

Toni Klubb

ILMA-VESILÄMPÖPUMPUN LIITTÄMINEN MAAKAASULÄMMITTEISEEN PIENTALOON

Opinnäytetyö

Tekniikan ammattikorkeakoulututkinto

Talotekniikka

2021



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

| | |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------|
| Tutkintonimike | Insinööri (AMK) |
| Tekijä/Tekijät | Toni Klubb |
| Työn nimi | Ilma-vesilämpöpumpun liittäminen maakaasulämmitteeseen pientaloon |
| Toimeksiantaja | Haveputki Oy |
| Vuosi | 2021 |
| Sivut | 60 sivua, liitteitä 6 sivua |
| Työn ohjaaja(t) | Jarkko Kolehmainen |

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää kustannuksellisesti kannattavin hybridilämmitysratkaisu maakaasulämmitteisiin pientalokohteisiin. Tutkimuksessa vertailtiin lisälämmitysmuotona sähköä ja maakaasua, päälämmitysmuodon ollessa ilma-vesilämpöpumppu. Työssä oli tarkoituksena vertailla yö- ja yleissähkösopimuksia toisiinsa, tuottaa suunnitelmaluonnokset lämpöpumppujärjestelmästä case-kohteeseen ja selvittää järjestelmän velaton takaisinmaksuaika käyttö- ja investointikustannusten perusteella. Esimerkkikohteena tutkimuksessa käytettiin maakaasulämmitteistä kaksikerroksista omakotitaloa.

Tutkimuksen aineistona käytettiin esimerkkikohteen kulutusseurantatietoja maakaasun ja veden kulutuksen osalta. Kulutusseurantatietojen perusteella selvitettiin esimerkkikohteen vuotuinen lämmitysenergian- ja tehontarve. Lämmitystehontarpeen ja normeeratun energiankulutuksen avulla laskettiin lämpöpumppujärjestelmän ostoenergiantarve sekä lisälämmitykseen tarvittavan energian määrä. Lämpöpumpun ostoenergian kulutusta yhdessä lisälämmitykseen käytetyn energian kanssa vertailtiin maakaasulämmityksestä aiheutuneisiin käyttökustannuksiin. Lämpöpumppujärjestelmän asennuksesta muodostettiin investointikustannuslaskelma toimeksiantajan tarjouslaskentaohjelmaa hyödyntäen. Käyttö- ja investointikustannusten avulla laskettiin lämpöpumppujärjestelmän tuottamat vuotuiset säästöt.

Opinnäytetyön tuloksena syntyi kannattavuuslaskelmat lämpöpumppujärjestelmän ja lisälämmitysmuotojen käyttökustannuksista. Tulosten mukaan maakaasun käyttö lisälämmönlähteenä on käyttökustannuksellisesti kallein vaihtoehto, ja se myös nostaa takaisinmaksuaikaa useita vuosia sähköön verrattuna. Takaisinmaksuaika on pienin sähköisellä lisälämmityksellä yleissähkösopimuksen mukaisilla energianhinnoilla laskettuna. Työn tuloksena tuotettiin tasokuva esimerkkikohteen lämpöpumppujärjestelmästä sekä kytkentäkaavio, jossa esitetään uuden järjestelmän kytkentäperiaate vanhaan kattilalaitokseen.

Tulosten johtopäätöksenä voidaan todeta, että maakaasun käyttö lisälämmityksessä lämpöpumpun rinnalla ei ole kannattava vaihtoehto sähköiseen lisälämmitykseen verrattuna. Järjestelmän takaisinmaksuaika lyhyimmilläänkin lähentelee lämpöpumppujärjestelmän pääkomponenttien oletettua käyttöikää ja siksi investointi esimerkin kaltaisissa kohteissa ei ole kannattava tällä käyttöasteella. Takaisinmaksuajat olivat oletettua pidemmät kaikilla eri ratkaisulla alkuperäisen maakaasulämmityksen kilpailukykyisten käyttökustannusten johdosta.

Asiasanat: maakaasu, lämpöpumppu, hybridi

| | |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Degree | Bachelor of Engineering |
| Author (authors) | Toni Klubb |
| Thesis title | Air to water heat pump as a part of natural gas heating in a detached house |
| Commissioned by | Haveputki Oy |
| Time | April 2021 |
| Pages | 60 pages, 6 pages of appendices |
| Supervisor | Jarkko Kolehmainen |

ABSTRACT

The objective of the thesis was to examine what the most cost-effective hybrid heating solution for natural gas heated detached houses is. Electricity and natural gas as an additional form of heating were compared in this study, with the main form of heating being an air to water heat pump. The purpose was to produce blueprints about connecting a heat pump system for an example to a building, determine the debt-free payback period based on costs of utilities and investment and compare the effect of night time and general electricity prices. A two-floor detached house with natural gas heating was used as an example in the study.

Data about natural gas and water consumption in the example building were used as research material. Annual needs for the power and heating energy were defined based on that information. The required energy delivery need of the heat pump system and additional heating were calculated by means of needed heat power and normalized energy consumption. The delivered energy consumption of the heat pump and energy used for additional heating were compared with costs from natural gas heating. The investment cost estimate for the heat pump system installation was formed by using the principal's offer calculation program. Annual savings from the heat pump system were estimated based on the costs of utilities and investment.

As a result of the thesis, profitability calculations were created of the operating costs of the heat pump system and additional forms of heating. According to the results, natural gas using as an additional form of heating had the most expensive operation costs and it also raises the payback time by many years compared with electric heating. The payback time is the lowest with electric additional heating at general electric prices. The layout of the heat pump system and a connecting pattern including a connection principle in the former boiler unit were created.

The results indicate that the use of natural gas for additional heating alongside the heat pump is not a viable alternative compared with electric additional heating. The payback period of the system, even at its shortest, approximates the assumed mileage of the main components of the heat pump system. That is why the investment as in the example is not profitable at this utilization rate. The payback times for all alternatives were longer than expected because of the competitive operation costs of the original natural gas heating.

Keywords: natural gas, heat pump, hybrid

SISÄLLYS

| | | |
|-------|--------------------------------------------------|----|
| 1 | JOHDANTO | 7 |
| 2 | HYBRIDILÄMMITYS | 8 |
| 2.1 | Järjestelmät | 8 |
| 2.2 | Lämpöpumppu | 9 |
| 2.2.1 | Lämpöpumpun toimintaperiaate | 10 |
| 2.2.2 | Ilma-vesilämpöpumppu | 12 |
| 2.2.3 | Mitoitus | 14 |
| 2.3 | Maakaasu | 15 |
| 2.3.1 | Jakeluverkosto | 15 |
| 2.3.2 | Maakaasun ominaisuudet | 16 |
| 2.3.3 | Mittaus | 17 |
| 3 | TUTKIMUSMENETELMÄT | 18 |
| 3.1 | Maakaasun hinnoittelu | 18 |
| 3.2 | Sähköenergian hinnoittelu | 19 |
| 3.3 | Lämmitysenergian ja -tehontarpeen laskenta | 22 |
| 3.3.1 | Käyttövesi | 23 |
| 3.3.2 | Lämmitys | 25 |
| 3.3.3 | Kulutuksen normitus | 26 |
| 3.4 | Lämpöpumppujärjestelmän energialaskenta | 28 |
| 3.5 | Varaajan mitoitus | 32 |
| 4 | CASE-KOHDE | 33 |
| 4.1 | Tekniikan kuvaus | 33 |
| 4.2 | Lämpöpumpun ja varaajan mitoitus | 35 |
| 4.3 | Lämmitysenergia ja -tehontarve | 36 |
| 4.3.1 | Käyttövesi | 37 |
| 4.3.2 | Lämmitys | 38 |
| 4.3.3 | Kulutuksen normitus | 39 |

| | | |
|-------|------------------------------------------------------|----|
| 4.4 | Laitevalinnat | 40 |
| 4.5 | Lämpöpumppujärjestelmän energialaskenta | 41 |
| 4.6 | Kytkenät..... | 42 |
| 4.7 | Laitesijoitukset | 44 |
| 4.8 | Järjestelmän investointikustannukset | 44 |
| 5 | TULOKSET | 46 |
| 5.1 | Sähkön hintavertailu | 46 |
| 5.2 | Lämpöpumppujärjestelmän investointikustannukset..... | 48 |
| 5.3 | Käyttökustannusvertailu ja takaisinmaksuaika..... | 48 |
| 5.3.1 | Maakaasu | 49 |
| 5.3.2 | Ilma-vesilämpöpumppu ja maakaasu..... | 49 |
| 5.3.3 | Ilma-vesilämpöpumppu ja sähkölämmitys | 51 |
| 6 | TULOSTEN JOHTOPÄÄTÖKSET | 52 |
| 7 | POHDINTA | 55 |
| | LÄHTEET..... | 58 |

LIITTEET

Liite 1. Bio-kotikulta ja Kotikulta hinnasto 2021

Liite 2. Lämmitystehontarpeen laskenta huippukuorma-aikana

Liite 3. Case-kohteen maakaasunkulutus 2020

Liite 4. VILP kytkentäkaavio

Liite 5. VILP kytkentä tasokuva

KÄSITTEET

| | |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Alempi lämpöarvo | Polttoaineen energiamäärä ilman savukaasujen sisältämää vesihöyryn lauhde-energiaa |
| Energia tiheys | Systeemiin varastoitunut energia tilavuusyksikköä kohden |
| Kulutuksen normitus | Toteutuneen lämmitysenergiankulutuksen muuttaminen keskimääräistä energiankulutusta vastaavaksi lämmitystarveluvun avulla |
| Lämmitystarveluku | Sisä- ja ulkolämpötilojen erotukseen perustuva lämmitysenergioiden vertailuluku |
| Mitoitusulkolämpötila | Rakennuksen lämmitystehontarpeen määrittävä ulkoilman lämpötila |
| Nettoenergian kulutus | Rakennuksen tai järjestelmän energiankulutus vuositasolla |
| Nimellisteho | Laitteen optimaalisissa käyttöolosuhteissa tuotettu teho |
| Ostoenergia | Järjestelmään tai rakennukseen hankittava ulkopuolinen energia |
| Ottoteho | Laitteen tarvitsema ulkopuolinen tehontarve |
| SPF-luku | (Seasonal Performance Factor) kertoo lämpöpumpun vuotuisen käytettävissä olevan energian suhteessa ostoenergiaan |
| Tehomitoituspiste | Tilapiste, jossa lämpöpumpun tuottama lämmitysteho ja rakennuksen lämmitystehontarve ovat yhtä suuret |
| Ylempi lämpöarvo | Polttoaineen täydellisen palamisen energiamäärä sisältäen savukaasujen lauhtumisesta saatavan energian |

1 JOHDANTO

Nykypäivän päästörajoitukset yhdessä tavoiteltavien taloudellisten säästöjen kanssa ovat ajaneet myös kotitaloudet tilanteeseen, jossa pyritään yhä enemmän eroon fossiilisia polttoaineita käyttävistä lämmitysjärjestelmistä. Fossiilisten polttoaineiden hinnat ovat olleet jo pitkään nousussa, minkä vuoksi niiden käyttö tulevaisuudessa vähenee väistämättä tai siirtyy käytettäväksi vain toissijaisten lämmönlähteiden polttoaineena. Lämpöpumput ovat puolestaan kehittyneet ja niiden kysyntä on ollut nousussa jo vuosia. Investointien kannattavuutta pohditaan kuitenkin useissa kotitalouksissa, vaikka lämpöpumpun tiedetään tuottavan usein huomattavia säästöjä vuotuisissa lämmityskustannuksissa.

Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia ilma-vesilämpöpumpun vaikutusta maakaasulämmitteisen pientalon lämmityskustannuksiin. Opinnäytetyössä käytetään tapausesimerkkinä erästä maakaasulla lämmitettyä pientaloa, johon mitoitetaan sopiva ilma-vesilämpöpumppu varaajineen.

Investointikustannusten ja käyttökustannusvertailun avulla selvitetään kuinka kannattava tuo sijoitus tulee olemaan pitkällä aikavälillä alkuperäisen lämmitysjärjestelmän käyttöön verrattuna. Työssä selvitetään myös taloudellisesti kannattava lisälämmitysmuoto vaihtoehtoina sähkö tai maakaasu. Tämän opinnäytetyön yhtenä tavoitteena on myös toimia esimerkkinä vastaavanlaisille kohteille, joissa pohditaan lämpöpumpun tuomia säästömahdollisuuksia maakaasulämmitteisissä kohteissa.

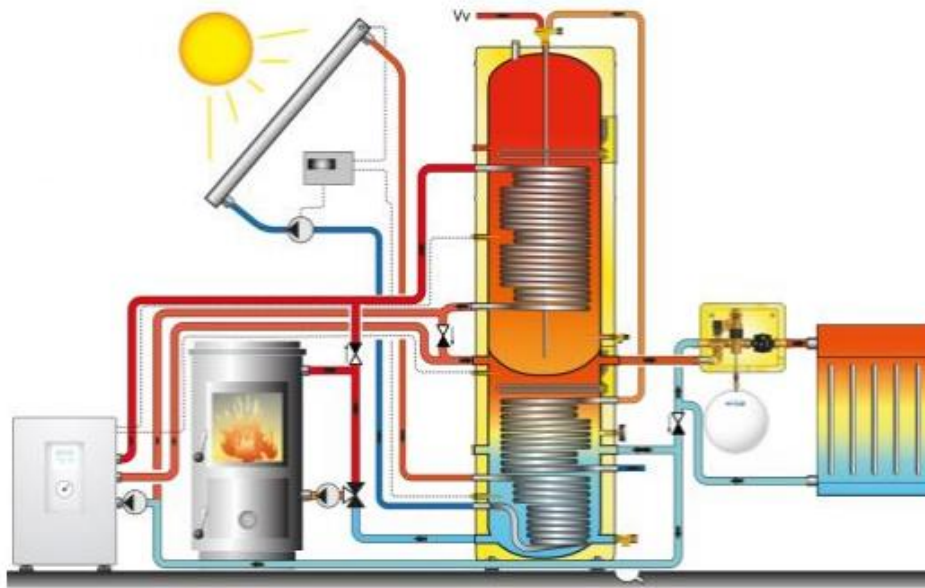
Työn tilaaja on haminalainen yritys Haveputki Oy, jonka toimialueena on LVI-asennuspalvelut Kaakkois-Suomen alueella sekä pienimuotoinen LVI-tarvikkeiden myynti Haminan toimipisteessä. Opinnäytetyötä lähdettiin tekemään tästä aiheesta, koska tilaajalle oli tullut vuosien varrella muutamia kyselyitä yksityisten henkilöiden taholta maakaasun korvaamisesta pientalossa osittain ilma-vesilämpöpumpun avulla. Vastaavanlaisista tapauksista ei tilaajalla ollut kuitenkaan juuri minkäänlaista kokemusta ja tietoutta haluttiin lisätä tällä osa-alueella. Maakaasu on pääkaupunkiseudun ohella myös Kaakkois-Suomen alueella verraten yleinen lämmitysratkaisu ja maakaasulämmitteisiä kohteita löytyy paljon sekä yksityisen että julkisen sektorin rakennuskannasta.

2 HYBRIDILÄMMITYS

2.1 Järjestelmät

Energiahintojen ja näin ollen lämmityskustannusten noustessa ovat erilaiset hybridilämmitysjärjestelmät yleistyneet viime vuosina huomattavasti. Hybridilämmitysjärjestelmällä tarkoitetaan kiinteistön lämmitysjärjestelmää, joka koostuu vähintään kahdesta lämmönlähteestä. Yksi näistä toimii päälämmönlähteenä ja muut ovat toissijaisia lämmönlähteitä. Kaikkia näitä voidaan käyttää mahdollisuuksien mukaan joko samanaikaisesti tai erikseen riippuen kunkin lämmönlähteen sekä rakennuksen optimaalisista käyttöolosuhteista. Yleisimmin käytössä olevissa järjestelmissä lämmönlähteet kuitenkin täydentävät toisiaan samanaikaisesti energiankulutuksen minimoimiseksi. /1./

Pientaloissa hybridilämmityksen päälämmönlähde on hyvin usein jokin fossiilista polttoainetta käyttävä lämmitysratkaisu, kuten öljy tai maakaasu. Ensijaisia tai toissijaisia lämmönlähteitä voivat olla myös kaukolämpö tai puu/hakelämmitys. Toissijaisia lämmönlähteitä voi olla yksi tai useampi ja muita esimerkkejä näistä ovat erilaiset lämpöpumput tai aurinkolämmitys. Kuvassa 1 on esitetty erään hybridilämmitysratkaisun havainnollistava kytkentäkaavio, jossa vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään on liitetty lämpöpumppu, vesitakka sekä aurinkokeräin. Kuvan järjestelmä koostuu kolmesta lämmönlähteestä, joista lämpöpumppu toimii päälämmönlähteenä. /1; 2./



Kuva 1. Hybridilämmitysjärjestelmän periaatekuva /1/

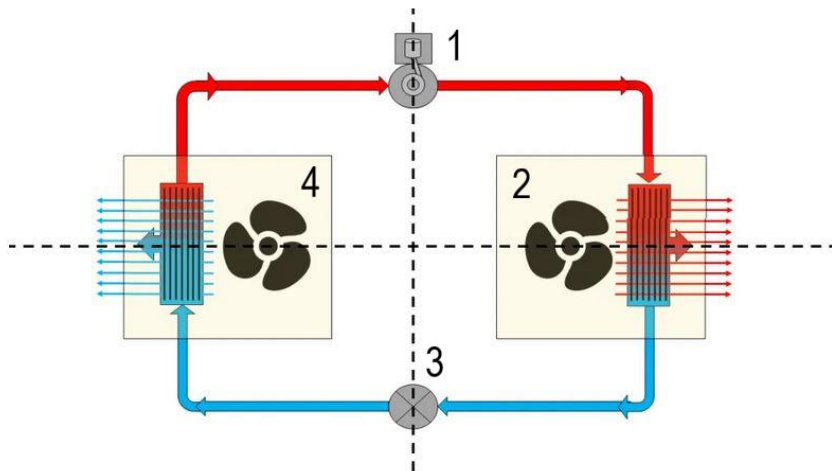
Hybridilämmitysjärjestelmällä voidaan saavuttaa suuriakin energiasäästöjä päälämmönlähteen pääasialliseen käyttöön verrattuna. Etenkin vanhoissa kohteissa, joissa koko lämmitysjärjestelmän saneerauskustannukset nousevat usein kohtuuttoman korkeiksi, voidaan vanhaa järjestelmää täydentää nykyaikaisilla lisälämmönlähteillä ja näin vaikuttaa energiakustannuksiin merkittävästi. Lisäksi useamman lämmönlähteen sisältävä järjestelmä on hyvin toimintavarma, mikä lisää kiinteistön arvoa ympäristöystävällisyyden ja energiasäästöjen nimissä. /1; 2./

2.2 Lämpöpumppu

Lämpöpumppu osana hybridilämmitysjärjestelmää on hyvin tavanomainen ratkaisu. Pelkällä lämpöpumpulla ei useinkaan tuoteta kaikkea rakennuksen tarvitsemaa lämmitysenergiaa, sillä esimerkiksi ulkoilmalämpöpumput eivät vielä nykypäivänä kykene tuottamaan hyvällä hyötysuhteella lämmitysenergiaa kiinteistön tarpeisiin kaikkein kylmimpinä kausina. Tämä koskee lähinnä ilma-vesilämpöpumppua, koska ilmalämpöpumpulla ei lämmintä käyttövetä voida tuottaa muutenkaan ja näin ollen kattaa mahdollisesti koko kiinteistön lämmitystehontarvetta. Lisälämmityksen tarve on kuitenkin kohteesta ja paikasta riippuen hyvin marginaalinen, koska kylmin kausi jää useastikin hyvin lyhyeksi ja vuoden matalimmat lämpötilat huomattavasti mitoitusulkolämpötilaa korkeammiksi. /4./

2.2.1 Lämpöpumpun toimintaperiaate

Lämpöpumpun koneisto koostuu neljästä pääkomponentista, jotka on kytketty toisiinsa muodostaen kylmäainepiirin (kuva 2). Nämä osat ovat kylmäaineen kiertojärjestyksessä; kompressorin (1), lauhdutin (2), paisuntaventtiili (3) sekä höyrystin (4). Kylmäainekierto alkaa hermeettisestä kompressorista, joka kierrättää kylmäainetta järjestelmässä. /3./



Kuva 2. Kylmäainepiiri /3/

Kompressorin painaa höyrystynyttä kylmäainetta kohti lauhdutinta, jolloin kylmäaineen paine ja lämpötila nousevat. Lauhduttimessa kaasumainen kylmäaine nesteytyy sekä jäähtyy ja tällöin luovuttaa lämpöä ympäristöönsä. Lauhduttimessa kaasumaisessa olomuodossa olevalle kylmäaineelle tapahtuu faasimuutos, joka aiheutuu lämpöenergian luovutuksesta ympäristöön, jolloin kylmäaine tiivistyy nesteeksi. Kylmäaine tiivistyy nesteeksi, koska korkeapaineisen kylmäaineen kiehumispiste on korkeampi kuin ympäristön lämpötila. Ympäristön lämpötilalla tarkoitetaan palaavan ja lähtevän väliaineen eli lämmitettävän nesteen tai ilman keskimääräistä lämpötilaa. Tämä korkeapaineinen ja alijäähtynyt kylmäaine päättyy lauhduttimen jälkeen paisuntaventtiilille, jossa sen paine putoaa ja lämpötila sekä kiehumispiste laskevat alle ympäristön lämpötilan. /3./

Alijäähtynyt matalapaineinen kylmäaine ohjataan putkistoa pitkin ulkoyksikössä sijaitsevaan höyrystimeen, jossa se höyrystyy eli muuttuu nesteestä takaisin höyryksi ja absorboi lämpöenergiaa itseensä. Höyrystymisen jälkeen matalapaineinen kylmäainehöyry ohjataan takaisin

kompressorille, jossa sen painetta koneellisesti nostetaan ja kierto alkaa jälleen alusta. Höyrystin ja siellä oleva kylmäaine ovat yleensä, prosessin ollessa käynnissä, reilusti pakkasen puolella ja tästä johtuukin ulkoyksikön höyrystinosan jäätyminen lämmityskäytössä. Tätä höyrystimen jäätymistä ehkäistään sulatusjaksoilla, joissa kylmäaineen kiertoprosessin suunta muutetaan hetkellisesti päinvastaiseksi. Tätä kuumakaasusulatukseksi kutsuttua toimintaperiaatetta käytetään yleisesti pienissä lämpöpumpuissa. Sulatussykliä tiheys riippuu paljon ilman ulkolämpötilasta ja suhteellisesta kosteudesta. /3./

Lämpöpumpun koneisto on siis lämpövoimakone, jonka tarkoituksena on siirtää lämpöenergiaa ulkoilmasta sisäilmaan, käyttäen mahdollisimman vähän ulkoista (sähkö)energiaa. Tätä suhdetta kuvaa lämpöpumpun Carnot-lämpökerroin, jonka teoreettinen maksimi-arvo lasketaan yhtälöllä 1. Lämpökerroin kertoo sen, kuinka tehokkaasti lämpöenergiaa saadaan siirrettyä suhteessa prosessiin syötettyyn työmäärään nähden. Carnot-lämpökertoimen maksimi-arvo saadaan syöttämällä edellä mainittuun yhtälöön toimintapisteiden lämpötilat kelvineinä. Teoreettista maksimi-arvoa ei kuitenkaan koskaan voida täysin saavuttaa prosessissa aiheutuvien häviöiden vuoksi ja kompressorin hyötysuhteen ollessa aina alle 1. /4, s.192–193./

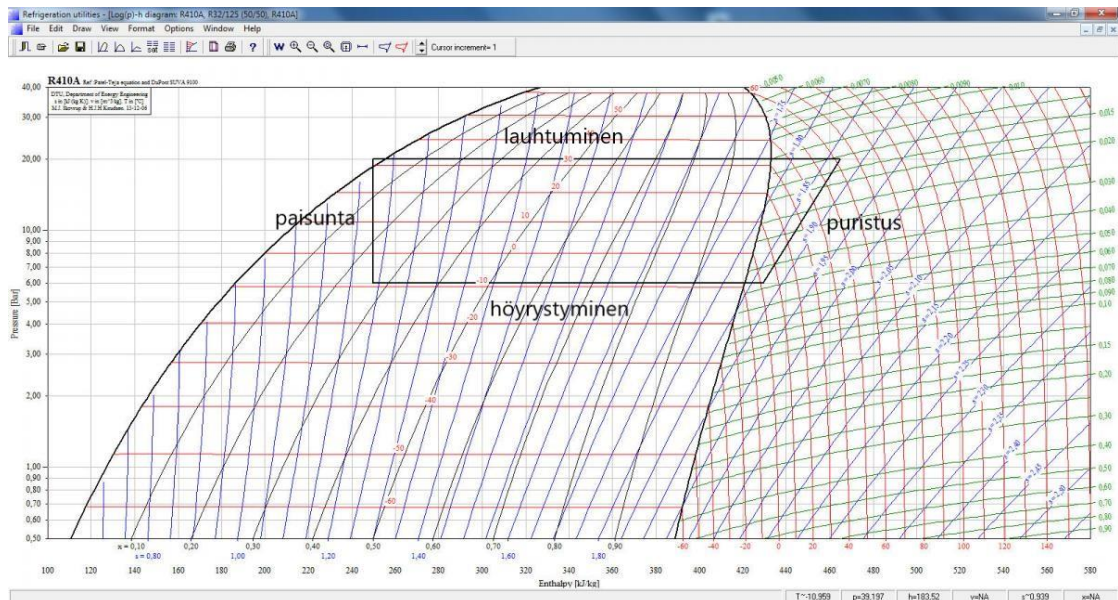
$$COP_C = \frac{T_L}{T_L - T_H} \quad (1)$$

| | | | |
|-------|---------|---------------------|-----|
| jossa | COP_C | Carnot-lämpökerroin | [-] |
| | T_L | Lauhtumislämpötila | [K] |
| | T_H | Höyrystyslämpötila | [K] |

Log p, -h tilapiirros

Kuvassa 3 on havainnollistettu lämpöpumpun toimintaa ja kylmäaineen kiertoa log p, -h -piirroksen avulla. Jokaiselle kylmäaineelle omanlaisensa tilapiirros koostuu kolmen eri olomuodon alueesta, joita erottaa toisistaan kylläisen nesteen ja kylläisen höyryn käyrät järjestyksessä vasemmalta oikealle. Vasemmanpuoleinen valkoinen alue on kylläistä höyryä ja oikeanpuoleinen alue puolestaan kylläistä nestettä. Näiden alueiden välissä kylmäaine on nesteen ja höyryn sekoitusta. Kiertoprosessissa puristus tapahtuu

kylmäaineen ollessa höyryä ja optimaalisen lauhtumisen aikana höyrynä ollut kylmäaine muuttuu lähes kokonaan nestemäiseen olomuotoon ennen paisuntaventtiiliä. Tuo alijäähtynyt kylmäaine muuttuu osittain takaisin höyryksi paisuntaprosessin aikana ja muuttuu lopullisesti olomuotoaan höyrystimessä ennen kompressorin kuvan prosessin mukaisesti.



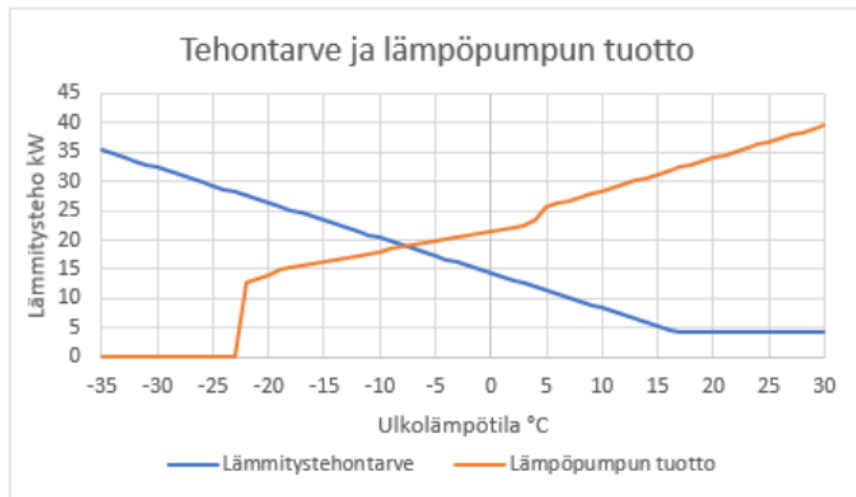
Kuva 3. Lämpöpumpun Log p, -h tilapiirros

2.2.2 Ilma-vesilämpöpumppu

Ilma-vesilämpöpumpun (VILP) lämmöntuotto tapahtuu nimensä mukaisesti ilmasta veteen. Lämpöpumpun ulkoyksikkö sijaitsee lähes aina rakennuksen ulkopuolella. Ulkoyksikössä sijaitsevat järjestelmän pääosat, kuten kompressor, höyrystin, paisuntaventtiili sekä ohjainkortit. Höyrystimen tehokkuutta parannetaan pakotetulla konvektiolla puhaltimen avulla ilmalämpöpumpun tavoin. Ilma-vesilämpöpumppuja on lämmönsiirtotavan mukaan kahta erilaista mallia, joita erottaa toisistaan lauhduttimen sijainti. Niin sanotuissa split-laitteissa on lauhduttimesta tehty eräänlainen sisäyksikkö, jonka avulla siirretään lämpöenergia kylmäaineesta veteen. Sisäyksikön sijainti on lämpimässä tilassa, ja sen rakenne vastaa lämmönsiirrintä. Sisäyksikkö voi olla myös integroitu suoraan varaajaan. Monoblock-laitteissa puolestaan kaikki kylmäainetekniikka on sijoitettu ulkoyksikköön. Ulkoyksikön ja varaajan välillä lämmönsiirto tapahtuu yleensä veden välityksellä erillisen latauspumpun avulla. /5./

Laitteistojen eroavaisuudet keskittyvät lähinnä niiden käyttöön ja investointikustannuksiin. Split-laitteissa investointikustannukset ovat hieman monoblock-laitteita kalliimmat, koska rakennusvaiheessa joudutaan tekemään erillinen kylmäaineputkisto sekä kylmäainetäyttö valtuutetun asennuspalvelun toimesta. Monoblock-laitteissa kylmäainepiiri on puolestaan täytetty jo tehtaalla sen suljetun rakenteensa vuoksi. Monoblock-laitteita asennettaessa on rakennuksen ulkopuoliset lämmönsiirtoputkistot eristettävä hyvin, sillä ulkoyksikössä sijaitseva lauhdutin sekä lämmönsiirtoputkistot jäätyvät helposti, jos lämmönsiirtonesteinä käytetään vettä. Veden sijasta on mahdollista käyttää myös vesi-glykoliseosta lämmönsiirtoon ulkoyksikön ja sisäyksikön välillä, jolloin ehkäistään mahdolliset putkistojen jäätymisestä aiheutuvat vauriot. /5./

Ilma-vesilämpöpumpuille on tyypillistä, että itse lämpöpumpputekniikalla ei pystytä tuottamaan kaikkea rakennuksen tarvitsemaa lämmitysenergiaa mitoitusulkolämpötilassa /5/. Näin ollen tarvitaan ulkopuolinen lisälämmönlähde, joka voi olla mikä tahansa lämmönlähde, jolla pystytään kattamaan sekä tilojen että käyttöveden lämmitys. Tyypillisesti tämä lisälämmitys hoidetaan joko rakennuksen entisellä päälämmönlähteellä tai sähkövastuksilla. Tämän lisälämmönlähteen teho on vastattava useimpien lämpöpumppujen kohdalla koko rakennuksen lämmitystehontarvetta, koska lähes kaikki ulkoilmalämpöpumput lopettavat toimintansa kokonaan ennen mitoitusulkolämpötilaan siirtymistä /5/. Tämä nähdään kuvasta 4, jossa on esitetty erään rakennuksen lämmitysteho suhteessa erään ilma-vesilämpöpumpun lämmöntuottoon. Kuvaajasta nähdään myös, että kyseisen lämpöpumpun lämmöntuotto putoaa nollaan noin -23 °C:een kohdalla ja laite sammuttaa itse itsensä hyötysuhteen romahtamisen johdosta. Kuvan 4 mukaisessa tapauksessa on rakennuksen lämmitystehontarve katettava kokonaan jollakin lisälämmitysmuodolla oltaessa missä tahansa Suomen säävyöhykkeen mukaisessa mitoitusulkolämpötilassa.



Kuva 4. Ilma-vesi lämpöpumpun tuotto ja lämmitystehontarve /6, s. 21/

Kuvan 4 avulla voidaan myös havainnollistaa lämpöpumpun tehomitoituspiste. Tehomitoituspisteellä tarkoitetaan tilapistettä, jossa sekä rakennuksen lämmitystehontarve että lämpöpumpun tehontuotto ovat yhtä suuret. Tämä piste tarkoittaa käytännössä näiden käyrien leikkauspistettä, joka puolestaan kertoo alimman ulkolämpötilan, jossa lämpöpumpun avulla voidaan tuottaa koko rakennuksen lämmitystehontarve ilman ulkopuolista lisälämmitystä. /7, s.17./

2.2.3 Mitoitus

Lämpöpumpun mitoitus voidaan tehdä joko täystehomitoituksena tai osatehomitoituksena. Täystehomitoituksessa lämpöpumppu mitoitetaan rakennuksen lämmitystehontarpeen mukaan, jolloin lämpöpumpulla katetaan rakennuksen koko lämmitystehontarve paikkakunnan mitoitusulkolämpötilassa. Täystehomitoitettuna lämpöpumppu ei siis tarvitse ulkopuolista lisälämmitystä mitoitusulkolämpötilan vaatimissa olosuhteissa. /8, s.21./ Täystehomitoitus soveltuu käytettäväksi kuitenkin vain maalämpöön liittyvissä sovelluksissa, jolloin maaperän lämpötila on lähes vakio ympäri vuoden. Ulkoilmalämpöpumppuja käytettäessä lämmönlähteen eli ulkoilman lämpötila vaihtelee paljon eri vuodenaikojen mukaan. Suurimman lämmitystehontarpeen aikana ulkoilma on kylmimmillään ja siitä on nykytekniikalla lähes mahdotonta ottaa riittävästi lämmitysenergiaa talteen hyvällä hyötysuhteella. Ulkoilmalämpöpumput mitoitetaan tällöin aina osatehomitoituksella, jolloin rakennuksen tarvitsemasta vuotuisesta lämmitysenergiatarpeesta katetaan vain osa lämpöpumpun avulla /7, s.8/.

Tämä lämpöpumpulla katettu osa voi kuitenkin olla huomattavan suurikin, jopa 90–98 % vuotuisesta kokonaislämmitysenergiasta /8, s.21/.

Osatehomitoitetun lämpöpumpun nimellisteho on mahdollista mitoittaa vastaamaan lämmitettävän rakennuksen lämmitystehontarvetta, mutta ulkoilmalämpöpumpulla ei kuitenkaan voida kattaa koko lämmitystehontarvetta, sillä lämpöpumpun nimellisteho on määritelty standardin SFS-EN 14511-2 mukaisissa testausolosuhteissa /7, s.6/. Lämpöpumpun nimellistehon määrittävät testausolosuhteet ovat lämpöpumpun toiminnan kannalta ihanteelliset olosuhteet niin lämpötilan, kosteuden kuin lämmitettävän väliaineen lämpötilojenkin suhteen. Tällöin mitoitusulkolämpötilan mukaisia todellisia olosuhteita lähestyttäessä, putoaa ulkoilmalämpöpumpun teho huomattavasti annettuun nimellistehoon nähden /5/.

2.3 Maakaasu

Maakaasu on maaperän biomassan hajotessa syntyvä tuote, joka koostuu lähes kokonaan metaanista. Maakaasua käytetään yleisesti energiantuotannossa ja teollisuudessa. Lämmitysmuotona se on Suomessa verraten harvinainen, johtuen osittain sen rajallisesta saatavuudesta. Maakaasua voidaan käyttää sekä yksittäisten kiinteistöjen lämmitykseen paikallisesti että kaukolämmön ja sähkön tuotantoon lämpölaitoksissa. Fossiilisista polttoaineista puhuttaessa maakaasu on hyvin ekologinen vaihtoehto esimerkiksi öljyyn verrattuna. Vielä maakaasua puhtaampi biokaasu on potentiaalinen vaihtoehto ainakin osittain korvaamaan fossiilisen maakaasun tulevaisuudessa päästömääräysten tiukentuessa. /9./

2.3.1 Jakeluverkosto

Kuvassa 5 on esitetty maakaasun jakeluverkosto valtakunnallisella tasolla. Kuvassa esitetyssä kartassa näkyvät kaikki ne Suomen paikkakunnat, joissa maakaasua on tällä hetkellä saatavilla. Joillakin paikkakunnilla jakeluverkosto on kunnallisesti hyvin suppea, mutta verkostoa kehitetään jatkuvasti kattamaan yhä laajemmin potentiaalisten käyttökohteiden alueet. /10./

Kuvassa 5 näkyvä Baltic Connector -kaasuputkihanke valmistui vuonna 2020 avaten kilpailun Suomen kaasumarkkinoilla. Hankkeen myötä kuluttaja voi nyt vapaasti kilpailuttaa maakaasun toimittajan ja näin ollen kaasun myyjien oletetaan lisääntyvän tulevaisuudessa /11./ Baltic Connector -kaasuputki lisää myös maakaasun toimitusvarmuutta entisestään kaasun tullessa nyt kahdesta pisteestä valtakunnalliseen jakeluverkkoon.



Kuva 5. Maakaasun jakeluverkosto /10/

2.3.2 Maakaasun ominaisuudet

Maakaasun palamisteknisistä ominaisuuksista tärkein on lämpöarvo. Lämpöarvo kertoo, kuinka paljon energiaa kyseinen polttoaine sisältää massat tai tilavuusyksikköä kohden. Eri polttoaineiden lämpöarvoja vertailtaessa keskenään voidaan huomata maakaasun lämpöarvon olevan esimerkiksi polttoöljyyn verrattuna lähes 20 % parempi ylempää lämpöarvoa sovellettaessa. Ylempi lämpöarvo käsittää palamisesta syntyvän lämpöenergian lisäksi myös savukaasujen sisältämän vesihöyryn lämpöenergian. Savukaasujen vesihöyryn lauhtumisesta syntyvä energia on maakaasua poltettaessa merkittävä osa polttoaineesta saatavaa kokonaisenergiaa, sillä maakaasun palamistuotteena syntyy noin 12,3 painoprosenttia vesihöyryä. /9, s.7; 9, s.20./

Kuten jo edellä todettiin, maakaasu on huomattavasti vähempipäästöistä useimpiin muihin fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna. Suurin osa maakaasun

täydellisessä palamisessa syntyvistä savukaasuista on palamisprosessin läpi kulkeutunutta typpeä (n. 72,7 %). Vesihöyryn lisäksi kolmantena palamistuotteena on hiilidioksidi (n. 15 %). Tämä hiilidioksidipitoisuus vastaa päästökerrointa 55 g CO₂/MJ alemmalla lämpöarvolla. Vastaava arvo kevyelle polttoöljylle on noin 72 grammaa ja kivihiilelle noin 93,3 grammaa. /9, s.20./

Koska maakaasun tiheys on polttoöljyyn verrattuna huomattavasti pienempi, ei sen varastointi kiinteistöjen välittömään läheisyyteen ole öljyn tavoin mahdollista. Yksi litra kevyttä polttoöljyä vastaa energiasisällöltään noin 1000 litraa maakaasua, jolloin maakaasun energiatiheys öljyyn verrattuna on noin 0,001-kertainen. Taulukkoon 1 on koottu maakaasun sekä kevyen polttoöljyn lämpöarvot ja tiheydet. Tehollinen lämpöarvo tarkoittaa polttoaineen alemmaa lämpöarvoa, jossa ei oteta huomioon savukaasujen vesihöyrystä saatavaa lauhdelämpöä. /9, s.7./

Taulukko 1. Polttoaineiden lämpöarvoja /11, s.7/

| | | Maakaasu | Kevyt polttoöljy |
|----------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|
| Tiheys | | 0,72 kg/m ³ | 0,85 kg/dm ³ |
| Ylempi lämpöarvo | MJ/m ³ n | 39,8 | 44,6 |
| | MJ/kg | 55,3 | |
| Tehollinen lämpöarvo | MJ/m ³ n | 36 | 42,7 |
| | MJ/kg | 50 | |
| | kWh/kg | 13,9 | |
| | kWh/m ³ n | 10 | |

2.3.3 Mittaus

Maakaasun määramittaus perustuu mittarin läpi kulkevan kaasun tilavuusvirran mittaukseen ja mittausyksikkönä on kuutiometri (m³) /9, s.66/. Maakaasun mittaukseen on yleisesti käytössä kaksi menetelmää:

1. Suora mittaus, jossa tilavuusvirta mitataan siten, että mittarin sisällä olevaa tilaa täytetään ja tyhjennetään vuorotellen. Laskettujen täyttösykliä mukaan saadaan selville läpi menevä kaasun määrä. /9, s.67./
2. Epäsuora mittaus, jossa jotakin kaasun läpikulkuun vaikuttavaa fysikaalista suuretta mittaamalla saadaan laskettua kaasun määrä. Turbiinimittaus on tyypillinen esimerkki epäsuorasta

mittauksesta, jossa turbiinin pyörähdysten perusteella lasketaan turbiinin läpi kulkeneen kaasun määrä. /9, s.67./

Pientalojen kaasunmittauksessa käytetään hyvin yleisesti epäsuoraan mittaukseen perustuvia ultraäänimittareita, joissa mitataan äänen etenemistä kaasussa. Äänen etenemän perusteella voidaan laskea tilavuusvirta, kun tiedetään kaasun kulkuaukon läpileikkauksen profiili sekä ultraäänen kulkuominaisuudet väliaineessa. /9, s.67./

Maakaasumittauksen yhteydessä on hyvin usein käytössä myös jonkinlainen etäluentalaitteisto, jonka avulla kaasunmyyjä saa reaaliajassa tietoa kiinteistössä käytetyn kaasun määrästä. Laskutuksen helpottamisen lisäksi etäluennan avulla on mahdollistettu myös kaasunmyyjän tarjoama verkkopalvelu, josta kuluttaja pystyy tarkastelemaan oman kiinteistönsä kaasunkulutusta hyvin yksityiskohtaisesti, jopa tuntien tarkkuudella. Kaasumittarin sekä mahdollisen etäluentalaitteiston hankkimisesta ja asennuksesta vastaa aina verkonhaltija. /9, s.66–68./

3 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tässä osiossa kuvaillaan opinnäytetyössä käytetyt menetelmät sekä energianhintojen että lämpöpumppujärjestelmän energialaskennan osalta. Energialaskentaa varten on selvitetty myös laskentaperiaatteet rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskemiseksi. Lisäksi tässä osiossa käydään läpi mitoitusperusteet lämpöpumpun ja varaajan osalta.

3.1 Maakaasun hinnoittelu

Tässä opinnäytetyössä kaasun hinnoittelu on tehty 1.1.2021 voimaan tulleen Suomen kaasuenergia Oy:n Kotikulta-sopimuksen hinnoitteluperusteiden mukaisesti. Hinnasto on vapaasti saatavilla kaasunmyyjän palvelusta. Maakaasun hinnoittelu tapahtuu sen sisältämän energiasisällön perusteella ja lopullinen hinta ilmoitetaan yksikössä €/kWh. Maakaasua hinnoiteltaessa täytyy ottaa huomioon, että vuoden 2020 alusta on siirrytty hinnoittelussa soveltamaan maakaasun ylempää lämpöarvoa lämmityskäytössä. Ylemmän lämpöarvon omaava maakaasu on yksikköhinnaltaan pienempi, mutta kaasun energiasisältö puolestaan alhaisempi eli kaasua kuluu enemmän

laskutettavaan energiamäärään nähden. Kustannusvaikutukset lopullisiin lämmityskustannuksiin jäävät kuitenkin vähäisiksi muutoksen myötä. /10./

Maakaasun hinta muodostuu sekä kiinteistä että kulutukseen perustuvista kustannuksista. Kiinteitä kustannuksia (€/a) ovat kulutuksesta riippumattomat kustannukset, jotka pysyvät vakoina ilmoitetun laskutusjakson ajan. Kulutukseen perustuvat kustannukset (snt/kWh) ovat puolestaan vaihtuvia kustannuksia ja ne määräytyvät käytön mukaan. Vaihtuviin kustannuksiin lukeutuvan kaasun myynnin kulutusmaksu kerrotaan joka kuukausi indeksikertoimella. Kaasun myyntihintaan vaikuttava indeksikerroin koostuu raakaöljyn ja kivihiilen hintatekijöistä sekä kotimarkkinoiden perushintaindeksistä. /12./

Liitteeseen 1 on poimittu Suomen kaasuenergian palvelusta voimassa oleva hinnasto, josta nähdään Kotikulta-sopimuksen kiinteät sekä vaihtuvat kustannukset. Tämän hinnaston perusteella saadaan vuotuisiksi kiinteiksi kustannuksiksi 280,20 €/a (sis. alv 24 %), joka muodostuu tällä hetkellä pelkästään maakaasun siirron kiinteästä maksusta. Maakaasun myynnille on myös kiinteä maksu kohdassa *maakaasun myyntihinnat*, mutta kyseinen hinta on voimassa olevassa hinnastossa 0,00 €/a. Kulutukseen perustuvat kustannukset koostuvat puolestaan maakaasun myyntihinnan kulutusmaksusta, siirtohinnan kulutusmaksusta sekä veroista ja veroluonteisista maksuista. Liitteen 1 Kotikulta-sopimuksen vaihtuvat kustannukset ovat tällöin yhteenlaskettuna 8,06 snt/kWh (sis. alv 24 %) tammikuun ennustetulla laskutusedeksikertoimella laskettuna. /12./

3.2 Sähköenergian hinnoittelu

Sähköenergian kokonaishinta jakautuu sähkön myynnin, siirron ja sähköveron osuuksiin. Sähkön myyntihinta on kuluttajan kilpailutettavissa vapaasti markkinoilla olevien sähkön myyjien välillä. Tämä kilpailutettavissa oleva myyntihinta tarkoittaa käytännössä sulakekoon mukaan määräytyvää perusmaksua sekä käyttömaksua, joista sähköenergian tukkuhinta muodostuu. Sähkön siirron kustannukset koostuvat myös kiinteästä perusmaksusta sekä erillisestä käyttömaksusta. Sähkön siirtohinnat ovat

kiinteistön sijaintipaikkakunnan mukaan määräytyvän sähköyhtiön määrittämiä, eikä ne ole kuluttajan vapaasti kilpailutettavissa. /13; 14./

Sähköenergian hinta voidaan maakaasun hinnoittelun mukaisesti jakaa kulutuksesta riippumattomiin kiinteisiin kustannuksiin sekä kulutuksesta riippuviin kustannuksiin. Kiinteät kustannukset muodostuvat sähkön myynnin sekä siirron perusmaksuista. Vaihtuvat kustannukset koostuvat puolestaan sähkön myynnin ja siirron käyttömaksuista sekä sähköverosta. /13; 14./

Tässä opinnäytetyössä on käytetty case-kohteessa toistaiseksi voimassa olevan KSOY Perus -sähkö sopimuksen mukaista sähköenergian myyntihinnastoa, joka on saatavilla Kymenlaakson Sähkön verkkopalvelusta vapaasti.

Kuten jo edellä mainittiin, sähkön myyntihinnan perusmaksu määräytyy kiinteistön sähköliittymän sulakekoon mukaan. Case-kohteen sulakekoko (3x25A) vastaava perusmaksu on tällöin 3,03 €/kk. Sähkön myyntihinnan käyttömaksu on puolestaan 7,11 snt/kWh hinnaston mukaisesti. Kaikki tekstissä mainitut hinnat sisältävät arvonlisäveron 24 %. Sähkön siirto koostuu samoista hintatekijöistä kuin myyntihintakin. Siirtohinnasto on tullut voimaan 1.1.2021 ja se sisältää yleissähkön osalta sulakekohtaiset perusmaksut sekä käyttömaksun. Perusmaksu on tällöin käytössä olevan sulakekoon mukaisesti 20,22 €/kk ja käyttömaksu 2,41 snt/kWh. Siirtohinnaston lopussa mainittu sähkövero on myös osana kulutuksesta riippuvia kustannuksia ja se on luokan 1 mukaan 2,7937 snt/kWh. Yhteenlaskettuna tulee sähkön kiinteiksi kustannuksiksi 23,25 €/kk ja kulutuksesta riippuviksi kustannuksiksi 12,3137 snt/kWh. /13; 14./

Yllä olevat hinnat on laskettu KSOY Perus -sähkö sopimuksen hinnastosta kohdasta *yleissähkö*. Yleissähköllä tarkoitetaan sitä, että sähkön hinta on sama sekä yöllä että päivällä käytettynä. Yleissähkön sijaan on mahdollista tehdä sopimus niin sanotusta yösähköstä, jossa sähköenergian sekä siirron perusmaksut ovat yleissähköä korkeammat, mutta käyttömaksut sen sijaan matalammat. Sähkövero on kuitenkin sopimuksesta riippumaton eikä täten muutu. Yösähkö on suunnattu lähinnä sähkölämmityksen omaaville kiinteistöille, joissa sähkön kulutus on huomattavasti normaalia

kiinteistösähköä suurempi. Tällöin on oltava mahdollisuus siihen, että yöllä pystytään tuottamaan ja varaamaan koko rakennuksen vuorokautinen lämmitysenergia. Taulukoihin 2 ja 3 on koottu yö- ja yleissähkön hinnat KSOY Perus -hinnaston ja siirtohinnaston mukaisesti. /13; 14./

Taulukko 2. Yleissähkön kustannukset /13; 14/

| | Kiinteät kustannukset (€/kk) | Kulutuksesta riippuvat kustannukset (€/kWh) |
|--------------|------------------------------|---------------------------------------------|
| Perusmaksut | 23,25 | - |
| Käyttömaksut | - | 0,0952 |
| Vero | - | 0,027937 |

Taulukko 3. Yösähkön kustannukset /13; 14/

| | Kiinteät kustannukset (€/kk) | Kulutuksesta riippuvat kustannukset (€/kWh) |
|--------------|------------------------------|---------------------------------------------|
| Perusmaksut | 45,06 | - |
| Käyttömaksut | - | 0,0677 |
| Vero | - | 0,027973 |

Taulukossa 2 on koottuna yleissähkön kustannukset, joista kulutuksesta riippuvat kustannukset ovat voimassa kaikkina vuorokaudenaikoina. Taulukkoon 3 on puolestaan koottu yösähkön kustannukset, joista kulutuksesta riippuvat kustannukset ovat voimassa vain yöaikaan (klo 22.00–7.00). Päivisin käyttömaksut ovat hieman yöaikaa korkeammat. /14./

Yösähkön ja yleissähkön kustannuksista voidaan alla olevan menetelmän avulla tehdä hintavertailu. Vertailussa määritetään energiamäärä, jonka ylimentaessä on yö sähkö kustannuksellisesti halvempi vaihtoehto käytettäväksi. Tässä laskelmassa huomionarvoista on se, että yö sähköllä laskettaessa on lämmitys tapahduttava pelkästään yöaikaan, jolloin sähköenergian käyttömaksu on alhaisin. Hintavertailu aloitetaan laskemalla yhtälöllä 2 kustannukset sekä yö- että yleissähkölle tietyillä energiamäärillä vuodessa. Laskennassa käytetyt vuotuiset kokonaisenergiamäärät (Q_a) on haarukoitu vastaamaan sitä aluetta, jossa yö- ja yleissähkön kustannuksista muodostuneet kuvaajat leikkaavat toisensa. Tarkasteltaviksi energiamääriksi laskentaan valikoitui täten 0–12 000 kWh/a, jossa tarkasteluvälinä 1000 kWh/a.

$$C_a = C_f * 12 * Q_a * C_c \quad (2)$$

| | | | |
|-------|-------|-----------------------------------|-------|
| jossa | C_a | vuotuiset kustannukset | [€] |
| | C_f | kiinteät kustannukset | [€/a] |
| | Q_a | vuotuinen energiamäärä [kWh/a] | |
| | C_c | vaihtuvat kustannukset [€/kWh] | |

Seuraavaksi selvitetään kustannusten kehittymisestä kertovien kuvaajien kulmakertoimet saatujen vuotuisten kustannusten avulla. Kulmakertoimet lasketaan kaavalla 3, jossa tarkasteluvälinä on käytetty energiamäärien väliä 0–1000 kWh/a.

$$kk = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (3)$$

| | | | |
|-------|------------|-------------------------------------------|-------|
| jossa | kk | kulmakerroin | [-] |
| | Δy | vuotuisten kustannusten muutos | [€/a] |
| | Δx | vuotuisen energiamäärän muutos [kWh/a] | |

Saatujen kulmakertoimien avulla muodostetaan yhtälöt yleisiä yhtälön muodostamissääntöjä noudattaen. Saaduista yhtälöistä muodostetaan edelleen yhtälöpari ja sen avulla ratkaistaan kuvaajien leikkauspiste, jossa yösähkön ja yleissähkön vuotuinen energiamäärä sekä kustannukset ovat yhtä suuret.

3.3 Lämmitysenergian ja -tehontarpeen laskenta

Energiahintojen selvityksen jälkeen määritetään rakennuksen lämmitystehontarve sekä lämmitysenergiankulutus maakaasun kulutusseurantatietojen perusteella. Kulutusseurantatiedot ovat kiinteistön omistajan henkilökohtaista tietoa, jotka ovat saatavilla vain rekisteröitymällä Suomen Kaasuenergian SKFlow-palveluun voimassa olevan tilausnumeron perusteella. Kulutusseurantapalvelusta nähdään kaasuenergian kulutustiedot vuoden 2017 alusta alkaen, jolloin lämmityskaasun myynti on siirtynyt Gasum

Oy:ltä Suomen Kaasuenergia Oy:lle. Palvelusta voidaan seurata kaasun kulutusta vuositasona aina päivä- ja tuntikohtaisiin kulutuksiin asti. Mahdolliset tarkastelujaksot ovat tällöin päivä, viikko, kuukausi tai vuosi.

Lämmitysenergian kokonaiskulutus vuositasolla saadaan seurantapalvelun tietojen perusteella laskemalla tarkasteltavan ajanjakson kuukausittaiset energiankulutukset yhteen. Saatu energiankulutus on tällöin tarkasteltavan ajanjakson kaasuenergian energiasisältö, joka on käytetty rakennuksen tilojen ja käyttöveden lämmittämiseen sekä kattamaan näistä aiheutuneet lämpöhäviöt.

3.3.1 Käyttövesi

Vuotuinen kaasuenergian sisältämä energiamäärä jaetaan kattamaan sekä tilojen lämmitykseen kuluva energia että käyttöveden lämmitykseen kuluva energia. Tämä ositus tehdään laskemalla vuotuinen lämpimän käyttöveden kulutus kertomalla kokonaisvedenkulutus arvioidulla lämpimän käyttöveden kulutusprosentilla. Lämpimän käyttöveden kulutusprosentti vaihtelee kiinteistön käyttötarkoituksen mukaan ja asuinkiinteistöissä voidaan laskea sen olevan noin 40 % kokonaisvedenkulutuksesta /15/. Lämpimän käyttöveden kulutus on mahdollista laskea myös rakennuksen pinta-alaan perustuvien tietojen mukaan, mutta kulutusprosentin mukaan laskettu kulutus vastaa paremmin todellisuutta siinä tilanteessa, että pinta-alaltaan suuressa talossa asuu keskimääräistä vähemmän ihmisiä tai päinvastoin. Tämän vuoksi laskennoissa on päädytty prosentuaaliseen osuuteen kokonaisvedenkulutuksesta. Lämpimän käyttöveden kulutus kokonaisvedenkulutuksesta lasketaan yhtälöllä 4.

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

| | | | |
|-------|-----------|------------------------------|-------------------|
| jossa | V_{lkv} | lämpimän käyttöveden kulutus | [m ³] |
| | V_{kok} | käyttöveden kokonaiskulutus | [m ³] |

Käyttöveden lämmittämiseen kuluva energia lasketaan yhtälöllä 5 taulukon 4 mukaisia arvoja käyttäen. Taulukon arvot on poimittu Motivan laskentaohjeesta lukuun ottamatta lämmitetyn käyttöveden lämpötilaa, joka on

todellinen arvo case-kohteen laskenta huomioiden. Jakaja 3600 on yksikkömuunnoskerroin, jolla muutetaan saatu tulos yksiköstä kJ yksikköön kWh.

$$Q_{lkv} = \frac{\rho * C_p * V_{lkv} * (t_1 - t_2)}{3600} \quad (5)$$

| | | | |
|-------|-----------|-------------------------------------------|----------------------|
| jossa | Q_{lkv} | käyttöveden lämmittämiseen kuluva energia | [kWh] |
| | ρ | veden tiheys | [kg/m ³] |
| | C_p | veden ominaislämpökapasiteetti | [kJ/kgK] |
| | t_1 | lämmitetyn veden lämpötila | [°C] |
| | t_2 | lämmitettävän veden lämpötila | [°C] |

Taulukko 4. Lämpimän käyttöveden laskenta-arvot /15/

| | |
|--------------------------------|------------------------|
| Veden tiheys | 1000 kg/m ³ |
| Veden ominaislämpökapasiteetti | 4,2 kJ/kgK |
| Lämmitetyn veden lämpötila | 60 °C |
| Lämmitettävän veden lämpötila | 5 °C |

Energiankulutuksen lisäksi myös käyttöveden lämmitykseen käytettävä teho on selvitettävä, jotta voidaan laskea rakennuksen lämmitystehontarve, joka kattaa sekä tilojen lämmityksen että käyttöveden osuuden. Käyttöveden lämmitykseen käytettävä jatkuva teho lasketaan yhtälöllä 6 olettaen, että lämpimän käyttöveden kulutus on sen verran tasaista, että tehontarve voidaan jakaa tasaisesti kaikille vuoden tunneille. Vesikiertoisessa järjestelmässä tämä edellyttää käytännössä riittävän suurta varaajaa, josta tarvittava energia lämpimän käyttöveden lämmitykseen voidaan ottaa häiritsemättä lämmityksen menoveden lämpötilaa huippukuorma-aikana.

$$\Phi_{lkv} = \frac{Q_{lkv}}{24 * 356} \quad (6)$$

| | | | |
|-------|--------------|----------------------------------------------------|------|
| jossa | Φ_{lkv} | käyttöveden lämmittämiseen tarvittava jatkuva teho | [kW] |
|-------|--------------|----------------------------------------------------|------|

3.3.2 Lämmitys

Tilojen lämmitykseen käytetty energia selvitetään vähentämällä kokonaisenergiankulutuksesta lämpimän käyttöveden osuus tarkastelujakson ajalta. Ennen vähennyslaskutoimitusta täytyy kaasun energian kokonaiskulutus kertoa lämmityskattilan vuosihyötysuhteella, jotta kaasun energiasisällön avulla saadaan selville rakennuksen todellinen kokonaisenergiankulutus. Tilojen lämmityksen energiankulutus lasketaan yhtälöllä 7.

$$Q_{tilat} = (Q_{kok} * \eta_{LK}) - Q_{lkv} \quad (7)$$

| | | |
|-------|-------------|------------------------------------------------|
| jossa | Q_{tilat} | tilojen lämmitykseen käytetty energia [kWh] |
| | Q_{kok} | lämmityksen kokonaisenergiankulutus [kWh] |
| | η_{LK} | lämmityskattilan vuosihyötysuhde [-] |

Rakennukselle on lämpöpumpun mitoitus teknisistä syistä laskettava myös lämmitystehontarve mitoitusulkolämpötilassa. Lämmitystehontarpeen laskentaan on käytössä kaksi yleisesti käytettyä tapaa, joista ehdottomasti käytetyin tapa on laskea rakennuksen eri rakenteille lämpöhäviöt yksityiskohtaisesti rakennusaikakauden ohjearvojen mukaisesti. Tätä tapaa ei tässä työssä kuitenkaan käytetä, koska kyseinen menetelmä on suhteellisen työläs toteutettavaksi jo olemassa olevalle rakennukselle, eikä se vastaa tämän opinnäytetyön tarkoitusta.

Sen sijaan tässä työssä on käytetty lämmitystehontarpeen selvittämiseksi rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen perustuvaa menetelmää, jossa hyödynnetään energiankulutuksen lisäksi paikkakunnan mitoitusulkolämpötilaa sekä tarkasteltavan jakson lämmitystarvelukua eli astepäivälukua. Astepäiväluku on vaihtuva lukuarvo, joka kertoo sen, kuinka paljon tarkasteltavalla paikkakunnalla on lämmitystarvetta ilmoitetun tarkastelujakson aikana. Astepäiväluvut määritetään vuosittain vain 16:lle Suomen vertailupaikkakunnalle. Näiden vertailupaikkakuntien avulla saadaan selvitettyä vuotuinen astepäiväluku kaikilla Suomen paikkakunnilla jakamalla kullekin kunnalle erikseen määritetyn vertailupaikkakunnan astepäiväluku

kuntakohtaisella korjauskertoimella. Nämä korjauskertoimet sekä vertailupaikkakuntien astepäiväluvut ovat saatavissa ilmatieteenlaitoksen verkkopalvelusta vapaasti. /11; 17, s.74./

Liitteeseen 2 on poimittu julkaisusta K1/2013 *Kaukolämmityksen määräykset ja ohjeet* yhtälö, jolla rakennuksen huipputehontarve saadaan laskettua kokonaisenergiankulutuksen perusteella. Tässä yhtälössä tilojen lämmitykseen sekä käyttöveden lämmitykseen käytetyt energiamäärät on erotettu toisistaan, koska käyttöveden lämmitykseen käytetty energia ei vaihtelee ulkolämpötilan mukaan vaan pysyy vakiona riippumatta vallitsevista lämpötiloista. Rakennuksen huipputehon laskemiseksi on tuohon yhtälöön lisättävä kuitenkin vielä käyttöveden lämmitykseen tarvittava jatkuva teho, sillä yhtälöstä tuloksena saatu arvo vastaa ainoastaan tilojen osuutta lämmitystehontarpeesta. Rakennuksen kokonaislämmitystehontarve lasketaan tällöin yhtälön 8 mukaisesti. /17./

$$\Phi_{mit} = \frac{(Q_{kok} - Q_{lkv}) * (17^{\circ}C - t_u)}{24 * S * k} \quad (8)$$

| | | | |
|-------|--------------|-------------------------------------------------------------|-------|
| jossa | Φ_{mit} | kokonaislämmitystehontarve | [kW] |
| | Q_{lkv} | käyttöveden lämmittämiseen kulunut energia tarkasteluaikana | [kWh] |
| | t_u | mitoitusulkolämpötila | [°C] |
| | S | vertailupaikkakunnan astepäiväiluku | [°Cd] |
| | k | paikkakuntakohtainen korjauskerroin | [-] |

3.3.3 Kulutuksen normitus

Energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen selvityksen jälkeen tilojen lämmitykseen käytetty kokonaisenergia normitetaan vastaamaan normaalivuoden energiankulutusta. Energiankulutuksen normituksella/normeerauksella tarkoitetaan rakennuksen vuotuisen tilojen lämmitykseen käytetyn kokonaisenergian muuttamista lämmitystarvelukujen avulla normaalivuoden energiankulutukseksi, jolloin normitetulla energiankulutuksella päästään lähelle rakennuksen keskimääräistä energiankulutusta pitkällä aikavälillä. Kulutuksen normitus tehdään ainoastaan tilojen lämmitykseen käytettyyn kokonaisenergiaan, koska ulkolämpötilojen

muutokset eivät vaikuta käyttöveden lämmitykseen. Normituksen jälkeen on rakennuksen energiankulutus vertailukelpoinen eri kuukausien ja vuosien kesken. /18, s.1–2./ Tässä työssä normitettua energiankulutusta tullaan käyttämään myös laskelmissa rakennuksen vuotuisena energiankulutuksena lisättynä käyttöveden lämmitykseen kulutettuun energiaan. Normitettua energiankulutusta käytettäessä voidaan tehdä luotettavia pitkän aikavälin laskelmia yksittäisten vuosien poikkeavista ulkolämpötiloista energiankulutuksista huolimatta.

Rakennuksen normitettu kokonaisenergiankulutus lasketaan yhtälöllä 9. Yhtälössä käytetyt lämmitystarveluvut sekä normaalivuodelle että toteutuneelle kulutukselle eri vertailupaikkakunnilla löytyvät Ilmatieteenlaitoksen verkkopalvelusta. Normaalivuoden tai -kuukauden lämmitystarveluvut ovat tilastollisia keskiarvoja vuosien 1981–2010 keskimääräisistä lämmitystarveluvuista eri vertailupaikkakunnilla. Yhtälöön 9 valitaan rakennuksen sijaintipaikkakunnan mukaan määritellyn vertailupaikkakunnan lämmitystarveluvut, jotka jaetaan sijaintipaikkakunnalle erikseen määritetyllä kertoimella. Kertoimella jaetaan, koska vertailupaikkakunnan lämmitystarveluvut poikkeavat aina hiukan tarkasteltavan paikkakunnan arvoista ja tällöin kertoimella jakamalla saadaan vertailtavan paikkakunnan lämmitystarvelukuja muutettua vastaamaan sijaintipaikkakunnan todellisia arvoja. Rakennuksen sijaitessa juuri vertailupaikkakunnalla voidaan kyseisiä lämmitystarvelukuja käyttää sellaisenaan ilman kertoimia. /16; 18./

$$Q_{norm} = \frac{S_{N\ vpkunta}/K_{spkunta}}{S_{toteutunut\ vpkunta}/K_{spkunta}} * (Q_{kok} - Q_{lkv}) + Q_{lkv} \quad (9)$$

| | | | |
|-------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------|
| jossa | Q_{norm} | normitettu kokonaisenergiankulutus | [kWh] |
| | $S_{N\ vpkunta}$ | normaali vuoden tai kuukauden lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla | [°Cd] |
| | $K_{spkunta}$ | sijaintipaikkakunnan korjauskerroin | [-] |
| | $S_{toteutunut\ vpkunta}$ | toteutunut lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla | [°Cd] |

3.4 Lämpöpumppujärjestelmän energialaskenta

Lämpöpumpun tehomitoituksen jälkeen lämmitysjärjestelmän vuotuinen ostoenergiankulutus selvitetään lämpöpumppujen energialaskentaoppaan mukaisilla menetelmillä. Laskennassa käytetään lämpöpumpun tehona valitun ilma-vesilämpöpumpun nimellistehoa, rakennuksen kokonaisenergiankulutuksena normeerattua energiankulutusta yhdistettynä käyttöveden lämmitykseen käytettyyn energiaan sekä laskettua lämmitystehontarvetta mitoitusulkolämpötilassa. /7./

Lämpöpumppujärjestelmän energiakulutuksen selvitys aloitetaan lämpöpumpun suhteellisen lämpöenergian ($Q_{lp}/Q_{lämmitys, tilat, lkv}$) määrittämisellä. Suhteellinen lämpöenergia kertoo, kuinka paljon rakennuksen kokonaisenergiankulutuksesta voidaan kattaa lämpöpumpun avulla. Suhteellinen lämpöenergia saadaan laskentaohjeen liitteen taulukosta 2 selvittämällä lämpöpumpun suhteellinen lämpöteho sekä tilojen lämmitys- ja käyttövesienergioiden suhde. Suhteellinen lämpöteho puolestaan määrittää sen, kuinka suuri osa rakennuksen huipputehontarpeesta katetaan

lämpöpumpulla. Laskentaohjeen taulukosta 2 nähdään, että ulkoilmalämpöpumpun mahdollinen tehosuhte rakennuksen lämmitystehontarpeeseen nähden on tämän laskentaohjeen avulla mahdollista laskea väliltä 0,3...1,0. Tämän tehosuhteen laskennassa on käytettävä valitun lämpöpumpun nimellistehoa valitussa toimintapisteessä (T_{ulko}/T_{meno}). Tehosuhteen selvityksen jälkeen on laskettava lämmitys- ja käyttövesienergioiden suhde tarkasteltavalla ajanjaksolla. Tämä laskenta-arvo saadaan jakamalla lämmitykseen käytetty energiamäärä käyttöveden lämmitykseen käytetyllä energiamäärällä. Tämän jälkeen laskentaohjeen taulukosta 2 nähdään lämpöpumpun tuottama lämpöenergia suhteessa rakennuksen kokonaislämmitysenergiaan. Tarvittava arvo saadaan, kun tiedetään säävyöhyke sekä lämmityksen menoveden lämpötila mitoitusulkolämpötilassa. /7, s.6–8./

Todellisten arvojen ollessa taulukkoarvojen ulkopuolella, voidaan laskennoissa käyttää taulukon korkeinta tai alinta laskenta-arvoa /19/. Tämä koskee tilannetta, jossa esimerkiksi lämmitys- ja käyttövesienergioiden suhde ylittää arvon 4 (tai alittaa arvon 0,5). Tilanne tarkoittaa käytännössä sitä, että käyttöveden lämmitykseen käytetty energiamäärä verrattuna tilojen lämmitykseen käytettyyn energiaan jää keskivertoa pienemmäksi. Tällainen tilanne muodostuu silloin, kun suuressa asuinrakennuksessa asuu pinta-alaan suhteutettuna keskimääräistä vähemmän ihmisiä.

Laskenta alkaa tilojen ja käyttöveden lisälämmitykseen käytettävien energiamäärien selvityksellä. Nämä kertovat kuinka suuri osa rakennuksen kokonaisenergiankulutuksesta täytyy kattaa jollakin ulkopuolisella lisälämmitysmuodolla. Lisälämmitykseen käytetyt energiamäärät lämmityksen- ja käyttöveden energiankulutuksen osalta saadaan laskettua yhtälöjen 10 ja 11 avulla. /7, s.9./

$$Q_{u,tilat} = \left(1 - \frac{Q_{lp}}{Q_{lämmitys,tilat,lkv}}\right) * Q_{tilat} \quad (10)$$

jossa $Q_{u,tilat}$ tilojen lisälämmitykseen käytetty energia [kWh]

$$Q_{u,lkv} = \left(1 - \frac{Q_{lp}}{Q_{lämmitys,tilat,lkv}}\right) * Q_{lkv} \quad (11)$$

jossa $Q_{u,lkv}$ lämpimän käyttöveden lisälämmitykseen käytetty energia [kWh]

Seuraavaksi lasketaan lämpöpumpulla tuotettu energia sekä tilojen lämmityksessä että käyttöveden lämmityksessä. Nämä saadaan laskettua yhtälöillä 12 ja 13.

$$Q_{LP,tilat} = Q_{tilat} - Q_{u,tilat} \quad (12)$$

jossa $Q_{LP,tilat}$ tilojen lämmitykseen käytetty energia [kWh]

$$Q_{LP,lkv} = Q_{lkv} - Q_{u,lkv} \quad (13)$$

jossa $Q_{LP,lkv}$ lämpimän käyttöveden lämmitykseen käytetty energia [kWh]

Viimeiseksi lasketaan lämpöpumpun ostoenergiankulutus, kun tiedetään lämpöpumpulla tuotettu lämpöenergia rakennuksen kokonaisenergiankulutuksesta. Ostoenergiankulutus lasketaan lämpöpumpun SPF-lukua hyödyntäen, joka on määritelty sekä tilojen lämmitykselle että

käyttövedelle erikseen. Laskennassa käytetään ensisijaisesti valitun laitevalmistajan ilmoittamia SPF-lukuja, mutta niiden puuttuessa voidaan käyttää taulukon 5 arvoja säävyöhykkeen mukaisesti. Ostoenergiankulutus lasketaan kaavalla 14. /7, s.10–11./

$$W_{LP} = \frac{Q_{LP,tilat}}{SPF_{tilat}} + \frac{Q_{LP,lkv}}{SPF_{lkv}} \quad (14)$$

| | | | |
|-------|---------------|-------------------------------------------|-------|
| jossa | W_{LP} | lämpöpumpun ostoenergiankulutus | [kWh] |
| | SPF_{tilat} | tilojen lämmityksen SPF-luku | [-] |
| | SPF_{lkv} | lämpimän käyttöveden lämmityksen SPF-luku | [-] |

Taulukko 5. Ulkoilmalämpöpumppujen SPF-lukuja /7, s.11/

| Ulkoilmalämpöpumput max. lämpötila (menovesi), °C | SPF-luku | | |
|------------------------------------------------------|---------------|-----|-----|
| | Säävyöhykkeet | | |
| | I-II | III | IV |
| Ilma-ilma | 2,8 | 2,8 | 2,7 |
| Ilma-vesi (tilojen lämmitys) | | | |
| 30 | 2,8 | 2,8 | 2,7 |
| 40 | 2,5 | 2,5 | 2,4 |
| 50 | 2,3 | 2,3 | 2,2 |
| 60 | 2,2 | 2,1 | 2,0 |
| Ilma-vesi (käyttöveden lämmitys) | | | |
| 60 | 1,8 | 1,6 | 1,3 |

3.5 Varaajan mitoitus

Vesikiertoisen lämmitysjärjestelmän toiminnan kannalta on olennaista, että järjestelmä pitää sisällään jonkinlaisen varaajan/lämpöakun, johon lämmitysenergiaa varastoidaan. Pientalojen lämpöpumppujärjestelmissä varaajan tilavuus määritetään lähes aina käyttöveden kulutuksen mukaan, koska käyttöveden lämmittämiseen tarvittava hetkellinen teho on moninkertainen lämpöpumpun nimellistehoon verrattuna. Tilojen lämmityksessä hetkellisiä tehopiikkejä ei juuri esiinny, vaan tarvittava teho määräytyy suoraan ulkoilman lämpötilan mukaan.

Käyttövesivaraajan koko määräytyy rakennuksen tai kiinteistön asukasmäärän mukaan. Käyttövesivaraajan koko on suotavaa mitoittaa mieluiten hieman liian suureksi, sillä päivittäin vaihteleva käyttöveden kulutushuippu saattaa toisinaan ajoittua hyvin lyhyelle aikavälille, jolloin kapasiteettia on oltava riittävästi. Asuinrakennuksissa suurimman kulutushuipun aiheuttaa tyypillisesti iltapäivään tai iltaan ajoittuva peseytyminen. Tuolloin lähes koko päivän lämpimän käyttöveden kulutus saattaa ajoittua vain tunnin mittaiselle jaksolle. Sopiva varaajatilavuus on noin 75–100 litraa/henkilö, jolloin käyttövesivaraajan koko nelihenkisessä taloudessa vaihtelee välillä 300–400 litraa. /20./

Käyttövesivaraajan oikea tilavuus riippuu pitkälti lämpimän käyttöveden kulutuksesta. Kulutuksen ollessa hetkittäistä, on varaajan varauskapasiteetti oltava huomattavasti suurempi kuin tilanteessa, jossa kulutus on tasaista. Asuinrakennuksissa lämpimän käyttöveden kulutukselle on kuitenkin

ominaista suuret kulutushuiput, jolloin varaaja on tarpeen mitoittaa vastaamaan suurinta mahdollista tarvetta. Tällöin tavanomaisissa kulutustilanteissa lämmin käyttövesi ei pääse loppumaan.

4 CASE-KOHDE

Opinnäytetyön keskeisenä osana on tapaustutkimus, jossa case-rakennuksen avulla tutkitaan käytännönarvoja soveltaen, kuinka kannattava sijoitus ilma-vesilämpöpumppu on osana maakaasulämmitteistä pientaloa.

Esimerkkikohteena käytetään vuonna 1991 valmistunutta kolmekerroksista omakotitaloa, jossa asuu tällä hetkellä kaksi henkilöä. Rakennus on puurunkoinen ja asuinpinta-alaa on noin 210 m². Kerroksessa 1 sijaitsevat kellari ja varastotilat. Kerroksessa 2 on autotalli, asuintiloja sekä tekninen tila. Kerroksessa 3 on lisää asuin- sekä varastotiloja.

Case-rakennus sijaitsee Kotkan talousalueella, jolloin tarkasteltavat laskenta-arvot määräytyvät säävyöhykkeen 2 mukaan. Lämmitysenergian normeerauksessa ja tehontarvelaskelmissa käytetyt arvot löytyvät suoraan Ilmatieteenlaitoksen sivuilta, ja ne on poimittu taulukkoon 6.

Taulukko 6. Kotkan laskenta-arvot /16/

| | |
|---------------------------------------------------------|--------------------------|
| Tarkasteltava kunta | Kotka |
| Vertailupaikkakunta | Helsinki-Vantaa (Vantaa) |
| Normaalivuoden lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla | 4097 |
| Kuntakohtainen korjauskerroin | 0,97 |
| Vertailupaikkakunnan lämmitystarveluku vuonna 2020 | 3148 |
| Mitoitusulkolämpötila | -29 °C |

4.1 Tekniikan kuvaus

Case-kohteessa on tällä hetkellä käytössä maakaasulämmiteinen vesikeskuslämmitys toimintalämpötiloilla 60/30. Lämmitysjärjestelmä on saneerattu vuoden 2019 elokuussa. Saneerauksessa uusittiin vanha lämmityskattila sekä lämmönjakohuoneen kaikki putkistot ja putkistovarusteet. Samalla uusittiin rakennuksen kaikki patteriventtiilit ja termostaatit. Lämmönjako rakennuksessa tapahtuu pääasiassa radiaattoreilla, lukuun ottamatta pesuhuoneen sekä toisen kerroksen WC:n lattialämmitystä.

Uusi kattila on malliltaan Jäspi ECO 17 (kuva 6), jonka vuosihyötysuhde on oikein säädettyinä noin 93 % /21/. Uuden kattilan nimellisteho on 17 kW ja se on varustettu 6 kW sähkövastuksella. Vesitilavuus on valmistajan ilmoittama 180 litraa. /22./ Kattilaan on liitetty Oilon Junior Gas G25 -maakaasupoltin, jonka tehoalue on 12–25 kW. Polttimen ottoteho on 140 W ja syöttöjännite 230 V. /23./



Kuva 6. Case-kohteen maakaasupoltin ja lämmityskattila

Maakaasun käyttökustannuksissa otetaan huomioon perusmaksujen sekä käyttömaksujen lisäksi myös maakaasupolttimen sähköenergiankulutus, joka on suoraan osana lämmityskustannuksia. Lämmitysjärjestelmässä sijaitsevan toisiopuolen kiertovesipumpun sähköenergiankulutusta ei oteta näissä laskelmissa huomioon, koska kiertovesipumppu on päällä jatkuvasti riippumatta lämmönlähteestä. Ilma-vesilämpöpumpun ensiöpiirin kiertovesipumppu puolestaan on osana lämpöpumpun käyttökustannuksia, jolloin sen sähkönkulutus huomioidaan laskelmissa.

Maakaasupolttimen sähkönkulutus voidaan laskea jakamalla kaasupolttimen ottoteho kattilan teholla, jolloin saadaan suhdeluku, joka kertoo polttimen sähkönkulutuksen yhtä tuotettua lämpöyksikköä kohti. Saadulla suhdeluvulla kerrotaan maakaasulla tuotettu energiamäärä, jolloin saadaan tulokseksi polttimen ostoenergiankulutus tuotetulla energiamäärällä. Laskelmissa käytetty lämmityksen kokonaisenergiamäärä on oltava maakaasulla tuotetun lämpöenergian normitettu nettotarve lisättynä käyttöveden lämmittämiseen käytettyyn energiaan, jotta tulos vastaa todellista lämpöhäviöiden mukaista energiamäärää.

4.2 Lämpöpumpun ja varaajan mitoitus

Ilma-vesilämpöpumppu

Tässä opinnäytetyössä lämpöpumpun mitoitus esimerkkikohteeseen tehdään osatehomitoituksena. Osatehomitoitettu lämpöpumppu pystyy tällöin kattamaan rakennuksen kokonaisenergiantarpeen tehomitoituspisteessä ja sitä korkeammissa ulkoilman lämpötiloissa. Case-kohteen osalta osatehomitoitus tehdään mitoittamalla lämpöpumppu rakennuksen lämmitystehontarpeen mukaan ulkolämpötilassa -5 °C. Tällöin lämpöpumppu pystyy kattamaan kyseisessä lämpötilassa rakennuksen lämpöhäviöt sekä käyttöveden lämmityksen. Tätä mitoitusperiaatetta käytetään, jotta voidaan laskea lämpöpumpun ostoenergiankulutus sekä lisälämmitystehontarve kappaleen 3.4 mukaista menetelmää käyttäen.

Ilma-vesilämpöpumpun nimellistehon nostaminen suhteessa rakennuksen lämmitystehontarpeeseen on tarpeetonta, sillä laitteiston investointikustannukset nousevat nopeasti kohtuuttoman suuriksi. Suuremman nimellistehon omaavalla lämpöpumpulla ei kuitenkaan voida tuottaa merkittävästi suurempaa osaa vuotuisesta lämmitysenergiasta, sillä ulkoilmalämpöpumppujen hyötysuhde heikkenee merkittävästi lähestyttäessä mitoitusulkolämpötilaa. Nimellisteholtaan liian pieni lämpöpumppu saattaa toisaalta aiheuttaa ongelmia laitteiston kestävyys ja tarvittavan tehontuoton kanssa /24/.

Varaaja

Case-rakennuksen lämmitysjärjestelmän vesitilavuus maakaasukäytössä on arviolta noin 250 litraa, josta kattilan tilavuus on edellä mainittu 180 litraa. Tämä varaajatilavuus on riittänyt käyttöveden osalta neljän henkilön tarpeisiin käytön tuomalla kokemuksella. Lämpöpumppujärjestelmän lisäys ei itsessään vaikuta varaajan kokoon, mutta lämpimän käyttöveden turvaamiseksi sekä kytkennän (kappale 4.6) vuoksi on lämpöpumpulle oltava oma varaaja. Käyttöveden riittävän saannin turvaamiseksi on varaajatilavuutta hyvä olla yhteensä noin 300–400 litraa. Tämä tarkoittaa, että olemassa olevan kattilatilavuuden lisäksi täytyy lämpöpumpun varaajassa olla tilavuutta vähintään 120–220 litraa. Varauskapasiteetin ylittäminen ei yleensä aiheuta ongelmia laitteiston toiminnan kannalta, pikemminkin päinvastoin. Toisaalta liian pieni varaajatilavuus ilmenee nopeasti lämpimän käyttöveden maksimilämpötilan romahtamisena pitkän käyttöjakson aikana.

4.3 Lämmitysenergia ja -tehontarve

Liitteessä 3 on havainnollistettu tammikuun 2020 kulutustietoja ja SKflow-palvelun näkymää. Valitun tarkastelujakson jälkeen saadaan näkymä, jossa näkyy tarkasteltavan jakson kokonaiskaasunkulutus sekä ajanjakson keskilämpötila. Näiden tietojen lisäksi seurantapalvelu piirtää kuvaajan, josta ilmenee päiväkohtaiset kulutustiedot kuukausittaisella sekä viikoittaisella tarkastelujaksolla. Vuosittaisella tarkastelujaksolla saadaan näkyviin kuukausittaiset kulutustiedot ja päivän mittaisella jaksolla palvelu näyttää tuntikohtaiset kulutustiedot palkkikaavion muodossa. Viemällä osoitin halutun palkin päälle saadaan selville kyseisen ajanjakson tarkka kaasun kulutus numeerisesti ilmaistuna.

Tarkasteltavaksi ajanjaksoksi tässä opinnäytetyössä on otettu yhden vuoden mittainen jakso (1.1.2020–31.12.2020). Tämä ajanjakso valikoitui tarkasteltavaksi siitä syystä, että kesällä 2019 tehtyjen saneerausten myötä voidaan käyttää uuden kattilan vuosihyötysuhdetta hyväksi laskelmissa. Vanhasta kattilasta ei ole enää mitään tietoja saatavilla, joten hyötysuhteen ja kattilatilavuuden arvioiminen johtaisi mahdollisesti virheellisiin tuloksiin. Vuotuinen kokonaisenergiankulutus saadaan laskemalla yhteen edellä

mainitun ajanjakson kuukausittaiset energiankulutukset. Taulukkoon 7 on koottu tarkasteltavan ajanjakson kuukausikohtaiset kulutustiedot kahden desimaalin tarkkuudella.

Taulukko 7. Kuukausittaiset maakaasun kulutustiedot /25/

| Ajanjakso | Kulutus MWh |
|-------------|-------------|
| tammi.2020 | 3,34 |
| helmi.2020 | 3,26 |
| maalis.2020 | 3,06 |
| huhti.2020 | 1,94 |
| touko.2020 | 0,77 |
| kesä.2020 | 0,18 |
| heinä.2020 | 0,01 |
| elo.2020 | 0,16 |
| syys.2020 | 0,23 |
| loka.2020 | 0,79 |
| marras.2020 | 1,82 |
| joulu.2020 | 2,65 |

4.3.1 Käyttövesi

Käyttöveden kulutustiedot vuosien 2016–2019 ajalta on saatu Kymen vesi Oy:n kulutusseurantatiedoista. Vesilaitoksella ei ole erikseen kuluttajille suunnattua kulutusseurantapalvelua verkossa, mutta luettujen mittaritietojen mukaan on kulutuksen historiatiedot saatavilla halutulla aikavälillä veloitukselta. Kuvan 7 taulukko on saatu vesilaitoksen laskutusosastolta ja siitä on luettavissa veden kulutus merkittyjen ajanjaksojen ajalta.

| Luentapäivä | Lukema | Ymp | Tila | Jakso | Consumpti | Suuryhmä | Yksikkö | Ennuste |
|------------------|--------|--------------------------|---------|-------|-----------|-----------|---------|---------|
| 15.09.2020 00:00 | ! | <input type="checkbox"/> | Mitattu | 307 | | CLEARWATE | m3 | 47 |
| 12.11.2019 00:00 | 00400 | <input type="checkbox"/> | Mitattu | 398 | 51 | CLEARWATE | m3 | 47 |
| 10.10.2018 00:00 | 00349 | <input type="checkbox"/> | Mitattu | 333 | 55 | CLEARWATE | m3 | 60 |
| 10.11.2017 00:00 | 00294 | <input type="checkbox"/> | Mitattu | 366 | 61 | CLEARWATE | m3 | 61 |
| 09.11.2016 00:00 | 00233 | <input type="checkbox"/> | Mitattu | 365 | 47 | CLEARWATE | m3 | 47 |

Kuva 7. Käyttöveden kulutusseurantatiedot /26/

Käyttöveden kokonaiskulutus on laskettu kulutusseurantatiedoista saatujen toteutuneiden kulutuslukemien keskiarvona (2016–2019). Näin on saatu minimoitua yksittäisten vuosien aiheuttamat keskiarvopoikkeamat.

Laskenta aloitetaan selvittämällä kokonaisvedenkulutuksesta lämpimän käyttöveden osuus kaavalla 4.

$$V_{lkv} = 0,4 * \frac{(51 + 55 + 61 + 47)m^3}{4} = 21,4 m^3/a$$

Kaavan 5 mukaan on laskettu taulukon 4 mukaisia arvoja käyttäen lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kuluva energia.

$$Q_{lkv} = \frac{1000 \frac{kg}{m^3} * 4,2 \frac{kJ}{kgK} * 21,4 m^3 * (60 - 5)^{\circ}C}{3600} = 1373,2 kWh$$

Kaavalla 6 on laskettu lämpimän käyttöveden lämmittämiseen tarvittava teho jaettuna tasaisesti vuoden kaikille tunneille.

$$\Phi_{lkv} = \frac{1373,2 kWh}{24 * 356} = 0,161 kWh = 161 Wh$$

4.3.2 Lämmitys

Tilojen lämmitykseen käytetty nettoenergiankulutus lasketaan kaavalla 7. Lämpöhäviöitä vastaava tilojen kokonaislämmitysenergia vuonna 2020 saadaan kertomalla taulukon 7 yhteenlasketut kulutuslukemat kattilan hyötysuhteella ja edelleen vähentämällä lämpimän käyttöveden lämmittämiseen käytetty energia.

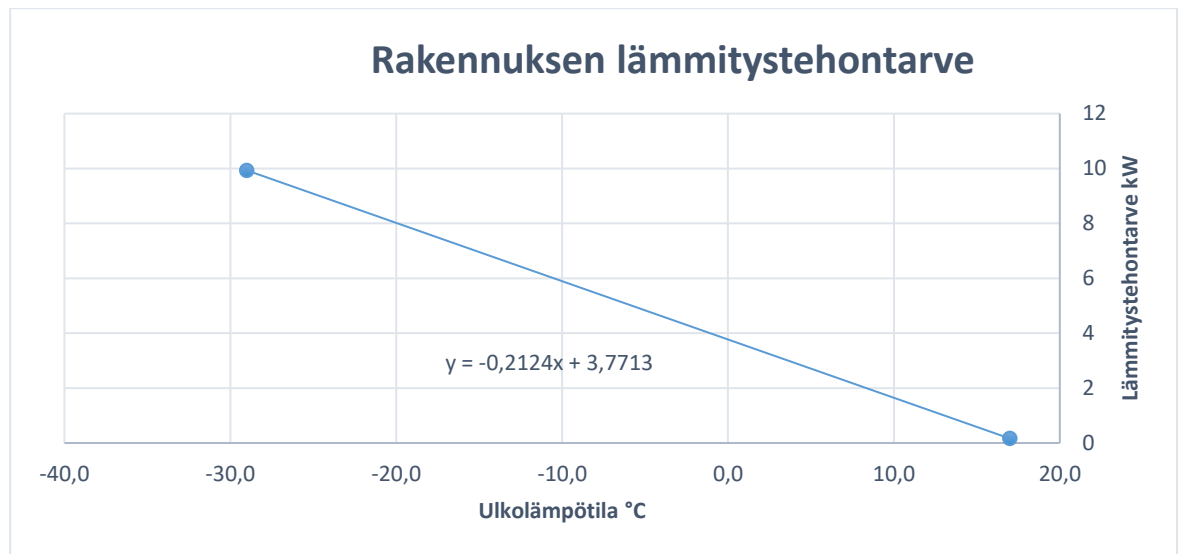
$$Q_{tilat} = (18210 kWh * 0,93) - 1373,2 kWh = 15562,1 kWh$$

Rakennuksen lämmitystehontarve lasketaan kaavalla 8, joka sisältää myös kaavalla 6 lasketun lämpimän käyttöveden lämmittämiseen tarvittavan tehon.

$$\Phi_{mit} = \frac{(15562,1 kWh) * (17^{\circ}C - (-29^{\circ}C))}{24 * 3148^{\circ}Cd * 0,97} + 0,161 kW = 9,93 kW$$

Lasketun lämmitystehontarpeen mukaan voidaan muodostaa Excel- taulukkolaskentaohjelmaa hyväksi käyttäen viivadiagrammi (kuva 8) tutkittavan rakennuksen lämmitystehontarpeesta eri ulkolämpötiloissa, kun

tiedetään rakennuksen kokonaislämmitystehontarve mitoitusulkolämpötilassa. Rakennuksen lämmitystehontarpeen oletetaan kasvavan lineaarisesti ulkolämpötilasta 17 °C lämpötilaan -29°C. Ulkolämpötilan ollessa 17°C tai enemmän voidaan myös olettaa rakennuksen sisäisten lämpökuormien tuottavan riittävä lämmitysteho tilojen lämmittämiseksi. Kuvaan 8 on myös liitetty kuvaajan yhtälö, jolla voidaan selvittää tarkka lämmitystehontarve halutulla ulkolämpötilalla.



Kuva 8. Case-rakennuksen lämmitystehontarve eri ulkolämpötiloilla

4.3.3 Kulutuksen normitus

Vuotuinen tilojen lämmitykseen käytetty kokonaisenergiamäärä normeerataan kaavalla 9. Normeerattu kokonaisenergiamäärä toimii case-kohteen käyttökustannuslaskelmissa tarkasteltavan vuoden energiankulutuksena.

$$Q_{norm} = \frac{4097 \text{ °Cd}/0,97}{3148 \text{ °Cd}/0,97} * (15532,1 \text{ kWh}) + 1373,2 \text{ kWh} = 21627 \text{ kWh}$$

Kaavalla 9 lasketusta normeeratusta kokonaisenergiamäärästä saadaan tilojen lämmitykseen käytetty energiankulutus vähentämällä lasketusta arvosta käyttöveden lämmittämiseen käytetty energiamäärä. Tällöin tilojen osuus lasketusta arvosta on noin **20254 kWh** ja lämpimän käyttöveden osuus noin **1373 kWh**.

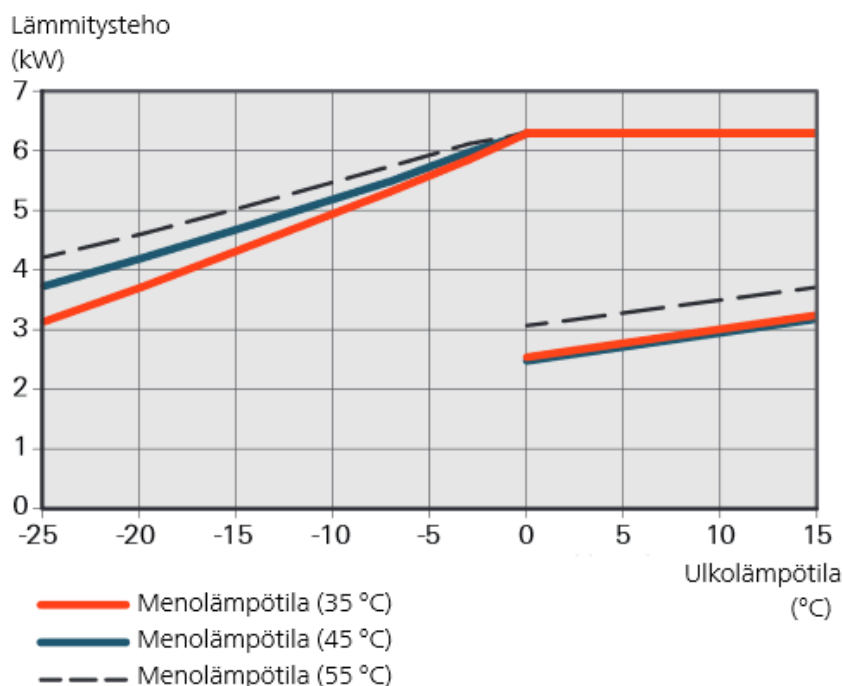
4.4 Laitevalinnat

Case-kohteeseen asennettava ilma-vesilämpöpumppu on tässä opinnäytetyössä valittu Kaukora Oy:n tuotevalikoimasta. Kaukora Oy valmistaa kotimaisia Jäspi- ja Jämä-lämmityslaitteita. Tuoteperheisiin kuuluvat mm. lämmityskattilat, lämpöpumput, varaajat sekä aurinkolämpölaitteet.

Kuvan 8 diagrammin mukaan case-rakennuksen lämmitystehontarve ulkolämpötilassa $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ on noin 5 kW, jolloin lämpöpumpuksi valikoituu Jäspi Tehowatti Air NORDIC 8 kW + sisäyksikkö 9 kW (kuva 10) /27/. Valitun lämpöpumpun tehontuotto ulkolämpötilassa $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ on noin 6 kW menoveden lämpötilalla $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ (kuva 10). Kuvien 8 ja 10 avulla voidaan myös määrittää lämpöpumpun tehomitoituspiste, joka on noin $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Kuva 9. Jäspi Tehowatti Air NORDIC ulkoyksikkö ja sisäyksikkö varaajalla /27/



Kuva 10. Lämpöpumpun tehontuotto eri ulkolämpötiloilla /28, s.50/

Valittu lämpöpumppu on malliltaan monoblock, jolloin ulkoyksikön ja sisäyksikön välillä lämmönsiirto tapahtuu vesi-glykoliseoksella. Sisäyksikön tilavuus on 215 litraa ja se on varustettu 9 kW sähkövastuksella takaamaan kiinteistön lämmitystehontarve myös lämpöpumpun tehomitoituspistettä alemmilla ulkoilman lämpötiloilla /27/.

4.5 Lämpöpumppujärjestelmän energialaskenta

Lämpöpumppujärjestelmän energialaskennassa mukaillaan laskentaohjeen yksinkertaista laskentamenetelmää, jossa selvitetään lämpöpumpulla tuotettu energiamäärä lämmitykselle ja käyttövedelle erikseen. Tuloksena saadaan lämpöpumpun ostoenergiankulutus sekä lisälämmitysenergian tarve vuositason mittana.

Laskenta alkaa lisälämmitysenergian laskemisella kaavojen 10 ja 11 mukaisesti. Kaavassa oleva suhteellinen lämpöenergia saadaan laskentaohjeen taulukosta 2, josta löytyy ilma-vesilämpöpumpuille suunnatut toiminta-arvot. Suhteellisen lämpötehon selvittämiseksi täytyy ensin laskea suhteellinen lämpöteho (ϕ_{lpn}/ϕ_{tila}), joka on lämpöpumpun nimellisteho toimintapisteessä T_{ulko}/T_{meno} (+7/35) jaettuna tilojen lämmitystehontarpeella ulkolämpötilalla -5 °C. Suhteelliseksi lämpötehoksi saadaan kuvien 8 ja 10

diagrammien mukaan noin 1,3. Taulukon ääriarvojen ulkopuolella toimittaessa voidaan käyttää taulukon antamia maksimiarvoja laskennoissa, joten suhteellisen lämpötehon arvo on laskennoissa 1,0 /19/. Seuraavaksi selvitetään lämmitys- ja käyttövesienergioiden suhdeluku normeeratulla energiamäärällä. Tässä voidaan käyttää myös taulukon maksimiarvoja ääriarvojen ylittävissä tapauksissa /19/. Suhteellinen lämpöteho saadaan taulukosta rakennuksen sijaintipaikkakunnan säävyöhykkeen ja lämmitysjärjestelmän menoveden lämpötilan mukaan.

$$Q_{ll,tilat} = (1 - 0,9) * 20254 = 2025,4 \text{ kWh}$$

$$Q_{ll,lkv} = (1 - 0,9) * 1373 \text{ kWh} = 137,3 \text{ kWh}$$

Lisälämmitysenergioiden selvityksen jälkeen lasketaan lämpöpumpulla katettava vuotuinen lämmitysenergia kaavoilla 12 ja 13.

$$Q_{LP,tilat} = 20254 \text{ kWh} - 2025,4 \text{ kWh} = 18228,6 \text{ kWh}$$

$$Q_{LP,lkv} = 1373 \text{ kWh} - 137,3 \text{ kWh} = 1235,7 \text{ kWh}$$

Viimeiseksi lasketaan ilma-vesilämpöpumpun ostoenergiankulutus kaavalla 14. Kaavassa käytetyt SPF-luvut ovat taulukosta 5.

$$W_{LP} = 18228,6 \text{ kWh} / 2,2 + 1235,7 \text{ kWh} / 1,8 = 8972 \text{ kWh}$$

4.6 Kytkennät

Ilma-vesilämpöpumppujärjestelmästä on piirretty Cadmatic-ohjelmalla kytkentäkaavio (liite 4). Kytkentäkaavioon on piirretty olemassa oleva järjestelmä sekä uusi lämpöpumppujärjestelmä, jotka on erotettu toisistaan asennusrajamerkinnöillä (AR). Asennusrajamerkinnät toimivat tällöin myös rajana suunnitellun ja olemassa olevan järjestelmän välillä.

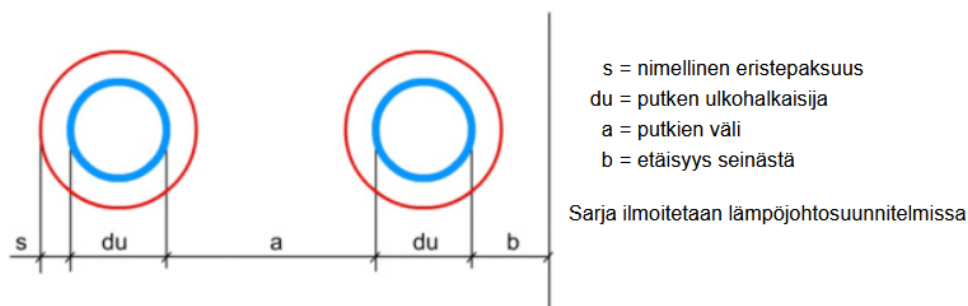
Lämpöpumppujärjestelmän kytkentä on toteutettu niin, että lämmitysjärjestelmässä kiertävää nestettä sekä käyttövettä lämmitetään ensisijaisesti lämpöpumpun avulla. Kytkennät uuden ja vanhan järjestelmän

välillä ovat samanlaiset sekä käyttöveden että lämmityspuolen osalta. Lämpimän käyttöveden kytkentä on toteutettu niin, että kylmä käyttövesi johdetaan ensin lämpöpumpun varaajalle, josta se lämmentyneenä johdetaan edelleen olemassa olevan lämmityskattilan käyttövesikierukan kautta käyttöpisteisiin. Näin toteutettuna lämpöpumpulla saadaan käyttöveden lämmitys hoidettua kokonaan lukuunottamatta kylmimpiä kausia, jolloin käyttöveden lämpötilaa voidaan tarvittaessa nostaa vielä hieman lisälämmityksen (lämmityskattilan) avulla. Lisälämmitysmuodon ollessa maakaasu, voidaan lämpöpumpun varaajassa sijaitseva sähkövastus näin ollen kytkeä pois käytöstä häiritsemättä järjestelmän toimintaa.

Lämmityspuolen kytkentä on toteutettu vastaavasti johtamalla lämmitysjärjestelmän jäähtynyt paluuvesi ensin lämpöpumpun varaajalle ja sieltä lämmityskattilan säätöventtiilin kautta takaisin lämmitysverkostoon. Tällä kytkennällä varmistetaan, että myös lämmityspuolen neste lämmitetään ensisijaisesti lämpöpumpun avulla. Lisälämmityksen ollessa maakaasu voidaan näin ollen sekä käyttöveden että lämmitysjärjestelmän kiertoveden lämpötilaa nostaa olemassa olevan lämmityskattilan avulla ja näin varmistaa tilojen ja käyttöveden lämmitys myös paikkakunnan mitoitusulkolämpötilassa. Näin kytkettynä lämpöpumppujärjestelmä on itsenäinen järjestelmä, jonka toiminta ei vaikuta lämpimän veden saatavuuteen missään tilanteessa, koska kaikki lämmitettävä neste kiertää edelleen olemassa olevan lämmityskattilan kautta ennen verkostoon johtamista.

Kaikki lämpöpumpun putkikytkennät tehdään 22 mm kupariputkella laitevalmistajan suositusten mukaisesti /28/. Putkiliitokset tehdään puristusliitoksilla käyttäen valmiita puristeosia. Lisäksi putkistot eristetään kuvan 11 eristyssarjojen mukaisesti mineraalivillakourulla ja päällystetään näkyviltä osin PVC-muovipinnoitteella. Kylmä käyttövesiputki varustetaan myös alumiinilaminaattisulkimella, joka toimii kondenssieristykseenä villakourun ja pinnoitteen välissä. Eristyssarjat määräytyvät LVI-ohjekortin LVI 50-10345 mukaan /29/.

| Putken ulkohalk. du mm | Eristyspaksuus | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|----------------|----|-----|----------|----|-----|----------|-----|-----|----------|-----|-----|----------|-----|-----|----------|-----|-----|
| | Sarja 21 | | | Sarja 22 | | | Sarja 23 | | | Sarja 24 | | | Sarja 25 | | | Sarja 26 | | |
| | a | s | b | a | s | b | a | s | b | a | s | b | a | s | b | a | s | b |
| 10-49 | 90 | 20 | 60 | 110 | 30 | 70 | 130 | 40 | 80 | 150 | 50 | 90 | 170 | 60 | 100 | 210 | 80 | 120 |
| 54-89 | 110 | 30 | 70 | 130 | 40 | 80 | 150 | 50 | 90 | 170 | 60 | 100 | 210 | 80 | 120 | 250 | 100 | 140 |
| 90-169 | 130 | 40 | 80 | 150 | 50 | 90 | 170 | 60 | 100 | 210 | 80 | 120 | 260 | 100 | 140 | 300 | 120 | 170 |
| 170-324 | 150 | 50 | 90 | 170 | 60 | 100 | 210 | 80 | 120 | 260 | 100 | 140 | 300 | 120 | 170 | 340 | 140 | 190 |
| 325-714 | 180 | 60 | 100 | 220 | 80 | 120 | 260 | 100 | 140 | 300 | 120 | 170 | 340 | 140 | 190 | 380 | 160 | 210 |



Kuva 11. Eristyssarjojen mukaiset eristyspaksuudet /30/

4.7 Laitesijoitukset

Laitesijoituksista case-kohteessa on laadittu tasokuva (liite 5). Laitesijoitukset on suunniteltu toteutettavaksi niin, että lämpöpumppujärjestelmän ulkoyksikkö sijaitsee rakennuksen toisen sisäänkäynnin ulkoportaiden alapäässä niin, että ulkoyksikön ja portaiden väliin jää kulkutilaa noin yksi metri.

Lämmönsiirtoputkistot on näin ollen mahdollista viedä suoraan seinän läpi kellarin porraskuiluun, jossa ne johdetaan porraskuilun seinää myöden autotallin kattopintaan ja sitä kautta varaajalle. Lämpöpumppujärjestelmän putkistot varaajan ja lämmönjakohuoneen välillä tehdään myös autotallin sisäkattopintaa mukaillen ja johdetaan lämmönjakohuoneessa kytkennän edellyttämillä paikoille tasokuvan mukaisesti.

Varaajan sijainti on puolestaan suunniteltu sijoitettavaksi autotalliin, koska lämmönjakohuoneessa ei ole riittävästi tilaa olemassa olevien putkistojen ja laitteiden vuoksi. Olemassa olevien putkistojen siirtäminen varaajan tilantarpeen vuoksi on tässä tapauksessa kustannuksellisesti kannattamatonta hiljattain tehdyn putkistosaneerauksen myötä.

4.8 Järjestelmän investointikustannukset

Lämpöpumppujärjestelmän investointi- eli hankintakustannukset muodostuvat järjestelmäkomponenteista, putkistoista sekä asennustöistä. Tässä opinnäytetyössä järjestelmän hankintakustannukset on putki- ja eristystöiden

osalta laskettu toimeksiantajan tarjouslaskentaohjelmaa käyttäen. Admicom-tarjouslaskentaohjelma muodostaa tarjoushinnan sinne syötettyjen materiaalien sekä valmiiden asennuspakettien perusteella.

Materiaaleja syötettäessä ohjelma laskee automaattisesti mukaan työehtosopimuksen määrittämät asennusajat kullekin järjestelmä- tai putkisto-osalle. Laskentaohjelma kertoo lisäksi putkistoista aiheutuvat materiaalikustannukset osaprosentilla, jolla katetaan putkiosista kuten käyristä, haaroista ym. aiheutuvat kustannukset suurpiirteisesti. Materiaalikustannukset sisältävät automaattisesti myös kannakoinnin sekä materiaaleille määritetyn katteen. Lopullista tarjoushintaa muodostettaessa ohjelma lisää materiaalikustannusten päälle asennushinnan, joka määräytyy yhteenlaskettujen asennustuntien perusteella. Asennushinta pitää sisällään asentajan sekä toimihenkilön (työnjohtajan) palkan, yrityksen katteen, matkakulut sekä muut pakolliset henkilöstökulut. Tällä periaatteella ohjelma laskee myös putkistoeristyksen hinnan syöttämällä tarvittava eristeen koko ja eristettävän putkiston pituus.

Erillistarjoukset pyydetään sekä sähkötöistä että lämpöpumppujärjestelmän pääkomponenteista. Sähkötöistä alihankintatarjous on pyydetty Sähköliike Teho Oy:ltä ja tämä tarjous pitää sisällään sekä asennuksen että materiaalit sähkökytkentöjen osalta. Lämpöpumppujärjestelmän ulkoyksikkö jalustoineen sekä sisäyksikkö ja latauspumppu kuuluvat lämpöpumppuvalmistajan erillistarjoukseen, joka sisältää rahdin näiden osalta suoraan kohteeseen. Investointikustannukset muodostuvat yhteenvedettynä seuraavista osakokonaisuuksista:

- Lämpöpumppu (ulkoyksikkö)
- Ulkoyksikön maaneline
- Sisäyksikkö
- Latauspumppu
- Sähkötyöt ja tarvikkeet
- Putkityöt/lämpöpumpun asennustyöt
- Putkistot ja putkistovarusteet
- Eristykset
- Eristystyö

5 TULOKSET

Tässä osiossa esitetään tulokset sähköenergian hintavertailusta sekä case-kohteen kannattavuuslaskelmista lämpöpumppujärjestelmän kustannusten osalta. Case-kohteen lämmityskustannukset molemmilla lisälämmitysmuodoilla on laskettu käyttäen sekä yö- että yleissähkön hintaa, jolloin nähdään konkreettiset erot eri sähkösopimusten energiahintojen suhteen. Sen sijaan pelkällä yleissähkön hinnalla on laskettu tällä hetkellä käytössä olevan lämmitysjärjestelmän sähköenergian kustannukset, koska kohteessa on tällä hetkellä käytössä edellä mainittu sähkösopimus ja hinnoittelu tapahtuu sen mukaisesti.

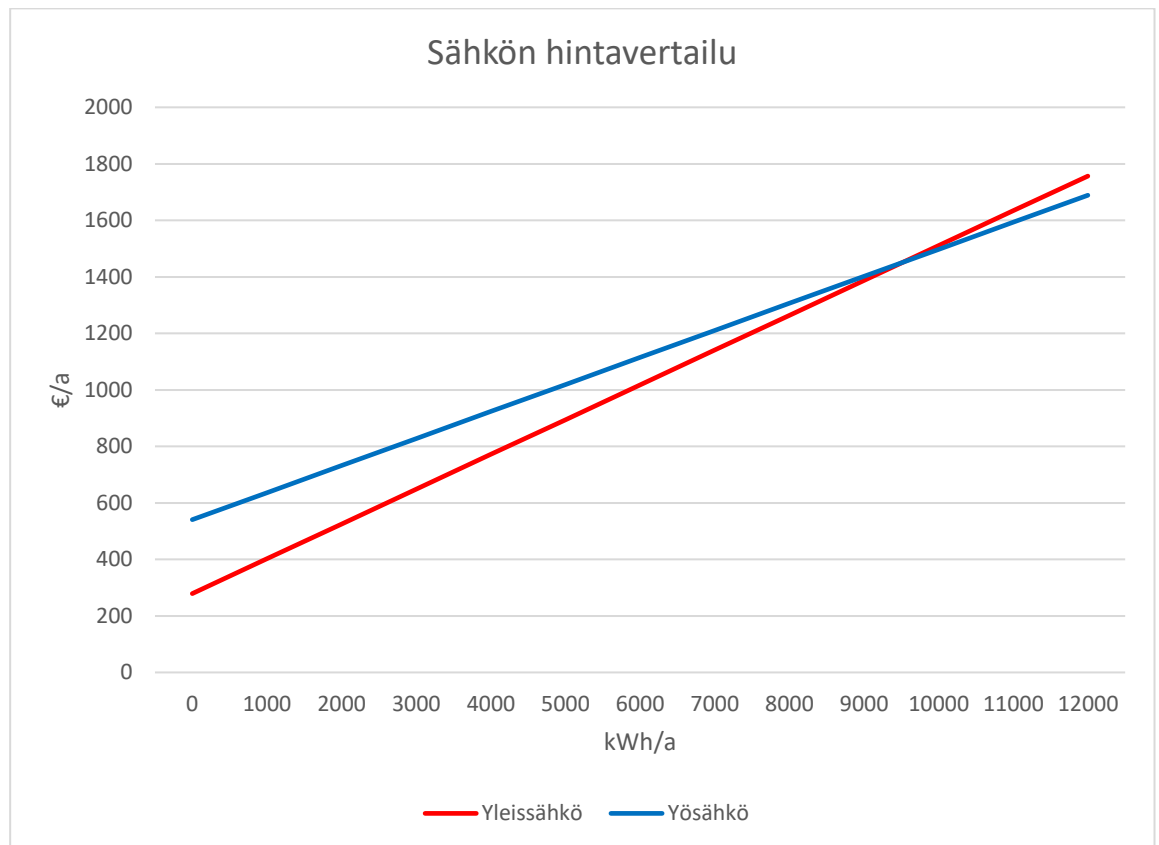
5.1 Sähkön hintavertailu

Taulukoiden 2 ja 3 mukaisilla arvoilla on saatu sähköenergian vuotuisiksi kustannuksiksi taulukon 8 mukaiset arvot kullakin esitetyllä energiamäärällä. Taulukon 8 tulosten perusteella nähdään, että kustannukset kääntyvät yösähkön hyväksi energiamäärien 9000 kWh/a ja 10 000 kWh/a välillä.

Taulukko 8. Yö- ja yleissähkön vuotuiset kustannukset

| | Yleissähkö | Yösähkö |
|-------|------------|---------|
| kWh/a | €/a | €/a |
| 0,0 | 279,0 | 540,7 |
| 1000 | 402,1 | 636,4 |
| 2000 | 525,3 | 732,1 |
| 3000 | 648,4 | 827,7 |
| 4000 | 771,5 | 923,4 |
| 5000 | 894,7 | 1019,1 |
| 6000 | 1017,8 | 1114,8 |
| 7000 | 1141,0 | 1210,4 |
| 8000 | 1264,1 | 1306,1 |
| 9000 | 1387,2 | 1401,8 |
| 10000 | 1510,4 | 1497,5 |
| 11000 | 1633,5 | 1593,1 |
| 12000 | 1756,6 | 1688,8 |

Taulukon 8 avulla on muodostettu kuvaaja (kuva 12), josta nähdään havainnollisesti vuotuisten kokonaiskustannusten kehittymisen eri energiamäärillä.



Kuva 12. Yö- ja yleissähkön vuotuiset kustannukset

Yhtälön 2 mukaan lasketut kulmakertoimet ovat yösähkön kuvaajalle 0,095673 ja yleissähkölle 0,123137. Kulmakertoimien avulla muodostetut yhtälöt ovat puolestaan:

$$y = 0,095673x + 540,7 \text{ (Yösähkö)}$$

$$y = 0,123137x + 279,0 \text{ (Yleissähkö)}$$

Yhtälöistä muodostetun yhtälöparin avulla ratkaistu piste x , jossa yösähkön ja yleissähkön vuotuiset kustannukset ovat yhtä suuret, on pyöristettynä kokonaislukuun noin 9529 kWh/a. Tämän pisteen yli mentäessä on yösähkö kannattavampi vaihtoehto lämmitykseen käytetyn sähköenergian kannalta.

Tämä koskee kuitenkin vain yöllä tapahtuvan lämmityksen kustannuksia, sillä hintavertailu on tehty käyttäen laskelmissa yösähkön yöhintaa. Päivällä käytetty sähköenergia on yösähkö sopimuksessa yöhintaa korkeampi ja näin ollen koko rakennuksen vuorokaudessa käyttämä lämmitysenergia on pystyttävä tuottamaan kokonaisuudessaan yhdeksän tunnin aikana (klo 22.00–7.00).

5.2 Lämpöpumppujärjestelmän investointikustannukset

Lämpöpumppujärjestelmän investointikustannukset on koottu kuvan 13 taulukkoon.

| Tarjouserittely | Yht. alv 24,00 % |
|-------------------------|-------------------------|
| A05 Sähkötyöt | 2151,76 |
| A07 Lämpöjohdot | 2652,25 |
| A09 VILP erillistarjous | 8810,20 |
| A10 Eristys | 775,74 |
| Tarjous yhteensä | 14389,96 |

ALV 24,00 % 2785,15

Tarjous yhteensä EUR sis. ALV 24,00 % 14389,96

Kuva 13. Lämpöpumppujärjestelmän investointikustannukset

Kuva 13 on ote Admicom-tarjouslaskentaohjelman tarjoustulosteesta, josta selviää työn ja materiaalien hinta eriteltynä halutulla tarkkuudella. Erittelyn sisältö tässä työssä on jaoteltu niin, että positio A05 pitää sisällään alihankintana tehtävien sähkötöiden hinnan lisineen ja katteineen. Position A07 alla on kaikki lämpöjohtotöistä aiheutuneet kustannukset niin materiaalien kuin töidenkin osalta. Positio A10 käsittää putkistoeristyksen hinnan ja A09 Kaukora Oy:ltä saadun erillistarjouksen lämpöpumppupaketista. Kaikki hinnat sisältävät arvonlisäveron (ALV 24 %), joka on tarjoushinnasta eriteltynä 2785,15 €. Yhteenlaskettuna järjestelmän investointikustannukset ovat näin ollen 14389,96 €. Tämä tarjoushinta pitää sisällään kaikki materiaalit ja työt lämpöpumppujärjestelmän asennukseen lukuunottamatta hyvin pieniä rakennusteknisiä töitä, joiden oletetaan hoituvan kiinteistön omistajan tai työn ohessa putki-/sähköasentajan toimesta tässä tapauksessa.

5.3 Käyttökustannusvertailu ja takaisinmaksuaika

Käyttökustannusvertailun tulokset esitetään käyttäen kolmea erilaista variaatiota. Ensimmäisenä tuodaan esille olemassa olevan maakaasulämmityksen käyttökustannukset sekä maakaasun että lämmityksen oheislaitteiden käyttämän sähkön osalta. Seuraavaksi esitetään tulokset lämpöpumpun käyttökustannuksista molemmilla lisälämmitysmuodoilla

erikseen. Lämpöpumppujärjestelmän käyttökustannusten lisäksi lasketaan kohdissa 5.3.2 ja 5.3.3 velaton takaisinmaksuaika käyttäen hyödyksi olemassa olevan lämmitysjärjestelmän käyttökustannuksia sekä uuden järjestelmän investointikustannuksia.

5.3.1 Maakaasu

Taulukkoon 9 on koottu tällä hetkellä käytössä olevan maakaasulämmityksen vuosittaiset käyttökustannukset erikseen sekä maakaasun että sähkön osalta. Maakaasun vuosittaiset kustannukset on laskettu käyttäen rakennuksen vuotuista kaasunkulutusta sekä liitteen 1 Kotikulta-hinnastoa.

Taulukko 9. Maakaasulämmityksen käyttökustannukset

| | | Yleissähkö |
|-----------------|--------------|---------------|
| | kWh/a | €/a |
| Maakaasu | 23255 | 2154,6 |
| Maakaasupoltin | 192 | 23,6 |
| Yhteensä | 23447 | 2178,2 |

Olemassa olevan lämmitysjärjestelmän käyttökustannukset vertailulaskelmiin on laskettu ainoastaan yleissähköllä, sillä käytössä olevan lämmitysjärjestelmän sähkönkulutus on suhteellisen pieni verraten kappaleessa 5.1 lasketun yösähkön kannattavuuteen.

5.3.2 Ilma-vesilämpöpumppu ja maakaasu

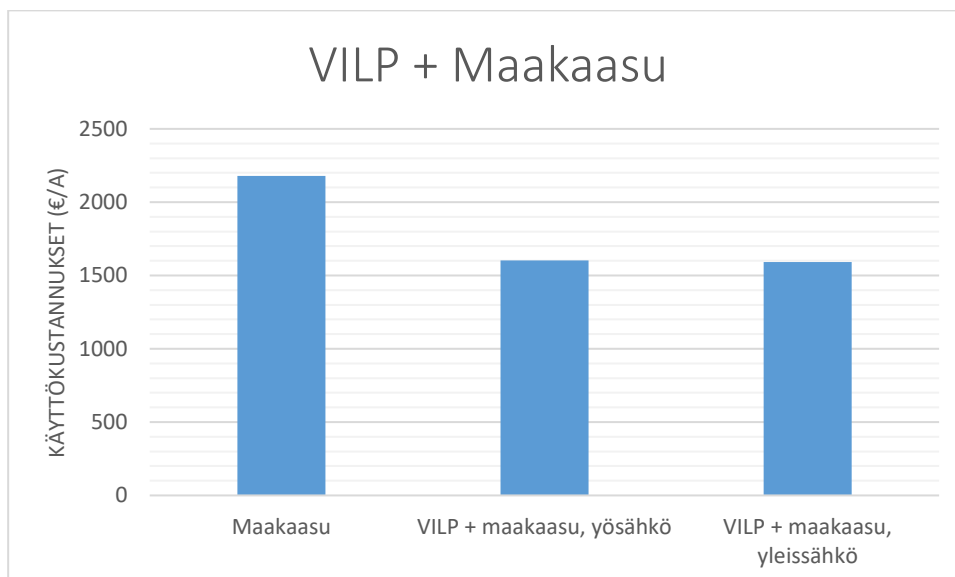
Ilma-vesilämpöpumpusta ja maakaasusta muodostuneen hybridin energiankulutukset sekä vuotuiset käyttökustannukset eriteltynä on koottu taulukkoon 10. Käytettäessä ilma-vesilämpöpumppua päälämmönlähteenä lähestytään sähkönkulutuksen osalta sitä pistettä, jossa yösähkö ja yleissähkö ovat vuositasolla saman hintaisia. Tämän vuoksi on vertailuun otettu myös yösähköstä muodostuvat kustannukset samoilla energiamäärillä, jotta nähdään konkreettisesti molempien vaihtoehtojen erot vuotuisissa käyttökustannuksissa.

Taulukko 10. VILP + maakaasu käyttökustannukset

| | | Yleissähkö | Yösähkö |
|------------------|--------------|---------------|---------------|
| | kWh/a | €/a | €/a |
| Maakaasu | 2325 | 467,6 | 467,6 |
| Maakaasupoltin | 19 | 2,3 | 1,8 |
| Kiertovesipumppu | 146 | 18 | 14 |
| Lämpöpumppu | 8972 | 1104,8 | 1120,1 |
| Yhteensä | 11462 | 1592,7 | 1603,5 |

Taulukon 10 erittely on tehty siten, että maakaasusta aiheutuvat käyttökustannukset ovat samat sekä yö- että yleissähköllä. Sähköä käyttävien laitteiden kohdalla vuotuiset käyttökustannukset määräytyvät puolestaan yö- tai yleissähkön hintojen mukaisesti. Yö- ja yleissähkön kuukausittaiset perusmaksut ovat sähkön myyntihinnan tapaan myös erisuuret ja tässä työssä on vertailu tehty siten, että ainoastaan perusmaksujen vuotuinen erotus on lisätty yösähkön hintaan kohdassa lämpöpumppu. Yleissähkössä perusmaksuja ei ole huomioitu ollenkaan, koska voidaan olettaa kiinteistössä olevan sähköliittymä huolimatta lämmitysmuodosta. Tällöin perusmaksuista koostuvat kustannukset eivät ole suoraan osana lämmityskustannuksia. Tämä pätee silloin, kun lämmitysmuodon muutos ei aiheuta sulakekoon muutosta eikä näin ollen perusmaksun suurenemista lämmityskäytön vuoksi. Kaasuenergian kohdalla tilanne on erilainen, koska kaasuliittymä kiinteistössä on ainoastaan lämmityksen vuoksi ja näin ollen perusmaksut ovat suoraan osana lämmityksestä aiheutuvia kustannuksia.

Vuotuisista käyttökustannuksista on muodostettu kaavio (kuva 14), jossa on palkkien avulla havainnollistettu taulukoista 9 ja 10 saadut tulokset. Kaavio havainnollistaa myös erot käyttökustannuksissa eri variaatioiden välillä.



Kuva 14. VILP + maakaasu käyttökustannuskaavio

Takaisinmaksuaika lämpöpumppujärjestelmälle on laskettu sekä yö- että yleissähköllä erikseen käyttäen hyväksi järjestelmän investointikustannuksia (kuva 13) ja olemassa olevan lämmitysjärjestelmän vuotuisia käyttökustannuksia (taulukko 9). Takaisinmaksuaika määräytyy jakamalla investointikustannukset saavutetuilla vuotuisilla säästöillä. Takaisinmaksuajat ovat näin laskettuna seuraavat:

- VILP + maakaasu, yösähkö = 25 vuotta
- VILP + maakaasu, yleissähkö = 24,6 vuotta

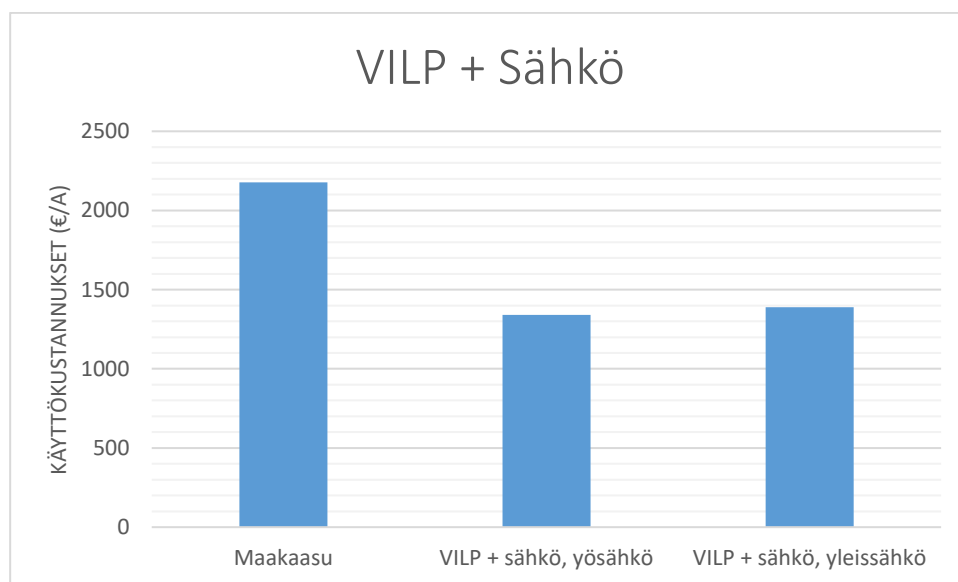
5.3.3 Ilma-vesilämpöpumppu ja sähkölämmitys

Taulukkoon 11 on koottu ilma-vesilämpöpumpun ja sähköisen lisälämmityksen vuotuiset energiamäärät sekä käyttökustannukset. Sähköisessä lisälämmityksessä ei ole huomioitu lainkaan putkistoista tai varaajasta aiheutuvia lämpöhäviöitä, sillä kaikki järjestelmäosista aiheutuvat lämpöhäviöt johtuvat suoraan lämmitettäviin tiloihin laitteiston ja putkistojen sijoittelun vuoksi. Näin ollen lämpöhäviöitä ei tarvitse vähentää lämpöpumppujärjestelmän tuottamasta kokonaisenergiamäärästä. Lämpöpumpun häviöt automaattisen sulatuksen ja ulkoyksikön komponenttien osalta on huomioitu käyttäen laskelmien osana lämpöpumpun SPF-lukua COP/SCOP:n sijasta.

Taulukko 11. VILP + sähkö käyttökustannukset

| | | Yleissähkö | Yösähkö |
|------------------------|--------------|---------------|---------------|
| | kWh/a | €/a | €/a |
| Kiertovesipumppu | 146 | 18 | 14 |
| Lämpöpumppu | 8972 | 1104,8 | 1120,1 |
| Sähköinen lisälämmitys | 2163 | 266,3 | 207 |
| Yhteensä | 11281 | 1389,1 | 1341,1 |

Kuvan 15 pylväskaavioon on havainnollistettu lämpöpumpun ja sähköisen lisälämmityksen käyttökustannukset taulukon 11 pohjalta. Takaisinmaksuajat on määritelty kappaleen 5.3.2 periaatteiden mukaisesti sekä yö- että yleissähköllä erikseen.



Kuva 15. VILP + sähkö käyttökustannuskaavio

-VILP + sähkö, yösähkö = 17,2 vuotta

-VILP + sähkö, yleissähkö = 18,2 vuotta

6 TULOSTEN JOHTOPÄÄTÖKSET

Sähkön hintavertailun tuloksena saatiin muodostettua yö- ja yleissähkösopimuksen välille sähköenergian kulutukseen perustuva kannattavuusraja. Saadun kannattavuusrajan yläpuolella yösähkö on edullisempaa ja sen alapuolella puolestaan yleissähkö on kustannuksellisesti parempi vaihtoehto.

Yösähkön halvempi myyntihinta perustuu siihen, että sähköverkon kuorma yöaikaan on pienempi kuin päivällä ja tarjoamalla edullisempaa sähköä yöaikaan saadaan sähkön kulutusta tasattua eri vuorokaudenaikojen välillä. Erot eri kiinteistöjen sähkönkulutuksessa mukailevat osittain ihmisen normaalia vuorokausirytmää, jolloin aamuisin ja iltaisin esiintyvät suurimmat kulutuslukemat sähkön osalta. Etenkin lämmityskaudella kiinteistöjen sähkönkulutuksen tasaamisella on suuri merkitys myös tuotantolaitosten huipputehojen tasaamisessa.

Tämä opinnäytetyö antaa osviittaa lämmityskustannusten laskentaan yösähkön avulla, mutta ei määrittele tarkasti, kuinka suuren sähkönkulutuksen jälkeen on syytä siirtyä yösähköön. Tämä siksi, että tarkan laskelman tekemiseksi on tarpeellista tietää rakennuksen kokonaissähkönkulutus ja sitä kautta arvioida tai laskea päivällä käytetyn sähköenergian suhde yöllä käytettyyn sähköenergiaan. Lähtökohtaisesti suoralla sähkölämmityksellä yösähkön käyttäminen kannattaa, mutta lämpöpumppua käytettäessä sähköenergian kulutus putoaa yleensä sen verran pieneksi, että yösähköä käytettäessä kustannukset saattavat jopa nousta yleissähköön verrattuna. Lisäksi lämmityslaitteiston mitoitus on tehtävä niin, että rakennuksen vuorokauden aikana kuluttama lämmitysenergia pystyttäisiin tuottamaan yhdeksän tunnin aikana (22.00–7.00) ja se saataisiin myös varastoitua riittävän tehokkaasti. Tämä puolestaan johtaa suurella todennäköisyydellä laitteiston ylimitoitukseen ja investointikustannusten huomattavaan nousuun. Tällöin myös takaisinmaksuaika karkaa helposti lämpöpumppulaitteiston odotetun käyttöiän ulkopuolelle.

Case-rakennuksen energiankulutus taulukkoon 9 koottujen tulosten perusteella on melko tyypillinen rakennuksen koko ja valmistumisvuosi huomioon ottaen. Laskettuun maakaasunkulutukseen vaikuttaa kuitenkin alentavasti runsas varaavan takan käyttö lämmityskaudella. Käyttäjältä saatujen tietojen perusteella tulisijaa käytetään aktiivisesti ja huonelämpötilaa pidetään tarkoituksellisesti hieman suositusten mukaista lämpötilaa pienempänä. Tulisijan käyttöä ei tämän työn laskelmissa ole huomioitu, koska tarkkaa varaavan takan avulla tuotettua energiamäärää on lähes mahdotonta tarkasti arvioida. Tulisijalla tuotettu vuotuinen energiamäärä vaihtelee myös

runsaasti eri vuosien kesken eikä se ole näin ollen vertailukelpoinen maakaasulla tuotettuun energiamäärään nähden.

Maakaasun maltilliseen kulutukseen vaikuttaa olennaisesti myös se, että rakennuksessa asuu tällä hetkellä vain kaksi henkilöä. Tämä vaikuttaa lämpimän käyttöveden kulutuksen myötä suoraan rakennuksen lämmitysenergian kulutukseen, sillä käyttöveden kulutus kasvaa lähes suorassa suhteessa asukasmäärään nähden. Päätelmänä tästä voidaan todeta, että tämän kokoisen rakennuksen ostoenergiankulutus voi olla myös jonkin verran tämän opinnäytetyön tuloksia suurempi niin sanotulla normaalikäytöllä, jossa rakennuksessa asuvien ihmisten lukumäärä on 4-6 ja lähes kaikki lämmitysenergia tuotetaan pelkästään maakaasulla.

Käyttökustannukset ilma-vesilämpöpumpun ja maakaasun yhteiskäytöstä ovat jonkin verran suuremmat sähköisellä lisälämmityksellä varustettuun lämpöpumppuun verrattuna. Erot muodostuvat sekä yö- että yleissähkösopimuksen hinnoittelusta ja sähkön sekä maakaasun hintaeroista lisälämmityksen osalta. Eri sähkösopimusten määrittelemät sähköenergian hinnat tuottavat kuitenkin vain marginaalisen eron tarkasteltaessa tuloksia vain sähköenergian kustannusten kannalta. Erot jäävät kummassakin tapauksessa reilusti alle sadan euron päähän toisistaan vuositason tarkasteltuna.

Vertailtaessa eri lisälämmityksiä keskenään voidaan todeta erojen olevan suurempia pelkästään jo takaisinmaksuaikojen perusteella. Lisälämmityksen tarve ilma-vesilämpöpumppua käytettäessä on tulosten perusteella suhteellisen pieni rakennuksen kokonaisenergiatarpeeseen nähden. Näin ollen kulutuksesta riippumattomien perusmaksujen osuus lisälämmitykseen käytetyn energian hinnasta on maakaasua käytettäessä huomattavasti suurempi. Kulutuksesta riippuvasta energian hinnasta sähkön ja maakaasun osalta ei ole havaittavissa kovin suurta eroa sähkön hinnan ollessa yleissähkösopimuksen mukaisesti noin 0,123 €/kWh ja maakaasun hinnan ollessa 0,0806 €/kWh. Kulutuksesta riippuvien kustannusten eroa tasaa osaltaan myös se, että maakaasua tarvitaan nettoenergiankulutukseen verrattuna enemmän lämmityskattilan hyötysuhteen vuoksi, joka on tässä opinnäytetyössä käytetyn case-kohteen osalta 0,93. Sähköenergia on

ostoenergiaan nähden käytettävissä lähes kokonaan, jolloin hyötysuhde lisälämmityksen osalta lähentelee yhtä.

Käyttökustannuksiltaan edullisimman lämmitysratkaisun tulosten perusteella muodostaa ilma-vesilämpöpumppu sähköisellä lisälämmityksellä. Erot takaisinmaksuajoissa syntyvät eri lisälämmitysten muodostamista käyttökustannuksista, joista maakaasu on selvästi kalliimpi vaihtoehto. Takaisinmaksuaikaan vaikuttaa vuotuisten säästöjen lisäksi myös investoitavan laitteiston hankintahinta. Kilpailuttamalla asennustyö sekä mahdollisesti erikseen myös lämpöpumpun laitetoimittaja, saadaan takaisinmaksuaikaa lyhennettyä jopa useita vuosia. Sopiva takaisinmaksuaika tämän kaltaisille lämpöpumppulaitteistoille on pisimmillään noin 17 vuotta riippuen hieman laitteiston suuruudesta. Sähköisellä lisälämmityksellä tähän voidaan päästä helposti kilpailuttamalla asennukset tekevä urakoitsija.

Pienten kiinteistöjen osalta maakaasun kannattavuus lisälämmön tuottajana on alhaisempi kuin suoralla sähköllä, mutta lämmitysenergian tarpeen suurentuessa tilanne tasaantuu perusmaksujen pysyessä ennallaan. Tämän opinnäytetyön esimerkkikohteessa laskenta osoittaa, että maakaasua ei ole järkevää pitää lisälämmönlähteenä lämpöpumpun rinnalla. Case-kohteessa vuonna 2019 tehty lämmityskattilan uusinta vaikuttaa maakaasun kulutukseen ja näin ollen myös lämmityskustannuksiin alentavasti parantuneella hyötysuhteella. Tämä vaikuttaa osaltaan siihen, että lämmityskustannukset maakaasun osalta ovat tässä kohteessa kilpailukykyiset myös muihin energialähteisiin nähden.

7 POHDINTA

Opinnäytetyössä onnistuttiin vastaamaan kaikkiin suunnitteluprosessin aikana ilmenneisiin tutkimuskysymyksiin. Työssä saatiin myös suunnitelmien mukaisesti tuotettua suunnitelmaluonnokset ilma-vesilämpöpumppujärjestelmästä case-kohteeseen sekä kannattavuuslaskelmat kahden eri lisälämmityksen välillä. Suunnitteluvaiheen hypoteesi maakaasulämmityksen korvaamisesta lämpöpumpun avulla oli kaksiosainen. Oletettavaa oli, että lämpöpumpulla vuotuiset lämmityskustannukset putoaisivat ja järjestelmän takaisinmaksuaika olisi

melko lyhyt syntyneiden säästöjen myötä. Toisaalta hypoteesissa todettiin, että maakaasua ei kannata pitää lisälämmön tuottajana pienentyneen energiantarpeen vuoksi. Vuotuiset kiinteät maksut maakaasun osalta puolsivat hypoteesissä sen kannattamattomuutta lisälämmön tuottajana. Tulosten perusteella voidaan todeta, että hypoteesi ja tulokset olivat kaikilta osin yhtäpitäviä lukuunottamatta takaisinmaksuajan pituutta. Hypoteesin mukaan takaisinmaksuaika olisi kaikissa tapauksissa alle 15 vuotta riippumatta lisälämmitysmuodosta. Tulokset kuitenkin osoittivat, että järjestelmän velaton takaisinmaksuaika on lyhimmilläänkin yli 17 vuotta ja pisimmillään lämpöpumppulaitteiston oletetun käyttöiän verran eli reilut 25 vuotta. Suunnitteluvaiheessa selvää kuitenkin oli, että sähköinen lisälämmitys tulisi todennäköisesti kannattavammaksi vaihtoehdoksi maakaasuun verrattuna ja tämän myös tulokset vahvistivat.

Opinnäytetyön suorittamiseen ei liittynyt rajoituksia, mutta jälkikäteen ajateltuna muutamia asioita olisi voinut tehdä myös toisin. Case-kohteen laskennan lisäksi olisi ollut hyödyllistä tehdä laskelmat radiaattorilämmityksen sijaan myös lattialämmityksellä, sillä lämmitysjärjestelmän toimintalämpötilat vaikuttavat olennaisesti lämpöpumpun hyötysuhteeseen ja sitä kautta vuotuisiin säästöihin lämmityskustannuksissa. Näin ollen myös takaisinmaksuaika olisi pudonnut jonkin verran. Toisaalta tässä työssä tähdättiin pelkästään esimerkkikohteen tuloksiin eikä lähdetty tutkimaan lämpöpumpun toimintaa kaikissa mahdollisissa sovelluksissa. Lattialämmityksen ollessa kuitenkin yksi yleisimmistä lämmönjakotavoista, olisi se palvellut toimeksiantajaa myös näiden asiakkaiden osalta.

Investointikustannusten laskennassa käytettiin vain yhden asennusliikkeen (toimeksiantaja) hintaa ja tähän olisi ollut mielenkiintoista saada myös kilpaileva tarjous. Kilpailevan tarjouksen saaminen opinnäytetyötarkoituksessa olisi kuitenkin saattanut olla vaikeaa, koska kohdetta ei olla tarkoituksenmukaisesti toteuttamassa. Investointikustannuksia laskettaessa ei myöskään ole huomioitu minkäänlaisia avustuksia tai verovähennyksiä, koska niiden saaminen ja suuruus vaihtelevat suuresti riippuen toteutettavasta kohteesta.

Opinnäytetyön tekemisessä perehdyttiin syvällisesti lämpöpumppujärjestelmän energialaskentaan ja sitä kautta kustannuslaskentaan niin vuotuisten käyttökustannusten kuin investointikustannustenkin osalta. Tämä työ antoi valmiuksia tarjouslaskentaan sekä lämmitysjärjestelmien käyttökustannuslaskentaan, joka sisältää useita eri osa-alueita ja huomioitavia asioita laskemissa. Työssä tuotettiin myös kytkentäkaavio sekä tasokuva lämpöpumppujärjestelmästä case-kohteessa ja näiden suunnitelmaluonnosten tuottaminen ammattialan harjoittamista ajatellen lisäsi tietovarantoa jonkin verran. Opinnäytetyön tulosten myötä myös toimeksiantajan tietovaranto maakaasulämmityksen ja lämpöpumppujärjestelmän muodostamista hybrideistä lisääntyy, sillä aikaisempia tutkimuksia aiheesta on hyvin vähän saatavilla.

Jatkotutkimusehdoituksena tämän työn tulosten pohjalta on tutkimus toteutetun lämpöpumppujärjestelmän todellisista käyttökustannuksista. Toteutuneiden käyttökustannusten pohjalta tehty tutkimus olisi toteutettava niin, että lämpöpumppujärjestelmän lisälämmitysmuotona toimisi ensimmäisen käyttövuoden ajan maakaasulämmitys, jolloin todelliset käyttökustannukset tämän osalta on mahdollista saada. Ensimmäisen käyttövuoden jälkeen lisälämmitys on helppo valita sähkön ja maakaasun väliltä, kun tiedetään todelliset vuotuiset energiankulutukset sekä lämpöpumpulle että lisälämmitykselle erikseen. Näin ollen tämä jatkotutkimus on mahdollista toteuttaa vain siinä tapauksessa, että investointi tähän esimerkkikohteeseen tehdään ja ensimmäisenä toimintavuotena lisälämmitys hoidetaan maakaasun avulla tai lisälämmitykseen käytetyn sähkön määrä selvitetään mittaroimalla.

Tämän hintaluokan investoinnin tueksi olisi mielenkiintoista saada hinta-arvio myös maalämmön toteutuskustannuksista ja verrata sitä tämän opinnäytetyön tuloksiin. Maalämmön avulla pystytään lähes poikkeuksetta tuottamaan koko rakennuksen lämmitystehontarve mitoitusulkolämpötilassa ja näin kattamaan koko rakennuksen lämmitysenergiantarve. Näin ollen lisälämmitystä ei tarvita vaan lisälämmön osuus katetaan myös lämpöpumpun avulla. Maalämpöön investoiminen tässä esimerkkikohteessa ei kuitenkaan ole järkevää ennen vuonna 2019 uusitun lämmityskattilan odotetun käyttöiän päättymistä.

LÄHTEET

1. Linden, T. Kaukomarkkinat Oy. Hybridilämmitys. PDF-dokumentti. s.a. Saatavissa: <https://www.sulpu.fi/documents/184029/1300198/10.%20Mik%C3%A4%20on%20Hybridil%C3%A4mmitys%2C%20Tero%20Linden.pdf> [viitattu 1.10.2020].
2. Hybridilämmitys valtaa alaa. Rakentaja.fi. Artikkelit. 2013. Päivitetty 23.4.2013. Saatavissa: https://www.rakentaja.fi/artikkelit/10362/hybridilammitys_valtaa_alaa.htm [viitattu 1.10.2020].
3. Torr Engineering. The refrigeration cycle. WWW-dokumentti. 2020. Päivitetty 20.8.2020. Saatavissa: <https://www.torr-engineering.com/the-refrigeration-cycle/> [viitattu 16.3.2020].
4. Hautala, M. Peltonen, H. Insinöörin (AMK) fysiikka osa 1. 12. painos. Saarijärvi: Lahden Teho-opetus Oy. 2016.
5. Motiva. Hanki hallitusti ilma-vesilämpöpumppu. WWW-dokumentti. 2020. Päivitetty 30.10.2020. Saatavissa: <https://docplayer.fi/1550419-Hanki-hallitusti-ilma-vesilampopumppu.html> [viitattu 4.1.2021].
6. Järvinen, J. Vesi-ilmalämpöpumpun mitoitus. Metropolia ammattikorkeakoulu. Talotekniikka. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti. 2018. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/157377/jarvinen_jaakko_2.pdf;jsessionid=BF88AC3CB15F3078002E99DE6D87AF2B?sequence=3 [viitattu 4.1.2021].
7. Ympäristöministeriö. Lämpöpumppujen energialaskentaopas. PDF-dokumentti. 2012. Saatavissa: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjhr8OfzpPsAhXSI4sKHAYLD14QFjACegQIARAC&url=https%3A%2F%2Fdocplayer.fi%2F683121-Lampopumppujen-energiaskentaopas.html&usg=AOvVaw0JiHVw7-ez_49ozp46D1mW [viitattu 5.1.2021].
8. Nibe. Maalämpöpumppuopas. PDF-dokumentti. 2013. Saatavissa: <https://partner.nibe.eu/upload/haato/ohjeet/nibe%20mlp%20opas%201335-6.pdf> [viitattu 5.1.2021].
9. Suomen kaasuyhdistys ry. Maakaasukäsikirja. PDF-dokumentti. 2014. Saatavissa: <https://www.kaasuyhdistys.fi/julkaisut/maakaasun-kasikirja/> [viitattu 6.1.2021].
10. Suomen kaasuenergia. Yritys ja toimialueet. WWW-dokumentti. s.a. Saatavissa: <https://suomenkaasuenergia.fi/suomen-kaasuenergia/yritys-ja-toimialueet/> [viitattu 1.10.2020].
11. Suomen kaasuenergia. Ajankohtaista. Laskutus perustuu ylempään lämpöarvoon. WWW-dokumentti. 2019. Päivitetty 23.12.2019. Saatavissa: <https://suomenkaasuenergia.fi/uudet-hinnastot-astuvat-voimaan-1-1-2020/> [viitattu 1.10.2020].
12. Suomen kaasuenergia. Kaasulämmityksen hinnasto omakotitaloille. Bio-kotikulta ja Kotikulta -hinnastot 2021. PDF-dokumentti. 2021. Saatavissa: <https://suomenkaasuenergia.fi/wp->

- <content/uploads/2020/12/Kotikulta-ja-Bio-Kotikulta-hinnasto-2021.pdf> [viitattu 5.1.2021].
13. Kymenlaakson Sähkö Oy. KSOY Perus -sähkösojimus. WWW-dokumentti. 2021. Saatavissa: https://www.ksoy.fi/sahkon-myynti/sahkoa-kotiin/ksoy_perus [viitattu 5.1.2021].
 14. Kymenlaakson Sähkö Oy. Sähkön verkkopalveluhinnasto 1.1.2021. WWW-dokumentti. 2021. Saatavissa: <https://www.ksoy.fi/sahkon-myynti/asiakaspalvelu/hinnastot/sahkon-siirtohinasto-1.1.2021> [viitattu 5.1.2021].
 15. Motiva. Laskukaavat: lämmin käyttövesi. WWW-dokumentti. 2019. Päivitetty 6.2.2019. Saatavissa: https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energian kaytto/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi [viitattu 10.10.2020].
 16. Ilmatieteenlaitos. Lämmitystarveluku eli astepäiväluku. WWW-dokumentti. s.a. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut> [viitattu 18.10.2020].
 17. Energiateollisuus. Julkaisu K1/2013. Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet. PDF-dokumentti. 2014. Päivitetty 9.5.2014. Saatavissa: https://energia.fi/files/502/JulkaisuK1_2013_20140509.pdf [viitattu 18.10.2020].
 18. Motiva. Kulutuksen normitus. Laskentakaavat ja -ohjeet. PDF-dokumentti. 2016. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/16105/Motiva_Kulutuksen normitus_laskentakaavat-ja-ohjeet_12-2016.pdf [viitattu 20.10.2020].
 19. Heinaro, H. Johtava asiantuntija. Sähköpostiviesti 20.1.2021. Motiva Oy. 2021.
 20. Motiva. Varastointi vesivaraajaan. WWW-dokumentti. 2020. Päivitetty 5.8.2020. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelman_kaytto/aurinkolammon_varastointi/varastointi_vesivaraajaan [viitattu 11.1.2021].
 21. Arvola, J. Aluepäällikkö. Sähköpostiviesti 14.9.2020. Kaukora Oy. 2020.
 22. Kaukora Oy. Eco 17 ja 30 Bio bioöljykattila. WWW-dokumentti. s.a. Saatavissa: <https://jaspi.fi/tuote/eco-17-30-bio-kattila/> [viitattu 19.1.2021].
 23. Onninen. Kaasupolttimien käyttö- ja huolto-ohjeet. PDF-dokumentti. s.a. Saatavissa: <http://kesko-onninen-pim-resources-production.s3-website-eu-west-1.amazonaws.com/pimdocuments/ABI120.pdf> [viitattu 19.1.2021].
 24. Teho-posako. Ilma-vesilämpöpumpulla säästää lämmityskuluihin. WWW-dokumentti. s.a. Saatavissa: <https://www.tehuposako.fi/tuotteet/lampopumput/ilmavesilampopumput/> [viitattu 21.1.2021].
 25. Suomen kaasuenergia. SKflow-extranet. WWW-dokumentti. 2021. Saatavilla: <https://asiakas.suomenkaasuenergia.fi/> [viitattu 21.1.2021].
 26. Soininkallio, T. Asiakasvastaava. Sähköpostiviesti 15.9.2020. Kymen Vesi Oy. 2020.
 27. Kaukora Oy. Tehowatti Air NORDIC ilma-vesilämpöpumppu. WWW-dokumentti. s.a. Saatavissa: <https://jaspi.fi/tuote/tehowatti-air-nordic-ilma-vesilampopumppu/> [viitattu 21.1.2021].

28. Kaukora Oy. Nordic asentajan käsikirja. WWW-dokumentti. 2018.
Saatavissa: https://jaspi.fi/wp-content/uploads/2017/01/JASPI_Inverter-Nordic_Asentajankasikirja_FI_531787-1.pdf [viitattu 21.1.2021].
29. LVI 50-10345. Rakennustieto. Taloteknisten eristysten mitoitus ja käyttö. 2002.
30. Talotekniikan opetussivusto. Eristyspaksuudet ja asennusvälit. WWW-dokumentti. s.a. Saatavissa:
http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/lvi/aiho3/kannakkeet_2.htm [viitattu 27.1.2021].

Bio-kotikulta ja Kotikulta hinnasto 2021



Tuotehinnasto

1/2

Kaasulämmityksen hinnasto omakotitaloille

(Hinnasto perustuu kaasun ylempään lämpöarvo)

Bio-Kotikulta

Omakotitalon lämmitys 100 % uusiutuvalla ja suomalaisella biokaasulla.

1.1.2021 alkaen:

| | |
|-------------------------------|--------------------------------------------|
| Kiinteä maksu | 280,20 € / vuosi (23,35 €/kuukausi) |
| Kulutusmaksut yhteensä | |
| Biokaasun myynti ja siirto | 9,40 snt/kWh |

Hinnat sisältävät arvonlisäveron 24 %. Biokaasusta ei makseta muita veroja eikä velvoitevarastointimaksua

ERITTELY

Biokaasun myyntihinnat (Suomen Kaasuenergia Oy)

| | |
|--------------------------------------|----------------|
| Kiinteä maksu | 0,00 € / vuosi |
| Kulutusmaksu | 6,64 snt/kWh |
| Siirtoverkoston kapasiteettimaksu | 0,577 snt/kWh |

Biokaasun siirtohinnat (Auris Kaasunjakelu Oy)

| | |
|---------------|-------------------------------|
| Kiinteä maksu | 280,20 € / vuosi (23,35 €/kk) |
| Kulutusmaksu | 2,18 snt/kWh |

Biokaasun myyntihinta on voimassa toistaiseksi. Hinnat sisältävät arvonlisäveron 24 %. Biokaasun hinnasta ei makseta muita veroja, veroluonteisia maksuja eikä velvoitevarastointimaksua.

Suomen Kaasuenergia Oy vastaa kaasun myynnistä ja Auris Kaasunjakelu Oy kaasun siirrosta asiakkaalle. Asiakas saa Auris Kaasunjakelu Oy:ltä yhden laskun, joka sisältää kaasun siirron ja myynnin veloitukset.

Kaasulämmityksen hinnasto omakotitaloille (Hinnasto perustuu ylempään lämpöarvo)

Kotikulta

Omakotitalon lämmitys maakaasulla. (1.1.2021 alkaen)

| | |
|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Kiinteä maksu | 280,20 € / vuosi (23,35 €/kuukausi) |
| Kulutusmaksut yhteensä (tammikuun laskutusedustuksella laskettuna) | |
| Maakaasun myynti, siirto ja verot | 8,06 snt/kWh |

Hinnat sisältävät arvonlisäveron 24 %, energiaverot ja muut veroluonteiset maksut sekä velvoitevarastointimaksun. Suomen Kaasuenergia Oy vastaa kaasun myynnistä ja Auris Kaasunjakelu Oy kaasun siirrosta asiakkaalle. Asiakas saa Auris Kaasunjakelu Oy:ltä yhden laskun, joka sisältää kaasun siirron ja myynnin veloitus.

ERITTELY HINNAT alkaen 1.1.2021

Maakaasun myyntihinnat (Suomen Kaasuenergia Oy)

| | |
|--------------------------------------|----------------|
| Kiinteä maksu | 0,00 € / vuosi |
| Kulutusmaksu* | 3,49 snt/kWh |
| Siirtoverkoston kapasiteettimaksu | 0,577 snt/kWh |

Maakaasun siirtohinnat (Auris Kaasunjakelu Oy)

| | |
|---------------|-------------------------------------|
| Kiinteä maksu | 280,20 € / vuosi (23,35 €/kuukausi) |
| Kulutusmaksu | 2,18 snt/kWh |

Verot ja veroluonteiset maksut

Energiavero ja huoltovarmuusmaksu 2,6117 snt/kWh ylempää lämpöarvoa sovellettaessa ja 2,8959 snt/kWh alempaa lämpöarvoa sovellettaessa

Velvoitevarastointimaksu 0,144 snt/kWh

Maakaasun energiahinta tarkistetaan kuukausittain indeksikertoimella. SK-indeksin hinnoittelu perustuu Gaspoolin tai TTF:n etukäteen kiinnitettyihin Futuuri-hintoihin. Kunkin kuukauden arvioitun myyntimäärän hintaa kiinnitetään markkinoilla kolmen toimitusta edeltävän kuukauden aikana.

*Tammikuun 2021 laskutusedustuksen ennuste on 0,73. Perushinta on 3,49 snt/kWh (sis. alv 24 %).

Lämmitystehontarpeen laskenta huippukuorma-aikana

74

15.4 Vanhan asuintalon lämmönjakokeskuksen mitoitus

Lämmityshuipputeho voidaan arvioida tietyn ajanjakson lämpöenergian tai polttoaineen kulutuksen perusteella. Laskenta voidaan tehdä seuraavan yhtälön mukaisesti niissä asuinrakennuksissa, joissa ei ole koneellista ilmastointia (tuloilman lämmitystä).

$$\Phi_{mit} = \frac{Q_l}{H} = \frac{Q - Q_k}{24 \times S} = \frac{(Q - Q_k) \times (17^\circ\text{C} - t_u)}{24 \times S}$$

Φ_{mit} = Lämmityksen huipputehontarve (mitoitusteho), kW

$H = 24 \times S / (17^\circ\text{C} - t_u)$ = Lämmityshuipun käyttöaika tarkasteluaikana, h

S = Lämmitystarveluku tarkasteluaikana, °Cd

t_u = Paikkakunnan mitoitusulkolämpötila, °C

Q = Energiankulutus tarkasteluaikana, MWh

Q_{kv} = Käyttöveden lämmittämiseen kulunut lämmitysenergia tarkasteluaikana (kiinteä kulutus), MWh

$Q_l = Q - Q_{kv}$ = Lämmitykseen kulunut energia tarkasteluaikana, MWh

Jos tunnetaan rakennuksen polttoaineen kulutus, muutetaan tarkastelujakson polttoaineen kulutus lämpöenergiaksi kertomalla polttoaineen ominaislämpöarvo polttoainemäärällä ja lämmityslaitteen arvioidulla hyötysuhteella (vuosihyötysuhde esim. 0,7) ja lasketaan lämmityshuipputeho em. mukaisesti.

Laskelmat tarkistetaan arvioimalla näin saatua ominaistehoa ja -kulutusta vertaamalla niitä vastaaviin muihin rakennuksiin.

Laskentamenetelmä ei sellaisenaan sovellu käytettäväksi koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdoilla varustettujen rakennusten lämmityshuipputehon laskentaan. Näissä tapauksissa on ilmanvaihtolaitteiden tehot ja käyntiajat selvítettävä ja laskettava lämmityshuipputeho tätä kautta saatavien lisätietojen perusteella.

ESIMERKKI 5.

Lähtötiedot:

| | | |
|---------------------------------------------------------|------------------|----------------------|
| • Asuinrakennus, rakennustilavuus | | 10850 m ³ |
| • Valmistumisvuosi | | 1974 |
| • Sisälämpötila | t_s | 21 °C |
| • Mitoitusulkolämpötila | t_u | -29 °C |
| • Asuntoja | | 52 kpl |
| • Käyttövesipiiriin liitettyjen lämmityslaitteiden teho | $\Phi_{kv,pat}$ | 10 kW |
| • Energiankulutus (normeerattu) | Q | 620 MWh/a |
| • Kesäkuukausien lämmönkulutus keskimäärin | $Q_{kesä}$ | 15,3 MWh/kk |
| • Normaali vuoden lämmitystarveluku | S | 4550 °Cd |
| • Lämmönmyyjän ilm. käytettävissä oleva paine-ero | Δp_{ilm} | 200 kPa. |

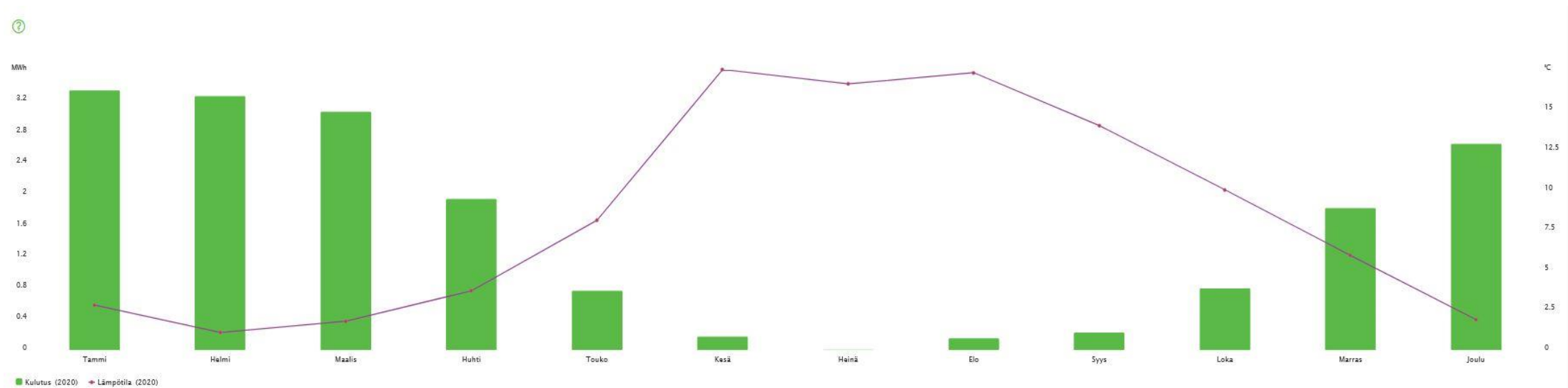
Käyttöveden lämmityksen energiankulutus voidaan arvioida kesäkuukausien kulutusten perusteella vähentämällä kulutuksesta ympäri vuoden toimivien käyttövesipatterien luovuttama energiamäärä. Käyttövesipatterien luovuttama lämpö

$$Q_{kv,pat} = 10 \text{ kW} \cdot 8760 \text{ h/vuosi} = 87,6 \text{ MWh/vuosi} = 7,3 \text{ MWh/kk}$$

Käyttöveden lämmitykseen on siten kesäkuukausina käytetty keskimäärin

$$Q_{kv} = 15,3 \text{ MWh/kk} - 7,3 \text{ MWh/kk} = 8,0 \text{ MWh/kk}$$

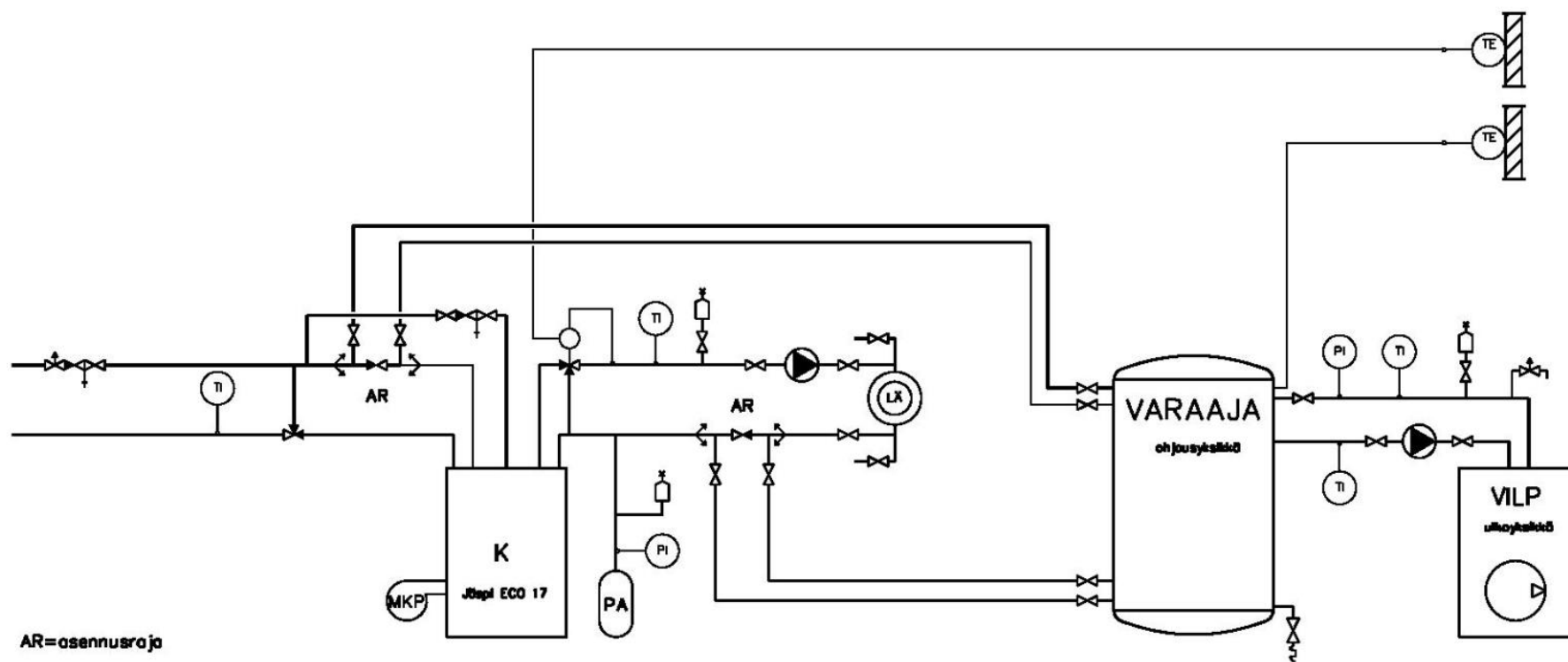
Case-kohteen maakaasukulutus 2020



Lataa kulutus tunti- tai vuorokauttasolla

| Aikaväli (2020) | Kulutus | Lämpötila |
|-----------------|------------------|-----------|
| Tammikuu | 3.34 MWh | 2.8 °C |
| Helmikuu | 3.26 MWh | 1.1 °C |
| Maaliskuu | 3.06 MWh | 1.8 °C |
| Huhtikuu | 1.94 MWh | 3.7 °C |
| Toukokuu | 0.77 MWh | 8.1 °C |
| Kesäkuu | 0.18 MWh | 17.5 °C |
| Heinäkuu | 0.01 MWh | 16.6 °C |
| Elokuu | 0.16 MWh | 17.3 °C |
| Syyskuu | 0.23 MWh | 14 °C |
| Lokakuu | 0.79 MWh | 10 °C |
| Marraskuu | 1.82 MWh | 5.9 °C |
| Joulukuu | 2.65 MWh | 1.9 °C |
| Yhteensä | 18.21 MWh | |

VILP kytkentäkaavio



VILP kytkentä tasokuva

