

Lappeenrannan Lahden teknillinen yliopisto LUT
School of Energy Systems
Energiatekniikan koulutusohjelma
BH10A0202 Energiatekniikan kandidaatintyö

Ilmalämpöpumpun tehokerroin ja taloudellisuus todellisissa käyttöolosuhteissa

Työn tarkastaja: Tero Tynjälä

Työn ohjaaja: Tero Tynjälä

Lappeenranta 18.9.2019

Jarmo Haiko

TIIVISTELMÄ

Opiskelijan nimi: Jarmo Haiko

School of Energy Systems

Energiatekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyön ohjaaja: Tero Tynjälä

Kandidaatintyö 2019

23 sivua, 4 Taulukkoa, 8 kuvaa

Hakusanat: Ilmalämpöpumppu, uusiutuva energia, COP.

Tämän kandidaatin työn tarkoituksena on tarkastella vuonna 1987 rakennetun Etelä-Karjalassa sijaitsevan yksikerroksisen rivitalon yhteen huoneistoon lisättävän ilmalämpöpumpun kannattavuutta. Pumpun asennuksen tarkoituksena on säästää 67m² kokoisen suorasähkölämmitteisen huoneiston lämmityskustannuksissa. Huoneiston sähkönkulutustietoja hyödynnetään tässä työssä ja tarkoitus on selvittää mitä merkitystä ilmalämpöpumpulla olisi ollut kahden talven lämmityskuluissa ja mitä siitä voisi päätellä tulevien vuosien lämmitystarpeita ajatellen. Kohteeseen hankittiin testattu ilmalämpöpumppu, jonka COP-arvojen perusteella valinta tehtiin. Työn lopputuloksena todetaan, että ilmalämpöpumppu säästää lämmityskuluissa noin 550 € vuodessa ja takaisinmaksu ajaksi tulee noin 3,3 vuotta.

SISÄLLYSLUETTELO

Tiivistelmä

Sisällysluettelo

symboli- ja lyhenneluettelo

1 Johdanto	5
2 Kohde	6
3 Ilmalämpö	7
4 Ilmalämpöpumppu	8
<u>4.1 Lämmitys</u>	<u>10</u>
<u>4.2 Jäähdytys</u>	<u>10</u>
<u>4.3 Kylmäaineet</u>	<u>11</u>
<u>4.4 Kompressorit</u>	<u>11</u>
<u>4.5 Asennus</u>	<u>12</u>
5 Asunnon energiankulutus	15
6 Lämmityskulut	18
<u>6.1 Sähkön hinnan vaikutus</u>	<u>21</u>
7 Yhteenveto	22
8 Lähdeluettelo	23

SYMBOLI JA LYHENNELUETTELO

Roomalaiset aakkoset

p	paine	[bar, Pa]
T	lämpötila	[°C, K]
V	tilavuus	[m ³]
P	teho	[W]
Q	lämmitysenergia	[kWh]
c_p	ominaislämpökapasiteetti	[kJ/kgK]
ρ	tiheys	[kg/m ³]

Alaindeksit

in	sisä
out	ulko

Lyhenteet

COP	tehokerroin (Coefficient Of Performance)
SCOP	vuotuinen tehokerroin (Seasonal Coefficient Of Performance)
EER	kylmätehokerroin (Energy Efficiency Ratio)
SEER	vuotuinen kylmätehokerroin (Seasonal Energy Efficiency Ratio)

1. JOHDANTO

Eri lämmitysenergia vaihtoehtoja ja energian säästötapoja on tarkasteltu jo seitsemänkymmentäluvun öljykriisistä lähtien. Yhtenä varteenotettavana vaihtoehtona lisälämmönlähteenä nykyisin ovat ilmalämpöpumput, jotka ovat yleistyneet viimeisten viidentoista vuoden aikana. Tämän työn tarkoituksena on tarkastella ilmalämpöpumpun kannattavuutta suorasähkölämmitteisen huoneiston lisälämmönlähteenä.

Tätä aloituskappaletta seuraavassa työn toisessa kappaleessa kuvataan kohde ja lämmitysvaihtoehdot.

Kolmannessa kappaleessa käsitellään ilmassa olevaa lämpöä, sen siirtymistä itseksensä ja siirtämistä ilmalämpöpumpun avulla.

Neljännessä kappaleessa käsitellään ilmalämpöpumppujen ominaisuuksia, suorituskyvyn erilaisia mittausmenetelmiä ja pohjoisen ilmaston ulkoyksikön rakenteelle aiheuttamia vaatimuksia. Kappaleessa käsitellään myös lämmitys- ja jäähdytystoiminnot, sekä kylmäaineet ja kompressorit, sekä laitteiston asennus.

Viidennessä kappaleessa käsitellään asunnon energiankulutusta kokonaisuudessaan, jaettuna eri kulutuslaitteiden osuuksiin.

Kuudennessa kappaleessa käsitellään asunnon lämmityksen osuutta kokonaiskulutuksesta ja tarkastellaan ilmalämpöpumpun vaikutusta kulutukseen.

Seitsemännessä kappaleessa on yhteenveto ilmalämpöpumpun asennuksen kannattavuudesta.

2. KOHDE

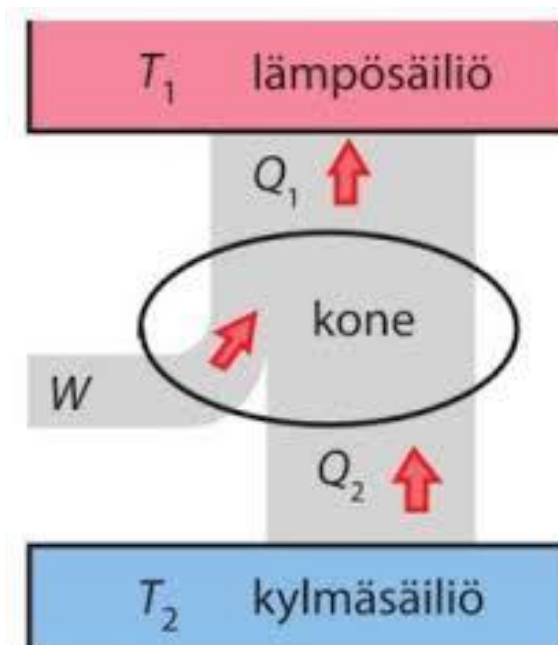
Kohteena oleva vuonna 1987 rakennettu Etelä-Karjalassa sijaitseva rivitalo on alueella, jossa ei ole kaukolämpöä, joten alun perin lämmitysvaihtoehdoiksi on jäänyt öljy- tai suorasähkölämmitys. Maalämpö ei edes ollut tuona aikana suosiossa pumppujen laatuongelmien ja huonon kannattavuuden vuoksi. Maalämpö alkoi yleistyä vasta 1990-lopulla. Rivitalon lämmönlähteeksi maalämmön perustamiskustannukset olisivat olleet näistä vaihtoehdoista kalleimmat, joka olisi nostanut myytävien huoneistojen hintoja. Öljylämmitys valittiin vielä kyseisenä vuonna 21% uudiskohteista, jolloin sähkölämmitys oli kuitenkin suosituin lämmitysmuoto. ja suorasähkölämmitys oli asennuskustannuksiltaan halvin, joka oli valittu tämän rivitalon lämmitysmuodoksi. Suorasähkölämmityksen asennushinta näkyi tietysti myös rivitalohuoneiston alhaisempana hintana. Tänä päivänä puhutaan energiatehokkuudesta ja ilmalämpöpumppu on hyvä ja edullinen lisälämmitysmuoto suoran sähkölämmityksen rinnalle. Päälämmönlähteeksi se ei kuitenkaan sovellu, koska ulkolämpötilan laskiessa -20 asteen kylmemmälle puolelle, useimpien ilmalämpöpumppujen hyötysuhde huononee niin paljon, etteivät ne juurikaan pysty siirtämään ulkoilmasta lämpöä sisälle. Ilmalämpöpumput alkoivat yleistyä yhdeksänkymmentäluvun puolivälin paikkeilla ja yleistyminen on ollut nopeampaa 2000- luvun puolivälistä eteenpäin. Kuva 1. (Sulpu)

Kansallisella tasolla ilmalämpöpumpuilla aikaansaatu energiansäästö vaikuttaa sähkönkulutuksen pienenemisen kautta myös hiilidioksidipäästöjen ja terveydelle haitallisten pienhiukkaspäästöjen vähenemiseen. Ilmalämpöpumpun hankintaa voi myös sanoa ympäristöteoksi energiantuotannon hiilidioksidipäästöjen ja muiden ympäristövaikutusten näkökulmasta. Vaikka ilmalämpöpumpun tarkoitus varsinkin Suomessa on lämmittää se tarvittaessa myös jäähdyttää kesällä, jolloin lämmin ja kostea sisäilma muuttuu viileämmäksi ja kuivemmaksi eli mukavammaksi. Jos ilmaston muutos etenee, ja kesät muuttuvat kuumemmiksi, jäähdytystoiminnolla on kodin viihtyvyyttä huomattavasti parantava vaikutus. (Motiva)

Tämä on tietysti ristiriidassa edellä mainitun sähkönsäästön kanssa, mutta hellejaksot ovat kuitenkin Suomessa vuositasolla lyhyitä ja lämpöpumpun hyötysuhde on jäähdytyksessä parempi kuin lämmityksessä, eikä näin ollen sähköä kulu jäähdytykseen läheskään niin paljoa mitä lämmityskautena säästyy. Kuumanakaan kesänä tyypillisen omakotitalon jäähdytyskustannus ei ole kuin kahdesta- kolmeen kymmeneen euroa. Tämä tietysti edellyttää, että sisälämpötila pidetään järkevällä tasolla. (Sulpu)

3. ILMALÄMPÖ

Ilmassa on varastoituneena auringosta lähtöisin olevaa lämpöenergiaa, jota voidaan hyödyntää rakennusten lämmitysenergiaksi ilmalämpöpumpuilla. Lämpö siirtyy luonnostaan lämpimämmästä kylmempään suuntaan. Käytännössä talvella rakennuksen sisältä lämpö kulkeutuu seinien eristeiden, ikkunoiden ja ovien läpi sekä ilmanvaihdon mukana ulkoilmaan. (Perälä & Perälä 2013, 18) Mutta kun kylmemmästä ulkoilmasta siirretään lämpöä lämpimämpään sisäilmaan, tarvitaan lämpöpumppua. Niin kauan, kun ulkolämpötila on absoluuttisen nollan yläpuolella, ilmassa on lämpöä. Nykyisillä rakennusten lämmitykseen käytettävillä ilmalämpöpumpuilla voidaan siirtää lämpöä järkevällä hyötysuhteella laitteesta riippuen n. $-30 - +7^{\circ}\text{C}$ lämpötilasta lämpimämpään suuntaan. Lämpöpumpun toiminta perustuu vuonna 1824 ranskalaisen Sadi Carnot'n esittelemään termodynamiikan prosessiin, jota käytännössä on hyödynnetty vasta sata vuotta myöhemmin. Tämä siirtotyö vaatii ulkoista energiaa, mutta pumput kuitenkin siirtävät suuremman lämpötehon kylmemmästä tilasta lämpimämpään tilaan kuin mitä itse käyttävät sähkötehoa. (Perälä & Perälä 2013, 15-16, 27) Kuvassa 1 on havainnollistettu, kuinka lämmön siirto tapahtuu yksinkertaisesti esitettynä ulkoilmasta T_2 sisäilmaan T_1 lämpöpumpun siirtotyöllä W . $Q_1 = Q_2 + W$.



Kuva 1. Lämmönsiirtoprosessi.

4. ILMALÄMPÖPUMPPU

Myytäviä ilmalämpöpumppuja on helposti löydettävissä parikymmentä eri merkkiä. Ilmalämpöpumpun suorituskykyä mitataan COP-arvolla, joka yksinkertaisesti esitettynä on $COP = \text{sisälämpötila} / (\text{sisälämpötila} - \text{ulkolämpötila})$, jossa lämpötilat ovat Kelvin-yksikköinä. Tämä on teoreettinen arvo, joka ei ota huomioon prosessin häviöitä. Käytännössä COP 3 tarkoittaa, että pumppu tuottaa lämpötehoa kolme kertaa sen määrän mitä se kuluttaa sähkötehoa. (Perälä & Perälä 2013, 30) Valmistajat ilmoittavat suorituskykyä mittaavan COP-arvon keskieuropalaisiin oloihin räätälöidyllä euroventin mittaustavalla, jossa COP arvo ilmoitetaan 7 asteen ulkolämpötilassa, kun sisäilma lämmitetään 20 asteeseen. Kun mennään nollan alapuolelle, COP-arvo putoaa merkistä riippuen enemmän tai vähemmän, joten kyseinen arvo ei sano juurikaan mitään pumpun suorituskyvystä lämmittimenä. COP-arvo on siis riippuvainen ulkolämpötilasta. Joitakin pumppuja mainostetaan, että pumppu kuluttaa vain viidenneksen energiaa ulkolämpötilasta riippuen. Tarkemmin tutkittaessa voidaan havaita, että huippulukema saadaan vain parin asteen haarukassa, josta se nopeasti tippuu. Tässä ulkolämpötilassa lämmöntarve on myös vähäinen. (Sulpu)

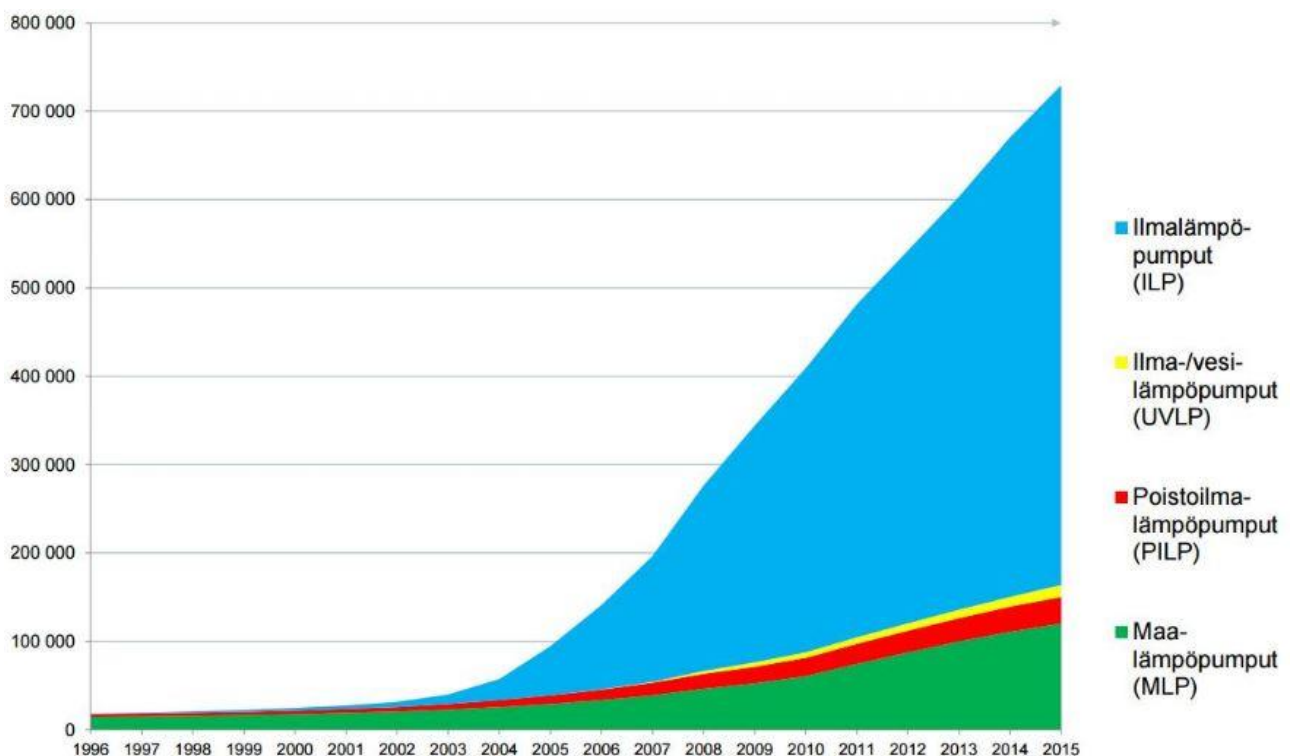
Paremmiin suorituskykyä kuvaa vuosihyötysuhde SCOP (Seasonal Coefficient Of Performance), joka lasketaan neljälle eri ulkolämpötilalle, eli lämmityskaudelle. Eurooppa on jaettu kolmeen eri ilmastovyöhykkeeseen, jossa lämpimän alueen laskenta perustuu Ateenan, Keski-Euroopan alueen Strasbourgin ja kylmän alueen laskenta perustuu Helsingin ilmasto-olosuhteisiin. EU:ssa myytävissä ilmalämpöpumpuissa energialuokitus on ilmoitettu näille kolmelle eri ilmastovyöhykkeelle. (Ilmalämpöpumput.fi)

Jäähdytyskäytössä ovat kylmäkertoimet EER (Energy Efficiency Ratio) kuvaa kuinka moninkertaisesti pumppu poistaa lämpöä sisätiloista omaan kulutukseen verrattuna. Vastaavasti kuin lämmityksessä on jäähdytyksessä vuotuinen kylmäkerroin SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio). (Perälä & Perälä 2013, 127)

Kaikki pumput eivät myöskään sovi pohjoiseen ilmastoon. Nollakelillä ilmassa on runsaasti kosteutta, joka tiivistyy höyrystimen kylmään pintaan ja jäätyy vaikka ilma olisi muutaman asteen plussan puolella. Höyrystimen pinnalla jää toimii eristeenä ja heikentää lämmön siirtymistä ilmasta höyrystimen pintaan ja siitä kylmäaineeseen. Pumpuissa tulee olla höyrystimen automaattinen sulatus ja kondenssivedelle poistoaukko. Sulatuksessa kylmäainetta kierrätetään hetken aikaa vastakkaiseen suuntaan, jolloin jää sulaa. Tämä sulatusjakso hetkellisesti kuluttaa energiaa, mutta on

välttämätön toimenpide. Näistä kylmempiin olosuhteisiin tarkoitetuista pumpuista käytetään nimitystä Nordic-malli. Kovemalla pakkasella ulkoilma on kuivempaa, eikä jäätä kerry niin paljoa kuten lauhemmillä keleillä. (Perälä & Perälä 2013, 53-54) Jos automaattista sulatustoimintoa ei ole, täytyy höyrystin sulattaa manuaalisesti pitämällä hetken aikaa jäähdytystoimintoa päällä, jolloin höyrystin lämpiää ja jää sulaa. Jos sulatusta ei tee, saattaa jäätä kertyä niin paljon, etteivät höyrystimen tuulettimen siivet mahdu enää pyörimään ja laite rikkoontuu.

Tässä opinnäytetyössä alkukarsinnassa poistuivat ne pumput, joiden suorituskykytietoja ei ollut saatavilla ja loppukarsinta tapahtui lähinnä COP-arvojen perusteella. Lisäksi valitun pumpun eduksi voidaan lukea hiljaiset sisä- ja ulkoyksiköt, sekä tunnettu merkki. Ilmalämpöpumpuksi valikoitui laite, jonka maksimi lämmitysteho on 6,3 kW ja keskiteho 3,2 kW, joka riittää hyvin 67 m² asunnon lämmittämiseen. Tehon mitoituksen periaate on, että 1 W lämmittää 30 m² :n alan, joten $3,2 \cdot 30 = 96 \text{ m}^2$. Pumppu pitää olla hiukan ylimitoitettu, jotta sen teho riittää kovillakin pakkasilla. (kuluttaja.fi)



Kuva 2. Ilmalämpöpumppujen suosion nousu. (Sulpu)

Ilmalämpöpumpusta on eniten hyötyä keväällä ja syksyllä. Silti ilmalämpöpumpulla on mahdollista säästää iso osa lämmityskuluista, varsinkin jos lämmitysmuotona on suorasähkölämmitys. Ulko- ja sisäyksikkö on mahdollisuuksien mukaan asennettava mahdollisimman lähelle toisiaan, yksiköiden

välisestä putkistosta aiheutuvan lämmönhukan välttämiseksi. sisäyksikölle tulee järjestää viemäröinti, koska jäähdytettäessä rakennuksen sisällä oleva kosteus tiivistyy sisäyksikössä vedeksi. Käytännössä sisäyksiköstä lähtee n. 20 mm letku, joka johdetaan ulos yksiköiden välisten kylmäaineputkien kanssa. Jotta ilmalämpöpumpusta saisi parhaan hyödyn pitää huoneiston lämmitysjärjestelmä säätää kytkeytymään päälle hieman alhaisemmassa lämpötilassa, kuin lämpöpumppuun on aseteltu. (Motiva).

4.1 Lämmitys

Ilmalämpöpumpun toiminta perustuu lämmönvaihtimien eli sisäyksikön, joka toimii lauhduttimena ja ulkoyksikön, joka toimii höyrystimenä väliseen kylmäaineen kiertoon. Nämä osat ovat yhdistetty toisiinsa kupariputkilla, joissa kylmäaine kiertää.

Ilmalämpöpumpun ulkoyksikössä, lämmönkeruupiirin höyrystimessä kylmäaine jäähdytetään paisuntaventtiilin avulla ympäristöä kylmemmäksi, jossa se lämmitessään ottaa ulkoilmasta talteen lämpöenergiaa. Tällöin höyrystimen läpi virtaava ulkoilma jäähtyy entisestään ja kylmäaine lämpiää, höyrystyy sekä hiukan tulistuu. Jottei kompressorille menisi nestepisaroita, tulistuminen on tärkeää kompressorin pitkäikäisen toiminnan kannalta. Kompressori puristaa höyrystyneen ja hiukan tulistuneen kylmäaineen vielä korkeampaan lämpötilaan, jotta se olisi selvästi kuumempaa kuin sisäilma, jossa sisäyksikön lauhdutin luovuttaa kylmäaineen lämmön rakennuksen sisälle. Lauhduttimessa kylmäaineen tulistus aluksi pienenee ja höyrystynyt kylmäaine lauhtuu nesteeksi. Nestemäinen kylmäaine palaa takaisin putkea pitkin ulkoyksikön höyrystimelle, jossa paisuntaventtiilin jälkeen se taas höyrystyy ja kylmäaineen kierto jatkuu kuten edellä on kerrottu. (Perälä & Perälä 2013, 28), (LUT 2010, 103)

4.2 Jäähdytys

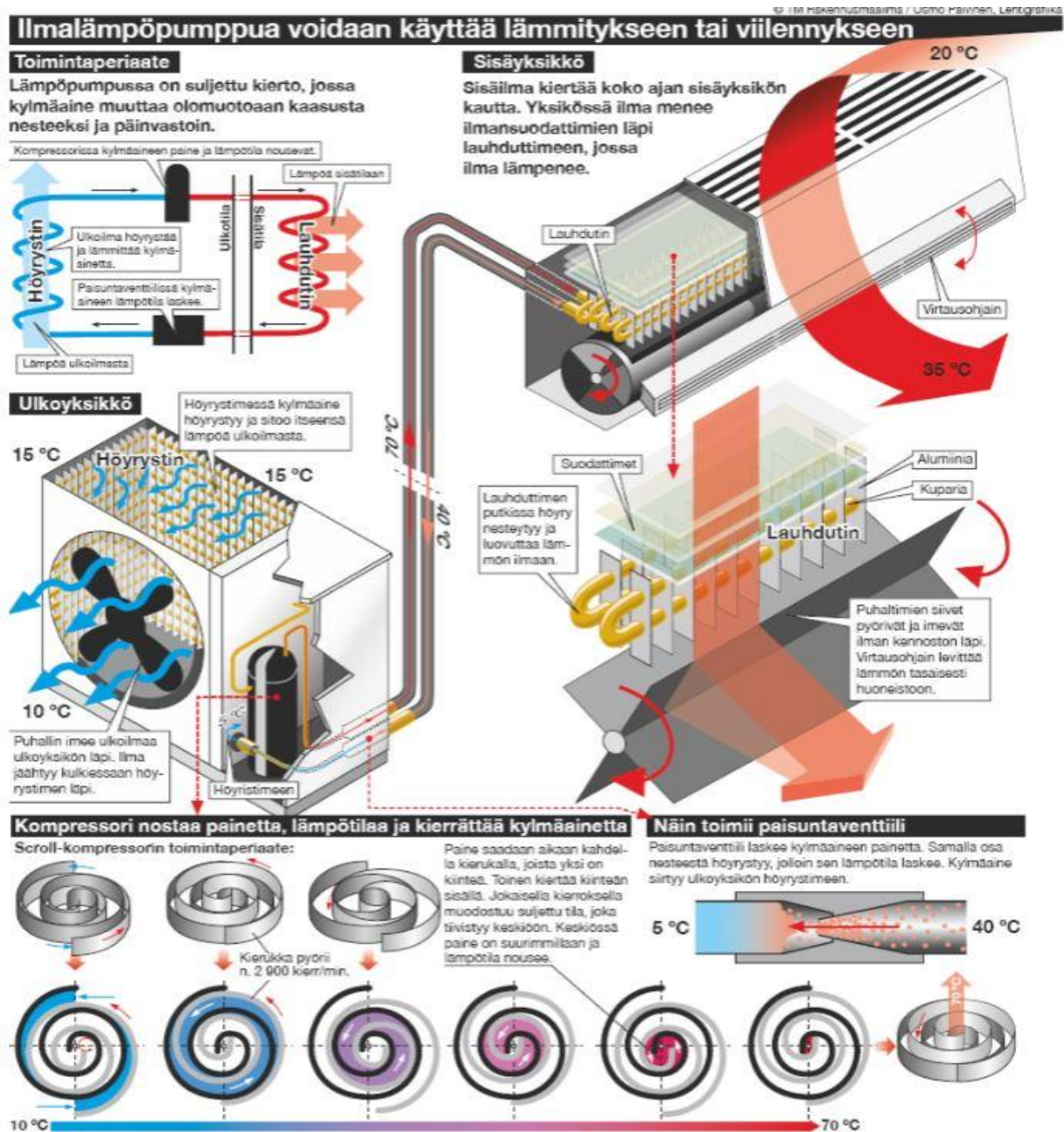
Käytettäessä ilmalämpöpumppua jäähdytykseen, kylmäaineen kierto on päinvastainen. Sisäyksiköstä tulee toiminnallisesti höyrystin ja ulkoyksiköstä lauhdutin. Toiminnan vaihto toteutetaan nelitieventtiilillä, jolloin höyrystimenä toimivalle sisäyksikölle aiheutetaan kompressorilla alipaine. Sisäyksikössä höyrystyneeseen kylmäaineeseen sitoutuu lämpöä sisäilmasta, jolloin sisäilma viilenee ja kylmäaine lämpiää. Lauhduttimena toimivalle ulkoyksikölle mennessään kompressori puristaa kylmäaineen korkeampaan lämpötilaan, jossa kylmäaine lauhtuu ja sitoutunut lämpö siirtyy ulkoilmaan.

4.3 Kylmäaineet

Aikaisemmin käytettyjen synteettisten klooria, fluoria ja hiiltä sisältävien ilmakehän otsonia tuhoavien CFC-yhdisteiden (Chloro-Fluoro-Carbon) eli freonien käyttö on nykyisin kielletty. Myös otsonille vähemmän haittaa olevien HCFC-yhdisteiden (Hydro-Chloro-FluoroCarbon) käyttö on kielletty pahana kasvihuonekaasuna. Nykyisin käytetään kylmäaineina synteettisiä fluorihilivetyjä eli HFC-yhdisteitä, joiden kauppanimiä ovat R404A ja R410A. Näistä ei ole haittaa ilmakehän otsonille, mutta ne ovat kuitenkin kasvihuonekaasuja, nämäkin ehkä kielletään tulevaisuudessa, mutta sitä ennen pitää kuitenkin keksiä korvaavia aineita, jotka ovat myös käyttökelpoisia. Myös hiilidioksidia ja propaania käytetään joissakin lämpöpumpuissa, näistä käytetään nimitystä luonnolliset kylmäaineet. Hiilidioksidi siirtää lämpöä tehokkaasti mutta se vaatii sadan baarin käyttöpaineen, joka aiheuttaa lämpöpumpun rakenteelle ja kompressorille omat kestävyysvaatimukset. Hiilidioksidia on käytetty jonkin verran joidenkin valmistajien ilma/vesilämpöpumpuissa. Kylmäaineista ei ole haittaa niin kauan kun kylmäaineet pysyvät laitteiston sisäisessä kierrossa. Kylmälaitteiden poistuttua käytöstä on tärkeää, että ne hävitetään asianmukaisella tavalla niihin erikoistuneissa laitoksissa, jossa käytetyt kylmäaineet osataan ottaa talteen ja käsitellä oikealla tavalla. (Perälä & Perälä 2013, 46-47)

4.4 Kompressorit

Kompressorin tehtävänä on liikuttaa kylmäainetta yksiköiden välisessä kierrossa ja puristaa se korkeampaan lämpötilaan. Ilmalämpöpumpuissa aiemmin käytetyt tärinää aiheuttaneet mäntäkompressorit ovat enimmäkseen syrjäytyneet parempien scroll-kompressorien tieltä. Scroll-kompressoreissa on vain vähän liikkuvia osia ja ne ovat tärinättömiä, jolloin putkiliitoksiin ei aiheudu rasituksia, eikä seinätelineestä johdu seinään tärinöitä. Kompressoria käyttävä moottori on invertteri säätoinen, jolloin ne käyvät vaihtelevalla nopeudella tehontarpeen mukaan pitkiäkin aikoja tai jos ovat pysähtyneet, ne käynnistyvät pehmeästi. Lisäksi scroll-kompressorin käynnistyessä kylmäaine on paineetonta, joka alentaa osaltaan käynnistysvastusta. Scroll-kompressorin kylmäainevirta on sykkeettömämpää, kuin mäntäkompressorissa, joka vähentää taas putkistoihin kohdistuvaa rasitusta. Kompressorin voitelu tapahtuu kylmäaineen mukana kulkevalla öljyllä. Scroll-kompressorin hyötysuhde on sitä pyörittävän oikosulkumoottorin kanssa hyvä. (Perälä & Perälä 2013, 41-45)



Kuva 3. Ilmalämpöpumpun toiminta periaate. (Päivinen 2010)

4.5 Asennus

Rivitalo- ja kerrostalo-alueiden ilmalämpöpumpun ulkoyksikkö asennettiin seinätelineelle tiiliseinään. Paikka valikoitui sen mukaan, jossa se on vähiten tiellä, eikä aiheuta häiriötä terassilla olijoille. Ulkoyksikön sijoituskorkeudessa tulee huomioida lumen määrä seinän vieressä. Sisäyksikkö asennettiin olohuoneen seinälle paikkaan, josta ilma leviää esteettä laajalle alalle huoneistoon. Yksiköiden välille tuli n. 4 m putkistoa, joka on eristetty ja koteloitu. (Perälä & Perälä 2013, 94-95) Asennuksen tärkein vaihe oli yksiköiden välisen putkiston tyhjiöinti, joka samalla poistaa kosteuden putkistosta. Jos

putkistoon jää kosteutta, muodostaa se kylmäaineen fosforin kanssa fosforihappoa, joka ajan myötä syövyttää putkistoa sekä kompressoria. (Perälä & Perälä 2013, 98-100) Sähköliitännän ulkoyksikköön sai helposti takapihan ulkopistorasiaryhmästä. Ryhmäjohdossa tulee olla turvakytkin, joka tulee sijoittaa lähelle ulkoyksikköä. Yksiköiden väliseen koteloon asennettiin myös ulko ja sisäyksiköiden välinen kaapeli.

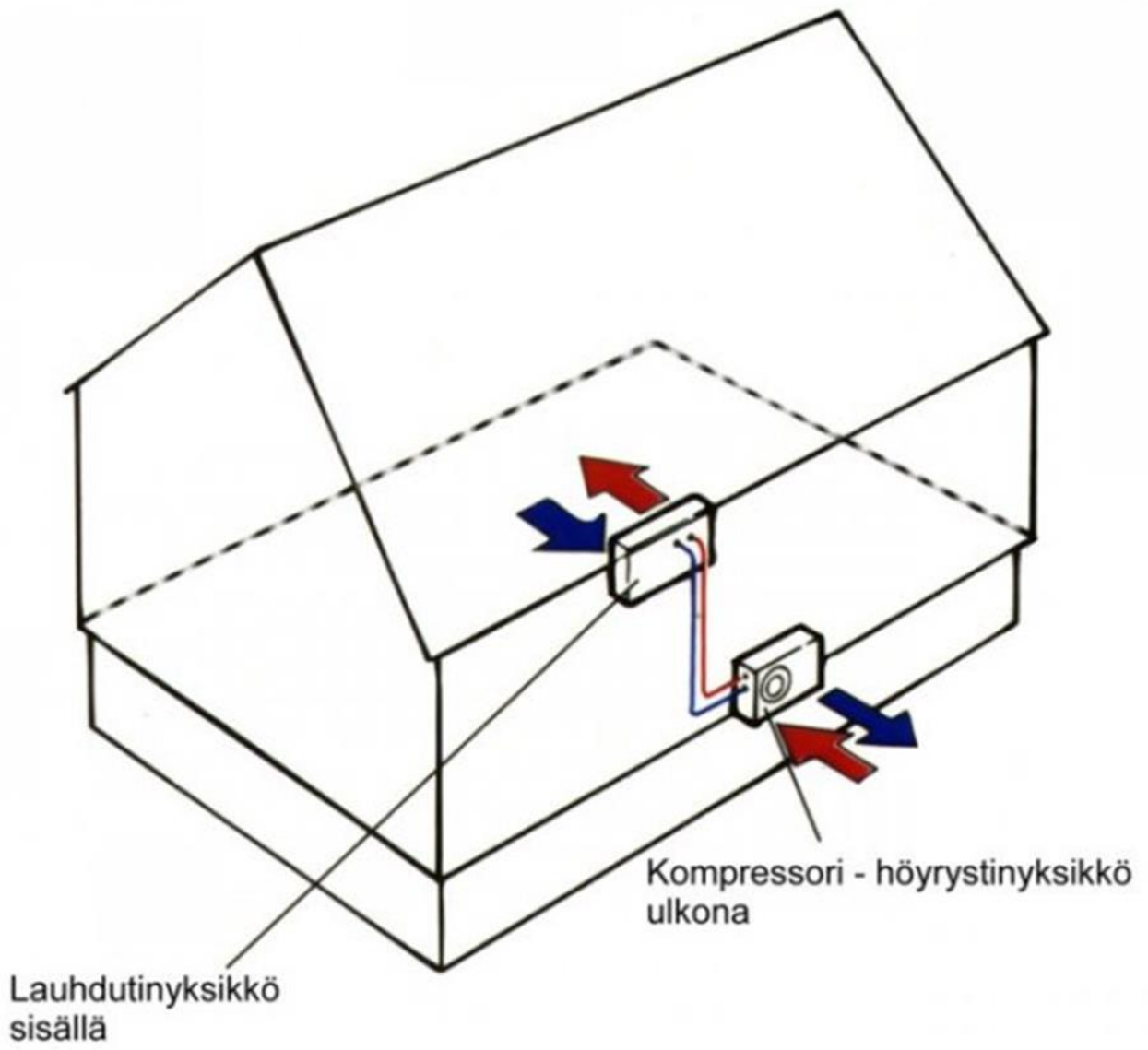
Ulkoyksikkö sisältää valmiiksi täytettynä laitteiston tarvitseman kylmäaineen R410A. Jotta asennus tulisi tehtyä oikein, kylmäaineputkiston liitokset ja kylmäaine putkistojen tyhjiöinti sekä kylmäaineen päästäminen putkistoon tulee suorittaa kylmäaineluvat omaava henkilö. Myös sähköasennukset tulee teettää sähköasennusoikeudet omaavalla henkilöllä tai urakointiliikkeellä.

Laki vaatii, että ostettaessa ilmalämpöpumppua myyjälle täytyy ilmoittaa kylmäaineluvat omaavan henkilön nimi, joka suorittaa kylmäaineasennukset. Kylmäaineluvat omaavat henkilöt löytyvät netistä Tukesin rekisteristä. Jotkut liikkeet myyvät ilmalämpöpumput asennettuna, käyttäen omia sopimusasentajia. (Perälä & Perälä 2013, 93)

Kuvassa 4. ilmalämpöpumppu asennettuna, putkiliitokset ja sähkökytkennät näkyvissä. Kuvassa 5. ulko ja sisäyksikön asennusperiaate.



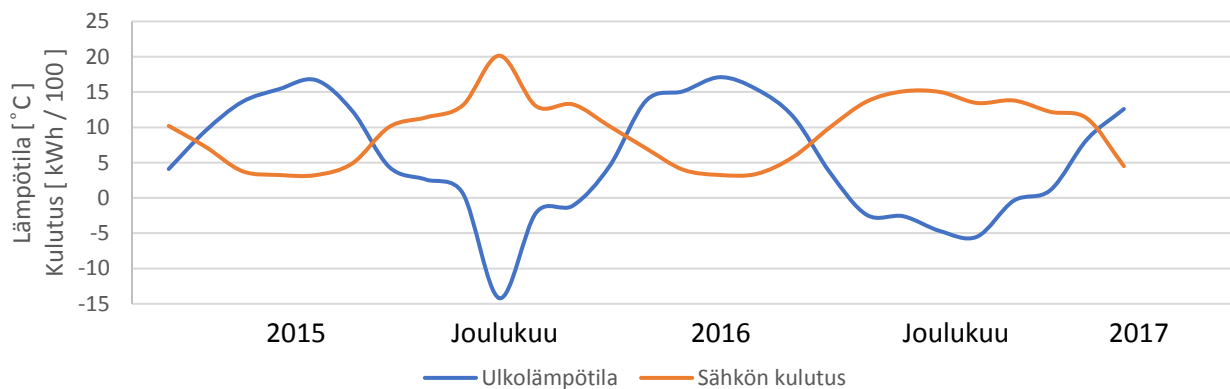
Kuva 4. Ulkoyksikkö putket ja sähköjohdot asennettuna.



Kuva 5. Ulko- ja sisäyksikön asennusperiaate. (Sulpu)

5. ASUNNON ENERGIANKULUTUS

Sähkön myyjiltä on saatavissa tietoa sähkönkulutushistoriasta jopa tunnin tarkkuudella. Huoneiston sähkönkulutuksesta on saatu kuukausikulutustiedot käytettäväksi. Kuvassa 6 nähdään kahden vuoden ajalta, kuinka sähkönkulutus on riippuvainen ulkolämpötilasta. Ulkolämpötilat on saatu ilmatieteenlaitoksen Lappeenrannan lentokentän mittauspisteen tiedoista. Kulutuksen kilowattitunnit on esitetty sadalla jaettuna, jotta kuvan käyrät mahtuvat samaan kuvaan ja ovat helpommin verrattavissa toisiinsa. Ulkolämpötila- ja sähkönkulutuskäyristä voidaan todeta, että ne ovat jokseenkin toistensa peilikuvia.



Kuva 6. Kulutuksen riippuvuus ulkolämpötilasta.

Lämmitykseen kulunut sähkön osuus saadaan, kun muu sähkönkäyttö lasketaan pois kokonaiskulutuksesta. Muun sähkönkäytön laskennassa käytetään hyväksi ympäristöministeriön julkaisemaa Suomen rakentamismääräyskokoelmaa D5 2018.

Saunan lämmitys oli satunnaista ja lähes olematonta, joten sen kulutusta ei huomioida tässä työssä.

Valaistukseen huoneistossa oli käytetty halogeenikohdelamppuja, pienoisloistelamppuja sekä loistelamppuja. Valaistuksen osuudeksi täydellä 365 W teholla on arvioitu keskimäärin 550 h vuodessa, joten kulutusarvio on $550 \text{ h} \cdot 0,365 \text{ kW}$ n. 200 kWh / vuosi. Taulukko 1

Veden kulutus suomessa on 140 l / henkilö / vuorokausi. Tässä kohteessa kulutusarvio, perustuen muutaman kuukauden todelliseen kulutukseen on 246 litraa / vuorokausi. Lämpimänveden osuudeksi

lasketaan 40 % veden kokonaiskulutuksesta, jonka osuus tässä kohteessa on 35,95 m³ vuodessa. Veden lämmitykseen kulunut energia lasketaan yhtälöllä (1).

$$Q = \rho \cdot c_p \cdot V \cdot (T_2 - T_1) / 3600 \text{ s} \quad (1)$$

jossa

Q	veden lämmitykseen kuluva energia	[kWh]
ρ	veden tiheys	[kg/m ³]
c_p	veden ominaislämpökapasiteetti	[kJ/kg °C]
V	veden kulutus	[m ³]
T ₂	Lämmitetyn veden lämpötila	[°C]
T ₁	Lämmitettävän veden lämpötila	[°C]

Varaajaan tulevan veden lämpötila on 5 °C, jossa vesi lämmitetään 55 °C lämpötilaan. Laskentakaavassa veden ominaislämpökapasiteettina voidaan käyttää arvoa 4,2 kJ / kg °C ja tiheytenä 1000 kg/m³. Veden lämmitys kuluttaa vuodessa energiaa kaavan (1) mukaan.

$$Q = 1000 \text{ kg / m}^3 \cdot 4,2 \text{ kJ / kg } ^\circ\text{C} \cdot 35,95 \text{ m}^3 \cdot (55 \text{ } ^\circ\text{C} - 5 \text{ } ^\circ\text{C}) / 3600 \text{ s} = 2097 \text{ kWh}$$

Huoneistossa on huippuimurilla toimiva ilmanpoisto ns. likaisista tiloista, Wc, vaatehuone ja sauna. Tuloilma tulee ikkunakarmeissa olevista pienistä korvausilma-aukoista. Tuloilma lämpiää huoneen lämmöllä, joten lämmityskulut kattavat myös tuloilman lämmityksen. Ilma kulkeutuu poistoventtiileille ovien alareunan kautta. Tämä on toteutettu matalilla kynnyksillä. Huippuimurin arvioidaan käyvän keskimäärin n. 0,1 kW teholla. Vuotuiseksi kulutukseksi saadaan 0,1 kW · 24 h · 365 = 876 kWh / a. Taulukko 1.

Taulukko 1. Arvio muiden sähkölaitteiden kulutuksesta.

Kulutuslaite	[kWh/vuosi]
Jääkaappi	270
Pakastin	380
Mikroaaltouuni	50
Kahvinkeitin	70
Liesi	340
Pyykinpesukone	130
Televisio	200
PC ym.	80
Pölynimuri	34
Valaistus	200
Ilmanvaihto	876
Vedenlämmitys	2097
Yhteensä	4727

6. LÄMMITYSKULUT

Tarkempaan tarkasteluun otetaan aluksi lämmityskausi 2015 - 2016.

Kokonaiskulutuksesta vähennetään taulukon 1 muut kulutuslaitteet. Jakamalla muu kulutus tasaisesti joka kuukaudelle, $4727 \text{ kWh} / 12 = 394 \text{ kWh}$ ja vähentämällä tämä pois kuukausittain kokonaiskulutuksesta, saadaan arvio lämmityksen osuudesta. Tarkastelemalla taulukon 2 tuloksia nähdään, että kesä, heinä ja elokuun lämmityksen osuus kulutuksesta menee nollan tuntumaan. Koska noina kuukausina ei lämmitystä juurikaan tarvita, voidaan muun kulutuksen arvion pitävän paikkansa. Taulukko 2.

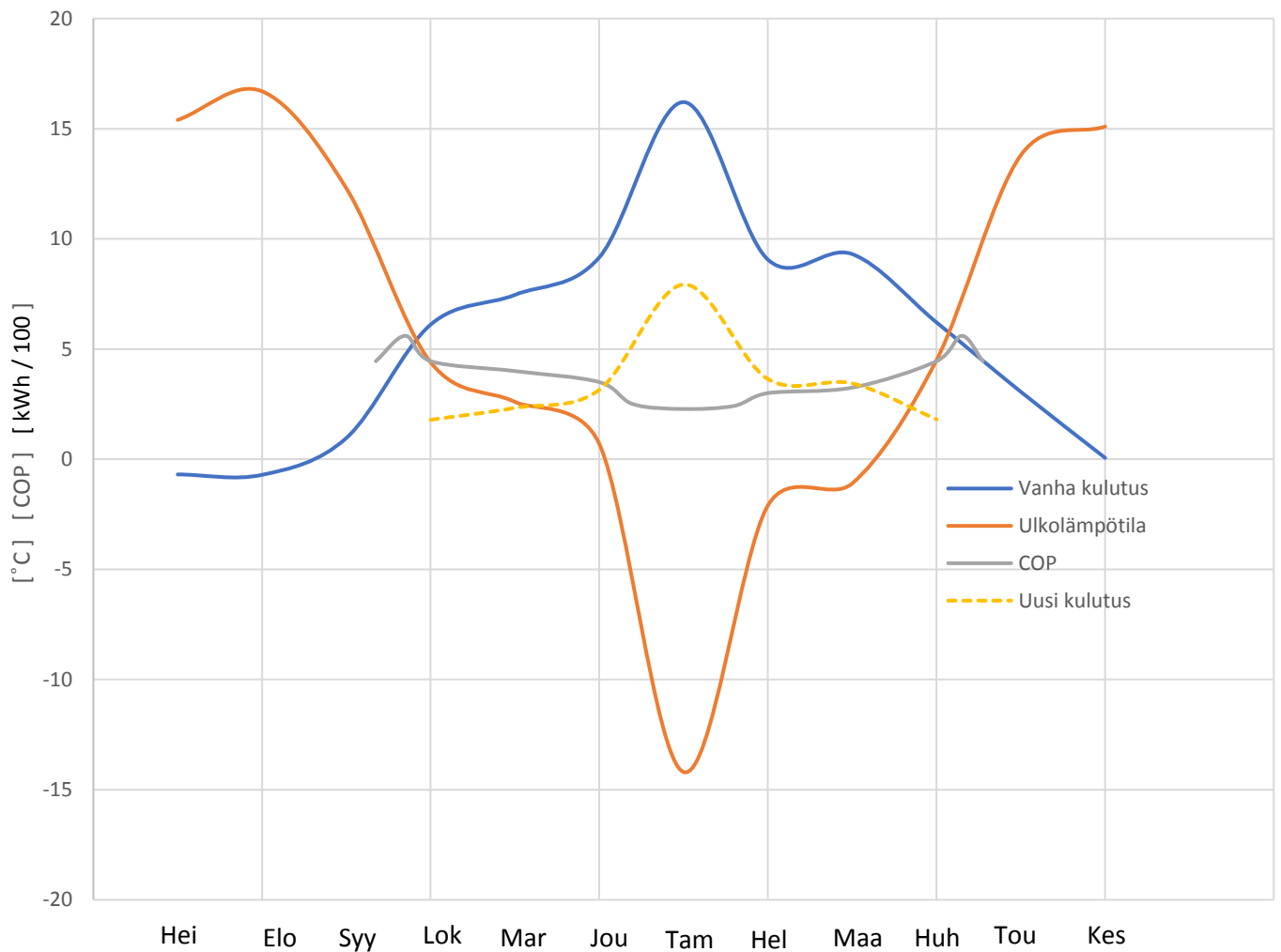
Taulukko 2. Kuukausittainen kokonaiskulutus ja laskettu lämmityksen osuus kokonaiskulutuksesta.

kk	Kokonais- Kulutus [kWh]	Lämmityksen osuus [kWh]
Heinä	325	0
Elo	323	0
Syys	490	96
Loka	1005	611
Marras	1140	746
Joulu	1310	916
Tammi	2015	1621
Helmi	1300	906
Maalis	1325	931
Huhti	1015	621
Touko	700	306
Kesä	400	6
Yhteensä	11348	6760

Lämmityskaudeksi määritellään lokakuusta huhtikuuhun, jolloin ilmalämpöpumpun COP-arvot ovat järkevällä tasolla. COP-arvo saavuttaa huippunsa $7,5 \text{ }^\circ\text{C}$ kohdalla ollen n. $4,86$ pudoten $-29 \text{ }^\circ\text{C}$ kohdalla n. yhteen. Vaikka syys sekä toukokuussa keskilämpötila menee $13 \text{ }^\circ\text{C}$ paikkeille, näitä kuukausia ei taulukossa 3 näy, koska maahantuojan teettämän testin mukaan COP putoaa $13 \text{ }^\circ\text{C}$ kohdalla yhteen. (scanoffice.fi) Näihin kuukausiin mahtuu myös kylmiä vuorokausia tai varsinkin

kylmiä öitä, jolloin ilmalämpöpumppu tuottaisi. Näin ollen taulukoiden 3 ja 4 sähkönsäästö on hiukan alakantissa.

Kun jokaisen kuukauden vanha kulutus jaetaan keskilämpötilan mukaisella COP-arvolla, joka on saatu maahantuojan COP-käyrältä, saadaan uusi kulutusarvio. Näiden erotuksesta saadaan myös sähkön säästö, joka on laskettu 12 snt / kWh hinnalla. Taulukot 3 ja 4. Taulukoiden tiedoista näkyvät vanha kulutus, ulkolämpötila, COP ja uusi kulutusarvio, jotka ovat myös käyrinä kuvassa 7. Kulutus on jaettu sadalla kuvan luettavuuden vuoksi.



Kuva 7. Lämmityskausi 2015 – 2016.

Taulukko 3. Kulutustiedot 2015 – 2016 ja arvio ilmalämpöpumpun vaikutuksesta.

Lämmitys- kausi [kk]	Vanhat lämmityskulut [kWh]	Uudet lämmityskulut [kWh]	Sähkön säästö [kWh]	Sähkön säästö [€]	Kuukauden keskilämpö [°C]	COP keski- lämpötilassa
Loka	611	137	474	57	4,4	4,45
Marras	746	187	560	67	2,6	4
Joulu	916	262	654	79	0,7	3,5
Tammi	1621	711	910	109	-14,2	2,28
Helmi	906	302	604	72	-2,1	3
Maalis	931	286	645	77	-1,1	3,25
Huhti	621	140	481	58	4,5	4,45
Yhteensä	6352	2024	4328	519		

Vertailun vuoksi tarkastellaan myös lämmityskautta 2016 – 2017, jolloin talvi oli lauhempi, kuin 2015 – 2016. Taulukko 4.

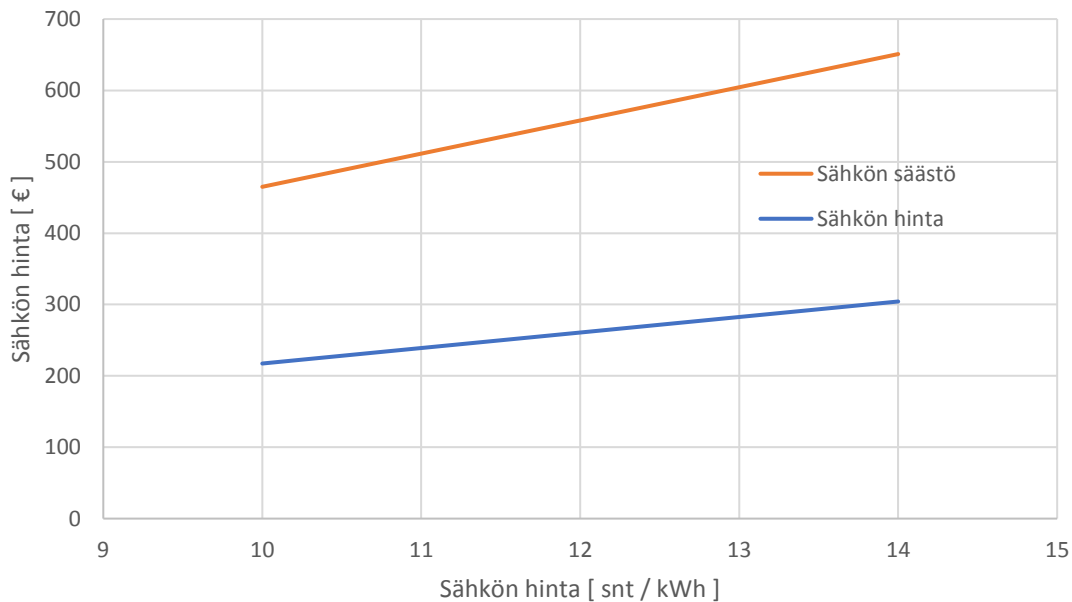
Taulukko 4. Kulutustiedot 2016 – 2017 ja arvio ilmalämpöpumpun vaikutuksesta.

Lämmitys- kausi [kk]	Vanhat lämmityskulut [kWh]	Uudet lämmityskulut [kWh]	Sähkön säästö [kWh]	Sähkön säästö [€]	Kuukauden keskilämpö [°C]	COP keski- lämpötilassa
Loka	606	143	463	56	3,6	4,23
Marras	971	334	637	76	-2,4	2,91
Joulu	1116	390	726	87	-2,6	2,86
Tammi	1106	410	696	84	-4,7	2,7
Helmi	951	364	587	70	-5,5	2,61
Maalis	986	301	685	82	-0,4	3,28
Huhti	826	228	598	72	1,1	3,63
Touko	731	152	579	69	8,3	4,8
Yhteensä	7293	2322	4971	597		

Kun lämmityskauden 2015 – 2016 vanhat lämmityskulut taulukossa 3 jaetaan uusilla lämmityskuluilla, saadaan vuosihyötysuhde $SCOP\ 6352 / 2024 = 3,14$. Sama saadaan myös lämmityskauden 2016 - 2017 taulukon 4 kulutuksista $7293 / 2322 = 3,14$.

6.1 Sähkön hinnan vaikutus

Hinnan vaikutusta on kuvattu kuvassa 8, josta nähdään hinnan nousun nostavan lämmityssähkön hintaa mutta ilmalämpöpulla saatu säästö on sitä suurempi, mitä kalliimpaa sähkö on. Toisaalta mitä halvempaa sähkö on, sitä pitemmäksi tulee takaisinmaksuaika € / vuosi. Tosin 12 snt / kWh hinta alkaa olla halvimmasta päästä. Kuvan 8 lämmityssähkön (sininen käyrä) hinta on keskiarvo taulukoiden 3 ja 4 Ilmalämpöpumpulla aikaansaadun säästön jälkeisestä kulutuksesta ja sähkön säästö (oranssi käyrä) on ilmalämpöpumpulla säästetyn sähkön hinta.



Kuva 8. Sähkön hinta.

7. YHTEENVETO

Tässä työssä oli tarkoitus selvittää ilmalämpöpumpun tehokerrointa ja taloudellisuutta todellisissa käyttöolosuhteissa. Lähtötietoina oli rivitalo- ja huoneiston todellinen sähkönkulutus kolmelta vuodelta, joista tarkemmin tarkasteltiin yhtä kylmää talvea ja toista hiukan lauhempaa talvea.

Muun kulutuksen osuus kokonaiskulutuksesta selvisi muokkaamalla hiukan Suomen rakentamismääräyskokoelman ohjeita. Huoneiston lämmönkulutuksen osuus selvisi, kun muu kulutus vähennettiin pois kokonaiskulutuksesta ja kesäkuukausien lämmönkulutus meni nollan tuntumaan, kuten pitäisi mennäkin. Kulutus meni jopa hiukan nollan alle, joka johtunee jostain muusta pienestä kulutuspiikistä. Pari kylmää päivää tai satunnainen saunan lämmitys, Valaistuksen kulutus on laskettu myös kesäkuukausille, vaikka vasta talvella valaistusta tarvitaan. Lämpimän veden kulutus voi myös vaihdella. Heittoa hiukan tulee, koska muu kulutus ei ole aina vakio.

Kohteeseen valitun ilmalämpöpumpun tehokerroin eli COP oli testattujen pumppujen parhaimmasta päästä. Tehokerroin putoaa ykköseen vasta n. -29 °C lämpötilassa ja kakkoseen n. -19 °C lämpötilassa. Tosin testituloksista painotettiin, että tulokset pätevät vain testattuun laitteeseen ja itse COP-käyrä on polynomisovite useista testikäyristä. Tämä tarkoittanee, että heittoa tulee suuntaan, jos toiseenkin, mutta pitempiaikainen keskiarvo pysynee sovitteen puitteissa.

Mitä tulee kannattavuuteen, 12 snt / kWh hinnalla ostetulla sähköllä kylmempänä talvena säästöä tuli 519 € ja lauhempana talvena 597 €. Tästä voi vetää johtopäätöksen, että keskimäärin n.550 € tulee säästöä talvessa tai sama tulee myös kalenterivuodessa.

Suomen lämpöpumppuyhdistyksen sivuilla sanotaan, että jos sähkölasku on 1200 – 1800 € vuodessa voi ilmalämpöpumpulla säästää 400 – 600 € vuodessa. Tämän huoneiston sähkölasku on n. 1440 € ja 550 € säästö sattuu myös tähän haarukkaan, joten 550 € arvio pitänee paikkansa.

Ilmalämpöpumpulle tuli hintaa asennuksineen noin 1800 € ja 550 € säästöllä vuodessa, takaisinmaksuaika on n. 3,3 vuotta. Jos käyttöä lasketaan kylmälaitteille tavalliset 15 vuotta, voidaan hankintaa pitää kannattavana.

8. LÄHDELUETTELO

Ilmalämpöpumput [ilmalämpöpumput.fi www-sivuilla]. [viitattu 3.5.2019]. Saatavissa:

<http://www.ilmalampopumput.fi>

Ilmatieteen Laitos. Säähavainnot [ilmatieteenlaitoksen www-sivuilla]. [viitattu 10.5.2019].

Saatavissa: <https://cdn.fmi.fi/fmiodata-convert-api/preview/71c5afa8-519a-4cf7-85f4-d5c4ab841dbc/?locale=fi>

Kuluttaja [kuluttaja.fi www-sivut]. [viitattu 3.5.2019]. Saatavissa:

<https://kuluttaja.fi/artikkelit/ostajan-opas-ilmalampopumput/>

LUT 2010. Teknillinen termodynamiikka, luentomoniste osa 1. 125 s.

Motiva Lämpöä ilmassa 16 s. [verkkoaineisto]. [viitattu 5.6.2019]. Saatavissa:

<http://www.motiva.fi/files/175/Ilmalampopumput.pdf>

Perälä Rae & Perälä Osmo. 2013. Lämpöpumput. 3. painos. 136 s.

Scanoffice Ilmalämpöpumppuvertailu. [scanoffice.fi www-sivut]. [viitattu 2.5.2019]. Saatavissa

<https://www.scanoffice.fi/vttn-testiraportit-ilmalampopumppuvertailu>

Suomen lämpöpumppuyhdistys. [sulpu.fi www-sivut]. [viitattu 5.6.2019]. Saatavissa

<https://www.sulpu.fi/ilmalampopumppu>

Suomen rakentamismääräyskokoelma D5 2012. [verkkoaineisto]. [viitattu 8.6.2019]. Saatavissa:

https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/D5_2012.pdf