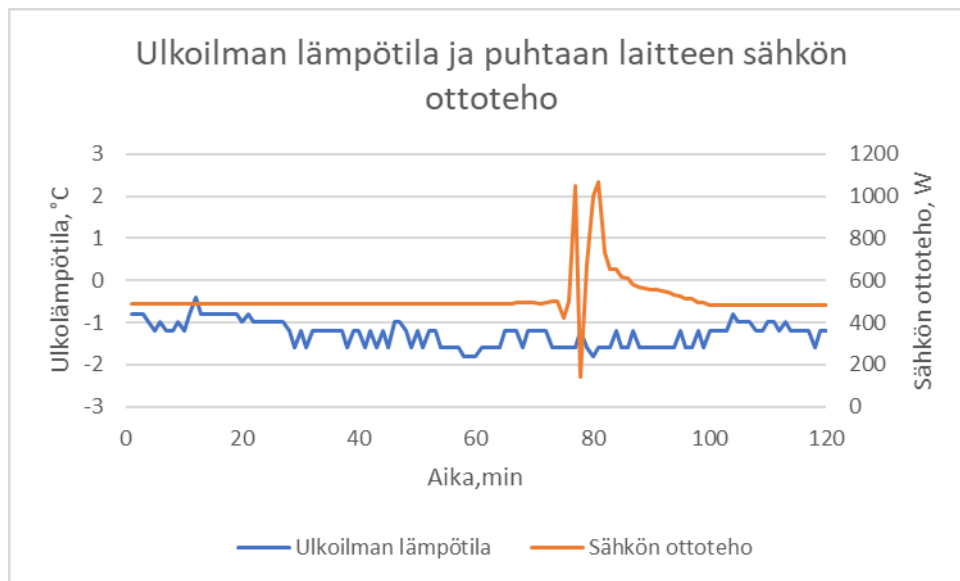
	Likainen	Puhdas
Päivämäärä	5.4.2019	6.4.2019
Aloitus	4:00	4:26
Lopetus	4:59	4:25
Ulkoilman keskimääräinen lämpötila t_u (°C)	-0,1	-0,1
Imuilman keskimääräinen lämpötila t_i (°C)	26,47	25,98
Puhallusilman keskimääräinen lämpötila t_p (°C)	37,9733	44,19
Keskimääräinen lämpötilaero $\Delta t_{t_p-t_i}$ (°C)	11,51	18,21
Tilavuusvirta q_v (m ³ /s)	0,0583	0,10
Ilman tiheys ρ_i (kg/m ³)	1,2	1,2
Ominaislämpökapasiteetti c_{pi} (J/(kgK))	1000	1000
Keskimääräinen lämpöteho $\Phi_{\text{lämmitys}}$ (W)	805,42	2173,31
Lämpötehon muutos		170 %
Keskimääräinen sähköteho $P_{\text{sähkö}}$ (W)	529,62	846,24
Sähkötehon muutos		60 %
Keskimääräinen lämpökerroin COP	1,52	2,57
Lämpökertoimen muutos		69 %

7.3.3 Kahden tunnin tarkastelujakso

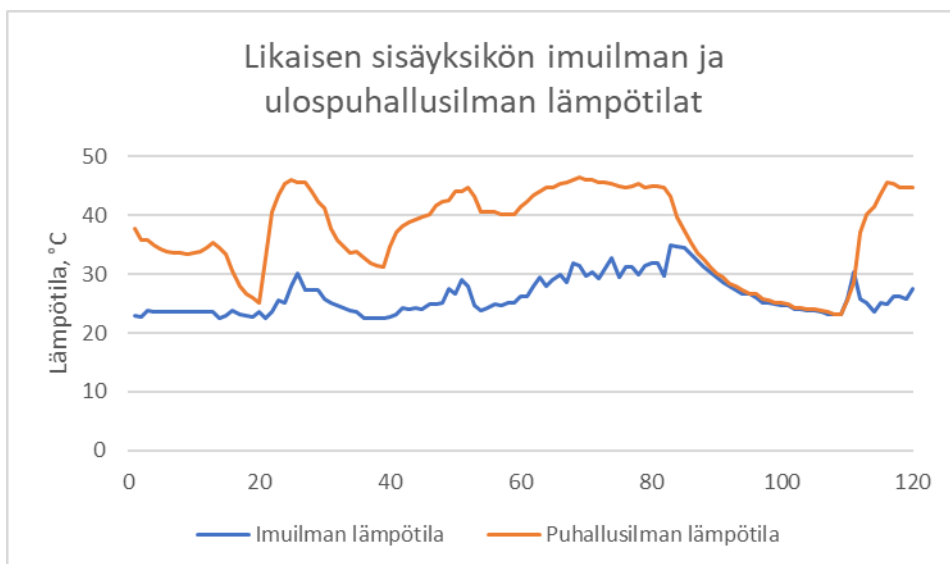
Kuvassa 28 on esitetty kahden tunnin mittaisen tarkastelujakson ulkoilman lämpötila ja likaisen ilmalämpöpumpun sähkön ottoteho. Kuvassa 29 on esitetty vastaavat tiedot puhtaan ilmalämpöpumpun tarkastelujaksolta. Tarkastelujaksoilla sähkön ottotehossa on tapahtunut äkillisiä muutoksia. Näille äkillisille muutoksille ei työssä onnistuttu löytämään selitystä. Kuvassa 30 on esitetty likaisen ilmalämpöpumpun tarkastelujakson imuilman ja puhallusilman lämpötilat. Tarkastelujakson imuilman ja puhallusilman lämpötilojen perusteella kyse ei ole lämpöpumpun sulatusjaksosta. Sulatusjaksolla laite siirtää lämpöä talon sisältä ulkoyksikön lämmönsiirtimeen, jolloin sisäyksikön puhallusilman lämpötila laskee alle imuilman lämpötilan. Likaisen ilmalämpöpumpun tarkastelujaksolla on noin puolen tunnin tauko. Ennen taukoa imuilman lämpötila nousee 35 °C:seen.



Kuva 28. Ulkoilman lämpötilä ja likaisen ilmalämpöpumpun sähkön ottoteho kahden tunnin mittaisella tarkastelujaksolla.



Kuva 29. Ulkoilman lämpötilä ja puhtaan ilmalämpöpumpun sähkön ottoteho kahden tunnin mittaisella tarkastelujaksolla.



Kuva 30. Likaisen ilmalämpöpumpun imuilman ja puhallusilman lämpötilat.

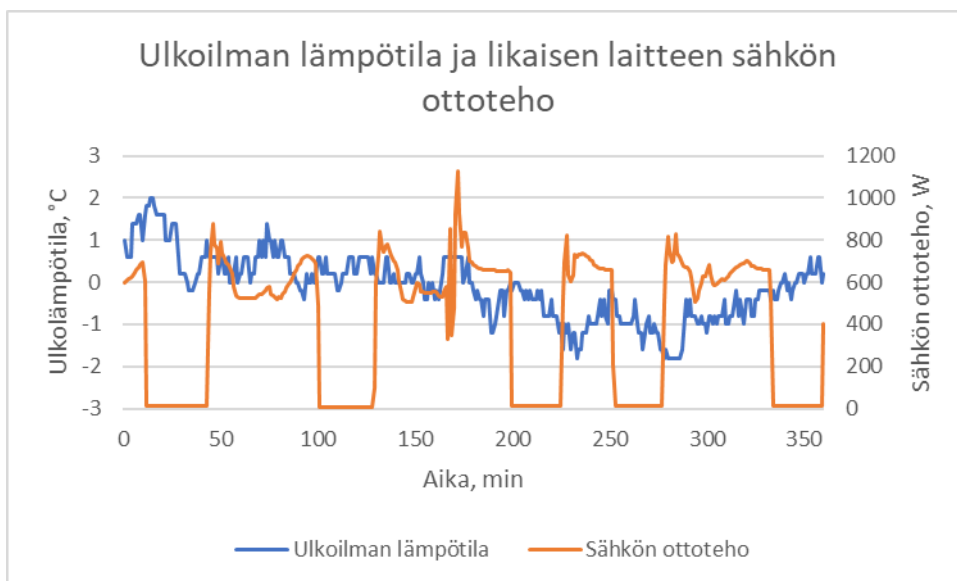
Taulukossa 8 on esitetty kahden tunnin mittaisen tarkastelujakson suorituskyvyn muutokset. Tällä tarkastelujaksolla ilmalämpöpumpun keskimääräisen lämpötehon muutos oli 58 %. Laitteiston keskimääräinen lämpökerroin parani 57 %. Laitteen keskimääräinen sähkön ottoteho on puhtaalla laitteella huomattavan paljon suurempi.

Taulukko 8. Kahden tunnin tarkastelujakson laskelmat.

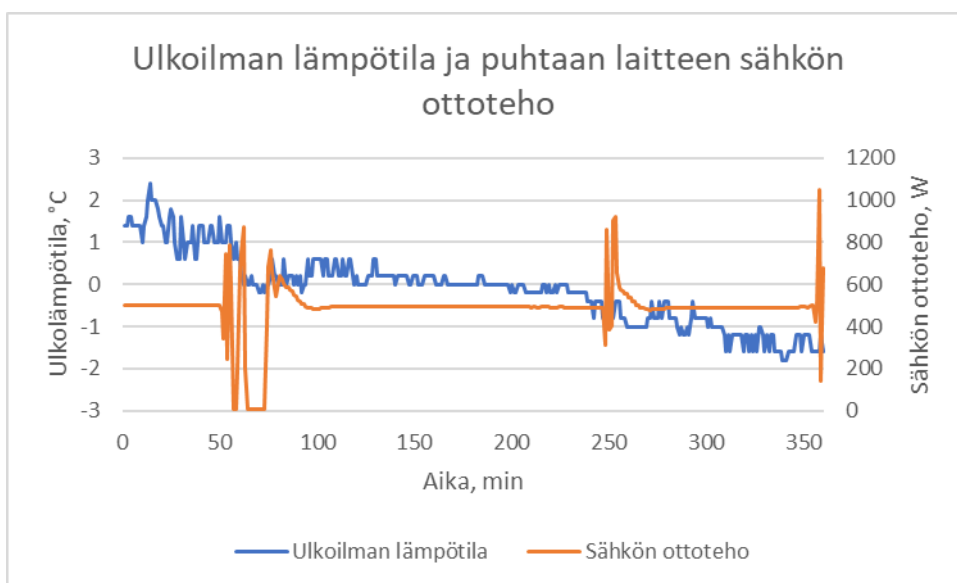
	Likainen	Puhdas
Päivämäärä	3.4.2019	7.4.2019
Aloitus	4:00	4:20
Lopetus	5:59	6:19
Ulkoilman keskimääräinen lämpötila t_u (°C)	-1,3	-1,3
Imuilman keskimääräinen lämpötila t_i (°C)	26,27	25,27
Puhallusilman keskimääräinen lämpötila t_p (°C)	36,97	35,22
Keskimääräinen lämpötilaero Δt t_p-t_i (°C)	10,71	9,94
Tilavuusvirta q_v (m ³ /s)	0,0583	0,0995
Ilman tiheys ρ_i (kg/m ³)	1,2	1,2
Ominaislämpökapasiteetti c_{pi} (J/(kgK))	1000	1000
Keskimääräinen lämpöteho $\Phi_{\text{lämmitys}}$ (W)	749,30	1186,51
Lämpötehon muutos		58 %
Keskimääräinen sähköteho $P_{\text{sähkö}}$ (W)	507,95	511,14
Sähkötehon muutos		1 %
Keskimääräinen lämpökerroin COP	1,48	2,32
Lämpökertoimen muutos		57 %

7.3.4 Kuuden tunnin tarkastelujakso

Kuvassa 31 on esitetty ulkoilman lämpötila ja likaisen ilmalämpöpumpun sähkön otto-
teho. Kuvassa 32 on esitetty vastaavat tiedot puhtaan ilmalämpöpumpun tarkastelujak-
solta. Näissä kuuden tunnin tarkastelujaksoissa keskiulkolämpötilan ollessa $-1,3$ °C, käy
likainen laite katkokäyntiä. Puhtaan ilmalämpöpumpun kuvaajasta on nähtävissä laitteen
käyvän lähes koko tarkastelujakson ajan yhtenäistä käyntiä. Tarkastelujaksoilla sähkön
ottotehossa on tapahtunut äkillisiä muutoksia. Näitä äkillisiä muutoksia ei pystytä selittä-
mään.



Kuva 31. Ulkoilman lämpötilä ja likaisen ilmalämpöpumpun sähkön ottoteho kuuden tunnin mittaisella tarkastelujaksolla.



Kuva 32. Ulkoilman lämpötilä ja puhtaan ilmalämpöpumpun sähkön ottoteho kuuden tunnin mittaisella tarkastelujaksolla.

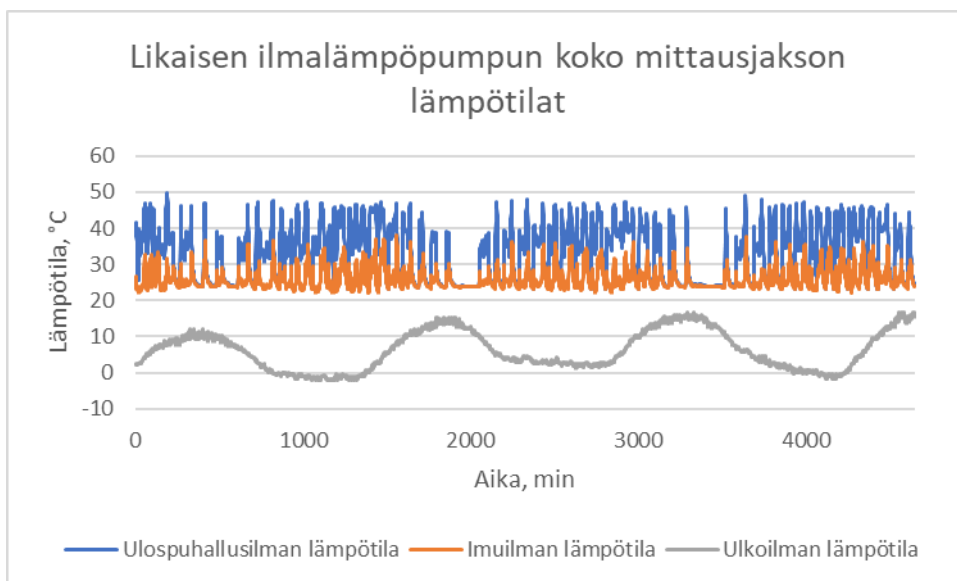
Taulukossa 9 on esitetty kuuden tunnin mittaisen tarkastelujakson suorituskyvyn muutokset. Tällä tarkastelujaksolla ilmalämpöpumpun keskimääräisen lämpötehon muutos oli 97 %. Laitteiston keskimääräinen lämpökerroin parani 61 %.

Taulukko 9. Kuuden tunnin tarkastelujakson laskelmat.

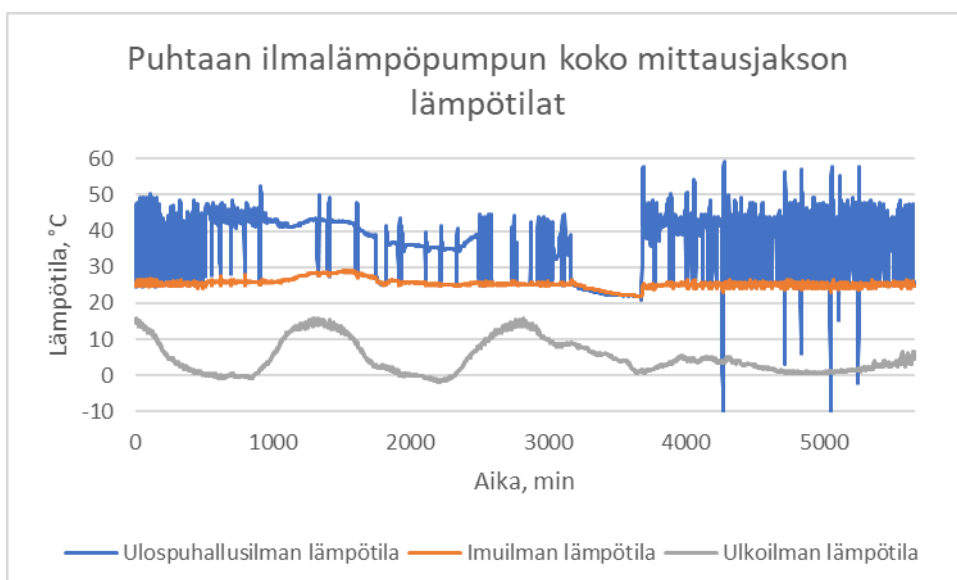
	Likainen	Puhdas
Päivämäärä	5.4.2019	6.4.2019
Aloitus	1:30	23:39
Lopetus	7:29	5:38
Ulkoilman keskimääräinen lämpötila t_u (°C)	-0,1	-0,1
Imuilman keskimääräinen lämpötila t_i (°C)	26,85	25,72
Puhallusilman keskimääräinen lämpötila t_p (°C)	35,22	35,37
Keskimääräinen lämpötilaero Δt t_p-t_i (°C)	8,37	9,65
Tilavuusvirta q_v (m ³ /s)	0,0583	0,0995
Ilman tiheys ρ_i (kg/m ³)	1,2	1,2
Ominaislämpökapasiteetti c_{pi} (J/(kgK))	1000	1000
Keskimääräinen lämpöteho $\Phi_{\text{lämmitys}}$ (W)	585,94	1151,83
Lämpötehon muutos		97 %
Keskimääräinen sähköteho $P_{\text{sähkö}}$ (W)	399,41	487,58
Sähkötehon muutos		22 %
Keskimääräinen lämpökerroin COP	1,47	2,36
Lämpökertoimen muutos		61 %

7.3.5 Koko mittausjakso

Kuvassa 33 on esitetty likaisen ilmalämpöpumpun koko mittausjakson ulospuhallusilman, imuilman ja ulkoilman lämpötilat. Kuvassa 34 on esitetty puhtaan ilmalämpöpumpun koko mittausjakson vastaavat lämpötilat. Kuvia vertailemalla voidaan huomata likaisen laitteen imuilman lämpötilan heittelevän enemmän kuin puhtaan laitteen. Lisäksi puhtaan laitteen mittauksissa on havaittavissa enemmän yhtäjaksoista käyntiä. Mittauksien aikana laitteen käyttäjä oli sammuttanut laitteen, ja tästä johtuu kuvassa 34 näkyvä pitkä yhtenäinen ulospuhallusilman ja imuilman lämpötilan tasainen laskeminen. Kuvassa 34 mittausjakson loppupuolella on nähtävissä ulospuhallusilman suuria lämpötilan vaihteluita. Lämpötilan vaihtelut johtuvat mahdollisesti laitteen automaattisesta sulatus-toiminnosta. Nämä suuret lämpötilan vaihtelut eivät osuneet lyhyempiin tarkastelujaksoihin.



Kuva 33. Likaisen ilmalämpöpumpun koko mittausjakson lämpötilat.



Kuva 34. Puhtaan ilmalämpöpumpun koko mittausjakson lämpötilat.

Taulukossa 10 on esitetty suorituskyvyn muutokset koko mittausjaksojen osalta. Mittausjaksot ovat erimittaisia ja keskimääräisissä ulkoilman lämpötiloissa on eroa. Puhtaan laitteen mittauksissa keskimääräinen ulkolämpötila on 1,2 °C matalampi. Matalammasta lämpötilasta huolimatta nousi laitteen keskimääräinen lämpökerroin 63 %. Olosuhteiden

ollessa erilaisia ei laitteen suorituskyvyn muutoksia ei pystytä vertailemaan luotettavasti taulukon tiedoilla.

Taulukko 10. Koko mittausjakson laskelmat.

	Likainen	Puhdas
Aloituspvm.	2.4.2019	5.4.2019
Aloitusklo	8:39	16:41
Lopetuspvm.	5.4.2019	9.4.2019
Lopetusklo	14:08	15:01
Ulkoilman keskimääräinen lämpötila t_u (°C)	6,2	5,0
Imuilman keskimääräinen lämpötila t_i (°C)	25,96	25,49
Puhallusilman keskimääräinen lämpötila t_p (°C)	33,16	36,70
Keskimääräinen lämpötilaero $\Delta t_{t_p-t_i}$ (°C)	7,20	11,22
Tilavuusvirta q_v (m ³ /s)	0,0583	0,0995
Ilman tiheys ρ_i (kg/m ³)	1,2	1,2
Ominaislämpökapasiteetti c_{pi} (J/(kgK))	1000	1000
Keskimääräinen lämpöteho $\Phi_{\text{lämmitys}}$ (W)	503,81	1338,92
Lämpötehon muutos		166 %
Keskimääräinen sähköteho $P_{\text{sähkö}}$ (W)	307,80	501,19
Sähkötehon muutos		63 %
Keskimääräinen lämpökerroin COP	1,64	2,67
Lämpökertoimen muutos		63 %

7.4 Mittauksien päätelmät

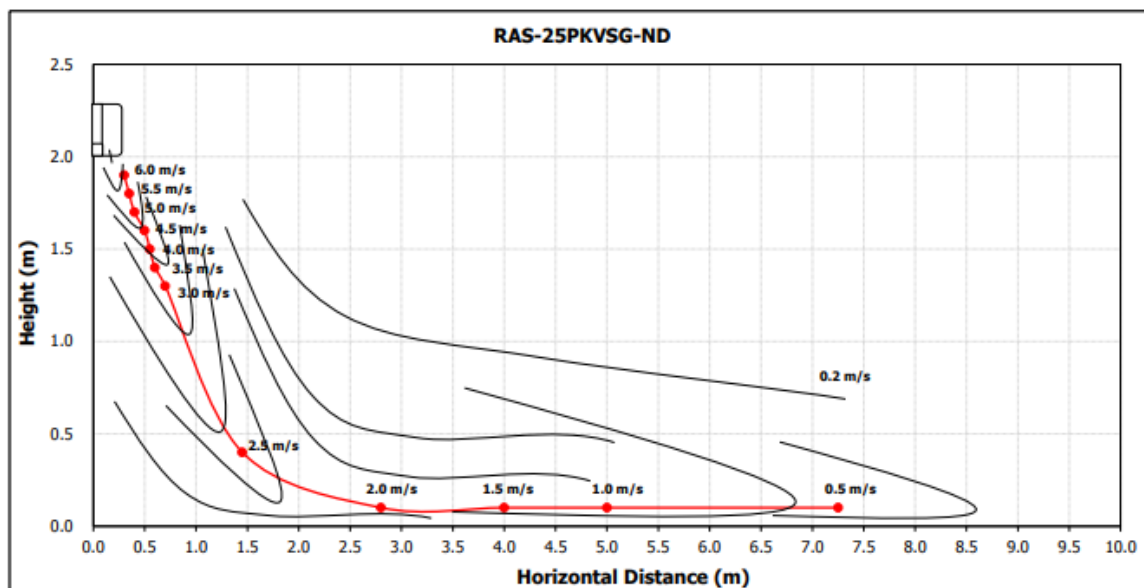
Kaikissa mittauksien tarkastelujaksoissa on havaittavissa, että kompressorin käynnistysten määrä on vähäisempi, kun laite on puhdas. Puhdas laite myös tuottaa enemmän lämpöä huomattavasti paremmalla lämpökertoimella. Täten puhtaalla ilmalämpöpumpulla voidaan kattaa paljon suurempi osa huoneiston kokonaislämmöntarpeesta kuin likaisella ilmalämpöpumpulla. Likaisen ilmalämpöpumpun lyhyet käyntijaksot voivat lyhentää kompressorin käyttöikä. Lisäksi käyntijaksojen lyheneminen heikentää laitteen energiatehokkuutta. Kylmäprosessin käynnistäminen kuluttaa enemmän sähköenergiaa kuin yhtäjaksoinen tasainen käynti (20). Laitteiston ohjaus ja säätöarvoja ei ollut käytettävissä, joten kaikkia muutoksia ja katkokäynnin syytä ei pystytä varmuudella selittämään.

Puhallusnopeuksissa havaittiin merkittävä muutos likaisen ja puhtaan laitteen välillä. Tämä puhallusnopeuden pienentyminen on omiaan heikentämään laitteen suorituskykyä. Heikentynyt puhallusnopeus vaikuttaa sisäyksikön puhallusilman heittopituuteen.

Mittauksissa on epävarmuutta ulkolämpötilan muuttuessa eri tavoin likaisen ja puhtaan laitteen mittauksien välillä. Puhallusnopeuksia mitattaessa ilman pyörteily ulospuhallusaukolla vaikuttaa myös tarkkuuteen. Puhallusnopeuden oletetaan pysyvän vakiona koko mittausjakson ajan. Ilman kosteuden muutos ja auringon ajoittanen säteily voi vaikuttaa laitteen toimintaan. Asuntojen sisäiset lämpökuormat on myös jätetty huomioida. Mittauksien tarkastelujaksot eivät ole samoina vuorokaudenaikoina, vaan ainoana valintaperusteena oli sama keskimääräinen ulkolämpötila. Eri vuorokauden aikoina voivat talon sisäiset lämpökuormat vaihdella merkittävästi. Samankaltaisten tarkastelujaksojen haarukoiminen mittausdatasta tuotti hankaluuksia, kun ulkoilman olosuhteet vaihtelivat jokseenkin paljon. Likaisen ja puhtaan laitteen tarkastelujaksoissa pyrittiin poimaan mittausjaksot, joissa ulkolämpötilan muutokset ovat samansuuntaisia.

8 Pohdinta

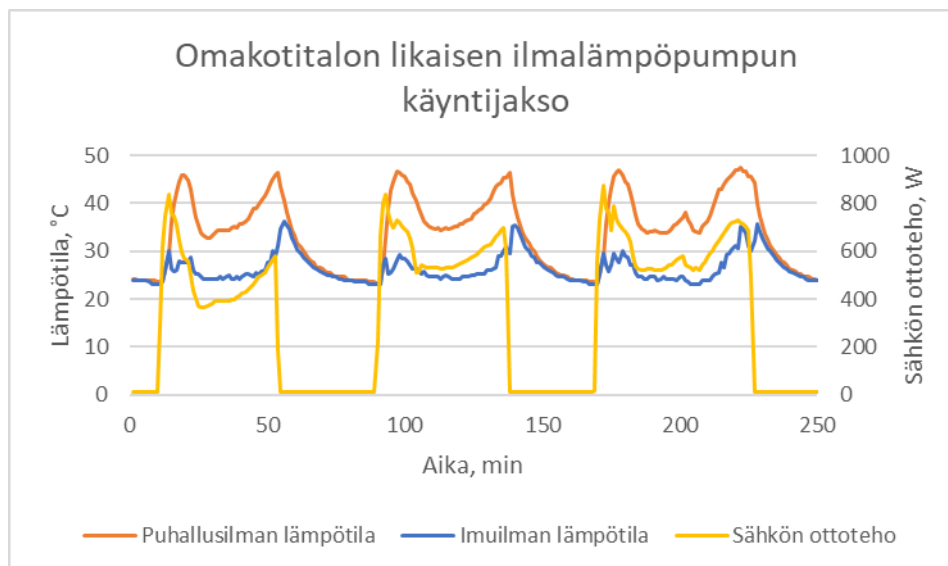
Sisäyksikkö ottaa imuilman laitteen yläosasta ja puhaltaa sen ulos laitteen alaosasta. Lähes sama imuilman lämpötila likaisena ja puhtaana johtuu mahdollisesti ulospuhallusilman heittokuvion muutoksesta ilmavirran pienentyessä. Imuilman lämpötilan suurempi hajonta tukee tätä arviota heittokuvion muutoksesta. Kuvassa 35 on Toshiba Optimum -ilmalämpöpumpun ulospuhalluskuvio lämmityskäytössä.



Kuva 35. Toshiba Optimum -ilmalämpöpumpun ulospuhalluskuvio (22).

Likaisella laitteella puhallustehon ollessa heikko voi laitteen ulospuhallusilma palata sisäyksikölle lyhyehköä reittiä. Tällöin laitteen ympäristöön luovuttama lämpöteho jää vähäiseksi. Likaisen ilmalämpöpumpun pienentynyt ulospuhallusilman heittopituus voi olla merkittävä tekijä myös laitteen tiheämpiin käyntijaksoihin. Kun lämmin ulospuhallusilma virtaa lyhyehköä reittiä takaisin imuaukolle, lämpötila-anturi saavuttaa nopeammin lämpötilarajan, jolla kompressori sammuu. Heittokuvion ollessa suurempi sekoittuu ulospuhallusilma enemmän muun huoneilman kanssa. Tällöin imuilman lämpötila nousee vasta kun ympäröivän tilan lämpötila on noussut riittävästi. Myös laitteiden käyttämän sähkötehon käyrän muoto muuttui merkittävästi laitteiden puhdistuksen jälkeen. Ikään kuin likainen laite tulkitseisi käynnistyessään tarvitsevansa paljon lämmitystehoa, minkä jälkeen laite vähentää sähköverkosta ottamaansa tehoa, kunnes sammuu. Puhdas laite käynnistyyään kasvattaa verkosta ottamaansa sähkötehoa tasaisesti, kunnes laite sammuu.

Tämäkin voi johtua laitteen ulospuhalluskuvion muutoksesta. Kuvassa 36 on esitetty omakotitalon likaisen ilmalämpöpumpun käyntijakso. Kuvasta on nähtävissä, että imuilman lämpötilä seuraa ulospuhallusilman lämpötilää ja imuilman lämpötilä nousee ajoittain yli 35 °C:n. Tämä vahvistaa teoriaa ulospuhallusilman heittopituuden muutoksesta.



Kuva 36. Omakotitalon likaisen ilmalämpöpumpun käyntijakso

Ilmalämpöpumput olivat tyypillisissä asumiskäyttöön tarkoitetuissa taloissa. Molempien kohteiden sisäyksiköiden likaisuus vastasi silmämääräisesti tyypillistä ilmalämpöpumpun likaantumista.

Lainsäädäntö velvoittaa puhdistamaan pientalon ilmanvaihtokanavat vähintään 10 vuoden välein. Ilmalämpöpumppu on alttiina täysin samoille epäpuhtauksille, mutta näille laitteille ei ole määritetty pakollista huoltoväliä. Likainen ilmalämpöpumppu voi mahdollisesti heikentää sisäilman laatua. Hyvän sisäilman edellytys on ilmalämpöpumpun huoltaminen säännöllisesti.

9 Yhteenveto

Ulkoilmalämpöpumput ovat saavuttaneet suuren suosionsa helpon jälkiasentamisen ja pienen investointikustannuksen ansiosta. Ilmalämpöpumpuilla voidaan jäähdyttää ja lämmittää tarpeen mukaan. Ilmalämpöpumpun sisäyksikkö kierrättää sisäilmaa samalla likaantuen sisäilman epäpuhtauksista. Sisäyksikön likaantuessa laitteiston suorituskyky laskee. Takaisinmaksuaika-arviot ilmalämpöpumpuille vaihtelevat tyypillisesti kolmesta seitsemään vuoteen. Näissä laskelmissa ei oteta huomioon suorituskyvyn heikkene- mistä eikä huoltokustannuksia.

Työn tavoitteena oli tutkia ja mitata ilmalämpöpumpun likaantumisen vaikutuksia laitteis- ton toiminnalle. Työssä tutkittiin ja mitattiin laitteen sisäyksikön likaantumisen vaikutusta ilmalämpöpumpun sähkön ottotehoon, sisäyksikön ilmavirtaan ja sen antamaan lämpö- tehoon.

Kahden käytössä olleen ilmalämpöpumpun suorituskykyä mitattiin keväällä 2019. Mit- taukset toteutettiin tallentavilla mittalaitteilla kahdessa normaalissa käytössä likaantu- neelle laitteistolle. Kohteet valittiin työn tilaajan Teamtech Oy:n järjestämällä Facebook- kampanjalla, jolle mitattavaan laitteeseen tarjottiin veloituseton ilmalämpöpumpun Freshwash-pesu. Toinen laitteista oli sijoitettu rivitaloasunnon tuulikaapin oven yläpuo- lelle toisen ollessa omakotitalon olohuoneen ja keittiön välimaastossa. Mittaukset tehtiin likaantuneille ilmalämpöpumpuille, minkä jälkeen laitteet puhdistettiin ja mittaukset tois- tettiin.

Mittauksilla voitiin osoittaa ilmalämpöpumppujen likaantumisella olevan merkittävä vai- kutus laitteiden suorituskykyyn ja energiatehokkuuteen. Mitattujen laitteiden lämpöker- toimet olivat heikentyneet likaantumisen myötä. Lisäksi laitteiden huoneilmaan siirtämä keskimääräinen lämpöteho oli pienentynyt merkittävästi molemmissa kohteissa. Likaan- tuminen vaikuttaa alentavasti laitteiden tuottamaan ilmavirtaan. Puhtaiden sisäyksiköi- den tuottama ilmavirta käyttäjän määrittämällä normaalin käytön puhallusnopeuden ase- tuksella oli lähes saman suuruinen kuin likaisten sisäyksiköiden suurimmalla puhallus- nopeuden asetuksella. Käyttäjän määrittämä puhallusnopeuden asetus rivitalokoh- teessa oli 1/3 ja omakotitalossa 2/4. Mittauksista havaittiin likaisen ilmalämpöpumpun käyvän enemmän katkokäyntiä kuin puhtaan ilmalämpöpumpun. Katkokäynti voi

lyhentää kompressorin käyttöikä. Katkokäynnin syytä ei pystytty varmuudella selittämään, koska laitteiden ohjaus- ja säätöarvoja ei ollut käytettävissä. Yhtenä mahdollisuutena esitettiin heittokuvion muuttumista sisäyksikön ilmavirran pienentyessä likaantumisen myötä. Mittauksilla pystyttiin kuitenkin osoittamaan, että sisäyksikön puhdistaminen paransi sekä laitteiston lämpötehoa että lämpökerrointa kummassakin mittauskohteessa. Niiden sisäyksiköt olivat tavanomaisesti likaantuneet, ja rivitalokohteessa lämpöteho kasvoi 24 % ja lämpökerroin parani 15 %. Omakotitalokohteessa lämpöteho kasvoi jopa 166 % ja lämpökerroin parani 63 %.

Tuloksiin liittyy epävarmuutta muun muassa sisäisten lämpökuormien ja säätilan muutosten johdosta. Mittaukset olisi hyvä toteuttaa täysin samanlaisissa olosuhteissa likaisella ja puhtaalla ilmalämpöpumpulla. Tähän soveltuisi hyvin esimerkiksi kylmälaboratorio, jossa olosuhteita voidaan itse säädellä.

Lähteet

- 1 Suomeen myydyt ilmalämpöpumput. 2018. Verkkoaineisto. Suomen lämpöpump-puyhdistys. [https://www.sulpu.fi/docu-ments/184029/0/La%CC%88mpo%CC%88pumpputi-lasto%202018%2C%20%20kuvaajat%20FI%2C%20f.pdf](https://www.sulpu.fi/documents/184029/0/La%CC%88mpo%CC%88pumpputi-lasto%202018%2C%20%20kuvaajat%20FI%2C%20f.pdf) Luettu 21.3.2019
- 2 Niiranen Tomi, 2014. Ilmalämpöpumpun investoinnin kannattavuus pientalossa. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 3 Tutkittua energiansäästöä ilmalämpöpumpulla. 2012. Verkkoaineisto. Motiva. https://www.motiva.fi/files/5427/Tutkittua_energiansaastoa_ilmalampopum-pulla.pdf Luettu 21.3.2019
- 4 Lämpöpumput. RT-kortti LVI 11-10332. 2002. Rakennustieto Oy.
- 5 Energian säästö ja lämpökertoimet. Verkkoaineisto. RefGroup Oy. <http://www.il-malampopumput.fi/fi/mika-ihmeen-lampopumppu/energian-saasto> Luettu 2.4.2019
- 6 Kauppila Kari. 2018. EnerSys CM Oy. Energiaväylän kuluttajan lämpöpumppu-keskus. Verkkoaineisto. <https://sykli.fi/wp-content/uploads/2018/05/energia-vaylankuluttajanlampopumppukeskus-final-06032018-1.pdf> Luettu 18.7.2019
- 7 Heat Pump Reversing Valve. 2017. Verkkoaineisto. <http://heatpumpnew-taimeda.blogspot.com/2017/03/heat-pump-reversing-valve.html> Luettu 21.3.2019
- 8 Ilmalämpöpumpun energiataloudellinen käyttö. Verkkoaineisto. Motiva. https://www.motiva.fi/files/6794/Ilmalampopumpun_energiataloudelli-nen_kaytto.pdf Luettu 21.3.2019
- 9 Ilmalämpöpumpulla säästöä kustannuksiin. 2016. Verkkoaineisto. Helen Oy. <https://www.helen.fi/asiakaspalvelu/ajankohtaista/arjessa/vinkit-ja-reseptit/ilma-lampopumpulla-saastoa-lammityskustannuksiin/> Luettu 21.3.2019
- 10 Rantanen Mikko, 2015. Lämpöpumppulämmitysjärjestelmän mitoitus ja laitevalin-nat. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 11 Ilmalämpöpumpun ja jäähdytyslaitteen huolto sekä desinfiointi. Verkkoaineisto. Lämpötilamestarit Oy. <https://www.lampotilamestarit.fi/huolto/il-mal%C3%A4mp%C3%B6pumppun-huolto.php> Luettu 20.2.2019
- 12 Asumisterveysasetuksen soveltamisohje 8/2016. Valvira. <https://www.val-vira.fi/documents/14444/261239/Asumisterveysasetuksen+soveltamis-ohje/ac8d5e16-97be-456c-9c9c-ce8560f2092e> Luettu 8.3.2019

- 13 Teamtech Oy:n kenttäkokemukset ja kuvapankki.
- 14 Ilmalämpöpumppujen mikrobiologinen puhtaus käytön aikana. 2018. Verkkoaineisto. Scanoffice Oy. <https://www.scanoffice.fi/wp-content/uploads/sites/11/2018/12/Tutkimusselostus-nro-VTT-S-09036-11.pdf> Luettu 20.2.2019
- 15 Bergman Anne, 2012. Ilmalämpöpumpun hygieniatutkimus. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta
- 16 Energiatehokas lämmönsiirto. Verkkoaineisto. Motiva. https://www.motiva.fi/files/11078/Energiatehokas_lammonsiirto_opas.pdf Luettu 1.3.2019
- 17 Henkilöpätevydet ja pätevyysvaatimukset. Verkkoaineisto. Tukes. <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/kylmaala/henkilopatevydet-ja-patevyysvaatimukset> Luettu 20.7.2019
- 18 Eu:n asetus 842/2006. Suomen Kylmäliikkeiden Liitto r.y. http://www.skll.fi/Aset_842_lyh.pdf Luettu 20.7.2019
- 19 Ilmanvaihtojärjestelmän puhtaus hyvän sisäilman edellytys. Verkkoaineisto. Ympäristö.fi. https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Korjaustieto/Pientalot/Sisailmaongelmat/Sisailman_laatu/Ilmanvaihtojarjestelman_puhtaus Luettu 2.4.2019
- 20 Ilmalämpöpumpun huolto. Verkkoaineisto. Hengitysliitto. <https://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/ilmalampopumppu/ilmalampopumpun-huolto> Luettu 21.3.2019
- 21 1009/2017 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta.
- 22 Toshiba Optimum Databook. 2019. Verkkoaineisto. Toshiba HVAC Finland. https://www.toshibasuomi.fi/wp-content/uploads/2019/01/Toshiba_Optimum_Databook.pdf Luettu 29.7.2019

Liite 1. Rivitalokohteen ilmalämpöpumpun tekniset tiedot

Tekniset tiedot IVT Nordic Inverter			
Malli	PremiumLine 12KHR-N	09 LR-N	12 LR-N
Teho			
Lämmitysteho min/max	0,9-6,5 kW	1,4-5,0 kW	1,4-6,0 kW
Jäähdytysteho min/max	0,9-4,0 kW	1,4-3,0 kW	1,4-4,0 kW
Sähkönkulutus lämmityksessä (min/max)	0,16-1,7 kW	0,3-1,3 kW	0,3-1,7 kW
Sähkönkulutus jäähdytyksessä (min/max)	0,2-1,25 kW	0,35-0,8 kW	0,35-1,3 kW
Kompressori			
Tyyppi		Rotaatio, tasavirta, digitaaliohjaus	
Kylmäaineen (R410a) määrä	1180 g	1140 g	1140 g
Puhallin			
Ilmavirtaus, lämmitys	5,7-11,2 m ³ /min	6,0-9,2 m ³ /min	6,0-9,2 m ³ /min
Ilmavirtaus, jäähdytys	5,2-9,3 m ³ /min	4,7-9,4 m ³ /min	4,7-9,4 m ³ /min
Sähköliitännät			
Sähkökytkentä	240 V 1N~50 Hz	240 V 1N~50 Hz	240 V 1N~50 Hz
Liitäntäteho/varoke	1,7 kW/10 A	1,3 kW/10 A	1,3 kW/10 A
Yleistä			
Sisäyksikön äänitaso, pieni puhallinnopeus jäähdytys/lämmitys	27/31 dBA	26/33 dBA	27/34 dBA
Sisäyksikön äänitaso, keski-suuri puhallinnopeus jäähdytys/lämmitys	35/38dBA	35/40 dBA	36/41 dBA
Sisäyksikön äänitaso, suuri puhallinnopeus jäähdytys/lämmitys	40/44dBA	42/43 dBA	43/44 dBA
Ulkoyksikön äänitaso, jäähdytys/lämmitys	47/49 dBA	45/46 dBA	48/49 dBA
Sisäyksikön mitat (leveys × syvyys × korkeus)	790×290×260 mm	770×248×260 mm	770×248×260 mm
Ulkoyksikön mitat (leveys × syvyys × korkeus)	780×265×540 mm	780×265×540 mm	780×265×540 mm
Sisäyksikön paino (ilman pakkausta)	15 kg	9 kg	9 kg
Ulkoyksikön paino (ilman pakkausta)	39 kg	34 kg	34 kg
Joutsenmerkki / P-merkki / A-energialuokka	Kyllä / Kyllä / Kyllä	Kyllä / Kyllä / Kyllä	Kyllä / Kyllä / Kyllä

Tehotiedot olosuhteissa, ulkolämpötila 6 °C ja sisälämpötila 20°C.

Liite 2. Omakotitalokohteen ilmalämpöpumpun tekniset tiedot

TEKNISET TIEDOT				
MALLI			MSZ-FD25VAH	MSZ-FD35VAH
Sisäyksikkö			MSZ-FD25VA	MSZ-FD35VA
Ulkoyksikkö			MUZ-FD25VAH	MUZ-FD35VAH
Lämmitys-toiminto	Lämmitysteho (nimellisteho)	kW	1,5–6,3 (3,2)	1,3–7,7 (4,0)
	Toiminta-alue (ulkolämpötila)	°C	–25 ~ +24	–25 ~ +24
	Omakäyttöteho (nimellisteho)	kW	0,48–2,03 (0,61)	0,40–2,50 (0,85)
	COP, lämpökerroin	W/W	5,25	4,71
	Energiatohokkuusluokka	ABCDEF	A	A
Jäähdytys-toiminto	Jäähdytysteho (nimellisteho)	kW	1,1–3,5 (2,5)	0,8–4,0 (3,5)
	Toiminta-alue (ulkolämpötila)	°C	–10 ~ +46	–10 ~ +46
	Omakäyttöteho (nimellisteho)	kW	0,26–0,97 (0,485)	0,16–1,12 (0,835)
	EER, energiatohokkuuskertoin	W/W	5,15	4,19
	Energiatohokkuusluokka	ABCDEF	A	A
Sisäyksikkö	Mitat, k x l x s	mm	295 x 798 x 257	295 x 798 x 257
	Paino	kg	12	12
	Äänenpaine (min–max)	dB(A)	20–42	21–44
Ulkoyksikkö	Mitat, k x l x s	mm	800 x 550 x 285	800 x 550 x 285
	Paino	kg	36	36
	Äänenpaine, max	dB(A)	46	50
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	20	20
	Sähköstys		ulkoyksikkö	ulkoyksikkö
	Jännite, vaihe/taajuus	V,Vaihe/Hz	230, 1/50	230, 1/50
Ominaisuudet	Talvivarustelu (sulatusveden jäätymisen esto)		on	on
	Puhalluksen pyyhkäisytoiminto		Automaattinen	Automaattinen
	Ajastin		24 h päälle/pois	24 h päälle/pois
	Alue-toiminto		on	on
	Quick Clean -imurisuttimet (lisävaruste)		on	on
	Kosteudenpoistotoiminto		on	on
	Ilmansuodatus		Plasma Duo	Plasma Duo
	Autom. uudelleenkäynnistys virtakatkon jälkeen		on	on
Scanoffice-hankintaturvatuote		✓	✓	
Kylmäaine		ryyppi	R410A	R410A
Vakiovarusteet	Plasma deodorizing filter	MAC-307FT-E	on	on
	Plasma anti-allergy enzyme filter	MAC-417FT-E	on	on

Liite 3. Lämpötilan pysyvyytiedot säävyöhykkeillä 1 ja 2

Oheisissa säätiedoissa lämpötilan pysyvyytiedot perustuvat Suomen energialaskennan referenssivuoden (D3 2012) tunnittaisiin ulkolämpötiloihin.

Säävyöhykkeet I ja II

Ulkoilman lämpötila 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	111595
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

Liite 4. Rivitalon ilmalämpöpumpun energiansäästölaskelmat

Lämpötila	Lämpötilan pysyvyys	
0 °C	519 h	
1 °C	498 h	
Yhteensä t	1017 h	
	Likainen	Puhdas
ILP:n antama lämpöteho $\Phi_{\text{lämmitys}}$ (W)	530,12	907,37
Ilmalämpöpumpun sähkön ottoteho $P_{\text{sähkö}}$ (W)	309,62	390,07
Ilmainen teho $\Phi_{\text{lämmitys}} - P_{\text{sähkö}}$ (W)	220,50	517,30
Ilmainen teho puhdas- Ilmainen teho likainen	296,80 W	
Ilmainen energia vuodessa lämpötilalla 0–1°C	301841 Wh/a	
	302 kWh/a	