



Karelia-ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan insinööri (AMK)

# Lämpöpumpun mitoitus vanhem- paan rakennukseen

Esimerkkikohteena pienkerrostalo Pohjois-Karjalassa

Hannu Huusko

Opinnäytetyö, maaliskuu 2025

[www.karelia.fi](http://www.karelia.fi)



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Maaliskuu 2025**  
**Talotekniikan insinöörikoulutus**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
+358 13 260 600

**Tekijä**  
Hannu Huusko

**Nimeke**  
Lämpöpumpun mitoitus vanhempaan rakennukseen : Esimerkkikohteena pienkerrostalo Pohjois-Karjalassa

**Toimeksiantaja**  
Hendera Oy

**Tiivistelmä**

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia maa- ja ilma-vesilämpöpumpun mitoitusta pientaloa suuremmissa, olemassa olevissa rakennuksissa. Tutkimustyö tehtiin toimeksiantona Hendera Oy -yritykselle. Työn teoriaosuudessa avataan aiheeseen liittyviä keskeisiä käsitteitä ja kerrotaan, mitä kaikkea on otettava huomioon lämpöpumppua mitoittaessa ja vanhan rakennuksen energiankulutusta selvittäessä.

Tutkimusosassa luotiin olemassa olevasta, todellisesta rakennuksesta tietomalli, joka simuloitiin IDA ICE -simulointiohjelmistolla. Kohderakennuksen energiankulutus simuloitiin mahdollisimman tarkasti nykyisellä öljylämmitysjärjestelmällä ja kuvitteellisilla lämpöpumppujärjestelmillä. Tämän lisäksi esimerkkirakennukseen pyydettiin vertailuaineistoksi lämpöpumpun mitoitus- ja tarjouslaskelmat useilta alan yrityksiltä. Simuloinnin tuloksia verrattiin nykyiseen toteutuneeseen tulokseen ja yrityksiltä saatuihin mitoituksiin.

Lopputuloksena havaittiin, että simulointiohjelmalla tehty mitoitus vähentää huomattavasti energiansäästölaskelmien epätarkkuuksia erityisesti siksi, että se pakottaa ottamaan huomioon kaikki laskennan kannalta oleelliset asiat. Yrityksiltä saatujen mitoitus-ten tulokset poikkesivat huomattavasti sekä toisistaan että simuloimalla saaduista tuloksista.

**Kieli**  
suomi

Sivuja 43  
Liitteet 5  
Liitesivumäärä 10

**Avainsanat**  
lämpöpumppu, mitoitus, kerrostalo



**THESIS**  
**March 2025**  
**Degree Programme in Building Services Engineering**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
+358 13 260 600

Author  
Hannu Huusko

Title  
Sizing a Heat Pump for an Older Building : A Case Example of a Small Apartment Building in North Karelia

Commissioned by  
Hendera Oy

**Abstract**

The aim of this thesis was to investigate the sizing of ground-source and air-to-water heat pumps in buildings larger than single-family homes. The research was conducted as a commission for the company Hendera Oy. The theoretical part of the study introduces key concepts related to the topic and discusses the various factors that need to be considered when sizing a heat pump and determining the energy consumption of an older building.

In the research section, a digital model of an existing, real building was created and simulated using the IDA ICE simulation software. The energy consumption of the target building was simulated as accurately as possible with the current oil heating system and hypothetical heat pump systems. Additionally, heat pump sizing and cost estimates were requested from several companies in the industry for the example building. The simulation results were compared to the current, actual results and the sizing estimates received from the companies.

The final results revealed that the design based on the simulation software significantly reduces inaccuracies in energy savings calculations, particularly because it forces the consideration of all essential factors relevant to the calculation. The design results from the companies varied significantly from each other and from the results obtained through simulation.

Language  
Finnish

Pages 43  
Appendices 5  
Pages of Appendices 10

Keywords  
heatpump, sizing, apartment house

# Sisältö

1	Johdanto .....	6
2	Rakennusten lämmitysjärjestelmät .....	7
2.1	Keskuslämmitys .....	7
2.2	Lämmitysjärjestelmän säätö .....	7
2.3	Lämmitysjärjestelmän tasapainotus .....	8
2.4	Lämmönjakotavat .....	9
2.4.1	Vesikiertoinen patterilämmitys .....	9
2.5	Lämmöntuotantotavat .....	10
2.5.1	Kaukolämpö .....	11
2.5.2	Sähkölämmitys .....	11
2.5.3	Öljylämmitys .....	12
2.5.4	Ilma-vesilämpöpumppu .....	12
2.5.5	Maalämpöpumppu .....	13
2.5.6	Lämpöpumpun tehomitoituspiste ja lämpökerroin .....	15
3	Rakennusten lämmitysenergian kulutus .....	16
3.1	Yleistä .....	16
3.2	Rakenteiden lämpöhäviöt ja U-arvo .....	17
3.3	Ilmanvaihdon lämpöhäviöt .....	18
3.4	Käyttövesi .....	19
4	Käytetyt ohjelmistot ja mallit .....	20
4.1	IDA Indoor Climate and Energy .....	20
4.2	MagiCAD Room .....	21
4.3	Tietomalli .....	21
4.4	Energialaskennan testivuosi .....	22
5	Esimerkkikohteen tiedot .....	22
5.1	Yleistä .....	22
5.2	Ylä-, väli- ja alapohjarakenteet .....	22
5.3	Seinärakenteet .....	23
5.4	Ovet ja ikkunat .....	24
5.5	Lämmitysjärjestelmä .....	24
5.6	Käyttövesijärjestelmä .....	25
5.7	Ilmanvaihtojärjestelmä .....	26
6	Tutkimustyö .....	26
6.1	Kohteen kartoitus .....	26
6.2	Energiankulutuksen simulointi IDA ICE -ohjelmalla .....	26
6.2.1	Tilat .....	27
6.2.2	Rakenteet .....	28
6.2.3	Huonelämpötilat ja lämpökuormat .....	28
6.2.4	Ilmanvaihto .....	29
6.2.5	Lämmin käyttövesi .....	29
6.2.6	Sijainti ja sää .....	30
6.2.7	Olemassa oleva lämmitysjärjestelmä .....	31
6.2.8	Lämpöpumppujärjestelmä .....	31
6.3	Laitemitoituksien kysely urakoitsijoilta .....	33
7	Tulokset .....	34
7.1	Tulosten vertailu .....	34
7.2	Tulosten varmentaminen .....	36

8 Pohdinta.....	38
Lähteet.....	41

#### Liitteet

Liite 1	Esimerkkirakennuksen tiedot
Liite 2	Yläpohjan U-arvo
Liite 3	Laskennassa käytetyn lämpöpumpun tiedot
Liite 4	Lämpöpumppujärjestelmän kytkentä simulointiohjelmassa
Liite 5	Tulokset

# 1 Johdanto

Rakennusten lämmitysenergian kulutuksella on merkittävä vaikutus Suomen ja koko maailman energiankulutukseen. Olemassa olevan rakennuskannan energiankulutus on merkittävässä roolissa ilmastonmuutoksen hillitsemisessä. Yksi energiatehokkuuden suurimmista säästöpotentiaaleista vallitseekin tällä hetkellä juuri vanhojen rakennusten lämmitysenergian kulutuksessa.

Viime vuosina rakennusten lämmitysjärjestelmien päivittäminen erilaisilla lämpöpumppujärjestelmillä on yleistynyt kiihtyvällä tahdilla kaiken kokoisissa rakennuksissa. Jo pientalojen kokoluokassa on havaittu, kuinka väärin mitoitettu järjestelmä voi osoittautua epäkustannustehokkaaksi hankinnaksi, mutta monet ongelmat vain korostuvat puhuttaessa suuremmista rakennuksista. Erilaiset mitoitustavat johtavat huomattavan erilaisiin tuloksiin, ja toisaalta vanhojen rakennusten osalta lähtötiedot voivat olla hyvinkin puutteelliset tai virheelliset.

Nykyaikaisilla simulointiohjelmilla voidaan mallintaa rakennuksen energiankulutusta erittäin tarkasti. Ohjelmissa voidaan ottaa huomioon lähes kaikki energiankulutukseen vaikuttavat asiat aina ilmanvaihdon lämmöntalteenoton hyötysuhteesta puiden varjostukseen. Toisaalta lämmitysjärjestelmien mitoituksia tehdään kokemusperäisiä arvioita käyttäen esimerkiksi pelkän öljynkulutuksen perusteella. Tämän opinnäytetyön aiheena on ottaa esimerkkirakennuksen avulla selvää, kuinka erilaisiin tuloksiin eri menetelmillä päästään. Tutkimuksessa luotiin tietomalli olemassa olevasta rakennuksesta, jonka energiankulutusta eri kokoisilla lämpöpumpuilla simuloitiin IDA ICE -ohjelmalla. Mallinnuksessa ja simuloinnissa pyrittiin huomioimaan kaikki tutkimusongelman kannalta merkitykselliset asiat mahdollisimman tarkasti. Simuloinnin vertailukohtaksi kohderakennukseen pyydettiin lämpöpumpun mitoituslaskelmat useilta eri yrityksiltä. Esimerkki-kohteena toimii Pohjois-Karjalassa sijaitseva 1960-luvun öljylämmitteinen asuin-kerrostalo. Tuloksia voidaan kuitenkin hyödyntää monenlaisten rakennusten osalla, kunhan huomioidaan erilaisten rakennusten vaikutukset mitoitukseen esimerkiksi rakenteiden, käyttöveden kulutuksen, tilojen lämpötilan ja nykyisen lämmitysjärjestelmän osalta.

## 2 Rakennusten lämmitysjärjestelmät

### 2.1 Keskuslämmitys

Kun rakennuksen useita tai kaikkia tiloja lämmitetään yhteisellä lämmönlähteellä, puhutaan keskuslämmityksestä. Keskuslämmitysjärjestelmä on luotettavuutensa ja helppohoitoisuutensa ansiosta saavuttanut suuren suosion Suomessa. Huonekohtaisia lämmittämiä voidaan edelleen käyttää lisä- tai varalämmönlähteenä. (Alanne ym. 2024, 97.)

Keskuslämmitysjärjestelmään kuuluu lämmönlähteen lisäksi lämmönluovuttimia, joihin lämpöenergia siirretään lämmönsiirtoverkostossa lämmönsiirtoaineen, yleensä veden, avulla. Lämmönlähde voi olla esimerkiksi kaukolämmön alakeskus, kattilalaitos tai lämpöpumppujärjestelmä. Lämmönsiirtoverkosto muodostuu putkista sekä putkistovarusteista, kuten venttiileistä, mittareista ja suodattimista. Lämmönluovuttimina voivat olla esimerkiksi patterit, joiden kautta verkostossa kiertävän veden lämpöenergia siirtyy tilojen huoneilmaan lämpösäteilynä tai konvektiona. (Alanne ym. 2024, 97.)

### 2.2 Lämmitysjärjestelmän säätö

Keskuslämmitysjärjestelmissä on nykyään lähes poikkeuksetta lämmönsäätöautomaatiikka, joka säätää koko järjestelmässä kulkevan nesteen lämpötilaa. Säätö tapahtuu usein säätökäyrän avulla. (Motiva 2024a.)

Oikean muotoinen säätökäyrä on tasaisen sisälämpötilan perusta. Säätökäyrässä asetetaan lämmitysverkostossa kiertävän menoveden lämpötila eri ulkolämpötiloissa. Säätökäyrässä voi olla kaksi, kolme tai useampia pisteitä. Alla olevassa kuvassa 1 on kolmen pisteen säätökäyrä patterilämmitykselle. (Ouman 2017.)



Kuva 1. Kolmen pisteen säätökäyrä patterilämmitykselle. (Ouman 2017.)

Kuvaajan vaaka-akselilla on ulkolämpötilan asteikko ja pystyakselilla menoveden lämpötila. Katkoviivat kuvaavat erikseen aseteltuja menoveden minimi- ja maksimiarvoja.

### 2.3 Lämmitysjärjestelmän tasapainotus

Tilakohtaisten lämmityslaitteiden lämmitystehon säätäminen lämpöhäviöitä vastaaviksi on tärkeä toimenpide kaikissa lämmitysjärjestelmissä, kuten esimerkiksi patterilämmityksessä. Patterien tehomitoitukseen liittyy aina jonkin verran epätarkkuuksia, mikä johtaa suunniteltuja lämmitystehoja käytettäessä liian suuriin tai pieniin lämpötiloihin tiloissa. Liian suuret tilakohtaiset lämpötilat aiheuttavat turhaa energiankulutusta, ja toisaalta liian alhaiset lämpötilat heikentävät sisäympäristöolosuhteita. (Alanne ym. 2024, 104.)

Erityisesti vanhemmissa rakennuksissa patteriverkostot ovat usein puutteellisesti säädettyjä, mutta ongelma voi esiintyä uusissakin rakennuksissa. Patterien lämmitystehoa voidaan säätää joko vesivirran suuruutta tai menoveden lämpötilaa muuttamalla. Vesi virtaa järjestelmässä siten, että virtausteknisesti helpoimmassa reitissä kulkee suurin virtaus. Patteriverkoston perussäädössä huonelämpötilat mitataan ja patteriventtiilien esisäätöarvoja muuttamalla säädetään kuhunkin patteriin sellainen virtaus, jolla haluttu huonelämpötila saavutetaan. Verkostossa voi myös olla nousu- tai osastokohtaisia linjasäätöventtiileitä, jotka helpottavat kokonaisuuden säätämistä. Sääto tehdään siten, että halutut huonelämpötilat saavutetaan mahdollisimman alhaisella menoveden lämpötilalla. (Alanne ym. 2024, 104.)

## 2.4 Lämmönjakotavat

Rakennusten lämmitys voidaan hoitaa useilla eri tekniikoilla. Lämmönsiirtoaineena voidaan käyttää vettä, ilmaa tai höyryä. Vesikiertoisista lämmitysjärjestelmistä yleisimpiä ovat patteri- ja lattialämmitys. Lisäksi käytössä on esimerkiksi säteilylämmittimiä ja puhallinkonvektoreita. (Seppänen 2001, 2.)

Kerrostaloissa yleisin lämmönjakotapa on vesikiertoinen patterilämmitys. Se on ollut käytössä jo 1900-luvun alusta ja alkoi syrjäyttää huonekohtaiset uunilämmitykset 1910-luvulla. (Rakennustieto Oy, 37,69.)

### 2.4.1 Vesikiertoinen patterilämmitys

Vesikiertoisessa patterilämmityksessä lämmönsiirtoaine kiertää pattereissa, jotka luovuttavat lämpöenergian tiloihin. Lämmityspattereita on erityyppisiä ja niitä valmistetaan eri kokoisina ja värisinä. Tyypillisesti lämmityspatterit on valmistettu maalatusta teräslevystä. Patterit asennetaan yleensä ikkunoiden alle, jolloin ne kompensoivat kylmästä ikkunapinnasta aiheutuvaa vetoa. (Alanne ym. 2024, 99–100.)

Lämmönluovutustavan mukaan patterit voidaan jakaa kolmeen ryhmään: radi-aattoreihin, konvektoreihin ja putkipattereihin. Radiaattorit ovat levyattereita, joissa patterin sisäpuolinen vesipinta-ala on kooltaan samaa luokkaa kuin lämpöä luovuttava ulkopinta. Lämmönluovutus pintaa voidaan kasvattaa lisäämällä patteriin konvektiolevyjä. Konvektorit ovat pattereita, joiden sisäpuolinen vesipinta-ala on huomattavasti pienempi kuin lämpöä luovuttava ulkopinta. Putkipatterit ovat kupari- tai teräsputkista valmistettuja lämmönluovuttimia, joiden lämmönsiirtopinta-alaa voidaan tarvittaessa kasvattaa erilaisilla konvektiolevyillä. Näiden lisäksi on olemassa erilaisiin sovelluksiin tai sisustusratkaisuihin liittyviä erikoispattereita, joiden toimintatapa, materiaalit ja muut ominaisuudet valitaan tilanteen mukaan. (RT 52-10797 2003, 5.)

Patterien lämmitystehoon vaikuttaa patterityypin ja koon lisäksi niissä kiertävän nesteen lämpötila sekä virtausmäärä. Patterien koko valitaan siten, että sen lämmitysteho kattaa tilan lämmitystarpeen lämmitysjärjestelmän suunnitelluilla lämpötiloilla. Tyypillisiä lämmitysjärjestelmän mitoituslämpötiloja ovat esimerkiksi 70/40 ja 80/60, jossa ensimmäinen luku ilmaisee meno- ja jälkimmäinen paluuveden lämpötilan. Patterien yhteyteen asennetaan patteritermostaatti, joka rajoittaa patterin vesivirtaa, kun haluttu huonelämpötila saavutetaan.

(RT 52-10797 2003, 2.)

Yksinkertaistettuna patterin lämmönluovutustehoon vaikuttaa patterin pinta-ala ja yllämpötila. Yllämpötila tarkoittaa patterin keskimääräisen pintalämpötilan ja huonelämpötilan erotusta. Esimerkiksi jos patterin menoveden lämpötila on 70 astetta, paluuveden 40 astetta, ja huonelämpötila 20 astetta, on patterin yllämpötila likimain:

$$(70 + 40)^{\circ}\text{C}/2 - 20^{\circ}\text{C} = 35^{\circ}\text{C}$$

Sama yllämpötila saavutetaan esimerkiksi 60 asteen menolämpötilalla ja 50 asteen paluulämpötilalla. Patterin lämmitysteho on jälkimmäisessä tapauksessa hiukan suurempi, koska patterin kylmimmän osan ja huonelämpötilan ero on suurempi. On huomioitavaa, että pienempi lämpötilaero meno- ja paluuveden välillä vaatii suuremman virtaaman saman tehon saavuttamiseksi. Suurempi virtaama kasvattaa tarvittavaa putkikokoa lämmönjakoverkostossa.

(Seppänen 2001, 164–166.)

## 2.5 Lämmöntuotantotavat

Rakennuksen lämpöenergia voidaan tuottaa monella eri tavalla. Yleisimpiä Suomessa käytössä olevia tapoja ovat kaukolämmitys, öljylämmitys, sähkölämmitys, lämpöpumppulämmitys, kotimaisten kiinteiden polttoaineiden käyttö ja aurinkolämmitys. (Alanne ym. 2024, 131.)

Öljy-, puu-, sähkö- tai kaukolämmitysjärjestelmän rinnalle voidaan asentaa lämpöpumppujärjestelmä, jolloin puhutaan hybridijärjestelmästä. Hybridijärjestelmällä saadaan vähennettyä fossiilisten polttoaineiden käyttöä sekä

pienennettyä lämmityskustannuksia. (Tom Allen Senera 2025.) Hybridilämmityksessä lämpöpumppu voidaan tarkoituksella alimitoitaa, jolloin sitä käytetään vain lauhemmallalla säällä (Lämpöykkönen 2025).

### **2.5.1 Kaukolämpö**

Kaukolämpö on yleisin lämmitysmuoto Suomessa. Kaukolämpö tuotetaan tuotantolaitoksissa ja johdetaan putkistoja pitkin rakennuksiin. Tuotantolaitokset voivat olla pelkästään lämmöntuotantoon sopivia tai yhdistelmälaitoksia, jossa tuotetaan samalla sähköä. Kaukolämpöenergia tuotetaan pääsääntöisesti polttamalla puuta, biomassaa, maakaasua, kivihiiltä, turvetta, jätettä tai öljyä. (Energiateollisuus 2025.)

Kaukolämmön taloudellisuus ja ympäristöystävällisyys riippuu paljolti käytettävästä polttoaineesta. Hiilineutraalia lämmöntuotantoa on kehitetty paljon viimeisen kymmenen vuoden aikana ja päästöttömän kaukolämmön osuus tuotannosta onkin jo yli 60 %. (Energiateollisuus 2025.)

### **2.5.2 Sähkölämmitys**

Sähkölämmitys eri toteutusmuotoineen on erittäin suosittu lämmitysjärjestelmä Suomessa. Se voidaan toteuttaa joko vesikiertoisena järjestelmänä tai erillisillä sähkölämmittimillä esimerkiksi pattereiden, säteilijöiden tai lattialämmityksen avulla. (Jäsپی 2025.) Suurin osa sähkölämmitteisistä asunnoista on pien- ja rivitaloja. Sähkölämmitys soveltuu erityisen hyvin syrjäseuduille, joihin ei ole kannattavaa rakentaa kaukolämpöverkkoa. (Seppänen 2001, 353.)

Vesikiertoisessa järjestelmässä lämmitysverkostossa kiertävä vesi lämmitetään varaajassa olevilla sähkövastuksilla. Vesikiertoiseen järjestelmään on myös mahdollista liittää muita energianlähteitä. Sähkölämmitys mahdollistaa myös aurinkosähkön hyödyntämisen suoraan lämmitykseen. (Jäsپی 2025.) Vesikiertoiseen sähkölämmitysjärjestelmään on mahdollista liittää massavaraajia, mikä

mahdollistaa tilavuuteen nähden suurienkin energiamäärien varastoimisen veden hyvän ominaislämpökapasiteetin ansiosta. Sähkövastuksia on mahdollista asentaa myös polttoainekattilaan vaihtoehtoiseksi lämmitysmuodoksi tai varajärjestelmäksi. (Seppänen 2001, 366–367.)

### 2.5.3 Öljylämmitys

Öljylämmitysjärjestelmässä lämpöenergia saadaan aikaan polttoöljyn palamisprosessissa. Järjestelmä koostuu öljykattilasta, -polttimesta ja säiliöstä sekä savuhormista. Öljypolttimessa palava öljy lämmittää kattilassa olevan veden, joka johdetaan lämmitysverkostoon. Palokaasut poistuvat ulkoilmaan savuhormia pitkin. (Ilmastoinfo 2025.)

Vaikka nykyaikaisten öljykattiloiden hyötysuhde on todella hyvä, 90–95 prosenttia, aiheuttaa öljy kuitenkin fossiilisena polttoaineena ilmastopäästöjä. Öljylämmitysjärjestelmiä korvataankin paljon esimerkiksi lämpöpumppujärjestelmillä paitsi energiankulutuksen, myös ilmastopäästöjen takia. (Motiva 2025.) Vanhempien öljykattiloiden hyötysuhde voi olla jopa 30 % heikompi kuin uusien järjestelmien (Lämmitysenergia Yhdistys 2025).

### 2.5.4 Ilma-vesilämpöpumppu

Ilmavesilämpöpumpun toiminta perustuu lämpöpumppuun, joka yksinkertaisesti ajateltuna pumppaa lämpöenergiaa ulkoilmasta rakennuksen lämmitysverkostoon. Lämpöenergia kerätään ulkoilmasta höyrystimessä kiertävään kylmäaineeseen, jonka jälkeen höyrystynyt kylmäaine puristetaan kompressorilla korkeaan paineeseen. Paineenkorotus saa aikaan kylmäaineen lämpötilan nousun. Kuuma, kaasumainen kylmäaine johdetaan lauhduttimeen, jossa se luovuttaa lämpöenergiaa lämmitysverkoston veteen. Lauhduttimen jälkeen kylmäaine ohjataan paisuntaventtiiliin, joka annostelee kylmäainetta jälleen höyrystimeen. Höyrystimen tehokkaan toiminnan aikaansaamiseksi ulkoilmaa kierrätetään sen

läpi puhaltimen avulla. Kylmäaineen hyvin alhainen kiehumispiste mahdollistaa lämmön keräämisen myös pakkasella. (Lämpökumppanit 2025.)

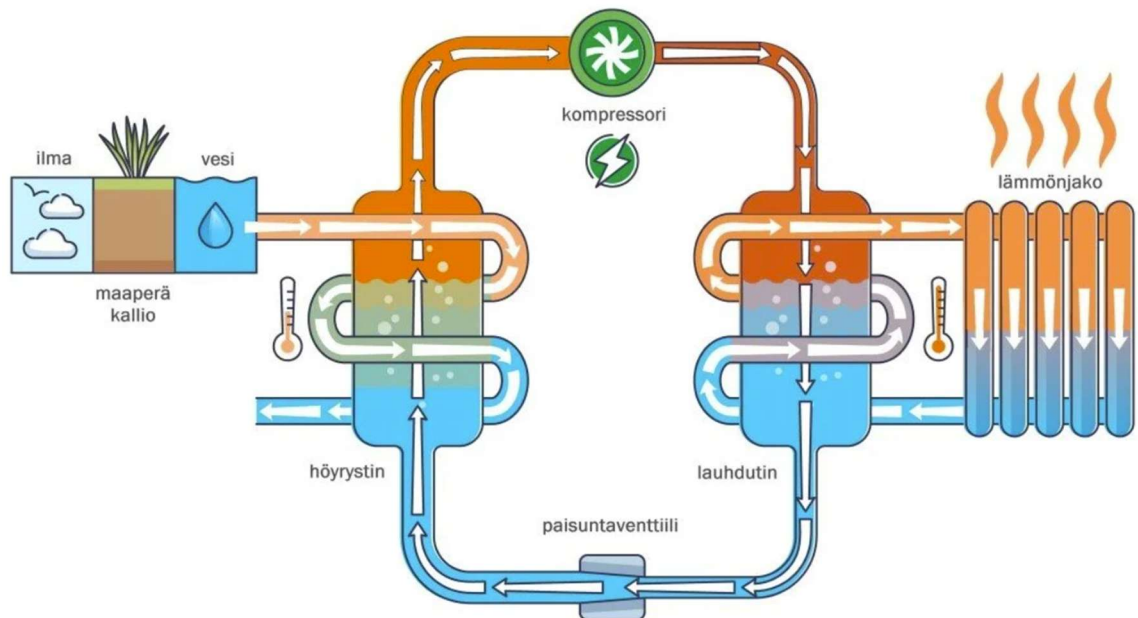
Kylmässä ilmastossa ilmavesilämpöpumpun toimintaan kuuluu höyrystimen huurtuminen, kun ulkoilman kosteus tiivistyy ulkoilmaa kylmempään pintaan. Lopulta höyrystimen ilmankierto alkaa heikentyä ja teho pudota, jolloin huurretta joudutaan sulattamaan. (Scanoffice 2024.) Sulatuksessa kylmäainekierto käännetään nelitieventtiin avulla käänteiseksi, jolloin lämmitysverkoston lämpöenergiaa siirretään lauhduttimeen ja edelleen höyrystimeen. Sulatusjaksot kuluttavat jo tuotettua energiaa ja heikentävät siten lämpöpumpun lämpökerrointa. Sulatusjaksojen määrä ja pituus riippuu ulkoilman lämpötilasta ja kosteudesta. Tyypillisesti sulatuksia tarvitaan eniten (-10)–(+2) asteen ulkolämpötiloissa. (TurkuAMK 2024.)

Ilmavesilämpöpumpun toiminta heikkenee kylmäaineesta ja laitteesta riippuen (-20)–(-25) asteen lämpötilassa niin paljon, ettei sen käyttäminen lämmittämiseen ole kannattavaa. Lisäksi kompressorin kuluminen nopeutuu huomattavasti ääriolosuhteissa. Edellä mainituista syistä johtuen ilmavesilämpöpumppujärjestelmä vaatii käytännössä aina tuekseen varajärjestelmän, joka on yleensä sähkölämmitin. (Alanne ym. 2024, 150.)

### **2.5.5 Maalämpöpumppu**

Maalämpöpumppu kerää rakennuksen lämmittämisen tarvittavan lämpöenergian maaperästä, kalliosta tai vedestä. Lähellä maanpintaa oleva lämpöenergia on alun perin peräisin auringosta, syvemmälle porattu lämpökaivo sisältää myös pohjavesivirtauksista tulevaa lämpöenergiaa sekä maapallon ytimeistä kallioon johtuvaa fissioenergiaa. Lämmönkeruupiiri koostuu yhdestä tai useammasta putkiklenkistä, jossa kiertää jäätymätön bioetanolipohjainen maalämpöneste. Keruupiiri voi sijaita kallioon poratussa lämpökaivossa, vesistön pohjassa tai maahan kaivetussa vaakaputkistossa. (Motiva 2024b.)

Koska keruupiiristä saatavan nesteen lämpötila on vain muutamia asteita, sen lämpötilaa joudutaan nostamaan lämpöpumpulla. Lämpöpumppu koostuu höyrystimestä, kompressorista, lauhduttimesta ja paisuntaventtiilistä. Höyrystimessä kylmäaine höyrystyy keruunesteen lämpöenergian vaikutuksesta sitoen itseensä energiaa. Kompressorissa höyry puristetaan korkeaan paineeseen, jolloin sen lämpötila nousee jopa 120 asteeseen. Lauhduttimessa höyrystynyt kylmäaine luovuttaa lämpöenergiaa lämmitysverkoston veteen, ja muuttuu kokonaan tai osittain nestemäiseksi. Lauhduttimen jälkeen kylmäaine kulkeutuu paisuntaventtiin, jossa sen paine laskee ennen sen kulkeutumista jälleen höyrystimeen. Alla yksinkertaistettu kuva maalämpöpumpun toiminnasta (kuva 2.) (Tom Allen Senera 2025.)

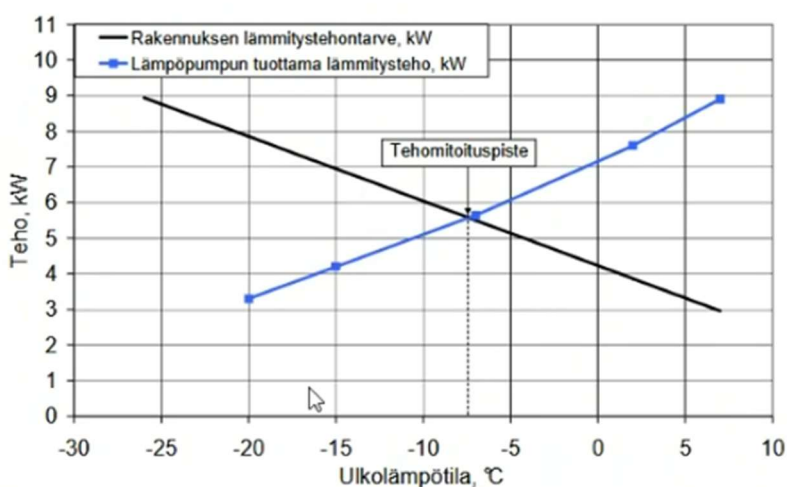


Kuva 2. Maalämpöpumpun toiminta. (Tom Allen Senera 2025.)

Maalämpöpumpun hyötysuhde on lämpöpumpuille tyypillisesti sitä parempi, mitä alhaisempi on lämmitykseen tarvittavan veden lämpötila. Tästä syystä se toimii huomattavasti tehokkaammin esimerkiksi lattialämmitysjärjestelmässä kuin patteriverkoston tai lämpimän käyttöveden lämmityksessä. (Motiva 2024b.) Esimerkki lämpötilojen vaikutuksesta maalämpöpumpun lämpökertoimeen: kun alkutilanteessa kompressorin höyrystymislämpötila on  $-3^{\circ}\text{C}$  ja lauhtumislämpötila  $52^{\circ}\text{C}$ , huonontaa höyrystymislämpötilan laskeminen yhdellä kelvinasteella lämpökerrointa 3 %. Vastaavasti lauhtumislämpötilan nosto yhdellä asteella heikentää lämpökerrointa 2,5 %. (Alanne ym. 2024, 152.)

### 2.5.6 Lämpöpumpun tehomitoituspiste ja lämpökerroin

Ulkolämpötilaa, jossa lämpöpumppu pystyy tuottamaan kaiken rakennuksen tarvitseman lämmitysenergian, kutsutaan tehomitoituspisteeksi. Tehomitoituspistettä kylmemmissä olosuhteissa tarvitaan lisälämmitystä lämmitystarpeen kattamiseksi. Tehomitoituspiste määritetään rakennuksen lämmitystehontarpeen ja lämpöpumpun lämmitystehon avulla. Kuvassa 3 on esitetty pientalon tehomitoituspiste. (Ympäristöministeriö 2012, 18.)



Kuva 3. Lämpöpumpun tehomitoituspiste. (Ympäristöministeriö 2012, 19.)

Lämpökerroin kuvaa lämpöpumpun kuluttaman ostoenergian ja tuotetun lämpöenergian suhdetta. Jos lämpökerroin on esimerkiksi 4, se tarkoittaa yksinkertaisuudessaan sitä, että yhtä käytettyä energiayksikköä kohden saadaan neljä yksikköä lämpöenergiaa. (Nilan 2025.)

Lämpöpumpussa energiaa kuluu sähköenergian muodossa kompressoriin ja apulaitteisiin, kuten pumppuihin, puhaltimiin, paisuntaventtiiliin ja ohjauselektronikkaan. Lisäksi esimerkiksi ilma- ja ilmavesilämpöpumput kuluttavat myös lämpöenergiaa höyrystimen sulattamiseen aika ajoin.

(Ympäristöministeriö 2012, 6.)

Lämpökertoimen määrittämiseen on yleisesti käytössä kaksi termiä, COP ja SCOP. COP (Coefficient of Performance) kuvaa lämpökerrointa tietyissä vakioolosuhteissa. COP-arvon määrittämiseen on useita eri standardeja. Nykyisin

kerroin määritetään yleisesti standardin EN 14511 mukaisesti. SCOP (Seasonal Coefficient of Performance) kertoo hyötysuhteen koko lämmityskauden ajalta. SCOP antaa täten huomattavasti todenmukaisemman kuvan lämpöpumpun energiansäästöpotentialista. (Nilan 2025.) SCOP-luku määritetään standardin EN 14825 mukaisesti. Standardin mukaisesti Eurooppa on jaettu kolmeen eri ilmastovyöhykkeeseen: Etelä-Eurooppaan, jonka laskenta perustuu Ateenan ilmasto-olosuhteisiin, Keski-Eurooppaan, jonka laskenta perustuu Strasbourgin ilmasto-olosuhteisiin ja Pohjois-Eurooppaan, jonka laskenta perustuu Helsingin ilmasto-olosuhteisiin. SCOP-mittauksessa otetaan ilmakehän kosteuden ja lämpötilan muutosten lisäksi huomioon erilaisia merkittäviä tekijöitä, kuten lämpöpumpun sulatusjaksojen ja apulaitteiden kuluttama energia. (SFS-EN 14825, 2022, 11–20, 37–38.)

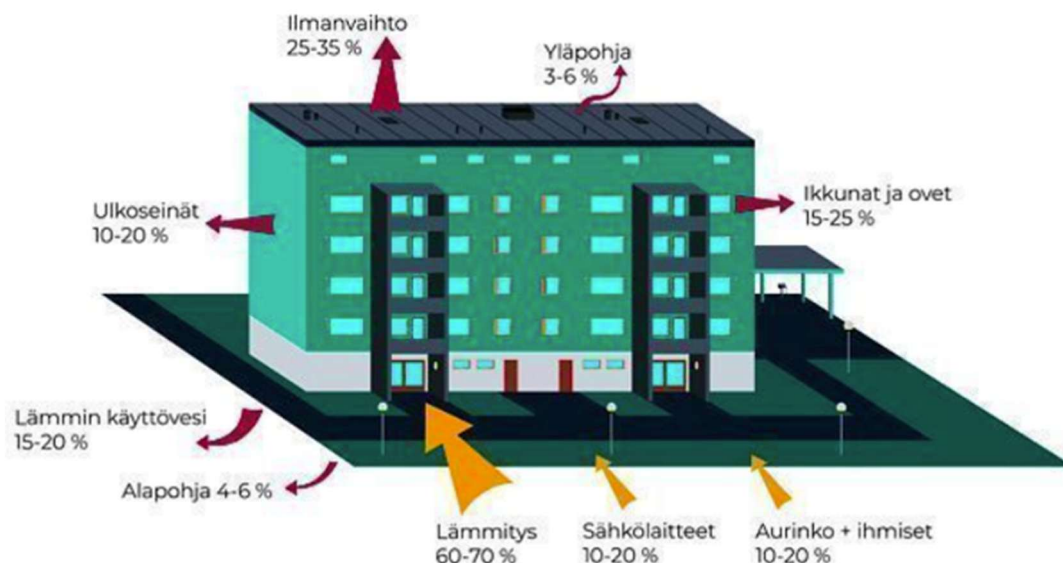
### **3 Rakennusten lämmitysenergian kulutus**

#### **3.1 Yleistä**

Lämmitysenergiaa tarvitaan rakennuksen lämmittämiseen sekä useimmissa tapauksissa myös lämpimän käyttöveden tuottamiseen. Lämpöenergiaa poistuu rakennuksesta lämpöhäviöinä seinien, ylä- ja alapohjan sekä ovien ja ikkunoiden kautta. Lisäksi merkittävä määrä lämpöenergiaa poistuu ilmanvaihdon kautta. (Motiva 2024a.)

Lämmitysenergiaa rakennukseen tulee varsinaisen lämmitysjärjestelmän lisäksi auringosta, ihmisistä ja erilaisista sähkölaitteista. Sähkölaitteiden energiatehokkuus ja siten osuus rakennuksen lämmityksessä on pienentynyt merkittävästi viime vuosikymmeninä mm. LED-valaistuksen ja hakkurivirtalähteiden myötä. (Ilmasto-opas 2018.)

Alla olevassa kuvassa (kuva 4) on havainnollistettu tyypillisen 1960–1980-luvun asuinkerrostalon lämpöenergiatase. Kuvassa näkyy rakennukseen tulevat ja rakennuksesta poistuvat lämpöenergiat.



Kuva 4. Lämpöenergiatase 1960–1980-lukujen asuinkerrostaloissa. (Motiva 2024a).

Kuvasta käy ilmi, että suurin yksittäinen lämmönhukkaa aiheuttava tekijä on ilmanvaihto. Muita merkittäviä lämmitysenergian kuluttajia ovat ulkovaipan osien lämpövuodot ja lämpimän käyttöveden kulutus. (Motiva 2024a.)

### 3.2 Rakenteiden lämpöhäviöt ja U-arvo

Rakenteiden läpi kulkeutuvaa lämpöenergiaa kuvataan termillä lämmönläpäisykerroin eli U-arvo. Rakenteellisen osan, esimerkiksi ulkoseinän, U-arvo ilmaisee, kuinka suuri lämpöteho rakenteen läpi kulkee neliometriä kohden, kun lämpötilaero sisä- ja ulkopuolen välillä on yksi aste. Hyvin eristetyllä rakenteella on siis pieni U-arvo ja päinvastoin. Suureen yksikkönä on  $W/(m^2 \cdot K)$ . (Recticelinsulation 2025.)

Eri rakenneosille on jo pitkään ollut U-arvovaatimuksia, joita on kiristetty useita kertoja energiatehokkuuden parantamiseksi. Alla olevaan taulukkoon on koottu vertailun vuoksi vuosien 1962 ja 2012 lämmönläpäisykertomia (taulukko 1). (Ympäristöministeriö 2018.)

<b>RIY normit</b> <b>1962 Oulu-Kajaani-Kuhmo</b> <b>-linjan pohjoispuolella</b>	asuinhuoneen tai vastaavan yksinomaan poltetuista tiilistä tehty seinä	0,93
	asuinhuoneen tai vastaavan normaalin vaatimus	0,7
	asuinhuoneen tai vastaavan seinä, joka on kevyempi kuin 100kg/m <sup>2</sup>	0,47
<b>2012 määräykset</b>	lämmin tila, hirsiseinä	0,4
	lämmin tila, muut seinät	0,17
	puolilämmin tila, hirsiseinä	0,6
	puolilämmin tila, muut seinät	0,26
<b>RIY normit</b> <b>1962 koko maa</b>	asuinhuoneen tai vastaavan katto, tarkastava viranomaisen voi sallia erityistapauksissa	0,58
	asuinhuoneen tai vastaavan katto, normaalin vaatimus pääasiassa kiviaineiselle katolle	0,47
	asuinhuoneen tai vastaavan katto, normaalin vaatimus puukatolle	0,41
<b>2012 määräykset</b>	lämmin tila	0,09
	puolilämmin tila	0,14

Taulukko 1. Eri vuosikymmenten lämmöneristysvaatimuksia. (Ympäristöministeriö 2018.)

Taulukosta nähdään, kuinka oleellisesti eri rakenteiden lämmöneristysvaatimukset ovat muuttuneet vuosikymmenien aikana. Suurimmat muutokset U-arvovaatimuksissa on tapahtunut yläpohjan osalta. (Ympäristöministeriö 2018.)

### 3.3 Ilmanvaihdon lämpöhäviöt

Esimerkkikohteenakin olevan 1960-luvun asuinkerrostalon suurin yksittäinen lämpöhukka aiheutuu koneellisesta poistoilmanvaihdosta, jossa ei ole minkäänlaista lämmöntalteenottoa. Lämpimän poistoilman mukana ulos kulkeutuu jopa kolmasosa rakennuksen käyttämästä lämmitysenergiasta. (Ilmastoinfo 2025.)

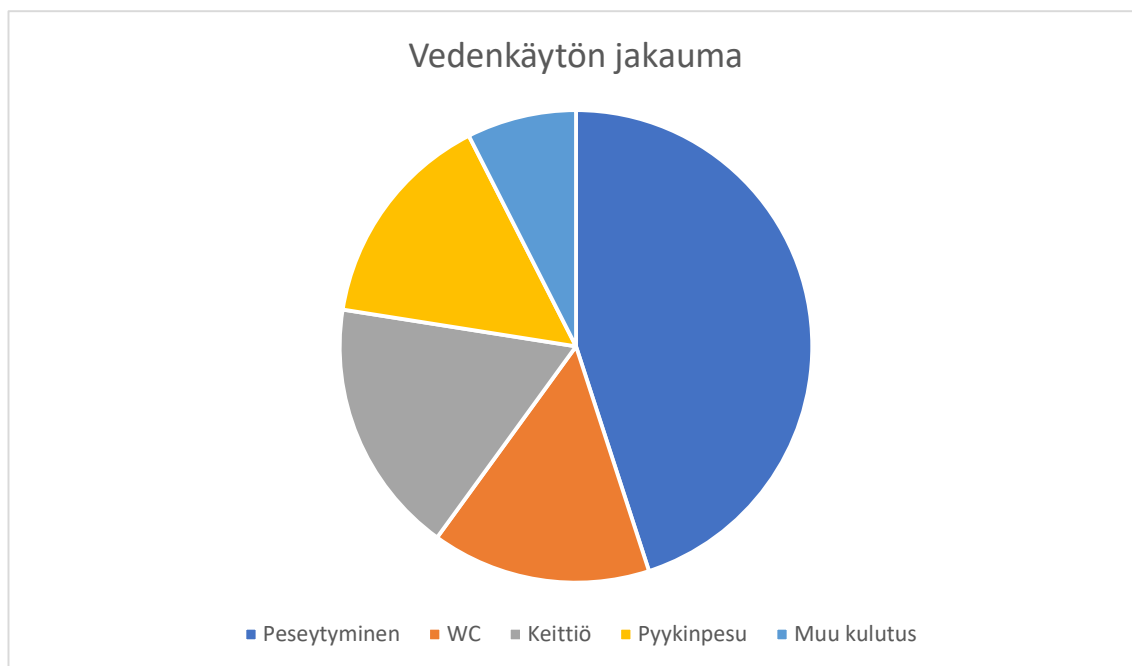
Koneellinen poistoilmanvaihto tarkoittaa yksinkertaisuudessaan sitä, että katolle tai ullakolle sijoitettu poistoilmapuhallin imee kanavistoja pitkin ilmaa asunnoissa olevista poistoilmaventtiileistä. Korvausilma asuntoihin tulee yleensä ikkunoiden yhteyteen asennetuista korvausilmaventtiileistä ja se lämpenee ikkunan alla sijaitsevien lämmityspatterien sekä huoneilman vaikutuksesta. Vanhoissa rakennuksissa poistopuhallin on usein kaksinopeuksinen, ja suurempaa nopeutta käytetään kello-ohjatusti suurimman ilmanvaihtotarpeen aikoina.

Ohjaukseen on usein lisätty myös termostaatti, joka estää suuremman tehon käytön kovilla pakkasilla. (Motiva 2024c.)

Toinen energiankulutuksen kannalta ongelmallinen ilmanvaihdon toteutustapa on painovoimainen ilmanvaihto. Painovoimaisen ilmanvaihdon toiminta perustuu ulko- ja sisäilman lämpötilojen ja tuulen aiheuttamaan paine-eroon. Ulkoilmaa johdetaan tiloihin vuotoreittien kautta, ja ilma lämpenee tilassa, mikä saa sen nousemaan ylös poistoilmareittiä pitkin. Ilmavirran määrä on vaikeasti hallittavissa ja suurimmillaan silloin, kun ulkoilma on kylmimmillään, mikä aiheuttaa myös suurta energiankulutusta ilman lämmittämiseksi. (Hengitysliitto 2025.)

### **3.4 Käyttövesi**

Asuinrakennuksessa käyttöveden osuus lämmitysenergiankulutuksesta on tyypillisesti noin 20–30 % (Motiva 2024a). Lämpimän käyttöveden kulutukseen vaikuttaa asukkaiden määrä sekä kulutustottumukset. Kulutustottumuksiin voidaan vaikuttaa huomattavasti asuntokohtaisella vedenmittauksella. Vuonna 2020 julkaistun tutkimuksen mukaan kerros- ja rivitaloissa vedenkulutus asukasta kohti oli keskimäärin 120 litraa vuorokaudessa, josta noin 35 % on lämmintä vettä. Käyttövettä kuluu asuinrakennuksissa peseytymisen ja keittiön lisäksi WC-huuhteluun ja pyykinpesuun. Koska lämmintä vettä näistä kuluu pelkästään peseytymiseen ja tiskaamiseen, on kulutustottumusten merkitys suurinta nimenomaan lämpimän veden osalta. Kaaviossa 1 on havainnollistettu vedenkäytön jakaumaa. (Työtehoseura 2020.)



Kaavio 1. Vedenkäytön jakauma. (Työtehoseura 2020).

Kaavio on tehty työtehoseuran Kestävä vedenkäyttö -raportin pohjalta. Muu kulutus -kohtaan kuuluu esimerkiksi auton pesuun ja pihamaan kasteluun sekä uima-altaisiin käytetty vesi. (Työtehoseura 2020.)

## 4 Käytetyt ohjelmistot ja mallit

### 4.1 IDA Indoor Climate and Energy

IDA Indoor Climate and Energy (myöhemmin IDA ICE) on EQUA Simulation AB:n kehittämä simulointiohjelma, jolla voidaan tutkia ja simuloida rakennuksen energiankulutusta. Sen avulla voidaan mallintaa tarkasti koko rakennus tai sen osa taloteknisine järjestelmineen ja säätölaitteineen. Ohjelmaa on kehitetty jo 1990-luvulta alkaen, ja se on läpäissyt lukuisia kansainvälisiä validointitestejä. (Equa 2025.)

Simulointiohjelmaan on saatavana eri maiden lokalisaatiopaketteja, ja esimerkiksi Suomen lokalisaatiopaketti sisältää valmiiksi oleelliset käytössä olevat lait ja asetukset, kuten Suomen rakentamismääräyskokoelman ja vuoden 2018

sisäilmastoluokituksen. Ohjelma sisältää erityyppisten rakennusten mallirakennuksia, joiden lisäksi siihen voi tuoda oman rakennuksen esimerkiksi IFC-mallina. Opinnäytetyössä käytettiin ohjelman uusinta, juuri julkaistua versiota 5.1. (Equa 2025.)

## **4.2 MagiCAD Room**

MagiCAD Group on kansainvälinen ohjelmistoyritys, joka kehittää ohjelmistoja suunnittelu- ja rakennusalan tarpeisiin. Revit-, AutoCAD- ja BricsCAD-alustoilla toimiva MagiCAD tarjoaa tehokkaita LVIS-suunnittelu- ja laskentatoimintoja tuhansille yrityksille yli 180 maassa. (MagiCAD 2025.)

MagiCAD Room on ohjelman laajennusosa, joka mahdollistaa rakennusten 3D-tilamallien luomisen esimerkiksi olosuhde- ja energiankulutuslaskentaa varten. Roomista saatava tilamalli sisältää rakennuksen geometrian sekä huonekohtaiset tilatiedot, joihin sisältyy esimerkiksi lämmitystehontarpeet ja ilmavirrat. (MagiCAD 2025.)

## **4.3 Tietomalli**

Tietomalli on suunniteltavan tai olemassa olevan rakennuksen digitaalinen malli, joka syntyy tietomallinnuksen tuloksena. Tietomalliin voidaan lisätä rakennuksen geometrian lisäksi tietoa esimerkiksi materiaaleista, tuotteista ja energiankulutuksesta. (Nordicbim 2025.)

IFC on yleinen, avoimen lähdekoodin tietomallistandardi, jota valvoo ja kehittää voittoa tavoittelematon yhteistyöfoorumi buildingSMART. IFC:n avoin tiedostomuoto mahdollistaa eri ohjelmistojen käytön. (Nordicbim 2025.)

#### **4.4 Energialaskennan testivuosi**

Rakennusten energiankulutus riippuu pitkälti vallitsevista sääolosuhteista. Sääolosuhteiden vaihdellessa vuosien välillä, on energialaskentaa ja energiakulutuksen simulointia varten kehitetty testivuosia, jotka pyrkivät kuvaamaan mahdollisimman keskimääräisiä sääolosuhteita Suomen neljällä eri ilmastovyöhykkeellä. Opinnäytetyössä käytetty TRY2020 testivuosi on koostettu vuosilta 1989–2018 kerätyistä säähavainnoista, ja se pyrkii mallintamaan mahdollisimman keskimääräistä säävuotta. (Ympäristöministeriö 2020.)

TRY2020 testivuoden sääaineisto on valittu standardin SFS EN ISO 15927-4, 2005 mukaisesti siten, että sään tilastolliset jakaumat muistuttavat mahdollisimman paljon 30-vuotisjakson keskimääräisiä jakaumia. Lisäksi sääaineistoa luodessa kiinnitettiin huomiota siihen, ettei kuukausien vaihteisiin tulisi liian suuria keinotekoisia säätilojen muutoksia. (Ilmatieteen laitos 2020.)

### **5 Esimerkkikohteen tiedot**

#### **5.1 Yleistä**

Tutkimuksessa käytetty esimerkkikohte on Pohjois-Karjalassa sijaitseva kolmi-kerroksinen asuinkerrostalo. Vuonna 1960 rakennetussa talossa on viimeisimpien, vuosina 2023–2024 tehtyjen muutostöiden jälkeen yhteensä kahdeksan asuntoa. Asunnot sijaitsevat toisessa ja kolmannessa kerroksessa, ja alimpaan kerrokseen on sijoitettu varastotiloja, saunatilat sekä tekninen tila.

Esimerkkikohteen tiedot on esitetty kootusti liitteestä 1.

#### **5.2 Ylä-, väli- ja alapohjarakenteet**

Yläpohjarakenne koostuu alhaalta lukien ohuesta (40–50 mm) betonivalusta, jonka päällä on 400 mm korkuiset teräsbetoniset palkit. Palkkivälit on täytetty

sahanpurulla. Palkkien päällä on muottilauδοitus, jonka päälle on valettu ohut (40–50 mm) betonivalu. Ylimmän betonivalun ja seinien yläosien varaan on rakennettu harjakatto, joka on päällystetty konesaumattulla peltikatteella. Ullakko-tila on kylmä ja tuulettuva. Rakennetta päästiin tutkimaan parista aukosta, ja niiltä osin sahanpurut ja vanhat muottilauδοitukset vaikuttivat kuivilta ja hyväkuntoisilta. Yläpohjan U-arvo on laskennallisesti noin  $0,39 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ .

Välipohjien rakenne on samankaltainen kuin yläpohjassa, eli ohuiden betonivalujen välissä on kantavat teräsbetonipalkit. Välipohjapalkkien välissä on noin 10 cm kerros sahanpurua. Ylempi betonilaatta on valettu muottilauδοituksen päälle, joka on jätetty osaksi rakennetta. Välipohjien U-arvon merkitys on melko vähäinen, sillä lämpötilat ovat samoja tai lähes samoja rakenteen molemmin puolin. Laskennallinen U-arvo välipohjille on noin  $0,59 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ .

Alapohjan rakenne koostuu alkuperäisten suunnitelmien mukaan täyttömaan päälle valetusta 60 mm betonikerroksesta, 50 mm lastuvillalevystä ja 50 mm pintabetonivalusta. Alemman betonin yläpintaan on tehty kosteuseristys. Alapohjan U-arvo on laskennallisesti noin  $1,15 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ .

### 5.3 Seinärakenteet

Ulkoseinät on paikalla muurattuja massiivitiiliseiniä. Poltetusta punatiilestä tehdyt seinät ovat yli puoli metriä paksuja, ja niissä on ohut, 50 mm lastuvillalevystä tehty eristekerros. Seinissä ei ole erillistä tuuletusväliä, vaan koko seinärakenne on yhtenäistä. Ulkopinta on käsitelty rappaamalla, sisäpinnat tasoitteella ja maalilla. Ulkoseinien U-arvo on laskennallisesti noin  $0,67 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ .

Kellarin osalta seinien ulkopintaan on 90-luvun lopulla lisätty salaojaremontin yhteydessä 30 mm XPS-eristekerros rappauksineen. Kellarin ulkoseinien U-arvo on laskennallisesti noin  $0,48 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ .

Väliseinät ovat niin ikään punatiilestä muurattuja. Vuosina 2023 ja 2024 tehdyissä muutostöissä lisätyt väliseinät ovat puurankarunkoisia kipsilevyseiniä.

Väliseinien U-arvon merkitys on melko vähäinen, sillä lämpötilat ovat samoja tai lähes samoja seinän molemmin puolin. Laskennallinen U-arvo tiilirakenteisille väliseinille on noin  $2,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  ja kipsilevyseinille noin  $0,54 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

#### 5.4 Ovet ja ikkunat

Esimerkkikohteen ovet ja ikkunat ovat kaikki alkuperäisiä. Koska vanhojen ikkunoiden ja ovien U-arvoista ei ollut mitään varmaa tietoa, ne jouduttiin arvioimaan hyödyntäen Energiatodistusoppaan 2018 liitteenä olevaa taulukkoa vanhojen rakenteiden U-arvoista. Rakennuksen valmistumisaikaan oville ja ikkunoille ei ollut mitään U-arvovaatimuksia, ensimmäisten suositusten tultua voimaan vasta vuonna 1969. Ikkunat ovat tyypiltään kaksilasisia avattavia ikkunoita, ja tyypillinen 1960-luvun kaksilasin ikkuna on U-arvoltaan noin  $2,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . (Ympäristöministeriö 2018.)

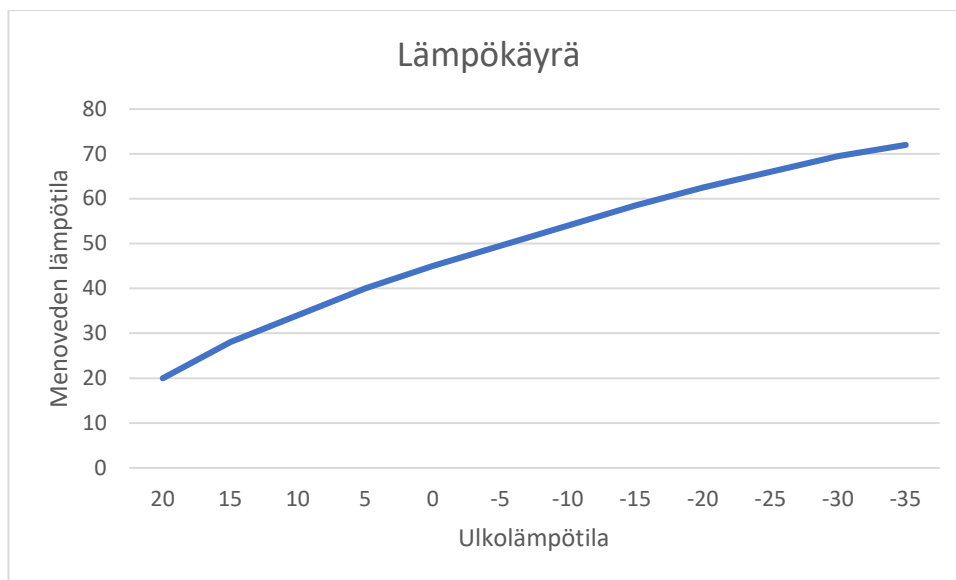
Ulko-ovia rakennuksessa on vain kaksi, joten niiden merkitys kokonaisuuteen ei ole kovin suuri. Ovet ovat täysikkunallisia puuovia, ja tutkimuksessa päädyttiin käyttämään U-arvoa  $3,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , joka on vuonna 1969 voimaan tullut suositusarvo oven lasiosalle. (Ympäristöministeriö 2018.)

#### 5.5 Lämmitysjärjestelmä

Rakennuksen nykyisenä lämmitysjärjestelmänä toimii öljykattila. Alun perin rakennus on lämmennyt kahden viereisen rakennuksen kanssa yhteisellä puukattilalla, mutta 90-luvun lopulla järjestelmä on muutettu rakennuskohtaiseksi, ja vanhat rakennusten väliset lämpökanaalit on poistettu käytöstä.

Lämmönjakotapana on vesikiertoinen patterilämmitys, joka on termostaatteja ja termostaattiventtiilejä lukuun ottamatta alkuperäinen. Patterit ovat pääosin kaksilehtisiä paneeliradiaattoreita. Lämmitysverkosto on kierteitettävää teräsputkea hitsaus- ja kierrelitoksin.

Lämmitysjärjestelmän säätöyksikkönä toimii Siemens RDV135 säätölaite, joka ohjaa lämmitysverkoston säätöventtiilin toimilaitetta ulkolämpötilaan pohjautuvan lämpökäyrän mukaisesti. Kohteen lämpökäyrän asettelu on kuvan 5 mukainen.



Kuva 5. Kohteen olemassa oleva lämpökäyrä.

Lämmitysverkoston menoveden lämpötila on -32 asteen mitoituslämpötilassa noin 70 astetta, eli kohteen patteriverkosto on todennäköisesti alun perin mitoitettu 70 asteisella menovedellä ja 40 asteisella paluuvedellä.

## 5.6 Käyttövesijärjestelmä

Lämmin käyttövesi tuotetaan öljykattilan varaajaan asennetussa lämminvesikierukassa. Lämpimän käyttöveden lämpötilaa säädetään termostaattisella syöttösekoitusventtiilillä. Käyttövesiputkisto on pääosin kupariputkea.

Asunnoissa on asuntokohtaiset vedenmittaukset kylmälle ja lämpimälle vedelle. Neljässä asunnossa on lämpimän käyttöveden kiertoon kytketyt pyyhepatterit. Myös kellarin kuivaus- ja pesuhuoneessa on ollut vesikiertoiset pyyhepatterit, mutta ne on poistettu käytöstä.

## **5.7 Ilmanvaihtojärjestelmä**

Rakennuksessa on koneellinen poistoilmanvaihto, joka on toteutettu kahdella, vesikatolle sijoitutulla huippuimurilla. Asunnoissa on poistoilmaventtiilit keittiöissä, kylpy- ja vaatehuoneissa. Korvausilmareitit asunnoissa on toteutettu jättämällä makuu- ja olohuoneiden ikkunoiden yläosan tiivisteestä 150 mm pätkä pois.

Kellaritiloissa on painovoimainen ilmanvaihto, joka on toteutettu tiilestä muura- tuilla poistoilmahormeilla ja ulkoilmasäleiköillä. Raitisilmaventtiileinä on niin sa- notut kippiventtiilit, joiden asentoa muuttamalla ilmanvaihtoa voidaan säätää.

# **6 Tutkimustyö**

## **6.1 Kohteen kartoitus**

Tutkimustyö aloitettiin hankkimalla kohteesta kaikki saatavilla olevat dokumentit. Muutostöiden takia rakennuksesta olikin tuoreet pohja- ja leikkauspiirustukset, mikä helpotti työtä oleellisesti. Talotekniikan osalta dokumentit olivat kohtalai- sen hyvin tallessa. Rakennukseen on 90-luvun lopulla tehty laajempi peruskor- jaus, jonka yhteydessä oli suunniteltu ja toteutettu laajat käyttövesi- ja ilman- vaihtosaneeraukset. Tutkimukseen kuului useita kohdekäyntejä, joilla varmistut- tiin, että käytössä olevat dokumentit pitävät paikkansa, eikä esimerkiksi raken- teisiin tai tekniikkaan ole tehty merkittäviä muutoksia, joita ei ole päivitetty suun- nitelmiin.

## **6.2 Energiankulutuksen simulointi IDA ICE -ohjelmalla**

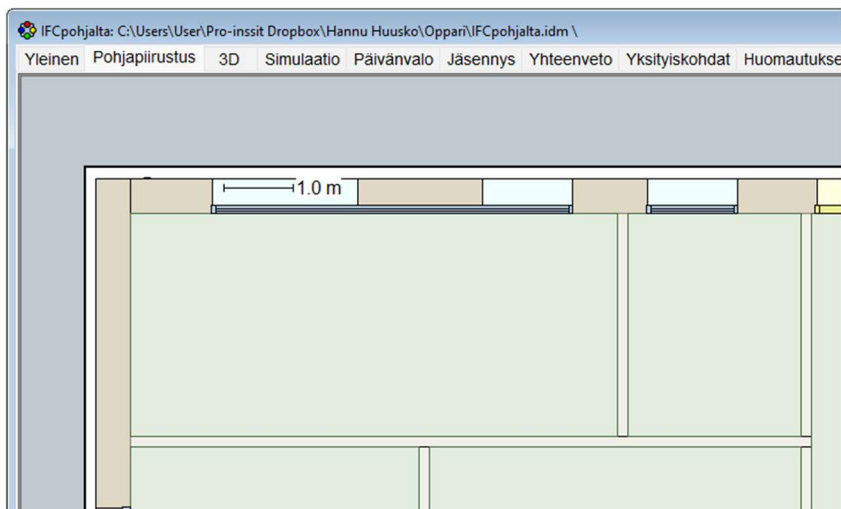
Lähtötietojen kartoituksen jälkeen kohteesta luotiin IFC-malli MagiCad Room -ohjelmalla. Tietomalli tehtiin huolellisesti siten, että tilojen koot,

rakennepaksuudet ja aukkojen paikat ja koot tulivat todellista kohdetta vastaaviksi.

IFC-malli tuotiin IDA ICE -simulointiohjelmaan, jossa tehtiin rakennuksen tarkemmat määrittelyt. Ohjelmasta löytyi jo valmiiksi pohja, jossa on valmiiksi määritetty asuinkerrostaloa koskevat perustiedot ja esimerkiksi ympäristöministeriön asetukset sisäilmaolosuhteiden raja-arvoista.

### 6.2.1 Tilat

Rakennuksen tilat tunnuksineen siirtyivät ohjelmasta toiseen IFC-mallin avulla. Simulointiohjelmassa piti kuitenkin vielä määrittää kellarikerroksen korkoasema maanpintaan nähden. Lisäksi jouduttiin tarkastamaan kaikkien ikkunoiden tarkat koot ja tyypit, koska jostain syystä osa niistä asetui väärin. Alla olevassa kuvassa 6 näkyy virheellisesti muodostuneet ikkunat.



Kuva 6. Virheellisesti simulointiohjelmaan siirtynyt ikkuna.

Ikkunoiden määrän lisäksi myös lähes kaikkien ikkunoiden sijaintia joutui korjaamaan joitakin kymmeniä millimetrejä. Syy ikkunoiden paikkojen muuttumiseen ohjelmien välillä siirryttäessä ei selvinnyt.

## 6.2.2 Rakenteet

Rakennetyyppien määrittäminen olisi ollut mahdollista jo Room-ohjelmassa, mutta ne eivät siirry simulointiohjelmaan oikealla tavalla. Tästä syystä materiaalit ja rakenteet määritettiin vasta simulointiohjelmassa. Rakenteiden oikeiden materiaalien ja materiaalipaksuuksien mallintaminen on oleellista dynaamisessa energiasimuloinnissa, joka ottaa huomioon myös rakenteiden lämmönvaraamiskyvyn. IDA ICE -ohjelmasta löytyy kattava valikoima eri materiaaleja, joten myös erikoisemmat materiaalit kuten ulkoseinien lastuvillalevy ja yläpohjan sahanpurueriste saatiin asetettua todellista vastaaviksi.

Väli- ja yläpohjan osalta rakenteen määrittämisessä kohdattiin ongelma, kun simulointiohjelmaan ei pystynyt määrittämään rakenteessa olevia betonipalkkeja. Palkit kuitenkin vaikuttavat oleellisesti sekä rakenteen U-arvoon että sen termiseen massaansa. Ongelma ratkaistiin laskemalla ensin rakenteen U-arvo erillisellä laskurilla (Liite 2). Tämän jälkeen määritettiin rakenteeseen ylimääräinen rakenekerros betonia, jonka tilavuus vastaa betonipalkkien tilavuutta, ja säädettiin eristekerroksen lämmönjohtavuus siten, että koko rakenteen U-arvo vastasi erikseen laskettua arvoa.

## 6.2.3 Huonelämpötilat ja lämpökuormat

Jokaisen tilan huonelämpötila asetettiin halutuksi noudattaen yleisiä käytäntöjä ja asetuksia. Huonelämpötiloiksi asuntoihin asetettiin 21 astetta, porraskäytäviin ja kellarin oheistiloihin 17 astetta. Kellarissa sekä asunnoissa olevien pesutilojen lämpötilan suunnittelun ohjearvo on 22 astetta, mutta tiloissa on sähköinen lattialämmitys tai pyyhepatteri, jonka katsottiin hoitavan lämpötilojen erotus.

Lämpökuormien osalta tuli määrittää sekä ihmisten että valaisimien ja laitteiden tiloihin aiheuttamat lämpökuormat. Arvoina käytettiin yleisesti energialaskennassa käytettäviä, Suomen rakentamismääräyskokoelmassa määriteltyjä lämpötehoja.

#### 6.2.4 Ilmanvaihto

Tilakohtaiset poistoilmamäärät asetettiin kohteen ilmanvaihtosuunnitelmien mukaisiksi niissä tiloissa, joissa on koneellinen poistoilmavaihto. Kokonaisilmamääräksi tuli 260 litraa sekunnissa. Poistoilmakojeena toimivissa huippuimureissa on kaksi tehoasetusta, 1 ja ½. Ilmanvaihdon tehoa ohjataan viikkokellolla, jonka aikataulu kopioitiin simulointiohjelmaan. Lisäksi huippuimureiden ohjauksessa on ulkoilmatermostaatti, joka rajoittaa tehon pienemmälle asetukselle ulkoilman lämpötilan laskiessa alle -10 °C.

Kellaritilojen painovoimainen ilmanvaihto määritettiin myös simulointiohjelmaan mahdollisimman tarkasti. Tilojen poistoilmahormin koko ja korkeus mitattiin kohderakennuksesta ja asetettiin ohjelmaan tilakohtaisesti. Ulkoilmaan aukeavat raitisilmaventtiilit tuli myös määrittää. Venttiilien mallin ja koon avulla pystyttiin määrittämään simulointiohjelmaan tarvittava ELA-arvo (Equivalent Leakage Area). Laskentaan tarvittavat virtaama-arvot löytyivät venttiilivalmistajien teknisistä esitteistä.

ELA-arvo lasketaan alla olevalla kaavalla 1.

$$ELA = \frac{Q\sqrt{\frac{\rho}{2\Delta P}}}{Cd} \quad (1)$$

missä  $Cd = 1$  (IDA ICE laskennassa)

$\Delta P = 4$  Pa (IDA ICE laskennassa)

$Q$  = kyseisen venttiilin virtaama 4 Pa painehäviöllä.

(ASHRAE 2021, 127.)

#### 6.2.5 Lämmin käyttövesi

Lämpimän käyttöveden kulutukseksi asetettiin RakMK D3 mukainen 35 kWh/(m<sup>2</sup>a) (Ympäristöministeriö 2011, 108). Lämpimän veden kiertoon on

neljässä asunnossa kytketty pyyhepatteri, joka lisää kiertoveden lämpöhäviöitä. Vanhoista suunnitelmista löytyi lämpimän käyttöveden nimellisvirtaamaksi 0,04 l/s, josta laskettu häviöteho määritettiin lämpimän käyttöveden kiertohäviöiksi simulointiohjelmaan. Teho voidaan laskea kaavalla 2.

$$Q = c * m * \Delta t \quad (2)$$

missä  $Q$  = teho (W)

$c$  = aineen ominaislämpökapasiteetti (J/kg)

$m$  = aineen massavirta (kg/s)

$\Delta t$  = lämpötilaero (K)

Lämpötilaero käyttöveden kierron mitoituksessa on kohteen LVI-suunnitelmien mukaan 3 astetta.

$$Q = 4.217 \text{ kJ/kg} * 0,04 \text{ l/s} * 1000 \text{ kg/m}^3 * 3^\circ \text{C}$$

$$Q = 504 \text{ W}$$

### 6.2.6 Sijainti ja sää

Rakennuksen sijainti tuli määrittää ohjelmaan säävyöhykkeen tarkkuudella. Kohderakennus sijaitsee vyöhykkeellä 3. Ohjelmaan on mahdollista valita tai syöttää halutun paikkakunnan ja vuoden säädata, jolla energiankulutus lasketaan. Eri vuosien ja paikkojen säät vaihtelevat suuresti, ja toisaalta samankin paikkakunnan sisällä on lukuisia niin sanottuja mikroilmastoja. Tutkimuksessa päädyttiin käyttämään Jyväskylän vuoden 2020 testivuosiaineistoa. Tuuliprofiiliksi asetettiin ASHRAE 1993 mukainen taajaman tuuliprofiili.

Sijainnin lisäksi tuli määrittää rakennuksen kiertokulma ja mahdolliset varjostukset, jotka vaikuttavat esimerkiksi auringonpaisteen lämmitysvaikutukseen. Rakennuksen kiertokulma on asemakuvan mukaan kuusi astetta myötäpäivään. Kiinteistön pihapuut on juuri kaadettu, joten rakennukseen ei kohdistu merkittäviä varjostuksia.

### 6.2.7 Olemassa oleva lämmitysjärjestelmä

Ohjelmaan syötettiin öljykattilan teho, hyötysuhde, sekä lämmitysverkoston lämpökäyrä. Öljykattilan polttimen teho on tyyppikilven mukaan 120 kW. Kattilan vesitilavuus on 500 litraa, mikä aseteltiin varaajan kooksi simulointiohjelmaan.

Olemassa olevan öljykattilan ja polttimen yhdistelmän hyötysuhde on alkuperäisen esitteen mukaan 85 %, joten öljylämmityksen hyötysuhteeksi asetettiin 0.85. Hyötysuhteeseen vaikuttaa moni asia ja se voi heikentyä laitteiston ikäännytyessä, mutta tarkempaa tietoa ei ollut käytettävissä. Öljykattilan hyötysuhteesta on kerrottu tarkemmin luvussa 2.5.3.

### 6.2.8 Lämpöpumppujärjestelmä

Kun kaikki olemassa olevat tiedot ja järjestelmät oli saatu asetettua ohjelmaan ja simuloitua, ryhdyttiin selvittämään rakennuksen energiankulutusta kuvitteellisella lämpöpumpulla. Lämpöpumpun vuotuisen energiantuoton ja -kulutuksen laskemiseksi mietittiin monia eri tapoja. Ensimmäisenä toteutustapana laskettiin lämpöpumpun energiat Microsoft Excel -ohjelmalla seuraavasti:

1. Tulostettiin IDA ICE -simulointiohjelmasta vuoden jokaisen tunnin ulkolämpötila ja lämmitystehontarve nykyisellä lämmitysjärjestelmällä.
2. Katsottiin lämpökäyrästä kullakin ulkolämpötilalla tarvittava menoveden lämpötila.
3. Katsottiin erään lämpöpumpun COP-taulukosta kyseisissä olosuhteissa saavutettava COP-arvo (Liite 3).
4. Laskettiin lämpöpumpun kuluttama ja tuottama energia kyseisissä olosuhteissa.
5. Laskettiin yhteen vuoden jokaisen tunnin energiankulutukset.

Menetelmä osoittautui kuitenkin melko monimutkaiseksi ja epävarmaksi, koska lämpöpumpun lämpökertoimeen vaikuttaa huomattavasti myös sen tehontuotto suhteessa maksimitehoon. Tämän huomioimiseksi laskentaan tuli niin monta muuttujaa, ettei se enää onnistunut normaaleilla Excel-työkaluilla. Ongelman

ratkaisemiseksi tutkittiin myös vaihtoehtoa, jossa Python-ohjelmointiympäristöön toteutettiin neuroverkko, joka opetettiin laskemaan tuntikohtainen COP-arvo annettujen lähtötietojen perusteella. Tämän todettiin kuitenkin menevän liian osaamisen ja tutkimusaiheen ulkopuolelle. Lisäksi edellä mainitussa menetelyssä oli ongelmallista se, että valmistajalta saatiin tietyissä olosuhteissa saavutettava COP-arvo vain neljällä eri tehoportaalla, mutta todellisuudessa pumpua ohjataan portaattomasti. Varmemman lopputuloksen saavuttamiseksi päädyttiin laskemaan lämpöpumpun energiankulutus kokonaisuudessaan simulointiohjelmalla.

IDA ICE -ohjelmaan pystyy lisäämään monipuolisesti erilaisia lämpöpumppujärjestelmiä. Ohjelmaan aseteltiin öljykattilan rinnalle kytketty lämpöpumppu. Tässä käytettiin ohjelmasta löytyvää ilmavesilämpöpumppua, jonka suoritusarvot lämpökertoiminen otettiin eräästä kaupallisesta tuotteesta, joka sopisi hyvin kohderakennukseen (liite 3). Valmistajan teknisestä esitteestä poimittiin lämpökertoimen lisäksi höyrystimen ja lauhduttimen lämpötilat, joissa suoritusarvot on mitattu. Kytkeväksi valittiin rinnallekytkentätapa, jossa olemassa oleva lämmitysjärjestelmä jää vara- ja lisälämmönlähteeksi, ja lämpöpumppu kattaa suurimman osan vuotuisesta energiantarpeesta. Lämpöpumppu lämmittelee tässä kytkennässä vain lämmitysverkostoa, ja lämmin käyttövesi tuotetaan olemassa olevalla järjestelmällä. Tähän kytkentätapaan päädyttiin, koska kaikki lämpöpumpputarjouksen antaneet yritykset ehdottivat kyseistä tapaa. Lämpöpumpun asettelun ja kytkennän voi IDA ICE -ohjelmassa tehdä useilla eri tavoilla, ja tutkimusta varten kysyttiin suoraan ohjelmiston tukihenkilöiltä, kuinka se kannattaa toteuttaa. Kytkeä on esitetty liitteessä 4.

Lämpimän käyttöveden osuus osoittautui simuloinnissa ongelmalliseksi, sillä sen lämmitäminen pelkästään öljykattilalla ei onnistunut. Ongelma ratkaistiin simuloimalla lämpöpumpun energiankulutus ilman käyttöveden kulutusta, ja lisäämällä nykyisen järjestelmän simuloinnista saatu käyttöveden lämmitämisen vaatima energiantarve lisäenergiantarpeeseen Excel-taulukkolaskennassa. Tässä tuli lisäksi huomioida lämpimän käyttöveden kiertohäviöiden aiheuttama lämmitystehontarpeen väheneminen.

Simulointi suoritettiin viidellä eri kokoisella lämpöpumpulla 10–50 kilowatin välillä, 10 kilowatin portaittain. Näin saatiin sekä haarukoitua sopivan kokoista järjestelmää, että vertailuaineistoa eri kokoisille tarjouskyselyistä saaduille järjestelmille. Ohjelmalla olisi myös mahdollista laskea juuri sen kokoinen lämpöpumppu, jolla saavutetaan pienin mahdollinen ostoenergiankulutus. Tämä ei kuitenkaan ollut tarkoituksenmukaista ensinnäkään siksi, että se johtaisi todennäköisesti hankintakustannuksiltaan kannattamattoman kalliiseen järjestelmään, ja toisaalta siksi, ettei markkinoilta todennäköisesti löytyisi juuri tietyn tehoista laitetta.

### **6.3 Laitemitoitusten kysely urakoitsijoilta**

Esimerkkirakennukseen pyydettiin tarjoukset lämpöpumppujärjestelmästä mitoitustalokalkemineen neljältätoista eri toimijalta. Toimijoiksi valittiin eri kokoisia alan yrityksiä, osa paikallisia, osa suurempia koko Suomen alueella toimivia. Yrityksiä valittaessa pyrittiin myös siihen, että mahdollisimman moni laitevalmistaja ja maahantuoja tulisi edustetuksi, sillä tiedossa oli, että urakoitsijat käyttävät usein maahantuojiin tai laitevalmistajien mitoitushojeita ja -tapoja. Yritykset pidettiin tutkimuksessa täysin nimettöminä, eikä yrityksille kerrottu etukäteen tutkimustyöstä, jotta se ei vaikuttaisi heidän toimintaansa. Yrityksille annettiin tarkoituksella hyvin vähäiset lähtötiedot kohteesta, jotta saataisiin selville, mitä tietoja mitoituksessa käytetään. Lähtötiedoiksi annettiin rakennuksen pohjapiirustukset, nykyinen öljynkulutus ja pääsulakekoko. Lisätietoja luvattiin antaa pyydettäessä.

Tarjousten saaminen oli yllättävän hankalaa. Lähes kaikkiin yrityksiin jouduttiin olemaan useita kertoja yhteydessä tarjouksen saamiseksi. Tämän lisäksi joidenkin toimijoiden kohdalla asiakkaalle ei lähtökohtaisesti kerrottu mitään itse laitteista, merkistä, mallista tai lämmitystehosta. Useiden lisätiedusteluiden avulla saimme kuitenkin lähes kaikilta yrityksiltä perustiedot vertailua varten.

Tarjous saatiin viideltä yritykseltä. Yhtä poikkeusta lukuun ottamatta kaikki tarjotut laitteet olivat ilmavesilämpöpumppuja, vaikka tarjouksia kysyttiin sekä maalämpö- että ilmavesilämpöpumppujärjestelmistä. Syy maalämpötarjousten

puuttumiseen ilmeni erään toimijan laskelmista, jossa kerrottiin alueella olevan todella paksu hiekkamaakerros peruskallion päällä, mikä nostaisi energiakaivon porauskustannukset kannattamattomiksi. Kaikki yritykset suosittelivat ensisijaisesti nykyisen öljylämmitysjärjestelmän rinnalle kytkettäviä laitteita, lisäksi yhdellä toimijalla oli ehdotus myös koko järjestelmän uusimiseksi, jolloin lisä- ja varalämmönlähteeksi asennettaisiin riittävän tehokas sähkökattila. Rinnallekytkentä oli toteutettu kaikissa tarjouksissa siten, että käyttövesi lämpenee kokonaisuudessaan öljyllä. Tarjouksissa oli suurta vaihtelua niin mitoitusarvojen, -tapojen kuin lopputulosten osalta.

## **7 Tulokset**

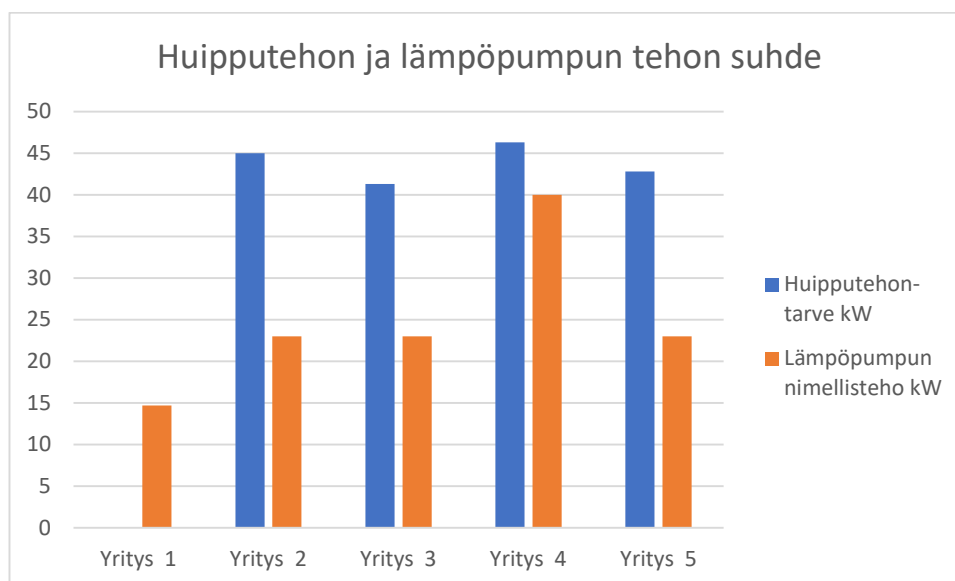
### **7.1 Tulosten vertailu**

Tulokset koottiin Excel taulukoihin, jotta kaikkia vaihtoehtoja olisi helppo vertailla. Tulokset on esitetty kootusti liitteessä 5, josta löytyy myös tarkemmat tiedot yritysten tarjouksista ja käytetyistä lähtötiedoista.

Simulointien perusteella lämpöpumpun sopiva nimellisteho asettuu 20 ja 30 kilowatin välille. Tätä suuremmalla lämpöpumpulla vuotuinen ostoenergiantarve pienenee hyvin vähän, joten se ei oletettavasti ole taloudellisesti kannattavaa. Suurin osa yrityksiltä saaduista mitoituksista osuu tälle välille, mutta ääripäissä on myös 14,7 ja 40 kilowatin järjestelmät. Lämpöpumppujen vuotuinen energiantuotto suhteessa lämpöpumpun nimellistehoon vaihteli eri yritysten ja simuloimalla saatujen tulosten välillä huomattavasti. (liite 5).

Huipputehontarve on simulointiohjelman mukaan noin 50 kW, ja yritysten laskelmissa se vaihtelee välillä 41,3–46,3 kW. Vaihtelu on huomattavan suurta, ja voisi johtaa ongelmiin erityisesti, jos koko nykyinen lämmitysjärjestelmä korvattaisiin uudella. Simuloinnista saatu huomattavasti suurempi tulos johtuu todennäköisesti kohderakennuksen ulkovaipan erittäin huonosta lämmöneristyskyvystä, jota yritykset eivät olleet ottaneet huomioon riittävästi. Alla olevassa

taulukossa 2 on esitetty yritysten tarjousten huipputehontarpeet ja lämpöpumpun nimellistehot.

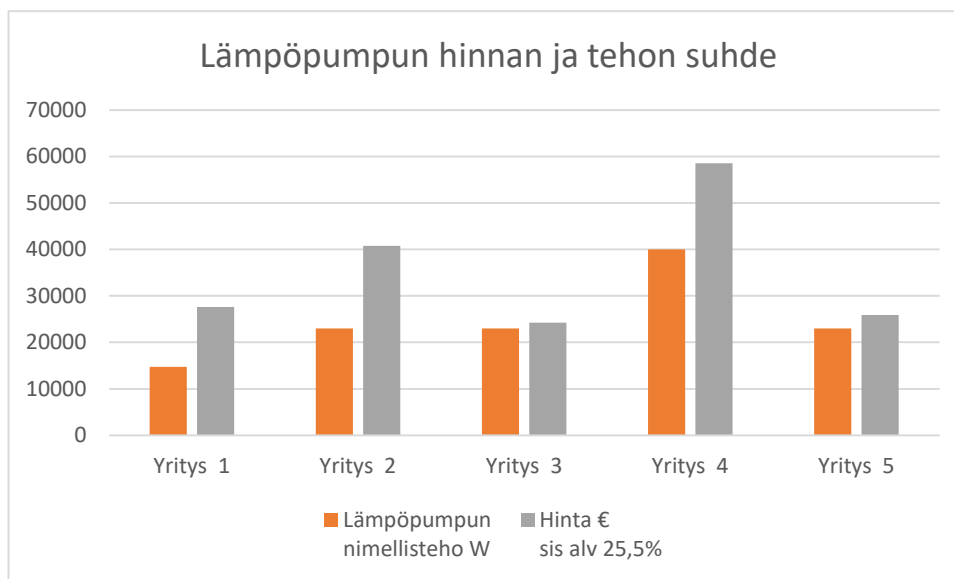


Taulukko 2, huipputehon ja lämpöpumpun tehon suhde.

Taulukosta käy ilmi, että lämpöpumpun lämmitystehon vaihtelut eivät aiheudu laskennallisen huipputehontarpeen vaihtelusta, vaan suhde on hyvin vaihteleva. Yrityksen 1 laskelmissa ei ollut esitetty huipputehontarvetta.

Lämpimän käyttöveden valmistukseen vuoden aikana tarvittava energiamäärä vaihteli yritysten mitoituksissa välillä 10200–20400 kWh, simulointiohjelman antaessa tuloksen 26867 kWh. Hajonta on huomattavan suurta, sillä se on noin 10–25 % rakennuksen vuotuisesta lämmitysenergiantarpeesta.

Yksi oleellisimmista osista rakennusten energiaremonteissa on hankinta- ja käyttökustannukset. Tässä tutkimuksessa kävi ilmi, että lämpöpumpun sopivan koon määrittäminen laitteiston ostohinnan perusteella on ongelmallista, sillä laitteiden hinnoissa on todella suuria eroja yritysten välillä. Esimerkiksi laitteiston hinta asennuksineen erään yrityksen tarjoamana oli yli 70 % kalliimpi kuin lähes täysin identtisen järjestelmän hinta toiselta toimijalta. Taulukossa 3 on kuvattu lämpöpumppujen nimellistehon ja hinnan suhdetta.



Taulukko 3. Lämpöpumpun nimellistehon ja hinnan suhde.

Taulukosta käy selkeästi ilmi, ettei lämpöpumppujen hinnat korreloi lämmitystehon kanssa kovinkaan hyvin. Myös käytetty ostoenergian hinta yritysten laskelmissa vaihteli, joten takaisinmaksuajat eivät ole vertailukelpoisia (liite 5). Jotta lämpöpumpun optimaalista kokoa voitaisiin tarkemmin tutkia takaisinmaksuajan puitteissa, tulisi tarjouksia saada moninkertainen määrä, että niissä olisi riittävästi johdonmukaisuutta.

## 7.2 Tulosten varmentaminen

Energiasimuloinnin tulokset olivat kokonaisuutena yllättävän lähellä todellisen rakennuksen energiankulutusta. Lopullinen ero öljylämmityksen simulointimallissa verrattuna olemassa olevaan rakennukseen oli vain muutamia prosentteja, ja jo pelkästään öljykattilan hyötysuhteen epätarkkuus riittäisi selittämään tämän virhemarginaalin. Toisaalta tällä tutkimusmäärällä ei pystytä osoittamaan, onko yksittäisten osa-alueiden energiankulutus simuloidussa mallissa yhtä tarkkaa kuin kokonaiskuvassa. Vanhojen rakenteiden, ovien ja ikkunoiden U-arvoissa voi olla poikkeamia laskemalla saatuihin tuloksiin nähden. Lisäksi erityisesti painovoimaisella ilmanvaihdon varustettujen tilojen ilmavirrat voivat laskennassa sisältää huomattavia virheitä. Myöskään testivuoden säätiedot eivät ole identtisiä niiden vuosien kanssa, joilta todellista öljynkulutusta on mitattu. Edellä mainitut, ja muut mahdolliset epätarkkuustekijät mahdollistavat sen, että

simuloinnissa on toistensa kumoavia virhetekijöitä, ja lopputulos vastaa vain sattumalta hyvin toteutunutta energiankulutusta. On kuitenkin hyvin epätodennäköistä, että jokin yksittäinen aihealue olisi merkittävän virheellinen, sillä laskennassa on käytetty yleisesti käytössä olevia arvoja ja laskentatapoja.

IDA ICE -ohjelma on läpäissyt lukuisia kansainvälisiä laatustandardeja (EN 15255, EN 15265 ja EN13791), jotka osoittavat sen olevan luotettava ja antavan hyväksyttäviä arvoja mitattuun dataan tai toisiin ohjelstoihin verrattuna. Lämpöpumppujen osalta ohjelmalle ei kuitenkaan ole tehty validointitestejä, joten opinnäytetyön tulosten varmistamisen tueksi päätettiin tehdä testi, kuinka ohjelman laskemat tulokset suhtautuvat lämpöpumppuvalmistajan antamiin tuloksiin. Tätä testiä ei voida suoraan käyttää ohjelman tarkkuuden arviointiin, mutta se antaa viitteitä siitä, kuinka lähelle tulokset osuvat. Varmenemismenetelmänä otettiin ohjelman tuloksista kymmenen sattumanvaraista tuntia lämmityskauden ajalta, josta katsottiin ulkolämpötila, menoveden lämpötila sekä lämmitystehon tarve. Näitä verrattiin erään lämpöpumppuvalmistajan esitteestä saatuihin tietoihin, ja kummastakin otettiin kyseisissä lämpöolosuhteissa saavutettu COP-arvo. Simuloinnissa ohjelmaan oli aseteltu juuri kyseisen lämpöpumpun tiedot. Alla olevassa taulukossa 4 on koottu vertailutiedot ja virhemarginaali.

Testipiste	Olosuhteet:	IDA ICE COP	Lämpöpumppuvalmistaja COP	Ero (%)
Piste 1	Tulko = -15°C, Tmeno= 40°C, Lämmitysteho=10,9kW	2,37	2,16	9 %
Piste 2	Tulko = -2°C, Tmeno= 50°C, Lämmitysteho =24,5kW	2,38	2,02	15 %
Piste 3	Tulko = -12°C, Tmeno= 48°C, Lämmitysteho =14,6kW	2,19	2,06	6 %
Piste 4	Tulko = -6°C, Tmeno= 51°C, Lämmitysteho =23,3kW	2,16	2,22	-3 %
Piste 5	Tulko = -15°C, Tmeno= 43°C, Lämmitysteho =12,1kW	2,31	2,16	6 %
Piste 6	Tulko = -19°C, Tmeno= 52°C, Lämmitysteho =21,7kW	2,05	1,82	11 %
Piste 7	Tulko = 7°C, Tmeno= 40°C, Lämmitysteho =6,9kW	2,94	3,73	-27 %
Piste 8	Tulko = 12°C, Tmeno= 36°C, Lämmitysteho =3,2kW	3,50	4,39	-25 %
Piste 9	Tulko = 2°C, Tmeno= 45°C, Lämmitysteho =13,2kW	2,80	2,30	18 %
Piste 10	Tulko = -7°C, Tmeno= 53°C, Lämmitysteho =23,1kW	2,05	2,11	-3 %
<b>Keskiarvo</b>		<b>2,48</b>	<b>2,50</b>	<b>1 %</b>

Taulukko 4, Simuloidun ja lämpöpumppuvalmistajan antaman COP-arvon vertailu.

Taulukosta nähdään, että tietyissä olosuhteissa ero on huomattava, mutta keskiarvillisesti tulokset ovat hyvin lähellä toisiaan. Jostain syystä simulointiohjelman antama COP-arvo oli erityisesti korkeissa ulkolämpötiloissa huomattavasti pienempi.

## 8 Pohdinta

Yhteenvedona voidaan todeta, että huolellisesti tehty energiasimulointi tuo huomattavasti varmuutta lämpöpumpun mitoitukseen. Pelkkä tietomallin luominen ja kaikkien vaadittavien parametrien asettaminen ohjelmistoihin pakottaa selvittämään huomattavan paljon tietoja kohderakennuksesta, mikä jo itsessään vähentää virheiden määrää.

Toisaalta esimerkkirakennukseen pyydettyjen lämpöpumpputarjousten läpikäynti antoi kokonaiskuvaa siitä, kuinka vähäisillä lähtötiedoilla hankkeita tehdään. Lähes kaikki yritykset tekivät mitoituksen pelkästään lähtötiedoissa annetuilla, hyvin vähäisillä tiedoilla. Mitoituslaskelmissa jätetään huomioimatta perusasioita, kuten käyttöveden kulutus, rakenteiden lämmöneristyskyky, ilmanvaihdon toteutustapa tai jopa lämmitysverkoston lämpötilat. Esimerkiksi koneellisessa poistoilmanvaihdossa oleva pakkaspudotustoiminto vähentää esimerkiksi kohteessa huipputehontarvetta noin 20 prosenttia, mutta yksikään toimija ei ottanut sitä huomioon. Myös energialaskennan perussuureissa oli eroja ja suoranaisia virheitä. Esimerkiksi laskennassa käytettävä vuoden keskilämpötila vaihteli 3,7 ja 6,6 asteen välillä, mikä vaikuttaa oleellisesti lämpöpumpun vuosihyötysuhteeseen.

Opinnäytetyössä tehty tutkimustyö on ymmärrettävästi liian laaja ja monimutkainen rutiininomaiseksi mitoittavaksi. Toisaalta vastaavan mittaluokan energiaremonteissa päädytään usein joka tapauksessa käyttämään energiansimulointiohjelmaa esimerkiksi E-luvun laskentaa varten, jolloin lämpöpumpun mitoituksen vuoksi tarvittava lisätyö ei välttämättä ole kovin suuri.

Tutkimus osoitti asioita, joita lämpöpumppujen mitoituksessa on oleellista ottaa huomioon riippumatta siitä, kuinka mitoitus tehdään. Oleellisimpia huomioon otettavia asioita ovat lämpöverkon suunnittelulämpötilat, nykyisen järjestelmän energiankulutus ja hyötysuhde, lämpimän käyttöveden kulutus, ilmanvaihdon energiankulutus, säävyöhyke sekä rakenteiden U-arvot. Tutkimustuloksia voidaan hyödyntää niin ostajan kuin myyjän toimesta, kun suunnitellaan lämpöpumpun hankkimista olemassa olevaan rakennukseen. Vaikka tutkimus keskittyi esimerkkirakennuksen myötä öljylämmitysjärjestelmän korvaamiseksi lämpöpumpulla, voidaan tutkimuksen tuloksia hyödyntää myös esimerkiksi sähkö-, kaasu- tai kaukolämmityskohteissa. Eri lämmitysjärjestelmien kanssa tulee kuitenkin huomioida mahdolliset erityispiirteet, jotka voivat vaikuttaa lämpöpumpun mitoitukseen. Tässä tutkimuksessa ei huomioitu lämpöpumpun asennuksesta nykyiselle lämmitysjärjestelmälle mahdollisesti aiheutuvia muutostarpeita.

Aiheesta jäi myös mahdollisuuksia tarkempiin jatkotutkimuksiin. Rakennuksen lämmitysverkoston tarkka mallintaminen putkikokoineen ja pattereineen mahdollistaisi lämmitysverkoston meno- ja paluueden tarkan optimoinnin lämpöpumppua varten siten, että virtaamat säilyvät kohtuullisina, eikä ääni- tai muita ongelmia tulisi. Tämä edellyttäisi myös toteutusvaiheessa lämmitysverkoston huolellisesta perussäätöä, jotta suunnitellut virtaamat toteutuisivat. Lisäksi olisi mahdollista tutkia, kannattaako esimerkiksi pattereiden tai putkistojen uusiminen alhaisemman menoveden lämpötilan saavuttamiseksi. Ongelmaksi tämän tyyppisessä kannattavuuslaskennassa voi osoittautua se, että eri muutostöiden kustannuksia on vaikea määrittää, jos ne vaihtelevat huomattavasti urakoitsijoiden välillä.

## Lähteet

- Alanne, K., Holopainen, R., Hyvärinen, J., Kaappola, E., Ketomäki, J., Kurnitski, J., Könkö, S., Pylsy, P., Railio, J., Seppänen, O., Vuolle, M., Vuorinen, P. & Yrjölä, J. 2024. Rakennusten energiatekniikka. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut.
- ASHRAE 2021. 2021 ASHRAE Handbook: Fundamentals. Lontoo: Mark S. Owen.
- Energiateollisuus 2025. Kaukolämpö ja kaukojäähdytys. <https://energia.fi/energiatietoa/energiantuotanto/kaukolampo-ja-jaahdytys/>. 21.1.2025.
- Equa 2025. IDA Indoor Climate and Energy. <https://www.equa.se/fi/ida-ice>. 6.1.2025.
- Hengitysliitto 2025. Painovoimainen ilmanvaihto. <https://www.hengitysliitto.fi/kodin-sisailma-ja-kunnossapito/ilmanvaihto/ilmanvaihtojarjestelmat/painovoimainen-ilmanvaihto-2/>. 23.2.2025.
- Ilmastoinfo 2025a. Öljylämmitys. <https://ilmastoinfo.hsy.fi/verkkokurssit/uusiutuva-lampoa-pientaloon/lessons/pientalojen-perinteiset-lammitysmuodot/topics/oljylammitys/>. 21.1.2025.
- Ilmastoinfo 2025b. Kerrostalon lämpötase. <https://ilmastoinfo.hsy.fi/verkkokurssit/energiaekspertti/lessons/lammitys-2/topics/kerrostalon-lampotase/>. 12.1.2025.
- Ilmasto-opas 2018. Sähkölaitteissa ja valaistuksessa on merkittäviä energiansäästömahdollisuuksia. <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/sahkolaitteissa-ja-valaistuksessa-on-merkittavia-energiansaastomahdollisuuksia>. 12.2.2025.
- Ilmatieteen laitos 2020. Raportti Nykyisen ja tulevan ilmaston säätietoja rakennusfysikaalisia laskelmia ja energialaskennan testivuotta 2020 varten. <http://hdl.handle.net/10138/321164>.
- Jäspi 2025. Sähkölämmitys. <https://jaspi.fi/sahkolammitys/>. 23.2.2025.
- Lämmitysenergia Yhdistys 2025. Öljylämmitysjärjestelmän energiatehokkuus. <https://oljylammitys.fi/energiatehokkuus/oljylammitysjarjestelman-energiatehokkuus/>. 26.2.2025.
- Lämpökumppanit 2025. Miten vesi-ilmalämpöpumppu toimii? Toimintaperiaate selitettynä. <https://www.lampokumppanit.fi/miten-vesi-ilmalampopumppu-toimii-toimintaperiaate-selitettyna/>. 22.1.2025.
- Lämpöykkönen 2025. Hybridilämmitys vähentää lämmityskuluja ja riippuvuutta yhdestä energiamuodosta. <https://lampoykkonen.fi/lampomedia/artikkelit/hybridilammitys-vahentaa-lammityskuluja-ja-riippuvuutta-yhdesta-energiamuodosta/?srsId=AfmBOoqbPkgXKeBsARtUIUbwBNAKs9Wql4ZA1QB6zs7pkcJV7vf9qEck>. 11.2.2025.
- MagiCAD 2025a. Tietoja meistä. <https://www.magicad.com/fi/yhtio/tietoja-meista/>. 6.1.2025.
- MagiCAD 2025b. MagiCAD Room. <https://www.magicad.com/fi/sovellukset/magicad-room/>. 6.1.2025.

- Motiva 2024a. Vesikiertoinen lämmitys – ylläpito ja säätö.  
[https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/energiatehokas\\_pientalo/kodin\\_saatolaitteiden\\_kaytto\\_ja\\_yllapito/vesikiertoinen\\_lammitys\\_-\\_yllapito\\_ja\\_saato](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_pientalo/kodin_saatolaitteiden_kaytto_ja_yllapito/vesikiertoinen_lammitys_-_yllapito_ja_saato). 12.1.2025.
- Motiva 2024b. Maalämpöpumppu (MLP).  
[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/maalampopumppu](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/maalampopumppu). 12.1.2025.
- Motiva 2024c. Ilmanvaihdon eri toteutustavat.  
[https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/energiatehokas\\_taloyhtio/ilmanvaihto/ilmanvaihdon\\_eri\\_toteutustavat](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_taloyhtio/ilmanvaihto/ilmanvaihdon_eri_toteutustavat). 14.1.2025.
- Motiva 2024d. Lämmitys.  
[https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/energiatehokas\\_taloyhtio/lammitys](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_taloyhtio/lammitys). 14.1.2025.
- Motiva 2025. Öljylämmitys.  
[https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/energiatehokas\\_pientalo/pientalon\\_lammitys/oljylammitys](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_pientalo/pientalon_lammitys/oljylammitys). 14.1.2025.
- Nilan 2025. COP vs SCOP – Hyötysuhteiden erot.  
<https://www.nilan.fi/energiansaasto/cop-vs-scop-hyotysuhteiden-erot/>. 20.2.2025.
- Nordicbim 2025. BIM eilen, tänään, huomenna.  
<https://www.nordicbim.com/fi/bim-eilen-tanaan-huomenna>. 5.1.2025.
- Ouman 2017. Ouman EH800 / EH800B Lämmönsäädin käyttöohje. Helsinki: Ouman Oy.
- Rakennustieto Oy, 2003. Vesikiertoinen patterilämmitys. RT 52-10797.
- Rakennustieto Oy, 2006. Kerrostalot 1880–2000. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Recticelinsulation 2025. Mikä on U-arvo?  
<https://www.recticelinsulation.com/fi/mika-u-arvo>. 15.1.2025.
- Scanoffice 2024. Ilmalämpöpumpun ulkoyksikön jäätyminen.  
<https://scanoffice.fi/ajankohtaista/ilmalampopumpun-ulkoyksikon-jaatyminen/>. 22.1.2025.
- Seppänen, O. 2001. Rakennusten lämmitys. 2. uudistettu painos. Helsinki: Suomen LVI-yhdistysten liitto.
- Tom Allen Senera 2025. Maalämpö.  
<https://www.tomallensenera.fi/maalampo>. 20.2.2025.
- TurkuAMK 2024. Ilma-vesilämpöpumpun sulatustoiminto kerrostalokohteessa.  
<https://talk.turkuamk.fi/tekniikka/ilma-vesilampopumpun-sulatustoiminto-kerrostalokohteessa/>. 22.1.2025.
- Työtehoseura. 2020. Kestävä vedenkäyttö.  
<https://www.tts.fi/hankkeet/asuminen/kestava-vedenkaytto/>. 15.1.2025.
- Ympäristöministeriö 2011. Lämmitysjärjestelmät ja lämmin käyttövesi – laskentaopas. <https://ym.fi/-/rakentamismaaraykset> 15.3.2025.
- Ympäristöministeriö 2012. Lämpöpumppujen energialaskentaopas. <https://ym.fi/-/rakentamismaaraykset> 15.3.2025.
- Ympäristöministeriö 2018. Tyypillisiä olemassa olevien vanhojen rakennusten alkuperäisiä suunnitteluarvoja Energiatodistusoppaan 2018 liite 1.11.2018.

Ympäristöministeriö 2020. Uudet säätietoaineistot tukevat kestävien rakennusten suunnittelua muuttuvassa ilmastossa. <https://ym.fi/-/uudet-saatietoaineistot-tukevat-kestavien-rakennusten-suunnittelua-muuttuvassa-ilmastossa>. 21.1.2025.

SFS-EN 14825. 2022. Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps, with electrically driven compressors, for space heating and cooling, commercial and process cooling. Testing and rating at part load conditions and calculation of seasonal performance. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

## Liite 1, esimerkkirakennuksen tiedot

YHTEENVETO RAKENNUKSEN ENERGIATEHOKKUUDESTA													
Laskennallinen ostoenergiankulutus ja energiatehokkuuden vertailuluku (E-luku)													
Lämmitetty nettoala	641,585 m <sup>2</sup>												
Lämmitysjärjestelmän kuvaus													
Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus													
	Vakioidulla käytöllä laskettu ostoenergia		Energiamuodon kerroin	Energiamuodon kertoimella painotettu energia									
	kWh/vuosi	kWh/(m <sup>2</sup> vuosi)	-	kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> vuosi)									
fossiilinen polttoaine	144 667	225,5	1	225,5									
sähkö	23 233	36,2	1,2	43,5									
Sähkön kulutukseen sisältyvä valaistus- ja kuluttajalaitesähkö	18 104	28,2											
Energiatehokkuuden vertailuluku (E-luku)				269									
Rakennuksen energiatehokkuusluokka													
Käytetty E-luvun luokitteluasteikko	Asuinkerrostalot												
Luokkien rajat asteikolla	<table border="1"> <tr> <td>A: ... 75</td> <td>B: 76 ... 100</td> <td>C: 101 ... 130</td> </tr> <tr> <td>D: 131 ... 160</td> <td>E: 161 ... 190</td> <td>F: 191 ... 240</td> </tr> <tr> <td>G: 241 ...</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				A: ... 75	B: 76 ... 100	C: 101 ... 130	D: 131 ... 160	E: 161 ... 190	F: 191 ... 240	G: 241 ...		
A: ... 75	B: 76 ... 100	C: 101 ... 130											
D: 131 ... 160	E: 161 ... 190	F: 191 ... 240											
G: 241 ...													
Tämän rakennuksen energiatehokkuusluokka	G												
<p>E-luku perustuu rakennuksen laskennallisiin kulutuksiin ja energiamuotojen kertoimiin. Kulutus on laskettu vakioidulla käytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden, jotta eri rakennusten E-luvut ovat keskenään vertailukelpoisia. Vakioidusta käytöstä johtuen E-luku ei sovellu yksittäisen rakennuksen toteutuneen ja laskennallisen kulutuksen vertailuun. E-lukuun sisältyy rakennuksen lämmitys-, ilmanvaihto-, jäähdytysjärjestelmien sekä kuluttajalaitteiden ja valaistuksen energiankulutus. Rakennuksen ulkopuoliset kulutukset kuten autolämmityspistokkeet, sulanapitolämmitykset ja ulkovalot eivät sisälly E-lukuun.</p>													
TOIMENPIDE-EHDOTUKSIA E-LUVUN PARANTAMISEKSI													
Keskeiset suositukset rakennuksen E-lukua parantaviksi toimenpiteiksi (ei koske uusia rakennuksia)													
Ohje uudiskohteelle: Valitse "Uudelle rakennukselle..." sivulla 1 ja jätä tähti (*)													
Ohje olemassa olevalle kohteelle: Valitse "Olemassa oleva kohde" sivulla 1 ja syötä suositukset(pakollinen syöttö)													
<div style="background-color: yellow; height: 300px; width: 100%;"></div>													
Suositukset on esitetty yksityiskohtaisemmin sivuilla 6 ja 7, kohdassa "Toimenpide-ehdotukset E-luvun parantamiseksi".													

E-LUVUN LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT				
<b>Rakennuskohde</b>				
Rakennuksen käyttötarkoitusluokka	Asuinkerrostalot, joissa on asuinkerroksia vähintään kolmessa kerroksessa (käyttötarkoitusluokka 2)			
Rakennuksen valmistumisvuosi	Lämmitetty nettoala	642	m <sup>2</sup>	
<b>Rakennusvaippa</b>				
Ilmanvuotoluku q <sub>50</sub> : (Araan 8/20)	* m <sup>3</sup> /(h m <sup>2</sup> )			
	A m <sup>2</sup>	U W/(m <sup>2</sup> K)	UxA W/K	Osuus lämpöhäviöistä %
Ulkoseinät	443,9	0,61	272,5	39 %
Yläpohja	213,8	0,42	89,8	13 %
Alapohja	213,9	0,35	75,3	11 %
Ikkunat	72,6	2,81	204,0	29 %
Ulko-ovet	8,8	1,01	8,9	1 %
Kylmäsiilat	-	-	53,0	8 %
<b>Ikkunat ilmansuunnittain</b>				
	A m <sup>2</sup>	U W/(m <sup>2</sup> K)	g <sub>kohticuora</sub> -arvo -	
Pohjoinen	30,3	2,81	0,76	
Koillinen	*	*	*	
Itä	4,8	2,81	0,76	
Kaakko	*	*	*	
Etelä	33,0	2,81	0,76	
Lounas	*	*	*	
Länsi	4,5	2,81	0,76	
Luode	*	*	*	
<b>Ilmanvaihtojärjestelmä</b>				
Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus: (Araan 9/20)	*			
	Ilmavirta tulo/poisto (m <sup>3</sup> /s) / (m <sup>3</sup> /s)	Järjestelmän SFP-luku kW / (m <sup>3</sup> /s)	LTO:n lämpötilasuhde -	Jäätymisenesto °C
Pääilmanvaihtokoneet	0,000/0,260	0,67	0 %	0,0
Poistoilmakone (ei tuloa)	0,000/0,260	0,67	0 %	0,0
Erillispoistot	0,260	0,67	-	-
Ilmanvaihtojärjestelmä	0,000/0,260	0,67	-	-
Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän LTO:n vuosihyötysuhde:	* (Araan 10/20)			
<b>Lämmitysjärjestelmä</b>				
Lämmitysjärjestelmän kuvaus: (Araan 11/20)	*			
	Tuoton hyötysuhde (Araan 12,13)	Jaon ja luovutuksen hyötysuhde	Lämpökerroin <sup>1</sup>	Apulaitteiden sähkökäyttö kWh/(m <sup>2</sup> vuosi) (Araan 14,15)
Tilojen ja iv:n lämmitys	*	90 %	*	*
Lämpimän käyttöveden valmistus	*	84 %	*	*
<sup>1</sup> vuoden keskimääräinen lämpökerroin lämpöpumpulle				
<sup>2</sup> lämpöpumpujärjestelmissä voi sisältyä vuoden keskimääräiseen lämpökertoimeen				
	Määrä kpl	Tuotto kWh		
Varaava tulisija	*	*		
Ilmalämpöpumppu	*	*		
<b>Jäähdytysjärjestelmä</b>				
	Jäähdytyskauden painotettu kylmäkerroin			
Jäähdytysjärjestelmä (Araan 16/20)	* (anna tyhjä solu, jos rakennus jäähdyttämätön)			
<b>Lämmin käyttövesi</b>				
	Ominaiskulutus dm <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> vuosi)	Lämmitysenergian nettotarve kWh/(m <sup>2</sup> vuosi)		
Lämmin käyttövesi	601	35		
<b>Sisäiset lämpökuormat eri käyttöasteilla</b>				
	Käyttöaste -	Henkilöt W/m <sup>2</sup>	Kuluttajalaitteet W/m <sup>2</sup>	Valaistus W/m <sup>2</sup>
	60 %	3,0	4,0	9,0
	60 %			
	10 %			

E-LUVUN LASKENNAN TULOKSET				
Rakennuskohde				
Rakennuksen käyttötarkoituusluokka	Asuinkerrostalot, joissa on asuinkerroksia vähintään kolmessa kerroksessa (käyttötarkoituusluokka 2)			
Rakennuksen valmistumisvuosi				
Lämmitetty nettoala, m <sup>2</sup>	641,585			
E-luku, kWh <sub>E</sub> / (m <sup>2</sup> vuosi)	269			
E-luvun erittely				
Käytettävät energiamuodot	Vakioidulla käytöllä laskettu ostoenergia kWh/vuosi	Energiamuodon kerroin -	Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus kWh <sub>E</sub> /vuosi kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> vuosi)	
kaukolämpö	*	0,50		
sähkö	*	1,20		
kaukojäähdytys	*	0,28		
fossiilinen polttoaine	*	1,00		
uusiutuva polttoaine	*	0,50		
	*	*		
	*	*		
<b>Fossiiliset polttoaineet</b>	<b>144 667</b>	<b>1,00</b>	<b>144667</b>	<b>225,5</b>
	*	*		
sähkö, kuluttajalaitteet	13 167	1,20	15800	24,6
sähkö, valaistus	4 937	1,20	5925	9,2
sähkö, ilmanvaihtojärjestelmä	815	1,20	978	1,5
sähkö, muu mallinnettu ostosähkö vähennettynä sähkön omavaraistuotolla	4 314	1,20	5177	8,1
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>167 900</b>		<b>172 546</b>	<b>269</b>
Rakennuksen ympäristössä olevasta energiasta otettu energia, hyödynnetty osuus (kuukausitason erittely lisätiedoissa)				
		kWh/vuosi	kWh/(m <sup>2</sup> vuosi)	
Aurinkosähkö		*		
Aurinkolämpö		*		
Tuulisähkö		*		
Maasta tai ilmasta otettu lämpöenergia		*		
Muu ympäristöstä otettu energia, sähkö		*		
Rakennuksen teknisten järjestelmien energiankulutus				
		Sähkö kWh/(m <sup>2</sup> vuosi)	Lämpö kWh/(m <sup>2</sup> vuosi)	Kaukojäähdytys kWh/(m <sup>2</sup> vuosi)
Lämmitysjärjestelmä				
Tilojen lämmitys <sup>1</sup> (Araan 17/20)		*	149,7	-
Tuloilman lämmitys (Araan 18/20)		*	0,0	-
Lämpimän käyttöveden valmistus (Araan 19/20)		*	41,9	-
Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus		1,3	-	-
Jäähdytysjärjestelmä		*	*	*
Kuluttajalaitteet ja valaistus		28,2	-	-
<b>YHTEENSÄ</b>		<b>30,0</b>	<b>192,0</b>	<b>0,0</b>
<sup>1</sup> ilmanvaihdon tuloilman lämpeneminen tilassa ja korvausilman lämmitys kuuluu tilojen lämmitykseen				
Energian nettotarve				
		kWh/vuosi	kWh/(m <sup>2</sup> vuosi)	
Tilojen lämmitys <sup>2</sup>		86 422	135	
Ilmanvaihdon lämmitys <sup>3</sup>		0	0	
Lämpimän käyttöveden valmistus		22 427	35	
Jäähdytys		0	0	
<sup>2</sup> sisältää vuotoilman, korvausilman ja tuloilman lämpenemisen tilassa				
<sup>3</sup> laskettu lämmöntalteenoton kanssa				
Lämpökuormat				
		kWh/vuosi	kWh/(m <sup>2</sup> vuosi)	
Aurinko		13 827	22	
Henkilöt		9 930	16	
Kuluttajalaitteet		13 167	21	
Valaistus		4 937	8	
Lämpimän käyttöveden kierrosta ja varastoinnin häviöistä (Araan 20/20)		*		
Laskentatyökalun nimi ja versionumero				
Laskentatyökalun nimi ja versionumero	IDA Indoor Climate and Energy, version 5.1			

## Liite 2, yläpohjan U-arvo

DOF-LAMPO

Projektiedot Perustiedot Rakenne Tarkasteluhetket Tulokset

Vyöhyke 1, Mitoitusilanne

**U-arvon ja kosteuslaskennan tulokset:**

Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen yläalikarvo:	3,046 m <sup>2</sup> K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alialikarvo:	1,670 m <sup>2</sup> K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastus:	2,358 m <sup>2</sup> K/W
U-arvo (ilman korjaustermiä)	0,424 W/m <sup>2</sup> K
Laskettu/annettu korjaustermi:	0,010 W/m <sup>2</sup> K
Korjaustermi 0,010 < 3% U-arvosta	ei oteta huomioon
U-arvo (korjaustermi huomioiden):	0,424 W/m <sup>2</sup> K
U-arvo (pyöristetty arvo):	<b>0,42 W/m<sup>2</sup>K</b>
Uudiskohteen vertailuarvo:	<b>0,09 W/m<sup>2</sup>K</b>

Tarkasteluhetki/jakso: Vyöhyke 1, Mitoitusilanne

Lämpötilat eri kerroksissa (Celsius):

Sisätila:	Vyöhyke 1, Mitoitusilanne
Sisäpinta:	21,00
1-2:	20,31
2-3:	20,14
	-23,83

Kuvat Materiaalikerrostot Pikaohje

Rakennekuva

500 mm

Projektitiedot	Perustiedot	Rakenne	Tarkasteluohjelmat	Tulokset	
<b>Poista kaikki kerrokset</b>					
<b>Kerros:</b>	<b>mm:</b>	<b>Materiaali:</b>	<b>W/mk:</b>	<b>Kylmäsiirtä:</b>	
1.	50,00	Betoni	2,000	-	<input checked="" type="checkbox"/>
2.	370,00	Sahanpuru + betonipalkit	0,058	Betonipalkit (12,50%)	<input checked="" type="checkbox"/>
3.	30,00	Muottilaudotus	0,120	-	<input checked="" type="checkbox"/>
4.	50,00	Gyproc GTS 9	2,000	-	<input checked="" type="checkbox"/>
					<input checked="" type="checkbox"/>

Kuvat	Materiaalirajastor	Pikaohje
<b>Rakennekuva</b>		

## Liite 3, laskennassa käytetty lämpöpumppu

# Ecodan ATW Hydronic Hot Water Heat Pumps



### PUHZ-(H)W OUTDOOR UNITS

Our range of Ecodan ATW (Air-to-Water) Hydronic Hot Water Heat Pumps are available in 8.5kW and 14kW capacities. Designed to suit a wide range of heating and cooling applications, these models offer a viable solution for the varying requirements that domestic and small commercial applications demand.

#### Key Features

- Self-contained unit, only requiring water and electric connections
- No need for gas supply, flues or ventilation
- Single phase power supply with a low starting current
- Low maintenance and quiet operation
- Operates with outside temperatures as low as -25°C with Zubadan HW Models
- Capable of leaving water temperature down to 5°C in Cooling Mode and up to 60°C in Heating Mode

#### Domestic Applications

- Heating and domestic hot water
- Suits vast majority of NZ homes

#### Commercial Applications

- Small retail outlets
- Dental and doctors' surgeries
- Public sector and commercial buildings



PUAZ-W85VAA



PUAZ-HW140VHA2

OUTDOOR UNIT			ZUBADAN	
			PUAZ-W85VAA	PUAZ-HW140VHA2
HEATING*1 (A7/W3S)	Capacity	[kW]	9.00	14.00
	Power Input	[kW]	1.996	3.29
	COP		4.51	4.26
HEATING*2 (A2/W3S)	Capacity (kW)	[kW]	8.50	14.00
	Power Input	[kW]	2.530	4.50
	COP		3.36	3.11
WATER DATA	Outdoor connection		1" BSP Parallel Thread ISO 228/1-G1B	1" BSP Parallel Thread ISO 228/1-G1B
	Heating Flow Rate Range	[L/min]	10.8-25.8	17.9-40.1**
	Heating Flow Temperature Range	[°C]	25-60	25-60
	Cooling Flow Temperature Range	[°C]	5-25	5-25
OPERATING OUTDOOR TEMPERATURE RANGE	Heating	[°C DB]	-20 ~ +35°C	-25 ~ +21°C
	DHW	[°C DB]		-25 ~ +35°C
NOISE	SPL at 1M**	[dBA]	45	53
	Type		R410A	R410A
REFRIGERANT DATA	Charge	[kg]	2.4	4.3
	Width	[mm]	1050	1020
DIMENSIONS	Depth	[mm]	480	330+30**3
	Height	[mm]	1020	1350
	WEIGHT	[kg]	97	134
ELECTRICAL DATA	Electrical Supply		1Ph, 230V, 50Hz	1Ph, 230V, 50Hz
	Maximum Current	[A]	22	35
	Fuse Rating	[A]	25	40

\*1 Under normal heating conditions at outdoor temp: 7°CDB / 6°CWB, outlet water temp 35°C, inlet water temp 30°C as tested to BS EN14511.

\*2 Under normal heating conditions at outdoor temp: 2°CDB / 1°CWB, outlet water temp 35°C, inlet water temp 30°C.

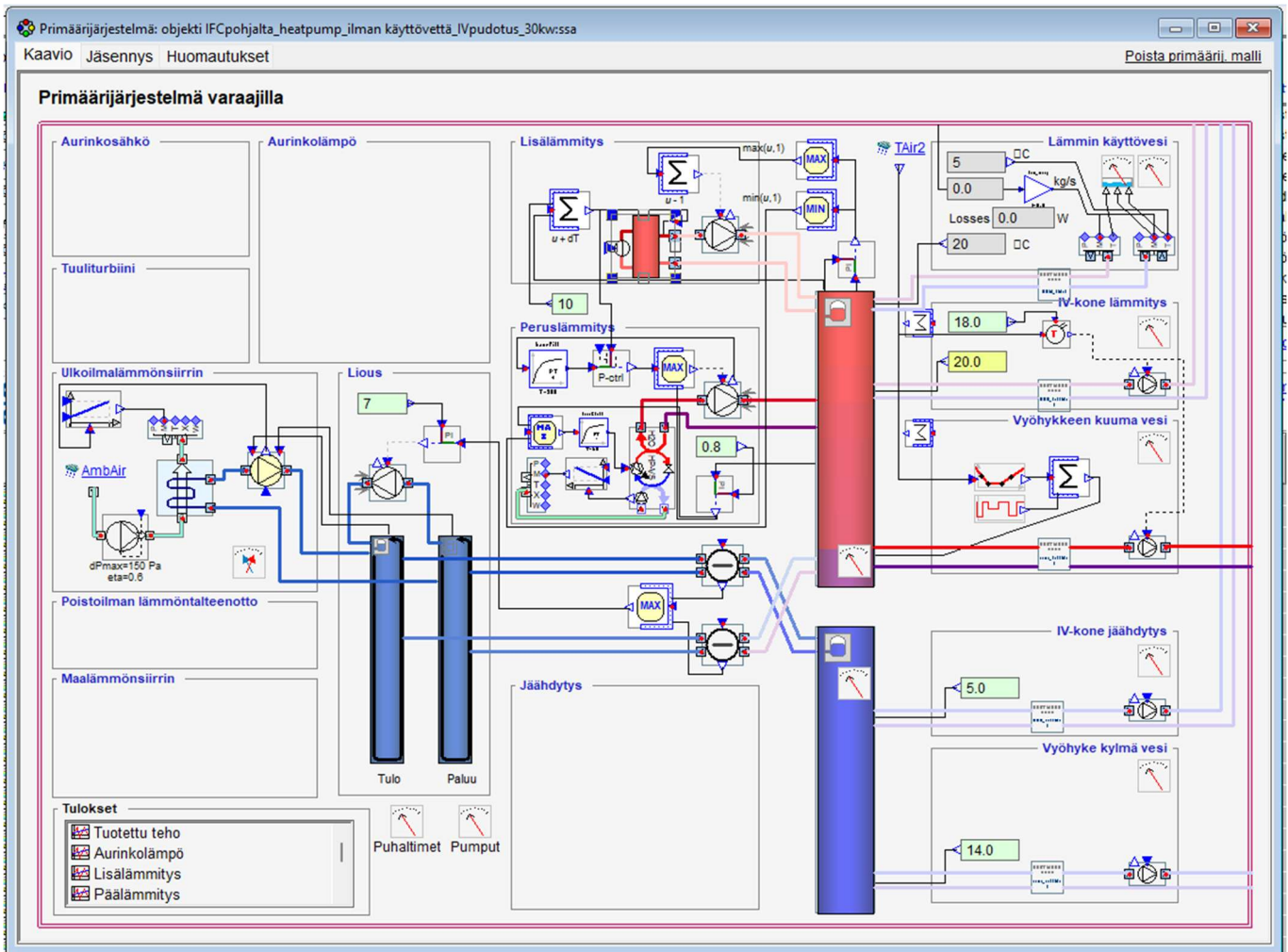
\*3 Grille.

\*4 When connected to hydrobox/cylinder, max flow rate is limited to 27.7 L/min.

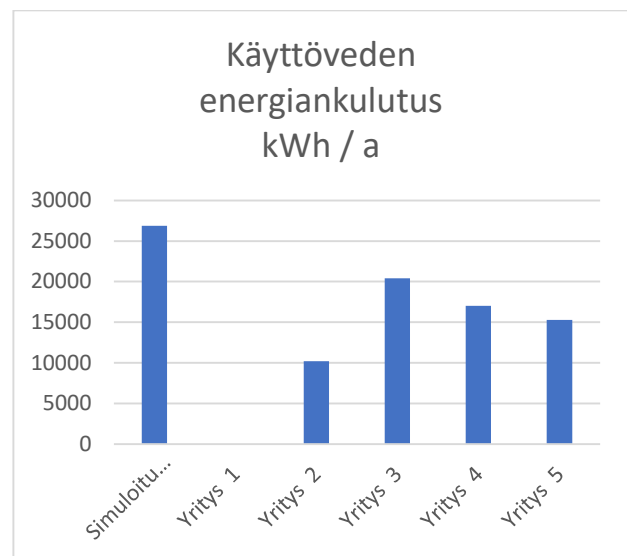
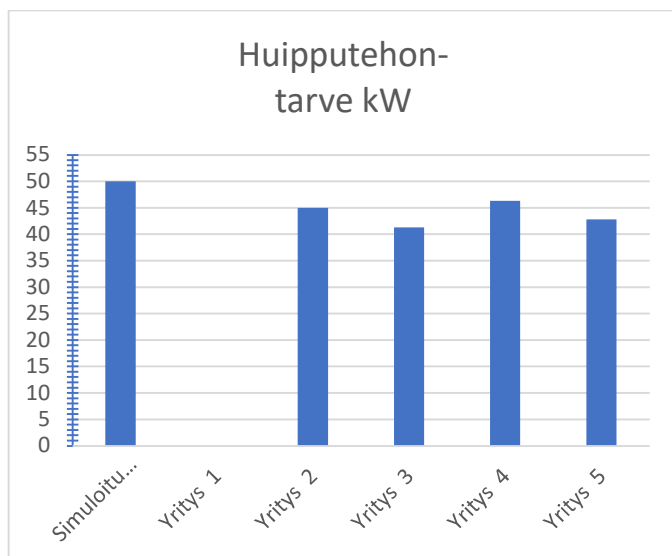
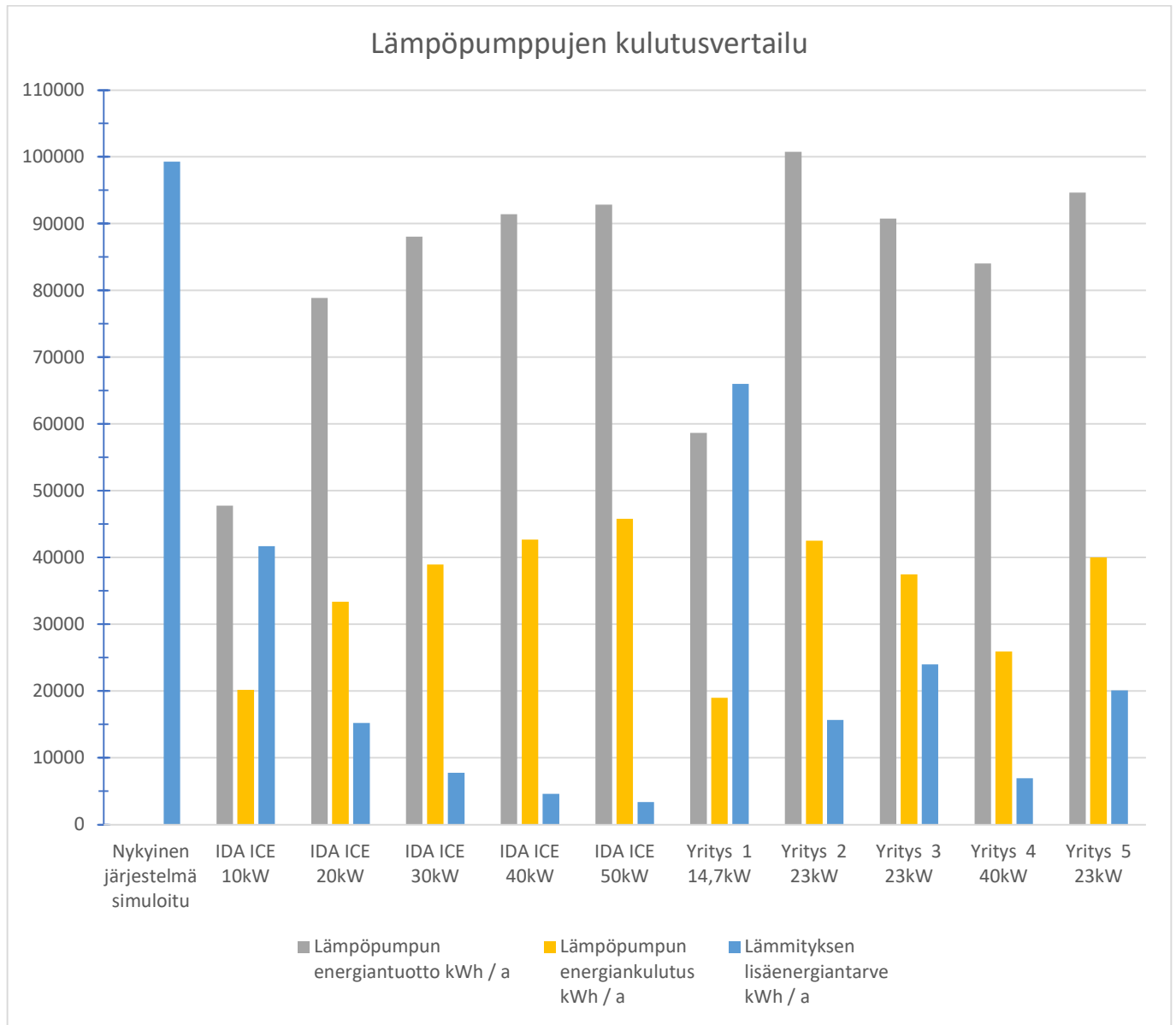
■ PUAZ-SHW230YKA2

Water outlet temperature[°C]		35		40		45		50		55		60	
Ambient temperature[°C]		Capacity	COP	Capacity	COP	Capacity	COP	Capacity	COP	Capacity	COP	Capacity	COP
Max	(INJ) -25	-	-	16.4	1.48	16.0	1.30	-	-	-	-	-	-
	(INJ) -20	20.3	2.06	19.8	1.84	19.3	1.62	-	-	-	-	-	-
	(INJ) -15	22.9	2.20	22.7	2.00	22.5	1.80	21.6	1.61	20.8	1.41	-	-
	(INJ) -10	25.6	2.34	25.6	2.16	25.7	1.98	25.7	1.84	25.6	1.69	-	-
	(INJ) -7	27.1	2.43	27.4	2.26	27.7	2.09	28.1	1.98	28.4	1.86	-	-
	(INJ) 2	23.2	2.29	23.0	2.16	22.9	2.02	22.8	2.02	22.8	2.02	22.7	1.98
	7	2.80	3.28	27.9	3.07	27.9	2.85	27.7	2.65	27.5	2.42	26.3	2.05
	12	29.5	3.48	29.3	3.21	29.1	2.94	28.8	2.75	28.5	2.54	27.4	2.24
Nominal	(INJ) -25	-	-	16.4	1.48	16.0	1.30	-	-	-	-	-	-
	(INJ) -20	20.3	2.06	19.8	1.84	19.3	1.62	-	-	-	-	-	-
	(INJ) -15	22.9	2.20	22.7	2.00	22.5	1.80	21.6	1.61	20.8	1.41	-	-
	(INJ) -10	23.0	2.60	23.0	2.36	23.0	2.12	23.0	1.99	23.0	1.85	-	-
	(INJ) -7	23.0	2.85	23.0	2.58	23.0	2.32	23.0	2.22	23.0	2.11	-	-
	(INJ) 2	23.0	2.37	23.0	2.16	22.9	2.02	22.8	2.02	22.8	2.02	22.7	1.98
	7	23.0	3.65	23.0	3.34	23.0	3.02	23.0	2.76	23.0	2.47	23.0	2.09
	12	24.3	4.10	24.3	3.68	24.3	3.26	24.3	2.98	24.3	2.67	24.3	2.34
Mid	(INJ) -25	-	-	13.1	1.68	12.8	1.55	-	-	-	-	-	-
	(INJ) -20	16.2	2.00	15.8	1.87	15.4	1.73	-	-	-	-	-	-
	(INJ) -15	18.3	2.36	18.2	2.16	18.0	1.97	17.3	1.82	16.6	1.66	-	-
	(INJ) -10	18.4	2.72	18.4	2.46	18.4	2.21	18.4	2.06	18.4	1.90	-	-
	(INJ) -7	18.4	2.93	18.4	2.64	18.4	2.35	18.4	2.21	18.4	2.05	-	-
	(INJ) 2	18.4	2.90	18.4	2.60	18.3	2.30	18.3	2.26	18.2	2.21	18.1	2.08
	7	18.4	4.01	18.4	3.58	18.4	3.14	18.4	2.83	18.4	2.49	18.4	2.24
	12	19.4	4.58	19.4	4.05	19.4	3.52	19.4	3.15	19.4	2.76	19.4	2.55
Min	(INJ) -25	-	-	13.1	1.68	12.8	1.55	-	-	-	-	-	-
	(INJ) -20	16.2	2.00	15.8	1.87	15.4	1.73	-	-	-	-	-	-
	(INJ) -15	18.3	2.36	18.2	2.16	18.0	1.97	17.3	1.82	16.6	1.66	-	-
	(INJ) -10	18.4	2.72	18.4	2.46	18.4	2.21	18.4	2.06	18.4	1.90	-	-
	(INJ) -7	12.6	2.72	12.1	2.41	11.6	2.10	10.7	1.83	9.7	1.53	-	-
	(INJ) 2	11.8	3.52	11.3	3.11	10.8	2.70	10.0	2.35	9.1	1.97	-	-
	7	11.4	4.31	10.5	3.73	9.6	3.15	8.4	2.64	7.2	2.10	-	-
	12	11.4	5.08	10.4	4.39	9.4	3.70	8.3	3.39	7.2	3.05	-	-
Water outlet temperature[°C]		35		40		45		50		55		60	
Ambient temperature[°C]		Capacity	COP	Capacity	COP	Capacity	COP	Capacity	COP	Capacity	COP	Capacity	COP
Max	(INJ) -25	-	-	16.4	1.48	16.0	1.30	-	-	-	-	-	-
	(INJ) -20	20.3	2.06	19.8	1.84	19.3	1.62	-	-	-	-	-	-
	(INJ) -15	22.9	2.20	22.7	2.00	22.5	1.80	21.6	1.61	20.8	1.41	-	-
	(INJ) -10	25.6	2.34	25.6	2.16	25.7	1.98	25.7	1.84	25.6	1.69	-	-
	(INJ) -7	27.1	2.43	27.4	2.26	27.7	2.09	28.1	1.98	28.4	1.86	-	-
	(INJ) 2	23.2	2.29	23.0	2.16	22.9	2.02	22.8	2.02	22.8	2.02	22.7	1.98
	7	2.80	3.28	27.9	3.07	27.9	2.85	27.7	2.65	27.5	2.42	26.3	2.05
	12	29.5	3.48	29.3	3.21	29.1	2.94	28.8	2.75	28.5	2.54	27.4	2.24
Nominal	(INJ) -25	-	-	16.4	1.48	16.0	1.30	-	-	-	-	-	-
	(INJ) -20	20.3	2.06	19.8	1.84	19.3	1.62	-	-	-	-	-	-
	(INJ) -15	22.9	2.20	22.7	2.00	22.5	1.80	21.6	1.61	20.8	1.41	-	-
	(INJ) -10	23.0	2.60	23.0	2.36	23.0	2.12	23.0	1.99	23.0	1.85	-	-
	(INJ) -7	23.0	2.85	23.0	2.58	23.0	2.32	23.0	2.22	23.0	2.11	-	-
	(INJ) 2	23.0	2.37	23.0	2.16	22.9	2.02	22.8	2.02	22.8	2.02	22.7	1.98
	7	23.0	3.65	23.0	3.34	23.0	3.02	23.0	2.76	23.0	2.47	23.0	2.09
	12	24.3	4.10	24.3	3.68	24.3	3.26	24.3	2.98	24.3	2.67	24.3	2.34
Mid	(INJ) -25	-	-	13.1	1.68	12.8	1.55	-	-	-	-	-	-
	(INJ) -20	16.2	2.00	15.8	1.87	15.4	1.73	-	-	-	-	-	-
	(INJ) -15	18.3	2.36	18.2	2.16	18.0	1.97	17.3	1.82	16.6	1.66	-	-
	(INJ) -10	18.4	2.72	18.4	2.46	18.4	2.21	18.4	2.06	18.4	1.90	-	-
	(INJ) -7	18.4	2.93	18.4	2.64	18.4	2.35	18.4	2.21	18.4	2.05	-	-
	(INJ) 2	18.4	2.90	18.4	2.60	18.3	2.30	18.3	2.26	18.2	2.21	18.1	2.08
	7	18.4	4.01	18.4	3.58	18.4	3.14	18.4	2.83	18.4	2.49	18.4	2.24
	12	19.4	4.58	19.4	4.05	19.4	3.52	19.4	3.15	19.4	2.76	19.4	2.55
Min	(INJ) -25	-	-	13.1	1.68	12.8	1.55	-	-	-	-	-	-
	(INJ) -20	16.2	2.00	15.8	1.87	15.4	1.73	-	-	-	-	-	-
	(INJ) -15	18.3	2.36	18.2	2.16	18.0	1.97	17.3	1.82	16.6	1.66	-	-
	(INJ) -10	18.4	2.72	18.4	2.46	18.4	2.21	18.4	2.06	18.4	1.90	-	-
	(INJ) -7	12.6	2.72	12.1	2.41	11.6	2.10	10.7	1.83	9.7	1.53	-	-
	(INJ) 2	11.8	3.52	11.3	3.11	10.8	2.70	10.0	2.35	9.1	1.97	-	-
	7	11.4	4.31	10.5	3.73	9.6	3.15	8.4	2.64	7.2	2.10	-	-
	12	11.4	5.08	10.4	4.39	9.4	3.70	8.3	3.39	7.2	3.05	-	-
Water outlet temperature[°C]		35		40		45		50		55		60	
Ambient temperature[°C]		Capacity	COP	Capacity	COP	Capacity	COP	Capacity	COP	Capacity	COP	Capacity	COP
Max	(INJ) -25	-	-	16.4	1.48	16.0	1.30	-	-	-	-	-	-
	(INJ) -20	20.3	2.06	19.8	1.84	19.3	1.62	-	-	-	-	-	-
	(INJ) -15	22.9	2.20	22.7	2.00	22.5	1.80	21.6	1.61	20.8	1.41	-	-
	(INJ) -10	25.6	2.34	25.6	2.16	25.7	1.98	25.7	1.84	25.6	1.69	-	-
	(INJ) -7	27.1	2.43	27.4	2.26	27.7	2.09	28.1	1.98	28.4	1.86	-	-
	(INJ) 2	23.2	2.29	23.0	2.16	22.9	2.02	22.8	2.02	22.8	2.02	22.7	1.98
	7	2.80	3.28	27.9	3.07	27.9	2.85	27.7	2.65	27.5	2.42	26.3	2.05
	12	29.5	3.48	29.3	3.21	29.1	2.94	28.8	2.75	28.5	2.54	27.4	2.24
Nominal	(INJ) -25	-	-	16.4	1.48	16.0	1.30	-	-	-	-	-	-
	(INJ) -20	20.3	2.06	19.8	1.84	19.3	1.62	-	-	-	-	-	-
	(INJ) -15	22.9	2.20	22.7	2.00	22.5	1.80	21.6	1.61	20.8	1.41	-	-
	(INJ) -10	23.0	2.60	23.0	2.36	23.0	2.12	23.0	1.99	23.0	1.85	-	-
	(INJ) -7	23.0	2.85	23.0	2.58	23.0	2.32	23.0	2.22	23.0	2.11	-	-
	(INJ) 2	23.0	2.37	23.0	2.16	22.9	2.02	22.8	2.02	22.8	2.02	22.7	1.98
	7	23.0	3.65	23.0	3.34	23.0	3.02	23.0	2.76	23.0	2.47	23.0	2.09
	12	24.3	4.10	24.3	3.68	24.3	3.26	24.3	2.98	24.3	2.67	24.3	2.34
Mid	(INJ) -25	-	-	13.1	1.68	12.8	1.55	-	-	-	-	-	-
	(INJ) -20	16.2	2.00	15.8	1.87	15.4	1.73	-	-	-	-	-	-
	(INJ) -15	18.3	2.36	18.2	2.16	18.0	1.97	17.3	1.82	16.6	1.66	-	-
	(INJ) -10	18.4	2.72	18.4	2.46	18.4	2.21	18.4	2.06	18.4	1.90	-	-
	(INJ) -7	18.4	2.93	18.4	2.64	18.4	2.35	18.4	2.21	18.4	2.05	-	-
	(INJ) 2	18.4	2.90	18.4	2.60	18.3	2.30	18.3	2.26	18.2	2.21	18.1	2.08
	7	18.4	4.01	18.4	3.58	18.4	3.14	18.4	2.83	18.4	2.49	18.4	2.24
	12	19.4	4.58	19.4	4.05	19.4	3.52	19.4	3.15	19.4	2.76	19.4	2.55
Min	(INJ) -25	-	-	13.1	1.68	12.8	1.55	-	-	-	-	-	-
	(INJ) -20	16.2	2.00	15.8	1.87	15.4	1.73	-	-	-	-	-	-
	(INJ) -15	18.3	2.36	18.2	2.16	18.0	1.97	17.3	1.82	16.6	1.66</		

Liite 4, Lämpöpumppujärjestelmän kytkentä simulointiohjelmassa.



## Liite 5, tulokset



Mitoitus	Huipputehontarve kW	Lämpöpumpun nimellisteho kW	Lämpöpumpun energiantuotto kWh / a	Lämpöpumpun energiankulutus kWh / a	Lämmityksen lisäenergiatarve kWh / a	Käyttöveden energiankulutus kWh / a	Lisäenergiatarve yhteensä kWh / a *
Nykyinen järjestelmä toteutunut	-	-	-	-	-	-	13500 (114750)
Nykyinen järjestelmä simuloitu	50	-	-	-	99266	26867	144667 (122967)
Simuloitu lämpöpumppu	50	10	47745	20191	41677	26867	75899 (64514)
Simuloitu lämpöpumppu	50	20	78880	33364	15224	26867	44777 (38061)
Simuloitu lämpöpumppu	50	30	88036	38967	7746	26867	35627 (30583)
Simuloitu lämpöpumppu	50	40	91412	42681	4593	26867	32270 (27430)
Simuloitu lämpöpumppu	50	50	92848	45804	3373	26867	30835 (26210)
Yritys 1	-	14,7	58650	19000	66000	?	?
Yritys 2	45	23	100774	42505	15676	10200	18442 (15676) **
Yritys 3	41,3	23	90768	37468	23982	20400	28214 (23982) **
Yritys 4	46,3	2x20	84027	25912	6940	17033	29966 (23973)
Yritys 5	42,8	23	94659	40018	20091	15300	23636 (20091) **
Yritys 6							
Yritys 7							
Yritys 8							
Yritys 9							
Yritys 10							
Yritys 11							
Yritys 12							
Yritys 13							
Yritys 14							

\* Suluissa olevassa arvossa huomioitu öljypolttimen hyötysuhde  
\*\* käyttöveden osuus laskettu virheellisesti lämmitysenergiatarpeeseen

Tarjoaja	Hinta sis. alv. 25,5%	Järjestelmän kuvaus	Mitoitusta varten kysytyt lähtötiedot	Mitoituksessa käytetyt lämmitysverkoston lämpötilat *	Mitoituksessa käytetty keski-ulkolämpötila
Yritys 1	27610	Kytkenä nykyisen järjestelmän rinnalle	Öljynkulutus, rakennuksen pohjapiirustukset, kohdekäynti	?	3,7
Yritys 2	34513-40788	Kytkenä nykyisen järjestelmän rinnalle, puskurivaraaja 300 litraa, ei käyttöveden lämmitystä lämpöpumpulla	Öljynkulutus, rakennuksen pohjapiirustukset	60 / ?	3,7
Yritys 3	24260	Kytkenä nykyisen järjestelmän rinnalle, puskurivaraaja 300 litraa, ei käyttöveden lämmitystä lämpöpumpulla	Öljynkulutus, rakennuksen pohjapiirustukset	55 / ?	3,7
Yritys 4 A	58536	Kytkenä nykyisen järjestelmän rinnalle, puskurivaraaja 500 litraa, ei käyttöveden lämmitystä lämpöpumpulla	Öljynkulutus, rakennuksen pohjapiirustukset	60 / 50	6,6
Yritys 4 B	77929	Täysjärjestelmä, kuten versio A mutta lisälämmönlähteenä 52,5kW sähkökattila ja 500 litran erillinen käyttövesivaraaja. KV esilämmitys lämpöpumpulla.	Öljynkulutus, rakennuksen pohjapiirustukset	60 / 50	6,6
Yritys 5	25900	Kytkenä nykyisen järjestelmän rinnalle, puskurivaraaja 500 litraa, ei käyttöveden lämmitystä lämpöpumpulla	Öljynkulutus, rakennuksen pohjapiirustukset, kohdekäynti	60 / 40	3,7
Yritys 6					
Yritys 7					
Yritys 8					
Yritys 9					
Yritys 10					
Yritys 11					
Yritys 12					
Yritys 13					
Yritys 14					

\* Nykyisen järjestelmän mitoituslämpötilat 70/40