

Joona Saari

ÖLJYLÄMMITYKSEN VAIHTAMINEN MAALÄMPÖÖN OMAKOTI-
TALOISSA

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Kandidaatintyö
Helmikuu 2019

TIIVISTELMÄ

Joona Saari: Öljylämmityksen vaihtaminen maalämpöön omakotitaloissa
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Konetekniikka
Helmikuu 2019

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan maalämpöjärjestelmää ja öljylämmitystä. Pyrkimyksenä on selvittää järjestelmien perustoiminta ja laskea maalämpöpumppuinvestoinnille takaisinmaksuaika.

Tutkimuksessa tarkastellaan kolmea erikokoista omakotitaloa. Jokaisessa taloudessa oli käytössä öljylämmitys ja öljykattilan uusiminen oli ajankohtaista. Talouksissa oli erivahvuiset eristykset, mikä otettiin huomioon laskuissa. Työssä laskettiin myös jokaisen esimerkkitalouden tuottama vuosittainen hiilidioksidipäästö öljylämmityksellä.

Tulosten perusteella ei pystytty määrittämään sellaista neliömäärää, jonka perusteella maalämpö olisi taloudellisesti järkevää. Kuitenkin yli 100 m²:n kohteessa on syytä tarkastella tapauskohtaisesti maalämpöpumpun investointia. Asunnot eivät tuottaneet vuoden aikana erityisen suuria hiilidioksidipäästöjä. Asunnon keskimääräistä hiilidioksidipäästöä voidaan verrata määrältään kahden auton vuotuisen hiilidioksidipäästö määrään.

ABSTRACT

Joona Saari: Change of domestic heating from oil to ground source heating
Bachelor's thesis
Tampere University
Mechanical engineering
February 2019

ALKUSANAT

Tämä työ on laadittu Tampereen yliopiston tekniikan alan opinnäytetyön mukaisesti Kandidaatintyönä. Työn aihe saatu Tampereen konetekniikan laitokselta. Työn aihe oli minulle suhteellisen tuttu jo opintojeni pohjalta, mutta opin myös paljon uutta teknisestä toteutuksesta työn tekemisen yhteydessä.

Tampereella, 27.2.2019

Joona Saari

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
2.	MAALÄMPÖ	2
2.1	Maalämpö lämmitysmuotona.....	3
2.2	Maalämpöpumput.....	5
2.3	Maalämpökaivo	9
3.	ÖLJYLÄMMITYS.....	15
3.1	Öljyn hinnan kehitys	16
3.2	Öljyn hinnan ennustaminen.....	17
4.	KUSTANNUKSET JA LASKELMAT	20
4.1	Maalämpöjärjestelmän investoinnin takaisin maksu.....	21
4.2	Savukaasujen määrä	24
5.	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	26
	LÄHTEET.....	27

KUVALUETTELO

Kuva 1.	<i>Lämpötilan muutos syvyyden suhteen (Florides & Kalogirou 2007, s. 2462).....</i>	<i>3</i>
Kuva 2.	<i>Lämmönvaihtimessa lämpötilan muutos (Encyclopædia Britannica Inc 2006).....</i>	<i>4</i>
<i>Kuva 3.</i>	<i>Mekaanisen työn tuottaminen.....</i>	<i>5</i>
<i>Kuva 4.</i>	<i>Lämmönsiirto kuumempaan pintaan.....</i>	<i>6</i>
<i>Kuva 5.</i>	<i>Carnot-prosessi PV ja TS tasossa.....</i>	<i>6</i>
<i>Kuva 6.</i>	<i>Maalämmön tyypillinen kiertoprosessi (Banks 2012, s. 93).....</i>	<i>7</i>
<i>Kuva 7.</i>	<i>Porakaivon rakenne (rototec 2014).....</i>	<i>10</i>
<i>Kuva 8</i>	<i>Vaakaputkistojen sijoittaminen maaperään (Florides & Kalogirou 2007, s. 2465).....</i>	<i>12</i>
<i>Kuva 9.</i>	<i>Avoinsysteemi pohjavedellä lämmittämiseen (Florides & Kalogirou 2007, s. 2464).....</i>	<i>13</i>
<i>Kuva 10.</i>	<i>Suljetun ja avoimen systeemin yhdistelmä (Florides & Kalogirou 2007, s. 2467).....</i>	<i>14</i>
<i>Kuva 11.</i>	<i>Öljylämmityksen prosessikuva.....</i>	<i>15</i>
<i>Kuva 12.</i>	<i>Öljyn hinnan kehitys 1800-luvulta tähän päivään (BP 2018).....</i>	<i>16</i>
<i>Kuva 13.</i>	<i>Öljyn hinnan kehitys 1995-2018 (Reuters 2018).....</i>	<i>17</i>
<i>Kuva 14.</i>	<i>Öljyn hinnan kehityksen funktio.....</i>	<i>18</i>
<i>Kuva 15.</i>	<i>Öljyn hinnan kehitys (longforecast 2019).....</i>	<i>19</i>
<i>Kuva 16.</i>	<i>Polynomisovitteen ennuste 8 vuoden päähän.....</i>	<i>19</i>
<i>Kuva 17.</i>	<i>Verottoman raakaöljyn ja kevyt polttoöljyn hintojen muutos 2002–2018 (longforecast 2019; Suomenkeskuspankki 2019; Tilastokeskus 2018).....</i>	<i>21</i>
<i>Kuva 18.</i>	<i>Kohde 1 takaisinmaksuaika.....</i>	<i>22</i>
<i>Kuva 19.</i>	<i>Kohde 2 takaisinmaksuaika.....</i>	<i>23</i>
<i>Kuva 20.</i>	<i>Kohde 3 takaisinmaksuaika.....</i>	<i>23</i>
<i>Kuva 21.</i>	<i>Kokonaiskustannukset 20 vuoden päästä.....</i>	<i>24</i>

LYHENTEET JA MERKINNÄT

A	poikkipinta-ala
α	terminen diffusiteetti
C	vakio
COP	coefficient of performance (lämmön ja työn suhde)
c_p	ominaislämpökapasiteetti
ΔT	lämpötilamuutos
dT/dz	lämpötilagradientti
E	tuotu sähkö
E_{\max}	teoreettinen maksimi hyötysuhde
h	lämmönsiirtokerroin
HFC	fluorihiihivety
λ	lämmönjohtavuus
m	massa
\dot{m}	polttoaineen massavirta
n	ainemäärä
P	paine
Q	systemiin tuotu lämpö
Q_a	vuoden lämmitysenergian tarve
Q_{out}	lähtevä lämpöenergia
Q_{pa}	polttoaineen lämpöenergia
\dot{Q}	lämpövirta
R_u	kaasuvakio
SCOP	seasonal coefficient of performance (COP vuoden aikojen suhteen)
T	lämpötila
T_C	kylmä lämpötila
T_H	työn jälkeen kuuma lämpötila
T_L	alkuperäinen lämpötila
T_s	seinämän lämpötila
T_∞	ympäristön lämpötila
W_{out}	lähtevä sähköteho
ρ	tiheys
dE	muuttunut energia arvo
V	tilavuus
W	systemiin tehty työ

1. JOHDANTO

Nykyään on yleistä, että vanhemmissa talouksissa mietitään vaihtoehtoisia lämmitysmuotoja vanhan öljylämmityksen tilalle. Tämä johtuu lähinnä öljyn hinnan noususta, mutta myös siitä, että monet haluavat vähentää talouksiensa päästöjä. Tässä työssä tarkastellaan ainoastaan lämmitysmuodon vaihtamista öljystä maalämpöön.

Työn tarkoituksena on kertoa yleisesti maalämmöstä ja sen käyttöön perustuvasta teoriasta asuntojen lämmityksessä sekä näyttämään, kuinka nopeasti lämmitykseen tehty investointi maksaa itsensä takaisin. Lisäksi tarkastelen, paljonko yksittäinen talous voi vähentää vuosittaisia päästöjään vaihtamalla lämmitysmuodon öljystä maalämpöön. Tutkimuksessani otan huomioon vain matalan entalpian suljettuja systeemejä, sillä muiden järjestelmien käyttäminen tässä tarkoituksessa ei olisi taloudellisesti järkevää Suomessa.

Luvussa 2 tarkastelen maalämmön teoriaa ja käytäntöä asuntojen lämmityksessä. Lisäksi tarkastellaan maalämpöpumpun toimintaa ja esitellään erinäisiä maalämpöputkisto ratkaisuja. Luvussa 3 tarkastelen öljylämmityksen teoriaa ja sen toimintaa käytännössä kotitalouksissa. Lisäksi pohdin öljyn hinnan kehitystä ja kuinka öljyn hintaa voidaan arvioida tulevaisuudessa. Luvussa 4 lasken kustannukset molemmille lämmitysmuodoille ja esitän sekä graafisesti sekä numeraalisesti saadut tulokset. Luvussa 5 teen lopulliset arvioinnit ja esitän saadut tulokset.

2. MAALÄMPÖ

Maalämpö on maaperässä ilmenevää lämpöä, joka on peräisin maan ytimestä. Ytimen lämpö on noin 6 000 °C lämmin (Delbridge & Ishii 2018), mutta tarkkaa arvoa ei ole pystytty määrittämään. Lämpö syntyy, kun radioaktiiviset aineet hajoavat hitaasti maan ytimestä erittäin suuressa paineessa (Banks 2012, s. 14).

Jo 1500-luvulla huomattiin, että lämpötila nousi kaivoksissa sen mukaan, mitä syvemmälle mentiin. Tämä ilmiö perustuu Fourierin lakiin (2.1). Fourierin lain avulla pystytään sanomaan, että maan ydin luovuttaa lämpöenergiaa ytimestään ulkokuorta kohti. Tämä toteutuu, mikäli maaperässä ilmenee lämmönjohtavuus ja on havaittavissa geoterminen gradientti

$$\dot{Q} = \lambda A \frac{dT}{dz}, \quad (2.1)$$

missä \dot{Q} on lämpövirta, A on poikkipinta-ala, dT/dz on lämpötilagradientti ja λ on lämmönjohtavuus. Maapallon geotermisen gradientti on määritetty olevan 0,02–0,35 °C/m. Maapallon sisältä syntyvän lämpöenergian lämpövuoksi alueellisesti on saatu arvoja 60–100 W/m². Globaaliksi arvoksi on määritetty 87 W/m². (Banks 2012, s. 15)

Lämpö voi siirtyä kolmella eri tavalla: konvektiolla, johtumalla tai säteilemällä. Maalämmön tilanteessa vaikuttavia tekijöitä on kaksi, johtuminen maaperän mineraaleissa ja konvektio pohjaveden välityksellä. (Banks 2012, s. 45)

Johtuminen perustuu molekyylien välisiin sidoksiin, jolloin toistensa kanssa vuorovaikutuksessa olevat molekyylit siirtävät energiaa lähellä oleville (Banks 2012, s. 45). Konvektiossa lämpö siirtyy nesteen tai kaasun virtauksen mukana. Nesteestä ja kaasusta voidaan käyttää tässä tilanteessa termiä fluidi. Fluidiin syntyy lämpötilaero kuuman pinnan takia. Tämä taas aiheuttaa tiheyseroja aineeseen, minkä seurauksena syntyy luonnollinen virtaus aineeseen tiheyserojen tasaamiseksi. Mikäli liikettä tehostetaan esimerkiksi pumulla, on kyseessä tällöin pakotettu konvektio. Konvektiolla siirtyneen lämmön määrää pystytään määrittämään lämmönsiirtokerroimen h avulla. Lämmönsiirtokerroin on tyyppillisesti määritetty kokeellisesti, ja sen avulla voidaan määrittää siirtynyt lämmönmäärä yhtälön (2.2) avulla

$$\dot{Q} = Ah(T_S - T_\infty), \quad (2.2)$$

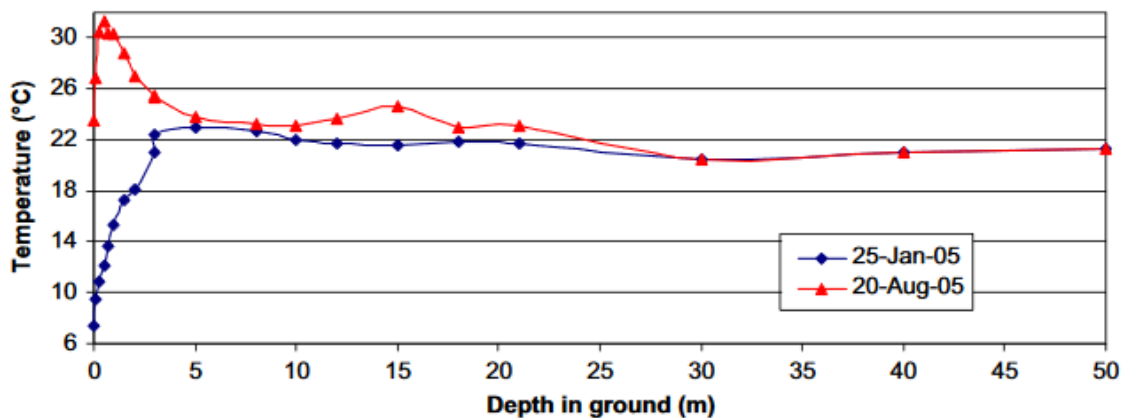
missä \dot{Q} on lämpövirta, A on poikkipinta-ala, T_S on lämpöä välittävän seinän pinnan lämpötila ja T_∞ on fluidin lämpötila kaukana pinnasta. Lämmönsiirtokerroimelle on määri-

tetty erinäisiin tapauksiin korrelaatiokaavat. Nämä kaavat perustuvat kokeellisesti määritettyihin arvoihin, mutta myös osittain teoreettisiin arvoihin. (Winterbone & Turan 2015, s.120)

2.1 Maalämpö lämmitysmuotona

Maalämpöä on käytetty jo 1920-luvulta lämmitysmuotona. Käyttö perustuu siihen, että maan sisällä lämpötila pysyy lähes vakiona. Käytössä lämpötilan tulee olla talven ja kesän lämpötilojen väliltä. Maalämpöpumppu pystyy siirtämään maan sisällä olevaa lämpöä asuntoon putkistoa pitkin ja tarvittaessa siirtämään asunnosta lämpöä takaisin maaperään. Tyypillisesti maalämmön talteenotto toteutetaan Carnot-prosessin mukaisesti. Maalämpötekniikka mahdollistaa talvisin asunnon lämmittämisen ja kesäisin asunnon viilentämisen yhdellä järjestelmällä. (Mustafa Omer 2008)

Vuoden aikana ilman lämpötila ei pysy vakiona. Tämä taas aiheuttaa sen, että maanpinnan lämpötila seuraa ilman lämmön kehitystä. Ilman lämpötilalla ei kuitenkaan ole merkitystä muutaman metrin syvyydessä, vaan lämpötila pysyy lähes vakiona läpi vuoden. Tämä johtuu siitä, että maan termien diffusiviteetti on pieni (Mustafa Omer, 2008). Lämpötilan vaihtelu eri maan syvyyksillä nähdään hyvin kuvasta 1 (Florides & Kalogirou 2007, s. 2462).



Kuva 1. Lämpötilan muutos syvyyden suhteen (Florides & Kalogirou 2007, s. 2462)

Jokaisella aineella on oma ominaislämpökapasiteetti-arvo. Tämä arvo kuvaa, kuinka paljon energiaa tarvitaan yhden kelvinin nostamiseen aineessa tai vaihtoehtoisesti kuinka paljon energiaa vapautuu yhden asteen laskusta. Lämmönjohtavuuden suhdetta ominaislämpökapasiteettiin ja tiheyteen kutsutaan termiseksi diffusiteetiksi α ja tämä voidaan kirjoittaa yhtälön (2.3) mukaisesti

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho c_p}, \quad (2.3)$$

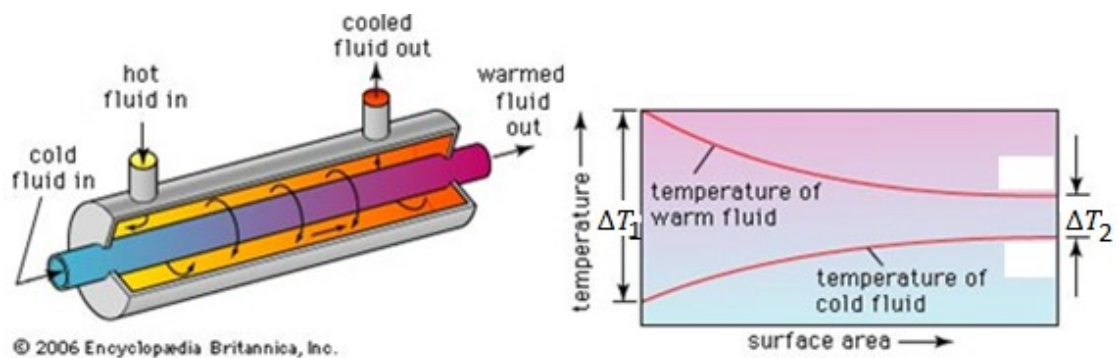
missä λ on lämmönjohtavuus, ρ on tiheys ja c_p on ominaislämpökapasiteetti. Terminen diffusiviteetti [m^2/s] kuvaa, kuinka nopeasti energia siirtyy materiaalin läpi. (Banks 2012, s. 51)

Kokonaisenergian muutosta pystytään tarkastelemaan yhtälön (2.4) avulla. Tämä perustuu termodynamiikan sääntöön 1, kun oletetaan työn olevan

$$\Delta E = mc_p \Delta T, \quad (2.4)$$

missä ΔE on muuttunut energia-arvo, m on massa, c_p on ominaislämpökapasiteetti, joka on aineelle ominainen ja ΔT on lämpötilamuutos. (Banks 2012, s. 42)

Lämmönvaihtimessa tavoitteena on nostaa yhden fluidin ja laskea toisen lämpötilaa. Lämmönvaihtimia valmistetaan moniin eri kohteisiin, mutta yksinkertaisin malli on kaksoisputkilämmönvaihdin. Putken sisällä on erillinen toinen putki, joka estää fluidien sekoittumisen. Mikäli virtaavat aineet kulkevat samansuuntaisesti, kutsutaan sitä myötävirtalämmönvaihtimeksi. Jos taas virtaukset kulkevat eri suuntiin, kutsutaan sitä vastavirtalämmönvaihtimeksi. Kuvassa 2 on esitelty lämmönvaihtimessa virtaussuunta ja lämmön siirtyminen. (Encyclopædia Britannica Inc 2006)



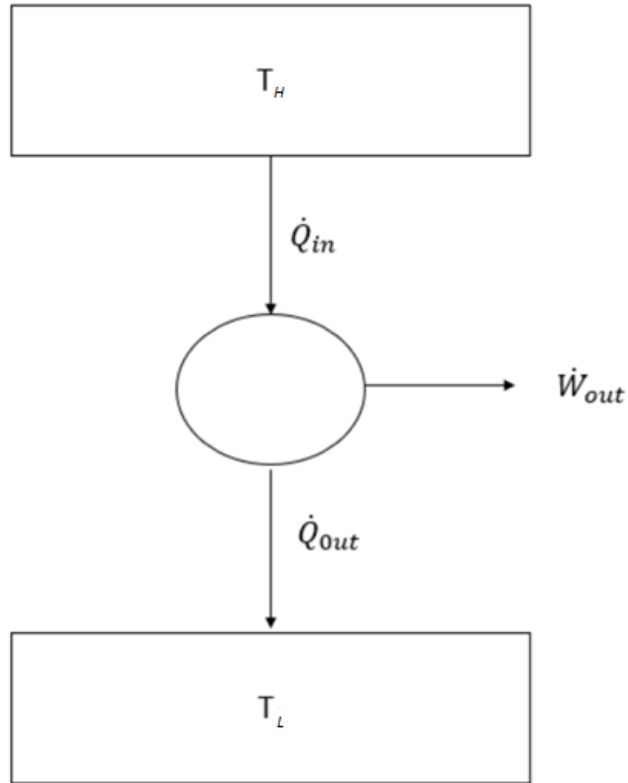
Kuva 2. Lämmönvaihtimessa lämpötilan muutos (Encyclopædia Britannica Inc 2006)

Asunnon tarvitsema huippukuorma vuoden aikana on keskimäärin 10 kW. Tämä tietenkin vaihtelee asunnon ja tiiveyden suhteen, mutta antaa hyvän arvion keskiarvosta. Mikäli lämpöä haluttaisiin kerätä suoraan maaperästä asunnon lämmittämiseen, tulisi maakaivon olla 1,4 km syvä tai maanpinnan läheisyydessä olevan maalämpöputkisto yli 115 000 m^2 :n leveydellä (Banks 2012, s. 20). Lämmön talteenottoa varten tarvitaan vakio lämpötila, johon ilmakehän lämpötila ei pääse vaikuttamaan. Tähän päästään jo viiden metrin syvyydessä, kuten nähdään kuvasta 1 (Mustafa Omer 2008, s.356).

Maalämpöjärjestelmä muodostuu kolmesta osasta: maan sisällä olevasta putkistosta, maalämpöpumppusta ja maalämmön jakelukanavasta. Erilaisia putkistoratkaisuja esitellään aluvussa 2.3.

2.2 Maalämpöpumput

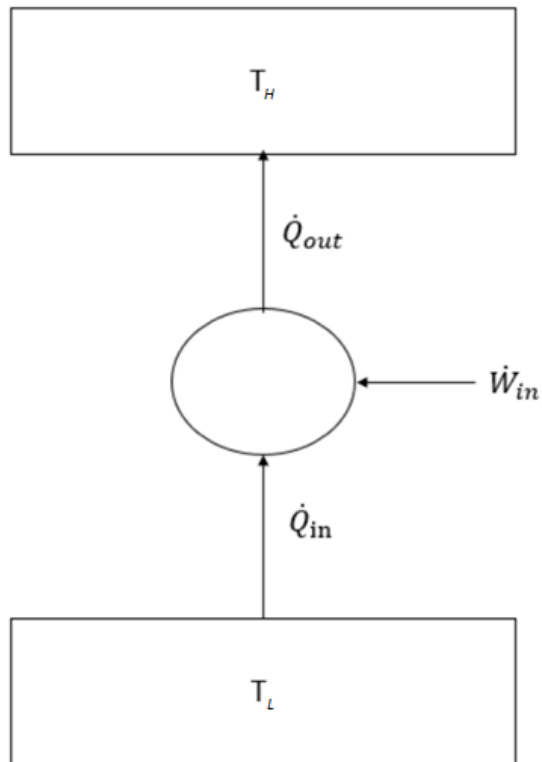
Maalämpö pumpun ensimmäisenä kehitysaskeleena voidaan pitää Thomas Newcomenin (1663–1729) suunnittelemaan höyrykonetta, joka toimi pumppuna kaivoksissa. Kuvassa 3 on esitelty höyrykoneen toimintaperiaate.



Kuva 3. Mekaanisen työn tuottaminen

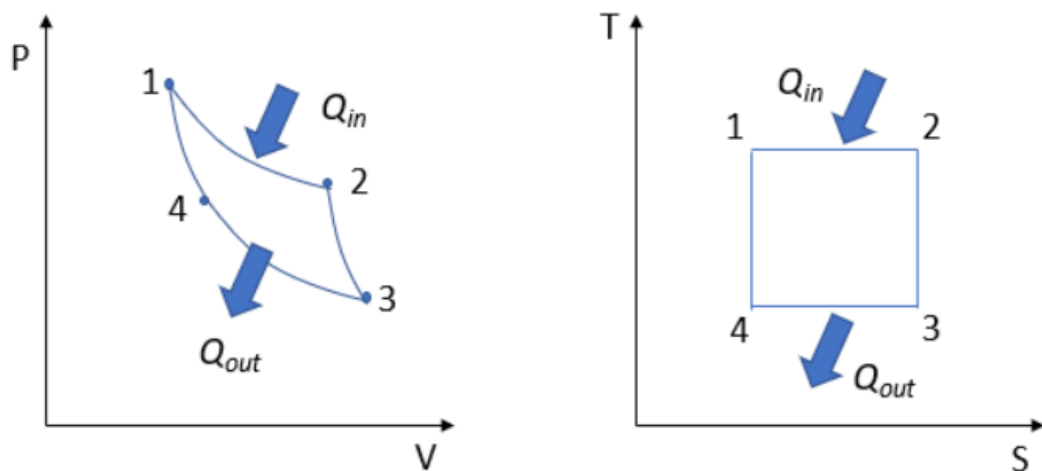
T_H on kuumempi pinta, \dot{Q}_{in} on sisään menevä lämpöenergia, \dot{W}_{out} saatu työ systeemistä, \dot{Q}_{out} on lähtevä lämpöenergia, ja T_L on kylmempi pinta. (Banks 2012, s. 62)

Yksinkertaisimmillaan lämpöpumppu on pumppu, joka siirtää lämpöä. Lämpöpumppu mahdollistaa alemmasta lämpötilasta lämmön tuomisen ylempään lämpötilaan. Tämä onnistuu kuitenkin vain, kun systeemiin tehdään työtä, kuten nähdään kuvasta 4. (Banks 2012, s. 62)



Kuva 4. Lämmönsiirto kuumempaan pintaan

Kuvassa 4 \dot{W}_{in} on järjestelmään tehty työ. Kuvista 3 ja 4 huomataan että lämmönsiirrossa pienemmästä lämmöstä suurempaan on käänteinen prosessi Carnot-prosessille. Koska Carnot prosessissa oletetaan lämmöntuonti ja poistuminen isotermisiksi voidaan Carnot prosessi esittää TS ja PV tasoisia kuvan 5 mukaisesti. (Winterbone & Turan 2015, s.35)



Kuva 5. Carnot-prosessi PV ja TS tasossa

Kuvassa 6 pumppu nostaa 60 metrin syvyydestä 10 °C asteista vettä höyrystimelle. Tästä vedestä höyrystin siirtää lämpöä kylmäaineeseen. Kylmennytti vesi pumpataan takaisin

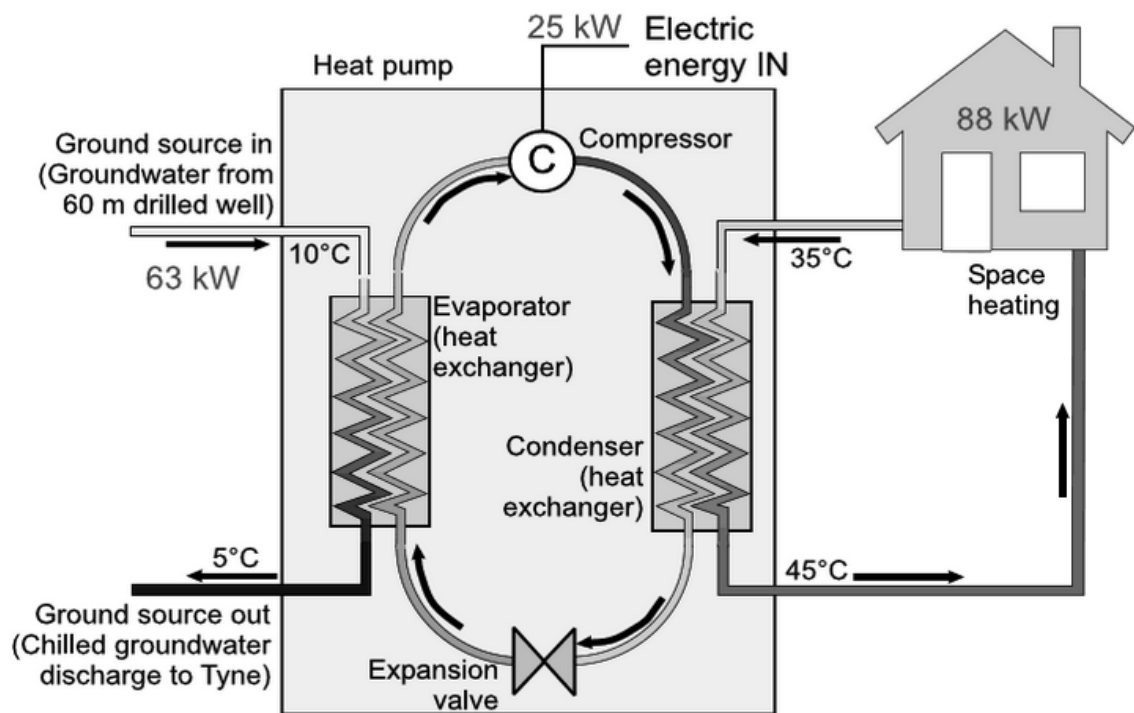
maahan. Kylmäaine, joka on lämmennyt höyrystimessä, vietään kompressorille, jossa sen painetta korotetaan. Paineen korotus nostaa kylmäaineen lämpötilaa. Tämä perustuu ideaalikaasun yhtälöön (2.5)

$$PV = nR_u T \Rightarrow \frac{PV}{T} = C, \quad (2.5)$$

missä P on paine, V on tilavuus, n on ainemäärä, R_u on kaasuvakio, T on lämpötila ja C on tässä tilanteessa vakio (Banks 2012, s. 47–48). Yhtälö voidaan kirjoittaa yhtälön (2.6) mukaisesti, mikäli ainetta ei katoa eikä sitä ilmesty lisää

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}, \quad (2.6)$$

missä alaindeksi 1 kuvaa ajan hetkeä yksi ja alaindeksi 2 kuvaa ajanhetkeä kaksi.



Kuva 6. Maalämmön tyypillinen kiertoprosessi (Banks 2012, s. 93)

Kuvassa 6, kun painetta nostetaan kompressorilla seuraa siitä se, että paineen noususta johtuen lämpötila pääsee myös nousemaan. Kompressorin toimii yleensä sähköllä, mutta sen käyttövoimana voi olla jokin muukin. Tässä tilanteessa käytetään kuvan mukaan 25 kW sähköä. Nyt paineistettu ja lämmennyt kylmäaine ohjataan lauhduttimeen, jossa se luovuttaa lämpöä talossa käytettävään lämmitysverkkoon. Luovutettuaan lämpöenergiaa, kylmäaine jatkaa kiertoa paisuntaventtiilille. Paisuntaventtiilillä sen korkea paine päästetään palautumaan normaaliksi. Tämän jälkeen kylmäaine lähtee uudelle kierrokselle. Talon keskuslämmitys siirtää saadun lämmön lämmönvaihtimelta taloon putkistoa pitkin.

Talossa lämpö voidaan jakaa lattialämmityksen tai vesiputkipatterien avulla. Veden kierrettyä talon läpi, palautuu se viilentyneenä takaisin lauhduttimelle.

Kuvan 6 tilanteessa sähkötehoa käytetään 63 kW veden nostamiseen ensimmäiselle lämmönvaihtimelle ja 25 kW kompressorin toimintaan. Kuvassa on esitetty, että talo lämpe-nisi 88 kW edestä. Tällöin maalämpöpumpun hyötysuhde olisi vain 1. Eli sähköä on käytetty saman verran kuin mitä olisi kulunut pelkällä sähköllä lämmittämiseen.

Kuvan 6 tapauksessa maasta pumpattiin vettä 60 metrin syvyydestä. Tämä on kuitenkin vain yksi tapa, kuinka lämmönvaihtimeen tuodaan lämpöä maaperästä. Muita menetelmiä tullaan esittelemään luvussa 2.3.

Kylmäaineena maalämpöpumpuissa käytetään nykyään fluorihilivetyjä (HFC). Nämä yhdisteet ovat myrkyttömiä, palamattomia ja biologisesti hajoavia, mutta ovat kuitenkin kasvihuonekaasuja. Alimmillaan kylmä aine on -5°C , mutta höyrystimen jälkeen lämpö-tila on jopa 100°C . (NIBE 2017, s. 9)

Maalämpöpumppujen tehokerroin COP (coefficient of performance) kuvaa saadun läm-mön ja käytetyn sähkön suhdetta. Tehokerroin saadaan yhtälöstä (2.7)

$$\text{COP} = \frac{Q}{W} = \frac{Q}{E}, \quad (2.7)$$

missä COP on tehokerroin, Q on systeemiin tuotu lämpö, W on systeemiin tehty työ, T_H on työn jälkeen nesteen lämpötila ja T_L on alkuperäinen nesteen lämpötila. Laskennassa lämpötilat ovat Kelvin asteina. Käytännössä työ tapahtuu kompressorilla, joten W voidaan korvata tuodulla sähköllä E . (Banks 2012, s. 94)

Carnot prosessin maksimi tehokerroin pystytään laskemaan yhtälön (2.8) avulla

$$\text{COP}_{\text{carnot}} = \frac{T_H}{T_H - T_L} \quad (2.8)$$

Teoreettinen maksimi tehokertoimelle riippuu lämpötilaerosta. Mikäli T_H on 35°C (308K) ja T_L on 5°C (278K) Teoreettinen maksimi tehokerroin olisi 1026,6% eli COP olisi 10,26. Todellinen arvo on kuitenkin paljon pienempi kuin teoreettinen maksimi. Tä-hän vaikuttaa muun muassa se, että T_H on yleensä lämpimämpi kuin lämmitettävä tila. Lisäksi T_L on alhaisempi kuin lämpötila maan alla, jotta lämpö siirtyisi nopeasti välittäjä nesteeseen. Paras tehokerroin saadaan, kun T_L on mahdollisimman lähellä arvoa T_H . To-dellista tehokertoimta alentaa kompressorit ja muut systeemin sisältämät pienet häviöt. Kompressorien tehokertoimen alentuminen johtuu kompersorin toiminnasta. kompres-sorit toimivat Rankin kiertoprosessin mukaisesti, jolloin kierto on käytännöllisempi kuin Carnot prosessikierto. Hyötysuhteissa Carnot prosessi on kuitenkin parempi kuin rankin prosessikierto. (Banks 2012, s. 94)

Tehokerroin antaa meille lämpökertoimen, mutta tämä ei ota huomioon lämpötilan vaihtelua vuoden aikana. Tätä varten on käytössä seasonal coefficient of performance (SCOP). SCOP lasketaan neljällä eri ulkolämpötilalla, näiden perusteella määritetään lämpökerroin. Eurooppa ja jaettu laskennassa kolmeen eri ilmastovyöhykkeeseen. Etelä-Euroopan laskenta perustuu Ateenan ilmasto-olosuhteisiin, Keski-Euroopan Strasbourgin ja Pohjois-Eurooppa Helsingin olosuhteisiin. (RefGroup 2012)

Taulukossa 1 on esitetty NIBE valmistajan F1255-16 invertterimaalämpöpumpun lämpökerroin.

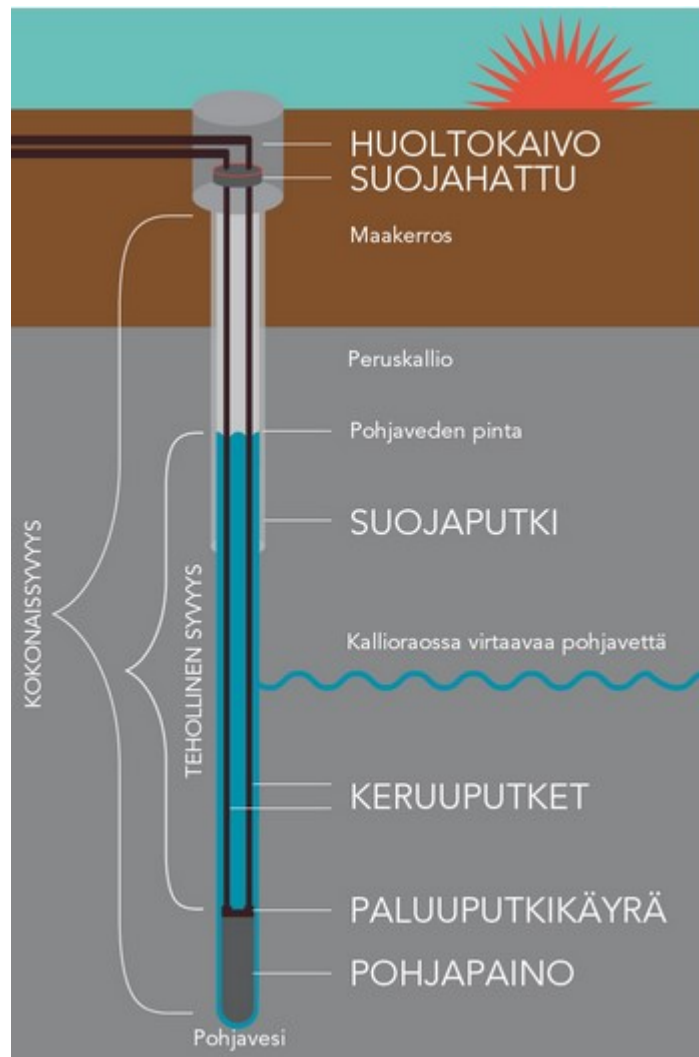
Taulukko 1. NIBE F1255-16 hyötysuhde

Seasonal space heating energy efficiency	η_s	154	%
<i>Declared coefficient of performance for part load at outdoor temperature T_j</i>			
$T_j = -7\text{ °C}$	COPd	3,0	-
$T_j = +2\text{ °C}$	COPd	4,1	-
$T_j = +7\text{ °C}$	COPd	4,9	-
$T_j = +12\text{ °C}$	COPd	5,0	-
$T_j = \text{biv}$	COPd	2,8	-
$T_j = \text{TOL}$	COPd	2,8	-
$T_j = -15\text{ °C}$ (if TOL < -20 °C)	COPd		-
Operation limit temperature	TOL	-10	°C
Cycling interval efficiency	COPcyc		-
Heating water operating limit	WTOL	65	°C

Taulukossa 1, sarakkeessa η_s , on kerrottu kausittainen hyötysuhde tilan lämmitykseen. Kyseiselle pumpulle hyötysuhteeksi on määritetty 154%. Alempana on esitelty eri osa kuormilla pumpun COP arvo. COP arvoon vaikuttaa tällöin T_j , joka on ulkolämpötila (NIBE Energy Systems 2016, s.5).

2.3 Maalämpökaivo

Maalämpökaivo on maaperään upotettu putkisto, joka kerää maaperästä mahdollisimman paljon lämpöä. Putkisto voidaan toteuttaa useilla eri tavoilla, mutta Suomessa yleisin muoto on porakaivo. Kuvassa 7 on esitelty porakaivon rakenne.



Kuva 7. Porakaivon rakenne (rototec 2014)

Porakaivo soveltuu hyvin pienille tonteille ja kohteisiin, joihin jälkiasennetaan maalämpöpumppu. Porakaivon halkaisija on minimissään 130 mm ja syvyys maksimissaan 250 metriä. Kehitystä on kuitenkin viime vuosina tapahtunut, ja yritys Rototec onkin jo kaivanut yli 300 metriä syviä kaivoja. Suuren lämmöntarpeen vaativassa kohteessa, voidaan maaperään kaivaa useita kaivoja. Tällöin on huomioitava, että kaivojen välinen etäisyys tulisi olla vähintään 15 metriä. (Sulpu 2012)

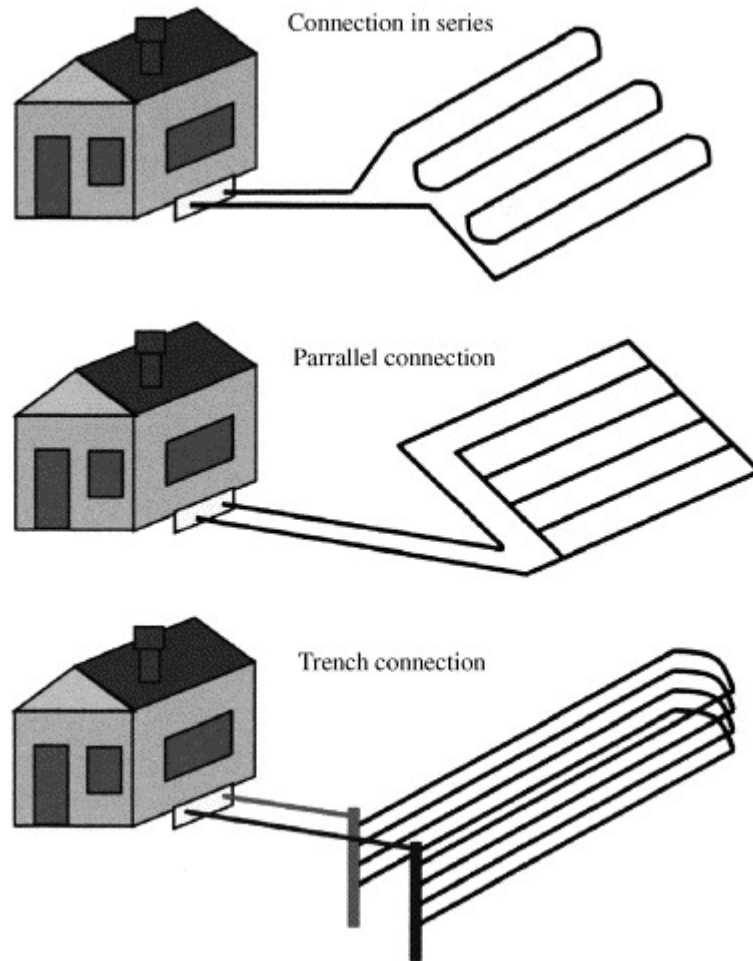
Taulukossa 2 on esitetty maaperän lämpötila eri syvyyksissä Euroopan alueella.

Taulukko 2. Syvyydessä maanlämpötilan vaihtelu (Banks 2012, s. 55)

Country	Typical ground temperature (°C) 10–150m depth range
Norway	2–7
Finland	2–6
Denmark	6–11
Poland	8–11
United Kingdom	9–14
France	9–15
Romania	12–16
Italy	10–15
Spain	15–19
Greece	14–20

Suomen maaperän lämpötila 150 metrin syvyydessä on alin suhteessa muihin Euroopan maihin. Tämä kuitenkin ei ole rajoittava tekijä, mutta vaatii välittäjäaineelta eri ominaisuuksia. Lisäksi kesäisin maaperään pystytään palauttamaan enemmän lämpöä ja näin viilentämään asuntoa. Mikäli kohde on suuri ja käytettävissä paljon pinta-alaa, on mahdollista asentaa maanpintaan vaakaputkisto. Kustannuksellisesti se on hieman edullisempi kuin porakaivo. Maaperän ominaisuudet vaikuttavat suuresti siihen, kuinka paljon energiaa putkisto voi kerätä. Putkisto asennetaan tyypillisesti metrin syvyyteen. Tyypillisesti horisontaali putkisto tarvitsee 35–60 m/kW. (Sulpu 2012)

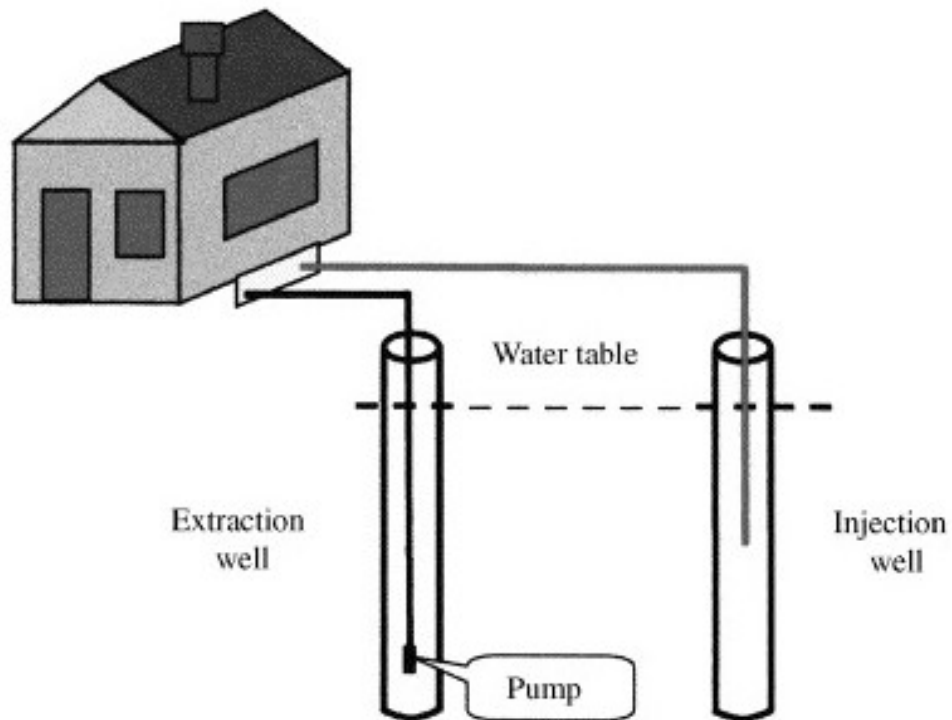
Kuvassa 8 esitetty erilaisia tapoja sijoittaa vaakaputkisto.



Kuva 8 Vaakaputkistojen sijoittaminen maaperään (Florides & Kalogirou 2007, s. 2465)

Ylimmässä tilanteessa suljettu kiertosysteemi on sarjaan kytkettynä ja onkin tyypillinen asennustapa Suomessa (Sulpu 2012). Keskellä esitetty rinnan kytketty malli, jossa putkisto haaraantuu omiksi kierroksiksi ja palautuu yhdeksi linjaksi ennen palautumista pumpulle. Alimmassa tilanteessa on kaksi päälinjaa, jotka on kaivettu maahan. Näistä lähtee eri syvyyksissä yksittäinen kierros horisontaalasti keräämään lämpöä. (Florides & Kalogirou 2007, s. 2464)

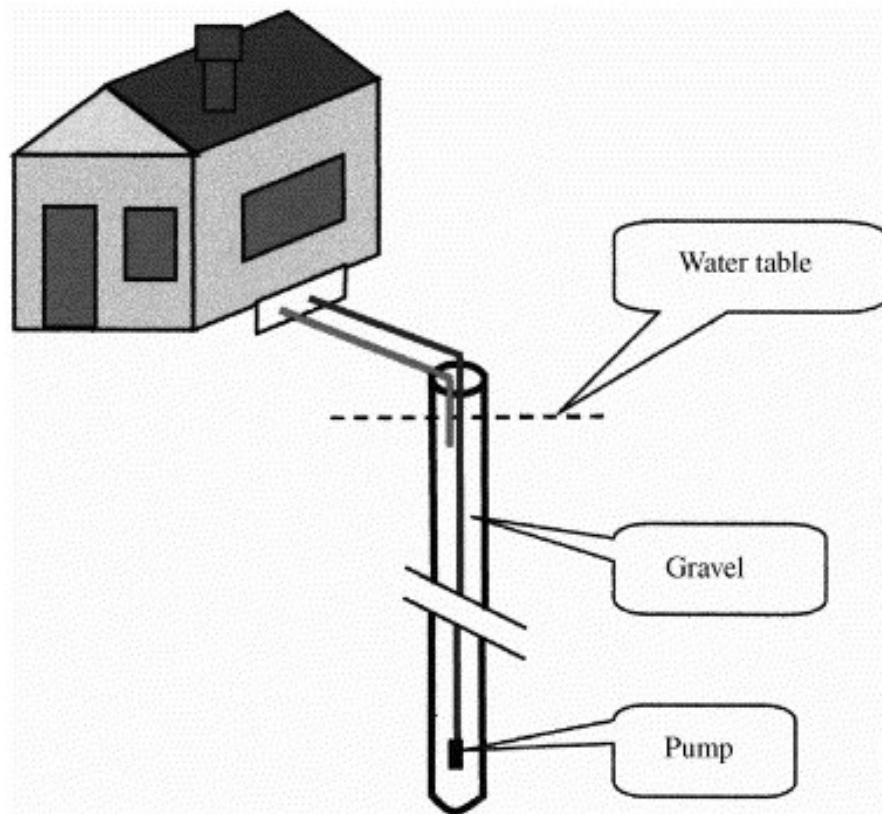
Aikaisemmin on tarkasteltu vain suljetun systeemin kiertoa, mutta myös avoinkiertosysteemejä on käytössä. Tällöin välittäjäaineena on pohjavesi. Kuvassa 9 nähdään tilanne missä on käytössä kaksi erillistä maalämpökaivoa.



Kuva 9. *Avoinsysteemi pohjavedellä lämmittämiseen (Florides & Kalogirou 2007, s. 2464)*

Kuvassa 9 pumppu on sijoitettu toiseen kaivoon, josta se pumppaa maaperän lämmittämää vettä suoraan kohteeseen. Viilentynyt vesi tuodaan takaisin maaperään toisen kaivon kautta. (Florides & Kalogirou 2007, s. 2464)

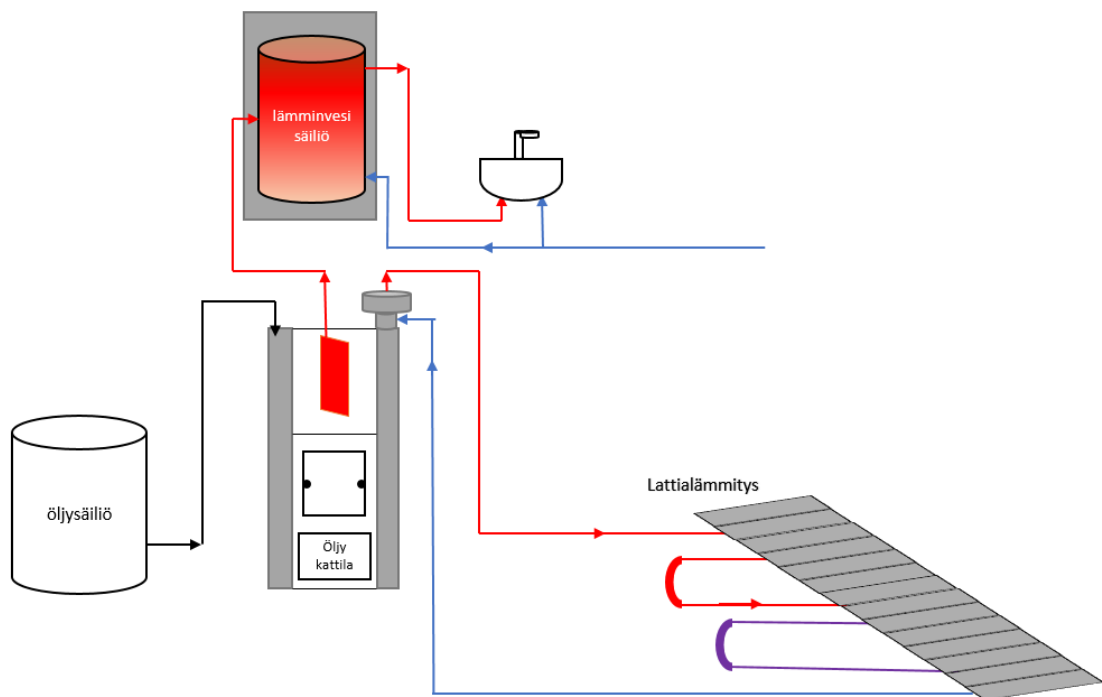
Tämän lisäksi on systeemejä, joita ei voida kategorisoida puhtaasti suljettuun tai avonaiseen systeemiin. Mikäli porakaivo on 500 metriä syvä, jätetään paluupuolen linja usein rakentamatta. Tällöin paluu linja päästää veden takaisin maaperään, josta se kulkeutuu soran ja muiden maa-ainesten lävitse takaisin pumpulle. Pelkän painepuolen rakentaminen laskee investoinnin summaa huomattavasti. Kuvassa 10 on esitettyä suljetun ja avoimensysteemin malli. (Florides & Kalogirou 2007, s. 2464)



Kuva 10. Suljetun ja avoimen systeemin yhdistelmä (Florides & Kalogirou 2007, s. 2467)

3. ÖLJYLÄMMITYS

Öljylämmitysjärjestelmä koostuu lämpökattilasta, öljypolttimesta, öljysäiliöstä, savuhormista ja säätölaitteista. Varsinaista lämmönvaraajaa ei käytetä, ellei kohteessa tarvetta suurelle määrälle kuumaa vettä tai rinnakkaislämmitysjärjestelmää (Suomirakentaa, 2013). Öljylämmitysjärjestelmän toiminta perustuu siihen, että polttoaine syötetään öljysäiliöstä polttimelle. Polttimessa öljy poltetaan, jolloin vapautuu lämpöä. Tämä lämpö lämmittää kattilan vesitilan. Vapautuneet savukaasut ohjataan savuhormin kautta ulos. Kiertovesipumppu siirtää veden lämmitysverkostoon. Verkosto voi olla lattia- tai patterilämmitteinen. Käyttövesi lämmitetään myös kattilassa, mutta se tapahtuu erillään lämmitysverkostosta. Lämmitysverkoston toiminta esitetty kuvassa 11.



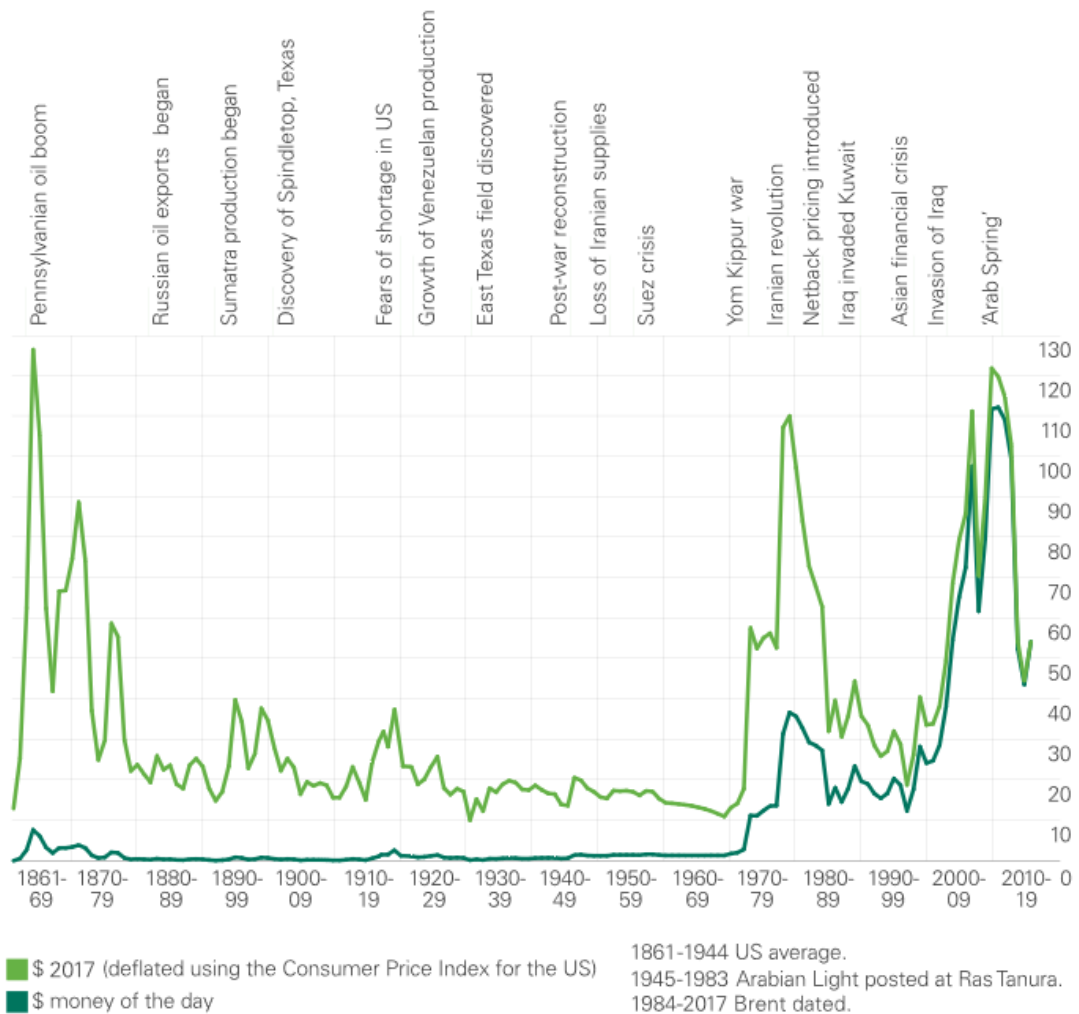
Kuva 11. Öljylämmityksen prosessikuva

Kattilassa käytetään tyypillisesti kevyt polttoöljyä ja sen lämpöarvo on noin 35,2 MJ/l, mikä on noin 41,5 MJ/kg, kun kevyt polttoöljyn tiheys on 0,85 kg/m³ (Alakangas, et al. 2016). Nykyisin kattiloiden hyötysuhde on jopa 95% (Öljy- ja biopolttoaineala ry 2016). Kattilaan syötettäessä 1 kg/s kevyt polttoöljyä, tuottaisi kattila hyödynnettävää energiaa noin 40,4 MW.

3.1 Öljyn hinnan kehitys

Öljyn hinnassa on tapahtunut radikaaleja muutoksia aina 1800 -luvun teollistumisesta lähtien. Erittäin suurten hinnannousujen takaa löytyy isoja globaaleja tapahtumia, kuten vuoden 1973 Jom Kippurin sota Egyptin, Syyrian ja Israelin välillä, Iranin vallankumous vuonna 1979, vuoden 1997 Aasian finanssikriisi sekä vuonna 2003 Yhdysvaltojen aloittama Irakin valtaus. Muitakin öljypörssiin vaikuttaneita tapahtumia on vuosien aikana sattunut ja kuvassa 12 onkin esitelty osa niistä.

Crude oil prices (\$ per barrel | world events)



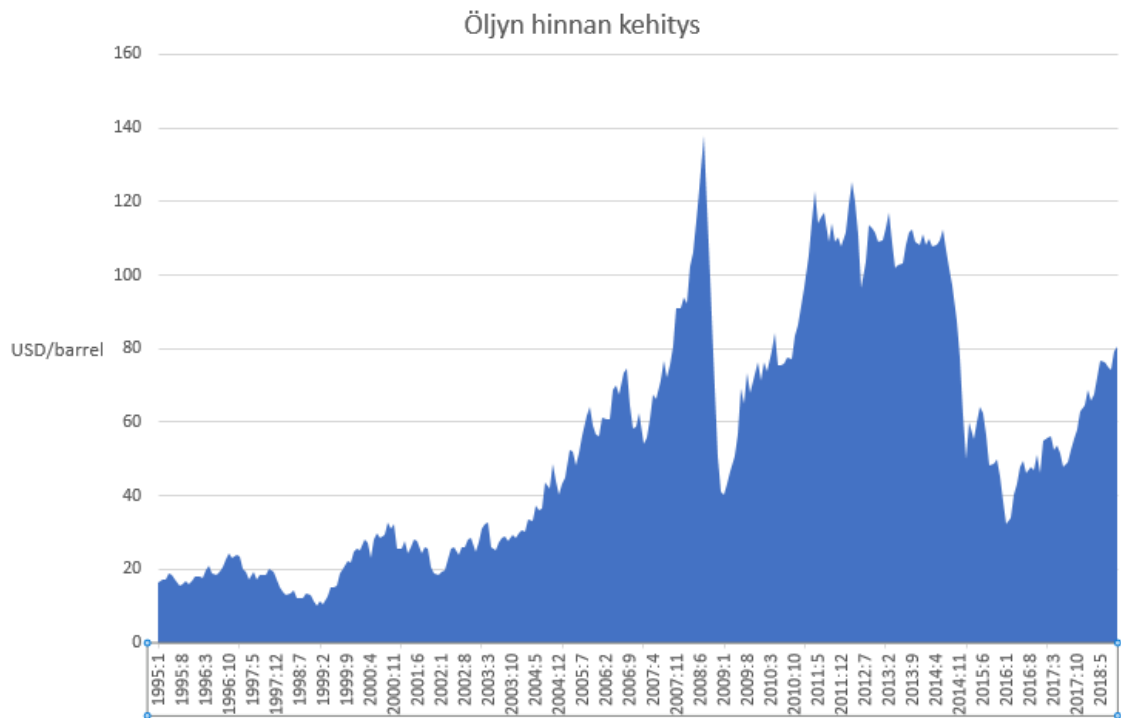
Kuva 12. Öljyn hinnan kehitys 1800-luvulta tähän päivään (BP 2018)

Kuvassa 12 esitetyt hinnat on määritelty vuoden 1985 sopimuksen mukaisesti (BP 2018). Yksikkönä käytetään Yhdysvaltojen dollaria tynnyriä kohti. SI yksikössä tämä on Yhdysvaltojen dollaria 159 litraa kohti. Tummanvihreä kuvaaja kertoo öljyn hinnan tämän nykyisen kurssin mukaisesti.

Ennusteen laatimiseen ei kannata tulkita tapahtumia ennen vuoden 1950 alkua, koska hinnan kehitys yksittäisiä piikkejä lukuun ottamatta oli maltillinen siihen saakka. 1960-luvun jälkeen hinta on muuttunut erittäin rajusti.

3.2 Öljyn hinnan ennustaminen

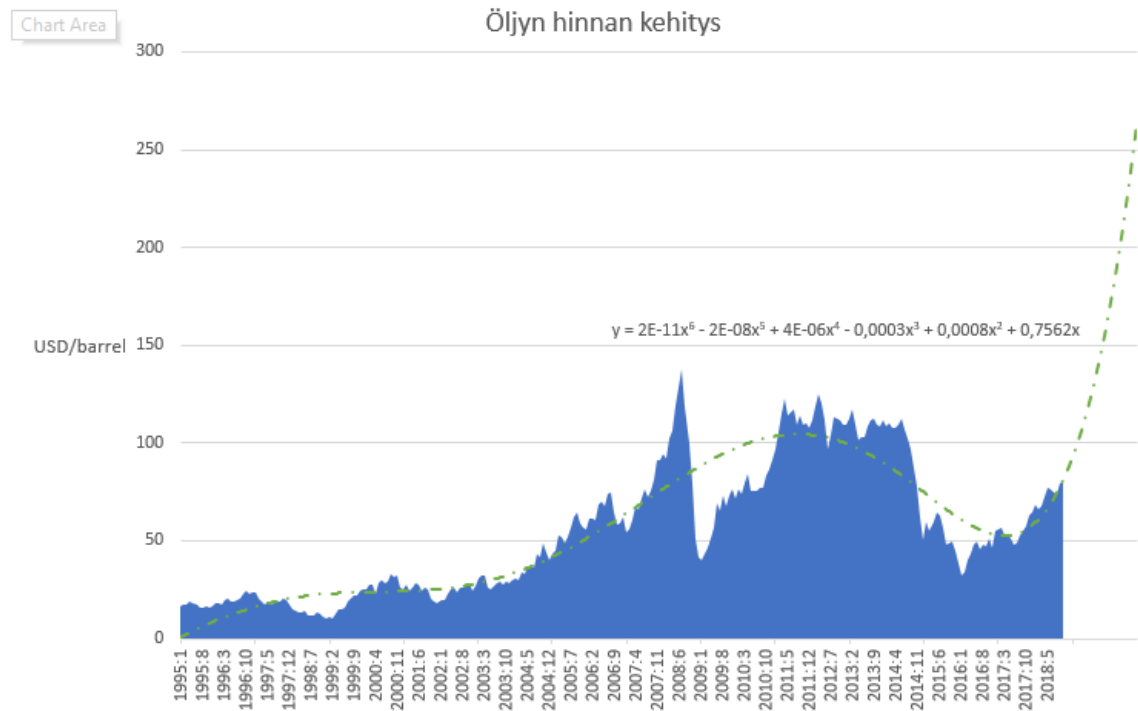
Öljyn hintaa voidaan ennustaa, kun tarkastellaan öljyn hinnan viimeaikaista kehitystä. Kuva 13 on muodostettu The Oil Market Journalista saatujen öljyn kuukausittaisista hinnoista vuodesta 1995 lokakuun 2018 loppuun (Reuters 2018).



Kuva 13. Öljyn hinnan kehitys 1995-2018 (Reuters 2018)

Suurimman hinnanmuutoksen vuosina 1995–2018 aiheutti maailman laajuinen finanssi-kriisi vuonna 2007. Tällöin öljyn hinta romahti yli 100 dollaria kahden vuoden sisällä. Saadun kuvaajan perusteella voidaan laatia ennusteita öljyn hinnan kehityksestä. On epärealistista tavoitella pitkän aikavälin ennustetta tämän perusteella, mutta muutaman vuoden päähän voidaan päästä approksimoimalla hinnan kehitystä.

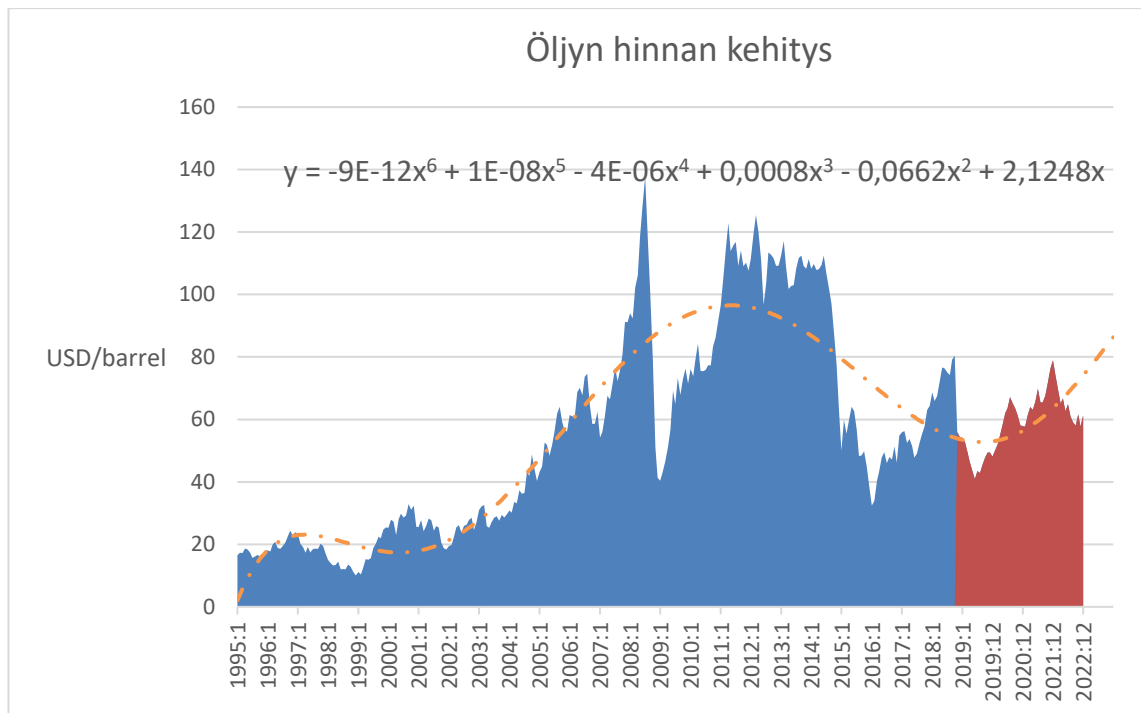
Kuvan 13 perusteella voidaan luoda funktio, joka kuvaa suhteellisen hyvin hinnan kehitystä ajan suhteen. Funktio sovitettu The Oil Market:n saatujen arvojen kuvaajaan kuvassa 14.



Kuva 14. Öljyn hinnan kehityksen funktio

Kuvasta 14 nähdään, että funktio vastaa hyvin hinnan kehitystä vuoteen 2018 asti. Kuvaan on piirretty myös arvio hinnan kehityksestä, funktionomaisesti seuraavalle kahdelle vuodelle. Tämän arvion mukaan vuonna 2020 lokakuussa öljyn hinta olisi yli 250 dollaria tynnyriä kohti. Tämä ei ole kuitenkaan realistinen hinnan nousu, vaikka yleinen tietoisuus öljyn määrän vähydestä on lisääntynyt. Tämän perusteella kyseistä polynomisovitetta ei tarkastella tarkemmin.

Kuvassa 15 on esitelty Longforecastin laatima ennuste öljyn hinnan kehitykselle. Suurimmillaan öljyn hinta kävisi seuraavan kolmen vuoden aikana 79 dollarissa, joka on realistinen hinta. (Longforecast 2019)



Kuva 15. Öljyn hinnan kehitys (longforecast 2019)

Kuvasta 15 nähdään, että laadittu trendiviiva loivenee hieman ja vuoden 2023 hinnan ennuste olisi vain 80 dollaria. Kun tarkastellaan saatua trendikuvaajaa, kuvassa 16, 8 vuoden päähän, havaitaan arvojen kääntyvän negatiivisiksi. Tämän tarkastelun perusteella saatua polynomisovitetta ei voida käyttää hyväksi pitkäaikaisen hinnan ennustamiseen.



Kuva 16. Polynomisovitteen ennuste 8 vuoden päähän

4. KUSTANNUKSET JA LASKELMAT

Vuoden aikana tarvittava energiamäärä lämmitykseen ja käyttöveden tuottamiseen riippuu asunnon koosta, asukkaiden määrästä, asunnon energia tehokkuudesta ja rakennuksen sijainnissa. Laskennassa tarkastellaan kolmea eri kohdetta. Ensimmäinen kohde on 75 m² matalaenergiatalo 2000-luvulta. Asunnossa asuu 2 henkilöä ja asunnossa on nykyaikainen lämpöeristys. Toisena kohteena on asunto 140 m² pientalo Jyväskylästä. Asunto on rakennettu 1990-luvulla ja asunnossa asuu 3- henkinen perhe. Asunto on lämmöneristyksellisesti hyvä ja lämpöeristyskerroin on 1. Kolmas kohde on 250 m² rintamamies talo Etelä-Suomesta. Asunnossa asuu 6 henkinen perhe. Lämpöeristys on kohteessa huono.

Laskettaessa tehon tarvetta, määritettiin perus energiatarpeeksi 120 kWh/m² (Rakennustieto 2004). Kokonaisenergiatarve saadaan kertomalla perus energiatarve asunnon neliöiden kanssa. Saatu tulos kerrotaan vielä asunnon lämpöeristyskertoimella, jolloin saadaan todellinen lämmitysteho. Asunnon lämmityksen lisäksi lämmitysjärjestelmä lämmittää käyttöveden. Huipputehon tarve saadaan laskettua jakamalla vuosittainen öljynkulutus luvulla 250 (Bioenergianeuvoja 2019).

Taulukko 3. Kohteiden lämmitystehot ja lämmitysjärjestelmien investointi hinnat

	Lämpöeristyskerroin	Kohteen tarvitsema lämmitys energia	Huippukuorma
Kohde 1 75m ²	0,5	6 500 kWh	2,8 kW
Kohde 2 140m ²	1	11 4000 kWh	4,9 kW
Kohde 3 250m ²	1,2	42 000 kWh	17,9 kW

Jokaisen asunnon lämmitys perustuu lämpimän veden kiertoon asunnon sisällä. Veden lämmitys tapahtuu siis joko maalämmöllä tai öljykattilalla. Tällöin kummassakin lämmitysmuodossa putkistoissa tapahtuvat häviöt ovat yhtä suuret, joten putkistohäviöt jätetään pois tarkastelusta.

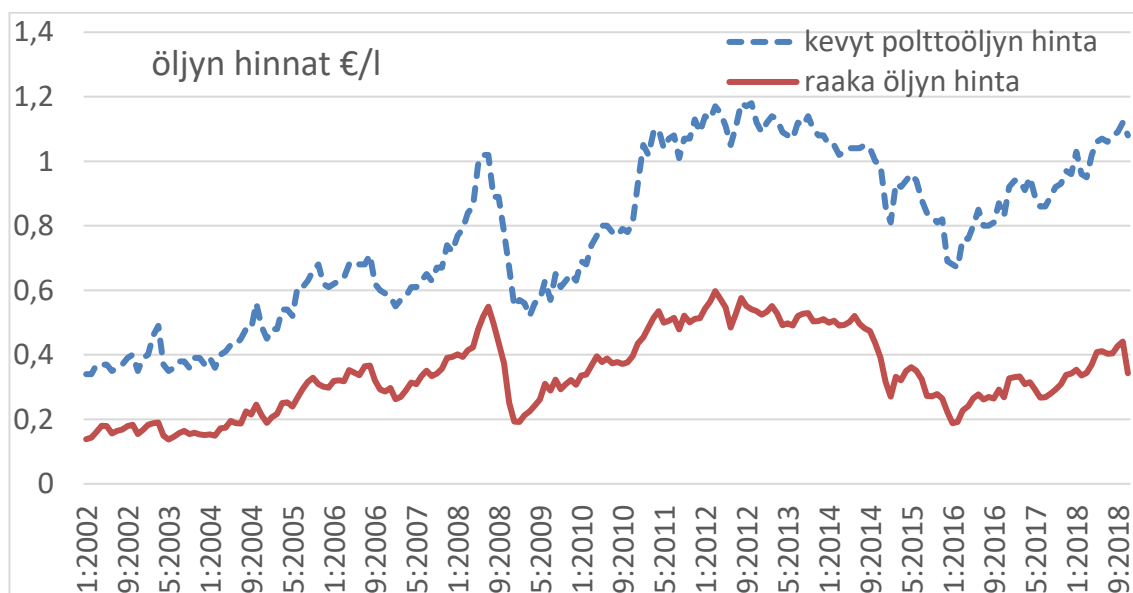
Investoinnin suhteen järjestelmät mitoitetaan siten, että öljykattilan teho riittää 100 % ja maalämpöjärjestelmän 68–80 % huippukuormasta. Maalämpöjärjestelmän puuttuvaa

lämmitysenergiaa tehdään sähkölämmityksellä (NIBE 2012, s. 2) Öljykattilan investoinnissa, jokaiseen kohteeseen valittiin 17 kW kattila, jossa on lisänä 6 kW sähköpoltin lisätehoa tuomassa. Tällöin sama kattila käy myös kohteeseen 3. Kattilan investoinnin hinnaksi tulee noin 2 500€. Maalämpöpumpun tilanteessa kohteisiin 1 ja 2 valittiin sama oil on house 4 maalämpöpumppu, jonka kustannus oli 5 645€. Kohteeseen 3 valittiin NIBE F1147 17kW, jonka hinta oli 6 689€. (Taloon.com 2019)

Laskennassa otetaan huomioon investoinnin hinnan ero. Kohteen 3 maalämpöpumpun kokonaishinta oletetaan olevan pumppujen hintojen erotus. Pitkän ajan laskennassa huomioidaan myös laitteiston uusiminen. Öljylämmityksessä käyttöikä on jopa 25 vuotta, josta polttimen käyttöikä on 10–15 vuotta. Polttimen uusiminen maksaa noin 1 000 €. Maalämpöpumpulle laskennallinen käyttöikä on 15–30 vuotta. Maalämpöjärjestelmää uusittaessa kuitenkin porakaivoa ei tarvitse uusida. Kompressorin uusiminen kuitenkin tulee ajankohtaiseksi 10 vuoden jälkeen. Tämän hinnaksi tulee noin 3 000€. (Energiatehokaskoti 2016)

4.1 Maalämpöjärjestelmän investoinnin takaisin maksu

Polttoaineena käytettävän kevyt polttoöljyn hinnan kehitys seuraa raakaöljyn hinnan kehitystä. Kuvassa 17 on esitelty raakaöljyn ja kevyt polttoöljyn hintoja vuosina 2002–2018.



Kuva 17. Verottoman raakaöljyn ja kevyt polttoöljyn hintojen muutos 2002–2018 (longforecast 2019; Suomenkeskuspankki 2019; Tilastokeskus 2018)

Hinnat on esitetty yksikkönä euro per litra. Keskiarvona kevyt polttoöljyn hinta oli 2,33 kertainen suhteessa raakaöljyyn. Suurimmillaan hinta ero oli yli 3,6 kertainen ja pienimmillään 1,8.

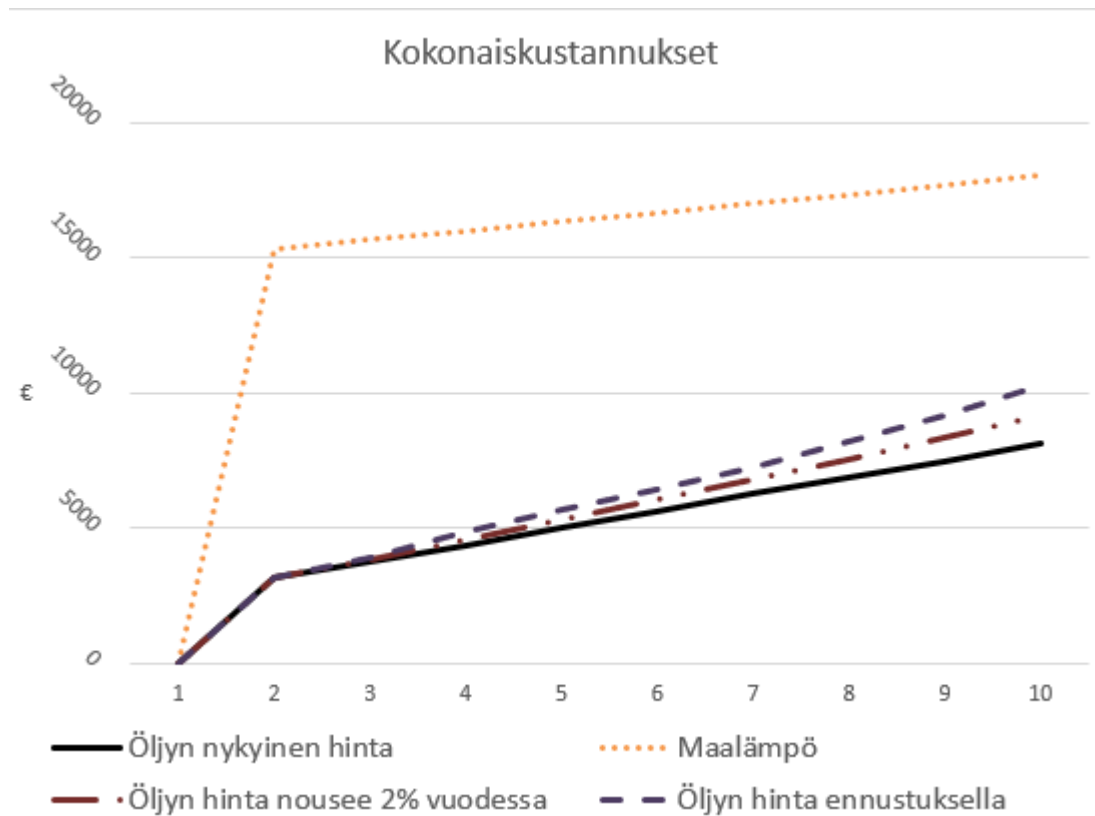
Laskennassa kevyt polttoöljyn kokonaishinnaksi määritettiin 0,9 €/l. Tämä pitää sisällään verotuksen. Öljystä saatava teho uudessa kattilassa määritettiin 40,375 MJ/kg ja öljyn tiheydeksi 837 kg/m³.

Vuodessa käytetty polttoaine saadaan laskettua yhtälön (4.1) mukaan,

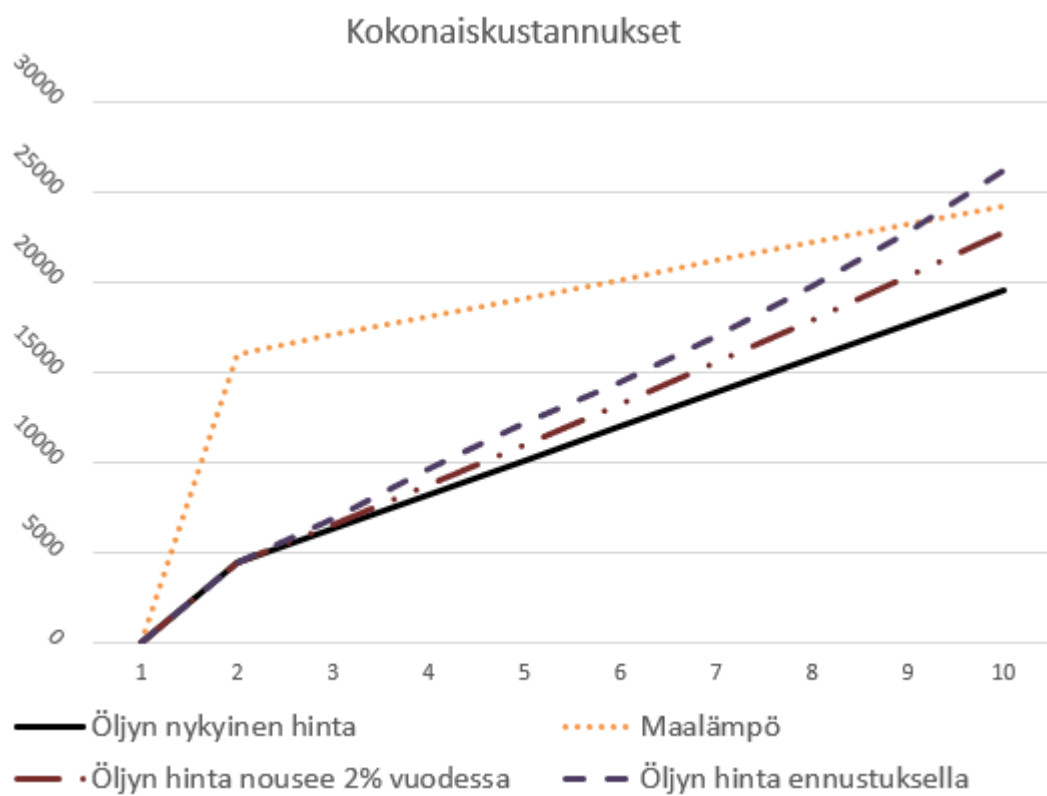
$$\dot{m} = \frac{Q_a \rho_{oil}}{Q_{pa}}, \quad (4.1)$$

missä \dot{m} on massavirta vuodessa, Q_a on vuodessa tarvittava energia, ρ_{oil} on öljyn tiheys ja Q_{pa} on polttoaineesta saava energia.

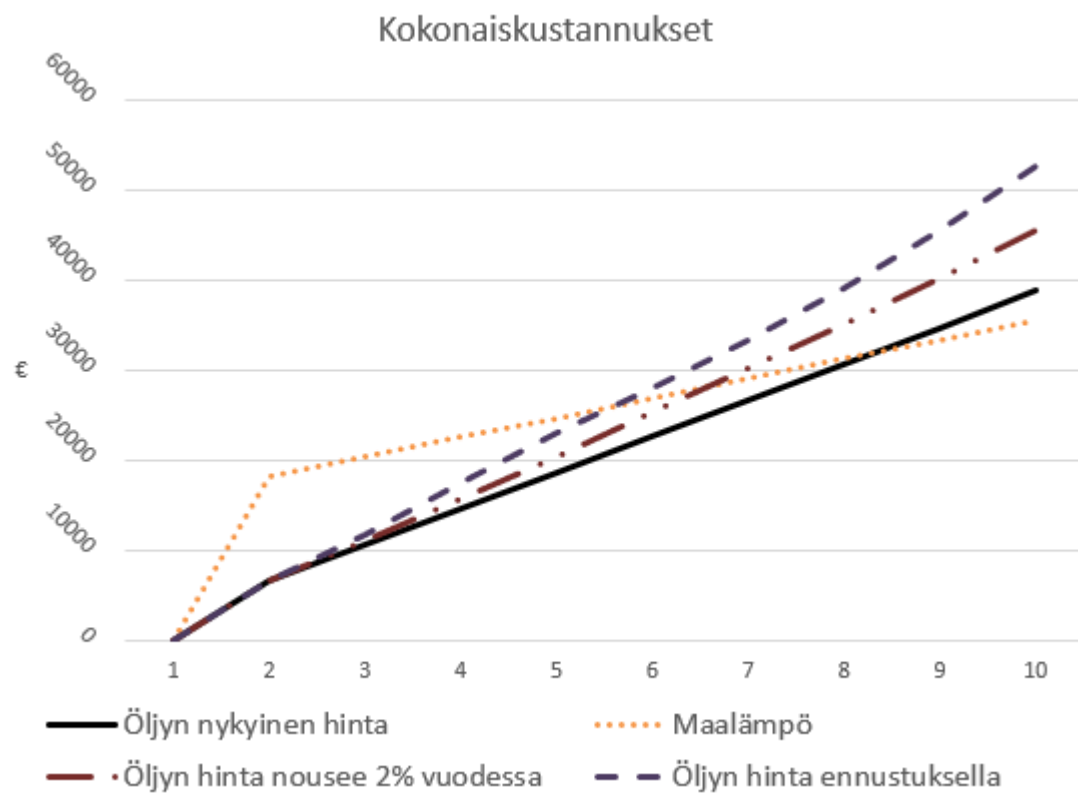
Kuvissa 18–20 näytetään takaisinmaksuajat graaffisesti 10 vuoden ajanjaksoina. Investointi on maksanut itsensä takaisin, kun öljyn hintakäyrä ylittää maalämmön käyrän.



Kuva 18. Kohde 1 takaisinmaksuaika

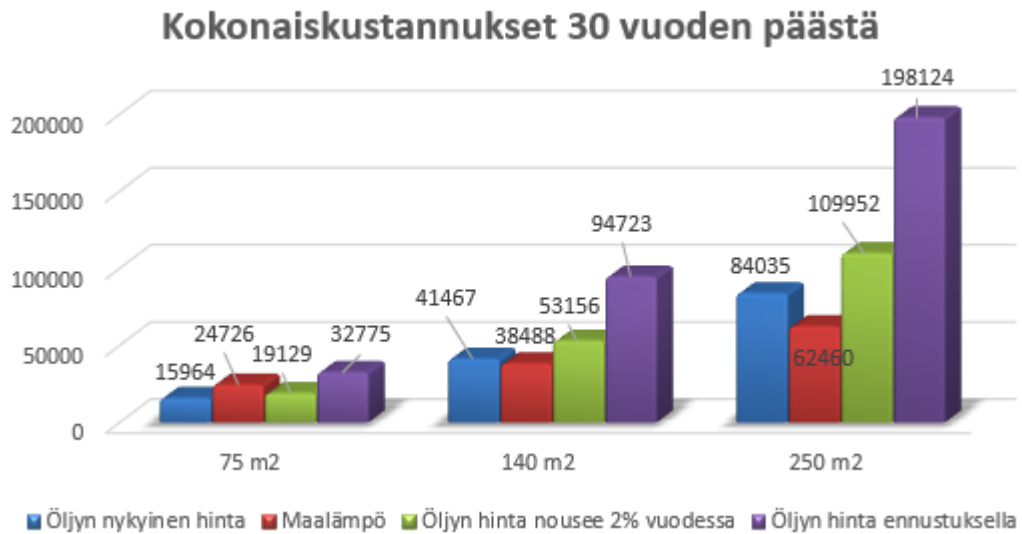


Kuva 19. Kohde 2 takaisinmaksuaika



Kuva 20. Kohde 3 takaisinmaksuaika

Kuvassa 21 esitetään kokonaiskustannukset 20 vuoden päästä kohteille.



Kuva 21. Kokonaiskustannukset 20 vuoden päästä

Kuvan 21 tilanteessa maalämpöjärjestelmiin on tehty kompressorin vaihto ja öljylämmitteeseen järjestelmään on vaihdettu poltin.

4.2 Savukaasujen määrä

Vuoden aikana talous pystyy vähentämään omia primäärejä hiilidioksidi päästöjään 72,5 g/MJ (Hippinen & Suomi 2012, s. 8), kun lämmitysjärjestelmä vaihdetaan maalämpöön. Taulukossa 4 on esitelty eri kohteiden kokonaispäästöjen määrä vuodelta.

Taulukko 4 Savukaasupäästöjen määrät kohteen mukaan

Kohde	Päästöjen määrä	Vastaa autojen määrää, jotka päästävät vuodessa keskimäärin yhtä paljon
kohde 1 (75m ²)	1 697 kg	0,7
kohde 2 (140m ²)	5 167 kg	2,1
Kohde 3 (250m ²)	10 962 kg	4,5

Vertailussa käytetty auton hiilidioksidipäästöt vuodessa olivat 2424 kg/a, kun tiedetään, että henkilöauto tuottaa keskimäärin hiilidioksidi päästöjä 162,2 g/km (Trafi 2017). Suomalaiset kulkevat keskimäärin 41 km vuorokaudessa (Liikenneturva 2018).

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Luvussa 4.1 saatujen tulosten perusteella voidaan sanoa, ettei maalämpö ole aina taloudellisesti kannattavaa. Suuressa pientalossa investointi maksaa itsensä takaisin 5–8 vuodessa. Kokonaisuuden kannalta suurimpia muuttujia olivat talon lämmöneristys ja lämmitettävät neliöt. Laskennassa ei kuitenkaan otettu huomioon mahdollisuutta polttaa polttopuita öljykattilassa. Tämä vähentää vuodessa käytettävää öljyn määrää, mutta kokonaiskustannukset ovat jopa korkeammat polttopuiden polton yhteydessä, mikäli lasketaan poltetun puun kuutiohintaa. Kuvasta 23 nähdään, kuinka paljon potentiaalista säästöä on mahdollista saada 20 vuoden lämmityskuluista. Normaalikokoisessa talossa saatu säästö on vain 3 000 €:n luokkaa, mikäli öljyn hinta pysyy vakiona. Kun huomioidaan investoinnin pitkä takaisinmaksuaika, on todennäköistä, ettei investointi herätä erityisen suurta kiinnostusta kuluttajissa. Toisaalta, mikäli maalämpöjärjestelmää markkinoidaan sillä oletuksella, että hinta nousisi maltilliset 2% vuodessa, on 20 vuoden päästä saatu säästö lähes 15 000 €.

Saatujen tulosten perusteella ei voida sanoa suoraan, milloin öljylämmityksen vaihto maalämpöön olisi taloudellisesti järkevää. Mikäli talouden lämmitettävä pinta-ala on yli 100 m² ja talous käyttää öljyä lämmitykseen, on järkevää kysyä tarjousta maalämpöpumppujärjestelmästä.

Talouksien hiilidioksidipäästöt olivat kaikissa tilanteissa pieniä. Lisäksi on huomioitava, että sähkön tuotannosta syntyy myös hiilidioksidipäästöjä. Suomen vuosittaiset päästöt eivät siis vähene laskettua arvoa. Kuluttaja pystyy kuitenkin omilla valinnoillaan vaikuttamaan taloutensa kokonaispäästöihin ja lämmitysmuodon vaihdoksella vähentämään talouden tuottamia päästöjä.

LÄHTEET

- Alakangas, E., Hurskainen, M., Laatikainen-Luntama, J. & Korhonen, J. (2016). Suomessa käytettyvien polttoaineiden ominaisuuksia, VTT, Jyväskylä.
- Banks, D. (2012). An introduction to thermogeology: ground source heating and cooling. 2nd ed, Wiley-Blackwell, 546 p.
- Bioenergianeuvoja (2019). Energian tehon tarve ja kulutus, Saatavissa (11.1.2019): <http://www.bioenergianeuvoja.fi/biolampolaitos/energian-kulutus-ja-tehon-tarve>
- BP (2018). Oil prices. Saatavissa (10.12.2018): <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/oil.html>
- Delbridge, B. G. & Ishii, m. (2018). Earth's core. AccessScience.
- Encyclopædia Britannica Inc (2006). Encyclopædia Britannica Online. Encyclopædia Britannica Inc.
- Energiatehokaskoti (2016). Lämmitysjärjestelmien elinkaari, Saatavissa (10.12.2018): https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/lammitysjarjestelmien_elinkaari
- Florides, G. & Kalogirou, S. (2007). Ground heat exchangers - a review of systems, models and applications. *Renewable energy*, 32(15), pp. 2461–2478.
- Liikenneturva (2018). Tilastokatsaus, Saatavissa (11.1.2019): https://www.liikenneturva.fi/sites/default/files/materiaalit/Tutkittua/Tilastot/tilastokatsaukset/tilastokatsaus_tyoliikenteen_onnettomuudet.pdf
- Longforecast (2019). longforecast. Saatavissa (7.1.2019): <https://longforecast.com/oil-price-today-forecast-2017-2018-2019-2020-2021-brent-wti>
- Hippinen, I. & Suomi, U. (2012). Yksittäinen kohde hiilidioksidipäästöjen laskentaohjeistus sekä käytettävät CO₂ -päästökertoimet, Motiva Oy, Saatavissa (16.1.2019): https://www.motiva.fi/files/6817/CO2-laskenta_yksittainen_kohde.pdf
- Mustafa Omer, A. (2008). Ground-source heat pumps systems and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 344-371.
- NIBE Energy Systems (2016). NIBE F1255-16, Saatavissa (10.1.2019): <https://www.nibe.fi/nibedocuments/16103/F1255-16.pdf>

NIBE (2012). Maalämpöpumppuopas. Saatavissa (16.1.2019): https://www.nibe.fi/Documents/haato_fi/NIBE%20MLP%20JA%20VPDIM%20OPAS%201137-1.PDF

NIBE (2017). NIBE F1255 käyttöohjekirja. Saatavissa (19.2.2019): <https://www.nibe.fi/nibedocuments/24356/231526-7.pdf>

Rakennustieto (2004). Lämmitysjärjestelmät, Saatavissa (11.1.2019): <https://www.rakennustieto.fi/material/attachments/5eKifMc2l/5fYqXZzqx/Files/CurrentFile/Lammitysjarjestelmat.pdf>

RefGroup, (2012). Energia säästö ja lämpökertoimet, Saatavissa (1.7.2019): <http://www.ilmalampopumput.fi/fi/mika-ihmeen-lampopumppu/energian-saasto>

rototec (2014). geodrill, Saatavissa (8.1.2019): <https://www.geodrill.fi/maalampo/lampo-kaivo/>

Reuters,T. (2018). Oil-price, Saatavissa (15.12.2018): https://docs.google.com/spreadsheets/d/1MnrDYPNhXOucVRe9tMF_x1WshYP46q1o5Oq2TnHnJiA/pub?single=true&gid=4&output=html

Sulpu (2012). Lämpöä omasta maasta, Saatavissa (7.1.2019): https://www.sulpu.fi/documents/184029/190695/Motiva%2C%20Lampoa_omasta_maasta-1.pdf

Suomenkeskuspankki (2019). Valuuttakurssit, kuukauden keskiarvo. Saatavissa (9.1.2019): https://www.suomenpankki.fi/fi/Tilastot/valuuttakurssit/taulukot/valuuttakurssit_taulukot_fi/valuuttakurssit_long_fi/

Suomirakentaa (2013). Öljylämmitys, Saatavissa (7.1.2019): <https://www.suomirakentaa.fi/omakotirakentaja/laemmitys/oeljylaemmitys>

Taloon.com (2019). öljykattila. Saatavissa (16.1.2019): <https://www.taloon.com/ds/haku?q=%C3%B6ljykattila>

Tilastokeskus (2018). tilastokeskus PX-Web-tietokannat. Saatavissa (10.1.2019): http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_hin_khi/statfin_khi_pxt_011.px/?rxid=4f006b16-1b3d-4081-81e3-470b1d219174

Trafi (2017). Henkilöautojen keskimääräiset hiilidioksidipäästöt maakunnittain, Saatavissa (11.1.2019): https://www.liikennefakta.fi/ymparisto/henkiloautot/hiilidioksidipaastot/henkiloautojen_keskimaaraiset_hiilidioksidipaastot_maakunnittain

Winterbone, D. & Turan, A. (2015). Advanced Thermodynamics for Engineers. 2nd ed, Heinemann Butterwort, 578 p.

Ölly- ja biopolttoaineala ry (2016). Öljylämmitysjärjestelmän toiminta, Saatavissa (7.1.2019): <http://www.oljylammitys.fi/nykyaikainen-oljylammitys/oljylammitysjarjestelman-toiminta>