



Karelia-ammattikorkeakoulu
Talotekniikan Insinööri (AMK)

Lämpöpumpun valinta pientaloon

Samuli Partanen

Opinnäytetyö, Toukokuu 2024

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2024
Talotekniikan insinööri koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600

Tekijä
Samuli Partanen

Nimeke
Lämpöpumpun valinta pientaloon

Toimeksiantaja
Samuli Partanen

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli vertailla ilma-vesilämpöpumpun ja maalämpöpumpun energiankulutuksia Suomen kaikilla mitoitusvyöhykkeillä sekä selvittää lämmityskustannusten vaikutus paremman järjestelmän lisäkustannusten takaisinmaksu-aikaan. Työ tehtiin käyttäen EQUA:n IDA-ICE 5.0 ohjelmaa. Ohjelmalla saatiin simuloitua samanlaisen omakotitalon lämmityskustannukset erilaisilla lämmitysjärjestelmillä.

Teoriaosuudessa esitellään erilaisia lämmönjakotapoja ja järjestelmiä sekä esitellään työssä käytettävät lämmitysjärjestelmät ja niiden suunnittelun ja mitoituksen perusteet. Opinnäytetyön teoriaosuuden materiaalit löytyivät pääosin RT- ja LVI-korteista sekä Motivan nettisivuilta.

Opinnäytetyöstä saatujen tulosten perusteella maalämpöpumppu on kaikilla mitoitusvyöhykkeillä edullisempi lämmitysjärjestelmä energiankulutusten perusteella, mutta maalämmön kalliimmat perustamiskustannukset tekevät ilmavesilämpöpumpusta järkevämmän investoinnin.

Kieli
suomi

Sivuja 35
Liitteet 2
Liitesivumäärä 8

Asiasanat
ilma-vesilämpöpumppu, maalämpöpumppu, lämmityskustannus



THESIS
May 2024
Degree Programme in Building Services
Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author
Samuli Partanen

Title
Choosing a Heat Pump for a Detached House

Commissioned by
Samuli Partanen

Abstract

The aim of this thesis was to compare the energy consumption of air-water heat pumps and geothermal heat pumps across all design zones in Finland and to determine the payback period for the additional costs of the better system based on heating costs. The thesis was carried out using EQUA's IDA-ICE 5.0 software. The program allowed for the simulation of heating costs for a similar detached house with different heating systems.

The theoretical part presents various heat distribution methods and systems and introduces the heating systems used in the study as well as the basics of their design and sizing. The materials for the theoretical part of the thesis were mainly found in RT and HVAC cards and on Motiva's website.

Based on the results obtained from the thesis, the geothermal heat pump is a more cost-effective heating system in all design zones in terms of energy consumption, but the higher initial costs of geothermal pump make the air-water heat pump a more sensible investment.

Language
Finnish

Pages 35
Appendices 2
Pages of Appendices 8

Keywords
air-water heat pump, geothermal heat pump, heating cost

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Omakotitalojen lämmitys	6
2.1	Lämmönjakojärjestelmät omakotitaloissa	6
2.1.1	Vesikiertoinen patterilämmitys	7
2.1.2	Vesikiertoinen lattialämmitys.....	8
2.1.3	Huonekohtainen sähkölämmitys	9
3	Maalämpöpumppu	9
3.1	Maalämpöpumppujärjestelmän suunnittelu ja mitoitus	10
3.2	Lainsäädäntö	11
3.3	Maalämpökaivo.....	12
3.4	Maahan asennettava keruuputkisto	12
3.5	Veteen asennettava keruuputkisto.....	13
3.6	Keruuputkiston mitoitus	13
4	Ilma-vesilämpöpumppu	15
4.1	Ilma-vesilämpöpumppujärjestelmän suunnittelu ja mitoitus	17
4.2	Lainsäädäntö	18
5	IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE)	18
6	Kohteen tiedot.....	19
7	Tulokset	20
7.1	Ilma-vesilämpöpumppu.....	20
7.2	Maalämpöpumppu	22
7.3	Vertailu	23
8	Pohdinta.....	24
	Lähteet.....	26

Liitteet

Liite 1: Energiatodistus maalämpö

Liite 2: Energiatodistus ilma-vesilämpöpumppu

1 Johdanto

Kun energian hinta on noussut huomattavasti suhteessa palkkatason nousuun, on alettava miettimään mahdollisia keinoja energian kulutuksen pienentämiseksi. Oman kodin lämmittäminen on suurimmalla osalla ihmisistä isoin kuluerä lainanlyhennyksen jälkeen. Kun lämmitysjärjestelmää ollaan hankkimassa, siinä tulee ottaa huomioon asunnon sijainti ja koko, lämmitysjärjestelmän hankkimiskustannus ja energian kulutus.

Tässä työssä vertaillaan ilma-vesilämpöpumpun ja maalämpöpumpun hankinta- ja lämmityskustannuksia. Vertailuun valitsin nämä pumput, koska maalämpöpumppu on ollut ”kuningas” jo pitkään, mutta ilma-vesilämpöpumpun suosio on ollut kovassa nousussa, vaikka sitä kovasti kritisoidaankin huonommaksi kuin maalämpöpumppu. Työssä lasketaan myös takaisinmaksuaika kalliimman järjestelmän aiheuttamista lisäkustannuksista verrattuna halvempaan järjestelmään.

Työ tehdään IDE ICE -ohjelmalla, jolla saadaan laskettua lämmitysjärjestelmän sähkönkulutus. Simulaatio tehdään yhden vuoden ajalle. Työssä vertaillaan pumppujen energiankulutusta perustamiskustannuksiin, jonka avulla saadaan selville, kumpi pumpuista tulee todellisuudessa edullisemmaksi. Työssä lasketaan myös 20 vuoden energian kulutus. 20 vuoden energian kulutus lasketaan kertomalla vuoden simulaation tulokset 20 vuodella. Vertailu tehdään kaikilla neljällä Suomen mitoitusvyöhykkeellä, jotta saadaan selville myös mikä ero lämpöpumppujen suorituskyvyillä on eri lämpötiloissa.

Tutkittavana omakotitalona työssä on IDA-ICE ohjelmassa oleva talo, jonka pinta-ala on 148m² ja tilavuus 374m³. Tässä työssä talo on uudisrakennus ja ollaan valitsemassa talon ensimmäistä lämmitysjärjestelmää.

Lämmönjakotapana molemmissa versioissa on vesikiertoinen lattialämmitys.

2 Omakotitalojen lämmitys

Omakotitalon käyttäjien viihtyvyyttä ja terveyttä edistävä tekijä on sisäilmasto. Lämmitys on yksi hyvään sisäilmastoon vaikuttava tekijä. Rakennusten lämmittämisellä on myös iso merkitys talouteen johtuen siitä, että noin kolmannes Suomen energian käytöstä menee rakennusten lämmittämiseen. Lämmitystavasta riippumatta lämmittäminen aiheuttaa ympäristöhaittoja ja siksi lämmittäminen tulisi toteuttaa niin, että turha energian kulutus olisi mahdollisimman pientä. Lämmityslaitteilla lämmitetään rakennuksen tilojen lisäksi myös lämmin käyttövesi ja tuloilma. Kun lämmitysjärjestelmää valitaan, on valintaan vaikuttavia tekijöitä esimerkiksi rakennuksen koko, sijainti, käyttötarkoitus ja lämmitysenergian tarve. (LVI 10-10397 2006, 1.)

2.1 Lämmönjakojärjestelmät omakotitaloissa

Valittaessa lämmönjakotapaa tulee huomioida järjestelmän hankintakustannusten lisäksi myös sen käyttökustannukset kuten energiankulutus ja huollon tarve.

Yleisimpiä lämmönjakojärjestelmiä ovat vesikeskuslämmitykset sekä huonekohtainen sähkölämmitys.

Vesikeskuslämmitys toteutetaan patterilämmityksenä, lattialämmityksenä tai niiden yhdistelmänä. Etuja vesikeskuslämmityksellä on se, että lämmön lähteeksi on monia eri vaihtoehtoja ja lämmön lähdettä voidaan myös vaihtaa kohtuullisen helposti. Lämmön lähteen vaihtamisesta tulee tietenkin lisäkustannuksia ja siitä johtuen lämmönlähde kannattaakin valita huolella heti rakennusvaiheessa.

Vesikeskuslämmityksessä on myös mahdollista yhdistää energianlähteitä. Esimerkiksi lämpöpumpun apuna voidaan käyttää aurinkoenergiaa, puuta, öljyä tai sähköä. Vesikeskuslämmityksessä yleensä myös käyttövesi lämmitetään samalla lämmönlähteellä kuin lämmitysverkoston vesi. (Motiva 2022).

2.1.1 Vesikiertoinen patterilämmitys

Vesikiertoinen patterilämmitys on ollut pitkään suosituin tapa jakaa lämpöä. Nykyään uusissa omakotitaloissa patterilämmitys on aika harvinainen, mutta sitä käytetään yhä saneerauskohteissa ja liiketiloissa. Patterilämmityksessä käytettyjä lämmönjakotapoja ovat yksiputkijärjestelmä, kaksiputkijärjestelmä. Yksiputkijärjestelmässä patterit kytketään toisiinsa putkilenkillä, joka kiertää jakotukilta pattereille ja viimeiseltä patterilta takaisin jakotukille. Tässä järjestelmässä veden lämpötila laskee mitä pidemmälle se menee. Yleisimpänä järjestelmänä on käytetty kaksiputkijärjestelmää, jossa kaikille pattereille on oma putkisto menovedelle sekä paluuvedelle. Kaikkiin pattereihin jaetaan saman lämpöistä vettä. (LVI 12-10343 2002, 1-3.)

Ennen patteriputket tehtiin teräsputkesta ja ne asennettiin joko lattiavaluun tai pinta-asennuksena. Nykyään pattereiden putkituksia tehdään pääosin lattiarakenteisiin muoviputkillä, jotka ovat suojaputken sisällä. Näin tehdessä mahdolliset vuodot tulevat näkyviin jommassakummassa putken päässä, jolloin ne eivät aiheuta vesivahinkoa rakenteisiin. Putki on myös vaihdettavissa, kun se on asennettu suojaputken sisään. Pattereissa kiertävän veden lämpötila riippuu ulkolämpötilasta ja lämmityksen säätö tapahtuu patteritermostaateilla, jotka ovat kiinni pattereiden menoputkessa. Termostaatti aistii huonelämpötilaa ja säätää veden virtaamaa sen mukaan. Meno/paluuveden mitoituslämpötilat riippuvat lämmönlähteestä ja putkijärjestelmästä (Taulukko 1). (LVI 12-10343 2002, 2-8.)

Lämmönlähde	Lämmönjakotapa	Meno/paluuveden lämpötila °C
Öljylämmitys	kaksiputkijärjestelmä	70/40
	yksiputkijärjestelmä	60/50
Kaukolämmitys	kaksiputkijärjestelmä	70/40**
	yksiputkijärjestelmä	60/50
Varaava lämmitys	kaksiputkijärjestelmä	60/40
	yksiputkijärjestelmä	60/50
Lämpöpumppulämmitys	kaksiputkijärjestelmä	60/40
	yksiputkijärjestelmä	60/50

*) matalalämpöjärjestelmissä

***) lämpötilat ovat enimmäislämpötiloja.

Taulukko 1. Eri lämmönjakotavoilla sopivat mitoituslämpötilat (LVI 12-10343).

2.1.2 Vesikiertoinen lattialämmitys

Nykyään rakennettavissa omakotitaloissa yleisin tapa jakaa lämpöä on vesikiertoinen lattialämmitys. Lattialämmityspotkisto asennetaan lattiarakenteeseen ja siinä kiertää enimmillään noin 40-asteen lämpöinen vesi. (Motiva 2022).

Lattialämmityspotkena käytetään muoviputkea, joka on happidifфуusiosuojattu, eli happi ei pääse läpäisemään putken rakennetta ja näin ollen putken käyttöikä on pidempi. Lattialämmitys rakennetaan niin, että kaikilla huonetiloilla on oma lattialämmityspiiri, tämän avulla voidaan säätää lämpötiloja huonekohtaisesti. Isommat tilat jaetaan tarpeen mukaan useampaan piiriin, koska yhdellä pitkällä piirillä tehtäessä painehäviöt kasvavat liian suuriksi ja se vaikuttaa heikentävästi lämmön jakautumiseen. Tilat, joissa lämmöntarve ei ole iso, voidaan yhdistää lähellä oleviin piireihin. Taulukossa 2 esitetään lattialämmityksen ohjeellisia arvoja (LVI 13-10261 1996, 1-3.)

	Suositus-arvo	Vähimmäisarvo	Enimmäisarvo
Menoveden lämpötila, °C	35...50 ¹⁾	25...30 ¹⁾	50 ¹⁾
Meno/paluuveden lämpötilaero, °C	5...10 ¹⁾		
Lattian pintalämpötila, °C	25...27 ²⁾	23 ²⁾	30 ²⁾
Putkien asennusväli, mm	150...200	50	300
Yhden lattialämmityspiirin painehäviö, kPa	15...20		
Asennussyvyys, mm	40	30	70
Kiertoveden virtausnopeus			
• muoviputki, m/s	0,3	0,1	1,0
• kupariputki, m/s	0,3	0,1	0,8
Maanvaraisen betonilaatan eristyspaksuus (polystyreeni), mm	100 ³⁾		

¹⁾ Riippuu lattiarakenteesta.

²⁾ Laskennallinen raja-arvo, riippuu lattianpäällysteestä, huonetilan käyttötarkoituksesta ja keskimääräisistä lämpöhäviöistä.

- tiloissa, joissa säännöllisesti työskennellään seisten, lattian pintalämpötila on $\leq +25$ °C
- asuinhuoneiden lattian pintalämpötila on $\leq +26...+27$ °C
- kylpyhuoneissa, WC:ssä, uimahalleissa ja tiloissa, joita käytetään harvoin, lattian pintalämpötila on $\leq +30$ °C
- varastoissa, autotalleissa yms. tiloissa lattian pintalämpötilana voidaan käyttää vähimmäisarvoa $+23$ °C, jos lämpötehotarve sen sallii.

³⁾ Ulomalla reuna-alueella eristyspaksuus on 150 mm, muualla 100 mm.

Taulukko 2. Lattialämmityksen ohjeellisia arvoja (LVI 13-10261).

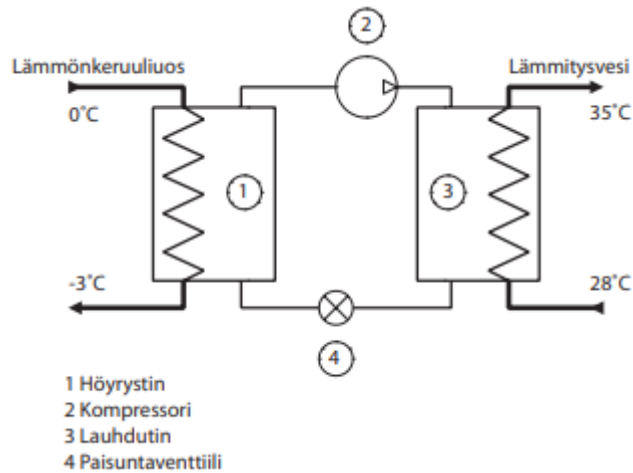
2.1.3 Huonekohtainen sähkölämmitys

Huonekohtaisessa sähkölämmityksessä, jota kutsutaan myös suorasähköksi, lämpö tehdään sähkövastuksella, joka sijaitsee kussakin huonetilassa. Sähkövastus on yleensä joko sähköpatteri, lattialämmitys tai kattolämmitys. Huonekohtaisen sähkölämmityksen perustamiskustannukset ovat todella pienet verrattuna vesikeskuslämmitykseen, mutta sen lämmityskustannukset ovat hyvin paljon suuremmat. Huonekohtaiseen sähkölämmitykseen ei voida yhdistää lämpöpumppuja, mutta ilmalämpöpumpulla voidaan auttaa pienentämään energiankulutusta. (Motiva 2022.)

3 Maalämpöpumppu

Maalämpöpumppu kerää nimensä mukaisesti energiaa maasta. Maaperään ja vesistöön varastoituu auringon tuottamaa lämpöä, jota maalämpöpumppu kerää maahan tai veteen asennettavan lämmönkeruupiirin avulla. Jos käytössä on lämpökaivo, niin kaivon syvimmillä osilla lämpö saadaan maapallon ytimeistä tulevasta fissioenergiasta ja pohjavesivirtauksista, jotka johtuvat kallioon. (Motiva 2022.)

Maalämpöpumpun toiminta perustuu kylmäainetekniikkaan. Keruupiireissä kiertää jäätymätön neste, joka kerää lämpöä kiertäessä piiriä. Kun lämmennyt neste tulee lämpöpumpulle, höyrystää se pumpussa kiertävän kylmäaineen. Kun kylmäaine on höyrystynyt, se menee kompressoriin, jossa sen painetta nostetaan ja tämän seurauksena kylmäaineen lämpötila nousee. Kompressorin jälkeen höyrystynyt ja lämmennyt kylmäaine menee lauhttimelle, jossa se lauhtuu takaisin nesteeksi ja sen yhteydessä luovuttaa lämmön vaihtimen välityksellä lämmitykseen sekä käyttöveteen. (LVI 11-10623, 1-3.)



Kuva 1. Kylmäpiirin pääosat MLP (LVI 11-10623).

Maalämpöpumppuja on olemassa kahdella eri kompressorilla. On-off-kompressorilla tuotettavaa energiaa säädellään käyntiajan avulla, kompressori on joko päällä tai pois päältä. Invertteriohjatulla eli taajuusmuuntajaohjatulla kompressorilla tuotettavaa energiaa säädetään kompressorin käyntinopeudella, eli kun lämmitystehon tarve on isompi, niin kompressori pyörii isommalla nopeudella. (LVI 11-10623, 1-3.)

3.1 Maalämpöpumppujärjestelmän suunnittelu ja mitoitus

Kun maalämpöjärjestelmää suunnitellaan, tulee siinä ottaa huomioon ja esittää kohteen huipputehon tarve, kohteen vuosittainen energiankulutus, maalämpöjärjestelmän asennustilan vaatimukset, keruupiirin pituus/ kaivon syvyys ja paikka, siirtoputkien toteutus keruupiiriltä pumpulle ja laskelma maalämmöstä saatavan tehon ja lämmitysenergian riittävydestä. (LVI 11-10623, 4)

Kun maalämpöjärjestelmää aletaan mitoittamaan, tulee ensimmäisenä valita, tehdäänkö mitoitus osa- vai täydelle teholle. Kun järjestelmää mitoitetaan osateholle, tulee kohteeseen valita maalämpöpumppu, jonka lämmitysteho ei ole 100 % rakennuksen mitoitustehosta. Täysteholle mitoitettaessa maalämpöpumpun lämmitysteho on 100 % kohteen mitoitustehosta. Yleensä

on-off-kompressoreilla olevat maalämpöpumput mitoitetaan osateholle niin, että maalämpöpumpun teho on noin 70-85 % kohteen mitoitustehosta. Tällä saadaan lämpöpumpun energiapitoisuus noin 92-98 % kohteen lämmitysenergian kulutuksesta. Kun lämpöpumppu mitoitetaan osateholle, kertyy kompressorille vuodessa noin 3500 - 4000 käyttötuntia. Invertteriohjatut pumput kannattaa mitoittaa täydelle teholle, jolloin käyntitunteja kertyy vuodessa noin 2400 – 2700. (LVI 11-10623, 5.)

3.2 Lainsäädäntö

Kun maalämpöä ollaan hankkimassa, tulee ottaa huomioon alueen lainsäädäntö. Maalämpöpumpun keruupiiri vaatii aina luvan viranomaiselta, joka uudiskohteissa haetaan rakennusluvan yhteydessä. Keruuputkiston toteutusta rajoittaa esimerkiksi pohjavesialueet ja maan rakenne. 1- ja 2-luokitelluilla pohjavesialueilla sijaitsevat lämpökaivot saattavat tarvita vesilain mukaisen luvan. Myös suojellut muinaismuistoalueet voivat vaikuttaa lämpökaivojen toteuttamiseen. (LVI 11-10623, 4.)

Seuraavilla lainsäädännöillä saattaa olla vaikutusta keruupiirin toteutukseen:

- Maankäyttö- ja rakennuslaki
- Maankäyttö ja rakennusasetus
- Vesilaki
- Ympäristönsuojelulaki
- Kiinteistönmuodostamislaki
- Kemikaalilaki
- Terveysturvallisuuslaki
- Muinaismuistolaki
- Ympäristöministeriön asetus rakennusten vesi- ja viemärlaitteistoista
- Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta

- Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä
- Kuntien ympäristösuojelumääräykset ja rakennusjärjestys

(LVI 11-10623, 4).

3.3 Maalämpökaivo

Nykyaikana yleisin keruupiiri maalämmölle on maalämpökaivo. Kaivo on investointina kallein vaihtoehto keruupiireille, mutta se voidaan tehdä myös pienelle tontille. Maalämpökaivo on halkaisijaltaan noin 115-165mm. Kaivon syvyys mitoitetaan jokaiselle kohteelle erikseen ja sen syvyys vaihtelee energian tarpeen mukaan. Jos yhdellä kaivolla ei saada riittävästi energiaa, voidaan kaivoja tehdä useampi. Kaivoon asennetaan lämmönkeruuputkisto, jossa kiertää lämmönkeruuliuos. Maalämpökohteista noin 65 % tehdään maalämpökaivolla. (Motiva 2022.)

3.4 Maahan asennettava keruuputkisto

Maahan asennettavalla vaakaputkistolla kerätään lämpöenergiaa maan pintakerroksesta, joka on varastoitunut siihen auringosta säteilemällä. Maapiiri asennetaan noin metrin syvyyteen riippuen millä ilmastovyöhykkeellä ollaan. maapiirissä etäisyys viereiseen putkeen tulisi olla vähintään 1,5 metriä. Maapiiri on yleensä halvin vaihtoehto, mutta se vaatii reilusti tilaa ja tästä johtuen sitä ei yleensä voida asentaa asuinalueille. Maalämpökohteista noin 30 % tehdään maapiirillä. (Motiva 2022.)

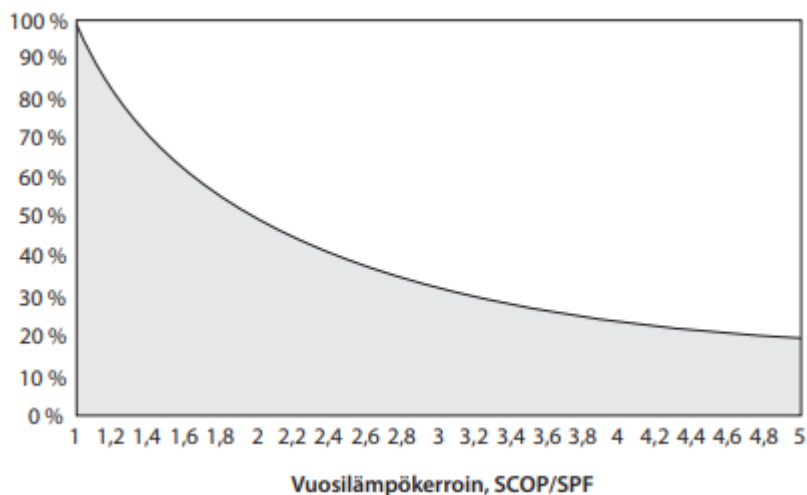
3.5 Veteen asennettava keruuputkisto

Lämmönkeruuputkisto voidaan asentaa myös järviin, mereen, lampiin tai jopa isompiin jokiin. Putkisto asennetaan vesistön pohjaan ankkuroimalla painoilla. Painoja tulee olla noin kolmen metrin välein. Vesistöön asennettavista keruuputkistoista saadaan paremmin lämpöenergiaa, sillä vesi siirtää lämpöä paremmin kuin maaperä. Tehtäessä keruuputkistoa veteen, tulee veden olla vähintään kaksi metriä syvää. Jos vesi on liian matala, on riskinä se, että veden lämpötila laskee alle +1 °C, jolloin keruuputkiston pinta saattaa jäätyä ja putkisto nousta veden pinnalle. Keruuputkiston asennus veteen on edullisempi kuin lämpökaivo, mutta se vaatii rantatontin ja erikoisvalmisteluita sekä erikoiskalustoa. Maalämpökohteista noin 5 % tehdään veteen asennettavalla keruuputkistoilla. (Motiva 2022.)

3.6 Keruuputkiston mitoitus

Kun keruuputkistoa aletaan mitoittamaan, tulee siinä huomioida hetkittäinen tehon tarve sekä koko vuoden tehon tarve. Jos tehontarve arvioidaan liian pieneksi tai keruuputkistoa ei mitoiteta riittäväksi, voi siitä seurata lämmönkeruuliuoksen lämpötilan aleneminen. Sen seurauksena maalämpöpumpun hyötysuhde laskee ja sähkön kulutus nousee. Jos keruupiirin lämmöllä esilämmitetään myös tuloilmaa, on siihen tarvittava energia huomioitava keruuputkiston mitoituksessa. Jäähdytyksen osuus on omakotitaloissa yleensä niin pieni, että se ei vaikuta keruuputkiston mitoitukseen. Keruuputkiston pituuteen vaikuttaa oleellisesti maalämpöpumpun

vuosilämpökerroin eli SCOP (kuva 2.).



Kuva 2. Sähkön (harmaa) ja uusiutuvan energian (valkoinen) suhde vuosilämpökertoimen muuttuessa (LVI 11-10623).

Energiakaivosta kerättävissä olevan energian ja tehon määrään vaikuttaa huomattavasti maaperän lämmönjohtavuus sekä lämpötila, maapeitteen paksuus ja pohjavesien virtaukset.

Myös maantieteellisellä sijainnilla on iso vaikutus maaperän lämpötilaan, esimerkiksi Lapissa maaperä on useita asteita kylmempää kuin Etelä-Suomessa. Tämä on erittäin tärkeää ottaa huomioon mitoittaessa keruuputkistoa. (LVI 11-10623, 9.)

Esimerkki 1.

Rakennuksen energiankulutus on 30 000 kWh/a.

Rakennukseen asennetaan maalämpöpumppu, jonka vuosilämpökerroin on 3.

MLP sähkön kulutus lasketaan jakamalla vuosittainen energian tuotto vuosilämpökertoimella, $30\,000\text{ kWh} / 3 = 10\,000\text{ kWh}$.

Lämmönkeruuputkistolla kerättävä energia lasketaan vähentämällä vuosittaisesta energian tuotosta kulutetun sähkön määrä $30\,000 - 10\,000\text{ kWh} = 20\,000\text{ kWh}$.

Kuva 3. Esimerkki lämmönkeruuputkiston energiantarpeen laskennasta. (LVI 11-10623)

Suomessa kallion lämmönjohtavuus on noin 2-4 W/(m K). Kun energiakaivoa mitoitetaan ja ei ole tarkempaa tietoa maaperän lämmönjohtavuudesta, käytetään lämmönjohtavuutena 3 W/(m K).

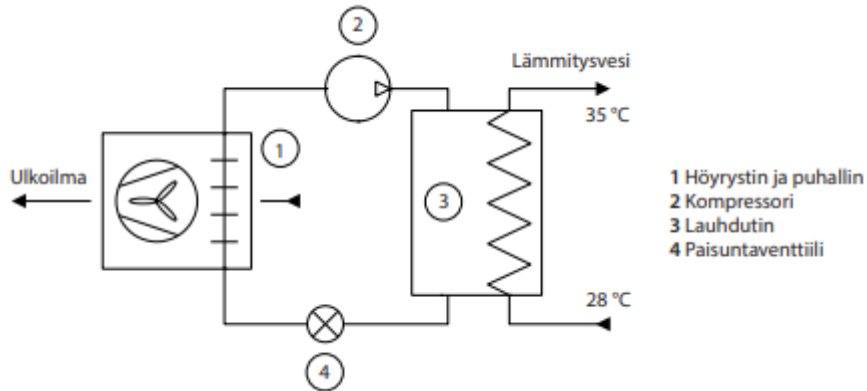
Myös maapeite tulee ottaa huomioon mitoituksessa, sillä irtomaan lämmönjohtavuus on huonompi kuin kallioperällä (noin 0,4-2,4 W/(m K)). Lämmönjohtavuus heikentyy, mitä kuivemmaksi ja karkeammaksi maa menee. Keruuputkiston mitoitus tulee tehdä siihen tarkoitettulla ohjelmalla. Valmistajien ohjeet ja raja-arvot vaihtelevat maalämpöpumppujen- ja keruuputkistojen mitoituksessa ja siksi niitä ei voida vertailla suoraan keskenään. (LVI 11-10623, 9.)

Kaivon mitoituksessa energian saantina pidetään 100kWh/metri. (Leppäharju 2008, 50.)

4 Ilma-vesilämpöpumppu

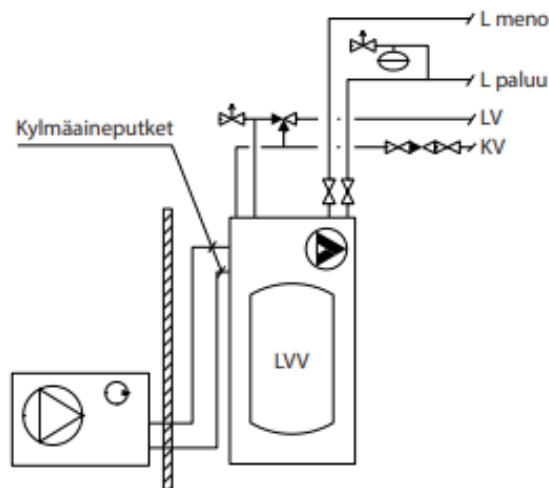
Ilma-vesilämpöpumpun toimintaperiaate on sama kuin maalämpöpumpulla, mutta lämpöenergia kerätään maan sijasta ilmasta. Ilma-vesilämpöpumpuista ilmoitetaan niiden lämpökerroin (COP) ja vuosilämpökerroin (SCOP) eri lämpötiloissa. Ilma-vesilämpöpumpun vuosilämpökertoimeen vaikuttaa ulkoilman lämpötilat sekä järjestelmän säädöt ja lämmönjakojärjestelmän lämpötilat. (RT 103598 2023, 1-3).

Kun lämpötila laskee noin -20 celsiusasteen tuntumaan, ilmavesilämpöpumpun hyötysuhde heikkenee huomattavasti. Kun pakkanen on riittävän kova, niin pumppu sammuttaa itse itsensä ja siitä johtuen laitteen sähkövastuksen tai muun varalämmitysjärjestelmän on oltava vähintään yhtä tehokas kuin lämmityksen tehon tarve suurimmillaan. Ilma-vesilämpöpumppujen varalämmityksenä on yleensä ilma-vesilämpöpumpun sisäyksikön sähkövastukset. (Motiva 2023.)

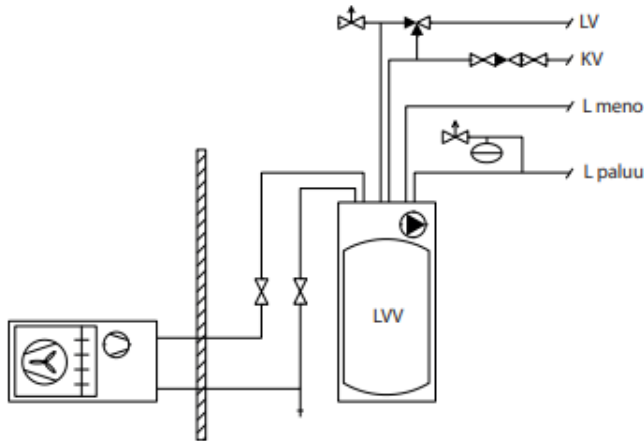


Kuva 2. Kylmäpiirin pääosat IVLP (RT 103598).

Ilma-vesilämpöpumpputa on kahdenlaisia, split- ja monoblock. Niissä erona on kylmäainepiirin toteutus. Split tyyppisissä ilma-vesilämpöpumpuissa sisä- ja ulkoyksikön välillä kiertää kylmäaine (Kuva 3.) ja näiden asentamiseen vaaditaan kylmäasentajan pätevyys ja osaaminen. Monoblock-tyyppisissä ilma-vesilämpöpumpuissa kylmäainepiiri on ulkoyksikön sisällä ja siksi niiden asentamiseen vaaditaan kylmäasentajan pätevyyttä. Monoblock-tyyppisessä pumpussa ulkoyksikön lauhduttimessa virtaa sama vesi kuin lämmitysverkostossa (Kuva 4.). (RT 103598 2023, 4-5.)



Kuva 3. Split-tyyppisen ilma-vesilämpöpumpun periaatekaavio (RT 103598).



Kuva 4. Monoblock-tyyppisen ilma-vesilämpöpumpun periaatekaavio (RT 103598).

4.1 Ilma-vesilämpöpumppujärjestelmän suunnittelu ja mitoitus

Kun ilma-vesilämpöpumppujärjestelmää suunnitellaan, tulee siinä ottaa huomioon ja esittää kohteen huipputehon tarve, kohteen vuosittainen energiankulutus, ulko- ja sisäyksiköiden ja tarvittavien muiden laitteiden tilavaatimukset, suunnitelmat kondenssiveden viemäroinnistä, selostus järjestelmän toiminnasta, järjestelmän eri osien lämpötilat ja järjestelmän kytkentäkaavio. Näiden lisäksi pitää tehdä laskelma ilma-vesilämpöpumppujärjestelmästä, johon sisältyy kompressorin lämmitystehon ja kohteen lämpöhäviöiden suhde mitoittavassa ulkolämpötilassa sekä kompressorin tuottaman lämmön suhde rakennuksen lämpöenergiankulutukseen.

Kun ilmavesi-lämpöpumppujärjestelmää aletaan mitoittamaan, tarvitaan kohteesta lähtötiedot. Tarvittavia lähtötietoja ovat rakennuksen tilojen lämpöhäviöt, lämmitysverkoston meno- ja paluulämpötilat mitoittavassa ulkolämpötilassa sekä asukkaiden määrä, käyttöveden kierron häviöt ja vesikalusteiden virtaamat. Lämpimän käyttöveden tarpeen huomioimisella on merkittävä vaikutus järjestelmän energiatehokkaaseen toimintaan. (RT 103598 2023, 5.)

4.2 Lainsäädäntö

Ilma-vesilämpöpumpun asentaminen ei tarvitse erillistä lupaa viranomaisilta. Lainsäädäntöä, joissa saattaa olla vaikutusta ilma-vesilämpöpumpujärjestelmän toteutukseen:

- Maankäyttö- ja rakennuslaki
- Maankäyttö ja rakennusasetus
- Ympäristönsuojelulaki
- Kiinteistönmuodostamislaki
- Kemikaalilaki
- Terveysturvallisuuslaki
- Muinaismuistolaki
- Ympäristöministeriön asetus rakennusten vesi- ja viemärlaitteistoista
- Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta
- Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä
- Kuntien ympäristösuojelumääräykset ja rakennusjärjestys

(RT 103598 2023, 5).

5 IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE)

IDA ICE on EQUA Simulation AB omistama simulointiohjelma. EQUA Simulation AB on ruotsalainen 1995 perustettu yritys, joka on yksityisomistuksessa. Heidän pääkonttori sijaitsee Tukholmassa ja suomen konttori Espoossa. Yritys kehittää nykyaikaisia simulointityökaluja, joita käyttävät isot yritykset ympäri maailmaa. He ovat olleet myös osallisina useissa rakennus- ja tunnelihankkeissa sekä useissa tutkimus- ja kehityshankkeissa.

Ensimmäinen versio IDA ICE ohjelmasta julkaistiin vuonna 1998 ja nykyään käytössä on IDA ICE 5.0.

IDA ICE on uuden tyyppinen simulointiohjelma, jolla saadaan vietyä energiatehokkuuslaskenta uudelle tasolle. Ohjelman avulla voidaan mallintaa hyvin tarkasti rakennus järjestelmineen ja säätölaitteineen.

IDA ICE käyttöliittymällä voidaan helposti rakentaa ja simuloida yksinkertaisia ja monimutkaisia malleja ilman, että se heikentää joustavuutta korkean tason käyttäjiltä. Mallia voidaan tehdä portaittain ja siitä saadaan kerättyä palautetta taulukkomuodoissa ja 3D grafiikkoina. Työskentelyyn käytetään vain yhtä ohjelmaa, jolla pystyy vaihdella eri tehtävien välillä.

IDA ICE ohjelmaan pystytään tuomaan yleisimmät 2D ja 3D CAD-tiedostot ja se tukee kaikkia IFC-malleja, jotka on tehty esimerkiksi ArchiCAD, Revit, AutoCAD tai MagiCAD ohjelmistoilla.

Ohjelman versionhallintajärjestelmän avulla voidaan hallita muutoksia eri versioiden välillä. Muutokset tallennetaan ja sen avulla eri versioita voidaan vertailla keskenään helposti. (EQUA Simulation AB 2023.)

6 Kohteen tiedot

Työ tehtiin IDA-ICE 5.0 ohjelmistolla, jossa oli valmiiksi tehty IFC-malli yksi kerroksisesta omakotitalosta, jonka pinta-ala on 148 m² ja tilavuus 374 m³. Jotta kohteeseen saatiin laitettua lämpöpumppu, piti sinne rakentaa vesikiertoinen lattialämmitys. Lattialämmitys tehtiin kohteeseen huone kerrallaan ja sen mitoitukseen käytettiin ohjelman antamaa tehoa 40W/m². Kohteessa tuloilman lämmitys tapahtui vesipatterilla. Liitteenä on energiatodistukset molemmilla lämmitysjärjestelmillä, joista löytyy kohteen tarkemmat tiedot (liite 1 ja 2.) Työn tavoitteena oli tehdä tutkimus lämmityskustannuksista kaikilla eri säävyöhykkeillä. Rakennuksen sijainnit olivat siis Helsinki, Jokioinen, Jyväskylä ja Sodankylä. Kohteessa käytettiin ilma-vesilämpöpumppuna ohjelmasta valmiiksi löytyvää Viessmann Vitocal-300, jonka tehoksi ohjelma ilmoitti 7,95

kW ja vuosihyötysuhteeksi 3,5. Maalämpöpumpppuna käytettiin alpha innotec maalämpöpumpppua, jonka tehoksi ohjelma ilmoitti 8,41 kW ja vuosihyötysuhteeksi 4,55. Myös maalämpöpumppu löytyi valmiiksi ohjelmasta.

Lämmityskustannusten ja perustamiskustannusten vertailuksi tarvittiin toteutuneet kustannukset molempien järjestelmien rakentamisesta. Nämä kustannukset saatiin työpaikkani Joensuun LVIS-Konsultit Oy urakoimista kohteista. Ilma-vesilämpöpumpun toteutuneet kustannukset vastaavan kokoisissa kohteissa ovat vaihdelleet 10 000 € ja 13 000 € välillä. Tässä työssä ilma-vesilämpöpumpun perustamiskustannuksina pidetään 11 500 €. Vastaavasti maalämpöpumpun toteutuneet kustannukset porakaivolla ovat vaihdelleet 17 000 € ja 20 000 € välillä. Tässä työssä maalämmön perustamiskustannuksina pidetään 18 500 €.

Sähkön hintana käytetään vuoden 2023 pörssisähkön keskihintaa, joka oli 0,07 €/kWh (MoshBit Oy 2024). Sähkön siirtohinnoissa on suurta eroa eri toimittajien kesken, kallein sähkönsiirto vuonna 2023 oli 0,061 €/kWh, halvin 0,017 €/kWh ja keskiarvo koko maassa sähkönsiirrolle oli 0,038 €/kWh (Suomen omakotiliitto Ry 2023). Siirron ja energiamaksun lisäksi sähköstä pitää maksaa sähkövero, joka on kotitalouksille 0,028 €/kWh (Valtiovarainministeriö). Kun nämä lasketaan yhteen, saadaan sähkön hinnaksi 0,136 €/kWh. Tätä hintaa käytetään tässä tutkimuksessa sähkön hintana.

7 Tulokset

7.1 Ilma-vesilämpöpumppu

Ilma-vesilämpöpumpun simuloinnin tulokset löytyvät taulukosta 3. Taulukosta näkee miten sähkönkulutus ja kokonaisenergian tarve muuttuu, kun tullaan Pohjois-Suomesta kohti etelää. Sodankylässä sähkön kulutus on lähes tuplat verrattuna Helsinkiin ja kun katsotaan kulutusta 20 vuoden aikana niin huomataan, että sähkönkulutuksessa on oikeasti iso ero.

Lämmitysjärjestelmien tuottama energia on ostosähkö + ilma-vesilämpöpumpun tuottama lämpöenergia sähkönä. Vuosihyötysuhde on laskettu lämmitysjärjestelmien käyttämä sähkö/ostosähkö.

$$COP = \frac{\text{ostosähkö+pumpun tuottama energia}}{\text{Ostosähkö}} \quad (1)$$

Säävyöhyke	Ostosähkö / a (kWh)	Lämmitysjärjestelmien tuottama energia (kWh)	Ostosähkö / 20 a (kWh)	Vuosihyötysuhde (COP)
Helsinki	4286,1	12 296,1	85 722	2,87
Jokioinen	4461,1	12 805,0	89 222	2,87
Jyväskylä	5409,0	14 925,7	108 180	2,76
Sodankylä	7562,4	18 784,3	151 248	2,48

Taulukko 3. Ilma-vesilämpöpumpun sähkönkulutus ja COP.

Kun sähkönkulutus Sodankylässä on melkein tuplasti enemmän kuin Helsingissä, niin luonnollisesti myös rahaa kuluu tuplasti enemmän. Taulukossa 4. on listattu sähkön kulutus euroina kaikilla mitoituspaikkakunnilla.

Ilma-vesilämpöpumpun sähkönkulutuksen ollessa Helsingissä 4286,1 kWh vuodessa tarkoittaa se rahana 4286,1 kWh x 0,136 € = 582,9 € vuodessa. Jokioisissa sähkönkulutus vuodessa on 4461,1 kWh eli rahana 4461,1 kWh x 0,136 € = 606,71 € vuodessa. Jyväskylässä sähkönkulutus vuodessa on 5409,0 kWh eli rahana 5409,0 kWh x 0,136 € = 735,62 € vuodessa. Sodankylässä sähkönkulutus vuodessa on 7562,4 kWh eli rahana 7562,4 kWh x 0,136 € = 1028,47 €.

Säävyöhyke	Sähkönkulutus / vuosi (€)	Sähkönkulutus / 20 vuotta (€)
Helsinki	582,9 €	11 658 €
Jokioinen	606,71 €	12 134,2 €
Jyväskylä	735,62 €	14 712,4 €
Sodankylä	1028,47 €	20 569,4 €

Taulukko 4. Ilma-vesilämpöpumpun sähkönkulutus euroina.

7.2 Maalämpöpumppu

Taulukossa 5. on esitetty maalämpöpumpun simuloinnin tulokset. Taulukosta näkee, kuinka iso ero on maa- ja ilma-vesilämpöpumpun sähkönkulutuksessa sekä hyötysuhteessa. Vaikka lämmitysjärjestelmien käyttämässä sähkössä ei ole kauhean isoa eroa, niin taulukoista huomaa kuinka ilma-vesilämpöpumppu joutuu käyttämään enemmän ostoenergiaa, eikä vuosihyötysuhde ole lähellekään yhtä hyvä kuin maalämpöpumpulla.

Säävyöhyke	Ostosähkö / a (kWh)	Lämmitysjärje- stelmien käyttämä sähkö (kWh)	Ostosähkö / 20 a (kWh)	Vuosihyötys- uhde (COP)
Helsinki	2286,3	11 229,2	45 726	4,91
Jokioinen	2402,5	11 632,7	48 050	4,84
Jyväskylä	2977,9	13 675,7	59 558	4,59
Sodankylä	4346,8	17 698,5	86 936	4,07

Taulukko 5. Maalämpöpumpun sähkönkulutus ja COP.

Maalämpöpumpulla sähkönkulutuksen ollessa Helsingissä 2286,3 kWh vuodessa tarkoittaa se rahana $2286,3 \text{ kWh} \times 0,136 \text{ €} = 310,94 \text{ €}$ vuodessa. Jokioisissa sähkönkulutus vuodessa on 2402,5 kWh eli rahana $2402,5 \text{ kWh} \times 0,136 \text{ €} = 326,74 \text{ €}$ vuodessa. Jyväskylässä sähkönkulutus vuodessa on 2977,9 kWh eli rahana $2977,9 \text{ kWh} \times 0,136 \text{ €} = 405,0 \text{ €}$ vuodessa. Sodankylässä

sähkönkulutus vuodessa on 4346,8 kWh eli rahana $4346,8 \text{ kWh} \times 0,136 \text{ €} = 591,16 \text{ €}$.

Säävyöhyke	Sähkönkulutus / vuosi (€)	Sähkönkulutus / 20 vuotta (€)
Helsinki	310,94 €	6218,8 €
Jokioinen	326,74 €	6534,8 €
Jyväskylä	405,00 €	8100,00 €
Sodankylä	591,16 €	11 823,2 €

Taulukko 6. Maalämpöpumpun sähkönkulutus euroina.

7.3 Vertailu

Kun aletaan vertailemaan laitteiden hankinta- sekä lämmityskustannuksia (Taulukko 7.) niin nähdään miten vuosihyötysuhteen huonontuminen vaikuttaa lämmityskustannuksiin. Kun Sodankylässä lämmityskustannusten ero vuodessa on jopa yli 400 € ja laitteiden hankintahinnassa on eroa 7000 € jää kalliimman hankinnan eli maalämmön takaisinmaksuajaksi 16 vuotta. Laitteiden arvioitun käyttöiän ollessa 20 vuotta jää maalämpö vielä järkeväksi hankinnaksi.

Kun taas Helsingissä maalämmön vuotuiset lämmityskustannukset ovat 271,96 € halvemmat tulee takaisinmaksuajaksi 25,7 vuotta.

Jos mietitään laitteen arvioitua käyttöikää ja maalämmön takaisinmaksu aikaa niin järkevämpi vaihtoehto olisi hankkia ilma-vesilämpöpumppu.

Mutta jos tilannetta alkaa miettimään talon myymisen kannalta, niin maalämpöpumppu on parempi myyntivaltti kuin ilma-vesilämpöpumppu (Kiinteistömaailma Oy, 2022.)

Laitteen takaisinmaksu aikaan vaikuttaa myös korot, jos laite on ostettu lainalla. Tässä tutkimuksessa lainan korkoja ei ole huomioitu, mutta kalliimmasta laitteesta joutuu maksamaan myös enemmän korkoja, jolloin sekin vaikuttaa laitteen takaisinmaksu aikaan.

Lämmitys- laite	Hankinta- hinta	Mitoitus- vyöhyke	Sähkön- kulutus €/vuosi	Säästö €/vuosi	Takaisinmaksuai ka (vuotta) verrattaessa halvempaan hankintaan.
Ilma-vesi	11 500 €	I	582,9 €		
Maalämpö	18 500 €	I	310,94 €	271,96 €	25,7
Ilma-vesi	11 500 €	II	606,71 €		
Maalämpö	18 500 €	II	326,74 €	279,97 €	25
Ilma-vesi	11 500 €	III	735,62 €		
Maalämpö	18 500 €	III	405,00 €	330,62 €	21,2
Ilma-vesi	11 500 €	IV	1028,47 €		
Maalämpö	18 500 €	IV	591,16 €	437,31 €	16

Taulukko 7. Lämmityslaitteiden hankinta- ja lämmityskustannusten vertailu.

8 Pohdinta

Opinnäytetyössä onnistuttiin vahvistamaan tuloksia lämpöpumppujen eroista, joita käytännön kokemus on antanut. Tulokset näyttävät selvästi minkälaisia vaikutuksia energiankulutukseen on kun samanlaista taloa lämmitetään Etelä-Suomessa sekä Pohjois-Suomessa.

Tässä työssä jätettiin käyttöveden lämmitys kokonaan pois tutkimuksesta, sillä simulaatiossa ei saatu käyttöveden lämmitystä toiminaan niin, että lämmitysjärjestelmät olisivat olleet samanlaiset. Simulointi tehtiin myös niin, että käyttövesi oli mukana ja silloin ilma-vesilämpöpumpun hyötysuhde oli huomattavasti parempi sillä siinä ei riittänyt teho lämmittämään käyttövettä riittävän lämpimäksi vaan käyttövesi jäi alle vaaditun lämpötilan. Tämä korostui etenkin Sodankylässä. Mutta kun ilma-vesilämpöpumppuun lisättiin 9kW sähkövastus, joka niissä yleensä on vakiona, tippui hyötysuhde huomattavasti.

Maalämpöpumppu puolestaan yritti tehdä maalämpöpumpulla niin kuumaa käyttövedtä, että sen höyrystymislämpötilat nousivat niin korkealle, että hyötysuhde heikkeni huomattavasti. Tämä saatiin korjattua niin, että siirrettiin käyttöveden lämmitys kokonaan sähkölle, mutta sitten lämmitysjärjestelmät eivät olleet samanlaiset.

Kun käyttövesi jätettiin pois, niin nähtiin, että maalämpö on Pohjois-Suomessa huomattavasti järkevämpi ratkaisu, sillä talvet ovat niin pitkiä ja kylmiä, että ilmavesilämpöpumpussa sähkönkulutus on selvästi isompaa kuin maalämpöpumpussa. Myös eteläisemmässä Suomessa maalämpö tulee edullisemmaksi lämmityksessä vaikkakin erot ovat pienempiä kuin pohjoisessa.

IDA ICE-ohjelmalla pystyttäisiin myös huomioimaan ilmastonmuutoksen tuomat vaikutukset vuoden keskilämpötilaan, jolla saattaa olla vaikutusta etenkin ilmavesilämpöpumpun hyötysuhteeseen, mutta tämä rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle.

Tutkimuksen tulokset ovat luotettavat sillä IDA-ICE ohjelmalle on tehty validointitestit, joilla varmistetaan, että ohjelmiston laskennalliset mallit antavat hyväksymiskelpoisia tuloksia muihin ohjelmistoihin ja mitattuihin tuloksiin verrattuna. Validointitestit löytyvät Equan verkkosivuilta.

Tästä työstä voi tehdä jatkotutkimuksia esimerkiksi lisäämällä työhön ilmastonmuutoksen aiheuttamat vaikutukset lämpötiloihin sekä mahdolliset energiakustannusten nousut tulevaisuudessa. Myös käyttöveden lämmityksen lisääminen tutkimukseen voisi tuoda erilaisia tuloksia työhön.

Lähteet

Motiva 2022a. Vesikeskuslämmitys

https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_pientalo/lammitysjarjestelman_valinta/lammonjaon_vaihtoehdot/vesikeskuslammitys. 13.11.2023

Motiva 2022b. Huonekohtainen sähkölämmitys.

https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_pientalo/lammitysjarjestelman_valinta/lammonjaon_vaihtoehdot/huonekohtainen_sahkolammitys. 13.11.2023

Motiva 2022c. Maalämpöpumppu (MLP).

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpput_eknologi/maalampopumppu. 15.11.2023.

Motiva 2023d. Ilma-vesilämpöpumppu (IVLP).

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpput_eknologi/ilma-vesilampopumppu. 15.11.2023.

EQUA Simulation AB 2023a. <https://www.equa.se/fi>. 22.11.2023.

EQUA Simulation AB 2023b. Tietoja EQUA: sta. <https://equa.se/fi/about-us/about-equa>. 22.11.2023.

EQUA Simulation AB 2023c. Ida Indoor Climate and Energy.

<https://equa.se/fi/ida-ice>. 22.11.2023.

Rakennustieto Oy, 2006. Rakennusten lämmitys. LVI 10-10397.

Rakennustieto Oy, 2003. Vesikiertoinen lattialämmitys. LVI 13-10261.

Rakennustieto Oy, 2002b. Vesikiertoinen patterilämmitys. LVI 12-10343

Rakennustieto Oy, 2023. Ilma-vesilämpöpumput, pientalot. RT 103598.

Rakennustieto Oy, 2018. Maalämpöpumput, pientalot. LVI 11-10623.

Ympäristöministeriön asetus 1010/2017. Uuden rakennuksenenergiatehokkuus.

MoshBit Oy 2024. <https://www.nodesk.fi/sahkon-keskihinta-2023/>. 12.2.2024.

Valtiovarainministeriö <https://vm.fi/energiaverotus>. 12.2.2024.

Suomen Omakotiliitto Ry 2023.

https://www.omakotiliitto.fi/files/11434/Hintavertailu_jakeluverkkoyhtio_sahkonsiiрто_omakotiliitto_2023.pdf. 12.2.2024

Leppäharju, N. 2008. Kalliolämmön hyödyntämiseen vaikuttavat geofysikaaliset ja geologiset tekijät. Oulun yliopisto. Fysikaalisten tieteiden laitos. Pro gradu - tutkielma. 19.4.2024.

Kiinteistömaailma Oy, 2022. Kiinteistömaailman 57. barometri.

<https://www.kiinteistomaailma.fi/tiedotteet/kiinteistonvalittajabarometri-syky-2022>. 6.5.2024

Liite 1: Energiatodistus maalämpö

YHTEENVETO RAKENNUKSEN ENERGIAEHOVUUDESTA				
Laskennallinen ostoenergiankulutus ja energiatehokkuuden vertailuluku (E-luku)				
Lämmitetty nettoala	148,024 m ²			
Lämmitysjärjestelmän kuvaus				
Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus				
	Vakioidulla käytöllä laskettu ostoenergia		Energiamuodon kerroin	Energiamuodon kertoimella painotettu energia
	kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	-	kWh _E /(m ² vuosi)
sähkö	7 451	50,3	1,2	60,4
Sähkön kulutukseen sisältyvä valaistus- ja kuluttajalaitesähkö	3 121	21,1		
Energiatehokkuuden vertailuluku (E-luku)				61
Rakennuksen energiatehokkuusluokka				
Käytetty E-luvun luokittelusteikko	#VIITTAUS!			
Luokkien rajat asteikolla	#VIITTAUS!	#VIITTAUS!	#VIITTAUS!	#VIITTAUS!
	#VIITTAUS!	#VIITTAUS!	#VIITTAUS!	#VIITTAUS!
Tämän rakennuksen energiatehokkuusluokka	#VIITTAUS!			
<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. Vakiodusta käytöstä johtuen E-luku ei sovellu yksittäisen rakennuksen toteutuneen ja laskennallisen kulutuksen vertailuun. E-lukuun sisältyy rakennuksen lämmitys-, ilmanvaihto-, jäähdytysjärjestelmien sekä kuluttajalaitteiden ja valaistuksen energiakulutus. Rakennuksen ulkopuoliset kulutukset kuten autolämmityspistokkeet, sulanapitolämmitykset ja ulkovalot eivät sisälly E-lukuun.</p>				

E-LUVUN LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT				
Rakennuskohde				
Rakennuksen käyttötarkoitusluokka	#VIITTAUS!			
Rakennuksen valmistumisvuosi	Lämmitetty nettoala	148	m ²	
Rakennusvaippa				
Ilmanvuotoluku q ₅₀ : (Araan 8/20)	*	m ³ /(h m ²)		
	A m ²	U W/(m ² K)	U×A W/K	Osuus lämpöhäviöistä %
Ulkoseinät	113,2	0,17	19,3	18 %
Yläpohja	148,0	0,09	13,3	13 %
Alapohja	148,0	0,14	21,0	20 %
Ikkunat	19,4	1,10	21,3	20 %
Ulko-ovet	7,6	1,01	7,6	7 %
Kylmäsiilat	-	-	21,7	21 %
Ikkunat ilmansuunnittain				
	A m ²	U W/(m ² K)	g _{kohtisuora} -arvo -	
Pohjoinen	8,8	1,10	0,55	
Koillinen	*	*	*	
Itä	2,6	1,10	0,55	
Kaakko	*	*	*	
Etelä	7,0	1,10	0,55	
Lounas	*	*	*	
Länsi	1,1	1,10	0,55	
Luode	*	*	*	
Ilmanvaihtojärjestelmä				
Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus: (Araan 9/20)	*			
	Ilmavirta tulo/poisto (m ³ /s) / (m ³ /s)	Järjestelmän SFP-luku kW / (m ³ /s)	LTO:n lämpötilasuhde -	Jäätymisenesto °C
Pääilmanvaihtokoneet	*	*	0 %	0,0
IV-kone	0,059/0,059	1,80	55 %	-2,0
Erillispoistot	0,000	0,00	-	-
Ilmanvaihtojärjestelmä	*	0,00	-	-
Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän LTO:n vuosihyötysuhde:	* (Araan 10/20)			
Lämmitysjärjestelmä				
Lämmitysjärjestelmän kuvaus: (Araan 11/20)	*			
	Tuoton hyötysuhde (Araan 12,13)	Jaon ja luovutuksen hyötysuhde	Lämpökerroin ¹	Apulaitteiden sähkönkäyttö kWh/(m ² vuosi) (Araan 14,15)
Tilojen ja iv:n lämmitys	*	100 %	*	*
Lämpimän käyttöveden valmistus	*	0 %	*	*
¹ vuoden keskimääräinen lämpökerroin lämpöpumpulle				
² lämpöpumpujärjestelmissä voi sisältyä vuoden keskimääräiseen lämpökertoimeen				
	Määrä kpl	Tuotto kWh		
Varaava tulisija	*	*		
Ilmalämpöpumppu	*	*		
Jäähdytysjärjestelmä				
	Jäähdytyskauden painotettu kylmäkerroin			
Jäähdytysjärjestelmä (Araan 16/20)	* (anna tyhjä solu, jos rakennus jäähdyttämätön)			
Lämmin käyttövesi				
	Ominaiskulutus dm ³ /(m ² vuosi)	Lämmitysenergian nettotarve kWh/(m ² vuosi)		
Lämmin käyttövesi	0	0		
Sisäiset lämpökuormat eri käyttöasteilla				
	Käyttöaste -	Henkilöt W/m ²	Kuluttajalaitteet W/m ²	Valaistus W/m ²
	60 %	2,0	3,0	6,0
	60 %			
	10 %			

E-LUVUN LASKENNAN TULOKSET				
Rakennuskohde				
Rakennuksen käyttötarkoitusluokka	#VIITTAUS!			
Rakennuksen valmistumisvuosi				
Lämmitetty nettoala, m ²	148,024			
E-luku, kWh _e / (m ² vuosi)	61			
E-luvun erittely				
Käytettävät energiamuodot	Vakioidulla käytöllä laskettu ostoenergia kWh/vuosi	Energiamuodon kerroin -	Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus	
			kWh _e /vuosi	kWh _e /(m ² vuosi)
kaukolämpö	*	0,50		
sähkö	*	1,20		
kaukojäähdytys	*	0,28		
fossiilinen polttoaine	*	1,00		
uusiutuva polttoaine	*	0,50		
	*	*		
	*	*		
	*	*		
sähkö, kuluttajalaitteet	2 341	1,20	2809	19,0
sähkö, valaistus	780	1,20	936	6,3
sähkö, ilmanvaihtojärjestelmä	924	1,20	1109	7,5
sähkö, muu mallinnettu ostosähkö vähennettynä sähkön omavaraistuotolla	3 406	1,20	4088	27,6
YHTEENSÄ	7 451		8 942	61
Rakennuksen ympäristössä olevasta energiasta otettu energia, hyödynnetty osuus (kuukausitason erittely lisätiedoissa)				
		kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	
Aurinkosähkö		*		
Aurinkolämpö		*		
Tuulisähkö		*		
Maasta tai ilmasta otettu lämpöenergia		8 931	61	
Muu ympäristöstä otettu energia, sähkö		*		
Rakennuksen teknisten järjestelmien energiankulutus				
		Sähkö kWh/(m ² vuosi)	Lämpö kWh/(m ² vuosi)	Kaukojäähdytys kWh/(m ² vuosi)
Lämmitysjärjestelmä				
Tilojen lämmitys ¹ (Araan 17/20)		*	67,3	-
Tuloilman lämmitys (Araan 18/20)		*	14,9	-
Lämpimän käyttöveden valmistus (Araan 19/20)		*	0,0	-
Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus		6,2	-	-
Jäähdytysjärjestelmä		*	*	*
Kuluttajalaitteet ja valaistus		21,1	-	-
YHTEENSÄ		28,0	83,0	0,0
¹ ilmanvaihdon tuloilman lämpeneminen tilassa ja korvausilman lämmitys kuuluu tilojen lämmitykseen				
Energian nettotarve				
		kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	
Tilojen lämmitys ²		9 968	68	
Ilmanvaihdon lämmitys ³		2 204	15	
Lämpimän käyttöveden valmistus		0	0	
Jäähdytys		0	0	
² sisältää vuotoilman, korvausilman ja tuloilman lämpenemisen tilassa				
³ laskettu lämmöntalteenoton kanssa				
Lämpökuormat				
		kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	
Aurinko		3 045	21	
Henkilöt		1 490	11	
Kuluttajalaitteet		2 341	16	
Valaistus		780	6	
Lämpimän käyttöveden kierrosta ja varastoinnin häviöistä (Araan 20/20)		*		
Laskentatyökalun nimi ja versionumero				
Laskentatyökalun nimi ja versionumero		IDA Indoor Climate and Energy, version 5.0		

UUSIUTUVAN ENERGIAN ERITTELY

Rakennuskohde

Rakennuksen käyttötarkoitusluokka	#VIITTAUS!
Rakennuksen nimi	#VIITTAUS!
Rakennuksen valmistumisvuosi	#VIITTAUS!
Lämmitetty nettoala, m ²	148
E-luku, kWh _E / (m ² vuosi)	61

Rakennuksen ympäristössä olevasta energiasta otettu energia (yhteensä ja rakennuksessa hyödynnetynä, vuotuinen erittely)

	kWh/ a Otettu yhteensä	kWh/(m ² a) Otettu yhteensä	kWh/ a Hyödynnetty osuus	kWh/(m ² a) Hyödynnetty osuus
Ympäristöstä otettu lämpö				
Aurinkolämpö	*		*	
Maasta tai ilmasta otettu lämpöenergia	8 931	60	8 931	60
Ympäristöstä otettu lämpö kaikki yhteensä	8 931	60	8 931	60
Ympäristöstä otettu sähkö				
Aurinkosähkö	*			
Tuulisähkö	0	0		
Muu ympäristöstä otettu energia, sähkö	0	0		
Ympäristöstä otettu sähkö kaikki yhteensä	0	0	0	0

Rakennuksen ympäristössä olevasta energiasta otettu lämpö ja jäähdytys, joka hyödynnetty rakennuksessa (kuukausierittely)

kk	Aurinkolämpö kWh	kk	Maalämpö kWh	Ulkoilma, lämpö kWh	Lämpö yht. (maa + ilma) kWh	kk	Maa- jäähdytys kWh	Ulkoilma- jäähdytys kWh	Jäähd. yht. (maa + ilma) kWh
1	*	1	1 621	*	1621	1	0	*	0
2	*	2	1 491	*	1491	2	0	*	0
3	*	3	1 268	*	1268	3	0	*	0
4	*	4	644	*	644	4	0	*	0
5	*	5	230	*	230	5	0	*	0
6	*	6	39	*	39	6	0	*	0
7	*	7	0	*	0	7	0	*	0
8	*	8	3	*	3	8	0	*	0
9	*	9	208	*	208	9	0	*	0
10	*	10	776	*	776	10	0	*	0
11	*	11	1 198	*	1198	11	0	*	0
12	*	12	1 454	*	1454	12	0	*	0
yht.	0	yht.	8 931	0	8931	yht.	1	0	1

Rakennuksen ympäristössä olevasta energiasta otettu sähkö (yhteensä, kuukausierittely)

kk	Aurinkosähkö kWh yhteensä	kk	Tuulisähkö kWh yhteensä	kk	CHP sähköntuotto kWh yhteensä
1	*	1	*	1	*
2	*	2	*	2	*
3	*	3	*	3	*
4	*	4	*	4	*
5	*	5	*	5	*
6	*	6	*	6	*
7	*	7	*	7	*
8	*	8	*	8	*
9	*	9	*	9	*
10	*	10	*	10	*
11	*	11	*	11	*
12	*	12	*	12	*
yht.	0	yht.	0	yht.	0

Liite 2: Energiatodistus ilma-vesilämpöpumppu

YHTEENVETO RAKENNUKSEN ENERGIAEHOVUDESTA				
Laskennallinen ostoenergiankulutus ja energiatehokkuuden vertailuluku (E-luku)				
Lämmitetty nettoala	148,024 m ²			
Lämmitysjärjestelmän kuvaus				
Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus				
	Vakioidulla käytöllä laskettu ostoenergia		Energiamuodon kerroin	Energiamuodon kertoimella painotettu energia
	kWh/vuosi	kWh/(m ² -vuosi)	-	kWh _E /(m ² -vuosi)
sähkö	8 804	59,5	1,2	71,4
Sähkön kulutukseen sisältyvä valaistus- ja kuluttajalaitesähkö	3 121	21,1		
Energiatehokkuuden vertailuluku (E-luku)				72
Rakennuksen energiatehokkuusluokka				
Käytetty E-luvun luokittelustaasteikko	#VIITTAUS!			
Luokkien rajat asteikolla	#VIITTAUS!	#VIITTAUS!	#VIITTAUS!	#VIITTAUS!
	#VIITTAUS!	#VIITTAUS!	#VIITTAUS!	#VIITTAUS!
	#VIITTAUS!	#VIITTAUS!	#VIITTAUS!	#VIITTAUS!
Tämän rakennuksen energiatehokkuusluokka	#VIITTAUS!			
<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. Vakiodusta 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>				

E-LUVUN LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT				
Rakennuskohde				
Rakennuksen käyttötarkoitusluokka	#VIITTAUS!			
Rakennuksen valmistumisvuosi	Lämmitetty nettoala	148	m ²	
Rakennusvaippa				
Ilmanvuotoluku q ₅₀ : (Araan 8/20)	*	m ³ /(h m ²)		
	A m ²	U W/(m ² K)	U×A W/K	Osuus lämpöhäviöistä %
Ulkoseinät	113,2	0,17	19,3	18 %
Yläpohja	148,0	0,09	13,3	13 %
Alapohja	148,0	0,14	21,0	20 %
Ikkunat	19,4	1,10	21,3	20 %
Ulko-ovet	7,6	1,01	7,6	7 %
Kylmäsiilat	-	-	21,7	21 %
Ikkunat ilmansuunnittain				
	A m ²	U W/(m ² K)	gkohtisuora-arvo	
Pohjoinen	8,8	1,10	0,55	
Koillinen	*	*	*	
Itä	2,6	1,10	0,55	
Kaakko	*	*	*	
Etelä	7,0	1,10	0,55	
Lounas	*	*	*	
Länsi	1,1	1,10	0,55	
Luode	*	*	*	
Ilmanvaihtojärjestelmä				
Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus: (Araan 9/20)	*			
	Ilmavirta tulo/poisto (m ³ /s) / (m ³ /s)	Järjestelmän SFP-luku kW / (m ³ /s)	LTO:n lämpötilasuhde	Jäätymisenesto °C
Pääilmanvaihtokoneet	0,059/0,059	1,80	55 %	-2,0
IV-kone	0,059/0,059	1,80	55 %	-2,0
Erillispoistot	0,000	0,00	-	-
Ilmanvaihtojärjestelmä	0,059/0,059	1,80	-	-
Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän LTO:n vuosihyötysuhde:	*		(Araan 10/20)	
Lämmitysjärjestelmä				
Lämmitysjärjestelmän kuvaus: (Araan 11/20)	*			
	Tuoton hyötysuhde (Araan 12,13)	Jaon ja luovutuksen hyötysuhde	Lämpökerroin ¹	Apulaitteiden sähkönkäyttö kWh/(m ² vuosi) (Araan 14,15)
Tilojen ja iv:n lämmitys	*	100 %	*	*
Lämpimän käyttöveden valmistus	*	0 %	*	*
¹ vuoden keskimääräinen lämpökerroin lämpöpumpulle ² lämpöpumpputermosteissa voi sisältyä vuoden keskimääräiseen lämpökertoimeen				
	Määrä kpl	Tuotto kWh		
Varaava tulisija	*	*		
Ilmalämpöpumppu	*	*		
Jäähdytysjärjestelmä				
	Jäähdytyskauden painotettu kylmäkerroin			
Jäähdytysjärjestelmä (Araan 16/20)	* (anna tyhjä solu, jos rakennus jäähdyttämätön)			
Lämmin käyttövesi				
	Ominaiskulutus dm ³ /(m ² vuosi)	Lämmitysenergian nettotarve kWh/(m ² vuosi)		
Lämmin käyttövesi	0	0		
Sisäiset lämpökuormat eri käyttöasteilla				
	Käyttöaste	Henkilöt W/m ²	Kuluttajalaitteet W/m ²	Valaistus W/m ²
	-			
	60 %	2,0	3,0	6,0
	60 %			
	10 %			

E-LUVUN LASKENNAN TULOKSET				
Rakennuskohde				
Rakennuksen käyttötarkoitusluokka	#VIITTAUS!			
Rakennuksen valmistumisvuosi				
Lämmitetty nettoala, m ²	148,024			
E-luku, kWh _e / (m ² vuosi)	72			
E-luvun erittely				
Käytettävät energiamuodot	Vakioidulla käytöllä laskettu ostoenergia kWh/vuosi	Energiamuodon kerroin -	Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus	
			kWh _e /vuosi	kWh _e /(m ² vuosi)
kaukolämpö	*	0,50		
sähkö	*	1,20		
kaukojäähdytys	*	0,28		
fossiilinen polttoaine	*	1,00		
uusiutuva polttoaine	*	0,50		
	*	*		
	*	*		
	*	*		
sähkö, kuluttajalaitteet	2 341	1,20	2809	19,0
sähkö, valaistus	780	1,20	936	6,3
sähkö, ilmanvaihtojärjestelmä	924	1,20	1109	7,5
sähkö, muu mallinnettu ostosähkö	4 759	1,20	5711	38,6
vähennettynä sähköön omavaraistuotolla				
YHTEENSÄ	8 804		10 565	72
Rakennuksen ympäristössä olevasta energiasta otettu energia, hyödynnetty osuus (kuukausitason erittely lisätiedoissa)				
		kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	
Aurinkosähkö		*		
Aurinkolämpö		*		
Tuulisähkö		*		
Maasta tai ilmasta otettu lämpöenergia		*		
Muu ympäristöstä otettu energia, sähkö		*		
Rakennuksen teknisten järjestelmien energiankulutus				
		Sähkö kWh/(m ² vuosi)	Lämpö kWh/(m ² vuosi)	Kaukojäähdytys kWh/(m ² vuosi)
Lämmitysjärjestelmä				
Tilojen lämmitys ¹ (Araan 17/20)		*	67,1	-
Tuloilman lämmitys (Araan 18/20)		*	14,9	-
Lämpimän käyttöveden valmistus (Araan 19/20)		*	0,0	-
Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus		6,2	-	-
Jäähdytysjärjestelmä		*	*	*
Kuluttajalaitteet ja valaistus		21,1	-	-
YHTEENSÄ		28,0	83,0	0,0
¹ ilmanvaihdon tuloilman lämpeneminen tilassa ja korvausilman lämmitys kuuluu tilojen lämmitykseen				
Energian nettotarve				
		kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	
Tilojen lämmitys ²		9 938	68	
Ilmanvaihdon lämmitys ³		2 209	15	
Lämpimän käyttöveden valmistus		0	0	
Jäähdytys		0	0	
² sisältää vuotoilman, korvausilman ja tuloilman lämpenemisen tilassa				
³ laskettu lämmöntalteenoton kanssa				
Lämpökuormat				
		kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	
Aurinko		3 042	21	
Henkilöt		1 490	11	
Kuluttajalaitteet		2 341	16	
Valaistus		780	6	
Lämpimän käyttöveden kierrosta ja varastoinnin häviöistä (Araan 20/20)		*		
Laskentatyökalun nimi ja versio numero				
Laskentatyökalun nimi ja versio numero		IDA Indoor Climate and Energy, version 5.0		

UUSIUTUVAN ENERGIAN ERITTELY

Rakennuskohde

Rakennuksen käyttötarkoituusluokka	#VIITTAUS!
Rakennuksen nimi	#VIITTAUS!
Rakennuksen valmistusvuosi	#VIITTAUS!
Lämmitetty nettoala, m ²	148
E-luku, kWh _e / (m ² vuosi)	72

Rakennuksen ympäristössä olevasta energiasta otettu energia (yhteensä ja rakennuksessa hyödynnettyä, vuotuinen erittely)

	kWh/ a Otettu yhteensä	kWh/(m ² a) Otettu yhteensä	kWh/ a Hyödynnetty osuus	kWh/(m ² a) Hyödynnetty osuus
Ympäristöstä otettu lämpö				
Aurinkolämpö	*		*	
Maasta tai ilmasta otettu lämpöenergia	*		*	
Ympäristöstä otettu lämpö kaikki yhteensä	0	0	0	0
Ympäristöstä otettu sähkö				
Aurinkosähkö	*			
Tuulisähkö	0	0		
Muu ympäristöstä otettu energia, sähkö	0	0		
Ympäristöstä otettu sähkö kaikki yhteensä	0	0	0	0

Rakennuksen ympäristössä olevasta energiasta otettu lämpö ja jäähdytys, joka hyödynnetty rakennuksessa (kuukausierittely)

kk	Aurinkolämpö kWh	kk	Maalämpö kWh	Ulkoilma, lämpö kWh	Lämpö yht. (maa + ilma) kWh	kk	Maa- jäähdytys kWh	Ulkoilma- jäähdytys kWh	Jäähd. yht. (maa + ilma) kWh
1	*	1	*	*		1	*	*	
2	*	2	*	*		2	*	*	
3	*	3	*	*		3	*	*	
4	*	4	*	*		4	*	*	
5	*	5	*	*		5	*	*	
6	*	6	*	*		6	*	*	
7	*	7	*	*		7	*	*	
8	*	8	*	*		8	*	*	
9	*	9	*	*		9	*	*	
10	*	10	*	*		10	*	*	
11	*	11	*	*		11	*	*	
12	*	12	*	*		12	*	*	
yht.	0	yht.	0	0	0	yht.	0	0	0

Rakennuksen ympäristössä olevasta energiasta otettu sähkö (yhteensä, kuukausierittely)

kk	Aurinkosähkö kWh yhteensä	kk	Tuulisähkö kWh yhteensä	kk	CHP sähköntuotto kWh yhteensä
1	*	1	*	1	*
2	*	2	*	2	*
3	*	3	*	3	*
4	*	4	*	4	*
5	*	5	*	5	*
6	*	6	*	6	*
7	*	7	*	7	*
8	*	8	*	8	*
9	*	9	*	9	*
10	*	10	*	10	*
11	*	11	*	11	*
12	*	12	*	12	*
yht.	0	yht.	0	yht.	0