

Veera Nieminen

PIENTALON LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN SANEERAUS

Opinnäytetyö

Insinööri (AMK)

Energiatekniikka

2020



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tekijä	Tutkintonimike	Aika
Veera Nieminen	Insinööri (AMK)	Marraskuu 2020
Opinnäytetyön nimi Pientalon lämmitysjärjestelmän saneeraus		
Toimeksiantaja Osku Kiri		
Ohjaaja Jyri Mulari		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön aiheena oli Kaakkois-Suomessa sijaitsevan pientalon lämmitystavan muutos maakaasulämmityksestä maalämpöön. Työssä tarkasteltiin päälämmitysjärjestelmän vaihdosta sekä vertailtiin vaihtoehtoja täydentäväksi energiamuodoksi maalämpöjärjestelmän rinnalle. Lisäksi työssä tutkittiin lyhyesti kahta vaihtoehtoa kesäaikaiseen huoneilman jäähdytykseen.</p> <p>Työssä mitoitettiin rakennuksen lämmitystehon tarve mitoitavassa ulkolämpötilassa. Mitoituksen perusteella vertailtiin täydelle teholle ja osatehoille mitoitettuja maalämpöpumppuja ja niiden kannattavuutta. Maalämpöpumpun rinnalle täydentäviksi energiamuodoiksi vertailtiin aurinkolämpöä, vesikiertotakkaa sekä aurinkosähköä. Jäähdytystavoista vertailtiin ilmalämpöpumppuja ja maaviileää.</p> <p>Työn tuloksina havaittiin, että osateholle mitoitettu maalämpöpumppu on täysteholle mitoitettua kannattavampi ja sen takaisinmaksuaika on alle kymmenen vuotta. Koska maalämmön käyttökustannukset ovat edullisia, eivät lisälämmönlähteinä tarkastellut aurinkolämpö tai vesikiertotakka vaikuttaneet erityisen kannattavilta. Aurinkosähköllä voidaan säästää ostosähkön vuosikustannuksissa, mutta paneelien takaisinmaksuaika on melko pitkä ja kannattavuus laskennan perusteella kyseenalainen. Jäähdytysvaihtoehdoista maaviileän käytökustannukset ovat ilmalämpöpumppuja edullisemmat.</p>		
Asiasanat lämmitysjärjestelmät, lämpöpumput, maalämpö, jäähdytyslaitteet, aurinkoenergia		

Author	Degree	Time
Veera Nieminen	Bachelor of Engineering	November 2020
Thesis title		43 pages
Heating renovation of a detached house		
Commissioned by		
Osku Kiri		
Supervisor		
Jyri Mulari		
Abstract		
<p>The subject of this thesis was the change of the heating system from natural gas to ground source heat pump in a detached house located in southeastern Finland. The thesis had two main objectives: to study the change from natural gas heating to a ground source heat pump in general and to find out if installing an additional energy system to accompany the heat pump was a viable option. In addition, two options for summertime cooling were briefly reviewed.</p> <p>The first step was to calculate the required heating capacity for the building. On the grounds of these calculations, four heat pumps of different heating capacities were compared in cost-effectiveness: one for full heat capacity and three for partial heat capacity. The viability of solar heating panels, solar photovoltaic cells or water circulation fireplace as additional energy sources was then studied. For cooling the building in the summertime, air source heat pumps and ground source cooling were compared.</p> <p>It was found that a ground source heat pump for partial heat capacity was more cost-efficient than one for full capacity, with a payback period of less than ten years. Solar heat panels or a water circulation fireplace did not seem like good investments. That is because the cost of producing heat with a ground source heat pump is low and additional heat sources did not bring much savings to the already low expenses. Photovoltaic panels could bring savings in electricity costs, but their calculated payback period was quite long and their viability seemed questionable. As for summertime cooling, ground source cooling system was found to be more cost-effective than air source heat pumps.</p>		
Keywords		
heating systems, heat pumps, ground heat, cooling equipment, solar energy		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	ASUMISEN ENERGIANKULUTUS JA LÄMMITYSMUODOT	5
2.1	Maalämpö	8
2.2	Jäähdytys	10
2.3	Täydentävät energiamuodot	11
3	RAKENNUSLUVAT KOTKAN ALUEELLA	12
4	KOHDERAKENNUS	12
5	RAKENNUKSEN LÄMMITYSTEHON TARVE	15
5.1	Vaipan lämpöhäviöteho	15
5.2	Vuotoilman lämpöhäviöteho	17
5.3	Käyttöveden lämmitys ja lattialämmitys	19
5.4	Tehon tarve yhteensä	20
6	PÄÄLÄMMITYS	21
6.1	Kustannusvertailu	22
6.2	Hintoihin vaikuttavat tekijät	25
6.3	Sähköliittymän tarkastelu	26
7	JÄÄHDYTYS	27
7.1	Puhallinkonvektori	28
7.2	Ilmalämpöpumppu	29
7.3	Jäähdytysvaihtoehtojen vertailu	29
8	TÄYDENTÄVÄ ENERGIAMUOTO	30
8.1	Aurinkokeräimet	31
8.2	Vesikiertotakka	32
8.3	Aurinkopaneelit	34
9	YHTEENVETO	36
	LÄHTEET	38

1 JOHDANTO

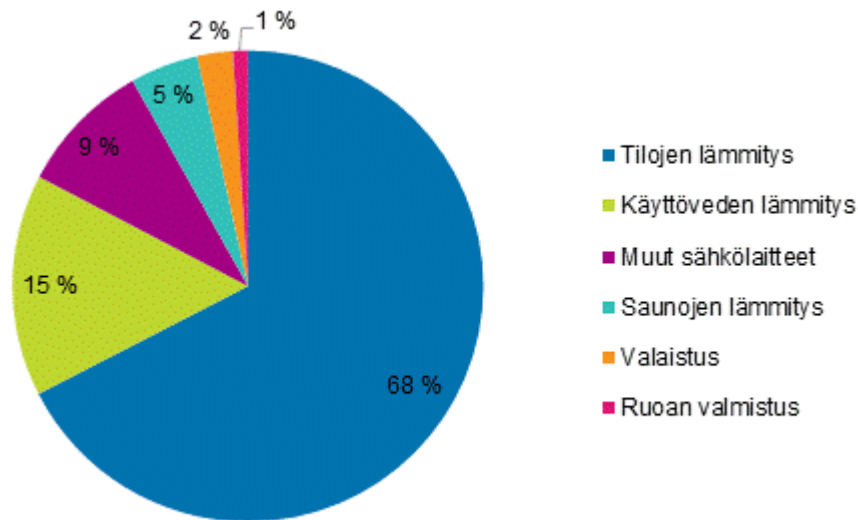
Tämän opinnäytetyön oli tarkoitus selvittää lämmitysjärjestelmän saneerauksen vaihtoehtoja ja vaiheita kohderakennuksessa, Kaakkois-Suomessa sijaitsevassa vuonna 1947 valmistuneessa ja myöhemmin laajennetussa pientalossa. Rakennuksen nykyinen maakaasulämmitys tullaan vaihtamaan maalämpöön ja samalla olemassa olevaa patterijärjestelmää parannetaan. Rakennukseen aiotaan myös asentaa jäähdytysjärjestelmä ja mahdollisesti maalämpöä täydentävä energiamuoto.

Opinnäytetyö on tilattu esiselvitykseksi ennen tarjouspyyntöjen tekemistä ja saneerauksen aloittamista. Koska vaihtoehtoja täydentäväksi energiamuodoksi on monia ja niiden kannattavuus riippuu monesta tekijästä, kuten rakennuksen päälämmitysmuodosta ja energiankulutuksesta, on vaihtoehtojen vertailu haastavaa. Työssä pyrittiin laskennan ja kirjallisen selvityksen avulla tutkimaan, miten eri ratkaisut sopivat juuri kyseiseen rakennukseen ja sen asukkaille.

Työssä mitoitettiin kohderakennuksen lämmitystehon tarve, jonka pohjalta vertailtiin täysteholle ja osatehoille mitoitettujen maalämpöpumppujen kannattavuutta. Tämän jälkeen vertailtiin täydentäviä energiavaihtoehtoja maalämpöpumpun rinnalle. Myös rakennukseen soveltuvia jäähdytysvaihtoehtoja selvitettiin lyhyesti. Kohderakennuksessa asuu kaksi ruokakuntaa, mikä huomioitiin erityisesti kesäajan jäähdytyksen selvityksessä, jotta järjestelmä palvelisi kaikkia talon asukkaita.

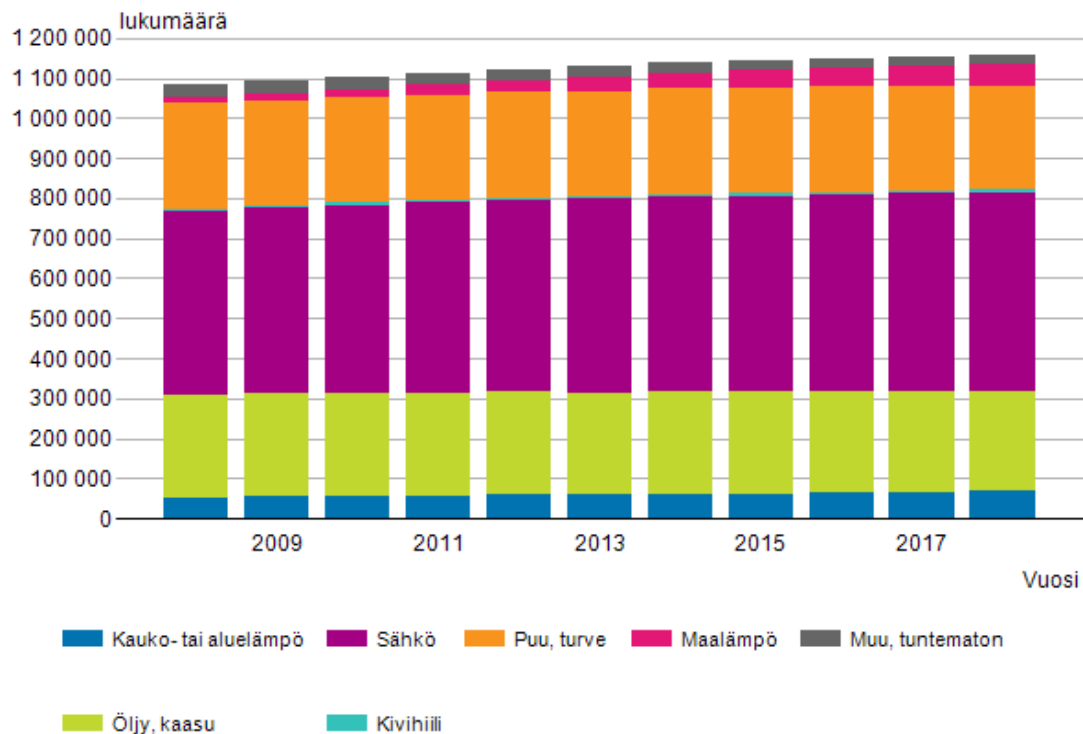
2 ASUMISEN ENERGIANKULUTUS JA LÄMMITYSMUODOT

Suomen sääolosuhteissa asuinrakennuksissa kulutetusta energiasta valtaosa kuluu rakennuksen lämmittämiseen. Tilastokeskuksen Suomen virallisen tilaston (2019) mukaan asuinrakennuksissa kulutetusta energiasta kohdistui vuonna 2018 tilojen lämmitykseen noin 68 % ja käyttöveden lämmitykseen 15 %. Tarkempi jakauma asuinrakennusten energiankulutuksesta on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Asumisen energiankulutus käyttökohteittain vuonna 2018 (SVT 2019, liitekuvio 2)

Kerrostaloissa sekä rivi- ja ketjutaloissa tyypillisin lämmönlähde on kauko-lämpö, jonka osuus on noin 80 % kaikista kerrostaloista ja 47 % kaikista rivi- ja ketjutaloista. Pientaloissa puolestaan yleisimpiä lämmönlähteitä ovat sähkö (43 %) ja puu tai turve (22 %). Viime vuosina öljyn ja kaasun käyttö pientalojen lämmityksessä on jonkin verran vähentynyt, kun taas maalämpöjärjestelmien määrä pientaloissa on lähes nelinkertaistunut vuodesta 2008 vuoteen 2019. (Tilastokeskus 2020.) Tästä huolimatta maalämpö oli vielä vuonna 2019 päälämmitysmuoto vain noin 5 %:ssa pientaloista. Pientalojen eri lämmönlähteiden määrä vuosien 2008–2019 välillä on esitetty kuvassa 2.



Lähde: Rakennukset ja kesämökit, Tilastokeskus

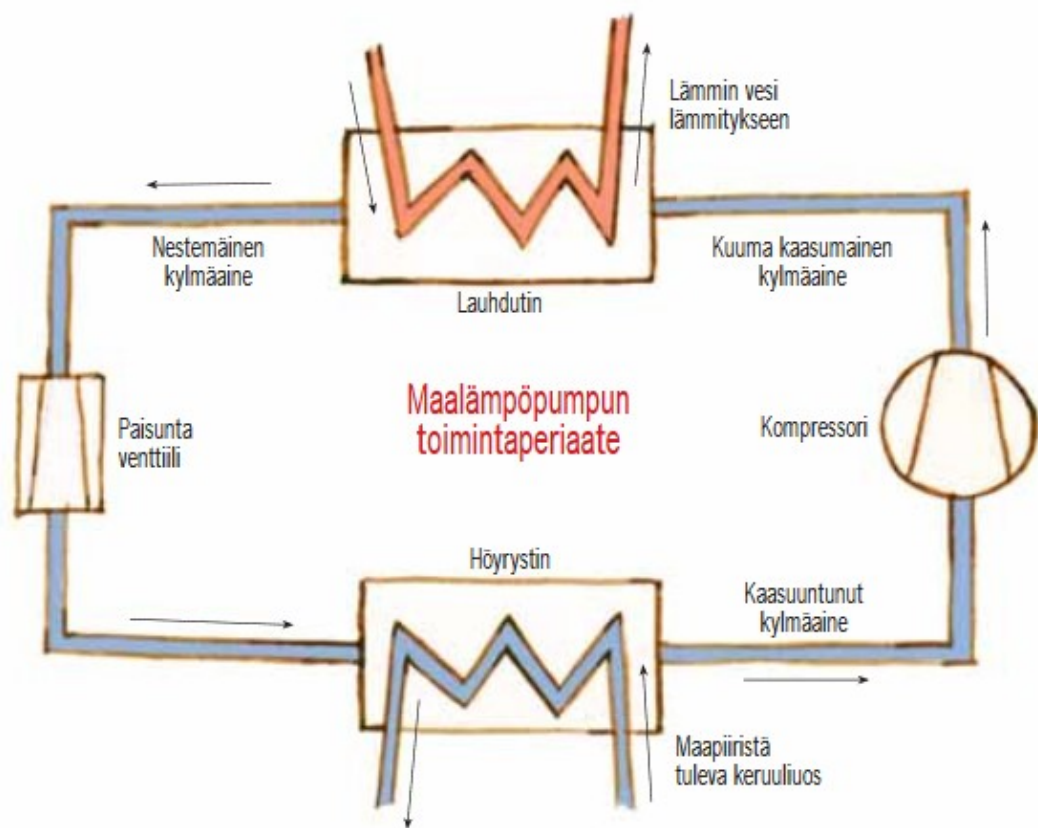
Kuva 2. Pientalojen lämmönlähteet rakennusten lukumäärää kohden vuosina 2008–2019 (Tilastokeskus 2020)

Mattinen ym. (2016, 28–30) esittävät vuosille 2015–2050 laaditussa rakennusten energiankulutuksen perusskenaariossa, että lämpöpumpuilla tuotetun energian määrä pientaloissa tulee lähitulevaisuudessa kasvamaan. Samalla myös lämpöpumppujen käyttöön ostetun sähköenergian määrä kasvaa. Skenaariossa esitetään, että vaikka sähkön käyttö päälämmitysmuotona vähenee, pysyy pientaloissa hankitun sähkön kokonaismäärä varsin samana vuoteen 2050 asti. Kaukolämmön kulutukseen ennustetaan pientä nousua, kun taas puun käyttö vähenee ja kevyen polttoöljyn käyttö loppuu vuoteen 2050 mennessä.

Lämmitysjärjestelmän valintaan niin uudis- kuin saneerauskohteessakin vaikuttavat monet tekijät. Lämmityskustannuksia on hyvä tarkastella järjestelmän koko elinkaaren ajalta, sillä edullinen hankintahinta voi tarkoittaa kalliita käyttökustannuksia ja päinvastoin. Rakennuspaikka voi vaikuttaa hankintoihin esimerkiksi lupien tai verkoston (maakaasu tai kaukolämpö) vuoksi. Myös ympäristövaikutukset niin rakennuksen omistajan henkilökohtaisesta kuin hankitun energian kustannusten näkökulmasta vaikuttavat lämmitystavan valintaan (Motiva 2017b).

2.1 Maalämpö

Maalämpöpumpulla voidaan hyödyntää maa- ja kallioperään varastoitunutta lämpöenergiaa sisäilman lämmittämiseen ja jäähdyttämiseen sekä käyttöveden lämmittämiseen (Juvonen & Lapinlampi 2013, 8). Maalämpöpumpun periaate on sama kuin muillakin lämpöpumpuilla: lämpöenergiaa tuodaan kylmemmästä lämpötilasta lämpimämpään hyödyntämällä kiertoaineen olomuodon muutoksia ja niissä sitoutuvaa tai vapautuvaa lämpöenergiaa (LVI 11-10623: 2018, 3).



Kuva 3. Maalämpöpumpun kylmäpiirin toimintaperiaate (Motiva 2012a)

Maalämpöpumpun suljettu kylmäpiiri koostuu yksinkertaisimmillaan kuvan 3 mukaisesti höyrystimestä, kompressorista, lauhduttimesta ja paisuntaventtiilistä. Nestemäinen kylmäaine virtaa höyrystimelle, jossa siihen sitoutuu keruupiiristä tulevaa lämpöä. Lämpötilan noustessa kylmäaine höyrystyy. Kompressorilla kylmäaineen painetta ja lämpötilaa nostetaan. Lauhduttimessa kylmäaine luovuttaa lämpöä lämmityspiiriin ja tiivistyy nesteeksi, jolloin myös olomuodon muutoksesta vapautuu lämpöenergiaa. Jäähdytynyt kylmäaine kiertää paisuntaventtiilin kautta takaisin höyrystimelle. (Motiva 2012b)

Valmistaja ilmoittaa lämpöpumpuille lämpökertoimen eli COP-arvon. COP, coefficient of performance, ilmoittaa kuinka paljon lämpöenergiaa pumppu tuottaa suhteessa kulutettuun sähköenergiaan tietyssä lämpötilatasossa. SCOP eli seasonal coefficient of performance puolestaan ilmoittaa keskimääräisen tuoton ja kulutuksen suhteen vuodessa. (LVI 11-10623: 2008, 2)

Lämpökertoimet riippuvat käytetyistä lähtötiedoista, joten useimmille maalämpöpumpuille on jälleenmyyjien sivuilla ilmoitettu lämpöteho kahdella tai useammalla eri lämpötilatasolla, kuten 0/35 °C ja 0/55 °C. Ensimmäinen luku kertoo keruuliuksen lämpötilan lämmönvaihtimelle ja toinen lämmityspiirin menoveden lämpötilan. Noin 35 °C:n lämpötila on tyypillinen lattialämmitysjärjestelmässä, kun taas patteriverkostossa käytetään tavallisesti korkeampia lämpötiloja. Sama lämpöpumppu antaa paremman lämpökertoimen ja suuremman tuoton matalammalla lämmityspiirin menoveden lämpötilalla, eli lattialämmitys on pattereita energiatehokkaampi lämmönjakotapa.

Maalämpöpumppu voidaan mitoittaa joko täydelle teholle tai osateholle. Täys-teholle mitoitettun maalämpöpumpun lämpöteho on yhtä suuri kuin rakennuksen lämmitystehon tarve mitoittavassa ulkolämpötilassa, kun taas osateholle mitoitettun maalämpöpumpun lämpöteho on pienempi. Osateholle mitoitettu maalämpöpumppu tuottaa tyypillisesti noin 70–85 % tarvittavasta lämpötehosta, mutta noin 92–98 % tarvittavasta energiasta. (LVI 11-10623: 2018, 5) Suuri energiapeitto selittyy matalimpien ulkolämpötilojen eli suurimman lämmitystehon tarpeen melko pienellä vuosittaisella kertymällä. Osateholle mitoitettaessa lämpöteho, jota maalämpöpumpun kompressorin ei kata, tuotetaan muulla lisälämmityksellä, kuten sähköllä tai puulla (Juvonen & Lapinlampi 2013, 31).

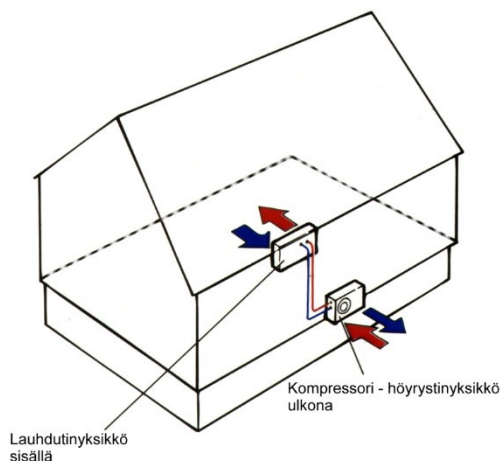
Lämpöä voidaan kerätä maaperästä, kallioperästä tai vesistöistä. Maaperän keruupiiri toteutetaan yleensä noin metrin syvyyteen asennettavalla, vaakasuuntaisella keruuputkistolla. Tarvittava putkipituus ja siten myös maapinta-ala riippuu paitsi rakennuksen lämmöntarpeesta, myös maaperän laadusta. Kallioperästä ja pohjavedestä lämpöä voidaan kerätä syvälle poratusta energia-kaivosta, joita voidaan porata rakennuksen lämpöpumppua varten yksi tai useampia. Vesistöistä järvet, lammet ja merenrannat voivat myös soveltua

lämmönlähteiksi. Keruupiirin vesistöasennus edellyttää suostumuksen vesialueen omistajalta. (LVI 11-10623: 2018, 6–7)

Maalämpöjärjestelmän rakentamiseen vaaditaan maankäyttö- ja rakennuslain mukainen rakennuslupa sekä vesilain mukainen lupa siinä tapauksessa, jos rakentaminen voi vaarantaa vedenhankinnan tai pohjaveden laadun. Kunnat voivat kuitenkin rakennusjärjestyksessään määrätä, että maankäyttö- ja rakennuslain mukaisen luvan sijaan riittää pelkkä ilmoitus tai ettei ilmoitustakaan vaadita. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 14)

2.2 Jäähdytys

Ilmalämpöpumppu kostuu sisä- ja ulkoyksiköstä ja toimii aiemmin esitetyn lämpöpumpun periaatteen mukaisesti. Jäähdytyskäytössä ilmalämpöpumppu toimii kuitenkin käänteisesti: sisäyksikkö toimii höyrystimenä eli sitoo lämpöä, ulkoyksikkö lauhduttimena eli vapauttaa lämpöä ulkoilmaan. Sisäyksikön puhallinpatteri kierrättää jäähdytettyä ilmaa huonetilaan. Jäähdytys ilmalämpöpumpulla poistaa kosteutta huoneilmasta, minkä vuoksi jo muutaman asteen pudotus lämpötilassa tekee huoneilmasta miellyttävämpää. (Motiva 2012a)



Kuva 4. Ilmalämpöpumpun asennus ja toiminta (Suomen lämpöpumpppyhdistys s.a.)

Maalämpöpumpun keruupiiriä voidaan hyödyntää myös jäähdytykseen, sillä keruuliuoksen lämpötila pysyy kesälläkin matalana. Viilennys voidaan toteuttaa ilmanvaihdon kautta, puhallinkonvektoreilla tai kierrättämällä viileää nes-

tettä lattialämmitysputkistossa. (Nibe s.a.) Passiivisessa viilennyksessä keruuliusta kierrätetään kiertovesipumpulla jäähdyttävälle yksikölle, joten käyttökuiluja muodostuu ainoastaan pumpun sähkönkulutuksesta ja puhaltimesta. Mikäli passiivinen viilennys keruuliuksella ei riitä tilojen jäähdyttämiseen, voidaan maalämpöpumpun kompressoria käyttää myös aktiiviseen jäähdytykseen. (Motiva 2020b)

2.3 Täydentävät energiamuodot

Päälämmitysjärjestelmän rinnalle voidaan valita joko rakennusvaiheessa tai myöhemmin täydentävä energiamuoto, jolla ostoenergian määrää voidaan pienentää. Tavallisimpia tukilämmitysmuotoja ovat tulisijat, aurinkolämpö sekä ilmalämpöpumput. (Motiva 2016) Omaan käyttöön voidaan myös tuottaa sähköä aurinkopaneeleilla. Eri järjestelmien välillä on eroja hankintahinnassa, energiansäästöpotentiaalissa sekä siinä, millaiseen rakennukseen ja ympäristöön ne soveltuvat.

Tulisijat ovat yleisiä niin vanhoissa kuin uusissakin pientaloissa. Tulisija on kannattava lisälämmitystapa erityisesti silloin, jos puuta ei tarvitse ostaa vaan se saadaan esimerkiksi omasta metsästä. Tällöin puunpoltto pienentää lämmityskuluja. (Motiva 2016) Tulisija voi olla tyypiltään esimerkiksi varaava takka, kiertoilmatakka tai vesikiertotakka. Takkatyyppin valinta riippuu muun muassa kohteesta, käyttäjistä sekä lämmitysjärjestelmästä (Warma-uunit 2018).

Aurinkolämpöjärjestelmä koostuu aurinkokeräimistä, jotka keräävät aurinгон säteilylämpöä rakennuksen hyötylämmöksi. Aurinkokeräimiä käytetään etenkin käyttöveden lämmitykseen, mutta keräimillä voidaan lämmittää myös rakennuksen sisäilmaa mikäli, käytössä on vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä. Aurinkolämpöjärjestelmän asennus vaatii vesi- tai hybridivaraajan. Saneerauskohteessa aurinkolämpöjärjestelmä voi olla kannattava hankinta, jos sen tuottamalla lämmöllä voidaan korvata kalliimpaa lämmityspolttoainetta. Aurinkolämpö voi olla kannattavaa myös hybridijärjestelmässä maalämmön tai bioenergian rinnalla. Aurinkolämpöjärjestelmän pitoaika on pitkä, noin 30 vuotta, ja ylläpitokustannukset pienet. (Auvinen 2016)

Aurinkopaneeleista koostuvat **aurinkosähköjärjestelmät** ovat yleistyneet Suomessa viime vuosina huomattavasti ja aurinkosähkön tuotannon kasvun ennustetaan jatkuvan. (LUT 2019) Aurinkopaneeleilla tuotettu sähkö voidaan joko käyttää itse tai myydä verkkoon, joskin sähkön myyntihinta on yleensä varsin pieni verrattuna ostohintaan. Järjestelmä kannattaa siis mitoittaa vastaamaan omaa kulutusta. (Motiva 2019b) Aurinkopaneelit tuottavat tasasähköä, joten järjestelmässä tulee olla vaihtosuuntaaja eli invertteri, mikäli sähköä halutaan myydä verkkoon tai hyödyntää vaihtosähköllä toimivissa laitteissa (Motiva 2017a).

3 RAKENNUSLUVAT KOTKAN ALUEELLA

Kotkan kaupungin alueella maalämpöjärjestelmien energiakaivot ja lämmönkeruuputkistot ovat luvanvaraisia. Lupa haetaan sähköisesti Lupapiste.fi-palvelun kautta. Mikäli lupa myönnetään ja hanke toteutetaan, tulee lisäksi pyytää mittaus- ja kiinteistötoimesta lämpökaivolle sijaintikatselmus. Porauspyytäkirja toimitetaan Lupapiste.fi -palveluun. (Kotkan kaupunki 2019b)

Aurinkopaneelien ja aurinkokeräimien luvanvaraisuus selvitetään tapauskohtaisesti kaupungin rakennusvalvonnasta. Selvitys voidaan toimittaa Lupapiste.fi -palvelun kautta, sähköpostitse tai paperisena. Siihen tulee sisällyttää

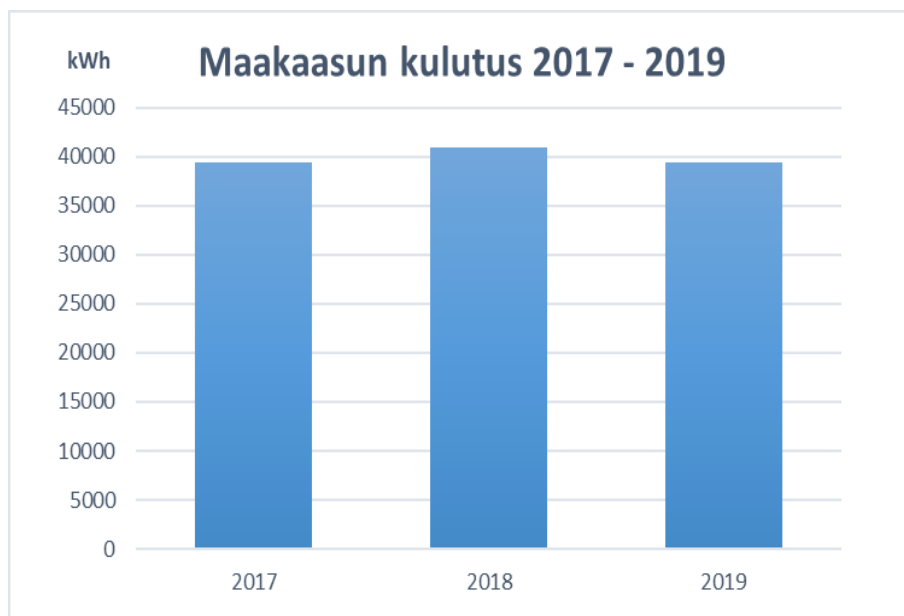
- hakijan yhteystiedot
- asemapiirros tai karttaote
- julkisivupiirustus, jossa suunnitellut paneelit on esitetty
- selvitys paneeleista: tyyppi, koko, asennustapa ja väritys.

Rakennusvalvonta tekee päätöksen luvanvaraisuudesta selvityksen perusteella. (Kotkan kaupunki 2019a)

4 KOHDERAKENNUS

Lämmitystapamuutoksen esiselvityksen kohteena on vuonna 1947 valmistunut kolmikerroksinen maatalo Kotkassa. Lämmitysjärjestelmän saneeraus on tullut ajankohtaiseksi, sillä nykyinen maakaasulämmitys on aloitettu vuonna

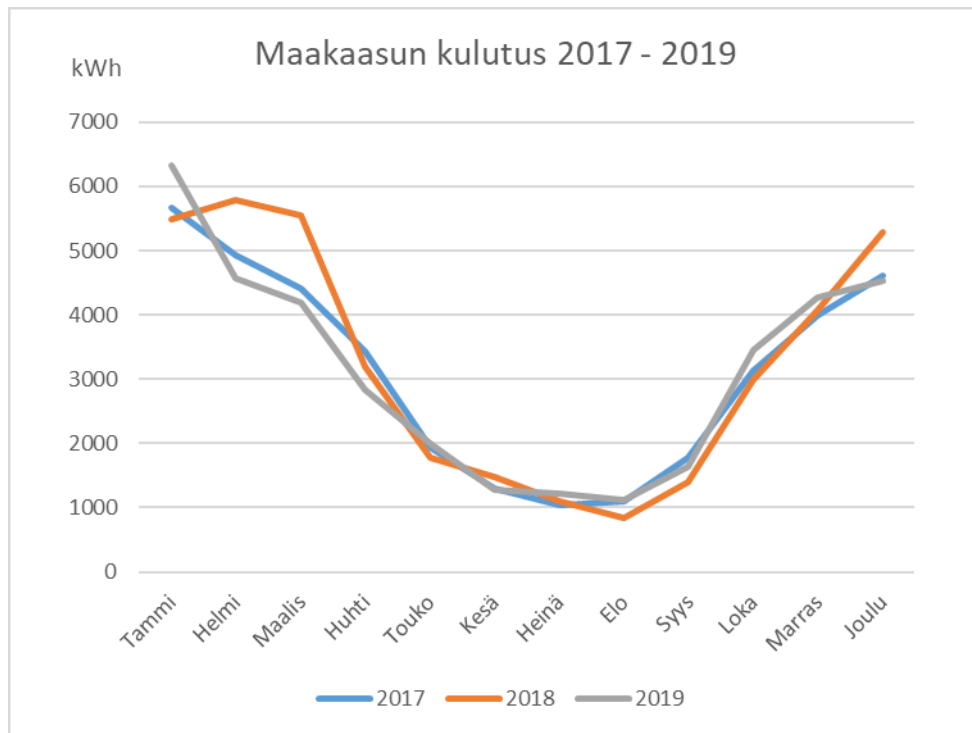
1997 ja lämmityskattila on pian käyttöikänsä lopussa. Omistajat ovat valinneet tulevaisuusi päälämmitysmuodoksi maalämmön, joten muita päälämmitystapoja ei ole työssä tarkasteltu.



Kuva 5. Maakaasun kulutus kohteessa vuosina 2017–2019

Toimeksiantajan esittämien laskutustietojen perusteella maakaasun kulutus kohteessa on viimeisen kolmen vuoden aikana pysynyt melko samalla tasolla, noin 40 000 kWh/a. Maakaasun vuosittaiset kulutukset on koottu kuvaan 5.

Kesäaikana maakaasua kuluu sekä lämpimän käyttöveden lämmitykseen että kellarikerroksen lattialämmitykseen. Lämpimän käyttöveden kulutus ja lattialämmityksen energiankulutus pysyvät kutakuinkin samana ympäri vuoden. Nykyisen maakaasukattilan kesäajan hyötysuhteeksi on taulukkoarvojen perusteella arvioitu 67 % (Ympäristöministeriö 2018a, 72). Maakaasun kulutus kesäkuukausina on vaihdellut välillä 850–1480 kWh. Kulutuksen ja kattilan kesäajan hyötysuhteen perusteella lattialämmitys ja lämmin käyttövesi kuluttavat ympäri vuoden noin 800 kWh hyötyenergiaa kuukaudessa. Maakaasun kulutuksen kuukausittainen jakauma kolmen vuoden ajalta on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Maakaasun kulutus kuukausitasolla vuosina 2017–2019

Patteriverkoston vesikiertojärjestelmä on uusittu vuonna 1997. Osa vanhoista lämmityspattereista on remontissa säästetty niiden sisustuksellisen arvon vuoksi. Tulevan lämmitystapamuutoksen yhteydessä patterit tullaan kuitenkin vaihtamaan uusiin, sillä asukkaat ovat huomanneet vanhimpien pattereiden lämpenevän epätasaisesti. Motivan (2018, 10–12) mukaan yli 40 vuotta vanhojen pattereiden uusimista on jo syytä harkita, sillä vanhojen tai huonokuntoisten pattereiden vaihdolla lämmitysjärjestelmän energiatehokkuutta voidaan parantaa.

Rakennuksessa ei ole lämminvesivaraajaa, mutta saneerauksen yhteydessä varaaja tullaan asentamaan osaksi lämmitysjärjestelmää. Myöskään koneellista ilmanvaihtoa ei rakennuksessa ole.

Laskentaa varten toimeksiantaja toimitti tarvittavia lähtötietoja rakennuksesta. Alkuperäiset pohjapiirrokset ovat vuodelta 1946 ja lisäosan piirrokset vuodelta 1997. Rakenteista suurin osa on alkuperäisessä kunnossa, pois lukien lisäosa sekä rakennuksen eteläpääty, joka on uusittu lisäosan rakentamisen yhteydessä. Lisäksi ulko-ovia ja ikkunoita on vaihdettu muutamaan otteeseen rakennuksen elinkaaren aikana. Suunnitelmissa on vanhimpien ikkunoiden vaihto samaan aikaan lämmitysjärjestelmän uusimisen kanssa. Ikkunoiden

vaihto on myöhemmissä laskelmissa huomioitu, sillä uusien ikkunoiden lämpöhäviöt ovat huomattavasti vanhoja pienemmät.

Rakennuksen lämmitetty nettoalalla tarkoitetaan ulkovaipan sisäpintojen rajaamaa lämmitettyjen kerrostasojen summaa (Ympäristöministeriö 2018a, 6). Pohjapiirrosten perusteella kohderakennuksen lämmitetty nettoala on noin 269 m². Lämmitettyyn nettoalaan ei ole laskettu alimman kerroksen kylmäkellariala, jonka pinta-ala on noin 16,4 m² seinärakenteineen.

5 RAKENNUKSEN LÄMMITYSTEHON TARVE

Kohderakennuksen lämmitystehontarve on laskettu maalämpöpumpun mitoistusta varten. Kohde sijaitsee säävyöhykkeellä II, joten laskennassa käytettävä mitoittava ulkolämpötila on -29 °C (Ilmatieteen laitos 2012). Koska rakenteita ei aiota ikkunoita lukuun ottamatta tulevassa saneerauksessa merkittävästi korjata, pysyy lämmityksen huipputehontarve melko samana lämmitystavan muuttuessa.

Kaikki tehontarpeen määrittämiseen käytetyt kaavat ovat Suomen rakentamismääräyskokoelman ohjeesta Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta (2018), pois lukien käyttöveden lämmitykseen kuluvaan energian ja tehon laskenta. Koska kaikkia rakenteellisia ominaisuuksia kohteesta ei tarkkaan tunneta, on laskuissa käytetty tarpeen mukaan ohjeessa annettuja arvoja. Osaa kaavoista on sovellettu työn laajuuteen ja tarkoitukseen sopivaksi, esimerkiksi kylmäsilat on huomioitu yksinkertaisella menetelmällä.

5.1 Vaipan lämpöhäviöteho

Rakennuksen vaipan lämpöhäviöt on laskettu Suomen rakentamismääräyskokoelmassa (Ympäristöministeriö 2018a, 64–65) esitettyjen laskentamenetelmien mukaisesti. Laskennan yksinkertaistamiseksi kylmäsiltojen on oletettu lisäävän ulkovaipan johtumislämpöhäviötä 10 % (Ympäristöministeriön asetus

rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017). Laskennassa käytetyt rakenteiden lämmönläpäisykertoimet eli U-arvot esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Rakennuksen vaipan U-arvot

	Vuosi	U-arvo (W/m ² K)	Lähde
Alapohja	1947	0,33	Arvio
Alapohja	1997	0,36	Määräys
Yläpohja	1947	0,4	Arvio
Yläpohja	1997	0,22	Määräys
Ulkoseinä	1947	0,7	Arvio
Ulkoseinä	1997	0,28	Määräys
Ikkuna	2020	1	Määräys
Ikkuna	1997	2,1	Määräys
Ulko-ovi	1997	0,7	Määräys

Ensimmäiset asuinrakennusten rakenteiden (ulkoseinät, ala- ja yläpohja) lämmöneristystä koskevat suositukset Suomessa ovat vuodelta 1949. Ikkunoita ja ulko-ovia koskevat ensimmäiset suositukset ovat puolestaan vuodelta 1969. Tätä vanhempien rakennusten tyypillisiä U-arvoja ja eristepaksuuksia on esitetty Energiatodistusoppaan 2018 liitteessä. (Ympäristöministeriö 2018b) Laskennassa on käytetty vanhoille rakenteille soveltuvia arvioita sekä uudemmille rakenteille määrättyjä vähimmäisarvoja.

Rakennusvaipan lämpöhäviöteho on laskettu kaavalla 1.

$$\Phi_{\text{johtuminen}} = (\Phi_{\text{ulkos.}} + \Phi_{\text{yläp.}} + \Phi_{\text{alap.}} + \Phi_{\text{ikk.}} + \Phi_{\text{ovi}}) \cdot 1,1 \quad (1)$$

jossa	$\Phi_{\text{johtuminen}}$	Lämpöhäviö rakennusvaipan läpi	[W]
	$\Phi_{\text{ulkos.}}$	Lämpöhäviö ulkoseinien läpi	[W]
	$\Phi_{\text{yläp.}}$	Lämpöhäviö yläpohjan läpi	[W]
	$\Phi_{\text{alap.}}$	Lämpöhäviö alapohjan läpi	[W]
	$\Phi_{\text{ikk.}}$	Lämpöhäviö ikkunoiden läpi	[W]
	Φ_{ovi}	Lämpöhäviö ulko-ovien läpi	[W]
	1,1	Kerroin, jolla kylmäsillat huomioidaan	[-]

Rakennusvaipan lämpöhäviötehon määrittämiseksi jokaisen rakennusosan lämpöhäviöt on laskettava erikseen kaavalla 2. Lisäksi eri aikoina valmistuneiden rakenteiden, joiden U-arvot poikkeavat toisistaan, johtumishäviöt on laskettu erikseen.

$$\Phi_i = U_i \cdot A_i \cdot (T_s - T_{u,mit}) \quad (2)$$

jossa	Φ_i	Lämpöhäviöt rakennusosan läpi	[W]
	U_i	Rakennusosan lämmönläpäisykerroin	[W/(m ² °C)]
	A_i	Rakennusosan pinta-ala	[m ²]
	T_s	Sisäilman lämpötila	[°C]
	$T_{u,mit}$	Mitoittava ulkolämpötila	[°C]

Laskennassa on oletettu, että rakennuksen sisäilma lämmitetään 17 °C:seen ja muut lämpökuormat nostavat lämpötilaa noin 21 °C:seen. Tällaisia lämpökuormia ovat muun muassa sähkölaitteet, henkilöt, ikkunoiden kautta tuleva auringon säteily sekä lämpimän käyttöveden varastoinnin ja siirron häviöt. Alapohjan alapuolisen maan lämpötilaksi on oletettu noin 6,6 °C ympäri vuoden. Kaavalla 1 laskettu lämpöhäviöteho rakennusvaipan läpi on noin 13,6 kW.

5.2 Vuotoilman lämpöhäviöteho

Rakennuksen epätiiveyden ja lämpötilaerojen aiheuttaman paine-eron vuoksi rakenteista virtaa ulos vuotoilmaa. Vuotoilmavirran aiheuttama lämpöhäviöteho riippuu ulkoilman lämpötilasta, joten lämmitysjärjestelmän riittävän lämmitystehon varmistamiseksi lasketaan vuotoilmavirran aiheuttama häviöteho mitoitussulkolämpötilassa.

Kohteen rakenteiden tiiveydestä ei ole olemassa tarkempaa tietoa, joten laskennassa käytetty rakennusvaipan ilmanvuotoluku q_{50} on taulukkoarvojen avulla laadittu arvio. Pientaloissa tyypillinen ilmanvuotoluku on keskimääräisellä ilmanpitävyydellä 3,0–5,0 m³/hm² ja huonolla ilmanpitävyydellä 5,0–10 m³/hm² (Ympäristöministeriö 2018a, 22). Laskentaan ilmanvuotoluku on arvioitu niin, että ilmanpitävyys on vanhoissa rakenteissa heikko, keskimäärin 7,5 m³/hm², ja uudemmissa rakenteissa keskimääräinen, 4,0. Rakenneosien

pinta-alojen painotettuna keskiarvona ilmanvuotoluvuksi on saatu noin 6,8 m³/hm².

Vuotoilmavirta on laskettu kaavalla 3. Rakennusvaipan eli ylä- ja alapohjan sekä ulkoseinien pinta-alaksi on laskettu 587 m². Rakennuksen kerrosmäärän mukaan määräytyvä kerroin x on kolmikerroksiselle rakennukselle 20. Vuotoilmavirta rakennuksessa on laskennan perusteella noin 0,054 m³/s eli 54 l/s.

$$q_{v,vuotoilma} = \frac{q_{50}}{3600 \cdot x} \cdot A_{vaiippa} \quad (3)$$

jossa	$q_{v,vuotoilma}$	Vuotoilmavirta	[m ³ /s]
	q_{50}	Rakennusvaipan ilmanvuotoluku	[m ³ /(h·m ²)]
	$A_{vaiippa}$	Rakennusvaipan pinta-ala	[m ²]
	x	Kerrosmäärän mukainen kerroin	[-]
	3600	Kerroin aikayksikön muuttamiseksi	[s/h]

Vuotoilman aiheuttama lämpöhäviöteho on laskettu kaavalla 4. Laskennassa ilman tiheytenä on käytetty arvoa 1,2 kg/m³ ja ominaislämpökapasiteettina arvoa 1 kJ/kg°C (Ympäristöministeriö 2018a, 66).

$$\Phi_{vuotoilma} = \rho_i \cdot c_{pi} \cdot q_{v,vuotoilma} \cdot (T_s - T_{u,mit}) \quad (4)$$

jossa	$\Phi_{vuotoilma}$	Vuotoilman lämpöhäviöteho	[W]
	ρ_i	Ilman tiheys	[kg/m ³]
	c_{pi}	Ilman ominaislämpökapasiteetti	[kJ/kg°C]
	$q_{v,vuotoilma}$	Vuotoilmavirta	[m ³ /s]
	T_s	Sisäilman lämpötila	[°C]
	$T_{u,mit}$	Mitoittava ulkolämpötila	[°C]

Vuotoilman aiheuttama lämpöhäviöteho rakennuksessa on mitoittavassa ulkolämpötilassa -29 °C noin 3 kW. Ilmavuodot aiheuttavat siis lämmityskaudella merkittäviä lämpöhäviöitä, jotka lisäävät lämmitysjärjestelmällä tuotettavan lämmitystehon tarvetta.

5.3 Käyttöveden lämmitys ja lattialämmitys

Käyttöveden lämmityksen ja siitä syntyvien häviöiden teho huomioidaan huipputehon tarpeen laskennassa. Koska lämmitysjärjestelmän uusimisen yhteydessä kohteeseen hankitaan sopiva lämminvesivaraaja, voidaan käyttövettä lämmitellä jatkuvasti melko tasaisella teholla. Laskennan yksinkertaistamiseksi on oletettu, että käyttövettä lämmitetään koko vuoden samalla teholla.

Käyttöveden kulutus on ollut noin 185 m³/a. Koska lämpimän käyttöveden kulutusta ei erikseen mitata, oletetaan sen olevan asuinrakennuksessa 40 % veden kokonaiskulutuksesta. Lämpimän käyttöveden lämmitykseen kuluva lämpöenergia on laskettu kaavalla 5. (Motiva 2019a)

$$Q_{LKV} = 58 \cdot V_{LKV} \quad (5)$$

jossa	Q_{LKV}	Lämpimän käyttöveden energiankulutus	[kWh/a]
	58	Lämmitysenergia (50 °C muutos)	[kWh/m ³]
	V_{LKV}	Lämpimän käyttöveden kulutus	[m ³ /a]

Lämpimän käyttöveden vuotuinen energiankulutus kohteessa on noin 4292 kWh. Lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhteeksi on arvioitu 0,85, joten hyötyenergiaa tarvitaan vuodessa 5050 kWh ja kuukaudessa 421 kWh.

Lämpimän käyttöveden lisäksi kellarikerroksen lattialämmitys on läpi vuoden käytössä. Lattialämmityksen kuluttama jatkuva teho on huomioitu yhdessä lämpimän käyttöveden kanssa, sillä molempien oletetaan pysyvän samana saneerauksen jälkeen eikä kuormien tarkempi erittely lämmitystehon tarpeen laskennassa ole tarpeen. Koska kellarin alapohja on maanvastainen, on lattialämmityksen lämpötehon oletettu pysyvän kutakuinkin samana koko vuoden.

Lämpimän käyttöveden ja lattialämmityksen kuluttaman jatkuvan tehon määrittämiseksi on laskettu vuosien 2017–2019 kesäajan maakaasun kulutuksien keskiarvo, joka on noin 1163 kWh/kk. Kattilan hyötysuhteeksi on arvioitu 0,67. Keskimääräiseksi kesäajan hyötyenergiaksi on saatu 780 kWh/kk ja hyötytehoksi 1,05 kW.

5.4 Tehon tarve yhteensä

Rakennuksen lämmityksen huipputehontarve lasketaan kaavan 6 mukaisesti osatehojen summana.

$$\Phi_{\text{lämmitys}} = \Phi_{\text{johtuminen}} + \Phi_{\text{vuotoilma}} + \Phi_{\text{lkv}} \quad (6)$$

jossa	$\Phi_{\text{lämmitys}}$	Lämmityksen tehon tarve	[W]
	$\Phi_{\text{johtuminen}}$	Tilojen lämmityksen tehon tarve	[W]
	$\Phi_{\text{vuotoilma}}$	Vuotoilman lämpöhäviöteho	[W]
	Φ_{lkv}	Lämpimän käyttöveden tehon tarve	[W]

Lämmitystehon tarve mitoittavassa ulkolämpötilassa on rakennuksella noin 18,5 kW ja ominaistehontarve 19,9 W/m³. Lämmitysjärjestelmän häviöt on vähennetty tehon tarpeen laskennassa, jolloin jäljelle jää ainoastaan rakennuksen tarvitsema hyötyteho.

Koska lämmitystehon tarve käyttäytyy lineaarisesti suhteessa ulkolämpötilaan, voidaan vuodessa tarvittava lämpöenergia laskea huipputehontarpeen ja testivuoden (TRY2012) lämpötilakertymien avulla. Testivuoden lämpöenergian tarve laskennan perusteella on kohteessa noin 37 600 kWh, mikäli ikkunoita uusitaan remontin yhteydessä. Nykyinen testivuoden lämpöenergian tarve on noin 40 300 kWh, huipputehon tarve 20,1 kW ja ominaistehon tarve 21,7 W/m³.

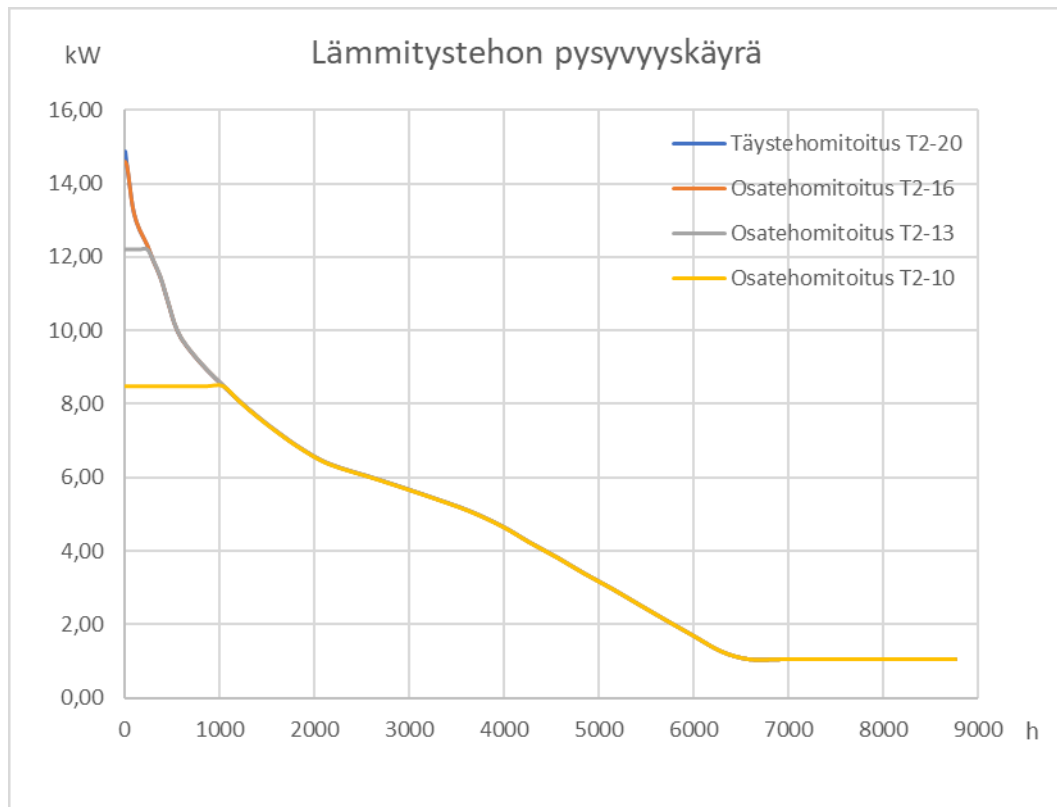
Laskettua nykyistä energiankulutusta vertailtiin vuoden 2019 säähavaintojen perusteella. Havaintoasemaksi valittiin Kotkan Rankki, jonka tuntikohtaiset mittauksiedot saatiin Ilmatieteen laitoksen sivustolta. Tarvittavaksi hyötyenergiaksi saatiin lasketun tehontarpeen perusteella 35 853 kWh, kun toteutunut maakaasun kulutus kohteessa oli 39 448 kWh. Kulutusten perusteella maakaasukattilan vuosihyötysuhde olisi 91 %, mikä lienee korkeampi kuin todellinen tilanne. Virhe johtunee sekä havaintoaseman sijainnista merellä että laskennan epätarkkuudesta ja oletettujen lähtöarvojen erosta todelliseen. Vertailun perusteella kuitenkin arvioitiin, että laskettu huipputehontarve kuvaa kohtalaisella tarkkuudella kohderakennuksen tehon- ja energiantarvetta.

6 PÄÄLÄMMITYS

Maalämpöpumppujärjestelmää tarkastellaan työssä esimerkkilämpöpumppujen avulla. Koska kohteessa on patterilämmitys, on tarkastelu tehty 0/55 °C lämpötilatason mukaisilla SCOP-arvoilla ja lämpötehoilla. Lämmönkeruu on oletettu toteutettavaksi energiakaivolla, sillä se on pientaloissa yleisin ratkaisu ja sitä voidaan käyttää myös jäähdytykseen (LVI 11-10623: 2018, 6–7, 10).

Tarkasteluun valittiin Gebwell T² -sarjan lämpöpumput T²10, T²13, T²16 ja T²20. Valinnan perusteena oli erityisesti täydelle teholle mitoitettun lämpöpumpun valinta. Useilla valmistajilla pientaloihin suunnattujen lämpöpumppujen lämpötehot ovat enimmillään 17 kW, joten ne eivät pysty tuottamaan täyttä lämmitystehoa kohderakennukseen. Gebwell T²20 oli tarkasteluhetkellä 20,3 kilowatin lämpötehollaan lähimpänä laskettua lämmitystehon tarvetta. Koska saman valmistajan lämpöpumpuista on saatavilla keskenään vertailukelpoisia lähtöarvoja, valittiin vertailuun useita osateholle sopivia vaihtoehtoja.

Lämmitystehon tarpeen oletetaan yleisesti käyttäytyvän kutakuinkin lineaarisesti suhteessa ulkolämpötilaan. Testivuoden ulkolämpötiloista ja niiden mukaisesta lämmitystehontarpeesta laadittiin pysyvyyskäyrä, joka tarvittavan lämmitystehon vuoden jokaisena tuntina. Kuvassa 7 on esitetty jokaisen vertailun maalämpöpumpun tuottama lämmitysteho testivuoden lämmitystehon tarpeen pysyvyyskäyrällä.



Kuva 7. Vertaillut lämpöpumput esitettynä lämmitystehon tarpeen pysyvyyskäyrällä. Kuvaajalla suurempiin lämmitystehoihin yltävät lämpöpumput kattavat myös pienempitehoisten mallien tuoton.

Vertailluista lämpöpumpuista T²10 tuottaa noin 45,9 % tarvittavasta huipputehosta ja 94,4 % testivuoden energiantarpeesta. T²13 tuottaa 65,9 % huipputehosta ja 99,5 % energiantarpeesta. T²16 tuottaa 78,9 % huipputehosta, mutta sen tuottama energia on jopa 99,9 % testivuoden energiankulutuksesta. Korkea energian tuotto suhteessa tehon tarpeeseen johtuu testivuoden ulkolämpötilojen jakaumasta, jossa alin havaittava ulkolämpötila on -21 °C, kun tehoon perustuva mitoitus on tehty ulkolämpötilalle -29 °C.

6.1 Kustannusvertailu

Täysteholle mitoitettujen ja osatehoille mitoitettujen lämpöpumppujen kustannuksia vertailtiin arvioidun pitoajan eli 30 vuoden ajalla. Laitteille selvitettiin hankintahinta, vuosittaiset kulut testivuonna sekä arvio korottomasta takaisinmaksuajasta. Järjestelmään on oletettu asennettavan myös puskurivaraaja, mutta sen hintaa ei ole lämpöpumppujen vertailussa huomioitu.

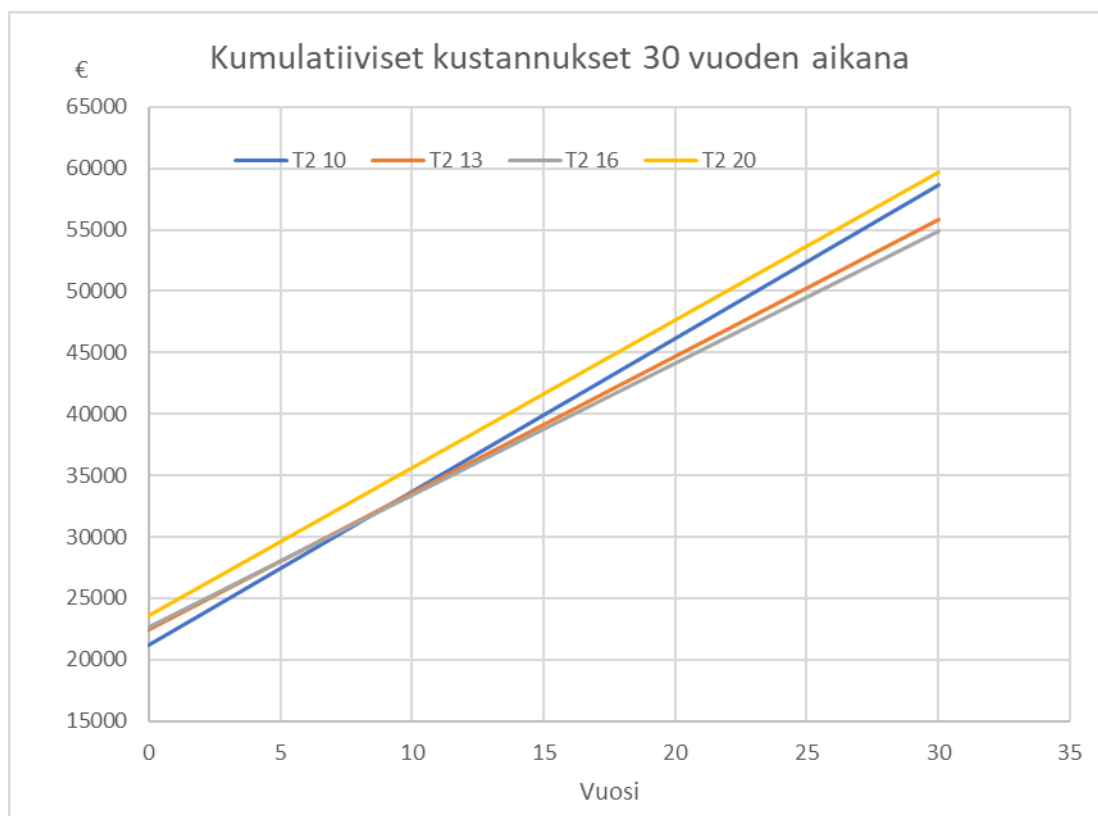
Lämpöpumppujen ja lisävastusten hankintahintana laskennassa käytettiin jälleenmyyntihintoja (Maalämpötukku s.a.). Maalämpöpumppujen testivuoden lämmöntuotanto laskettiin rakennuksen tietojen sekä valmistajan ilmoittamien laitetietojen pohjalta (Gebwell 2019b, 55-56). Sähkön hinta, 0,1069 €/kWh, on laskettu paikallisen Kymenlaakson Sähköverkko Oy:n listahintojen sekä Kymen Sähkö Oy:n KSOY Takuu -siirtosopimuksen hintojen mukaan (Kymenlaakson Sähkö s.a.b.; Kymenlaakson Sähkö 2018). Hintatiedot on tarkistettu 10.8.2020. Energiakaivon porauksen hinnaksi on oletettu noin 35 €/m (Techeat s.a.) ja vuotuiseksi energiantuotoksi noin 100 kWh/m (Gebwell s.a.). Vanhan maakaasukattilan purun ja maalämmön asennuksen kokonaishinnaksi on kaikissa vaihtoehtoissa arvioitu 5000 €.

Lämpöpumppujen sähkön kulutus on laskettu yksinkertaisella menetelmällä jakamalla vuotuinen lämmöntuotanto SCOP-arvolla. Energiakaivosta saatava energia on selvitetty vähentämällä lämpöpumpun vuosituotosta sähkön kulutus. (LVI 11-10623: 2018, 9) Energiakaivosta saatava energia on jaettu vuotuisella tuotolla metriä kohden, jolloin on saatu arvio tarvittavasta energiakaivon aktiivisyydestä. Syvyys on pyöristetty ylöspäin lähimpään kymmeneen metriin. Huomattavaa on, että täydelle teholle mitoitettun T²20-mallin SCOP-arvo on muita vaihtoehtoja heikompi, joten sen sähkönkulutus on suurempi ja energiakaivosta saatavan lämmön määrä pienempi. Tällöin tarvittava aktiivisyyskin on laskennassa pienempi kuin esimerkiksi T²16-mallin. Laskentaan käytetyt lähtöarvot ja laskennan tulokset on koottu taulukkoon 2.

Taulukko 2. Vertailtujen Gebwell T² -sarjan lähtötiedot ja lasketut kulut

	T ² 10	T ² 13	T ² 16	T ² 20
SCOP	4,6	4,5	4,6	4
Lämmöntuotanto (kWh/a)	35511	37406	37609	37611
Kompressorin sähkönkulutus (kWh/a)	7720	8313	8176	9403
Kompressorin sähkön hinta (€/a)	825,54	888,92	874,30	1005,50
Energiakaivon ilmaisenergia (kWh/a)	27791	29094	29433	28208
Energiakaivon aktiivisyvyys (m)	280	300	300	290
Porauksen hinta metrien mukaan (€)	9800	10500	10500	10150
Maalämpöpumpun hinta (€)	6130	6750	6920	8390
Lisävastuksen hinta (€)	225	225	225	
Purku + asennus (€)	5000	5000	5000	5000
Hinta yhteensä (€)	21155	22475	22645	23540
Lisälämmityksen tarve (kWh/a)	2100	205	2	
Lisälämmityksen sähkön hinta (€/a)	224,54	21,88	0,21	
Maalämmön käyttökulut vuodessa (€/a)	1050,08	910,80	874,52	1005,50
Maakaasun käyttökulut vuodessa (€/a)	3491,90	3491,90	3491,90	3491,90
Maalämmön takaisinmaksuaika (a)	8,7	8,7	8,7	9,5

Vertailussa huomattiin, että täydelle teholle mitoitettu maalämpöpumppu oli kallein vaihtoehto. Tämä johtuu sekä kalliimmasta hankintahinnasta että huonommasta SCOP-arvosta; yksinkertaisella laskutavalla täydelle teholle mitoitettun lämpöpumpun kompressorin kulutti enemmän sähköä ja tuotti vähemmän ilmaisenergiaa energiakaivosta kuin osateholla mitoitettut T²13- ja T²16-mallit. Kaikkien vaihtoehtojen koroton takaisinmaksuaika on laskennassa alle 10 vuotta, joten maalämpöpumppua voidaan tämän arvion pohjalta pitää kannattavana hankintana kohderakennukseen.



Kuva 8. Vertailtujen lämpöpumppujen kumulatiiviset kustannukset 30 vuoden aikana. Vuosi 0 kuvaa hankintahetkeä eli maalämpöpumpun hankintahintaa.

30 vuoden pitoajalla maalämpöpumppujen kumulatiiviset kustannukset ovat kuvan 8 mukaisesti noin 55 000–60 000 €. Osatehoille mitoitetuista lämpöpumpuista T²10-malli oli hankintahinnaltaan edullisin. Lisälämmitykseen sähkövastuksilla kului kuitenkin enemmän sähköä, mikä pitkällä aikavälillä näkyy kalliimpina käyttökustannuksina. Noin 7 vuoden jälkeen T²10-mallin kokonaiskustannukset ohittivat T²13- ja T²16-mallit, joiden kulut tarkasteluaianjaksolla olivat keskenään melko samaa luokkaa. 30 vuoden jälkeen T²16-mallin kumulatiiviset kustannukset olivat pienimmät, noin 54 930 €. Koska T²16-mallin sähkönkulutus oli vaihtoehtoista pienin, olisi vaihtoehto muihin verrattuna vielä edullisempi, mikäli sähkön hinta tarkasteluaikana nousisi.

6.2 Hintoihin vaikuttavat tekijät

Lämpöpumppujen vertailu on tehty saatavilla olleilla, yhden jälleenmyyjän esittämillä hintatiedoilla. Jälleenmyyntihinnoissa ja laitetoimittajien esittämässä tarjouksissa on eroja. Vaikka asennushinta on laskennassa oletettu samaksi

lämpöpumpusta riippumatta, voi todellisuudessa valittu pumppu vaikuttaa myös asennuksen hintaan.

Esitetty vertailu on tehty aiemman mitoituksen perusteella, mutta maalämpöpumpputoimittajien mitoitukset voivat poiketa esitetystä. Tämä vaikuttaa myös siihen, millaista järjestelmää kohteeseen suositellaan ja mitkä ovat laskennalliset käyttökulut. Mitoituksen ja lämpöpumpun valinta vaikuttavat myös energiakaidon syvyyteen ja porauksen hintaan. Energiakaivoja voidaan myös porata useampi, mikä voi vaikuttaa kustannuksiin. Toisaalta maalämpöjärjestelmä voidaan toteuttaa myös maapiirillä, jolloin investoinnin hinta muuttunee merkittävästi.

6.3 Sähköliittymän tarkastelu

Rakennuksen nykyinen pääsulakekoko on 3 x 25 A. Liittymän näennäisteho on laskettu kaavalla 7.

$$P = 3 \cdot U \cdot I \quad (7)$$

jossa	P	Näennäisteho	[VA]
	U	Vaihejännite	[V]
	I	Vaihevirta	[A]

Nykyisellä sähköliittymällä näennäisteho on noin 17,25 kVA. Laskennassa suurimman sallitun tehon arvona käytetään siis 17,25 kilowattia.

Viimeisen kolmen vuoden aikana suurin mitattu tuntikohtainen kulutuslukema on ollut 6,65 kWh/h ja vuonna 2019 suurin tuntikulutus oli 4,43 kWh/h. Koska lukemat ovat tuntikohtaisia, voidaan olettaa tehon vaihdelleen tunnin aikana. Hetkellisiä tehoja ei kuitenkaan sähkölaitoksen kulutustiedoista voida päätellä.

Gebwell T²16 -lämpöpumpulle ilmoitettu ottoteho lämpötilatasossa 0/55 °C on 5,0 kW. Huipputehon kattamiseksi tulisi järjestelmään kytkeä joko yksi 6 kW

tai kaksi 3 kW lisävastusta. Latauspumpun sekä keruupiirin pumpun maksimitehot ovat 175 W eli 0,175 kW. Maalämpöpumppu voisi tässä tapauksessa käyttää enimmillään 11,35 kilowatin sähkötehoa.

Suurimmaksi hetkelliseksi tehoksi tulee noin 18 kW. Tämä edellyttäisi kuitenkin kerran kolmessa vuodessa havaitun tehopiikin ja lämpöpumpun täyden tehon kytkeytymistä yhtä aikaa. Nykyisen sähköliittymän suurimman sallitun tehon ylittyminen on siis mahdollista, mutta sitä ei voitane pitää todennäköisenä. Tarvetta sähköliittymän muuttamiselle on kuitenkin syytä selvittää tarkemmin maalämpöpumpun hankinnan yhteydessä. Mikäli sähköliittymän pääsulakkeen nostaminen on tarpeen, aiheutuu muutoksesta sekä hankintakuluja että kuukausittaisen perusmaksun korotus.

7 JÄÄHDYTYS

Lämmitysjärjestelmän saneerauksen yhteydessä on rakennukseen tarkoitus hankkia myös viilennys, sillä sisätilojen lämpötila nousee toimeksiantajan mukaan kesäaikana epämukavan kuumaksi. Kohteeseen sopivia vaihtoehtoja ovat ilmalämpöpumppu sekä maaviileä. Maaviileän käyttö vaatisi puhallinkonvektorien hankintaa, sillä koneellista ilmanvaihtoa tai lattialämmityskiertoa ei kohteessa ole.

Yleisohjeena sisätilojen jäähdytyksessä on, että 1 kW teho riittää noin 15–20 m²:n jäähdyttämiseen (Kuluttaja 2015). Kahta eri jäähdytysvaihtoehtoa on vertailtu tämän arvion pohjalta niin, ettei kellaritiloihin oleteta tarvittavan jäähdytystä. Tällöin jäähdytettävää asuinpinta-alaa on noin 191 m². Jäähdytystehon tarpeeksi on arvioitu noin 9,6–12,7 kW. Jäähdytystä on arvioitu tarvittavan kesäkuukausina keskimäärin 6 tuntia päivässä. Arviot ovat hyvin suuntaa antavia ja tarkemman jäähdytystehontarpeen selvittäminen edellyttäisi laskentaa kattavalla mitoitusohjelmalla.

Puhallinyksiköitä on arvioitu tarvittavan kolme: kaksi keskikerrokseen ja yksi ylimpään kerrokseen. Keskikerroksessa asuintilat jakaa kaksi ruokakuntaa, joten ilma ei yhdeltä yksiköltä kiertäisi vapaasti koko kerroksessa. Rakennuk-

sessä on myös paljon väliseiniä ja lisäksi makuuhuoneita molemmissa kerroksissa, joten yläkerran omalla jäähdytyksellä voitaisiin paremmin varmistaa hyvä huoneilman viilennys kaikissa tiloissa, jotka ovat säännöllisessä käytössä.

7.1 Puhallinkonvektori

Puhallinkonvektoreilla huoneilmaa jäähdytetään käyttäen hyväksi energiakaivon viileää keruuliuosta. Jäähdytyksen sähkönkulutus on laskettu sillä oletuksella, että passiivinen viilennys energiakaivon keruuliuoksella riittää viilentämään huoneilmaa riittävästi. Koska keruuliuoksen lämpötila on kesällä merkittävästi huoneilman lämpötilaa alhaisempi, kondensoituu ilmasta kosteutta lämmönvaihtopinnalle. Tämä tekee huoneilmasta miellyttävämpää, mutta toisaalta tarkoittaa sitä, että puhallinkonvektoreille tulee asentaa kondenssiveden poistojärjestelmä.

Jäähdytyksen sähkönkulutus muodostuu kiertovesipumpun ja puhaltimen sähkönkulutuksesta, eli järjestelmän käyttökustannukset ovat pienet. Esimerkkitaitteeksi on valittu Cooper & Hunterin seinämällin puhallinkonvektori CH-FW040K2, jonka puhaltimen sähkönkulutus on 40 W ja maksimijäähdytysteho 3,28 kW (Cooper & Hunter s.a.). Kiertovesipumpun sähkönkulutuksen on oletettu olevan samaa luokkaa kuin keruupiirin pumpun eli noin 175 W, joten kolmen puhallinkonvektorin ja kiertovesipumpun yhteen laskettu teho jäähdytyksessä olisi noin 0,295 kW. Mikäli jäähdytystä käytetään kesäaikana noin kuuden tunnin ajan päivittäin, olisivat sähkönkulutus ja sähkön hinta kokonaisuudessaan

$$6 \text{ h/d} \cdot 90 \text{ d/a} \cdot 0,295 \text{ kW} = 159,3 \text{ kWh/a}$$

$$159,3 \text{ kWh/a} \cdot 0,1069 \text{ €/kWh} = 17,04 \text{ €/a}$$

Puhallinkonvektorien käyttökustannukset ovat siis hyvin pienet. Merkittävämpiä kulueriä ovat laitteiden hankinta ja asennus, joten laitteiden tehon ja määrän tarve on syytä arvioida tarkasti.

Edellä esitetyn puhallinkonvektorimallin hinta oli tarkistushetkellä 27.8.2020 580,00 € (Biottori.fi s.a.). Kolmen yksikön hankintahinta olisi 1740,00 €. Lisäksi kuluja tulee asennuksesta ja tarvikkeista, kuten kiertoputkista ja -pumpusta.

7.2 Ilmalämpöpumppu

Ilmalämpöpumpulla huoneilmaa jäähdytetään kesäaikana tarpeen mukaan. Laskennassa on oletettu, että jokaisella ilmalämpöpumpulla jäähdytetään kesäaikana huoneilmaa keskimäärin kuusi tuntia päivässä nimellisteholla. Esimerkkilämpöpumpuksi on valittu Cooper & Hunter Arctic Inverter NG 12 -ilmalämpöpumppu, jonka nimellinen jäähdytysteho on noin 3,5 kW ja ottoteho jäähdytyskäytössä 0,78 kW, jolloin kolmen lämpöpumpun ottoteho on yhteensä 2,34 kW. Vuosittainen sähkön kulutus ja hinta lämpöpumpuille olisi noin

$$6 \text{ h/d} \cdot 90 \text{ d/a} \cdot 2,34 \text{ kW} = 1263,6 \text{ kWh/a}$$

$$1263,6 \text{ kWh/a} \cdot 0,1069 \text{ €/kWh} = 135,13 \text{ €/a}$$

Ilmalämpöpumpuilla jäähdyttämisen käyttökustannukset ovat selvästi maaviileää korkeammat, mutta siitä huolimatta kustannuksia voitaneen pitää kohtuullisina. Hankintahinta (Biottori.fi s.a.) esimerkkipumpuille olisi 27.8.2020 tarkastetulla hinnalla 725,00 € kappaleelta, eli 2250,00 € kolmelle lämpöpumpulle. Lisäkuluja syntyy asennuksesta ja tarvikkeista.

7.3 Jäähdytysvaihtoehtojen vertailu

Maaviileän vuosittainen sähkönkulutus lasketuilla tiedoilla on 1104,3 kilowattituntia pienempi ja vuosittaiset käyttökustannukset 118,09 euroa edullisemmat kuin ilmalämpöpumpulla. Ilmalämpöpumpun pitoajaksi voidaan olettaa noin 20 vuotta (Energiatehokas koti 2020), ja tällä ajanjaksolla käyttökulujen välinen ero on 2361,81 €. Vaikka hintojen välinen ero on merkittävä, vaikuttavat ilmalämpöpumpunkin käyttökulut maltillisilta.

Molemmissa vaihtoehtoissa merkittävämpi kuluerä lieneekin laitteiden hankinta ja asennus. Puhallinkonvektorien hankinta ja asennus on kannattavinta tehdä maalämpöpumpun hankinnan yhteydessä. Ilmalämpöpumpuille tyypillinen asennushinta on noin 600–900 €, joskin lisähintaa voi tulla esimerkiksi lisätöistä tai korkeasta paikan asennuksesta.

Esimerkkilaitteiden sisäyksiköt ovat äänitasoltaan samaa luokkaa. Puhallinkonvektorin äänenvoimakkuudeksi on esitetty enimmillään noin 37 dB, ilmalämpöpumpun 38 dB. Kahta vaihtoehtoa vertailtaessa tulee kuitenkin huomioida, että ilmalämpöpumpun ulkoyksikön äänitaso on korkeampi, 52 dB, mikä voidaan ulkona kokea viihtyvyyttä heikentävänä tekijänä. Lämpöpumpun ulkoyksiköitä voidaan pitää myös esteettisenä haittana rakennuksen julkisivussa.

8 TÄYDENTÄVÄ ENERGIAMUOTO

Mahdollisiksi lisälämmitysratkaisuiksi maalämmön rinnalle tarkasteltiin aurinkokeräimiä ja vesikiertotakkaa. Lisäksi selvitettiin, olisivatko aurinkopaneelit kannattava hankinta osaksi rakennuksen energajärjestelmää. Aurinkokeräimillä kesäaikana kerättävää lämpöä voitaisiin kohteessa hyödyntää lämpimän käyttöveden lämmittämiseen sekä kellarin lattialämmitykseen. Vesikiertotakalla puolestaan voitaisiin säästää maalämpöjärjestelmän kuluttamassa sähkössä etenkin kovilla pakkasilla, varsinkin, jos polttopuuta on saatavissa omasta takaa. Vanhojen tulisijojen perustat on aiemmin purettu, joten tarkasteluun otettiin vapaasti seisova, kevyt kamiinamalli. Aurinkosähköllä voitaisiin korvata ostosähköä, jota kuluu sekä kodin sähkölaitteiden käyttöön että maalämpöjärjestelmän toimintaan kesäaikaanakin.

Maalämpöpumpun yhteyteen oletetaan asennettavan puskurivaraaja. Usealle lämmönlähteelle sopiva energiavaraaja mahdollistaa lisälämmön hyödyntämisen käyttöveden lämmityksessä ja sisätilan lämmityksessä. Kohderakennuksen kellarikerroksen matala huonekorkeus, 2,1 metriä, rajoittaa varaajan valintaa. Esimerkkivaraajaksi valittiin Gebwell G-Energy EV energiavaraaja, jonka 1000 litran mallista on saatavilla tilaan sopiva, matalampi vaihtoehto (Gebwell 2019a).

Rakennuksen katon harja on itä-länsisuuntainen ja lisäosa sijaitsee eteläpäädyssä. Päärakennuksen katon harja on yhteensä 11,3 metriä leveä ja se jakautuu kahteen jyrkempään sivuharjaan ja loivempaan keskiharjaan. Keskiosan leveys on 5,2 metriä ja kallistuskulma suhteessa vaakatasoon 43,5 °. Sivujen leveydet ovat 3,05 m ja kallistuskulma 64,6 °. Lisäosan katon kallistuskulma on sama kuin päärakennuksen sivuilla ja sen leveys on idässä 4,85 m ja lännessä 3,55 m.

8.1 Aurinkokeräimet

Aurinkokeräimillä on mahdollista hyödyntää auringon säteilyenergiaa lämpimän käyttöveden sekä kohderakennuksessa kellarin lattialämmitysveden lämmittämiseen. Motivan (2020a) mukaan on suositeltavaa, että jokaista 1,5 m² keräinpinta-alaa kohden on varaajatilavuutta ainakin 150 litraa. Koska suurin löytynyt kohderakennukseen sopiva varaaja oli tilavuudeltaan 1000 litraa, on laskelmissa käytetty kerääjäpinta-alana 10 m².

Arvio aurinkokeräimillä tuotettavasta lämmöstä on laskettu kaavalla 8 (Ympäristöministeriö 2018a, 49-50). Hyötysuhteena on käytetty arvoa 0,6. Suuntauksen huomioiva k-kerroin on itä- ja länsisuuntiin 0,8 ja energiantuotto käyttöveten keräinpinta-alaa kohden eli $q_{keräin}$ vyöhykkeiden I ja II alueella 390 kWh/(m²a).

$$Q_{aurinko,LKV} = \eta_{keräin} k_{keräin} q_{keräin} A_{keräin} \quad (8)$$

jossa	$Q_{aurinko,LKV}$	Aurinkokeräimellä tuotettu energia	[kWh/a]
	$\eta_{keräin}$	Aurinkokeräimen hyötysuhde	[-]
	$k_{keräin}$	Aurinkokeräimen suuntauksen kerroin	[-]
	$q_{keräin}$	Energiantuotto pinta-alaa kohden	[kWh/m ² a]
	$A_{keräin}$	Aurinkokeräimen pinta-ala	[m ²]

Aurinkokeräimet tuottaisivat noin 1870 kWh energiaa vuodessa. Laskentakaa-
van yhteydessä on esitetty, että tällä tavoin laskettuna aurinkokeräimet saisi-

vat tuottaa enintään 45 % vuotuisesta lämpimän käyttöveden energiantarpeesta. Tässä laskennassa tuotto olisi noin 43,6 % eli lähellä laskennallista maksimia. Tarkemmassa laskelmassa arvo voi kuitenkin ylittyä.

Aurinkokeräimien kannattavuuden arvioimiseksi etsittiin hinta keräimille ja asennukselle. Esimerkkihinta on poimittu Ekolämmöx Oy:n sivuilta (17.8.2020). Pakettihintaan on lisätty 15 metriä nesteputkea sekä kattoläpivienti. Arvio koko järjestelmän hankihinnasta on 6435 €.

Aurinkokeräinten kannattavuutta on arvioitu aiemmin kannattavimmaksi lasketun Gebwell T²16 -lämpöpumpun rinnalle asennettuina. Maalämpöpumpun sähkön kulutus on arvioitu SCOP-arvon avulla. Aurinkokeräimillä tuotettavan 1872 kilowattitunnin tuottamiseen maalämpöpumppu kuluttaa noin 416 kWh sähköä. Aiemmin esitetyllä sähkön hinnalla tämä maksaa 44,49 € vuodessa. Takaisinmaksuaika aurinkolämpöjärjestelmälle olisi siis noin 145 vuotta. Vaikka aurinkokeräinpaketti saataisiin ostettua esimerkiksi 50 % halvemmalla, olisi takaisinmaksuaika silti 73 vuotta. Aurinkokeräimiä ei siis voida pitää erityisen kannattavana hankintana kohderakennukseen maalämpöpumpun rinnalle.

Kuten aiemmin todettu, aurinkokeräimet ovat kannattavia, kun niillä korvataan kalliimpaa energiamuotoa. Maalämmön käyttökustannukset ovat kuitenkin varsin pienet, joten on odotettavissakin, etteivät aurinkokeräimet tuo säästöjä ke-sääajan lämmöntuotantoon.

8.2 Vesikiertotakka

Kohderakennuksessa ei ole perustuksia varaavalle tulisijalle, joten takkavaihtoehtoista päädyttiin tarkastelemaan kamiinamallista vesikiertotakkaa. Vesikiertoisella lämmönsiirrolla lämpöä saadaan siirrettyä vesivaraajaan ja siten hyödynnettyä pidemmällä ajalla ja koko rakennuksessa. Kevyttakalla tai kamiinalla lämmitys olisi epätasaisempaa ja hetkellisempää, mikä saattaisi sisäilman lämpötilan noustessa korkeaksi jopa haitata asumismukavuutta.

Lisälämmitys vesikiertotakalla vähentäisi maalämpöpumpun energian kulu-tusta lämmityskaudella. Vesikiertotakka asennuksineen on kuitenkin suurehko

investointi ja sen on kannattavinta silloin, kun polttopuuta on saatavilla maksutta omasta takaa. Laskennassa oletettiin poltettavan puun olevan koivua, jonka energiatiheys irtokuutiometrissä on noin 1010 kWh, kun sen kosteus on 20 % (Pirinen 1997, Alakangas ym. 2016, 90 mukaan).

Esimerkkilaitteeksi valittiin Aquaflam 7 -vesikiertokamiina, jonka nimellisteho on 7 kW. Tarkasteluhetkellä 20.8.2020 tuotteen hinta perusohjauksella oli 2290 € (Takkamaailma s.a.). Asennuksen ja lisätarvikkeiden hinnaksi on arvioitu noin 2500 €, mutta tarkempaa tietoa asennuksen hinnasta ei hakuhetkellä löytynyt.

Maalämpöpumpulla, jonka SCOP-arvo on 4,6, maksaa yhden kilowattitunnin lämpöenergian tuottaminen noin 0,023 €. Jotta energian hinta vesitakalla olisi yhtä edullista, tulisi polttopuun maksaa alle 20 €/i-m³. Tarkasteluhetkellä polttopuiden hinta vaihteli 40–70 €/i-m³ välillä. Maalämpöpumpulla tuotettua lämpöenergiaa ei siis kannata korvata ostopuulla.

Vesikiertotakalla voidaan säästää energiakuluissa, jos polttopuuta saadaan hyvin edullisesti tai maksutta. Mikäli polttopuu on ilmaista, voidaan vesikiertotakalla saavuttaa vuodessa taulukon 3 mukaisia säästöjä.

Taulukko 3. Ilmaisen polttopuun poltolla saavutettavia vuosittaisia säästöjä

Kulutus (i-m ³)	Energia (kWh/a)	Säästö (€/a)
1	798	18,55
2	1596	37,10
3	2394	55,65
4	3192	74,20
5	3990	92,74
6	4787	111,29
7	5585	129,84
8	6383	148,39
9	7181	166,94
10	7979	185,49
11	8777	204,04
12	9575	222,59
13	10373	241,14
14	11171	259,68
15	11969	278,23

Koroton takaisinmaksuaika esimerkkitakalle on 25 vuotta, jos ilmaista polttopuuta poltetaan 10 irtokuutiometriä vuodessa. Suuremmalla polttopuumäärällä takaisinmaksuaika on lyhyempi, mutta saatavilla olevan polttopuun määrä sekä tarkemmat asennuskustannukset on hyvä selvittää, mikäli vesikiertotakan hankintaa kohteeseen harkitaan.

8.3 Aurinkopaneelit

Aurinkopaneeleilla voidaan tuottaa sähköä omaan kulutukseen ja verkkoon myytäväksi. Lämpimän käyttöveden lämmittäminen maalämpöpumpulla ja viilennys joko puhallinkonvektoreilla tai ilmalämpöpumpuilla tulevat nostamaan rakennuksen sähkönkulutusta aiemmasta, joten aurinkopaneeleilla tuotetulla sähkölle on kohteessa käyttöä.

Kohderakennuksen katon harja on itä-länsisuuntainen, joten asentamalla paneeleita molemmille puolille kattoa voidaan tuotantoa jakaa tasaisemmin päivän ajalle. Tällöin omaan käyttöön tuotetun sähkö voi olla suurempi kuin samankokoisessa, yhdelle sivulle asennetussa järjestelmässä. Sekä kulutuksen että tuotannon ajallisen vaihtelun vuoksi 100 %:n oman käytön osuuteen ei kuitenkaan ole mahdollista päästä kuin alimitoitettulla järjestelmällä. Aurinkopaneeleille mitoitettavaa tehoa voidaan arvioida kesäpäivien tuntikohtaisten sähkönkulutusten perusteella. (RT 103076: 2018, 6-8)

Vuoden 2019 tuntikohtaisten sähkönkulutustietojen perusteella sähkö jatkuvana pohjakulutus on noin 0,7 kilowattia. Päiväsaikaan kulutus on noin 1,5-2 kilowatin luokkaa. Saneerauksen jälkeisen sähkönkulutuksen on aiempien laskelmien perusteella arveltu olevan 2,5 kilowatin luokkaa, joten paneelien huipputeho (kWp) valittiin lähelle tätä arvoa. Paneelien suuntauksen ja tuotannon tasaisen jakautumisen vuoksi oman käytön osuuden on arvioitu olevan noin 80 % koko tuotannosta.

Esimerkijärjestelmäksi valittiin KSOY:n valmis KSOY Oma aurinko -aurinkosähköjärjestelmäpaketti. Pienimmässä paketissa paneeleita on kahdeksan kappaletta, niiden pinta-ala on 14 m² ja huipputeho 2,68 kWp. Järjestelmän

vuosituotantoarvio on 2350 kWh ja paketin hinta 5650 € asennuksineen. Aurinkopaneelien malli on Trina Solar PE06H. (Kymenlaakso Sähkö s.a.a)

Tarkempi arvio aurinkopaneeleilla tuotettavasta sähköstä kuukausittain ja vuoden aikana on laskettu kaavalla 9 (Ympäristöministeriö 2018a, 70–71).

$$W_{pv,i} = \eta_{kenno} F G_{aur,i} A_{kenno} \quad (9)$$

jossa	$W_{pv,i}$	Tuotettu sähköenergia kuukaudessa	[kWh]
	η_{kenno}	Kennosto hyötysuhde	[-]
	F	Korjauskerroin	[-]
	$G_{aur,i}$	Säteilyenergia kuukauden aikana	[kWh/m ²]
	A_{kenno}	Kennoston pinta-ala	[m ²]

Valmistajan ilmoittama hyötysuhde aurinkopaneeleille on 17,3 % (Trinasolar 2020). Säteilyenergian kuukausittaiset arvot sekä suuntauksen ja kallistuskulman mukainen korjauskerroin F on luettu ympäristöministeriön oppaan taulukosta. F-kerroin on sekä itä- että länsisuunnassa parempi kallistuskulmassa 45 ° kuin 60 °, joten paneelit on oletettu asennettavaksi katon keskiharjalle. Arvio paneelien kuukausi- ja vuosituotannosta on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Aurinkopaneelien kuukausi- ja vuosituotanto kohderakennuksessa

	Itä (kWh/a)	Länsi (kWh/a)	Yht. (kWh/a)
Tammi	6	6	12
Helmi	26	25	50
Maalis	71	65	136
Huhti	127	128	255
Touko	174	166	340
Kesä	176	182	358
Heinä	192	194	386
Elo	142	122	264
Syys	84	86	170
Loka	25	26	50
Marras	8	8	16
Joulu	4	4	8
Yhteensä	1034	1012	2046

Laskettu vuosituotanto on hieman pienempi kuin myyjän esittämä, mikä johtuu paneelien asennussuunnasta. Paras tuotanto saadaan kesäaikana, mutta myös aikaisin keväällä ja myöhään syksyllä voidaan tuottaa kohtalainen määrä sähköä.

Koska aurinkopaneelien tuotannolla korvataan ostosähköä, riippuu takaisinmaksuaika sähkön osto- ja myyntihinnasta. Sähkön ostohintana kuluttajalle on käytetty aiemmin esitetty hintaa 0,1069 €/kWh. Sama sähköyhtiö ilmoittaa ostavansa kuluttajien tuottamaa ylijäämäsähköä Nord Pool Suomen tuntispot-hinnalla ja hyvittävänsä hinnan sähkölaskussa. Kesäajan sähkön spottihintaa on arvioitu Nord Poolin aiempien vuosien kuukausittaisten keskiarvojen perusteella. Ylijäämäsähkön keskimääräiseksi myyntihinnaksi on oletettu 0,03 €/kWh.

Lasketuilla hinnoilla ja tuotannolla aurinkopaneelit säästäisivät 175,03 € vuodessa ostosähkö ja tuottaisivat 12,28 € vuodessa myyntituloa. Takaisinmaksuaika aurinkopaneeleille olisi tällöin noin 30 vuotta. Sähkön ja sähkönsiirron hintojen kehitys voi kuitenkin vaikuttaa merkittävästi takaisinmaksu-aikaan.

9 YHTEENVETO

Selvityksen perusteella maalämpö on kohteeseen kannattava hankinta, sillä sen takaisinmaksuaika on alle 10 vuotta, kun käyttökuluja verrataan nykyisen maakaasulämmityksen kuluihin. Osateholle mitoitettu maalämpöpumppu on kohteessa kannattavampi vaihtoehto, sillä vain pieni osa vuotuisesta energiantarpeesta tarvitsisi tuottaa lisävastuksilla. Täydelle teholle mitoitetusta lämpöpumpusta tekee laskennassa kalliimman sekä sen korkeampi hankintahinta että huonompi SCOP-arvo.

Maaviileä oli laskennan perusteella käyttökustannuksiltaan edullisempi jäähdytystapa kuin ilmalämpöpumppu. Järjestelmiä vertailtiin kuitenkin hyvin korean jäähdytystarvearvion perusteella, joten jäähdytystehon tarpeen tarkempi arviointi voi olla tarpeen. Mikäli kohderakennukseen asennetaan aurinkosähköjärjestelmä, jonka tuottamaa sähköä voidaan käyttää jäähdytykseen, kaven-

tuu käyttökulujen ero maaviileän ja ilmalämpöpumpun välillä. Maaviileän asentaminen voi olla edullisempaa maalämpöpumpun asennuksen yhteydessä kuin myöhemmin, mikä kannattaa huomioida tarjouspyyntöä laatiessa.

Koska maalämpöpumpun käyttökustannukset ovat hyvin edulliset, ei maalämmön korvaaminen muilla lämmöntuotantotavoilla ole kohteessa kannattavaa. Lisälämmitys aurinkokeräimillä ei maksaisi itseään takaisin pitoajan puitteissa ja vesikiertotakalla lämmitys olisi kannattavaa vain, jos polttopuuta olisi maksettua käytössä useita irtokuutiometrejä vuodessa.

Sähkön tuotanto aurinkopaneeleilla voi olla kannattavaa, jos sähköstä suuri osa menee omaan käyttöön ja järjestelmä on oikein mitoitettu. Laskennassa aurinkopaneelien takaisinmaksuaika oli noin 30 vuotta eli kannattavuus on kyseenalainen, mutta mikäli paneelien hankintahinta olisi esitettyä edullisempi tai sähkön ostohinta tulevaisuudessa nousisi, lyhentyisi aurinkopaneelien takaisinmaksuaika.

Työn tavoitteita olivat kohderakennuksen maalämpöpumppujärjestelmän mitoituksen laskenta sekä tukien energiamuotojen ja jäähdytystapojen vertailu. Laskennalla saatiin kohtuullinen arvio lämmitysjärjestelmien hankintakustannuksista ja kannattavuudesta kohderakennuksessa. Samalla saatiin selvyys eri tekijöiden, kuten hankintahinnan ja mitoituksen, vaikutuksista lämmitysjärjestelmien kannattavuuteen.

Työn tuloksia voidaan käyttää vaihtoehtojen arvioimiseen yleisellä tasolla, mutta tarkempi mitoitus ja hinta-arvio saataneen laitetoimittajien tarjouksista. Työstä lienee toimeksiantajalle hyötyä myös laskentaperiaatteiden esittelyn puolesta, sillä samoja periaatteita voidaan soveltaa muidenkin kuin työssä esitettyjen laitteiden käyttökulujen ja takaisinmaksuaikojen selvittämiseen.

Työssä esitetyt hinta-arviot perustuvat saatavilla olleisiin laite- ja asennushintoihin. Laitetoimittajien ja asentajien tarjouksia vertailemalla selviäisi niiden todellinen hankintahinta. Laskennan tuloksia voitaisiin myös tarkentaa kattavammilla investointilaskelmilla sekä arvioimalla sähkön hinnan kehitystä takaisinmaksuajalla. Sähkön hinnan kehitys vaikuttaa maalämpöpumpun käyttökustannuksiin, mikä on hyvä huomioida myös tukien energiamuotoja vertailtaessa.

LÄHTEET

Alakangas, E., Hurskainen, M., Laatikainen-Luntama, J. & Korhonen, J. 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT. PDF-tiedosto.

Saatavissa: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2016/T258.pdf> [viitattu 20.8.2020].

Auvinen, K. 2016. Aurinkolämpöjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus. Finsolar. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://finsolar.net/kannattavuus/aurinkolampojarjestelmien-hintatasot-ja-kannattavuus-suomessa/> [viitattu 16.6.2020].

Biottori.fi. s.a. Nettikaupan tuotesivut. Saatavissa: <https://www.biottori.fi> [viitattu 27.8.2020].

Cooper & Hunter. s.a. Seinämällin puhallinkonvektorien tekninen suorituskyky. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://cooperhunter.fi/wp-content/uploads/2018/08/Puhallinkonvektorit-tekninen-suorituskyky-CooperHunter.pdf> [viitattu 26.8.2020].

Ekolämmöx.fi. s.a. Nettikaupan tuotesivut. Saatavissa: <https://ekolammox.fi/> [viitattu 17.8.2020].

Energiatehokas koti. 2020. Lämmitysjärjestelmien elinkaari. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/lammitysjarjestelmien_elinkaari [viitattu 27.8.2020].

Gebwell. s.a. Maalämmön hinta - mitä maalämpöinvestointi kustantaa ja mitä maalämmittäminen maksaa? WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://gebwell.fi/maalampo/maalammon-hinta/> [viitattu 10.8.2020].

Gebwell. 2019a. G-Energy EV energiavaraajan esite. PDF-tiedosto. Saatavissa: <https://gebwell.fi/wp-content/uploads/2019/07/Gebwell-G-Energy-EV-varaaja.pdf> [viitattu 16.8.2020].

Gebwell. 2019b. T² lämpöpumppu -ohje. PDF-tiedosto. Saatavissa: <https://gebwell.fi/wp-content/uploads/2019/11/T2-Asennus-k%C3%A4ytt%C3%B6-ja-huolto-ohjekirja-v-3-1-31012019.pdf> [viitattu 10.8.2020].

Ilmatieteen laitos. 2012. Energialaskennan testivuodet nykyilmastossa. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/energialaskennan-testivuodet-nyky> [viitattu 27.5.2020].

Juvonen, J. & Lapinlampi, T. 2013. Energiakaivo - Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Ympäristöministeriö. Ympäristöopas 2013. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO_2013.pdf [viitattu 15.5.2020].

Kotkan kaupunki. 2019a. Rakennusvalvonnan yleisiä ohjeita. Aurinkopaneelit ja -keräimet -ohje. PDF-tiedosto. Saatavissa: <https://www.kotka.fi/wp-content/uploads/2019/12/Aurinkopaneelit-ja-ker%C3%A4imet-ohje.pdf> [viitattu 14.8.2020].

Kotkan kaupunki. 2019b. Rakennusvalvonnan yleisiä ohjeita. Maalämpö-ohje rakentajalle. PDF-tiedosto. Saatavissa: <https://www.kotka.fi/wp-content/uploads/2019/12/Maal%C3%A4mp%C3%B6-ohje.pdf> [viitattu 14.8.2020].

Kuluttaja. 2015. Ostajan opas: ilmalämpöpumput. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://kuluttaja.fi/artikkelit/ostajan-opas-ilmalampopumput/> [viitattu 21.8.2020].

Kymenlaakson Sähkö. s.a.a. Aurinkopaneelit kotitalouksille. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ksoy.fi/aurinkosahko/aurinkopaneelit-kotitalouksille> [viitattu 27.8.2020].

Kymenlaakson Sähkö. s.a.b. KSOY Takuu -sähkösopimus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ksoy.fi/sahkon-myynti/sahkoa-kotiin/ksoy-takuu> [viitattu 10.8.2020].

Kymenlaakso Sähkö. 2018. Sähkön siirtohinasto 1.1.2018. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ksoy.fi/sahkon-myynti/asiakaspalvelu/hinnas-tot/sahkon-siirtohinasto-1.1.2018> [viitattu 10.8.2020].

LUT Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto. 2019. Aurinkoenergia ja aurinkosähkö Suomessa. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.lut.fi/uutiset/-/asset_publisher/h33vOeufOQWn/content/aurinkoenergia-ja-aurinkosahko-suomessa [viitattu 25.6.2020].

LVI 11-10623. 2018. Rakennustieto. Maalämpöpumput. Pientalot.

Maalämpötukku. Gebwell-maalämpöpumput. Verkkokaupan tuotekuvasto. Saatavissa: <https://www.maalampotukku.fi/category/11/gebwell-maalampopumput> [viitattu 10.8.2020].

Mattinen, M., Heljo, J. & Savolahti, M. 2016. Rakennusten energiankulutuksen perusskenaario Suomessa 2015-2050. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 35/2016. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://hdl.handle.net/10138/166673> [viitattu 16.6.2020].

Motiva. 2012a. Lämpöä ilmassa – Ilmalämpöpumput. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ajankohtaista/julkaisut/kaikki_julkaisut/lampoa_ilmassa_ilmalampopumput.9236.shtml [viitattu 21.8.2020].

Motiva. 2012b. Lämpöä omasta maasta – Maalämpöpumput. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ajankohtaista/julkaisut/lammitysjarjestelmat/lampoa_omasta_maasta_maalampopumput.10752.shtml [viitattu 4.6.2020].

Motiva. 2016. Tukilämmitysjärjestelmät. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/tukilammitysjarjestelmat [viitattu 3.6.2020].

Motiva. 2017a. Auringosta sähköä. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringosta_sahkoa [viitattu 25.6.2020].

Motiva. 2017b. Vertaile lämmitysjärjestelmiä – Perusteita valinnan tekemiseen. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/vertaile_lammitysjarjestelmia/perusteita_valinnan_tekemiseen [viitattu 3.6.2020].

Motiva. 2018. Lämpöpumppujen hankintaopas – kunnat ja taloyhtiöt. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/14752/Lampopumppujen_hankintaopas_kunnat_ja_taloyhtiot.pdf [viitattu 16.6.2020].

Motiva. 2019a. Laskukaavat: Lämmin käyttövesi. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energian kaytto/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi [viitattu 21.5.2020].

Motiva. 2019b. Ylijäämäsiähkön myynti. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelman_kaytto/ylijaamasahkon_myynti [viitattu 25.6.2020].

Motiva. 2020a. Aurinkolämmön varastointi – Varastointi vesivaraajaan. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelman_kaytto/aurinkolammon_varastointi/varastointi_vesivaraajaan [viitattu 17.8.2020].

Motiva. 2020b. Viilennystavat lämpöpumppujärjestelmissä. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumppujen_hankintaopas_kunnille_ja_taloyhtioille/viilennystavat_lampopumppujarjestelmissa [viitattu 27.8.2020].

NIBE. s.a. Kodin viilennys lämpöpumpun avulla. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.nibe.eu/fi/fi/tietopankki/viilennys-lampopumpun-avulla> [viitattu 21.8.2020].

RT 103076. 2019. Rakennustieto. Verkkoon kytketyt aurinkosähköljärjestelmät.

Suomen lämpöpumppuyhdistys. s.a. Ilmalämpöpumppu (ILP). WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sulpu.fi/ilmalampopumppu> [viitattu 27.8.2020].

Suomen virallinen tilasto (SVT). 2019. Asumisen energiankulutus. Verkkojulkaisu. Helsinki: Tilastokeskus. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/asen/2018/asen_2018_2019-11-21_tie_001_fi.html [viitattu 3.6.2020].

Takkamaailma. s.a. Nettikaupan tuotesivut. Saatavissa: www.takkamaailma.fi/ [viitattu 20.8.2020].

Tec Heat. s.a. Maalämpökaivo tai energiakaivo. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.techeat.fi/maalampo/maalampokaivo/> [viitattu 10.8.2020].

Tilastokeskus. 2020. StatFin. Asuminen - Rakennukset ja kesämökit: Rakennukset maakunnittain käyttötarkoituksen ja lämmitysaineen mukaan, 2005 – 2019. Tilastokeskuksen PxWeb-tietokannat. Saatavissa: <http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/> [viitattu 3.6.2020].

Trinasolar. 2020. Honey-PE06H-aurinkopaneelin tuotesivu. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.trinasolar.com/en-glb/product/Tianjing60-pe06h> [viitattu 27.8.2020].

Warma-uunit. 2018. Erilaisia tulisijatyyppejä. Blogikirjoitus. Saatavissa: <https://www.warmauunit.com/blogi/erilaisia-tulisijatyyppoja/> [viitattu 16.6.2020].

Ympäristöministeriö. 2018a. Energiatehokkuus - Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Suomen rakentamismääräyskoelma. PDF-tiedosto. Saatavissa: <https://www.ym.fi/download/no-name/%7BDFC56F1D-7C3A-404A-8E4F-4A77DE4C04F7%7D/133701> [viitattu 21.5.2020].

Ympäristöministeriö. 2018b. Tyypillisiä olemassa olevien vanhojen rakennusten alkuperäisiä suunnitteluarvoja. Energiatodistusoppaan 2018 liite. PDF-tiedosto. Saatavissa: [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennuksen energia ja ekotehokkuus/Rakennuksen energiatodistus/Energiatodistuselomakkeet](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennuksen_energia_ja_ekotehokkuus/Rakennuksen_energiatodistus/Energiatodistuselomakkeet) [viitattu 27.5.2020].

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017.
Liite 1.