

LAPPEENRANNAN-LAHDEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
School of Energy Systems
Energiatekniikan koulutusohjelma
BH10A0202 Energiatekniikan kandidaatintyö

OMAKOTITALON LÄMMITYSTAPAVERTAILU
COMPARISON OF DETACHED HOUSE
HEATING SYSTEMS

Työn tarkastaja: Tapio Ranta
Työn ohjaajat: Antti Karhunen ja Mika Laihanen
Lappeenrannassa 18.10.2020
Marika Bister

TIIVISTELMÄ

Lappeerannan-Lahden teknillinen yliopisto
School of Energy Systems
Energiatekniikka

Marika Bister

Omakotitalon lämmitystapavertailu

Kandidaatintyö 2020

30 sivua, 7 kuvaa, 4 taulukkoa

Hakusanat: öljylämmitys, pellettilämmitys, maalämpö, ilma-vesilämpöpumppujärjestelmä, kustannusvertailu

Tässä kandidaatintyössä vertaillaan vaihtoehtoisia lämmitysjärjestelmiä ja niiden kannattavuutta omakotitalossa. Työn kohteena on vuonna 1985 rakennettu, 120 m² omakotitalo, jossa on työn aloitushetkellä rakentamisen yhteydessä asennettu öljylämmitysjärjestelmä. Lämmitysjärjestelmän vaihto tuli kohteessa ajankohtaiseksi nykyisen järjestelmän iän ja öljyn hinnan nousun takia.

Kohteen ominaisuudet huomioiden valikoitui vaihtoehtoisiksi lämmitysmuodoiksi pellettilämmitys-, maalämpö- ja ilma-vesilämpöpumppujärjestelmä. Työssä käydään läpi järjestelmien toimintaperiaatteet ja tehdään kustannuslaskelmat saatujen tarjousten pohjalta 20 vuoden pitoajalle. Kustannuslaskelmista tehdään myös herkkyyssanalyysit, joiden avulla tutkitaan vaihtoehtoisia skenaarioita energiahintojen kehitykselle. Taloudellisuuden lisäksi järjestelmien sopivuutta kohteeseen pohditaan vaivattomuuden ja helppokäyttöisyyden näkökulmasta.

Työssä todetaan ilma-vesilämpöpumppujärjestelmän olevan sopivin vaihtoehto kohteeseen. Päätökseen vaikutti eniten järjestelmän ominaisuudet ja taloudellinen kannattavuus. Lämpöpumppuratkaisujen kustannukset osoittautuivat lähes yhtä suuriksi, joten lopulta ratkaisevaksi tekijäksi nousi ilma-vesilämpöpumppujärjestelmän yksinkertaisuus.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLILUETTELO

1	JOHDANTO	5
2	PIENTALOJEN LÄMMITYSJÄRJESTELMÄT SUOMESSA.....	6
3	ÖLJYLÄMMITYSJÄRJESTELMÄ	8
3.1	Toimintaperiaate	8
3.2	Kohteen nykyinen järjestelmä.....	9
4	VAIHTOEHTOISET LÄMMITYSJÄRJESTELMÄT	11
4.1	Järjestelmien valinta.....	11
4.2	Pellettilämmitysjärjestelmä.....	11
4.2.1	Toimintaperiaate	11
4.2.2	Kustannukset.....	12
4.3	Maalämpöjärjestelmä	13
4.3.1	Toimintaperiaate	13
4.3.2	Lämpökerroin	15
4.3.3	Maalämpöjärjestelmän luvat.....	16
4.3.4	Kustannukset.....	17
4.4	Ilma-vesilämpöpumppujärjestelmä	18
4.4.1	Toimintaperiaate	18
4.4.2	Kustannukset.....	19
5	KUSTANNUSLASKENTA	20
5.1	Laskennan lähtötiedot	20
5.2	Kustannukset ilman lainaa	21
5.3	Annuiteettimenetelmä	22
5.4	Energiahintojen kehitys.....	22
5.5	Tulokset.....	23
5.6	Herkkyysanalyysi	25
6	JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO	28
	LÄHTEET	30

SYMBOLILUETTELO

Roomalaiset aakkoset

$c_{n,i}$	annuiteettikerroin	[-]
E	sähköenergia	[kWh]
h	hinta	[€]
i	laskentakorko	[%]
I	investointikustannus	[€]
K	kustannus	[€]
n	investoinnin pitoaika	[a]

Kreikkalaiset aakkoset

Φ	lämpöenergia	[kWh]
--------	--------------	-------

Alaindeksit

h	huolto
hl	huoneiden lämmitys
lkv	lämmin käyttövesi
lt	lämmöntarve
n	vuotuinen
pa	polttoaine
tot	yhteensä

Lyhenteet

ARA	asumisen rahoitus- ja kehitysyhtiö
COP	Coefficient of Performance
EU	Euroopan unioni
SCOP	Seasonal Coefficient of Performance
SPF	Seasonal Performance Factor

1 JOHDANTO

Suomessa pientalojen energiantarpeesta lähes 70 % kuluu tilojen ja käyttöveden lämmitykseen. Lämmitysjärjestelmän valinta onkin yksi merkittävimmistä pientalon investoinneista. Eri järjestelmien taloudellisuutta vertaillessa on otettava huomioon esimerkiksi alkuinvestoinnista, lämmitysenergiasta sekä huollosta aiheutuvat kustannukset. Lämmitystapojen kannattavuutta on kuitenkin hyvä pohtia useasta eri näkökulmasta ja järjestelmän suunnittelu toteuttaa hyvin. (Energiatehokas koti, 2020a).

Lämmitystapaa miettiessä valintaperusteita on monia, kuten järjestelmän käyttövarmuus ja helppokäyttöisyys sekä rakennuksen ominaisuudet (Energiatehokas koti, 2020a). Lisäksi järjestelmän ekologisuudella on yhä suurempi merkitys lämmitystavan valinnassa. Alati nousevat energiahinnat sekä EU:n päästötavoitteet ohjaavat kuluttajia siirtymään uusiutuvia energialähteitä hyödyntäviin lämmitysmuotoihin. (Perälä 2013, 21-22).

Tämän työn tarkoituksena on vertailla erilaisia lämmitysjärjestelmiä ja niiden kannattavuutta omakotitalossa. Työn kohteena on Mäntsälässä sijaitseva, vuonna 1985 rakennettu, 120 m² omakotitalo, jossa on tällä hetkellä rakentamisen yhteydessä asennettu öljylämmitysjärjestelmä. Nykyisen lämmitysjärjestelmän ikä ja nousevat polttoainekustannukset ovat suurin syy uuden järjestelmän hankintaan.

Vertailuun on valittu kolme mahdollista lämmitysmuotoa: pellettilämmitys-, maalämpö- ja ilma-vesilämpöpumppujärjestelmä. Alun perin vertailuun haluttiin kaukolämpö, mutta kaukolämpöverkon sijaitessa liian kaukana järjestelmän kannattavuuteen nähden jätettiin se pois vertailusta ja tilalle otettiin pellettijärjestelmä.

Työssä käydään läpi vanhan ja vertailussa olevien järjestelmien toimintaperiaatteet sekä vuotuiset kustannukset saatujen tarjouspyyntöjen perusteella. Järjestelmille tehdään kustannuslaskelmat sekä ilman lainaa että lainan kanssa, ja tutkitaan kustannuksia 20 vuoden pitoajalla. Järjestelmien kannattavuutta vertaillaan myös energiahintoihin ja niiden kehitykseen perustuvien herkkyysanalyysien avulla. Lopussa käydään läpi työn tuloksia ja esitetään, mihin lämmitysjärjestelmään päädyttiin.

2 PIENTALOJEN LÄMMITYSJÄRJESTELMÄT SUOMESSA

Suomalaisten asuinrakennusten merkittävimpiä energialähteitä ovat sähkö, kaukolämpö, maalämpö, puu sekä öljy. Koko 2010-luvulla rakennuksien päälämmönlähteet ovat kokeneet muutosta öljy- ja puulämmityksen menettäessä suosiotaan uusiutuville lämmönlähteille. Jo 2000-luvun alusta lähtien erilaisten lämpöpumppujen määrät ovat olleet kasvussa. Lämpöpumpuista selkeästi suosituimpia myyntimäärien perusteella ovat ilma- ja maalämpöpumput. (Suomen virallinen tilasto, 2019.)

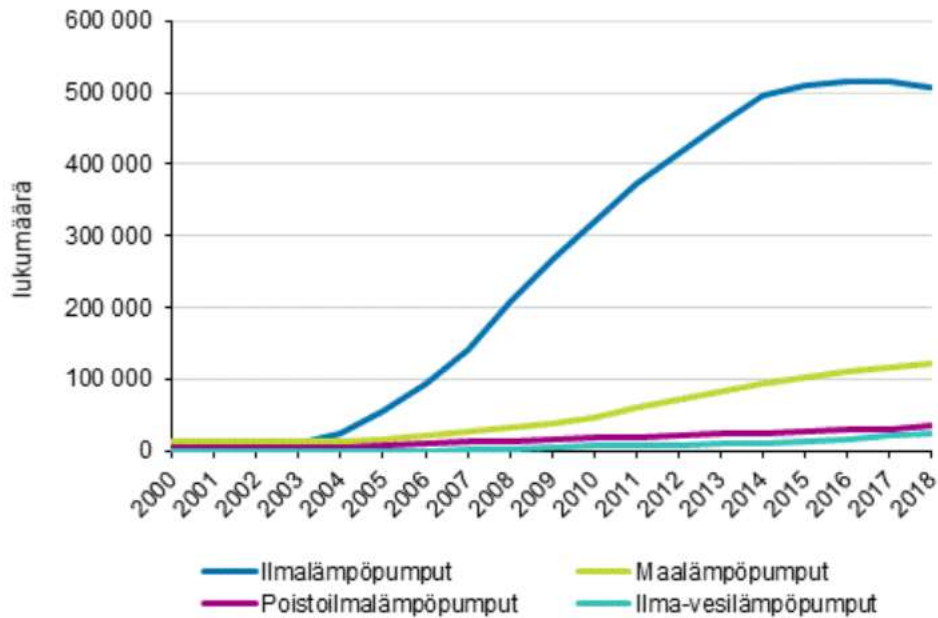
Suomessa pientalojen pääasiallinen lämmitysmuoto oli pitkään puulämmitys. Vielä 1970-luvun alussa puun osuus oli 40 % asuinrakennusten lämmitykseen käytettävistä polttoaineista. Vaikka puulla on edelleen sijansa ennen kaikkea vapaa-ajan asuntojen lämmityksessä (Suomen virallinen tilasto, 2019), on se fossiilisten polttoaineiden ohessa saanut väistyä kaukolämmön ja sähkölämmityksen tieltä kaupungistumisen myötä. (Kara et al. 2004, 19, 60.)

Puulämmityksen tapaan myös öljylämmityksen suosio on laskenut. Öljyn hinta halpeni 1900-luvun puolivälissä ja öljylämmityksestä tuli yleinen uusissa pientaloissa. Viime vuosina öljylämmityksen suosiota ovat kuitenkin vavisuttaneet öljykriisit, polttoaineen hinnan nousu ja ilmastonmuutoksen uhka (Perälä 2013, 13, 22). 2000-luvulla öljylämmitys on saanut väistyä omakotitaloissa maalämmön sekä kerros- ja rivitaloissa kaukolämmön tieltä. (Suomen virallinen tilasto, 2019.)

1900-luvun lopulla sähkölämmitys alkoi yleistyä fossiilisten lämmönlähteiden supistuessa. (Kara et al. 2004, 19). 2010-luvulle tullessa sähkö onkin ollut yleisin päälämmönlähde pientaloissa. Suosiota ovat kasvattaneet myös maalämpöpumput, joiden määrä on ollut kasvussa 2000-luvun alusta lähtien. Vuonna 2015 niiden suhteellinen osuus uusien pientalojen lämmitysjärjestelmistä oli 37,5 %. (Suomen virallinen tilasto, 2016.)

Myös muiden lämpöpumppujen suosio on kasvanut maalämpöpumppujen ohella. Kuvassa 1 nähdään lämpöpumppujen myyntimäärien kehitys 2000-luvulla. Erityisen suosittuja ovat olleet ilmalämpöpumput, joiden määrä on jopa 150-kertaistunut vuosituhaten alusta.

Ilmalämpöpumppu on otettu lisälämmönlähteeksi ennen kaikkea sähköä päälämmönlähteenä käyttävissä talouksissa. (Suomen virallinen tilasto, 2019.)



Kuva 1. Lämpöpumppujen myyntimäärien kehitys 2000-luvulla (Suomen virallinen tilasto, 2019).

Tulevaisuudessa maalämmön osuuden rakennusten lämmönlähteenä arvellaan edelleen kasvavan. Kasvuun vaikuttaa ennen kaikkea nousevat energiahinnat sekä erilaiset energia-avustukset, joilla kuluttajia tuetaan siirtymään öljylämmityksestä ympäristöystävällisempiin vaihtoehtoihin (Suomen virallinen tilasto, 2016). Maalämpöön ja muihin uusiutuviin energiamuotoihin siirtymistä ohjaa nyt ja varmasti myös tulevaisuudessa huoli ilmastonmuutoksesta. Uusiutuviin energialähteisiin siirtymistä ohjataan paljon myös EU:n toimesta erilaisten määräysten avulla. (Perälä 2013, 22.)

3 ÖLJYLÄMMITYSJÄRJESTELMÄ

3.1 Toimintaperiaate

Öljylämmitysjärjestelmä koostuu öljykattilasta, -polttimesta sekä -säiliöstä. Järjestelmän osat ovat nähtävissä kuvassa 1. Maan alla tai kattilahuoneessa olevasta öljysäiliöstä pumpataan öljyä kattilaan, jossa se palaa luovuttaen lämpöenergiaa talon lämmönjakopiiriin. Öljylämmitysjärjestelmällä voidaan lämmittää vesikiertoisen lattialämmityksen tai patteriverkoston vettä sekä käyttövettä. (Harju 2006, 32-37.)



Kuva 2. Nykyinen öljylämmitysjärjestelmä.

Pientalojen öljylämmitysjärjestelmissä käytetään yksitehoisia, paineöljyhajotteisia kevytöljypolttimia. Tällaisessa polttimessa öljy hajotetaan sumuksi pienireikäisen suuttimen avulla ennen palamisilman sekaan johtamista. Suuttimessa öljy ohjataan kiertoliikkeeseen, jolloin öljysumu purkautuu suuttimesta paloilman sekaan kartiomaisena kalvona ennen kuin se hajoaa pisaroiksi. Tarkoituksena on saada aikaan hienojakoinen öljyn ja ilman seos, joka palaa mahdollisimman täydellisesti. (Harju 2006, 35-37.)

Heti suuttimen jälkeen on sijoitettu sytytyskärjet, joilla öljyn ja ilman seos sytytetään. Yksitehopolttimessa liekki syttyy ja palaa koko ajan täydellä teholla. Polttimen toimintaa ohjaa kattilatermostaatti. Kun lämpötila laskee noin kuusi astetta alle asetetun katkaisulämpötilan, poltin käynnistyy. (Harju 2006, 36-38.)

Kattilassa palaessaan öljy luovuttaa lämpöenergiansa lämmönjakoverkostossa kiertävään veteen. Vesikiertoinen lämmönjakoverkosto on suljettu piiri, jossa kattilassa lämmennyt vesi luovuttaa lämpöä lattialämmityksen tai patterien kautta huoneilmaan ja palaa jäähtyneenä takaisin kattilaan. Veden lämpölaajenemisesta aiheutuva paineen vaihtelu pidetään hallinnassa paisunta-astian avulla. Astia ottaa vettä vastaan sen laajentuessa lämmitessään ja luovuttaa sitä veden jäähtyessä. Mikäli paine verkostossa kasvaa niin suureksi, ettei paineastia sitä pysty korjaamaan, avautuu varoventtiili päästäen ylimääräisen paineen pois. (Harju 2006, 66.)

3.2 Kohteen nykyinen järjestelmä

Työssä käsiteltävä kohde on Mäntsälässä sijaitseva, vuonna 1985 valmistunut omakotitalo. Talossa on yhteensä 120 m², joista lämmintä lattiapinta-alaa on 94 m². Kohteessa kuluu tällä hetkellä noin 1 300 litraa öljyä vuodessa. Vuotuinen vedenkulutus on noin 29 m³.

Talossa on tällä hetkellä käytössä rakentamisen yhteydessä asennettu öljylämmitysjärjestelmä, joka koostuu öljypolttimesta ja -kattilasta sekä yhden kuutiometrin kokoisesta öljysäiliöstä. Järjestelmä ja sen osat ovat nähtävissä kuvassa 1. Lämmönjako tapahtuu muualla talossa vesikiertoisen patteriverkoston kautta paitsi kylpyhuoneessa, jossa on lattialämmitys. Lisälämmönlähteenä talossa toimii varaava takka, jolla säästetään jonkin verran lämmityskustannuksissa. Takan tuottama säästö lämmitysenergiassa oletetaan säilyvän, minkä takia sitä ei huomioida päälämmitysjärjestelmän kustannuslaskuissa.

Oletetaan öljyn lämpöarvoksi 0,01 MWh/l (Alakangas Eija et al. 2016). Tällöin vuosittain tuotetuksi lämpöenergiaksi voidaan arvioida:

$$\Phi_{tuotto} = 1\,300\,l * 0,01 \frac{MWh}{l} = 13\,MWh \quad (1)$$

On kuitenkin huomioitava, että käytössä oleva öljykattila on jo vanha ja käyttöikänsä päässä, joten sen hyötysuhteeksi voidaan arvioida noin 80 % (Harju 2006, 35). Ottamalla kattilan hyötysuhde huomioon, saadaan kohteen vuotuiseksi lämmöntarpeeksi:

$$\Phi_{lt} = \Phi_{tuotto} * 0,80 = 10,4 \text{ MWh} \quad (2)$$

Kun kohteen käyttöveden kulutus tiedetään, voidaan selvittää, miten lämmitysenergia jakautuu huoneiden ja käyttöveden lämmityksen kesken. Omakotitalossa noin 40 % kulutetusta käyttövedestä on lämmintä käyttövettä. Veden lämmittämiseksi tarvittava energia on 0,058 MWh/m³. (Motiva, 2019.)

Tällöin vuosittain käyttöveden lämmittämiseen kuluu energiaa:

$$\Phi_{lkv} = 0,4 * 29 \text{ m}^3 * 0,058 \frac{\text{MWh}}{\text{m}^3} = 0,67 \text{ MWh} \quad (3)$$

Huoneiden lämmityksen osuudeksi jää 9,73 MWh.

Viime vuosina öljyn hinnoissa on ollut selkeää vaihtelua. Kohteen kulutustietojen perusteella hintojen keskiarvo on 0,9 euroa litraa kohden. Nykyisen lämmitysjärjestelmän vuotuiseksi lämmityskustannukseksi saadaan:

$$h_{öljy} = 0,9 \frac{\text{€}}{\text{l}} * 1\,300 \text{ l} = 1\,170 \text{ €} \quad (4)$$

Lisäksi järjestelmän huoltoon on kulunut keskimäärin 50 euroa vuodessa. Nykyisen järjestelmän vuotuiset kokonaiskustannukset ovat siis 1 220 euroa.

4 VAIHTOEHTOISET LÄMMITYSJÄRJESTELMÄT

4.1 Järjestelmien valinta

Uuden lämmitysjärjestelmän valinnassa avainkysymyksiä olivat järjestelmän taloudellinen kannattavuus, ympäristöystävällisyys ja helppokäyttöisyys. Kohteen koko, sijainti ja kulutusprofiili huomioiden vaihtoehtoisiksi lämmitysjärjestelmiksi valikoituivat pellettilämmitys-, maalämpö- ja ilma-vesilämpöpumppujärjestelmä.

4.2 Pellettilämmitysjärjestelmä

4.2.1 Toimintaperiaate

Pellettilämmitysjärjestelmän toimintaperiaate on hyvin samanlainen kuin öljylämmityksessä. Joissain tapauksissa öljy- tai puukattilaa voidaankin käyttää pelletin poltossa. Järjestelmän pääkomponentit ovat kattila, poltin, polttoainevarasto ja siirtokuljetin. Samaan tapaan kuin öljylämmitysjärjestelmässä, polttoaine palaa kattilassa luovuttaen lämpöenergiansa rakennuksen lämmönjakoverkostoon. (Motiva, 2016.)

Kattilan ja polttimen lisäksi pellettijärjestelmän olennainen osa on pellettien syöttöjärjestelmä. Yleensä syöttö on toteutettu ruuvikuljettimella, jossa siirtoruuvi siirtää pelletit varastosta polttimelle. Toinen vaihtoehto on käyttää imusiirtojärjestelmää, jossa pellettien siirto tapahtuu imun avulla siirtoputkia pitkin. Imusiirtojärjestelmällä pelletit siirretään suuremmasta varastosta kattilan läheisyydessä olevaan pienempään siiloon tai puskurivarastoon. Imusiirtojärjestelmä mahdollistaa pellettien siirron pidemmän matkan, parhaimmillaan 25 metrin, päästä. Järjestelmän ansiosta suora yhteys pellettivarastosta kattilahuoneeseen ei ole välttämätön, joten varasto voidaan sijoittaa esimerkiksi maan alle. (Motiva 2012a, 8.)

Pelletit varastoidaan siilossa, joka voidaan sijoittaa kylmään ja kuivaan ulkovarastoon, lämpimään tilaan kattilahuoneen läheisyyteen tai maan alle. Tärkeää on, että varasto on kuiva, etteivät pelletit pääse hajoamaan takaisin puruksi. Suuret siilot sijoitetaan yleensä erilliseen ulkovarastoon tai maan alle. Keskivertosuomalaisen omakotitalon vuotuista lämmitystarvetta vastaava pellettimäärä on noin viisi tonnia, mikä vaatii seitsemästä

kahdeksaan kuutiometriä varastotilaa. Pienimmät, niin kutsutut viikkosiilot taas voidaan sijoittaa suoraan kattilahuoneeseen. Tällaisen siilon tilavuus on 150-500 litraa ja sen yksi täyttö riittää pientalossa noin viikoksi. Tällöin pelletit voidaan siirtää pitkäaikaisvarastosta viikkosiiloon esimerkiksi käsin. (Motiva 2012a, 6-7.)

Pellettijärjestelmän kustannuksissa voidaan säästää rakentamalla pellettisiilo itse. Siiloa suunniteltaessa on otettava huomioon rakennus- ja paloturvallisuusmääräykset. Esimerkiksi viikkosiilon tapauksessa on huomioitava palomääräykset, joiden mukaan kattilahuoneessa saa säilyttää kiinteää polttoainetta korkeintaan 500 litraa. Varastoinnin ja siirtojärjestelmän huolellinen suunnittelu on tärkeää järjestelmän huolettoman ja turvallisen käytön takaamiseksi. (Motiva 2012a, 7.)

4.2.2 Kustannukset

Pellettilämmitysjärjestelmästä saatiin tarjous 15 kW pellettikattilasta, jossa samaan yksikköön on yhdistetty kattila, poltin sekä 170 litran kokoinen viikkosiilo. (Suomen pellettitalo, 2020). Pellettien säilytystä varten kattilahuoneen yhteyteen rakennettaisiin kahden kuutiometrin kokoinen varasto, koska kohteen piha-alueelle ei olisi mahdollista sijoittaa pellettisiiloa järkevästi.

Pellettikattilasta, käyttövesivaraajasta ja muista osista aiheutuvat kustannukset ovat 5 800 euroa. Järjestelmän asennuksesta ja vanhan järjestelmän purusta aiheutuvien kustannusten osuus on 1 500 euroa. Kokonaisuudessaan investoinnin suuruus on 7 300 euroa. (Suomen pellettitalo, 2020). Pellettivaraston rakentaminen aiheuttaisi myös jonkun verran lisäkuluja mutta jätetään ne laskennassa huomioimatta.

Pellettivaraston pienen koon takia, pellettejä ei voida tilata kohteeseen puhallusautolla. Järkevin tapa olisi tilata pellettejä 500 kilogramman suursäkeissä kaksi kertaa vuodessa. Työn kohteeseen kuljetettuna pellettien vuotuiseksi hinnaksi tulisi noin 70 €/MWh. (Vapo, 2020.)

Pellettikattilan hyötysuhteeksi on ilmoitettu 94 %, jolloin vuotuisiksi polttoainekustannuksiksi saadaan:

$$h_{\text{pelletti}} = 70 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} * \frac{10,4}{0,94} \text{ MWh} = 774,5 \text{ €} \quad (5)$$

Nykyaikaiset, automaattisella tuhkan poistolla varustetut pellettijärjestelmät vaativat vain vähän huoltoa (Motiva, 2012a). Järjestelmän pitoajalla suurimmat huoltokustannukset tulisivat todennäköisesti polttimen vaihdosta (Energiatehokas koti, 2020b). Tarjouksen mukaisella kattilalla vuotuisten huoltokustannusten arvioidaan olevan 150 euroa. Huomioimalla huollosta aiheutuvat kulut saadaan vuotuisiksi kokonaiskustannuksiksi 924,5 euroa. Seuraavassa taulukossa on koottuna järjestelmän alkuinvestointi ja vuotuiset kustannukset:

Taulukko 1. Pellettilämmitysjärjestelmän kustannukset.

Investointi [€]		Lämmitysenergia [€/a]	Huolto [€/a]	Vuotuiset käyttökustannukset ilman investointia [€/a]
Työn osuus	Pellettikattila ja - poltin			
1500	5800	774,5	150	924,5

4.3 Maalämpöjärjestelmä

4.3.1 Toimintaperiaate

Maalämpöjärjestelmässä hyödynnetään auringosta maaperään varastoitunutta lämpöenergiaa. Maasta lämpöä kerätään keruuputkistolla, joka voi olla upotettuna syvään porakaivoon, vaakaputkistoon pintamaahan tai lähellä olevan vesistön pohjaan. Lämpöpumpulla maasta kerätty lämpö siirretään talon lämmityspiiriin sähkön avulla. Maalämpöpumpua voidaan käyttää talojen lämmittämiseen, jäähdyttämiseen sekä käyttöveden lämmitykseen. (Motiva 2012b, 2-3.)

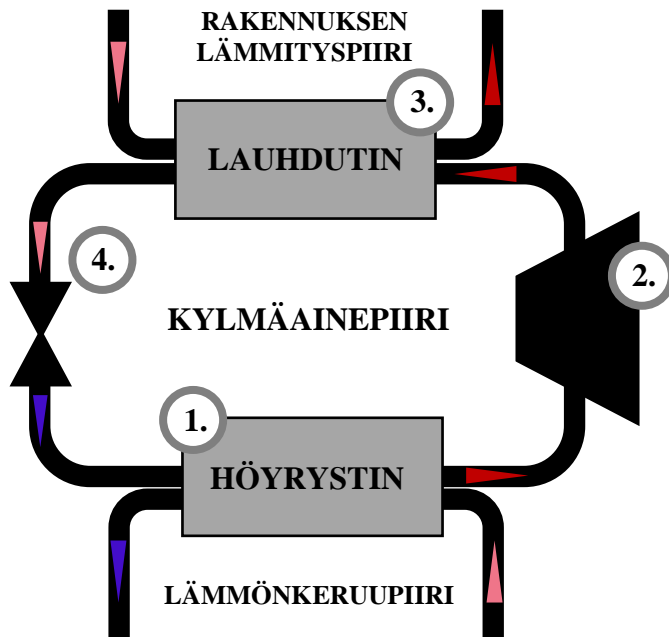
Yleisin ja erityisesti pienille tonteille soveltuva lämmönkeruutapa on porakaivo. Porakaivo on kallio- tai maaperään porattu reikä, jonka syvyys riippuu rakennuksen lämmöntarpeesta

sekä kaivon vedentuotannosta. Kaivon vedentuotto ei ole välttämätöntä, vaan se voidaan myös täyttää vedellä. Maksimissaan kaivo voi olla 200-250 metriä syvä. Mikäli kyseessä olevan rakennuksen lämmöntarve on suuri, voidaan porakaivoja tehdä useampia. Tällöin kaivot on sijoitettava vähintään 15-20 metrin päähän toisistaan. (Motiva 2012b, 4.)

Porakaivoa hieman halvempi ratkaisu on pintamaahan sijoitettavat vaakaputket. Ne sijoitetaan noin metrin syvyyteen maahan, 1,5 metrin päähän toisistaan. Kosteaa savimaa soveltuu tähän tarkoitukseen hiekkamaata paremmin. Kivimaahan vaakaputkistoa ei tule sijoittaa, koska roudan mukana liikkuvat kivet voivat vahingoittaa keruuputkia. Vaakaputkistoa varten tontin on oltava suurempi kuin porakaivon tapauksessa. Yksi putkimetri vaatii maapinta-alaa noin 1,5 neliometriä ja rakennuskuutiota kohden putkea tarvitaan 1-2 metriä. (Motiva 2012b, 4.)

Kolmas vaihtoehto on sijoittaa keruuputket vesistöön. Lämmöntuotannoltaan vesistö on verrattavissa hyvään porakaivoon. Keruuputkisto ankkuroidaan pohjaan tai pohjamutaan siten, ettei se pääse talvella jäätymään jääpeitteeseen. Lisäksi vedestä rakennukselle kulkeva putki on lämpöeristettävä hyvin, jotta lämpöä ei mene hukkaan maaosuudella. (Motiva 2012b, 5.)

Maasta kerätty lämpö siirretään rakennuksen lämmityspiiriin lämpöpumpulla. Lämpöpumpun toimintaperiaate on esitetty kuvassa 3. Lämmönkeruuputkissa kiertävä vesi johdetaan pumpun höyrystimeen. Höyrystimessä lämpö siirtyy pumpun kylmäaineeseen, joka höyrystyy nesteestä kaasuksi. Kaasuuntunut kylmäaine puristetaan kompressorissa, jolloin kaasu myös lämpenee. Kuumennut kylmäaine ohjataan lauhduttimeen, jossa lämpö siirtyy rakennuksen lämmityspiiriin ja edelleen huoneilmaan. Huoneilman lisäksi maalämpöpumpulla voidaan lämmittää myös käyttövetä. Lauhduttimessa nesteeksi lauhdunut kylmäaine palaa paisuntaventtiilin kautta takaisin höyrystimelle ja kierto alkaa uudelleen. (Juvonen ja Lapinlampi 2013, 12.)



1. Kylmäaine höyrystyy lämmönkeruupiiristä saadulla lämpöenergialla.
2. Kaasuuntunut kylmäaine puristuu ja lämpenee kompressorissa.
3. Kylmäaine luovuttaa lämpöenergiaa rakennuksen lämmityspiiriin.
4. Paisuntaventtiilissä paine ja lämpötila alenevat, minkä jälkeen kylmäaine palaa höyrystimeen ja kierto alkaa alusta.

Kuva 3. Lämpöpumpun toimintaperiaate.

Lämpöpumppu toimii sitä tehokkaammin mitä pienempi lämpötilaero lämmönlähteen ja rakennuksen lämmityspiirin välillä on. Lattialämmitysverkosto vaatii patteriverkosta matalamman veden lämpötilan, minkä takia maalämpöjärjestelmä soveltuukin vesikiertoiseen lattialämmitykseen hieman patterilämmitystä paremmin. (Motiva 2012b, 2.)

Maalämpöjärjestelmää voidaan käyttää kesällä myös rakennuksen viilentämiseen, jos lämmönkeruutapana on porakaivo. Viilennys voidaan toteuttaa johtamalla keruupiiristä saatu viileä vesi jäähdyttämään lämmityspiirin vettä, tuloilmaa jäähdyttävään jäähdytyspatteriin tai huonetiloihin menevään erilliseen jäähdytyspiiriin. Erillisen jäähdytyspiirin avulla huonetiloja voidaan viilentää jopa 6-8 astetta ja muissa jäähdytysmuodoissa 1-2 astetta. (Motiva 2012b, 5.)

4.3.2 Lämpökerroin

Lämpöpumpun tehokkutta kuvaa lämpökerroin eli COP (Coefficient of Performance). COP kertoo kuinka paljon lämpöpumppu kuluttaa sähköä verrattuna tuotettuun lämpöenergiaan seuraavan yhtälön mukaisesti:

$$COP = \frac{\Phi}{E} \quad (6)$$

missä	Φ	tuotettu lämpöenergia, kWh
	E	kulutettu sähköenergia, kWh

Jos siis pumpun lämpökerroin olisi kolme, pumpu kuluttaisi 1 kWh sähköä tuottaessaan 3 kWh lämpöä. COP kertoo kuitenkin pumpun tehokkuuden vain ideaalisessa tilanteessa, eikä siten sovi kuvaamaan pumpun hyötysuhdetta vaihtelevissa sääolosuhteissa. (Thermia, 2020.)

Nykyään yleisimmin käytettävä SCOP (Seasonal Coefficient of Performance) ottaa huomioon vuodenaikojen väliset vaihtelut ja siksi se sopiikin paremmin lämpöpumpun tehokkuuden arviointiin Suomen olosuhteissa. SCOP huomioi kuitenkin vain huoneiden lämmitysenergian eli lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kuluva energia tulisi määrittää erikseen. (Thermia, 2020.)

Vertailukelpoisin lämpökerroin kuvaamaan lämpöpumpun toimintaa on SPF (Seasonal Performance Factor), joka huomioi sekä huoneiden että käyttöveden lämmityksen. Samaan tapaan kuin SCOP myös SPF huomioi vuodenaikojen väliset vaihtelut sääolosuhteissa. SPF luku tulee määrittää jokaiselle pumpulle erikseen halutussa käyttökohteessa. (Thermia, 2020.) SPF-luku voidaan ilmoittaa myös erikseen käyttöveden ja tilojen lämmitykselle. Tällöin lämpöpumpun kuluttama sähköenergia saadaan seuraavasti (Ympäristöministeriö 2012, 10):

$$E = \frac{\Phi_{hl}}{SPF_{hl}} + \frac{\Phi_{lkv}}{SPF_{lkv}} \quad (7)$$

missä	SPF_{hl}	huoneiden lämmityksen SPF-luku, -
	SPF_{lkv}	käyttöveden lämmityksen SPF-luku, -
	Φ_{hl}	huoneiden lämmitykseen kuluva energia, kWh
	Φ_{lkv}	käyttöveden lämmitykseen kuluva energia, kWh

4.3.3 Maalämpöjärjestelmän luvat

Maalämpöjärjestelmän asentaminen vaatii pääsääntöisesti vähintään maankäyttö- ja rakennuslain mukaisen toimenpideluvan (132/1999, 126 a §). Maalämpöjärjestelmän asentamista saattaa rajoittaa esimerkiksi pohjavesi- ja muinaismuistoalueet sekä

maalainen rakentaminen. Toimenpidelupaa haetaan kunnan rakennusvalvonnasta. Luvanhakuprosessiin ja päätökseen saamiseen kuluu yleensä aikaa reilun kuukauden verran. (Juvonen ja Lapinlampi 2013, 13-15.)

Pohjavesialueilla ja keruuputkien vesistöasennuksissa tarvitaan toimenpideluvan lisäksi aluehallintoviraston myöntämä, vesilain (587/2011) mukainen lupa (Juvonen ja Lapinlampi 2013, 16). Vesistöasennuksella voi olla vaikutusta vesialueen ekosysteemiin sekä lämpö- ja happitalouteen. Lisäksi keruuputket estävät ankkuroinnin ja vaikeuttavat kalastusta, minkä takia putkistot tulee muistaa merkitä selkeästi. (Juvonen ja Lapinlampi 2013, 9.)

4.3.4 Kustannukset

Maalämpöjärjestelmästä saatiin tarjous, jossa lämmönkeruutapana toimisi porakaivo. Laitteinen ja asennuksineen investointikustannukset ovat 15 311,7 euroa, josta töiden osuus on 7 229 euroa ja pumpun sekä muiden osien osuus 8 082,7 euroa. Töiden osuutta nostaa erityisesti porakaivon asentaminen. (Tom Allen Senera, 2020.)

Maalämpöjärjestelmästä saadun tarjouksen yhteydessä lämpöpumpulle määritettiin lämpökertoimeksi 4,15 huoneilman lämmitykseen ja 2,1 käyttöveden lämmitykseen. Tällöin pumpun kuluttama, vuotuinen sähköenergia yhtälön 7 mukaisesti on:

$$E_e = \frac{9\,727,2\text{ kWh}}{4,15} + \frac{672,8\text{ kWh}}{2,1} = 2\,664,3\text{ kWh}$$

Valitaan sähkön hinnaksi paikallisen sähköverkkoyhtiön tarjoama sopimus yleissähköstä, jossa energiamaksu 5,20 snt/kWh (Nivos, 2020a). Sähkönsiirrosta aiheutuva energiamaksu on 4,08 snt/kWh (Nivos, 2020b). Lisäksi siirron yhteydessä on maksettava sähkövero, jonka suuruus on 2,79 snt/kWh. Sähkön hinnassa ei huomioida perusmaksuja, koska ne eivät ole kulutuksesta riippuvaisia. Yhdistämällä sähkön käytöstä aiheutuvat kulut saadaan sen hinnaksi 12,07 snt/kWh. Tällöin maalämpöjärjestelmän kuluttaman sähkön käytöstä aiheutuvat vuotuiset lämmityskustannukset olisivat:

$$h_{\text{sähkö}} = 2\,664,3\text{ kWh} * 0,1207 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 321,6\text{ €} \quad (8)$$

Maalämpöpumppu ei vaadi käytönaikana juurikaan huoltoa. Työssä huoltokustannusten oletetaan syntyvän vain mahdollisesta kompressorin vaihdosta pitoaikana. (Energiatehokas koti, 2020b). Pitoajalle jaettuna vuotuisiksi huoltokustannuksiksi tulisi 125 euroa. Seuraavassa taulukossa on koottuna järjestelmän alkuinvestointi ja vuotuiset kustannukset:

Taulukko 2. Maalämpöjärjestelmän kustannukset.

Investointi [€]		Lämmitysenergia [€/a]	Huolto [€/a]	Vuotuiset käyttökustannukset ilman investointia [€/a]
Työn osuus	Pumppu ja muut osat			
7 229	8 082,7	321,6	125	446,6

4.4 Ilma-vesilämpöpumppujärjestelmä

4.4.1 Toimintaperiaate

Vaihtoehtoinen lämpöpumppuratkaisu maalämmön tilalle on ilma-vesilämpöpumppujärjestelmä. Sen toiminta muistuttaa maalämpöjärjestelmää, mutta maaperän sijaan lämpöenergiaa kerätään ilmasta. Ilmasta kerätty lämpö johdetaan lämpöpumpun avulla lämminvesivaraajaan ja edelleen rakennuksen lämmityspiiriin. Rakennuksen lämmöntarve voidaan kattaa kokonaan ilma-vesilämpöpumppujärjestelmällä, mutta usein se rakennetaan myös toisen lämmitysjärjestelmän rinnalle. (Perälä 2013, 73-74.)

Markkinoilla on tarjolla kahdentyyppisiä ilma-vesilämpöpumppujärjestelmiä; split- ja monoblock-laitteita. Molemmat mallit koostuvat sisä- ja ulkoyksiköstä. Split-tyyppisen järjestelmän ulkoyksikössä ovat lämpöpumpun höyrystin ja kompressori. Ulkoyksikössä kerätty lämpöenergia johdetaan putkia pitkin sisäyksikölle, jossa sijaitsevat lauhdutin ja lämminvesivaraaja. Monoblock-tyypin järjestelmässä taas koko lämpöpumppu sijaitsee ulkoyksikössä ja sisäyksikköön tarvitaan vain lämminvesivaraaja. (Perälä 2013, 74.)

Ilma-vesilämpöpumppu ei aina yksinään riitä kattamaan rakennuksen lämmöntarvetta, jos ulkoilman lämpötila laskee alle 25 pakkasasteen. Siksi pumpun sisäyksikössä on lisänä sähkövastus, jolla voidaan korvata uupuva lämpöenergia. Lisäksi on hyvä huomioida, että

kovilla pakkasilla ilma-vesilämpöpumpun lämpökerroin laskee huomattavasti, minkä takia sen vuosittainen arvo on noin 2. (Perälä 2013, 74.)

4.4.2 Kustannukset

Ilma-vesilämpöpumpusta saatiin tarjous monoblock-tyyppisestä järjestelmästä, joka pystyisi kattamaan rakennuksen lämmöntarpeen ilman sähkövastuksia. Järjestelmän investointikustannukset laitteineen ja asennuksineen ovat 14 287,5 euroa. Työn osuus on 3 740 euroa sekä pumpun ja muiden osien osuus 10 547,5 euroa. (Tom Allen Senera, 2020.)

Ilma-vesilämpöpumpulle määritetty lämpökerroin huoneiden lämmityksessä on 3,74 ja käyttöveden lämmityksessä 1,57. Tällöin pumpun kuluttama vuosittainen sähköenergian määrä yhtälön 7 mukaisesti on:

$$E = \frac{9\,727,2\text{ kWh}}{3,74} + \frac{672,8\text{ kWh}}{1,57} = 3\,029,4\text{ kWh}$$

Sähkön hinta on sama kuin maalämmön kohdalla. Vuotuisiksi lämmityskustannuksiksi saadaan:

$$h_{\text{sähkö}} = 3\,029,4\text{ kWh} * 0,1207 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 365,6\text{ €} \quad (9)$$

Maalämpöpumpun tavoin ilma-vesilämpöpumpppukaan ei vaadi käytönaikana huoltoa ja huoltokustannusten oletetaan syntyvän vain mahdollisesta kompressorin vaihdosta pitoaikana. (Energiatehokas koti, 2020b). Pitoajalle jaetut huoltokustannukset ovat tällöin 75 euroa. Seuraavassa taulukossa on koottuna järjestelmän alkuinvestointi ja vuotuiset kustannukset.

Taulukko 3. Ilma-vesilämpöpumpujärjestelmän kustannukset.

Investointi [€]		Lämmitysenergia [€/a]	Huolto [€/a]	Vuotuiset käyttökustannukset ilman investointia [€/a]
Työn osuus	Pumppu ja muut osat			
3 740	10 547,5	365,6	75	440,6

5 KUSTANNUSLASKENTA

5.1 Laskennan lähtötiedot

Jokaiselle lämmitysjärjestelmälle on laskettu kokonaiskustannukset 20 vuoden pitoajalta järjestelmistä saatujen tarjousten perusteella. Lämmityskustannukset perustuvat öljyn kulutukseen kohdassa 3.2 esitetyllä tavalla. Laskelmat on tehty sekä ilman korkoa että koron kanssa annuiteettimenetelmällä, mikäli järjestelmän hankintaa varten otetaan lainaa. Tällöin laskentakorkona käytetään 5 %.

Lisäksi laskennassa on huomioitu mahdolliset avustukset. Suomen valtio ja asumisen rahoitus- ja kehitysyhtiö ARA tukevat lämmitysjärjestelmän vaihtamista kotitalousvähennyksen, energia-avustuksen sekä öljylämmityksestä luopumista tukevan avustuksen muodossa.

Kotitalousvähennyksen tapauksessa omistusasunnon lämmitystapaa muuttaessa verotuksessa voidaan vähentää uuden järjestelmän asennuksesta ja vanhan järjestelmän purkutyöstä aiheutuvista kustannuksista 40 %, kun asennuksen hoitaa yritys ja 15 %, kun tekijä on yksityinen. Kotitalousvähennyksen maksimi on 2 250 euroa vuonna 2020 teetetyistä töistä. Omavastuu kotitalousvähennyksessä on 100 euroa. (Vero, 2020.)

Vuosina 2020-2022 valtio tukee pientalouksia öljylämmityksestä luopumisessa. Mikäli öljylämmityksestä siirrytään kaukolämpöön, maalämpöön tai ilma-vesilämpöpumppujärjestelmään, on avustuksen suuruus 4 000 euroa. Muiden lämmitysmuotojen tapauksessa avustuksen suuruus on 2 500 euroa, mikäli järjestelmä ei hyödynnä fossiilista polttoainetta. (Ely-keskus, 2020.)

Lämmitysjärjestelmää vaihtaessa ympäristöystävällisempään on mahdollista hakea myös energia-avustusta asumisen rahoitus- ja kehitysyhtiö ARA:lta. Avustus voidaan myöntää, mikäli rakennuksen energiatehokkuutta kuvaava E-luku paranee merkittävästi. Laskelmat

rakennuksen E-luvusta ja korjausten vaikutuksista rakennuksen energiatehokkuuteen tulee teettää ammattilaisella ennen avustuksen hakemista. (Ara, 2020.)

Yhtä lämmitystaparemonttia kohden voi saada vain yhtä tukea. Ottaen huomioon ettei kohteessa tehdä muita talon energiatehokkuutta parantavia uudistuksia, ei ARA:n energiaavustusta haeta tähän kohteeseen. Koska työn kohteessa asuu vain yksi henkilö, ei kotitalousvähennyksestä saada yhtä suurta hyötyä kuin valtion tuesta koskien öljylämmitystä. Huomioidaan siten jokaisen järjestelmän kustannuslaskelmissa öljylämmityksestä luopumiseen ohjaava avustus, jonka suuruus on lämpöpumppujärjestelmillä 4 000 euroa ja pellettilämmitysjärjestelmällä 2 500 euroa.

5.2 Kustannukset ilman lainaa

Lämmitysjärjestelmien vuotuisten, korottomien kustannusten laskennassa huomioidaan lämmitysenergian hinta ja sen kehitys sekä vuotuiset huoltokustannukset seuraavasti:

$$K_n = K_{n,pa} * (1 + i_{pa})^{n-1} + K_h \quad (10)$$

missä	i_{pa}	polttoaineen hinnan kehitys, %
	K_n	vuotuinen kokonaiskustannus, €
	$K_{n,pa}$	vuotuinen polttoainekustannus, €
	K_h	vuotuinen huoltokustannus, €
	n	vuosien määrä, a

Kokonaiskustannukset 20 vuoden ajalta saadaan vuotuisten lämmityskustannusten ja alkuinvestoinnin summana seuraavasti:

$$K_{tot} = \sum K_n + I \quad (11)$$

missä	I	investointi, €
	K_{tot}	kokonaiskustannukset, €

5.3 Annuiteettimenetelmä

Annuiteettimenetelmässä investointi jaetaan tasaeriksi koko pitoajalle annuiteettitekijän avulla. Annuiteettitekijä saadaan seuraavan yhtälön mukaisesti:

$$c_{n,i} = \frac{i * (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \quad (12)$$

missä

$c_{n,i}$	annuiteettitekijä, -
i	laskentakorko, %
n	investoinnin pitoaika, a

Vuotuinen tasaerä eli annuiteetti lisätään yhtälön 10 mukaisesti laskettuihin vuotuisiin kokonaiskustannuksiin. Vuotuiset, korolliset kokonaiskustannukset saadaan siten laskettua seuraavasti:

$$K_n = I * c_{n,i} + K_{n,pa} * (1 + i_{pa})^{n-1} + K_h \quad (13)$$

Pitoajan kokonaiskustannukset saadaan vuotuisten kokonaiskustannusten summana.

5.4 Energiahintojen kehitys

Lämmitysenergioiden eli tässä tapauksessa pelletin ja sähkön hinnat eivät luonnollisesti tule pysymään samoina koko pitoaika. Hintakehitystä voidaan kuitenkin arvioida viime vuosien hintatilastojen avulla.

Tilastokeskuksen kuluttajahintaindeksien perusteella pelletin hinta on ollut viime vuosina nousussa. Hinnoissa on jonkin verran heilahtelua, mutta keskiarvallisesti vuotuinen kasvun on ollut kaksi prosenttia. Laskelmissa on oletettu pelletin hintakehityksen jatkuvan tähän tapaan myös tulevaisuudessa. (Suomen virallinen tilasto, 2020b.)

Myös sähkön kuluttajahinta, johon on laskettu mukaan siirtokustannukset ja verot, on ollut viime vuosina nousussa. 2010-luvulla hintakehitys on pääosin ollut hyvin maltillista mutta

vuodesta 2017 alkaen hinnat ovat nousseet selkeämmin. Viime vuosien perusteella sähkön hinnan oletetaan tulevaisuudessa kasvavan noin viisi prosenttia vuodessa. (Suomen virallinen tilasto, 2020a.)

Kevyen polttoöljyn hinnoissa on ollut paljon vaihtelua 2010-luvulla. Vuodesta 2016 hinnat ovat olleet selkeästi nousussa, kunnes vuoden 2020 alussa hinta laski rajusti koronapandemian seurauksena. On kuitenkin oletettavaa, että hinnat lähtevät uudelleen selkeään nousuun. Öljyn hinnalle voidaan arvioida tulevaisuudessa ainakin noin viiden prosentin vuotuinen nousu. (Suomen virallinen tilasto, 2020a.)

5.5 Tulokset

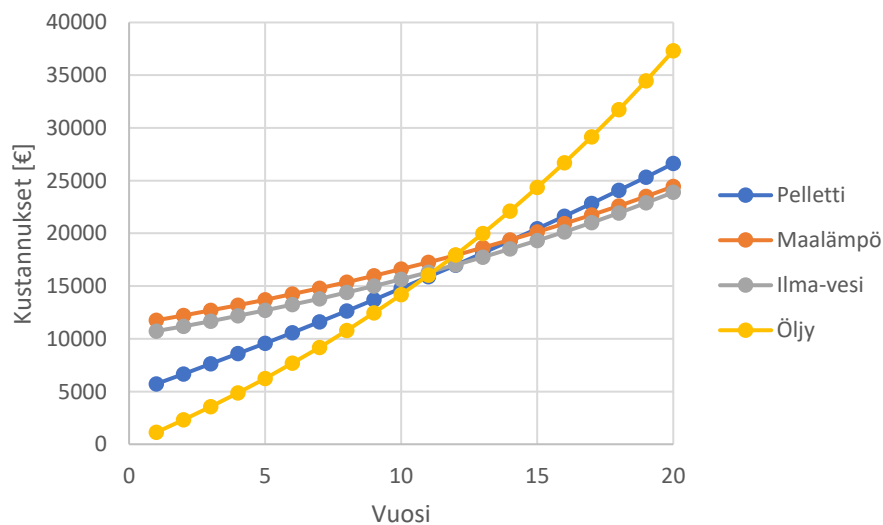
Taulukossa 4 on esitetty vertailussa olleiden lämmitysjärjestelmien vuotuiset sekä koko 20 vuoden pitoajalla syntyneet kustannukset. Ilman lainaa edullisimmaksi lämmitysmuodoksi 20 vuoden pitoajalla osoittautui ilma-vesilämpöpumppujärjestelmä. Lainan kanssa edullisimmaksi lämmitysmuodoksi osoittautui puolestaan pellettilämmitysjärjestelmä. Pellettilämmityksen tapauksessa ei kuitenkaan pystytty huomioimaan kaikkia mahdollisia investointikustannuksia, mikä korostuu järjestelmien korollisten kustannusten vertailussa. Mikäli pellettilämmitysjärjestelmän todelliset kokonaiskustannukset olisivat tiedossa, olisi ilma-vesilämpöpumppujärjestelmä todennäköisesti edullisin vaihtoehto myös lainan kanssa.

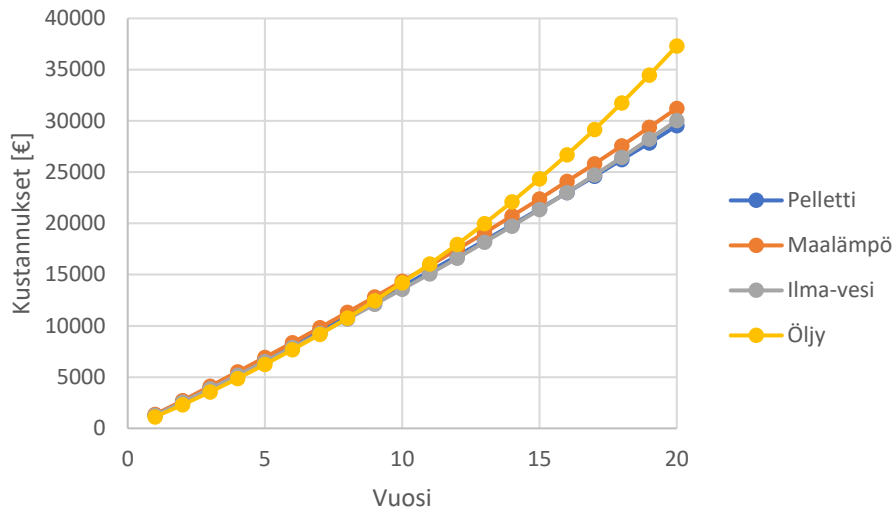
Pienimmät lämmitysenergiasta aiheutuvat kustannukset ovat maalämpöjärjestelmällä, mitä selittää suhteellisen korkeat, pumpulle ilmoitetut SPF-luvut. Maalämpöjärjestelmän kokonaiskustannuksia nostaa kuitenkin suuri alkuinvestointi ja siitä aiheutuvat korkokulut, minkä takia maalämpö olisikin kallein lämmitysmuoto korollisten kustannusten tapauksessa.

Taulukko 4. Kustannuslaskelmien tulokset.

Lämmitysmuoto	Pelletti	Maalämpö	Ilma-vesi
Investointi [€]	7 300	15 311,71	14 295,52
Avustus [€]	2 500	4 000	4 000
Annuiteetti [€/a]	385,2	907,7	826,1
Lämmitysenergia [€/a]	774,5	321,6	365,6
Huoltokustannukset [€/a]	150,0	125,0	75,0
Vuotuiset käyttökustannukset ilman investointia [€/a]	924,5	446,6	440,6
Kokonaiskustannukset 20 vuoden pitoajalla, koroton [€]	26 617,5	24 445,0	23 886,0
Kokonaiskustannukset 20 vuoden pitoajalla, korollinen [€]	29 520,8	31 286,9	30 113,3

Tutkitaan seuraavaksi kuvaajia 4 ja 5, joissa on esitetty lämmitysjärjestelmien kustannusten muutos pitoajan funktiona. Vertailun vuoksi kuvaajaan on lisätty myös kustannukset nykyisellä järjestelmällä.

**Kuva 4.** Järjestelmien korottomat kustannukset 20 vuoden ajalta.



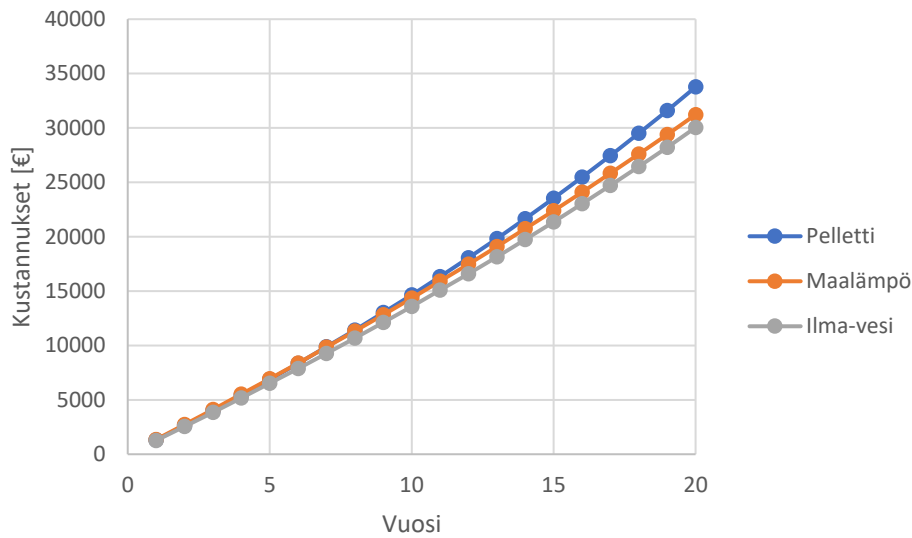
Kuva 5. Järjestelmien korolliset kustannukset 20 vuoden ajalta.

Kuvaajasta 4 nähdään, että selkein muutos korottomissa kustannuksissa tapahtuu 15 vuoden kohdalla, jolloin pellettilämmitysjärjestelmä ohittaa molemmat lämpöpumppujärjestelmät kokonaiskustannuksissa. Korollisten kustannusten tapauksessa vaihtoehtoisten järjestelmien kannattavuus suhteessa toisiinsa ei muutu, vaan järjestelmien kustannuskäyrät nousevat lähes samassa suhteessa koko pitoajan.

Nykyisellä järjestelmällä lämmityskustannusten huomataan tulevan kaikista kalleimmaksi jo ilman uusimistakin 20 vuoden pitoajalla. Lisäksi on selvää, että vanha öljylämmitysjärjestelmä on vaihdettava, eikä sen uusimista olla öljyn hintakehityksen takia edes harkittu. Jätetään öljylämmitys siis seuraavissa vertailuissa pois.

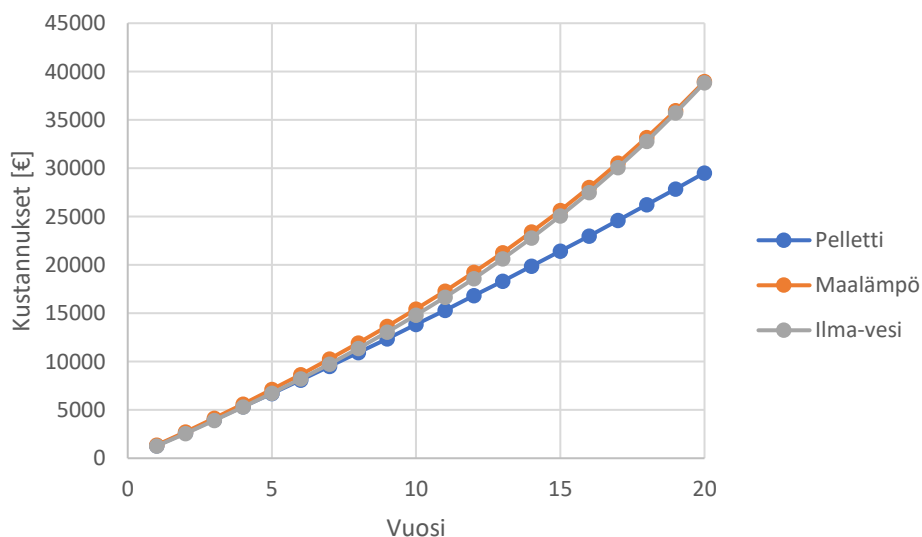
5.6 Herkkyysanalyysi

Kuvaajien 4 ja 5 tilanne pätee vain, jos oletus sähkön ja pelletin hintakehityksestä pätee. Tutkitaan seuraavaksi tilanteita, joissa sähkön ja pelletin hinnat muuttuvat eri tavalla. Analyysit on tehty korollisten kustannusten osalta.



Kuva 6. Järjestelmien korolliset kustannukset, kun pelletin hinta kasvaa 4 % vuodessa.

Kuvaajassa 6 on esitetty tilanne, missä pelletin hinta kasvaisi vuosittain neljä prosenttia ja sähkön viisi prosenttia. Tässä skenaariossa pellettijärjestelmän korolliset kustannukset ohittaisivat molempien lämpöpumppujärjestelmien kustannukset jo pitoajan alkupuolella. Jos huomioidaan vielä pellettijärjestelmän todelliset investointikustannukset, on pellettilämmitys selkeästi kallein lämmitysmuoto kuvaajan 6 tilanteessa.



Kuva 7. Järjestelmien korolliset kustannukset, kun sähkön hinta kasvaa 10 % vuodessa.

Kuvaajassa 7 pelletin hinnan nousu on oletettu pysyvän kahden prosentin suuruusluokassa ja sähkön hinnan nousevan kymmenen prosenttia. Sähkön hinnan noustessa rajummin lämpöpumppujen kustannusero pellettilämmitykseen kasvaa selvästi suuremmaksi pitoajan loppua kohden. Toisaalta myös lämpöpumppujärjestelmien välinen ero pienentyy. Sähkön hinnan ollessa korkeampi korostuu ilma-vesilämpöpumppujärjestelmän huonompi lämpökerroin, jolloin vuotuiset lämmityskustannukset kasvavat enemmän kuin maalämmön tapauksessa.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Työn kohteessa taloudellisesti kannattavimmaksi vaihtoehdoksi laskelmien perusteella osoittautui pellettilämmitys- tai ilmavesilämpöpumppujärjestelmä. Pellettilämmityksen tapauksessa laskuissa ei kuitenkaan pystytty huomioimaan kaikkia mahdollisia investointikustannuksia, joita syntyisi pellettivaraston rakentamisesta. Mikäli laskuissa olisi huomioitu pellettilämmityksen todelliset kustannukset, olisi ilma-vesilämpöpumppujärjestelmä todennäköisesti edullisin vaihtoehto sekä korottomien että korollisten kustannusten tapauksessa.

Vaikka nykyaikaisia pellettilämmitysjärjestelmiä tarvitsee huoltaa aiempaa vähemmän, vaatisi kohteeseen tuleva järjestelmä huomattavasti enemmän työtä käyttäjältään verrattuna muihin lämmitysvaihtoehtoihin. Kohteessa olisi päädytty viikkosiiloratkaisuun, jolloin siilo tulisi täyttää käsin kerran viikossa. Lisäksi polttoaineen tilauksesta tulisi huolehtia vähintään kahdesti vuodessa. Lämpöpumppuratkaisussa käyttömukavuus taas kuuluu järjestelmän suurimpiin etuihin. Lämpöpumppujärjestelmät ovat lähes huoltovapaita, eivätkä ne vaadi käyttäjältään toimenpiteitä käytön aikana. Suurin mahdollinen huollontarve aiheutuisi lämpöpumpun kompressorin vaihdosta. Erityisesti käyttömukavuutta ajatellen päätettiin pellettijärjestelmästä luopua ensimmäisenä.

Lämpöpumppujärjestelmille määritettyihin lämmityskustannuksiin vaikutti vahvasti lämpöpumppujen vuotuinen lämpökerroin. Tämän työn laskuissa käytettiin tarjouksen yhteydessä määritettyjä SPF-lukuja, joiden todettiin olevan ainoa vertailukelpoinen kerroin lämpöpumppujen tehokkuuden arviointiin. Jälleenmyyjän ilmoittamat SPF-luvut ovat hieman suuremmat kuin lämpöpumpuille kirjallisuudessa arvioidut vuotuiset kertoimet. Kirjallisuuslähteiden arvot eivät kuitenkaan ole täysin tuoreita ja lämpöpumpputekniikka kehittyy koko ajan, joten todellisten arvojen voidaan olettaa olevan kirjallisuudessa esitettyjen ja tarjousten arvojen välimaastossa. Tarjouksen mukaisilla luvuilla maalämpö tulisi kohteessa hieman ilma-vesilämpöpumppujärjestelmää kalliimmaksi.

Lämpöpumppuratkaisujen keskinäisessä vertailussa korostuu järjestelmän vaivattomuus. Ilma-vesilämpöpumppujärjestelmän asentaminen on huomattavasti nopeampaa ja yksinkertaisempaa kuin maalämmön tapauksessa, jossa eniten työtä aiheuttaisi porakaivon

tekeminen. Ilma-vesilämpöpumppujärjestelmän kohdalla säästyttäisiin myös erilaisten lupien hakemiselta, joita maalämpöjärjestelmä vaatisi.

Kohteessa päädyttiin lopulta ilma-vesilämpöpumppujärjestelmään. Kustannuslaskelmien perusteella molemmat lämpöpumppuratkaisut olisivat olleet hyviä vaihtoehtoja, joten ratkaisevaksi tekijäksi nousi ilma-vesilämpöpumppujärjestelmän vaivattomuus. Koska lämpöpumpun todellista lämpökerrointa ja sähkön hintakehitystä on hankala arvioida tarkasti, tulevat lopulliset kustannukset hieman poikkeamaan esitetyistä tuloksista. Todellisten kustannusten selvittämiseksi olisi perusteltua tarkastella järjestelmän toteutuneita kustannuksia pitoajan loppupuolella. Tämän työn tarkastelujen pohjalta voidaan kuitenkin todeta ilma-vesilämpöpumppujärjestelmän olevan sopiva valinta työn kohteeseen.

LÄHTEET

Alakangas Eija et al. 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia [verkkodokumentti]. ISSN 2242-122X. Tampere: Juvenes Print [viitattu: 27.09.2020]. Saatavissa: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2016/T258.pdf>

Ara. 2020. Energia-avustus henkilöasiakkaille. [verkkojulkaisu]. [viitattu: 05.08.2020] Saatavissa: https://www.ara.fi/fi-FI/Lainat_ja_avustukset/Energiaavustus/Henkiloasiakkaat

Energiatehokaskoti. 2020a. Lämmitys. [verkkojulkaisu]. [viitattu 09.09.2020]. Saatavissa: https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys

Energiatehokaskoti. 2020b. Lämmitysjärjestelmien elinkaari. [verkkojulkaisu]. [viitattu 09.09.2020]. Saatavissa: https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/lammitysjarjestelmien_elinkaari

Kara Mikko et al. 2004. Energia Suomessa. 3. painos. Helsinki: Edita Prisma oy. ISBN 951-37-4256-3.

Ely. 2020. Avustus pientalon öljylämmityksestä luopumiseksi. [verkkojulkaisu]. [viitattu: 16.09.2020]. Saatavissa: <https://www.ely-keskus.fi/web/ely/oljylammituksen-vaihtajalle>

Harju Pentti. 2006. Lämmitystekniikan oppikirja. 3. painos. Hamina: Penan Tieto-Opus Oy. ISBN 951-98799-5-1

Juvonen Janne ja Lapinlampi Toivo. 2013. Energiakaivo. [verkkodokumentti]. ISBN 978-952-11-4211-6. [viitattu: 08.09.2020]. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO_2013.pdf?sequence=4

Motiva. 2012a. Puupelletti lämmittää puhtaasti ja uusiutuvasti. [verkkodokumentti]. [viitattu: 12.06.2020]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/6059/Puupelletti_lammittaa_puhtaasti_ja_uusiutuvasti.pdf

Motiva. 2012b. Lämpöä omasta maasta. [verkkodokumentti]. [viitattu: 06.07.2020]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ajankohtaista/julkaisut/lammitysjarjestelmat/lampoa_omasta_maasta_maalampopumput.10752.shtml

Motiva. 2016. Pellettilämmitys. [verkkojulkaisu]. [viitattu: 10.06.2020] Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/pellettilammitys

Motiva. 2019. Laskukaavat: Lämmin käyttövesi. [verkkojulkaisu]. [viitattu: 07.10.2020]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energian kaytto/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi

Nivos. 2020a. Sähkösopimus. [verkkojulkaisu]. [viitattu: 06.10.2020]. Saatavissa: <https://www.nivos.fi/sahkosopimus>

Nivos. 2020b. Sähkönsiirron hinnasto ja toimitusehdot. [verkkodokumentti]. [viitattu: 06.10.2020]. Saatavissa: <https://www.nivos.fi/sahko/sahkonsiirron-hinnastot>

Perälä Rae. 2013. Lämpöpumput. 3. painos. Tallinna: Tallinna Raamatutrukikoda. ISBN 978-952-472-192-9.

Suomen pellettitalo. 2020. [tarjous]. [viitattu: 04.07.2020].

Suomen virallinen tilasto (SVT). 2016. Rakennus- ja asuntotuotanto [verkkojulkaisu]. ISSN=1796-3257. syyskuu 2016, Maalämmön osuus lämmönlähteenä kasvussa . Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 28.06.2020]. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/ras/2016/09/ras_2016_09_2016-11-25_kat_001_fi.html

Suomen virallinen tilasto. 2019. Asumisen energiankulutus [verkkojulkaisu]. ISSN=2323-3273. 2018, 1. Asuinrakennusten päälämmönlähteiden kehitys 2010-luvulla .

Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 11.08.2020].
Saatavissa: http://www.stat.fi/til/asen/2018/asen_2018_2019-11-21_kat_001_fi.html

Suomen virallinen tilasto. 2020a. Tilasto: Energian hinnat [verkkajulkaisu].
ISSN=1799-7984. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 15.09.2020].
Saatavissa: <http://www.stat.fi/til/ehi/kuv.html>

Suomen virallinen tilasto. 2020b. Tuottajahintaindeksit [verkkajulkaisu].
ISSN=1796-3613. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 06.09.2020].
Saatavissa: <http://www.stat.fi/til/thi/tau.html>

Thermia. 2020. Kolme tärkeää tekijää, jotka vaikuttavat lämpöpumpun valintaan.
[verkkajulkaisu]. [viitattu: 23.09.2020]. Saatavissa: <https://www.thermia.fi/hyodyllista-tietoa/osta-lampopumppu/lampopumppu-kolme-tekijaa/>

Tom Allen Senera. 2020. [tarjous]. [viitattu: 01.10.2020].

Vapo. 2020. Puupelletit. [verkkajulkaisu]. [viitattu: 09.10.2020]. Saatavissa:
<https://kauppa.vapo.fi/pelletti/>

Vero. 2020. Kotitalousvähennys. [verkkajulkaisu]. [viitattu: 22.07.2020]. Saatavissa:
<https://www.vero.fi/henkiloasiakkaat/verokortti-ja-veroilmoitus/tulot-ja-vahennykset/kotitalousvahennys/>

Ympäristöministeriö. 2012. Lämpöpumppujen energialaskentaopas. [verkkodokumentti].
[viitattu: 09.10.2020]. Saatavissa: <https://ym.fi/rakentamismaaraykset>