

Joni Dozzo

Vesi-ilmalämmitys puulämmityksen rinnalla omakotitalossa

Opinnäytetyö

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

2024



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Joni Dozzo
Työn nimi	Vesi-ilmalämmitys puulämmityksen rinnalla omakotitalossa
Toimeksiantaja	Kiinteistön omistaja
Vuosi	2024
Sivut	49 sivua, liitteitä 0 sivua
Työn ohjaaja(t)	Kalle Pesonen

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella vesi-ilmalämpöpumpun asentamista vesikiertoisen puukattilatoimisen keskuslämmityksen rinnalle hybridilämmitysjärjestelmäksi Etelä-Savossa sijaitsevassa pientalossa. Kiinteistön nykyinen lämmitysjärjestelmä alkaa olla teknisen käyttöikänsä loppusuoralla, ja lisäksi tarve olisi saada nykyinen lämmitysjärjestelmä helppokäyttöisemmäksi ja nykyaikaisemmaksi. Työssä tarkasteltiin lämmitysjärjestelmään tehtävän investoinnin kannattavuutta sekä takaisinmaksuaikaa ja vertailtiin kummankin lämmitysmuodon kannattavuutta erilaisissa käyttöolosuhteissa.

Opinnäytetyössä tutustuttiin kiinteistön nykyiseen lämmitysjärjestelmään sekä kiinteistön rakenteeseen siltä osin, kun se vaikuttaa energiankulutukseen. Lisäksi selvitettiin kohteen tarvitsema lämmitysenergian määrä, jonka perusteella pystyttiin valitsemaan sopiva vesi-ilmalämpöpumppu suunnitelman eteenpäin viemiseksi. Suunnitelman edetessä jätettiin lämpimän käyttöveden lämmitys pois hybridilämmityksellä hoidettavasta lämmityksen osuudesta heikon kannattavuuden takia.

Opinnäytetyön aihe on hyvin ajankohtainen, sillä tulevaisuudessa erilaiset yhdistelmälämmitysjärjestelmät ja energiatehokkuutta parantavat saneeraukset tulevat lisääntymään. Toisaalta energian kallistuminen ja toisaalta päästöjen pienentämistavoitteet ohjaavat kiinteistöjen lämmitysratkaisuja kohti nykyaikaisia hyvällä hyötysuhteella ja puhtaammilla energioilla tuotettuja vaihtoehtoja. Yhteenvetona työstä voidaan todeta, että paitsi taloudellisesti, myös ympäristön ja käytön helppouden näkökulmasta hybridijärjestelmän toteutus työn kohteena olevassa kiinteistössä on kannattava ratkaisu.

Asiasanat: vaihtoehtoenergia, kustannustehokkuus, opinnäytetyö, lämmitysjärjestelmä

Degree title	Bachelor of engineering
Author (authors)	Joni Dozzo
Thesis title	Air to water heating alongside wood heating in a detached house
Commissioned by	Property owner
Time	2024
Pages	49 pages, 0 pages of appendices
Supervisor	Kalle Pesonen

ABSTRACT

The aim of this thesis was to examine the installation of a air to water heat pump as a hybrid heating system in a detached house in South Savo, Finland, alongside a water-cycle wood-fired boiler. The existing heating system of the property is reaching the end of its technical lifetime and there is also a need to make the existing heating system more user-friendly and modern. The study examined the return on investment in the heating system, the payback period and compared the profitability of both heating systems under different operating conditions.

The thesis examined the current heating system of the property, as well as the structure of the property as it affects energy consumption. In addition, the amount of heating energy required by the property was determined, based on which it was possible to select a suitable water-to-air heat pump to take the plan forward. As the plan progressed, domestic hot water heating was excluded from the hybrid heating component due to its poor profitability.

The topic of the thesis is very topical, because in the future, different types of combined district heating systems and renovations to improve energy efficiency will increase. On the one hand, the rising cost of energy and, on the other hand, emission reduction targets are driving heating solutions for buildings towards modern, high-efficiency and cleaner energy alternatives. In summary, the study shows that the implementation of a hybrid system in the building in question is a viable solution not only from an economic point of view, but also from the point of view of the environment and ease of use.

Keywords: alternative energy, cost-effectiveness, thesis, heating system

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	MENETELMIEN KUVAUS JA KÄYTETYT METODIT	7
3	LÄMMITYSJÄRJESTELMIEN TEORIAA	8
3.1	Vesikiertoinen puukeskuslämmitys	11
3.2	Vesi-ilmalämpöpumpun toimintaperiaate	13
3.3	Erilaiset lämpöpumppujen rakenteet	13
3.3.1	Split	14
3.3.2	Monoblock	14
3.4	Ilmalämpöpumppujen lämpökerroin	15
3.5	Hybridilämmitysjärjestelmä	19
4	KOhteena olevan kiinteistön tiedot	19
4.1	Kiinteistön rakenne	19
4.2	Kiinteistön sähköjärjestelmä	21
5	LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN PÄIVITTÄMINEN	22
5.1	Vesi-ilmalämpöpumpun mitoitus kohteeseen	22
5.2	Kiinteistön lämmitystehon laskenta	22
5.3	Energiantarpeen laskenta	23
5.4	Lämpimän käyttöveden kulutus	25
5.5	Rakennuksen tilojen lämmitykseen vaadittava energia	27
6	VESI-ILMALÄMPÖPUMPUN VALINTA	30
7	ASENNUSPROSESSI JA SIIHEN LIITTYVÄT TOIMENPITEET	34
7.1	Sähkötoissa pätevyysvaatimukset	35
7.2	Kylmäaineen asennuksessa vaadittavat pätevyysvaatimukset	35
7.3	Kunnan rakennusmääräykset	35
7.4	Sähköjärjestelmän muutokset ja vaatimukset	36
8	KANNATTAVUUSLASKELMA	38
8.1	Investointikustannusten arviointi	38

8.2	Lämmityskulujen vertailu	39
8.3	Hankkeen takaisinmaksuaika	41
9	JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO.....	43
9.1	Hankkeen onnistumisen arviointi	43
9.2	Jatkotutkimusaiheet ja kehitysideat	44
	LÄHTEET.....	46

1 JOHDANTO

Suomessa käytetystä energiasta rakennukset käyttävät lähes 40 % ja energiankulutuksen päästöistä rakennukset aiheuttavat yli 30 % (Tilastokeskus 2024). Energiatehokkuuden parantaminen asuinrakennuksissa on kustannustehokkain keino hillitä ilmastonmuutosta. Lisäksi sillä on mahdollisuus pitkällä aikavälillä saada säästöjä asumiskuluihin, lisätä asumismukavuutta ja auttaa kiinteistöä säilyttämään arvoaan. Suurin osa rakennusten aiheuttamista ympäristöpäästöistä syntyy rakennusten käytönaikaisesta energiankulutuksesta, johon kuuluvat rakennuksen lämmitys, jäähdytys sekä sähkön käyttökulutus. Suurin energiankulutuksen säästöpotentiaali tässä kokonaisuudessa on olemassa olevan rakennuskannan energiatehokkuuden parantamisella. (Rakennusten energiatehokkuus s.a) Tämä tulee olemaan tulevaisuudessa suuressa roolissa rakennuksia saneerattaessa, ja myös EU-tasolta tuleva lainsäädäntö ohjaa tähän suuntaan, kun rakennuksilta tulevaisuudessa vaaditaan energiatodistukset ja tiettyjen energiatehokkuusluokkien täyttäminen (Motiva 2024b).

Ympäristönäkökulmien ja kustannusten lisäksi yhtenä motiivina hankkeeseen on myös käytännöllinen puoli. Puulämmitys vaatii lämmityskaudella aikaa ja vaivaa. Pelkällä puulla lämmittäessä kohdekiinteistön puunkulutus lämmityskaudelle on ollut noin 25 pinokuutiometriä vuodessa. Tämä vaatii puiden ostamista, pilkkomista, niiden varastointia ja siirtoa lämmityshuoneeseen sekä usean tunnin lämmitystä puiden lisäämiseen. Vuodessa tästä kokonaisuudesta kertyy satoja työtunteja, joille voi olla vaikea määritellä rahallista arvoa, mutta jolla on kuitenkin painoarvoa projektin toteutuksen puoltamiseksi.

Tavoitteena on suunnitella ilmalämpöpumpun lisäys omakotitalon nykyisen vesikiertoisen puukeskuslämmityksen rinnalle. Tarkoituksena on kiinteistön energiantarpeen perusteella mitoittaa tarvittava pumpun koko ja selvittää, mitä muutoksia kiinteistön sähköjärjestelmään vaaditaan pumpun asentamiseksi. Lisäksi on tarkoitus selvittää, mitä muita huomioon otettavia asioita pumpun asennuksessa on.

Tarkoitus on myös arvioida, missä tilanteissa pumpun käyttö on taloudellisesti kannattavaa, kun huomioidaan polttopuun hinta myyntipuun arvolla. Valittu lähestymistapa perustuu siihen, että vaikka puun saisi omasta metsästä, sen arvon voidaan ajatella olevan vähintään se, mitä vastaavasta polttopuusta saisi puut myymällä ja lämmittämällä itse muilla keinoin. Muita huomioitavia seikkoja ovat pumpun hyötykerroin COP eri lämpötiloissa ja sähkön hinta. Lopputuloksen tavoitteena olisi laskennan perusteella selvittää, missä tilanteissa kannattavampaa on käyttää vesi-ilmalämpöpumppua ja missä tilanteissa taas on kannattaa lämmittää puulla.

Kyseessä on suuri taloudellinen investointi, joten toteutuksen takaisinmaksuaika on myös olennainen osa projektin kokonaisuutta. Tällä saadaan hyvä käsitys siitä, onko toteutukselle olemassa taloudelliset perusteet vai onko syytä miettiä vielä jotain muita vaihtoehtoja. Tässä työssä rajattiin ulkopuolelle tavalliset ilmalämpöpumput tai maalämpö lämmitysvaihtoehtona hybridijärjestelmään, koska kokonaisuudesta olisi tullut liian laaja. Vesi-ilmalämpöpumppuvaihtoehto valittiin suunnitelman kohteeksi, koska olemassa olevan puulämmityksen hoitaessa lämmityksen huipputehoa vaativilla kylmimmillä lämpötiloilla ennako-oletus on, että kokonaisuudesta saadaan kustannustehokas ja toteutuskelpoinen kokonaisuus. Olemassa oleva vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä puolsi valintaa myös verrattuna tavallisiin ilmalämpöpumppuihin ja maalämpöön verrattuna taas edullisempi hankintahinta.

2 MENETELMIEN KUVAUS JA KÄYTETYT METODIT

Työssä on tarkoitus hyödyntää olemassa olevaa tietoa lämmitysjärjestelmistä ja koota se työn teoriapohjaksi. Työn tulosten kannalta oleellisin osa on laskenta, kun selvitetään puulämmityksen ja vesi-ilmalämmityksen energiatehokkuutta ja lämmityskustannuksia. Laskennan kannalta oleellista on selvittää luotettavasta lähteestä polttopuun hinta, sähkön hinta, puukattilan sekä lämpöpumpun lämpökerroin.

Käytännön kokeilulla hankittua tietoa voidaan hyödyntää työn tukena, koska kiinteistön lämmityksestä aikaisemmilta vuosilta on olemassa olevaa tietoa, kuten minkälaisia kiertoveden lämpötiloja milläkin ulkolämpötilalla on vaadittu, jotta on pysytty tavoitellussa sisälämpötilassa. Kyseessä on olemassa olevan

kiinteistön saneeraus, joten myös kiinteistön energiankulutuksesta on olemassa käytössä olevaa dataa, joka auttaa lämpöpumpun valinnassa ja mitoituksessa. Lopputuloksia vertailemalla saadaan haluttu käsitys eri lämmitysjärjestelmien toiminnasta eri olosuhteissa ja päästään haluttuun käsitykseen, missä tilanteessa kumpaakin lämmitysmuotoa on järkevää käyttää.

Suunnittelu lainsäädännön ja määräysten mukaan mahdollistaa työn toteutuksen, mikäli siihen lopputulosten perusteella on järkevää ryhtyä. Suunnittelu myös tuo ilmi, mikäli sähköjärjestelmässä tai rakenteissa tulisi vastaan tilanne, joka vaatisi niin suuria muutoksia, että toteutuksen kustannukset nousisivatkin merkittäväksi.

3 LÄMMITYSJÄRJESTELMIEN TEORIAA

Lämmitysjärjestelmän valinta on paitsi kustannuskysymys, vaikuttaa se myös asumismukavuuteen, energiakustannuksiin ja asumisen ympäristöpäästöihin. Tärkeitä ominaisuuksia lämmitysjärjestelmälle ovat toimintavarmuus, tehokkuus ja sopivuus lämmitettävän tilan tarpeisiin. Lämmitysjärjestelmän lämmönlähteiksi on lukuisia vaihtoehtoja, joiden pääpiirteet on esitelty alla olevassa tekstissä.

Kaukolämpö on lämmönlähteenä helppokäyttöinen ja huoleton lämmitysjärjestelmä, jonka käyttökustannukset voivat kuitenkin olla melko suuret, ja lämmitettävän kohteen sijainti voi myös aiheuttaa rajoituksia siihen, onko kaukolämpöä ylipäänsä saatavilla (Motiva 2024d).

Sähkölämmityksen etuina ovat edulliset asennuskustannukset sekä asennuksen helppous, koska vesikiertoista lämmönjakelujärjestelmää ei tarvita. Huonoimpana puolena sähkölämmityksessä ovat korkeat käyttökustannukset, sillä sähkön hinta on monesti suurimmillaan kylmimmillä lämpötiloilla, kun energiankulutus on suurinta. (Motiva 2024c.)

Öljylämmitys on tehokas lämmitysmuoto, joka sopii vanhoihin taloihin, jotka kuluttavat paljon energiaa. Öljyn hinta on kuitenkin viime vuosina noussut, joten öljylämmitys on melko kallis lämmitysmuoto ja lisäksi öljy ei ole ympäris-

töystävällinen suurien hiilidioksidipäästöjen takia. Öljylämmityksen päivittäiseen nykyaikaisempiin ympäristöystävällisempiin lämmitysjärjestelmiin onkin saatavilla erilaisia taloudellisia tukia ja kannustimia. (Motiva 2022b.)

Puulämmitys on edullinen ja ekologinen vaihtoehto lämmönlähteeksi, mutta se on melko työläs vaihtoehto ja vaatii lisäksi paljon säilytystilaa, jotta yhden tai useamman lämmityskauden puut pystytään säilyttämään jossain. Puulämmityksen kustannuksiin vaikuttaa myös jonkin, verran pystyykö puut hankkimaan itse omasta metsästä vai onko täysin ostopuun varassa. (Motiva 2024e.)

Pellettilämmityksessä on hyvin samankaltaiset ominaisuudet kuin puulämmityksessä, mutta pelletti on hieman kalliimpi lämmönlähde ja toisaalta tarvitsee hieman vähemmän säilytystilaa. Pellettilämmitys on myös vähemmän työläs vaihtoehto, sillä pellettiä voidaan annostella automatisoidusti lämmityskattilaan, jolloin puulämmityksessä tapahtuva puupolttoaineen lisäys vaihe jää lämmityksestä pois. (Motiva 2024e.)

Maalämpö on hyvin suosittu lämmönlähde uudisrakentamisessa, ja se onkin hyvin energiatehokas ja ekologinen vaihtoehto. Maalämmön suurin haittapuoli on suuri hankintakustannus ja maalämmön valintaa lämmönlähteeksi saattaa alueellisesti rajoittaa myös lämmitettävän kohteen sijainti. Esimerkiksi joillekin pohjavesialueille ei maalämpökaivoja saa porata, joten ainut vaihtoehto olisi upottaa satojen metrien putkisto maahan, ja se ei taas pienikokoisilla kiinteistöillä ole välttämättä mahdollista. (Motiva 2023c.)

Vesi-ilmalämpöpumppu on lämmönlähteenä jossain maalämmön ja ilmalämpöpumpun välimaastossa hankintahinnaltaan, ja sen asennus onnistuu lämmityskohteen sijainnista riippumatta. Vesi-ilmalämpöpumpulla pystytään lämmitämään myös käyttövesi ja lämmitysjärjestelmä on yhdistettävissä hyvin toisen vesikiertoista lämmitysjärjestelmää käyttävän lämmönlähteen kanssa. Kyseessä on hyvällä hyötysuhteella lämpöä tuottava ympäristöystävällinen lämmitysjärjestelmä, joka kuitenkin tarvitsee rinnalleen toisen lämmönlähteen varmistamaan lämmön riittävyys myös kovimmilla pakkasilla. Mikäli tarkoitus ei ole käyttää lämmityksen tukena tulisijaa tai muuta erillistä lämmönlähdettä, voidaan lämmityksen huipputeho turvata lisäämällä järjestelmään suorat sähkövastukset. (Motiva 2023b.)

Ilmalämpöpumppu on hankinta hinnaltaan edullinen, energiatehokas ja ympäristöystävällinen lämmitysvalinta. Ilmalämpöpumppu ei usein sovellu kuitenkaan kiinteistön ainoaksi lämmönlähteeksi, vaan vaatii kylmimmille keleille rinnalleen varalämmitysjärjestelmän. Ilmalämpöpumpulla ei myöskään pystytä toteuttamaan käyttöveden lämmitystä, vaan siihen on oltava erillinen käyttöveden lämmittämiseen tarkoitettu lämminvesivaraaja. (Motiva 2023a.)

Aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää rakennuksen lämmityksessä joko aurinkopaneelien tuottaman sähkön avulla tai aurinkokeräimistä saatavan lämpöenergian siirtämisellä suoraan vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmän käytettäväksi. Aurinkoenergian investointikustannukset ovat melko suuret, mutta hintojen kehitys on ollut laskusuunnassa, joten kannattavuus paranee koko ajan. Aurinkoenergia on erittäin ympäristöystävällinen vaihtoehto, mutta se ei sovellu kiinteistön ainoaksi lämmitysjärjestelmäksi. (Motiva 2024a.)

Lisäksi tarvitaan lämmönjakolaitteisto, jolla lämpö saadaan siirrettyä tasaisesti ympäri lämmitettävää tilaa. Tyypillisiä lämmönjako laitteistoja ovat vesikiertoinen patterilämmitys, vesikiertoinen tai sähköllä toteutettu lattialämmitys, sekä ilmalämmitys. (Motiva 2022a.)

Lämmitysjärjestelmään voi kuulua myös varaaja, joka varastoi lämpöä kulu-tushuippuja tai esimerkiksi lämpimän käyttöveden tarvetta varten. Varaaja toimii eräänlaisena lämmitysjärjestelmän akkuna, josta lämpöenergiaa voidaan varaajan koon mukaan vapauttaa yli lämmitysjärjestelmän huipputehon verrattain pitkiäkin aikoja. (Motiva 2022a.)

Eri lämmitysjärjestelmillä on omat hyvät ja huonot puolensa, ja niiden painottaminen omien tarpeidensa näkökulmasta vaikuttaakin oleellisesti lämmitysjärjestelmän valintaan. Saneerauskohteessa myös olemassa oleva lämmitysjärjestelmä ja muut rakennustekniset ratkaisut vaikuttavat siihen, miten kallista esimerkiksi lämmitysmuodon muuttaminen toiseen on. (Motiva 2022a.)

3.1 Vesikiertoinen puukeskuslämmitys

Olemassa olevan puulämmityksen toimintaperiaate perustuu lämmitysjärjestelmään, joka on osin toteutettu vesikiertoisilla lämpöpattereilla ja osin vesikiertoisella lattialämmityksellä. Energian tuottaminen tapahtuu kuvassa 1 esitetyllä Högfors H04 -alalautoimisella puukattilalla, joka on valmistettu vuonna 1981 ja jonka tyyppikilvessä ilmoitettu huipputeho on 0,04 MW. Puukattilassa lämmitetään puita polttamalla vettä, jota kiertovesipumppu siirtää 2000 litran Akvatermin varaajaan. Lämmitys tapahtuu siten, että kattilassa oleva termostaatti ohjaa kiertovesipumppua ja kattilassa olevan veden lämmentyä tavoitelämpötilaan, esimerkiksi 70 °C, käynnistää termostaatti kiertovesipumpun ja alkaa siirtää lämmennyt vettä lämminvesivaraajan yläosaan. Kattilassa oleva latauspumppu taas ottaa lämminvesivaraajan alaosasta viileää vettä kattilaan lämmitettäväksi. Tätä lämmityskiertoa voidaan toistaa niin kauan, että lämminvesivaraaja on lämmennyt kauttaaltaan tavoitelämpötilaan n. 80 °C. Riippuen ulkolämpötilasta varaajaa ei välttämättä ole tarpeen lämmittää aivan kokonaan kuumaksi, vaan leudommalla säällä voi myös osittainen lämmitys riittää.



Kuva 1. Högfors H04 -puulämmityskattila

Varaaja toimii nimensä mukaisesti lämmitysenergian varastona, josta lämmitetty vesi kiertää pattereissa ja lattialämmityksessä pitäen huonelämpötilan tavoitteen mukaisena. Kiertoveden lämpötilaa säättää Oumanin EH-800B-automatiikka, joka säättää veden lämpötilaa varaajan kuuman veden virtausta rajoittavan levyn avulla. Sääto toimii siten, että automatiikalle tulee ulkolämpötila-anturin kautta tieto ulkolämpötilasta ja sen muutoksista ja lisäksi laitteessa on lämpötilakäyrien säätö + ja - suuntaan tavoitelämpötilasta, jolla saadaan lisättyä tai vähennettyä tavoiteltua sisälämpötilaa. Laitteessa on myös mahdollisuus säättää virtausnopeutta kiertovesipumpun nopeutta muuttamalla, jotta ulkolämpötilan muuttuessa sisälämpötila pysyisi mahdollisimman vakiona. Toisaalta liian suurella virtausnopeudella kiertävä vesi ei välttämättä ehdi luovuttaa kaikkea siinä olevaa lämpöä asunnon lämmittämiseen. Laitteeseen on saatavilla myös automaattista säätöä tarkentava sisälämpötila anturi, mutta sitä ei kyseisessä kohteessa ole käytössä. (EH-800/EH-800B Lämmönsäädin käyttöohje 2016.)

Vesikiertoisessa lämmityksessä on lattialämmityksille ja ylä- ja alakerran patterilämmityksille omat piirinsä, mutta niissä kiertää samanlämpöinen vesi, koska molemmat ovat saman automatiikan takana. Vesikiertoa pyörittää Grundfors UPS 25-60 -kiertovesipumppu, ja huonekohtainen säätö on toteutettu erillisillä lämpötila antureilla ja termostaateilla. Näin saadaan tasainen sisälämpötila, koska lattialämmitys tuottaa matalammalla kiertoveden lämmöllä saman lämmitystehon kuin vesikiertoinen patterilämmitys.

Kyseisessä kohteessa myös käyttöveden lämmitys on toteutettu lisäämällä käyttöveden lämmityskierukka lämminvesivaraajan sisään. Lämmitys tapahtuu siten, että kupariputkea on riittävän pitkä putkisto lämminvesivaraajan yläosan sisällä ja siellä käyttövesi lämpiää ympärillä olevan varaajan vesimassan vaikutuksesta. Varaajan tyypikilven mukaan kierukan lämmitysteho on 90 kW ja tilavuus 2,3 dm³. Käyttöveden lämmitys on sijoitettu varaajan yläosaan siitä syystä, että varaajan lämpö kerrostuu ja yläosassa on aina lämpimintä. Toisinaan vasta, kun varaajan kaikki lämpöenergia on käytetty, loppuu lämmin käyttövesi. Tämäkin on huomioitu siten, että lämminvesivaraajassa on kaksi kappaletta 6 kW vastuksia ja varaajan yläosassa säädettävä termostaatti, jolla säädetään, missä lämpötilassa vastukset lähtevät päälle. Sähkövastuksilla on

kaksi tärkeää tehtävää, toinen on pitää käyttövesi riittävän lämpimänä eli vähintään 55–60 °C, jotta siihen ei pääse muodostumaan legionella bakteeria (Vuento 2023) ja toinen on estää rakennuksen jäähtyminen ja mahdolliset pakkasen aiheuttamat putkivauriot ja muut rikot, mikäli puulla lämmitystä ei jostain syystä pystyittäisikään kylmillä talvipakkasilla suorittamaan.

3.2 Vesi-ilmalämpöpumpun toimintaperiaate

Vesi-ilmalämpöpumpun toimintaperiaate perustuu nimensä mukaisesti siihen, että se ottaa lämmitysenergian ulkoilmasta ja siirtää sen veteen, jolloin se on hyödynnettävissä vesikiertoisissa lämmitysjärjestelmissä. Vesi-ilmalämpöpumpussa oleva ulkoyksikkö ohjaa puhaltimen avulla ilmaa yksikössä olevan höyrystimen läpi. Höyrystimessä ulkoilmassa oleva lämpö absorboituu laitteen kylmäaineeseen.

Höyrystimessä olevassa kylmäaineessa tapahtuu olomuodon muutos nesteestä kaasuksi. Lämpöpumpun kompressori puristaa kaasua saaden sen lämpötilan ja paineen nousemaan. Kylmäaineen lämpötila kohoaa jopa +120 °C lämpötilaan, jonka jälkeen kaasu kulkeutuu kylmäaineputkistoa pitkin lämpöpumpun sisäyksikölle, jossa tapahtuu lämmitysenergian luovutus vesikiertoisen lämmitysjärjestelmän käyttöön. Sisäyksikössä on lämmönvaihdin, jossa lämpö siirtyy kylmäaineesta veteen. Lämmönvaihdin toimii siten, että lämmitetty kylmäainekaasu virtaa lämmönvaihtimen läpi ja lämmönvaihtimen sisällä putkistossa kulkee lämmitysjärjestelmän lämmitettävä vesi. Kylmäaine luovuttaa lämpöenergiansa veteen, jota voidaan kierrättää rakennuksen lämmitysjärjestelmässä esimerkiksi lattialämmityksessä tai pattereissa lämmittämässä rakennusta. Tämän jälkeen jäähdytetty kylmäaine virtaa paisuntaventtiilin läpi, missä sen paine ja lämpötila laskevat. Tämän jälkeen kylmäaine palaa kylmäaineputkistoa pitkin höyrystimelle ja lämmityssykli alkaa alusta. (Allen s.a.)

3.3 Erilaiset lämpöpumppujen rakenteet

Lämpöpumppujen rakenne jakautuu kahteen päätyyppiin, joiden rakenne ja ominaisuudet poikkeavat hieman toisistaan. Pumppujen rakenteen peruseräkkeet ovat tärkeitä tietää ja ymmärtää rakenteiden rajoitukset ja toisaalta hyvät puolet, jotta pystytään valitsemaan käyttötarkoitukseen mahdollisimman

sopiva laite. Laitteiden sijoituspaikka ja koko vaikuttavat myös kumpaa mallia kannattaa kyseisessä kohteessa käyttää.

3.3.1 Split

Split-rakenteen vesi-ilmalämpöpumpun nimi tulee jaetusta rakenteesta, jossa on erillinen ulko- ja sisäyksikkö. Ulkoyksikössä on kompressori ja lämmönvaihdin, ja kylmäaineputkistoa pitkin lämpöenergia siirtyy sisäyksikölle, jossa on vesivaraaja ja lämmönjakelujärjestelmä. Tyypillinen asennuspaikka sisäyksikölle on esimerkiksi kellari tai erillinen tekninen tila. Sisäyksikön vaatima tila voi joissakin saneerauskohteissa rajata vaihtoehdon monoblock-periaatteella toimiviin pumppuihin. Split-rakenteen pumpput tarvitsevat myös erillisen vesivaraajan, joka myös vie tilaa ja lisäksi pumpput ovat monesti kalliimpia hankintahinnaltaan verrattuna monoblock-pumppuihin. Pumpun asennuksessa vedettävien kylmäaineputkien asennus vaatii myös kylmäaineluvallisen asennusliikkeen, jota ei yhden yksikön ratkaisuissa yleensä tarvita. Split-vesi-ilmalämpöpumpua voidaan joissakin malleissa käyttää myös viilennykseen joko erillisten viilennykseen tarkoitettujen sisäyksiköiden tai lattiaviilennyksen avulla. (Lämpöpartio s.a.)

3.3.2 Monoblock

Monoblock-vesi-ilmalämpöpumpuissa kaikki tekniikka on samassa yksikössä, joka sijoitetaan rakennuksen ulkoseinälle. Ulkoyksikössä on kompressori, lämmönvaihdin sekä vesivaraaja. Rakenteen hyvinä puolina on edullisempi hankintahinta sekä suljettu kylmäainejärjestelmä, joka mahdollistaa pumpun asennuksen ilman kylmäainelupia. Pumpuissa on myös yleensä parempi lämpökerroin verrattuna split-rakenteella oleviin pumppuihin. Monoblock-pumpuissa lämmitysjärjestelmän vesi kiertää suoraan pumpun kautta, ja koska pumppu on ulkona, on olemassa riski, että mikäli pumppu esimerkiksi vikaantumisen takia sammuu pidemmäksi aikaa, pääsee vesi jäätymään. Tässä mielessä split-mallin pumppu on hieman turvallisempi rakenne, koska ulkoyksikössä ei kierrä kuin kylmäainetta. (Lämpöpartio s.a.)

3.4 Ilmalämpöpumppujen lämpökerroin

Lämpöpumppujen lämpökerroin on yksi monesta huomioitavasta tekijästä pumpun valinnassa kohteeseen, mutta ehdottomasti yksi tärkeimmistä, jotta pumpppu pystyy täyttämään sille suunnitellun osan rakennuksen lämmittämisestä. Rakennuksen lämmitysjärjestelmä on aina mitoitettava riittämään rakennuksen huipputehontarpeelle, jotta lämmitysteho riittää kovimmillakin pakkasilla. Vesi-ilmalämpöpumppujen lämpökerroin heikkenee juuri kovimmilla pakkasilla merkittävästi, joten ne tarvitsevat usein rinnalleen vaihtoehdoisen lämmitysmuodon. (Lämpöpartio s.a.)

Lämpökerroin ja sen määrittäminen ovat lämpöpumpun toimintaperiaatteesta tai tyypistä riippumatta samanlaisia, oli kyseessä sitten maalämpöpumppu tai ilmavesilämpöpumppu. Lämpökertoimista esimerkiksi COP lasketaan suoraan pumpun antotehon ja ottotehon suhteena antoteho kW jaettuna ottoteho kW. Pumpun ottoteho on lämpöpumpun sähköverkosta ottama teho ja antoteho taas ratkaistaan kaavalla 1.

$$P_{anto} = m \cdot c \cdot \Delta t \quad (1)$$

jossa	P_{anto}	Lämpöpumpun antoteho	[kWh]
	m	Virtaama	[L/s]
	c	Veden ominaislämpökapasiteetti 4,18	[kJ/kg°C]
	Δt	Meno ja paluueden lämpötilaero	[°C]

Havainnollistetaan asiaa kahden esimerkin avulla. Esimerkki 1. Olkoon menoveden lämpötila 33,1°C ja paluueden lämpötila 27,1°C ja virtaama 0,48 L/s. Ratkaistaan antoteho kaavan 1 mukaan.

$$P_{anto} = (33,1^{\circ}\text{C} - 27,1^{\circ}\text{C}) \cdot 0,48\text{L/s} \cdot 4,182\text{kJ/kg}^{\circ}\text{C} = 12\text{ kW}$$

Mikäli pumpun sähköverkosta ottama teho olisi 3kW saataisiin pumpun lämpökertoimeksi:

$$\text{Lämpökerroin} = 12\text{ kW} : 3\text{ kW} = 4$$

Esimerkki 2. Olkoon menoveden lämpötila 47°C ja paluueden lämpötila 30,7°C ja virtaama 0,22 L/s.

Ratkaistaan antoteho kaavan 1 mukaan.

$$P_{\text{anto}} = (47^{\circ}\text{C} - 30,7^{\circ}\text{C}) \cdot 0,22\text{L/s} \cdot 4,182\text{kJ/kg}^{\circ}\text{C} = 15\text{ kW}$$

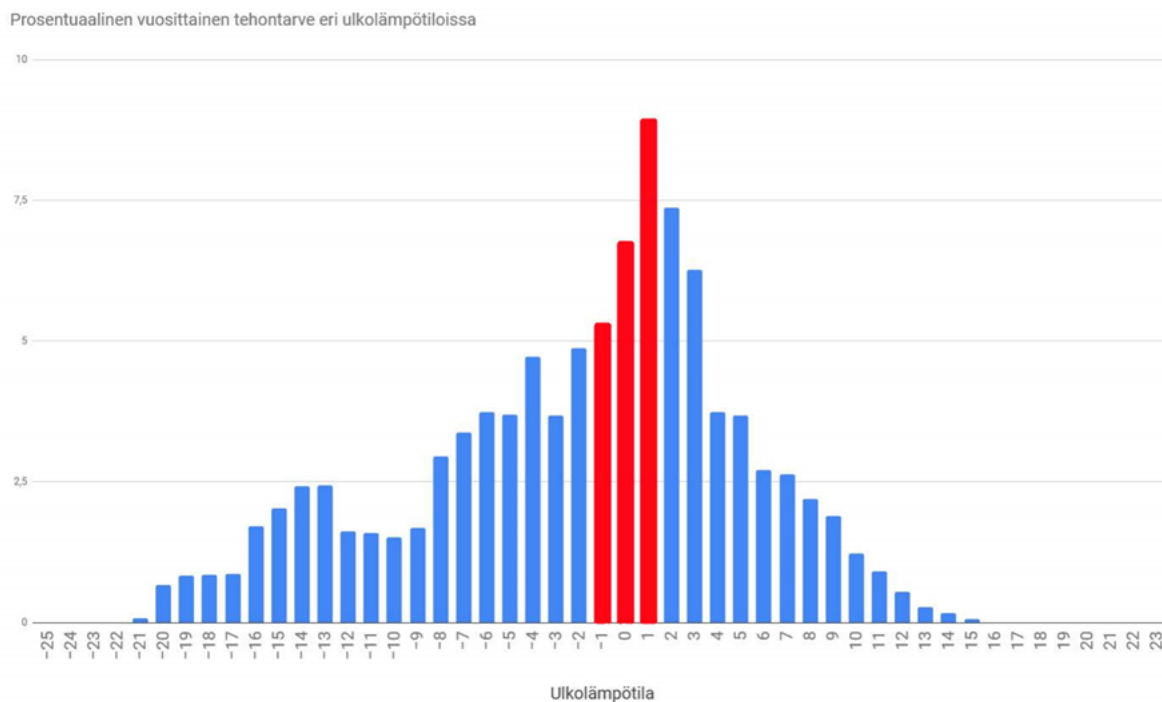
Mikäli pumpun sähköverkosta ottama teho olisi 5kW saataisiin pumpun lämpökertoimeksi:

$$\text{Lämpökerroin} = 15\text{ kW} : 5\text{ kW} = 3$$

Esimerkeistä voidaan havaita, että menoveden ja paluueden lämpötilan muutos vaikuttaa selvästi lämpökertoimeen kuten myös pumpun ottoteho. Pumpun ominaisuuksista ja rakenteesta riippuu, kuinka korkeita menoveden lämpötiloja se pystyy tuottamaan. Pumpun ottaessa lämpöenergiaa ilmasta, mitä kylmempää ulkoilma on, sitä enemmän energiaa lämmitysenergian ottaminen siitä vaatii ja ottoteho kasvaa. Samalla tavalla vaikuttaa myös menoveden lämpötila, mitä ylemmäksi se joudutaan nostamaan, sitä huonompi on lämpökerroin.

Lämpökeroimen muodostumiseen vaikuttaa antoteho osalta tuotetun lämmön määrä, ja se voidaan laskea joko tulo ja menoveden erotuksesta, tai ottolämpötilan ja antolämpötilan erotuksesta. Tämä tarkoittaa ulkolämpötilan ja menoveteen tuotetun lämpötilan erotusta ja lisäksi huomioidaan tuotettu määrä, joka tulee erimerkin tapauksessa virtauksesta ja veden ominaislämpökapasiteetista. Kannattaa siis ennen pumpun valintaa tutustua juuri kyseisen pumpun lämpökerroin käyriin eri ulkolämpötiloilla ja eri menoveden tuottolämpötiloilla. Tämä selittää myös sen, miksi lattialämmitys tai useampi riviset vesikiertoiset patterit laajalla lämmityspinta-alalla ovat alhaisen kiertoveden lämpötilansa ansiosta selvästi taloudellisempi lämmönjakojärjestelmä lämmityspumppu käytössä.

Muita pumpun valintaan vaikuttavia kriteereitä hyötysuhteen lisäksi ovat esimerkiksi pumpun hankintahinta, asennuskustannukset sekä asennettavuus olemassa olevaan lämmitysjärjestelmään. Vertaillen eri lämpöpumppujen hyötysuhteita on tärkeää vertailla samalla tavalla ilmoitettuja hyötysuhteita keskenään, sillä muuten tiedot eivät ole vertailukelpoisia keskenään.



Kuva 2. Prosentuaalinen lämmityksen tehontarve eri ulkolämpötiloissa vuoden aikana. (Pieni vesi-ilmalämpöpumppu s.a)

Lämmityskaudella kuluvasta energiasta hieman yllättäen suuri osa kuluu lähellä $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ lämpötiloja, joissa lämpöpumppujen lämpökerroin on nykyisillä pumpuilla vielä erittäin hyvä. Kuvassa 2 on havainnollistettu lämmitysenergian kulutuksen jakautuminen eri lämpötiloille Etelä-Suomessa. Kuvaaja huomioi vuotuisen lämpötilan, josta suurin osa vuodesta on $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ lähellä molemmin puolin, sekä rakennuksen lämmitykseen käytettävän energian tarpeen. Lämpimän käyttöveden kulutusta kuvaaja ei huomioi, mutta sen kulutus on lähes vakio vuoden ympäri.

COP

COP lyhenne tulee sanoista Coefficient of Performance- ja tässä hyötysuhteen ilmoittamistavassa verrataan lämpöpumpun lämmönlähtötehoa laitteen käyttämään sähkötehoon. Se ilmoittaa, kuinka paljon lämmitystehoa pumppu tuottaa jokaista sähköä kuluttamaansa kilowattia kohden. Mitä suurempi COP-arvo on, sitä energiatehokkaampi pumppu on. COP-arvo muuttuu ulkolämpötilan mukaan, ja tavoitteena kylmän ilmaston maissa olisikin mahdollisimman suuri COP-arvo, mahdollisimman kylmään lämpötilaan asti. Tällöin saadaan

tuotettua lämpöä hyvällä hyötysuhteella kylmemmillä lämpötiloilla, jolloin myös rakennusten energiankulutus on suurimmillaan. (Suutari s.a.)

SCOP

SCOP eli Seasonal Coefficient of Performance ilmoitustavan mukainen lämpökerroin perustuu COP-arvon kausiluonteiseen keskiarvoon. Tässä hyötysuhteen laskentatavassa huomioidaan ilmasto, jossa pumppua käytetään, lämmitysjärjestelmän tyyppi ja käyttötapa. Näin ilmoitettuna saadaan tarkempi lämpökerroin, joka vastaa paremmin todellisia käyttöolosuhteita. (Suutari s.a.)

SPF

SPF lämpökerroin eli Seasonal Performance Factor ilmoittaa kausiluontoisen lämpökertoimen. Sitä käytetään kuvaamaan maalämpöpumppujen ja vesi-ilmalämpöpumppujen lämmitysenergian tuoton tehokkuutta tyypillisen lämmityskauden aikana. Myös SPF arvossa hyötysuhteeseen käytetään lämmönlähtötehon ja sen tuottamiseen kuluvan sähkötehon suhdetta huomioiden tyypillisen lämmityskauden olosuhteet. Arvo kuvaa pelkkää COP-arvoa todellisemmin käytännön lämmitysolosuhteissa pumpun lämpökerrointa, joten SCOP-arvon ohella se on käyttökelpoinen mittari pumppujen väliseen vertailuun. Vertailussa on kuitenkin syytä käyttää aina saman ilmoitustavan lämpökerrointa kaikilla pumpuilla (Thermia s.a.)

EER

EER on lyhenne sanoista Energy Efficiency Ratio, ja sen periaate on käytännössä samanlainen kuin COP, mutta se ilmoittaa laitteen jäähdytystehon energiatehokkuutta. EER lasketaan käytetyn sähkötehon kilowatteina ja saadun jäähdytystehon kilowatteina suhteesta. (Energiatehokas koti 2021.)

SEER

SEER taas vastaavasti muodostuu termeistä Seasonal Energy Efficiency Ratio ja on jäähdytystehon vastine SCOP-arvolle. Eli käytännössä EER-arvon kausiluontoinen keskiarvo. (Energiatehokas koti 2021.)

3.5 Hybridilämmitysjärjestelmä

Hybridilämmitysjärjestelmällä tarkoitetaan lämmitysjärjestelmää, jossa on useampi kuin yksi lämmitysjärjestelmä hoitamassa kiinteistön lämmöntarvetta. Kohdekiinteistössä voidaan ajatella olevan jo valmiiksi hybridilämmitysjärjestelmä, kun puulämmitteisen keskuslämmityksen varmistus on hoidettu varaajassa olevilla sähkövastuksilla. Lämmitettävän tilavuuden ollessa 2000 litraa on vastusten sähkönkulutus lämmityskäytössä kuitenkin melko suuri ja samalla sähkönkulutuksella saatava lämmitysenergia suoralla sähkölämmityksillä jää pienemmäksi, kuin esimerkiksi vesi-ilmalämpöpumpuilla. Tästä syystä kohteessa on tarkoitus asentaa puulämmityksen rinnalle vesi-ilmalämpöpumppu, jonka lämpökerrointa kuvaava SCOP-arvo voi pumpulle ihanteellisissa olosuhteissa olla jopa neljä. (Lämmitysenergiayhdistys s.a.)

4 KOHTEENA OLEVAN KIINTEISTÖN TIEDOT

Kohteena oleva kiinteistö on 1994 valmistunut omakotitalo Etelä-Savon alueella. Rakennus on kolmessa kerroksessa, josta kaksi ylintä ovat lämpimiä asuinkerroksia ja alin kerros on puolilämmin tila, jossa sijaitsevat autotalli, sekä lämmönjakohuone ja varasto. Alimmassa kerroksessa ei ole erillistä lämmönlähdettä, vaan ympärillä oleva maa, sekä lämmönjakohuoneesta tuleva hukkalämpö pitävät sen talvellakin sulana.

Kiinteistön kerrosala on 160 m², huoneistoala 110 m² ja tilavuus 360 m³. Kiinteistössä on puukattilalla lämmitettävä vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä, joka lämmittää varaajan avulla myös lämpimän käyttöveden. Laatoitetulla alueella lattiassa kiertää vesikiertoinen lattialämmitys ja muu osa rakennuksesta lämpiää vesikiertoisilla lämpöpattereilla. Lisäksi rakennuksen keskellä on varaava takka ja leivinuuni -yhdistelmä, jonka lisäksi myös sauna on puulämmitteinen.

4.1 Kiinteistön rakenne

Alapohja

- lautaparketti/ laattalattia
- teräshierretty teräsbetonilaatta 80 mm + lattialämmityspotkisto laatoitetulla alueella

- 2 x50mm EPS-100 eristelevy
- tiivistetty täytesora
- kantava perusmaa

Seinät

Ulkoseinä 230 mm

Ulkoseinien pystypaneeliverhoilu on maalipinnan osalta tyydyttävässä kunnossa.

Oletusrakenne:

- ulkoseinäpanelointi 23 mm
- ilmarako 20 mm
- Runkoleijona 25 mm
- 50 x 50 kk 600 + Mineraalivilla 50
- 50 x 100 kk 600 + Mineraalivilla 150
- höyrynsulkumuovi
- sisäverhoilulevy 12

Ovet

Pääsisäänkäynnin ovi on uusittu rakennuksen valmistumisen jälkeen

- Skaala 2-tiivisteinen SPU-eristeinen ovi.
- Parvekkeille johtavat ulko-ovet ovat yhdellä tiivisteellä varustettuja mineraalivillaeristeisiä ulko-ovia.
- Autosuojan isot saranoidut ulko-ovet ovat myös Mineraalivilla-eristeisiä paneeliovia

Ikkunat

MSK-tyyppiset, tehdasmaalatut ikkunat. Sisemmät lasit muodostavat tiiviillä listoituksella lasien välisen eristeilmataskun.

Yläpohja

Yläpohjan laipioverhoilu on toteutettu valkoiseksi maalatulla koristeurapanee-
lilla.

Oletusrakenne, vinolla yläpohjan osalla:

- 50 x 50 kk 600/ tuulikanava
- tuulensuojalevy 12 mm
- 50 x 150 kk 600 + Mineraalivilla 150
- 50 x 100 kk 600 + Mineraalivilla 100
- höyrynsulkumuovi
- rimakoolaus kk 600
- sisäverhoilupaneeli

Rakennuksen toteutuneista energiankulutuksista on viime vuosilta projektin kannalta onneksi hyvin tietoa olemassa. Kaksi edellistä lämmityskautta on rakennusta lämmitetty käytännössä täysin puulämmitteisesti ja puunkulutus on ollut 25 pinokuutiometriä sekapuuta. Tätä edelliset vuodet taas rakennuksen lämmityksestä ovat huolehtineet varaajassa olevat sähkövastukset, ja lämmitysenergian kulutus on ollut noin 20 000 kWh vuodessa.

4.2 Kiinteistön sähköjärjestelmä

Kiinteistön pääsulakkeet ovat 3x25 A ja pääkeskukselta menee tällä hetkellä sähkönsyöttö lämmönjakohuoneen jakokaappiin 5x2.5 mm² kumikaapelilla. Lämmönjakohuoneen jakokaappi on esitetty kuvassa 3. Lähtö on 3x16 A sulakkeiden takana. Suurin kulutus tälle lähdölle on tällä hetkellä lämminvesivaraajan sähköiset lämmitysvastukset sekä autotallin voimavirtapistorasias. Lisäksi pääkeskukselta on erikseen 10 A lähtö lämmönjakohuoneen kiertovesipumpuille.



Kuva 3. Lämmönjakohuoneen jakokaappi

5 LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN PÄIVITTÄMINEN

Lämmitysjärjestelmän päivittäminen lähti liikkeelle selvittämällä minkälainen ja kokoinen pumppu olisi paras mahdollinen kyseiseen rakennukseen asennukseen ja valintaan vaikuttavat seikat huomioiden. Tätä varten lähdettiin selvittämään pumpun mitoitusta ja kiinteistön energiankulutusta ja erityisesti lämmitystehon tarvetta.

5.1 Vesi-ilmalämpöpumpun mitoitus kohteeseen

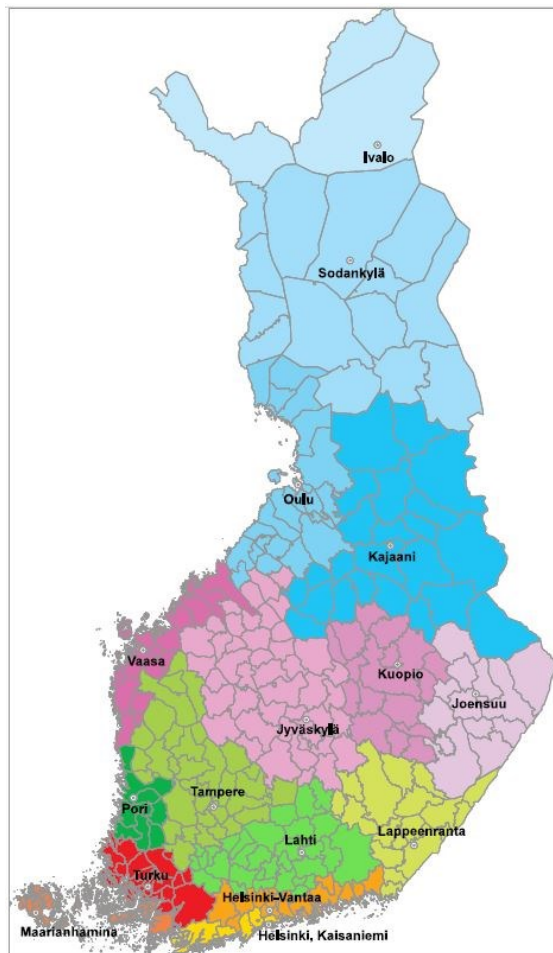
Mitoitettaessa vesi-ilmalämpöpumppua mitoitukseen vaikuttaa useampi tekijä, jotka ovat tärkeitä huomioida, että pumpun kapasiteetti ja ominaisuudet riittävät sille tarkoitettuihin tehtäviin. Ensinnäkin pumpun asennukseen tulee olla riittävät tilat, ja se voi rajoittaa sitä, voidaanko käyttää split- vai monoblock-tyypin pumppua. Kyseisessä kiinteistössä pumpun sijoittamiselle on hyvin tilaa ja split-mallin pumppu on helpompi vaihtoehto hybridimallin-lämmitysjärjestelmään erillisen lämminvesivaraajan takia. (Pieni vesi-ilmalämpöpumppu s.a.)

Muita huomioitavia seikkoja ovat pumpun riittävä lämmitysteho, jotta se riittää pitämään kiinteistön lämpimänä myös kovemmillä pakkasilla. Kohdekiinteistön tapauksessa kiinteistössä on jo kovimmille pakkasille riittävä puukeskuslämmitys, joten huipputehovaatimuksesta voidaan hieman joustaa. (Pieni vesi-ilmalämpöpumppu. s.a.) Lisäksi pumpun valintaan vaikuttavat ainakin pumpun hinta, onko sitä tarkoitus käyttää myös viilennykseen, varaosien saatavuus sekä pumpun lämpökerroin ja hiljaisuus. Tässä tapauksessa viilennysominaisuuksille ei ollut tarvetta, joten pumpun valinnassa keskityttiin mahdollisimman hyvän pumpun löytämistä lämmityskäyttöön.

5.2 Kiinteistön lämmitystehon laskenta

Lämmitystarvelukua käytetään normeeraamaan käytännön toteutuneita lämmitysenergian kulutuksia, ja sitä voidaan käyttää saman rakennuksen eri kausien tai vuosien energian kulutuksen vertailuun tai eri paikkakunnissa sijaitsevien rakennusten ominaisen lämmitysenergiankulutuksen arviointiin. Lämmitystarvelukujen jakautuminen alueittain on havainnollistettu kuvassa 4. Lämmitystarvelukua pystytään hyödyntämään rakennuksen lämmitystarpeen

mitoituksessa, koska rakennuksen lämmitysenergian kulutus on lähes verrannollinen sisä- ja ulkolämpötilojen väliseen erotukseen. (Lämmitystarveluvut 2024.)

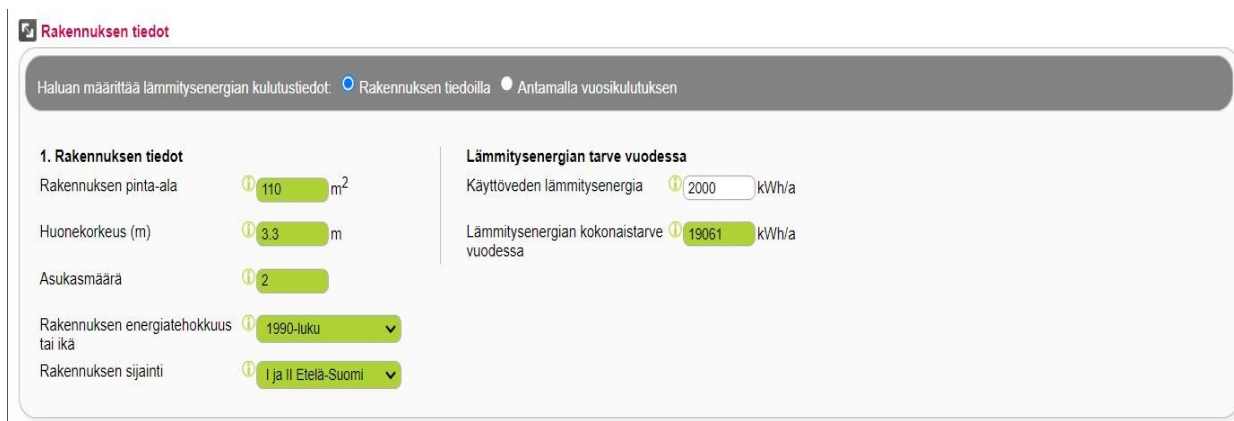


Kuva 4. Lämmitystarvelukujen vertailupaikkakuntien kartta (Lämmitystarveluvut. 2024)

5.3 Energiantarpeen laskenta

Lämmitysenergian vuotuisen tarpeen suuntaa antavaan arviointiin on käytetty Motivan sivuilta löytyvää laskuria, joka käyttää laskennan perusteena lämmitettävän rakennuksen sisätilavuutta eli kertoo sisäpinta-alan huonekorkeudella. Lisäksi laskuri huomioi kiinteistön rakennusvuoden ja käyttää iän mukaista kerrointa huomioimaan eri-ikäisten rakennusten eristystehokkuutta, lämmön talteenottoa ja muita energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä. Kohdekiinteistön eristys ja painovoimainen ilmanvaihto ovat rakennusajalle hyvin tyypillisiä, joten laskurilla päästään riittävään tarkkuuteen pumpun mitoitusta ajatellen. Lisäksi laskuri huomioi rakennuksen sijainnin ja käyttää laskennassa hyväkseen edellä mainittua ilmatieteen laitoksen tuottamaa alueellista lämmi-

tystarvelukua. Käyttöveden lämmityksen laskuri huomioi asukasmäärän mukaisesti ja arvioi siihen kuluvaan 1000 kWh vuodessa asukasta kohti. Laskurin ilmoittama tulos 19061 kWh vuodessa on hyvin samaa luokkaa aiempien vuosien sähkölämmityksellä tulleiden toteutuneiden kulutusten kanssa.



Kuva 5. Lämmitysenergian kulutuslaskuri (Motiva 2023d)

Energian kulutuksen ollessa keskeisessä roolissa lämmitysjärjestelmän mitoituksessa ja laitteen koon valinnassa on energiantarpeen arvioimiseksi tehty myös laskelmat tarkempaan lopputulokseen pääsemiseksi.

Puulla lämmittämiseen kulunut vuotuinen energia määrä voidaan laskea, kun tiedetään, paljonko polttopuuta on kulunut vuoden aikana, mikä on lämmityskattilan hyötysuhde ja mikä on poltetun puumäärän sisältämä energia. Taulukosta 1 nähdään, että puukattilan hyötysuhde energiavaraajalla on 0,73. Kohdekiinteistössä vuotuinen puunkulutus ollut 25 pinokuutiometriä sekapuuta. Taulukosta 2 saadaan sekapuun lämpöenergian määrä pinokuutiometriä kohti.

Taulukko 2. Kattiloiden ja KL-Lämmönjakokeskusten hyötysuhteiden ohjearvoja (Suomen rakennusmääräyskokoelma - Energiatehokkuus 2017)

	Vuoshiyötysuhde η_{tuotto}	Sähkö kWh/a m ² e_{tuotto}
Öljy/kaasu, standardikattila	0,81 ³⁾	0,99 ¹⁾ 0,59 ²⁾
Öljy, kondenssikattila	0,87 ³⁾	1,07
Kaasu	0,92 ³⁾	0,68
Pellettikattila	0,75 ³⁾	0,77
Puukattila energiavaraajalla	0,73	0,38
Sähkökattila	0,88 ³⁾	0,02
Kaukolämpö	0,94	0,60
Huonekohtainen sähkölämmitys	1,00	0,00

¹⁾ öljy

²⁾ kaasu

³⁾ Vuoshiyötysuhde sisältää tyypillisen lämmöntuottoyksikköön integroidun varaajan häviöt. Mikäli varaaja on erillinen, voidaan sen häviöt arvioida interpoloiden käyttövesivaraajan häviöistä, ellei tarkempaa laskelmaa ole olemassa.

Taulukko 2. Polttoaineiden teholliset lämpöarvot. (Suomen rakennusmääräyskokoelma - Energiatehokkuus 2017)

Polttoaine	Tehollinen lämpöarvo
	$Q_{\text{polttoaine, omin}}$
Raskas polttoöljy	11,4 kWh/kg
Kevyt polttoöljy	10,0 kWh/dm ³
Maakaasu	10,0 kWh/m ³ n
Polttopuu yleensä (pilkkeet)	4,1 kWh/kg
Pilkkeet (havu- ja sekapuu)	1300 kWh/pino-m ³
Pilkkeet (koivu)	1700 kWh/pino-m ³
Puupelletit	4,7 kWh/kg
Polttohake	900 kWh/irto-m ³
Kivihiihi	6,6 kWh/kg
Palaturve	3,3 kWh/kg
Puubriketit	4,8 kWh/kg

Puulämmityksen vuotuinen energiankulutus voidaan määrittää yhtälöstä 2.

$$Q_{pk} = P_m \cdot Q_p \cdot \eta \quad (2)$$

jossa	Q_{pk}	Lämmitykseen kuluneen puun määrä	[kWh]
	P_m	Lämmitykseen kuluneen puun määrä	[pino-m ³]
	Q_p	Puun sisältämä energia-määrä	[kWh/pino-m ³]
	η	Puukattilan hyötysuhde	[-]

Lasketaan vuotuinen energiankulutus kaavalla 2.

$$Q_{pk} = 25 \text{ pino} - m^3 \cdot 1300 \text{ kWh/Pino} - m^3 \cdot 0,73 = 23\,725 \text{ kWh}$$

Tällä laskennalla saatu energiankulutus pitää sisällään myös lämpimän käyttöveden osuuden, joten tarkastellaan seuraavaksi, mikä on lämpimän käyttöveden osuus kokonaislämmitysenergiasta.

5.4 Lämpimän käyttöveden kulutus

Kohdekiinteistössä ei ole tietoa erikseen lämpimän käyttöveden kuluttamasta energiasta tai tarkasta kuluneen lämpimän käyttöveden määrästä, mutta ne voidaan arvioida Motivan sivuilta löytyvien ehtojen mukaisesti. Lämpimän

käyttöveden määrän V_{lkv} oletetaan olevan asuinrakennuksessa 40 % ja muissa rakennuksissa 30 % toteutuneesta käyttöveden kokonaiskulutuksen määrästä. Kohteena olevan kiinteistön edellisen vuoden veden kokonaiskulutus oli 65 m^3 , joten lämpimän käyttöveden osuus voidaan määrittellä kaavan 3 avulla.

$$V_{lkv} = 0,4 \cdot V_{kok} \quad (3)$$

jossa	V_{lkv}	Lämpimän käyttöveden kulutus	$[\text{m}^3]$
	0,4	Käyttöveden osuus ko- konaiskulutuksesta	$[-]$
	V_{kok}	Veden kokonaiskulutus	$[\text{m}^3]$

Lasketaan lämpimän käyttöveden kulutus kaavalla 3.

$$V_{lkv} = 0,4 \cdot 65 \text{ m}^3 = 26 \text{ m}^3$$

Lämmin käyttövesi on yksi rakennusten energiankulutuksen osa-alueista, joihin jokaisen on helppo omilla kulutustottumuksillaan vaikuttaa. Välttämällä veden turhaa juoksuttamista tai käymällä hieman viileämmässä suihkussa, voi lämpimän veden kulutusta pienentää huomattavasti, ja tämä taas näkyy koko kiinteistön energiankulutuksen pienentymisenä. Pienilläkin käytännön teoilla voidaan saada numerojen valossa selkeästi havaittavia muutoksia aikaan. Lämpimän käyttöveden vuosikulutuksen ollessa tiedossa, pystytään veden lämmittämiseen kuluva vuotuinen energiamäärä määrittämään kaavan 4 avulla.

$$Q_{lkv} = 58 \cdot V_{lkv} \quad (4)$$

jossa	Q_{lkv}	Käyttöveden lämmityksen kuluttama energia vuodessa	[kWh]
	58	Veden lämmittämiseen tarvittava energiamäärä, 50 °C lämpötilan muutoksella	[kWh/m ³]
	V_{lkv}	Lämpimän käyttöveden kulutus	[m ³ /vuosi]

Lasketaan vuotuinen käyttöveden lämmityksen energiankulutus kaavalla 4.

$$Q_{lkv} = 58 \text{ kWh/m}^3 \cdot 26 \text{ m}^3 = 1508 \text{ kWh}$$

Huomautuksena lämpimän käyttöveden kulutukseen voidaan todeta, että se on kyseisessä kiinteistössä muun vedenkulutuksen ohella jonkin verran pienempi kuin oletuslaskurit tai keskimääräiset arviot. Tämän vuoksi on energian tarpeita tarkastellessa aina hyvä käyttää mahdollisimman paljon mitattua tai toteutunutta tietoa laskennan pohjana, jotta mitoitus tehdään todellisen tarpeen pohjalle. Huomioitavaa on myös, että asukasmäärän noustessa etenkin veden kulutus tulee kiinteistössä kasvamaan, joten myös se tulee huomioida mitoituksessa. (Motiva 2024f.)

5.5 Rakennuksen tilojen lämmitykseen vaadittava energia

Rakennuksen lämmitykseen kulunut energiamäärä voidaan nyt määritellä kaavalla 5 vähentämällä kokonaisenergiankulutuksesta lämpimän käyttöveden osuus.

$$Q_{rakennus} = Q_{kok} - Q_{lkv} \quad (5)$$

jossa	$Q_{rakennus}$	Rakennuksen vuotuinen lämmitysenergian kulutus	[kWh]
	Q_{kok}	Puun kulutuksen perusteella laskettu vuotuinen kokonaisenergian kulutus	[kWh]
	Q_{lkv}	Lämpimän käyttöveden lämmitykseen kuluva vuotuinen energia	[kWh]

Lasketaan vuotuinen rakennuksen lämmitykseen kulunut energia kaavalla 5.

$$Q_{rakennus} = 23\,725\,kWh - 1508\,kWh = 22\,217\,kWh$$

Ominaistehontarve voidaan määritellä kaavan 6 avulla.

$$H = Q_{rakennus} : (S_{2022} \cdot 24) \quad (6)$$

jossa	H	Ominaistehontarve	kW / °C
	$Q_{rakennus}$	Rakennuksen lämmitystehontarve	[kWh]
	S ₂₀₂₂	vuoden 2022 lämmitystarveluku kiinteistön vertailupaikkakunnalla (astepäiväluku)	[°C/vrk]
	24	tuntien määrä vuorokaudessa, jolla lämmitystarveluku muutetaan laskennassa sopivaan muotoon	[-]

Lasketaan ominaistehontarve kaavalla 6.

$$H = 22\,217 \text{ kWh} : (4120^\circ\text{Cvrrk} \cdot 24 \text{ h}) = 0,2247 \text{ kW}/^\circ\text{C}$$

$\Delta T_{\text{mitoitus}}$ saadaan kaavan 7 mukaisesti vähentämällä yleisimmin käytetystä lämmitystarveluvusta S17, joka lasketaan $+17^\circ\text{C}$:ksi oletetun sisälämpötilan ja ulkolämpötilan vuorokausikeskiarvon erotuksen perusteella alueen mitoitussulkolämpötila -29°C . Mitoitusulkolämpötila tulee kiinteistön sijainnin perusteella, sillä kiinteistö sijaitsee lämpötilavyöhykkeellä 2, jonka mitoitussulkolämpötila on -29°C (Lämmitystarveluvut 2024.)

$$\Delta T_{\text{mitoitus}} = S17 - (-29^\circ\text{C}) \quad (7)$$

jossa	$\Delta T_{\text{mitoitus}}$	Mitoituslämpötila	$^\circ\text{C}$
	S17	Lämmitystarveluku	$^\circ\text{C}$
	-29°C	Mitoitusulkolämpötila	$^\circ\text{C}$

Lasketaan mitoitussulkolämpötila eli keskimääräinen sisä- ja ulkolämpötilan välinen ero kaavalla 7.

$$\Delta T_{\text{mitoitus}} = +17^\circ\text{C} - (-29^\circ\text{C}) = 46^\circ\text{C}$$

Lämmitysenergian huipputehontarve voidaan määrittellä kaavalla 8.

$$\phi_{\text{huippu}} = H \cdot \Delta T_{\text{mitoitus}} \quad (8)$$

jossa	ϕ_{huippu}	lämmityksen huipputehontarve	[kW]
	H	Ominaistehontarve	[kW / $^\circ\text{C}$]
	$\Delta T_{\text{mitoitus}}$	Mitoituslämpötila	[$^\circ\text{C}$]

Lasketaan lämmityksen huipputehontarve kaavalla 8.

$$\phi_{huippu} = 0,2247 \frac{kW}{^{\circ}C} \cdot 46^{\circ}C = 10,34 kW$$

Lämpöpumpun mitoituksessa tyypillisesti riittää 50 % - 70 % mitoitus huipputehosta, sillä suurin osa, jopa 90 % lämmöntuotantokauden tarpeesta voidaan kattaa pienemmällä mitoituksella. Loput vaadittavasta huipputehosta voidaan kattaa tukilämmitysmuodolla, tässä tapauksella puulämmityksen avulla.

6 VESI-ILMALÄMPÖPUMPUN VALINTA

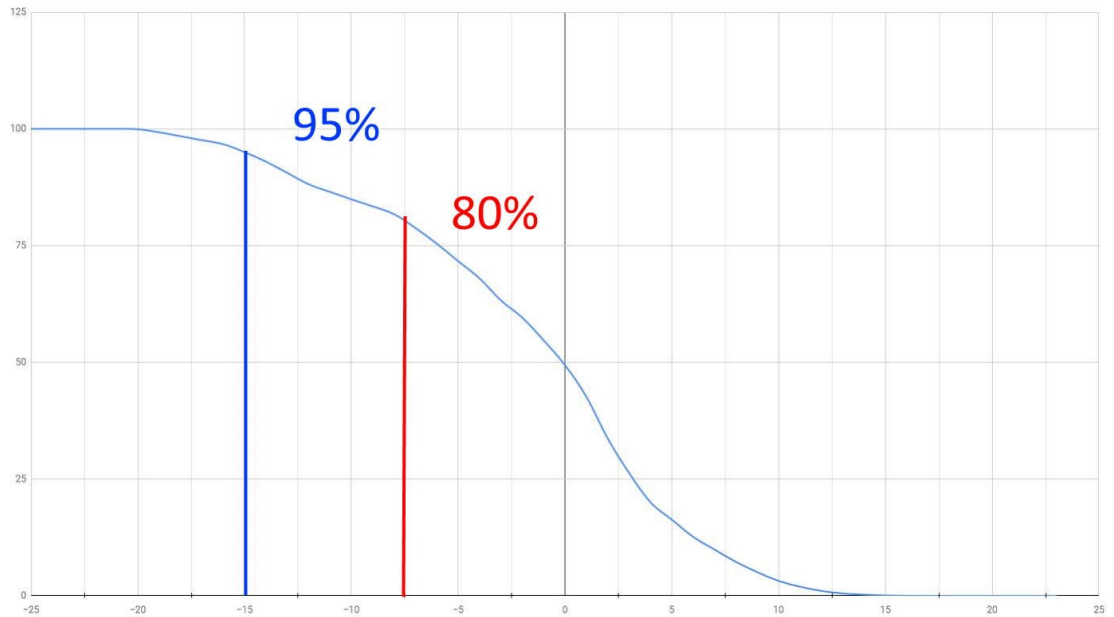
Valittaessa vesi-ilmalämpöpumppua olemassa olevan lämmitysjärjestelmän rinnalle toimimaan voidaan valintakriteerinä käyttää syntyvää säästöä mahdollisimman suuren tehon sijaan. Tästä asennustavasta, jossa pumppu kytketään lämmittämään vesikierron paluuvettä, käytetään myös nimitystä boosteri.

(Pieni ilma-vesilämpöpumppu s.a.)

Patteritalouksissa, jollainen myös kohdekiinteistö osittain on, alkaa menoveden lämpötilavaatimus olla pumpun hyötysuhteen kannalta liian suuri, noin -15 °C jälkeen. Tällä on olennainen merkitys pumppua valittaessa, sillä kyseisiin pakkaslukemiin asti pärjää pienempi tehoisellakin pumpulla, jota olisi vaadittu suuremmilla pakkaslukemilla riittävän lämmitystehon saavuttamiseen. Suuremmalla pumpulla kasvaa paitsi laitteen hankintahinta, vielä olennaisempaan tekijänä laitteen valintaa ajatellen pumpun todellinen lämpökerroin heikkenee vuoden yleisimmillä lämpötila alueilla lähempänä 0 °C. Tämä johtuu siitä, että tehokkaammalla pumpulla saavutetaan nopeasti tavoitelämpötila, jonka jälkeen pumppu sammuu liiaksi lämmentyneen veden kiertäessä takaisin lämmityskierrosta. Tämä katkokäynti laskee pumpun ilmoitettua lämpökerrointa.

(Pieni ilma-vesilämpöpumppu s.a.)

Vuositaitoisuusprosentti eri ulkolämpötiloissa



Kuva 6. Vuositaitoisuusprosentti eri ulkolämpötiloissa (Pieni ilma-vesilämpöpumppu s.a)

Yllä oleva kuvaaja kertoo, että kompressorin tehon riittäessä -7°C kattaa kompressoriteho eteläisessä Suomessa 80 % koko vuoden lämmitystarpeesta ja -15°C jo 95 % (Pieni ilma-vesilämpöpumppu s.a).

Vertaillen eri vesi-ilmalämpöpumppuja toimitettuna päädyttiin ATLANTIC EXTENSA 06-mallin pumppuun, joka soveltuu hybridilämmitysjärjestelmään ja jolla pystytään mahdollisimman taloudelliseen lämmitykseen. Kyseisen pumpun valintaa puolsi myös kilpailukykyinen hinta asennettuna, sillä kyseisen pumpun saa käyttövalmiiksi asennettuna kyseiseen kohteeseen vanhan lämmitysjärjestelmän rinnalle hintaan 8990 €, joka sisältää arvonlisäveron. Hinnassa olevasta työn osuudesta on myös mahdollista saada kotitalousvähennystä, josta saatu hyöty seuraavan vuoden verotuksessa on noin 1750 €. (Verohallinto 2024.)

ATLANTIC EXTENSA 06

Ulkoyksikkö Fujitsu WOYA060LFCA:

5kw mitoitusteho 55°C patterit (EN 14825 pRated ulkolämpö -10°C)

6kw mitoitusteho 35°C lattialämmitys (EN 14825 pRated ulkolämpö -10°C)

5.5kw nimellisteho (EN 14511-2 ulkolämpö $+7^{\circ}\text{C}$)

COP 4.65 (EN 14511-2 ulkolämpö $+7^{\circ}\text{C}$)

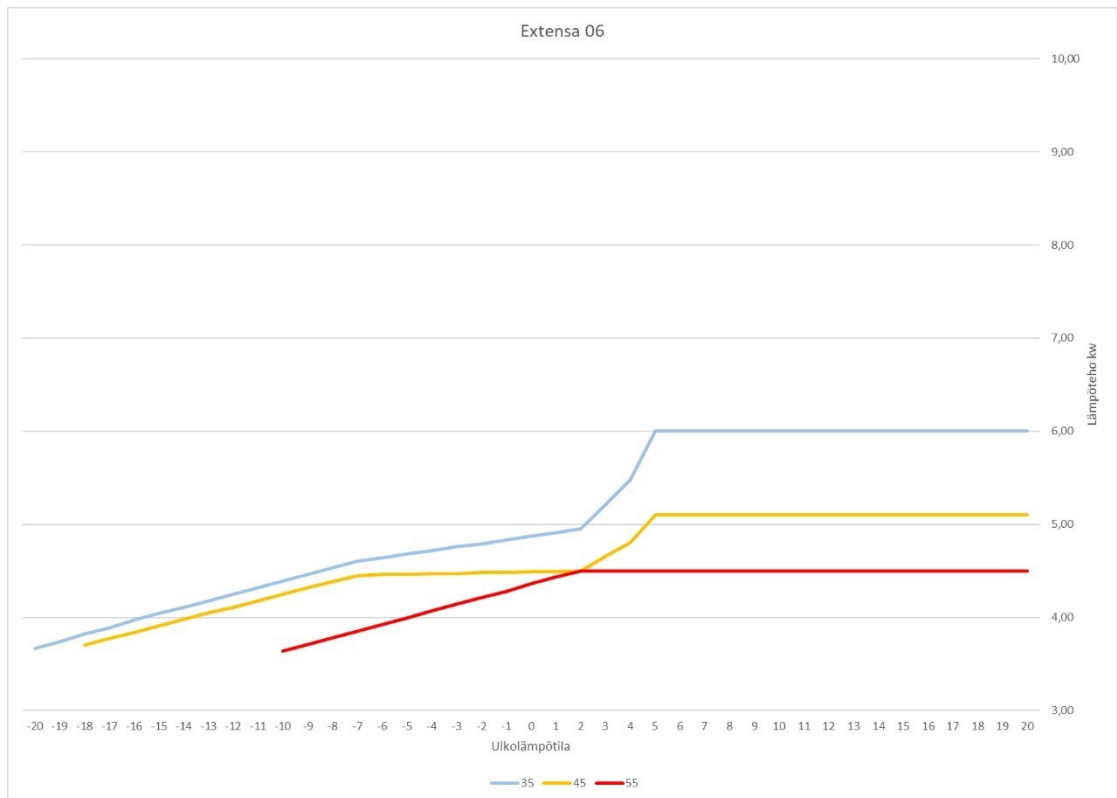
SCOP 3.21 A++/ 55°C patterit
SCOP 4.46 A+++/ 35°C lattialämmitys
1-vaiheinen sähkönsyöttö 16A sulakkeella
(Atlantic Extensa-06 s.a.)

Sisäyksikkö Atlantic Extensa 06

Koaksiaalivaihdin työsäiliöllä
Energiatehokas säädettävänopeuksinen kiertovesipumppu
Näyttöpaneeli lämpötilan säätöön
(Atlantic Extensa-06 s.a.)

Sopivan pumpun löydyttyä suunnitelmaan tuli ennakoarviosta poiketen hie-
man muutoksia, sillä selvisi, että asennettaessa vesi-ilmalämpöpumpua van-
han lämmitysjärjestelmän rinnalle ei käyttöveden lämmitystä kannata hoitaa
vesi-ilmalämpöpumpulla vaan olemassa olevalla lämmitysjärjestelmällä. Tämä
alentaa asennuskustannuksia jopa 3000 € - 4000 €, mutta saavutettavaa
säästöä se pienentää vain 100 € - 200 €. Suurin energian kulutus ja myös
säästöpotentiaali on kuitenkin lämmityskierrossa olevan veden lämmityk-
sessä. Pumppujen lämpökerroin heikkenee, mitä kuumempaa vettä niillä tuo-
tetaan, joten tämäkin puoltaa lämpimän käyttöveden vaatiman vähintään 55
°C veden sekä kovimmilla pakkasilla vaadittavan lämmityskierrossa kiertävän
veden lämmityksen jättämistä muiden lämmitysjärjestelmien vastuulle. Toteu-
tuksessa ei myöskään tarvita sisäyksikön varausvastuksia, sillä pystytään
hyödyntämään lämminvesivaraajan olemassa olevia vastuksia turvaamaan
mahdolliset häiriötilanteet ja estämään jäätyminen ja rakennuksen viilenemi-
nen.

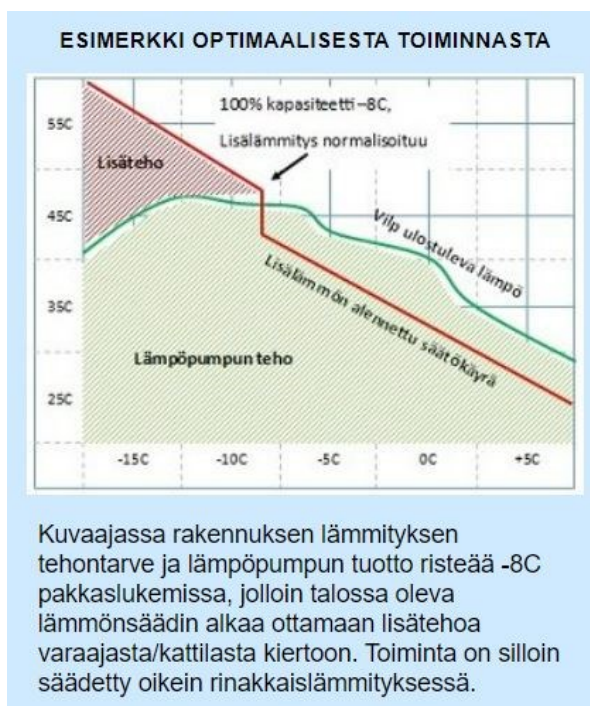
Tavoiteltava tilanne huomioiden vesi-ilmalämpöpumpun koon ja hyötysuhteen
eri lämpötiloissa karkeasti voidaan ajatella, että tavoiteltava lämpötilaraja olisi
-15 °C pakkasta, josta kylmemmällä säällä lämmityksen hoitaisi puukattila ja
siitä lämpimämmällä säällä toimisi vesi-ilmalämpöpumppu.



Kuva 7. Lämpötehon ja ulkolämpötilan suhde eri menoveden lämpötiloilla (Atlantic Extensa-06 s a)

Yllä olevassa kuvassa 7 on valitun pumpun integroitu teho eri ulkolämpötiloissa ja eri menoveden lämpötiloilla. Integroitu teho tarkoittaa pitkän aikavälin todellista lämmitystehoa, jossa on huomioitu pumpun sulatuksen ja sen aiheuttaman keskeytyksen tehohäviöt. (Atlantic Extensa-06 s.a.)

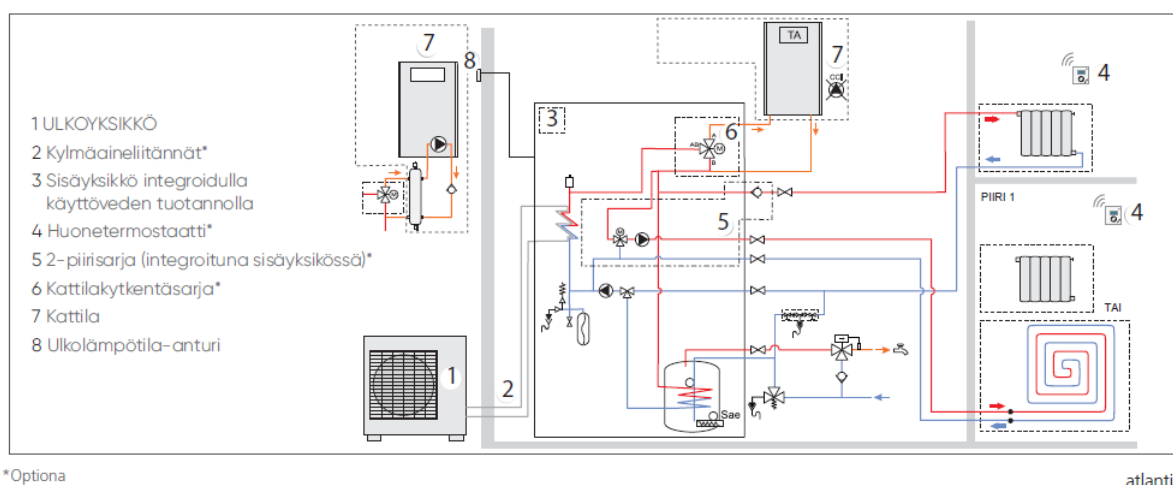
Kuvassa 8 on havainnollistettu lämmitystehon jakautumista lämpöpumpun ja hybridilämmityksessä käytettävän toisen lämmityslähteen kesken, silloin kun järjestelmä on saatu optimoitua taloudelliseksi. Kuvaajan pystysuunnassa on menoveden lämpötila, joka riittää kovimmillakin pakkasilla lämmityksen tarpeisiin ja vaakarivillä taas ulkolämpötila. Lämpöpumppu hoitaa lämmityksen parhaalla tehoalueellaan ja hyvällä hyötysuhteella ja siitä kylmemmällä lämmitystä alkaa ulkolämpötilan viilentyessä vahvemmin tukemaan toinen lämmitysmuoto. Puulämmityksen kohdalla lämmitysjärjestelmät voivat toimia myös yhtäaikaisesti, tai tarpeen mukaan esimerkiksi kovimmilla pakkasilla pelkkä puulämmitys ja leudoimmilla keleillä ainoastaan vesi-ilmalämpöpumppu.



Kuva 8. Lämmitystehon jakaantuminen hybridilämmityksessä (Pieni ilma-vesilämpöpumppu s.a)

7 ASENNUSPROSESSI JA SIIHEN LIITTYVÄT TOIMENPITEET

Kuvassa 9 on esitetty vesi-ilmalämpöpumpun liitäntä kattilalämmityksen yhteyteen, kun lämmitettävässä kohteessa on kaksi lämmityspiiriä. Asennus on muuten vastaava kuin kohteena olevassa kiinteistössä olisi sopiva käyttää lukuun ottamatta integroitua käyttöveden lämmitystä, joka on kuvattu osion 3 sisälle. (Extensa esite s.a.)



Kuva 9. Vesi-ilmalämpöpumpun kytkentäkuva (Extensa esite s.a)

7.1 Sähkötoisissä pätevyysvaatimukset

Vesi-ilmalämpöpumpun asennus kyseiseen kohteeseen vaatii uuden syötön vetämistä 16A sulakkeella, ja lisäksi tarkoitus on asentaa uusi ryhmäkeskus sisäyksikön kanssa samaan huoneeseen, jotta laajennusvaraa jää myös tuleviin asennuksiin. Tämä tarkoittaa sitä, että sähkötoisten tekijällä on oltava vähintään S2-luokan sähköpätevyys suoritettuna ja työn suorittajan on löydettävä Tukesin sähköurakoitsijoiden rekisteristä. (Sähköpätevydet ja työalueet s.a.)

7.2 Kylmäaineen asennuksessa vaadittavat pätevyysvaatimukset

Valitussa vesi-ilmalämpöpumpussa kylmäaineena on R32 kylmäainetta alle 3 kg, joten kylmäaineputkistojen asennuksen tekevällä henkilöllä on oltava alle 3 kg kylmäaineluvat ja asennuksen suorittavan yrityksen on oltava Tukesin kylmäainerekisterissä. Lisäksi mikäli kylmäaineputkistojen asennustöissä tarvitaan työvaiheita, joista syntyy liekkiä, muuta lämpöä tai kipinöitä esimerkiksi hitsatessa, juottaessa tai laikalla leikatessa, tarvitaan myös tulityökortti. (Kylmäalan hyväksyntä ja pätevyysvaatimukset s.a.)

7.3 Kunnan rakennusmääräykset

Kohdekiinteistön kunnan rakennusmääräyksessä sanotaan kohdassa

2.2 Toimenpiteen luvan- / ilmoituksenvaraisuus

Maankäyttö- ja rakennuslain 126 §:n ja -asetuksen 62 ja 63 §:n nojalla määrätään toimenpideluvan hakemisesta tai ilmoitusmenettelyn soveltamisesta kunnan eri osa-alueilla

seuraavasti:

Toimenpidelupa haettava T

Ilmoitus tehtävä I

Ei vaadi lupaa tai luvanvaraisuudesta

vapautettu –

-LVI-laitteiden (esim. ilmalämpöpumpun

ulkoyksikkö) sijoittaminen julkisivulle

asemakaava -alue I

Rakennusmääräyksen mukaan toimenpidelupaa ei siis tarvita, mutta ilmoitus kunnan rakennusvalvontaan on tehtävä lupapisteen verkkosivun kautta (Mäntyharjun kunnan rakennusjärjestys 2012.)

7.4 Sähköjärjestelmän muutokset ja vaatimukset

Hankkeessa päätettiin jättää lämpimän käyttöveden lämmitys nykyisen järjestelmän vastuulle, joten lämminvesivaraaja ja sen sähkövastukset jäävät toimintaan. Tästä seuraa se, että vesi-ilmalämpöpumpun ulkoyksikölle tarvitaan uusi syöttö pääkeskukselta ja syötölle tulee pituutta noin 15 metriä. Pumpun sisäyksikkö asennetaan lämmityskattilan viereiseen huoneeseen, joka on toiminut varastotilana ja toimii jatkossa pelkästään lämmityspumpun teknisenä tilana. Pumpun ulkoyksikkö ja sisäyksikkö tarvitsevat 1 x 16 A syötöt kuvan 10 valmistajan asennusohjeen mukaan, mutta tilaan vedetään 3 x 16 A syöttökaapeli MCMK 4 x 6 mm² + 6 mm² kaapelilla ja seinälle kytketään pieni ryhmäkeskus, jotta laajennusvaraa jää myös myöhempisiin tarpeisiin. Yksivaihesyöttö ryhmäkeskukselta ulkoyksikölle voidaan vetää MMJ 3 x 1,5 mm² S-kaapelilla, ja tämän kaapelin pituus on noin 5 m. Samalla läpiviennillä voidaan vetää myös MMJ 4 x 1,5 mm² S tiedonsiirtokaapeli sisä- ja ulkoyksiköiden välille.

Johtimien mitoitus on valittu käsikirja rakennusten sähköasennuksista D1-2022 perusteella seuraavasti. Taulukko 43.1 antaa 16 A gG tyyppin sulakkeelle vaatimuksen, että johdon sallittu kuormitus tulee olla vähintään 18 A. Kirjassa olevasta yksinkertaistetusta kuormitustaulukosta 52.1 voidaan katsoa PVC- ja PEX- eristeisille johtimille kuormitusvirrat eri asennustavoilla. Taulukon kohdasta asennustapa C saadaan 2,5 mm² kuparijohtimelle arvo 24 A, joka riittää kyseiselle sulaketyypille. Asennustapa C tarkoittaa kaapelin asennusta puuseinälle siten, että kaapelin ja pinnan väli on pienempi, kuin 0,3 kertaa kaapelin halkaisija. Samoja arvoja voidaan käyttää myös asennustavoissa, jossa kaapeli on kiinnitetty kivirakenteiselle seinälle tai asennettu sen sisään. Taulukosta havaitaan, että valitulla asennustavalla esimerkiksi usein käytetty MMJ 5 x 2,5 mm² S kävisi syöttökaapeliksi tähän asennukseen uudelle ryhmäkeskukselle. (Tiainen 2022, 135 ja 220–221.)

Kuten aiemmin mainittiin, kyseessä olevan kiinteistön tapauksessa voi kuitenkin olla perusteltua käyttää syöttökaapelina ryhmäkeskukselle 6 mm² poikkipinnalta olevaa MCMK 4 x 6 mm² + 6mm² johdinta, jotta ryhmäkeskukseen jää laajennusvaraa. Näin ryhmäkeskukselta on mahdollisuus myöhemmin ottaa syöttöjä myös muihin tarpeisiin ja voihan olla, että lämpöpumpun tullessa käyttöikänsä päähän, ovat pumput kehittyneet niin, että onkin perusteltua ottaa suurempitehoinen malli entisen tilalle. Kyseessä on kustannuksena melko pieni ero suuruusluokaltaan alle 100 €, mutta tulevaisuutta ajatellen helppo toteuttaa tässä vaiheessa, kun syöttökaapeli on joka tapauksessa vedettävä uudelle ryhmäkeskukselle.

Syöttökaapeli, joka vedetään pumpun sisäyksikön kanssa samassa huoneessa sijaitsevalta ryhmäkeskukselta 1 x 16 A C-tyypin sulakkeen takaa pumpun sisäyksikölle. Kuvassa 10 näkyvän valmistajan asennusohjeen mukaan tulee käyttää 3 x 1,5 mm² johdinta kahden pienemmän mallin kohdalla ja esimerkiksi MMJ 3 x 1,5 S voidaan käyttää tähän tarkoitukseen. Mikäli pumpussa olisivat käytössä myös sähkövastukset kovimpien pakkasten tehontarvetta turvaamaan, tulisi kaapelin olla 3 x 6 mm², mutta kyseisessä hybridilämmitysratkaisussa niitä ei asennetta käyttöön. (Extensa asennus ja käyttöohje s.a.)

These cable dimensions are provided for information purposes only and do not exempt the installer from checking that these dimensions match requirements and comply with current standards.

• **Outdoor Unit Power Supply**

Heat Pump (HP)		Electricity supply 230 V - 50 Hz	
Model	Max. power consumption	Connection cable (phase, neutral, earth)	Circuit breaker C curve
Alféa Extensa Duo A.I. 5	2530 W	3 x 1.5 mm ²	16 A
Alféa Extensa Duo A.I. 6	2875 W		
Alféa Extensa Duo A.I. 8	4025 W	3 x 2.5 mm ²	20 A
Alféa Extensa Duo A.I. 10	4255 W		

• **Interconnection between outdoor unit and hydraulic unit**

The hydraulic unit is powered by the outdoor unit by means of a 4 x 1.5 mm² cable (phase, neutral, earth, communication bus).

• **DHW power supply**

The DHW section is powered directly via a 3 x 1.5 mm² cable (phase, neutral, earth). Protection by circuit breaker (16 A, C curve).

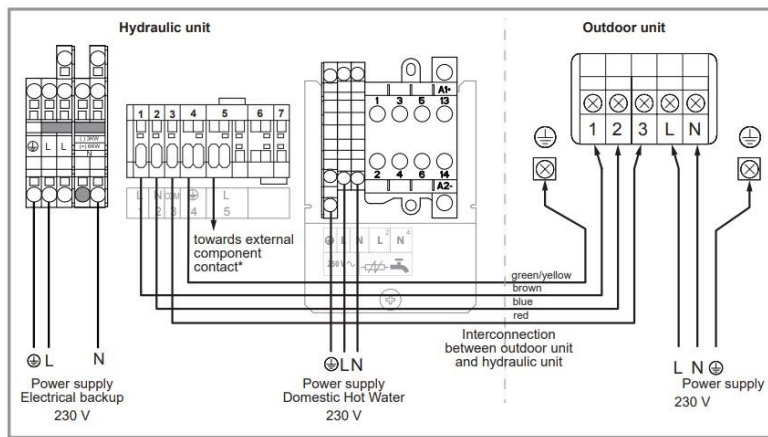
• **Electrical backup power supply**

The hydraulic unit contains a electrical backup circuit (and a second optional) installed in the storage tank.

Heat pump	Electrical backups		Electrical backup power supply	
Model	Power	Nominal current	Cable (phase, neutral, earth)	Circuit breaker C curve
Alféa Extensa Duo A.I. 5, 6, 8 and 10	3 kW	13 A	3 x 1.5 mm ²	16 A
Alféa Extensa Duo A.I. 5, 6, 8 and 10 with 6 kW Backup Relay Kit	2 x 3 kW	26.1 A	3 x 6 mm ²	32 A

Kuva 10. Vesi-ilmalämpöpumpun käyttöohjeen johdin vaatimukset (Extensa asennus ja käyttöohje s.a)

Pumpun asennuksesta saatu tarjous sisältää pumpun sisä- ja ulkoyksikön välisen kaapelin, joten sen asennus jää pumpun toimittajan vastuulle toteuttaa valmistajan ohjeiden mukaisesti. Käyttö- ja asennusohjeessa oleva taulukko kertoo kuitenkin, että ulkoyksikölle on tuotava 4 x 1,5 mm² kaapeli tiedonsiirtoa varten. Kuvassa 10 näkyy myös, että sähkösyöttö tulee hoitaa 16 A C-tyyppin johdonsuojaa käyttäen ja kaapelina tulisi käyttää 3 x 1,5 mm² johdinta. Kuvassa 11 on kytkentäkaavio valmistajan ohjeen mukaiselle kytkennälle kyseisillä johtimilla.



Kuva 11. Vesi-ilmalämpöpumpun käyttöohjeen kytkentäkaavio (Extensa asennus ja käyttö-ohje s.a)

8 KANNATTAVUUSLASKELMA

8.1 Investointikustannusten arviointi

Pumpun asennuskustannukset ovat 8990 €, joista voidaan vähentää kotitalousvähennyksen summa 1750 €. Lisäksi syöttökaapelin veto pumpulle siihen liittyvät sähkötyöt sisältäen pienen ryhmäkeskuksen ovat 500 €, joista kotitalousvähennykseen voidaan laskea 100 €. Mikäli haluttaisiin reilummalla laajennusvaralla oleva suurempi uusi ryhmäkeskus, kustannukset nousevat sähkötöiden osalta noin puolella. Rahaa hankintaa varten tarvitaan siis 9490 €, ja investointi rahoitetaan lainarahalla, joten 6 % korolla, 5 vuoden takaisinmaksuajalla 2,5 € kuukausittaisilla lainanhoitokuluilla ja pankin 0,30 % järjestelypalkkio kuluilla lainalaskuri antaa lainan kokonaiskuluiksi 11 140 €. Tästä jää kotitalousvähennyksen jälkeen maksettavaa 9290 €. (Lainalaskuri. s.a.)

8.2 Lämmityskulujen vertailu

Puulla lämmitettäessä hinnaksi lasketaan 70 € heittomotilta kuivaa koivupuuta, joka on tyypillinen hintataso kohdekiinteistön alueella laskelman tekohetkellä (Polttopuun hintahaku s.a). Laskelma tehdään myyntipuun hinnalla, sillä vaikka olisi mahdollisuus tehdä polttopuunsa omistamansa metsän ylimääräisestä puusta, joka metsänhoidossa muuten kaadettaisiin maahan lahoamaan alle myyntikokoisena, olisi ylimääräisestä puuaineksesta tehdyt polttopuut mahdollista myös myydä, mikäli käytettäisiin jotakin toista lämmitysmuotoa. Tällöin rahallinen menetys tapahtuu puusta joka tapauksessa käytettäessä se rakennuksen lämmittämiseen. Puulla energiaa yhden kWh tuottamiseen menevä euromäärä saadaan selvitettyä kaavalla 9.

$$H_{puu} = 1,67 \cdot P_{hinta} : (Q_{p_{koivu}} \cdot \eta) \quad (9)$$

jossa	H_{puu}	Puulämmityksellä tuotetun energian hinta	[snt / kWh]
	1,67	Muuntokerroin irtokuutiometristä pinokuutiometriksi	[-]
	P_{hinta}	Koivupuun ostohinta irtokuutiometriltä	[kWh / pino-m ³]
	$Q_{p_{koivu}}$	Koivupuun sisältämä energiamäärä	[kWh / pino-m ³]
	η	Puukattilan hyötysuhde	[-]

Lasketaan puulla tuotetun energian hinta kaavalla 9.

$$H_{puu} = 1,67 \cdot 70 \text{ €} : (1700 \text{ kWh/Pino} - \text{m}^3 \cdot 0,73) = 0,094 \text{ €/kWh} \\ = 9,4 \text{ snt/kWh}$$

(Polttopuun muuntokertoimet. 2024).

Vesi-ilmalämpöpumpulla kustannus lämmitettävää kWh kohti laskettaessa on riippuvainen useasta tekijästä, kuten lämmitettävän veden tavoitelämpötilasta,

ulkolämpötilasta sekä sähkön hinnasta. Laitteen SCOP-arvo eli COP-hyötysuhteen kausiluontoinen keskimääräinen arvo auttaa huomioimaan eri ulkolämpötilat ja laskennassa SCOP-arvo 3.21 on 55 / °C menoveden lämpötilalle, joka vaaditaan käytännössä patterilämmitteisessä talossa talvikaudella.

Edullisimmat kiinteähintaiset sähkösopimukset laskentaa tehtäessä ovat 8 snt / kWh (Energiavirasto s.a), sähkön siirtomaksu Järvisuomen energian alueella 4,71 snt / kWh ja sähkövero 2,79 snt / kWh (Järvisuomen energia s.a).

Vesi-ilmalämpöpumpun tuottaman lämmitysenergian kWh hinta määritellään kaavalla 10.

$$H_{vilp} = (S_{siirto} + S_{energia} + S_{vero}) : SCOP_{55} \quad (10)$$

jossa	H_{vilp}	Vesi-ilmalämpöpumpulla tuotetun energian hinta	[snt / kWh]
	S_{siirto}	Sähkön siirron hinta	[snt / kWh]
	$S_{energia}$	Kulutetun sähköenergian hinta	[snt / kWh]
	S_{vero}	Sähkön siirron vero	[snt / kWh]
	$SCOP_{55}$	Vesi-ilmalämpöpumpun hyötysuhteen kausiluontoinen keskiarvo 55 °C tuottolämpötilalla	[-]

Lasketaan vesi-ilmalämpöpumpulla tuotetun energian kWh hinta kaavalla 10.

$$H_{vilp} = (4,71snt/kWh + 8snt/kWh + 2,79snt/kWh) : 3,21 = 4,83snt/kWh$$

Kyseessä on siis keskimäärin puolet edullisempi lämmitysmuoto puulämmityseen verrattuna vuoden keskimääräisellä hyötysuhteella. Selvitettäessä, millä sähköenergian hinnalla kannattavuus laskee puulämmitystä huonommaksi, saadaan selvitettyä käyttämällä kaavaa 11.

$$S_{energia} = SCOP_{55} \cdot H_{puu} - S_{siirto} - S_{vero} \quad (11)$$

jossa	$S_{energia}$	Sähköenergian hinta, jossa vesi-ilmalämpöpumppu muuttuu puulämmitystä kalliimmaksi	[snt / kWh]
	$SCOP_{55}$	Vesi-ilmalämpöpumpun hyötysuhteen kausiluontoinen keskiarvo 55 °C tuottolämpötilalla	[-]
	H_{puu}	Puulämmityksellä tuotetun energian hinta	[snt / kWh]
	S_{siirto}	Sähkön siirron hinta	[snt / kWh]
	S_{vero}	Sähkön siirron vero	[snt / kWh]

Lasketaan sähköenergian hinta, johon asti on kannattavampaa lämmitää vesi-ilmalämpöpumpulla, kuin puulla käyttäen kaavaa 11.

$$\begin{aligned} S_{energia} &= 3,21 \cdot 9,4 \text{ snt/kWh} - 4,71 \text{ snt/kWh} - 2,79 \text{ snt/kWh} \\ &= 22,67 \text{ snt / kWh} \end{aligned}$$

Voidaan todeta, että pumpun lämmöntuoton loppuessa patterilämmityksessä vaadittavaan tehoon -15 °C ulkolämpötilan paikkeilla on kyseiseen rajaan asti pumpun käyttö kannattavaa taloudellisesti nykyisillä sähköhinnoilla puulämmitykseen verrattuna selkeästi, joten sähkön hinnan noustessakaan tilanne ei vielä muutu.

8.3 Hankkeen takaisinmaksuaika

Vuotuisesta energiankulutuksesta 75–80 % kuluu kohdekiinteistön alueella lämpimämmässä kuin -15 °C lämpötilassa, joten vuotuisesta energiankulutuksesta voidaan ajatella keskimäärin hoituvan 77,5 % vesi-ilmalämpöpumpulla. Vuotuisen lämmitysenergian kulutuksen ollessa 22 217 kW on 77,5 % siitä 17 218 kWh. Saatu säästö vuodessa voidaan ratkaista kaavalla 12.

$$S_{vuotuinen} = K_{vilp} \cdot (H_{kattila} - H_{vilp}) \quad (12)$$

jossa	$S_{vuotuinen}$	Vuotuinen säästö lämmitettävässä vesi-ilmalämpöpumpulla yli -15 °C lämpötilassa	[€]
	K_{vilp}	Vesi-ilmalämpöpumpun vuotuinen energiankulutus	[kWh]
	$H_{kattila}$	Lämmitysenergian hinta lämmitettäessä puukattilalla	[snt / kWh]
	H_{vilp}	Lämmitysenergian hinta lämmitettäessä vesi-ilmalämpöpumpulla	[snt/kWh]

Lasketaan vuotuinen säästö kaavalla 12.

$$S_{vuotuinen} = 17\,218 \text{ kWh} \cdot (9,4 \text{ snt/kWh} - 4,83 \text{ snt/kWh}) = 768,86 \text{ €}$$

Hankkeen takaisinmaksu aika voidaan selvittää käyttämällä kaavaa 13.

$$T_v = \epsilon_{vilp} : S_{vuotuinen} \quad (13)$$

jossa	T_v	Hankkeen takaisinmaksuaika	[vuotta]
	ϵ_{vilp}	Vesi-ilmalämpöpumpun hankkimisen kokonaiskustannukset	[€]
	$S_{vuotuinen}$	Vuotuinen säästö lämmitettävässä vesi-ilmalämpöpumpulla yli -15 °C lämpötilassa	[€]

Lasketaan hankkeen takaisinmaksuaika kaavalla 13.

$$Tv = 9290 \text{ €} : 768,86 \text{ €} = 12,1 \text{ Vuotta}$$

Takaisinmaksuaika on melko pitkä nykyisellä korkotasolla, ja voidaan arvioida, että laitteen käyttöikä alkaa tulemaan vastaan siinä vaiheessa, kun se on maksanut itsensä säästetyissä kustannuksissa takaisin. Hankkeessa on kuitenkin myös muita näkökulmia, joille on annettava painoarvoa, kuten lämmityksen helppous avustettaessa olemassa olevaa lämmitystä vesi-ilmalämpöpumpulla sekä ympäristökysymykset, kuten lämmityksen hiilidioksidipäästöt.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Hanke oli kokonaisuutena hyödyllinen niin kiinteistön omistajalle, kuin työn tekijällekin. Laskelmilla ja mitoituksella, sekä hankkimalla tietoa hybridilämmitysjärjestelmistä saatiin arvokasta tietoa sopivan pumpun valinnasta, sekä asioista, joita lämmitysjärjestelmän päivittämisessä kannattaa ottaa huomioon. Suorittamalla vielä laajemman tarkastelun kiinteistön mahdollisista tulevista lämmitysjärjestelmään liittyvistä remonteista pystytään järjestelmä saneeraamaan kannattavimmalla mahdollisella tavalla. Lämmitysjärjestelmien päivittämiselle on tulevaisuudessa paljon kysyntää, ja työn tekijällekin jäi hyvää tietoa minkälaisilla pätevyyksillä kyseisiä töitä, on mahdollista tehdä, ja minkälaisia asioita mitoituksessa ja valinnassa on huomioitava erilaisissa kiinteistöissä.

Suunnittelun ja kannattavuuden arvioinnissa on käytetty paljon laskentaa hyväksi ja on myös tärkeää huomioida, että mikäli laskennassa käytettävät tiedot muuttuvat, voi kokonaisuuskin muuttua. Tällaisia seikkoja ovat esimerkiksi puulämmityksessä käytettävän kattilan hyötysuhde, vesi-ilmalämpöpumpun SCOP-arvo tai sähköenergian hinta. Mitatut tai toteutuneet ja mahdollisimman tarkat arvot ovat aina tarkastelun kannalta parempi lähtökohta, kuin arviot tai yleisesti tiedossa olevat vakioarvot.

9.1 Hankkeen onnistumisen arviointi

Hankkeen edetessä ja käytettävissä olevan tiedon lisääntyessä suunnitelma hieman muuttui ja lämpimän käyttöveden lämmittäminen jätettiin pois vesi-il-

malämpöpumpun suunnitelmasta. Tämä oli mahdollista hybridilämmitysvaihtoehtona pumppua käytettäessä, ja ratkaisulla saatiin pienennettyä tarvittavan pumpun kokoa ja näin ollen myös hankintakustannuksia. Lopuksi tehdyssä takaisinmaksu ajan laskelmassa takaisinmaksu aika osoittautui pelkästä taloudellisesta näkökulmasta kannattamattoman pitkäksi.

Hankkeessa on kuitenkin muitakin näkökulmia kuten se, että nykyinen lämmitysjärjestelmä yksistään koetaan liian työllistäväksi lämmityskaudella, ja se, ettei vanha lämmitysjärjestelmä vastaa nykyajan energiatehokkuus ja ympäristö vaatimuksia. Tästä voidaan todeta, että puulämmitys on hinnaltaan hyvin kilpailukykyinen lämmitysmuoto, ja pelkän taloudellisen näkökulman tuijottamisen sijaan kokonaisuuden suunnitelman mukaisessa hankkeessa voidaan ajatella olevan hyvinkin kannattava.

Suunnitelman mukaisessa toteutuksessa lämmittäminen helpottuu huomattavasti, eikä vaadi päivittäisiä aktiivisia toimia lämmittäjältä. Lämmityksestä vapautuvalle ajalle on vaikea määritellä hintaa, mutta laite maksaa itsensä käyttökänsä aikana takaisin ja vapauttaa kymmenistä satoihin tunteihin vuodessa kiinteistön omistajan aikaa muuhun käyttöön, kun huomioidaan polttopuiden käsittelyyn, varastointiin ja lämmitykseen kuluva aika.

9.2 Jatkotutkimusaiheet ja kehitysideat

Ennen hankkeen lopullista toteutusta kannattaisi vielä tarkastella kohdekiinteistön lämmittämisen kannalta seikkoja, jotka on jätetty tästä työstä aiheen laajuuden rajaamiseksi pois. Vesi-ilmalämpöpumpun lisäksi kannattavuuslaskenta ja takaisinmaksuaika kannattaa laskea myös yhdellä tai useammalla ilmalämpöpumpulla sekä ainakin maalämmöllä hybridilämmitysjärjestelmätoteutuksena.

Rakennuksen eristyksen parantaminen on myös erittäin tehokas tapa parantaa rakennuksen energiatehokkuutta sekä vähentää lämmitysenergian kuluusta. Tämänkin vaihtoehdon kustannukset ja takaisinmaksu aika olisi hyvä selvittää ennen hankkeen toteutusta, sillä se voi vaikuttaa myös tämän suunnitelman lukuihin.

Käytettäessä vesi-ilmalämpöpumppua tai maalämpöpumppua vesikiertoisessa lämmitysjärjestelmässä lämmönlähteenä paranevat pumppujen hyötysuhteet merkittävästi, mikäli kiertoveden lämpötila on matala kuten esimerkiksi lattialämmitystapauksissa. Kiinteistössä kannattaisi tehdä laskelmat patterilämmitteisten osien osalta joko lämmityksen muuttamisesta lattialämmitykseksi tai pattereiden korvaamisesta useampi rivisillä lämmityspattereilla, joille riittää matalampi kiertoveden lämpötila suuremman lämmönluovutuspinna-alaan ansiosta.

Kiinteistössä on tarkoitus säilyttää puulämmitys yhtenä lämmitysmuotona myös jatkossa, joten puulämmityskattilan ollessa jo yli 40 vuotta vanha sen laskennallinen käyttöikä on jo ylittynyt, ja paremmalla hyötysuhteella olevia ja lämmitystapahtumaltaan pidemmälle automatisoituja vaihtoehtoja on runsaasti saatavilla. Hapen määrällä ja palokaasujen lämpötilalla ohjatun niin kutsutun lambda-ohjatun käänteispalokattilan osalta kannattaa myös tehdä hankintasuunnitelma ja kannattavuuden arviointi.

Sähkön hinta vaikuttaa myös merkittävästi laskelman kustannuksiin, ja pörssisähkön tai yösähkön hieman alemman siirtokustannuksen vaikutuksia olisi myös hyvä selvittää. Tähän suunnitelmaan pörssisähkö rajattiin pois sillä perusteella, että pörssisähkön hinta kohoaa lämmityskaudella korkeammaksi, joten saatu hyöty ainakin pienenee ja lisäksi aiheen laajuuden rajaamiseksi se jätettiin tämän tarkastelun ulkopuolelle.

LÄHTEET

Allen, T. 2023. Ilma-vesilämpöopas omakotitaloon. Opas. PDF-dokumentti. Päivitetty 03.2023. Saatavissa: <https://www.tomallensenera.fi/lataa-ilma-vesi-lampoopas-omakotitaloon?hsCtaTracking=3497ead3-00f0-48ff-85fa-d0e475259a7f%7Ca9b2ae37-174f-4096-86bf-718fc9259372> [viitattu 25.03.2024].

Atlantic Extensa-06. s.a. Lämpöestareiden verkkosivu. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.lampotilamestarit.fi/vesi-ilmalampopumppu/atlantic-extensa-06.php> [viitattu 12.03.2024].

Bioenergianeuvoja. 2024. Polttopuun muuntokertoimet. Bioenergianeuvojan verkkosivut. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.bioenergianeuvoja.fi/biopolttoaineet/polttopuu/puu/> [viitattu 03.03.2024].

Energiatehokas koti. 2021. Määritelmiä ja termejä. Energia tehokas koti verkkosivu. WWW-dokumentti. Päivitetty 12.11.2021. Saatavissa: https://www.energiatehokaskoti.fi/perustietoa/hyva_tietaa/maaritelmiä_ja_termejä [viitattu 29.03.2024].

Energiavirasto. s.a. Sähkönhinta.fi hakupalvelu. Energiaviraston verkkosivu. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sahkonhinta.fi/> [viitattu 19.03.2024].

Extensa esite. s.a. Lämpötilamestareiden verkkosivu PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.lampotilamestarit.fi/esitteet/esite_extensa.pdf [viitattu 11.03.2024].

Extensa käyttö ja asennusohje. s.a. LVI-viro verkkosivu. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://lvi-viro.fi/kayttoohjeet/category/15-atlantic-fujitsu?download=452:atlantic-alfea-extensa-duo-a-i-manual> [viitattu 25.4.2024].

Ilmatieteenlaitos. 2024. Lämmitystarveluvut. Ilmatieteenlaitoksen verkkosivut. WWW-dokumentti. Päivitetty 02.04.2024. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut> [viitattu 05.04.2024].

Järvisuomen energia. s.a Verkkopalvelumaksut. Järvisuomen energian verkkosivut. WWW-dokumentti. Saatavissa. <https://www.jseoy.fi/palvelut-ja-hinnat/verkkopalvelumaksut/#53544ae3> [viitattu 22.03.2024].

Laskurini.fi. 2024. Lainalaskuri. Laskurini.fi verkkosivu. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.laskurini.fi/raha/lainalaskuri> [viitattu 28.03.2024].

Lämmitysenergiayhdistys. s.a Mitä tarkoittaa hybridilämmitys? Lämmitysenergiayhdistyksen verkkosivu. WWW-dokumentti. Saatavissa. <https://www.hybridilammitys.fi/> [viitattu 27.2.2024]

Lämpöpartio. s.a. Ilma-vesilämpöpumppujen vertailu 2023 – mitä eroa eri pumpuilla on? Lämpöpartion verkkosivut. WWW – dokumentti. Saatavissa: <https://lampopartio.fi/blogi/ilma-vesilampopumppujen-vertailu-2022-mita-eroa-eri-pumpuilla-on/> [viitattu 25.03.2024].

Motiva. 2024a. Aurinkolämpö. Uusiutuva energia - sivusto. WWW - dokumentti. Päivitetty 31.1.2024. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo [viitattu 03.03.2024].

Motiva. 2024b. Energiatehokas pientalo. Koti ja asuminen – sivusto. WWW-dokumentti. Päivitetty 11.04.2024. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_pientalo [viitattu 15.02.2024].

Motiva. 2024c. Energiatehokas sähkölämmitys. Koti ja asuminen - sivusto. WWW - dokumentti. Päivitetty 11.4.2024. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_pientalo/energiatehokas_sahkolammitys [viitattu 19.02.2024].

Motiva. 2023a. Ilmalämpöpumppu. Koti ja asuminen - sivusto. WWW - dokumentti. Päivitetty 17.1.2023. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_pientalo/energiatehokas_sahkolammitys/lampopumpun_hankinta/ilmalampopumppu [viitattu 19.02.2024].

Motiva. 2023b. Ilma-vesilämpöpumppu. Koti ja asuminen – sivusto. WWW – dokumentti. Päivitetty 17.1.2023. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_pientalo/energiatehokas_sahkolammitys/lampopumpun_hankinta/ilma-vesilampopumppu [viitattu 19.02.2024].

Motiva. 2024d. Kaukolämpö. Koti ja asuminen - sivusto. WWW - dokumentti. Päivitetty 13.4.2024. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_pientalo/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo [viitattu 19.02.2024].

Motiva. 2024e. Keskuslämmityskattilat. Koti ja asuminen - sivusto. WWW - dokumentti. Päivitetty 03.04.2024. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/puulammitys_kiinteistoissa/keskuslammityskattilat [viitattu 19.02.2024].

Motiva. 2024f. Lämmin käyttövesi. Kiinteistön energian käyttö. Motivan verkkosivu. WWW-dokumentti. Päivitetty. 05.02.2024. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energian_kaytto/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kaytovesi](https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energian kaytto/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kaytovesi) [viitattu 15.03.2024].

Motiva. 2023c. Maalämpöpumppu. Koti ja asuminen - sivusto. WWW - dokumentti. Päivitetty 17.1.2023. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_pientalo/energiatehokas_sahkolammitys/lampopumpun_hankinta/maalampopumppu [viitattu 26.02.2024].

Motiva. 2022a. Näin lämmitysjärjestelmä toimii. Koti ja asuminen verkkosivu. WWW - dokumentti. Päivitetty 23.03.2022. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_pientalo/lammitysjarjestelman_valinta/nain_lammitysjarjestelma_toimii [viitattu 25.03.2024].

Motiva. 2023d. Pientalon lämmitystapojen vertailulaskuri. Energiatehokas pientalo verkkosivu. WWW-dokumentti. Päivitetty 17.1.2023. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_pientalo/lammitysjarjestelman_valinta/vertaile_lammitysjarjestelmia/pientalon_lammitystapojen_vertailulaskuri [viitattu 15.03.2024].

Motiva. 2022b. Öljylämmitys. Koti ja asuminen - sivusto. WWW - dokumentti. Päivitetty 23.3.2022. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_pientalo/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/oljylammitys [viitattu 25.02.2024].

Mottinetti. s.a. Polttopuun hintahaku. Mottinetti verkkosivu. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://mottinetti.fi/osta-puuta/> [viitattu 02.03.2024].

Mäntyharjun kunnan rakennusjärjestys. 2012. PDF-dokumentti. Julkaistu 21.02.2012. Saatavissa: https://www.mantynharju.fi/wp-content/uploads/2020/12/rakennusj%C3%84rjestys_tarkistettu12.11.2020.pdf [viitattu 03.03.2024].

Ouman. 2016. EH-800/EH-800B Lämmönsäädin käyttöohje. Käyttöohjekirja. Julkaistu 25.02.2016. Kempele: Ouman Oy. [viitattu 22.02.2024].

Pieni vesi-ilmalämpöpumppu. s.a. Lämpötilamestarien verkkosivut. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.lampotilamestarit.fi/vesi-ilmalampopumppu/pieni-vesi-ilmalampopumppu.php> [viitattu 02.04.2024].

Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2017. Energiatehokkuus - Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta.PDF-Dokumentti. Julkaistu 20.12.2017. Saatavissa: https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ohje---Rakennuksen-energiankulutuksen-ja-lammitystehontarpeen-laskenta-20-12-2017-4332AA81_75E1_4CA0_B208_B0ACB60A267F-133692.pdf [viitattu 11.04.2024].

Suutari. T. s.a. Hyötysuhteiden erot. Nilan www – sivut. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.nilan.fi/energiansaasto/cop-vs-scop-hyotysuhteiden-erot/> [viitattu 27.03.2024].

Thermia. s.a. Kolme tekijää, jotka vaikuttavat lämpöpumpun valintaan. Thermian verkkosivut. WWW – dokumentti. Saatavissa: <https://www.thermia.fi/hyodyllista-tietoa/osta-lampopumppu/lampopumppu-kolme-tekijaa/> [viitattu 23.3.2024].

Tiainen. E. 2022. Sähköinfo - D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Espoo: Grano Oy [viitattu 12.04.2024].

Tilastokeskus. 2024. Energia. Suomi lukuina - sivusto. WWW-dokumentti. Päivitetty 17.01.2024. Saatavissa: https://www.stat.fi/tup/suoluk/suoluk_energia.html [viitattu 03.02.2024].

Tukes. s.a. Sähköpätevyudet ja työalueet. Turvallisuus ja kemikaaliviraston verkkosivut. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://tukes.fi/sahko/sahkotyot-ja-urakointi/sahkopatevyydet-ja-tyoalueet> [viitattu 14.04.2024].

Tukes. s.a. Kylmäalan hyväksyntä ja pätevyysvaatimukset. Turvallisuus ja kemikaaliviraston verkkosivut. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/kylmaala> [viitattu 14.04.2024].

Verohallinto. 2024. Kotitalousvähennys. Verohallinnon verkkosivu. WWW – dokumentti. Päivitetty. 02.01.2024. Saatavissa: <https://www.vero.fi/henkiloasiakkaat/verokortti-ja-veroilmoitus/vahennykset/kotitalousvahennys/> [viitattu 18.03.2024].

Vuento.R. 2023. Legioonalaistauti (legionelloosi). Lääkärikirja Duodecim. WWW-dokumentti. Päivitetty 19.12.2023. Saatavissa: <https://www.terveyskirjasto.fi/dlk00580> [viitattu 10.02.2024].

Ympäristöministeriö. s.a. Rakennusten energiatehokkuus. Ympäristöministeriön verkkosivu. Saatavissa: <https://ym.fi/rakennusten-energiatehokkuus> [viitattu 29.01.2024].