



Karelia-ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Talotekniikka

Pientalon energiatehokkuuden parantaminen ilmavesilämpö- pumpulla

Panu Määttä

Opinnäytetyö, toukokuu 2023

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2023
Talotekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä(t)
Panu Määttä

Nimeke
Pientalon energiatehokkuuden parantaminen ilma-vesilämpöpumpulla

Toimeksiantaja

Tiivistelmä

Opinnäytetyö käsittelee ilma-vesilämpöpumpun asennusta pientalon lämmitysjärjestelmäksi. Työn tarkoituksena oli koota tietoa ilma-vesilämpöpumppulaitteistoista sekä laitteiston asentamiseen liittyvistä säännöksistä. Työssä selvitetään, mitä tulee ottaa huomioon liitettäessä lämpöpumppua kiinteistön sähköverkkoon. Opinnäytetyön ohessa tehtiin omakotitalon lämmitysmuodon saneeraus öljylämmityksestä ilma-vesilämpöpumpuun.

Työ toteutettiin keräämällä tietoa eri lähteistä sekä tutkimalla eri lämpöpumppuvalmistajien asennusohjeita. Saadun tiedon perusteella rakennettiin ilma-vesilämpöpumppulaitteisto, johon kuuluu kompressorin sisältävä ulkoyksikkö, sisäyksikkö, puskuri- ja lämminvesivaraaja.

Opinnäytetyön tuloksena syntyi toimiva ilma-vesilämpöpumppujärjestelmä sekä ohessa tämä raportti, jonka tarkoitus on auttaa vastaamaan kysymyksiin ilma-vesilämmitykseen liittyen.

Kieli
suomi

Sivuja 31
Liitteet 3
Liitesivumäärä 15

Asiasanat
Ilma-vesilämpöpumppu, IVLP, UVLP, VILP



THESIS
May 2023
Degree Programme in Building services Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600 (switchboard)

Author (s)
Panu Määttä

Title
Improving the Energy Efficiency of a Detached House with an Air to Water Heat Pump

Commissioned by The Author

Abstract

This thesis deals with the installation of an air-to-water heat pump as a heating system for a small house. The purpose of the work was to gather information about air-to-water heat pump equipment and the regulations related to the installation of it. The thesis explains what needs to be taken into account when connecting the pump to the property's electrical network. In the thesis, the heating system of a single-family house was renovated from oil heating to an air-to-water heat pump system.

The work was carried out by gathering information from different sources and by studying the installation instructions of different heat pump manufacturers. Based on the information received, an air-to-water heat pump installation was built. The equipment includes an outdoor unit with a compressor, an indoor unit, a buffer and a domestic hot water heater.

As a result of the work, a functioning air-to-water heat pump system was built, as well as this report, the purpose of which is to help answer questions related to air-to-water heating.

Language
Finnish

Pages 31
Appendices 3
Pages of Appendices 15

Keywords
Air to Water heat pump, AWHP

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Ilmavesilämpöpumppu	6
2.1	Ilmavesilämpöpumpun toimintaperiaate	6
2.2	Ilmavesilämpöpumppujen rakenne	8
2.3	IVLP ja rakennuksen lämmitys.....	10
2.3.1	Puskurivaraaja	11
2.3.2	Hybridivaraaja	11
2.3.3	Magneettinen lianerotin	12
2.4	Kylmäaineet	12
2.4.1	Kylmäaineputkiston tyhjiöinti.....	13
2.5	Lait ja asetukset.....	13
2.6	Sähköliittymä	14
2.6.1	Sähkönsyöttö	17
3	Rakennuksen energiatehokkuus.....	19
3.1	Lainsäädäntö ja energiatehokkuusluokat.....	19
3.2	Energiatehokkuuden parantaminen ilmavesilämpöpumpulla	20
4	Ilmavesilämpöpumpun asennus	22
4.1	Laitteiston hankinta	22
4.2	Ulkoyksikön asennus	22
4.3	Sisäyksikön asennus	23
4.4	Käyttövesi- ja puskurivaraajan sijoitus	23
4.5	Lämmitysputkiston teko	23
4.6	Sähkönsyöttö	25
4.7	Kylmäaineputkiston asennus ja tyhjiöinti	25
5	Ilmavesilämpöpumpun käyttöönotto	26
6	Pohdinta.....	27
	Lähteet.....	29

Liitteet

- Liite 1 Ilmavesilämpöpumpun asennuskuvia
- Liite 2 Laskut IVLP sähkösuunnittelua varten
- Liite 3 Arviolaskelma energiatehokkuuden paranemisesta

1 Johdanto

Opinnäytetyö käsittelee ilmavesilämpöpumpun asennusta, siihen liittyviä säännöksiä sekä työvaiheita ja tarvittavia komponentteja. Ilmavesilämpöpumpun käyttö varsinkin pientalon lämmitysjärjestelmänä on yleistynyt viime aikoina valtion tukiessa öljylämmityksestä luopujia. Kuitenkaan tietoa laitteistoista ei ole paljoa tarjolla. Opinnäytetyön tarkoituksena onkin antaa tietoa mitä lämmitysjärjestelmä ja sen asennus pitää sisällään. Markkinoilla on tarjolla paljon erilaisia pumppuja ja varaajia, mutta niiden vertailu on vaikeaa ja asennustyön määrässä voi olla eroja. Opinnäytetyössä otetaan esille myös kiinteistön sähkötehon laskeminen ilmavesilämmityksen yhteydessä sekä sen vaikutus kiinteistön liittymäkoko.

Työssä perehdyttiin tällä hetkellä ajankohtaiseen aiheeseen rakennusten energiatehokkuudesta ja arvioitiin rakennuksen energialuokka uudelleen siirryttäessä fossiilisesta energiamuodosta uusiutuvaan.

Opinnäytetyön ohessa tehtiin omakotitalon lämmitysjärjestelmän saneeraus öljylämmityksestä ilmavesilämpöpumppuun. Tarkoituksena oli perehtyä käytännölläheisesti sähkönsyöttöön sekä laitteiston putkiasennuksiin ja lämpöpumpun asennuksen ongelmakohtiin. Ajatus lähti tarpeesta vaihtaa lämmitysjärjestelmää ja kiinnostuksesta lämpöpumppujen käyttöön lämmityksessä.

Liitteessä 1 on ilmavesilämmityksen asennukseen liittyviä kuvia ja liitteessä 2 laitteiston sähköasennukseen liittyviä laskutoimituksia. Liite 3 kuvaa energiatehokkuusluokan paranemista lämmitysjärjestelmän muutoksen myötä.

Opinnäytetyössä hyödynnettiin talotekniikan insinöörin laajaa perehtymistä eri osaamisalueisiin, kuten sähköön ja lämmitykseen.

2 Ilmavesilämpöpumppu

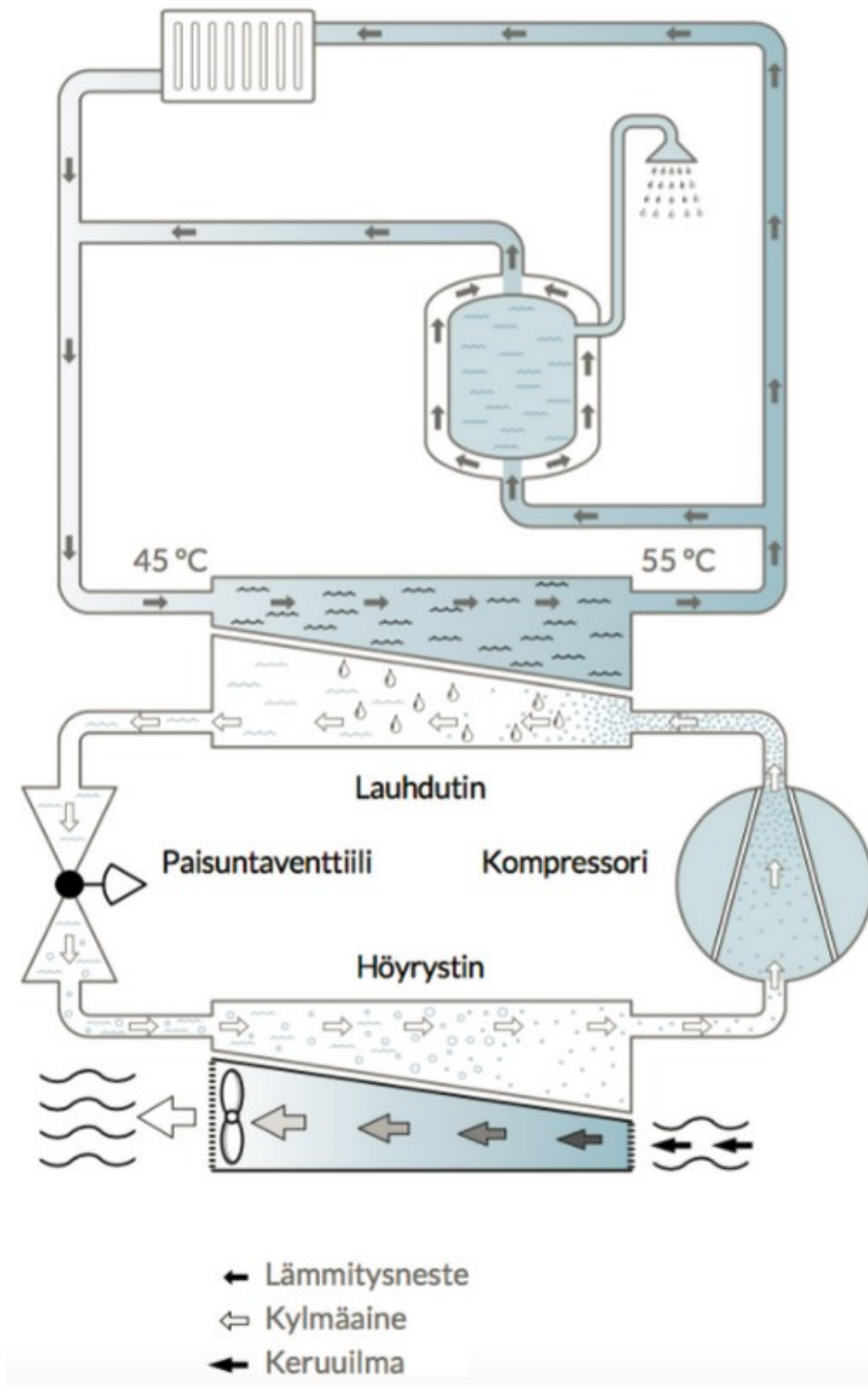
2.1 Ilmavesilämpöpumpun toimintaperiaate

Ulkoilmavesilämpöpumppu (UVLP) saa nimensä mukaisesti lämpöenergiansa ulkoilmasta ja siirtää sen kylmäaineen välityksellä lämmitysveteen. Pumpusta käytetään myös nimityksiä ilmavesilämpöpumppu (IVLP) sekä vesi-ilmalämpöpumppu (VILP). Ilmavesilämpöpumpun ulkoyksikön aksiaalipuhallin imee ilmaa höyrystimen läpi. Ilmasta otettu lämpö höyrystää pumpun nestemäisen kylmäaineen, jolloin kylmäaineen lämpötila nousee. Kylmäaineen painetta ja lämpötilaa nostetaan kompressorilla, joka imee höyrystyneen kylmäaineen höyrystimestä. Kuuma kylmäainehöyry siirretään lauhduttimeen missä esimerkiksi lämmitysverkoston vesi jäähdyttää sitä ja kylmäaine muuttuu takaisin nesteeksi. Vapautunut lämpö siirtyy lämmitysverkostoon ja jäähtynyt kylmäaine kulkee paisuntaventtiiliin, missä kylmäaineen paine ja lämpötila edelleen laskevat. Lämpöpumppu jatkaa tätä prosessia ja lämmittää verkostossa olevaa vettä. Ilmavesilämpöpumpun käyttö vaatii siis vesikiertoisin lämmitysjärjestelmän, jotta ilmasta otettu lämpö voidaan siirtää lämmitysveteen. Laitteessa on kaksi lämmönsiirrintä, höyrystin ja lauhdutin. Höyrystin ottaa lämpöä ulkoilmasta ja lauhdutin siirtää sen lämmitysverkostoon. [3.]

Ilmavesilämpöpumpun tehokuutta kuvataan COP-luvulla (Capacity of Performance). Se kuvaa monta kilowattia lämpöä pumppu tuottaa yhtä sähköverkosta ottamaansa kilowattia kohden. [4.]

$$COP = \frac{\text{Tuotettu lämpö (kWh)}}{\text{Käytetty sähkö (kWh)}}$$

Hetkellisen lämpökertoimen laskukaava [4].



Kuva 1. Ilmavesilämpöpumpun käyttö lämmityksessä [5].

Ulkoilman lämpötila vaikuttaa lämpökertoimeen ja ulkoyksikkö voi kerätä ulkoilmasta lämpöä jopa -25 asteeseen saakka [1]. Ulkolämpötilan laskiessa hyötysuhde siis pienenee ja -20 asteen lämpötilassa laite antaa noin puolet vähemmän tehoa kuin +7 asteen kelillä, joka on lämpötila, missä laitteen nimellisteho

yleensä ilmoitetaan standardin EN14511 mukaan. Esimerkiksi 7 kW ilmavesilämpöpumppu tuottaa nimellistehonsa verran lämpöä silloin, kun ulkoilman lämpötila on +7 astetta ja sillä tuotetaan +35 asteista vettä. Koska lämpöpumpun antama teho laskee kylmällä säällä, tarvitaan Suomen olosuhteissa varajärjestelmä tuottamaan lämpöä lämmitysverkostoon. Tämän vuoksi IVLP sisältää lämmitysvastuksen, joka hoitaa lisälämmöntarpeen pakkasella. Pumpun kompressori pystyy lämmittämään lämmitysveden +55 celsiusasteeseen saakka ja jos pumpulla lämmitetään myös käyttövesi, tarvitaan myös siihen tehostusvastuksella, jotta saadaan käyttöveden lämpötila asetusten mukaiseksi. [6.] Isommissa kohteissa kahta kompressoria käyttävät ilmavesilämpöpumput voivat lämmittää veden jopa 70 – 80 asteiseksi [7].

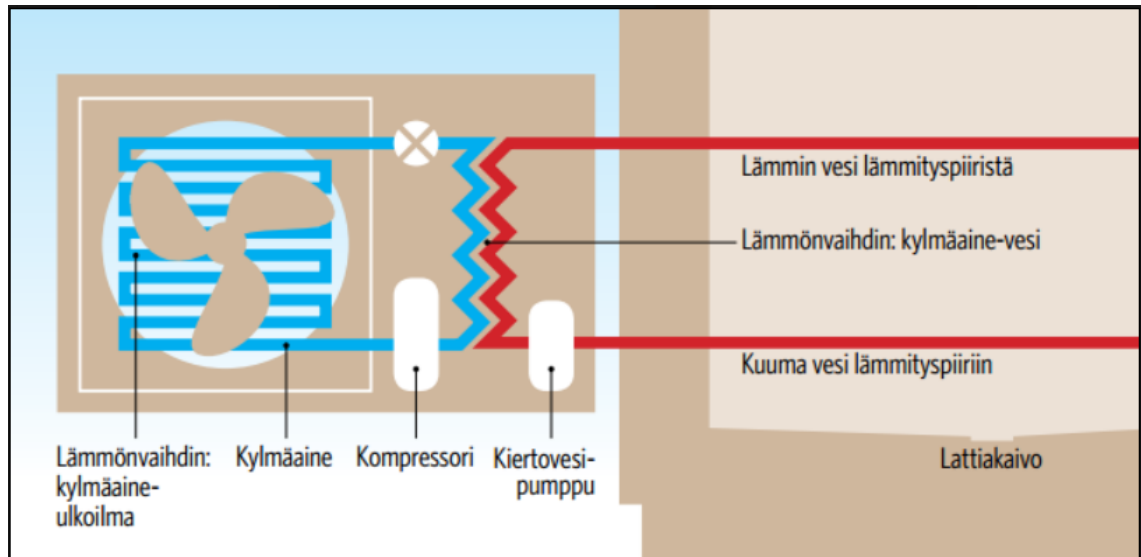
Hetkellinen lämpökerroin (COP) voi olla 5, jolloin yhdellä kilowatilla sähköä saadaan 5 kW lämpöä. Kuvaavampi luku on vuosilämpökerroin (SCOP), koska IVLP:n hyötysuhde ja lämmitysteho riippuvat ulkoilman lämpötilasta. Sähkölämmityksen tehostamisohjelma ELVARI on tehnyt tutkimuksen, jonka mukaan IVLP kokonaishyötysuhde vaihteli 1.4 - 2.7 välillä. Tällöin kilowatilla sähköä saatiin 1.4 – 2.7 kW lämpöä. [8.]

2.2 Ilmavesilämpöpumppujen rakenne

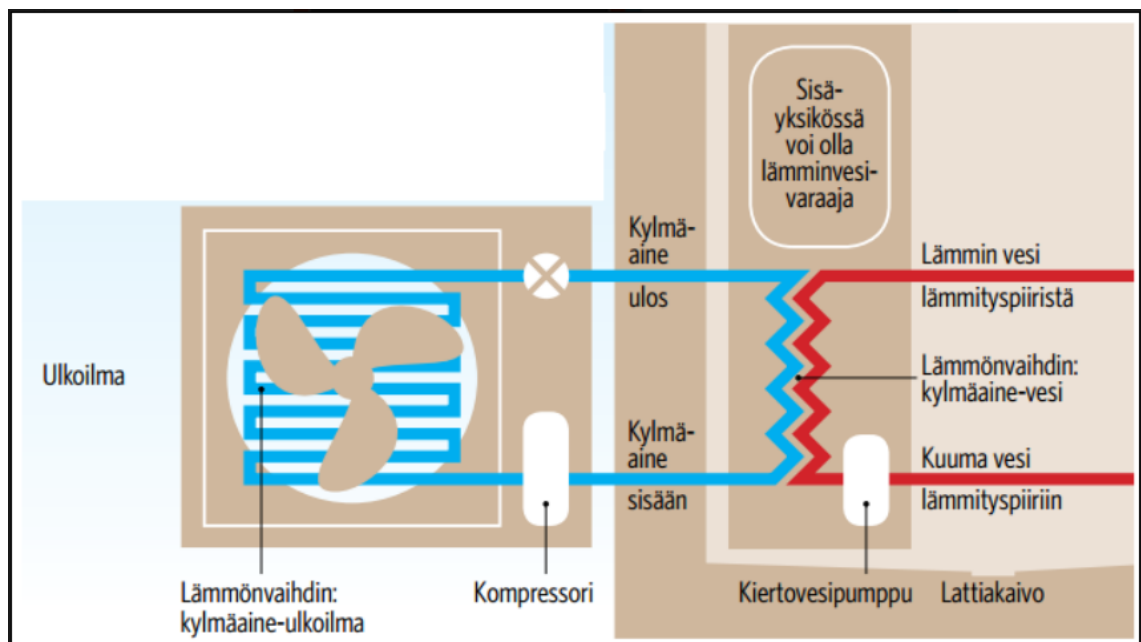
Ilmavesilämpöpumppuja on saatavana monoblock- ja split-laitteina.

Monoblock-laitteessa kaikki tekniikka on ulkoyksikössä ja lämmitysverkoston vesi kiertää ulkona. Etuna on, että laitteisto on yksinkertainen asentaa, koska ulkoyksikköön kytketään vaan vesiputket ja sähköt. Haittapuolena on riski veden jäätymisestä talvella, jonka vuoksi voidaan käyttää sulanapitokaapelia. Lämmitysverkostossa voidaan käyttää myös vesi-glykoliliuosta. [1.]

Split -laitteisto on kaksiosainen ja siinä kompressori, puhallin ja höyrystin ovat ulkoyksikössä ja lauhdutin sisäyksikössä. Kylmäaine siis kiertää ulko- ja sisäyksikön välillä. Etuna on, ettei lämpöpumpun lämmittämä vesi pääse jäätymään.[1.]



Kuva 2. Monoblock-ilmavesilämpöpumppu [9].



Kuva 3. Split-ilmavesilämpöpumppu, erillinen ulko- ja sisäyksikkö [9].

Ulkoyksikössä käytetään lämpöpumpuissa yleensä scroll-kompressoria, koska sen hyötysuhde on hyvä ja se on pitkäikäinen. Sitä pyörittää oikosulkumoottori sähköverkon taajuuden mukaan ja verkon taajuus määrää näin pumpun lämmitystuoton ja kompressorin tuoton. Jotta oikosulkumoottorin käyntinopeutta voidaan säätää, on monesti lämpöpumput nykyään varustettu invertterisäädöllä, joka muuttaa vaihtosähkön taajuutta ja käyntinopeutta portaattomasti. Sillä saadaan lämpöpumppua ohjattua tarpeen mukaan ja turhat pysähdykset jäävät

pois. Lämpöpumpun tehontarvetta ohjataan pääsääntöisesti antureilla lämmöntarpeen mukaan. [1.]

Split-mallien sisäyksiköt sisältävät lämmönsiirtimenä toimivan lauhduttimen, kiertovesipumpun ja lämmityspiirin sähkövastuksen. Sisäyksikössä on myös piirikortti antureiden, kiertovesipumppujen ja muiden ohjauksien liittämistä varten. Pumpun ohjausta varten sisäyksikössä on näyttöpaneeli. [10.]

Ilmavesilämpöpumpun sisäyksikkö voi myös olla jaettu, jolloin kylmäaine- ja lämmönvaihdinosa on eri yksikkönä. Tällöin ohjaus on erillisessä varaajassa, jossa on lisäksi varo- ja täyttöventtiili, sähkövastus, kiertovesipumput, kolmitieventtiili, paisuntasäiliö ja ohjausyksikkö sekä puskurivaraaja. [11.]

2.3 IVLP ja rakennuksen lämmitys

Ilmavesilämpöpumppu soveltuu parhaiten lattialämmitysjärjestelmiin, koska silloin lämpöjohtoverkostossa kiertävän veden lämpötila pystytään pitämään matalana ja samalla pumpun hyötysuhde hyvänä. Laite sopii myös patteriverkoston yhteyteen, mutta monesti joudutaan uusimaan patterijärjestelmää, jotta saadaan lämmitysveden lämpötilaa pumpulle sopivaksi. Lämpöjohtoverkostossa kiertävän veden lisäksi kannattaa pumpulla lämmittää tai esilämmittää myös käyttövesi. [6.]

Ilmavesilämpöpumppua mitoitettaessa on tiedettävä kohteen kulutushuippu, kokonaisenergiatarve ja lämmityspiirin meno- ja paluulämpötilat. Pumppua hankittaessa on otettava huomioon, että jos laitteen teho on liian alhainen kohteeseen, laite käyttää sisäyksikön vastusta lämmittämiseen ja hyötysuhde laskee. Kovilla pakkasilla IVLP voi sammuttaa itsensä, jolloin rinnalla olevan toisen lämmittimen, esimerkiksi vastuksien, on oltava teholtaan yhtä suuria kuin lämmityksen ja käyttöveden tehon kulutus suurimmillaan. [6.]

IVLP:n lämmönvaihtimella lämmitetään yleensä lämpöjohtoverkostossa kiertävä vesi, jolla toteutetaan myös käyttöveden lämmitys. Tavallisin tapa on käyttää kierukallista lämminvesivaraajaa, jolloin ohjataan kolmitieventtiilillä välillä pumpun tuottama lämmitysvesi kiertämään varaajan kierukassa. Käyttövesi tulee

lämmittää sähkövastuksella kerran viikossa 55 asteiseksi legionellariskin poistamiseksi, jos käytetään haaleampaa käyttövetä. [1.]

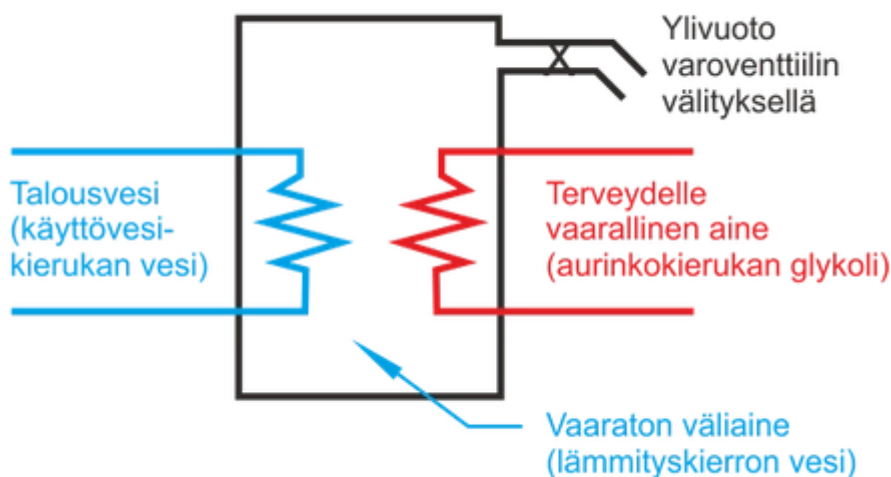
2.3.1 Puskurivaraaja

Puskurivaraajaa eli työsäiliötä käytetään vesikiertoisen patterilämmityksen yhteydessä lisäämään kiertävän veden virtausta sekä tilavuutta ja vähentämään ääniongelmia verkostossa. Puskurivaraaja pidentää myös kompressorin käyntijaksoja ja vähentää näin katkokäyntiä. [12.]

Puskurivaraaja varmistaa riittävän virtaaman ja vesitilavuuden sisäyksikön lauhduttimessa. Puskurivaraaja on käytännössä vaan eristetty vesisäiliö, joka on varustettu yleensä neljällä putkiyhteellä. Käyttötarkoituksesta riippuen varaaja voidaan kytkeä kolmella tavalla. Neljällä putkella kytkettäessä varaajaan kytketään lämpöpumpun meno ja paluu sekä lämmitysverkoston meno ja paluu. Kolmiputkisessa kytkennässä lämmitysverkoston paluu ohjataan suoraan pumpun paluuseen T-haaralla, jolloin paluuvesi ei pääse sekoittumaan varaajassa ja viilentämään menovettä. Sekoittumista ei pääse tapahtumaan, jos säiliö kytketään pelkästään pumpun ja patteriverkoston väliin kahdella putkella. Tällöin kuitenkin on mahdollista, että pumppu menee vikatilaan, jos sisältä suljetaan liian monta patteriventtiiliä. Sama mahdollisuus on olemassa, mikäli puskurivaraajaa ei käytetä. Mikäli puskurivaraajaa käytetään, lämmitys vaatii erillisen kiertovesipumpun sisäyksikössä olevan pumpun lisäksi. [13.]

2.3.2 Hybridivaraaja

Lämmin käyttövesi ilmavesilämpöpumpulla voidaan tehdä kierukallisessa lämminvesivaraajassa tai käyttämällä hybridi- eli energiavaraajaa. Hybridivaraajassa voidaan käyttää useampaa kuin yhtä lämmönlähdettä ja varaajaa voidaan lämmittää yhtä aikaa esim. aurinkoenergialla ja lämpöpumpulla. Käyttövesi voi esilämmitä kierukassa, joka ottaa lämmön pumpulla tuotetusta lämmitysvedestä, jota lämmittää myös varaajassa oleva aurinkokierukka. [14.]



Kuva 4. Hybridivaraaja [14].

2.3.3 Magneettinen lianerotin

Käytössä olevaan lämmitysverkostoon muodostuu ajan kuluessa magnetiittia, FE_{304} . Se on kemiallinen yhdiste, joka koostuu raudasta ja hapesta. Sitä syntyy verkostoon, kun vähähappinen vesi, ilma ja rautapitoiset putkistot yhdistyvät. Magnetiittia kerääntyy putkistojen seinämiin ja se aiheuttaa toimintahäiriöitä ja lämmitystehon alenemista. Lämmityspiirissä kiertävän veden epäpuhtaudet lyhentävät ilmavesilämpöpumpun käyttöikä ja varsinkin saneerauskohteissa, missä on patterilämmitys, pitäisi käyttää magneettista lianerotinta epäpuhtauksien poistoon. Se on lianerotin, johon on integroitu magneetti ja osoittautunut tehokkaaksi keinoksi vähentää magnetiittia. [15.]

2.4 Kylmäaineet

Ilmavesilämpöpumpuissa lämpöenergian siirtoon käytetään kylmäaineita, koska niillä lämmönsiirto on tehokasta. Nestemäisen kylmäaineen höyrystyessä se siirtää lämpöä ja kun kaasumainen kylmäaine nesteytyy lauhduttimessa, se luovuttaa lämpöä. Tällä hetkellä ilmavesilämpöpumpuissa käytettävät kylmäaineet ovat tyypiltään joko R32 tai R410A. Molemmat ovat HFC-kylmäaineita eli fluorihiilivetyjä, joita kutsutaan F-kaasuiksi. Ne eivät vahingoita otsonikerrosta, mutta kiihdyttävät kasvihuoneilmiötä. [2.]

R32-kylmäaine on kolme kertaa ympäristöystävällisempää kuin R410A, mutta huonona puolena on sen herkempi syttyvyys. R410A-kylmäaineen käyttökielto astuu voimaan 2025. [16.]

2.4.1 Kylmäaineputkiston tyhjiöinti

Lämpöpumpun kylmäaineputkien asennuksen yhteydessä on tehtävä tyhjiöinti joka tarkoittaa ilman ja sen seoskaasujen sekä kosteuden poistamista kylmälaiteputkistosta. Kylmäainekaasu menee ulkoyksiköltä sisäyksikölle halkaisijaltaan paksummassa putkessa (painepuoli) ja palaa nestemäisenä takaisin ohuemmassa (imupuoli). Näihin putkiin jäänyt vähäinenkin kosteus synnyttää kylmäaineen fluorin kanssa happoa, joka lyhentää kompressorin ja putkien käyttöikää. Tyhjiöinti suoritetaan käyttöön soveltuvalla kaksivaiheisella tyhjiöpumpulla ja tärkeää on jatkaa tyhjiöintiä riittävän kauan, jotta kaikki kosteus saadaan pois putkista. Tyhjiöintiäika riippuu olosuhteista ja riittävän pitkällä ajalla putkiston paine laskee jopa alle 0,4 millibaariin. Mikäli tyhjiöinti tehdään huonosti lämpöpumpun hyötysuhde alenee kompressorin energiankulutuksen lisääntyessä. [1.]

Kylmälaitestandardin EN378 mukaan kylmäainelaitteiden tyhjiöintimenettelylle vaaditaan alle 270 Pa (2.7 mbar) absoluuttisen paineen vakuumitaso. Tyhjiöintipaine pienemmille laitteistoille voi standardin mukaan olla tätäkin matalampi. [32.]

2.5 Lait ja asetukset

Ilmavesilämpöpumput sisältävät voimakkaita kasvihuonekaasuja (F-kaasut), joten niitä saavat käsitellä vaan ammattilaiset, joilla on Turvallisuus- ja kemikaaliviraston (TUKES) myöntämä kylmäalan pätevyys. Kotitalouslaitteissa tämä tarkoittaa yleensä alle 3 kg kylmäainetta sisältäviä laitteita, jotka edellyttävät E3-pätevyyttä. Kylmäaine- ja sähköpätevyysrekisteri löytyy Tukesin sivuilta. Kylmäainepätevyyttä ei edellytetä silloin, kun asennettavat laitteet ovat ilmatiiviisti suljettuja eikä kylmäainepiiriä avata. Ilmavesilämpöpumppuja ei saa myydä, jos asiakas ei voi osoittaa, että käyttää pätevää asennusliikettä. Sähköasennuksista tulee saada tarkastuspöytäkirja ja kylmäasennuksesta asennustodistus. Todistuksen tarkoituksena on osoittaa, että kylmätöiden tehnyt asennusliike

täyttää pätevyysvaatimukset. [17.] Monoblock- laitteen asennuksessa ei tarvita kylmäainelupia, koska laitteeseen yhdistetään lämmityspiirin putket, eikä kylmäainepiiriin tarvitse koskea [20].

Käyttöönottotarkastuspöytäkirja tehdään sähköasennuksista, joilla lämpöpumppu liitetään verkkoon ja se on tehtävä ennen pumpun käyttöönottoa. Silmäääräisen tarkistuksen lisäksi käyttöönottotarkastus sisältää suojajohtimien jatkuvuusmittauksen sekä ylivirta-, oikosulkuvirta ja vikavirtasuojauksen toimivuuden tarkistamisen. Käyttöönottotarkastuksella varmistetaan, että sähkölaitteisto on turvallinen ja se voidaan ottaa käyttöön. [18.]

Ilmavesilämpöpumpun asennuksen yhteydessä tehtävä lämpöjohto- ja käyttövesiputkien kytkeminen ei ole luvanvaraista työtä, koska LVI-asentajilla ei ole pätevyysvaatimuksia [19].

2.6 Sähköliittymä

Kovimmilla pakkasilla IVLP ei pysty tuottamaan lämpöä ja tarvitsee aina rinnalleen kiinteistölle riittävän, rakennusmääräykset täyttävän täysteholle mitoitettun lämmönlähteen. Kun lämmöntarve rakennuksessa on suurimmillaan, pumpun antama lämpöteho on pienimmillään. Yleensä tämä lämmönkehitin on sisäyksikössä oleva sähkövastus, joka toimii kun ulkoyksikkö ei pysty tuottamaan lämpöä ulkoilmasta. Vastuksen tehon tulee olla yhtä suuri kuin lämmityksen ja käyttövesivaraajan tehonkulutus suurimmillaan. [22.]

Kiinteistön lämmityksen huipputehontarve voidaan laskea karkeasti esimerkiksi saneerauskohteessa öljynkulutuksesta tai rakennuskuutiometreihin perustuen [21].

$$\text{Lämmityksen huipputehontarve (kW)} = \frac{\text{Kulutetun polttoöljyn määrä (l/a)}}{250 \text{ l/a kW}}$$

$$\text{Lämm. huipputehontarve (W)} = \text{Rakennuskuutiometrit (m}^3\text{)} \times 20 - 30 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^3}\right)$$

Saneerauskohteessa ilmavesilämpöpumpun asennus voi lisätä lämmityksen tehonkulutusta ja edellyttää näin selvityspyynnön tekemistä verkkoyhtiölle. Lisäksi kiinteistön sähköverkon huipputehon kasvu voi edellyttää liittymän pääsulakkeiden määrittämistä. [22.]

Sähkötietokortti Rakennuksen sähköverkon ja pienjänniteliittymän mitoitus (ST13.31) määrittää kiinteistön sähköverkon huipputehon: ” on hetkellinen, kestoajaltaan määrittelemättömän lyhyenä ajanjaksona tapahtuva huipputapah-tuma, joka ei saisi ylittää sähköliittymän nimellistehoa minään kestoaikana.” Sähkötietokortissa on esitetty kiinteistön huipputehon mitoitus laitetehojen perusteella, joka huomioi asennettujen laitteiden yhtäaikaisen päällä olon: [25.]

$$P_M = (P_{kk} * k1) + (P_{SLK} * k2) + (P_{VAL} * k3)$$

k1= kojekuorman (P_{kk}) samanaikaisuuskerroin

k2= sähkölämpökuorman (P_{SLK}) samanaikaisuuskerroin

k3= valaistuskuorman (P_{VAL}) samanaikaisuuskerroin, valaistuskuorma $9W/m^2$

$$P_{SLK} = P_{LÄM} + P_{ALÄM} + P_{LVV} + P_{KEV}$$

P_{SLK} = sähkölämpökuorma

$P_{LÄM}$ = sähkölämmityksen yhteenlaskettu teho

$P_{ALÄM}$ = autolämmityksen yhteenlaskettu teho

P_{LVV} = lämminvesivaraajan teho

P_{KEV} = kiukaan ei-vuoroteltu teho

$$P_{KK} = 6 kW + 20 \frac{W}{m^2} * A_h$$

A_h = huoneiston pinta-ala (m^2)

6 kW= huoneiston pohjakuormitus

Samanaikaisuuskertoimille ei ole ohjearvoja vaan ne ovat mitoittajan päätettävissä [22].

Kiinteistön huipputehon perusteella määritetään liittymän pääsulakkeiden koko sekä koko muu sähköverkko. Pientaloissa tyypillinen liittymäkoko on 3x25 A, nimellistehona 17,25 kVA. [22.]

Liittymäkoon määrittäminen voidaan tehdä huipputehon avulla yhtälöstä:

$$I_M (A) = \frac{P_M (W)}{\sqrt{3} * U_p (V) * \cos \varphi}$$

Tehokerroin $\cos\varphi = 0,96$

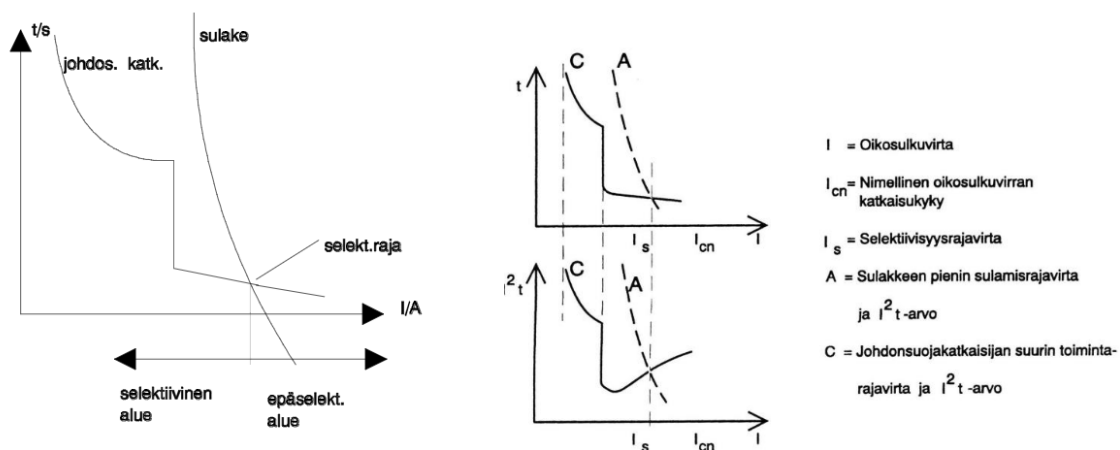
Kaavassa tehokertoimeksi on arvioitu 0,96, koska loistehon määrä on pientalossa vähäinen [25].

Sähköverkkoyhtiö mitoittaa pääsulakkeet ja sähköliittymän liittymiskaapelin asiakkaan ilmoittaman liittymätehon perusteella. Mitoitusta varten tulee selvittää myös pääkeskuksen nimellisvirta. [23.]

Sähköliittymän koon säilyttämiseen on olemassa erilaisia keinoja, koska haastetta aiheuttavat mm. sähköautojen latauksen, kiukaan ja lämmitysvastusten samanaikainen päälläolo. Lämpöpumpuissa voi olla dynaaminen ohjaus, jonka puuttaminen vähentää vastustehoa niin ettei kiinteistön huipputeho ylitä. Kiinteistön kokonais-teho on vaihetehojen summa, joten perusmitoitus tulee tehdä niin, että yksivaiheiset kuormat jaetaan tasaisesti vaiheiden kesken. [22.]

Liittymän pääsulakkeiden valintaan voi vaikuttaa myös lämpöpumpun vaatiman suojauksen, tulppasulakkeen tai johdonsuojakatkaisijan koko. Suojauksen selektiivisyyden tavoitteena on, että laitteen oma suojalaite toimii, eikä näin aiheuta sähkönsyötön katkeamista muualla kiinteistössä. Selektiivisyyttä voidaan tarkastella toiminta-aikakäyrillä ja taulukoilla. Mikäli kiinteistön pääsulakkeet ovat esimerkiksi gG 3x25A ja lämpöpumppu vaatii 3x20A (C-käyrä) johdonsuojakatkaisijan, täysi selektiivisyys saavutetaan vasta 3x63A pääsulakkeilla. [22.] Aikaselektiivisyyttä tarkasteltaessa tavoitteena on että kuorman puoleinen

suojalaite toimii ennen syötön puoleista suojalaitetta kaikilla ylivirroilla. Tällöin suojalaitteiden toiminta-aikakäyrät eivät leikkaa. Suojalaitteiden virtaselektiivisyyden tavoite on, että kuorman puoleinen suojalaite toimii oikosulkuvirralla, mihin syötön puoleinen ei reagoi. [24.]



Kuva 5. Tulppasulakkeen ja johdonsuojakatkaisijan keskinäisen selektiivisyyden tarkistelu. Sulake ennen johdonsuojaa. [26.]

2.6.1 Sähkönsyöttö

Sähköasennusten vaatimukset on esitetty sähköturvallisuuslaissa

16.12.2016/1135. Sen mukaan sähkölaitteet ja -laitteistot on suunniteltava, rakennettava, valmistettava ja korjattava niin, että;

- 1) niistä ei aiheudu kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle vaaraa;
- 2) niistä ei sähköisesti tai sähkömagneettisesti aiheudu kohtuutonta häiriötä;
- 3) niiden toiminta ei häiriinny helposti sähköisesti tai sähkömagneettisesti.

Ilmavesilämpöpumpun sähkönsyötön määrittäminen alkaa kartoittamalla lämmityslaitteiston huipputehon tarve ja sähköliittymän riittävyys laitteistolle. Sähköpääkeskukselta tarvitaan nousujohto ryhmäkeskukselle, joka syöttää lämpöpumppulaitteistoa. Keskuksella on mitoitettava niin ettei niiden nimellisvirta ylitä. Pääkeskukselle pitää mitoittaa siis lämpöpumppujärjestelmän syöttökaapelin sulakekoot sekä nousujohto. [22.]

Pienjännitesähköasennusten standardisarja SFS 6000 (4-43:2017) mukaan kaapelia ylikuormitukselta suojaavan suojaavan suojalaitteen ominaisuuksien pitää täyttää seuraavat kaksi ehtoa: [27.]

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$I_2 \leq 1,45 \times I_z$$

missä:

I_b = piirin mitoitusvirta

I_z = johtimen jatkuva kuormitettavuus

I_n = suojalaitteen mitoitusvirta

I_2 = virta, joka varmistaa suojalaitteen toimimisen suojalaitteelle määritetyssä tavanomaisessa ajassa.

Pääkeskuksen ja ilmavesilämpöpumpun syöttävän keskuksen väliin tulevan piirin mitoitusvirran määrittää asennettava laitteisto.

Ilmavesilämpöpumpun asennusohjeissa on määritetty pumpun tarvitsemat syöttöjohdot sekä sulakkeet ja vikavirtasuojaus. Pumpulle tulee tehdä säännösten mukainen sähkönsyöttö asetusten ja valmistajan asennusohjeiden mukaisesti. [18.]

Ilmavesilämpöpumpun ryhmäkeskukselta ulko- ja sisäyksikölle tulee erillinen sähkönsyöttö. Pienempien alle 10 kW ilmavesilämpöpumpujen ulkoyksikön syöttö on yleensä 1-vaiheinen. Sisäyksikössä voi olla kolmivaiheinen syöttö, mikäli käytetään 3-vaihevastusta veden lämmittämiseen. Isommissa pumpuissa myös ulkoyksikössä on kolmivaiheinen syöttö. [18.]

Tyypillisesti valmistajien ohjeet määräävät että ulko- ja sisäyksiköt on voitava erottaa verkosta kytkimillä, joissa on vähintään 3 mm kosketinväli. Molempiin syöttöjohtoihin on asennettava vikavirtasuojakytkin ja johdonsuoja-automaatti. Lisäksi ulko- ja sisäyksikölle menevien kaapeleiden tulee olla polypropeenipäällysteisiä taipuisia monisäikeisiä johtimia. [11.]

3 Rakennuksen energiatehokkuus

3.1 Lainsäädäntö ja energiatehokkuusluokat

Suomessa lainsäädännön tavoitteena on vähentää rakennusten käyttämää energiaa ja samalla lisätä uusiutuvan energian käyttöä. Energiatehokkaassa rakennuksessa on näin pienempi energiankulutus ja vähemmän hiilidioksidipäästöjä. [28.]

Ympäristöministeriön asetuksessa rakennuksen energiatodistuksesta säädetään laskennallisen energiatehokkuusluvun (E-luku) määrittämisestä. Eri rakennusten energiatehokkuutta voi vertailla energiatodistukseen merkityn energiatehokkuusluokan avulla. [28.]

Maaliskuussa 2023 EU-parlamentti hyväksyi ehdotuksen rakennusten energiatehokkuusdirektiivin (2010/31/EU) muuttamisesta niin, että rakennusten energiankulutus ja kasvihuonepäästöt vähenisivät merkittävästi. Energiatehokkuusdirektiivin tavoitteena on vähentää hiilidioksidipäästöjä parantamalla rakennusten energiatehokkuutta. Euroopan Unionin rakennuksista 75 prosenttia on edelleen energiatehottomia ja aiheuttavat kasvihuonepäästöjä. Direktiivi tähtää lämmitykseen käytettävien fossiilisten polttoaineiden, kuten maakaasun, öljyn ja hiilen korvaamiseen uusiutuvalla energialla. Muutos asettaa vaatimuksia energiatehokkuusluokkiin sekä uusille että vanhoille asuinrakennuksille ja julkisille rakennuksille. [29.]

Olemassa olevien asuinrakennusten energiatehokkuusluokat ovat A – G. Direktiivi vaatii, että vuoden 2027 alussa asuinrakennusten energiatehokkuudet ovat vähintään luokassa E ja 2030 vähintään luokassa D. [29.]

$50 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 150 \text{ m}^2$, A_{netto} on rakennuksen lämmitetty nettoala

Energiatehokkuusluokka	E-luku (kWh _E /(m ² vuosi))
A	E-luku $\leq 110 - 0,2 \times A_{\text{netto}}$
B	$110 - 0,2 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku} \leq 215 - 0,6 \times A_{\text{netto}}$
C	$215 - 0,6 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku} \leq 252 - 0,6 \times A_{\text{netto}}$
D	$252 - 0,6 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku} \leq 332 - 0,6 \times A_{\text{netto}}$
E	$332 - 0,6 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku} \leq 462 - 0,6 \times A_{\text{netto}}$
F	$462 - 0,6 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku} \leq 532 - 0,6 \times A_{\text{netto}}$
G	$532 - 0,6 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku}$

Kuva 6. Pienten asuinrakennusten energialuokat [30].

3.2 Energiatehokkuuden parantaminen ilmavesilämpöpumpulla

Rakennuksen energiatehokkuuden vertailuluvulla (E-luku; kWh_E/(m²vuosi)) ilmaistaan ostoenergian määrä lämmitettyä neliometriä kohti vuodessa. Laskennassa käytetään energiamuotojen kertoimia, joilla painotetaan energiankulutusta. Esimerkiksi lämmitettäessä sähköllä tämä kerroin on 1,2 ja fossiilisilla polttoaineilla (öljylämmitys) 1,0. Rakennuksen ympäristöstä auringosta, tuulesta, maasta ilmasta tai vedestä tuotetulla sähkö- tai lämpöenergialla ei ole kertoimia, koska se pienentää ostoenergiantarvetta. [30.]

Lämmitettäessä ilmavesilämpöpumpulla energiatehokkuuden kannalta keskeinen asia on SFP – luku, joka tarkoittaa lämpöpumpun vuoden keskimääräistä lämpökerrointa. E-luvun laskentaa varten tarvitaan SFP-luku sekä tilojen lämmitykselle, että käyttöveden valmistukseen. [30.]

$$SFP_{\text{tilat}} = \frac{\text{Lämpöpumpun tuottama tilojen lämmitysenergia, kWh}}{\text{lämpöpumpun vuotuinen sähkönkulutus tilojen lämmityksessä, kWh} + \text{apulaitteiden sähkönkulutus, kWh}}$$

$$SFP_{\text{lkv}} = \frac{\text{Lämpöpumpun tuottama käyttöveden lämmitysenergia, kWh}}{\text{lämpöpumpun vuotuinen sähkönkulutus LKV lämmityksessä, kWh} + \text{apulaitteiden sähkönkulutus, kWh}}$$

Ympäristöministeriön asetuksesta rakennuksen energiatehokkuudesta löytyvät ohjeet E-luvun laskemiselle ja asetuksen liitteistä myös laskennassa tarvittavia arvoja, kuten eri ikäisten rakennusten ilmanvuotoluvut, rakenteiden

lämmönläpäisykertoimet sekä muun maassa ilmavesilämpöpuille arvioitut SFP-luvut. [30.]

Taulukko 12. Ulkoilmalämpöpumppujen SPF-lukuja.

Menoveden korkein lämpötila, °C	SPF-luku
Ilma-ilma	2,8
<i>Ilma-vesi (tilojen lämmitys)</i>	
30 °C	2,8
40 °C	2,5
50 °C	2,3
60 °C	2,2
<i>Ilma-vesi (käyttöveden lämmitys)</i>	
60 °C	1,8

Kuva 7. Lämpöpumpun vuoden keskimääräinen lämpökerroin [30].

Opinnäytetyössä lämmitysjärjestelmä vaihdettiin öljylämmityksestä ilmavesilämpöpumppuun. Arvioitaessa energiatehokkuuden paranemista rakennuksessa käytettiin Puuinfon E-lukulaskuria. Ennen lämmitysjärjestelmän modernisointia rakennuksen energialuokka oli E ja muutoksen jälkeen D eli jo energiamuodon vaihdolla päästiin direktiivin 2030 vaatimaan energiatehokkuusluokkaan. [31.]

4 Ilmavesilämpöpumpun asennus

4.1 Laitteiston hankinta

Työ aloitettiin kartoittamalla eri vaihtoehtoja ja kysymällä tarjouksia lämpöpumpuja asentavilta yrityksiltä. Ilmavesilämpöpumpun tehon tarve määräytyy lähinnä neliöiden mukaan, mutta myös säävyöhyke, lämmönjakotapa ja rakennuksen eristys vaikuttavat tehontarpeeseen. Saneerauskohteessa on hyvä tietää patteriverkoston menoveden lämpötila, jotta voidaan määrittää pystyykö laite tuottamaan riittävän lämpöistä vettä ilman vastuskuormaa. Tarjouskierroksen päätteeksi todettiin, että paikalliset putkiliikkeet tarjosivat kaikki saman merkkistä pumppua. Koska kohteena oli 80 neliön lämmönjakona pattereita käyttävä rakennus, joka ei tarvitse isoa pumppua, päädyttiin yksivaiheiseen 7 kW split-laitteistoon erillisellä 50 l lämmitysverkoston puskurivaraajalla ja 200 l käyttövesivaraajalla. Kuvia asennuksesta on liitteessä 1.

4.2 Ulkoyksikön asennus

Ilmavesilämpöpumpun ulkoyksikön sijoitus kannattaa tehdä avaraan paikkaan, jotta ilma pääsee kiertämään ympärillä vapaasti. Pumpun äänitaso voi olla 60 dB, joten sitä ei kannata laittaa makuuhuoneen läheisyyteen. Lisäksi pumpun ja sisäyksikön välisien kylmäaineputkien tulee olla alle 10 m pituisia ja putkien vähimmäispituus on 3 m. Pidemmät putket laskevat hyötysuhdetta ja lyhemmät putket voivat ääntää häiritsevästi. [10.] Huomioon pitää ottaa myös ulkoyksikön päästämä kondenssivesi, jota voi syntyä jopa 50 litraa päivässä [11]. Ulkoyksikkö asennettiin ulkovaraston seinän viereen maajalustalle ja väliin laitettiin värinänvaimennuskumit, jotka vähentävät värinää ja resonanssiääniä. Ulkoyksikkö olisi mahdollista asentaa myös seinätelineelle. Kondenssiveden vuoksi paikalta kaivettiin maata noin puoli metriä ja täytettiin singelisepelillä (salaojatoralla), josta vesi johdetaan imeytyskentälle. Jos veden johtaminen viemäriin on mahdollista, olisi se parempi vaihtoehto, mutta vaatii usein sulanapitokaapelin. Maatelineen alle laitettiin 2 kpl 60x60cm betonilaattoja, jotta ulkoyksikkö pysyy suorassa. Tässä vaiheessa tehtiin myös reikä seinään johtojen ja kylmäaineputkien

läpivientiä varten. Reikä tehtiin hieman vinoon ja siihen laitettiin pätkä 75 mm viemäriputkea. Ulkoyksikköön asennettiin myös pohjavastus, jottei kondenssivesi pääse jäätymään ulkoyksikön pohjaan.

4.3 Sisäyksikön asennus

Sisäyksikkö oli seinälle asennettavaa mallia ja valmistajan asennusohjeet määrittivät tilantarpeet yksikön ympärillä. Huomioon on otettava myös huollon tarve, joten sisäyksikön etulevy on oltava avattavissa tarvittaessa. Sisäyksikön putkilähtöjen ympärille pitää varata tilaa asennusta varten.

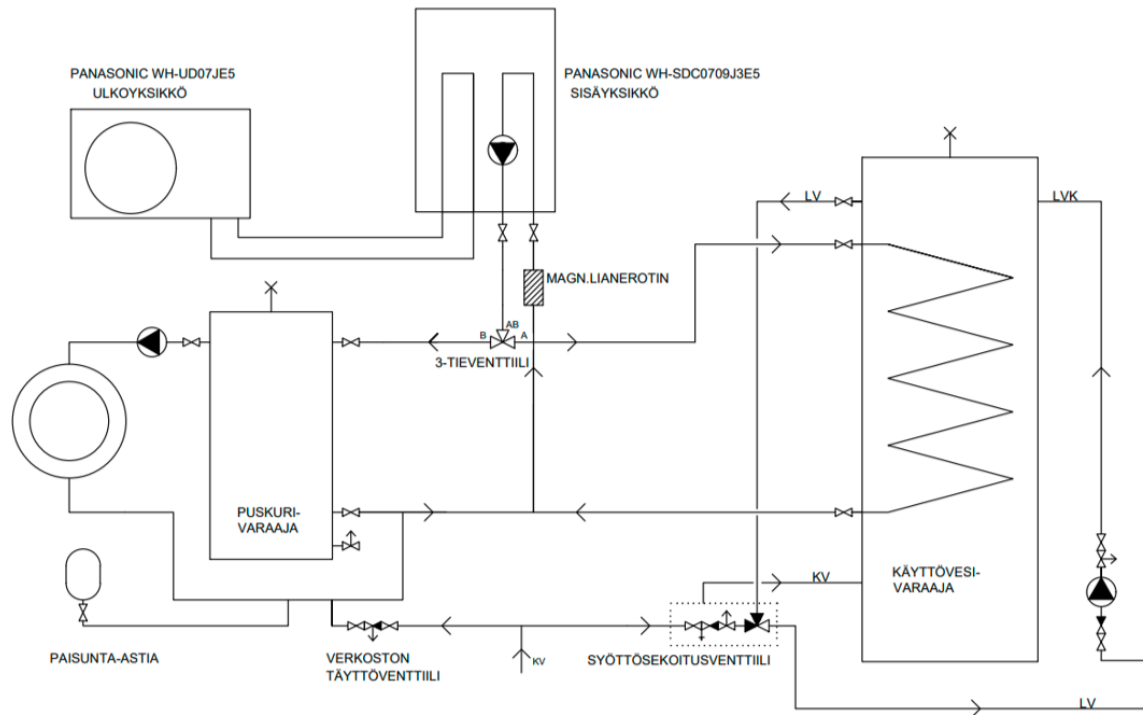
4.4 Käyttövesi- ja puskurivaraajan sijoitus

Käyttövesivaraaja sijoitettiin niin, että putkiyhteet on asennettavissa ilman ylimääräisiä mutkia ja tulevat putket saadaan tuettua. Tässä vaiheessa otettiin huomioon myös syöttösekoitusventtiilin paikka ja asento.

Puskurivaraaja asennettiin lämmitysverkoston menopuolelle kiinni seinään käyttövesivaraajan päälle, jolloin se säästi tilaa merkittävästi.

4.5 Lämmityspotkiston teko

Lämmityspotkiston tekoa ennen katsottiin tarpeelliseksi piirtää kytkentäkaavio (kuva 8), jossa on määritetty tarvittavat komponentit ja niiden paikat. Sisäyksikön ja varaajien väliset putket päätettiin tehdä 28 mm kupariputkilla ja Geberit Mapress -puristusliitososilla. Osat puristetaan akkukäyttöisellä puristustyökälulla, jossa on putken koon mukaan vaihdettavat leuat. Leukoja on eri tyyppisiä eri sarjan puristeosille ja Mapress -tuotteet puristetaan M-tyypin leuoilla. Esimerkiksi yleiset Viega -puristeosat puristetaan V-tyypin leuoilla. Mapress puristeliitososissa on valkea puristusindikaattori, joka irtoaa osasta onnistuneen puristamisen merkiksi.



Kuva 8. Ilmavesilämmitysjärjestelmän kytkentäkaavio.

Kuten kytkentäkaaviosta ilmenee, puskurivaraajan kytkentä päätettiin tehdä kolmitieputkisena, jottei lämmitysverkoston paluuväsi sekoitu menoveteen eikä termostaattien sulkeminen vaikuta lämmityskierto. Magneettinen lianerotin asennettiin sen kyljessä olevan virtaussuuntanuolen mukaisesti paluuputkistoon ennen pumppua. Lämminvesivaraajalle menevä kylmä vesi johdettiin syöttösekoitusventtiiliin kautta käyttövesivaraajaan ja lämmin vesi varaajasta saman venttiilin kautta käyttövesiverkkoon. Venttiilistä voidaan säätää lämpimän käyttöveden lämpötila-alue ja se sisältää tarvittavat varolaitteet. Lämpöjohtoverkoston täyttöventtiili ja paisunta-astia uusittiin putkien asentamisen yhteydessä. Varaajien ja pumpun putkiyhteet varustettiin palloventtiilein järjestelmän huoltojen helpottamiseksi.

Kolmitieventtiili ohjaa pumpun lämmittämän veden tarpeen mukaan kääntämällä suuntaa lämmityksestä käyttövesivaraajalle. Tällöin lämmitysverkosto saa lämmön puskurivaraajasta kun se on kytketty lämmityksen menopuolelle. Kolmitieventtiilissä olevat merkinnät osoittivat kytkennän, AB on tulo pumpulta, B lähtö puskurivaraajaan/lämpöjohtoverkoston ja A lähtö käyttövesivaraajalle. Puskurivaraajan jälkeen lämmitykseen menevään putkeen asennettiin

kiertovesipumppu, lisäksi pumppu tuli myös lämpimän käyttöveden kiertoon. Kun varaajien ja pumpun väliset putket oli puristettu valmiiksi, putket liitettiin pussrusliittimillä lämpökanaalissa taloon meneviin PEX-putkiin. Lopuksi putket eristettiin tarkoituksenmukaisilla putkieristeillä.

4.6 Sähkönsyöttö

Ilmavesilämpöpumpun ulko- ja sisäyksikön sähkönsyöttöä varten katkaisijoilta vedettiin 2x MMJ3x2.5 mm moduulikotelolle, johon oli asennettu molempia syöttöjä varten yksivaiheiset johdonsuojat sekä vikavirtasuojakytkimet. Kotelolta sisäyksikölle asennettiin asennusohjeen vaatimukset täyttävät taipuisat monisäikeiset kumikaapelit H07RN-F 3x2.5 mm molempien yksiköiden syötöiksi. Johdot kytkettiin sisäyksikön piirikorttiin, josta ulkoyksikön syötöksi vedettiin H07Rn- F5x2,5 mm kumikaapeli. Piirikorttiin kytkettiin lisäksi kolmitieventtiin toimilaitteen ohjausta varten kolmijohtiminen kaapeli sekä lämpöjohtoverkoston pumpun syöttökaapeli. Pumppu tarvitsi myös ohjausta varten tiedon käyttövesivaraajalta, johon asennettiin lämpötila-anturi, jonka tieto välitettiin johdolla piirikortille. Ulkoyksikössä itsessään on ulkoilman lämpötila-anturi ja sisäyksikössä lämpöjohtoverkon lämpöanturi, joten niitä ei tarvitse välttämättä kytkeä vaikka piirikortti mahdollistaisi senkin.

4.7 Kylmäaineputkiston asennus ja tyhjiöinti

Kylmäaineputkiksi ulko- ja sisäyksikön välille asennettiin 5/8" kupariputki painepuolelle ja 1/4" kupariputki imupuolelle. Putkia varten tarvittiin taivutusavustajasetti ja taivutusjousi, jotka estävät putkia menemästä lyttyyn. Varsinkin 5/8" putkea ei voi taivuttaa kovin jyrkälle mutkalle, joten se tarvitsee riittävästi tilaa ympärilleen. Kylmäaineputkien pituuden tulee olla yli 3 m, koska lyhemmistä putkista kantautuu virtausääniä. Putkia tyhjiöitiin niin kauan, kunnes saavutettiin tarvittava tyhjiöintipaine. Loppupaine oli alle 200 Pa ja tätä painetta ylläpidettiin tyhjiöimun aikana vähintään 20 minuuttia. Tämän jälkeen voitiin ilmavesilämpöpumppu koekäyttää.

5 Ilmavesilämpöpumpun käyttöönotto

Lämmitysmuodon vaihtamisprojektin tuloksena syntyi toimiva ulkoilmasta lämmön ottava ja sen veteen siirtävä lämpöpumppulämmitys. Käyttöönoton yhteydessä lämmitysputkista oli poistettava ilma sisäyksikön ilmausventtiilin kautta. Ensimmäisenä huomiona oli käyttövesivaraajan ilmakellon vuoto, jonka seurauksena vaihdettiin syöttösekoitusventtiilin 10 baarin varoventtiili uuteen. Uusi venttiili päästi jonkin verran vettä alleen, jonka vuoksi kysyttiin vesilaitokselta verkoston painetta liittymäkohdassa. D1 Suomen rakennusmääräyskokoelman mukaan, jos kiinteistön vesilaitteistoille käytettävissä oleva paine on yli 500 kPa, käytetään paineenalennusventtiiliä. Koska liittymäkohdalla paine oli vesilaitokselta saadun tiedon mukaan yli 600 kPa niin asennettiin vakiopaineventtiili vesimittarin jälkeisen takaisku/sulkuventtiilin perään, joka korjasi tilanteen. Käyttöveden virtaus oli siis lisääntynyt saneerauksen yhteydessä, koska uusittiin kaikki vanhat putkiosat.

Ensimmäisen puolen vuoden käyttökokemuksen perusteella lämmitysmuodon muutos on onnistunut. Lämpöpumpun vuorokautinen COP on pysynyt talvella 1.8 – 3 välillä ja sisälämpötila on ollut tasainen ja riittävällä tasolla. Huoltoa on vaatinut ainoastaan lianerotin, joka on puhdistettu pariin otteeseen. Vaikka lämpöpumppu on osoittautunut varmatoimiseksi, olisi järkevää hankkia lisäpiirikortti sisäyksikköön, että saadaan kännykkään tieto mahdollisista häiriöistä sekä voidaan säätää pumpun toimintaa sovelluksesta kotoa poissa ollessa. Jatkossa on järkevää myös siirtää nyt pannuhuoneessa oleva käyttöliittymä talon sisälle ja ohjata lämmitystä suoraan huonelämpötilan perusteella. Verrattuna vanhaan öljylämmitykseen ilmavesilämpöpumppu on toimintavarma, sisälämpötila tasaisempi ja lämmityskustannuksetkin ovat matalammat.

6 Pohdinta

Opinnäytetyön aihe valikoitui kiinnostuksesta ilmajavesilämmitystä kohtaan ja tarpeesta vaihtaa lämmitysmuotoa. Työ sisälsi monia eri työvaiheita käytännön töistä suunnitteluun ja tiedon etsimiseen. Opintojen aikana olen miettinyt, että haluaisin oppia talotekniikkaa myös käytännön kautta, joka työssä toteutuikin. Lämmitysjärjestelmän muuttaminen oli työnä monipuolinen ja saatua oppia pysyy hyvin hyödyntämään tulevaisuudessa. Työ onnistui mielestäni hyvin ja tavoitteet saavutettiin, vaikka tiedon löytäminen aiheesta olikin hankalaa.

Laitteistoja voi vertailla niiden COP-arvojen perusteella, jotka annetaan tietyillä ulkoilman ja tuotetun lämpimän veden arvoilla. Esimerkiksi ulkolämpötilalla +7 astetta annetaan arvot lämpöpumpulla tuotetulle +35 ja + 55 asteiselle vedelle. Vaikka valmistajat ilmoittavat arvot usein eri tavalla, voi arvoista vetää johtopäätöksiä kannattaako pumppua ottaa esimerkiksi patteriverkostotaloon. Opinnäytetyössä asennetun ilmajavesilämpöpumpun vuorokautinen COP laski alimmillaan 1.8:aan ensimmäisen talven kovimmilla pakkasilla, joten sen perusteella pumppu sopii hyvin myös patteritaloon.

Ilmajavesilämpöpumpun mitoitukseen en ottanut työssäni kantaa, koska pumppujen vastusteho on mitoittettava täysteholle ja pumpuissa on eroja laitevalmistajien välillä. Muun maassa lämmönjakotapa, rakennuksen ikä ja säävyöhyke vaikuttavat hyötysuhteeseen ja pumpun valintaan. Projektissa pumppu valittiin, koska siinä on R32 kylmäaine ja sille luvataan hyvä hyötysuhde kylmemmillä keleillä. Pumppu oli edullinen verrattuna valmiisiin paketteihin, missä sisäyksikkö sisältää varaajan ja tarvittavat komponentit, mutta siihen joutui ostamaan enemmän putkitarvikkeita ja se oli työläämpi asentaa.

Asennukseen olisi hyvä varata riittävästi tilaa, koska pieneen tilaan tehtyyn putkistoon tulee enemmän mutkia. Putkiasennuksissa olisi ollut hyvä käyttää yhdistäjiä putkien ja toimilaitteiden välillä, jotta huolto olisi jatkossa ollut helpompaa. Putkiston teko puristusliitososilla on nopeaa ja helppoa, mutta vaatii huolellisuutta. Puristusliitososia on saatavana tukuissa ja verkkokaupoissa.

Sähköasennusten osalta virrankatkaisun osalta täyden selektiivisyyden saavuttaminen lämpöpumpuilla on vaikeaa pääsulakekokoa kasvattamatta. Yksivaiheiset laitteet aiheuttavat verkkoon kuormitusepäsymmetriaa, joten kolmivaiheinen laitteisto jakaisi kuormat vaiheiden kesken tasaisemmin. Samoin sulakekoko pysyisi järkevämpänä. Työssäni käsitellyssä laitteistossa sisäyksikön vastuksen koko on melko vaatimaton, mutta varaus vastustehon kasvattamiseen on olemassa ja käyttövesivaraajassa on erillinen vastus.

Ilmavesilämmitykseen kannattaisi rakentaa varaus hybridikäytölle. Laajennusvara varaaajassa olevilla ylimääräisillä lämmityskierukoilla mahdollistaisi tulevaisuudessa aurinkoenergian käytön lämmityksen tukena. Hybridivaraaja mahdollistaa aurinkokeräimien lisäksi kovimpien pakkasten aikaan vesitakan käytön alentamaan vastuksien aiheuttamaa sähkönkulutusta. Aurinkoenergiaa voi hyödyntää myös paneelien avulla vaikka syöttämällä auringosta saatava sähköenergia suoraan käyttövesivaraajan vastukseen. Vuosihyötysuhdetta radiaattorilämmönjaolla parantaisi lisäksi pattereiden vaihtaminen lattialämmitykseen.

Mikäli ilmavesilämmityksen saa asennettua liittymäkokoa kasvattamatta, tulevaisuudessa ongelmia voi aiheuttaa sähköauton hankinta ja latausaseman asentaminen. Koska lämmityksen aiheuttama sähkön kulutushuippu on kovilla pakkasilla, voi kiinteistön kulutushistoriasta arvioida paljonko kapasiteetista on käytettävissä sähköauton lataukseen. 3 x 25A pääsulakkeilla sähköteho kolmella vaiheella on 17,25 kW, joten tästä vähentämällä kulutushuippu nähdään saadaanko sähköä vielä sähköauton latausta varten. Opinnäytetyöprojektin tapauksessa kulutushistoriasta selvisi, että huippupiikit olivat 9 kW luokkaa pakkasella, kun saunaa lämmitettiin ja -18 asteen pakkasella kulutus jäi 3 kilowattiin. Kapasiteettia riittää siis hyvin ladata myös sähköautoa 3x16A kolmivaihelatauksella, joka antaa noin 11 kW sähkötehon. Kun auton latauksen suorittaa tehovahdin avulla, se rajoittaa latausta muita sähkölaitteita käytettäessä, eikä nosta kuormaa yli 17 kW. Esimerkiksi Tesla Model S:n 100 kWh akkukapasiteetin lataukseen 11 kW teholla menee noin 9 tuntia.

Lähteet

1. Perälä, O., Perälä R. 2013. Lämpöpumput. Suomalainen käsikirja aikamme lämmitysjärjestelmästä.
2. Kaappola, E., Hirvelä, A., Jokela, M., Kianta, J. 2011. Kylmätekniikan perusteet. Opetushallitus.
3. Motiva Oy. 2022. Lämpöä ilmassa.
<https://www.motiva.fi/files/175/Ilmalampopumput.pdf> 1.10.2022.
4. Hakala, P., Kaappola, E. 2013. Kylmälaitoksen suunnittelu. Opetushallitus.
5. Suomen Vesitekniikka Oy. 2022. Näin ilma-vesilämpöpumppu lämmittää kotisi. <https://suomenlampopumppu.fi/ilma-vesilampopumppu> 3.10.2022.
6. Motiva Oy. 2022. Ilmavesilämpöpumppu, IVLP.
https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/ilma-vesilampopumppu_ivlp 13.10.2022.
7. Motiva Oy. 2022. Säättöjen ja käyttötapojen vaikutus energiankulutukseen. https://www.motiva.fi/files/16813/Saatojen_ja_kayttotapojen_vaikutus_energiankulutukseen_-_Asuinkerrostalot.pdf 15.10.2022.
8. Helsingin seudun ympäristöpalvelut. 2022. Öljystä uusiutuviin.
<https://energianeuvonta.fi/oljysta-uusiutuviin/> 20.10.1022.
9. Motiva Oy. 2022. Hanki hallitusti ilmavesilämpöpumppu.
<https://docplayer.fi/1550419-Hanki-hallitusti-ilma-vesilampopumppu.html> 10.10.2022.
10. Panasonic. 2022. Ilma-vesi lämpöpumppu sisäyksikkö WH-SDC0709J3E5. Asennusopas.
11. Kaukora Oy. 2022. Jäsپی tehowatti Air. Asentajan käsikirja.
<https://jaspi.fi/wp-content/uploads/2017/01/Asentajan-kasikirja-TW-AIR-.pdf> 1.09.2022.
12. Bosch lämpötekniikka. 2022. Mitä hyötyä on puskurivaraajasta.
<https://blog.bosch-climate.fi/puskurivaraajan-hyodyt> 2.10.2022.
13. Kensa heat pumps. 2022. Buff up your knowledge of buffer tanks.
<https://www.kensaheatpumps.com/installer/buff-up-your-knowledge-of-buffer-tanks/> 15.10.2022.
14. Huipputuotteet. 2022. Energiavaraajat – Hybridivaraajat.
<https://www.huipputuotteet.fi/energiavaraajat/> 5.10.2022.

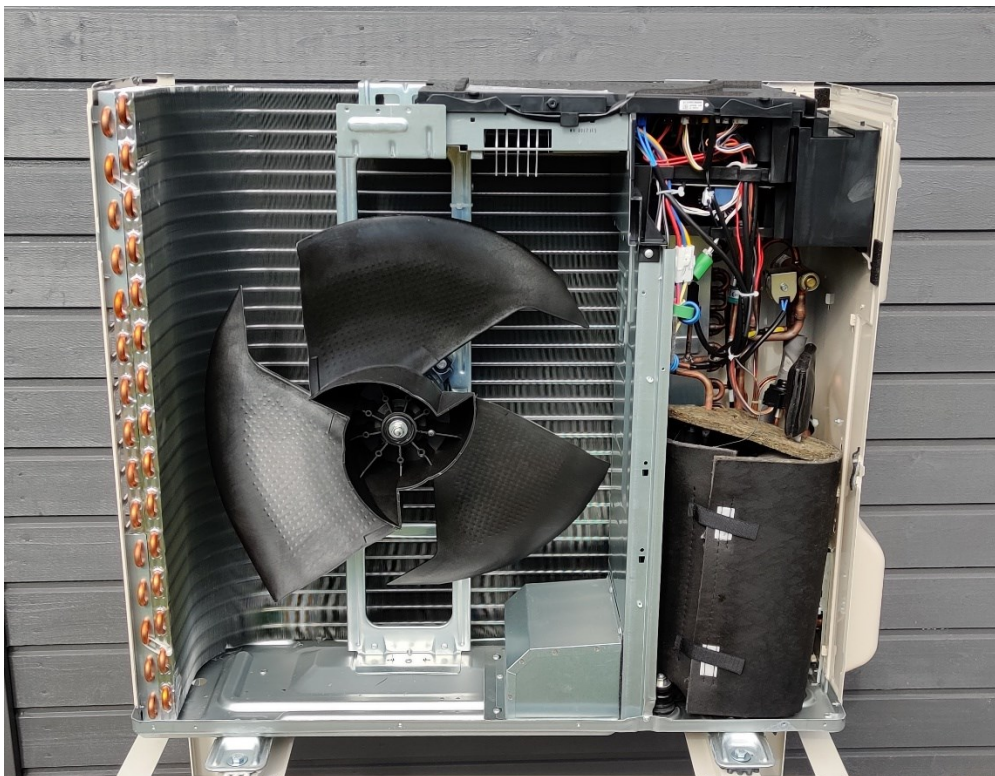
15. KSB Magazine. 2022. Magnetite: Black sludge – every heating system’s enemy. <https://www.ksb.com/en-hu/magazine/optimisation-opportunities/how-can-magnetite-damage-be-prevented> 1.10.2022.
16. Darment Oy. 2022. R32 kylmäaine saavuttaa suosiota. <https://darment.fi/kylmaaine/r32/> 1.10.2022.
17. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. 2022. Hanki ilmalämpöpumppu ja asennus luotettavalta yritykseltä. <https://tukes.fi/-/hanki-ilmalampopumppu-ja-asennus-luotettavalta-yrityksel-1#56069dfc> 15.10.2022.
18. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. 2022. Lämpöpumppujen sähköasennuksissa asennusvirheitä ja oikeudettomia sähkötöitä. <https://tukes.fi/-/lampopumppujen-sahkoasennuksissa-asennusvirheita-ja-oikeudettomia-sahkotoita#8f913ee5> 15.10.2022.
19. LVI- Tekniset urakoitsijat ry. 2022. LVI-asennuksen luvanvaraisuus – ala haluaa asentajille pätevyysvaatimukset. <https://www.lvi-tu.fi/lvi-asennuksen-luvanvaraisuus-ala-haluaa-asentajille-patevyysvaatimukset/> 15.10.2022.
20. Lämmitysenergiayhdistys. 2022. Uusien energiaratkaisujen haasteet. <https://www.ley.fi/wp-content/uploads/2018/05/Monoblock-vs.-Split-ja-yleist%C3%A4.pdf> 21.10.2022
21. Bioenergianeuvoja. 2022. Energian kulutus ja tehon tarve. 30.10.2022.
22. Tampereen yliopisto. 2019. Säte-opas. Opas pientalojen suunnitteluun. https://projects.tuni.fi/uploads/2019/09/4998bf21-sahko-teho_opas_20190910_lopullinen.pdf 30.10.2022
23. Elenia. 2022. Pienjänniteliittymien tekninen ohje. <https://www.elenia.fi/files/e217220a6e4f7c65decbe233d167650f0befea52/pienjanniteliittymien-tekninen-ohje-elenia.pdf> 4.11.2022
24. Digma. 2022. Avoin yhteisöllinen oppimisympäristö. <https://moodle.amk.fi/mod/book/view.php?id=864&chapterid=162> 5.11.2022.
25. Sähkötieto ry. ST-kortti 13.31. 2021. Rakennusten sähköverkon ja pienjänniteliittymän mitoittaminen.
26. Digma. 2023. Ylivirtasuojaus ja selektiivisyys. Opiskelijamateriaali. <https://docplayer.fi/12472439-Ylivirtasuojaus-selektiivisyys.html> 29.4.2023

27. Suomen standardisoimisliitto. 2017. Pienjännitesähköasennusten standardisarja SFS 6000 (4-43:2017)
28. Ympäristöministeriö. 2023. Rakennusten energiatehokkuus. <https://ym.fi/rakennusten-energiatehokkuus> 29.4.2023
29. Euroopan parlamentti. 2023. Rakennusten energiatehokkuus. https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2023-0068_FI.html 29.4.2023
30. Ympäristöministeriö. 2023. Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatodistuksesta, liitteet 1-5. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171048> 29.4.2023
31. Puuinfo. 2023. Työkalu rakennusten energiatehokkuusluokan arviointiin. <https://puuinfo.fi/suunnittelu/mitoitustyokalu/e-lukulaskuri-2-0/> 29.4.23
32. Area. 2023. Johdanto kylmälaitestandardiin EN 378. <https://area-eur.be/sites/default/files/2020-09/AREA%20Introduction%20to%20EN%20378%20-%20FI.pdf> 2.05.23

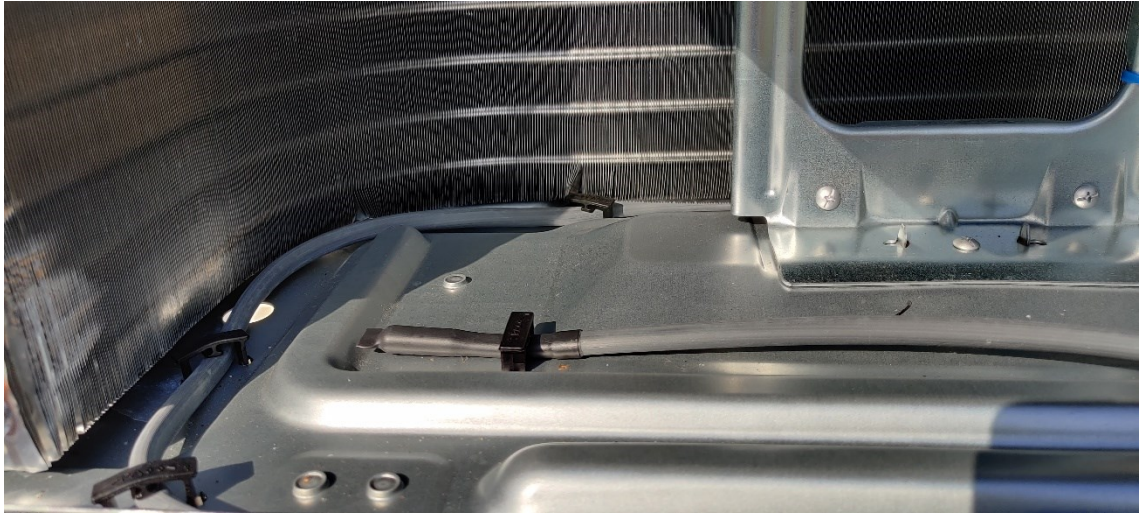
Ilmavesilämpöpumpun asennuskuvia



Kuva 1. Ulkoyksikkö.



Kuva 2. Ulkoyksikön rakenne. Pohjavastus asennettiin etteivät pohjassa olevat reiät jäädy.



Kuva 3. Pohjavastus asennettuna.



Kuva 4. Puristustyökalu. M22 ja M28 -leuat.



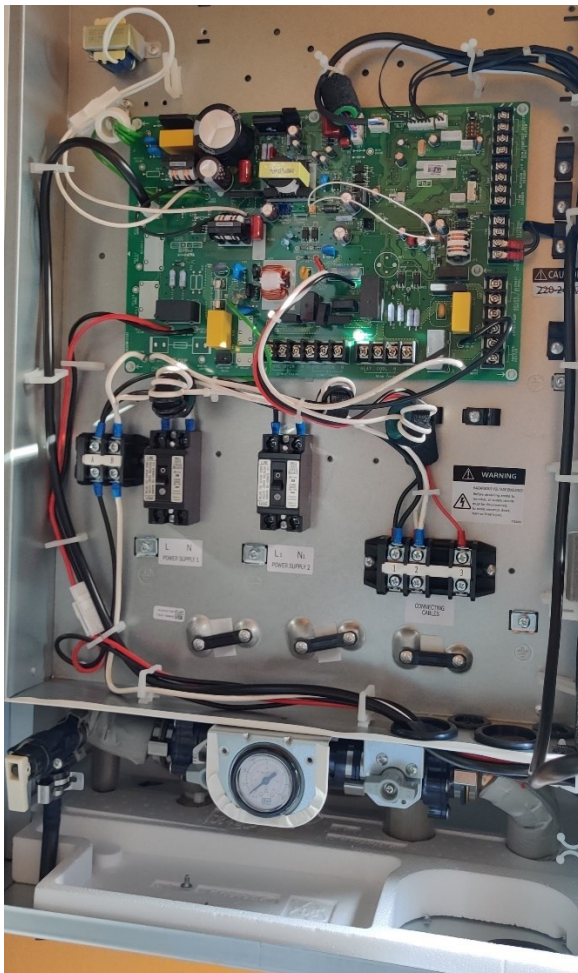
Kuva 5. Geberit -puristusliitososa.



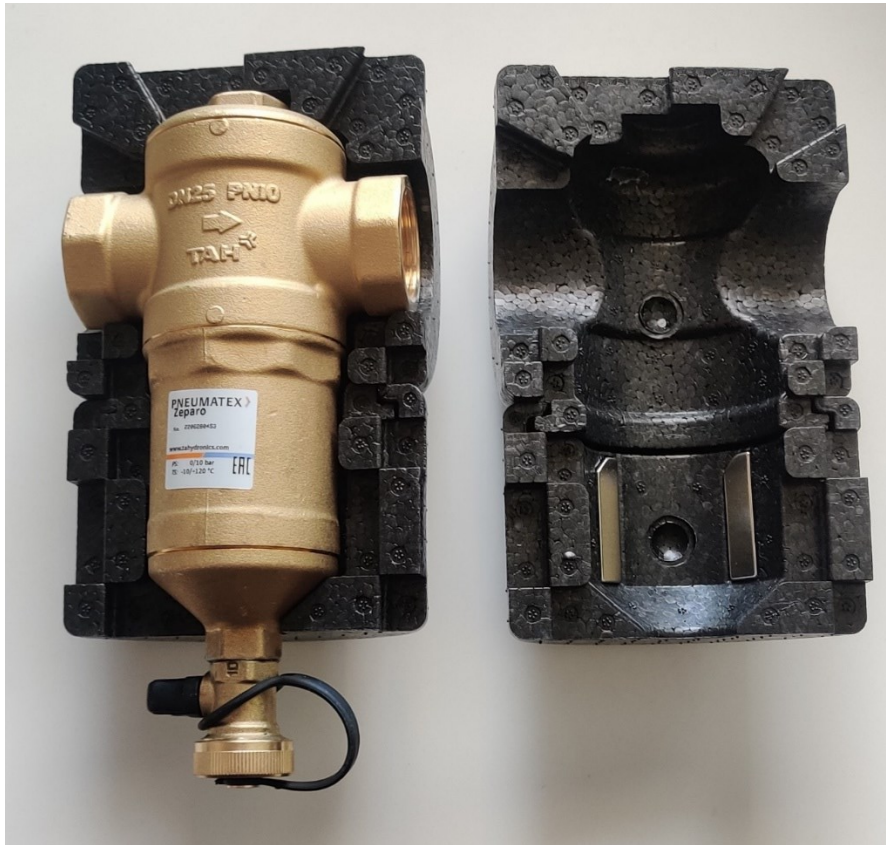
Kuva 6. Käyttövesivaraaja Ambista 200 l asennettuna.



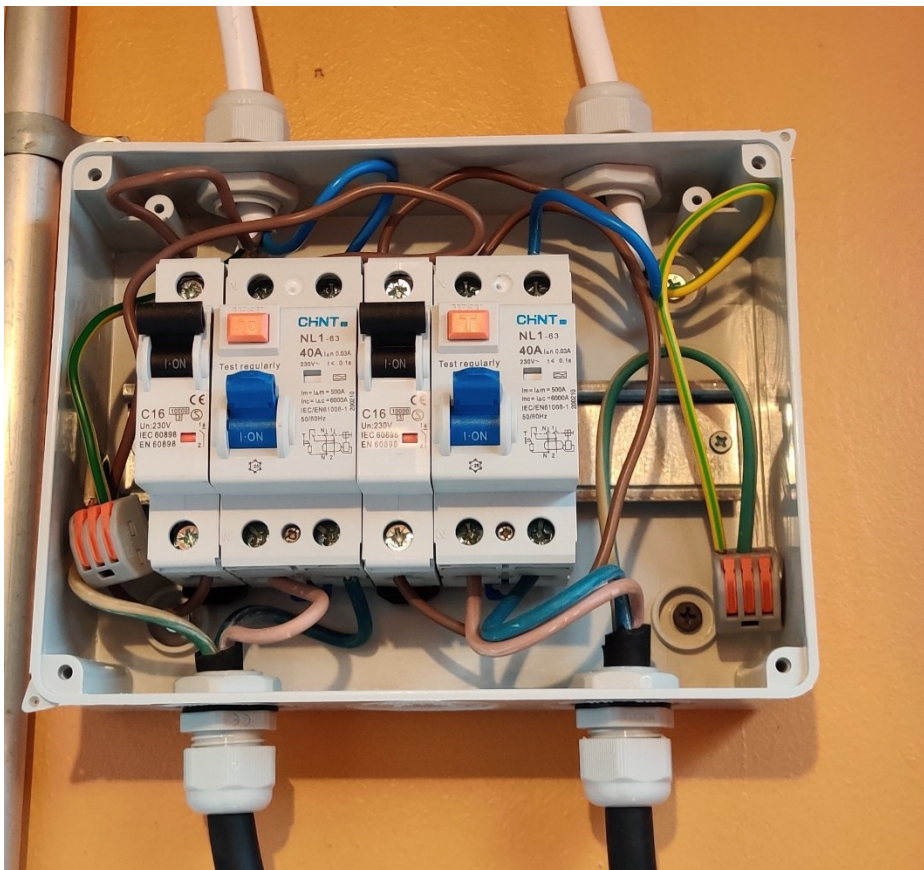
Kuva 7. Patteriverkoston puskurivaraaja 50 l, pumppu ja kolmitieventtiili.



Kuva 8. Sisäyksikön piirikortti johdotuksia varten.



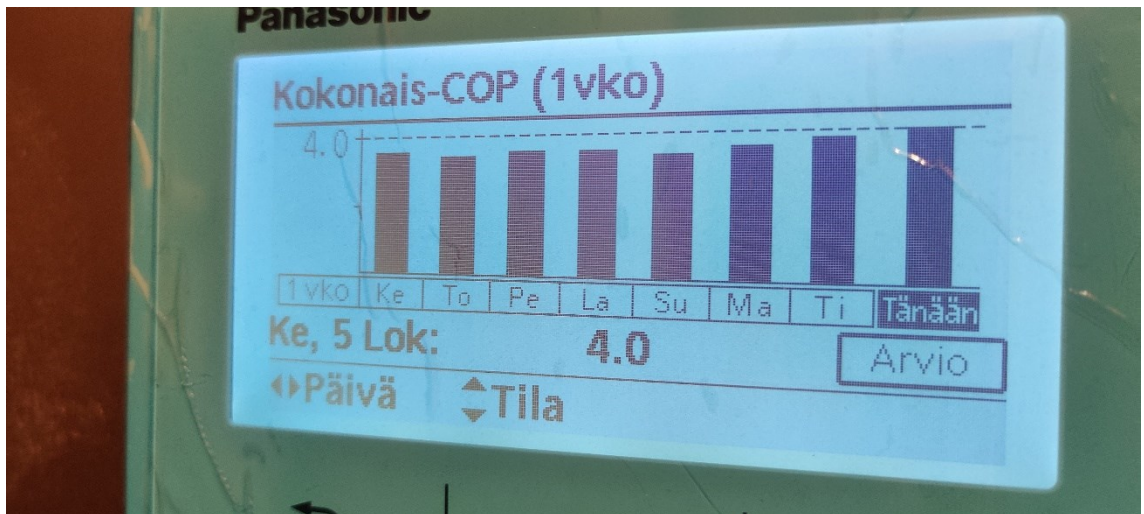
Kuva 9. Magneettinen lianerotin.



Kuva 10. Vikavirta- ja johdonsuojajytkimet.



Kuva 11. Syöttösekoitus- ja verkoston täyttöventtiili.



Kuva 12. Käyttöliittymä sisäyksikössä.



Kuva 13. Ilmavesilämmitys.

Laskut IVLP sähkösuunnittelua varten (ST 13.31)

Pääsulakkeen riittävyyden tarkistus mitoittavan tehon mukaan. Ilmavesilämpöpumpun sisäyksikön vastusteho 3 kW ja käyttövesivaraajan 3kW. Ensin lasetaan kiinteistön peruskuorma:

$$P_{KK} = 6 \text{ kW} + 20 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} * A_h$$

$$\rightarrow 6 \text{ kW} + 20 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} * 80\text{m}^2 = 7.6 \text{ kW}$$

A_h = huoneiston pinta-ala (80m²)

6 kW= huoneiston pohjakuormitus

Kiinteistön sähkölämpökuorma IVLP -laitteiston kanssa:

$$P_{SLK} = P_{LÄM} + P_{ALÄM} + P_{LVV} + P_{KEV}$$

$$\rightarrow 3\text{kW}+1.5\text{kW}+3\text{kW}+6\text{kW}=13.5\text{kW}$$

P_{SLK} = sähkölämpökuorma

$P_{LÄM}$ = sähkölämmityksen yhteenlaskettu teho

$P_{ALÄM}$ = autolämmityksen yhteenlaskettu teho

P_{LVV} = lämminvesivaraajan teho

P_{KEV} = kiukaan ei-vuoroteltu teho

Kiinteistön mitoittava teho (samanaikaisuuskertoimet mitoittajan arvioita):

$$P_M = (P_{kk} * k1) + (P_{SLK} * k2) + (P_{VAL} * k3)$$

$$\rightarrow P_M = (7.6\text{kW} * 0.5) + (13.5\text{kW} * 0.8) + (0.72\text{kW} * 0.5) = 14.96\text{kW}$$

$k1$ = kojekuorman/peruskuorma (P_{KK}) samanaikaisuuskerroin

$k2$ = sähkölämpökuorman (P_{SLK}) samanaikaisuuskerroin

$k_3 =$ valaistuskuorman (P_{VAL}) samanaikaisuuskerroin, valaistuskuorma $9W/m^2$

Koska lämpöpumppua voidaan verrata pakkasella sähkölämmitteiseen taloon niin ST13.31 mukaan voidaan laskea (vertailun vuoksi)

$$P_h = 7.5 + 64 \times A/1000 \rightarrow 7.5 \text{ kW} + 64 \times 80 \text{ m}^2/1000 = 12.62 \text{ kW}$$

$P_h =$ ST13.31 huipputeho, omakotitalo, suora sähkölämmitys, sähkökiuas)

Liittymäkoon määrittäminen voidaan tehdä mitoittavan tehon / huipputehon avulla yhtälöstä:

$$I_M (A) = \frac{P_M (W)}{\sqrt{3} \cdot U_p (V) \cdot \cos \varphi} \rightarrow \frac{14960 \text{ W}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 0.96} = 22.5 \text{ A}$$

$$\cos \varphi = 0,96$$

Pääsulakkeet $3 \times 25 \text{ A}$ riittävät kohteeseen tulevalle ilmajälilämpöpumpulle.

Nousujohto pääkeskukselta ilmajälilaitteistoja syöttävälle keskukselle ja pääkeskukseen tuleva suojalaite. Vaihe L1 kompressorin/ulkoyksikön syöttöön, johdonsoija C-tyyppi 16A (maksimivirta 15.9A), vaihe L2 sisäyksikön syöttöön, johdonsoija C-tyyppi 16A (maksimivirta 13.2A).

$$I_b \leq I_n \leq I_z \rightarrow 15.9 \text{ A} \leq I_n \leq I_z$$

$$I_2 \leq 1,45 \times I_z$$

missä:

$I_b =$ piirin suunniteltu virta

$I_z =$ johtimen jatkuva kuormitettavuus

$I_n =$ suojalaitteen mitoitusvirta

$I_2 =$ virta, joka varmistaa suojalaitteen toimimisen suojalaitteelle määritetyssä tavanomaisessa ajassa.

Johtimen jatkuva kuormitettavuus pääkeskuksen ja ryhmäkeskuksen välillä (SFS 6000-5-52), olemassa oleva johdin PVC3x2.5+2.5, maakaapeli putkessa:

- asennustapa D2 suoraan maassa, asennustapa A2 seinässä:
- D2 kuormitettavuus 28A
- A2 kuormitettavuus 18.5A

$$I_2 \leq 1,45 \times I_z \quad (I_2 = k \times I_n)$$

$$I_n \leq 1,45/k \times I_z = 1,45/1,6 \times 18,5A \rightarrow I_n \leq 16,8A$$

$I_b \leq I_n \leq I_z \rightarrow 15,9A \leq 16A \leq 18,5A \leftarrow$ Sulakkeeksi johdon kuormitettavuuden mukaan käy gG16 -sulake.

Aikaselektiivisyyden tarkastelu etusulake gG16A, johdonsuoja C16A:

$$gG16 \rightarrow 1,25 \times I_n = 20A \text{ (alempi toimintarajavirta)}$$

$$C16A \rightarrow 1,45 \times I_n = 23,2A \text{ (laukaisuvirta)}$$

Jos lähtösulake vaihdetaan gG20A:

$$gG20 \rightarrow 1,25 \times I_n = 25A \text{ (alempi toimintarajavirta)} - \text{Aikaselektiivisyys toteutuu.}$$

Pääsulakkeen ja lähtösulakkeen aikaselektiivisyyden tarkastelu:

$$\text{Pääsulake } gG25A \rightarrow 1,25 \times I_n = 31,25A \text{ (alempi toimintarajavirta)}$$

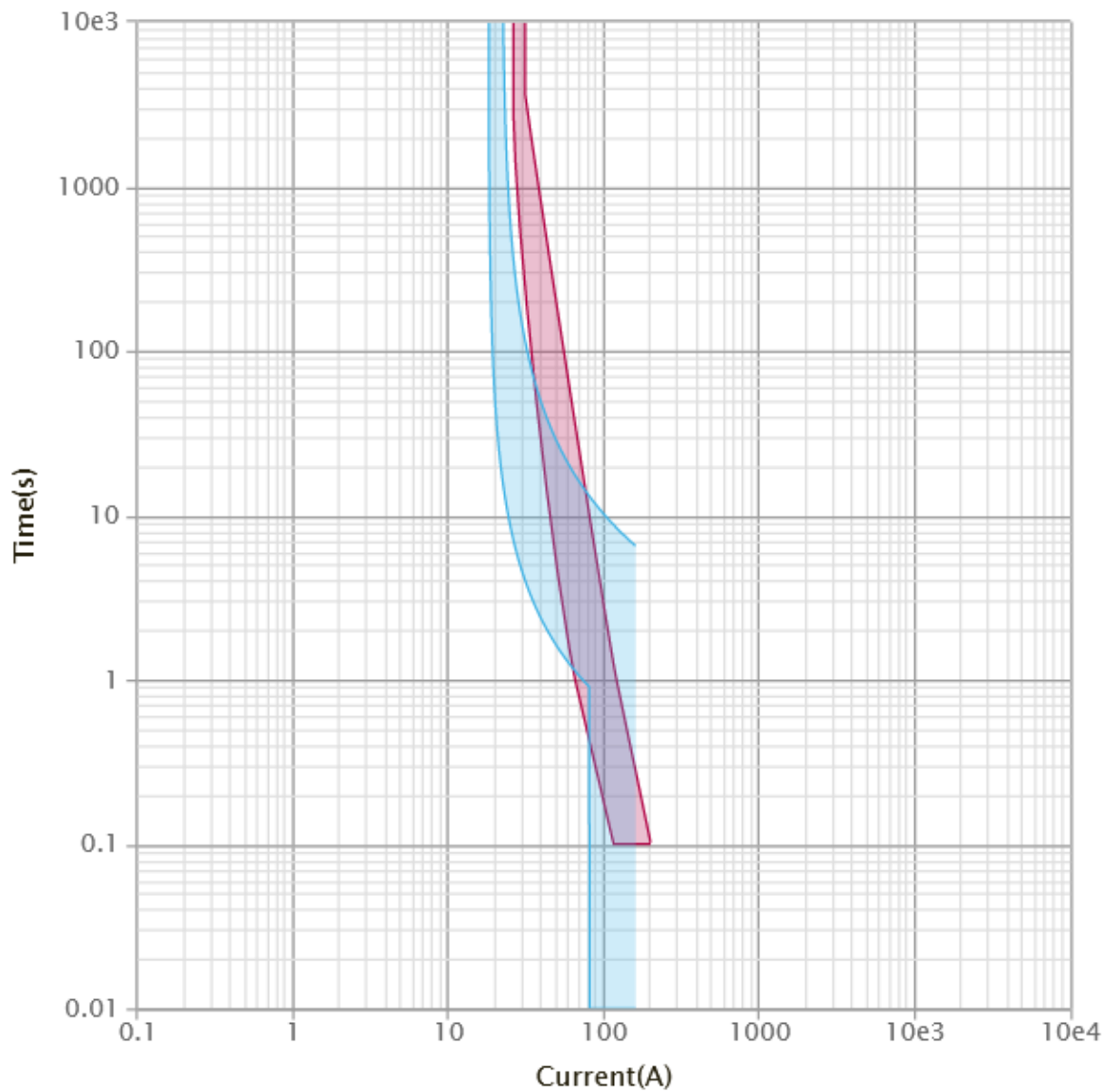
Noususulake gG20A $\rightarrow 1,6 \times I_n = 32A$ (ylempi toimintarajavirta) – Aikaselektiivisyys ei toteudu.

Virtaselektiivisyyden (läpipäästöenergia) tarkastelu I^2t -arvoilla:

$$I^2t_{\min(a)} > I^2t_{\max(b)}$$

$$I^2t_{\min(a)} = \text{etusulakkeen sulamispiste (syötön sulamisenergia)}$$

$$I^2t_{\max(b)} = \text{lähdön toimintapiste (kuorman kokonaisenergia)}$$



Kuva 1. Syötön keskuksella 20A tulppasulake, kuorman puolella C16A – johdon-suoja. Selektiivisyys toteutuu vain osittain. (Schneider electric check discrimination tool)

Selektiivisyyttä voi tarkastella myös mm. Febdok ja ABB doc – ohjelmilla.

Syötön nopean poiskytkennän ehtojen toteutuminen:

Oikosulkuvirta $3 \times 25A \rightarrow 250A$ liittymäkohdassa (k_2).

1. Impedanssi ja oikosulkuvirta pääkeskuksella (k_2):

$$Z_{k1} = \frac{c \times U}{\sqrt{3} \times I_{k1}} = \frac{0,95 \times 400V}{\sqrt{3} \times 250A} = 0,88\Omega$$

$$Z_{k2} = Z_{K1} + 2 \times R_{MCMK25} \times l = 0,88\Omega + 2 \times \frac{0,902\Omega}{\text{km}} \times 0,025\text{km} = 0,92\Omega$$

$$I_{k2} = \frac{c \times U}{\sqrt{3} \times Z_{k2}} = \frac{0,95 \times 400V}{\sqrt{3} \times 0,928\Omega} = 237,8A$$

2. Impedanssi ja oikosulkuvirta IVLP-keskuksella (k_3):

$$Z_{k3} = Z_{K2} + 2 \times R_{MCMK2,5} \times l = 0,92\Omega + 2 \times \frac{8,77\Omega}{\text{km}} \times 0,032\text{km} = 1,48\Omega$$

$$I_{k3} = \frac{c \times U}{\sqrt{3} \times Z_{k3}} = \frac{0,95 \times 400V}{\sqrt{3} \times 1,48\Omega} = 147,8A$$

3. Impedanssi ja oikosulkuvirta IVLP (k_4):

$$Z_{k3} = Z_{K2} + 2 \times R_{MCMK2,5} \times l = 1,48\Omega + 2 \times \frac{8,77\Omega}{\text{km}} \times 0,004\text{km} = 1,55\Omega$$

$$I_{k3} = \frac{c \times U}{\sqrt{3} \times Z_{k3}} = \frac{0,95 \times 400V}{\sqrt{3} \times 1,55\Omega} = 141,5A$$

Oikosulkuvirta 147,8A IVLP-keskuksella. gG16A sulakkeelle riittävä oikosulkuvirta.

Oikosulkuvirta 141,5A IVLP. Johdonsuojakatkaisija C16A tarvitsee 160A oikosulkuvirran.

Johtopäätös: Pääkeskuksen ja IVLP-keskuksen välinen nousujohto vaihdetaan MCMK 4 x 6+6, jotta saadaan poiskytkennän osittainen selektiivisyys toteutumaan ja suurempi oikosulkuvirta IVLP-keskukselle.

4. Impedanssi ja oikosulkuvirta IVLP-keskuksella (k_3):

$$Z_{k3} = Z_{K2} + 2 \times R_{MCMK2,5} \times l = 0,92\Omega + 2 \times \frac{3,660\Omega}{\text{km}} \times 0,032\text{km} = 1,16\Omega$$

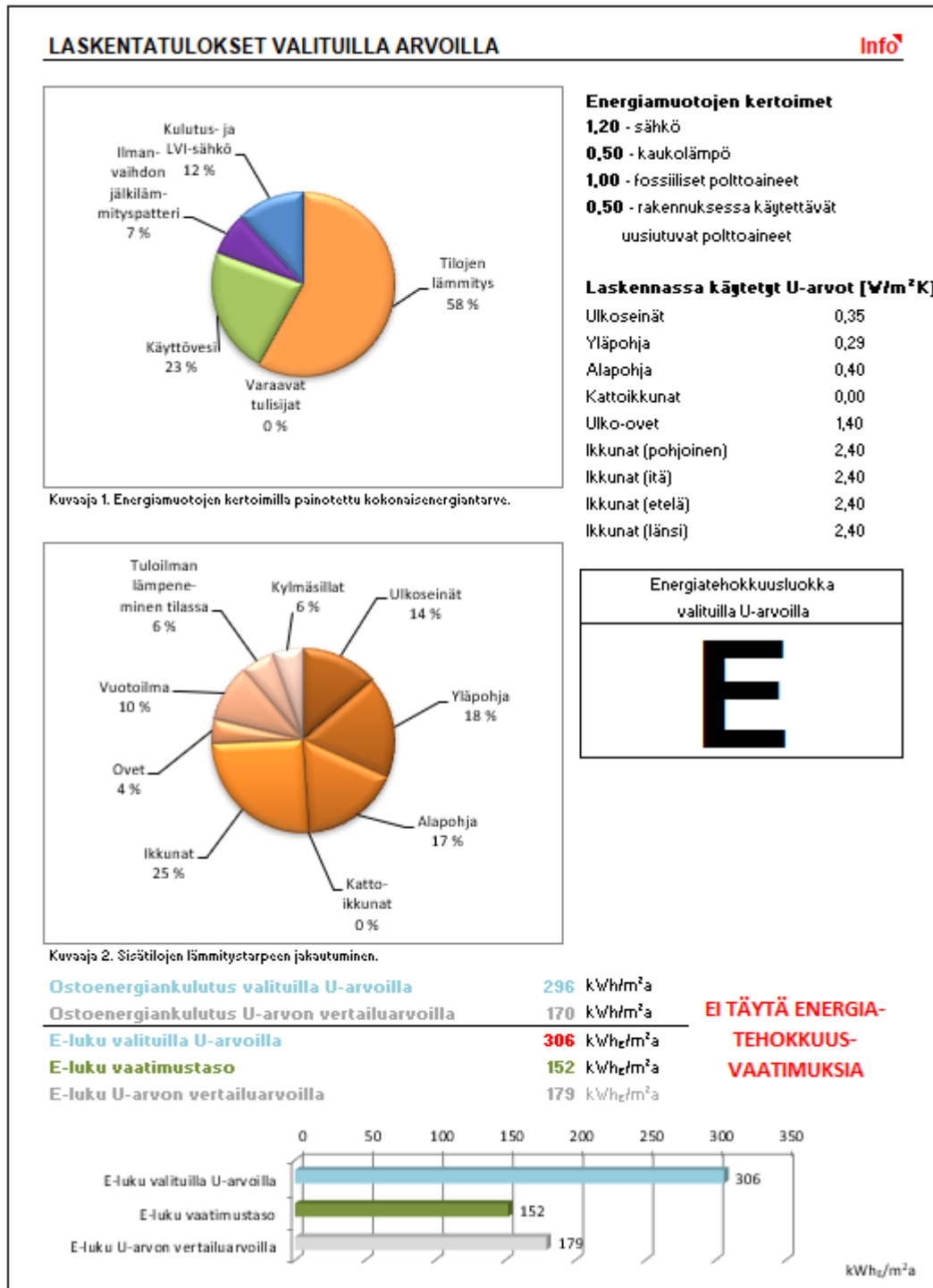
$$I_{k3} = \frac{c \times U}{\sqrt{3} \times Z_{k3}} = \frac{0,95 \times 400V}{\sqrt{3} \times 1,16\Omega} = 191,63A$$

5. Impedanssi ja oikosulkuvirta IVLP (k_4):

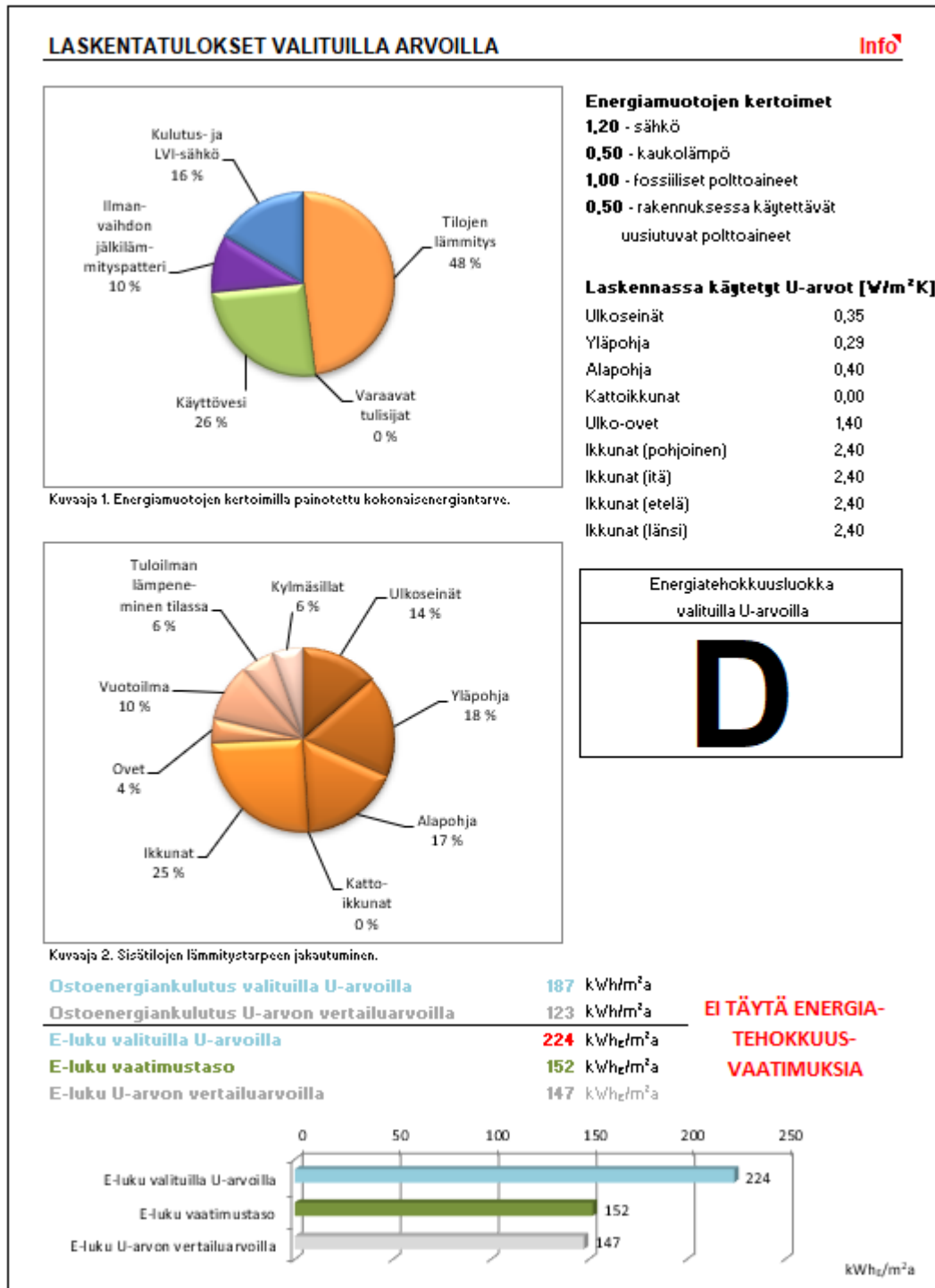
$$Z_{k3} = Z_{K2} + 2 \times R_{MCMK2,5} \times l = 1,16\Omega + 2 \times \frac{8,77\Omega}{\text{km}} \times 0,004\text{km} = 1,23\Omega$$

$$I_{k3} = \frac{c \times U}{\sqrt{3} \times Z_{k3}} = \frac{0,95 \times 400\text{V}}{\sqrt{3} \times 1,55\Omega} = 178,8\text{A}$$

Päätös vaihtaa maakaapeli paksumpaan MCMK 4 x 6+6. Näin saadaan oikosulkuvirta riittämään IVLP:lle 16A C-käyrän johdonsuojakatkaisijalla. (178.8A > 160A) Syötön puoleiselle keskukselle gG20A sulake ja IVLP-ryhmäkeskukselle C16A- johdonsuoja +vikavirtasuoja.



E-luvun arviointilaskelma rakennukselle energiamuotona öljylämmitys ennen lämmitystavan vaihtoa ilma-vesilämpöpumppuun. Uudisrakennusten tulee olla vähintään luokassa C, mutta vanhemmalle asuinrakennukselle ei ole vielä voimassa olevia määräyksiä energiatehokkuutta koskien. [30][31]



E-luvun arviointilaskelma rakennukselle energiamuotona ilmavesilämpöpumppu. Uudisrakennusten tulee olla vähintään luokassa C, mutta vanhemmalle asuinrakennukselle energiatehokkuusluokka D riittää 2030 voimaan tuleviin vaatimuksiin. [30][31]