



Open your mind. LUT.  
Lappeenranta University of Technology

# **KESKUSLÄMMITYSPUUKATTILAN KORVAAMINEN LÄMPÖPUMPULLA**

**Replacement of wood fired central heat unit with heat pump**

Elias Markkanen

# Tiivistelmä

Lappeenrannan teknillinen yliopisto  
LUT School of Energy Systems  
Sähkötekniikka

Laatija: Elias Markkanen

Tutkielman nimi: Keskuslämmityspuukattilan korvaaminen lämpöpumpulla  
Asiasanat: lämpöpumppu, aurinkokeräin, puukattila, saneerauskohte

Tarkastaja: Mikko Kuisma, TkT

Työn aiheena on tutkia saneerauskohteeseen soveltuvia lämmitysratkaisuja ja vertailla niitä taloudellisin perustein kiinnittäen huomiota myös niiden käyttäjiltä vaadittaviin käytönaikaisiin toimenpiteisiin. Työ tehtiin kirjallisuustutkimuksena, jolloin aineistona käytettiin alan kirjallisuutta sekä internetlähteitä.

Työssä keskitytään vertailemaan lämpöpumppuja, joista tutkittavan kohteen vesikiertoiseen lattialämmitykseen liitettäväksi soveltuvat maalämpöpumppu sekä ilma-vesilämpöpumppu. Lisäksi halutaan selvittää aurinkokeräinjärjestelmän vaikutusta elinkaaren aikaisiin kustannuksiin, kun sitä käytetään lämpöpumppujärjestelmän rinnalla. Vertailuun otettiin mukaan myös puukattilan ja aurinkokeräimen hybridijärjestelmä, jolloin sen kustannuksia voidaan verrata lämpöpumppujärjestelmiin. Vertailu tehdään laskemalla eri järjestelmien elinkaaren aikaiset kokonaiskustannukset sekä järjestämällä ne tuotetun energian hinnan mukaan, kun huomioidaan kaikki sen tuottamiseen sisältyneet kustannukset.

Saatujen tulosten perusteella kaikkein halvin ratkaisu on puukattilan ja aurinkokeräimen hybridijärjestelmä. Korkeasta hankintahinnasta huolimatta maalämpö on kokonaiskustannuksiltaan halvempi kuin ilma-vesilämpöpumppu. Näiden kahden ero kokonaiskustannuksissa kasvaa vielä ennestään, jos sähkön hintakehitys on positiivista. Tutkittavassa tapauksessa aurinkokeräinten liittäminen lämpöpumppujärjestelmien yhteyteen on kannattavaa ainoastaan, jos sähkön hinta kasvaa yli 2 % tai 6 % vuodessa lämpöpumpputyypistä riippuen.

## Sisällysluettelo

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b> .....	<b>4</b>
1.1	Tutkimuksen tausta ja tavoitteet .....	4
<b>2</b>	<b>RAKENNUKSEN ENERGINTARVE</b> .....	<b>6</b>
2.1	Energiantarpeen laskenta .....	6
<b>3</b>	<b>LÄMMITYSRATKAISUT</b> .....	<b>10</b>
3.1	Maalämpö .....	10
3.2	Ilma- vesilämpöpumppu, UVLP .....	12
3.3	Aurinkokeräimet .....	14
3.4	Puukattila .....	16
<b>4</b>	<b>KÄYTTÖKUSTANNUKSET JA TUOTETUN ENERGIAN HINTA</b> .....	<b>18</b>
4.1	Maalämpöjärjestelmä .....	20
4.2	Ilma-vesilämpöpumppu, UVLP .....	22
4.3	Aurinkokeräin ja puukattila .....	24
4.4	UVLP ja aurinkokeräin .....	26
4.5	Laitteistojen vertailu taloudellisin perustein .....	28
<b>5</b>	<b>YHTEENVETO</b> .....	<b>31</b>
	<b>Lähteet</b> .....	<b>33</b>

## Liitteet

Liite 1 Lämpimän käyttöveden lämmitykseen kulunut energia

Liite 2 Kuopion lämmitystarvelukujen keskiarvo vuosilta 1980-2010

Liite 3 Energian hinnan kasvu

Liite 4 Laitteiston investointikustannusten laskenta

Liite 5 Tuotetun energian hinta

Liite 6 Käyttöiän aikaiset kustannukset

## Lyhenteet ja käytetyt symbolit

AL	aurinkolämpökeräin
PK	puukattila
MLP	maalämpöpumppu
UVLP	ilma-vesilämpöpumppu
COP	coefficient of power

C	hinta, kustannus
€	euro
n	käyttöikä
Q	lämmitysenergia
r	kasvuprosentti
V	tilavuus
W	watti
Wh	wattitunti

# 1 JOHDANTO

Tämän kandidaatin tutkielman tarkoituksena on etsiä korvaava lämmitysjärjestelmä vanhan puukattilakeskuslämmityksen tilalle vuonna 1999 rakennettuun hirsitaloon. Rakennus on rakennettu sen aikaisten rakennusmääräysten mukaisesti. Lämmitettävää pinta-alaa rakennuksessa on 130 m<sup>2</sup> ja huonekorkeus on 2.6 m. Lämmitysjärjestelmän vaihdon suunnittelu ja uusien korvaavien lämmitysratkaisujen kartoitus on tällä hetkellä ajankohtaista, koska 18 vuoden käyttöikänsä johdosta nykyinen järjestelmä tarvitsee joko sen osien vaihtoa tai kokonaan uuden järjestelmän.

Tutkielma tehdään kirjallisuustyönä, jossa tarvittavan materiaalin kasaamiseksi on hyödynnetty alan kirjallisuutta ja internetlähteitä. Työssä tutkitaan millaisia saneerausrakentamiseen soveltuvia lämmitysratkaisuja on olemassa ja niitä vertaillaan soveltuvuuden, laitetypin sekä sillä tuotetun energian hinnan, käytettävyyden ja tarvittavien kunnossapitotoimien mukaan. Lisäksi selvitetään lainan korkokulujen ja energianhinnan kasvun vaikutusta koko käyttöiältä koituviin kustannuksiin. Laitteiston valinnassa merkittävä painoarvo laitteiston valinnassa asetetaan järjestelmän elinkaaren aikaisille kustannuksille. Uuden lämmitysjärjestelmän valintaperusteina on asukkaiden ikääntymisestä johtuen myös lämmitysjärjestelmän helppokäyttöisyys ja vaivattomuus.

## 1.1 Tutkimuksen tausta ja tavoitteet

Lämmitysratkaisun vaihtoa kohderakennuksessa on alettu miettiä muutamista syistä. Puukattiloiden käyttöikäksi luvataan yleensä 20-25 vuotta, tällöin sen vaihto tulee ajankohtaiseksi muutaman vuoden sisällä koska vuonna 1999 rakennetun omakotitalon puukattila on vielä alkuperäinen. Kiinnostusta lämmitysjärjestelmän vaihtoon on lisännyt myös puukäyttöisen keskuslämmitysjärjestelmän vaivalloisuus. Sen käyttö ainoana lämmitysjärjestelmänä vaatii erityisesti talvisin päivittäistä huolenpitoa muun muassa puiden kantamisen ja kattilan nuohouksen osalta. Kesäisin lämmityskertojen väliä voi pidentää, jolloin puukattilan käyttöä ei koeta ehkä yhtä vaivalloisena. Puun poltto pienkattilassa on myös merkittävä

ilmansaasteiden lähde, jolloin sen korvaaminen ekologisemmalla lämmitysratkaisulla voi osittain jouduttaa korvaavan lämmitysratkaisun rakentamista (THL 2017).

Edellä mainittujen syiden perusteella tässä tutkielmassa halutaan löytää vastaukset seuraaviin kysymyksiin:

- Mitä vaihtoehtoja on olemassa vanhan keskuslämmityspuukattilan korvaamiseksi?
- Mikä on kokonaiskustannuksiltaan halvin vaihtoehto korvaamaan keskuslämmityspuukattilan?
- Onko aurinkokeräinten asentaminen taloudellisesti kannattavaa?

## 2 RAKENNUKSEN ENERGINTARVE

Rakennuksen energiantarpeen laskenta on välttämätön uuden lämmitystavan valinnassa, koska laitteiden mitoitus on tärkeää tehdä niin, että lämmitysteho riittää kovimmillakin pakkassilla. Laitteiden valinnassa on tärkeää välttää myös ylimitoitusta, joka usein kasvattaa laitteiston hankinnasta aiheutuvia kustannuksia.

### 2.1 Energiantarpeen laskenta

Tällä hetkellä suunnittelun kohteena olevassa omakotitalossa lämmitysmuotona on vesikiertoinen lattialämmitys, missä kiertovesi lämmitetään puukattilalla. Vaihtoehtoisesti vettä voidaan lämmittää myös varaajaan sijoitetuilla sähkövastuksilla. Haasteelliseksi vuotuisen lämmitystarpeen laskennan tekee se, ettei vanhoista rakennuksista ole tehty niiden suunnitteluvaihteessa energiahäviölaskentoja, jolloin niitä joudutaan arvioimaan muun muassa puun- ja sähkönkulutuksen avulla. Toinen vaihtoehto on mallintaa esimerkiksi CADSPanner ohjelmaa käyttäen rakennuksen energiahäviöt, joka vaatii kuitenkin digitaalisessa muodossa olevan pohjapiirustuksen tai sen kokonaan uudelleen piirtämisen. Vuotuisten energiahäviöiden suuruuteen vaikuttaa myös vuoden aikana vallinneet lämpötilat. On selvää, että keskiarvoltaan kylmempinä vuosina myös lämmitystarvetta on enemmän kuin lämpimämpinä vuosina.

Tutkittavassa kohteessa puuta kuluu noin 25 pinokuutiometriä vuodessa. Sähkövastusten käyttö on ollut hyvin vähäistä, joten sen vaikutus lämmitysenergian tuotantoon voidaan olettaa olevan vähäistä. Pääasiassa poltettava puu on koivuhalkoa, jonka keskimääräinen energiasisältö on noin 1,5 MWh pinokuutiometriä kohden. (VTT, 2000) Siten vuotuisesti käyttöveden sekä talon lämmitykseen kuluvaksi energiaksi saadaan

$$Q = V \cdot \text{energiasisältö} \quad (3.1)$$

$$Q = 25 \text{ p - m}^3 * 1,5 \frac{\text{MWh}}{\text{p - m}^3}$$

$$Q = 37,5 \text{ MWh},$$

missä E on poltetusta puun sisältämä energia, V poltetun puun määrä pinokuuti-  
oina. Puukattilan malli on Jämä Puu 141, jonka palamishyötysuhteeksi luvataan  
84 %, tällöin todellinen lämmitysenergian tarve on

$$Q_{tot} = 37,5 \text{ MWh} * 0,84 = 31,5 \text{ MWh}. \quad (3.2)$$

Polttopuun hinta vaihtelee ostopaikasta, polttopuun tyyppistä ja puun lajikkeesta  
riippuen hyvinkin paljon. 1 metrin mittaisen koivuhalon hinta liikkuu 50 – 120 €  
välillä Pohjois-Savossa. (MottiNetti, 2017) Tutkittavan talon polttopuut on ostet-  
tu keskimääräisesti 50 €/p-m<sup>3</sup> hintaan, paikalliselta pieneltä toimijalta. Tällöin  
vuotuisen lämmitystarpeen hinnaksi tulee

$$C = 50 \frac{\text{€}}{\text{p-m}^3} * 25 \text{ p - m}^3 = 1250 \text{ €}. \quad (3.3)$$

Talon lämmitykseen ja lämpimän käyttöveden lämmitykseen kuluneet energia  
voidaan approksimoida rakentamismääräyskokoelman osan D5 avulla. Sen mu-  
kaan asuinrakennuksessa henkilö kuluttaa päivittäin 50 l lämmintä vettä, jonka  
lämpötilaa joudutaan kasvattamaan keskimääräisesti noin 50 K, (YM, 2013).  
Liitteessä 1 esitetyn laskelman perusteella kolmihenkisessä perheessä lämpimän  
käyttöveden lämmitykseen menee vuositasolla energiaa 3194 kWh. Kun koko-  
naislämmitysenergiankulutuksesta vähennetään käyttöveden lämmittämiseen  
kulunut energia saadaan talon lämmittämiseen kulunut energia vuodessa yhtälön  
3.4 mukaisesti

$$Q_{\text{lämmitys}} = Q_{tot} - Q_{lkv} \quad (3.4)$$

$$Q_{\text{lämmitys}} = 31,5 \text{ MWh} - 3,2 \text{ MWh}$$

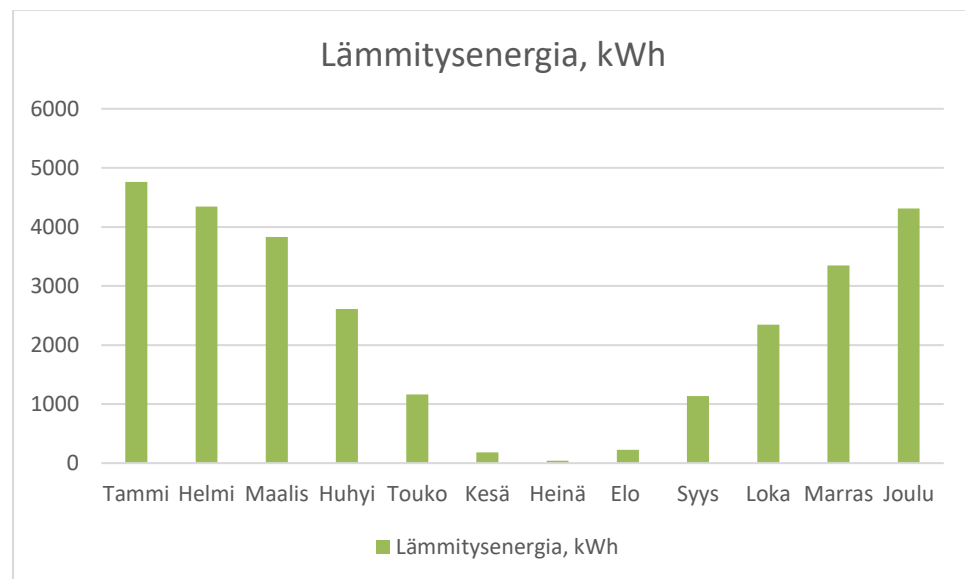
$$Q_{\text{lämmitys}} = 28,3 \text{ MWh}.$$

Lämmitysenergiantarpeen jakautumista eri kuukausille voi arvioida lämmitystar-  
veluvun avulla. Rakennuksen lämmitysenergian kulutus on likipitään verrannol-  
linen rakennuksen sisä- ja ulkolämpötilojen erotukseen. Sisälämpötilana laskel-  
missa käytetään yleisimmin arvoa 17 °C ja ulkolämpötilana tutkittavan päivän



keskimääräistä ulkolämpötilaa. Kuukausittainen lämmitystarveluku saadaan laskeamalla yhden kuukauden arvot yhteen. Tällöin on mahdollista laskea kuukauden prosentuaalinen osuus koko vuoden kokonaislämmitystarveluvusta, jolloin saatujen prosentuaalisten osuuksien avulla voidaan kuukauden lämmitysenergian tarve laskea koko vuoden lämmitysenergiasta kertomalla se kunkin kuukauden prosentuaalisella lämmitystarveluvulla. Tutkittava omakotitalo sijaitsee Kuopion lähellä, jolloin lämmitysenergian kulutuksen laskennassa voidaan käyttää Kuopion kuukausikohtaisia lämmitystarvelukuja. Ne on esitetty liitteessä 2. (Ilmatieteenlaitos, 2017) Tällöin lämmitysenergiantarve jakaantuu tutkittavassa omakotitalossa eri kuukausille taulukon 2.1 mukaisesti.

Taulukko 2.1 Lämmitystarpeen jakautuminen kuukausittain



Mitoittavan huipputehon laskennassa on perinteisesti käytetty rakennuksen tilavuuteen perustuvia suuntaa antavia arvoja, kun muut laskentatavat eivät ole olleet mahdollisia syystä tai toisesta. Omakotitalon mitoittava lämpöhäviöteho on yleensä välillä 20 – 30 kW/m<sup>3</sup>, joskin uusissa passiivi- ja matalaenergiataloissa kyseinen arvo voi olla huomattavastikin matalampi. Vanhoissa taloissa lukema voi olla myös korkeampi. Tutkittavaan taloon on rakennusvaiheessa laskettu mitoittava lämpöteho -32 °C lämpötilassa, joka on noin 8 kW. Rakennuksen tilavuuteen perustuvalla laskelmalla arvoksi saatiin 6,8-10,1 kW, kun pinta-ala on 130 m<sup>2</sup> ja huonekorkeus 2,6 m, jolloin 8 kW tulosta voidaan pitää jokseenkin

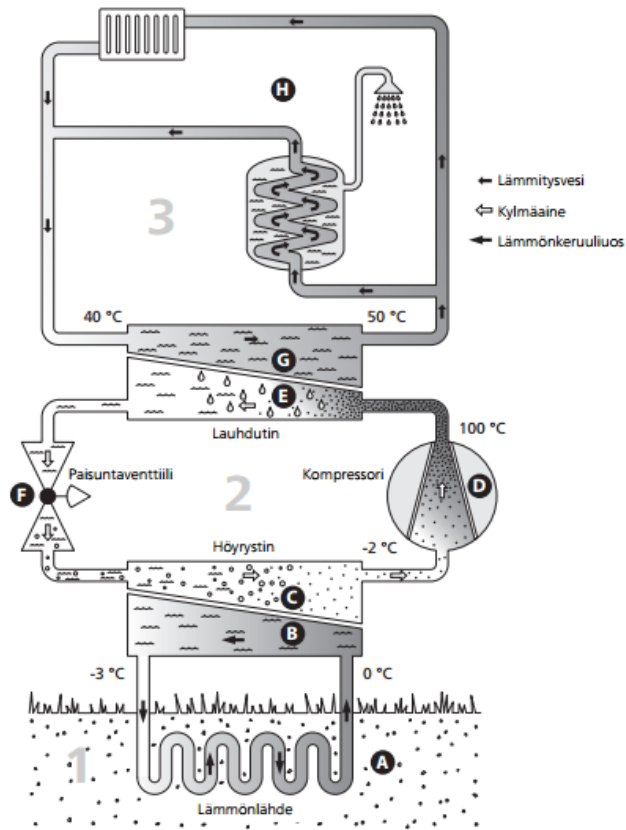
luotettavana. Laskelmia tukee myös tammikuun kokonaisenergiankulutuksesta laskettu yhden päivän keskiteho, joka 6,5 kW. Mitoittavan lämpötehon avulla voidaan lämmityslaitteet valita oikeankokoiseksi välttäen ylimitoitusta kuitenkin lämmitystehon riittäessä kaikissa tilanteissa.

### **3 LÄMMITYSRATKAISUT**

Korvaavan lämmitysjärjestelmän suunnittelu aloitetaan kartoittamalla mahdolliset lämmitysratkaisut, kun tiedetään millaisen laitavalinnat kohderakennuksen lämmönjakotapa ja lämmitysenergian kulutus mahdollistavat. Lämmitysmuodon valinnassa merkittävässä osassa ovat lämmitysratkaisun hankintakustannukset ja sen käytönaikaiset kulut sähkönkulutuksen ja mahdollisen polttoaineen osalta. Suuri painoarvo asetetaan laitteiston helppokäyttöisyydelle ja vaivattomuudelle.

#### **3.1 Maalämpö**

Maalämpö on lämmitysjärjestelmä, joka nimensä mukaisesti ottaa maaperästä lämpöä talteen lämmönkeruuputkiston keruuliukseen. Tyypillisesti muutaman asteen keruuputkistossa lämmennyt keruuliuos luovuttaa lämpöenergiaa höyrystimessä lämpöpumpun kylmäaineeseen, jonka jälkeen keruuliuos siirtyy takaisin lämmönlähteeseen kasvattamaan energiaansa. Tämän jälkeen höyrystynyt kylmäaine imetään kompressoriin, missä sen paine ja lämpötila kasvavat. Paineistettu kylmäaine johdetaan lauhduttimeen, jolloin se luovuttaa lämpöenergiaa kiertoveteen ja muuttuu takaisin nesteeksi. Sen jälkeen lauhtunut kiertoaie kulkeutuu paisuntaventtiilin kautta takaisin höyrystimelle. Lauhduttimessa kylmäaineesta lämpöenergia siirtyy lämmityspiirin veteen, jonka jälkeen se varastoidaan maalämpöpumpun kattilaosaan. (Motiva 2017a)



Kuva 3.1 Maalämpöpumpun toiminta (Nibe 2017)

Maalämpöpumpun keruuputket voidaan sijoittaa kohteesta riippuen joko maaperään kaivettaviin lämpöoijiin, kallioon porattavaan energiakaivoon tai rantatontteilla järven tai meren pohjaan. Lämpöpumpun lauhduttimessa lämmennyt kiertovesi voidaan varastoida joko maalämpöpumpun sisäiseen lämminvesivaraajaan tai erilliseen varajaan. (Motiva 2017a)

Maalämpöpumpun mitoitus pystytään toteuttamaan joko osa-, tai täystehoisena, riippuen siitä halutaanko lämpöpumpulla tuottaa rakennuksen lämmitysenergia kokonaisuudessa myös tehohuipun aikana vai käytetäänkö siihen esimerkiksi sähkövastuksia. Osatehoisessa mitoituksessa, maalämpöpumpun teho mitoitetaan yleensä 60-80 % rakennuksen huippulämmitystehosta. Tällöin hyötynä on nopeampi takaisinmaksuaika mutta sähkönkulutus on suurempi. (Motiva 2017a)

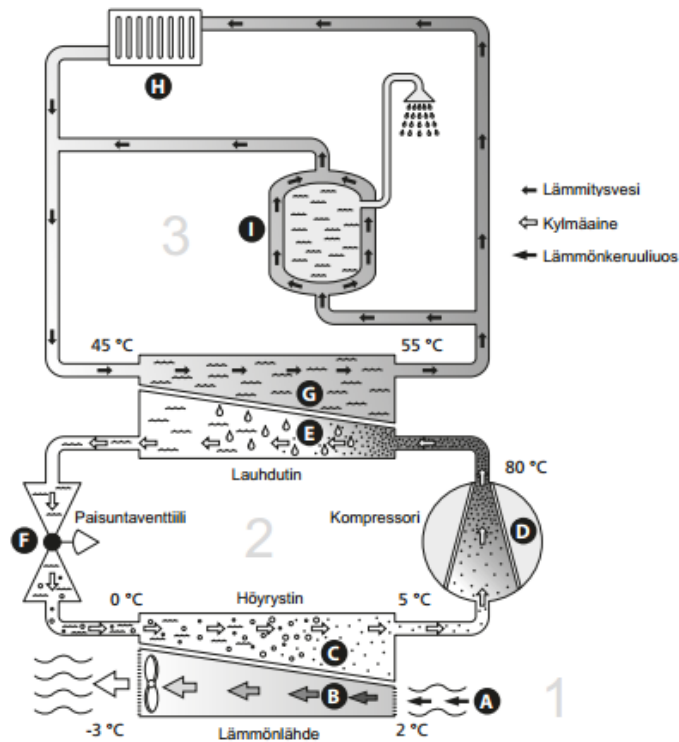
Maalämpöpumpun tarvittava alkuinvestointi saneerauskohteessa on asunnon koosta, vanhasta lämmitysjärjestelmästä, laitteiden merkistä sekä mallista ja ke-

ruuputkien sijainnista riippuen yleensä 15000-20000 €. (Motiva 2017a)(Maalämpöpumppu.org) Maalämpöjärjestelmän lopullinen hinta selviää kuitenkin asiantuntijan laatiman tarjouksen perusteella, jossa voi olla usean tuhannen euron eroja myös urakoitsijasta ja sijainnista riippuen. Sen käytön aikaiset kustannukset rajoittuvat lähinnä lämpöpumpun kuluttamasta sähköenergiasta aiheutuviin kustannuksiin. Lisäksi on huomioitava mahdolliset kunnossapitokustannukset.

Maalämpöjärjestelmän hyödyiksi voidaan lukea sen helppokäyttöisyys asukkaalle. Pumppu tuottaa tarvittavan lämmitysveden ja lämpimän käyttöveden kovimmillakin pakkasilla, jos mitoitusperusteena on käytetty rakennuksen huippulämpöhäviöitä. Tällöin esimerkiksi takan tai muun vaihtoehtoisen lämmönlähteen käyttäminen ei ole tarpeellista kovimmillakaan pakkasilla. Maalämpöjärjestelmän vaatimat huoltotoimenpiteet asukkaalta ovat pienet. Säännöllinen lämmönkeruunesteen pinnantason tarkistus ja varoventtiilin toiminnan testaaminen ovat riittävät toimenpiteet silloin, kun järjestelmä toimii kuten sen pitää. Maalämpöpumpuissa vuosilämpökerroin vaihtelee 2,5-3,5 välillä kohteen lämmönjakotavasta ja koneen ominaisuuksista riippuen. (Motiva 2017a)

### **3.2 Ilma- vesilämpöpumppu, UVLP**

UVLP eli ulkoilma-vesilämpöpumppu toimii kuten muutkin lämpöpumput. Se siirtää kahden lämmönvaihtimen ja kompressorin tekemän puristustyön avulla lämpöenergiaa ulkoilmasta rakennuksen lämminvesivaraajaan. Ilmavesilämpöpumppu koostuu ulko- ja sisäyksiköistä. Ulkoyksikköön on sijoitettu ilmasta lämpöä talteen ottava höyrystin sekä kompressori. Ulkoyksiköstä johdetaan putket rakennuksen teknisessä tilassa sijaitsevaan lauhduttimeen, jossa lämmitysenergia siirretään kylmäaineesta kiertoveden mukana lämminvesivaraajaan. Sisäyksikössä on lauhduttimen ja lämminvesivaraajan lisäksi yleensä ja tarvittava elektroniikka lämpöpumpun toiminnan ja lämmönjaon ohjaukseen.



Kuva 3.2 UVLP:n toimintaperiaate. (Nibe 2013)

Ilma-vesilämpöpumpun hankintahinta verrattuna maalämpöpumppuun on hieman pienempi. Tällaisen järjestelmän heikkoutena on kuitenkin se, että sillä ei voida tuottaa kaikkea lämmitysenergiaa, kun ulkoilman lämpötila on liian matala. Useimmat ilma-vesilämpöpumput kytkeytyvät pois päältä, kun ulkoilman lämpötila laskee alle  $-20\text{ C}$ . Tällöin korvaava lämmitysenergia voidaan tuottaa esimerkiksi varaajaan asennettujen sähkövastusten avulla. Tällöin ilma-vesilämpöpumpun voisi ajatella olevan toimivampi ratkaisu sellaisella seudulla, jossa ei esiinny kovia pakkasia monena päivänä vuodesta.

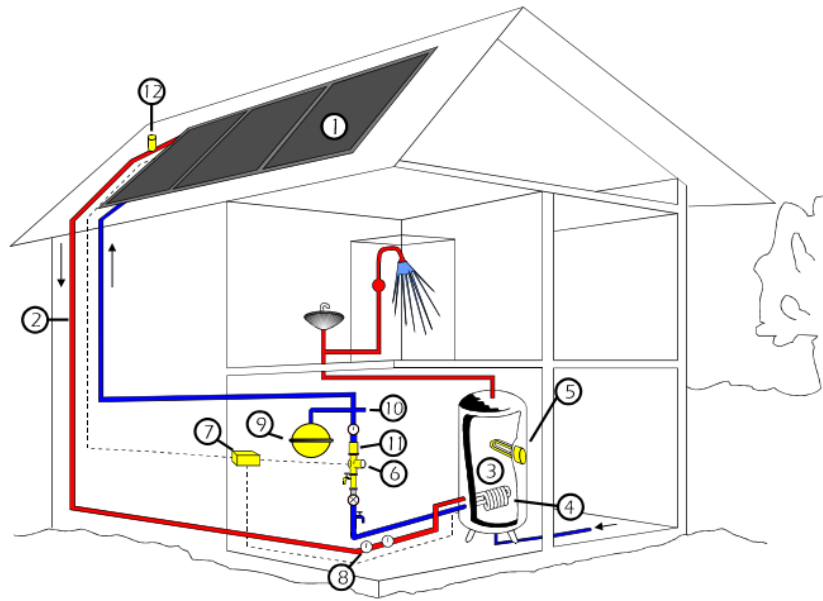
UVLP soveltuu hyvin saneerauskohteisiin ja uudisrakennuksiin. Koska lämpöä siirretään ilmasta veteen, on saneerauskohteessa oltava jokin lämmintä vettä hyödyntävä lämmitysmuoto. Näitä ovat käytännössä vesikiertoiset lattialämmitykset ja vesikiertoiset patterit. UVLP:n asennus onnistuu myös vanhan lämmitysjärjestelmän rinnalle, jolloin lämmitys voidaan toteuttaa esimerkiksi siten, että UVLP:lla lämmitetään lämpötilan ollessa yli  $-20\text{ C}$  ja alkuperäistä lämmitysjärjestelmää käytetään huipputehoa vaativina ajanjaksoina. Vuoden keskimääräinen

lämpökerroin on riippuvainen lämmönjakotavasta, se vaihtelee keskimääräisesti 1,4-2,7 välillä jolloin suurissa lattialämmitystä käyttävissä rakennuksissa lämpökerroin saa korkeimman arvonsa. Lämpökertoimien arvot verrattuna maalämpöjärjestelmiin ovat hieman pienemmät, jota hieman pienempi hankintahinta kuitenkin kompensoi. Lisäksi UVLP:n etuna on mahdollisuus asentaa se myös sellaisiin kohteisiin, joihin maalämpöpumpun asennus ei ole mahdollista maaperän tai muiden seikkojen asettamien vaatimusten estäessä.

UVLP:n käyttäjien tekemät huoltotoimet rajoittuvat lähinnä ulkoyksikön puhdistukseen lehdistä ja muista roskista sekä silmämääräiseen kuntotarkastukseen. Vuotuisten kunnossapitokustannusten voidaan olettaa olevan noin 1% koko järjestelmän hankintahinnasta. Kuten maalämpöjärjestelmissä suurin huoltoinvestointi pumpun käyttöiän aikana on kompressori.

### **3.3 Aurinkokeräimet**

Aurinkokeräimillä voidaan muuttaa auringon säteilyenergia suoraan lämmöksi, toisin kuin aurinkopaneeleilla, joilla tuotetaan sähköä. Keräimillä auringon säteilemä energia absorboidaan läpinäkyvän katteen alla putkistossa kiertävään väliaineeseen. Kiertopumpun avulla suljetussa järjestelmässä kiertävä neste luovuttaa keräimessä vastaanottamansa energian lämpövarastona toimivaan vesivarajaan lämmönvaihtimen avulla. (US EIA, 2017)

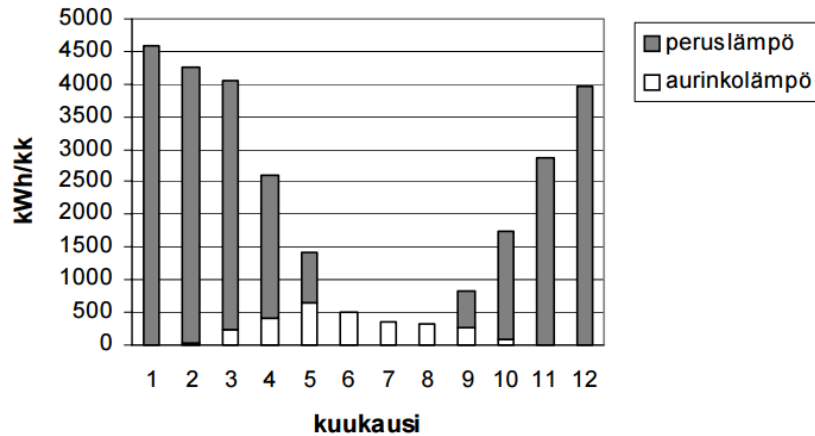


Kuva 3.3 Aurinkokeräinjärjestelmän toimintaperiaate, missä 1 on keräin, 2. keruuputkisto, 3. lämpövaraaja, 4. kierukka 5. sähkövastus, 6. kiertovesipumppu, 7. säätöyksikkö, 9. paisuntasäiliö, 10. ylipaineventtiili, 11. yksisuuntaventtiili, 12. ilmausnipa. (Solpros, 2006)

Aurinkokeräimiä käytetään yhdessä muiden lämmitysratkaisujen kanssa niin kutsuttuna hybridijärjestelmänä. Rakennuksen ainoaksi lämmönlähteeksi eivät aurinkokeräimet sovi. Suomen ilmasto-olosuhteista johtuen lämmitykseen käytetystä energiasta voitaisiin aurinkolämmöllä tuottaa maksimissaan 5-15 %, (Solpros 2006). Taulukossa 3.1 on havainnollistettu auringosta saatavaa energiaa suhteessa tarvittuun lämmitysenergiaan. Siitä voidaan päätellä, että auringolla tuotetun energia riittää vain kolmena kuukautena vuodessa kattamaan koko lämmitysenergian tarpeen, jolloin muutoinkin kulutus on pienimmillään.



Taulukko 3.1 Esimerkki aurinkolämpöjärjestelmästä pientalon lämmityksen ja lkv:n osana. Keräinpinta-ala on 10 m<sup>2</sup> ja lämpövaraaja 1200 litraa. Talon lämmityksen tarve on 20.000 kWh vuodessa. (Solpros 2006)



Voidaan siis päätellä, että aurinkokeräimen hyödyt tulevat esiin jonkin toisen lämmitysjärjestelmän rinnalla. Lämpöpumppujen kanssa käytettäessä sillä voidaan vähentää esimerkiksi sähkönkulutusta, koska lämpöpumppujen käytöntarve vähenee. Lisäksi aurinkokeräimillä voi olla positiivinen vaikutus lämpöpumppujen kompressorien käyttöikään, koska niiden käynnistykerrat vähenevät eritoten kesäaikaan.

Myöskään aurinkokeräin ei ole täysin huoltovapaa lämmitysmuoto. Suorituskyvyn ja toiminnan kannalta on tärkeää pitää keräinlasi puhtaana, tarkistaa putkiston kunto ja kiertoaineen sekä sen lisäaineiden riittävyys.

### 3.4 Puukattila

Puukattilassa energianlähteenä käytetään sen palotilassa poltettavaa puuta yleensä pilkkeenä, halkoina tai hakkeena. Kattilassa lämminnyt vesi varastoidaan lämminvesivaraajaan, josta se lähtee lämmönjakojärjestelmänä toimivaan lattialämmitys- tai patteriverkostoon. Puukattilan tehosta ja lämminvesivaraajaan koosta riippuen yksi lämmityskerta riittää tuottamaan lämpöä muutamaksi vuorokaudeksi. Puukattiloita on olemassa kolme eri tyyppiä, ylä-, ala-, ja käänteispaalokattilat. Yläpalokattila vaatii käyttäjältään eniten työtä tiheimmän puidentäjäsvälän takia. Se vaatii myös oheensa lämminvesivaraajan. Alapalokattilaan ei

tarvitse puuta lisätä niin usein kuin yläpalokattilaan ja puun palaminen on muutenkin tasaisempaa. Käänteispalokattiloissa puu palaa kaikkein puhtaimmin kaasuuntuen ensin ja sen jälkeen palaen korkeassa lämpötilassa puhtaasti. (Motiva Oy, c2017d)

Puukattilan operointi vaatii asukkaaltaan päivittäistä huolenpitoa puiden kantamisen ja kattilaan lisäyksen osalta. Kattila on myös aika ajoin nuohottava perusteellisesti, jolloin palotilan seinämät puhdistetaan ylimääräisestä noesta ja tuhkat tyhjennetään tuhkaluukusta. Puulämmitystä mietittäessä on selvitettävä jo etukäteen, missä puita tullaan säilyttämään ja mistä se aiotaan hankkia.

Puukattilan huoltokustannukset ovat melko pienet, vuosittain puukattilan hormi on nuohottava kerran. Tutkittavassa kohteessa puukattilan arina on jouduttu uusimaan noin 10 vuoden välein.

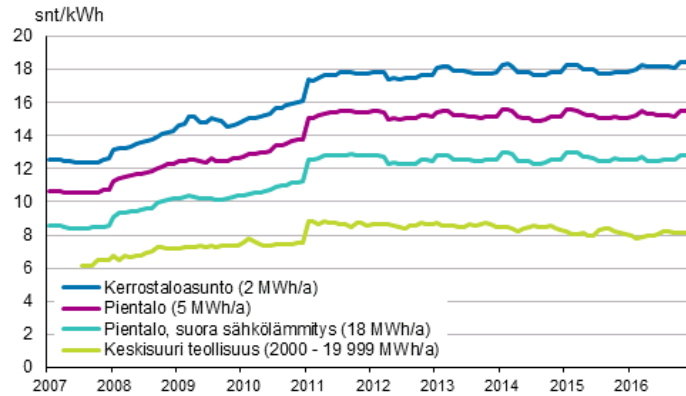
## **4 KÄYTTÖKUSTANNUKSET JA TUOTETUN ENERGIAN HINTA**

Lämmitysjärjestelmän elinkaarikustannukset muodostuvat järjestelmän suunnittelusta, laitehankinnoista, asennuskustannuksista, mahdollisista liityntämaksuista ja lämmitysjärjestelmän ottamasta tilantarpeesta. Vuotuisiin käyttökustannuksiin vaikuttaa energianhankinnan kustannukset, vuotuiset perusmaksut ja huolto- ja korjauskustannukset.

Investointiin tullaan käyttämään ainakin osittain vierasta pääomaa, jolloin vieraan pääoman käytöstä syntyneet kustannukset täytyy huomioida takaisinmaksu-aikojen laskennassa. Lisäksi vertailtaessa eri energiamuotoja käyttäviä lämmitysratkaisuja, on laskemilla huomioita myös eri energiamuotojen hintakehitys tulevaisuudessa. Toisaalta esimerkiksi sähkön hintakehityksen ennustaminen on hyvin epätarkkaa, koska kuluttajan sähkön kokonaiskustannus muodostuu siirtomaksuista, energian hinnasta ja veroista, joista ainakin kaksi ensimmäistä voi muuttua hyvinkin nopeasti. Tällöin takaisinmaksuajat kannattaa laskea muutamille eri skenaarioille, jolloin saadaan hyvä näkemys siitä mille aikavälille takaisinmaksuaika tulee sijoittumaan.

Remontointiin on saatavilla useita eri rahoitusvaihtoehtoja monilta eri pankeilta ja rahoituslaitoksilta. Niiden todellisten vuosikorkojen vaihteluväli rahoitustyyppistä riippuen on useita prosenttiyksikköjä, takauksettomien kulutusluottojen todellisten vuosikorkojen ollessa jopa 20 %. Osa lainatyypeistä antaa mahdollisuuden vähentää korkomenoja myös verotuksessa, jolloin niistä aiheutuvat pääomakustannukset ovat laskettava aina tapauskohtaisesti. Tätä työtä varten ei kysyty tarjouksia eri rahoitusvaihtoehdoista, joten laskelmat suoritetaan 0 %, 2 % ja 10 % vuosikorkojen avulla, koska näin voidaan arvioida pääomakustannusten vaikutusta saneerausvaihtoehtojen kokonaiskustannuksiin suurpiirteisesti. Lainan lyhennystavan oletetaan olevan 12 kertaa vuodessa suoritettava annuiteettilaina ja lainan takaisinmaksuaikana käytetään viittä vuotta.

Sähkön hintakehitys vaikuttaa osaltaan eri saneerausvaihtoehtojen elinkaarikustannuksiin, koska kaikki harkitut lämmitysratkaisut käyttävät sähköä toimintaansa ainakin jollain asteella. Siten niiden käytön aikaiset muuttuvat kustannukset kasvavat sähkön hinnan kasvaessa, joka täytyy huomioida elinkaarikustannuksia laskettaessa. Kuvasta 4.1 voidaan huomata, että sähkön hinnan vaihtelut pientaloasiakkaalle ovat olleet melko maltillisia viimeisten 6 vuoden aikana.



Kuva 4.1 Sähkön kokonaishinnan kehitys vuosina 2007-2017 sisältäen energian, siirtomaksut ja verot. (Tilastokeskus 2017)

Sähkön hinnan kehityksen uskotaan pysyvän maltillisena vielä tulevinakin vuosina ainakin energian osalta, siirtomaksuissa sen sijaan voi olla nousupaineita sähkönjakelun käyttövarmuudelle asetettujen vaatimusten täyttämiseksi. Niiden vaikutus kuluttajan sähkön hintaan on epävarmaa, jolloin on kannattavaa laskea takaisinmaksuajat muutamilla eri hinnankkehittymiskenaarioille.

$$C_{2017} = C_{2007} * r^{10} \quad (4.1)$$

$$15,8 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} = 10,4 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} * r^{10}$$

$$r = 4,3 \%$$

Missä  $C_{2017}$  on pientalon sähkön hinta vuonna 2017 ja  $C_{2007}$  pientalon sähkön hinta vuonna 2007 ja  $r$  on sähköenergian kokonaishinnan vuotuinen kasvu. Siten kuvan 4.1 ja yhtälön 4.1 voidaan laskea, että pientaloasukkaan sähkön hinta on noussut viimeisen 10 vuoden aikana 4,3 % vuodessa. Tästä syystä hintakehitykselle voidaan valita esimerkiksi seuraavat arvot: 0 %, 3% ja 6 %. Sähkön hinnan

keskiarvot seuraavien 25 vuoden aikana ovat näissä tapauksissa noin 0,13, 0,17 ja 29 s/kWh. Polttopuun hinta oli alussa 0,03 snt/kWh, jolloin vastaavat lukemat polttopuulle ovat 0,03, 0,04 ja 0,07 snt/kWh. Laskentakaavat ja tulokset on esitetty liitteessä 2.

Lämmitysenergian tarve on suoraan riippuvainen vuoden keskilämpötilasta. Kuluuneseen lämmitysenergiaan vaikuttaa yläpohjan, seinien, ikkunoiden ja alapohjan kautta ulkoilmaan kulkeutunut energia, joka taas riippuu ulko- ja sisälämpötilan välisestä erosta ja eristeiden U-arvoista. Merkittävä tekijä vuotuisessa lämmitysenergiantarpeessa on myös lämpimän käyttöveden lämmitys. Siten lämmitysenergian kokonaismäärää on mahdoton ennustaa tulevaisuuden osalta tarkasti, jolloin lämmitysenergiantarpeen estimaattina käytetään aiemmin laskettu 37,8 MWh arvoa.

Tutkittaviksi järjestelmiksi valittiin neljä järjestelmätyyppiä, joiden arveltiin enakkoon olevan kaikkein kilpailukykyisimmät vaihtoehdot sekä niiden asentaminen oli mahdollista käytössä olevan vesikiertoisen lattialämmityksen energianlähteeksi. Ne ovat maalämpö, vesi-ilmalämpöpumppu, vesi-ilmalämpöpumpun ja aurinkokeräimen muodostama hybridijärjestelmä sekä aurinkokeräimen ja puukattilan muodostama hybridijärjestelmä.

Eri lämmitysjärjestelmiä on luontevaa vertailla keskenään niillä tuotetun energian hinnan mukaan. Siihen on sisällytetty kaikki sen tuottamiseksi vaaditut menot laitteiston koko elinkaaren ajalta. Tällöin pystytään valitsemaan kustannuksiltaan kaikkein kannattavin järjestelmä.

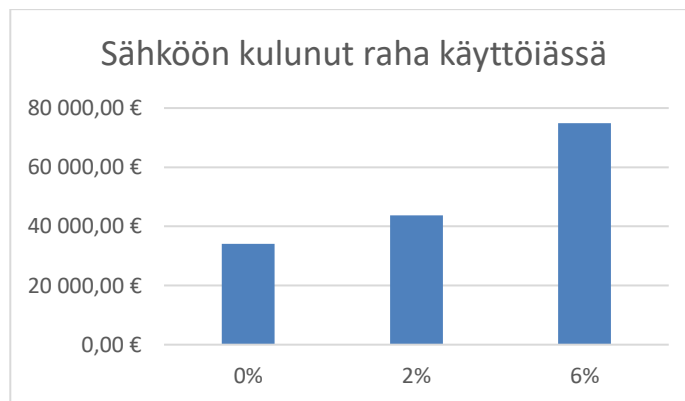
#### **4.1 Maalämpöjärjestelmä**

Maalämpöjärjestelmän hankintakustannukset tutkittavaan kohteeseen olivat noin 17000 €. Se sisälsi laitteen, lämpökaivon ja asennuksen. Tällöin vuotuiseksi investointikustannukseksi tulee 25 vuoden käyttöajalla 680 €, kun lainasta aiheutuvat kustannukset jätetään huomioimatta. 2 % korolla ja viiden vuoden lainaajalla investoinnin kokonaishinta kasvaa 17878 euroon, jolloin vuotuiset inves-

tointikustannukset koko käyttöiältä ovat noin 715 €. Vastaava kustannus 10 % korolla on noin 867 € vuodessa ja 21672 € koko käyttöiässä.

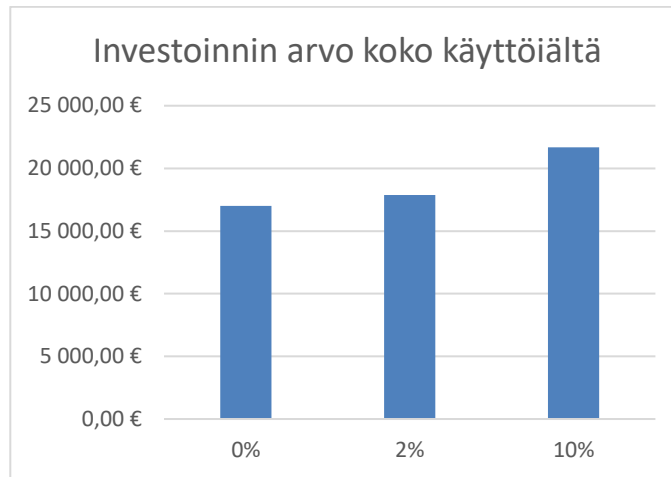
Maalämpöjärjestelmän vuotuisiksi huoltokustannusten voidaan olettaa olevan noin 1 % koko järjestelmän hankintahinnasta. Tällöin maalämpöjärjestelmän vuotuisiksi investointikustannuksiksi saadaan 25 vuoden käyttöiälle 170 € vuodessa ja siten 4250 € käyttöiässä. Suurin huoltoinvestointi koko laitteen käyttöiällä kohdistuu maalämpöpumpun kompressoriin, jolle luvataan 10 – 15 vuoden käyttöikä.

Maalämpöpumpun COP-arvona laskennassa käytettiin 3. Tällöin 1 kWh sähköenergiaa saadaan maalämpöpumpusta 3 kWh lämpöenergiaa. Siten maalämmöllä 31,5 MWh lämpöenergian tuottamiseksi kuluu 10,5 MWh sähköenergiaa. Sähkön ostoon menee 13,0 s/kWh hinnalla vuodessa noin 1890 €. Jos sähkön hankintahinta kasvaa 2 % vuodessa on sen keskimääräinen hinta 25 vuoden ajalla 0,17 €/kWh ja vuotuinen kustannus noin 1750 €, vastaavat arvon 6 % vuosikasvulla ovat noin 0,29 €/kWh ja 3000 €. Sähkön hinnan nousun vaikutus koko elinkaaren aikaisiin kustannuksiin on esitetty kuvassa 4.2.



Kuva 4.2 Sähkön hinnannousun vaikutus maalämpöjärjestelmästä syntyneisiin kokonaiskustannuksiin sähkön hinnan eri vuosikasvuilla.

Kuvasta 4.3 nähdään, että maalämpöjärjestelmästä syntyneisiin elinkaarikustannuksiin sähköenergian hinnalla on merkittävä vaikutus. Kun lainan korko on 0 % ja sähkön hinta kasvaa vuodessa 6 % muodostaa sähkön hankintakustannukset miltei 80 % koko maalämpöjärjestelmän elinkaaren aikaisista kustannuksista.



Kuva 4.3 Lainan korkokantojen vaikutus maalämpöinvestoinnin elinkaarikustannuksiin.

Lainasta syntyneillä kustannuksilla on merkittävästi vähemmän painoarvoa koko elinkaaren aikaisiin kustannuksiin 10 % korkokannallakin. Toisaalta, jos laina-aikaa kasvattaa viidestä vuodesta ylöspäin kasvaa myös korkomenot ja niiden merkitsevyys maalämpöjärjestelmällä tuotetun energian hinnassa nousee. Käytetyillä alkuarvoilla maalämpöjärjestelmän elinkaarikustannus oli noin 55 -100 k€. Vastaavasti tuotetun energian hinta on keskiarvoltaan noin 70-130 €/MWh koko elinkaaren ajalta. 130 €/MWh energia maksaa silloin, kun sähkön hinta kasvaa 6 % vuodessa ja vuouinen investointilainan korko on 10 %.

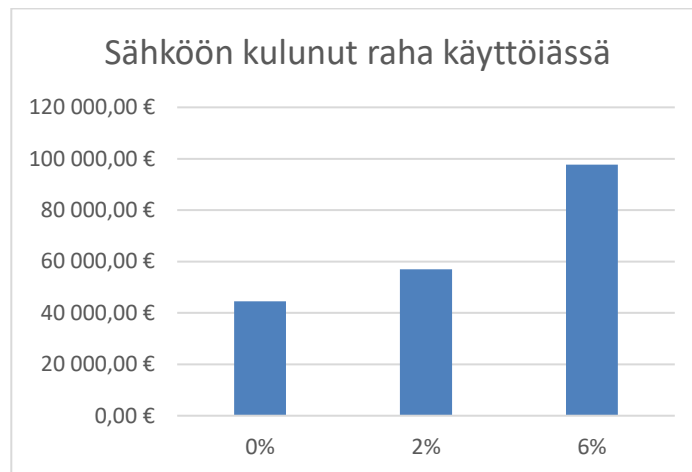
#### 4.2 Ilma-vesilämpöpumppu, UVLP

Ilma-vesilämpöpumpun hankintakustannukset tutkittavaan kohteeseen olivat noin 11000 €. Se sisälsi laitteen ja asennuksen. Tällöin vuotuiseksi investointikustannukseksi tulee 25 vuoden käyttöajalla 440 €, kun lainasta aiheutuvat kustannukset jätetään huomioimatta. 2 % korolla ja viiden vuoden laina-ajalla investoinnin kokonaishinta kasvaa 11568 euroon, jolloin vuotuiset investointikustannukset koko käyttöiältä ovat noin 463 €. Vastaava kustannus 10 % korolla on noin 560 € vuodessa.

UVLP:n vuotuisten huoltokustannusten voidaan olettaa olevan noin 1 % koko järjestelmän hankintahinnasta, kuten maalämpöjärjestelmässäkin. Tällöin UVLP:n vuotuisiksi kunnossapitokustannuksiksi saadaan 25 vuoden käyttöiälle

110 € vuodessa. Tällöin huoltokustannukseksi koko käyttöiältään saadaan 2750 €. Suurin huoltoinvestointi koko laitteen käyttöiällä kohdistuu kompressoriin, jolle luvataan 10 – 15 vuoden käyttöikä.

Maalämpöpumpun COP-arvona laskennassa käytettiin 2.3. Tällöin 1 kWh sähköenergiaa saadaan maalämpöpumpusta 2.3 kWh lämpöenergiaa. Siten maalämmöllä 31,5 MWh lämpöenergian tuottamiseksi kuluu 13,7 MWh sähköenergiaa. Sähkön ostoon menee 13,0 s/kWh hinnalla vuodessa noin 1780 €. Jos sähkön hinta kasvaa vuosittain 2 %, on sen keskimääräinen hinta 25 vuoden ajalla 0,17 €/kWh ja silloin vuodessa sähköön kuluu 2280 €. Jos hinta kasvaa 6 % vuodessa on keskihinta jo 0,29 €/kWh jolloin sähköön kuluu keskimääräisesti 3900 € vuodessa.



Kuva 4.4 Sähkön hinnannousun vaikutus ilma-vesilämpöpumpujärjestelmästä syntyneisiin kokonaiskustannuksiin sähkön hinnan eri vuosikasvuilla.

Kuvasta 4.4 nähdään, että UVLP:sta syntyneisiin elinkaarikustannuksiin sähköenergian hinnalla on suuri vaikutus. Pahimmassa tapauksessa sähkön hankintakustannukset muodostavat noin 87 % kaikista kustannuksista. Maalämpöjärjestelmään verrattuna se on hieman suurempi. Ero johtuu siitä, että maalämpöjärjestelmän tehokerroin on suurempi, jolloin sähköä kuluu vähemmän.





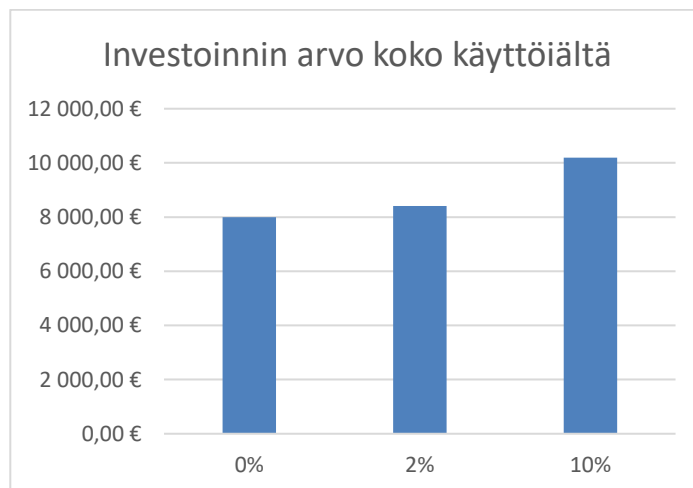
Kuva 4.5 Lainan korkokantojen vaikutus UVLP:n elinkaarikustannuksiin.

Lainasta syntyneillä kustannuksilla on merkittävästi vähemmän painoarvoa koko elinkaaren aikaisiin kustannuksiin. 10 % korkokannallakin ne muodostavat suurimmillaankin vain noin 23% koko maalämpöjärjestelmästä aiheutuneista kokonaiskustannuksista. Koko elinkaarikustannus käytetyillä alkuarvoilla oli 58 -114 k€ 25 vuoden ajalta. Tällöin tuotetun energian hinnan vaihteluväli on 74-145 €/MWh.

### 4.3 Aurinkokeräin ja puukattila

Vaikka alkuperäisenä tarkoituksena oli korvata vanha puukattila jollain vaivatommalla lämmitysmuodolla, päätettiin silti tehdä laskelmat aurinkokeräimen kannattavuudesta puukattilan lisänä. Tähän ratkaisuun kannusti myös se seikka, että käytössä olevaan lämminvesivaraajaan on mahdollisuus liittää aurinkolämpöjärjestelmän lämmönsiirtokierukka. Tällä hetkellä käytössä oleva lämminvesivaraaja on kunnoltaan hyvä ja sen uusimista ei pidetä vielä ajankohtaisena. Siten hankittavaksi jäävät uusi puukattila sekä aurinkolämpöjärjestelmä lisälaitteineen. Aurinkokeräimen mitoituksen perustana käytettiin touko-syyskuun aikana lämmitykseen ja lämpimän käyttöveden lämmittämiseen käytetyn energian määrää. Näiden viiden kuukauden aikana lämmitysenergiaa on keskimäärin kulunut 3400 kWh. Aurinkokeräinjärjestelmä haluttiin mitoittaa hieman kulutettua

energiaa pienemmäksi, että kaikki kerätty energia saadaan hyödynnettyä. Ruukin aurinkolämmityksen mitoittamisessa suuntaa antava laskuri arvioi, että tutkittavaan kohteeseen oikean kokoinen järjestelmä olisi 8 m<sup>2</sup>. Lähtötietoina siihen annettiin asukkaiden lukumäärä, paikkakunta, katon osoittama ilmansuunta ja katon kaltevuuskulma. Laskurin mukaan 8 m<sup>2</sup> aurinkolämpöjärjestelmä tuottaa energiaa vuositasolla 2756 kWh. Sen hinta on 3500 € ilman asennusta. Laitteiston osittain itse asentamalla hinnan voidaan olettaa olevan noin 4000 €. Laitteiston mitoitusperiaatteesta johtuen koko aurinkojärjestelmän tuottama lämpö saadaan hyödynnettyä, jolloin se vähentää samassa suhteessa muun polttoaineen kulutusta eli tässä tapauksessa poltettavan polttopuun määrää. Puukattilan ja aurinkolämpöjärjestelmän yhteenlaskettu investointi tutkittavaan rakennukseen oli noin 8000 €. Se sisälsi aurinkojärjestelmän ja puukattilan, sekä osan asennustöistä. Puukattilan huoltokustannukset muodostuvat hormin nuohouksesta ja arinan vaihdosta. Niiden arvioidaan kustantavan noin 60 € vuodessa. Aurinkolämpöjärjestelmien kunnossapitokustannuksena voidaan pitää 10 % hankintahinnasta koko käyttöiän ajalle.

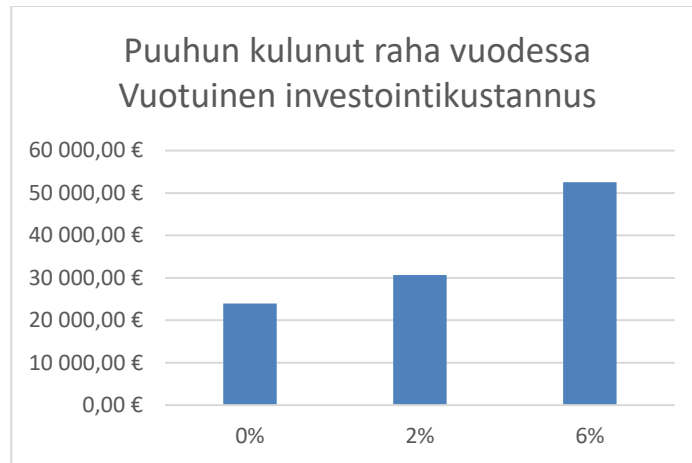


Kuva 4.6 Koron vaikutus elinkaaren aikaisiin investointikustannuksiin.

Kuten muissakin lasketuissa tapauksissa, on korkomenojen vaikutus pieni koko elinkaaren aikaisiin kustannuksiin.

Normaalisti polttopuuta on kulunut 31,5 MWh edestä, eli 1050 € vuodessa. Aurinkojärjestelmä tiputtaa kulutuksen 28,8 MWh vuodessa, eli noin 960 euroon

vuodessa ensimmäisenä vuonna. Polttopuun hinnan kallistuminen täytyy huomioida kuitenkin koko 25 vuoden ajalta. Elinkaaren ajalta polttopuun hankinnasta syntyneet kustannukset on esitetty kuvassa 4.7



Kuva 4.7 Polttopuun hankintakustannukset elinkaaren ajalta, kun polttopuun hinta kasvaa 0%, 2% tai 6 % vuodessa.

Koko elinkaaren aikainen kustannus puukattilan ja aurinkolämpölaitteiston hybridijärjestelmässä on välillä 34-65 k€. Se on selvästi muita lämmitysratkaisuja vähemmän. Siten myös kyseisellä järjestelmällä tuotetun energian hinta matalampi, se sijoittuu välille 43-82 €/MWh. Tuotetun energian hinta laskettiin myös pelkälle puukattilalle joka oli 40-81 €/MWh. Tämä tehtiin sen takia, että voitiin vertailla aurinkojärjestelmän kannattavuutta pelkkään puukattilaan. Tuloksista selvisi, että aurinkolämpöjärjestelmä maksoi itsensä takaisin vain kahdessa tapauksessa, kun puun hinta kasvoi vuosittain 6 % ja investointiin käytetyn lainan korko oli joko 0 % tai 2 %. Energian hinnat eri tapauksissa on esitetty liitteissä.

#### 4.4 UVLP ja aurinkokeräin

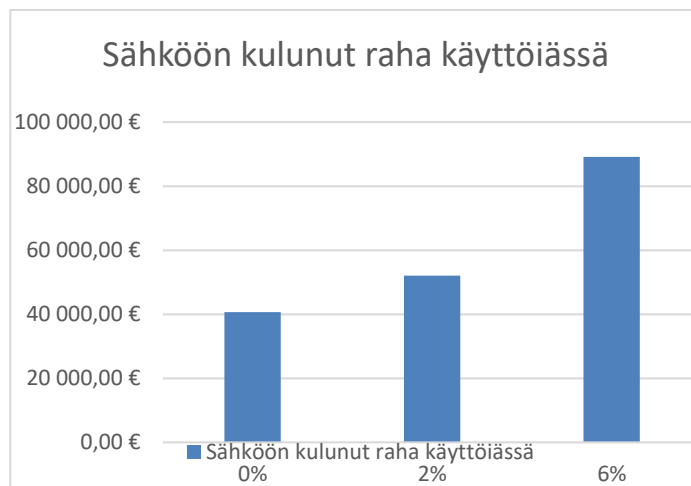
Ilma-vesilämpöpumppu ja aurinkokeräiminä käytetään tässä vaihtoehdossa samanlaisia järjestelmiä kuin kohdissa 4.2 ja 4.3. UVLP:n ja aurinkokeräimen yhteenlaskettu hankintahinta on siis 15000 €. Se koostui pumpusta, aurinkojärjestelmästä ja asennustyöstä. Aurinkokeräin UVLP:n yhteydessä vähentää lämpöpumpun käytöntarvetta niinä kuukausina, kun aurinkojärjestelmä tuottaa lämmitysenergiaa. Aurinkokeräimillä tuotetun energian määrä oli 2750 kWh, joten se

vähentää saman verran lämpöpumpulla tuotetun energian määrää. Lämpöpumpun vähentyneen sähkökäytön lisäksi pumpun kompressorin käynnistymiskertojen vähentäminen vaikuttaa positiivisesti myös pumpun kunnossapitokustannuksiin. Investoinnissa käytetyn lainan koroilla on tässäkin tapauksessa pieni vaikutus koko elinkaaren aikaisiin kustannuksiin. Kuvassa 4.8 on esitetty investoinnin arvot koko käyttöiältä eri korkokannoilla.



Kuva 4.8 Koron vaikutus elinkaaren aikaisiin investointikustannuksiin.

Käyttöiässä sähkön kulunut määrä aurinkokeräimen ja UVLP:n hybridiratkaisussa on esitetty kuvassa 4.9.



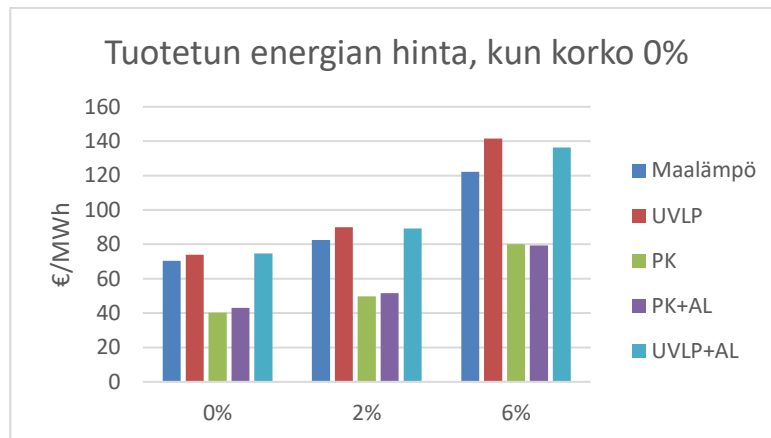
Kuva 4.9 Sähkön hankintakustannukset elinkaaren ajalta, kun sähkön hinta kasvaa 0%, 2% tai 6 % vuodessa

Saadut arvot ovat noin 9 % pienemmät kuin pelkällä UVLP:lla. Absoluuttiset arvot koko elinkaaren ajalta ovat hybridijärjestelmässä 3886 €, 4980 € ja 8530 €

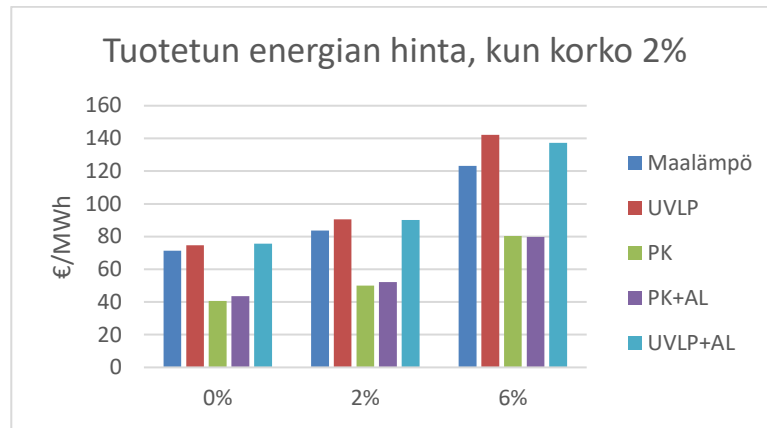
pienemmät eri sähköhintaskenaarioilla. Energian hinnaksi tutkittavassa hybridi-järjestelmässä saatiin 74,6-137,7 €/MWh. Elinkaarikustannukset käyttöiältään olivat 59-108 k€.

#### 4.5 Laitteistojen vertailu taloudellisin perustein

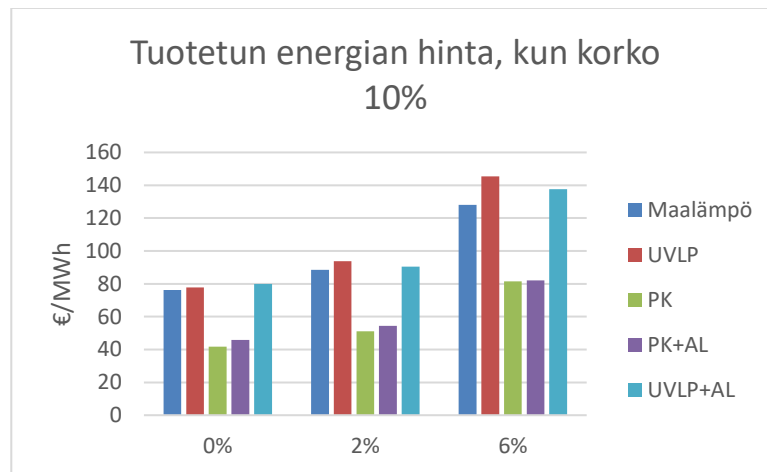
Lämmitysjärjestelmien taloudellinen vertailu on luontevaa tehdä sillä tuotetun energian hintoja vertaamalla, koska siihen on laskentavaiheessa sisällytetty kaikki sen tuottamiseen vaaditut kustannukset. Pienin lämmitysenergian hinta tarkoittaa siten myös pienintä elinkaaren aikaista kustannusta, koska myös poikkeavuudet sähköenergian ja polttopuun hinnassa on huomioitu lämmitysenergian hintaa laskettaessa.



Kuva 4.10 Tuotetun lämmitysenergian hinnat eri lämmitysjärjestelmillä, kun sähköenergian tai polttopuun hinta kasvaa vuosittain 0 %, 2 % tai 6 %



Kuva 4.11 Tuotetun lämmitysenergian hinnat eri lämmitysjärjestelmillä, kun sähköenergian tai polttopuun hinta kasvaa vuosittain 0 %, 2 % tai 6 %



Kuva 4.12 Tuotetun lämmitysenergian hinnat eri lämmitysjärjestelmillä, kun sähköenergian tai polttopuun hinta kasvaa vuosittain 0 %, 2 % tai 6 %

Kuvista 4.10, 4.11 ja 4.12 voidaan havaita, että pelkistä lämpöpumppujärjestelmistä maalämpöjärjestelmällä on pienempi energiantuotantohinta kuin ilma-vesilämpöpumpulla kaikissa tapauksissa. Maalämpöpumpun parempi hyötysuhde tekee siitä pitkällä aikavälillä kannattavamman ratkaisun vaikkakin sen hankintahinta on UVLP:a suurempi. UVLP:n ja aurinkokeräimen hybridijärjestelmä on pelkää UVLP:a halvempi silloin, kun sähköenergian tai puun hinta kasvaa vuosittain 2 % tai 6 %. Jos kasvua ei tapahdu niin silloin aurinkolämpöjärjestelmän hankkiminen ei ole kannattavaa UVLP:n tukilämmitysmuodoksi.

Puukattilan sekä puukattilan ja aurinkokeräimen muodostama hybridijärjestelmä ovat lämpöpumppuihin verrattuna huomattavasti halvempia. Hybridijärjestelmällä tuotetun energian keskimääräinen hinta on pienempi kuin pelkällä puukattilalla vain silloin, kun puun hinta nousee vuodessa 6 % koko käyttöiän ajan. Jos lainasta joutuu maksamaan 10 % korkoa ja siten keräimen investointikustannus kasvaa, ei aurinkokeräimen hankkiminen ole enää järkevää 6 % polttopuun hinnan kasvullakaan kuten kuvasta 5.3 voidaan havaita. Yksi vaihtoehto aurinkokeräimien kannattavuuden parantamiseen on tehon kasvattaminen, jolloin yleensä tuotetun MWh:n hinta laskee, koska muun muassa asennustyön suhteellinen osuus pienenee. Kokoa ei voida kasvattaa kuitenkaan loputtomasti, koska reilu ylimitoittaminen vähentää järjestelmän kannattavuutta käyttämättömän energian takia. Puukattilan sekä puukattilan ja aurinkokeräimen hybridijärjestelmän erot elinkaarikustannuksissa ovat korkeintaan vain muutamia tuhansia euroja, jolloin taloudellisen näkökulman lisäksi tulee arvioida myös kesäajan vähentyneen puunpolton ja siten vähentyneen työn osuutta talon asukkaille. On kuitenkin vaikea arvioida rahallista arvoa sille, että asukkaan ei tarvitse esimerkiksi kesäkuukausina huolehtia puukattilan lämmityksestä ja siihen liittyvistä muista toimenpiteistä.

## 5 YHTEENVETO

Tämän tutkielman tavoitteena oli löytää saneerauskohteen 18 vanhan puukattilan korvaamiseen soveltuvat lämmitysratkaisut ja vertailla niitä niistä aiheutuvien kokonaiskustannusten ja siten myös niillä tuotetun energian hinnan perusteella. Lisäksi tavoitteena oli selvittää onko aurinkokeräimen asentaminen kannattavaa taloudellisessa mielessä lämpöpumppujärjestelmän tukilämmitysmuodoksi.

Jos lämmitystavan valinta tehdään puhtaasti taloudellisin perustein, on puukattila tutkituista järjestelmistä kaikkein halvin sen 40-82 €/MWh lämmitysenergian tuotantohinnalla. Aurinkopaneelien lisääminen sen tukilämmitysmuodoksi vähentää puukattilan hoidosta aiheutuvaa vaivaa kesäkuukausilta jolloin sen hankinta on järkevää, vaikkakin tietyissä tapauksissa kokonaiskustannukset saattavat olla maksimissaan n. 3,5 €/MWh suuremmat kuin pelkällä puukattilalla. Toisaalta polttopuun hinnan kasvun ollessa 6 % vuodessa laskee aurinkokeräin hybridi-järjestelmässä tuotetun energian hintaa alle 1 €/MWh, joka on niin mitätön ero, ettei sen perusteella voida sanoa, että aurinkokeräimen hankkiminen olisi järkevää taloudellisia seikkoja ajatellen.

Jos asukas haluaa vaivattoman lämmitysmuodon kannattaa valita maalämpöjärjestelmä, koska sen asukkaalta vaativat toimenpiteet ovat hyvin vähäisiä. Maalämmön energiantuotantohinnaksi saatiin käytetyillä arvoilla 70-130 €/MWh. UVLP sekä UVLP:n ja aurinkokeräimen yhdistelmä ovat yhtä vaivattomia, mutta niillä tuotetun energian hinta on jopa n. 17€/MWh suurempi kuin maalämpöjärjestelmässä, joka tekee niiden valinnasta kannattamattoman ainakin taloudellisessa mielessä. Kun vertaillaan UVLP:a ja UVLP:n ja aurinkokeräimen yhdistelmää voidaan saaduista tuloksista todeta, että aurinkokeräimen asentaminen UVLP:n tukilämmitysmuodoksi on kannattavaa vain silloin, kun ostetun sähköenergian hinta kasvaa 6 % vuodessa.

Lisähuomiona eri lämmitysratkaisuja vertailtaessa ilmeni, että suurimmat elinkaaren aikaiset kustannukset syntyivät laitteiden käyttämän sähköenergian sekä



polttopuun hinnasta, eikä niinkään alkuinvestoinnista tai lainan korkokustannuksista. Lisäksi huomattiin aurinkokeräinten olevan kannattamaton hankinta miltei kaikissa tapauksissa, jos sitä ajatellaan pelkästään taloudellisen hyödyn kannalta. Aurinkokeräimillä voi sen sijaan olla positiivinen vaikutus lämpöpumppujen elinikään, koska se vähentää niiden käyttötarvetta kesäaikaan.

Koska alkuperäisenä tarkoituksena oli korvata puukattila jollain ekologisemmalla sekä vaivattomammalla järjestelmällä, on maalämpö tähän tarkoitukseen paras valinta. Saatuja tuloksia voidaan pitää siinä mielessä hyvinä, että ne vastasivat tutkimuskysymyksiin.

## Lähteet

- Ilmatieteenlaitos. 2017 Lämmitystarveluku. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 5.10.2017]. Saatavilla: <http://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>
- Motiva Oy. c2017c. Ilmalämpöpumput. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 25.5.2017]. Saatavilla: <https://www.motiva.fi/files/175/Ilmalampopumput.pdf>
- Motiva Oy. c2017b Lämpöä omasta maasta. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 25.5.2017]. Saatavilla [http://www.motiva.fi/files/7965/Lampoa\\_omasta\\_maasta\\_Maalampopumput.pdf](http://www.motiva.fi/files/7965/Lampoa_omasta_maasta_Maalampopumput.pdf)
- Motiva Oy. 2017a. Maalämpöpumppu. [Verkkosivu]. [Viitattu 25.5.2017]. Saatavilla: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/maalampopumppu](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/maalampopumppu)
- Motiva Oy. c2017d. Pientalon lämmitysjärjestelmät. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 25.5.2017]. Saatavilla: [https://www.motiva.fi/files/2701/Pientalon\\_lammitysjarjestelmat.pdf](https://www.motiva.fi/files/2701/Pientalon_lammitysjarjestelmat.pdf)
- Mottinetti. 2017. [Verkkosivu]. [Viitattu 25.5.2017]. Saatavilla: <http://www.mottinetti.fi/haku/toimitusalue/pohjois-savo/>
- Nibe Energy Systems Oy. 2017. Käyttöohjekirja NIBE F1155. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 25.5.2017]. Saatavilla: <http://www.nibe.fi/nibedocuments/19733/231560-6.pdf>
- Nibe Energy Systems Oy. 2013. Käyttöohjekirja NIBE F2030. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 25.5.2017]. Saatavilla: <http://www.nibe.fi/nibedocuments/8276/231118-1.pdf>
- Solpros. 2006. Aurinkolämpöjärjestelmien perusteet, mitoitus ja käyttö. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 25.5.2017]. Saatavilla: <http://www.kolumbus.fi/solpros/reports/OPAS.pdf>

- Tilastokeskus. 2017. Suomen virallinen tilasto (SVT): Energian hinnat. [Verkkopublication]. [Cited 25.5.2017]. Available: [http://www.stat.fi/til/ehi/2016/04/ehi\\_2016\\_04\\_2017-03-08\\_kuv\\_005\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/ehi/2016/04/ehi_2016_04_2017-03-08_kuv_005_fi.html)
- Terveyden ja hyvinvoinnin laitos (THL). 2017. Puunpoltto. [Website]. [Cited 25.5.2017]. Available: <https://www.thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/ilmansaasteet/puunpoltto>
- US Energy Information Administration. 2017. [Publication]. [Cited 5.10.2017]. Available: [https://www.eia.gov/energyexplained/index.cfm?page=solar\\_thermal\\_collectors](https://www.eia.gov/energyexplained/index.cfm?page=solar_thermal_collectors)
- Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT). 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. [Publication]. [Cited 25.5.2017]. Available: <https://www.motiva.fi/files/685/t2045.pdf>
- Ympäristöministeriö (YM). 2013. RAKMK D5, Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. [Publication]. [Cited 25.5.2017]. Available: <http://www.ym.fi/download/noname/%7B8C5C3B41-E127-4889-95B0-285E9223DEE6%7D/40468>

## Lämpimän käyttöveden lämmitykseen kulunut energia

Rakentamimääräyskokoelman osan D5 mukaan lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve saadaan laskettua yhtälöstä

$$Q_{lkv} = \rho_v c_{pv} V_{v, lkv} (T_{lkv} - T_{kv}) / 3600$$

jossa

$Q_{lkv, netto}$	lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve, kWh
$\rho_v$	veden tiheys, 1000 kg/m <sup>3</sup>
$c_{pv}$	veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/(kg K)
$V_{lkv}$	lämpimän käyttöveden kulutus, m <sup>3</sup>
$T_{lkv}$	lämpimän käyttöveden lämpötila, °C
$T_{kv}$	kylmän käyttöveden lämpötila, °C
3600	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi, s/h

( $T_{lkv} - T_{kv}$ );n arvona ilman perusteltua syytä käytetään, tällöin saardut arvot on esitetty alla olevassa taulukossa.

Energian kokonaiskulutus, sis. lämmitys ja lkv.		
Polttopuun kokonaiskulutus	25	p,m <sup>3</sup>
Koivuhalon ja kuusen energiasisältö	1,5	MWh/p,m <sup>3</sup>
Kattilan hyötysuhde	0,84	
Energian kokonaiskulutus, sis. lämmitys ja lkv.	31,5	MWh
Energian kokonaiskulutus, sis. lämmitys ja lkv.	31500	kWh
<b>Lämpimän käyttöveden osuus</b>		
henkilömäärä	3	kpl
kulutus, kuutiota per päivä per henkilö	0,05	m <sup>3</sup>
veden ominaislämpökapasiteetti	4,2	kJ/kgK
lämpötilaero	50	K
veden tiheys	1000	kg/m <sup>3</sup>
kerroin kJ --> kWh	3600	
Päiviä vuodessa	365	kpl
LKV:n Lämmitykseen kulunut energia, päivässä	8,75	kWh
LKV:n Lämmitykseen kulunut energia, kuukaudessa	266,1458333	kWh
LKV:n Lämmitykseen kulunut energia, vuodessa	3193,75	kWh
<b>Talon ämmitykseen kulunut energia</b>	<b>28306,25</b>	<b>kWh</b>

**Kuopion lämmitystarvelukujen keskiarvo vuosilta 1980-2010**

	Tam	Hel	Mal	Huh	Tou	KEs	HEi	Elo	Syy	Lok	Mar	Jou
Lämmitystarveluku	812	741	653	445	198	31	7	38	194	400	571	735

## Energiahinnan kasvu

Yhtälö energiahintojen laskemiseksi vuonna  $n$ :

$$P_n = P_0 * i^{n-1}$$

Esimerkiksi vuoden 2 sähköhinta 2 % kasvulla on:

$$P_2 = 13 \frac{snt}{kWh} * 1,02^{2-1} = 13,26 \frac{snt}{kWh}$$

Keskiarvot on saatu jakamalla kaikkien vuosien energiahintojen summa tutkitavalla ajanjaksolla.

Sähkön hintakehitys				Polttopuun hintakehitys			
Kasvu vuosittain 1	0 %			Kasvu vuosittain 1	0 %		
Kasvu vuosittain 2	2 %			Kasvu vuosittain 2	2 %		
Kasvu vuosittain 3	6 %			Kasvu vuosittain 3	6 %		
Sähkön hinta alussa	0,13	snt/kWh		Puun hinta alussa	50	€/pm3	
				Energiasäilö	1500	kwh/pm3	
				Puun hinta per kWh	0,033333		
Vuosi/Kasvu	0 %	2 %	6 %	Vuosi	0 %	2 %	6 %
1	0,13	0,13	0,13	1	0,033333	0,033333	0,033333
2	0,13	0,1326	0,1378	2	0,033333	0,034	0,035333
3	0,13	0,135252	0,146068	3	0,033333	0,03468	0,037453
4	0,13	0,137957	0,154832	4	0,033333	0,035374	0,039701
5	0,13	0,140716	0,164122	5	0,033333	0,036081	0,042083
6	0,13	0,143531	0,173969	6	0,033333	0,036803	0,044608
7	0,13	0,146401	0,184407	7	0,033333	0,037539	0,047284
8	0,13	0,149329	0,195472	8	0,033333	0,03829	0,050121
9	0,13	0,152316	0,2072	9	0,033333	0,039055	0,053128
10	0,13	0,155362	0,219632	10	0,033333	0,039836	0,056316
11	0,13	0,158469	0,23281	11	0,033333	0,040633	0,059695
12	0,13	0,161639	0,246779	12	0,033333	0,041446	0,063277
13	0,13	0,164871	0,261586	13	0,033333	0,042275	0,067073
14	0,13	0,168169	0,277281	14	0,033333	0,04312	0,071098
15	0,13	0,171532	0,293918	15	0,033333	0,043983	0,075363
16	0,13	0,174963	0,311553	16	0,033333	0,044862	0,079885
17	0,13	0,178462	0,330246	17	0,033333	0,04576	0,084678
18	0,13	0,182031	0,35006	18	0,033333	0,046675	0,089759
19	0,13	0,185672	0,371064	19	0,033333	0,047608	0,095145
20	0,13	0,189385	0,393328	20	0,033333	0,04856	0,100853
21	0,13	0,193173	0,416928	21	0,033333	0,049532	0,106905
22	0,13	0,197037	0,441943	22	0,033333	0,050522	0,113319
23	0,13	0,200977	0,46846	23	0,033333	0,051533	0,120118
24	0,13	0,204997	0,496567	24	0,033333	0,052563	0,127325
25	0,13	0,209097	0,526362	25	0,033333	0,053615	0,134964
Keskiarvo	0,13	0,166558	0,285295	Keskiarvo	0,033333	0,042707	0,073153

## Laitteiston investointikustannusten laskenta

Kuukausierät on laskettu Excelin PMT-funktiolla, johon syötetään lainan määrä, maksuerien lukumäärä sekä vuosikorko jaettuna vuoden sisältämien maksuerien määrällä. Kokonaiskustannus saadaan kertomalla kuukausierä niiden kokonaisu-määrällä.

<b>Maalämpö</b>					
Lainan määrä	17000		0 %	2 %	10 %
Vuosikorko 1	0 %	Kuukausierä	-283,33 €	-297,97 €	-361,20 €
Vuosikorko 2	2 %	Vuotuinen kustannus, jaettuna käyttöiälle	-680,00 €	-715,13 €	-866,88 €
Vuosikorko 3	10 %	Kokonaiskustannus	-17 000,00 €	-17 878,32 €	-21 671,99 €
Laina-aika	5	Koron osuus	0,00 €	-878,32 €	-4 671,99 €
Maksueriä vuodessa	12				
Maksueriä yhteensä	60				
Oletettu käyttöikä	25				
<b>UVLP</b>					
Lainan määrä	11000		0 %	2 %	10 %
Vuosikorko 1	0 %	Kuukausierä	-183,33 €	-192,81 €	-233,72 €
Vuosikorko 2	2 %	Vuotuinen kustannus, jaettuna käyttöiälle	-440,00 €	-462,73 €	-560,92 €
Vuosikorko 3	10 %	Kokonaiskustannus	-11 000,00 €	-11 568,32 €	-14 023,05 €
Laina-aika	5	Koron osuus	0,00 €	-568,32 €	-3 023,05 €
Maksueriä vuodessa	12				
Maksueriä yhteensä	60				
Oletettu käyttöikä	25				
<b>Puukattila</b>					
Lainan määrä	4000		0 %	2 %	10 %
Vuosikorko 1	0 %	Kuukausierä	-66,67 €	-70,11 €	-84,99 €
Vuosikorko 2	2 %	Vuotuinen kustannus, jaettuna käyttöiälle	-160,00 €	-168,27 €	-203,97 €
Vuosikorko 3	10 %	Kokonaiskustannus	-4 000,00 €	-4 206,66 €	-5 099,29 €
Laina-aika	5	Koron osuus	0,00 €	-206,66 €	-1 099,29 €
Maksueriä vuodessa	12				
Maksueriä yhteensä	60				
Oletettu käyttöikä	25				
<b>Puukattila+AL</b>					
Lainan määrä	8000		0 %	2 %	10 %
Vuosikorko 1	0 %	Kuukausierä	-133,33 €	-140,22 €	-169,98 €
Vuosikorko 2	2 %	Vuotuinen kustannus, jaettuna käyttöiälle	-320,00 €	-336,53 €	-407,94 €
Vuosikorko 3	10 %	Kokonaiskustannus	-8 000,00 €	-8 413,32 €	-10 198,58 €
Laina-aika	5	Koron osuus	0,00 €	-413,32 €	-2 198,58 €
Maksueriä vuodessa	12				
Maksueriä yhteensä	60				
Oletettu käyttöikä	25				
<b>UVLP+AL</b>					
Lainan määrä	15000		0 %	2 %	10 %
Vuosikorko 1	0 %	Kuukausierä	-250,00 €	-262,92 €	-318,71 €
Vuosikorko 2	2 %	Vuotuinen kustannus, jaettuna käyttöiälle	-600,00 €	-631,00 €	-764,89 €
Vuosikorko 3	10 %	Kokonaiskustannus	-15 000,00 €	-15 774,98 €	-19 122,34 €
Laina-aika	5	Koron osuus	0,00 €	-774,98 €	-4 122,34 €
Maksueriä vuodessa	12				
Maksueriä yhteensä	60				
Oletettu käyttöikä	25				

## Tuotetun energian hinta

Investointikustannus	17 000,00 €		Keskihinta tutkimusjaksolla, kun kasvu 0 %	0,13 €						
Huoltokustannukset	170,00 €		Keskihinta tutkimusjaksolla, kun kasvu 2 %	0,17 €						
Pitoaika	25 a		Keskihinta tutkimusjaksolla, kun kasvu 6 %	0,29 €						
Tehokerroin	3									
Lämmitysenergiatarve	31500 kWh		Vuotuinen investointikustannus, kun korko 0 %	-680,00 €						
Sähköenergiaa	10500 kWh		Vuotuinen investointikustannus, kun korko 2 %	-715,13 €						
			Vuotuinen investointikustannus, kun korko 10 %	-866,88 €						
<b>Investoinnin korko</b>		<b>0 %</b>	<b>2 %</b>	<b>10 %</b>						
<b>Vuotuinen energianhinnan kasvu</b>		0 %	2 %	6 %	0 %	2 %	6 %	0 %	2 %	6 %
Sähkön kulunut raha vuodessa	1 365,00 €	1 748,85 €	2 995,60 €	1 365,00 €	1 748,85 €	2 995,60 €	1 365,00 €	1 748,85 €	2 995,60 €	
Vuotuinen investointikustannus	680,00 €	680,00 €	680,00 €	715,13 €	715,13 €	715,13 €	866,88 €	866,88 €	866,88 €	
Vuotuinen Huoltokustannus	170,00 €	170,00 €	170,00 €	170,00 €	170,00 €	170,00 €	170,00 €	170,00 €	170,00 €	
<b>Yhteensä vuodessa</b>	<b>2 215,00 €</b>	<b>2 598,85 €</b>	<b>3 845,60 €</b>	<b>2 250,13 €</b>	<b>2 633,99 €</b>	<b>3 880,73 €</b>	<b>2 401,88 €</b>	<b>2 785,73 €</b>	<b>4 032,48 €</b>	
Sähkön kulunut raha käyttöiässä	34 125,00 €	43 721,36 €	74 890,06 €	34 125,00 €	43 721,36 €	74 890,06 €	34 125,00 €	43 721,36 €	74 890,06 €	
Investoinnin arvo koko käyttöiältä	17 000,00 €	17 000,00 €	17 000,00 €	17 878,32 €	17 878,32 €	17 878,32 €	21 671,99 €	21 671,99 €	21 671,99 €	
Huoltokustannukset koko käyttöiältä	4 250,00 €	4 250,00 €	4 250,00 €	4 250,00 €	4 250,00 €	4 250,00 €	4 250,00 €	4 250,00 €	4 250,00 €	
<b>Koko elinkaarikustannus</b>	<b>55 375,00 €</b>	<b>64 971,36 €</b>	<b>96 140,06 €</b>	<b>56 253,32 €</b>	<b>65 849,67 €</b>	<b>97 018,37 €</b>	<b>60 046,99 €</b>	<b>69 643,34 €</b>	<b>100 812,04 €</b>	
Elinkaaren lämpöenergian hinta €/MWh	70,32 €	82,50 €	122,08 €	71,43 €	83,62 €	123,20 €	76,25 €	88,44 €	128,02 €	

Sähkön kulunut raha vuodessa laskettiin kertomalla kunkin hintakasvun keskihinta tutkimusjaksolta sähkön kulutuksen määrällä. Esimerkiksi 6 % kasvulla keskihinta on 0,29 snt/kWh, jolloin vuodessa sähkөөn kuluu rahaa seuraavasti:

$$10500 \text{ kWh} * 0,29 \frac{\text{snt}}{\text{kwh}} = 2995,6 \text{ €}$$

Vuotuiset investointikustannukset jaettuna käyttöiälle saatiin suoraan Excelin PMT-funktiolla. Vuoden keskimääräinen huoltokustannus tiedettiin koko käyttöiälle. Esimerkiksi vuotuinen maalämpöjärjestelmän tuottama kustannus saatiin laskemalla yhteen kaikki vuotuiset kustannukset. Tämä on esimerkiksi 2 % korkokustannuksella ja 6 % sähkönhinnan kasvulla:

$$2995,6 \text{ €} + 680,0 \text{ €} + 170,0 \text{ €} = 3845,6 \text{ € vuodessa.}$$

Kun edellinen lukema kerrotaan käyttöiällä, saadaan laskettua koko elinkaaren aikainen kustannus, joka ko. tapauksessa on:

$$3845,6 \text{ €} * 25 \text{ a} = 96140 \text{ €.}$$

Tuotetun sähköenergian hinta laskettiin jakamalla vuotuinen käyttökustannus tuotetun energian määrällä:

$$3845,6 \text{ €} / 31,5 \text{ MWh} = 122,08 \text{ €/MWh}$$



## Käyttöiän aikaiset kustannukset

Alla esitetyissä taulukoissa on kuvattu eri lämmitysmuotojen koko käyttöiän aikaisia kustannuksia ja mistä ne koostuvat. Palkin nimessä ensimmäinen luku kertoo lainan vuosikoron ja toinen luku energian hinnan vuotuisen kasvun.

