



Hybridilämpöpumppujärjestelmän toimintavarmuuden kehittäminen rakennusautomaation avulla

Juuso Helminen

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Automaatiotekniikka

HELMINEN, JUUSO:

Hybridilämpöpumppujärjestelmän toimintavarmuuden kehittäminen rakennusautomaation avulla

Opinnäytetyö 33 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Kesäkuu 2024

Hybridilämpöpumppujärjestelmiä rakennetaan Suomessa runsaasti vuosittain. Järjestelmien toimintavarmuus on tärkeää energiatehokkuuden sekä kustannusten kannalta. Järjestelmissä havaitaan ongelmia huomattavan paljon ja ongelmien korjaaminen on hankalaa.

Opinnäytetyö toteutettiin Ramboll Finland Oy:n toimeksiannosta. Työssä esitellään hybridilämpöpumppujärjestelmän keskeiset komponentit ja niiden toiminta. Työssä selvitettiin hybridilämpöpumppujärjestelmien toimintavarmuuden tilanne tällä hetkellä sekä mahdolliset ongelmakohdat. Työn avulla pyritään korjaamaan ongelmakohtia rakennusautomaation avulla ja parantamaan siten järjestelmien toimintavarmuutta. Opinnäytetyössä suoritettiin kysely suurille kiinteistönomistajille, joiden kiinteistöissä on lämpöpumppujärjestelmiä. Kyselyssä selvitettiin lämpöpumppujen määrä, ongelmallisten järjestelmien määrä sekä mahdolliset ongelmakohdat. Työssä haastateltiin Ramboll Finland Oy:n kokenutta rakennusautomaation asiantuntijaa toimintavarmuuden kehittämisestä. Haastattelussa selvitettiin mahdolliset tavat parantaa järjestelmien toimintavarmuutta.

Hybridilämpöpumppujärjestelmät ovat suuria kokonaisuuksia, joten niiden suunnittelu tulee olla tarkkaa ja keskittyä koko järjestelmään. Ongelmakohtia ovat esimerkiksi mitoitusvirheet, suunnitteluvirheet sekä muut järjestelmään liittyvät tarkkaavaisuutta vaativat toimenpiteet. Tarkastukset ja mittaukset on tärkeä tehdä järjestelmän lämmityskaudella, jolloin ongelmakohdat tulevat esille välittömästi. Mahdolliset lisäykset mittauksiin parantavat myös reagoimisnopeutta järjestelmien ongelmiin. Pilvipalvelun tai etäkäytön soveltaminen järjestelmiin nopeuttaa ongelmakohtien tunnistamista ja reagoimista.

Hybridilämpöpumppujärjestelmät ovat monimutkaisia järjestelmiä, joiden toteutus vaatii tarkkaa suunnittelua, yhteistyötä, yhteensovitusta sekä tarkkaa tietoa järjestelmän kokonaisuudesta. Toimintavarmuutta on mahdollista kehittää, mutta järjestelmän toimintavarmuus vaatii muidenkin osien toimintaa, joihin ei voi vaikuttaa rakennusautomaatiolla.

Kehitysehdotuksena on tutkia järjestelmän toimintavarmuuden kehittämistä koko järjestelmän kannalta ja kaikkien toimijoiden kanssa, jolloin mahdolliset automaation ulkopuoliset ongelmat saataisiin ratkaistua.

Asiasanat: hybridilämpöpumppujärjestelmä, toimintavarmuus

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical and Automation Engineering
Automation Engineering

HELMINEN, JUUSO:

Improving the Operational Reliability of the Hybrid Heat Pump System by Using Building Automation

Bachelor's thesis 33 pages, appendices 2 pages
June 2024

A significant number of heat pump systems are installed in Finland every year. Reliability of systems is important in terms of energy efficiency and cost. Many problems are detected in the systems and fixing them is difficult.

This thesis was commissioned by Ramboll Finland Oy. The purpose of the thesis was to present heat pump components and operation. The reliability of hybrid heat pumps and the main reasons of problems were clarified in this study. The objective was to provide solutions to problems in heat pump systems and improve reliability of hybrid heat pump systems. A survey and an interview were used to gather data on the main problems and ways to improve reliability.

Hybrid heat pump systems are large and complex, and planning requires accuracy and good understanding of the whole system. Errors in planning and dimensioning are the main problem source. It is important to do inspections and measurements during heating seasons, when the system is running at full power. This way the faults will be noticed immediately. Application of remote access in the system is important in the development of operational reliability and rapid response to problems.

It is possible to improve reliability of hybrid heat pump systems, but it is complicated, and planning requires focus, collaboration, and combination of plans. Hybrid heat pump systems also include technology that cannot be influenced by building automation. It is suggested in this study that further research should be done from the perspective of the whole system, and everybody involved in its operation.

Key words: hybrids heat pump systems, reliability

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
1.1.	Tutkimusmenetelmät.....	6
2	LÄMPÖPUMPPUJÄRJESTELMÄT.....	8
2.1.	Lämpöpumppu	8
2.2.	Maalämpö	10
2.3.	Poistoilmalämpö.....	12
2.4.	Ilmavesilämpö	13
2.5.	Energiankierrätysjärjestelmä	14
2.6.	Hybridilämpöpumppujärjestelmä	15
2.7.	Ohjaukset ja toimintatavat.....	16
3	TOIMINTAVARMUUS HYBRIDILÄMPÖPUMPPUJÄRJESTELMISSÄ 18	
3.1.	Tutkimuskyselyn kysymykset	18
3.2.	Tutkimuskyselyn vastaukset	19
4	TOIMINTAVARMUUDEN PARANTAMINEN RAKENNUSAUTOMAATION AVULLA.....	22
4.1.	Virhetilanteiden tunnistaminen	22
4.2.	Virhetilanteisiin reagoiminen	23
4.3.	Virhetilanteiden välttäminen	24
5	POHDINTA	26
	LÄHTEET	28
	LIITTEET	32
	Liite 1. Tutkimuskyselyn vastaukset.....	32
	Liite 2. Ramboll Finland Oy:n rakennusautomaatioyksikön asiantuntijan haastattelussa käytetyt kysymykset	33

LYHENTEET JA TERMIT

COP	(Coefficient of Performance) Lämpöpumpun hyötysuhde
SCOP	(Seasonal COP) Lämpöpumpun vuosihyötysuhde

1 JOHDANTO

Työ on toteutettu Tampereen ammattikorkeakoulun sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelman lopputyönä. Työn tilaajana toimii Ramboll Finland Oy. Ramboll-konserni on kansainvälinen suunnittelu- ja konsulttialan yritys, jossa työskentelee yli 18000 asiantuntijaa. (Ramboll Finland Oy 2024)

Työssä perehdytään lämpöpumppuihin ja selvitetään paras mahdollinen tapa parantaa hybridilämpöpumppujärjestelmien toimintavarmuutta. Työssä paneudutaan toimintavarmuuden kehittämiseen rakennusautomaation kannalta. Työssä on suoritettu kysely, jossa tiedustellaan lämpöpumppujen nykytilannetta isoilta toimijoilta, joiden omistamat kiinteistöt ovat merkittävä osa koko Suomen kiinteistöistä. Kyselyn perusteella selvitetään, kuinka suuri ongelma lämpöpumppujen epävarma toiminta on Suomessa ja mahdollisia syitä huonolle toiminnalle.

Työssä pyritään parantamaan hybridilämpöpumppujärjestelmien toimintavarmuutta selvittämällä parhaat mahdolliset tavat suunnitella ja toteuttaa järjestelmiä. Järjestelmien toimintavarmuuden kehittämistä toteutetaan haastattelemalla Ramboll Finland Oy:n kokenutta rakennusautomaation asiantuntijaa. Lisäksi toimintavarmuuden kehittämisessä käytetään kirjallisuuslähteitä. Suunnittelun tarkastelu painottuu rakennusautomaatioon ja ohjaustapojen merkitykseen toimintavarmuudessa.

Lämpöpumppujen toiminta on tärkeää lämmityksen ja energiatehokkuuden kannalta. Lämpöpumppujen heikko toimintavarmuus voi johtaa esimerkiksi projektien viivästymiseen ja kustannusten nousuun. Lämmitysjärjestelmän pettäminen voi johtaa asuntojen huomattavaan viilenemiseen ja asumiskelvottomuuteen.

1.1. Tutkimusmenetelmät

Työssä lähdettiin selvittämään vastausta kysymykseen, onko mahdollista parantaa hybridilämpöpumppujärjestelmien toimintavarmuutta rakennusautomaation

avulla. Hybridilämpöpumppujärjestelmien toimintavarmuus on heikkoa ja sen parantaminen on tärkeää energiatehokkuuden kannalta (Tanskanen 2024).

Työssä selvitettiin ongelman laajuus käyttämällä poikittaistutkimusmenetelmää. Kyseisen menetelmän tarkoitus on selvittää ongelman tilanne sekä samantapaiset ilmiöt tiettyä ajankohtana eikä ongelman muutosta. Työssä käytettiin kyselyä Suomen suurille kiinteistönomistusyrityksille ja heiltä kysyttiin järjestelmien toiminnasta ja ongelmakohdista. Kyselystä sai laajan käsityksen tämänhetkisistä ongelmista sekä ongelman suuruudesta.

Työssä käytetään toimintatutkimusmenetelmää, kun pyritään selvittämään ongelmakohdat hybridilämpöpumppujärjestelmissä ja parantamaan toimintavarmuutta teoreettisista näkökulmista. Kyselystä saatuja ongelmia oli tarkoitus lähteä ratkaisemaan teoreettisen näkökulman kannalta, sekä kuulla myös kokeneita suunnittelijoita ja heidän mahdollisia ratkaisuitansa ongelmiin. Työssä haastatellaan Ramboll Finland Oy:n kokenutta rakennusautomaation asiantuntijaa.

Aineistonhankintamenetelmänä työssä käytettiin kyselyä, joka oli suunnattu suurille kiinteistönomistusyrityksille. Kyselyn perusteella skaalattiin luvut koko Suomen lämpöpumppujen määrään. Kysely olisi tarkempi, mitä suuremmalle määrälle kysely olisi esitetty. Kysely on laajuudeltaan niin suuri, että sen lukuja voi skaalata Suomen laajuudelle, koska vastanneiden tahojen kiinteistöjen omistuse määrä on noin 70 000 kiinteistöä eli merkittävä osa Suomen kiinteistöistä.

Työ on rajattu rakennusautomaatioon ja selvityksiin pelkästään rakennusautomaation näkökulmasta. Työssä ei huomioida asioita kuten putkikoko lämpöpumppuissa, joka vaikuttaisi ohjaukseen. Työssä on tärkeää löytää juuri rakennusautomaation kannalta merkittävät asiat hybridilämpöpumppujärjestelmien toimintavarmuuden kehittämiseen.

2 LÄMPÖPUMPPUJÄRJESTELMÄT

Luvussa käydään läpi tärkeimmät lämmönlähteet ja niiden toiminta. Lämpöpumput koostuvat yhdestä lämmönlähteestä, mutta järjestelmä on mahdollista tehdä myös hybridiksi, jolloin lämmönlähteitä on useampia. Hybridilämpöpumppujärjestelmä voi koostua esimerkiksi maalämmöstä, poistoilmasta saadusta hukkalämmöstä tai kaukolämmöstä, joita tehostetaan toisella lämmönlähteellä.

Luvussa perehdytään myös ohjaustapoihin ja käytäntöihin, joita käytetään lämpöpumpuissa. Lämpöpumppujärjestelmät lisääntyvät Suomessa, joten niiden ohjaus ja käytännöt on tärkeää tehdä oikein.

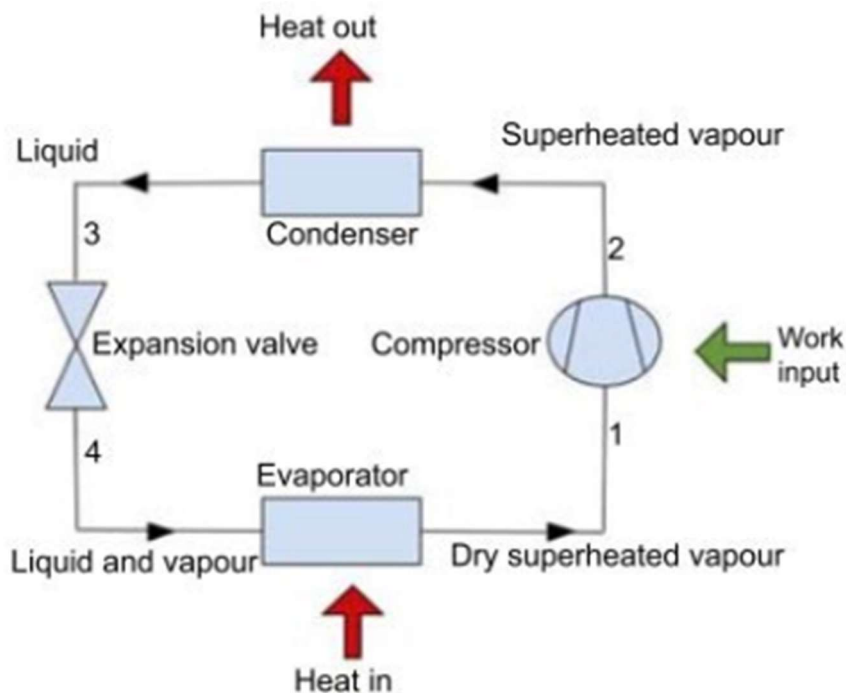
2.1. Lämpöpumppu

Energiatehokkuus on nykypäivänä tärkeä puheenaihe. Lämpöpumput ovat energiatehokas lämmityskeino, jonka avulla on mahdollista pienentää kustannuksia reilusti. Lämpöpumpuista saaduilla energiasäästöillä on mahdollista vähentää hiilidioksidipäästöjä ja terveydelle haitallisia pienhiukkaspäästöjä. Kustannusten pienentäminen vaatii lämpöpumppujen luotettavaa ja varmaa toimintaa. (Motiva Oy 2022a)

Lämpöpumppujen toiminta perustuu lämmön siirtämiseen matalamman lämpötilan lämmönlähteestä korkeamman lämpötilan vastaanottajaan faasimuutoksen avulla. Lämpöpumppuja on monenlaisia ja niiden toiminta eroaa hieman. Maalämpöpumput käyttävät maan pinnasta tai kallioista saatua lämpöä, kun taas vesistölämpöpumppu ottaa energian vesistöistä. (Motiva Oy 2022a)

Yksinkertaisimmillaan lämpöpumput koostuvat kahdesta lämmönvaihtimesta, paisuntaventtiilistä sekä kompressorista. Lämpöpumpun komponentit ja toimintaperiaate on esitetty kuvassa 1. Järjestelmässä kiertää kylmäaine, jonka avulla siirretään lämpöä järjestelmän kylmältä puolelta tuottamalla kylmäaineeseen korkeapaine kompressorin avulla. Tämän seurauksena kylmäaine kaasuuntuu ja kylmäaineen lämpötila kasvaa. Kylmäaineen siirryttyä lämpimälle puolelle kaasuu

tiivistyy nesteeksi sekä luovuttaa lämmön lauhduttimen kautta lämmitysverkostoon. (Inkinen & Tuohi 1999).



Kuva 1. Lämpöpumpun toimintamalli (Rees 2016, 2.)

Lämpöpumpun tehokkuus määritetään COP-arvolla (Coefficient of Performance). COP arvo kertoo, miten paljon lämpöenergiaa lämpöpumppu pystyy tuottamaan suhteessa sähköenergiaan. (Kolme tärkeää tekijää, jotka vaikuttavat lämpöpumpun valintaan n.d.) Mitä suurempi COP-arvo sen tehokkaampi lämpöpumppu on. COP-arvo on mahdollista laskea kaavalla

$$\frac{Q}{W} = COP \quad (1)$$

Jossa Q tarkoittaa lämpöpumpusta saatavaa lämmitystehoa ja W puolestaan tarkoittaa kulutettua sähköenergiaa. (Gebwell Oy n.d.)

Lämpöpumppujen hyötysuhteessa käytetään myös vuosihyötysuhdetta. Vuosihyötysuhteesta käytetään termiä SCOP (seasonal COP). Vuosihyötysuhteesta näkee koko vuoden hyötysuhteen, jolloin näkee tarkemmin vuodenaikojen vaihtelut hyötysuhteessa. Lämpöpumppua hankkiessa on tärkeää tietää ilmasto, jo-

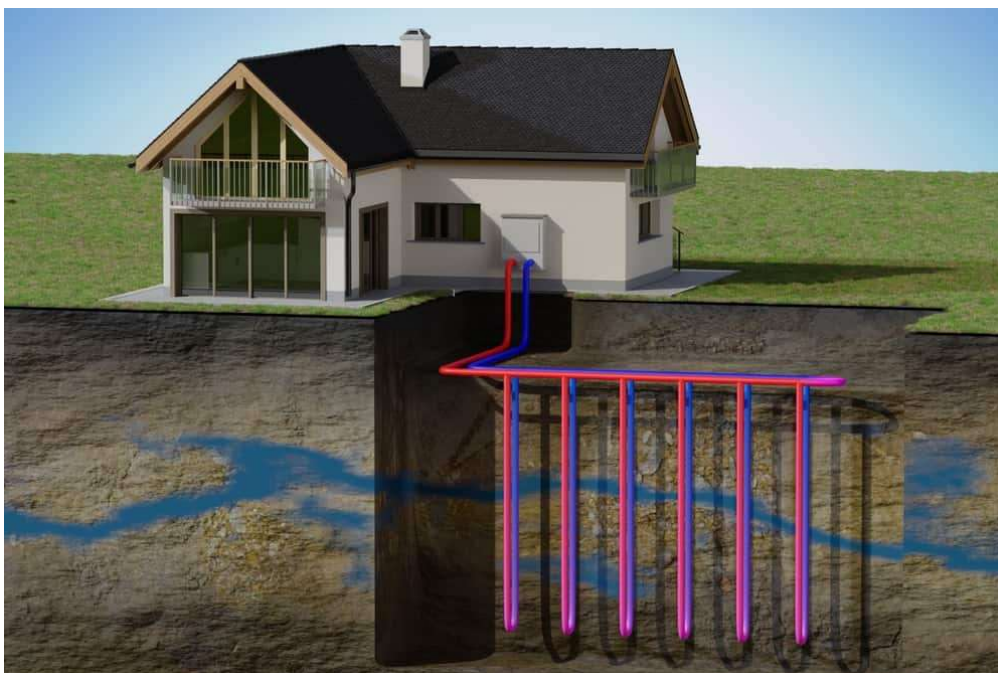
hon lämpöpumppu asennetaan ja hankkia SCOP arvoltaan paras ratkaisu kohteeseen. SCOP antaa realistisemman käsityksen hyötysuhteesta kuin COP näytämällä useamman lämmityskauden arvon. (Kolme tärkeää tekijää, jotka vaikuttavat lämpöpumpun valintaan n.d.)

Lämpöpumppuja asennetaan Suomessa vuosittain tuhansia. Lämpöpumppujen hankinta on kasvanut viime vuosina runsaasti ja vuonna 2023 uusien lämpöpumppujen määrä oli noin 26 500 kappaletta pois lukien ilmalämpöpumput. Suomessa oli vuoden 2023 lopussa noin 300 000 lämpöpumppua pois lukien ilmalämpöpumput. Lämpöpumppujen kasvavan määrän takia tietotaidon ja osaamisen lisääminen lämpöpumppuihin on tarpeellista ja vaadittavaa. (Sulpu ry 2024)

2.2. Maalämpö

Maalämmön toiminta perustuu maasta kerättyyn energiaan. Tyypillinen tapa toteutukselle on porata maahan syvä energiakaivo ja asentaa siihen lämmönkeruuputkisto. Putkistossa kiertää neste, joka kerää lämpöä maaperän lämmöstä. Neste siirtyy putkistosta lämpöpumpun höyrystimeen. Höyrystimessä neste luovuttaa kerätyn lämmön lämpöpumpun kylmäaineeseen. (Miten maalämpö toimii n.d.) Lämpötilatasot keruupiirissä sekä lämmönjakoverkostossa vaikuttavat hyötysuhteeseen. Lämmönjakoverkoston matala lämpötila parantaa hyötysuhdetta, kun puolestaan keruupiirin korkea lämpötila parantaa myös hyötysuhdetta. (Gebwell Oy 2022)

Kuvassa 2 esitetään maalämpöpumppujärjestelmään kuuluva energiakaivo. Energiakaivon asennus on mahdollista pienelle tontille, mutta hinta energiakaivoilla on suuri. Lämmönkeruupiirin mitoitus on tärkeää tehdä tarkasti. Energiakaivon alimitoitus johtaa pitkällä aikavälillä lämmönlähteen liialliseen viilenemiseen tai jäätymiseen. (Motiva Oy 2022b)



Kuva 2. Maalämmön energiakaivo ja lämmönkeruuputkisto. (Taloeksperti Oy 2023)

Maalämmön keräys onnistuu myös metrin syvyydessä tällöin käyttäen vaakaputkistoa, joka on esitetty kuvassa 3. Vaakaputkistoa käytetään usein, mikäli energiakaivon asennus on mahdotonta kohteessa.



Kuva 3. Maalämmön vaakaputkisto (Suomela Oy 2023)

Maalämpö soveltuu hyvin Suomen olosuhteisiin maan geologisten olosuhteiden sekä kylmän ilmaston takia (Suomen tarjoustoimisto Oy, n.d.). Maalämmön hyödyt kasvavat talon suuruuden mukaan. Suureen omakotitaloon maalämpö on

suotava vaihtoehto. Maalämmön käyttö on taloudellista. Maalämmöstä tuotetun lämpöenergian hinta on karkeasti noin kolmasosa sähkön hinnasta. (Suomela Oy 2023)

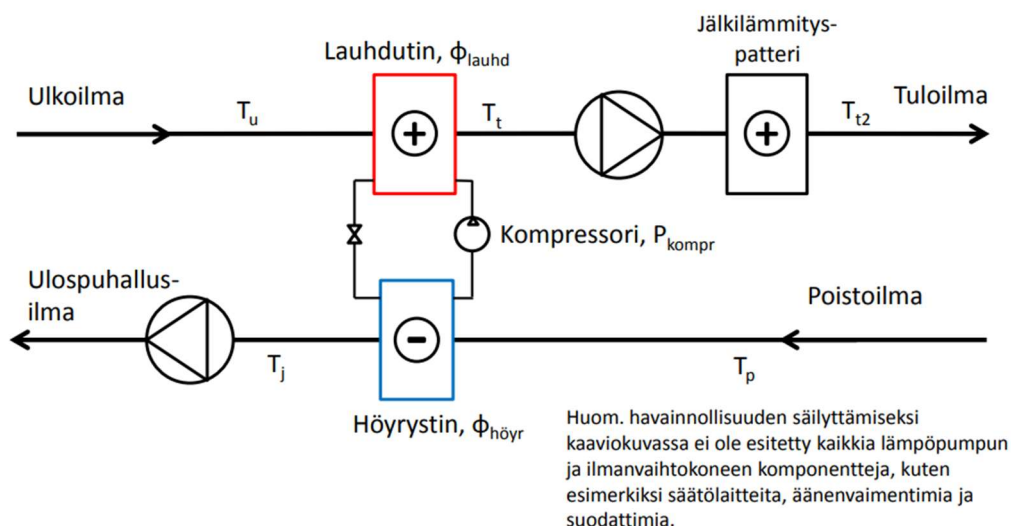
2.3. Poistoilmalämpö

Poistoilmalämpöpumppu kerää lämpöenergian ulospuhallusilmasta. Lämpöenergia voi siirtyä takaisin tuloilmaan tai esimerkiksi vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään riippuen tarpeesta, joka on kyseisellä hetkellä. (Poistoilmalämpöpumppu n.d.)

Poistoilmalämpöpumppu on mahdollista asentaa kaukolämpölämmitteisiin kerrostaloihin. Poistoilmalämpöpumpun avulla on mahdollista puolittaa kaukolämmön kulutus, jolloin taloyhtiöiden kustannukset pienenevät huomattavasti. (Rakennusliike Omakiinteistö Oy 2019)

Poistoilmalämpöpumppu on myös järkevä ratkaisu, kun tilojen lämmitys ei vaadi suurta energiamäärää. Tämän kaltainen vaihtoehto on esimerkiksi passiivitason uudistalo. Poistoilmalämpöpumppu toimii myös hyvällä hyötysuhteella lattialämmityksen kanssa. (Poistoilmalämpöpumppu n.d.)

Kuvassa 4 on esitetty poistoilmalämpöpumpun sijoitus suoraan takaisin tuloilmaan. Kompressori ja venttiili sijoitetaan siten, että lämpöpumpun peruskierto päättyy suoraan ilmavaihtokoneen lämmityspatteriin. Lämpöpumppu toimii kuvan 4 mallissa samalla periaatteella kuin muissakin lämpöpumpuissa.



Kuva 4. Esimerkkikuva poistoilmalämpöpumpun sijoituksesta tuloilmaan. (Ympäristöministeriö 2017, 14.)

2.4. Ilmavesilämpö

Ilmavesilämpö perustuu ulkoilman energian keräykseen. Ulkoyksikkö kerää ulkoilmasta lämpöä höyrystimen avulla. Lämpöpumpun periaate on samanlainen kuin muissa. Erona järjestelmissä on kuitenkin, että lämpöenergia kerätään ulkoilmasta. Ulkoilman lämpötila vaihtelee huomattavasti Suomessa, jolloin hyötysuhde vaihtelee eri vuodenaikoina. Ilmavesilämmön avulla on myös mahdollista lämmitellä talon lämmin käyttövesi siirtämällä lämpöä myös lämpimän käyttöveden varaajaan. (Tom Allen Senera Oy n.d.)

Ilmavesilämmön hyötysuhde riippuu lämmitysverkostoon menevän menoveden lämpötilasta. Matalampi menoveden lämpötila tehostaa hyötysuhdetta. Hyötysuhdetta laskee huomattavasti ilman lämpötilan laskeminen. (IVT-Turku Oy n.d.)

Ilmavesilämpöä käytetään esimerkiksi kohteissa, joissa ei ole mahdollista asentaa maalämpöä. Muita syitä hankinnalle voi olla esimerkiksi investoinnin matalampi kustannus verrattuna maalämpöön. Ilmavesilämpöpumpun hyötysuhde häviää maalämpöpumpun hyötysuhteelle, vaikka hyötysuhdetta on saatu parannettua viimevuosien aikana (Lämpöykkönen Oy 2023). Hyötysuhde on puolestaan

ilmavesilämpöpumpussa parempi mitä lämpimämmälle vyöhykkeelle asennuksen suorittaa. Hyötysuhde on paljon parempi Etelä-Suomessa, kuin esimerkiksi Pohjois-Suomessa. Hyötysuhde laskee 50 prosentilla, kun lämpötila laskee seitsemästä asteesta kahdenkymmenen asteen pakkaseen. Ilmavesilämpöpumpua on tärkeää ohjata tasavirtaohjauksella, jolloin on mahdollista parantaa hyötysuhdetta ja pidentää lämpöpumpun kompressorin elinikää. (Ilmavesilämpöpumppu n.d.)

Kuvassa 5 on esitetty ilmavesilämpöpumpun toiminta. Ulkoyksikkö kerää ulkoilmasta lämpöenergiaa. Lämpöpumpusta saatu lämmitysenergia siirtyy talon lämmitysverkostoon ja lämpimän käyttöveden varaajaan.



KUVA 5. Esimerkkikuva ilmavesilämpöpumpusta (E.On Oy n.d)

2.5. Energiankierrätysjärjestelmä

Energiankierrätysjärjestelmien ideana on hyödyntää prosessien hukkalämpöä ja käyttää sitä lämmityksessä lämpöpumpun avulla. Hukkalämpöä on esimerkiksi kylmälaitteiden lauhdelämpö ja ilmanvaihdon poistoilman lämpö. (Tom Allen Senera Oy 2020)

Energiankierrätys on tärkeää taloudellisuudelle sekä energiatehokkuudelle. Energiankierrätyksen avulla hukkalämmöistä on mahdollista tuottaa 95 % kiinteistöjen lämmöntarpeesta, mutta parhaassa tilanteessa on mahdollista tuottaa enemmän kuin kiinteistön lämmitystarve on. Energiankierrätysjärjestelmiä on kannattavinta hyödyntää kohteissa, joissa on paljon hukkaenergiavirtoja. Tämän kaltaisia esimerkkejä ovat kauppakiinteistöt, jotka sisältävät kylmäkoneita sekä jäähallit. Kiinteistöt, joissa on suuri lauhdelämmön määrä ovat energiatehokkaimpia kohteita energiankierrätykseen. (Granlund Oy 2023)

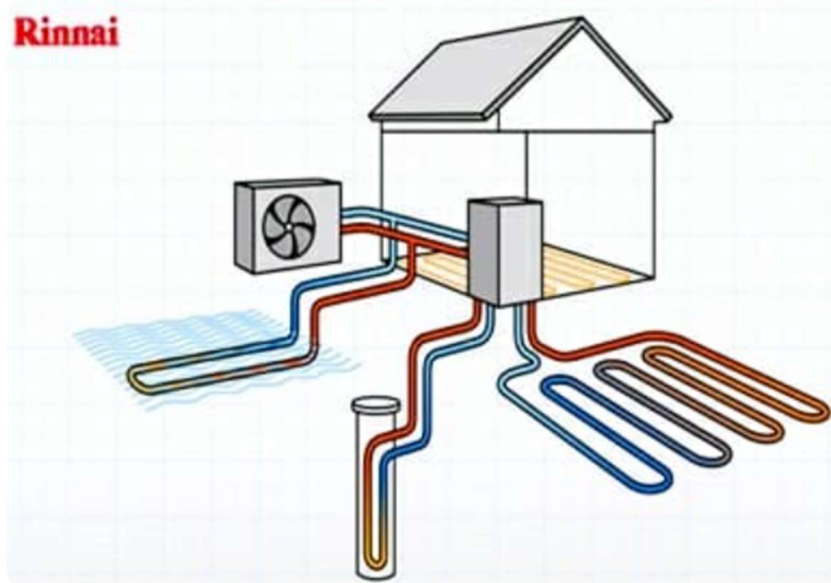
2.6. Hybridilämpöpumppujärjestelmä

Hybridilämpöpumppujärjestelmä perustuu kahden tai useamman lämmönlähteen yhdistämisestä yhdeksi järjestelmäksi. Hybridilämpöpumppujärjestelmiä toteutetaan tehokkuuden, kustannusten ja joustavuuden takia. Hybridijärjestelmä sopeutuu useampiin olosuhteisiin ja energiatarpeisiin. (Kylmätalo Kuura Oy n.d)

Hybridilämpöpumppujärjestelmä on mahdollista toteuttaa esimerkiksi käyttämällä ensisijaisesti toista lämmönlähdettä lämmityksessä, mutta kovimmilla pakkasilla tehostaa lämmitystä käyttämällä myös toista lämmönlähdettä. (Lämpöykkönen Oy 2019)

Lämmitystarpeen ollessa pitkäaikainen, on hyvä suosia hybridijärjestelmää. Esimerkiksi maalämmöstä tällöin on hyvä ottaa 60–80 % lämmityskuormasta ja tehostaa loput kuormasta toisella lämmityskeinolla. Lämmityskeinojen jakaminen prosentuaalisesti tehostaa taloudellisuutta. Maalämmön käyttö 100 % tehokkuudella olisi huomattavasti vähemmän kustannustehokasta. Joissain tilanteissa pelkkää maalämpöä käyttämällä viimeisen 20 % lämmityskuorman saaminen voi olla haastavaa ja maalämmön teho voidaan joutua nostamaan kaksinkertaiseksi. (Egg & Howard 2010, 65.)

Kuvassa 6 on esitetty esimerkkikytkentä hybridilämpöpumppujärjestelmästä, jossa yhdistyy maalämpö sekä ilma-vesilämpöpumppu.



Kuva 6. Esimerkki hybridilämpöpumppujärjestelmästä. (construction update magazine n.d.)

2.7. Ohjaukset ja toimintatavat

Hybridilämpöpumppujärjestelmien toiminta on nykypäivänä epävarmalla pohjalla. Järjestelmät eivät toimi halutulla potentiaalilla ja käytössä havaitaan ongelmia. Suunnittelussa käytetään kyselyn perusteella liikaa kopiointia sekä pyritään liian monimutkaisiin ohjauksiin. Tietotaito järjestelmien suhteen tuntuu olevan myös huonoa.

Hybridilämpöpumppujärjestelmät vaativat ammattitaitoista suunnittelua ja asennusta. Suomessa vähäiset ammattilaiset näkyvät järjestelmien toimimattomuudessa, koska suunnittelun ja asennukset suorittavat liian usein heikosti koulutettu henkilö. (Tanskanen 2024)

Toimintatavoissa on tärkeitä asioita, jotka kuuluvat huomioida järjestelmissä. Käyttöönottotarkastuksissa ja mittauksissa on tärkeää huomioida ajankohta, jolloin ne suoritetaan. Tarkastukset ja mittaukset olisi hyvä suorittaa järjestelmän

lämmityskaudella, jolloin järjestelmä kävisi täydellä teholla. Tällöin huomaisi välittömästi ongelmakohdat järjestelmän toimivuudessa, eikä ongelma ilmenisi vasta myöhemmin.

Hybridilämpöpumppujärjestelmiä on mahdollista ohjata monella eri tavalla. Yleisimpiä ohjaustapoja ovat aikataulutettu ohjaus, asetettuun lämpötilaan perustuva ohjaus sekä lämpötilaeroon perustuva ohjaus. Ohjaustapoja on myös mahdollista yhdistää saamalla energiatehokkaampia kokonaisuuksia. (Rees 2016, 340.)

Hybridilämpöpumppujärjestelmillä on mahdollista säästää energiaa huomattavasti. Järjestelmien ohjaus sekä energian hinta vaikuttavat energiatehokkuuteen. Järjestelmiä olisi järkevä ohjata energiahintojen mukaisesti, jolloin suurin kulutus otettaisiin hintojen ollessa alhaiset ja käytettäisiin varastoitua lämpöenergiaa, kun hinnat ovat korkeampia.

Optimaalisimman toiminnan päätarkoitus on säästää energiaa. Energiaa säästetään nykypäivänä erilaisilla ohjauksilla sekä uudentyyppisillä järjestelmillä, jotka mahdollistavat paremman energiatehokkuuden. Energiatehokkuus on hybridilämpöpumppujärjestelmissä hyvä, mutta energiatehokkuutta on mahdollista saada paremmaksi. Optimaalisin ohjaustapa vuonna 2014 tehdyn maalämmön ja jäähdytystornin hybridijärjestelmän ohjaukseen perustuvan tutkimuksen mukaan on asetetun lämpötilan ja lämpötilaeron perusteella suoritettu ohjaus. Kyseisen tutkimuksen mukaan lämpötilan ja lämpötilaeron perusteella suoritettu ohjaus voi säästää kymmenen vuoden aikana noin 100 MWh verrattuna ajoitettuihin ohjauksiin. (Rees 2016, 340.) Monimuotoisissa hybridijärjestelmissä optimaalisin ohjaus voi olla eri tavalla toteutettu, eikä yhden järjestelmän ohjaus välttämättä toimi toisenlaisessa järjestelmässä.

3 TOIMINTAVARMUUS HYBRIDILÄMPÖPUMPPUJÄRJESTELMISSÄ

Luvussa perehdytään hybridilämpöpumppujärjestelmien toimintavarmuuteen kyselyn avulla. Kysely tehtiin osana opinnäytetyötä. Suomessa rakennetaan lämpöpumppuja vuosittain kymmeniä tai jopa satoja tuhansia. (Sulpu ry 2024)

Nykypäivänä lämpöpumppuja tehdään myös paljon hybridijärjestelmiksi ja niiden toiminta on parhaimmillaan todella energiatehokasta ja kannattavaa. Hybridilämpöpumppujärjestelmät ovat monimutkaisia kokonaisuuksia ja vaativat tarkkaa suunnittelua ja asennusta toimiakseen. Ilman oikeanlaista toimintaa hybridilämpöpumppujärjestelmät eivät ole niin energiatehokkaita kuin niiden pitäisi.

3.1. Tutkimuskyselyn kysymykset

Tutkimuskyselyssä lähdettiin selvittämään lämpöpumppujen määrää suurilta kiinteistönomistajilta ja samalla niiden toimintavarmuutta. Kysely lähetettiin yhdeksälle suurelle kiinteistöomistajayritykselle, joiden yhteyshenkilöt saatiin Ramboll Finland Oy:n työntekijöiltä. Kyselyyn vastasi kuusi yritystä. Kyselyyn vastanneet olivat pääosin pääkaupunkiseudulta, joten kyselyn tulokset pohjautuvat pääkaupunkiseudulle rakennettuihin lämpöpumppuihin.

Tutkimuskyselyssä oli tärkeä saada tietoa nykyisistä lämpöpumppujärjestelmistä ja niiden toiminnasta. Kyselyn perusteella selvitettiin ongelmatilanteet ja niiden yleisyys. Vastauksista pystyi skaalaamaan lämpöpumppujen määrän koko Suomen määrään, jolloin pystyi tarkastelemaan ongelmaa laajemmalla alueella.

Kyselyssä ensin selvitettiin lämpöpumppujärjestelmien määrä eri toimijoiden kiinteistöissä. Lämpöpumppujen määrä oli tärkeä kyselyssä, koska sen avulla saatiin tieto ongelmien määrästä ja pystyttiin suhteuttamaan ongelma koko Suomen laajuudelle.

Toisessa kysymyksessä selvitettiin lämpöpumppujärjestelmien ongelmallisuutta käyttöönotosta lähtien lämpöpumppujärjestelmän täysipäiväiseen toimintaan. Ongelmien määrä esitettiin prosentuaalisesti, jolloin luvut ovat helpommin skaalattavia.

Viimeisessä kysymyksessä kysyttiin avoimesti lämpöpumppujärjestelmien ongelmakohdista ja suurimmista poikkeavuuksista. Ongelmakysymys on tärkein työn kannalta, jotta saa käsityksen, mistä ongelmat johtuvat. Kysymykseen halutaan vastaus ammattilaiselta, jolloin näkemys tulee suoraan käytännön esimerkistä.

Tutkimuskyselyn kysymykset tehtiin siten, että niiden avulla saisi selvyyden ongelmakohtiin ja ongelman laajuuteen. Tutkimuskysely on esitetty kuvassa 7.

Lämpöpumppujärjestelmien toimintavarmuuden kehittäminen

1. Kuinka monta lämpöpumppujärjestelmää teillä on arviolta?

Enter your answer

2. Kuinka suuressa osassa järjestelmistä esiintyy ongelmia? (käyttöönosta eteenpäin?)

☐ 0%

☐ 20%

☐ 40%

☐ 60%

☐ 80%

☐ 100%

3. Mistä ongelmat johtuvat?

Enter your answer

Submit

Kuva 7. Tutkimuskyselyn kysymykset.

3.2. Tutkimuskyselyn vastaukset

Kyselyyn vastasi kuusi kiinteistöjenomistajayritystä pääkaupunkiseudulta. Vastanneiden yhtiöiden asuntojen omistusmäärä on noin 70 000 kappaletta. Lämpöpumppujärjestelmiä vastanneilla on noin 170 kappaletta. Vastauksista osoittautui lämpöpumppujen ongelmallisuus ja toimintavarmuuden heikkous. Kyselyn vastaukset on esitetty liitteessä 1.

Vastauksien perusteella lämpöpumppujärjestelmiä kyseisillä yhtiöillä on noin 170, joista 40 % sisälsi ongelmia käyttöönotosta täysipäiväiseen käyttöön.

Skaalattuna luku koko Suomen laajuuteen voidaan olettaa, että Suomen vuonna 2023 rakennetuista 26 500 lämpöpumpusta ongelmia olisi ollut noin 10 000 lämpöpumppujärjestelmässä vuonna 2023.

Ongelmakohdat jakaantuivat laajalle ja siitä syystä järjestelmät tulee toteuttaa tarkasti ja laadukkaasti. Ongelmakohtia oli esimerkiksi suunnitteluvirheet kuten monimutkaisuus, väärät asetusarvot ja tietämättömyys kokonaisuuksista. Eri suunnitelmien yhteensovitus aiheuttaa ongelmia järjestelmissä. Ongelmakohtia oli myös projektien loppuvaiheessa esimerkiksi tarpeeksi laajojen käyttöönotto-tarkastuksien tekemättä jättäminen sekä lämpöpumpun tarvittavan huollon hoitamatta jättäminen.

Vastanneista neljä mainitsi ongelmakohdaksi suunnitteluvirheet. Suunnitteluvirheitä ovat kyselyn mukaan mitoitusvirheet, parametroidit, hystereesit, joidenkin hälytystietojen puuttuminen sekä suunnittelun monimutkaisuus. Myös suunnitelmien yhteensovitus- ja integraatio-ongelmat olivat yleisiä vastauksissa.

Suureksi ongelmakohdaksi kyselystä ilmeni lämpöpumppujärjestelmän lopputestauksien ja käyttöönottotarkastusten tekemättä jättäminen. Kyselystä selvisi myös lopputestausten ajankohdan tärkeys. Vastauksista ilmeni, että lämpöpumpun käyttöönottotarkastukset sekä toiminnanvarmistus olisi järkevin tehdä kaudella, jolloin lämpöpumppujärjestelmä on kovimmalla käytöllä.

Kyselystä selvisi lämpöpumppujärjestelmien huono osaaminen. Lämpöpumppujärjestelmät ovat suuria kokonaisuuksia, jotka pitää ymmärtää kokonaisuudessaan voidakseen suunnitella järjestelmän toimivaksi. Suomen vuoden 2022 energiakriisin aikana rakennetuista lämpöpumppujärjestelmistä huomaa heikon toiminnan. Heikon toiminnan syy vaihtelee ja osittain se johtuu nopeasti tehdyistä järjestelmistä sekä tekijöiden osaamisen puutteesta.

Vastauksista sai selville ongelman laajuuden hyvin ja ongelmia tuli esille paljon. Vastausten perusteella lämpöpumppujen toimintaongelmat ovat yleisiä tällä hetkellä Suomessa. Lämpöpumppujärjestelmien huono toiminta johtaa kustannusten nousuun sekä projektien viivästymiseen. Lämpöpumppujärjestelmät olisivat tärkeää asentaa ja suunnitella toimimaan oikealla tavalla, jolloin järjestelmistä saisi täyden potentiaalin irti.

4 TOIMINTAVARMUUDEN PARANTAMINEN RAKENNUSAUTOMAATION AVULLA

Työssä pyritään parantamaan hybridilämpöpumppujärjestelmien toimintavarmuutta rakennusautomaation avulla. Työssä haastateltiin Ramboll Finland Oy:n kokenutta rakennusautomaatioyksikön asiantuntijaa. Haastattelussa selvitettiin mahdollisia tapoja, joilla on mahdollista parantaa järjestelmien toimintavarmuutta. Tämän lisäksi selvitettiin kirjallisuuslähteiden avulla mahdollisia ratkaisuja ongelmakohtiin.

Haastattelussa annettiin ensimmäiseksi asiantuntijan kertoa mielestään tärkeimmät lämpöpumppujärjestelmän komponentit sekä suurimmat ongelmakohdat. Tämän jälkeen asiantuntijalle esitettiin kysymyksiä lämpöpumppujärjestelmistä. Kysymysten avulla oli tarkoitus saada mahdollisia ratkaisuja tutkimuskyselyssä ilmenneisiin ongelmiin. Haastattelun kysymykset on esitetty liitteessä 2.

4.1. Virhetilanteiden tunnistaminen

Virhetilanteita ja ongelmia olisi hyvä pystyä tunnistamaan mahdollisimman nopeasti, jolloin reagoiminen ongelmiin olisi myös nopeaa. Virhetilanteiden tunnistaminen voi olla haastavaa johtuen ongelmien laajuudesta. Järjestelmissä yksi helpommista tavoista tunnistaa virhetilanteet ja ongelmat nopeimmalla tavalla on lisätä järjestelmään tarpeeksi laaja anturointi, sekä valvomografiikka etäseuranta-tietokoneelle. (Pusa 2024)

Virhetilanteiden tunnistamisessa auttaa myös tarpeeksi laajat hälytykset. Järjestelmälle on järkevää tehdä simuloidut laskennat energiakulutukselle, jonka avulla on mahdollista määrittää raja-arvot, joiden avulla pystytään luomaan valvomografiikkaan hälytykset. Hälytysten avulla on puolestaan helpompi ja nopeampi reagoida virhetilanteisiin. (Pusa 2024)

Virhetilanteiden tunnistamisessa auttaa data-analytiikkasovellus. Sovellus kerää, organisoi ja analysoi kaiken tiedon sekä käyttää sitä vertaamalla aiempaan tie-

toon. Tällöin sovellus oppii laitteiden toiminnan ja epäkohdat normaaleissa olosuhteissa, mutta myös epänormaaleissa olosuhteissa. Sovellus käyttää aiempaa ja tämänhetkistä dataa luomalla parhaita mahdollisia toimintatapoja ja ohjauksia. Sovellus oppii myös virhetilanteiden ehkäisyä sekä hälytysten priorisoinnin. Sovellus mahdollistaa laitteiden korjaukset, jotka eivät vaadi manuaalista korjaamista. Sovellus vähentää hälytyksiä korjaamalla itse mahdollisia virheitä ja hälytyksistä jää ainoastaan manuaalisesti korjattavat viat. Tämä mahdollistaa nopeaa tunnistamista ennen kuin viat kasvavat liian suuriksi. (Schoenfeld n.d.)

4.2. Virhetilanteisiin reagoiminen

Virhetilanteiden reagoiminen on tärkeää toimintavarmuuden kannalta. Nopea reagoiminen voi olla ratkaisevassa asemassa järjestelmän toimintavarmuuden sekä pitkän eliniän suhteen. Nopea reagoiminen vaikuttaa myös energiatehokkuuteen.

Virhetilanteisiin reagoiminen voi olla hidasta, kun järjestelmät ovat isoja ja monimutkaisia. Yleistyvän pilvipalvelun käyttö voi nopeuttaa reagoimista. Pilvipalvelu ja etäkäyttö mahdollistavat järjestelmän virhetilanteen tarkastamisen missä ja milloin vain. Tällöin reagoiminen on huomattavasti nopeampaa kuin virhetilanteen selvittäminen paikan päällä. (Pusa 2024)

Virhetilanteisiin reagoiminen on helpompaa, jos valvomografiikka on tehty yhdelle sivulle ja koko järjestelmän näkee helposti. Valvomografiikassa on tärkeä näkyä tarpeeksi laajasti mittauksia ja mahdollisia hälytyksiä. (Pusa 2024)

Hybridilämpöpumppujärjestelmien optimointi tulevaisuudessa on tärkeää. On tärkeää hyödyntää koneoppimis- ja tekoälypohjaisia sovelluksia. Sovelluksilla on mahdollista mitata kattavasti tietoa järjestelmästä ja hyödyntää sitä toimintavarmuuden kehittämisessä. (Niemelä 2024, 31.)

Data-analytiikkasovellus auttaa reagoimaan nopeammin vikoihin, jotka vaativat manuaalista korjaamista. Data-analytiikkasovellus kerää datan ja hyödyntää sitä.

Sovellus voi reagoida itse joihinkin virhetilanteisiin ja hälyttää virhetilanteista, joihin ei pysty reagoimaan. (Schoenfeld n.d.)

4.3. Virhetilanteiden välttäminen

Ongelmia ja virhetilanteita tulee hybridilämpöpumppujärjestelmissä laajalti. Tärkeää on selvittää ongelma ja ratkaista ongelmat ennen kuin ne aiheuttavat suurta haittaa.

Yksi tärkeimmistä asioista järjestelmien virhetilanteiden välttämiseksi on oikea mitoitus. Mitoitus vaikuttaa järjestelmissä energiatehokkuuteen, mutta myös huomattavasti toimintavarmuuteen ja käyttöikään. Lämpöpumpuissa oleva kompressorin käyttöikä riippuu usein käynnistyskerroista. Järjestelmän väärä mitoitus johtaa kompressorin sammumiseen ja uudelleenkäynnistymiseen, jolloin käyttöikä lyhenee huomattavasti. Lämpöpumpuille on tärkeää mitoittaa oikeat virtaamat. Lämpöpumpuille yleinen ylimitoitus vaikuttaa negatiivisesti laitteen käyttöikään. Järjestelmän sisältäessä monta lämpöpumppua voisi olla mahdollisuus mitoittaa pumput hieman eri olosuhteille välttääkseen ääriolosuhteiden haasteet. Ääriolosuhteet voivat vaikuttaa todella negatiivisesti lämpöpumpun toimintaan. Pahimmillaan lämpöpumppu lakkaa kokonaan toimimasta. (Pusa 2024)

Virhetilanteita on mahdollista välttää yhteistyön avulla. Yhteistyön tekeminen eri osaston henkilöiden kanssa on tärkeää, jolloin järjestelmään saa mahdollisimman tarkat asetukset ja mahdolliset hälytykset sekä järjestelmien yhteensovitus toimisi mahdollisimman virheettömästi. (Pusa 2024)

Kyselyn perusteella yksi mahdollinen tapa ehkäistä lämpöpumpun toimimattomuutta on tehdä käyttöönottotarkastukset ja -mittaukset lämpöpumpun lämmityskaudella. Tällöin lämpöpumpun mahdolliset viat tulevat esiin välittömästi ja niihin on helpompi ja nopeampi reagoida. Tarkastusten ja mittausten suorittaminen esimerkiksi lämpimänä ajanjaksona kesällä voi johtaa siihen, että lämpöpumppu ei käy täydellä teholla ja vika huomataan vasta, kun ilma viilenee ja lämpöpumppu joutuu kovemmalle rasitukselle.

Järjestelmiin tehtävät komponenttihankinnat kannattaa tehdä harkiten. Halvimmat komponentit eivät välttämättä ole tarpeeksi laadukkaita lämpöpumppujärjestelmään. Myös ohjelmiston hankkimiseen kannattaa panostaa. (Pusa 2024)

Hybridilämpöpumppujärjestelmien suunnittelussa voi tapahtua virheitä, joista seuraa järjestelmien toimimattomuus. Kyselyn perusteella virheitä suunnittelussa on esimerkiksi liiallinen aiempien projektien kopiointi tai puolestaan liian monimutkainen suunnittelu. Tärkeää olisi siis, että suunnittelija olisi pätevä ja osaava suunnittelemaan kyseisen kokonaisuuden ja tekisi suunnitelmat juuri tiettyyn projektiin. Suunnittelussa olisi myös tärkeää tehdä suunnitelma yhdelle tiedostolle ja yhdelle sivulle. Tällöin suunnitelmia on huomattavasti helpompi lukea, kun järjestelmän kokonaisuus näkyy suoraan yhdellä sivulla, eikä suunnitelmia olisi monessa tiedostossa ja eikä järjestelmät jatkuisi kuvasta toiseen. Virheitä voi myös sattua itse asennuksessa. Tämä olisi mahdollista ehkäistä asennusvaiheessa, kun asentajat olisi tarpeeksi perusteellisesti perehdytetty ja koulutettu järjestelmien asennukseen. Suunnitelmien selkeys vaikuttaa myös asennustöihin positiivisesti. (Pusa 2024)

Huoltotoiminnan lisäys on tärkeää toiminnanvarmuuden kannalta. Huolto on mahdollista tehdä ennakoivasti, jolloin mahdolliset viat keretään huomaamaan ennen kuin järjestelmän toiminta kärsii. Myös henkilöstön koulutus on tärkeää. (Niemelä 2024, 31.)

Järjestelmät sisältävät paljon ohjelmistoja, joiden päivitykset tulisivat hoitaa ajan tasalle tietyin väliajoin. Ohjelmistot kehittyvät usein ja niiden yleisyys järjestelmissä kasvaa. Päivittämätön ohjelmisto on riski toimintavarmuudelle. (Conexus Oy n.d.)

Järjestelmien monimutkaisuuden takia data-analytiikkasovelluksen käyttö vähentää ihmisen tekemiä virheitä. Sovellus mahdollistaa tarkan ja monimutkaisen työn tekemisen helpommalla tavalla, jolloin on mahdollista välttää järjestelmien toimintaan tai energiatehokkuuteen liittyvät virheet. (Schoenfeld n.d.)

5 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää hybridilämpöpumppujärjestelmien toimintavarmuuden tilanne ja pyrkiä parantamaan toimintavarmuutta rakennusautomaation avulla. Hybridilämpöpumppujärjestelmien toimintavarmuus on tärkeää järjestelmien toiminnan kannalta. Järjestelmien toimimattomuus aiheuttaa projektien lisäkustannuksia, energiatehokkuuden heikentymistä sekä asumiskelvottomia asuntoja.

Työssä perehdyttiin hybridilämpöpumpun mahdollisiin lämmönlähteisiin ja niiden perusteisiin sekä itse lämpöpumppuun ja sen toimintaan. Työssä esiteltiin myös hybridilämpöpumppujärjestelmää sekä järjestelmien nykyisiä ohjaus- ja toimintatapoja.

Työssä suoritettiin tutkimuskysely, jonka avulla selvitettiin lämpöpumppujärjestelmien toimintavarmuuden tilanne. Tutkimuskyselyn perusteella järjestelmät osoittautuivat ongelmallisiksi ja ongelmia esiintyi yllättävän monessa kohteessa. Suomessa ongelma lämpöpumppujärjestelmien toiminnassa on huomattava ja tällöin kiinteistöt menettävät asennetuista järjestelmistä saavutettavat hyödyt. Tutkimuskyselystä olisi saanut tarkemman lähettämällä kysely useammalle henkilölle eri puolelta Suomea.

Tutkimuskyselyssä ilmenneitä ongelmia lähdettiin ratkaisemaan haastattelun avulla. Haastattelusta ilmeni järjestelmien monimutkaisuus. Järjestelmissä esiintyi monenlaista ongelmaa ja niiden korjaaminen on haastavaa. Projekteissa on useita yksiköitä mukana ja niiden yhteistyön tekeminen on tärkeää järjestelmän suunnittelussa. Mitoitusvirheet ja muut parametroidit osoittautuivat suureksi ongelmaksi, jonka korjaamiseen vaaditaan tarkkaavaisuutta ja koko järjestelmän ymmärtämistä. Haastattelussa ilmeni myös laadukkaiden komponenttien merkitys järjestelmän toimivuuden kannalta. Yksi tärkeimmistä asioista oli järjestelmän etävalvonta ja -hallinta. Etävalvonnan avulla on mahdollista reagoida nopeammin järjestelmän virhetilanteisiin.

Tärkeää olisi sopia tulevaisuudessa yhteiset käytännöt hybridilämpöpumppujärjestelmien suunnittelussa ja asennuksessa, jolloin olisi mahdollista saada toimintavarmuus paremmalle tasolle.

Jatkotutkimuksen ideana olisi hybridilämpöpumppujärjestelmän tarkastelu ja toimintavarmuuden kehittäminen koko prosessin kannalta, eikä pelkästään rakennusautomaation kannalta. Järjestelmät ovat suuria ja toimintavarmuus riippuu monesta eri tekijästä, joihin ei voi vaikuttaa rakennusautomaatiolla. Järjestelmät olisivat tärkeä saada toimimaan paremmalla varmuudella ja mahdollisimman energiatehokkaasti, jolloin energiatehokkuus olisi paras mahdollinen ja järjestelmän toimintavarmuus luotettava.

Yhteenvedona työ onnistui hyvin. Työssä saatiin selville ongelman tilanne Suomessa sekä ongelmiin mahdollisia ratkaisuja. Ongelmat ovat kuitenkin laajoja ja työssä paneudutaan ainoastaan toimintavarmuuden kehittämiseen rakennusautomaation kannalta. Järjestelmien toiminta vaatii tarkkaa yhteistyötä sekä osaamista.

LÄHTEET

Conexus Oy. n.d. *TROUBLESHOOTING COMMON BUILDING AUTOMATION SYSTEM ISSUES*. Verkkosivu. Viitattu 27.5.2024.

<https://www.conexuscommunity.com/blog/troubleshooting-common-building-automation-system-issues/>

Construction update magazine. n.d. *RINNAI ADDS HEAT PUMPS TO EXPANDING H3 (HYDROGEN, HYBRID, HEAT PUMP)*. Verkkosivu. Viitattu 23.4.2024.

https://construction-update.co.uk/2022/04/05/rinnai-adds-heat-pumps-to-expanding-h3-hydrogen-hybrid-heat-pump-product-list-rinnai_uk/

E.On Oy. n.d. *How does an air source heat pump work?* Verkkosivu. Viitattu 27.5.2024.

<https://www.eonenergy.com/air-source-heat-pumps/how-it-works.html>

Egg, J.;& Howard, B. 2010. *Geothermal HVAC green heating and cooling*. New york : McGraw-Hill.

Gebwell Oy. 2022. *Näin onnistut maalämpöprojektissa*. PDF-dokumentti. Viitattu 25.5.2024.

<https://gebwell.fi/app/uploads/2021/09/Maalampoipas.pdf>

Gebwell Oy. n.d. *SCOP vai COP? Ota tehojen vertailun keskeiset termit haltuun!* Verkkosivu. Viitattu 25.5.2024.

<https://gebwell.fi/ajankohtaista/scop-vai-cop-ota-tehojen-vertailun-keskeiset-termit-haltuun/>

Granlund Oy. 2023. *Energiankierrätys leikkaa jopa 95 prosenttia lämmönkulutuksesta*. Verkkosivu. Viitattu 25.5.2024.

<https://www.granlund.fi/uutinen/energiankierratys-leikkaa-jopa-95-prosenttia-lammonkulutuksesta/>

Ilma-vesilämpöpumppu. n.d. Motiva Oy. Verkkosivu. Viitattu 23.4.2024.

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

Inkinen, P. & Tuohi, J. 1999. *Momentti* 1. 4.-9. painos. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Otava.

IVT-Turku Oy. n.d. *Miten ilmavesilämpöpumppu toimii*. Verkkosivu. Viitattu 12.4.2024.

<https://ivtturku.fi/miten-ilma-vesilampo-toimii/>

Kolme tärkeää tekijää, jotka vaikuttavat lämpöpumpun valintaan. n.d. Thermia Finland Oy. Verkkosivu. Viitattu 25.5.2024.

<https://www.thermia.fi/hyodyllista-tietoa/osta-lampopumppu/lampopumppu-kolme-tekijaa/>

Kylmäalo Kuura Oy. n.d. *Mitä eroa lämpöpumpuilla on*. Verkkosivu. Viitattu 16.5.2024.

<https://www.kylmatalokuura.fi/mita-eroa-lampopumpuilla-on/>

Lämpöykkönen Oy. 2019. *lämpöpumppu trendit 2019 – kodit ja kiinteistöt*. Verkkosivu. Viitattu 14.4.2024.

<https://lampoykkonen.fi/lampomedia/artikkelit/lampopumppu-trendit-2019-kodit-ja-kiinteistot/>

Lämpöykkönen Oy. 2023. *Maalämpö- vai ilma-vesilämpöpumppu? Vertaile lämmitysjärjestelmiä näin*. Verkkosivu. Viitattu 22.5.2024.

<https://lampoykkonen.fi/lampomedia/artikkelit/maalampo-vai-ilma-vesilampopumppu-vertaile-lammitysjarjestelmia-nain/>

Miten maalämpö toimii. n.d. Thermia Finland Oy. Verkkosivu. Viitattu 9.4.2024.

<https://www.thermia.fi/maalampo/maalampo1/miten-maalampo-toimii/>

Motiva Oy. 2022a. *Lämpöpumput*. Verkkosivu. Viitattu 17.3.2024.

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput

Motiva Oy. 2022b. *Maalämpöpumppu*. Verkkosivu. Viitattu 18.4.2024.

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpput_eknologiat/maalampopumppu

Niemelä, T. 2024. Lämpöpumppujärjestelmien suunnitteluratkaisut ja esimerkkejä toteutetuista kohteista. Luento. PDF-dokumentti. Julkaisija Granlund Oy 15.2.2024. Viitattu 21.4.2024.

https://drive.google.com/file/d/1_twF7wYtkY0YKACAkOv1ofUt6SYHTxOE/view

Poistoilmalämpöpumppu. n.d. Motiva Oy. Verkkosivu. Viitattu 23.4.2024.

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpput_eknologiat/poistoilmalampopumppu

Pusa, K. Rakennusautomaatioyksikön asiantuntija. 2024. Haastattelu 6.5.2024. Microsoft Teams. Haastattelu litteroitu.

Rakennusliike Omakiinteistö Oy. 2019. *PILP kaukolämpötilon kiikarissa*. Verkkosivu. Viitattu 25.5.2024.

<https://www.omakiinteisto.com/pilp-kaukolampotalon-kiikarissa/>

Ramboll Finland Oy. 2024. Verkkosivu. Haettu 16.5.2024.

<https://www.ramboll.com/fi-fi/ramboll-yrityksena>

Rees, S. 2016. *Advances in ground-source heat pump systems*. Woodhead Publishing.

Schoenfeld, J. n.d. *The Importance of Analytics in Building Automation*. Verkkosivu. Viitattu 27.5.2024.

<https://www.buildingsiot.com/blog/the-importance-of-analytics-in-building-automation-bd>

Sulpu ry. 2024. *Lämpöpumppumyynti normalisoitui huippuvuoden jälkeen edellisten vuosien tasolle*. Verkkosivu. Viitattu 14.4.2024.

<https://www.sulpu.fi/lampopumppumyynti-normalisoitui-huippuvuoden-jalkeen-edellisten-vuosien-tasolle/>

Suomela Oy. 2023. *Maalämpö*. Verkkosivu. Viitattu 17.3.2024.

<https://www.suomela.fi/maalampo/>

Suomen tarjoustoimisto Oy. n.d. *Maalämpö Suomessa*. Verkkosivu. Viitattu 25.5.2024.

<https://maalampohinta.fi/suomessa/>

Taloekspertti Oy. 2023. *Paras maalämpöpumppu 2023 ostajan opas*. Verkkosivu. Viitattu 26.4.2024.

<https://taloekspertti.fi/paras-maalampopumppu-2023-ostajan-opas/>

Tom Allen Senera Oy. 2020. *Voitto heat pump city of the year 2020 kilpailussa*. Verkkosivu. Viitattu 6.5.2024.

<https://www.tomallensenera.fi/blogi/voitto-heat-pump-city-of-the-year-2020-kilpailussa>

Tom Allen Senera Oy. n.d. *Vesi-ilmalämpöpumppu*. Verkkosivu. Viitattu 9.4.2024.

<https://www.tomallensenera.fi/ilma-vesilampopumppu>

Tanskanen, J. 2024. *Lämpöpumput aiheuttivat pettymyksen monissa taloyhtiöissä, jotka siirtyivät kiireellä maalämpöön Helsingissä*. Yle Uutiset 14.5.2024. Viitattu 27.5.2024.

<https://yle.fi/a/74-20086002>

Ympäristöministeriö. 31.3.2017. *PILP-opas*. PDF-dokumentti. Viitattu 12.4.2024.

https://ym.fi/documents/1410903/38439968/PILP-opas-2018-3A3AA968_B9E7_48FC_ACEB_7C4E7F0917D8-133697.pdf/2d81f5bb-4869-191f-dc98-f8ff7bb0cc69/PILP-opas-2018-3A3AA968_B9E7_48FC_ACEB_7C4E7F0917D8-133697.pdf?t=1603260246178

LIITTEET

Liite 1. Tutkimuskyselyn vastaukset

Kuinka monta lämpöpumpputyöjärjestelmää teillä on arviolta?	Kuinka suuressa osassa järjestelmistä esiintyy ongelmia? (käyttöönnotosta eteenpäin?)	Mistä ongelmat johtuvat?
10	20 %	Äänihaitoista, mitoitusvirheistä ja järjestelmän viimeistelyistä
4	80 %	Vääränlaiset asetusarvot, riittämätön toiminnanvarmistus, ennenaikaiset kompressoreiden hajoamiset (yhdessä isommassa kohteessa useita ja
100	40 %	Lämpöpumput vaativat erikoissuunnittelun, urakoinnin lämpöpumpputoimituksiin erikoistuneen urakoitsijan toimesta (ei LVI-urakoitsija) ja tekoaälypohjaisen analysointijärjestelmän käytön aikana toimiakseen odotetusti. Laitteissa on varsin paljon vikaantuvaa tekniikkaa ja kompressorien elinkaari on valitettavan lyhyt. Toteutusta ja suunnittelua LVI-suunnittelun / LVI-urakoiden kautta en suosittele kenellekään, kiinteistön omistajalla pitää olla kyky käyttää
8	80 %	erikoisasiantuntijoiden kautta järjestelmiä. Ilman näitä toimenpiteitä lämpöpumppu ei toimi viikkoa pitempää
30	80 %	(varaajat ja sähkökattilat). Suunnitelmia ei ole kaikilta osin varmistettu toimimaan yhteisesti optimoidulla tavalla, niin että energiankulutus olisi mahdollisimman pientä pois lukien uusiutuvan energian tuotto. Ristiriitaa saattaa syntyä myös rakennusautomaatiojärjestelmän ja maalämpöpumpun ohjauksista joissakin käyttötilanteissa. Saattaa olla päällekkäistä mittausturtointia. Toiminnan varmistus tulisi tapahtua suunnitellusti lämmityskaudella. Priimaus käyttöveden tai lämmitysverkon suuntaan ei aina toimi parhaalla, optimaalisimmalla tavalla. Erilaiset hystereesit tai viiveparametroinnit saattavat olla riittämättömiä toiminnan kannalta (liian pitkiä, liian nopeita tai liian hitaita). On myös varmistettava kaikkien hälytys- ja tilatietojen lukeminen MLP-Varaaja-kattila kombinaatiosta RAU-valvontajärjestelmään oikeanlaisen
10	40 %	Puuttuu kokonaisuudesta vastuu, Testaukset ja mittaukset jää tekemättä, uutta suunnitteloijoille
		Suunnitelmien yhteensovitus, lämpöpumpun integrointi automaatioon, liikaa copy/paste suunnittelussa, suunnitellaan liian monimutkaisia, puutteellinen osaaminen energiakeskuksista, puutteellinen opetus ja lämpöpumppua hankkiessa ei hoideta huoltopalvelua

Liite 2. Ramboll Finland Oy:n rakennusautomaatioyksikön asiantuntijan haastattelussa käytetyt kysymykset

1. Miten kuvailisit lämpöpumppujärjestelmän toimintaperiaatetta ja sen keskeisiä komponentteja?
2. Millaisia yleisimpiä haasteita olet kohdannut lämpöpumppujärjestelmien toiminnassa?
3. Voisitko kertoa, mitkä tekijät ovat kriittisiä lämpöpumppujärjestelmän toimintavarmuuden kannalta?
4. Onko olemassa erityisiä innovaatioita tai teknologioita, jotka ovat merkittävästi parantaneet lämpöpumppujärjestelmien toimintavarmuutta viime vuosina?
5. Mitä parhaita käytäntöjä suosittelisitte lämpöpumppujärjestelmän käyttöiän pidentämiseksi?
6. Miten lämpötilan vaihtelut ja äärimmäiset sääolosuhteet vaikuttavat lämpöpumppujärjestelmän toimintaan ja mitä voidaan tehdä näiden haasteiden minimointiin?
7. Mitä kehitysehdotuksia voisitte antaa lämpöpumppujärjestelmän toimintavarmuuden edelleen parantamiseksi?