



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

OMAKOTITALON ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN

Toni Haikkala

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2018
Talotekniikan koulutus
LVI-talotekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutus
LVI-talotekniikka

HAIKKALA, TONI:
Omakotitalon energiatehokkuuden parantaminen

Opinnäytetyö 33 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Huhtikuu 2018

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia, kuinka omakotitalon energiatehokkuutta voidaan parantaa rakenteellisilla ja LVI-teknisillä keinoin sekä tutkia onko hankkeet taloudellisesti kannattavia. Työssä tutkittiin maalämpöpumpun asentamisen, ikkunoiden vaihtamisen energiatehokkaampiin malleihin ja ilmalämpöpumpun lisäämisen kannattavuutta.

Työn kohde on yksikerroksinen omakotitalo Lahdessa. Talossa on lämmitettävää pinta-alaa noin 100 m², ja energiaa lämmitykseen kuluu nykyisellään noin 10 MWh vuodessa ja kokonaisostoenergiankulutus on noin 16 000 kWh vuodessa. Energiankulutusta saatiin simuloinnin perusteella vähennettyä tehokkaimmin kaikista kolmesta vaihtoehdosta maalämpöpumpun avulla, joka laskee kokonaisenergiankulutusta 6648 kWh/vuosi. Maalämpöpumpun asentaminen ei kuitenkaan osoittautunut taloudellisesti kannattavaksi hankkeeksi työn kohteeseen.

Omakotitalojen energiatehokkuuden parantamiseen on monia vaihtoehtoja. Rakennusten energiatehokkuutta voidaan parantaa rakenteellisilla parannuksilla ja LVI-teknisillä ratkaisuilla. Lisäksi merkittäviä säästöjä voidaan tuottaa käyttäjien käyttötottumuksia muuttamalla sekä pienillä rakenteellisilla saneerauksilla, kuten vanhojen ikkunoiden tiivisteiden uusiminen. Tutkimus osoitti, että maalämpöpumppu on varteenotettava vaihtoehto omakotitalon energiatehokkuuden parantamisessa, vaikka tämän työn kohteeseen sen asentaminen ei ollut taloudellisesti kannattavaa.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Building Services Engineering
HVAC Building Services Engineering

HAIKKALA, TONI:

Improving the energy efficiency of a detached house

Bachelor's thesis 33 pages, appendices 2 pages

April 2018

The purpose of this research was to improve energy efficiency of single family house and get financial savings with lower energy consumption. The study is focused on the profitability of ground source heat pump, window improvement and the addition of an air heat pump.

The examined house is a one-storied building which is located in Lahti. There is about 100 m² of heated space. The building consumes about 10 MWh of heating energy per year. Total energy consumption of electricity and heating was approximately 16 MWh per year and the total consumption was decreased by 6,6 MWh per year with ground source heat pump. However, the installation of a ground source heat pump did not prove to be a profitable project for the target house of the work.

There are many ways to improve the energy efficiency of detached houses. Energy efficiency of buildings can be improved with structural improvements and HVAC technical solutions. In addition, with smaller structural renovations, such as sealing older windows and by changing user habits can save significant amount of heating and electrical energy. The study showed that the ground source heat pump is a viable alternative to improve the energy efficiency of a detached house, even though it was not profitable to install it to the examined house of this work.

Key words: energy efficiency, profitability

SISÄLLYS

| | | |
|-------|------------------------------------------------|----|
| 1 | JOHDANTO..... | 6 |
| 2 | ENERGIANKULUTUS PIENTALOISSA..... | 7 |
| 2.1 | Yleiset rakenteelliset parannukset..... | 7 |
| 2.1.1 | Ilmavuodot | 8 |
| 2.1.2 | Ikkunoiden korjaus ja vaihto..... | 9 |
| 2.1.3 | Lisäeristys | 9 |
| 2.2 | Yleiset järjestelmä parannukset | 9 |
| 2.2.1 | Ilmalämpöpumppu | 10 |
| 2.2.2 | Maalämpöpumppu..... | 11 |
| 3 | KOHTEEN KUVAUS | 13 |
| 3.1 | Nykyinen energiankulutus | 13 |
| 3.1.1 | Lämpöindeksivertailu..... | 14 |
| 3.2 | Energiatohokkuuden parannusvaihtoehdot | 15 |
| 4 | TUTKIMUSMENETELMÄT | 16 |
| 4.1 | Dynaaminen simulointi..... | 16 |
| 4.1.1 | Simulointi maalämpöpumpulla | 18 |
| 4.1.2 | Ilmalämpöpumpulla | 20 |
| 4.1.3 | Uudet ikkunat | 21 |
| 5 | ENERGIANKULUTUKSEN VERTAILU..... | 23 |
| 6 | KUSTANNUSLASKELMAT..... | 25 |
| 6.1 | Maalämpöpumpun kannattavuus | 26 |
| 6.2 | Ikkuna saneerauksen kannattavuus | 27 |
| 7 | POHDINTA..... | 29 |
| | LÄHTEET..... | 31 |
| | LIITTEET | 32 |
| | Liite 1. Energiatodistus alkuperäinen | 32 |
| | Liite 2. Energiatodistus maalämpöpumpulla..... | 33 |

ERITYISSANASTO tai LYHENTEET JA TERMIT (valitse jompikumpi)

| | |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| LVI | Lämpö, vesi, ilmastointi. |
| U-arvo | Lämmönläpäisykerroin ilmaisee lämpövirran tiheyden seinämän lävitse lämpötilaeron yksikköä kohden. Yksikkönä W/m^2K . |
| E-luku | Energiamuotojen kertoimilla painotettu ostoenergian laskennallinen ominaiskulutus rakennustyyppin standardikäytöllä. Yksikkönä kWh/m^2 , vuosi. |
| IDA ICE | IDA Indoor Climate and Energy, dynaaminen simulointiohjelma rakennusten energiatehokkuuden arviointiin. |
| Sulpu | Suomen lämpöpumppuyhdistys. |
| Lämpökerroin | Kertoo kuinka paljon lämpöpumppu tuottaa lämpöenergiaa suhteessa sen käyttämään sähköenergiaan. |
| COP | Coefficient Of Performance eli lämpökerroin ilmoittaa, kuinka monin kertaaisesti lämpöpumppu tuottaa lämpöenergiaa verrattuna kulutettuun sähköenergiaan. |

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tutkia kolmea eri energiatehokkuutta parantavaa vaihtoehtoa omakotitaloon ja arvioida niiden taloudellista kannattavuutta. Kohde on yksikerroksinen omakotitalo Lahdessa, joka on valmistunut vuonna 1981. Kohteen lämmitystapana on nykyhetkellä ilmalämmitys kytkettynä kaukolämmön matalalämpöverkkoon.

Suomessa ja muualla Euroopassa rakennusten energiatehokkuuteen kiinnitetään yhä enemmän huomiota ja Suomessa energiatehokkuutta koskevat rakennusmääräykset kiristyvät vuosi vuodelta. Uusien määräysten tavoitteena on vähentää rakennuksista johtuvaa energiankulutusta sekä vähentää rakennusten hiilidioksidipäästöjä. Yksittäisen omakotitalon energiakulutus ja hiilidioksidipäästöt ovat melko pieniä verraten isompiin rakennuksiin kuten asuinkerrostalot ja teollisuusrakennukset. Omakotitalojen saneerauksissa ja uudisrakentamisessa on kuitenkin syytä ottaa rakennuksen energiatehokkuus huomioon, energian hinnan jatkuvan nousun ja sisäilmaolosuhteiden takia.

Energiatehokkuuden parantamiseen on monia keinoja, mutta tässä työssä keskitytään kolmeen eri energiatehokkuuden parannusvaihtoehtoon: ikkunoiden vaihto, ilmalämpöpumpun lisääminen sekä maalämpöpumpun asentaminen kaukolämmön tilalle. Tarkastelussa käytetään IDA ICE simulointiohjelmalla tuotettuja energiankulutustietoja, jotta saadaan vertailukelpoiset tulokset. Edellä mainituille vaihtoehdoille lasketaan lopuksi kannattavuuslaskelmat.

2 ENERGIANKULUTUS PIENTALOISSA

Suomessa pientalojen suurin osa rakennuksen energiankulutuksesta muodostuu tilojen lämmityksestä, joka on noin 50 % rakennuksen kokonaiskulutuksesta. Loppu energian kulutus jakautuu lähinnä lämpimän käyttöveden tuottoon (20 %) sekä kotitaloussähkönkulutuksen kesken (30 %), riippuen rakennuksen ominaisuuksista. (Ympäristöhallinto 2016).

Energiankulutukseen voidaan vaikuttaa monin tavoin. Helpoin ja halvin tapa vähentää energian kulutusta on muuttaa omia kulutustottumuksia. Lämmitysenergiankulutusta voidaan vähentää tehokkaammin rakenteellisilla muutoksilla ja LVI-järjestelmien muuttamisella energiatehokkaampiin järjestelmiin.

2.1 Yleiset rakenteelliset parannukset

Lämpö pyrkii aina tasoittumaan siten, että lämpö siirtyy kylmempään tilaan. Tästä ilmiöstä johtuen rakennuksista häviää aina jonkun verran lämmitysenergiaa rakenteiden kautta johtumalla etenkin talvisin, kun lämpötilaerot sisä- ja ulkoilman välillä ovat suuret. Lämpövirran suuruutta rakenteiden läpi kuvataan lämmönläpäisykertoimella eli U-arvolla, jonka yksikkö on W/m^2K . Alla olevassa taulukossa on ympäristöministeriön antamat minimivaatimukset rakenteiden U-arvoille eri rakennusluvan vireilletulovuosina. Rakenteiden U-arvot on kuitenkin syytä selvittää ensisijaisesti rakennuksen omista asiakirjoista. Rakenteellisia parannuksia ovat mm. ilmavuotojen tukkiminen ja ikkunoiden kunnostus tai vaihto sekä rakenteiden lisäeristäminen.

TAULUKKO 1. Rakenteiden lämpökertoimet, W/m²K. (Ympäristöministeriön asetus)

| Rakennusosa | Rakennusluvun vireilletulovuosi | | | | | | | | |
|--------------------------------|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|------------|
| | -1969 | 1969- | 1976- | 1978- | 1985- | 10/2003- | 2008- | 2010- | 2012-2018- |
| Lämpimät tilat | | | | | | | | | |
| Ulkoseinä | 0,81 | 0,81 | 0,70 | 0,35 | 0,28 | 0,25 | 0,24 | 0,17* | 0,17* |
| Maanvarainen alapohja | 0,47 | 0,47 | 0,40 | 0,40 | 0,36 | 0,25 | 0,24 | 0,16 | 0,16 |
| Ryömintätilainen alapohja | 0,47 | 0,47 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,20 | 0,20 | 0,17 | 0,17 |
| Ulkoilmaan rajoittuva alapohja | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,29 | 0,22 | 0,16 | 0,16 | 0,09 | 0,09 |
| Yläpohja | 0,47 | 0,47 | 0,35 | 0,29 | 0,22 | 0,16 | 0,15 | 0,09 | 0,09 |
| Ovi | 2,2 | 2,2 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,0 | 1,0 |
| Ikkuna | 2,8 | 2,8 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 1,4 | 1,4 | 1,0 | 1,0 |
| Puolilämpimät tilat | | | | | | | | | |
| Ulkoseinä | 0,81 | 0,81 | 0,70 | 0,60 | 0,45 | 0,40 | 0,38 | 0,26* | 0,26* |
| Maanvarainen alapohja | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,45 | 0,36 | 0,34 | 0,24 | 0,24 |
| Ryömintätilainen alapohja | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,40 | 0,30 | 0,28 | 0,26 | 0,26 |
| Ulkoilmaan rajoittuva alapohja | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,45 | 0,30 | 0,28 | 0,14 | 0,14 |
| Yläpohja | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,45 | 0,30 | 0,28 | 0,14 | 0,14 |
| Ovi | 2,2 | 2,2 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 1,8 | 1,8 | 1,4 | 1,4 |
| Ikkuna | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 1,8 | 1,8 | 1,4 | 1,4 |

2.1.1 Ilmavuodot

Ilmavuodolla tarkoitetaan, että lämmin sisäilma vuotaa rakennuksen ulkovaipan raoista ja rei'istä ulos, eikä niitä välttämättä huomaa ilman lämpökameran apua. Reikien ja rakojen tukkiminen on helppo tapa vähentää rakennuksen lämmitysenergian hävikkiä. Ilmavuotojen tukkiminen vanhoissa rakennuksissa voi tosin johtaa huonoon sisäilman laatuun ja jopa homevaurioihin, jos ilmanvaihtoon ei kiinnitetä kunnolla huomioita. Sisäilmaan saattaa jäädä hallitsematonta kosteutta, joka luo näin ollen rakenteisiin hyvät olosuhteet homekasvustolle (Laitinen 2013).

2.1.2 Ikkunoiden korjaus ja vaihto

Lämpöhävikin osuus ikkunoiden kautta saattaa olla jopa 15-20 prosenttia. Ennen ikkunoiden vaihtoon ryhtymistä kannattaa käydä läpi myös kunnostus vaihtoehdot, kuten ikkunoiden ja karmien tiivisteiden uusiminen. Tiivisteiden uusimisella saadaan tehokkaasti vähennettyä ikkunoista johtuvaa lämpöhäviötä mutta samalla tulee huomioida, että korvausilma reitit säilyvät. Myös verhoilla ja kaihtimilla saadaan lisättyä asumismukavuutta ja vähennettyä öisin lämmönvuotamista kylmään ulkoilmaan sekä jäähdystarvetta kesäisin. Päivisin verhot ovat hyvä avata, jotta päivän aikana tuleva auringon säteily tulee hyödynnetyksi. (Ympäristöhallinto 2016).

2.1.3 Lisäeristys

Rakenteiden lisäeristyksellä voidaan merkittävästi parantaa rakennuksen energiatehokkuutta, etenkin vanhemmissa rakennuksissa, joissa rakenteiden lämmönläpäisykertoimet ovat jopa yli kaksi kertaa suuremmat, kuin nykyisissä rakennuksissa. Lisäeristyksen merkittävyyttä energiatehokkuuden parantamisessa on kuitenkin hieman vähennetty uudessa ympäristöministeriön asetuksessa rakennuksen energiatodistuksesta ja keskitytty yhä enemmän järjestelmien parantamiseen, kuten ilmanvaihtoon. Lisäeristystä voidaan tapauskohtaisesti lisätä seiniin, tuuletettuun yläpohjaan ja alapohjaan. Näistä kustannustehokkain ratkaisu on useimmiten tuuletetun yläpohjan lisäeristys etenkin vanhoissa rakennuksissa.

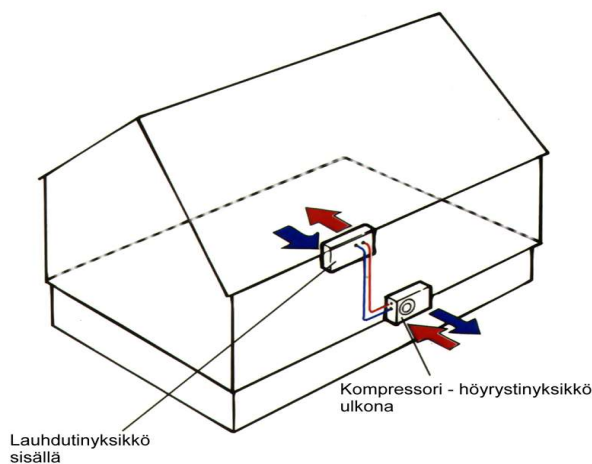
2.2 Yleiset järjestelmä parannukset

Suomessa suosituimpana järjestelmän parannustapana on yleisesti, jonkinlainen lämpöpumppu. Lämpöpumppujen myynti oli 62000 kappaletta vuonna 2017, joista ilmalämpöpumppuja 47000 kappaletta. Ilmalämpöpumppujen suosioon vaikuttaa varmastikin helppo asennettavuus ja halvat investointikustannukset. Maalämpöpumppujen suosio on noussut viime vuosina muiden lämpöpumppujen ohella, tosin myytyjen pumppujen määrä on pysynyt tasaisena vuosina 2016 ja 2017. Nykyisin jopa 70 % uusien omakotitalojen rakentajista päätyy johonkin lämpöpumppuratkaisuun, joista suurin osa maalämpöpumppuja. (Heikkinen 2018)

2.2.1 Ilmalämpöpumppu

Ilmalämpöpumput on tarkoitettu lämmitysjärjestelmien tueksi. Ilmalämpöpumppujen investointikustannukset ovat melko alhaiset, mikä on varmasti osa syynä niiden yleistymiselle. Ilmalämpöpumpuilla pystytään vähentämään energiankulutusta enintään 10 – 30 % kokonaisenergiankulutuksesta (Motiva 2017).

Ilmalämpöpumppuja asentaessa tulee huomioida lämmönjakautuminen talon sisällä ja pumpun paikka on syytä miettiä tarkkaan, lämmönjakautumisen optimoimiseksi. Pumppu koostuu kahdesta pääkomponentista, ulkoyksikkö ja sisäyksikkö (KUVA 1). Sisäilmaa lämmitettäessä, kylmäaine kulkee ulkoyksikön höyrystinpatterin läpi ja sitoo ulkoilmasta lämpöenergiaa jopa $-15\dots-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ilmasta. Ulkoyksikössä sijaitseva kompressori puristaa höyryn vielä kovempaan paineeseen, jolloin höyryn lämpötila myös nousee, ennen sisäyksikölle kuljettamista. Sisäyksikössä höyry vieään lauhdutus patterin läpi, jossa kylmäaine nesteytyy ja luovuttaa sitomansa lämmön faasimuutoksessa. Parhaan hyötysuhteen ilmalämpöpumput yleisesti saavat, kun ulkolämpötila on -10 ja $+10$ asteen välillä. Ilmalämpöpumpuilla voidaan myös jäähdyttää sisäilmaa. Jäähdytyksessä toimintaperiaate on sama kuin lämmityksessä, mutta prosessi on käänteinen eli kylmäaineen höyrystyminen tapahtuu sisällä ja lauhduminen ulkona.



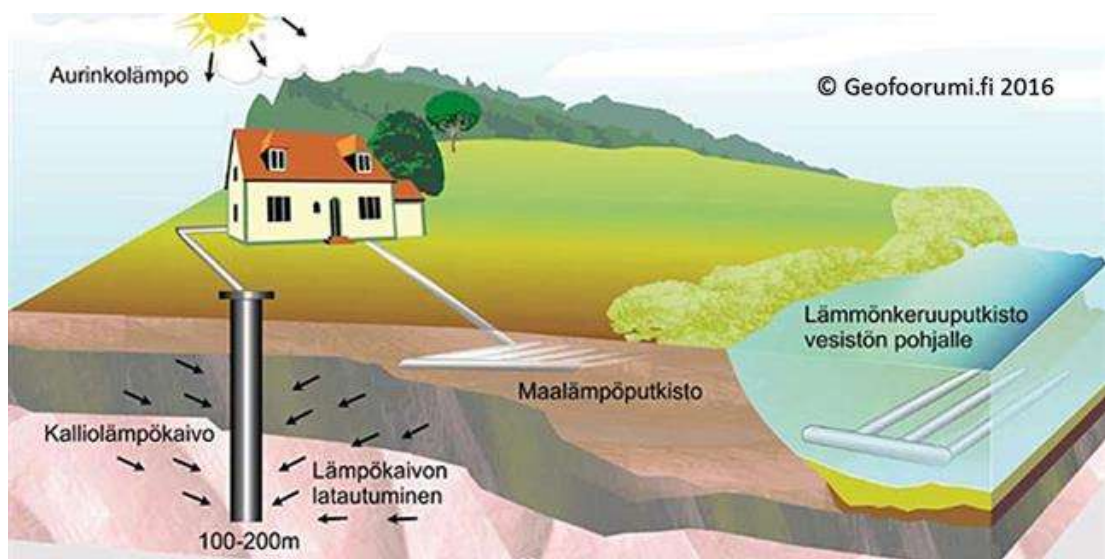
KUVA 1. Lämpöpumpun asennusperiaate. (Sulpu)

2.2.2 Maalämpöpumppu

Maalämpöpumpuilla saadaan paras hyötysuhde, kun rakennuksessa on lämmityksen kiertoveden lämpötilat ovat matalat, kuten lattialämmitys. Pumppuja on kuitenkin mahdollista asentaa myös kohteisiin, joissa kiertoveden lämpötilat ovat jopa 70 astetta. Tämä kuitenkin vaatii puskurivaraajan, jos kohteessa lämmitetään myös käyttövesi maalämpöpumpulla. Käytännössä maalämpöpumppujen vuosilämpökerroin vaihtelee 2,5 – 3,5 välillä, eli jokaista 1 kilowattia sähköä kohden tuotetaan 2,5 – 3,5 kilowattia lämpöä. Lämpökertoimeen eli COP-lukuun vaikuttaa lämmön keruu- ja luovutuslämpötila (Perälä 2013).

Maalämpöpumppujen investointikustannukset ovat melko korkeat ja ne vaihtelevat yleisesti 12 000 eurosta 20 000 euroon. Saneerauskohteissa saattaa olla korkeammatkin kustannukset, riippuen tarvitaanko kohteeseen esimerkiksi uusi lämmönjakotapa. Hintaan vaikuttaa mm. energiantarve, lämmönkeruutapa ja työmäärä. (Motiva 2018).

Maalämpöpumpuilla otetaan lämpöenergia maasta tai vedestä. Maasta lämpöä voidaan kerätä porakaivolla, joka on Suomessa suosituimpi vaihtoehto, koska peruskallio on lähellä maanpintaa. (Ympäristöhallinto 2016). Vaakaputkistoa voidaan käyttää myös, jos lähellä on vesistöä, ankkuroimalla keruupiiri pohjaan. Vesistöön asennettava keruupiiri on kuitenkin aika harvinainen. Lämpökaivojen hinnat vaihtelevat maaperästä ja mitoituksesta riippuen. Kaivon hinta on halvempi, jos maa on kallioperäistä, jolloin kaivo ei tarvitse suojaputkea. (Motiva 2012).



KUVA 2. Erilaiset keruupiirit (Geofoorumi 2016)

Maalämpöpumpun toiminta perustuu maasta keruupiirissä olevalla nesteellä kerättyyn lämpöön. Keruupiirin keräämä lämpö puolestaan höyrystää lämpöpumpussa olevan kylmäaineen. Lämpöpumpun kompressori nostaa vielä höyryn painetta, jolloin höyryn lämpötila nousee. Maalämpöpumput mitoitetaan usein noin 60-80 % rakennuksen mitoitustehosta, jolla tuotetaan 95-99 % rakennuksen vuotuisesta energiantarpeesta. (Motiva 2012).

3 KOHTEEN KUVAUS

Kohde on 1981 vuonna valmistunut yksikerroksinen omakotitalo Lahdessa. Rakennuksen pohjapinta-ala on 149 m², joista lämmitettyjä tiloja noin 100 m². Kohteen lämmönjakotapana toimii ilmalämmitys ja lämmöntuotantotapana kaukolämmön matalalämpöverkko. Kohteen kaukolämmön tilauslämpövirta on 9 kW ja käyttövesi lämmitetään 3 kW varajalla.

3.1 Nykyinen energiankulutus

Kohteesta on saatavilla tarkat kulutustiedot sähkölle Lahti Energialta. Sähköä ei kohteessa lämmitykseen kulu, joten se pysyy suhteellisen vakituksena käytöstä riippuen. Sähkönkulutus jakaantuu päivä/talviarkipäivän ja yö/muun ajan kulutuksen kesken lähestulkoon puoliksi, joista koostuu vuoden kokonaiskulutus (TAULUKKO 3). Sähkölaskussa on ilmoitettu myös sähkönkulutuksen vertailuarvot omakotitaloissa asukasmäärän mukaan. Muiden kuin sähkölämmitteisen omakotitalojen, joiden asukasmäärä on kaksi asukasta, vertailuluku on säästäväisellä käytöllä 4500 kWh/a ja keskimääräisellä käytöllä 6000 kWh/a. Alla olevasta taulukosta voidaan havaita, että kohteen kulutus osuu lähellä keskimääräisen käytön vertailuarvoa. Vertailuarvoissa ei ole kuitenkaan ilmoitettu käyttöveden lämmitystavasta, johon työn kohteessa kuluu osa sähkönkulutuksesta.

Kohteen vuosittaisesta lämmitysenergian kulutuksesta on myös tarkat tiedot alla olevassa taulukossa 1. Lämmitysenergian kulutus koostuu rakennuksen rakenteiden lämpöhäviöistä, jotka ilmoitetaan lämmönläpäisykertoimina eli U-arvoina (W/m²K). Kohteeseen on olemassa rakennusaikaiset piirustukset, joista saadaan kohteen rakenteiden suunnitellut U-arvot (TAULUKKO 2). Alla olevassa taulukossa on myös ilmoitettu kohteen vuosittainen lämpöenergiankulutus lämpötilakorjattuna. Tarkemmassa energiantehokkuuden parannus vertailussa käytetään kuitenkin IDA ICE-simulointiohjelmalla saatuja kulutustietoja, jotka kuitenkin pyritään saamaan täsmäämään todellisten kulutustietojen kanssa.

TAULUKKO 2. Rakenteiden U-arvot.

| | U-arvo (W/m ² K) |
|----------|-----------------------------|
| Seinät | 0,25 |
| Ikkunat | 1,5 |
| Yläpohja | 0,15 |
| Alapohja | 0,26 |

Lahtienergian hinnat ovat kaukolämmön osalta 69,31 €/MWh ja perusmaksu 31,59 €/MWh. Sähkön hinta: perusmaksut yhteensä (siirto ja energia) on 15,16 €/kk ja päiväsähkönmaksut yhteensä ovat 11,82 snt/kWh sekä yösähkö 7,22 snt/kWh. Kulutus tiedot näkyvät alla olevassa taulukossa.

TAULUKKO 3. Kohteen energiankulutukset eri vuosina

| Vuosi | Mitattu sähkönkulutus (kWh/a) | Mitattu lämpöenergia (MWh/a) | Lämpötilakorjattu lämpöenergiankulutus (MWh/a) |
|-----------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------|
| 2013 | 5987,47 | 9,46 | 10,74 |
| 2014 | 5769,09 | 10,12 | 11,23 |
| 2015 | 5792,41 | 9,65 | 11,79 |
| 2016 | 6131,12 | 10,43 | 11,72 |
| Keskiarvo | 5920,02 | 9,92 | 11,37 |

3.1.1 Lämpöindeksivertailu

Lahti Energialta saadussa kaukolämmön käyttöraportissa on ilmoitettu kohteen lämmitysenergian ominaiskulutus vuodelle 2016. Kohteen ominaiskulutus oli kyseisenä vuonna 29,8 kWh/m³ ja lämpötilakorjattuna 33,49 kWh/m³. Lämpötilakorjatulla luvulla saadaan valtakunnallisella tasolla verrattua lämmönkulutusta samantyyppisiin ja ikäisiin rakennuksiin (Motiva 2016). Lahti Energian lämpöindeksi vertailussa vuonna 1976-1985 valmistuneiden erillisten pientalojen keskivertainen lämpöindeksi on 36 kWh/m³ vuosittain Lahdessa.

| Rakennusluokka | Rakennuksen valmistumisvuosi | Jyväskylä | Helsinki | Vantaa | Turku | Tampere | Lahti | Lappeenranta | Pori | Joensuu | Kuopio | Vaasa | Kajaani | Oulu | Sodankylä | Inari |
|---------------------------|------------------------------|-----------|----------|--------|-------|---------|-------|--------------|------|---------|--------|-------|---------|------|-----------|-------|
| 01 Erilliset pientalot | - 1945 | 51 | 44 | 46 | 45 | 48 | 48 | 48 | 46 | 52 | 51 | 48 | 55 | 53 | 63 | 62 |
| | 1946 - 1955 | 55 | 48 | 50 | 49 | 52 | 52 | 52 | 49 | 56 | 55 | 52 | 59 | 57 | 68 | 67 |
| | 1956 - 1965 | 52 | 45 | 47 | 46 | 49 | 49 | 49 | 47 | 53 | 52 | 49 | 56 | 54 | 64 | 63 |
| | 1966 - 1975 | 51 | 44 | 46 | 45 | 48 | 48 | 48 | 46 | 52 | 51 | 48 | 55 | 53 | 63 | 62 |
| | 1976 - 1985 | 38 | 33 | 35 | 34 | 36 | 36 | 36 | 34 | 39 | 38 | 36 | 41 | 40 | 47 | 46 |
| | 1986 - 2010 | 36 | 31 | 33 | 32 | 34 | 34 | 34 | 32 | 37 | 36 | 34 | 38 | 38 | 44 | 44 |
| 02 Rivi- ja ketjutilat | - 1945 | 61 | 53 | 55 | 54 | 58 | 57 | 58 | 55 | 62 | 61 | 58 | 65 | 64 | 75 | 74 |
| | 1946 - 1955 | 61 | 53 | 55 | 54 | 58 | 57 | 58 | 55 | 62 | 61 | 58 | 65 | 64 | 75 | 74 |
| | 1956 - 1965 | 61 | 53 | 55 | 54 | 58 | 57 | 58 | 55 | 62 | 61 | 58 | 65 | 64 | 75 | 74 |
| | 1966 - 1975 | 61 | 53 | 55 | 54 | 58 | 57 | 58 | 55 | 62 | 61 | 58 | 65 | 64 | 75 | 74 |
| | 1976 - 1985 | 53 | 46 | 48 | 47 | 50 | 50 | 50 | 48 | 54 | 53 | 50 | 57 | 55 | 65 | 65 |
| | 1986 - 2010 | 51 | 44 | 46 | 45 | 48 | 48 | 48 | 46 | 52 | 51 | 48 | 55 | 53 | 63 | 62 |
| 03 Asuinkerrostalot | - 1945 | 42 | 36 | 38 | 37 | 40 | 40 | 40 | 38 | 43 | 42 | 40 | 45 | 44 | 52 | 51 |
| | 1946 - 1955 | 50 | 43 | 45 | 44 | 47 | 47 | 47 | 45 | 51 | 50 | 47 | 53 | 52 | 62 | 61 |
| | 1956 - 1965 | 55 | 48 | 50 | 49 | 52 | 52 | 52 | 49 | 56 | 55 | 52 | 59 | 57 | 68 | 67 |
| | 1966 - 1975 | 53 | 46 | 48 | 47 | 50 | 50 | 50 | 48 | 54 | 53 | 50 | 57 | 55 | 65 | 65 |
| | 1976 - 1985 | 47 | 41 | 43 | 42 | 45 | 44 | 45 | 42 | 48 | 47 | 45 | 50 | 49 | 58 | 57 |
| | 1986 - 2010 | 45 | 39 | 41 | 40 | 43 | 42 | 43 | 40 | 46 | 45 | 43 | 48 | 47 | 56 | 55 |

TAULUKKO 4. Lahti Energian lämpöindeksivertailu

3.2 Energiatohokkuuden parannusvaihtoehdot

Omakotitalojen energiatohokkuuden parantamiseen on laajalti vaihtoehtoja, joista helppoin ja halvin tapa on käyttötottumuksien muuttaminen. Kohteen asukkaat kuitenkin tässä tapauksessa elävät jo suhteellisen säästeliäästi, joten tässä työssä keskitytään kolmeen eri energiatohokkuutta parantavaan tapaan, joiden päätavoitteena on tuottaa taloudellista säästöä asukkaille energiatohokkuutta parantamalla. Tähän työhön valittiin parannusvaihtoehdoiksi maalämpöpumppu, ilmalämpöpumpun lisäys sekä ikkunoiden vaihto energiatohokkaampiin malleihin.

4 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tässä opinnäytetyössä käytetään työkaluna IDA ICE simulointiohjelmistoa, jota varten kohde mallinnetaan MagiCAD Room ohjelmistolla (KUVA 4). Työssä käytetään apuna myös Lahtienergialta saatuja kulutustietoja kohteen kulutuksesta sekä energian hinnoista kustannuslaskentaa varten.

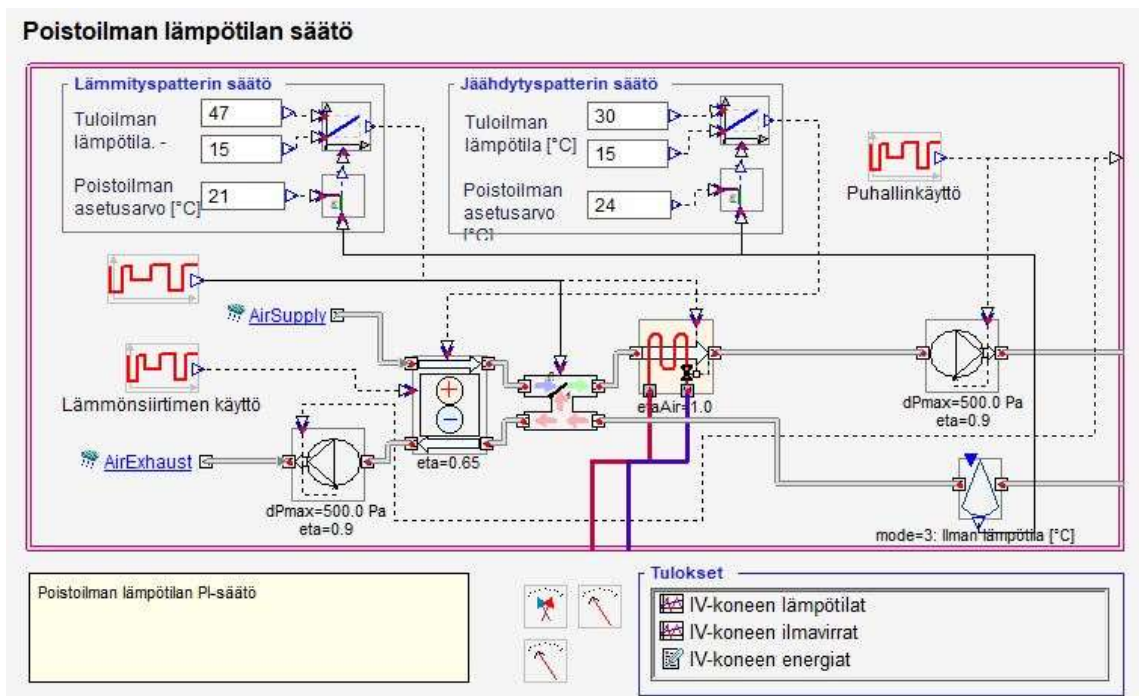


KUVA 4. Kohde mallinnettuna IDA ICE:ssä.

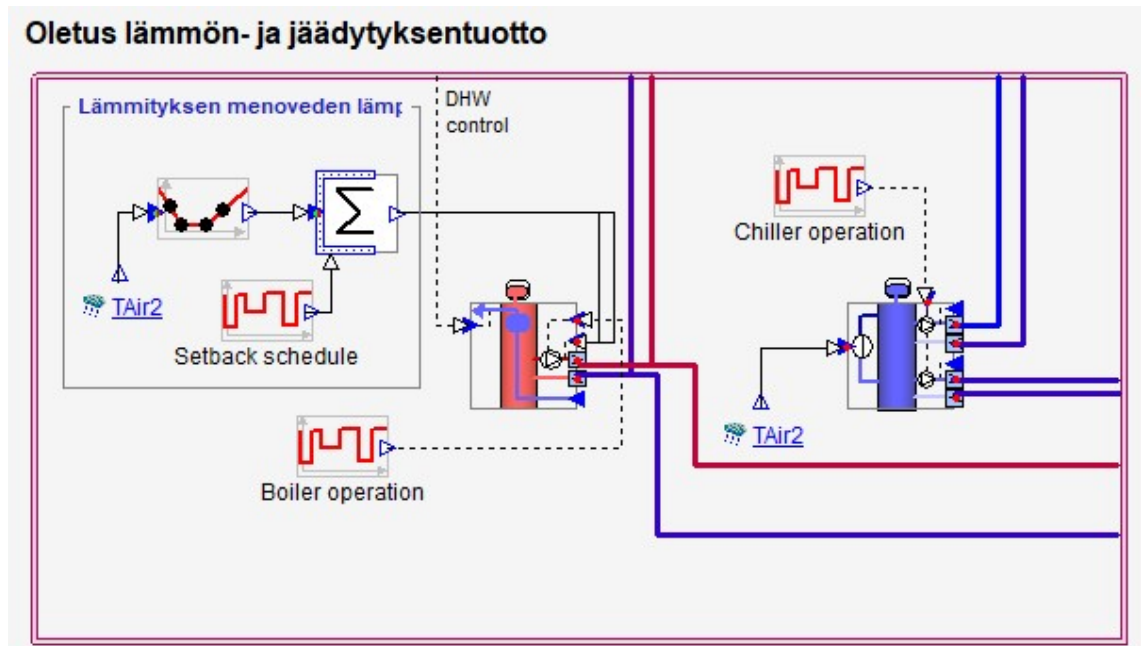
4.1 Dynaaminen simulointi

Tässä työssä käytetään Equan tekemää IDA Indoor Climate and Energy simulointiohjelmaa. IDA ICE ottaa simuloimassa huomioon mm. ulkoilmassa tapahtuvat muutokset sää-tietojen perusteella, kuten auringosta saatavan lämpöenergian ja lämpötilojen muutokset. Ohjelmassa on valmiina Suomen rakennusmääräyksiin perustuvat pohjat eri tyyppisille rakennuksille, joissa määritetään rakennuksen käyttöaste ja muut rakennusmääräyskoelma D3:ssa asetetut määräykset esim. määräyksissä asetetut minimivaatimukset rakenteiden U-arvoille. Rakennusmääräyskokoelman asetuksia käytetään yleensä uudisrakennuksiin, joissa joudutaan ennakoimaan rakennusten energiankulutus tulevaisuudessa. Tämän työn kohteesta on kuitenkin kulutustiedot saatavilla ja näin ollen voidaan muuttaa mm. sähkölaitteiden ja lämpimän käyttöveden kulutusta D3:n antamista arvoista, jotta sähköenergiankulutus saadaan vastaamaan todellista kulutusta.

Simulointeja varten muutettiin valaistuksen ja sähkölaitteiden sähkönkulutus puolet pienemmäksi sekä lämpimän käyttöveden kulutus pienennettiin 35:stä 15:sta kWh/m²a, jotta sähkön- ja lämpimän käyttöveden kulutus saatiin vastaamaan todellista kulutusta. Ensimmäiseksi tehtiin simulointi alkuperäisillä ikkunoilla sekä lämmitysjärjestelmällä ja varmistettiin, että kulutukset täsmäävät todellisten kulutusten kanssa. Alun perin ohjelmistossa on normaali ilmanvaihtokone, joka jouduttiin vaihtamaan ja muokkaamaan ohjelmaan todellista vastaavaksi (KUVA 5). Alla olevassa kuvassa oleva IV-kone ohjaa tuloilman lämpötilaa poistoilman lämpötilan mukaan. Todellisuudessa tuloilman lämpötilaa ohjataan huonetermostaatilla, joka on sijoitettu olohuoneeseen katonrajaan. Näin ollen lämpötila on sama, kuin poistoilman lämpötila. Lämmöntuoton primäärijärjestelmä pidettiin aluksi ohjelman omana primäärijärjestelmänä (KUVA 6) eli kaukolämmönjakokeskuksena. Alla olevissa kuvissa 5 ja 6 näkyy myös jäähdytyslaitteet tai jäähdytyksen säätö, mutta nämä on otettu pois käytöstä simulointeja tehdessä.



KUVA 5. IV-kone simulointiohjelmassa.



KUVA 6. Oletus lämmöntuotto.

Alkuperäisessä simuloinnissa, jossa käytettiin olemassa olevia järjestelmiä ja rakenteita, saatiin kokonaisostosenergiankulutukseksi 16136 kWh vuodessa. Sähkönkulutus kokonaiskulutuksesta oli 6080 kWh vuodessa ja kaukolämmönenergia 10056 kWh vuodessa. Alla olevassa taulukossa, sähkönkulutus on eritelty mihin sähköä kiinteistössä kuluu. Simuloinnista saadut tulokset täsmäävät hyvin Lahti energialta saatujen tietojen kanssa.

TAULUKKO 4. Alkuperäisen simuloinnin ostoenergiat.

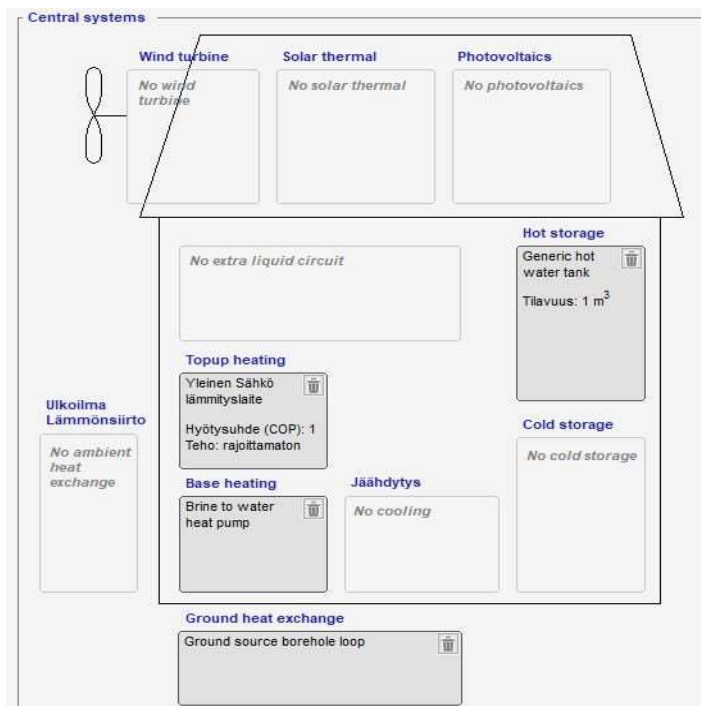
| | Ostoenergia (kWh, vuosi) |
|----------------------|--------------------------|
| Valaistus | 338 |
| LVI sähkö | 1266 |
| LKV, sähkölämmitys | 3462 |
| Laitteet, asukas | 1014 |
| Lämmitys, kaukolämpö | 10056 |
| Yhteensä | 16136 |

4.1.1 Simulointi maalämpöpumpulla

Maalämpöpumpulla simuloidessa jouduttiin vaihtamaan lämmöntuoton primäärijärjestelmä optimaalisesta lämmitysjärjestelmästä ESBO-PLANT:ksi (Early State Building Optimization), johon voidaan lisätä mm. aurinkopaneeleita ja maalämpöpumppuja sekä niihin tarvittavia varusteita kuten puskurivaraajat ja porakaivot. Alla olevassa kuvassa on

asetettuna maalämpöpumppu simulointiohjelmaan. Maalämpöpumppua koskien kysyttiin tietoa IVT:ltä, joilta saatiin hyvinkin kattavat tiedot ja näiden tietojen perusteella tehtiin maalämpöpumppu järjestelmä simulointia varten. Alla olevassa kuvassa näkyy maalämpöpumppu (Base heating), porakaivo (Ground heat exchange) ja puskurivaraaja (Hot storage) sekä lämpöpumpun sähkövastus (Topup heating).

Maalämpöpumpun COP-luku on ohjelmassa vakiona neljä, jota jouduttiin simulointia varten muuttamaan. IVT:ltä saatujen tietojen perusteella todellisempi arvo COP-luvulle on kahden ja kolmen välissä, joten simuloidessa käytettiin COP-lukuna 2,5.



KUVA 7. Maalämpöpumppu IDA ICE:ssä.

Järjestelmässä on hyvä olla puskurivaraaja, koska lämminkäyttövesi kytketään maalämpöpumppujärjestelmään. Tällä pyritään tasoittamaan pumpun toimintaa, eikä vedenlämpötila pääse putoamaan liian alhaiseksi. Porakaivo sopii kohteeseen hyvin sen vähäisen tilan tarpeen takia ja maaperä alueella on kallioperäistä, joten kaivoon ei tarvita suojaputkea, joka osakseen vähentää investointikustannuksia.

Simuloinnissa maalämpöpumpulla ostoenergiaksi tulee pelkästään sähkönkulutus, joka oli kokonaisuudessaan 9488 kWh vuodessa. Sähkönkulutuksesta maalämpöpumpun osuus oli 6870 kWh (TAULUKKO 5). Pumppu tuotti lämmitysenergiaa vuodessa 9488 kWh.

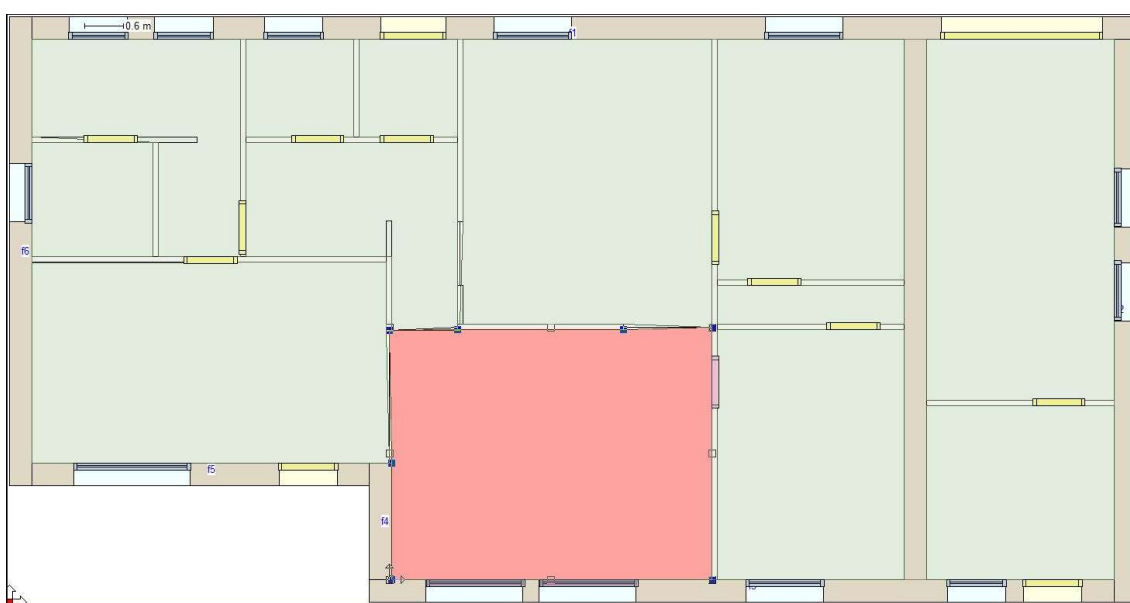
TAULUKKO 5. Maalämpöpumppu simuloinnin ostoenergiat.

| | Ostoenergia (kWh, vuosi) |
|------------------|--------------------------|
| Valaistus | 338 |
| LVI sähkö | 1266 |
| Laitteet, asukas | 1014 |
| Maalämpö, sähkö | 6870 |
| Yhteensä | 9488 |

4.1.2 Ilmalämpöpumpulla

Ilmalämpöpumpun lisäys simulointiohjelmaan on suhteellisen vaivatonta. Simulointipohjana käytettiin alkuperäistä simulointia, jossa on käytetty olemassa olevia järjestelmiä. Poikkeuksena tässä simuloinnissa lisättiin olohuoneeseen ilma-ilma kanavoimaton ilmalämpöpumppu huonelaitteeksi olohuoneeseen. Ilmalämpöpumpun hyötysuhde on ohjelmassa vakiona neljä ja se pidettiin simulointia tehdessä, koska ei ollut tarkkaa tietoa ilmalämpöpumpun tyypistä.

Olohuone on ilmalämpöpumpulle kyseisessä kohteessa optimaalinen paikka, koska se on suhteellisen keskellä rakennusta ja ilma pääsee jakautumaan helposti lähellä oleviin isoihin huoneisiin, kuten keittiö ja takkahuone sekä makuuhuoneet.



KUVA 8. Olohuone pohjakuvassa.

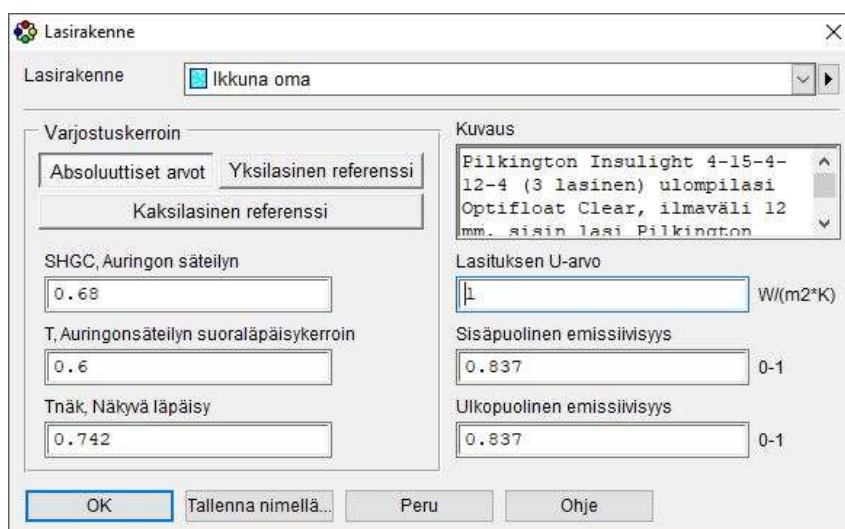
Kokonaisostoenergiaksi ilmalämpöpumpun kanssa saatiin 16139 kWh vuodessa, joka on hieman suurempi kuin alkuperäinen. Tämä johtuu siitä, että kohteessa ilmalämmitys sää-
tää toimintaa vain yhden termostaatin avulla, eikä kohteessa ole huonekohtaista säätöä.
Lämmitettyä ilmaa tulee siis joka tapauksessa vakiomäärä, vaikka huoneessa olisi ulkoi-
nen lämmönlähde.

TAULUKKO 6. Ilmalämpöpumppu simuloinnin ostoenergiat.

| | Ostoenergia (kWh, vuosi) |
|----------------------|--------------------------|
| Valaistus | 338 |
| LVI sähkö | 1265 |
| LKV, sähkölämmitys | 3462 |
| Laitteet, asukas | 1014 |
| Ilmalämpöpumppu | 9 |
| Lämmitys, kaukolämpö | 10051 |
| Yhteensä | 16139 |

4.1.3 Uudet ikkunat

Energiasimuloinnissa uusilla ikkunoilla käytettiin myös pohjana alkuperäistä simulointi-
pohjaa. Muutoksena alkuperäiseen, vaihdettiin ohjelman oletusarvoihin lasituksen tilalle
omat ikkunat, joihin on vaihdettu U-arvoksi 1 W/m²K. Rakennuksen piirustusten mu-
kaan, alkuperäiset ikkunat olivat U-arvolta 1,5 W/m²K. Ikkunoiden muut arvot pidettiin
vakiona, koska ei ollut tarkkaa tietoa ikkunoiden tyypistä.



KUVA 9. Ikkunoiden tiedot ohjelmassa.

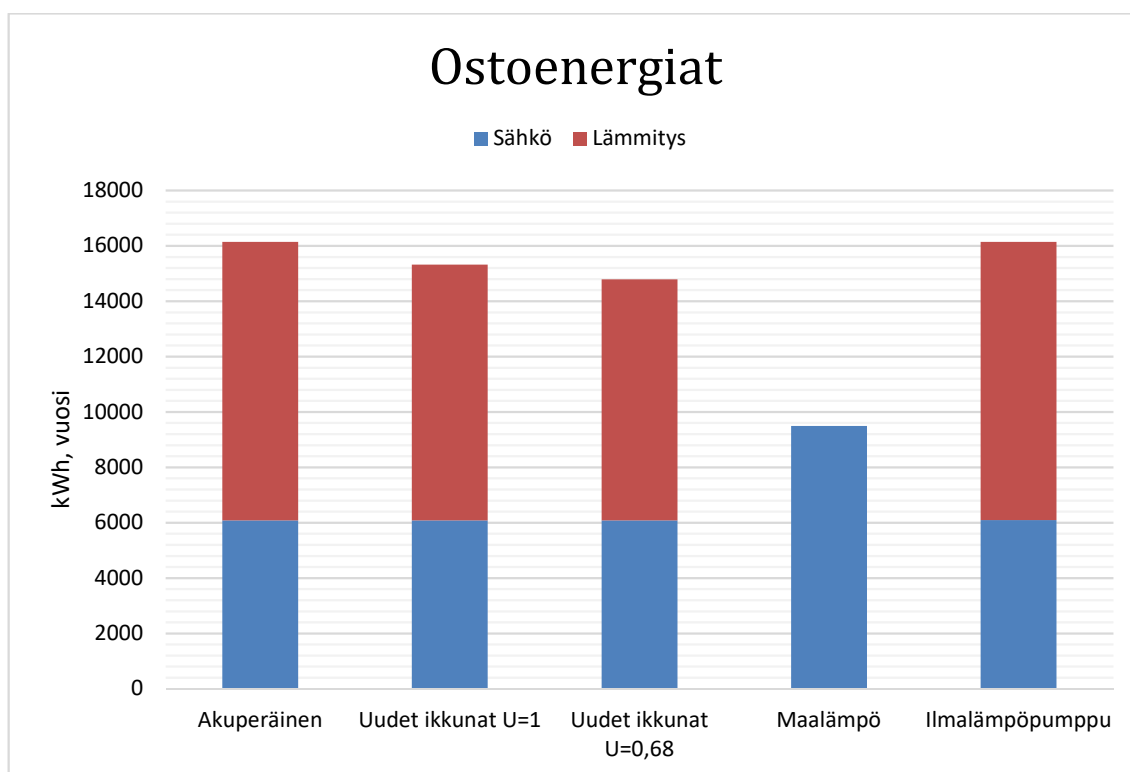
Uusilla ikkunoilla simuloinnista saatiin kokonaisostoenergiaksi 15313 kWh per vuosi. Kohteen lämmitysjärjestelmä pidettiin alkuperäisenä tässä simuloinnissa. Kaukolämmön osuus ostoenergiankulutuksesta oli 9234 kWh vuodessa ja sähkönkulutus 6079 kWh vuodessa.

TAULUKKO 7. Ostoenergiat uusilla ikkunoilla.

| | Ostoenergia (kWh, vuosi) |
|----------------------|--------------------------|
| Valaistus | 338 |
| LVI sähkö | 1265 |
| LKV, sähkölämmitys | 3462 |
| Laitteet, asukas | 1014 |
| Lämmitys, kaukolämpö | 9234 |
| Yhteensä | 15313 |

5 ENERGIANKULUTUKSEN VERTAILU

Alla olevassa kuviossa on esitetty uusien ikkunoiden, maalämmön ja ilmalämpöpumpun sekä alkuperäisen simuloinnin ostoenergiankulutus. Erotusta energiakulutuksessa simulointien perusteella ei juurikaan tullut (KUVIO 1), pois lukien maalämpöpumppu joka vähensi kokonaisenergiankulutusta lähestulkoon puolella. Kuvioista voidaan havaita, ettei ikkunoiden vaihto tai ilmalämpöpumpun lisäys vaikuta energiakulutukseen merkittävästi.



KUVIO 1. Simuloinnista saadut ostoenergiankulutukset.

Ikkunoiden vähäiseen energian säästöön vaikuttaa se, että kohteessa on paljon melko pienikokoisia ikkunoita, eikä ikkunoiden kokonaispinta-ala ole kovin suuri verrattuna koko vaipan pinta-alaan. Suurempiin säästöihin ikkunoiden vaihdolla päästään suuremmissa kohteissa, kuten asuinkeuhkot ja toimistorakennukset. Yllä olevaan kuvioon on laitettu vertailun vuoksi kahdet eri ikkunat. Toisissa ikkunoissa U-arvo on $1 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja toisissa $0,68 \text{ W/m}^2\text{K}$. Ikkunat vaihtamalla saadaan energiaa säästettyä vain 822 kWh, kun ikkunoiden U-arvo vaihdettiin ykköseksi. Ikkunoilla joiden U-arvo oli $0,68 \text{ W/m}^2\text{K}$ energiaa säästyi vuodessa 1347 kWh vuodessa.

Ilmalämpöpumpun lisäyksellä ei tässä työssä saatu säästöjä aikaan, koska kohteen lämmönjakotapana on ilma, jonka säätömahdollisuudet ovat heikot. Huonoista säätömahdollisuuksista johtuen, ilmanvaihtokone puhaltaa simuloinnin perusteella lämmitettyä ilmaa koko ajan, vaikka yksittäisessä huoneessa olisi ulkoinen lämmönlähde. Tämän työn kohteeseen ilmalämpöpumppu ei siis sovellu energiansäästöä ajatellen, ilman lisätoimenpiteitä koskien nykyistä lämmönjakotapaa. Ainoa hyöty ilmalämpöpumpun lisäämisellä kyseiseen kohteeseen on, että ilmalämpöpumpun vaikutusalueella olevien huoneiden lämpötilavaihtelu tasaantuu hieman.

Maalämpöpumpulla saatiin suurimmat säästöt ostoenergiankulutuksessa. Säästöä tulisi simuloinnin perusteella 6648 kWh vuodessa. Muutoksena alkuperäisen tilanteen kulutukseen, tässä tilanteessa ei kulu kaukolämpöä ollenkaan ja käyttöveden lämmitys on sisällytetty maalämpöpumpun piiriin. Sähkönkulutus nousee noin 3400 kWh vuodessa, kun lämpöpumpun COP-arvona simuloidessa käytettiin 2,5:ttä.

6 KANNATTAVUUSLASKELMAT

Investointikustannuslaskelmissa on eri menetelmiä laskea investoinnin kannattavuus ja takaisinmaksuaika. Esimerkkeinä annuiteettimenetelmä, jossa investointikustannus jaetaan käyttöajan vuosille ja verrataan vuosittaisten tulojen kanssa sekä nykyarvomenetelmä, jossa vuosittain saatavat nettotuotot diskontataan investointiajankohdan rahamääräksi ja verrataan investoinnin hankintamenoihin. (Virtuaali AMK).

Tässä työssä käytetään nykyarvomenetelmää kustannusten takaisinmaksuajan ja kannattavuuden määrittämiseen (Sirén K. 2015). Nykyarvomenetelmän, jossa vuosittaiset tulot ovat toistuvia, kaava on

$$K_{NA} = K \frac{(1 + r/100)^i - 1}{r(1 + r/100)^i} = K \overline{d_{nr}} \quad (1)$$

jossa K_{NA} on tulojen nykyarvo, K on vuosittain toistuvat tulot/kulut, r on korko, i on aikajänne ja $\overline{d_{nr}}$ on toistuvien suoritusten diskonttaustekijä.

Ennen laskentoja tulee kuitenkin huomioida myös energianhinnan eskalaatio. Alla olevalla kaavalla saadaan laskettua energianhinnalle reaalikorko, joka ottaa energianhinnan muutokset huomioon (Sirén K. 2015). Reaalikoron kaava on

$$r_e = \frac{i - f_e}{1 + f_e} \quad (2)$$

jossa r_e on laskennasta saatu reaalikorko, i on nimelliskorko ja f_e on energianhinnan eskalaatio. Tämän avulla saadaan laskettua diskonttaustekijä, joka ottaa energianhinnan eskalaation huomioon (Sirén K. 2015). Diskonttaustekijän kaava on

$$a''_n = \frac{1 - (1 + r_e)^{-n}}{r_e} \quad (3)$$

jossa a''_n on eskalaation huomioon ottava diskonttaustekijä, r_e on reaalikorko ja n on aikajänne. Tämä diskonttaustekijä korvaa kaavassa 1 olleen $\overline{d_{nr}}$ diskonttaustekijän.

Laskennassa käytettiin lämmitysenergianhintaan energiayhtiöltä saatuja lukuja eli kokonaisuudessaan lämmitysenergianhinta (yhteen laskettu perus- ja energiamaksu) on 10,1 snt/kWh. Sähkönhintana käytettiin keskiarvoa yösähkön ja päiväsähkön välillä, joka on 9,52 snt/kWh. Alkuperäisessä tilanteessa näillä arvoilla yhteenlasketuksi lämmitysenergian ja sähkön hinnaksi tuli siis 1594,5 €/vuosi.

$$\left(6080 \frac{kWh}{a} * 9,52 \frac{snt}{kWh} / 100\right) + \left(10056 \frac{kWh}{a} * 10,1 \frac{snt}{kWh} / 100\right) = 1594,47 \text{ €/a}$$

6.1 Maalämpöpumpun kannattavuus

Maalämpöpumpun kanssa kohteessa kului pelkästään sähköä ja sen hinnaksi saatiin 903,3 €/vuosi.

$$\left(9488 \frac{kWh}{a} * 9,52 \frac{snt}{kWh} / 100\right) = 903,56 \text{ €/a}$$

Tästä erotuksella saadaan siis maalämpöpumpulla saatu rahallinen säästö vuodessa.

$$1594,47 \frac{\text{€}}{a} - 903,56 \frac{\text{€}}{a} = 691,21 \frac{\text{€}}{a}$$

Vuosittaiset säästöt (691,21 €/a) täytyy diskontata nykyarvoon kaavalla 1. Aikajänteenä tässä työssä käytettiin 20 vuotta, koska se on keskimääräinen maalämpöpumpun käyttöikä, ennen suurempia korjauskustannuksia. Investointikustannus maalämpöpumpulle saatiin IVT:ltä, joka on noin 17000 euroa kokonaisuudessaan. Nimelliskorkona tässä työssä käytettiin 6 %. Energian hinnan kehitystä on vaikea arvioida, koska siihen vaikuttavat monet tekijät. Hintojen kehitys on ollut viime vuosina maltillisessa nousussa ja tähän työhön eskalaatioksi arvioitiin 4 % sähkö- ja lämmitysenergialle, joka on suhteellisen nopea nousu vuosittain.

Ensimmäisenä laskettiin reaalikorko sijoittamalla nimelliskorko ja eskalaatio kaavaan 2.

$$r_e = \frac{0,06 - 0,04}{1 + 0,04} \approx 0,019$$

Reaalikoron avulla saatiin laskettua diskonttaustekijä, joka ottaa huomioon eskalaation, sijoittamalla reaalikorko ja laskuissa käytettävä aikajänne kaavaan 3.

$$a''_n = \frac{1 - (1 + 0,019)^{-20}}{0,019} \approx 16,51$$

Tämän jälkeen voitiin laskea vuosittaiselle tuotolle arvo 20 vuoden aikajännteellä, jonka perusteella voidaan sanoa, onko hanke kannattava. Vuosittain toistuvien säästöjen arvoksi 20 vuoden aikana saadaan sijoittamalla diskonttaustekijä sekä rahallinen säästö vuodessa kaavaan 1.

$$K_{NA} = 691,21 \frac{\text{€}}{a} * 16,51 \approx 11412 \text{ €}$$

Tulokseksi saatiin 11412 € säästöä, joten 20 vuodessa jäädyään vielä tappiolle 5588 euroa, eikä hanke ole näin ollen kannattava kyseiseen kohteeseen.

6.2 Ikkuna saneerauksen kannattavuus

Parempien ikkunoiden kannattavuus laskelmassa käytettiin samoja laskentamenetelmiä, kuin maalämpöpumpun kannattavuus laskelmissa. Eroina maalämpöpumpun laskentaan verrattuna on vuodessa tuotettu rahallinen säästö ja aikajänne. Aikajänneä käytettiin ikkunoiden kannattavuus laskelmissa 40 vuotta, koska ikkunoiden käyttöaika on yleensä 30-50 vuotta. Ikkunoiden investointikustannukseksi arvioitiin 7500 euroa.

Ensimmäisenä laskettiin ikkuna saneerauksella tuotetun energiansäästön rahallinen säästö verrattuna alkuperäiseen tilanteeseen.

$$\left(\left(10056 \frac{kWh}{a} - 9234 \frac{kWh}{a} \right) * 10,1 \frac{snt}{kWh} / 100 \right) \approx 83 \frac{\text{€}}{a}$$

Rahallista säästöä syntyy siis vuodessa noin 83 euroa, mikä ei ole kovinkaan merkittävä. Ikkunasaneeraukselle laskettiin seuraavaksi diskonttaustekijä kaavalla 3, samalla reaali-korolla, jota käytettiin maalämpöpumpun kannattavuuslaskelmissa. Aikajänteenä käytettiin kuitenkin 40: ntä vuotta 20 vuoden sijaan.

$$a''_n = \frac{1 - (1 + 0,019)^{-40}}{0,019} \approx 27,84$$

Diskonttaustekijäksi saatiin 27,84 ja tämän avulla saatiin laskettua ikkuna saneeraukselle kokonaissäästö 40 vuoden ajalle kaavalla 1.

$$K_{NA} = 83 \frac{\text{€}}{a} * 27,84 \approx 2311 \text{ €}$$

Säästöiksi saatiin noin 2311 euroa, joka ei myöskään kata ikkunasaneerauksen investointikustannuksia ja 40 vuoden jälkeen jäädään tappiolle 5189 euroa.

7 POHDINTA

Omakotitalon energiaenergiatehokkuutta lähdettiin tarkastelemaan rakenteellisten ja LVI-teknisten parannusten kautta. Työtä varten pyydettiin mitoituksia ja hintoja maalämpöpumpulle ja ikkunoiden saneeraukselle, mutta vastauksena saatiin ainoastaan yhden lämpöpumppuvalmistajalta, joten muiden osalta kustannukset jouduttiin arvioimaan. Myöskään lämpöpumppuvalmistaja ei ilmoittanut suoraan maalämpöpumpun hyötysuhdetta ja tämä jouduttiin arvioimaan valmistajalta saaduista mitoituksista, käytetyn energian ja tuotetun energian perusteella.

Kannattavuuslaskelmissa jouduttiin tekemään paljon oletuksia, joten tulokset ovat vain suuntaa antavia. Laskelmissa etenkin kaukolämmön ja sähkönhinnan muutoksia, jotka vaikuttavat merkittävästi järjestelmien kannattavuuteen, on vaikea ennustaa. Lisäksi simuloinnissa käytetty säädata on vuodelta 2013 ja talvien kylmyys on ollut todella vaihtelevaa, joka vaikuttaa myös osaltaan parannusvaihtoehtojen kannattavuuteen.

Maalämpöpumpun tuottamaan energian säästöihin vaikuttaa lämpöpumpun hyötysuhde eli COP-arvo, joka oli tässä työssä arvioitu 2,5:teen. Tämä vaikuttaa taas maalämpöpumpun taloudelliseen kannattavuuteen energian hinnan eskalaation ja ulkoilma olosuhteiden lisäksi. Maalämpöpumppu tuotti kohteeseen parannusvaihtoehdoista eniten säästöjä energian kulutuksessa simulointien perusteella, mutta maalämpöpumpun alkuinvestointi kustannukset olivat niin suuret, että 20 vuodessa se ei vielä maksa itseään takaisin.

Ikkunoiden vaihtamisella energiatehokkaampiin malleihin, ei simuloinnin perusteella saatu merkittäviä säästöjä energiankulutuksen osalta. Vaikkakin ikkunasaneeraus on huomattavasti halvempi ja pidempi ikäinen investointi verrattuna maalämpöpumppuun, niin ikkunasaneerauksen ei ole silti kyseiseen kohteeseen taloudellisesti kannattavaa. Kohteen ikkunoiden kokonaispinta-ala on niin pieni, ettei niiden energiatehokkuutta parantamalla saada merkittäviä säästöjä aikaan. Ikkuna saneeraus sopiikin paremmin suuriin kohteisiin, joissa ikkunapinta-ala on suhteellisen suuri verrattuna koko rakennusvaipan pinta-alaan ja lämpöenergian vuoto ikkunoiden kautta näin ollen merkittävämpi.

Ilmalämpöpumppua ei otettu tässä työssä kannattavuus laskelmaan mukaan, koska simuloinnista saadut tulokset osoittivat, ettei ilmalämpöpumppu tuottanut energiankulutuksessa säästöä. Tämä johtui siitä, että simulointiohjelmassa ilmanvaihtokoneen ohjaus ei ottanut huomioon huoneessa olevaa ulkoista lämmönlähdettä ja koko rakennuksen lämmitystä ohjattiin vain yhdellä termostaatilla, joka sijaitsee olohuoneen katonrajassa. Todellisuudessa kuitenkin, ilmalämpöpumpun lisäys olohuoneeseen saattaisi tuottaa jonkun verran säästöä energiankulutuksessa, koska olohuone sijaitsee keskellä taloa ja ilmalämpöpumpun puhaltama ilma pääsisi jakautumaan tasaisesti lähes koko taloon.

Rakennusten energiatehokkuutta vertaillaan Suomessa E-luvuilla, joka ilmaisee rakennuksen energiankulutuksen asuinnelöitä kohden vuodessa ja ne luokitellaan E-luvun perusteella energialuokkiin, joissa A on paras ja G huonoin. Kohteen energialuokka nykyisellään on B (Liite 1), joka on 80-luvulla valmistuneelle omakotitalolle kohtuullisen hyvä ja kertoo osaltaan, ettei energiatehokkuuden parantamiseen nykyisestä ole juurikaan tarvetta. Maalämpöpumpulla varustettuna kohteen energialuokitus nousisi jo A-luokkaan (Liite 2).

Loppujen lopuksi työn kohteen energiatehokkuus on jo niin hyvä, ettei nykyisillä energian hinnoilla ja järjestelmien investointikustannuksilla kannata tällä hetkellä parannustoimenpiteisiin lähteä. Tulevaisuudessa, jos energian hinta nousee tai järjestelmien hinnat laskevat, niin maalämpöpumppu olisi kannattavuudeltaan varteenotettava vaihtoehto energiatehokkuuden parantamisessa kohteeseen.

LÄHTEET

Motiva. 2016. Lämmitysenergiankulutus. Luettu 8.2.2018

https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiöt/energiaksperttitoiminta/tietoa_energian- ja vedenkulutuksesta/lämmitysenergiankulutus

Heikki, H. 2018. Lämpöpumppu investoinnit. Talotekniikka 1/2018, 37.

Suomen lämpöpumppuyhdistys. Ilmalämpöpumppu. Luettu 14.2.2018

<https://www.sulpu.fi/ilmalampopumppu>

Ympäristöministeriön asetus 1048/2017

Motiva. 2017. Ilmalämpöpumppu. Luettu 15.2.2018

https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/remontoi_ja_huolla/energiatehokas_sahkolammitus/lampopumpun_hankinta/ilmalampopumppu

Motiva. 2018. Maalämpöpumppu. Luettu 15.2.2018

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

Perälä, R. & Perälä, O. 2013. Lämpöpumput: Suomalainen käsikirja aikamme lämmitysjärjestelmästä. 3. uud. p. Helsinki: Alfamer/Karisto.

Ympäristöhallinto. 2016. Pientalon energiankulutus. Luettu 21.2.2018

http://www.ymparisto.fi/fi-1FI/Rakentaminen/Korjaustieto/Pientalot/Energiatehokkuus/Energiatehokas_pientalo/Energiankulutus

Laitinen, J. 2013. Pieni suuri energiakirja: Opas energiategokkaaseen asumiseen. Helsinki: Into Kustannus.

Ympäristöhallinto. 2016. Vanhat ikkunat kuntoon vai uudet tilalle. Luettu 21.2.2018

http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Korjaustieto/Pientalot/Energiatehokkuus/Energiakorjaukset/Ikkunoiden_kunnostus_ja_vaihto

Ympäristöhallinto. 2016. Maalämpö on auringon lämpöä. Luettu 22.2.2018

<http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Korjaustieto/Pientalot/Energiatehokkuus/Energialahteet/Maalampo>

Virtuaali ammattikorkeakoulu. Investointilaskentapohja ja -sanasto. Luettu 2.4.2018

<http://www2.amk.fi/digma.fi/eetu/www.amk.fi/opintojak-sot/500/1138278559722/1138279515236/1138279720180/1138284629391.html>

Saari, A. (VTT.) 2004. Elinkaarikustannusten laskenta.

<http://virtual.vtt.fi/virtual/proj6/viron2/rem/elinkaarikustannukset.doc>

Sirén, K. 2015. Rakennusten energiainvestointien kannattavuuden laskenta.

https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/153118/mod_resource/content/1/Rakennusten%20energiainvestointien%20kannattavuus_2015_highlighted.pdf

LIITTEET

Liite 1. Energiatodistus alkuperäinen

| YHTEENVETO RAKENNUKSEN ENERGIATEHOKKUUDESTA | | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------------------------|
| Laskennallinen ostoenergiankulutus ja energiatehokkuuden vertailuluku (E-luku) | | | | |
| Lämmitetty nettoala | 128,604 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) |
| kaukolämpö | 10 056 | 79 | 0,5 | 39,1 |
| sähkö | 6 079 | 48 | 1,2 | 56,7 |
| Sähkön kulutukseen sisältyvä valaistus- ja kuluttajalaitesähkö | 1 352 | 11 | | |
| Energiatehokkuuden vertailuluku (E-luku) | | | | 96 |
| Rakennuksen energiatehokkuusluokka | | | | |
| Käytetty E-luvun luokitteluasteikko | Pienet asuinrakennukset | | | |
| Luokkien rajat asteikolla | A: ... 89 | | B: 90 ... 152 | C: 153 ... 191 |
| | D: 192 ... 271 | | E: 272 ... 401 | F: 402 ... 471 |
| | G: 472 ... | | | |
| Tämän rakennuksen energiatehokkuusluokka | B | | | |
| <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 sähkölämmityslaitteet, keskeiset lämmitykset ja ulkovalaistukset eivät sisälly E-lukuun.</p> | | | | |

Liite 2. Energiatodistus maalämpöpumpulla

| YHTEENVETO RAKENNUKSEN ENERGIATEHOKKUUDESTA | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------------------------|-----------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------|--|--|
| Laskennallinen ostoenergiankulutus ja energiatehokkuuden vertailuluku (E-luku) | | | | | | | | | | | | | |
| Lämmitetty nettoala | 128,604 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 | 9 488 | 74 | 1,2 | 88,5 | | | | | | | | | |
| Sähkön kulutukseen sisältyvä valaistus- ja kuluttajalaitesähkö | 1 352 | 11 | | | | | | | | | | | |
| Energiatehokkuuden vertailuluku (E-luku) | | | | 89 | | | | | | | | | |
| Rakennuksen energiatehokkuusluokka | | | | | | | | | | | | | |
| Käytetty E-luvun luokittelusteikko | Pienet asuinrakennukset | | | | | | | | | | | | |
| Luokkien rajat asteikolla | <table border="1"> <tr> <td>A: ... 89</td> <td>B: 90 ... 152</td> <td>C: 153 ... 191</td> </tr> <tr> <td>D: 192 ... 271</td> <td>E: 272 ... 401</td> <td>F: 402 ... 471</td> </tr> <tr> <td>G: 472 ...</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> | | | | A: ... 89 | B: 90 ... 152 | C: 153 ... 191 | D: 192 ... 271 | E: 272 ... 401 | F: 402 ... 471 | G: 472 ... | | |
| A: ... 89 | B: 90 ... 152 | C: 153 ... 191 | | | | | | | | | | | |
| D: 192 ... 271 | E: 272 ... 401 | F: 402 ... 471 | | | | | | | | | | | |
| G: 472 ... | | | | | | | | | | | | | |
| Tämän rakennuksen energiatehokkuusluokka | A | | | | | | | | | | | | |
| <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 autoilmoittimet, kyläkäyttövesilaitteet ja ulkovalot eivät sisälly E-lukuun.</p> | | | | | | | | | | | | | |