

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Kandidaatintyö

**ILMALÄMPÖPUMPUN KANNATTAVUUS PIENTALON
ERI PÄÄLÄMMITYSJÄRJESTELMIEN TUKENA**

**Profitability of an air source heat pump combined in small
residential heating systems**

Työn tarkastaja: Tutkijaopettaja, TkT Mika Luoranen

Työn ohjaaja: Nuorempi tutkija, DI Mihail Vinokurov

Lappeenrannassa 26.10.2014

Aaro Koskinen

Sisällysluettelo

SYMBOLILUETTELO	2
1 JOHDANTO	3
1.1 Tavoitteet	6
1.2 Rajaukset	6
2 ILMALÄMPÖPUMPUN TOIMINTA	7
2.1 Lämpöpumppprosessi	7
2.2 Lämpöpumpun tehokerroin	8
2.2.1 Lämpötilaerot	9
2.2.2 Kiertoaine	9
2.2.3 Jäähdytys	10
2.3 Lämpöpumpun hiilijalanjälki	10
2.4 Asentaminen ja investointikustannukset	12
2.5 Vaikutus sisäilmaan	12
3 PIENTALON LÄMMITYSJÄRJESTELMÄT	13
3.1 Suora sähkölämmitys	14
3.2 Kaukolämpö	14
3.3 Öljylämmitys	16
3.4 Pellettilämmitys	17
4 LASKENTA JA TULOKSET	17
4.1 Esimerkkikohteen lämmitysenergiatarve	17
4.2 Lämmitysjärjestelmien hiilijalanjäljet	19
4.3 Lämmitysjärjestelmien kustannukset	19
4.4 Lämpöpumpun hiilijalanjälki ja kustannukset esimerkkikohteessa	22
4.5 Hiilijalanjälki- ja kustannusvertailu	22
5 JOHTOPÄÄTÖKSET	26
6 YHTEENVETO	28
LÄHTEET	30

SYMBOLILUETTELO

<i>A</i>	pinta-ala	[m ²]
<i>CO₂-ekv.</i>	hiilidioksidiekvivalentti	[g/kWh]
<i>h</i>	hinta	[snt/kWh]
<i>i</i>	korkojakson korkokanta	
<i>I</i>	investointi	[€]
<i>k</i>	kustannus	[€]
<i>m</i>	massa	[kg]
<i>n</i>	maksusuoritusten lukumäärä	
<i>P</i>	sähköteho	[W]
<i>q</i>	lämmitysenergian tarve	[kWh/m ²]
<i>Q</i>	lämpöenergia	[kWh]
<i>V</i>	kulutus pinta-ala kohden	[m ³ /m ²]
<i>Ø</i>	lämpöteho	[W]

Alaindeksit

<i>C</i>	Carnot
<i>CO₂</i>	hiilidioksidi
<i>e</i>	energia-
<i>i</i>	investointi-
<i>ilp</i>	ilmalämpöpumppu
<i>K</i>	kylmä
<i>kok</i>	kokonais-
<i>L</i>	lämmin
<i>lkv</i>	lämmin käyttövesi

1 JOHDANTO

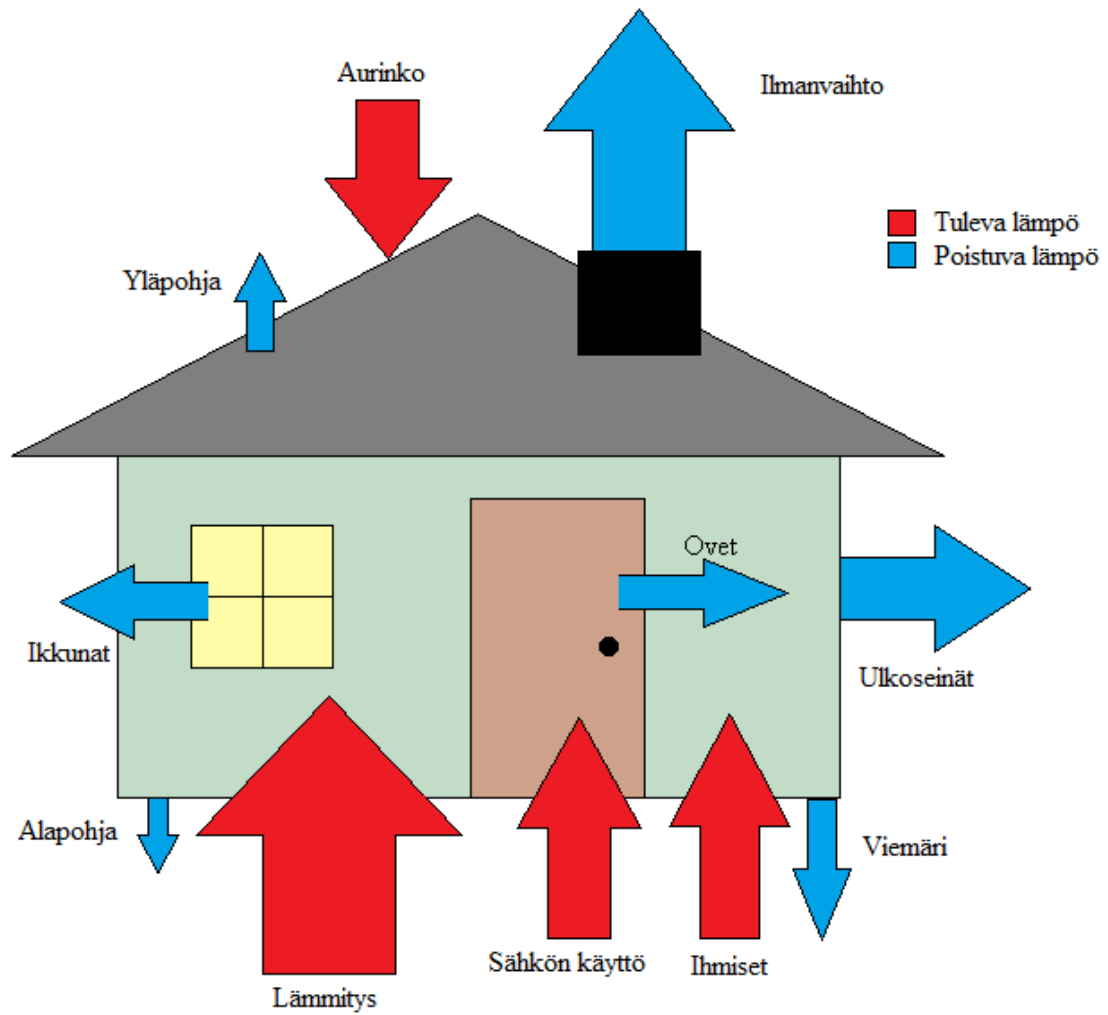
Lähiuosina energiatehokkuuden merkitys on kasvanut enemmän kuin koskaan, kun luonnonvarojen tuhlaileva käyttö on alkanut näkyä ilmaston lämpenemisen kiihtymisenä. Ilmaston nopea lämpeneminen synnyttää luonnonkatastrofeja, jotka ovat vaaraksi ihmiskunnalle. Energiantuotannossa käytetään huomattavan paljon luonnonvaroja ja tuotanto aiheuttaa merkittävän osan maailman kasvihuonekaasupäästöistä. On kehitetty kansainvälisiä ilmastopimuksia ja laadittu yhteisiä tavoitteita, jotta luonnonvarojen säilyminen myös tuleville sukupolville. Energiatehokkuuden parantaminen asuinrakennusten lämmityksessä voi mahdollisesti auttaa hidastamaan ilmaston lämpenemistä ja säilyttämään luonnonvarojen.

Suomessa asuinrakennusten lämmitysenergiasta suurin osa kulutetaan pientaloissa. Taulukossa 1 on esitetty asumisen energiankulutus Suomessa vuosina 2008 – 2012. Vuonna 2012 Suomen asuinrakennuksissa kulutettiin 58 600 GWh lämmitysenergiaa, josta pientalot käyttivät peräti 33 724 GWh. Pientalojen energiankulutuksen vähentämisellä ja hiilijalanjäljen pienentämisellä on iso rooli ilmastonmuutoksen hidastamisessa. Tätä voidaan edistää muun muassa paremmalla lämmöneristävyydellä, uusiutuvan energian ja biopolttoaineiden käytöllä sekä lämmitysmuotojen energiatehokkuuden parantamisella, esimerkiksi polttoaineiden puhtaammalla polttamisella. Asumisen energiatehokkuutta voidaan parantaa monissa pientaloissa myös korvaamalla osan lämmitystarpeesta ilmalämpöpumpun tuottamalla lämmöllä. (Tilastokeskus 2012.)

Taulukko 1: Asumisen energiankulutus suomessa vuosina 2008-2012, GWh (Tilastokeskus 2012a).

	2008	2009	2010	2011	2012
Asuinrakennusten lämmitys	50 984	54 435	60 963	52 989	58 600
Varsinaiset asuinrakennukset yhteensä	48 475	51 782	58 068	50 401	55 805
- Erilliset pientalot	28 319	30 576	34 893	30 205	33 724
- Rivi- ja ketjutalot	5 250	5 511	5 991	5 289	5 773
- Asuinkerrostalot	14 906	15 695	17 184	14 907	16 308
Vapaa-ajan asuinrakennukset	2 509	2 653	2 895	2 588	2 795
Kotitalouslaitteet ¹⁾	8 582	8 610	8 326	8 221	8 082
- Valaistus	3 037	2 866	2 654	2 590	2 538
- Ruoan valmistus	712	713	711	701	694
- Muut sähkölaitteet	4 833	5 031	4 961	4 930	4 850
Asuminen yhteensä	59 566	63 045	69 289	61 210	66 682
Asuinrakennusten lämmityksestä					
- Saunojen lämmitys	2 853	2 870	2 880	2 871	2 895
- Käyttöveden lämmitys	9 418	9 474	9 522	9 584	9 658

Kuvassa 1 on esitetty pientalon energiatase, johon on merkitty taloon tuleva lämpö sekä talosta lähtevä lämpö. Rakennuksesta poistuu energiaa lämpöhäviöiden takia. Lämpö poistuu talosta seinien, ovien ja ikkunoiden sekä ylä- ja alapohjan läpi ja viemäreiden sekä ilmanvaihdon kautta. Ilmanvaihdon osuus lämpöhäviöistä on yleensä suurin. Talosta poistuva lämpö pitää korvata jotenkin. Taloon tulee lämpöä auringosta, sähkölaitteista, ihmisistä sekä ennen kaikkea lämmitysjärjestelmästä. Lämmitysjärjestelmä muodostaakin suurimman osan, yli puolet, taloon tulevasta lämmöstä, etenkin talviaikana, kun auringosta saatava lämpö on vähäisempää. Tämän vuoksi talon tarvitseman lämmitysenergian olisi hyvä olla mahdollisimman vähäpäästöistä ja edullista. Ilmalämpöpumppu voi mahdollisesti pienentää lämmitysjärjestelmän osuutta energiataseessa tuomalla korvaavaa lämpöä ulkoilmasta. (Ympäristöosaava 2014.)



Kuva 1: Pientalon energiatase

Ilmalämpöpumput ovat yleistyneet pientaloissa lähivuosina niiden ympäristöstäällisyyden ja helppokäyttöisyyden vuoksi. Ne voivat päälämmitysjärjestelmän tukena auttaa pienentämään lämmöntuotannosta aiheutuvia negatiivisia ympäristövaikutuksia. Energiaa vähemmän kuluttavilla ilmalämpöpumpuilla korvataan osa päälämmitysjärjestelmällä tuotetusta lämmöstä, jolloin lämpö on tuotettu puhtaammin. Samalla myös lämmityskustannukset pienenevät useimmissa kohteissa.

1.1 Tavoitteet

Tämän työn tavoitteena on selvittää, miten ilmalämpöpumppu soveltuu eri lämmitysmuotojen tueksi Suomen olosuhteissa. Soveltuvuutta tarkastellaan hiilijalanjäljen ja lämmityskustannusten näkökulmista.

Hiilijalanjälki on eräänlainen elinkaariarvointimenetelmä. Hiilijalanjälkivertailussa otetaan selvää, pieneneekö pientalon lämmityksen hiilijalanjälki merkittävästi, kun ilmalämpöpumppu on yhdistetty pientalon primäärilämmitysjärjestelmään.

Kustannukset määräävät pitkälti, kannattaako lämpöpumppua asentaa kohteeseen. Investointikustannusten kasvaessa suuriksi lämpöpumpun kokonaistaloudellinen kannattavuus laskee. Kustannusvertailussa tarkastellaan pumpun investointikuluja sekä pumpun käytöstä aiheutuvia kuluja ja perehdytään primäärilämmitysjärjestelmien kustannuksiin niin lämpöpumpun kanssa kuin ilmankin. Kun otetaan vielä huomioon lämpöpumpun takaisinmaksuaika sekä hiilijalanjälki, voidaan helpommin selvittää, kannattaako lämpöpumppua asentaa kohteeseen.

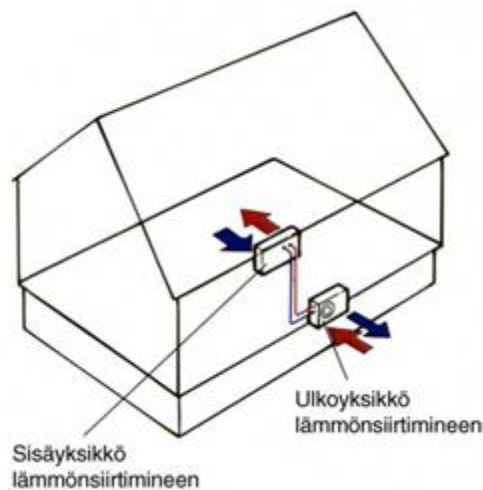
1.2 Rajaukset

Tässä ovat työssä esitetyt rajaukset ja yksinkertaistukset:

- Tarkastelu rajataan ilma-ilmalämpöpumpun toimintaan
- Hiilijalanjäljen laskennassa otetaan huomioon vain lämmityksestä aiheutuvat päästöt
- Pellettilämmitys on hiilineutraalia
- Polttoaineiden hintojen muutoksia ei huomioida laskennassa niiden vaikean ennustettavuuden takia
- Lämmitysenergiantarpeen laskennassa on otettu huomioon vain uudet, vuoden 2010 jälkeen rakennetut pientalot
- Investointilaskennassa lainan takaisinmaksu suoritetaan tasaerissä

2 ILMALÄMPÖPUMPUN TOIMINTA

Lämpöpumpputyyppejä on olemassa monia erilaisia, kuten esimerkiksi maalämpöpumppuja, ilma-vesilämpöpumppuja ja ilma-ilmalämpöpumppuja. Nämä poikkeavat toisistaan lämmönottotavalla ja lämmönsiirtokohteella. Maalämpöpumppu ottaa lämpönsä maasta tai vedestä ja siirtää sen useimmiten vesikiertoiseen lämmönjakojärjestelmään, kun taas ilma-vesilämpöpumppu ottaa lämmön veden lämmitykseen ilmasta puhaltimen avulla. Kuvassa 2 on esitetty ilma-ilmalämpöpumppu, joka ottaa ilma-vesilämpöpumpun tavoin lämmön ulkoilmasta, mutta siirtää sen huoneilmaan. (Motiva 2008, 3; Motiva 2014a.)

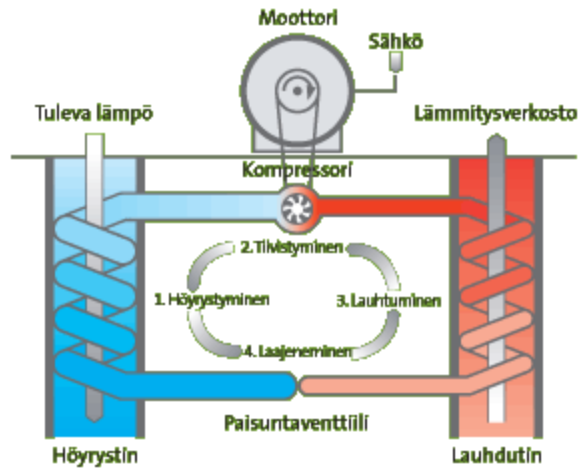


Kuva 2: Ilma-ilmalämpöpumpun sisä- ja ulkoyksiköt (Humiref 2014).

2.1 Lämpöpumppuprosessi

Ulkoilma ohjataan talon ulkoseinään asennettavan puhaltimen avulla höyrystimeen. Lämpö siirtyy ulkoilmasta lämmönsiirtimen kautta lämpöpumpun kiertoaineeseen ja samalla höyrystää tämän. Höyrystynyt kiertoaine imetään kompressorilla ja puristetaan korkeampaan paineeseen ja pienempään tilavuuteen. Tästä syystä kiertoaineen lämpötila nousee. Lämmin, höyrystynyt kiertoaine kulkeutuu kompressorista lauhduttimeen, jossa kiertoaine luovuttaa lämpöä pumpun sisäyksikölle ja lauhtuu nesteeksi. Lämpöpumpun sisäyksikkö imee huoneilmaa lauhduttimelle ja puhalttaa lämmenneen ilman takaisin

huoneeseen. Lauhtunut, jäähtynyt neste kulkeutuu paisuntaventtiiliin, jossa sen lämpötila ja paine laskevat. Tämän jälkeen prosessi alkaa alusta. Kuvassa 3 on esitetty lämpöpumpun toiminta. (Motiva 2008, 4.)



Kuva 3: Lämpöpumpun toiminta (Purmo 2012).

2.2 Lämpöpumpun tehokerroin

Lämpöpumpun tehokkuutta tarkastellaan useimmiten COP-arvon (Coefficient of Performance), eli tehokertoimen avulla. Tehokerroin määritellään yhtälön 1 mukaan pumpusta saatavan lämmön ja kompressorin tarvitseman sähkötehon suhteena.

$$COP = \frac{|\dot{Q}|}{P} \quad (1)$$

\dot{Q} = Saatu lämpö- tai jäähditysenergia [kW]

P = Kompressorin tarvitsema teho [kW]

Jos tehokertoimeksi lämmitysprosessille saadaan 2, tällöin lämpöpumppu lämmittää 1 kW:n sähköteholla 2 kW ilmaa. (Grundfos, 2014.)

2.2.1 Lämpötilaerot

Lämpöpumpun COP-arvoon vaikuttaa enimmäkseen lämpöpumpun kylmän ja lämpimän puolen välinen lämpötilaero sekä lämpöpumpun kiertoine. Lämpötilaeroja voidaan tarkastella ideaalisen Carnot-kiertoprosessin avulla. Ideaalinen Carnot-tehokerroin COP_C jäädytykselle saadaan yhtälöllä 2.

$$COP_C = \frac{T_K}{T_L - T_K} \quad (2)$$

T_K = kylmän puolen lämpötila [K]

T_L = lämpimän puolen lämpötila [K]

Carnot-tehokerroin lämmitykselle saadaan yhtälöllä 3.

$$COP_C = \frac{T_L}{T_L - T_K} \quad (3)$$

Edellä olevista yhtälöistä huomataan, että lämpötilaeron pienentyessä tehokerroin kasvaa. Vaikka kyseessä on ideaalinen prosessi, todellisessakin lämpöpumpussa pienempi lämpötilaero saa aikaan korkeamman tehokertoimen. Tästä voidaan päätellä, että mitä lähempänä ulkolämpötila on sisäilmaa, sitä tehokkaammin lämpöpumppu tuottaa lämpöä. Jos ulkolämpötila laskee liikaa, tehokerroin lähestyy lukua yksi. Tällöin ilmalämpöpumpun käyttö ei ole enää kannattavaa ja se kannattaa kytkeä pois päältä. Näin ollen Suomessa otollisinta aikaa käyttää ilmalämpöpumppuja ovat syksy, kevät sekä leudot talvipäivät. (Toublanc & Clausse 2008, 1193; Motiva 2009, 2.)

2.2.2 Kiertoine

Lämpöpumpun toiminta-arvot ovat tärkeitä kiertoineen valinnassa. Jotta tehokerroin olisi mahdollisimman suuri, valitaan lämpöpumpun toimintalämpötilojen mukaan sille sopiva kiertoine. Kiertoineet jaotellaan CFC-, HCFC- ja HFC-yhdisteisiin sekä niiden seoksiin ja luonnollisiin kiertoineisiin, kuten ammoniakki, vesi ja hiilidioksidi. CFC-yhdisteet ovat

nykyään kiellettyjä niiden otsonikerrosta ohentavan ja ilmastoa lämmittävän vaikutuksen vuoksi. HCFC -yhdisteissä on samoja otsonikerrosta vahingoittavia ainesosia kuin CFC-yhdisteissä, mutta hyvin paljon vähemmän. HCFC-yhdisteistäkin pyritään pääsemään eroon lähivuosikymmeninä. HFC-yhdisteet eivät sisällä otsonikerrosta ohentavia ainesosia, ja ne ovat näin ollen sopivampia yhdisteitä lämpöpumppuun, vaikkakin aiheuttavat hieman ilmaston lämpenemistä. Eri kiertoaineiden vaikutukset tehokertoimeen vaihtelevat lämpötilan muuttuessa. Esimerkiksi HFC-134a-kiertoaineella on käytännössä sama tehokerroin kuin CFC-12-kiertoaineella, kunnes lämpötila putoaa alle -1 celsiusasteen tai nousee reilusti, jolloin HFC-134a-kiertoaineen tehokerroin pienenee hieman verrattuna CFC-12-kiertoaineeseen. Jos kiertoaineena on hiilidioksidi, tehokerroin on normaalilla käytöllä huono verrattuna muihin kiertoaineisiin. Hiilidioksidi voi siis sopia kiertoaineeksi hyvin matalatehoisille lämpöpumppuprosesseille. (Heat pump centre 2014.)

2.2.3 Jäähdytys

Ilmalämpöpumppua voidaan helposti käyttää lämmityksen ohella myös sisäilman jäähdytykseen. Jäähdytys toimii samalla tavoin kuin lämmityskin, mutta käänteisesti. Huoneilmasta otettu lämpö puristetaan korkeaan paineeseen ja lämpötilaan, jonka jälkeen kiertoaine luovuttaa lämmön ulkoilmaan. Paisuntaventtiili laskee kiertoaineen paineen ja lämpötilan, jolloin kiertoaine pystyy taas ottamaan huoneilmasta lämpöä. Huoneilman jäähdyttäminen pientaloissa on kuitenkin vain asumismukavuutta lisäävä tekijä, joten se vähentää lämpöpumpusta saatuja hyötyjä energiansäästön kannalta. (Kärkkäinen 2014, 9.)

2.3 Lämpöpumpun hiilijalanjälki

Hiilijalanjälki on eräänlainen elinkaariarviointimenetelmä, jolla voidaan seurata ihmisen, organisaation tai palvelun aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä. Hiilijalanjälkeä mitataan hiilidioksidiekvivalenteissa (CO_2 -ekv.). Hiilidioksidiekvivalentti ottaa huomioon eri kasvihuonekaasujen ilmastonlämmityspotentiaalin (GWP) verrattuna hiilidioksidin ilmastonlämmityspotentiaaliin. Eri kasvihuonekaasujen GWP-kertoimet määritellään niiden ilmastoa lämmittävän vaikutuksen ja viipymän perusteella. Yleisimmin GWP-kertoimet määritellään 20, 100 ja 500 vuodelle. Hiilidioksidin GWP-kerroin on 1 ja riippumaton

viipymästä ilmakehässä, kun taas esimerkiksi metaanin kerroin 20 vuodelle on 72 ja sadalle vuodelle 25. Kokonaishiilidioksidiekvivalentin saa laskettua kertomalla päästömäärä sen GWP-kertoimella ja lisäämällä saadut ekvivalentit yhteen. Taulukossa 2 on esitetty eri kasvihuonekaasujen GWP-kertoimia. (Carbon trust 2014; IPCC 2006.)

Taulukko 2: Kasvihuonekaasujen elinikä ja ilmastolämmityspotentiaali (Ilmasto.org 2014).

Kaasu	Elinäika (v)	GWP 20 v	GWP 100v
Hiilidioksidi	50-200	1	1
Metaani	12	72	25
Dityppioksidi	114	310	298
HFC:t	1,4-270	437-12 000	124-14 800
PFC:t	2 600 – 50 000	5 210- 8 630	7 390-12 200
SF ₆	3200	16300	22800
CFC:t	45-1700	5 310-11 000	4 750-14 400
HCFC:t	1,3-17,9	273-5 490	77-2 310
Halonit	16-65	3 680-8 480	1 640-7 140

Tässä työssä lämpöpumpun hiilijalanjälki rajataan ainoastaan lämmitysenergian päästöihin. Ilmalämpöpumpun lämmitysenergian hiilijalanjälki riippuu pumpun käyttämän sähkön tuotantotavasta, mahdollisten polttolaitosten polttoaineista sekä voimalan tehokkuudesta. Tarkastellaan Lappeenrannan Energia Oy:ltä saatavaa sähköä. Lappeenrannan Energian myymä sähkö saadaan fossiilisista energialähteistä ja turpeesta, ydinvoimasta sekä uusiutuvista energialähteistä. Lappeenrannan Energian myymän sähkön hiilidioksidin ominaispäästöt olivat vuonna 2013 226 g/kWh. Kuvassa 4 on esitetty sähkön hankinnan energialähteiden jakauma vuodelta 2013. (Lappeenrannan Energia Oy 2014a.)



Kuva 4: sähkön hankinnan energialähteet v. 2013 (Lappeenrannan Energia Oy 2014a).

2.4 Asentaminen ja investointikustannukset

Ilmalämpöpumpua ei saa asentaa kuka tahansa, vaan asennusliikkeen tulee olla turvatekniikan keskuksen hyväksymä ja asennusliikkeen tulee suorittaa asennus alusta loppuun. Lämpöpumpun asennus kestää noin yhden työpäivän ja siihen sisältyy läpiviennit, sisä- ja ulkoyksiköiden asennus ja putkistojen kotelointi. Asennettuna ilmalämpöpumppu tulee maksamaan keskimäärin 1500 – 2500 €. (Refgroup 2014; Energiatehokas koti 2014.)

2.5 Vaikutus sisäilmaan

Ilmalämpöpumpun käyttö vaikuttaa myös sisäilmaan. Sisäilmatarkastelulla voidaan tutkia, miten lämpöpumppu vaikuttaa esimerkiksi huoneiden ilmavirtauksiin ja niiden sekoittumiseen. Pientalon energiatehokkuutta tulisi kuitenkin edistää niin, etteivät sisäilmaolosuhteet vaarantuisi. Tähän voidaan vaikuttaa paljon esimerkiksi huolellisella lämpöpumpun sisäyksikön sijoituspaikan valinnalla.

Ilmalämpöpumpun sisäyksikkö tulee sijoittaa siten, että pumpun tuottama ilmavirta ja lämpö jakautuvat mahdollisimman tasaisesti huonetilaan tai huoneistoon. Sijoituksessa pitää myös ottaa huomioon, ettei ilmavirta osu suoraan alueelle, jossa oleskellaan paljon, esimerkiksi olohuoneen sohvalle tai makuuhuoneeseen. Puhallusilma ei myöskään saisi törmätä mihinkään muutaman metrin matkalla sisäyksiköstä, jotta lämmin ilma ei nouse suoraan katon rajaan. (Motiva 2009, 3.)

Ilmalämpöpumpun sisäyksikkö kierrättää sisäilmaa pyöriessään. Tämä aiheuttaa ilmassa olevien hiukkasten kulkeutumisen sisäyksikön suodattimeen. Näin ollen ilmalämpöpumppu suodattaa osan sisäilman hiukkasista parantaen sisäilmanlaatua. Ilmalämpöpumppujen suodatintyypit vaihtelevat paperisuodattimista elektrostaattisiin suodattimiin. Ilmansuodatuksen tehokkuus riippuu pitkälti suodattimen tyypistä. (Hengitysliitto 2014.)

Jäähdytyskäytössä ilmalämpöpumpulla voidaan myös pienentää huoneilman kosteutta. Jäähdyttäessä lämpöpumpun sisäyksikön lämmönsiirtimen pinnalle kondensoituu lämpimästä huoneilmasta vettä. Kondenssivesi tulee ohjata sisäyksiköstä viemäriin tai vaihtoehtoisesti ulos. Kosteudenpoisto kesällä lisää oleskelumukavuutta lämpöpumpun vaikutusalueella. (Ilmalämpöpumppu.fi 2014.)

3 PIENTALON LÄMMITYSJÄRJESTELMÄT

Tässä kappaleessa kerron pientalon lämmitysjärjestelmien toiminnasta. Lämmitysjärjestelmät jakavat lämmön huoneistoon ja osa lämmitysjärjestelmistä myös tuottaa lämmön. Työssä käsiteltävät lämmitysjärjestelmät ovat suora sähkölämmitys, kaukolämpö, öljylämmitys ja pellettilämmitys.

3.1 Suora sähkölämmitys

Suoraa sähkölämmitystä ei toteuteta keskitetysti, eli lämpöä ei varata mihinkään eikä se tarvitse lämmönjakokeskusta. Sen sijaan sähkölämmitys toteutetaan hajautetusti. Lämmitys tapahtuu huonekohtaisesti sähköpatterien avulla, jotka lämmittävät tilaa kuumenevien sähkövastusten avulla. Sähköpatterit voidaan asentaa perinteiseen tapaan seinille tai esimerkiksi ilmanvaihtoon. Suora sähkölämmitys voidaan toteuttaa myös ikkunoiden avulla, joissa on pinnassa läpinäkyvä sähköä johtava lämpenevä kalvo. (Ympäristöosaava 2014; Sähköala 2014.)

Sähkölämmityksen hiilijalanjälki saadaan selville samalla tavalla kuin lämpöpumpun tapauksessa, eli ostosähkön hiilidioksidin ominaispäästöjen avulla. Vuonna 2013 Lappeenrannan Energian myymän sähkön keskimääräiset hiilidioksidin ominaispäästöt olivat 226 g/kWh. (Lappeenrannan Energia Oy 2014a.)

3.2 Kaukolämpö

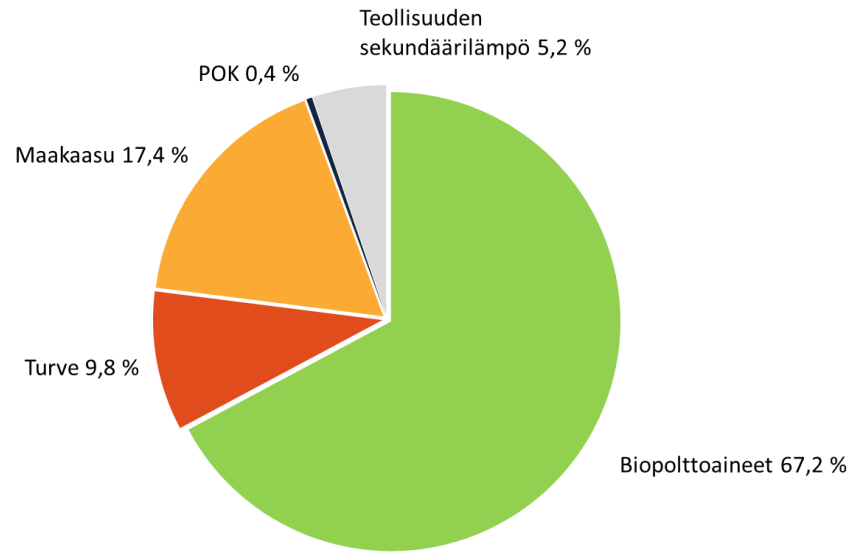
Polttoainekäyttöisissä voimaloissa voidaan tuottaa sähköntuotannon ohella myös prosessilämpöä. Tuotettu lämpö siirretään lämmönsiirrinten avulla kaukolämpöverkossa kulkevaan veteen. Kaukolämpöverkko rakentuu meno- ja paluuputkistoista, jotka kulkevat tuotantolaitoksilta asiakkaille. Lämpö siirretään asiakkaan vesikiertoiseen lämmönjakojärjestelmään lämmönsiirtimien avulla. Hyvin eristetyt putkistot asennetaan useimmiten 0,5 – 1 metrin syvyyteen teiden tai puistomaiden alle. Säästä riippuen menoputkessa kulkevan veden lämpötila vaihtelee välillä 65 – 115 °C ja poistoputkessa kulkevan veden välillä 40 – 60 °C. Kuvassa 5 on esitetty tyypillinen kaukolämpöverkoston runkolinja. (Energiateollisuus 2014a.)



Kuva 5: Kaukolämpöverkon runkolinja (Energiateollisuus 2014a).

Kaukolämmön hiilijalanjälki riippuu lämmön tuotantotavasta, käytetyistä polttoaineista ja lämpövoimalan tehokkuudesta. Tarkastellaan Lappeenrannan Energia Oyn tuottamaa kaukolämpöä, jota valmistetaan Kaukaan Voiman biovoimalaitoksessa. Vuonna 2013 tuotetun kaukolämmön hiilidioksidin ominaispäästöt olivat 83 g/kWh. Kuvasta 6 ilmenee Kaukaalla vuonna 2013 käytetyt kaukolämmön energialähteet. (Lappeenrannan Energia Oy 2014b.)

Kaukolämmön energialähteet vuonna 2013



Kuva 6: Kaukolämmön energialähteet v. 2013 (Lappeenrannan Energia Oy 2014b).

3.3 Öljylämmitys

Öljykattilan toiminta perustuu öljyn palamiseen. Öljy siirretään öljysäiliöstä polttimeen, jossa nestemäinen öljy reagoi ilman kanssa muodostaen sumumaisen seoksen. Tätä seosta poltetaan korkeassa lämpötilassa, jolloin se lämmittää lämmitysjärjestelmään kytketyn vesikiertoisen lämmönjakojärjestelmän lämmitysveden sekä patteriverkostosta erillään olevan lämpimän käyttöveden verkoston. Öljylämmitystä voi käyttää myös ilmanvaihtoilman lämmitykseen. Polttimessa syntyvät palokaasut ohjataan hormin kautta ulos. Öljylämmitystä ohjataan pitkälti automatiikan avulla, kuten lämpötila-antureilla tai kello-ohjauksella. (Öljyalan palvelukeskus Oy 2013; Neste Oil 2014a.)

Lämmitysöljynä pientalojen öljykattiloissa käytetään kevyttä polttoöljyä. Kevyt polttoöljy valmistetaan jalostamalla raakaöljyä. Jalostus aloitetaan poistamalla epäpuhtaudet raakaöljystä, jonka jälkeen öljy tislataan korkeissa kolonnissa. Raakaöljyä lämmitetään, jolloin öljyn kevyemmät jakeet höyrystyvät. Eri jakeet ohjataan ulos kolonnien eri osista, jolloin lopputuotteina saadaan muun muassa bensiiniä, kevyttä polttoöljyä ja raskasta polttoöljyä. Tilastokeskuksen polttoaineluokituksen mukaan kevyen polttoöljyn

hiilidioksidin ominaispäästöt vuodelle 2014 ovat 73,0 t/TJ eli noin 263 g/kWh. (Öljyalan keskusliitto 2013; Neste Oil 2014b; Tilastokeskus 2014a.)

3.4 Pellettilämmitys

Pellettilämmitys toimii hyvin samankaltaisesti öljylämmityksen kanssa, mutta polttoaineena käytetään öljyn sijaan puusta puristettuja kiinteitä pellettejä. Pelletit puristetaan kuorettomasta, puhtaasta lastusta tai useimmiten sahanpurusta. Pelletit siirretään erillisestä pellettisiilosta kuljettimella kattilaan, jonka poltin polttaa pelletit tuottaen lämpöä. Kattilasta lämpö siirtyy lämminvesivaraajaan, josta saadaan lämmintä vettä käyttövedeksi ja lämmönjakoon. (Motiva 2014b, 4.)

Pelletin etuna öljylämmitykseen verrattuna on polttoaineen uusiutuvuus. Ilmakehän hiilidioksidipitoisuus ei laskennallisesti kasva pelletin polton seurauksena, koska uudet puut toimivat jälleen hiilivarastoina. Näin ollen pellettilämmityksen käyttöä voidaan pitää hiilineutraalina. Pellettejä poltettaessa ei myöskään synny yhtä vaarallisia hiukkaspäästöjä kuin öljyä polttaessa. (Motiva 2014b, 15.)

4 LASKENTA JA TULOKSET

Tässä kappaleessa lasketaan lämmitysjärjestelmien hiilijalanjalkia ja kustannuksia sekä ilmalämpöpumpun kanssa että ilman lämpöpumpua. Laskennassa esimerkkikohteenä käytetään tavanomaista suomalaista pientaloa. Laskettuja arvoja vertaillaan ja tarkastellaan taulukkojen ja kuvaajien avulla. Lopuksi lasketaan vielä ilmalämpöpumpun takaisinmaksuajat eri lämmitysjärjestelmille.

4.1 Esimerkkikohteen lämmitysenergiantarve

Rakennuksen huoneiden lämmitysenergiantarve koostuu lämmitysenergian sekä lämpimän käyttöveden energiatarpeista. Passiivitalon vuotuinen lämmitysenergian kulutus Etelä-Suomessa on enintään 20 kWh/m². Tavanomaisen, Etelä-Suomessa sijaitsevan uuden

pientalon huonetilojen lämmitysenergian tarve on noin nelinkertainen passiivitaloon verrattuna, eli noin 80 kWh/m². (Motiva 2012, 7.)

Talon lämmitysjärjestelmä tulee mitoittaa tilojen lämmityksen ohella myös lämpimälle käyttövedelle. Suuntaa antava lämpimän käyttöveden energiantarve saadaan yhtälöllä 4.

$$q_{lkv} = 58 * V_{lkv} \quad (4)$$

58 = veden lämmittämiseen tarvittava energiamäärä kuutiota kohden, kun lämpötila muuttuu 50 °C [kWh/m³]

V_{lkv} = lämpimän käyttöveden kulutus rakennuksen pinta-alaa kohden [m³/m²]

Asuinrakennuksissa käytetään lämpimän käyttöveden kulutukselle oletusarvoa 0,6 m³/m², jolloin yhtälöllä 4 saadaan lämpimän käyttöveden energiantarpeeksi neliometriä kohden 34,8 kWh/m². Näin ollen kokonaislämmitysenergiatarpeeksi neliometriä kohden vuodessa saadaan 114,8 kWh/m². (Motiva 2014c.)

Lämmityksen käyttö- ja investointikustannusten esimerkkilaskennassa käytetään pientalon pinta-alaa 109,9 m², joka oli Tilastokeskuksen mukaan vuonna 2013 keskimääräinen pientalon pinta-ala koko Suomen asuntokanta huomioon ottaen. Talon kokonaislämmitysenergiatarve saadaan yhtälöllä 5. (Tilastokeskus 2014b.)

$$Q = \sum q * A \quad (5)$$

q = lämmitysenergiatarve pinta-alaa kohden [kWh/m²]

A = Lämmityspinta-ala [m²]

Yhtälöllä 5 saadaan esimerkkikohteen kokonaislämmitysenergiatarpeeksi noin 12 600 kWh.

4.2 Lämmitysjärjestelmien hiilijalanjäljet

Esimerkkikohteen eri lämmitysjärjestelmille lasketaan hiilijalanjäljet lämmitysmuodon hiilidioksidiekvivalentin ja lämmitysenergiantarpeen avulla. Pellettilämmityksen hiilijalanjälki oletetaan nolaksi sen uusiutuvuuden takia. Hiilijalanjälki lämmitykselle saadaan yhtälöllä 6.

$$m_{CO_2} = \sum(CO_2 - ekv. * Q) \quad (6)$$

$CO_2 - ekv.$ = lämmitysmuodon hiilidioksidiekvivalentti [g/kWh]

Q = lämmitysenergiantarve [kWh]

Yhtälöllä 6 lasketut vuotuiset hiilijalanjäljet eri lämmitysjärjestelmissä on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3: Lämmitysjärjestelmien vuotuiset hiilijalanjäljet

Lämmitysjärjestelmä	Hiilidioksidiekvivalentti [g/kWh]	Hiilijalanjälki [kgCO ₂ /a]
Suora sähkölämmitys	226	2850
Kaukolämpö	83	1050
Öljylämmitys	263	3310
Pellettilämmitys	0	0

4.3 Lämmitysjärjestelmien kustannukset

Tässä työssä lämmitysjärjestelmien kustannuslaskennassa otetaan huomioon alkuinvestoinnit sekä käytöstä aiheutuvat kulut. Näiden perusteella lasketaan vuotuiset käyttökustannukset. Polttoaineiden hintojen muutosta tulevaisuudessa on mahdotonta selvittää tarkasti. Vuosina 2000 – 2011 öljylämmityksen ja suoran sähkölämmityksen hinnat pientaloissa ovat kasvaneet huomattavasti nopeammin kuin kaukolämmön ja pelletin hinnat

(Vihola & Heljo 2012, 20). Tästä voidaan olettaa, että öljylämmityksen ja suoran sähkölämmityksen hinnat tulevat jatkossakin kasvamaan nopeammin. Laskentaa on kuitenkin yksinkertaistettu niin, että polttoaineiden hinnat pysyvät kiinteinä.

Investointiin sisältyy koko lämmitysjärjestelmän kustannukset sisältäen lämmöntuotto-, lämmönvarastointi- ja lämmönjakojärjestelmät sekä mahdolliset liittymismaksut. Investointikustannukset on esitetty taulukossa 4. (Motiva 2012, 13.)

Taulukko 4: Lämmitysjärjestelmien keskimääräiset investointikustannukset

Lämmitysjärjestelmä	Investointi [€]	Keskiarvo [€]
Suora sähkölämmitys	5 000 – 10 000	7 500
Kaukolämpö	10 000 – 15 000	12 500
Öljylämmitys	10 000 – 15 000	12 500
Pellettilämmitys	10 000 – 20 000	15 000

Lämmityksen vuotuiset energiakustannukset saadaan yhtälöllä 7.

$$k_e = h * Q \quad (7)$$

h = lämmityksen hinta energiayksikköä kohden [snt/kWh]

Sähkön hinnassa on otettu huomioon energiakustannusten ohella sähkön siirron hinta energiayksikköä kohden. Kaukolämmön energiakustannukset koostuvat energiamaksusta ja asiakkaan käyttämään lämmitystehtoon perustuvasta tehomaksusta energiayksikköä kohden. Öljylämmitysten käyttökustannukset saatiin kevyen polttoöljyn polttoainehinnan 110,6 snt/l ja lämpöarvon 10,02 kWh/l osamääränä. (Energiavirasto 2014; Energiateollisuus 2014b; Öljyalan keskusliitto 2014; Motiva 2010, 2; Tilastokeskus 2014c.)

Yhtälöllä 7 lasketut lämmitysjärjestelmien vuotuiset energiakustannukset on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5: Lämmitysjärjestelmien vuotuiset energiakustannukset

Lämmitysmuoto	Hinta [snt/kWh]	Hinnan ajankohta	Vuotuiset energiakustannukset [€/a]
Sähkö	12,34	1.9.2014	1550
Kaukolämpö	8,31	1.1.2014 alkaen	1050
Öljy	11,04	2013 keskiarvo	1390
Pelletti	6,05	5/2014	760

Oletetaan, että investointia varten otetaan lainaa ja se maksetaan takaisin vuotuisissa tasaerissä. Tätä kutsutaan annuiteettilainaksi. Annuiteetti on tasaisin väliajoin maksettava vakiosuoritus, eli kaikki maksusuoritukset jaetaan yhtä suuriksi. Yhtälöllä 8 voidaan määrittää tasaerän suuruus.

$$k_i = \frac{(1+i)^n * i}{(1+i)^n - 1} * I \quad (8)$$

i = korkojakson korkokanta

n = maksusuoritusten lukumäärä

I = investointi [€]

(Saaranen 2014, 223)

Vuotuiset kokonaiskustannukset lämmitysjärjestelmälle saadaan yhtälöllä 9.

$$k_{kok} = k_e + k_i \quad (9)$$

Otetaan korkokannaksi esimerkkikohteelle 5 %, kerran vuodessa maksettavia maksusuorituksia 20 ja investoinniksi lämmitysjärjestelmien investointien keskiarvo. Näillä arvoilla lasketut vuotuiset tasaerät ja kokonaiskustannukset lämmitysjärjestelmille on esitetty yhtälöiden 8 ja 9 avulla taulukossa 6.

Taulukko 6: Lämmitysjärjestelmien vuotuiset kokonaiskustannukset

Lämmitysjärjestelmä	Vuotuinen tasaerä [€/a]	Vuotuiset energiakustannukset [€/a]	Vuotuiset kokonaiskustannukset [€/a]
Suora sähkölämmitys	600	1550	2150
Kaukolämpö	1000	1050	2050
Öljylämmitys	1000	1390	2390
Pellettilämmitys	1200	760	1960

4.4 Lämpöpumpun hiilijalanjälki ja kustannukset esimerkkikohteessa

Ilmalämpöpumpuilla voidaan korvata huonetilojen lämmitysenergiasta keskimäärin 30 – 40 %. Esimerkkikohteen tapauksessa huonetilojen lämmitysenergiatarve vuodessa on yhtälön 5 mukaan 8792 kWh. Tällöin ilmalämpöpumpulla voidaan korvata tilojen lämmityksestä noin 2640 – 3520 kWh. Ilmalämpöpumpun tehokerroin on tyypillisesti noin 1,5 – 2,0, jolloin ilmalämpöpumpun tarvitsema sähköenergia esimerkkikohteessa on yhtälön 1 mukaan noin 1320 – 2350 kWh. Ottamalla keskiarvon saadaan ilmalämpöpumpun keskimääräiseksi sähköenergiatarpeeksi 1835 kWh vuodessa. (Motiva 2014d; Motiva 2013.)

Kun sähkön hiilidioksidiekvivalentti on 226 g/kWh, saadaan yhtälöllä 6 ilmalämpöpumpulle hiilijalanjäljeksi noin 410 kgCO₂ vuodessa. Ilmalämpöpumpun vuotuiset energiakustannukset, kun sähkön hinta on 12,34 snt/kWh, on yhtälön 7 mukaan noin 230 €.

4.5 Hiilijalanjälki- ja kustannusvertailu

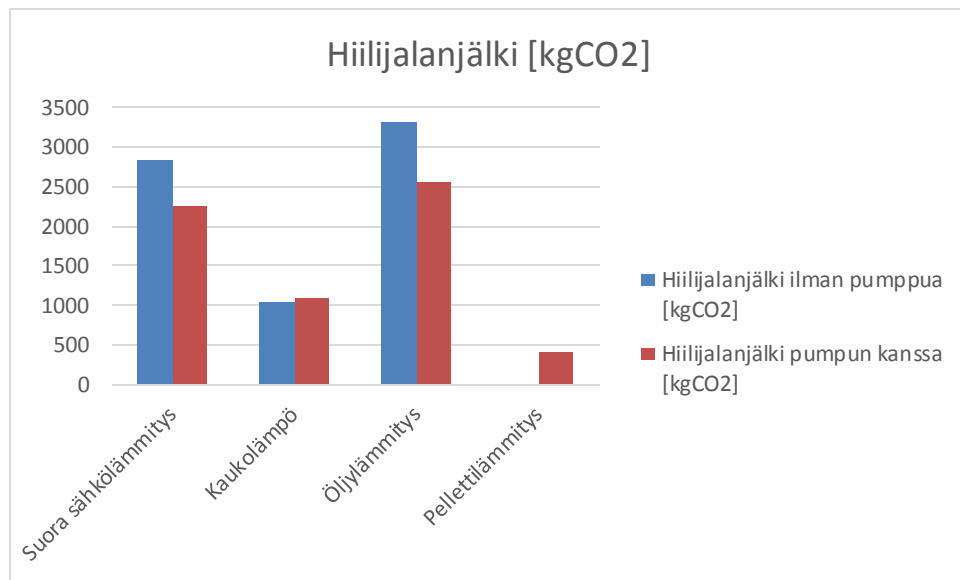
Ilmalämpöpumpun kanssa päälämmitysjärjestelmän lämmitysenergiatarve esimerkkikohteessa on noin 60 – 70 % verrattuna lämmitysjärjestelmään ilman ilmalämpöpumpua. Tällöin päälämmitysjärjestelmän lämmitysenergiatarve on 7560 – 8820 kWh, eli keskimäärin 8190 kWh.

Yhtälöllä 6 lasketut lämmitysjärjestelmien hiilijalanjäljet ilman ilmalämpöpumppua sekä ilmalämpöpumpun kanssa on esitetty Taulukossa 7.

Taulukko 7: Hiilijalanjätkivertailu

Lämmitysjärjestelmä	Hiilijalanjälki ilman lämpöpumppua [kgCO ₂ /a]	Hiilijalanjälki lämpöpumpun kanssa [kgCO ₂ /a]
Suora sähkölämmitys	2850	2270
Kaukolämpö	1050	1090
Öljylämmitys	3310	2570
Pellettilämmitys	0	410

Kuvassa 7 on esitetty graafisesti hiilijalanjälki eri lämmitysjärjestelmille ilman ilmalämpöpumppua ja ilmalämpöpumpun kanssa.



Kuva 7: Hiilijalanjätkivertailu

Kuvasta 7 huomataan, että esimerkkitapauksessa suoran sähkölämmityksen ja öljylämmityksen tapauksissa hiilijalanjälki laskee, kun ilmalämpöpumppu on kytkettynä järjestelmään. Pellettilämmityksen hiilijalanjäljen ollessa nolla, kasvattaa

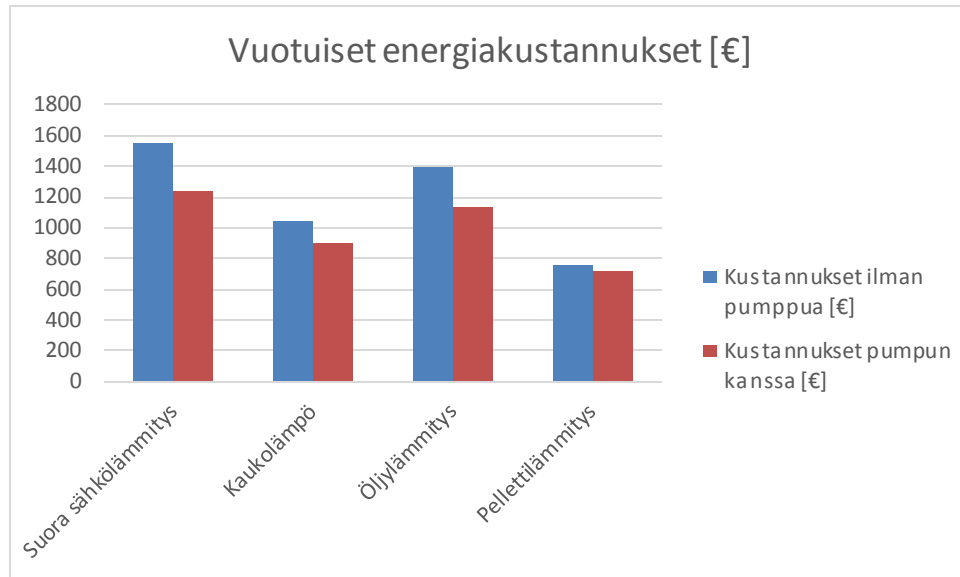
ilmalämpöpumppu luonnollisesti järjestelmän hiilijalanjälkeä. Toisaalta tämä pätee vain tehdyillä oletuksilla. Pellettilämmityksen hiilijalanjälkeen voi vaikuttaa muun muassa puupellettien tuotanto sekä puiden viljely ja raivaus. Sähkön tuotantotapa voi myös vaikuttaa ilmalämpöpumpun hiilijalanjälkeen. Esimerkiksi aurinkopaneeleilla tuotettu sähkö on hyvin vähäpäästöistä. Aurinkopaneelien tuottamat hiilidioksidipäästöt muodostuvatkin pitkälti paneelin valmistusprosessista. Kaukolämmön tapauksessa hiilijalanjälki nousee hyvin vähän.

Yhtälöllä 7 lasketut lämmitysjärjestelmien vuotuiset energiakustannukset ilman lämpöpumppua sekä lämpöpumpun kanssa on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8: Kustannusvertailu

Lämmitysjärjestelmä	Energiakustannukset ilman lämpöpumppua [€/a]	Energiakustannukset lämpöpumpun kanssa [€/a]
Suora sähkölämmitys	1550	1240
Kaukolämpö	1050	910
Öljylämmitys	1390	1130
Pellettilämmitys	760	720

Kuvassa 8 on esitetty graafisesti lämmitysjärjestelmien vuotuiset energiakustannukset ilman ilmalämpöpumppua ja ilmalämpöpumpun kanssa.



Kuva 8: Kustannusvertailu

Kuvasta 8 huomataan, että energiakustannukset laskevat jokaisessa järjestelmässä, kun ilmalämpöpumppu on kytkettynä. Suoran sähkölämmityksen ja öljylämmityksen tapauksissa säästöt ovat suurimmat, kun taas pellettilämmityksen valmiiksi alhaisiin hintoihin ei kohdistu suurta muutosta.

Lämpöpumpun takaisinmaksuajasta voidaan yleensä huomata, syntykö pumpun asennuksesta merkittävää taloudellista hyötyä. Lian pitkä takaisinmaksuaika tarkoittaa, että lämpöpumpun asennus ei ole taloudellisesti kannattavaa. Takaisinmaksuaika lasketaan yhtälön 10 mukaan lämpöpumpun hankintahinnan ja vuotuisten energiansäästöjen osamääränä. (Yritystulkki 2014, 10.)

$$Takaisinmaksuaika = \frac{Hankintahinta}{k_e - k_{e,ilp}} \quad (10)$$

k_e = energiakustannukset vuodessa ilman lämpöpumppua [€]

$k_{e,ilp}$ = energiakustannukset vuodessa lämpöpumppu asennettuna [€]

Taulukossa 9 on esitetty yhtälön 10 mukaan ilmalämpöpumppuhankinnan takaisinmaksuajat eri lämmitysjärjestelmille, kun ilmalämpöpumpun hankinta- ja asennushinta on 2 000 €.

Taulukko 9: Ilmalämpöpumpun takaisinmaksuajat

Lämmitysjärjestelmä	Ilmalämpöpumpun takaisinmaksuaika [a]
Suora sähkölämmitys	6
Kaukolämpö	14
Öljylämmitys	8
Pellettilämmitys	50

Kaukolämpöön ja etenkin pellettilämmitykseen kytkettynä ilmalämpöpumpun takaisinmaksuajat esimerkkikohteessa venyvät kohtuuttoman suuriksi. Esimerkkitapauksen perusteella ilmalämpöpumppu olisi kannattavinta kytkeä suoran sähkölämmityksen tai öljylämmityksen tueksi. Kaukolämpöön tai pellettilämmitykseen kytkettynä ilmalämpöpumpun hyödyt näyttävät jäävän vähäisiksi.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työssä käsiteltyjä lämmitysmuotoja oli suhteellisen vähän. Käsittelemättä jäivät esimerkiksi varaava sähkölämmitys, maalämmön variaatiot ja poistoilmalämpöpumppu. Maalämpöön ei yleensä kannata kytkeä ilmalämpöpumppua, sillä maalämpö on jo valmiiksi hyvin energiatehokasta ja käyttökustannuksiltaan hyvin halpaa. Poistoilmalämpöpumppujen tueksi ei myöskään useimmissa tapauksissa kannata asentaa ilmalämpöpumppua, sillä poistoilmalämpöpumppuja asennetaan enimmäkseen passiivitaloihin, joiden lämmitystarve on valmiiksi alhainen.

Laskennan tuloksista huolimatta lämpöpumpun kannattavuus kohteessa tulee selvittää tapauskohtaisesti. Ilmalämpöpumpun kannattavuuteen vaikuttaa kuitenkin muun muassa sähkön ja polttoaineiden hintojen muutokset, talon lämmitystarve ja lämmönjohtavuus sekä ilmalämpöpumpun suorituskyky eri lämpötiloissa. Nämä asiat tulee selvittää jokaisessa kohteessa erikseen. Ilmalämpöpumppu voi soveltua hyvin esimerkiksi kaukolämmön tueksi riippuen kaukolämmön tuotantotapojen vaihtelusta ja hintojen muutoksista. Tämän lisäksi pellettilämmityksen hiilijalanjälki voi jakaa mielipiteitä. Sen hiilijalanjälki ei välttämättä ole nolla, jos puu ei ehdi uusiutua tarpeeksi nopeasti pelletin tuottamisen seurauksena. Suoran

sähkölämmityksen tueksi ilmalämpöpumppu sopii kuitenkin lähes aina, sillä ilmalämpöpumppu käyttää yhtä lailla lämmittämiseen sähköä. Kun ulkolämpötila on sopiva, tuottaa lämpöpumppu korkeamman tehokertoimen ansiosta halpaa lämpöä pienemmän sähkönkulutuksen ansiosta. Kovilla pakkasilla ilmalämpöpumppu kannattaa kytkeä pois päältä, sillä huonon tehokertoimen ansiosta ilmalämpöpumpun energiankulutus kasvaa hyvin paljon.

Ilmalämpöpumpun takaisinmaksuajoissa voi olla suuriakin heittoja verrattuna laskennasta saatuihin arvoihin. Tähän vaikuttavat esimerkiksi ilmalämpöpumppujen hinnat ja niiden jatkuvat muutokset, energiakustannusten muuttuminen sekä ilmalämpöpumpun tehokertoimen muutokset. Pellettilämmityksen osalta voi kuitenkin melko suurella varmuudella sanoa, että takaisinmaksuaika venyy kohtuuttoman suureksi, ylittäen ilmalämpöpumpun käyttöiän.

Jos ilmalämpöpumppu hankitaan jäähdytyskäyttöä varten, sopii se mihin kohteeseen tahansa lämmitysjärjestelmästä riippumatta. Tämä kuitenkin tulee kasvattamaan hieman kustannuksia ja hiilijalanjälkeä. Korkealla käyttöasteella jäähdytystoiminto voi pienentää ilmalämpöpumpun mukanaan tuomia hyötyjä. Jäähdytyksellä on yleensä parempi tehokerroin pienien lämpötilaerojen vuoksi, jolloin energiankulutus jäähdyttäessä voi maltillisella käytöllä jäädä melko alhaiseksi.

Ilmalämpöpumpuilla voidaan saavuttaa kansallisesti ja kansainvälisestikin suuria energiansäästöjä ja vähentää hiilidioksidipäästöjä, jos niitä käytetään sopivissa kohteissa ja vain tarpeen mukaan. Asumisessa käytettiin vuonna 2012 kevyttä polttoöljyä lämmitykseen noin 5000 GWh verran (Tilastokeskus 2012b). Jos kaikkien öljylämmitteisten asuntojen lämmitysjärjestelmien tueksi asennettaisiin ilmalämpöpumput, hiilidioksidipäästöt voisivat laskea aikaisemmalla esimerkkilaskennalla parhaimmillaan jopa 300 000 tonnia vuodessa. Ilmalämpöpumppujen laaja levinneisyys vähentää lämmön- ja polttoaineiden tuotantoa ja näin ollen tuotannosta ja polttoaineista syntyviä päästöjä.

6 YHTEENVETO

Tässä työssä tarkasteltiin, miten ilmalämpöpumppu soveltuu eri lämmitysmuotojen tueksi Suomen olosuhteissa. Soveltuvuutta tarkasteltiin hiilijalanjäljen ja lämmityskustannusten näkökulmista.

Ilmalämpöpumput ovat yleistyneet pientaloissa lähivuosina niiden ympäristöystävällisyyden ja helppokäyttöisyyden vuoksi. Ne voivat päälämmitysjärjestelmän tukena auttaa pienentämään lämmöntuotannosta aiheutuvia ympäristövaikutuksia. Energiaa vähemmän kuluttavilla ilmalämpöpumpuilla korvataan osa päälämmitysjärjestelmällä tuotetusta lämmöstä, jolloin lämpö on tuotettu puhtaammin.

Lämpöpumpun tehokkuutta tarkastellaan useimmiten COP-arvon (Coefficient of Performance), eli tehokertoimen avulla. Mitä korkeampi tehokerroin on, sitä enemmän se tuottaa lämpöä käytetystä sähköstä. Tehokertoimeen vaikuttavat enimmäkseen kylmän ja lämpimän puolen lämpötilaero sekä kiertoaine.

Ilmalämpöpumpun käytöllä on vaikutusta sisäilmaan. Sisäilmatarkastelulla voidaan tutkia, miten lämpöpumppu vaikuttaa esimerkiksi huoneiden ilmapirtauksiin ja niiden sekoittumiseen. Pientalon energiatehokkuutta tulisi kuitenkin edistää niin, etteivät sisäilmaolosuhteet vaarantuisi. Tähän voidaan vaikuttaa paljon esimerkiksi huolellisella lämpöpumpun sisäyksikön sijoituspaikan valinnalla.

Pientalon lämmitysjärjestelmät jakavat lämmön huoneistoon ja osa lämmitysjärjestelmistä myös tuottaa lämmön. Työssä tarkasteltavat lämmitysjärjestelmät olivat suora sähkölämmitys, kaukolämpö, öljylämmitys ja pellettilämmitys.

Laskentaosiossa laskettiin lämmitysjärjestelmien hiilijalanjälkiä ja kustannuksia sekä ilmalämpöpumpun kanssa että ilman lämpöpumppua. Laskettuja arvoja vertailtiin ja tarkasteltiin taulukkojen ja kuvaajien avulla. Lopuksi laskettiin vielä ilmalämpöpumpun takaisinmaksuajat eri lämmitysjärjestelmille.

Ilmalämpöpumpun kannattavuuteen vaikuttaa monta asiaa, joita tulee tarkastella tapauskohtaisesti. Ilmalämpöpumpuilla voidaan kuitenkin saavuttaa kansallisesti ja kansainvälisestikin suuria energiansäästöjä ja vähentää hiilidioksidipäästöjä, jos niitä käytetään sopivissa kohteissa tarpeen mukaan.

LÄHTEET

C. Toublanc, M. Clause 2008. Analysis of a novel refrigeration Carnot-type cycle based on isothermal vapour compression [verkkajulkaisu]. [Viitattu 18.8.2014]. Saatavissa: [http://ac.els-cdn.com/S0140700708000546/1-s2.0-S0140700708000546-main.pdf?_tid=bb2d8252-1a15-11e4-9003-](http://ac.els-cdn.com/S0140700708000546/1-s2.0-S0140700708000546-main.pdf?_tid=bb2d8252-1a15-11e4-9003-00000aacb360&acdnat=1406964316_7fd5c9eb4e44ce1c305cc23813b5c376)

00000aacb360&acdnat=1406964316_7fd5c9eb4e44ce1c305cc23813b5c376 [vaatii kirjautumisen]

Carbon trust 2014. Carbon footprinting guide [verkkajulkaisu]. [Viitattu 18.8.2014]. Saatavissa: <http://www.carbontrust.com/resources/guides/carbon-footprinting-and-reporting/carbon-footprinting>

Energiatehokas koti 2014. Ilmalämpöpumppu tukilämmityslähteenä [verkkajulkaisu]. Päivitetty 19.8.2014 [viitattu 20.8.2014]. Saatavissa: http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/ilmalamp-o-_ja_maalampopumput/ilmalampopumppu_tukilammityslahteena

Energiateollisuus 2014a. Kaukolämpöverkko [verkkajulkaisu]. [Viitattu 18.8.2014]. Saatavissa: <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/kaukolampo-ja-kaukojaahdytys/kaukolampoverkko>

Energiateollisuus 2014b. Kaukolämmön hinta 1.1.2014 alkaen [verkkajulkaisu]. Päivitetty 15.4.2014 [viitattu 1.9.2014]. Saatavissa: http://energia.fi/sites/default/files/hinta_010114_korjattu150414.pdf

Energiavirasto 2014. Hintatilastot [verkkajulkaisu]. [Viitattu 1.9.2014]. Saatavissa: <http://www.sahkonhinta.fi/summariesandgraphs>

Grundfos 2014. COP (Coefficient of performance) [verkkajulkaisu]. [Viitattu 18.8.2014]. Saatavissa: <http://us.grundfos.com/service-support/encyclopedia-search/cop-coefficient-ofperformance.html>

Heat pump centre 2014. Heat pump working fluids [verkkojulkaisu]. [Viitattu 18.8.2014].
Saataavissa:

<http://www.heatpumpcentre.org/en/aboutheatpumps/heatpumpworkingfluids/Sidor/default.aspx>

Hengitysliitto 2014. Ilmalämpöpumput ja niiden vaikutus sisäilmaan [verkkojulkaisu].
[Viitattu 21.8.2014]. Saataavissa:

<http://www.hengitysliitto.fi/fi/hengitysilma/sisailma/ilmalampopumput-ja-niden-vaikutus-sisailmaan>

Humiref 2014. Ilmalämpöpumput [verkkojulkaisu]. [Viitattu 18.8.2014]. Saataavissa:
<http://www.humiref.fi/ilmalampopumput.php>

Ilmalämpöpumppu.fi 2014. Ilmalämpöpumpun asennus [verkkojulkaisu]. [Viitattu 4.9.2014]. Saataavissa: <http://www.ilmalampopumppu.fi/asennus.htm>

Ilmasto.org 2014. Kasvihuonekaasut [verkkojulkaisu]. [Viitattu 3.9.2014]. Saataavissa:
<http://ilmasto.org/ilmastonmuutos/kasvihuoneilmio-ja-ilmastonmuutos/kasvihuonekaasut>

IPCC 2006. IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 [verkkojulkaisu].
[Viitattu 18.8.2014]. Saataavissa:
http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html

Kärkkäinen Seppo 2014. Heat pumps for cooling and heating, Subtask 5, Report n:o 3
[verkkojulkaisu]. [Viitattu 18.8.2014]. Saataavissa:
http://www.ieadsm.org/Files/Exco%20File%20Library/Key%20Publications/HeatPumpReport_final.pdf

Lappeenrannan Energia Oy 2014a. Sähkön alkuperä ja hankinta 2013 [verkkojulkaisu].
[Viitattu 18.8.2014]. Saataavissa:
<http://www.lappeenrannanenergia.fi/ymparisto/energianalkupera/sahkonalkupera/Sivut/Etusivu.aspx>

Lappeenrannan energia Oy 2014b. Kaukolämpöä biovoimalla [verkkajulkaisu]. [Viitattu 18.8.2014]. Saatavissa:

<http://www.lappeenrannanenergia.fi/ymparisto/energianalkupera/kaukolammonalkupera/Sivut/Etusivu.aspx>

Motiva 2008. Lämpöä ilmassa [verkkajulkaisu]. [Viitattu 18.8.2014]. Saatavissa: <http://www.motiva.fi/files/175/Ilmalampopumput.pdf>

Motiva 2009. Ilmalämpöpumpun energiataloudellinen käyttö [verkkajulkaisu]. [Viitattu 18.8.2014]. Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/3472/Ilmalampopumpun_energiataloudellinen_kaytto.pdf

Motiva 2010. Polttoaineiden lämpöarvot, hyötysuhteet ja hiilidioksidin ominaispäästökertoimet sekä energian hinnat [verkkajulkaisu]. [Viitattu 1.9.2014]. Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/3193/Polttoaineiden_lampoarvot_hyotysuhteet_ja_hiilidioksidin_ominaispaastokertoimet_seka_energianhinnat_19042010.pdf

Motiva 2012. Pientalojen lämmitysjärjestelmät [verkkajulkaisu]. [Viitattu 1.9.2014]. Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/7201/Pientalon_lammitysjarjestelmat_2012.pdf

Motiva 2013. Ilmalämpöpumppu tukilämmityslähteenä [verkkajulkaisu]. Päivitetty 23.4.2013 [viitattu 3.9.2014]. Saatavissa: http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/eri_lammitysmuodot/ilmalampopumppu_tukilammityslahtena

Motiva 2014a. Lämpöpumpputeknologiat [verkkajulkaisu]. Päivitetty 24.7.2014 [viitattu 18.8.2014]. Saatavissa: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat

Motiva 2014b. Lämpöä puusta puhtaasti ja uusiutuvasti [verkkajulkaisu]. [Viitattu 18.8.2014]. Saatavissa:

http://www.motiva.fi/files/1375/Lamboa_puusta_puhtaasti_ja_uusiutuvasti_-_pellettilammitys.pdf

Motiva 2014c. Laskukaavat: Lämmin käyttövesi [verkkajulkaisu]. Päivitetty 20.3.2014 [viitattu 1.9.2014]. Saatavissa:

http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/energian kayton_tehostaminen/kiinteistojen_energia_nhallinta/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi

Motiva 2014d. Tukilämmitysjärjestelmät [verkkajulkaisu]. Päivitetty 8.8.2014 [viitattu 3.9.2014]. Saatavissa:

http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/tukilammitysjarjestelmat

Neste Oil 2014a. Kattila ja poltin [verkkajulkaisu]. [Viitattu 18.8.2014]. Saatavissa:

<http://www.neste.fi/artikkeli.aspx?path=2589%2C2655%2C2710%2C2791%2C2797%2C3185%2C3189>

Neste Oil 2014b. Öljynjalostusprosessi [verkkajulkaisu]. [Viitattu 23.8.2014]. Saatavissa:

<http://www.nesteoil.fi/default.asp?path=35,52,62,6691,1402>

Purmo 2012. Matalalämpövesikiertoisten lämmitysjärjestelmien yleistymisen

[verkkajulkaisu]. [Viitattu 18.8.2014]. Saatavissa: <http://www.purmo.com/fi/clever/opas-matalalampovesikiertoisten-lammitysjarjestelmien-yleistyminen.htm>

Refgroup 2014. Ilmalämpöpumpun asennus [verkkodokumentti]. [Viitattu 18.8.2014].

Saatavissa: <http://www.ilmalampopumpu.fi/fi/mika-ihmeen-lampopumppu/ilmalampopumpun-asennus>

Saaranen, Pirjo et al. 2014. Liike-elämän matematiikka. 10. Painos. ISBN 978-951-37-6560-

Sähköala 2014. Lämmitysikkunat [verkkojulkaisu]. [Viitattu 18.8.2014]. Saatavissa: http://www.sahkoala.fi/koti/sahkolammitys/fi_FI/lammitysikkunat/

Tilastokeskus 2012a. Liitetaulukko 1. Asumisen energiankulutus vuosina 2008–2012, GWh [verkkojulkaisu]. Päivitetty 13.11.2013 [viitattu 18.8.2014]. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/asen/2012/asen_2012_2013-11-13_tau_001_fi.html

Tilastokeskus 2012b. Liitetaulukko 2. Asumisen energiankulutus energialähteittäin vuonna 2012, GWh [verkkojulkaisu]. Päivitetty 13.11.2013 [viitattu 13.10.2014]. Saatavissa: http://tilastokeskus.fi/til/asen/2012/asen_2012_2013-11-13_tau_002_fi.html

Tilastokeskus 2014a. Polttoaineluokitus 2014 [verkkojulkaisu]. Päivitetty 5.2.2014 [viitattu 23.8.2014]. Saatavissa: http://tilastokeskus.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html

Tilastokeskus 2014b. Liitetaulukko 3. Pinta-ala huoneistoa kohti (m²) asunnon talotyypin mukaan 1970-2013, koko asuntokanta [verkkojulkaisu]. Päivitetty 21.5.2014 [viitattu 24.8.2014]. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/asas/2013/asas_2013_2014-05-21_tau_003_fi.html

Tilastokeskus 2014c. Liitetaulukko 25. Puupelletin kuluttajahinta [verkkojulkaisu]. Päivitetty 25.8.2014 [viitattu 2.9.2014]. Saatavissa: http://stat.fi/til/thi/2014/07/thi_2014_07_2014-08-25_tau_025_fi.html

Vihola Jaakko & Heljo juhani 2012. Lämmitystapojen kehitys 2000-2012. Aineistoselvitys [verkkojulkaisu]. [Viitattu 13.10.2014]. Saatavissa: http://www.tut.fi/ee/Materiaali/Lammitystapojen_kehitys_2000_2012.pdf

Ympäristöosaava 2014. Lämmitysjärjestelmät ja energiansäästö [verkkojulkaisu]. [Viitattu 18.8.2014]. Saatavissa: <http://www.ymparistoosaava.fi/kiinteistonhoitoala/index.php?k=22462>

Yritystulkki 2014. YT22 Investoinnin laskentaopas [verkkajulkaisu]. [Viitattu 3.9.2014].
Saatavissa: http://www.yritystulkki.fi/files/yt22_investoinnin_laskenta_pre.pdf

Öljyalan keskusliitto 2013. Lämmitysöljy – kevyt polttoöljy [verkkajulkaisu]. [Viitattu 23.8.2014]. Saatavissa: <http://www.oil.fi/fi/lammitys/lammitysoljy-kevyt-polttooljy>

Öljyalan keskusliitto 2014. Öljytuotteiden kuluttajahintaseuranta [verkkajulkaisu]. [Viitattu 1.9.2014]. Saatavissa: <http://www.oil.fi/fi/tilastot-1-hinnat-ja-verot/11-oljytuotteiden-kuluttajahintaseuranta>

Öljyalan Palvelukeskus Oy 2013. Öljylämmitysjärjestelmän toiminta [verkkajulkaisu]. [Viitattu 18.8.2014]. Saatavissa: <http://www.oljylammitys.fi/nykyaikainen-oljylammitys/oljylammitysjarjestelma-toiminta>