

**Aurinko- ja maalämpöjärjestelmien käyttömahdollisuudet
suomalaisissa pientaloissa**

Ulpu Leijala

Pro gradu -tutkielma
Jyväskylän yliopisto
Fysiikan laitos
19.5.2010
Ohjaaja: Jussi Maunuksela

Alkusanat

Tämä tutkielma on suunnattu pientalojen, erityisesti omakotitalojen lämmityksestä aurinko- ja maalämpöä Suomen ilmasto-olosuhteissa hyödyntäen kiinnostuneille. Tämän ohella työ on suunnattu henkilöille, jotka ovat kiinnostuneet yleensä ottaen uusiutuvasta energiasta ja sen käytön taustalla olevista globaaleista syistä. Tutkielma on pyritty kirjoittamaan siten, että sitä pystyisi seuraamaan myös henkilö, joka ei ole taustaltaan fyysikko.

Henkilökohtainen kiinnostukseni aiheeseen heräsi uusiutuvan energian ajankohtaisuuden ja siihen liittyvien tulevaisuuden mahdollisuuksien ja haasteiden kautta. Motivaatiooni tarkastella erityisesti pientalojen lämmitystä maa- ja aurinkolämmön avulla vaikutti vanhempieni tekemä ratkaisu siirtyä hyödyntämään omakotitalonsa lämmityksessä yhdistetysti maa- ja aurinkolämmöllä sekä tuulivoimalla toimivaa järjestelmää talossa ennen toimineen öljylämmitysjärjestelmän sijaan.

Haluan kiittää FT Jussi Maunukselaa motivoivasta ja asiantuntevasta ohjauksesta koko työprosessin ajan sekä työn tarkastamisesta. Kiitos myös professori Jouko Korppi-Tommolalle työn tarkastamisesta. Lisäksi haluan kiittää perhettäni kannustuksesta ja myötäelämisestä; erityiskiitos vanhemmilleni, jotka olivat hengessä mukana talonsa lämmitysjärjestelmän tutkimisessa.

Jyväskylässä 19.5.2010

Ulpu Leijala

Tiivistelmä

Tutkielmassa selvitettiin, millä eri tavoin aurinko- ja maalämpöjärjestelmiä voidaan hyödyntää suomalaisten pientalojen lämmityksessä ja minkälaisia etuja kyseisillä järjestelmillä on perinteisiin lämmitysjärjestelmiin nähden. Tutkielman mukaan maalämpö soveltuu suomalaisessa pientalossa päälämmönlähteeksi ja aurinkolämpöä voidaan hyödyntää lisälämmönlähteenä siitä saatavan hyödyn keskittyessä kesäajalle. Työn tutkimuskohteena tarkasteltiin keskisuomalaista omakotitaloa, jonka avulla tutkittiin, minkälaisia muutoksia voidaan saavuttaa omakotitalossa siirtymällä öljylämmitysjärjestelmästä yhdistettyyn lämmitysjärjestelmään, jonka päälämmönlähteenä hyödynnetään kallioperään porattujen lämpökaivojen lämpöön perustuvaa maalämpöä ja lisälämmönlähteenä aurinkolämpöä sekä tuulivoimaa. Tutkimuksen mukaan kyseinen muutos pienensi tarkasteltavassa omakotitalossa 74 % lämpöenergian tuottamiseen tarvittavaa vuotuista energian määrää sekä 85 % sen aiheuttamia vuotuisia CO₂-päästöjä. Tutkimus osoitti lisäksi, että talon uuden järjestelmän maa- ja aurinkolämpöjärjestelmien tuottamasta vuotuisesta lämpötehosta uusiutuvan energian osuus on noin 88 %, ydinenergian osuus on noin 8 % ja fossiilisten polttoaineiden ja turpeen osuus on noin 4 %, kun vanhassa järjestelmässä talon tarvitsema lämpöteho tuotettiin täysin fossiilisen polttoaineen avulla. Uuden järjestelmän takaisinmaksuajaksi laskettiin 14,8 vuotta ilman lainanottoa ja 18,4 vuotta lainanottoesimerkin kanssa.

Tutkimuskohteen tapauksessa eri lämmitysjärjestelmien yhdistämisen etuna havaittiin olevan, että aurinkokeräimet tuottavat osan lämpimästä käyttövedestä ja pienentävät maalämpöpumpun käyttöä erityisesti kesäaikana, mikä mahdollistaa myös lämpökaivojen lämpötilan luonnollisen palautumisen. Lisäksi järjestelmän automatiikasta riippumattoman tuuliturbiinin etuna todettiin olevan maalämpöpumpun sähkönkulutuksen pienentäminen turbiinin lämmitys- ja käyttövettä esilämmittävän vaikutuksen takia. Tutkimuksen mukaan tarkastellun yhdistetyn järjestelmän haittapuolena ovat suuret alkuinvestointikustannukset, mikä rajoittanee kyseisten järjestelmien yleistymistä pientaloissa.

Sisällysluettelo

1. Johdanto	1
2. Uusiutuvan energian peruskäsitteet	3
2.1 Energia ja eksergia fysiikassa	3
2.2 Uusiutumattomat energialähteet	7
2.3 Uusiutuvat energialähteet	7
2.3.1 Auringon säteilyenergiaan perustuvat energialähteet.....	8
2.3.2 Muut uusiutuvat energialähteet	9
2.3.3 Uusiutuvan energian sovellustavat	9
2.4 Miksi uusiutuvaa energiaa?	10
2.4.1 Maailman primäärinergian tuotanto ja energian loppukulutus.....	10
2.4.2 Fossiilisten polttoaineiden käytön ongelmat.....	11
2.4.3 Ratkaisuja ongelmiin	13
2.5 Uusiutuvan energian haasteita	14
3. Uusiutuva energia Suomessa	16
3.1 Energiankulutus ja uusiutuvan energian muodot Suomessa.....	16
3.2 Energian käyttökohteet ja sähkön ja lämmön tuotanto Suomessa	20
3.3 Uusiutuvan energian käyttö Suomessa verrattuna muihin EU-maihin	22
3.4 EU:n energia- ja ilmastostrategia ja Suomen tavoitteet	23
4. Pientalojen energian käytöstä.....	25
4.1 Energian tarve kohteittain.....	25
4.2 Lämmitysmuodot ja niiden jakautuminen	26
5. Aurinko- ja maalämmön hyödyntäminen pientaloissa.....	27
5.1 Aurinko energialähteenä.....	27
5.2 Aurinkolämpö	29
5.2.1 Passiivinen ja aktiivinen aurinkolämpö	29
5.2.2 Keräinmallit: tyhjiöputkikeräimet ja tasokeräimet.....	31
5.2.3 Aurinkokeräimien hyötysuhde	36
5.2.4 Pientalon aurinkolämpöjärjestelmä	37
5.2.5 Aurinkolämmön edut	39
5.3 Maalämpö	40
5.3.1 Yleistä maalämmöstä.....	40
5.3.2 Pientalon maalämpöjärjestelmät	41
5.3.3 Maaperä	44
5.3.4 Kallioperä.....	45
5.3.5 Vesistö	47
5.3.6 Maalämpöä lämpöpumpun avulla	48
5.3.7 Maalämmön edut.....	51
6. Yhdistetyt lämmitysjärjestelmät pientaloissa	53
6.1 Aurinko- ja maalämmön yhdistämismahdollisuudet	53
6.1.1 Perinteiset lämmitysjärjestelmät yhdessä aurinkolämmön kanssa.....	53
6.1.2 Maalämpö- ja aurinkokeräinjärjestelmä yhdessä	58
6.2 Maa- ja aurinkolämpöä sekä tuulivoimaa hyödyntävä omakotitalo	60
6.2.1 Omakotitalon kuvaus ja asukkaiden motivaatio	60

6.2.2 Yhdistetyn lämmitysjärjestelmän osat.....	62
6.2.3 Järjestelmän toimintaperiaate, ohjaus sekä käyttöaikaiset havainnot	67
6.2.4 Vanhasta uuteen lämmitysjärjestelmään: Sekundäärienergian kulutus, CO ₂ - päästöt ja lämmöntuotanto	69
6.2.5 Uuden lämmitysjärjestelmän kustannukset ja takaisinmaksuaika	89
7. Pohdinta	94
8. Päätelmät.....	97
9. Kirjallisuus	99
Liitteet	108
Liite A. Kerrannaisyksiköt	108
Liite B. Lämmitysjärjestelmän kaavio	109
Liite C. Tutkimuskohteen öljynkulutus ja Keuruun lämpötilat ajalta 1985-2009.....	110
Liite D. GetSolar-ohjelmassa käytetyt parametrit	111
Liite E. Järjestelmän takaisinmaksuaika lainanottoesimerkillä.....	114

1. Johdanto

Suomen kylmätalvisesta ilmastosta johtuen asuintalojen lämmitykseen kuluu Suomessa huomattava määrä energiaa. Suomalaisessa pientalossa noin puolet talon energiankulutuksesta aiheutuu tilojen lämmityksestä ja kun tähän lisätään käyttöveden lämmitykseen tarvittava energia, saadaan jo suurin osa pientalon kokonaisenergiakulutuksesta [1]. Tämän takia huonetilojen ja käyttöveden lämmitysjärjestelmien kehittäminen tehokkaammaksi ja ympäristöystävällisemmäksi on oleellinen asia pientalojen energiatalouden parantamisen ja ympäristövaikutuksien minimoimisen näkökulmasta.

Asuintalojen perinteisten lämmitysjärjestelmien rinnalle on noussut viime vuosikymmeninä uusiutuvia energialähteitä hyödyntäviä järjestelmiä, joiden käyttö suomalaisissa pientaloissa on toistaiseksi vielä niukkaa, mutta kasvusuuntaista [2,3]. Uusiutuvan energian käytölle niin suuressa kuin pienessä mittakaavassa on useita motivoivia tekijöitä: energian tarve tulee tulevaisuudessa kasvamaan, energiahinnat nousevat, fossiilisia polttoaineita ja ydinvoimaan käytettävää uraania on vain rajoitetusti saatavilla maapallolla ja niiden käyttöön liittyy vakavia ympäristöongelmia. Esimerkiksi CO₂-kaasujen vähentäminen ja ilmastonlämpenemisen torjuminen on tänä päivänä ja tulee olemaan tulevaisuudessa suuri haaste ihmiskunnalle, ja tähän uusiutuvalla energialla on mahdollisuuksia vaikuttaa lähes päästöttömänä energiamuotona. [4,5,6]

Tutkielman tavoitteena on perehtyä olemassa olevan kirjallisuuden ja lähdeaineiston sekä tutkimuskohteen avulla aurinko- ja maalämmön käyttömahdollisuuksiin ja ominaisuuksiin pientaloissa Suomen ilmasto-olosuhteet huomioiden. Tutkielman aluksi luvussa 2 tarkastelen energia ja eksergia käsitteitä fysiikassa ja kartoitan, mitä uusiutumattomilla ja uusiutuvilla energialähteillä tarkoitetaan. Näiden lisäksi tarkastelen globaaleita tekijöitä uusiutuvan energian käytön tarpeelle. Luvussa 3 perehdyn uusiutuvan energian käytön nykytilanteeseen sekä tuleviin tavoitteisiin Suomessa ja luvussa 4 teen katsauksen pientalojen energian käyttöön ja lämmitysmuotoihin Suomessa.

Luvussa 5 tarkastelen Suomen olosuhteisiin sopivia pientalojen aurinko- ja maalämpösovelluksia erikseen. Tutkielman 6. luvussa tarkastelen yhdistettyjä lämmitysjärjestelmiä selvittämällä, miten aurinkolämpöä voidaan hyödyntää yhdessä perinteisten lämmitysmuotojen kanssa ja miten maa- ja aurinkolämpö voidaan yhdistää keskenään. Tutkimuskohteena uusiutuvien energialähteiden yhdistetystä systeemistä tarkastelen Keski-Suomessa sijaitsevan omakotitalon lämmitysjärjestelmää, jossa on

yhdistetty maa- ja aurinkolämpö sekä tuulivoima keskenään. Perehdyn tutkimuksessa järjestelmän käyttöönottoon, toimintaan ja ohjaukseen sekä selvitän talon energiankulutuksessa, CO₂-päästöissä ja lämpöenergian tuotantomuodossa tapahtuneen muutoksen siirryttäessä vanhasta öljyllä toimivasta järjestelmästä uuteen järjestelmään. Luvun lopuksi arvioin uuden järjestelmän takaisinmaksuajan. Tutkielman luvussa 7 pohdin tutkimuskohteena olleen yhdistetyn järjestelmän ominaisuuksia ja arvioin vanhasta uuteen järjestelmään siirtymisen seurauksena tapahtuneiden muutosten merkittävyyttä sekä tarkastelen yhdistetyn järjestelmän yleistymistä mahdollisesti jarruttavia tekijöitä.

Tutkielman luvussa 8 kokoaan päätelmät lähdeaineiston, kirjallisuuden sekä tutkimuskohteena olleen omakotitalon järjestelmän avulla aurinko- ja maalämpöjärjestelmien käyttömahdollisuuksista ja ominaisuuksista suomalaisissa pientaloissa.

2. Uusiutuvan energian peruskäsitteet

Lähestytään uusiutuvaa energiaa perehtymällä aluksi siihen, mitä yleensä ottaen energialla ja siihen läheisesti liittyvillä muilla käsitteillä *fysiikassa* tarkoitetaan. Liitteessä A on esitetty tyypillisiä kerrannaisyksiköiden etuliitteitä, jotka tulevat vastaan mm. energiaa, työtä ja tehoa tarkastellessa ja ovat jatkuvasti esillä myös tässä tutkielmassa. Peruskäsitteiden tarkastelun jälkeen luvussa selvitetään, mitkä ovat uusiutuvan energian lähteitä maapallolla ja miten uusiutuvat energialähteet poikkeavat uusiutumattomista energialähteistä. Seuraavaksi tarkastellaan maailmanlaajuisia tekijöitä, jotka luovat tarpeen uusiutuvan energian käytölle ja motivoivat hyödyntämään uusiutuvaa energiaa niin suuressa kuin pienessä mittakaavassa. Luvun lopuksi tarkastellaan uusiutuvaan energiaan liittyviä haasteita.

2.1 Energia ja eksergia fysiikassa

Energia-käsite tulee vastaan useissa eri arkipäiväisissä yhteyksissä vaikkakin arkikielessä energia-sanaa saatetaan käyttää virheellisesti esimerkiksi teho-käsitteen kanssa samassa merkityksessä. Fysiikassa energialla tarkoitetaan kykyä tehdä työtä. Energia voidaan ymmärtää fysiikassa myös kyynä saada aikaan muutoksia. Energialla on useita eri ilmenemismuotoja, joita ovat mm. liike-energia, potentiaalienergia, kemiallinen energia, lämpöenergia, säteilyenergia, sähköenergia, magneettinen energia ja ydinenergia. Fysiikan yhteydessä energia-käsitettä tarkasteltaessa on olennaista ymmärtää *energian säilymlaki*, jonka mukaan energiaa ei synny tyhjästä eikä sitä voi myöskään hävitä. Toisin sanoen energia voi muuttua muotoaan prosessin aikana, mutta energian kokonaismäärä säilyy prosessin aikana vakiona. Esimerkiksi tuulen sisältämä liike-energia voidaan muuntaa tuulivoimalassa ensin propellien mekaaniseksi energiaksi, joka muuntuu edelleen generaattorissa sähköenergiaksi.

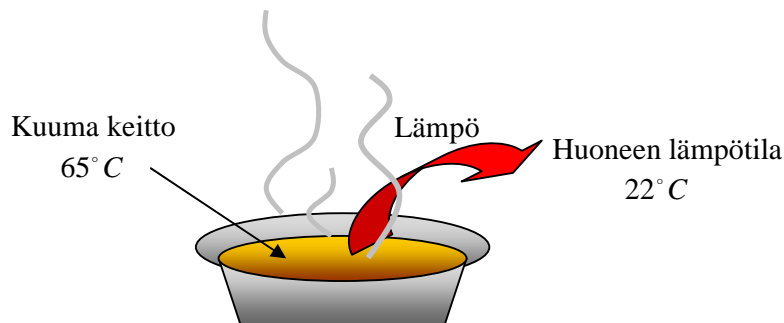
Kun puhutaan energian kuluttamisesta, sillä ei tarkoiteta energian häviämistä, vaan energian muuntumista muodosta toiseen [7]. Myöskään energiahäviöstä puhuttaessa ei ole kyse energian katoamisesta, vaan hyödyllisen käyttöenergian muuntumisesta hyödyttömämpään energiamuotoon. Energia siis ikään kuin virtaa maailmassa, mutta sitä ei synny tyhjästä eikä tuhoudu missään vaiheessa. [4]

Energiaa ja energian muuntumista muodosta toiseen lämpöä ja työtä sisältävissä prosesseissa tutkivaa tieteenalaa kutsutaan *termodynamiikaksi*. Erityisen mielenkiintoisen

termodynamiikasta tekee sen läheinen suhde käytännön elämään. Monet arkielämäämme helpottavat sovellukset, kuten erilaiset lämmitysjärjestelmien osat (mm. sähköpatteri, lämpöpumppu, aurinkokeräin), jäähdytyskoneistot (jääkaappi, ilmastointilaitteet), autojen koneistot, kodinkonelaitteet (mm. uuni, kahvinkeitin, silitysrauta) hyödyntävät toiminnassaan termodynamiikan periaatteita. Nämä periaatteet on määritelty termodynamiikan pääsäännöissä. [8]

Termodynamiikka käsittää kaiken kaikkiaan neljä pääsääntöä: nollannen, ensimmäisen, toisen ja kolmannen säännön, joista ehkä tärkeimpiä ovat ensimmäinen ja toinen sääntö. *Termodynamiikan 1. pääsäännön* mukaan energian kokonaismäärä säilyy prosessissa vakiona ja ainoastaan energian muoto voi muuntua toiseksi prosessin aikana. *Termodynamiikan 2. pääsäännön* mukaan energialla on suuruuden lisäksi toinenkin ominaisuus, laatu. Tämän säännön mukaan ilmiöt tapahtuvat luonnossa tiettyyn suuntaan siten, että prosessien edetessä energian laatu luonnostaan pienenee. Olemme esimerkiksi havainneet ajattelematta asiaa ehkä sen tarkemmin, että hellalta pöydälle nostettu kuuma keitto alkaa vähitellen jäähtyä pöydällä ja keiton lämpötila laskee tasaisesti kohti huoneessa vallitsevaa lämpötilaa (kuva 2.1). Emme ole suinkaan havainneet, että kyseiseen pöydälle nostettuun kuumaan keittoon alkaisi siirtyä itsestään lisää lämpöä huoneesta ja että keitto alkaisi siten kuumentua pöydällä. Tämä johtuu siitä, että lämpö virtaa yleensä ottaen aina kuumemmasta kappaleesta kylmempään kappaleeseen (tai ympäristöön), eikä toisinpäin. Esimerkissä kuumalla keitolla on suurempi termien energia ja siten kuuman keiton sisältämä energia on laadultaan arvokkaampaa kuin jäähtyneen keiton. [8,9]

Termodynamiikan 2. pääsääntö voidaan ilmaista myös *entropia*-käsitteen avulla. Entropialla kuvataan systeemin epäjärjestyksen määrää, ja toisen pääsäännön mukaan eristetyn systeemin entropia kasvaa ajan myötä niin kauan, kunnes se saavuttaa maksimiarvonsa tasapainotilanteessa. Suuressa mittakaavassa tämä sääntö tarkoittaa sitä, että maailmankaikkeuden (jota voidaan pitää eristettynä systeeminä) epäjärjestys kasvaa koko ajan. [8,10]



Kuva 2.1. Esimerkki termodynamiikan 2. pääsäännön toteutumisesta.

Edellisessä kappaleessa mainittiin systeemi, jota tarkastellaan seuraavaksi termodynamiikan merkityksessä hieman tarkemmin. Esimerkiksi kattilassa kiehuva vesi, lämmönvaihdin ja kompressori ovat esimerkkejä *termodynaamisesta systeemistä*. Kyseisen systeemin ympärillä on todellinen tai kuvitteellinen rajapinta, jonka ulkopuolella on ympäristö. Systeemi voi olla joko avoin tai suljettu, tai erikoistapauksessa myös eristetty. *Avoimessa systeemissä* systeemin rajapinnan yli voi siirtyä sekä massaa että energiaa. *Eristetty systeemi* on avoimelle systeemille täysin päinvastainen, sillä eristettyä systeemiä ympäröivän rajapinnan yli ei siirry energiaa eikä massaa. *Suljetussa systeemissä* puolestaan massaa ei tule systeemiin lisää eikä sitä siirry systeemistä ulos rajapinnan kautta, mutta energiaa voi siirtyä systeemin ja sen ympäristön välillä joko lämpönä tai työnä. [8]

Lämpö tarkoittaa energian siirtymistä kappaleesta toiseen (tai ympäristöön) silloin, kun siirtymisen aiheuttaa lämpötilaero. Esimerkiksi saunaan tuotuun kylmään vesiastiaan siirtyy energiaa astian ja sen ympäristön välisen lämpötilaeron seurauksena, minkä takia astiassa oleva vesi lämpenee. Tämä siirtyvä energia on juuri lämpöä. Lämmön tunnuksena käytetään yleisesti kirjainta Q ja lämmön yksikkö on joule (J).

Työ on energian siirtymistä puolestaan silloin, kun siirtymisen aiheuttaa jokin muu kuin lämpötilaero. Esimerkiksi auton moottorissa oleva kaasuseos tekee työtä, kun se laajenee ja saa männän liikkumaan. Työ on energiamuotona lämpöä arvokkaampi, koska työ voidaan muuttaa kokonaan lämmöksi, mutta lämpöä ei voida koskaan muuttaa kokonaan työksi. Työn tunnus on W ja sen yksikkönä käytetään lämmön yksikön tapaan joulea (J). [8,9]

Teho määrittelee sen, missä ajassa työtä tehdään. Jos kaksi ihmistä nostaa saman painoisia laatikoita auton lavalle ja toinen nostajista nostaa kaksi laatikkoa ja toinen yhden laatikon samassa ajassa, niin kaksi laatikkoa nostava henkilö työskentelee kaksi kertaa

tehokkaammin kuin yhden laatikon nostava henkilö. Kaavana ilmaistuna teho P on työn W muutosnopeus ajan t suhteen eli

$$P = \frac{dW}{dt}, \quad (2.1)$$

jonka SI-yksikkö on joule per sekunti (J/s) eli watti (W).

Energian tunnus ja yksikkö vaihtelevat sen mukaan, mikä energiamuoto on kyseessä. Energian yleisenä tunnuksena käytetään kirjainta E ja energian yksikkö SI-yksiköissä¹ on joule (J), newton-metri (Nm) tai wattisekunti (Ws) [4]. Edellä mainittujen energian yksiköiden lisäksi sähköenergialla on oma yksikkönsä, kilowattitunti² (kWh), joka ilmaisee yhdessä tunnissa tehdyn työn määrän, kun teho on suuruudeltaan 1 kilowatti. Kun halutaan tietää, kuinka paljon jokin sähkölaite kuluttaa energiaa E , voidaan se laskea yhtälöllä

$$E = Pt, \quad (2.2)$$

missä P on laitteen ottoteho (kW) ja t on laitteen käyttöaika (h). Mitä suurempi tämä luku on, sitä enemmän laite kuluttaa energiaa. [9]

Tarkasteltaessa energian alkuperää ja käyttöä, voidaan energia jaotella kahteen eri kategoriaan: primääri- ja sekundäärienergiaan. *Primäärienergia* ei ole vielä läpikäynyt minkäänlaista muuntoprosessia. Sillä tarkoitetaan luonnossa esiintyviä alkuperäisiä energialähteitä, joita ovat mm. raakaöljy, hiili, maakaasu, puu, tuuli, auringon säteily ja uraani. Primäärienergialähteisiin kuuluvat sekä uusiutumattomat että uusiutuvat energialähteet, joita käsitellään tarkemmin seuraavassa luvussa. *Sekundäärienergia* on puolestaan ihmisen primäärienergiasta muokkaamaa energiaa ja sen eri muotoja ovat mm. sähkö, lämpö, polttoaineena käytettävä öljy sekä bensiini. [7,11]

Energia-käsitteen lisäksi on hyödyllistä ymmärtää **eksergia-käsite**, jolla tarkoitetaan tietyn energiamäärän sisältämää ”työpotentiaalia”. Eksergia määrittelee sen, kuinka paljon esimerkiksi tietystä energialähteestä saadaan maksimissaan hyödynnettyä energiaa työn muodossa. Siten eksergia kuvaa energian määrän lisäksi myös energian laatua. Eksergia määritellään aina referenssitason verraten. Referenssitaso on taso, jonka työpotentiaalinen suuruus on nolla ja jonka ominaisuudet eivät muutu ajallisesti katsottuna hetkessä. Tällaisia sopivia referenssitasoja ovat esimerkiksi maapallon ilmakehä, maankuori ja meret. Eksergialähteet voidaan eritellä primäärisiin ja sekundäärisiin lähteisiin. Primäärisiä

¹ Kansainvälinen yksikköjärjestelmä eli SI-järjestelmä (Système International d’Unités).

² 1 kWh = 3600 kJ = 3,6 MJ [4].

eksnergialähteitä ovat auringossa tapahtuvat fuusioreaktiot³, maapallolla luonnostaan fissionituvat⁴ atomit, maapallon sisuksen termien energia, sekä taivaankappaleiden suhteellinen kineettinen ja gravitaatiopotentiaalienergia. Eksnergia virtaa primääristen lähteiden kautta edelleen sekundäärisiin eksnergialähteisiin, joita ovat mm. säteily, tuuli, aallot, sateet ja fossiiliset polttoaineet. [8,10]

2.2 Uusiutumattomat energialähteet

Uusiutumattomilla energialähteillä tarkoitetaan sellaisia energialähteitä, joita on rajallisesti saatavilla maapallolla tai niiden uusiutumisaika on hyvin pitkä. Ihmisten käyttäessä uusiutumattomia energialähteitä, ne aikanaan loppuvat maapallolta. *Uusiutumattomia energialähteitä* ovat fossiiliset polttoaineet ja ydinpolttoaineena käytettävä uraani. Hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneelin (IPCC) luokituksen [13] mukaan fossiilisiin polttoaineisiin kuuluvat öljy, hiili, maakaasu sekä turve, jotka ovat peräisin miljoonia vuosia sitten kasvaneista ja hajonneista kasveista. Näistä polttoaineista turve kylläkin uusiutuu, mutta se tapahtuu erittäin hitaasti, ja tämän takia Suomessa turve luokitellaan virallisesti hitaasti uusiutuvaksi biomassapolttoaineeksi [14]. [4,7]

2.3 Uusiutuvat energialähteet

Uusiutuvat energialähteet ovat nimensä mukaisesti sellaisia energialähteitä, jotka uusiutuvat jatkuvasti luonnollisten tapahtumasarjojen kautta, eivätkä lopu maapallolta. Ne voidaan jakaa kahteen kategoriaan, jotka ovat auringon säteilyenergiaan perustuvat energialähteet ja energialähteet, jotka eivät ole peräisin auringon säteilyenergiasta [7]. Seuraavissa kahdessa luvussa tarkastellaan edellä mainittua uusiutuvien energialähteiden luokittelua lähemmin, minkä jälkeen tarkastellaan uusiutuvien energialähteiden sovelluskohteita.

³ Fuusioreaktiolla tarkoitetaan ydinreaktiota, jossa kaksi kevyttä atomin ydintä yhdistyy eli fuusioituu yhdeksi raskaammaksi ytimeksi, ja samalla vapautuu energiaa. Auringossa tapahtuvassa fuusiossa kaksi vety-atomin ydintä yhdistyy muodostaen helium-atomin ytimen ja samalla syntyy neutroni ja vapautuu energiaa. [4,12]

⁴ Fissionireaktio on ydinreaktio, jossa raskaan atomin ydin hajoaa, jolloin muodostuu kaksi kevyempää ydintä ja neutroneja, sekä vapautuu energiaa. Ydinenergian tuotanto maapallolla perustuu tänä päivänä hallittuun fissionireaktioon. [12]

2.3.1 Auringon säteilyenergiaan perustuvat energialähteet

Auringon säteilyenergiaan perustuvat uusiutuvat energialähteet voidaan jakaa edelleen *suoriin* ja *epäsuoriin energialähteisiin*. Suoraan auringosta tulevaa säteilyä voidaan hyödyntää erilaisten teknisten järjestelmien, kuten aurinkokeräinten ja aurinkokennojen avulla muuntamalla auringon säteilyenergiaa lämpöenergiaksi tai sähköenergiaksi. Epäsuorasti aurinkoenergiaan perustuvat puolestaan tuulienergia, virtaavaan veden energia, bioenergia, aaltoenergia ja maalämpö, joita tarkastellaan lähemmin seuraavissa kappaleissa. Nämä epäsuorat energialähteet ovat peräisin auringon säteilyenergiasta siten, että luonnossa tapahtuvat prosessit kuten haihtuminen, sateet, lumen sulaminen, auringonsäteilyn sitoutuminen ja kasvien kasvaminen muuntavat auringon säteilyenergiaa muihin energiamuotoihin. [4,7]

Auringon säteily lämmittää maapalloa ja koska maapalon eri alueet lämpenevät eriävissä määrin, syntyy lämpötilaeroja. Lämpötilaerot saavat puolestaan aikaan paine-eroja, jotka synnyttävät ilmavirtauksia eli tuulia. Tuulen sisältämää energiaa voidaan hyödyntää tuulimyllyjen ja tuuliturbiinien avulla, jotka muuntavat tuulen sisältämän liike-energian ensin mekaaniseksi energiaksi ja sitten sähköenergiaksi (tai lämpöenergiaksi). Tuulivoiman käyttö on hyödyllisintä alueilla, joissa tuulee tasaisesti ja riittävästi ympäri vuoden. Aivan kuten tuuli, myös virtaava vesi sisältää liike-energiaa, joka voidaan muuntaa vesivoimaloissa sähköenergiaksi. Veden virtaus perustuu auringon aiheuttamaan veden kiertäjärjestelmään maapallolla, missä auringon säteily saa aikaan veden haihtumista maanpinnalta ja meristä, ja vesi palaa takaisin maanpinnalle sateena veden tai lumen muodossa synnyttäen virtauksia jokiin ja virtoihin. [7]

Bioenergiaa saadaan biopolttoaineista, joita poltetaan erilaisissa bioenergiavoimaloissa. Biopolttoaineet ovat peräisin biomassasta kuten puusta, vilja-kasveista tai orgaanisesta jätteestä. Biomassan syntyminen tapahtuu fotosynteesi-reaktion avulla, missä auringon säteilyenergian vaikutuksesta vesi ja ilmassa oleva hiilidioksidi muodostavat kasvien lehtiosissa hiiliyhdisteitä (biomassaa), happea ja vettä. [4,7]

Myös aaltoenergian lähde on epäsuorasti aurinko, sillä auringon säteilyyn epäsuorasti perustuvat tuulet synnyttävät merialueilla aaltoja. Tuulen puhaltaessa samaan suuntaan suuren vesimassan yli, energiaa siirtyy tuulesta veteen ja tällä tavoin syntyneiden aaltojen sisältämä kineettinen energia voidaan muuntaa rannikolla erilaisten muuntolaitteistojen avulla sähköenergiaksi. [7,10]

Maalämmöllä tarkoitetaan auringosta maaperään, kallioperään tai vesistöön sitoutunutta lämpöenergiaa sekä kallioperän sisältämää geotermistä energiaa. Kallioperän lämmön tapauksessa on kyse siis sekä epäsuorasta auringon säteilyenergiasta että geotermisestä energiasta. Maalämpöä voidaan ottaa hyötykäyttöön siirtämällä lämpöenergiaa edellä mainituista paikoista rakennuksen sisälle lämpöpumpun avulla. [4,7]

2.3.2 Muut uusiutuvat energialähteet

Uusiutuvia energialähteitä, jotka eivät perustu auringon säteilyenergiaan, ovat vuorovesienergia ja geoterminen energia. Vuorovesienergian taustalla on vuorovesi-ilmiö, joka aiheutuu pääasiassa kuun ja maan välisestä vetovoimasta. Käytännössä vuorovesi-ilmiö voidaan valjastaa energiantuotantoon alueilla, joissa vuoroveden aiheuttamat erot veden pinnan korkeudessa ovat suuria. Vuorovesienergiaa saadaan esimerkiksi padon avulla, joka päästää ensin nousuveden sisään ja sulkeutuu laskuveden alettua. Kerätty vesi ohjataan laskuveden aikaan takaisin mereen turbiinien kautta ja tällä tavoin veden potentiaalienergia muunnetaan generaattorien avulla sähköenergiaksi. Toinen vaihtoehto hyödyntää vuorovesi-ilmiötä on käyttää merenalaisia turbiineita. [7]

Geoterminen energia on peräisin maan sisuksesta, jossa radioaktiivisten atomien hajoamisessa vapautuu valtavasti lämpöä. Esimerkiksi aktiivisen vulkaanisen toiminnan alueilla maan sisuksista saatavaa kuumaa vettä tai vesihöyryä voidaan hyödyntää suoraan lämmityksessä tai tuottamalla kuuman veden avulla sähköä maanpinnalla olevassa geotermisessä voimalassa. Kallioperän lämpöä hyödyntävä maalämmön muoto ei vaadi puolestaan erityisiä geologisia olosuhteita, kuten kuumia lähteitä [15]. [4,7]

2.3.3 Uusiutuvan energian sovellustavat

Uusiutuvalla energialla on *kolme* eri sovellusmahdollisuutta. Uusiutuvalla energialla voidaan tuottaa sähköä, sitä voidaan käyttää lämmitykseen ja jäähdyttämiseen tai sitä voidaan käyttää liikenteen polttoaineena. Bioenergiaa voidaan hyödyntää kaikissa edellä mainituissa sovelluksissa, aurinkoenergiaa ja geotermistä energiaa voidaan käyttää sähkön ja lämmön tuottamiseen, ja vuorovesi- ja aaltoenergialla sekä vesi- ja tuulivoimalla saadaan tuotettua sähköä. [16]

2.4 Miksi uusiutuvaa energiaa?

Tässä luvussa selvitetään, miksi uusiutuva energia tarjoaa nyt ja tulevaisuudessa potentiaalisen vaihtoehdon perinteisesti käytettyjen energialähteiden rinnalle tarkastelemalla nykyistä energian tuotantoa, fossiilisten polttoaineiden hyödyntämisen ongelmia sekä uusiutuvan energian ominaisuuksia.

2.4.1 Maailman primäärinenergian tuotanto ja energian loppukulutus

Primäärienergian tuotanto maapallolla on kasvanut nopeasti teollisen kehityksen ja maailman väestön kasvun myötä ja energian tarve tulee kasvamaan tulevaisuudessa erityisesti vähemmän kehittyneissä maissa [4]. Primäärienergian tuotanto lähes kaksinkertaistui maailmassa vuosien 1973-2007 välisenä aikana eli 34 vuodessa. Ihmiskunnan primäärienergiatalous perustuu nykyisin vielä vahvasti fossiilisten polttoaineiden käyttöön, sillä vuonna 2007 kaikesta tuotetusta primäärienergiasta fossiilisten polttoaineiden (sis. turpeen) osuus oli 81,4 %, ydinpolttoaineiden osuus oli 5,9 % ja uusiutuvan energian osuus oli 12,7 %, josta suurin osa koostui poltettavista uusiutuvista ja jätteestä sekä vedestä. [17]

Myös energian loppukulutuksen näkökulmasta fossiilisten polttoaineet ovat vahvoilla, sillä viimeisimmän maailmanlaajuisen tilastoinnin mukaan vuonna 2006 fossiilisten polttoaineiden osuus oli 79 % energian loppukulutuksesta. Samana vuonna uusiutuvan energian osuus maapallon energian loppukulutuksesta oli 18 %, josta noin 13 % koostui biomassan kulutuksesta. [6]

Primäärienergian kulutuksessa on suuria alueellisia eroja. Vuonna 2006 eniten primäärienergiaa maailmassa kuluttavat alueet olivat (eniten kuluttavasta alueesta lähtien) Aasia ja Oseania, Pohjois-Amerikka sekä Eurooppa [18]. Euroopan kulutusta seuraavaksi suurin kulutus oli kyseisenä vuonna Euraasiassa, kun taas vähiten primäärienergiaa kuluttavat alueet (vähiten kuluttavasta alueesta lukien) olivat tuona vuonna Afrikka, Keski- ja Etelä-Amerikka sekä Lähi-itä [18]. Aluekohtaisia eroja on myös siinä, mitä primäärienergian lähteitä käytetään. Kehittyneemmissä valtioissa fossiilisten polttoaineiden käyttö energialähteenä on suurempaa kuin vähemmän kehittyneissä maissa, joissa ensisijaisena polttoaineena käytetään mm. biomassaa, kuten puuta [5].

2.4.2 Fossiilisten polttoaineiden käytön ongelmat

Fossiilisten polttoaineiden käytön kannalta ongelmana on ensinnäkin se, ettei niitä tule riittämään loputtomiin saakka maapallolla. Toiseksi fossiilisten polttoaineiden käytön ongelmana on ympäristön näkökulmasta se, että niiden polttaminen aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä eli CO₂-kaasua, joka on ns. kasvihuonekaasuista merkittävin. Muita kasvihuonekaasuja ovat metaani, CFC-yhdisteet, dityppioksidi, vesihöyry ja otsoni [4]. Ihmisen aiheuttamat kasvihuonekaasut ovat seurausta pääosin energian kuluttamisesta ja tuotannosta, liikenteestä sekä teollisuudesta. Päästöjä syntyy myös mm. metsätaloudesta, metsien hakkuista, maataloudesta ja kotitalouksista. [19]

Kasvihuonekaasuja syntyy sekä luonnostaan että ihmisen aiheuttamana, ja ne saavat aikaan maapallolle sinänsä luonnollisen kasvihuoneilmaston. *Kasvihuoneilmastossa* ilmakehässä olevat kasvihuonekaasut estävät absorboinnin avulla auringosta maapallolle tulleen pitkäaaltoisen lämpösäteilyn pakenemisen takaisin avaruuteen. Tämän seurauksena maapallon lämpötila on sopiva elämälle, sillä ilman kasvihuoneilmiötä maapallon lämpötila olisi noin 30 °C nykyistä lämpötilaa matalampi. Kasvihuonekaasujen ylenmääräinen syntyminen aiheuttaa kuitenkin sen, että auringon lämpösäteilyä jää maapallolle normaalia enemmän loukkuun ja sen seurauksena maapallon lämpötila nousee [8]. [5]

IPCC:n uusien synteesi-raportti valaisee **ilmaston lämpenemistä** useilta eri näkökannoilta. Sen mukaan vuosien 1970-2004 aikana eli 34 vuoden aikana ihmisen toiminnasta aiheutuvien globaalien kasvihuonekaasu-päästöjen määrä on kasvanut 70 %. Vuonna 2004 kaikista kasvihuonekaasu-päästöistä CO₂-päästöjen osuus oli 77 % ja suurin osa näistä päästöistä aiheutui fossiilisten polttoaineiden käytöstä. Merkillepantavaa on, että eniten kasvihuonekaasuja tuottavat teollisuusmaat. Raportista ilmenee, että ihmisen aikaansaamien kasvihuonekaasujen lisääntyminen 1950-luvulta lähtien on erittäin todennäköisesti aiheuttanut pääosan maailmanlaajuisesti havaittujen keskilämpötilojen kohoamisesta ja että tämä kohoaminen ei ole erittäin todennäköisesti seurausta ainoastaan luonnollisista ilmasto lämmittävästä tekijöistä. Tätä tukevat kolme globaalisti tehtyä havaintoa; ilman ja merien lämpötilojen nouseminen, jään ja lumen laajamittainen sulaminen sekä meren pinnan nouseminen. Tämä lisäksi ilmastonlämpenemisen on todettu olevan yhteydessä sademäärien muutoksiin sekä rajujen sääilmiöiden, kuten myrskyjen ja tulvien lisääntymiseen maapallolla [4,5,19]. Huomion arvoista on, että raportin mukaan lämpenemistä on tapahtunut eniten pohjoisilla leveysasteilla ja lämpeneminen saattaisi olla vielä suurempaa ilman tulivuorten

purkauksista ja ihmisten toiminnasta syntyvien *aerosolien* eli pienhiukkasten ilmastoa viilentävää vaikutusta. [19]

Pohjoinen Suomi sijaitsee tutkimusten mukaan maantieteellisesti sellaisella alueella, jossa ilmastonmuutoksen lämmittävä vaikutus näkyy keskiarvoa selvästi enemmän. Suomessa ilmastonmuutos vaikuttaa Ilmatieteen laitoksen mukaan mm. lämpötilaan, sademäärään, lumipeitteeseen ja routaan sekä tuulen nopeuteen. Lämpötilat kohoavat ja sademäärät kasvavat Suomessa erityisesti talvi-aikana ja kesäisin hellejaksoja tulee yhä useammin. Aika, jolloin maaperän peittää lumipeite tulee lyhenemään ja roudan määrä tulee vähenemään. Talvella lisääntyvät sateet ja leuto ilma huonontavat myös maaperän kantavuutta ja rannikkoalueiden tuulisuus saattaa merijäiden jäätyttömyyden takia lisääntyä. [20]

Ilmaston lämpenemisen lisäksi fossiilisten polttoaineiden polttamisesta syntyvät saasteet aiheuttavat mm. **happosateita** ja **savusumua**, joka on tyypillinen ilmiö erityisesti suurkaupungeissa [8]. Lisäksi fossiilisten polttoaineiden polton seurauksena syntyvät typpioksidi-päästöt (NO_x -päästöt) aiheuttavat CFC-yhdisteiden rinnalla osaltaan myös **otsonikatoa**, jonka seurauksena haitallista UV-säteilyä pääsee enemmän maapallolle aiheuttaen mm. ihosyöpäriskin lisääntymistä [21].

Selkeiden ja mittavien ympäristöongelmien havaitseminen ympäri maapalloa on synnyttänyt erilaisia kansainvälisiä ohjelmia ilmaston lämpenemisen estämiseksi ja ympäristön suojelemiseksi. Näistä esimerkkinä mainittakoon Euroopan unionin joulukuussa 2008 hyväksymä energia- ja ilmastostrategia, jonka yhtenä tavoitteena on vähentää kasvihuonekaasuja 20 % vuoteen 2020 mennessä vuoden 1990 tasoon nähden EU:ssa [22]. YK:n ilmastosopimusta täydentävän Kioton pöytäkirjan mukaan puolestaan kehittyneiden maiden tulisi vähentää kasvihuonekaasu-päästöjä 5,2 % vuoden 1990 tasoon nähden vuosien 2008-2012 aikana, ja pöytäkirjan on ratifioinut 12.2.2007 mennessä kaiken kaikkiaan 176 maata Suomi mukaan lukien [23].

Suomen maakohtainen Kioton velvoite on pitää vuosien 2008-2012 aikana kasvihuonekaasupäästöt vuoden 1990 tasolla eli ns. perusvuoden tasolla, jolloin päästöt olivat 71 milj. $\text{tCO}_2\text{-ekv:a}^5$ [24]. Vuonna 2007 Suomen kasvihuonekaasu-päästöt olivat yhteensä noin 78,5 milj. $\text{tCO}_2\text{-ekv:a}$ ja viimeisimpien viiden vuoden aikana Suomen tuottamat kasvihuonekaasupäästöt ovat olleet keskimäärin 10 % Kioton velvoitetasoa korkeammat [24].

⁵ $\text{CO}_2\text{-ekv.}$ eli hiilidioksidiekvivalentti kuvaa sitä CO_2 -päästön määrää, joka aiheuttaisi saman säteilypakotteen (lämmittävän vaikutuksen) tietyssä ajassa kuin pitkäikäisen kasvihuonekaasun tai kasvihuonekaasusekoituksen määrä aiheuttaisi [19].

Tämän tosiasian lisäksi Suomi oli vuonna 2006 EU27-maiden viidenneksi suurin kasvihuonekaasupäästöjen tuottaja henkilöä kohden päästöjä laskettaessa [25].

Käytännössä Suomen kasvihuonekaasupäästöistä aiheutuu 80 % energiasektorin eli energiateollisuuden, teollisuuden ja rakentamisen, liikenteen ja muun energian käytön tuottamista päästöistä. Loput Suomen kasvihuonekaasupäästöistä syntyvät teollisuusprosesseista, F-kaasuista, liuottimien käytöstä, maataloudesta ja jätteiden käsittelystä. [24]

2.4.3 Ratkaisuja ongelmiin

Maailman kasvava energiantarve ja uusiutumattomien energialähteiden rajallisuus sekä niiden käyttöön liittyvät ympäristöongelmat merkitsevät sitä, että tulevaisuudessa on pystyttävä hyödyntämään uusia energiaratkaisuja ja teknologioita nykyistä enemmän ja tehokkaammin [4]. Lisäksi öljyn, kivihiiilen ja maakaasun markkinahintojen nousu sekä kalliit päästöoikeudet (EU:n päästökaupassa) merkitsevät uusien vaihtoehtojen kehittämistä ja lisäävät uusiutuvien energialähteiden käytön suosiota kuluttajien piirissä [22]. Hiilidioksidipäästöjen vähentämisen ja ilmaston lämpenemisen estämisen kannalta ratkaisevassa asemassa ovat uusiutuva energia ja ydinenergia. Koska ydinenergian nykyinen tuotanto fissioreaktiolla perustuu maapallolla rajallisesti olevan uraanin käyttöön ja ydinenergian tuottaminen sekä ydinjätteen sijoitus ja kuljetus sisältävät omat riskinsä, on tulevaisuudessa kestävän kehityksen näkökulmasta avainasemassa erityisesti uusiutuva energia [4].

Uusiutuvan energialähteiden lähes rajaton olemassaolo merkitsee sitä, että niiden käyttöön perustuva energiantuotanto on turvattu tulevaisuudessakin. Uusiutuvan energian käyttöönottoon liittyy epäsuorasti CO₂-päästöjä, kuten laitteistojen valmistusprosesseista ja kuljetuksista aiheutuvat päästöt, mutta ne ovat selvästi pienempiä kuin fossiilisten polttoaineiden polttamiseen ja ydinvoiman tuottamiseen liittyvät epäsuorat päästöt [4]. Merkittävä asia kestävän kehityksen kannalta on se, että lähes päästöttömänä energiamuotona uusiutuva energia vähentää ilmansaasteita ja torjuu omalta osaltaan ilmaston lämpenemistä [26].

Energiantuotannon turvaamisen ja ilmaston lämpenemisen torjumisen lisäksi uusiutuvan energian etuna on se, että sitä voidaan käyttää pienemmässäkin mittakaavassa ja hyödyntää paikallisia olosuhteita. Toisin kuin fossiilisia polttoaineita ja ydinvoiman energialähteenä toimivaa uraania, uusiutuvaa energiaa on kaikkien saatavilla melko tasapuolisesti. Tämä

tarkoittaa energiansaannin omavaraisuutta, mikä vähentää maiden ja eri alueiden välistä riippuvuutta toisistaan. [26,27]

Uusiutuvan energiaan liittyvän tekniikan etuna on, että sen käyttöönotto ei vaadi välttämättä suurta ja nopeasti tapahtuvaa rahallista sijoitusta, vaan laitteistoja voidaan rakentaa vähitellen ja paikallisten olosuhteiden mukaan. Tämän takia uusiutuvalla energialla on käyttömahdollisuuksia myös köyhemmissä maissa, mikä edistää omalta osaltaan tasa-arvoa maailmassa. Lisäksi uusiutuvaan energiaan perustuvat järjestelmät ovat pitkäikäisiä ja niiden käyttöönotto on suhteellisen nopeaa. Uusiutuvaan energiaan perustuvan tekniikan lisäämisellä on myös suora vaikutus uusien työpaikkojen syntyyn. [26,27]

Uusiutuvan energian rinnalla myös energiatehokkuudella on tulevaisuudessa kestävä kehityksen ja ilmaston lämpenemisen torjumisen kannalta merkittävä rooli [28]. Energiatehokkuuden parantamisella tarkoitetaan käytännössä sitä, että hyödyllistä käyttöenergiaa saataisiin tuotettua pienemmällä primäärienergiämäärällä [4]. Myös fossiilisiin polttoaineisiin perustuvan tekniikan ”puhdistaminen” on tärkeä askel kohti kestävä kehitystä. Puhdistamisella tarkoitetaan mm. fossiilisten polttoaineiden puhtaampia ja tehokkaampia polttamistapoja, hukka-lämmön parempaa hyödyntämistä sekä siirtymistä vähemmän saastuttavampien polttoaineiden käyttöön [7].

2.5 Uusiutuvan energian haasteita

Uusiutuvan energian käyttö ei ole luonnollisestikaan aivan ongelmaton. Haasteita tuovat mm. sen käytön aiheuttamat ympäristövaikutukset, maisemalliset muutokset ja tilan käyttöön liittyvät näkökohdat, meluhaitat, epäsuorat päästöt sekä ihmisten mielipiteet. Uusiutuvan energian käyttöönotto tai käytön kasvulle voi olla myös merkittävänä esteenä taloudellisten tuki- ja ohjaustoimien puute tai vähyys, päättäjien ja kuluttajien tietämättömyys olemassa olevista uusiutuvista energialähteistä hyödyntävistä laitteistoratkaisuista sekä niiden eduista perinteisiin järjestelmiin nähden. Myös laitteistojen korkeat hinnat ovat yksi uusiutuvan energian käytön lisäämistä jarruttava tekijä. [7,22,29]

Suuren mittakaavan näkökulmasta uusiutuvat energialähteet eivät ole keskittyneet fossiilisten energialähteiden tapaan selkeästi tietylle alueelle, minkä takia merkittävän energiamäärän keräämiseksi uusiutuvia energialähteitä hyödyntäen tarvitaan yleensä suuria maa-alueita [7]. Esimerkiksi tuulipuistot maalla ja merillä vievät paljon tilaa, kuten myös laajamittaiset aurinkosähkölaitokset ja aurinkolämpöön perustuvat sähkölaitokset [29,30,31].

Suurten maa-alojen lisäksi uusiutuvan energian hyödyntäminen vaatii usein maisemallisia muutoksia ja aiheuttaa joissain tapauksissa melua. Esimerkiksi tuulivoimaloiden pystytys muuttaa ympäristöä maisemallisesti ja niiden toiminta synnyttää melua [32]. Lisäksi tuulivoimaloilla on todettu olevan häiritsevä vaikutus lintujen lisääntymisalueilla ja turbiinit aiheuttavat pyöriessään lintujen vammautumisia ja kuolemia [29]. Suomessa tuulivoiman lisäämistä vaikeuttaa mm. voimaloiden rajalliset sijoituspaikkamahdollisuudet, toimituskapasiteetti sekä lupaprosessit [22].

Pienemmässä mittakaavassa maisemallisiin muutoksiin ja tilanvientiin liittyviä ongelmia ei yleensä ole. Esimerkiksi omakotitaloon tai rivitaloon asennettava maalämpöjärjestelmä vie tilaa ainoastaan maan tai veden alla, eikä se aiheuta maisemallisia muutoksia maan päällä. Pientalojen aurinkopaneeli- ja aurinkokeräinjärjestelmät voidaan puolestaan integroida yleensä esimerkiksi talon katto- tai seinärakenteisiin hyvin. [15,33]

3. Uusiutuva energia Suomessa

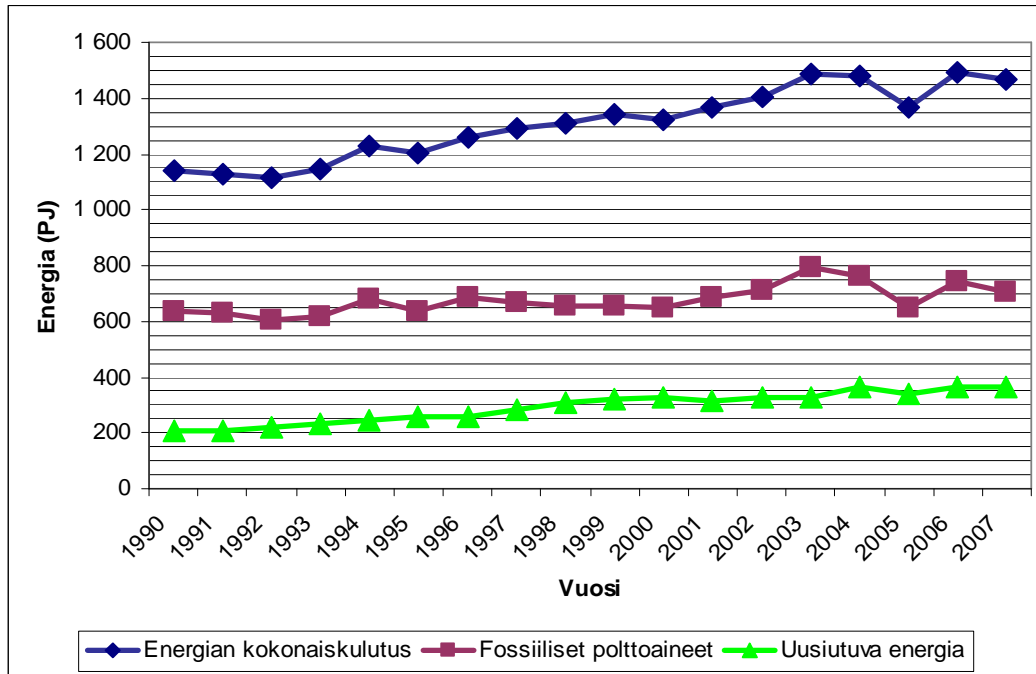
Suomessa hyödynnettäviä uusiutuvan energian muotoja ovat bioenergia, vesi- ja tuulivoima, aurinkoenergia sekä maalämpö. Tässä luvussa selvitetään, missä määrin kutakin uusiutuvan energian eri muotoa Suomessa hyödynnetään ja lisäksi perehdytään energian käyttökohteisiin sekä sähkön ja lämmön tuotantoon Suomessa. Tarkastelu tehdään Suomen osalta vuoden 2007 energiatilastojen pohjalta, koska kyseiseltä vuodelta on tällä hetkellä saatavilla tarkimmat energiatilastot. Luvun lopussa verrataan uusiutuvan energian käyttöä Suomessa muiden EU-maiden käyttötilanteeseen sekä tarkastellaan tulevia tavoitteita uusiutuvan energian käytön lisäämiselle EU:ssa ja Suomessa. Euroopan tilastojen osalta tarkastelu tehdään vuoden 2006 perusteella, koska kyseisen vuoden tilastot ovat tällä hetkellä tuoreimmat olemassa olevat tilastot. Lukiessa tätä lukua on hyvä kiinnittää huomiota siihen, minkälaisesta energian kulutuksesta puhutaan ja miten ko. kulutus on määritelty, sillä määrittelytavoissa on eroja.

3.1 Energiankulutus ja uusiutuvan energian muodot Suomessa

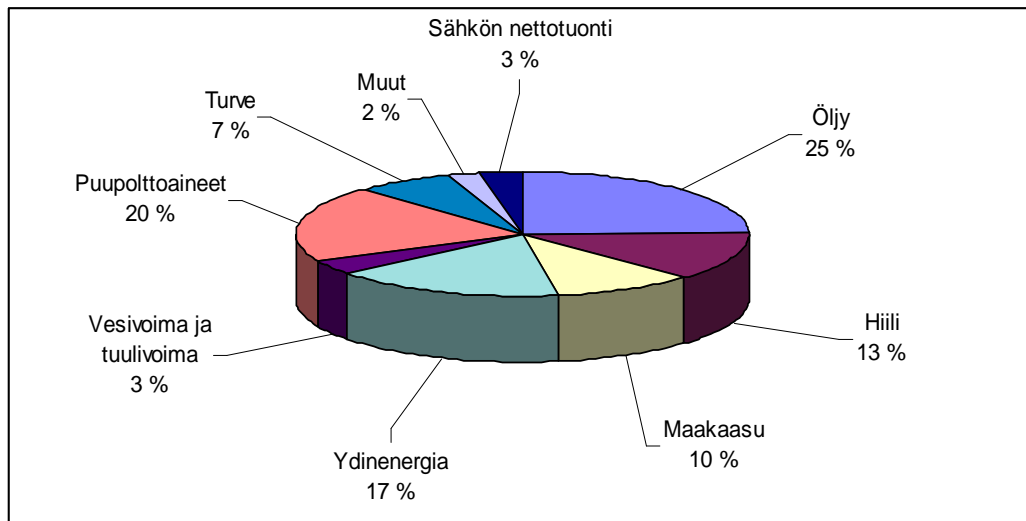
Energian kokonaiskulutuksen⁶ ja uusiutuvan energian kulutuksen kehitys on ollut Suomessa viime vuosikymmeninä selvästi kasvusuuntaista, mikä nähdään kuvasta 3.1. Samassa kuvassa on esitetty myös fossiilisten polttoaineiden kulutuksen kehittyminen. Kaiken kaikkiaan vuosien 1990-2007 aikana energian kokonaiskulutus on kasvanut 29 %, uusiutuvan energian kulutus 75 % ja fossiilisten polttoaineiden kulutus 10 %. [2]

Vuonna 2007 energian kokonaiskulutus oli Suomessa yhteensä noin 1.470 PJ, mikä jakautui energialähteittäin kuvan 3.2 mukaisesti. Kuvasta voidaan laskea, että kyseisenä vuonna Suomen merkittävien energianlähteiden olivat fossiiliset polttoaineet eli öljy, maakaasu ja hiili noin 48 % osuudella energian kokonaiskulutuksesta. Uusiutuva energia, mikä sisältää puupolttoaineet, vesi- ja tuulivoiman sekä muita uusiutuvia (esim. maalämpö, kierrätyspolttoaineet), oli kyseisenä vuonna toiseksi merkittävin energialähde sen osuuden ollessa energian kokonaiskulutuksesta kaiken kaikkiaan noin 25 %. Kolmanneksi suurin energialähde vuonna 2007 oli ydinenergia, jonka suuruus oli noin 17 % kokonaisenergiankulutuksesta.

⁶ Energian kokonaiskulutuksella tarkoitetaan tässä kotimaisten energialähteiden ja tuontienergian yhteismitallista kokonaiskulutusta Suomessa. Kokonaiskulutus koostuu energian tuotantoon ja jalostukseen käytetyistä polttoaineista ja suoraan loppukulutuksessa käytetystä energiasta (esim. liikenteessä käytetyt polttoaineet ja rakennusten lämmitykseen käytetyt polttoaineet). [34]



Kuva 3.1. Energian kokonaiskulutuksen, fossiilisten polttoaineiden ja uusiutuvan energian kulutuksen kehittyminen Suomessa 1990-2007. Kuva on luotu lähteen [2] pohjalta.

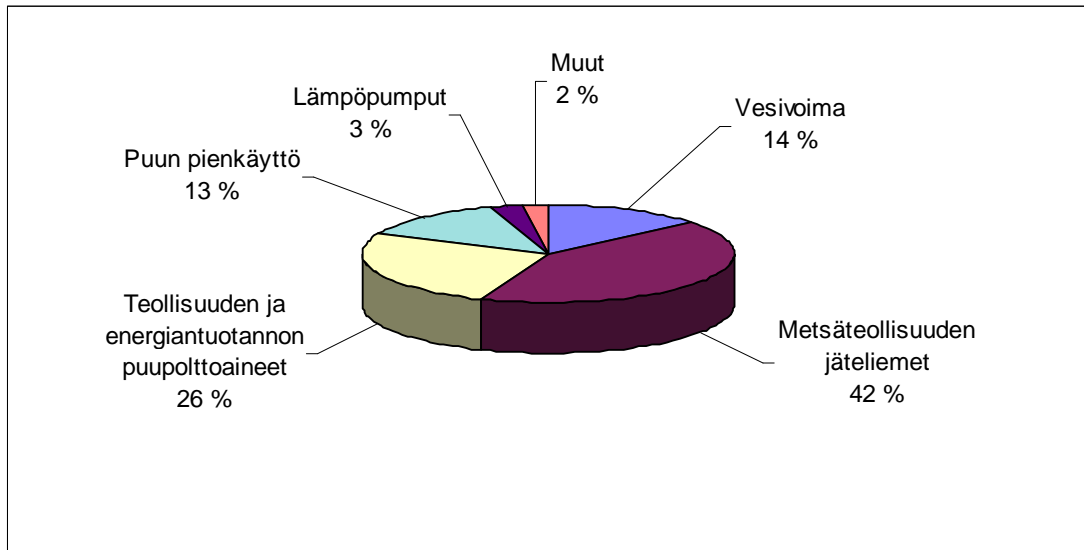


Kuva 3.2. Energian kokonaiskulutus (yhteensä 1.470 PJ) Suomessa vuonna 2007. Hiili-sektori sisältää kivihiihen, kaksin, masuuni- ja koksikaasut sekä hiilitervan. Muut-sektori sisältää lämpöpumput, teollisuuden reaktiolämmön ja kierrätyspolttoaineet yms. Kuva on luotu lähteen [2] pohjalta.

Tänä päivänä Suomessa kulutetaan siis toistaiseksi eniten energiaa uusiutumattomia energialähteitä hyödyntäen, mutta uusiutuvan energian kulutuksen kasvuvauhti on ollut 90-luvulta lähtien erittäin nopeaa verrattuna fossiilisten polttoaineiden kulutuksen kasvuvauhtiin. Uusiutuvan energian käyttö perustuu Suomessa vahvasti *bioenergian hyödyntämiseen*. Tämä voidaan havaita kuvasta 3.3, missä on eritelty vuonna 2007 Suomessa käytetyt uusiutuvan energian lähteet.

Kuvasta 3.3 nähdään, että noin 82 % Suomessa käytetystä uusiutuvasta energiasta on peräisin puun hyödyntämisestä, muun muassa metsäteollisuuden prosessien sivutuotteista (metsäteollisuuden jäteliemet, massan tuotannossa syntyvä kuori sekä mustalipeä) [2,22]. Tämä laajamittainen puun hyödyntäminen johtuu Suomen voimakkaasta metsäteollisuudesta [28]. Kuvan 3.3 muut-sektoriin sisältyvät energiamuodot on eritelty tarkemmin taulukossa 3.1, mistä selviää, että ns. *uusien* uusiutuvien energialähteiden, kuten kierrätyspolttoaineiden, tuulivoiman ja aurinkoenergian käyttö on Suomessa toistaiseksi alkutekijöissään. Myös lämpöpumppujen tuottamaa energiaa voidaan pitää melko uutena uusiutuvana energiana ja vertaillessa kuvan 3.3 lämpöpumppujen osuutta vastaavaa energiaa (noin 11 PJ) ja taulukon 3.1 uusiutuvien energialähteiden energiamääriä keskenään, voidaan todeta, että lämpöpumpun välityksellä saatava lämpö on selvästi eniten käytetty uusi uusiutuva energialähde tällä hetkellä Suomessa.

Suomessa uusiutuvan energian tuotannon kytkeytyminen tiivistä teollisuuteen tuo omat rajoitteensa uusiutuvan energian hyödyntämisen lisäämiselle, koska kyseisessä asetelmassa uusiutuvan energian tuottaminen on riippuvainen teollisuuden tuotantokapasiteetista ja tietyn tyyppisestä tuotannosta.



Kuva 3.3. Uusiutuvien energialähteiden käyttö Suomessa vuonna 2007. Uusiutuvien energialähteiden kokonaiskulutus ko. vuonna oli 364 PJ. Muut-sektori sisältää kierrätyspolttoaineiden ja muiden sekapoltttoaineiden bio-osuuden, biokaasun, purkupuun yms. bio-osuuden, muun bioenergian, tuulivoiman sekä aurinkoenergian. Kuva on luotu lähteen [2] pohjalta.

Taulukko 3.1. Kuvan 3.3 muut-sektoriin kuuluvien energiamuotojen ja niiden tuottaman energian tarkempi kuvaus. Taulukko on luotu lähteen [2] pohjalta.

Energiamuoto	PJ
Kierrätys- ja muut sekapoltttoaineet (bio-osuus)	3,0
Biokaasu	1,7
Purkupuun yms. (bio-osuus)	1,7
Muu bioenergia	0,9
Tuulivoima	0,7
Liikenteen biopolttoneeste	0,08
Aurinkoenergia	0,04

3.2 Energian käyttökohteet ja sähkön ja lämmön tuotanto Suomessa

Selkeästi suurin energiankuluttaja Suomessa on tänä päivänä teollisuus. Vuonna 2007 *energian loppukäyttö*⁷ jakautui Suomessa siten, että teollisuuden osuus oli 50 %, rakennusten lämmityksen osuus oli 21 %, liikenteen osuus oli 17 % ja muun sektorin (mikä sisältää kotitalouksien, julkisen ja yksityisen palvelusektorin, maa- ja metsätalouden sekä rakennustoiminnan sähkön ja polttoaineiden käytön) osuus kattoi loput 12 % [2]. Suomen teollisuus kuluttaa tänä päivänä siis puolet kaikesta energian lopputuotteista, mikä tarkoittaa, että Suomessa on erittäin energiaintensiivinen teollisuusrakenne [28]. Edellä mainittujen tilastojen valossa myös rakennusten lämmitys lohkaisee huomionarvoisen osan energian loppukäytöstä Suomessa.

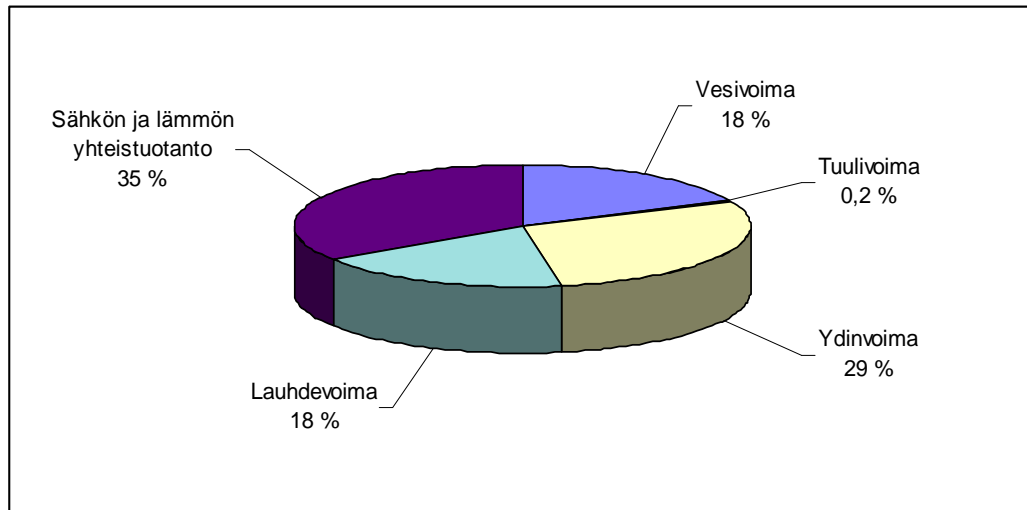
Sähkö ja lämpö ovat ihmisen jokapäiväisen elämän kannalta oleelliset sekundäärienergian muodot ja vuonna 2007 Suomessa tuotettiin sähköä ja lämpöä yhteensä noin 173 TWh. **Sähköä** tuotettiin kyseisenä vuonna yhteensä 77,8 TWh, mikä jakaantui eri tuotantomuodoittain kuvan 3.4 havainnollistamalla tavalla. Kuvassa lauhdevoima-sektori sekä sähkön ja lämmön yhteistuotanto -sektori sisältävät sekä fossiilisilla että uusiutuvilla polttoaineilla tuotettua sähköä. Tuona vuonna sähköä tuotettiin Suomessa eniten fossiilisilla polttoaineilla (hiili, maakaasu, öljy), mikä kattoi 31 % kaikesta tuotetusta sähköstä. Uusiutuvien energialähteiden ja ydinvoiman avulla tuotetut sähkömäärät olivat fossiilisilla polttoaineilla tuotetun sähkömäärän kanssa hyvin samansuuruiset, sillä uusiutuvien energialähteiden osuus oli 30 % ja ydinvoiman osuus oli 29 % kokonaissähköntuotannosta. Turpeella tuotettiin noin 9 % sähköstä. Suomen sähköntuotannossa hyödynnetään siis eri tuotantomuotoja varsin tasaisesti, kun huomioidaan se, että turvetta ei sisällytetä Suomessa fossiilisiin polttoaineisiin. [35,36]

Suomessa ylivoimaisesti eniten sähköä kuluu teollisuuden ja rakentamisen (sisältää mm. metsä- ja metalliteollisuuden sekä kemian teollisuuden) tarpeisiin, sillä sen kulutusosuus on vuoden 2007 tilastojen mukaan hieman yli puolet kaikesta tuotetusta sähköstä Suomessa. Samana vuonna koti- ja maatalouksien sähkönkulutus on puolestaan neljäsosa, ja palveluiden ja julkisen kulutuksen osuus on noin viidesosa kokonaissähkönkulutuksesta. [37]

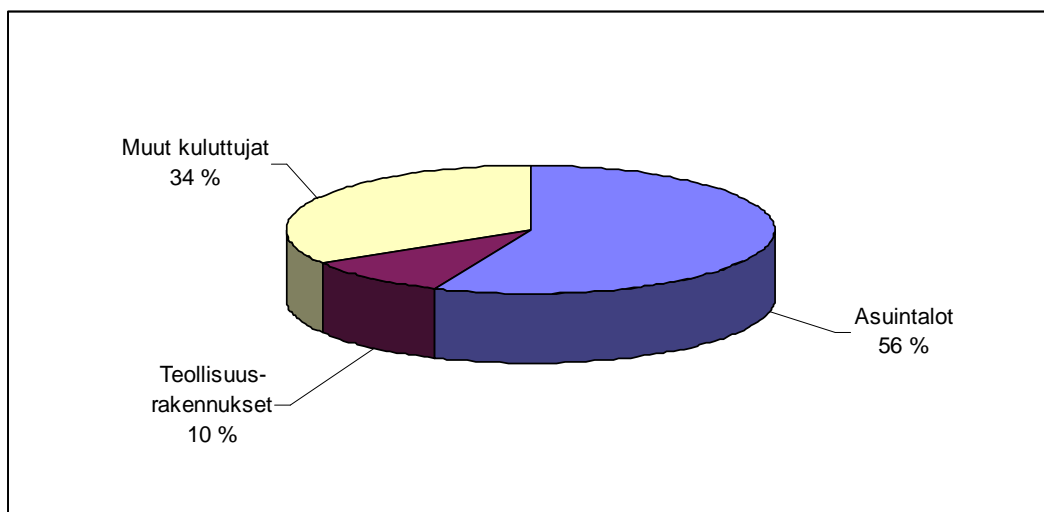
Lämpöä tuotetaan Suomessa sähkön ja lämmön yhteistuotannon sekä lämmön erillistuotannon avulla. Vuonna 2007 lämpöä tuotettiin Suomessa yhteensä 95,3 TWh, josta

⁷ Energian loppukäytöllä tarkoitetaan tässä energian lopputuotteiden (sähkön, lämmön, rakennusten lämmitykseen käytettävien polttoaineiden, liikennepolttoaineiden ja teollisuuden prosessipolttoaineiden) kulutusta, mikä on laskettu vähentämällä energian kokonaiskulutuksesta muunto- ja siirtohäviöt. [34]

teollisuuslämmön osuus oli 65 % ja kaukolämmön osuus oli 35 % [35]. Kaiken kaikkiaan teollisuuslämmöstä tuotettiin 61 % uusiutuvan energian avulla ja huomionarvoista on, että tämä osuus koostui pääasiassa metsäteollisuuden jäteliemistä ja muista puupolttoaineista [36]. Kaukolämmöstä tuotettiin puolestaan 14 % uusiutuvaa energiaa hyödyntämällä, 21 % turpeella ja merkittävin kaukolämmön lähde oli 62 % osuudella fossiiliset polttoaineet (maakaasu, hiili ja öljy) [36]. Suurin kaukolämmön kuluttaja Suomessa ovat asuintalot, mikä selviää kuvasta 3.5.



Kuva 3.4. Sähkön tuotanto tuotantomuodoittain Suomessa vuonna 2007 sähkön kokonaistuotannon ollessa 77,8 TWh. Kuva on luotu lähteiden [35,36] pohjalta.



Kuva 3.5. Kaukolämmön kulutus sektoreittain Suomessa vuonna 2007. Kuva on luotu lähteen [37] pohjalta.

3.3 Uusiutuvan energian käyttö Suomessa verrattuna muihin EU-maihin

Suuren bioenergian hyödyntämisen ansiosta Suomi kuuluu uusiutuvan energian käytön suhteen EU:n kärkimaihin. Uusimman EU-maita koskevan tilastoinnin mukaan vuonna 2006 EU27-maissa *uusiutuvan energian osuus energian loppukulutuksesta*⁸ oli keskimäärin 9,2 %, kun Suomen vastaava osuus oli 28,9 %. Erilaisesta laskentatavasta johtuen kyseisessä EU:n tilastoinnissa Suomen uusiutuvan energian osuus on suurempi kuin Suomen omissa tilastoissa (vuonna 2006 uusiutuvan energian osuus energian kokonaiskulutuksesta oli Suomessa 24 % [2]). EU-maista ainoastaan Ruotsi ja Latvia ovat uusiutuvan energian käytössä Suomea edellä, sillä vuonna 2006 Ruotsissa uusiutuvan energian osuus suhteessa energian loppukulutukseen oli 41,4 % ja Latviassa 31,4 %. [25]

Suomi on siis edelläkävijämaa uusiutuvan energian käytössä, mutta kuten luvussa 3.1 havaittiin, bioenergian ohella Suomessa hyödynnetään kuitenkin vielä toistaiseksi hyvin vähän muita uusiutuvan energian muotoja, kuten aurinko- ja tuulienergiaa sekä maalämpöä. Suomessa ja Euroopassa käytettävien uusiutuvien energiamuotojen suhteen yksi selvä yhteneväisyys on se, että vuoden 2006 tilastoinnin mukaan Euroopassa kulutetaan uusiutuvan energian eri muodoista eniten bioenergiaa kuten Suomessakin [25]. Maakohtaiset erot eri energiamuotojen käytössä ovat kuitenkin suuret. Esimerkiksi tuulienergian hyödyntäminen on Suomessa toistaiseksi aivan alkutekijöissään verrattuna muihin Euroopan maihin. Vuoden 2008 loppuun mennessä Suomessa oli yhteensä 118 tuulivoimalaitosta, joiden yhteiskapasiteetti oli 143 MW [38]. Samana vuonna esimerkiksi Ruotsissa tuulivoimakapasiteetti oli 1.021 MW ja eniten Euroopassa tuulivoimaa tuottavissa maissa eli Saksassa ja Espanjassa luvut olivat 23.903 MW ja 16.740 MW [39].

⁸ Uusiutuvan energian osuus energian loppukulutuksesta lasketaan seuraavasti: (uusituvilla energialähteillä tuotetun lämmön loppukulutus + uusiutuvilla energialähteillä tuotettu sähkö + liikenteessä käytettävät biopolttoaineet) / (kaikkien eri energialähteiden loppukulutus). Energian loppukulutus sisältää energian, joka on sähkön, kaukolämmön ja polttoaineen muodossa. Lisäksi siihen kuuluu tässä yhteydessä voimalaitosten oma energian käyttö sekä sähkön ja kaukolämmön siirto- ja jakeluhäviöt. Loppukuluttajia ovat mm. teollisuus, palvelut, liikenne sekä kotitaloudet. [22,25]

3.4 EU:n energia- ja ilmastostrategia ja Suomen tavoitteet

Ilmastonmuutoksen torjuminen on otettu Euroopan unionin sisällä vakavasti ja uusin käytännön toimenpideohjelma ilmaston lämpenemisen estämiseksi on EU:n vuonna 2008 hyväksymä *energia- ja ilmastostrategia*, mikä sisältää haastavan tavoitteen karsia kasvihuonekaasupäästöjä 20 % vuoteen 2020 mennessä vuoden 1990 tasoon nähden EU:ssa. Strategiaan on kirjattu myös tavoite parantaa energiatehokkuutta EU:ssa 20 % verran vuoteen 2020 mennessä ja uusiutuvan energian osalta strategian tavoitteena on, että vuoteen 2020 mennessä uusiutuvien energialähteiden osuus olisi 20 % energian loppukulutuksesta EU:ssa. EU:n komission Suomelle asettama kansallinen tavoite on nostaa uusiutuvan energian osuus 38 % vuoteen 2020 mennessä. [22]

EU:n toimielimissä päätetyt linjaukset ja lainsäädäntö vaikuttavat tulevaisuudessa entistä enemmän Suomessa tehtäviin energiaratkaisuihin, mutta yksityiskohtaiset kansalliset toimenpiteet päätetään yhä maan sisällä [22,28]. Vuodelle 2020 asetettujen uusien tavoitteiden yleisluontoinen toteutussuunnitelma on esitetty Suomen Valtioneuvoston pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategiassa. Ennen uuden energiastrategian tarkkaa toteutussuunnitelmaa Suomen kansalliset lähitulevaisuutta koskevat tavoitteet uusiutuvan energian lisäämiseksi on laadittu kauppaja- ja teollisuusministeriön uusiutuvan energian edistämishjelmassa 2003-2006, missä on esitetty uusiutuvan energian kasvutavoitteet vuoteen 2010 mennessä vuoden 2001 tasoon nähden. Tämän edistämishjelman mukaan uusiutuvan energian käyttöä tulisi lisätä vuoden 2001 tasosta 30 % vuoteen 2010 mennessä. Kyseiset lisäystavoitteet eri energialähteittäin jaoteltuna nähdään taulukossa 3.2. Uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön, joka sisältää bioenergialla, vesivoimalla, tuulivoimalla ja auringon avulla tuotetun sähkön, tavoitteeksi on asetettu 31,5 % kokonaissähkönkulutuksesta vuoteen 2010 mennessä. [40]

Tarkastelemalla taulukossa 3.2 havainnollistettuja vuodelle 2010 asetettuja tavoitteita vuoden 2007 uusiutuvan energian käytön tilanteeseen nähden (ks. kuva 3.3 ja taulukko 3.1), voidaan todeta, että vesivoiman tavoitteet näyttävät mahdollisilta toteutua ja bioenergian tavoitteet myös, jos bioenergian kasvuvauhti nousee kuitenkin jonkin verran vuosien 2001-2007 välisestä kasvuvauhdista vuosien 2007-2010 välisenä aikana. Huomionarvoista on lisäksi, että lämpöpumppujen tavoite on jo vuonna 2007 ylittänyt reilusti vuodelle 2010 asetetun tavoitteen. Toisaalta tuulivoiman ja aurinkoenergian tavoitearvosta puuttuu molemmista vielä paljon vuonna 2007 ja tätä vauhtia tavoitteet tulevat tuskin toteutumaan vuoteen 2010 mennessä.

Taulukko 3.2. Uusiutuvien energialähteiden käyttö vuonna 2001 ja käytön tavoitteet vuodelle 2010 Suomessa. Taulukko on luotu lähteen [40] pohjalta.

Polttoaine/ Energiälähde	2001 (PJ)	2010 (PJ)	Lisäys vuodesta 2001
Bioenergia	267,2	349	31 %
Vesivoima	46,9	52	12 %
Tuulivoima	0,25	4,0	16 x
Aurinkoenergia	0,021	0,33	16 x
Aurinkosähkö	0,008	0,17	20 x
Aurinkolämpö	0,013	0,17	13 x
Lämpöpumput	2,73	7	147 %
<i>Yhteensä</i>	<i>317</i>	<i>412</i>	<i>30 %</i>

Käytännössä laaditut tavoitteet on pyritty ja pyritään toteuttamaan erilaisilla toimenpiteillä, kuten uuden teknologian kehittämisellä ja kaupallistamisella, erilaisten hallinnollisten esteiden poistamisella, taloudellisilla ohjausmenetelmillä sekä tiedotuksen, neuvonnan ja koulutuksen avulla [22,40]. Myös kuluttajien tietoisuus ympäristöasioista edistää tavoitteiden saavuttamista. Esimerkiksi ilmaston lämpeneminen on jatkuvasti esillä suomalaisessa mediassa (ks. [41], [42] ja [43]), mikä lisää ihmisten tietoutta asiasta ja saa osaltaan ihmiset pohtimaan esimerkiksi oman kotinsa energiaratkaisuja.

4. Pientalojen energian käytöstä

Tässä luvussa tehdään katsaus siihen, mihin ja kuinka paljon energiaa kuluu suomalaisissa pientaloissa. Lisäksi tarkastellaan, millä eri lämmitysmuodoilla suomalaiset pientalot lämpiävät nykyisin.

4.1 Energian tarve kohteittain

Suomalaisessa pientalossa kuluu energiaa eri kohteisiin taulukon 4.1 havainnollistamalla tavalla. Siitä nähdään, että selvästi eniten energiaa (keskimäärin 50 % kaikesta kulutetusta energiasta) kuluu pientalossa tilojen lämmitykseen. Lämmitettäviä tiloja ovat asuintilat, märkätilat sekä puolilämpimät tilat [44]. Kaiken kaikkiaan lämmitysenergian tarve tyypillisessä pientalossa on noin 20.000 kWh/a ja suurin osa tästä kuluu talon lämmittämiseen talven aikana [33]. Toiseksi eniten suomalaisessa pientalossa energiaa vie huoneistojen ja kiinteistöjen sähkö (noin 20-30 %), mikä sisältää mm. valaistukseen, saunaan, viihde- ja pienlaitteisiin, ruoan valmistukseen ja kylmäsäilytykseen, astianpesuun, pyykinpesuun ja pyykin kuivaukseen sekä auton lämmitykseen kuluvan sähkön [44]. Kolmanneksi eniten pientalon käyttämästä energiasta kuluu käyttöveden lämmitykseen, jonka osuus on noin 10-25 % kodin energiankulutuksesta.

Koska Suomessa on selkeät vuodenaajat ja siten suuret erot lämpötiloissa ja saatavilla olevan valon määrässä, kotitalouksien energian tarve kohteittain vaihtelee myös vuodenajasta riippuen. Esimerkiksi talvella tarvitaan huomattavasti enemmän energiaa lämmitykseen ja valaistukseen kuin kesällä. [1]

Taulukko 4.1. Pientalon energiankulutus. Taulukko on luotu lähteen [1] pohjalta.

Tilojen lämmitys	40-60 %
Huoneisto- ja kiinteistösähkö	20-30 %
Käyttöveden lämmitys	10-25 %
Tuloilman esilämmitys	5-15 %

Pientalon elinkaaren ympäristöä kuormittavasta vaikutuksesta noin 80-90 % johtuu käytön aikaisesta energiankulutuksesta. Tämän takia yksi merkittävimmistä toimenpiteistä, mitä pientalossa asuva ihminen voi tehdä energiankulutuksen minimoimiseksi sekä

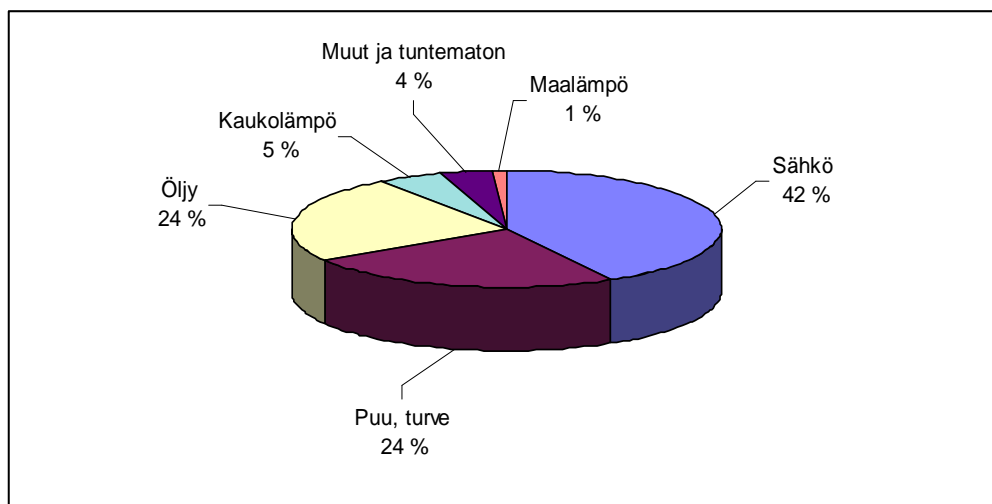
ympäristön kuormittamisen vähentämiseksi ja ilmastonmuutoksen torjumiseksi omalta osaltaan, on energiatehokkuuden parantaminen sekä uusiutuvan energian (esim. puun, auringon, maalämmön) käyttäminen kodissaan. [44]

Valtio tulee vastaan pientalojen energiatehokkuuden ja ympäristöystävällisyyden parantamistavoitteissa siten, että pientalojen energiakorjauksia tuetaan kotitalousvähennysten muodossa. Uudisrakennusten tapauksessa talojen energiatehokkuuteen liittyviä rakentamismääräyksiä tiukennetaan noin 30 %:n verran nykyisiin vaatimuksiin nähden ja tämä säädös astuu voimaan vuonna 2010. [22]

4.2 Lämmitysmuodot ja niiden jakautuminen

Kuvassa 4.1 on esitetty, millä eri energiamuodoilla suomalaisia pientaloja lämmitetään tänä päivänä. Siitä voidaan lukea, että suurin osa suomalaisista pientaloista lämmitetään nykypäivänä sähkön avulla. Öljyä hyödyntää lämmityksessä noin neljännes pientaloista ja vastaavasti puun ja turpeen avulla lämmitetään noin neljäsosa pientaloista. Kaukolämmityksen avulla puolestaan lämmitetään 5 % pientaloista. Maalämmöllä lämmitettyjen pientalojen osuus on toistaiseksi vähäinen, vain 1 %, mutta se tulee tilastojen valossa kasvamaan tulevaisuudessa [45].

Pientalojen lämmitysmuotojen käytössä on eroja sen mukaan, missä talo sijaitsee. Taajamissa pääasiallinen lämmitysmuoto on kaukolämpö, kun taas haja-asutusalueilla talot lämmitävät pääosin öljyllä, puulla ja suoralla sähkölämmityksellä [3].



Kuva 4.1. Pientalojen lämmitysmuodot vuonna 2007 (kpl). Kuva on luotu lähteen [3] pohjalta.

5. Aurinko- ja maalämmön hyödyntäminen pientaloissa

Tässä luvussa tarkastellaan Suomen olosuhteisiin sopivia aurinko- ja maalämmöllä toimivia pientalojen energiajärjestelmiä, jotka perustuvat joko suoraan (aurinkokeräinjärjestelmät) tai epäsuoraan (maalämpöjärjestelmät) auringon säteilyenergiaan ja maalämmön tapauksessa myös osittain geotermiseen lämpöön. Luvussa 5.1 tarkastellaan aluksi auringon energiapotentiaalia. Tämän jälkeen luvussa 5.2 perehdytään aurinkolämpöjärjestelmiin keskittyen erityisesti tasokeräimiin ja luvussa 5.3 tarkastellaan maalämpöjärjestelmiä ja niihin liittyen lämpöpumpun toimintaa. Aurinko- ja maalämpöjärjestelmien tarkastelussa keskitytään järjestelmien fysikaaliseen taustaan, asennusvaihtoehtoihin ja laitteistomalleihin sekä toimintaperiaatteisiin. Lisäksi tutkitaan kyseisten lämmityssystemien etuja perinteisiin järjestelmiin verrattuna.

5.1 Aurinko energialähteenä

Noin 5 miljardia vuotta vanha, fuusioreaktiolla toimiva aurinko on maapallon suurin energianlähde. Maapallolle saapuu auringonsäteilyä vuosittain noin $5,4 \cdot 10^{24}$ J ja tämä säteily määrä jakaantuu siten, että noin 30 % maapallolle tulevasta auringonsäteilystä *heijastuu* ilmakehästä takaisin avaruuteen ja noin 70 % auringonsäteilystä läpäisee ilmakehän ja *saapuu maapallon pinnalle* asti. Edelleen noin 67 % maapallon pinnalle saapuvasta säteilystä muuttuu suoraan ilman, maan ja merien lämmöksi, ja noin 33 % maapallon pinnalle saapuvasta säteilystä kuluu hydrologisen kierron ylläpitoon, mikä käsittää veden haihtumisen ja sateet. Alle prosentti maapallon pinnalle tulevasta auringon säteilyenergiasta kuluu puolestaan tuulen, aaltojen ja virtojen synnyttämiseen sekä fotosynteesiin. [7]

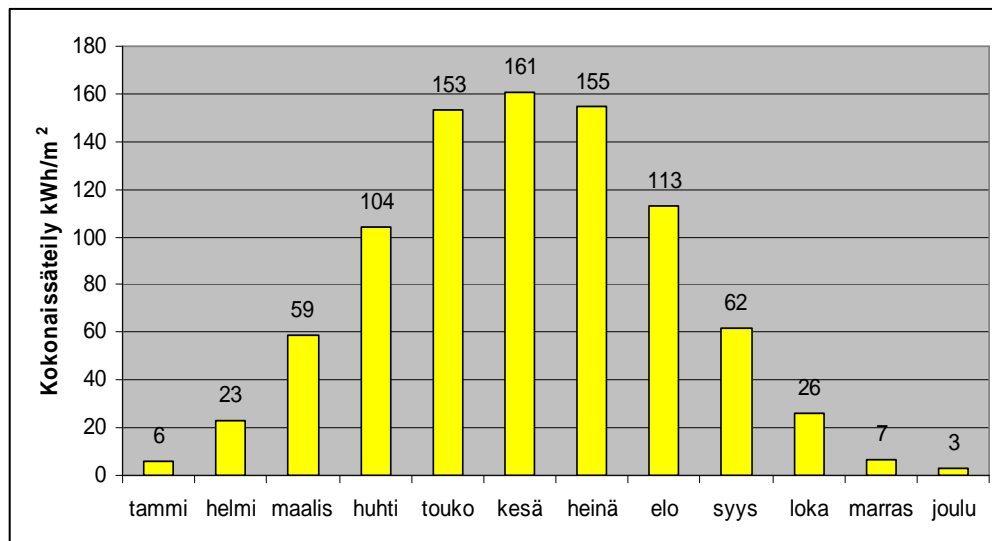
Maapallon pinnalle asti vuosittain saapuva auringonsäteily on suuruudeltaan noin $3,8 \cdot 10^{24}$ J ($1,06 \cdot 10^{18}$ kWh) ja tämän *sähkömagneettisen säteilyn*⁹ aallonpituus vaihtelee ultraviolettisäteilyn aallonpituusalueesta näkyvän valon alueen kautta infrapunasäteilyn aallonpituusalueeseen. Auringon potentiaali energialähteenä on valtava, sillä maapallon pinnalle asti saapuva vuotuinen säteilyenergiämäärä on noin 10.000 kertaa suurempi kuin vuotuinen primäärienergian tarve maapallolla. [4,7]

⁹ Sähkömagneettisella säteilyllä tarkoitetaan liikkuvaa sähkömagneettista aaltoa, joka koostuu toisiaan vastaan kohtisuorassa olevista ajan suhteen muuttuvista sähkö- ja magneettikentistä [9].

Maapallolle tuleva auringon säteily voidaan jaotella kolmeen eri tyyppiin, jotka ovat suora säteily, hajasäteily ja kokonaissäteily. *Suora säteily* on säteilyä, joka on saapunut maahan suoraan ilmakehän läpi. *Hajasäteilyllä* tarkoitetaan säteilyä, joka on matkallaan sironnut ilmakehässä esimerkiksi pilvistä. Suora säteily ja hajasäteily muodostavat yhdessä auringon *kokonaissäteilyn* eli *globaalisäteilyn*, jonka määrä ilmoitetaan vaakatasoon osuvalle pinnalle. [46]

Suomen aurinko-olosuhteet riippuvat vallitsevasta ilmastosta, johon vaikuttaa oleellisesti Suomen maantieteellinen sijainti etelä-pohjoissuunnassa katsottuna 60. ja 70. leveysasteen välissä. Koska Suomi sijaitsee kaukana päiväntasaajalta, vuodenajat ovat selkeät ja auringonsäteilyn saatavuus vaihtelee voimakkaasti eri vuodenaikoina. Lisäksi auringon paisteessa on selviä eroja Suomen etelä- ja pohjoisosien välillä. Eniten aurinko paistaa vuosittain Suomessa lounaisilla rannikko- ja merialueilla ja vähiten Itä-Lapissa. Vuosittainen auringon säteily määrä vaakatasoon Etelä-Suomessa on noin 1.000 kWh/m^2 ja Keski-Suomessa noin 900 kWh/m^2 [33]. Yleisesti ottaen Suomessa saatavat säteilymäärät ovat noin puolet pienempiä Etelä-Euroopan maihin verrattuna [47]. [48,49]

Kuvassa 5.1 on havainnollistettu säteilymäärän vuodenaikavaihteluita Keski-Suomessa Jyväskylässä. Siitä nähdään, että aurinkoenergiaa saadaan Keski-Suomessa eniten maalissyyskuun välisenä aikajaksona ja keskitalvella saatavat säteilymäärät ovat pieniä. Suoraan hyödynnettävä aurinkoenergia soveltuukin Suomen leveyspiireillä täydentäväksi energiamuodoksi [33,47].



Kuva 5.1. Auringon kokonaissäteilyn kuukausikeskiarvot Jyväskylässä aikavälillä 1971-2000. Kuva on luotu lähteen [50] pohjalta.

5.2 Aurinkolämpö

Aurinkolämmöllä tarkoitetaan auringon säteilyenergian hyödyntämistä lämmityksessä. Suomessa aurinkolämmön hyödyntäminen on nykyisin vielä pienimuotoista moniin muihin Euroopan maihin verrattuna, mutta sen markkinakehitys on ollut Suomessakin kasvusuuntaista viime vuosikymmeninä. Suurin osa aurinkolämmöstä on asennettu alueellisesti katsottuna Etelä- ja Keski-Suomeen ja aurinkokeräinten kasvua vauhdittaa varsinkin aurinkolämmön hyödyntäminen öljylämmityksen rinnalla [51,52]. Vuonna 2007 Suomessa oli noin 21.000 m² lasikatettuja aurinkokeräimiä, mikä on määrältään vielä varsin pieni ottaen huomioon vuodelle 2010 asetetun (vuoden 1999 uusiutuvan energian edistämishjelman) tavoitteen, joka on 100.000 m² aurinkokeräimiä [2,51].

5.2.1 Passiivinen ja aktiivinen aurinkolämpö

Aurinkolämpöä voidaan hyödyntää kahdella eri tavalla, joko passiivisesti tai aktiivisesti. *Passiivisella aurinkolämmön hyödyntämisellä* tarkoitetaan sitä, että rakennus kerää aurinkoenergiaa itse (eli toimii aurinkokeräimenä) ja varastoi kerätyn lämmön rakenteisiinsa ja luovuttaa sitä eteenpäin käyttökohteisiin, esimerkiksi huonetiloihin. Tässä tavassa lämpö siirtyy eteenpäin luonnollisesti ilman koneiden apua, mutta säätö/varjostusjärjestelmä tällaiseen taloon tarvitaan. Passiivisesti aurinkolämpöä hyödyntävässä pientalossa tulee olla myös toimiva tuuletus yllälämpenemisen estämiseksi. [33,46]

Käytännössä kaikki talot hyödyntävät aurinkolämpöä jossain määrin passiivisesti. Se, kuinka paljon aurinkolämpöä voidaan käyttää hyödyksi passiivisella menetelmällä, riippuu mm. rakennuksen sijoituksesta ja suuntauksesta, rakennuksen muodosta, ikkunoiden suuruudesta ja sijainnista sekä rakennusmateriaaleista. Rakennuksen kokonaislämmöntarpeesta on mahdollista kattaa enimmillään noin viidesosa passiivisen aurinkolämmön avulla. [1,33]

Jos aurinkolämpöä halutaan hyödyntää passiivisesti mahdollisimman paljon, tulee rakennus sijoittaa tuulelta suojaiselle paikalle, jossa on aurinkoa hyvin saatavilla. Hyvä sijoituspaikka on erityisesti etelärinne. Tuulensuojana voidaan käyttää maastoa ja puita sekä muuta kasvillisuutta. Talon sijoituksessa on otettava myös huomioon, että taloa ei kannata sijoittaa kylmien ilmavirtausten takia notkoon, mutta korkealle kylläkin korkeamman lämpötilan takia. Passiivisesti aurinkolämpöä käyttävän rakennuksen julkisivupinta-alasta

kannattaa suunnata suurin osa etelää kohti, sillä eteläjulkisivuun saapuu vuosittain noin 1,5 -kertainen määrä auringonsäteilyä itä- ja länsijulkisivuun verrattuna ja noin 2-3 -kertainen määrä pohjoisjulkisivuun verrattuna. Lisäksi lämmönjohtumishäviöiden minimoimiseksi talon ulkopinta-alan tulisi olla mahdollisimman pieni. Koska passiivisessa tavassa aurinkoenergian hyödyntäminen tapahtuu ikkunoiden kautta, saadaan auringon säteilyenergiaa parhaiten talteen sijoittamalla suurin osa rakennuksen ikkunoista etelään. Ikkunoiden kautta talon sisälle tulevan energian talteenoton kannalta merkitystä on erityisesti talon sisällä olevilla materiaaleilla eli esimerkiksi lattian, seinien ja muurin materiaaleilla. Raskaat materiaalit, kuten tiili ja betoni ovat lämmönvarastointikyvyiltään parempia kuin puun kaltaiset kevyet materiaalit. [33]

Passiivisesti aurinkoa hyödyntävän talon varjostusjärjestelmä pitää huolen siitä, että auringosta tulevaa energiaa saadaan sopiva määrä taloon erityisesti kuumaan kesäaikaan. Järjestelmän tärkein tehtävä on säädellä auringon suoran säteilyn pääsyä rakennukseen. Lisäksi järjestelmällä voidaan kontrolloida auringon hajasäteilyä sekä maasta ja muilta pinnoilta heijastunutta säteilyä. Pohjoismaissa erityisesti talon yllilämpenemisen estämisen kannalta varjostusjärjestelmän tärkeimpiä komponentteja ovat erilaiset talon ulkopuolella sijaitsevat liikuteltavat varjostusmenetelmät, kuten sälekaihtimet, ikkunaluukut ja markiisit. Niillä voidaan säädellä tehokkaasti ja helposti suoran säteilyn, hajasäteilyn sekä heijastuneen säteilyn pääsemistä talon sisälle. Sisäisillä liikuteltavilla varjostusmenetelmillä, kuten sälekaihtimilla ja verhoilla, ei voida niinkään pienentää lämmön pääsyä sisään, mutta niillä voidaan kontrolloida valon määrää ja ehkäistä häikäisevän valon pääsyä sisälle. [53]

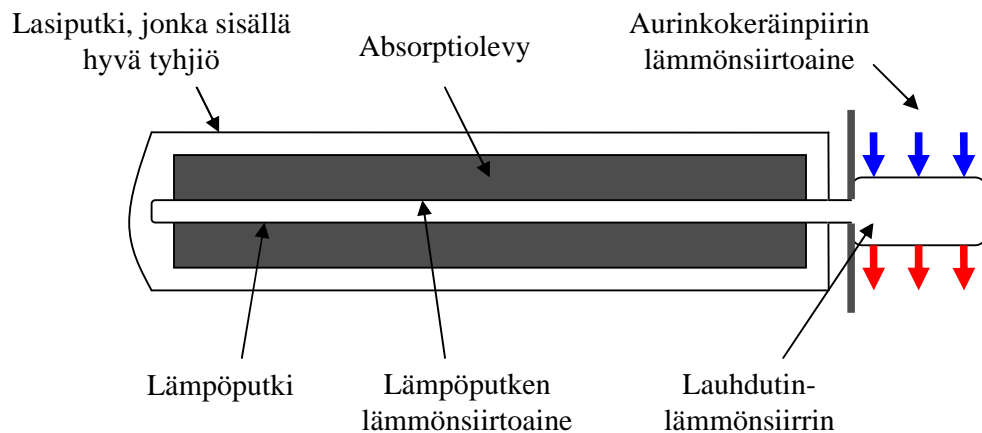
Aurinkolämmön aktiivinen hyödyntäminen perustuu puolestaan aurinkoenergian suoraan hyödyntämiseen erilaisten aurinkokeräinten avulla. Toimintaperiaatteena on, että aurinkokeräimet muuntavat niihin tulevan säteilyn lämmöksi ja tämä lämpö varastoidaan ja siirretään lämmönjakopiirien avulla edelleen käyttökohteisiin [46]. Suomessa aktiivisen aurinkolämmön käyttökohteita pientaloissa ovat pääasiassa lämpimän käyttöveden lämmitys sekä pesu- ja märkätilojen lattialämmitys. Koska aurinko paistaa eniten kesäaikaan, jolloin huonetilojen lämmittämiseen ei ole tarvetta, on aurinkoenergian valjastaminen etenkin käyttöveden lämmittämiseen järkevää. Lattialämmitys kevättalven ja syksyn välisenä aikana soveltuu myös hyvin aurinkolämmön hyödyntämiseen Suomessa. [33,47,51]

Aktiivisesti aurinkolämpöä hyödyntävät keräintyyppit voidaan luokitella *keskittäviin keräimiin*, *tasokeräimiin* ja *tyhjiöputkikeräimiin*. Keskittävät keräimet soveltuvat hyödyntämään lähinnä suoraa auringonsäteilyä, kun taas tasokeräimet ja tyhjiöputkikeräimet kykenevät hyödyntämään suoran säteilyn lisäksi hajasäteilyä [33,46]. Talon lämmitykseen ja

käyttöveden lämmitykseen käytetään tyypillisesti tasokeräimiä ja tyhjiöputkikeräimiä, joista tasokeräimet ovat toistaiseksi selvästi yleisempiä Euroopassa [54]. Tyhjiöputkikeräimet ovat tasokeräimiä tehokkaampia erityisesti kylmissä, pilvisissä ja tuulisissa olosuhteissa, mutta tyhjiöputkikeräimet ovat kalliimpia tasokeräimiin nähden [4,21].

5.2.2 Keräinmallit: tyhjiöputkikeräimet ja tasokeräimet

Tyhjiöputkikeräimet (*engl. Evacuated tube collectors*) koostuvat vierekkäin kiinnitetyistä lasisista tyhjiöputkista, joiden sisällä on lämpöputkella varustettu metallinen absorptiolevy (kuva 5.2). Sekä lämpöputki että absorptiolevy ovat yleensä kuparisia. Keräimeen tuleva auringon säteily saa lämpöputken sisällä olevan lämmönsiirtoaineen (esim. metanolin) höyrystymään ja höyry kulkeutuu lämpöputkea pitkin ylöspäin keräimen yläosaan, jossa se tiivistyy ja luovuttaa lämpönsä lauhdutin-lämmönsiirtimen kautta aurinkokeräinpiiriin lämmönsiirtoaineeseen (esim. veteen tai glykoliin). Tämän jälkeen lämpöputkessa oleva lämmönsiirtoaine palaa takaisin keräimen alaosaan, jossa se höyrystyy uudelleen ja sykli toistuu. Aurinkokeräinpiiriin lämmönsiirtoaineeseen luovutettu lämpö siirtyy puolestaan edelleen lämmönsiirtimen kautta varaajaan, josta lämpö hyödynnetään käyttöä varten. [4,21]

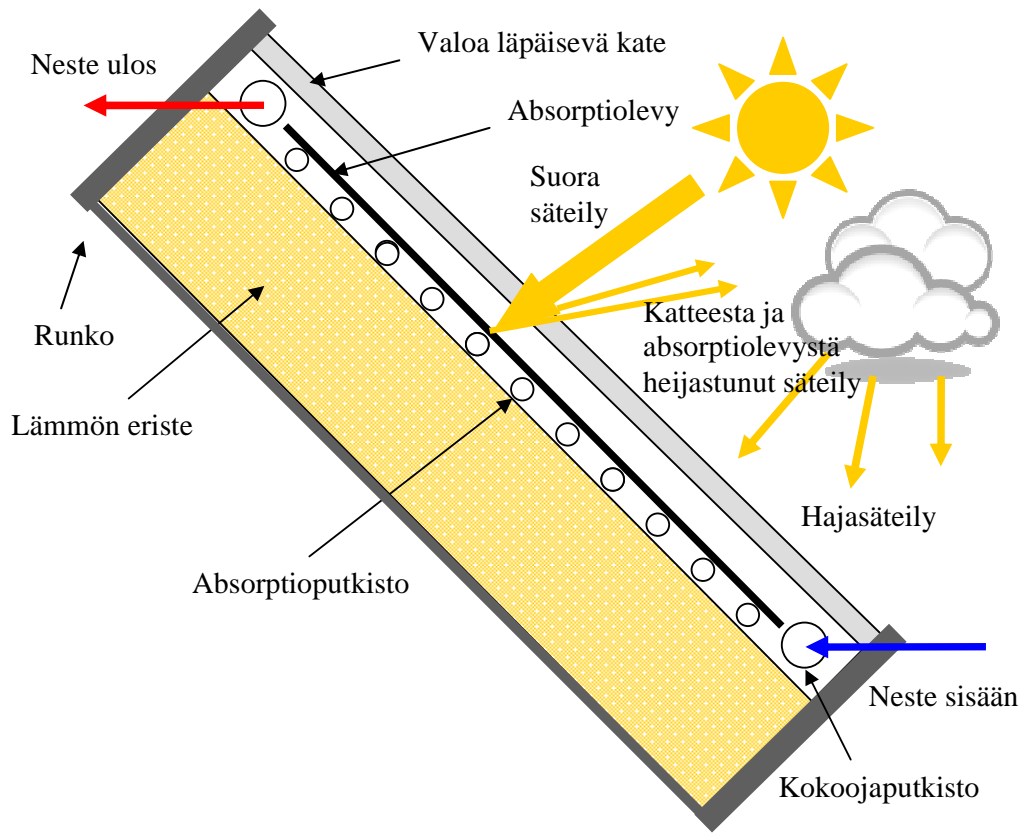


Kuva 5.2. Tyhjiöputkikeräimen rakenne, kun putki on havainnollistettu ylhäältäpäin. Kuva on luotu lähteen [4] pohjalta.

Tasokeräimet (*engl. Flat-plate collectors*) keräävät säteilyä tyypillisesti metallista valmistetun absorptiolevyn avulla, joka pystyy absorboimaan säteilyä koko pinta-alallaan. Tumma absorptiolevy kuumenee absorboidessaan säteilyä ja muuntaa auringosta tulevaa valosäteilyä termiseksi energiaksi. Kerätty lämpö siirretään tasokeräimessä joko nesteen tai ilman välityksellä edelleen käyttökohteeseen tai lämpövarastoon, ja tasokeräintyyppit voidaan luokitella lämmönsiirtotavan mukaan nestekiertoisiin tasokeräimiin ja ilmakiertoisiin tasokeräimiin. Näistä keräintyyppistä tänä päivänä tyypillisesti käytetty tasokeräinmalli on *nestekiertoinen tasokeräin*, joka kerää ilmakiertoiseen keräimeen verrattuna lämpöä paremmin (koska nesteellä on ilmaa parempi lämpökapasiteetti¹⁰) ja soveltuu ilmakiertoista keräintä paremmin mm. käyttöveden lämmittämiseen. [21,33]

Nestekiertoinen tasokeräin on havainnollistettu kuvassa 5.3, jossa on keräimen lisäksi kuvattu keräimeen saapuvaa suoraa säteilyä ja hajasäteilyä. Auringon säteily osuu ensin keräimen päällä olevan, valoa läpäisevän katteen kautta absorptiolevyyn, joka lämpenee. Lämpö siirtyy yleensä kuparista tai alumiinista tehdystä absorptiolevystä edelleen nesteeseen, joka kiertää tiheässä putkistossa joko absorptiolevyn päällä tai alla tai vaihtoehtoisesti levyyn upotetussa kanavistossa. Tyypillisesti materiaaliltaan kuparia oleva absorptioputkisto koostuu vieri viereen asetetuista yhteen liitetyistä putkista, jotka päätyvät kokoojaputkistoon keräimen molemmissa päissä (nesteen sisääntulo- ja ulostulokohdissa). Kokoojaputkiston kautta neste siirtyy edelleen lämmönvaihtimeen, jossa se luovuttaa sisältämänsä lämpöenergian joko suoraan käyttöön (käyttövedenvaraajaan) tai vaihtoehtoisesti lämpöä varastoivaan varaajaan myöhempää käyttöä varten [21]. [33,51]

¹⁰ Lämpökapasiteetti kuvaa aineen kykyä sitoa lämpöä massaa ja lämpötilaeroa kohti ja sen yksikkönä käytetään J/kgK [55].



Kuva 5.3. Nestekiertoisen tasokeräimen rakenne. Kuva on luotu lähteiden [51,56] pohjalta.

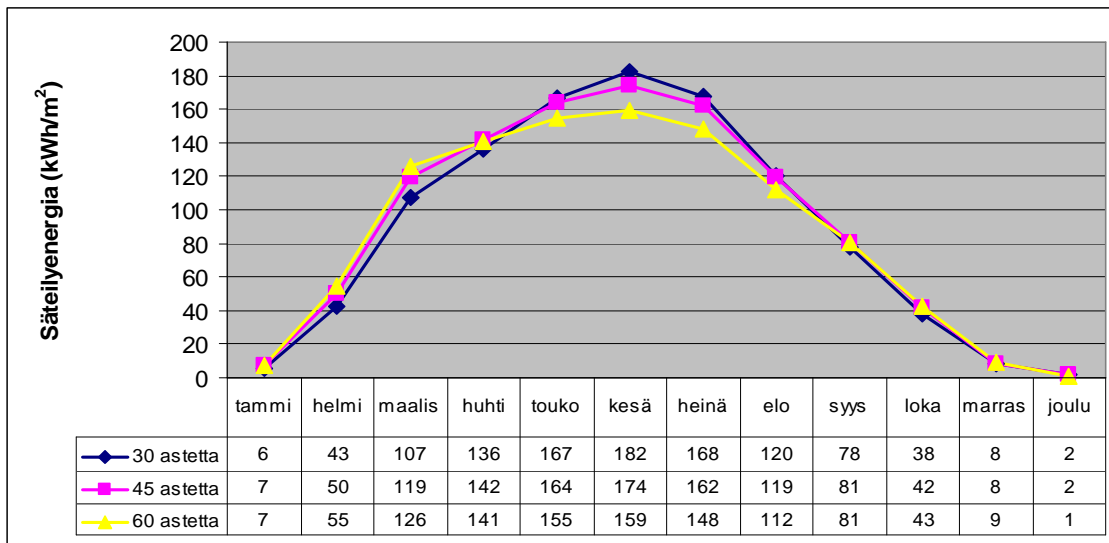
Nestekeräimissä voidaan nesteenä käyttää esimerkiksi vettä tai vesi-glykoliseosta [33]. Näistä puhtaalla vedellä on suurin lämpökapasiteetti ja hyvä pumpattavuus, mutta vesiglykoliseoksilla on puolestaan matalampi jäätymispiste ja korkeampi kiehumispiste kuin vedellä [33]. Kun neste ei jäädy pakkasilla, keräintä ei tarvitse tyhjentää talven ajaksi ja keräimen vuotuinen käyttöaika pitenee olettaen, että aurinkoa on myös kylmempään aikaan riittävästi saatavilla hyödyntämistä varten. Siten suomalaisissa asuintaloissa jäänestoaineella varustettu seos soveltuu hyvin keräimen nesteeksi.

Tasokeräimen toimintakykyyn vaikuttavat useat eri tekijät, jotka tulee ottaa huomioon keräimen suunnittelussa ja asennuksessa. Tasokeräimen lämmöntuotantoon vaikuttavia tekijöitä on mm. auringon säteilyn saatavuus ja tuulisuus, keräimen suuntakulma ja kallistuskulma, keräimen absorptiokyky, lämmönsiirtoaineen ominaisuudet, lämmöneristys ja tiiviys, katteen ominaisuudet, käyttölämpötila sekä keräimen lämpötilan ja ulkolämpötilan välinen lämpötilaero [33,51].

Energiantuoton optimoinnin kannalta on luonnollisesti keräimelle löydettävä sellainen paikka, johon saapuu mahdollisimman paljon auringonsäteilyä. Pientalojen tapauksessa tällainen paikka keräimelle löytyy tyypillisesti talon katolta. Lisäksi keräimen lämmöntuotannon kannalta edullinen paikka on myös mahdollisimman tuuleton, koska tuulisella paikalla lämpöhäviöt kasvavat. Sijoituksen lisäksi keräinten lämmöntuotantoon vaikuttaa oleellisesti niiden suuntaus, joka käsittää kaksi erilaista kulmaa: kallistuskulman ja atsimuuttikulman eli suuntakulman. *Kallistuskulmalla* tarkoitetaan keräimen ja vaakatason välistä kulmaa ja *atsimuuttikulmalla* tarkoitetaan keräimen poikkeamaa etelästä. [33]

Auringon korkeus vaakatasoon eli horisonttiin nähden vaihtelee eri vuodenaikoina ja käytännössä keräin tuottaa lämpöä parhaiten, kun auringon säteily osuu siihen kohtisuoraan. Tämä tarkoittaa sitä, että kallistuskulma asetetaan sen mukaan, mille vuodenajalle halutaan paras tuotto [33]. Kuvassa 5.4 on esitetty auringonsäteilyn saatavuus eri kallistuskulmilla Keski-Suomessa Jyväskylässä. Säteilyn kuukausikeskiarvoista havaitaan, että Jyväskylässä ympärivuotisen tuoton maksimoinnin kannalta paras kallistuskulma on 45 astetta. Talvi-ajan (aurinko matalalla) tuoton maksimoinnin kannalta jyrkempi 60 asteen kallistuskulma on optimaalisin ja kesä-ajan (aurinko korkealla) tuoton maksimoinnin kannalta puolestaan loivempi 30 asteen kallistuskulma antaa parhaan tuoton.

Suomessa ideaalinen atsimuuttikulma on nolla, mikä tarkoittaa, että keräin kannattaa asentaa suoraan etelää kohti. Keräimen 45 asteen poikkeama etelästä itään tai etelästä länteen pienentää keräimen vuosittaista lämmöntuottoa noin 10 prosenttia. [33,51]



Kuva 5.4. Kallistuskulman vaikutus keräimeen saapuvaan säteilyenergiaan eri vuodenaikoina Jyväskylässä. Kuva on luotu lähteen [33] pohjalta.

Tasokeräimet tuottavat lämpöä parhaiten, kun niitä hyödynnetään matalalämpöisen nesteen lämmittämisessä. Keräimen tuotto on sitä parempi, mitä matalammassa lämpötilassa keräintä käytetään, sillä lämpötilan kasvaessa myös lämpöhäviöt kasvavat. Esimerkiksi kylmän käyttöveden lämmitys ja lattialämmitys soveltuvat juuri matalalämpötilaratkaisuuina erittäin hyvin aurinkolämmön hyödyntämiseen ja yleensä ottaen aurinkokeräimen käyttö sopii tyypillisesti noin 40-70 °C lämpötilojen saavuttamiseen. [47,51]

Tasokeräimen lämmöntuottoon vaikuttaa oleellisesti myös se, kuinka hyvin lämpöhäviöt pystytään minimoimaan keräimessä. Lämpöhäviöitä tapahtuu ensinnäkin keräimen ja absorptioelementin pinnalta sekä keräimen reunoista *konvektion*¹¹ ja *lämpösäteilyn*¹² kautta. Lisäksi lämpöä voi karata absorptioelementin alapuolelta *lämmön johtumisen*¹³ muodossa. Läpinäkyvän katteen on tarkoitus minimoida lämpöhäviöitä kahdella tavalla. Ensinnäkin kate pienentää absorptioelementin konvektiosta aiheutuvia häviöitä, koska katteen ja absorptioelementin väliin jää seisova ilmakerros. Toiseksi kate päästää hyvin lävitseen auringosta tulevan lyhytaaltoisen säteilyn, mutta estää absorptioelementistä lähtevän pitkäaaltoisen lämpösäteilyn karkaamista ulos. Lisäksi kate suojaa keräimen sisäosaa ulkoisilta tekijöiltä, kuten sateelta, tuulelta ja lumelta. [21,56]

Keräimen pohjalla olevan eriste minimoi lämmön johtumisesta aiheutuvia lämpöhäviöitä absorptioelementin alapuolelta ja keräinten sijoittaminen tiiviisti vierekkäin pienentää keräinten pinnalta ympäröivään ilmaan tapahtuvaa konvektiota. Keräinelementtien pinnoilla käytetään usein lisäksi selektiivisiä pinnoitteita, jotka absorboivat hyvin lyhytaaltoista säteilyä, mutta estävät lämpösäteilyn pakenemista keräimestä ulos (vrt. lasikate). Selektiivisiä pinnoitteita valmistetaan mm. mustakromista ja mustanikkelistä, ja niiden avulla keräinten absorptiominaisuudet paranevat huomattavasti. [21,33]

Lämpöhäviöiden minimoimiseksi keräimen ja varaajan välisen nestekierto-putkiston ympärillä tulee olla hyvä eristys, ja samasta syystä keräinten ja varaajan etäisyys toisistaan on hyvä olla mahdollisimman pieni [1,33].

¹¹ Konvektiolla tarkoitetaan lämmön siirtymistä liikkuvan nesteen tai kaasun mukana [57]. Kun esimerkiksi ilma lämpiää, se laajenee ja harvenee, mikä aiheuttaa ilman nousemisen ylöspäin. Tällöin on kyseessä konvektio-ilmio [58].

¹² Lämpösäteilyllä tarkoitetaan lämpöenergian siirtymistä säteilyn avulla [58].

¹³ Lämmön johtumisessa lämpöenergia siirtyy materiaalisissa lämpöisessä alueesta kylmempää aluetta kohti [58]. Mikrotasolla tämä tarkoittaa lämmön siirtymistä enemmän energiaa sisältävistä aineen hiukkasista vierekkäisiin vähemmän energiaa sisältäviin hiukkasiin, mikä on seurausta hiukkasten välisestä vuorovaikutuksesta [8].

5.2.3 Aurinkokeräimien hyötysuhde

Keräinten tapauksessa *hyötysuhde* η_C (engl. *Collector efficiency*) kuvaa sitä, kuinka paljon keräimelle tulevasta auringon kokonaissäteilystä pystytään hyödyntämään eli muuntamaan lämpöenergiaksi. Toisin sanoen voidaan määrittellä, että

$$\eta_C = \frac{\dot{Q}_{out}}{E \cdot A_C}, \quad (5.1)$$

missä \dot{Q}_{out} on keräimen tuottama lämpöteho (W), E on keräinpinta-alalle tuleva kokonaissäteily (W/m^2) ja A_C on keräimen pinta-ala (m^2) [4].

Keräimen tuottamalle lämpöteholle \dot{Q}_{out} pätee, että

$$\dot{Q}_{out} = \eta_0 \cdot E \cdot A_C - \dot{Q}_{RC}, \quad (5.2)$$

missä η_0 on optinen tehokkuus, joka kuvaa keräimen tehokkuutta silloin, kun keräimen lämpötila ja ulkoilmalämpötila ovat samat, eikä lämpöhäviöitä tapahdu ollenkaan (muut häviöt ovat katteeseen liittyviä optisia häviöitä). E ja A_C tarkoittavat samaa kuin edellä ja \dot{Q}_{RC} tarkoittaa konvektiohäviöiden ja lämpösäteilyhäviöiden summaa (W), joka voidaan kirjoittaa muodossa

$$\dot{Q}_{RC} = k_1 \cdot A_C \cdot (T_C - T_A) + k_2 \cdot A_C \cdot (T_C - T_A)^2 \quad (5.3)$$

missä kertoimet k_1 ($\text{W/m}^2\text{K}$) ja k_2 ($\text{W/m}^2\text{K}^2$) ovat keräimelle ominaiset lämpöhäviökertoimet, T_C on keräimen lämpötila ($^\circ\text{C}$), T_A on ulkolämpötila ($^\circ\text{C}$) ja A_C on keräimen pinta-ala (m^2). [4]

Sijoittamalla yhtälöt (5.2) ja (5.3) yhtälöön (5.1), voidaan keräimen hyötysuhde esittää edelleen keräimen lämpötilan ja keräintä ympäröivän ulkoilmalämpötilan välisen lämpötilaeron funktiona siten, että

$$\eta_C = \eta_0 - k_1 \frac{(T_C - T_A)}{E} - k_2 \frac{(T_C - T_A)^2}{E}, \quad (5.4)$$

joka pätee silloin, kun huomioon ei oteta tuulta (joka lisäisi keräimen konvektiivisia lämpöhäviöitä) [4]. Yhtälöstä (5.4) havaitaan, että keräinten hyötysuhde riippuu kaiken kaikkiaan keräimen optisesta tehokkuudesta, lämpöhäviökertoimista, keräinpinta-alalle tulevasta kokonaissäteilystä sekä keräimen lämpötilan ja ulkolämpötilan välisestä erosta. Hyötysuhde on sitä parempi, mitä enemmän auringonsäteilyä saapuu keräimeen ja mitä pienempi lämpötilaero on. Tyypillisesti tasokeräinten hyötysuhteet vaihtelevat välillä 0,7-0,8. [4,56]

5.2.4 Pientalon aurinkolämpöjärjestelmä

Pientaloissa lämpimän käyttöveden valmistamiseen tyypillisesti käytetty aurinkolämpöjärjestelmä koostuu kuvassa 5.5 esitetyistä osista. Kyseinen järjestelmä toimii seuraavasti: auringonsäteily saapuu keräimiin (a), jotka muuntavat niihin tulevan säteilyenergian lämpöenergiaksi. Syntynyt lämpö siirretään lämmönsiirtonesteeseen, joka kiertää tavallisesti kuparista putkistoa (b) pitkin tyypillisesti varaajan alaosassa sijaitsevaan lämmönvaihtimeen¹⁴ (c). Siitä lämpö siirtyy edelleen vesivaraajaan (d), josta se on hyödynnettävissä käyttökohteisiin, kuten käyttöveden (e) kuumentamiseen. Varaajassa jäähtynyt lämmönsiirtoneste pumpataan pumppu- ja ohjausyksikön (f) avulla jälleen kohti keräimiä. [33,51]

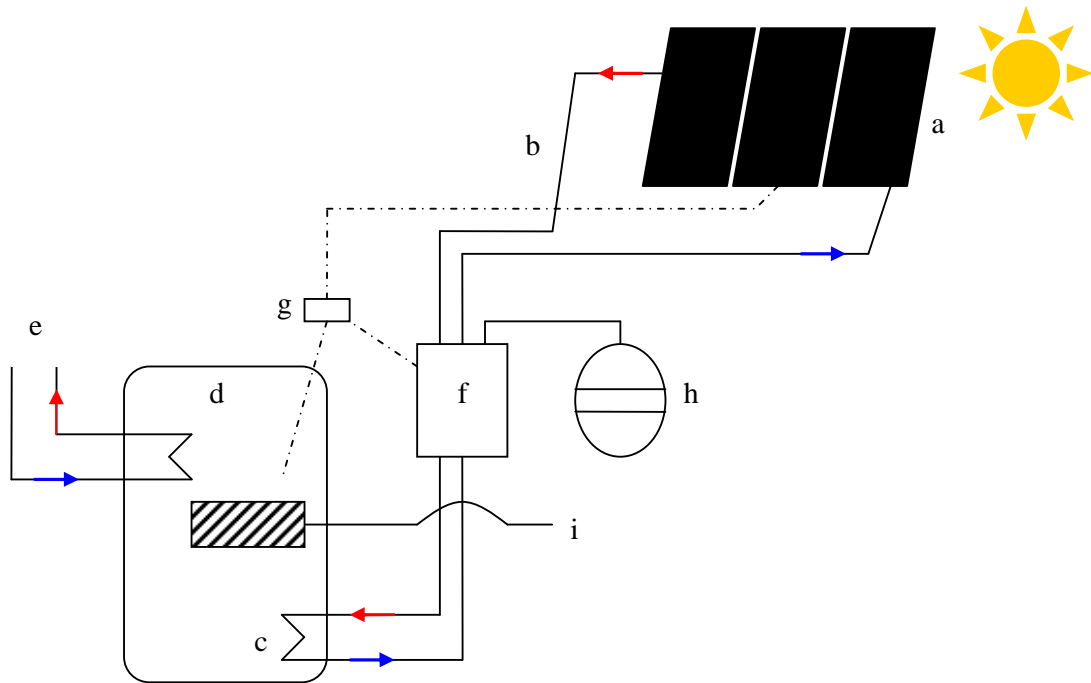
Säätöyksikkö (g) ohjaa pumpun käynnistymistä ja pysähtymistä eli pitää huolen siitä, että nestekierto toimii silloin, kun keräinten lämpötila on korkeampi kuin varaajan lämpötila. Kyseiseen yksikköön kuuluu ainakin kaksi lämpötila-anturia, joista toinen on keräimissä ja toinen varaajassa. Yleensä pumppu käynnistyy kun lämpötilaero keräinten ja varaajan välillä on 5-10 astetta [4]. Säätöyksikkö seuraa lisäksi varaajan lämpötilaa ja pysäyttää kierron varaajan ylikuumentumisen uhatessa. [33,51]

Paisunta-astia (h) huolehtii siitä, että järjestelmän putkiston paine¹⁵ säilyy sopivan suuruisena, sillä aurinkokeräinpiiri on suljettu piiri. Koska aurinkolämpö on Suomessa täydentävä energiamuoto, tarvitaan aurinkokeräinjärjestelmän varaajaan lisäksi jokin peruslämmönlähde, kuten sähkövastus (i) tai lämmönvaihdin, jonka lämpö saadaan esimerkiksi öljy- tai puukattilasta. Aurinkolämpöjärjestelmä voi sisältää lisäksi muita laitteita ja osia, kuten erilaisia mittareita ja venttiileitä, jotka pitävät huolen järjestelmän vakaasta toiminnasta. [33,51]

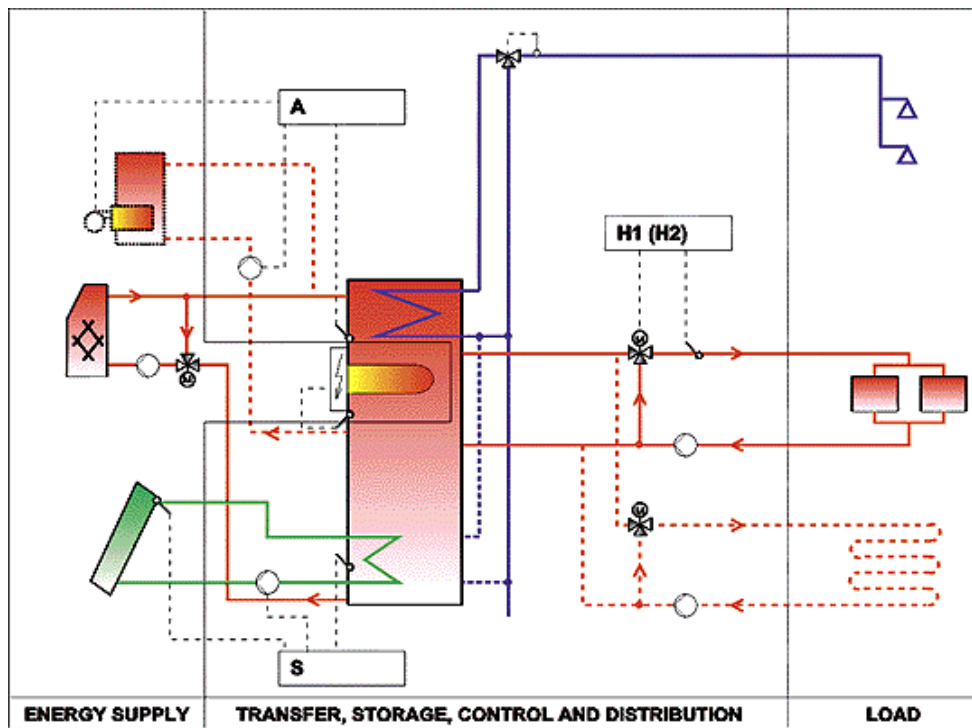
Kuvassa 5.6 on esitetty suomalaisissa ja ruotsalaisissa asuintaloissa luotettavaksi järjestelmäksi havaittu *yhdistetty aurinkolämmitysjärjestelmä* (engl. *Solar combisystem*), jossa lämpimän käyttöveden lisäksi keräimien ja sähkövastuksen (tai vaihtoehtoisesti puun tai pelletin) avulla tuotetaan myös talon lämmitysvettä [59]. Kyseinen järjestelmä on erityisesti Suomessa vielä melko uusi [59]. Luvussa 6.1.1 tarkastellaan lähemmin aurinkokeräinten yhdistämistä eri lämmönlähteiden kanssa.

¹⁴ Lämmönvaihdin (ts. lämmönsiirrin) on laite, jossa kaksi liikkuvaa nestevirtausta (tai kaasuvirtausta) vaihtavat lämpöä sekoittumatta keskenään [8].

¹⁵ Paineella tarkoitetaan pinta-alayksikköä kohden kohdistuvan voiman suuruutta ja sen yksikkönä käytetään SI-järjestelmässä joko pascalia (Pa) tai baaria (bar). 1 bar = 100.000 Pa. [8]



Kuva 5.5. Esimerkki pientalon aurinkolämpöjärjestelmästä, jossa aurinkokeräimillä (a) ja sähkövastuksella (i) tuotetaan kuumaa käyttövettä (e). Kuva on luotu lähteen [51] pohjalta.



Kuva 5.6. Esimerkki pientalon aurinkojärjestelmästä, jossa aurinkokeräimillä ja sähkövastuksella (tai vaihtoehtoisella lämmönlähteellä) tuotetaan sekä lämmintä käyttövettä että huonelämmitysvettä. [59]

Aurinkolämpöjärjestelmän keräinten ja varaajien *mitoitus* tulee tehdä lämmöntarpeen mukaan. Keskimääräinen lämpimän käyttövedenkulutus pientalossa on noin 40-50 litraa vuorokaudessa asukasta kohti [44]. Suuntaa antavana ohjeistuksena on, että käyttöveden kulutuksen ollessa 100-200 litraa/päivä, tarvitaan varaajan tilavuudeksi tyypillisesti 300 litraa ja keräimiä noin 4-6 m² [51]. Kun käyttöveden kulutus on suurempi, noin 200-300 litraa/päivä, tarvitaan varaajaksi 500 litran säiliö ja keräimiä noin 6-8 m² [51]. Näin ollen esimerkiksi nelihenkisen perheen käyttötarpeeseen riittää 300 litran varaaja ja sitä vastaava keräinala (4-6 m²).

Kun keräimien tuottamaa lämpöä käytetään käyttöveden lämmityksen lisäksi pientalon lämmitykseen, tarvitaan keräimiä 8-30 m² ja varaajan tilavuudeksi 300-1.500 litraa [60]. Esimerkiksi kuvan 5.6 järjestelmässä Suomessa tyypillisesti keräinten pinta-ala on noin 7 m² ja varaajaan tilavuus on noin 700 litraa silloin, kun keräinten lisänä käytetään vain sähkövastusta [59].

Aurinkoenergian hyödyntämismahdollisuuksia Suomessa tutkivan ja aurinkoenergian potentiaalia ilmastonmuutoksen ehkäisemisessä selvittävän, Solpros Ay:n laatiman Solar RoadMap -projektin analyysiraportin mukaan Suomessa aurinkolämmöllä voidaan tuottaa pientaloissa noin 40-60 % vuosittaisesta lämpimän käyttöveden tarpeesta, kun keräinpinta-ala on noin 5-10 m² /yksikkö. Saman raportin mukaan aurinkolämmöllä voidaan tuottaa Suomessa noin 15-20 % pientalon vuosittaisesta lämpöenergian tarpeesta keräinpinta-alan ollessa < 20 m²/yksikkö. [47]

5.2.5 Aurinkolämmön edut

Aurinkolämpö on ensinnäkin luotettava uusiutuvan energian lähde, joka ei lopu maapallolta ja jota on saatavilla ympäri maapalloa. Toiseksi aurinkolämpö on lähes päästötön energian hyödyntämismuoto ja sen käyttö fossiilisten polttoaineiden tilalla vähentää päästöjä (erityisesti CO₂-kaasuja) ja saastumista sekä torjuu ilmastonlämpenemistä. ”Lähes päästötön” energian hyödyntämismuoto tarkoittaa sitä, että aurinkolämpöjärjestelmiin liittyy epäsuoria päästöjä, jotka aiheutuvat materiaalien valmistuksesta, asennustyöstä sekä pumppausjärjestelmään tarvittavan sähkön tuottamisesta [51]. Se, kuinka paljon aurinkolämpö vähentää hiilidioksidipäästöjä ja torjuu siten omalta osaltaan ilmastonlämpenemistä, riippuu ennen kaikkea siitä, mikä energialähde aurinkolämmöllä korvataan (ks. luku 6.1.1). Pääasiassa aurinkolämpö korvaa kevyellä polttoöljyllä toimivia energiajärjestelmiä [47]. Yksi aurinkolämmön etu on se, että sen käyttö vähentää riippuvuutta ulkomailta tuodusta

energiasta (polttoaineista) ja luo uusia työpaikkoja siihen liittyvillä tutkimus-, kehitys- ja rakennussektoreilla. [61]

Aurinkolämpöjärjestelmien hyvänä puolena on myös niiden pitkäikäisyys, sillä keskimäärin aurinkolämpöjärjestelmän käyttöikä on noin 20-25 vuotta. Pitkän käyttöiän perustana on järjestelmän huolellinen suunnittelu (oikeanlainen lämmöntarpeen arviointi ja komponenttien valinta jne.) ja asennus sekä huoltotoimenpiteiden noudattaminen. [56]

5.3 Maalämpö

Tässä luvussa tutustutaan maalämpöön tarkastelemalla, mitä maalämmöllä tarkoitetaan ja minkälaisilla eri tavoilla sitä voidaan hyödyntää Suomessa. Lisäksi perehdytään lämpöpumppuun, joka on oleellinen toiminnallinen osa kaikissa maalämpöjärjestelmissä. Luvun lopussa tarkastellaan lämpöpumppujärjestelmien hyötyjä perinteisiin lämmitysmuotoihin verrattuna.

5.3.1 Yleistä maalämmöstä

Maalämpö määritellään eri lähteissä hieman eri tavalla riippuen siitä, tehdäänkö luokittelu lämmönlähteiden vai lämmönkeruun eli lämpöpumpputyypin mukaan. Toisinaan maalämmöllä tarkoitetaan vain maaperästä ja kallioperästä saatavaa lämpöä ja toisinaan näiden lisäksi myös vesistöistä saatavaa lämpöä. Tässä työssä maalämmöllä tarkoitetaan *maalämpöpumpun avulla talteen otettavaa lämpöä* eli lämpöä, jonka lähteenä on maaperä, kallioperä tai vesistö.

Kun auringon säteily saapuu maapallolle, lämpöenergiaa siirtyy säteilyn, sateiden ja lämpöisen ilman välityksellä maahan, veteen ja kallioperään [33,62]. Kun lämpöä kerätään maa/kallioperästä läheltä maan pintaa tai vesistöistä, on kyseessä epäsuorasti auringon säteilyenergiaan perustuva lämmönottotapa. Mitä syvemmälle maan sisään mennään, sitä selvemmin lämmönlähteenä hyödynnetään puolestaan geotermistä lämpöä [55]. Maalämpö on siten uusiutuvan energian muoto, joka perustuu *epäsuorasti auringon säteilyenergiaan sekä maan sisältä tulevaan geotermiseen lämpöön*. Maaperän ja kallioperän energiapotentiaali perustuu siihen, että tietyssä syvyydessä maan pinnan alapuolella lämpötila pysyy suhteellisen samana ympäri vuoden, toisin sanoen lämpötila maan sisässä on korkeampi talvella ja matalampi kesällä kuin ilman lämpötila maan pinnalla [15,63]. Sama idea pätee veden

hyödyntämiselle lämmönlähteenä. Lämpöä voidaan kerätä lämpöpumpun avulla maaperän, veden ja kallioperän lisäksi myös ilmasta ja tällöin on kyse ilmalämpöpumppujärjestelmästä.

On tutkittu, että lyhyen ajan säätilan vaihtelut vaikuttavat maaperän lämpötilaan varsin herkästi maan pinnan tuntumassa, noin 1 metrin syvyyteen asti. Tästä syvyydestä noin 8-20 metrin syvyyteen saakka säätilan vaihtelut eivät enää vaikuta niin paljon maaperän lämpötilaan, mutta ilmastolla ja vuodenaikojen mukana tuomilla säävaihteluilla on vielä merkitystä. Syvällä maa/kallioperässä eli noin 8-20 metristä alaspäin lämpötila pysyy puolestaan eri vuodenaikoina lähestulkoon muuttumattomana. [64]

Maaperän termiseen käyttäytymiseen vaikuttavat useat tekijät, jotka tulee ottaa huomioon suunniteltaessa talon maalämpöjärjestelmää. Tärkein tekijä on maaperän lämpötilajakauma, johon vaikuttaa mm. maalaji, maaperän fysikaaliset ominaisuudet, maaperän pinnan ominaisuudet (ruohikko, paljas kallio, lumipeite) ja etenkin vallitseva ilmasto, jonka muodostaa auringonsäteily, ilmanlämpötila, sateet, ilmankosteus sekä tuuli. [63]

5.3.2 Pientalon maalämpöjärjestelmät

Erilaiset pientaloon sopivat maalämpöjärjestelmät on havainnollistettu kuvassa 5.7 ja näitä eri lämmönlähteitä hyödyntäviä tapoja tarkastellaan seuraavissa luvuissa tarkemmin. Kaikille kuvan 5.7 havainnollistamille asennusvaihtoehdoille on yhteistä se, että lämpöä kerätään maalämpöpumpun, lämmönvaihtimen ja lämmönsiirtoliuoksen avulla. Lämmönvaihdin koostuu joko vaakasuunnassa tai pystysuunnassa mutkittelevasta muoviputkistosta. Varsinainen lämmönkeräys ja -kuljetus tapahtuvat putkistossa kiertävän lämmönsiirtoliuoksen avulla, jonka sisältämä lämpö siirretään talon sisällä olevaan lämpöpumppuun ja sieltä edelleen varaajaan. [33,63]

Suomessa lämmönsiirtoaineena maalämpöpiirissä käytetään yleensä vesi-etanoliliuosta. Yleensä ottaen hyvän lämmönsiirtoliuoksen ominaisuuksiin kuuluu mm. korkea lämmönjohtavuus¹⁶ ja korkea lämpökapasiteetti, mutta alhainen jäätymispiste ja pieni viskositeetti¹⁷. [55]

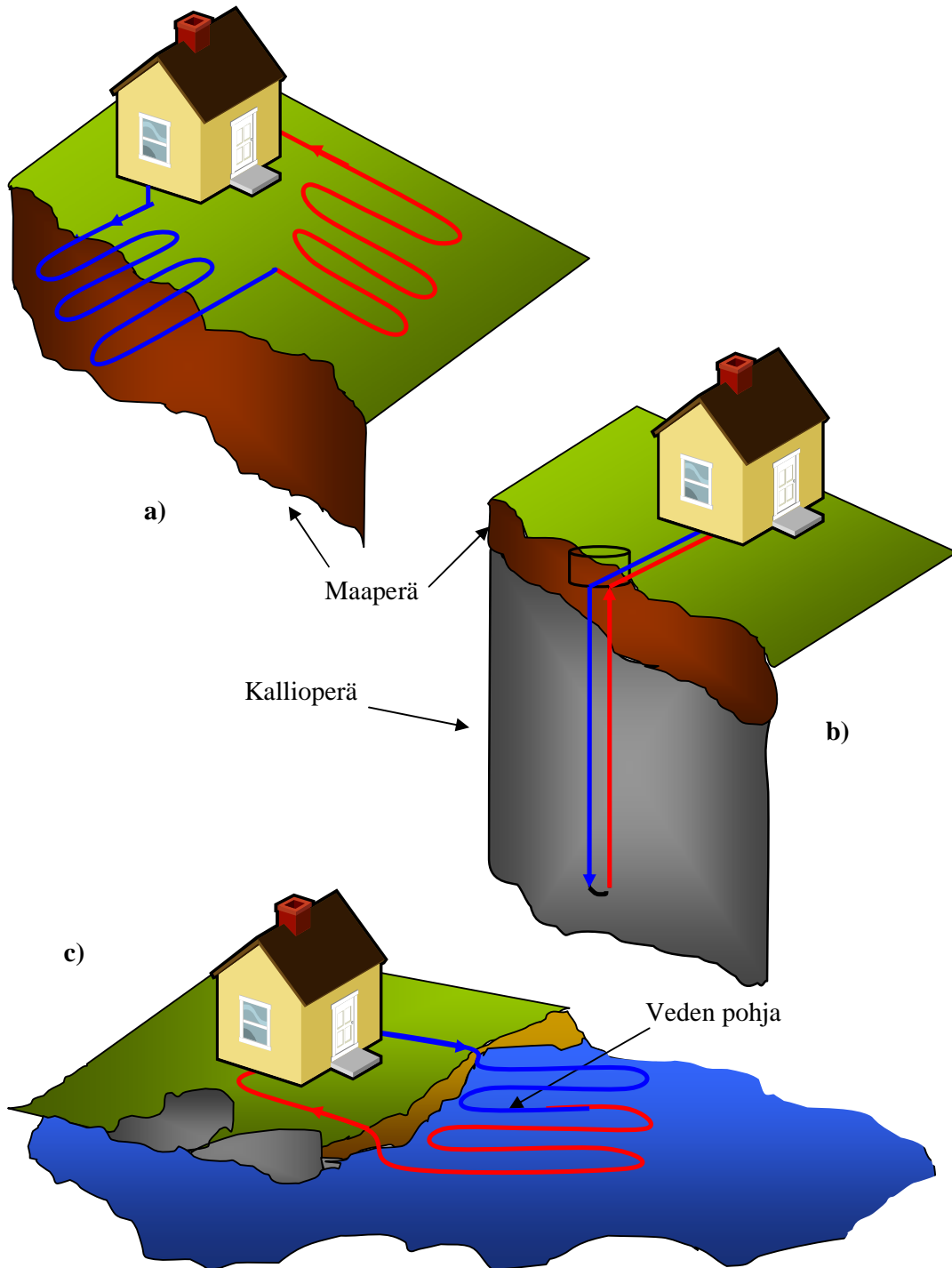
Seuraavat kolme lukua selventävät, että maalämpöjärjestelmä voidaan asentaa pientaloon eri tavoilla riippuen ensinnäkin siitä, minkälainen tontti on kyseessä. Tontin pinta-

¹⁶ Aineen lämmönjohtavuus ilmaisee aineen kyvyn johtaa lämpöä ja sen yksikkö on W/Km [55].

¹⁷ Viskositeetilla tarkoitetaan nesteen tai kaasun kykyä vastustaa muodonmuutoksia [55].

ala ja maaperä sekä järven tai meren olemassaolo lähistöllä vaikuttavat oleellisesti asennustapaan. Tonttiin liittyvien tekijöiden lisäksi maalämpöjärjestelmän asennustyyppiin vaikuttaa se, miten energiatehokas järjestelmä halutaan sekä se, kuinka paljon järjestelmään ollaan valmiita panostamaan rahallisesti.

Maalämpöpumpulla toimiva järjestelmä soveltuu parhaiten matalalämpöisiin lämmitysratkaisuihin, kuten vesikiertoiseen lattia- tai ilmalämmitykseen. Tämä johtuu siitä, että maalämpöpumpun lämpökerroin (ks. luku 5.3.6) on sitä parempi mitä pienempi lämmönlähteen (esim. kallioperä) ja lämmitettävän kohteen (esim. patterin) välinen lämpötilaero on. Maalämpö soveltuu lisäksi käyttöveden lämmitykseen ja kesällä huoneistojen viilennykseen. Maalämpöpumpun viilennyskäyttö on mahdollista varsinkin jos lämmönlähteenä on kyseessä lämpökaivo. [55,65]



Kuva 5.7. Maalämpöjärjestelmän eri toteutusvaihtoehdot pientalossa, kun lämmönlähteenä on a) maaperä, b) kallioperä ja c) vesistö. Lämmönsiirtoputkisto on esitetty kuvassa siten, että sininen väri ilmaisee kylmän ja punainen väri lämpöisen lämmönsiirtonesteen ja nuolet osoittavat liuoksen kulkusuunnan. Kuva on luotu lähteen [62] pohjalta.

5.3.3 Maaperä

Auringosta maaperään sitoutunut energia on hyödynnettävissä vaakaputkiston avulla. Kun talon tontti on riittävän suuri ja maaperässä ei ole esteitä kaivuutöille, voidaan talon pihan maaperään kaivaa vaakatasossa kiemurteleva suljettu putkistopiiri, mikä on havainnollistettu kuvassa 5.7 a). Putkisto asennetaan siten, että putket ovat rinnakkain noin 1,5 m etäisyydellä toisistaan. [62,63]

Vaakaputkiston mitoitukseen vaikuttaa talon lämmöntarpeen lisäksi ennen kaikkea maalajin lämmönjohtavuus ja kosteuspitoisuus. Jotta lämpöä saataisiin hyödynnettyä vaakaputkistojärjestelmässä mahdollisimman paljon, tulee putkien olla tarpeeksi lähellä maan pintaa auringonsäteilystä maahan varastoituneen energian saannin maksimoimiseksi. Putkiston syvyys on yleensä välillä 0,7-1,2 m. Maaperään kaivettavan putkiston pituus määräytyy lämmitettävän tilan koon sekä maalajin mukaan. Suomen lämpöpumppuyhdistyksen suuntaa antavana ohjeellisena arviona on, että vaakaputkistoa tarvitaan noin 1-2 m lämmitettävää rakennuskuutiota kohti. Edelleen kun putkien välinen etäisyys on 1,5 m, lämmitettävää neliometriä kohti tarvitaan noin 3-4 neliometriä maata. Lämmönsaannin kannalta parhaita maalajeja ovat savi ja siltti, koska niillä on korkeampi vesipitoisuus kuin kuivalla maalla ja siten niiden lämmönjohtavuus on parempi. Myös hiekkaperäinen maa soveltuu vaakaputkistolle, mutta saman lämpömäärän saamiseen hiekkamaasta tarvitaan enemmän putkea ja maata kuin saviperäisestä maasta. [62,66]

Suomen lämpöpumppuyhdistyksen arvio vaakaputkistolla saatavasta vuotuisesta lämpöenergiasta savi- ja hiekkapohjaisessa maassa eri paikoissa Suomessa on esitetty taulukossa 5.1. Siitä nähdään, että Etelä-Suomessa sijaitsevasta savimaasta saadaan parhaiten lämpöenergiaa talteen. Pohjois-Suomessa saadaan puolestaan noin puolet vähemmän energiaa Etelä-Suomen vastaavaan maalajiin verrattuna ja Keski-Suomesta vaakaputkistolla saatava lämpömäärä on näiden kahden väliltä. Käytännössä mitä pohjoisemmaksi mennään, sitä enemmän putkistoa täytyy asentaa saman vuotuisen energiamäärän saavuttamiseksi.

Taulukko 5.1. Vaakaputkistolla saatava vuotuinen lämpöenergia Suomessa. Etelä-Suomi tarkoittaa Kokkola-Savonlinna -akselin eteläpuolta. Taulukko on luotu lähteen [62] pohjalta.

Sijainti	Vuotuinen lämpöenergia (kWh/m)	
	Savimaa	Hiekkamaa
Etelä-Suomi	50-60	30-40
Keski-Suomi	40-45	15-20
Pohjois-Suomi (ei Lappia)	30-35	0-10

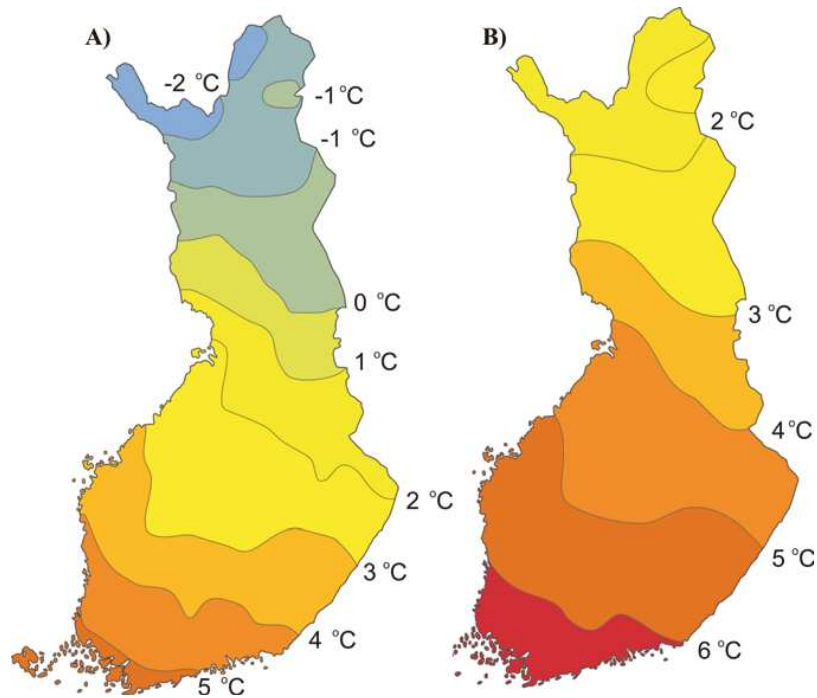
Koska vaakasuuntaisen lämmönkeruuputkiston lämmönlähde on maaperä, joka varastoi auringosta maanpinnalle saapuvaa säteilyenergiaa, tulee putkiston yläpuolella oleva maa-alue pitää vapaana rakennuksista ja muista auringon säteilyenergian läpäisyä maaperään mahdollisesti estävistä asioista. Vaakasuuntainen putkisto on helpointa asentaa talon rakennuksen yhteydessä, jolloin talon pihaa ei ole vielä muokattu lopulliseen muotoonsa. Nykyisellä kaivuutekniikalla putkisto voidaan kuitenkin asentaa myös jo olemassa olevan talon tontin pihaan ilman merkittäviä muutoksia maanpinnassa. Vaakaputkiston etuna ovatkin joustavat asennusmahdollisuudet. Vaakaputkiston etuna kallioperään asennettavaan lämpökaivoon verrattuna on se, että sen asennuskustannukset ovat selvästi pienemmät. Haittapuolena vaakatasopiirissä on sen tarvitsema laaja tila maaperässä ja siitä johtuvat kohtalaisen suuret kaivaustyöt. [15,63]

5.3.4 Kallioperä

Toinen tapa hyödyntää maalämpöä on porata pystysuuntainen lämpökaivo tai useampia lämpökaivoja talon pihan kallioperään. Lämpökaivon toimintaidea on esitetty kuvassa 5.7 b). Lämpökaivon energialähde on auringon säteilyenergian sijaan sitä enemmän maan sisältä tuleva geoterminen lämpö mitä syvemmälle mennään [15,63], ja tästä lämmöstä pääosa saa alkunsa maan sisuksessa tapahtuvista radioaktiivisten atomien hajoamisista [15,55].

Kallioperän hyödyntäminen lämmönlähteenä perustuu tutkimustuloksiin, jotka osoittavat, että maaperän lämpötila pysyy suunnilleen samana ympäri vuoden noin 5 metristä alaspäin, ja että lämpötila kasvaa syvällä maaperässä (noin 8-20 metristä alaspäin) erittäin hitaasti; keskimäärin $30^{\circ}\text{C}/\text{km}$ [63]. Näin ollen jos lämpökaivo on esimerkiksi 150-200 m syvyinen, niin kaivon pohjalla lämpötila on 5-6 astetta korkeampi kuin maaperän lämpötila 8-20 m syvyydessä.

Kuvassa 5.8 on havainnollistettu ilman keskimääräinen lämpötila ja maanpinnan keskimääräinen lämpötila 0-100 m välillä vuoden aikana Suomessa. Kuvasta nähdään, että ilman ja maanpinnan keskimääräinen lämpötila kasvaa pohjoisesta etelään päin mentäessä ja että esimerkiksi Keski-Suomessa keskimääräinen maaperän lämpötila 100 metrin syvyyteen asti on noin 4-5 astetta. [67]



Kuva 5.8. A) Ilman vuotuinen keskimääräinen lämpötila ja B) maanpinnan vuotuinen keskimääräinen lämpötila 0-100 m. [67]

Pientaloon asennettava lämpökaivon halkaisija on tyypillisesti noin 10-15 cm ja kaivon sisäosa koostuu yleensä suljetusta putkistosta, jossa pystysuorien putkien alaosat on yhdistetty U-muotoisen putken avulla. Putkien upotus porakaivoon tapahtuu U-putkeen kiinnitetyn painon avulla ja kaivoon upotetun putkiston sisällä kiertää vaakaputkiston tapaan jäätymätön lämmönsiirtoliuos. Putkiston kokonaissyvyys vaihtelee tavallisesti välillä 100-200 m riippuen rakennuksen lämmöntarpeesta ja käytännössä 200 metriä syvemmäksi porareikää ei kannata tehdä kustannustehokkuussyiden takia. Jos porareikiä tehdään useampi kuin yksi, niin reikien välinen etäisyys tulee olla 15-20 m [65]. [62,63]

Kaivon seinämien ja putkiston väli täytetään Pohjoismaissa tyypillisesti vedellä (ellei kaivo täyty itsestään pohjavedellä) ja veden korkeuteen liittyen kaivon *aktiivisyvyydellä*

tarkoitetaan sitä osaa lämpökaivosta, joka on ympäri vuoden veden peittämä. Lähellä maan pintaa oleva kaivon osa suojataan suojaputkella, joka estää maavesien ja irtoaineksen kulkeutumisen kaivoon. Kaivon yläosaan rakennetaan lisäksi huoltokaivo, joka mahdollistaa kaivon huoltamisen asennuksen jälkeen. [55,68]

Lämpökaivon varmuutena on, että vuodenaikoihin liittyvät lämpötilanvaihtelut eivät ulotu syvälle kallioperään. Talon tontin näkökulmasta lämpökaivo on toimiva lämmönlähde pienipinta-alaiselle tontille tai sellaiselle tontille, jonka maalaji ei ole vaakaputkistolle sopiva eli kun maaperä on kivinen lähellä maanpintaa. Pystysuuntaisen lämpökaivon etuna vaakaputkistoon verrattuna voidaan pitää sitä, että se ei vaadi suuria kaivaustöitä ja vie paljon vähemmän tilaa kuin vaakaputkisto. [15,63,65]

Lämpökaivo on maaputkistoon verrattuna myös selvästi energiatehokkaampi kuin maaputkisto, sillä kaivon energiasaanto on noin kaksinkertainen putkimetriä kohti vaakaputkistoon verrattuna [62]. Tämä johtuu kallioperän paremmasta lämmönjohtavuudesta maaperään verrattuna [33]. Haittapuolena lämpökaivovaihtoehdossa on vaakaputkistoon ja vesistöön asennettavaan järjestelmään verrattuna sen huomattavasti suuremmat asennuskustannukset, jotka johtuvat poraustyöstä. Sekä vaakaputkisto että lämpökaivo tulee asentaa siten, että putkistot voidaan tarpeen vaatiessa ilmata eli poistaa niihin mahdollisesti päässyt ilma. [15,62]

5.3.5 Vesistö

Järvet, meret ja lammet varastoivat auringon säteilyenergiaa säteilyn, sateiden ja ilman välityksellä kuten maaperäkin. Vesistöjen sisältämää lämpöä voidaan kerätä talteen maalämpöpumppujärjestelmällä, jonka ulko-osa koostuu veden pohjaan upotettavasta vaakasuuntaisesta putkistosta kuvan 5.7 c) havainnollistamalla tavalla. Vesistöistä kerättävä lämpöenergia on peräisin vedestä ja pohjasedimentistä, ja lämpö saadaan talteen lämmönkeruuputkistossa kiertävän jäätymättömän liuoksen avulla [1].

Vesistöön asennettava lämpöjärjestelmä on maaperään asennettavan järjestelmän kaltainen putkistopiiri, mutta vedessä kiemurtelevaan putkistoon täytyy laittaa lisäksi useampia painoja, jotka pitävät putkiston pohjassa paikoillaan. Ilman painoja putkiston ympärille talvella mahdollisesti muodostuva jää nostaisi putket jäänpinnan alaosaan kiinni ja jähän kiinnijäätyneet putket saattaisivat siirtyä jäiden mukana eri paikkaan tai rikkoontua. [62,65]

Jotta lämmönkeruu vedestä on mahdollista, putket asennetaan veden pohjaan routarajan alapuolelle ja vesistön tulisi olla mielellään yli 3 metriä syvä minimisyvyyden ollessa ainakin 2 metriä. Vesistöstä vuoden aikana saatava lämpöenergia on Suomen lämpöpumppuyhdistyksen mukaan noin 70-80 kWh putkimetriä kohti ja vesistöön asennettava putkisto on maaperään asennettavaa putkistoa energiatehokkaampi, koska vedellä on maaperää paremmat lämmönsiirto-ominaisuudet [1]. Vaikka vesistöstä saadaan enemmän lämpöenergiaa kuin maaperästä, niin vesistöön asennettavan putken pituusmitoitus tehdään koston saviperäisen maan mukaan, sillä ajan mittaan vesistön pohjassa oleva putki liettyy ja tämä heikentää sen lämmönsiirtokykyä. [62,65,66]

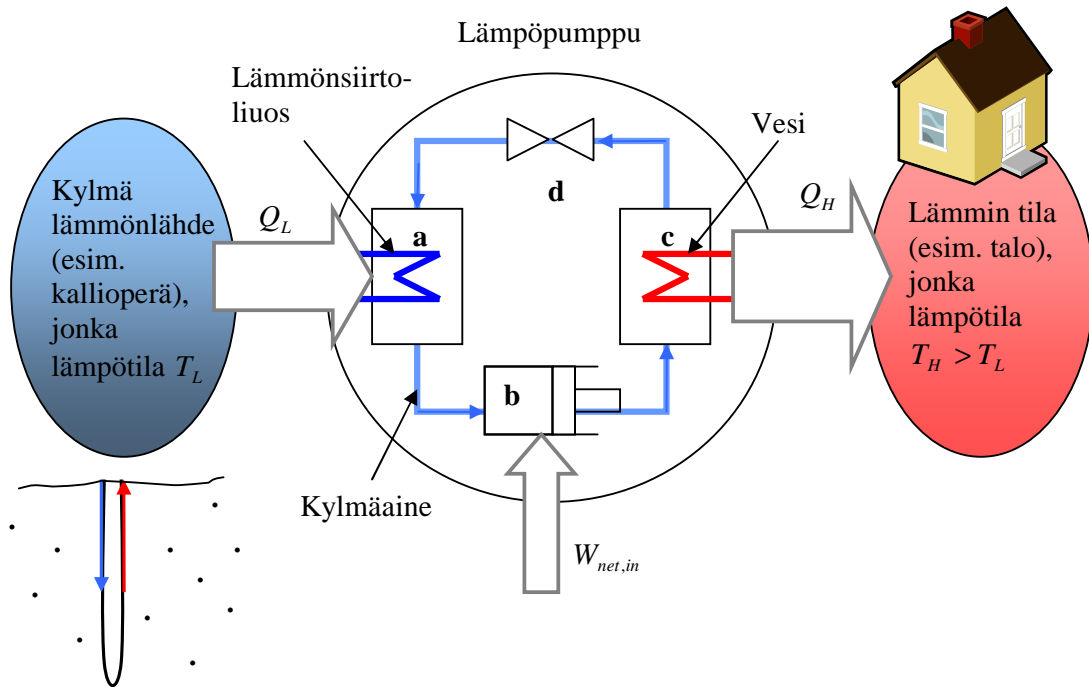
5.3.6 Maalämpöä lämpöpumpun avulla

Lämpö virtaa luonnostaan lämpöisestä kohteesta kylmempään kohteeseen, kuten termodynamiikan pääsääntöjä tarkasteltaessa luvussa 2.1 todettiin. Näin tapahtuu esimerkiksi avatessa ikkuna talvella, jolloin lämmin sisäilma virtaa ikkunasta ulos ja huone viilenee. Kun lämpö virtaa vastakkaiseen suuntaan eli kylmästä kohteesta lämpöiseen kohteeseen, tarvitaan sen tapahtumiseen laite. [8]

Kaikkien maalämpöjärjestelmien oleellinen osa on lämpöpumppu. *Lämpöpumppu* on laite, joka toimii ottamalla lämpöä talon ulkoisesta lämmönlähteestä ja nostamalla lämpötilaa talon lämmitykseen sopivalle tasolle. Lämpöpumppu ei siis varsinaisesti luo lämpöenergiaa vaan *siirtää* sitä. Lämmönlähteen, kuten veden, maaperän tai kallioperän ei tarvitse olla arkisessa kielenkäytössämme käsitetyssä mielessä erityisen lämmin, sillä lämpöpumppu kykenee pienen lisäenergian (sähkön) avulla nostamaan lämpötilaa tarvittavalle tasolle. Lämpöpumpun toimintaperiaate on verrattavissa mainiosti jääkaapin toimintaan. Molemmissa laitteissa nimittäin otetaan matalassa lämpötilassa olevasta kohteesta lämpöä ja kerätty lämpö siirretään lämpötilaltaan korkeampaan kohteeseen, jolloin matalalämpöisen kohteen lämpötilataso laskee. Lämpöpumpussa kerätty lämpö siirretään talon sisälle ja tarkoitus on ylläpitää talon sisälämpötila sopivana, mutta ei varsinaisesti jäähdyttää matalassa lämpötilassa olevaa lämmönlähdettä. Jääkaapissa puolestaan juuri matalalämpöinen lämmönlähde eli jääkaapin sisäosa on tarkoitus säilyttää viileänä. Sekä lämpöpumppu että jääkaappi toimivat siis samalla periaatteella, mutta se, mitä lämmönsiirtämisellä halutaan saavuttaa, eroaa toisistaan. Molemmat laitteet toimivat syklisesti ja niiden toimintaidea perustuu ns. *kylmäaineen* kiertoon laitteistossa. [1,8,15]

Lämpöpumpun toimintaidea on kuvan 5.9 mukainen, missä merkintä Q_L kuvaa kylmästä lämmönlähteestä (esim. maaperä, kallioperä tai vesistö) lämpöpumppuun siirtyvää lämpömäärää ja Q_H lämpöpumpusta lämpöiseen tilaan siirtyvää lämpömäärää. Jotta lämpöä saadaan siirrettyä kylmästä kohteesta lämpimään tilaan syklisesti toimivan lämpöpumpun avulla, tarvitaan työtä (käytännössä sähköä), jonka suuruutta havainnollistaa kuvassa merkintä $W_{net,in}$. [8]

Tänä päivänä tyypillinen lämpöpumppu toimii ns. *höyrystysprosessilla* (ks. kuva 5.9). Prosessin aluksi matalassa lämpötilassa olevasta lämmönlähteestä kerätään lämpö putkistossa kiertävän lämmönsiirtoliuoksen avulla. Tämän jälkeen lämmönsiirtoliuoksen sisältämä lämpö höyrystää lämpöpumppukoneistossa kiertävän kylmäaineen höyrystimessä (a). Muodostunut höyry puristetaan kompressorilla (b), jolloin höyryn paine kasvaa ja höyry lämpenee. Lämmin höyry siirretään edelleen lauhduttimeen (c), jossa sen lämpötila laskee ja höyry muuttuu nestemäiseksi. Tämän tapahtuessa vapautuu lämpöä, joka lämmittää lauhduttimen läpi kulkevan väliaineen (neste tai ilman, yleensä vesi), joka vie lämmön eteenpäin varaajaan ja sitä kautta käyttökohteisiin, esimerkiksi talon lattialämmityspiiriin. Kierron lopuksi nestemäisessä muodossa olevan kylmäaineen paine lasketaan paisuntaventtiilin (d) avulla höyrystimen paineen suuruiseksi ja neste palautuu jälleen höyrystimeen, jossa se höyrystyy jälleen matalalämpöisen lämmönlähteen sisältämän lämmön avulla. [4,8]



Kuva 5.9. Lämpöpumpun toimintaperiaate. Osat: a) höyrystin-lämmönsiirrin, b) kompressori, c) lauhtutin-lämmönsiirrin d) paisuntaventtiili. Kuva on luotu lähteiden [4,8] pohjalta.

Lämpöpumpun toimintakykyä eli toisin sanoen tehokkuutta voidaan kuvata lämpökertoimella COP_{HP} (engl. *Coefficient of performance*) [8], joka määrittellään lämpöpumpusta ulos saadun lämpömäärän Q_H (kJ) ja kompressorin tarvitsevan työmäärän $W_{net,in}$ (kJ) avulla seuraavasti

$$COP_{HP} = \frac{Q_H}{W_{net,in}}. \quad (5.5)$$

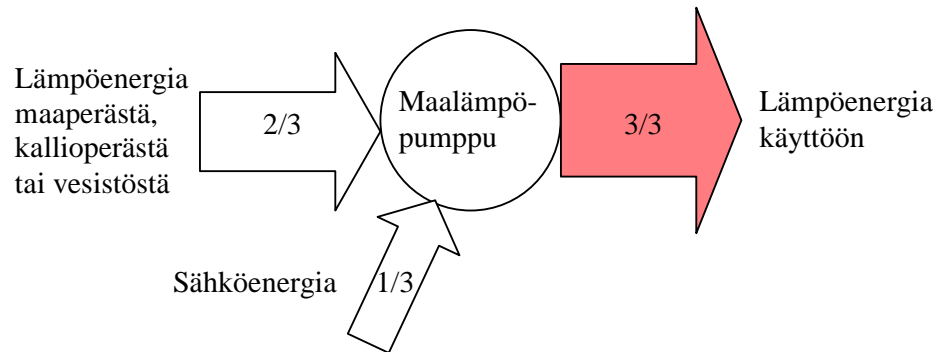
Lämpökerroin kertoo siis, kuinka paljon lämpöpumppu tuottaa lämpöä pumpun toimimiseen tarvittavan sähkömäärään nähden. Koska lämpöpumppu on suljettu syklinen järjestelmä, niin energiansäilymislain mukaan pumpun sisään tehtävä työ on yhtä suuri kuin prosessissa kokonaisuudessaan siirtyvä lämpö eli

$$W_{net,in} = Q_H - Q_L, \quad (5.6)$$

missä Q_L on kylmästä lämmönlähteestä lämpöpumppuun siirtyvä lämpömäärä (kJ). Siten yhtälö (5.5) saadaan kirjoitettua muotoon

$$COP_{HP} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_L}. \quad (5.7)$$

Sekä Q_L että Q_H ovat positiivisia suureita ja käytännössä lämpökerroin on suuruudeltaan aina suurempi kuin yksi [8]. Mitä suurempi lämpökerroin on, sitä tehokkaampi koneisto on kyseessä. Maalämpöpumpun vuosilämpökerroin on yleensä noin 3 [65,67], mikä tarkoittaa, että yhtä lämpöpumpun käyttämää sähkökilowattia kohden saadaan kolmen kilowatin edestä lämpöä hyötykäyttöön (ks. kuva 5.10).



Kuva 5.10. Maalämpöjärjestelmän energiakaavio, kun maalämpöpumpun lämpökerroin on 3.

Maalämpöpumppu voidaan mitoittaa kahdella eri tavalla: joko täysteholle tai osateholle. Täystehomitoituksen tapauksessa lämpöpumpun lisäksi ei tarvita lisäenergialähteitä, vaan lämpöpumppu tuottaa kaiken tarvittun lämmön sekä talon lämmitykseen että käyttöveteen kylmimpinäkin pakkasaikoina. Kun lämpöpumppu mitoitetaan osateholle, lämpöpumppu tuottaa noin 60-85 % talon lämmöntarpeesta kylmimpinä pakkasaikoina ja loput tarvittavasta lämpötehosta tuotetaan esimerkiksi sähkövastuksien avulla. [65]

Lämpöpumppujen määrän voimakkaasta kasvusta Suomessa kertoo se, että vuoden 1995 tasoon nähden lämpöpumppujen määrä on kasvanut noin 9-kertaisesti vuoteen 2007 mennessä. Vuonna 2007 maalämpöpumppuja oli 38.906 kpl, ilmalämpöpumppuja oli 102.880 kpl ja poistoilmalämpöpumppuja oli 14.372 kpl ja lämmön tuotannon näkökulmasta eniten lämpöä tuotettiin maalämpöpumppuilla, toiseksi eniten ilmalämpöpumppuilla ja kolmanneksi eniten poistoilmalämpöpumppuilla. [45]

5.3.7 Maalämmön edut

Maalämpöjärjestelmässä ainoastaan kompressointiin ja pumppaukseen tarvittava osa talon lämmöntarpeesta täytyy ottaa suoraan sähköenergiasta. Korvattaessa suora sähkölämmitys tyypillisellä maalämpöpumpun lämpökertoimella toimivalla maalämpöpumppulla

(lämpökerroin noin 3), lämpöenergian tuottamiseen tarvittava sähköenergia vähenee noin 1/3:aan ja noin 2/3 talon lämmöntarpeesta saadaan maasta, vesistöistä tai kallioperästä eli uusiutuvista energialähteistä. Tämä pienentää pitkällä aikajaksolla huomattavasti sähköenergian kulutusta perinteiseen sähkölämmitykseen verrattuna, vaikkakin lämpöpumpussa on merkittävämpi rahallinen alkusijoitus. Se, miten suuri osa maalämpöpumpun tuottamasta lämmöstä on kaiken kaikkiaan peräisin uusiutuvista energialähteistä ja miten paljon lämpöpumpulla on ympäristövaikutuksia, riippuu siitä, millä energialähteillä pumpun toimintaan tarvittava sähkö on tuotettu. [8,66]

Maalämmön etuna ilmalämpöpumpujärjestelmään verrattuna voidaan pitää sitä, että maaperä, kallioperä ja vesi ovat termisesti vakaampia lämmönvaihtoväliaineita kuin ilma ja tästä syystä lämpöä on saatavilla talon lämmitykseen tasaisesti ja luotettavasti ympäri vuoden [15,63]. Myös kylmemmissä ilmastoissa maalämpöpumpun suorituskyky on hyvä [69]. Öljylämmitykseen verrattuna maalämpöpumpujärjestelmä kuluttaa vähemmän suoraan fossiilisia polttoaineita ja tuottaa vähemmän hiilidioksidipäästöjä, koska ainoastaan kompressori ja pumput vievät lämpöpumpussa sähköä ja koska suurin osa maalämpöpumpun avulla saadusta lämpöenergiasta on uusiutuvaa energiaa [8,66]. Lämpöpumpun huoltotoimenpiteet ovat öljypolttimen huoltamiseen verrattuna myös pienempiä [1].

Kuten muitakin uusiutuvia energialähteitä, myös maalämpöä on saatavilla rajattomasti, mikä varmistaa energiansaannin sen avulla myös tulevaisuudessa [69]. Itse lämpöpumput ovat varsin pitkäikäisiä, sillä nykyään niiden keskimääräinen käyttöikä on 15-20 vuotta [1]. Sijoittaminen maalämpöpumppuun on yleensä ottaen sitä hyödyllisempää, mitä suurempi lämmöntarve ja talo ovat kyseessä [62,65]. Maisemallisesta näkökulmasta lämpöpumppua hyödyntävät järjestelmät eivät vaikuta ympäröivään maisemaan häiritsevästi, koska lämmönkeruuputkistot ovat joko maan sisällä tai veden alla [15].

Eräs lämpöpumppuihin liittyvä etu on se, että niiden peruskomponentit ovat samat kuin ilmastointilaitteissa. Tämä tarkoittaa sitä, että lämpöpumppuja on mahdollista hyödyntää myös jäähdystarkoituksessa kesäaikoina, mikä tapahtuu muuttamalla pumpun toiminta päinvastaiseen suuntaan lisäämällä järjestelmään suunnanvaihtventtiili. Käytännössä lauhdutinosa tulee höyrystin ja höyrystinosa tulee lauhdutin, kun lämpöpumppu muutetaan ilmastointilaitteeksi. [8,66]

6. Yhdistetyt lämmitysjärjestelmät pientaloissa

Tässä luvussa perehdytään yhdistettyihin lämmitysjärjestelmävaihtoehtoihin tarkastellen ensin luvussa 6.1, miten öljyn, puun ja sähkön käyttöön perustuvia lämmitysvaihtoehtoja voidaan hyödyntää yhdessä aurinkokeräinten kanssa ja miten maalämpöpumppu ja aurinkokeräimet voidaan integroida toimivaksi systeemiksi. Tämän jälkeen luvussa 6.2 tutkitaan keskisuomalaisen omakotitalon lämmitysjärjestelmää, joka hyödyntää lämmönlähteinä maa- ja aurinkolämpöä sekä tuulivoimaa. Luvun alussa tutustutaan taloon ja sen asukkaiden motivaatioon siirtyä vanhasta öljyjärjestelmästä uuteen järjestelmään. Seuraavaksi tutkitaan uuden järjestelmän käyttöönottoa, toimintaperiaatetta ja ohjausta, ja tarkastellaan lämmitysjärjestelmän vaihdon seurauksena tapahtunutta muutosta koskien sekundäärienergian käyttöä, hiilidioksidipäästöjä sekä lämmöntuotantomuotoa. Lopuksi selvitetään uuden järjestelmän kustannukset ja arvioidaan järjestelmän takaisinmaksuaika.

6.1 Aurinko- ja maalämmön yhdistämismahdollisuudet

6.1.1 Perinteiset lämmitysjärjestelmät yhdessä aurinkolämmön kanssa

Suomen ilmasto-olosuhteiden takia suomalaisen pientalon päälämmönlähteeksi tarvitaan jokin muu kuin aurinkolämpö. Käytännössä päälämmönlähteenä voidaan käyttää öljyä, sähköä, puuta, pellettiä, kaukolämpöä tai maalämpöä [1]. Aurinkolämpö voi toimia kaikissa edellä mainituissa lämmitysvaihtoehdoissa lisäenergiälähteenä (esim. käyttöveden lämmityksessä) ja sen hyödyntäminen keskittyy kesäajalle, jolloin päälämmitysjärjestelmä voidaan sulkea pois päältä [47,51]. Perinteiset lämmönlähteet kuten öljy, puu ja sähkö on mahdollista yhdistää aurinkokeräimien kanssa suhteellisen vaivattomasti [33], ja niitä tarkastellaan tässä luvussa tarkemmin. Kaikille aurinkolämpöä hyödyntäville perinteisille järjestelmille on yhteistä se, että aurinkolämpö otetaan ohjausyksikön ja lämpötilasensoreiden säätämänä talteen silloin, kun aurinkoa on riittävästi saatavilla ja niin kauan kunnes aurinkokeräimiin liitetty varaaja tarvitsee lisäenergiaa tietyn lämpötilan saavuttamiseksi [4,33,70].

Aurinkokeräinten yhdistäminen öljylämmityksen kanssa voidaan toteuttaa kuvan 6.1 havainnollistamalla tavalla. Aurinko-öljylämmitysjärjestelmä voidaan toteuttaa pääsääntöisesti kahdella vaihtoehtoisella tavalla riippuen siitä, asennetaanko yhdistetty

järjestelmä säästämällä olemassa oleva öljykattila vai hankkimalla uusi kattila. Kuvassa 6.1 a) on esitetty aurinkokeräinten yhdistäminen vanhan öljykattilan rinnalle, jolloin aurinkokeräimet tarvitsevat erillisen varaajan. Kuvassa 6.1 b) on puolestaan havainnollistettu aurinkokeräinten liittäminen yhteen uuden kattilavaraajan kanssa, joka toimii sekä öljykattilana että aurinkolämmön varaajana. Tällöin erilliselle varaajalle ei ole tarvetta. Molemmissa kuvassa 6.1 esitetyissä vaihtoehtoissa aurinkolämpö lämmittää yhdessä öljylämmityksen kanssa sekä käyttövettä että lämmitysvettä.

Vanhan öljykattilan ja aurinkokeräinten yhdistäminen on mahdollista toteuttaa myös asentamalla keräimet lämmittämään ainoastaan käyttövettä. Tällöin käyttövesipiiri asennetaan kulkemaan varaajan kautta öljykattilaan ja talon lämmityspiiri kytketään suoraan öljykattilaan, jolloin öljylämmitys vastaa yksin talon pattereiden ja/tai lattian lämmityksestä. Tässä vaihtoehdossa aurinkokeräimet kohdistetaan ohjausautomaation ja venttiilien avulla lämmittämään kesäisin käyttövettä päälämmitysjärjestelmän ollessa pois päältä. Keväisin ja syksyisin puolestaan aurinkokeräimet esilämmittävät käyttövettä, jonka jälkilämmitys tapahtuu öljykattilassa. [70,71]

Yksi vaihtoehto yhdistää öljykattila ja aurinkokeräimet on sellainen, jossa aurinkokeräimet asennetaan lämmittämään käyttövettä ja esilämmittämään talon lämmitysvettä. Tässä vaihtoehdossa lämmityspiirin paluuvesi esilämmitetään aurinkokeräinpiirin lämmittämässä varaajassa ennen sen varsinaista lämmitystä öljykattilassa. Tämä tapahtuu silloin, kun paluueden lämpötila on (esim. 8 astetta) matalampi kuin varaajan lämpötila. Jos paluueden lämpötila on vain vähän (esim. 2 astetta) matalampi kuin varaajan lämpötila, paluuvesi kulkee suoraan öljykattilaan. Tällaisessa järjestelmässä lämmityspiirissä tulee olla ohjaus- ja venttiilijärjestelmä, joka mahdollistaa käyttöveden lämmityksen myös tarvittaessa öljyllä ja lämmityksen paluueden kulkemisen varaajan kautta öljykattilaan edellä mainituissa olosuhteissa. [56]

Kuvan 6.1 b) mukaisessa kattilavaraaja-vaihtoehdossa sekä käyttövesi että lämmitysvesi lämpenevät samassa tilassa ja öljypoltin lähtee käyntiin automaattisesti, kun aurinkokeräinten tuottama lämpö ei riitä, esimerkiksi keskitalvella ja sateisina kesäpäivinä. [33,70]

Ympäristöministeriön, Öljyalan Palvelukeskuksen ja Motiva Oy:n yhteistyössä tehty ja edelleen käynnissä oleva tutkimus seuraa öljy- ja aurinkolämpöä yhdistävien, ”tavallisten pientalojen”¹⁸ energiatehokkuutta Suomen olosuhteissa. Tähänastisen tutkimuksen mukaan öljyä päälämmityslähteenään käyttävissä pientaloissa aurinkolämmöllä voidaan tuottaa

¹⁸ Tässä ”tavallisella pientalolla” tarkoitetaan taloa, joka *ei ole* matalaenergiatalo tai passiivienergiatalo.

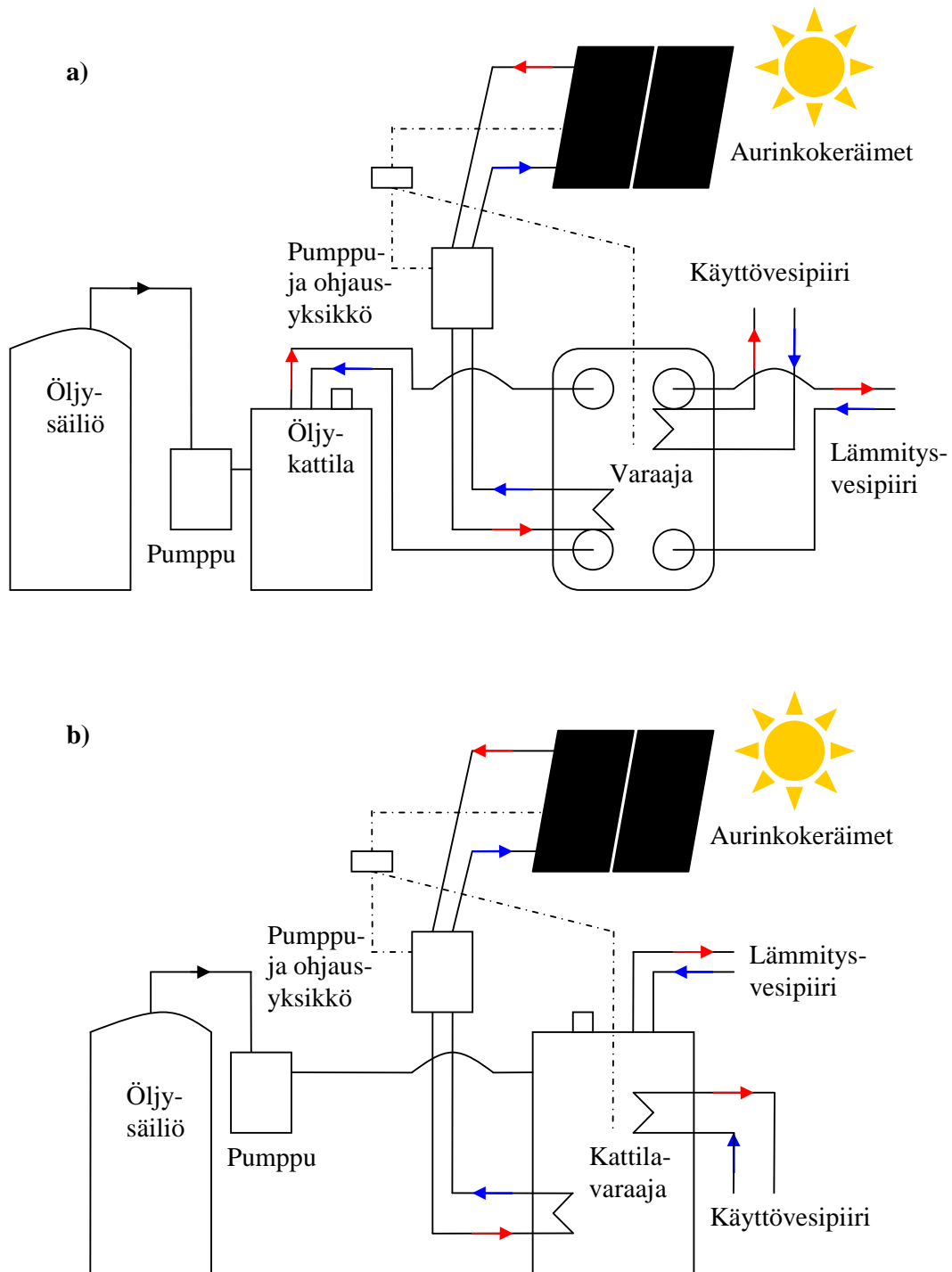
lämmityksen, lämpimän käyttöveden ja mukavuuslattialämmityksen tarpeesta noin 10-30 %. Pelkästään lämpimän käyttöveden tarpeesta voidaan tutkimuksen mukaan tuottaa pienimmillään 28 % ja suurimmillaan 55 % aurinkolämmön avulla. [72]

Hiilidioksidipäästöjen näkökulmasta perinteisistä lämmitysvaihtoehdoista erityisesti öljyn ja aurinkolämmön yhdistäminen keskenään vähentää talon lämmityksestä aiheutuvia CO₂-päästöjä, sillä öljy kuuluu fossiilisiin polttoaineisiin.

Aurinkokeräimien ja sähkölämmityksen yhdistäminen keskenään on mahdollista luvussa 5.2.4 esitettyjen kuvien 5.5 ja 5.6 osoittamalla tavalla. Keräimiä voidaan käyttää ainoastaan käyttöveden lämmitykseen jos talo lämpiää huonekohtaisen sähkölämmityksen avulla, sillä keräinten tuottaman lämmön siirtämiseen huoneisiin tarvitaan vesikiertoinen järjestelmä, mitä huonekohtaisessa sähkölämmityksessä (esim. sähköpatterilämmityksessä) ei ole. Jos talon päälämmönlähteenä on vesikiertoinen varaava sähkölämmitys eli joko patterilämmitys tai lattialämmitys, voidaan aurinkolämpöä käyttää myös talon lämmitykseen. Molemmissa vaihtoehdoissa varaajaan kytketään sähkön hyödyntämistä varten vastus tai vastuksia, jotka luovuttavat lämpöä varaajaan pääasiassa yösähkön avulla. Lisäksi varaajassa tulee olla tavalliseen sähkölämmitysvaraajaan verrattuna ylimääräinen lämmönsiirrin aurinkokeräinpiiriä varten. Tämä tarkoittaa sitä, että aurinkolämmön hyödyntämismahdollisuus on otettava huomioon jo varaajan ostovaiheessa. [33]

Varaavassa sähkölämmitysvaihtoehdossa aurinkokeräimet on mahdollista liittää järjestelmään myös erillisen varaajan avulla, jolloin aurinkokeräimet lämmittävät ainoastaan käyttövettä. Tällöin järjestelmän lämpöhäviöt pienenevät, koska sähkön avulla lämpiävä, talon lämmityksestä huolehtiva varaaja voidaan sulkea kesäkauteksi. [1,33]

Aurinkolämmityksen ja sähkölämmityksen yhteen liittäminen vähentää hiilidioksidipäästöjä riippuen siitä, millä energialähteellä (fossiilinen, turve, uusiutuva, ydinenergia) kohteessa käytettävä sähkö on tuotettu. Mitä enemmän sähkön tuotannossa on hyödynnetty fossiilisia polttoaineita ja turvetta, sitä enemmän aurinkolämmön käyttö sähkölämmityksen rinnalla pienentää talon hiilidioksidipäästöjä. Sähköllä ja aurinkolämmöllä toimivan järjestelmän ympäristövaikutuksia (kasvihuonekaasut ja muut päästöt) voi pienentää ostamalla ekoenergiamerkinnettä kriteerien mukaista sähköä [1].

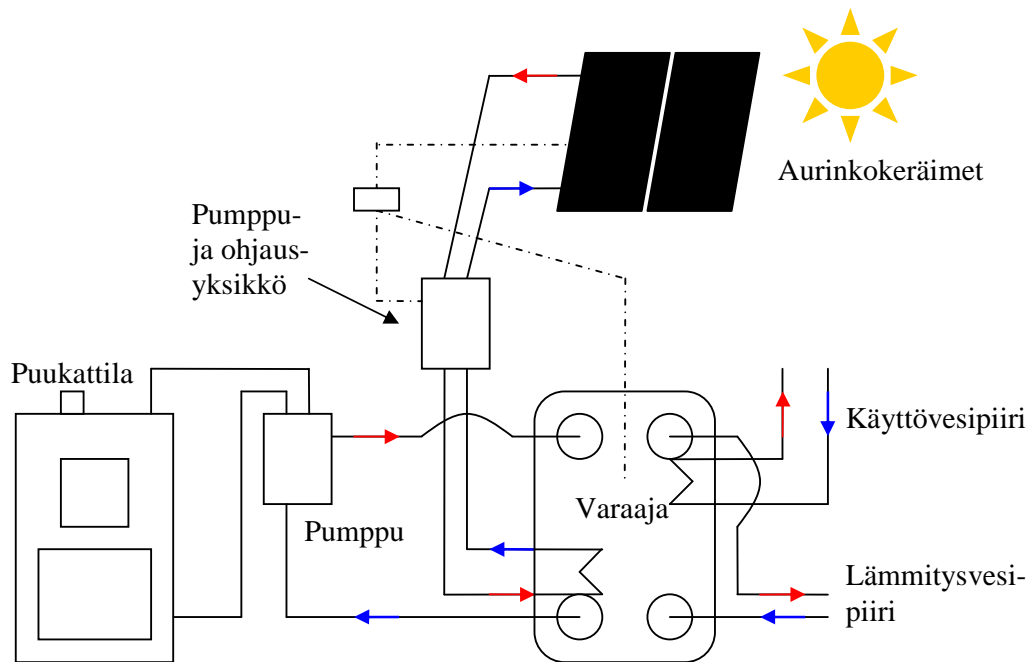


Kuva 6.1. Esimerkki öljylämmityksen ja aurinkokeräinten yhdistämismahdollisuudesta, kun aurinkokeräimet liitetään a) *vanhaan* öljykattilaan tai b) *uuteen* kattilavaraajaan. Lämmitysvesipiirillä tarkoitetaan talon lattia ja/tai patterilämmityspiiriä. Kuva 6.1 a) on luotu lähteiden [1,33] ja kuva 6.1 b) vastaavasti lähteiden [33,47,70] pohjalta.

Aurinkokeräinten ja puulämmityksen integrointi onnistuu kuvan 6.2 havainnollistamalla tavalla, missä päälämpö saadaan puukattilasta ja lisälämpö aurinkokeräimistä. Kuvassa lämmitysvesi ja käyttövesi lämmitetään samassa varaajassa, mutta ne voidaan lämmittää myös erillisissä varaajissa.

Yleensä puukattiloiden tuottama lämpö siirretään ensin varaajaan ja sieltä lämmönjakeluverkostoon. Puukattiloita ei yhdistetä tavallisesti suoraan lämmityspatteriverkostoon, koska kattiloiden osatehojen säätöä ei voida asettaa tarpeeksi pienelle. Tyypillisesti ainakin käyttövesi lämmitetään erillisen varaajan avulla. Puukattilassa voidaan hyödyntää polttoaineena haketta, pilkettä tai halkoja. Kattilatyyppi voi olla ylä-, alatai käänteispalokattila ja se valitaan polttoaineen perusteella. [1]

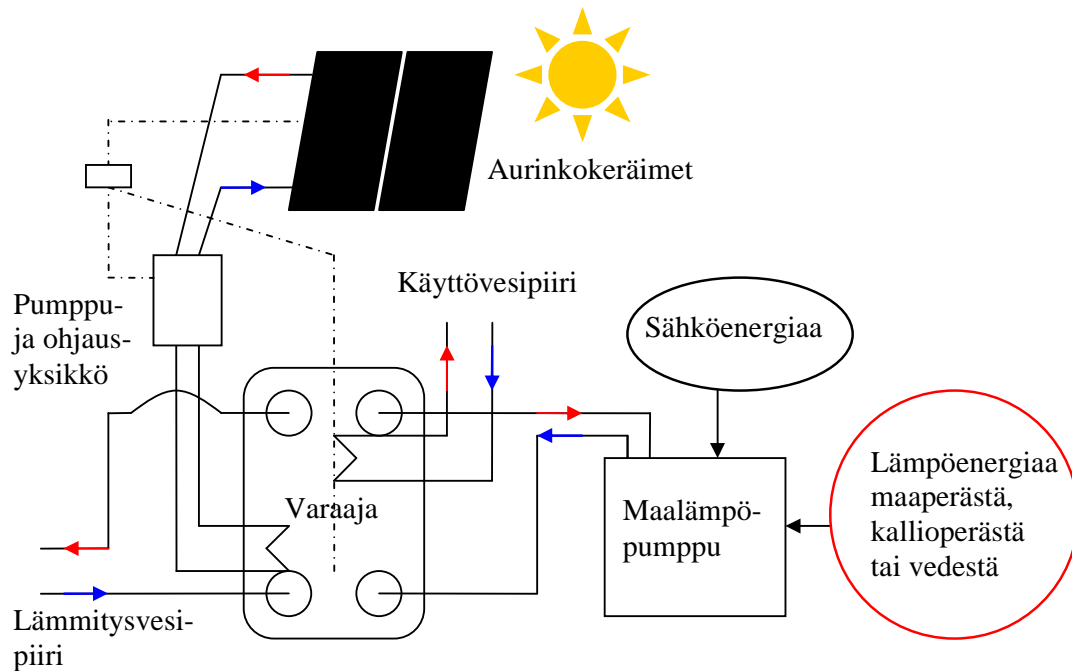
Puun käyttö ei tuota hiilidioksidipäästöjä [73], mutta se tuottaa jonkin verran hiukkaspäästöjä ja muita haitallisia päästöjä [1]. Aurinkokeräinten liittäminen puulämmityksen rinnalle ei siten vaikuta järjestelmän hiilidioksidikuormaan, mutta yhdistetyn systeemin avulla *lämmitystyö* vähenee erityisesti kesäaikaan [33].



Kuva 6.2. Esimerkki puulämmityksen ja aurinkokeräinten yhteen liittämisestä. Kuva on luotu lähteiden [33,47] pohjalta.

6.1.2 Maalämpö- ja aurinkokeräinjärjestelmä yhdessä

Maa- ja aurinkolämpö voidaan yhdistää toistensa kanssa yhdistetyksi järjestelmäksi, jossa päälämpö saadaan maalämmöstä ja lisäenergia aurinkokeräimien avulla. Kun maa- ja aurinkokeräinjärjestelmällä halutaan tuottaa sekä lämmintä käyttövettä että talon lämmitysvedettä, voidaan järjestelmät yhdistää keskenään kuvan 6.3 havainnollistamalla tavalla. Kuvan yhdistetyssä järjestelmässä maalämpöpumppu- ja aurinkokeräinjärjestelmä toimivat *rinnakkain* itsenäisinä järjestelminä siten, että järjestelmät tuovat lämpöä samaan varaajaan [33]. Kun aurinkokeräimillä tuotetaan lämpöä käyttöveden lisäksi talon lämmitysveteen, aurinkolämpöä käytetään lämmittämään talon lämmitysvedettä silloin, kun lämmintä käyttövettä ei tarvita tai silloin, kun auringon säteilyenergiaa ei ole riittävästi saatavilla käyttöveden lämpötilan saavuttamiseksi [74].



Kuva 6.3. Maa- ja aurinkolämmön yhdistäminen rinnakkain. Kuva on luotu lähteen [33] pohjalta.

Maa- ja aurinkolämpö voidaan yhdistää rinnakkain myös erillisiin varaajiin siten, että aurinkolämpö lämmittää suoraan (ja ainoastaan) käyttövesivaraajaa ja maalämpö huolehtii talon lämmitysvesivaraajan lämmityksestä sekä käyttöveden lämmityksestä silloin, kun aurinkoa ei ole tarpeeksi saatavilla. (Tällaista järjestelmää tarkastellaan luvussa 6.2.) Kun

aurinkokeräimiä käytetään lämpökaivoa lämmönlähteenä hyödyntävän maalämpöpumpun rinnalla suoraan lämpimän käyttöveden tuottamiseen, pienentävät keräimet erityisesti kesäaikaista sähkön tarvetta maalämpöpumpusta ja porareian lämpötila saa palautua luonnollisesti kesän aikana lämpöpumpun ollessa pois käytöstä [74].

Rinnakkaisen yhdistämisvaihtoehdon lisäksi on tutkittu ja testattu vaihtoehtoa, jossa aurinkokeräimet asennetaan *sarjaan* lämpöpumpun kanssa siten, että lämpöpumpun höyrystinosa saa energiansa aurinkokeräinten lämmittämästä aurinkovaraajasta. Tämän vaihtoehdon toteutus juontuu siitä faktasta, että aurinkokeräimien suorituskyky on parhaimmillaan matalissa lämpötiloissa ja toisaalta lämpöpumpun suorituskyky on parhaimmillaan suurilla höyrystinlämpötiloilla. [46]

Esimerkiksi lähteessä [46] on esitetty järjestelmä, jossa aurinkokeräimien tuottamaa lämpöä hyödynnetään joko aurinkovaraajan kautta lämpöpumpun höyrystinosaan energialähteenä tai vaihtoehtoisesti suoraan talon lämmityksessä, jos aurinkovaraajan lämpötila on riittävän korkea. Tällaisessa järjestelmässä keräiminä käytetään yleensä nestekiertoisia keräimiä ja lämpöpumpuna toimii vesi-ilma-lämpöpumppu¹⁹. Kyseinen sarjaan asennettu järjestelmä ei näyttäisi olevan tutkimusten mukaan kuitenkaan yhtä hyvä uusiutuvien energialähteiden hyödyntämisen ja sähkönkäytön näkökulmasta kuin sellainen rinnakkainen järjestelmä, jossa neste- tai ilmakiertoiset aurinkokeräimet toimivat päälämmönlähteenä ja ilma-ilma-lämpöpumppu²⁰ lisäenergialähteenä [46]. Edellä mainittujen järjestelmien toimintaperiaatteet ja laitetypit viittaavat siihen, että kyseisten järjestelmien hyödyntäminen sopii sellaisiin ilmastoihin, joissa aurinkoa on saatavilla varsin hyvin ympäri vuoden (jopa niin paljon, että aurinkolämpö toimii päälämmönlähteenä) ja jossa lämpötilat ovat korkeampia kuin Suomessa.

Yksi vaihtoehto, jota on tutkittu Lundin yliopistossa Ruotsissa, on hyödyntää aurinkolämpöä useammalla eri tavalla lämpökaivoa lämmönlähteenään käyttävän maalämpöpumpun rinnalla siten, että katetut aurinkokeräimet toimivat maalämpöpumpun kanssa tuottaen lämmintä käyttövettä ja talon lämmitysvettä, ja tämän lisäksi aurinkokeräimet varaavat lämpöä kallioperään ja nostavat sillä tavoin lämpöpumpun höyrystimen lämpötilaa. Aurinkokeräimien avulla tapahtuvan höyrystimen lämpötilan nostamisen mahdollinen hyöty rajoittuu kuitenkin tutkimuksen mukaan pääasiassa ilmeisesti tapaukseen, jossa lämpökaivon

¹⁹ Vesi-ilma-lämpöpumpulla tarkoitetaan lämpöpumppua, joka ottaa lämmön vedestä ja siirtää lämmön ilmakiertoiseen systeemiin.

²⁰ Ilma-ilma-lämpöpumpulla tarkoitetaan lämpöpumppua, joka ottaa lämmön ilmasta ja siirtää lämmön ilmakiertoiseen systeemiin.

syvyys on riittämätön (alimitoitettu kaivo) tai tapaukseen, jossa kaivot on asetettu liian lähelle toisiaan. [74]

Lähteessä [33] mainitaan aurinkokeräimien avulla tapahtuvasta lämmön lataamisesta maaperään siten, että kesällä maaperään ladattu lämpö otettaisiin hyötykäyttöön talvi-aikana lämpöpumpun avulla. Kyseisen lähteen mukaan tällaisia järjestelmiä on testattu Suomessa ja ulkomailla, mutta järjestelmien asema [jota ei ole määritelty lähteessä tarkemmin] ei ole toistaiseksi vakiintunut.

Maa- ja aurinkolämmöllä toimivan systeemin aiheuttamat CO₂-päästöt ovat pienet verrattuna öljy- ja sähkölämmitysjärjestelmien hiilidioksidipäästöihin (olettaen että sähkölämmitysjärjestelmän sähkö on tuotettu hiilidioksidipäästöjä tuottavalla energialähteellä), koska suurin osa maa- ja aurinkolämpöjärjestelmän tuottamasta lämmöstä on peräisin uusiutuvasta energiasta. Maa- ja aurinkolämpöä hyödyntävällä järjestelmällä tuotetun lämmön uusiutuvan energian suuri osuus johtuu siitä, että päälämmönlähteenä toimivan maalämpöpumpun tuottamasta lämpöenergiasta on tyypillisellä maalämpöpumpun lämpökertoimella noin 2/3 peräisin maaperästä, kallioperästä tai vesistöistä saadusta lämpöenergiasta ja loput 1/3 sähköenergiasta, ja koska aurinkokeräimet tarvitsevat vain pienen määrän sähköenergiaa toimiakseen. Yhdistetyn järjestelmän lopullinen lämmöntuotannon energialähdejakauma ja CO₂-päästöt riippuvat sähkön tuotantotavasta. Jos sähkö on tuotettu pääasiassa uusiutuvilla energialähteillä, voi järjestelmä hyödyntää lähes pelkästään uusiutuvaa energiaa ja järjestelmän hiilidioksidipäästöt voivat olla hyvin pienet.

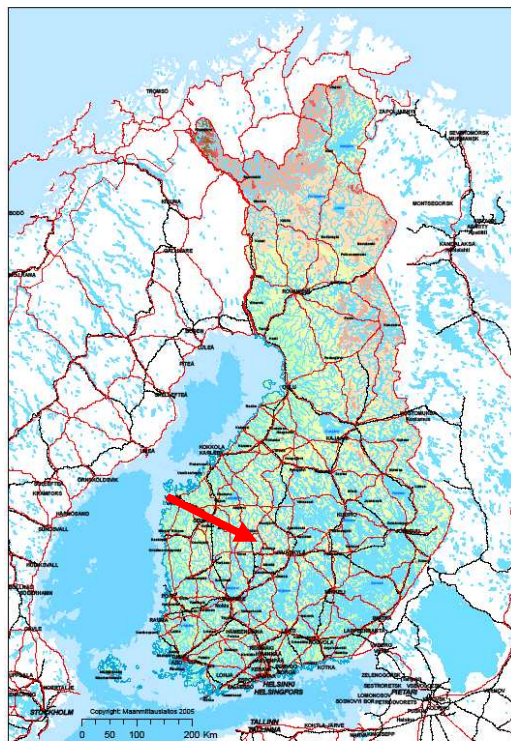
6.2 Maa- ja aurinkolämpöä sekä tuulivoimaa hyödyntävä omakotitalo

6.2.1 Omakotitalon kuvaus ja asukkaiden motivaatio

Tarkasteltava omakotitalo sijaitsee Keski-Suomessa Keuruulla, jonka maantieteellinen sijainti on 62,3° pohjoista leveyttä ja 24,7° itäistä pituutta (kuva 6.4). Talo on vuonna 1953 rakennettu suuri puurakenteinen omakotitalo, jonka huoneistopinta-ala on yhteensä 564 m². Talon lämmitys perustuu vesipattereilla toimivaan järjestelmään ja alun perin sekä kiinteistön huonelämmitys että käyttöveden lämmitys toimivat kokonaan öljyn avulla. Nykyisten asukkaiden muuttaessa taloon vuonna 1988 öljyä kului vuosittain noin 13.000 litraa. Erilaisten vaiheittain tehtyjen lämpöremonttien avulla öljynkulutus saatiin laskemaan vuoteen 2006 mennessä noin 6.400 litraan vuodessa ja kesällä 2007 talon lämmitysjärjestelmä

vaihdettiin pääasiassa uusiutuvia energialähteitä hyödyntäväksi järjestelmäksi, jolloin öljynkulutus loppui kokonaan ja öljylämmitys jäi talon varajärjestelmäksi.

Talossa asuvan perheen henkilömäärä on muuttunut vuosien aikana perheen lasten muutettua kotoa siten, että vuosien 1988-1994 aikana talossa asui kuusi henkilöä, vuosien 1995-1997 henkilöiden lukumäärä oli viisi, vuosien 1998-2003 aikana talossa asui neljä henkilöä ja vuoden 2003 jälkeen talossa on asunut kaksi henkilöä. Talon asukkaiden motivaatio siirtyä käyttämään uusiutuvaa energiaa lähti siitä, että he pitivät ilmaston lämpenemistä yhtenä tulevaisuuden sukupolvien suurimpana uhkana ja halusivat vaikuttaa omalta pieneltä osaltaan sen estämiseen. He havaitsivat, että markkinoilla on jo olemassa toimivia teknisiä ratkaisuja uusiutuvan energian käyttöön ottamiselle omakotitalossa. Koska keinoja ilmaston lämpenemisen estämiseksi oli olemassa, he näkivät rahallisen panostuksen asiaan välttämättömäksi viipymättä. Erityisesti tuulivoimaan liittyen asukkaiden omakohtainen havainto oli, että tuulisuus on lisääntynyt Keski-Suomessa verrattuna heidän omiin lapsuusaikoihinsa. Asukkaat pitivät myös uutta energiajärjestelmää taloudellisesti edullisena pidemmällä aikavälillä katsottuna. [76,77]



Kuva 6.4. Tarkasteltavan omakotitalon sijainti Suomen kartalla. Talo sijaitsee Keski-Suomessa Keuruulla, joka on merkitty karttaan punaisella nuolella. © Maanmittauslaitos. [75]

6.2.2 Yhdistetyn lämmitysjärjestelmän osat

Talon uusi yhdistetty lämmitysjärjestelmä koostuu maalämpöjärjestelmästä, aurinkokeräinjärjestelmästä, tuuligeneraattorista sekä kahdesta vesivaraajasta. Järjestelmä hyödyntää siis kolmea eri uusiutuvan energian muotoa. Uuden lämmitysjärjestelmän laitetoimittajat on koottu taulukkoon 6.1. Varalämmitysjärjestelmänä talossa toimii 17 kW öljykattila sekä sähkövastukset, jotka huolehtivat tarpeen vaatiessa sekä talon lämmitysveden että käyttöveden lämmittämisestä. Uusi lämmitysjärjestelmä yhdessä varalämmitysjärjestelmän kanssa on havainnollistettu kokonaisuudessaan liitteessä B, mikä selventää uuden järjestelmän osien ja toiminnan tarkastelua.

Taulukko 6.1. Lämmitysjärjestelmän osien laitetoimittajat.

Järjestelmän osa	Laitetoimittaja
Maalämpö	VIESSMANN/ Rakennuspalvelu Heikkinen Oy
Maalämpöön liittyvät poraukset	Porakaivoliike Kallioniemi Oy
Aurinkolämpö	VIESSMANN/ Rakennuspalvelu Heikkinen Oy
Tuuliturbiini	Windside

Järjestelmän **lämmönvaraamisesta** huolehtii kaksi vesivaraajaa, joiden tilavuudet ovat 500 litraa ja 460 litraa. Massavaraajan eli 500 l varaajan sisällä kiertää talon lämmitysvesi eli patterivesi ja lisäksi kyseisessä varaajassa kiertää käyttövesiputkiston esikierukka. Häiriötilanteen varalle massavaraajaan on asennettu kaksi 4,5 kW sähkövastusta. Pienempi varaaja on kaksiosainen siten, että 300 litran aurinkovaraajan ympärillä on 160 litran ulkovaippa. Aurinkovaraaja sisältää käyttövettä, joka saapuu aurinkovaraajaan massavaraajan läpi kulkevan esikierukan kautta. Lisäksi aurinkovaraajassa on 6 kW sähkövastus häiriötilannetta varten. [79]

Maalämpöjärjestelmän lämmönlähteenä toimii kallioperä siten, että lämpöä kerätään kahden 200 m syvyisen lämpökaivon avulla [79]. Lämpökaivot on porattu 19 m etäisyydelle toisistaan ja kummankin porareian sisällä on kolme putkea, joista yksi tulee ylös ja kaksi menee alas siten, että kaivon pohjalla putket kaartuvat U-muotoisesti [80]. Kuvassa 6.5 on havainnollistettu lämpökaivon porausvaiheita ja taulukossa 6.2 on esitetty järjestelmän asentajan ilmoittamat kallioperän ominaisarvot, mistä nähdään, että kallioperästä saatava vuotuinen lämpömäärä putkimetriä kohden on eteläsuomalaisesta savimaasta vaakaputkiston avulla saatavaan lämpömäärään (ks. taulukko 5.1) verrattuna noin kaksinkertainen.



a)



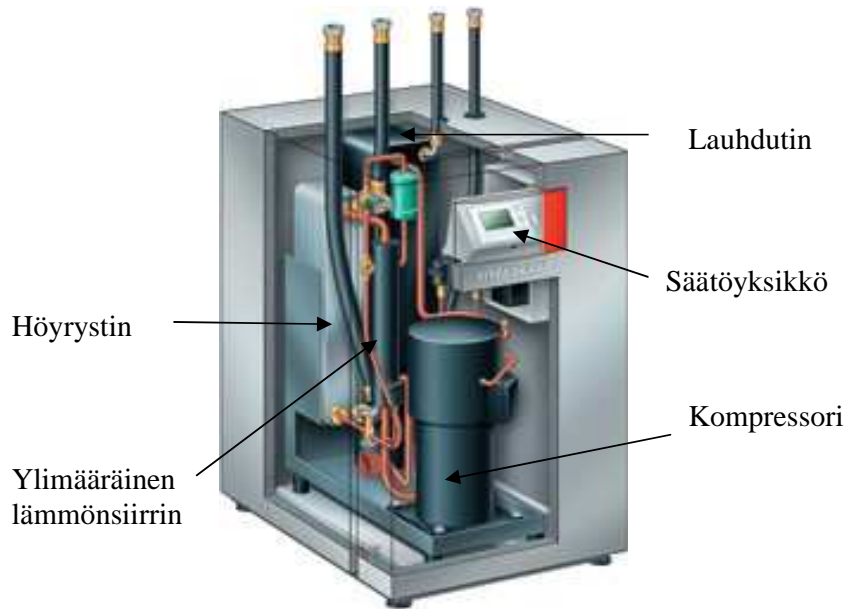
b)

Kuva 6.5. Lämpökaivon asennus. a) Porareian paikan asettaminen. b) Kallioperän poraus, jolloin putken kautta poistuu kiviäuhetta.

Taulukko 6.2. Kallioperän energia-arvot. Taulukko on luotu lähteen [81] pohjalta.

Ominaislämpöteho/vuosi: 112 kWh/m
Ominaislämpöteho: 40 W/m
Lambda-arvo, kallio: 2,56 W/mK
Keruunesteen lämpötila-ero: 3 K

Maalämpöjärjestelmä koostuu kolmesta erillisestä piiristä siten, että maalämpöpumppu (kuva 6.6) toimii omana piirinään ensiöpiirin ja toisiopiirin välissä. Maalämmön *ensiöpiiri* kiertää kallioperän ja lämpöpumpun höyrytimen välillä ja piirissä kiertää jäätymätön etanolipohjainen lämmönsiirtoliuos (Naturet-maalämpöneste). *Toisiopiiri* toimii lämpöpumpun lauhduttimen ja varaajien välillä ja lämmönsiirtoaineena toisiopiirissä kiertää vesi. Toisiopiirin vesi on ohjattu lämmittämään sekä massavaraajaa että aurinkovaraajan ulkovaippaa ja siten maalämpö on talon päälämmönlähde. Ensiö- ja toisiopiirin välissä toimiva lämpöpumppu on teholtaan 17 kW ja sen kiertoaine on kylmäainetta (R 407). [80]



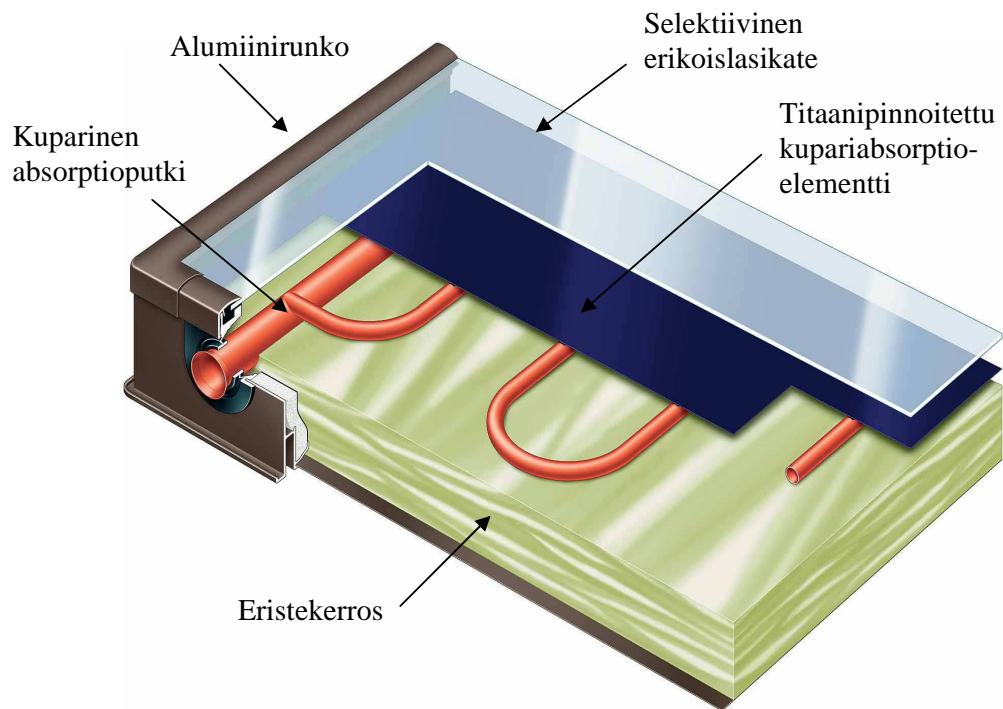
Kuva 6.6. Tarkasteltavassa omakotitalossa käytössä olevan maalämpöpumpun rakenne (Viessmann Vitocal 350). Kuva Viessmannin luvalla. [82]

Aurinkolämpöjärjestelmä koostuu kahdesta toisiinsa pystysuunnassa asennossa liitetystä $2,3 \text{ m}^2$ nestekiertoisesta tasokeräimestä, jotka on asennettu talon eteläiselle katolle 30° kulmaan vaakatasoon nähden (kuva 6.7). Tasokeräinten rakenne on havainnollistettu tarkemmin kuvassa 6.8, josta nähdään, että keräinten sisällä kiertävä kuparinen absorptioputkisto on integroitu absorptioelementin kanssa valoa läpäisevän katteen alapuolelle (vrt. kuva 5.3). Kiertonesteinä keräimissä kulkee lämmönsiirtoneste (Tyfocor), joka kiertää talon katolta latauspumpun kautta 300 litran aurinkovaraajaan ja lämmittää talon käyttövetä [80].

Aurinkokeräimet kestävät korroosiota, sadetta, pakkasta, lunta ja rakeita ja niiden alumiinikomponentit ovat valmistettu 97 % kierrätysmateriaalista [85]. Talviolosuhteita kestävien ominaisuuksien takia keräimiä voidaan pitää talon katolla ympäri vuoden ja keräinten yhteen liittäminen toisiinsa mahdollistaa sen, että samanlaisia keräimiä voidaan yhdistää halutessaan olemassa olevaan keräinsysteemiin lisää.



Kuva 6.7. Yhteen liitetyt tasokeräimet. Oikealla näkyy myös tuuliturbiini.



Kuva 6.8. Tarkasteltavassa omakotitalossa käytössä olevan nestekiertoisen tasokeräimen rakenne (Viessmann Vitosol 100). Kuva Viessmannin luvalla. [83,84]

Talon katon harjalle asennettu spiraalimainen **tuuliturbiini** nähdään tarkemmin kuvassa 6.9. Tämä pientuulivoimala on pituudeltaan 1,5 m, halkaisijaltaan 300 mm ja pyyhkäisyypinta-alaltaan 0,30 m² [86]. Tuuliturbiini pyörii tuulen nopeuden ollessa vähintään 2-3 m/s ja se on suunniteltu kestävämmän nopeudeltaan 30 m/s olevia myrskytuulia [86]. Turbiinin valmistusmateriaaleja ovat mm. lasikuitumuovi, ruostumaton teräs sekä alumiini, ja pienvoimala kestävä kosteutta, pakkasta, lunta ja jäätä [87]. Turbiini soveltuu siten hyvin Suomen vaihteleviin sää-olosuhteisiin.

Tuuliturbiini on asennettu lämmittämään massavaraajan alaosaan sijoitettua 3 kW vastusta, mikä onnistuu tasasuuntaamalla turbiinin tuottama vaihtovirta ko. vastukseen [79]. Toisin sanoen tuulen sisältämä liike-energia muunnetaan tuuliturbiinin ja tasasuuntaajaan avulla suoraan talon lämmitysveden ja käyttöveden lämpöenergiaksi. Toinen (ehkä tavallisempi) tuuligeneraattorien käyttötapo pientaloissa on se, että tuulen tuottamaa energiaa käytetään lämmöntuotannon sijasta akkujen lataukseen ja sitä kautta mm. valaistuksen ja muiden sähkölaitteiden toimintaan [88,89,90].



Kuva 6.9. Spiraalimaisen tuuliturbiinin (Windside WS-0,30C) asennusvaihe.

Yhdistetyn järjestelmän päälämmönlähde on siis maalämpö, joka huolehtii maalämpöpumpun avulla kokonaan talon huoneistojen lämmityksestä ja tuottaa lisäksi kuumaa käyttövettä silloin, kun aurinkokeräimistä saatava teho ei ole riittävä. Aurinkokeräimet puolestaan tuottavat kuumaa käyttövettä ja tuuliturbiini esilämmittää talon lämmitysveden ja käyttöveden. Seuraavassa luvussa tarkastellaan järjestelmän toimintaperiaatetta lämmönlähteiden näkökulmasta tarkemmin.

6.2.3 Järjestelmän toimintaperiaate, ohjaus sekä käyttöaikaiset havainnot

Yhdistetty systeemi toimii kahdella vaihtoehtoisella tavalla: *talviasetuksella* tai *kesäasetuksella*. Asetuksen vaihtaminen tapahtuu manuaalisesti, mutta muuten systeemi toimii automaattisesti maalämpöpumppuun integroidun säätöyksikön (ks. kuva 6.6) avulla, joka valvoo mm. järjestelmässä kiertävien nesteiden lämpötiloja. Asetukset määrittelevät varaajien käytön seuraavasti [80]:

- A. Talviasetus.** Talviasetuksella järjestelmä käyttää sekä 500 litran massavaraajaa että 460 litran varaajaa (aurinkovaraaja + vaippa) eli käytössä on yhteensä 960 litraa vettä.
- B. Kesäasetus.** Kesäasetuksen ollessa valittuna järjestelmä käyttää ainoastaan 300 litran aurinkovaraajaa.

Järjestelmän ohjaus toimii talviasetuksella siten, että maalämpöpumppu lämmittää ensin käyttöveden tuomalla lämpöä aurinkovaraajan ympärillä olevaan vaippaan, ja tämän jälkeen maalämpöpumppu kääntyy varaamaan vaihtoshuntin avulla massavaraajaa eli patterivettä. Aurinkokeräinjärjestelmän ohjaus toimii sekä talvi- että kesäasetuksella siten, että nestekierto alkaa toimia automaattisesti keräinpiirissä silloin, kun keräinten ja aurinkovaraajan lämpötilaero on vähintään 6 °C. Säätökeskus ohjaa järjestelmää talviasetuksella ottamaan lämpöä käyttöveden lämmitykseen aurinkokeräinjärjestelmän kautta niin kauan kuin mahdollista ja kun sen teho ei riitä, siirtyy järjestelmä käyttämään maalämpöä. Aurinkolämpöä pystytään hyödyntämään käyttöveden lämmityksessä siten aina kun aurinkoa on riittävästi saatavilla eli myös alkukevästä ja loppusyksystä, jolloin talviasetus on päällä. Talon lämmityksestä huolehtivan patterivesikierron tehokkuuden säätö tapahtuu vuodenaikojen lämmöntarpeen mukaan manuaalisesti kiertovesipumppujen ja lämmitysverkon säätöventtiilin avulla, ja säädön jälkeen vesikierto toimii automaattisesti. [76,80]

Kesäaikana ei yleensä tarvita energiaa talon lämmitykseen vaan pelkästään käyttöveden lämmitykseen, mikä tapahtuu kesäasetuksella aurinkovaraajaan asetetun aurinkokeräinjärjestelmän kierukan avulla. Tarvittaessa kylmänä ja/tai sateisena kesäaikana voidaan hyödyntää maalämpöä asettamalla talviasetus väliaikaisesti päälle, jolloin lämpöpumppu tuo kallioperästä lämpöä aurinkovaraajan vaippaan sekä massavaraajaan. [76,80]

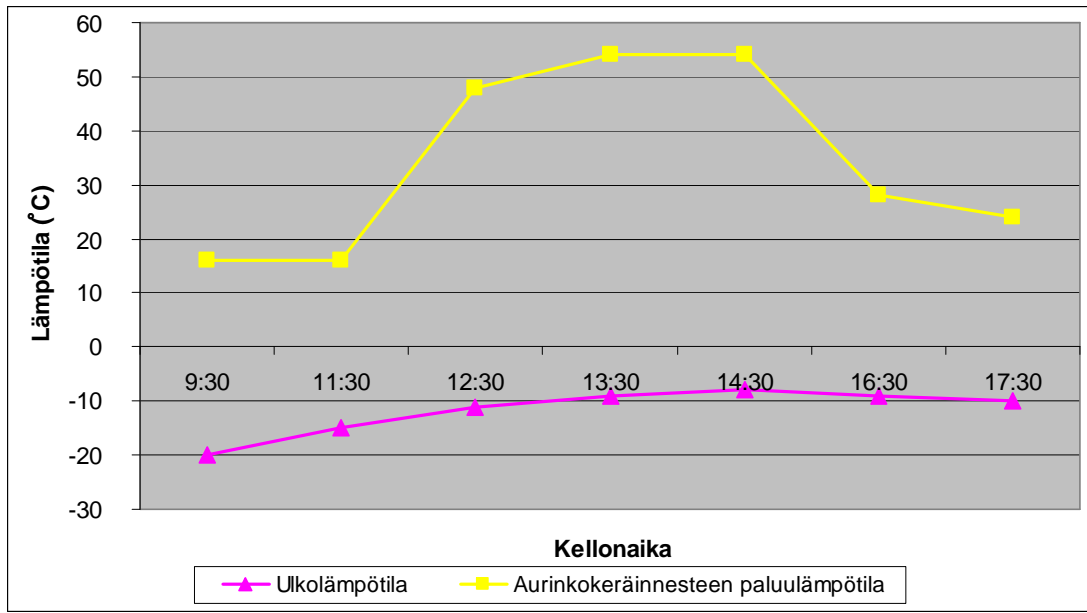
Järjestelmän talvi- ja kesäasetusta on käytetty vuodenaikojen lämpötilojen ja tarvittavan lämmön mukaan. Lähes kolmen vuoden käyttökokemuksen perusteella *talviasetus* on ollut talossa käytössä *loka-marraskuusta maaliskuu-huhtikuuhun* ja *kesäasetus* on ollut pääsääntöisesti

käytössä *maalis-huhtikuusta loka-marraskuuhun*. Käytännössä keskitalvella talon ja käyttöveden lämmitys on tapahtunut kokonaan maalämpöpumpun avulla, koska aurinkoenergiaa ei ole tarpeeksi saatavilla. Myös kylminä ja sateisina kesäaikoina taloa ja käyttövettä on lämmitetty väliaikaisesti talviasetuksen avulla. [76]

Järjestelmän käyttökokemuksen mukaan aurinkokeräimistä on saatu lämpöä alkuvuodesta ensimmäisen kerran jo helmikuussa muutamina aurinkoisina päivinä ja keräimet ovat tuottaneet lämpöä aina lokakuulle saakka [76]. Kesäisin käyttövesi on lämmennyt kylmiä ja sateisia kesäaikoja lukuun ottamatta aurinkokeräinten avulla [76]. Kuvassa 6.10 on esitetty aurinkokeräinten lämmittämän lämmönsiirtoliuoksen paluulämpötila (nesteiden lämpötila keräinten jälkeen) sekä ulkolämpötila kellonajan funktiona aurinkoisena päivänä helmikuussa 2009. Kuvasta nähdään, että kyseisenä päivänä pakkasen on vaihdellut tarkasteltavalla aikavälillä noin -20°C ja -8°C välillä ja keräimet ovat lämmittäneet keskipäivän ja iltapäivän aikana keräinnesteiden ylimmillään noin $+55$ celsiusasteeseen pakkasen ollessa ulkona noin -10 celsiusastetta.

Tuuliturbiinin osalta talvi- ja kesäasetusta tarkastellen voidaan todeta, että talviasetuksella tuulivoima tuo lämpöä talon lämmitysveteen ja esilämmittää talon käyttövettä (koska käyttövesikierukka kiertää massavaraajan kautta ennen kuin se saapuu aurinkovaraajaan), ja kesäasetuksella tuuligeneraattorin vaikutus järjestelmässä on käyttövettä esilämmittävä. Siten tuulivoima tuottama teho tuo järjestelmään pienen osan lämpöä ympäri vuoden ja koska tuulivoimasta saatava teho ei pysty kiehuttamaan massavaraajassa olevaa vettä, tuulivoiman käyttö ei tarvitse toimiakseen ylimääräistä automatiikkaa [76,80].

Talon lämmitysvesi lähtee massavaraajasta pattereihin noin $+65$ celsiusasteisena ja palaa takaisin varaajaan noin $+45$ celsiusasteisena. Korkea menoveden lämpötila tarvitaan perinteisten vesipattereiden takia. Käyttövesi saapuu massavaraajaan noin $+4$ - $+8$ celsiusasteisena ja lähtee varaajasta kesäasetuksella noin $+15$ celsiusasteisena kohti aurinkovaraajaa, jossa vesi lämpiää edelleen noin $+55$ celsiusasteeseen aurinkolämmön avulla. Talviasetuksella käyttövesi lämpiää kyseiseen lopulliseen lämpötilaansa aurinkovaraajassa joko maalämmön tai aurinkolämmön avulla. [80]



Kuva 6.10. Aurinkokeräinten lämmönsiirtonesteen paluulämpötilä (nesteen lämpötilä keräinten jälkeen) ja ulkolämpötilä 17.2.2009.

6.2.4 Vanhasta uuteen lämmitysjärjestelmään: Sekundäärienergian kulutus, CO₂-päästöt ja lämmöntuotanto

Sekundäärienergian muotoja ovat mm. sähkö, lämpö ja polttoaineena käytettävä öljy kuten luvussa 2.1 mainitaan. Selvitetään aluksi, miten tarkasteltavan omakotitalon öljynkulutus on muuttunut vuosien aikana. Talon nykyiset asukkaat muuttivat taloon vuonna 1988, jolloin talon lämmitys toimi kokonaan kevyellä polttoöljyllä. Öljyn käyttöön perustuva lämmitysjärjestelmä oli toiminnassa aina 10. heinäkuuta 2007 saakka, jolloin talossa otettiin käyttöön maa- ja aurinkolämpöä sekä tuulivoimaa hyödyntävä järjestelmä. Uuden järjestelmän myötä öljyä ei ole kulunut toistaiseksi pisaraakaan.

Talon öljynkulutus on vaihdellut ensinnäkin talon lämmitykseen liittyvien remonttien ja uudistusten mukaan, toisaalta talon öljynkulutukseen on vaikuttanut vuosien lämpöisyys/kylmyys. Talon lämmitykseen liittyvät toimenpiteet aikavälillä 1985-2009 on esitetty taulukossa 6.3, josta nähdään taloa uudistetun parinkymmenen vuoden aikana usealla eri tavalla öljynkulutuksen pienentämiseksi. Liitteessä C on listattu talon vuosittainen öljynkulutus sekä vuosikeskilämpötilä ja talvikuukausien keskilämpötilä talon sijaintipaikassa

Keuruulla²¹ vuosien 1985-2009 aikana. *Öljyn vuosikulutukset* on laskettu tietynä aikavälinä (yleensä vuoden alusta seuraavan vuoden alkuun) tehtyjen öljytoimituksien summasta, joka on jaettu aikavälin sisältämien päivien lukumäärällä ja kerrottu 365:llä. Vuoden 2007 öljyn vuosikulutusarvio on laskettu sen tiedon pohjalta, paljonko öljyä kului kyseisenä vuonna heinäkuun 9. päivään saakka. *Vuosikeskilämpötila* on laskettu keskiarvona kaikkien kuukausien keskilämpötiloista ja *talvikuukausien keskilämpötila* on laskettu keskiarvona talvikuukausien²² keskilämpötiloista. Talvikuukausien keskilämpötila on valittu mukaan sillä perusteella, että kyseisten kuukausien aikana talon lämmöntarve eli öljynkulutuksen tarve on suurin.

Kuvassa 6.11 on havainnollistettu vuosien 1985-2009 ajalta talon lämmitykseen liittyvät uudistukset, talon vuosittainen öljynkulutus sekä Keuruun vuosikeskilämpötilat ja talvikuukausien keskilämpötilat. Kuvaan on piirretty myös vuosien lämpöisyyden/kylmyyden vertailua varten vuosikeskilämpötilojen keskiarvo sekä talvikuukausien keskilämpötilojen keskiarvo vertailukaudella 1973-2009 Keuruulla. Kuvaa tarkasteltaessa on otettava huomioon, että talon öljynkulutukseen on lämpöremonttien ja lämpötiloihin perustuvan lämpöisyyden/kylmyyden lisäksi todennäköisesti vaikuttanut myös esimerkiksi tuulisuus ja sateisuus, mitä ei ole tässä yhteydessä tarkasteltu.

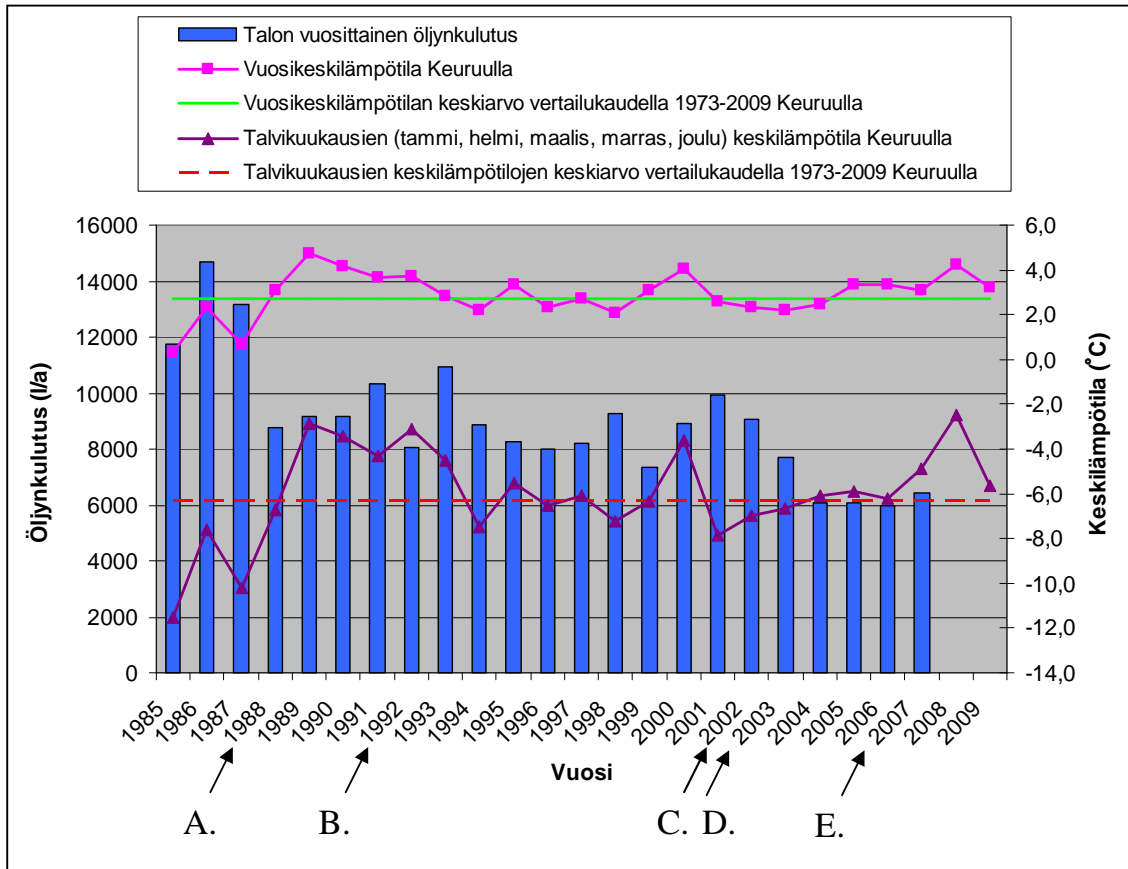
Taulukko 6.3. Talon lämmitykseen liittyvät uudistukset. [76]

Vuosi	Toimenpide	Tunnus
1988	Öljykattilan ja savupiipun juuren puhdistus.	A
1992	Lämpöremontti, missä talon seinät ja katot uudistettiin ja eristettiin.	B
2002	Ikkunoiden vaihto.	C
2003	Öljykattilan uusinta sekä savupiipun korjaus, missä piippuun asennettiin ruostumaton teräsputki ja vermikuliittieristys ²³ .	D
2007	Lämmitysjärjestelmän uusinta, missä otettiin käyttöön maa- ja aurinkolämmöllä sekä tuulivoimalla toimiva järjestelmä.	E

²¹ Lämpötilat ovat mitattu Keuruun Varuskunnassa, joka sijaitsee noin 7 km päässä tarkasteltavasta omakotitalosta.

²² Talvikuukaudet tarkoittavat tässä tammi-, helmi-, maaliskuu-, marras- ja joulukuuta, joiden aikana kuukauden keskilämpötila on pysytellyt pakkasen puolella.

²³ Vermikuliitti on teollisuusmineraali, jota käytetään paisutettuna lämmöneristeenä [91].



Kuva 6.11. Talon lämmitykseen liittyvät uudistukset (taulukon 6.3 kohdat A-E) ja talon vuosittainen öljynkulutus yhdessä Keuruun vuosikeskilämpötilojen ja talvikuukausien keskilämpötilojen kanssa aikavälillä 1985-2009. Kuvaan on havainnollistettu myös vertailukauden 1973-2009 lämpötilat Keuruulla. Kuva on luotu lähteiden [92,93] pohjalta.

Kuvan 6.11 mukaan talon öljynkulutus oli suurinta vuosina 1985-1987 ennen talon ensimmäistä lämpöremonttia. Ensimmäistä lämpöremonttia edeltävä aika on myös kuvassa näkyvän aikavälin selvästi kylmin jakso ja vertailukauden lämpötiloihinkin nähden kyseisten vuosien vuosikeskilämpötilat ja talvikuukausien keskilämpötilat ovat tavallista huomattavasti alhaisempia. Ensimmäisen lämpöremontin toteutusvuonna öljynkulutus pieneni merkittävästi ja kyseisen lämpöremontin toteutusvuosi oli vuosi- ja talvilämpötilaltaan lähellä vertailukauden lämpötilaa ollen selkeästi lämpöisempi kuin kolme sitä edeltävää vuotta. Kyseistä lämpöremonttia seurasivat tavallista lämpöisemmät vuodet sekä vuosikeskilämpötilojen että talvikuukausien keskilämpötilojen osalta aina vuoteen 1993 saakka ja öljynkulutus pysytteli tällä aikavälillä kutakuinkin samana tippuen jonkin verran toisen lämpöremontin toteutusvuonna ja kasvaen jostain syystä edeltäviä vuosia melko

selvästi suuremmaksi vuonna 1993. Kyseisen vuoden öljynkulutuspiikille on vaikea löytää selitystä lämpötilojen kautta, sillä vuosi oli vuosikeskilämpötilan puolesta tavallinen vuosi ja talvikuukausien keskilämpötilan osalta tavallista vähän lämpöisempi vuosi.

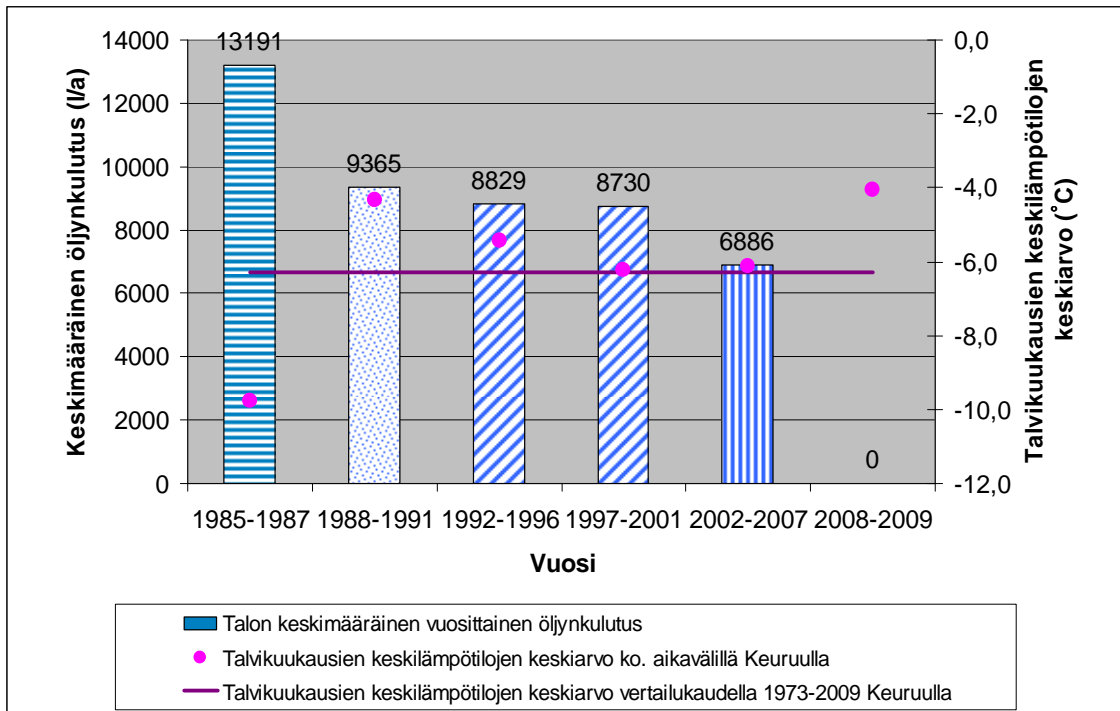
Vuosien 1993-2001 aikana talossa ei tapahtunut lämpöremontteja, mikä antaa hyvän tilaisuuden tarkastella lämpötilan vaikutusta öljynkulutukseen. Kuvan 6.11 mukaan kyseisen jakson aikana sekä vuosikeskilämpötilat että talvikuukausien keskilämpötilat vaihtelivat molemmin puolin melko lähellä vertailujaksojen lämpötiloja poiketen kuitenkin melko selvästi vertailutasoista ylöspäin vuonna 2000 ja alaspäin vuonna 2001. Jakson aikana toisinaan öljynkulutus pieneni kun lämpötilat nousivat ja kulutus kasvoi kun lämpötilat laskivat, toisaalta jaksossa tapahtui myös muutoksia juuri vastakkaisiin suuntiin kulutuksen ja lämpötilojen muutoksen suhteen. Jaksoa tarkastellen voidaan todeta, että lämpötilojen vaihteluilla ei ollut suoraan *vain tietynlaista vaikutusta* öljynkulutukseen.

Koko kuvan 6.11 havainnollistaman tarkastelujakson loppupäästä nähdään, että vuosien 2002-2003 aikaan tehtyjen uudistusten jälkeen öljynkulutus pieneni ja pysytteli koko tarkastelujakson pienimmissä lukemissa aina uuden järjestelmän käyttöönottoon saakka, jolloin öljynkulutus loppui kokonaan. Uudistusvuosien 2002 ja 2003 ja niitä seuraavien neljän vuoden lämpötilat eivät poikkea merkittävästi kyseisiä uudistuksia edeltäneiden kymmenen vuoden lämpötiloista. Siten kuvan perusteella voidaan päätellä, että viimeiset uudistukset ennen uutta järjestelmää vaikuttivat öljynkulutusta pienentävästi.

Jotta saadaan parempi kokonaiskuva öljynkulutuksessa tapahtuneesta muutoksesta tarkasteltavalla aikavälillä, on taulukkoon 6.4 laskettu talon vuosittaisten öljynkulutustietojen avulla *keskimääräinen* vuosittainen öljynkulutus ja talvikuukausien keskilämpötilojen keskiarvo Keuruulla talon uudistustoimenpiteitä vastaavilla aikaväleillä. Taulukossa 6.4 uudistusta B vastaava aikaväli on jaettu kahteen osaan kyseisen aikavälin pituuden vuoksi ja uudistukset C ja D on yhdistetty samaan aikaväliin niiden lähekkäisten toteutusaikojen takia. Viimeistä uudistusta E vastaava aikaväli alkaa vuodesta 2008 eikä kyseisen uudistuksen toteutusvuodesta 2007, koska vuosi 2008 oli uuden järjestelmän ensimmäinen *täysi* käyttövuosi ja tällöin vuosittaista öljynkulutusta ei enää ollut. Taulukkoa 6.4 vastaa kuva 6.12, johon on uudistusaikavälejä vastaavien keskimääräisten öljynkulutuksien ja talvikuukausien keskilämpötilojen keskiarvojen lisäksi merkitty talvikuukausien keskilämpötilojen keskiarvo vertailukaudella 1973-2009.

Taulukko 6.4. Talon *keskimääräinen* vuosittainen öljynkulutus sekä talvikuukausien keskilämpötilojen keskiarvo Keuruulla talon uudistustoimenpiteitä vastaavilla aikaväleillä. Taulukko on luotu lähteiden [92,93] pohjalta.

Aikaväli	Uudistustoimenpiteen tunnus	Keskimääräinen öljynkulutus (l/a)	Talvikuukausien keskilämpötilojen keskiarvo (°C)
1985-1987		13.191	-9,8
1988-1991	A	9.365	-4,3
1992-1996	B	8.829	-5,4
1997-2001	B	8.730	-6,2
2002-2007	C, D	6.886	-6,1
2008-2009	E	0	-4,1



Kuva 6.12. Talon *keskimääräinen* vuosittainen öljynkulutus ja talvikuukausien keskilämpötilojen keskiarvo Keuruulla talon uudistustoimenpiteitä vastaavilla aikaväleillä sekä talvikuukausien keskilämpötilojen keskiarvo vertailukaudella 1973-2009. Kuva on luotu lähteiden [92,93] pohjalta.

Verrattaessa kuvia 6.11 ja 6.12 keskenään havaitaan, että kuvasta 6.12 nähdään selkeämmin öljynkäytön laskusuuntainen muuttuminen tarkastelujakson aikana. Kuvan 6.12

eri aikavälejä vastaavien talvikuukausien keskilämpötilojen keskiarvoja tarkastelemalla nähdään, että erityisesti ensimmäistä uudistusta edeltävät talvet olivat keskimäärin poikkeuksellisen kylmiä ja ensimmäisen lämpöremontin jälkeiset talvet olivat puolestaan keskimäärin tavallista lämpöisempiä. Tämä suuri lämpötilamuutos vaikutti ensimmäisen lämpöremontin lisäksi varmasti osaltaan öljynkulutuksen selvään putoamiseen näiden tarkastelujaksojen välillä.

Kuvasta 6.12 nähdään, että öljynkulutus pysytteli hyvin samansuuruisena toisen lämpöremontin jaksoilla ja talvikuukausien keskilämpötilat palasivat kyseisten jaksoiden aikana lähemmäksi vertailukauden tasoa. Kuva antaa viitettä siitä, että toisella lämpöremontilla oli merkitystä öljynkulutuksen pienenemiseen, sillä öljynkulutus oli keskimäärin pienempää toisen lämpöremontin koko vaikutusjaksolla (1992-2001) kuin ensimmäisen lämpöremontin jaksolla (1988-1991), vaikka talvikuukausien keskilämpötilojen keskiarvot olivat toisen lämpöremontin vaikutusjaksoilla alhaisempia kuin ensimmäisen remontin jaksolla. Lisäksi kuvasta havaitaan, että vuonna 2002-2003 tehtyjen lämpöremonttien jakso oli talvikuukausien puolesta yhtä lämpöinen tai kylmempi kuin kaksi sitä edeltävää jaksoa, mutta kyseisen jakson öljynkulutus oli kuitenkin selvästi pienempää kuin sitä edeltävien jaksoiden öljynkulutus. Siten viimeiset lämpöremontit ennen uutta järjestelmää pienensivät öljynkulutusta todennäköisesti melko huomattavasti.

Tarkastellaan seuraavaksi talon lämmitykseen liittyviä CO₂-päästöjä öljynkulutuksen muuttumisen ja lämmitysjärjestelmän vaihdon seurauksena. Talon lämmityksessä ennen uutta järjestelmää käytetty kevyt polttoöljy kuuluu fossiilisiin polttoaineisiin, joka tuottaa CO₂-päästöjä. Polttoaineen käytön aiheuttamat hiilidioksidipäästöt m_{pa/CO_2} voidaan laskea Motiva Oy:n ”Yksittäisen kohteen CO₂-päästöjen laskentaohjeistus sekä käytettävät CO₂-päästökertoimet” -julkaisun ohjeiden mukaan yhtälöllä:

$$m_{pa/CO_2} = K \cdot E_{pa}, \quad (6.1)$$

missä K tarkoittaa polttoaineen polttoainekohtaista päästökerrointa (kgCO₂/MWh) ja E_{pa} polttoaineen kulutusta (MWh/a) [73].

Kevyen polttoöljyn polttoainekohtainen CO₂-päästökerroin on edellä mainitun Motiva Oy:n julkaisun mukaan $K = 267$ kgCO₂/MWh [73]. Asuin- ja kiinteistökäyttöön tarkoitettua kevyen polttoöljyn energiasisällölle on voimassa, että 1 litra kevyttä polttoöljyä vastaa noin 10,03 kWh [94]. Näiden tietojen avulla voidaan laskea yhtälöä (6.1) käyttäen talon uudistustoimenpidejaksojen keskimääräistä vuosittaista öljynkulutusta vastaavat CO₂-päästöt taulukkoon 6.5. Taulukossa 6.5 tarkasteltavat aikavälit ovat samat kuin taulukossa 6.4 sillä

erolla, että taulukossa 6.5 vanhan järjestelmän viimeinen tarkastelujakso alkaa vuodesta 2003 eikä vuodesta 2002 ja vuoden 2002 öljynkulutus on siirretty edelliseen jaksoon mukaan. Tällä muutoksella vanhan järjestelmän viimeisen jakson keskimääräinen öljynkulutus ja sen tuottamat CO₂-päästöt vastaavat tilannetta, jolloin talossa on toteutettu kaikki vanhan järjestelmän aikaiset lämpöremontit.

Taulukko 6.5. Tarkasteltavan omakotitalon *keskimääräinen* vuosittainen öljynkulutus ja siitä aiheutuvat CO₂-päästöt talon lämmitykseen liittyvillä uudistustoimenpidejaksoilla.

Aikaväli	Keskimääräinen öljynkulutus			CO ₂ -päästöt	
	(l/a)	(kWh/a)	(MWh/a)	(kgCO ₂ /a)	(tCO ₂ /a)
1985-1987	13.191	132.306	132,306	35.326	35,3
1988-1991	9.365	93.931	93,931	25.080	25,1
1992-1996	8.829	88.555	88,555	23.644	23,6
1997-2002	8.789	88.154	88,154	23.537	23,5
2003-2007	6.447	64.663	64,663	17.265	17,3
2008-2009	0	0	0	0	0

Taulukosta 6.5 huomataan, että päästöt vähenevät käsi kädessä öljynkulutuksen kanssa. Talon öljynkulutuksen huippuaikana eli aikavälillä 1985-1987 päästöt olivat noin 35 tCO₂ vuodessa, jonka jälkeen päästöt pysyttelivät 15 vuoden ajan keskimäärin noin 24 tCO₂/a tasolla. Ennen uuteen järjestelmään siirtymistä, jolloin talossa oli tehty öljynkulutuksen minimoimiseksi lähestulkoon kaikki mahdollinen, öljynkulutusta vastaavat päästöt olivat noin 17 tCO₂ vuodessa. Taulukon mukaan talon öljynkäytön CO₂-päästökuorma pienentyi kaiken kaikkiaan öljynkulutuksen huippuajoista viimeisiin vanhan järjestelmän käyttövuosiin noin 18 tCO₂/a, mikä tarkoittaa noin 51 % vähennystä vuosittaisissa CO₂-päästöissä.

Selvitetään seuraavaksi uuden järjestelmän tuottamat CO₂-päästöt. Tällä tavoin saadaan kuva muutoksesta, joka on tapahtunut talon lämmityksen tuottamissa hiilidioksidipäästöissä siirryttäessä vanhasta uuteen järjestelmään. Uuden järjestelmän hiilidioksidipäästöt aiheutuvat järjestelmän sähkönkulutuksesta, mikä koostuu maalämpöpumpun kompressorin ja järjestelmään kuuluvien pumppujen sähkönkäytöstä. Uuden järjestelmän hiilidioksidipäästöjen laskemiseksi on siten selvitettävä ensin järjestelmän sähkönkulutus, mikä arvioidaan tässä työssä vanhasta uuteen järjestelmään siirtymisessä tapahtuneen

sähkökulutuksen muutoksen avulla. Käytännössä uusi järjestelmä nostaa sähkökulutusta vanhaan öljyjärjestelmään nähden, koska uuden järjestelmän maalämpöpumppu ottaa tuottamastaan lämpöenergiasta noin 1/3 verran sähköenergiasta.

Työssä tarkasteltavan omakotitalon asukkaiden sähkölasku koostuu kyseisen omakotitalon sähkökulutuksesta sekä tämän talon vieressä olevan sähkölämmitteisen rivitalorakennuksen sähkökulutuksesta, sillä molemmat talot kuuluvat samoille asukkaille. Tarkastellaan näin ollen talojen yhteissähkökulutuksessa tapahtunutta muutosta ja tehdään se vuodesta 2003 lähtien, koska tämän vuoden jälkeen ainut sähkökulutukseen vaikuttava *toimenpide* on ollut uuden lämmitysjärjestelmän käyttöönotto tutkimuskohteena olevassa omakotitalossa. Taulukossa 6.6 on havainnollistettu edellä mainittujen talojen yhteissähkökulutus aikavälillä 2003-2009 yhdessä Keuruun vuosikeskilämpötilojen ja talvikuukausien keskilämpötilojen kanssa. Taulukossa esitetyt sähkön vuosikulutukset on laskettu sähkön myyjän ilmoittamista mittarilukemista laskemalla ensin kahden mittarilukeman erotus (mittausaikaväli yleensä noin vuoden) ja jakamalla tulos edelleen aikavälin sisältämien päivien lukumäärällä ja kertomalla 365:llä. Taulukon merkintä 2006/2007 tarkoittaa kyseisten vuosien yhdistettyä sähkön vuosikulutusarviota, joka on laskettu vuoden 2006 tammikuun ja vuoden 2007 syyskuun alun väliseltä sähkökulutusajalta. Vuodet on yhdistetty keskenään, koska vuoden 2006 alusta alkanut sähkökulutuksen mittaus ulottui aina vuoden 2007 syyskuun alkuun asti. Vuoden 2007 syyskuun alkuun mennessä uusi järjestelmä oli ehtinyt olla vasta vajaat kaksi kuukautta käytössä (heinä-elokuun ajan, joka ei vastaa suurinta sähkökulutusaikaa), joten suurin osa mukaan otetusta vuoden 2007 kulutuksesta koostuu vanhan järjestelmän aikaisesta sähkökulutuksesta ja on siksi hyödyllistä olla mukana laskuissa. Vuosien 2006 ja 2007 lämpötilat on merkitty taulukkoon erikseen.

Taulukosta 6.6 nähdään ensinnäkin, että uuden järjestelmän ensimmäisinä täysin käyttövuosina (2008 ja 2009) sähkökulutus on suurempaa kuin sitä edeltävinä vuosina. Toiseksi taulukosta nähdään, että kyseisten ensimmäisten käyttövuosien sähkökulutuksessa on eroa noin 10.000 kWh/a! Tämä suuri ero selittynee lämpötilojen avulla, sillä taulukon mukaan vuosien 2008 ja 2009 lämpötilat eroavat toisistaan selkeästi. Lämpötilojen suuri ero kyseisten vuosien välillä voidaan havaita paremmin kuvan 6.11 avulla, josta nähdään lisäksi, että vuosi 2008 on ollut vuosikeskilämpötilojensa ja talvikuukausien keskilämpötilojensa puolesta sitä edeltäviin vuosiin sekä pitkän ajan keskiarvolämpötiloihin verrattuna poikkeuksellisen lämmin ja vuosi 2009 on ollut puolestaan lämpötiloiltaan melko lähellä pitkän ajan keskiarvolämpötiloja ollen niitä hieman korkeampi. Samasta kuvasta nähdään

myös, että vanhan järjestelmän aikaisia sähkönkulutusvuosia edustavat vuodet 2003-2007 ovat olleet lämpötiloiltaan melko lähellä pitkän ajan keskilämpötiloja. Jotta saataisiin mahdollisimman realistinen arvio sähkönkulutuksessa tapahtuneesta noususta uuden järjestelmän myötä, on edellisen tarkastelun perusteella järkevää valita uuden järjestelmän aikaista sähkönkulutusta edustavaksi vuodeksi vuosi 2009 (eikä vuotta 2008) ja vanhan järjestelmän sähkönkulutusta edustaviksi vertailuvuosiksi sellaiset vuodet aikaväliltä 2003-2007, jotka vastaavat lämpötilojensa puolesta mahdollisimman hyvin vuotta 2009.

Taulukko 6.6. Tarkasteltavan omakotitalon ja viereisen rakennuksen yhteissähkönkulutus sekä Keuruun vuosikeskilämpötilat ja talvikuukausien keskilämpötilat aikavälillä 2003-2009. Taulukko on luotu lähteiden [93,95] pohjalta.

Vuosi	Vuosikeskilämpötila (°C)	Talvikuukausien keskilämpötila (°C)	Sähkönkulutus (kWh/a)
2003	2,2	-6,7	49.413
2004	2,5	-6,1	47.747
2005	3,4	-5,9	50.767
2006/2007	3,4 (2006) ; 3,1 (2007)	-6,2 (2006) ; -4,9 (2007)	46.242
2008	4,2	-2,5	55.796
2009	3,2	-5,6	65.786

Taulukosta 6.6 selviää, että vuodet 2005-2007 ovat lämpötiloiltaan lähellä vuoden 2009 lämpötiloja kun taas vuodet 2003 ja 2004 ovat jonkin verran kylmempiä kuin vuosi 2009. Tämän perusteella taulukkoon 6.7 on laskettu vuosien 2005-2007 vuosikeskilämpötilojen ja talvikuukausien keskilämpötilojen *keskiarvo* sekä esitetty sen rinnalla vuoden 2009 vuosi- ja talvilämpötila. Siitä nähdään, että vuosien 2005-2007 lämpötilakeskiarvot ovat lähestulkoon samanlaisia kuin vuoden 2009 lämpötilat. Valitaan näin ollen vuoden 2009 sähkönkulutuksen vertailutasoksi vuosien 2005 ja 2006/2007 sähkönkulutuksen keskiarvo, mikä on havainnollistettu taulukossa 6.8. Siitä voidaan laskea, että vanhan ja uuden järjestelmän sähkönkulutuksessa on eroa yhteensä noin 17.281 kWh/a. Käytetään saatua tulosta uuden järjestelmän sähkönkulutuksen arviona ja pohditaan seuraavaksi vielä siihen liittyvää epävarmuutta.

Taulukko 6.7. Vuoden 2009 lämpötilojen vertailu vuosien 2005-2007 lämpötilojen keskiarvoon. Taulukko on luotu lähteen [93] pohjalta.

Aikaväli/Vuosi	Vuosikeskilämpötila (°C)	Talvikuukausien keskilämpötila (°C)
2005-2007	3,3	-5,7
2009	3,2	-5,6

Taulukko 6.8. Tarkasteltavan omakotitalon ja viereisen rakennuksen yhteissähkönkulutuksen muuttuminen uuteen järjestelmään siirryttäessä, kun vuosien 2005 ja 2006/2007 sähkönkulutuksen keskiarvoa verrataan vuoden 2009 sähkönkulutukseen. Taulukko on luotu lähteen [95] pohjalta.

Vertailuvuodet	Sähkönkulutus (kWh/a)
2005-2006/2007 (vanha järj.)	48.505
2009 (uusi järj.)	65.786

Yksi sähkönkulutuksen arvioon epävarmuutta aiheuttava tekijä on se, että arvio perustuu uuden järjestelmän sähkökäytön osalta vain yhden vuoden sähkönkulutustietoon. Toinen mahdollisesti jonkin verran epävarmuutta arvioon aiheuttava tekijä on se, että vuosien 2006/2007 yhdistetyssä sähkön vuosikulutusarviossa ei ole mukana vuoden 2007 viimeisiä talvikuukausia, mistä johtuen vuosien 2005 ja 2006/2007 sähkönkulutuksen keskiarvo saattaa olla jonkin verran pienempi kuin siinä tapauksessa, että vuosi 2007 olisi siinä kokonaan mukana. Lisäksi yksi epävarmuustekijä arviossa on se, että sähkölämmitteisessä rivitalossa asuneiden asukkaiden lukumäärä on vaihdellut jonkin verran vuosien aikana, millä on vaikutusta tarkasteltavien talojen yhteissähkönkulutukseen. Pienellä asukkaiden lukumäärän vaihtelulla ei ole kuitenkaan todennäköisesti kovin suurta vaikutusta sähkönkulutukseen, koska rivitalossa pidetään peruslämmitys koko ajan päällä. Merkitään *uuden järjestelmän sähkönkulutusta* jatkotarkastelua varten sähkönkulutukseen sisältyvän epävarmuuden huomioon ottaen tarkkuudella $E_v \approx 17.000 \text{ kWh/a}$.

Edellä määritetyn uuden järjestelmän sähköenergian vuosikulutusarvion avulla voidaan laskea sähkökäytön vuosittaiset CO₂-päästöt m_{sCO_2} jälleen Motiva Oy:n ”Yksittäisen kohteen CO₂-päästöjen laskentaohjeistus sekä käytettävät CO₂-päästökertoimet” -julkaisun ohjeiden mukaan:

$$m_{s/CO_2} = K_{1,2} \cdot E_v, \quad (6.2)$$

missä $K_{1,2}$ on sähkön päästökerroin (gCO₂/kWh) siten, että K_1 on sähkön myyjän ilmoittama päästökerroin ja vaihtoehtoisesti K_2 on Suomen keskimääräistä sähkönhankintaa kuvaava päästökerroin [73]. Yhtälön (6.2) parametri E_v tarkoittaa vuosittaista sähkönkulutusta (kWh/a).

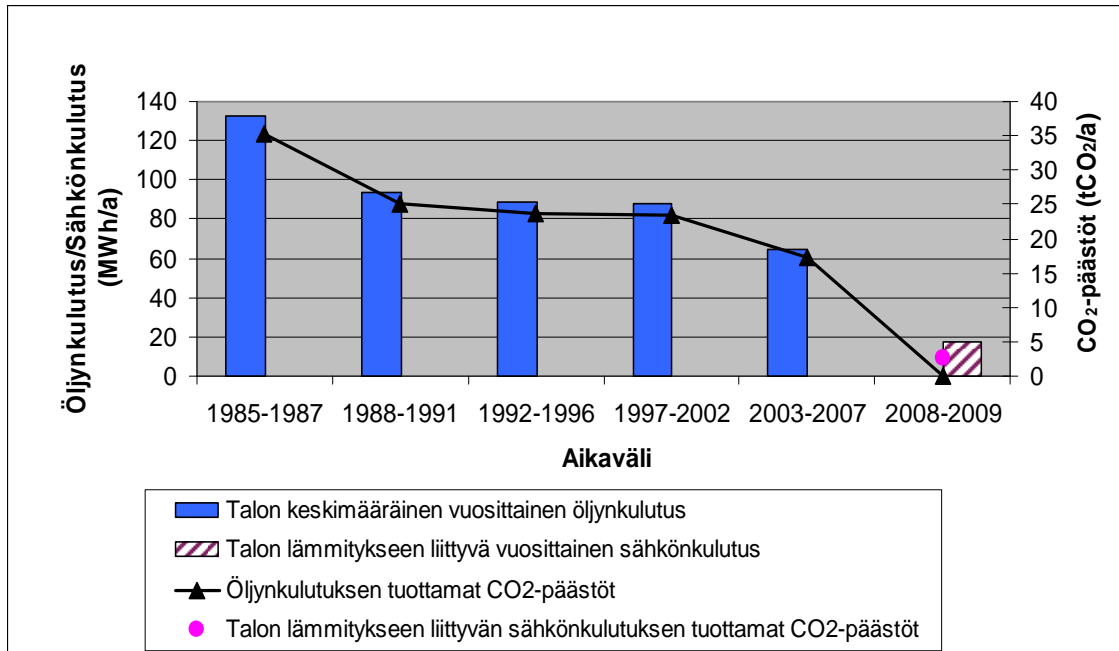
Tarkasteltava omakotitalo käyttää tällä hetkellä sähköä, jonka sähkön myyjän ilmoittama CO₂-päästökerroin $K_1 = 152,0$ gCO₂/kWh [96]. TKK Dipolin, WWF Suomen ja Motiva Oy:n alun perin yhteistyönä toteutetun *Ilmastolaskurin* mukaan Suomen keskimääräistä sähkönhankintaa kuvaava päästökerroin $K_2 = 221,6$ gCO₂/kWh [97]. Vuosittainen sähkönkulutus laskettiin tarkasteltavalle järjestelmälle edellä ja on arvoltaan siis $E_v = 17.000$ kWh/a. Yhtälön (6.2) avulla lasketut järjestelmän tuottamat hiilidioksidipäästöt sähkön vuosikulutuksella E_v eri päästökertoimia käyttäen on esitetty taulukossa 6.9. Siitä nähdään, että sähkönkäytön CO₂-päästöt ovat noin 1 tCO₂/a verran pienempiä kertoimella K_1 kuin kertoimella K_2 .

Taulukko 6.9. Uuden lämmitysjärjestelmän vuosittain tuottamat CO₂-päästöt käyttäen sähkön myyjän ilmoittamaa päästökerrointa K_1 ja Suomen keskimääräistä sähkönhankintaa kuvaavaa päästökerrointa K_2 .

Sähköenergiankulutus (kWh/a)	CO ₂ -päästöt kertoimella K_1 (kgCO ₂ /a)/(tCO ₂ /a)	CO ₂ -päästöt kertoimella K_2 (kgCO ₂ /a)/(tCO ₂ /a)
17.000	2.584/2,6	3.767/3,8

Uuden ja vanhan järjestelmän tarvitsema sekundäärienergia ja sen tuottamat hiilidioksidipäästöt tietäen voidaan saadut tulokset koota aikajanelle, mikä on tehty kuvassa 6.13. Siinä on esitetty vanhan lämmitysjärjestelmän öljyn käyttö ja siitä aiheutuvat CO₂-päästöt (taulukko 6.5) ja uuden lämmitysjärjestelmän sähkön käyttö ja siitä aiheutuvat CO₂-päästöt (taulukko 6.9), joten kuva havainnollistaa talon lämpöenergian tuottamiseen tarvittavan sekundäärienergian määrän ja sen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt vuosittain talon lämmitykseen liittyville uudistusjaksoille vuosina 1985-2009. Uuden järjestelmän sähkönkulutuksen tuottamat päästöt on laskettu kuvaan käyttäen kerrointa K_1 , jota suositellaan ensisijaisesti käytettävän [73]. Kuvaa tarkasteltaessa on huomioitava, että myös vanha järjestelmä käytti sähköä jonkin verran (esim. öljypolttimen ja kiertovesipumppujen tarvitsema sähkö), vaikka sitä ei ole arvioitu kuvaan mukaan. Tätä sähkönkulutusta ei ole

mukana, koska sen aiheuttamat CO₂-päästöt eivät ole merkittäviä verrattuna öljynkulutuksen aiheuttamiin päästöihin tai uuden järjestelmän kuluttaman sähköenergian tuottamiin päästöihin.



Kuva 6.13. Talon lämmöntuotantoon tarvittava vuotuinen sekundäärienergian määrä megawattitunteina ilmoitettuna ja sen tuottamat vuotuiset CO₂-päästöt eri aikaväleille vuosina 1985-2009.

Kuvasta 6.13 havaitaan, että talon lämpöenergian tuottamiseen tarvittava sekundäärienergia pienenee radikaalisti siirryttäessä vanhasta järjestelmästä uuteen järjestelmään, jolloin talon öljynkulutus loppui ja sähkökulutus kasvoi. Sähkökulutuksen nousu johtuu lähes täysin uuden järjestelmän kompressorin tarvitsemasta sähköenergiasta, kuten jatkossa havaitaan. Vertaamalla taulukkojen 6.5 ja 6.9 avulla viimeisen öljynkäyttökäytön (2003-2007) aikaista sekundäärienergian (kevyt polttoöljy) vuosikulutusta uuden järjestelmän sekundäärienergian (sähkö) vuosikulutukseen, voidaan laskea uuden järjestelmän käyttävän talon lämmön tuottamiseen sekundäärienergiaa vuotuisesti noin 74 % vähemmän kuin vanha järjestelmä.

Tarkastelemalla kuvan 6.13 CO₂-päästöjä taulukkojen 6.5 ja 6.9 avulla, havaitaan vanhan järjestelmän viimeisen käyttökäytön aikana päästöjen olleen noin 17,3 tCO₂/a ja uuden järjestelmän myötä noin 2,6 tCO₂/a. Siten uusi järjestelmä pienentää päästöjä noin 14,7

tCO₂/a verran, mikä tarkoittaa noin 85 % vähennystä vuosittaisiin CO₂-päästöihin. Vertailun vuoksi kyseinen vuosittainen 14,7 tCO₂ päästövähennys vastaa päästömäärää, joka aiheutuisi ajamalla noin 35 kertaa edestakaisin Suomen halki etelä-pohjoissuunnassa (Hanko-Utsjoki välimatka noin 1.157 km [98]) henkilöautolla, jonka hiilidioksidipäästöt vastaavat vuosien 2002-2007 aikana Suomessa ensirekisteröityjen autojen keskimääräistä päästötasoa eli noin 180 gCO₂/km [99]. Talossa tapahtunutta hiilidioksidipäästövähennystä voidaan verrata myös lentokonematkustamisen aiheuttamiin CO₂-päästöihin. Kansainvälisen siviili-ilmailujärjestön ICAOn kehittämän päästölaskurin mukaan esimerkiksi 2 henkilön edestakainen lento turistiluokassa Helsingistä Thaimaan Phukettiin (Helsinki-Phuket välimatka noin 8.301 km) tuottaa päästöjä noin 2,8 tCO₂ ja 2 henkilön edestakainen lento turistiluokassa Helsingistä Italian Roomaan (Helsinki-Rooma välimatka noin 2.218 km) tuottaa päästöjä noin 0,8 tCO₂ [100]. Tämä tarkoittaa, että talon päästövähennyksellä (14,7 tCO₂/a) lentäisi kaksi henkilöä turistiluokassa noin 5 kertaa vuodessa Phukettiin (ja takaisin Suomeen) tai noin 18 kertaa Roomaan (ja takaisin Suomeen).

Taulukkoon 6.10 on koottu edellä esitetyt muutokset koskien tarkasteltavan talon lämmöntuotantoon tarvittavaa sekundäärienergiaa ja sen aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä siirryttäessä vanhasta uuteen järjestelmään.

Taulukko 6.10. Tarkasteltavan omakotitalon lämpöenergian tuottamiseen tarvittava vuotuinen sekundäärienergia ja sen aiheuttamat vuotuiset hiilidioksidipäästöt siirryttäessä vanhasta lämmitysjärjestelmästä uuteen. Lämpöenergialla tarkoitetaan tässä sekä talon lämmitykseen että käyttöveden tuotettua lämpöä.

Muuttunut tekijä	Vanha järjestelmä	Uusi järjestelmä	Muutos vanhasta uuteen järjestelmään siirryttäessä
Lämpöenergian tuottamiseen tarvittava sekundäärienergia	64,663 MWh/a (kevyt polttoöljy)	17,000 MWh/a (sähkö)	-74 %
Lämmitysjärjestelmän CO ₂ -päästöt	17,3 tCO ₂ /a	2,6 tCO ₂ /a	-85 %

Tähän asti on tarkasteltu talon energiankäyttöä *ottoenergian* eli energian tarpeen näkökulmasta. Tarkastellaan lopuksi vielä vanhan ja uuden järjestelmän tuottamaa hyödyksi käytettävää energiaa eli *antoenergiaa* ja sen energialähdejakaamaa. Tutkimuskohteena

olevassa omakotitalossa käytetään varsinaisen lämmitysjärjestelmän lisäksi talvisin puulämmitteistä takkaa tuomaan lisälämpöä ja mukavuutta taloon, mutta tässä tarkastelussa takan tuottamaa lämpöä ei oteta huomioon, koska takan käyttö on säilynyt samanlaisena lämmitysjärjestelmän vaihdosta huolimatta eikä kyseessä ole varsinainen lämmitysjärjestelmä.

Kuten kuvasta 6.11 nähdään, vanhan järjestelmän viimeinen öljynkäyttöjakso (2003-2007) oli lämpötilaltaan varsin lähellä pitkän aikavälin lämpötilakeskiarvoa sekä vuosikeskilämpötilojen että talvikuukausien keskilämpötilojen puolesta. Taulukon 6.5 mukaan tällä käyttöjaksolla talon lämmitykseen kului öljyä noin $6.447 \text{ l/a} \approx 6.400 \text{ l/a}$, minkä vastaava energiasisältö on noin 64.192 kWh/a [94]. Olettamalla talon öljykattilan vuosihyötysuhteeksi 80% [81], saadaan vanhan järjestelmän viimeisiä käyttövuosia vastaavaksi vuosittaiseksi nettolämmöntuotoksi

$$64.192 \text{ kWh/a} \cdot 0,80 = 51.354 \text{ kWh/a.} \quad (6.3)$$

Koska vanha lämmitysjärjestelmä toimi (öljypolttimon ja kiertovesipumppujen kuluttamaa sähköä lukuun ottamatta) kevyellä polttoöljyllä, talo hyödynsi vanhassa järjestelmässä lämpöenergian lähteenä käytännössä lähes yksinomaan fossiilisia polttoaineita.

Arvioidaan uuden järjestelmän tuottama lämpöenergia maalämpöpumpun ja aurinkokeräinten tuottaman lämmön osalta. Tässä työssä tuuligeneraattorin tuottamaa lämpöä ei oteta huomioon, mutta turbiinin toimintaa ja vaikutusta lämmöntuotantoon on tarkasteltu luvuissa 6.2.2 ja 7. Maalämpöpumpun tuottaman energian arvioimiseksi on selvitettävä kompressorin käyttämän sähköenergian osuus koko yhdistetyn järjestelmän käyttämästä sähköenergiasta, jolloin lämpöpumpun lämmöntuotanto voidaan arvioida käyttäen sen lämpökerrointa. Selvitetään lämpöpumpun kompressorin käyttämä sähköenergian osuus laskemalla erikseen järjestelmään kuuluvien laitteiden kuluttama sähköenergia niiden tähänastisena käyttöaikana. Kun tiedetään järjestelmään kuuluvan laitteen ottoteho P (kW) ja käyntiaika t (h), saadaan laitteen kuluttama sähköenergia E_k sen tähänastisena käyttöaikana yhtälön (2.2) avulla seuraavasti

$$E_k = Pt.$$

Yhtälön (2.2) avulla lasketut järjestelmään kuuluvien laitteiden sähkönkulutukset on esitetty taulukossa 6.11. Taulukossa esitetyt laitteiden käyntiajat perustuvat järjestelmän säätöyksikön tallentamiin tilastoihin ja laitteiden ottotehot vastaavat laitteissa ilmoitettuja merkintöjä lukuun ottamatta kompressorin ottotehoa, joka on laskettu lämpöpumpun lämpökertoimen määritelmästä seuraavasti

$$\dot{W}_{net,in} = \frac{\dot{Q}_H}{COP_{HP}}, \quad (6.4)$$

missä $\dot{W}_{net,in}$ (kW) on kompressorin ottoteho, \dot{Q}_H (kW) on lämpöpumpun antoteho ja COP_{HP} on lämpöpumpun lämpökerroin [8]. Kompressorin ottotehon laskussa on käytetty lämpöpumpun toimittajan ilmoittamia arvoja, jotka ovat $\dot{Q}_H = 17$ kW ja COP_{HP} (vuosilämpökerroin) = 2,9 [81]. Kompressorin ottoteho on laskettu kaavaa (6.4) hyödyntäen, eikä lämpöpumpussa ilmoitettua kompressorin ottotehoa käyttäen, koska lämpöpumpun merkitty ottoteho on määritelty yhdessä tietyssä pisteessä, joka vastaa tiettyä höyrystimen lämpötilaa ja lauhduttimen lämpötilaa, joista lauhduttimen lämpötila on paljon matalampi kuin pattereihin tarvittava lämpötila. Kyseinen arvo ei siten välttämättä anna kuvaa kompressorin keskimääräisestä käyttötehosta.

Taulukko 6.11. Uuden lämmitysjärjestelmän laitteiden kuluttama sähköenergia järjestelmän tähänastisena käyttöaikana (10.7.2007-16.1.2010).

Laite	Käyntiaika t (h)	Ottoteho P (kW)	Sähköenergia E_k (kWh)	Osuus
Kompressori	6.872	5,860	40.270	95,0 %
Primääripumppu	6.986	0,165	1.153	2,7 %
Sekundääripumppu	9.016	0,092	830	2,0 %
Aurinkokeräimen pumppu	2.028	0,060	122	0,3 %
			Yht. 42.374	100 %

Taulukosta 6.11 nähdään, että kompressorin sähköenergian kulutus kattaa suurimman osan koko järjestelmän sähköenergian kulutuksesta. Järjestelmän vuotuiseksi sähköenergian kulutukseksi arvioitiin aikaisemmin 17.000 kWh/a. Näin ollen järjestelmän kokonaissähkökulutuksen ja kompressorin kulutusosuuden (taulukko 6.11) avulla saadaan arvio kompressorin kuluttamasta sähköenergiasta vuodessa:

$$17.000 \text{ kWh/a} \cdot 0,95 = 16.150 \text{ kWh/a} . \quad (6.5)$$

Edelleen lämpöpumpun lämpökerroin-määritelmää hyödyntäen voidaan laskea lämpöpumpun tuottama vuotuinen lämpöenergia \dot{Q}_H (kWh/a):

$$\dot{Q}_H = COP_{HP} \cdot \dot{W}_{net,in} , \quad (6.6)$$

missä COP_{HP} on lämpöpumpun lämpökerroin ja $\dot{W}_{net,in}$ on kompressorin vuosittain kuluttama sähköenergia (kWh/a) [8]. Sijoittamalla kaavaan (6.6) arvot $COP_{HP} = 2,9$ (lämpöpumpun toimittajan ilmoittama vuosilämpökerroin) sekä edellä laskettu $\dot{W}_{net,in} = 16.150$ kWh/a saadaan, että lämpöpumpun vuosittain tuottama lämpöenergia $\dot{Q}_H = 46.835$ kWh/a. Lämpöpumpun vuosittain kallioperästä ottama energia voidaan edelleen laskea siten, että [8]:

$$\dot{Q}_L = \dot{Q}_H - \dot{W}_{net,in}. \quad (6.7)$$

Sijoittamalla yhtälöön (6.7) arvot $\dot{Q}_H = 46.835$ kWh/a ja $\dot{W}_{net,in} = 16.150$ kWh/a, saadaan kallioperästä vuosittain kerätyksi lämmöksi $\dot{Q}_L = 30.685$ kWh/a. Näin ollen maalämpöpumpun tuottamasta lämmöstä saadaan noin 34 % sähköenergiasta ja noin 66 % kallioperästä.

Lasketaan talossa käytetyn sähkön energialähdejakauman (taulukko 6.12) perusteella edelleen, millainen on maalämpöjärjestelmän energialähdejakauma kaiken kaikkiaan. Sähkön energialähdejakauman ja edellä laskettujen parametrien $\dot{W}_{net,in}$, \dot{Q}_H ja \dot{Q}_L avulla voidaan määrittää maalämpöjärjestelmän käyttämien energialähteiden osuudet prosentteina siten, että

$$\text{Fossiiliset polttoaineet ja turve:} \quad [(\dot{W}_{net,in} \cdot 0,126) / \dot{Q}_H] \cdot 100 \% \quad (6.8)$$

$$\text{Uusiutuvat energialähteet:} \quad \{[\dot{Q}_L + (\dot{W}_{net,in} \cdot 0,642)] / \dot{Q}_H\} \cdot 100 \% \quad (6.9)$$

$$\text{Ydinenergia:} \quad [(\dot{W}_{net,in} \cdot 0,232) / \dot{Q}_H] \cdot 100 \% \quad (6.10)$$

Sijoittamalla yhtälöihin (6.8)-(6.10) arvot $\dot{W}_{net,in} = 16.150$ kWh/a, $\dot{Q}_H = 46.835$ kWh/a ja $\dot{Q}_L = 30.685$ kWh/a saadaan maalämpöjärjestelmän lämmöntuotto energialähteittäin, mikä on esitetty taulukossa 6.13. Taulukkoon on merkitty eri energialähteiden osuudet suoraan yhtälöiden (6.8)-(6.10) avulla prosentteina sekä sen lisäksi lämpötehona (kWh/a), mikä saadaan yhtälöiden (6.8)-(6.10) avulla, kun yhtälöistä jätetään \dot{Q}_H :lla jakaminen ja 100 %:lla kertominen pois. Taulukosta 6.13 nähdään, että noin 88 % prosenttia maalämpöjärjestelmällä tuotetusta lämpötehosta saadaan uusiutuvista energialähteistä, pääasiassa siis kallioperän lämpöä hyödyntäen. Noin 8 % maalämpöjärjestelmän tuottamasta lämpötehosta saadaan puolestaan ydinvoiman avulla ja fossiilisten polttoaineiden osuus tuotetusta lämpötehosta on noin 4 %.

Taulukko 6.12. Tarkasteltavan omakotitalon käyttämän sähkön energialähdejakauma. Taulukko on luotu lähteen [96] pohjalta.

Energialähde	Osuus
Fossiiliset polttoaineet ja turve	12,6 %
Uusiutuvat energialähteet	64,2 %
Ydinvoima	23,2 %

Taulukko 6.13. Maalämpöjärjestelmän lämmöntuotto energialähteittäin.

Energialähde	Tuotettu lämpöteho (kWh/a)	Osuus
Fossiiliset polttoaineet ja turve	2.035	4 %
Uusiutuvat energialähteet (pääasiassa kallioperän lämpö)	41.053	88 %
Ydinvoima	3.747	8 %
	Yht. 46.835	100 %

Arvioidaan sitten aurinkokeräinten tuottama lämpö käyttövedeen. Tämä tehdään GetSolar-ohjelman avulla, jonka simulointiin tarvittavat parametrit ja niiden arvot on esitetty liitteessä D siten, että taulukossa D.1 on havainnollistettu aurinkokeräimen ja keräinpiiriin asetukset, taulukossa D.2 on esitetty käyttövesivaraajan ja peruslämmityksen asetukset ja taulukossa D.3 on esitetty auringon kokonaissäteily eri kuukausina sekä kuukausien keskiarvolämpötilat Jyväskylässä.

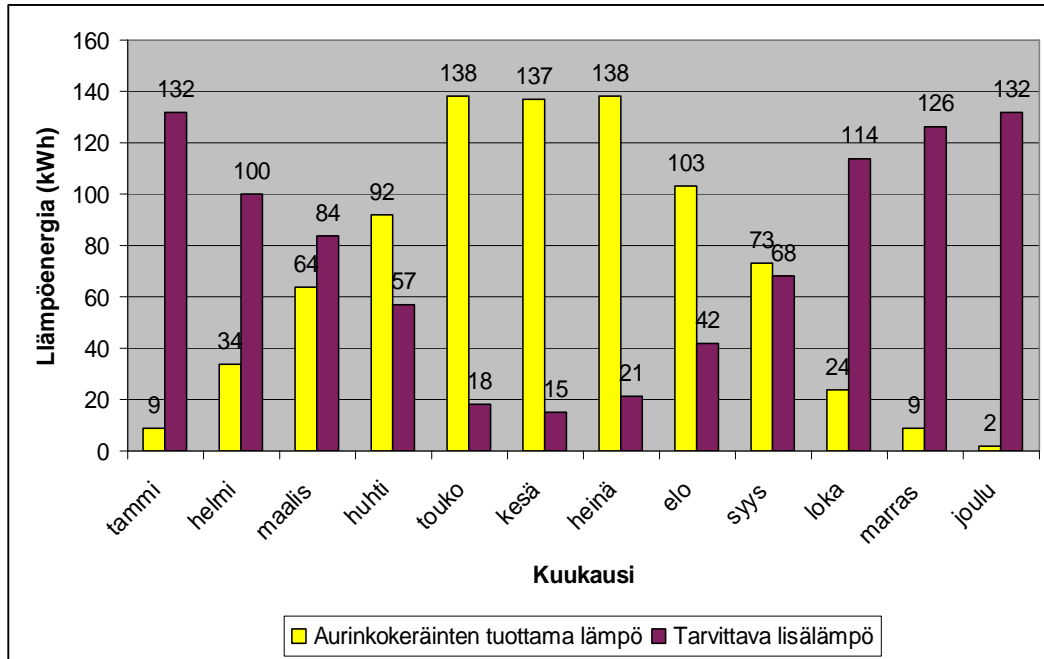
Taulukossa D.1 on käytetty keräimen teknisten tietojen osalta tarkasteltavassa talossa olevan keräinmallin (Vitosol 100 SV1) parametreja paitsi keräimen IAM50-parametria, jolle on käytetty keräinmallille Vitosol 100-F määritettyä arvoa, sillä tarkastelukohteen keräinmallille kyseistä arvoa ei löydetty. Ellei muutoin jollekin ohjelmassa tarvitulle parametrille ole löydetty täsmällistä arvoa, on kyseisen parametrin arvona käytetty ohjelmassa esitettyä arvoa ja taulukoihin D.1 ja D.2 on merkitty parametrin kohdalle sulkuihin, että kyseessä on arvio. Tutkimuskohteena olevassa omakotitalossa asuu tällä hetkellä 2 henkilöä ja taulukossa D.2 esitetty 2 henkilön lämpimän käyttöveden vuorokausikulutus (90 l/vrk) on arvioitu käyttämällä yhden henkilön kulutuksen arviona 45 l/vrk sen perusteella, että keskimääräinen käyttövedenkulutus pientalossa on tyypillisesti noin 40-50 l/vrk/asukas [44].

Ohjelmassa käytettiin sijaintipaikkana Jyväskylää²⁴, koska se on lähinnä Keuruuta sijaitseva paikkakunta, josta on saatavilla sekä auringon säteilytiedot että kuukausien lämpötilatiedot Ilmatieteen laitoksen ilmoittamina. Taulukosta D.3 voidaan laskea, että vuotuinen auringon säteily määrä on noin 870 kWh/m² ja vuoden keskilämpötila on noin 3 astetta Jyväskylässä. Taulukoiden D.1-D.3 asetuksilla GetSolar-ohjelman tekemän 3 vuoden simuloinnin mukaiset tulokset on esitetty kuvissa 6.14 ja 6.15 siten, että kuvassa 6.14 on havainnollistettu aurinkokeräinten käyttöveden tuottama lämpö ja käyttöveden lämmitykseen tarvittava lisälämpö eri kuukausina ja kuvassa 6.15 on havainnollistettu lämpimän käyttöveden kateaste aurinkokeräimillä eri kuukausina.

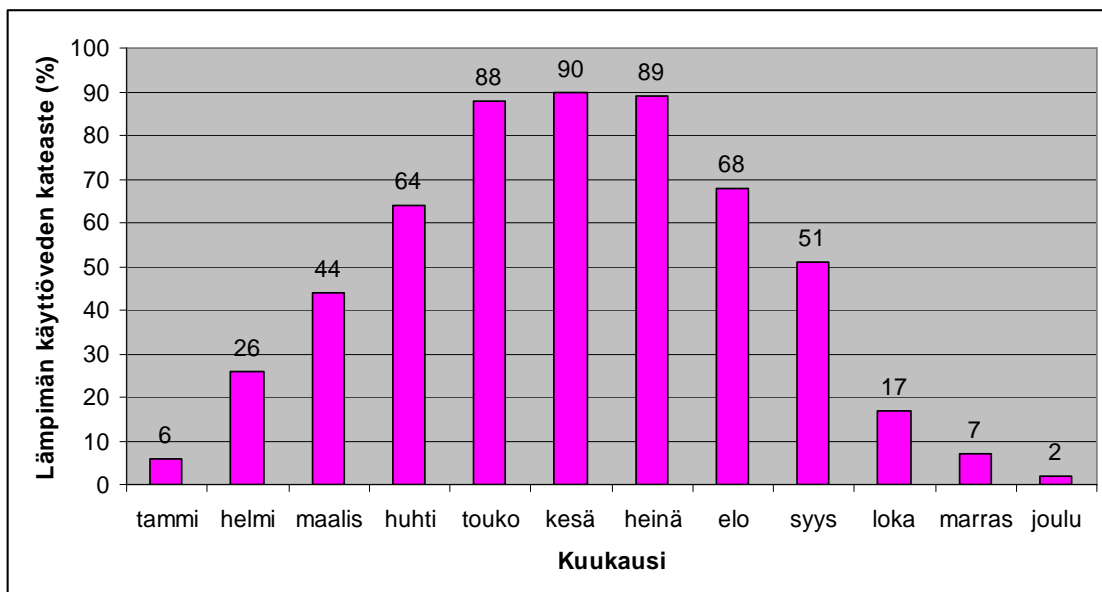
Kuvasta 6.14 nähdään, että aurinkokeräimien käyttöveden tuottama lämpö on maalämmöllä käyttöveden tuotettua lämpöä (kuvassa lisälämpö) suurempaa huhtikuusta syyskuuhun välisenä aikana ja talvikuukausina (tammi-, helmi-, loka-, marras-, joulukuu) keräinten tuotto on vähäistä. Maaliskuussa keräimet tuottavat lämpöä melkein yhtä paljon kuin syyskuussa, mutta maaliskuussa lisälämpöä tarvitaan vielä keräinten tuottamaa lämpöä enemmän. Kuvasta voidaan laskea, että aurinkokeräimet tuottavat käyttöveden vuosittain lämpöä yhteensä noin 823 kWh/a ja lisälämpöä käyttöveden tarvitaan vuositason yhteensä noin 909 kWh/a. Näin ollen nykyinen 2 henkilön lämpimän käyttöveden vuosikulutus on ohjelman mukaan yhteensä noin 1.732 kWh/a. Kuvasta 6.15 voidaan laskea, että aurinkokeräimet tuottavat lämpöisestä käyttövedestä *vuositasolla* keskimäärin noin 46 % ja aikavälillä *huhtikuusta syyskuuhun* aurinkokeräimet kattavat puolestaan keskimäärin noin 75 % lämpimän käyttöveden tarpeesta.

Jos käyttöveden kuluttajia olisi talossa kaksi kertaa enemmän (4 henkilöä) ja käyttöveden kulutus olisi sen mukaisesti keskimäärin noin 180 l/vrk, niin simulaation mukaan muuten samoilla asetuksilla keräinten tuottama vuotuinen lämpömäärä kasvaisi arvoon 1.205 kWh/a. Lämpimän käyttöveden kateosuus vuositason olisi ohjelman mukaan tällöin 37 % ja huhtikuu-syyskuu aikavälillä keräimet tuottaisivat noin 62 % lämpimästä käyttövedestä. Näin ollen käyttöveden kulutuksen kaksinkertaistaminen nykyiseen nähden kasvattaisi keräimien käyttöveden tuottamaa lämpöä noin 46 %, vuositason lämpimän käyttöveden kateosuus pienenesi noin 9 % ja huhtikuusta syyskuuhun välisen ajan lämpimän käyttöveden kateosuus pienenesi noin 13 %.

²⁴ Jyväskylä sijaitsee noin 60 km itään Keuruulta katsottuna.



Kuva 6.14. Aurinkokeräinten käyttöveden tuottama *lämpö* ja käyttöveden lämmitykseen tarvittava *lisälämpö* eri kuukausina tarkasteltavassa omakotitalossa käyttäen GetSolar-ohjelman simulointia. Lisälämpö saadaan tarkasteltavan omakotitalon tapauksessa maalämpöpumpusta.



Kuva 6.15. Aurinkokeräinten tuottaman *lämpimän käyttöveden kateaste* eri kuukausina tarkasteltavassa omakotitalossa käyttäen GetSolar-ohjelman simulointia.

Kun tarkastellaan kokonaisuutena maa- ja aurinkolämmön tuottamaa lämpöä talon nykyisellä asukasmäärällä aurinkolämmön tuoton suhteen, niin maa- ja aurinkojärjestelmien lämmöntuotto on yhteensä noin 47.658 kWh/a, josta maalämpöpumpun osuus on noin 98 %. Maalämmön suuri osuus tuotetusta lämmöstä oli odotettavissa, koska maalämpö huolehtii kokonaan talon lämmityksestä ja talon lämmitettävä pinta-ala on huomattavan suuri (564 m²) ja koska aurinkokeräimillä tuotetaan järjestelmässä ainoastaan lämmintä käyttövedettä ja käyttöveden kuluttajien määrä on tällä hetkellä talossa pieni. Jos käyttöveden kulutus olisi talossa suurempaa, tai jos aurinkokeräimiä olisi järjestelmässä lisää ja niitä käytettäisiin käyttöveden lämmityksen lisäksi talon lämmitykseen, niin aurinkolämmön osuus tuotetusta kokonaislämmöstä olisi suurempi.

Aurinkokeräinten tuottaman lämmön energialähdejakaumasta voidaan todeta, että se koostuu käytännössä lähestulkoon kokonaan uusiutuvasta energiasta, koska keräinten sähkönkulutus on hyvin pieni keräinten tuottamaan lämpöön nähden ja koska talossa käytetty sähkö on tuotettu noin 64 %:sti uusiutuvilla energialähteillä (ks. taulukko 6.12). Keräinten vähäinen sähkönkulutus niiden tuottamaan lämpöön nähden voidaan havaita arvioimalla keräinten *keskimäärin vuodessa kuluttama sähköenergia* taulukossa 6.11 esitetyn keräinten tähänastisena käyttöaikana kuluttaman sähköenergian (122 kWh) ja käyttöajan (10.7.2007-16.1.2010, joka vastaa 921 päivää) avulla seuraavasti:

$$\frac{122 \text{ kWh}}{921 \text{ pv}} \cdot 365 \text{ pv} = 48 \text{ kWh} . \quad (6.11)$$

GetSolar-ohjelman simuloinnin mukaan keräimet tuottavat nykyisellä käyttöveden kuluttajien määrällä lämpöä vuosittain siis noin 823 kWh/a, joten edellä arvioitu keräinten vuosittainen sähköenergian kulutus 48 kWh/a on vain noin 6 % keräinten tuottamasta lämmöstä. Edelleen kyseisestä keräinten sähkönkulutuksesta on uusiutuvaa energiaa noin 64 %, joten olettaen edellä mainituista syistä aurinkokeräinten tuottaman lämmön olevan kokonaan uusiutuvaa energiaa, on taulukkoon 6.14 laskettu maa- ja aurinkolämmön yhteinen lämmöntuotto energialähteittäin.

Taulukosta 6.14 nähdään, että aurinkolämmön lisääminen maalämpöpumpun tuottamaan lämpöön ei muuta taulukossa 6.13 esitettyjä eri lämmönlähteiden prosentuaalisia osuuksia johtuen aurinkolämmön pienestä osuudesta talon lämmitykseen tarvittavaan lämpöön nähden. Vertaillen vanhaa ja uutta järjestelmää energialähteiden käytön suhteen (huomioiden uuden järjestelmän lämmöntuotannossa maa- ja aurinkolämmön), voidaan järjestelmien välillä havaita suuria eroavuuksia. Vanhassa järjestelmässä talon vuosittainen lämpöteho tuotettiin täysin kevyellä polttoöljyllä eli fossiilisella polttoaineella ja taulukon 6.14 mukaan uudessa

järjestelmässä fossiilisten ja turpeen osuus tuotetusta vuosilämpötehosta on noin 4 %. Uusiutuvaa energiaa ei puolestaan hyödynnetty vanhassa järjestelmässä ollenkaan ja nykyisessä järjestelmässä sen käyttöosuus on taulukon 6.14 mukaan noin 88 %. Ydinvoiman suhteen on tapahtunut muutos siten, että vanhassa järjestelmässä sitä ei hyödynnetty ollenkaan ja nykyisessä järjestelmässä sen osuus on noin 8 % tuotetusta vuosittaisesta lämpötehosta.

Taulukko 6.14. Maa- ja aurinkolämpöjärjestelmän yhteislämmöntuotto energialähteittäin.

Energialähde	Tuotettu lämpöteho (kWh/a)	Osuus
Fossiiliset polttoaineet ja turve	2.035	4 %
Uusiutuvat energialähteet	41.876	88 %
Ydinenergia	3.747	8 %
	Yht. 47.658	100 %

Talon lämmitysjärjestelmän huoltotoimenpiteiden näkökulmasta vanhassa järjestelmässä huoltoon kuului säännöllinen öljykattilan puhdistus, öljypolttimon huolto, uusien suuttimien osto sekä pannuhuoneen nuohous. Uuden järjestelmän huoltoon kuuluu nesteiden lisääminen maalämmön ja aurinkokeräimen kierto-putkiin sekä ilmanpoisto. [76]

6.2.5 Uuden lämmitysjärjestelmän kustannukset ja takaisinmaksuaika

Uuden yhdistetyn lämmitysjärjestelmän *kustannukset* eri energialähteittäin on eritelty taulukossa 6.15. Siitä nähdään, että järjestelmän kokonaiskustannukset ovat noin 42.800 € ja yhdistetyn järjestelmän kallein osa on selvästi maalämpöjärjestelmä sen kustannuksien ollessa kaiken kaikkiaan noin 83 % kokonaiskustannuksista. Maalämpöjärjestelmän hintaa kasvattaa se, että maalämpö on toteutettu energiatehokkuuden maksimoimiseksi porakaivoilla, eikä esimerkiksi maaperään asennettavalla vaakaputkistolla. Lisäksi kustannuksiin vaikuttaa kaivojen syvyys (200 m), joka on laskennallista syvyyttä (160 m) suurempi, jotta lämpöä saadaan tulevaisuudessa mahdollisesti myös kyseisen talon vieressä olevaan rakennukseen. Edelleen taulukon mukaan aurinkolämpöjärjestelmän osuus kokonaiskustannuksista on noin 7 % ja tuuliturbiinin osuus on noin 9 %.

Taulukko 6.15. Uuteen lämmitysjärjestelmään kuuluvien osien ja rakennustoimenpiteiden kustannuserittely. Taulukko on luotu lähteen [104] pohjalta.

Lämmitysjärjestelmän osa/rakennustoimenpide	Hinta (€)
<i>Maalämpöjärjestelmä</i>	
Lämpöpumppu, varaajat sekä anturi ja venttiili	9.645,35
Maalämpöputkien ulkoseinän läpivienti (23 h)	1.035,00
Maalämpöön liittyvät pannuhuoneen asennukset	10.200,00
Porakaivojen poraus	12.800,00
Kaivurikustannukset (maalämpöputket maan pinnalla)	1.000,00
Huoltokaivon renkaat ja asennus	1.000,00
	Yht. 35.680,35
<i>Aurinkolämpöjärjestelmä</i>	
Aurinkokeräin	1.415,50
Aurinkokeräimet muut osat (mm. täyttöneste, yhdysputket, kattokiinnitys, sähkövastus, paisuntasäiliö)	1.477,25
Asennus (7 h)	315,00
	Yht. 3.207,75
<i>Tuulivoimajärjestelmä</i>	
Tuuliturbiini	3.135,00
Tasasuuntaaja	158,00
Muut kulut (mm. kuljetukset)	129,90
Asennus	500,00
	Yht. 3.922,90
	Yht. 42.811,00

Uuden järjestelmän *takaisinmaksuaikaan* vaikuttavat useat eri tekijät. Ensinnäkin on huomioitava, että uuden järjestelmän myötä talon öljynkulutus loppui kokonaan, mutta samalla sähkönkulutus nousi. On siis huomioitava toisaalta vuosittainen öljynkulutus vanhassa järjestelmässä ja sen loppumisesta aiheutuvat vuosittaiset säästöt ja toisaalta uuden järjestelmän vuosittainen sähköntarve ja siitä aiheutuvat kustannukset. Öljyn- ja

sähkönkulutuksen lisäksi takaisinmaksuaika riippuu uuden järjestelmän kokonaiskustannuksista. Lämmitysjärjestelmän takaisinmaksuaika T_a voidaan arvioida käyttämällä kaavaa:

$$T_a = \frac{K_{tot}}{K_s}, \quad (6.12)$$

missä K_{tot} on uuden järjestelmän kokonaiskustannukset (€) jaarvoltaan siis $K_{tot} = 42.811$ €, ja K_s on uuden järjestelmän käytöstä aiheutuva vuosittainen kokonaissäästö (€/a). Edelleen voidaan kirjoittaa, että

$$K_s = A - B, \quad (6.13)$$

missä A on öljynkäytön loppumisen takia vuosittain säästyvät kustannukset (€/a) ja B on uuden järjestelmän vuosittaiset sähkökäytön kustannukset (€/a).

Käytetään yhtälön (6.13) parametrina A viimeistä öljynkulutusjaksoa vastaavaa öljyn vuosikulutusta eli vuosien 2003-2007 öljynkulutuksen keskiarvoa 6.447 l/a ≈ 6.400 l/a, koska kyseinen kulutus vastaa vanhan järjestelmän keskimääräistä öljyn vuosikulutusta aikavälillä, jolloin talossa oli tehty kaikki lämpöremontit. Öljy- ja kaasualan keskusliiton mukaan kevyen polttoöljyn keskihinta oli $82,2$ snt/l vuonna 2008 ja $59,7$ snt/l vuonna 2009 [105]. Käyttäen kevyen polttoöljyn hinnan arviona näiden kahden keskiarvoa $70,95$ snt/l ja öljyn vuosikulutuksena edellä mainittua kulutusta 6.400 l/a, saadaan kyseiset parametrit kertomalla keskenään öljynkulutuksen loppumisesta aiheutuvaksi vuosittaiseksi säästöksi $A = 4.541$ €/a. Talossa käytetyn sähkön hinta oli $9,58$ snt/kWh vuonna 2008 ja $9,77$ snt/kWh vuonna 2009 [106]. Käyttäen sähkön hinnan arviona näiden kahden keskiarvoa $9,675$ snt/kWh ja edellisessä luvussa arvioitua uuden järjestelmän vuosittaista sähkökulutusta $E_v = 17.000$ kWh/a, saadaan kyseiset parametrit kertomalla keskenään uuden järjestelmän vuosittaiseksi sähkökäytön kustannukseksi $B = 1.645$ €/a.

Edellä laskettujen parametrien A ja B avulla saadaan yhtälöä (6.13) käyttäen uuteen järjestelmään siirtymisestä aiheutuvaksi vuosittaiseksi kokonaissäästöksi $K_s = 2.896$ €/a. Järjestelmän kokonaiskustannukset K_{tot} ja kokonaissäästöt K_s tietäen, saadaan yhtälön (6.12) avulla järjestelmän arvioiduksi takaisinmaksuajaksi $T_a \approx 14,8$ vuotta.

Edellä laskettu takaisinmaksuaika on laskettu sillä periaatteella, että järjestelmän kustannukset maksetaan ilman lainan ottoa. Lasketaan lopuksi vertailun vuoksi takaisinmaksuaika siinä tapauksessa, että järjestelmä hankitaan ottamalla *laina*. Tällöin järjestelmän takaisinmaksuajkaan vaikuttavat järjestelmän kokonaiskustannuksien K_{tot} ja

vuosittaisten kokonaissäästöjen K_s lisäksi lainanotosta muodostuvat korkokulut, joihin vaikuttaa puolestaan lainan suuruus, laina-aika, lainan korko sekä lainan takaisinmaksutapa. Ottaen huomioon lainanotosta kertyvät korkokulut K_k (€), voidaan järjestelmän takaisinmaksuaika $T_{a,l}$ laskea siten, että

$$T_{a,l} = \frac{K_{tot} + K_k}{K_s}, \quad (6.14)$$

missä K_{tot} ja K_s ovat merkityksiltään samat kuin yhtälön 6.12 tapauksessa.

Tarkastellaan tässä esimerkkiä, missä lainan määrä k vastaa järjestelmän kokonaiskustannuksia eli $k = 42.811$ €, laina-aika on 9 vuotta, lainan vuotuisen korko p on 5 %, takaisinmaksuerien lukumäärä vuodessa m on 12 ja lainan takaisinmaksu tapahtuu annuiteetti²⁵-periaatteella. Liitteessä E on esitetty lainaan liittyvät takaisinmaksuerät (tasaerämaksut a), lyhennykset L , korot r ja jäljellä oleva lainan suuruus k' edellä mainituilla oletuksilla. Liitteessä esitetty tasaerämaksu a on laskettu kaavalla

$$a = \frac{\beta^n (1 - \beta)}{1 - \beta^n} \cdot k, \quad (6.15)$$

missä k on lainan määrä (€), n on kaikkien tasaerämaksujen lukumäärä laina-aikana ja

$$\beta = 1 + \frac{p}{100m}, \quad (6.16)$$

missä p on korkokanta (%) ja m on tasaerämaksujen lukumäärä vuodessa [108]. Kutakin jäljellä olevaa lainaa vastaava korko r on laskettu siten, että

$$r = \frac{kp}{100m}, \quad (6.17)$$

missä k , p ja m ovat samat kuin edellä [107]. Lyhennys L on puolestaan laskettu tasaerämaksun a ja koron r avulla seuraavasti:

$$L = a - r. \quad (6.18)$$

Liitteestä E nähdään, että korkokulut ovat tarkasteltavassa lainanottoesimerkissä kaiken kaikkiaan noin $K_k = 10.440$ €. Näin ollen sijoittamalla yhtälöön (6.14) arvot $K_{tot} = 42.811$ € ja $K_s = 2.896$ €/a sekä $K_k = 10.440$ €, saadaan lainanottoon perustuvaksi takaisinmaksuajaksi $T_{a,l} \approx \mathbf{18,4}$ vuotta. Tämä on noin 3,6 vuotta pidempi kuin ilman lainaa määritetty takaisinmaksuaika. On huomioitava, että lainanottovaihtoehtoja on lukuisia erilaisia ja tässä

²⁵ Annuiteetti- eli tasaerälainassa lainan takaisinmaksu tapahtuu samansuuruisissa erissä siten, että kukin takaisinmaksuerä koostuu lainan lyhennyserästä ja korosta. Korkokannan muuttuminen vaikuttaa joko laina-ajan pituuteen tai tasaerän suuruuteen. [107]

käsiteltiin vain yhtä lainanottoesimerkkiä ja siitä aiheutuvia korkoja. Siten lainaesimerkillä saatu takaisinmaksuaika on suuntaa antava.

Öljyn ja sähkön hinta ovat muuttuvia tekijöitä ja tässä ilman lainaa ja lainalla laskettu takaisinmaksuaika arvioitiin öljyn ja sähkön suhteen kahden viimeisen vuoden hintatietojen avulla. Kevyen polttoöljyn hinnan kehitys on vaihdellut viime vuosina hetkittäin melko rajusti [3]. Jos kevyen polttoöljyn hintakehitys jatkuu kasvusuuntaisena, mikä on ollut viimeisen kymmenen vuoden trendi vuoden 2008 kesään saakka [3], ja jos öljyn hinnan nousu on suurempaa sähkön hinnan nousuun verrattuna, pienenee takaisinmaksuaika edellä lasketuista arvioista.

Takaisinmaksuaikaa voidaan pohtia myös lämpötilojen kannalta. Sekä öljyn että sähkön vuosikulutukseen vaikuttaa se, kuinka lämmin vuosi on kyseessä. Jos lämpötilat esimerkiksi nousevat pitkän aikavälin keskiarvotasoa korkeammaksi, olisi öljynkulutus ja sähkönkulutus sekä molempien aiheuttamat kustannukset pienempiä kuin keskiarvolämpötilaa vastaavana vuonna. Jos tässä tilanteessa öljyn ja sähkönkulutuksen kustannukset pienenisivät samassa suhteessa, takaisinmaksuaika pysyisi samana. Jos lämpötilojen nousu aiheuttaisi sen, että öljynkulutuksen aiheuttamat kustannukset pienenisivät enemmän kuin sähkönkulutuksen kustannukset, takaisinmaksuaika nousisi. Jos taas sähkönkäytön kustannukset pienenisivät enemmän öljynkäytön kuluihin verrattuna, takaisinmaksuaika pienenesi.

7. Pohdinta

Tässä luvussa pohditaan luvussa 6.2 tehdyn tarkastelun ja saatujen tuloksien pohjalta työn tutkimuskohteen eli maa- ja aurinkolämpöä sekä tuulivoimaa yhdistetysti hyödyntävän omakotitalon lämmitysjärjestelmän ominaisuuksia ja toimintaa. Aluksi tarkastellaan järjestelmään kuuluvien lämmönlähteiden ominaisuuksia *erikseen* ja tämän jälkeen pohditaan eri lämmönlähteiden *yhdistämisen* etuja. Seuraavaksi tarkastellaan vanhasta uuteen järjestelmään siirtymisen seurauksena tapahtuneita muutoksia ja lopuksi pohditaan uuden järjestelmän haittapuolia ja mahdollisia kehitystoimenpiteitä.

Talon lämmityksestä kokonaan huolehtivan ja lämpimän käyttöveden tarpeesta noin puolet tuottavan maalämpöjärjestelmän lämmönlähteinä toimivia (200 metrin syvyisiä) lämpökaivoja voidaan pitää luotettavina lämmönlähteinä, sillä lämpötila pysyy syvällä kallioperässä tasaisena ympäri vuoden maan pinnalla tapahtuvista lämpötilan vaihteluista huolimatta. Lämpökaivo on maalämmön asennusvaihtoehtona myös energiatehokas, koska kallioperän lämmönjohtavuus on suuri [33,81]. Työssä tehdyn GetSolar-ohjelman simuloinnin mukaan talon (yhteispinta-alaltaan 4,6 m² kokoisten) aurinkokeräinten avulla saadaan tuotettua noin 46 % kahden henkilön tarvitsemasta vuosittaisesta lämpimästä käyttövedestä ja aurinkokeräinjärjestelmästä saadaan eniten hyötyä huhtikuun ja syyskuun välisenä aikana, jolloin keräimien käyttöveteen tuottama lämpö on maalämmöllä käyttöveteen tuotettua lämpöä suurempaa. Tuuliturbiinin tuottamaa lämpöenergiaa ei tutkielmassa arvioitu, mutta turbiinista saadaan energiaa hyödyksi melko tasaisesti koko vuoden ympäri, koska sisämaassa tuulen kuukausittainen keskinopeus ei vaihtele kovin paljon [109]. Tuuliturbiinin etuna on, että se ei kuluta sähköä eikä tuota ollenkaan kasvihuonekaasupäästöjä, koska turbiini ei tarvitse toimiakseen mitään automatiikkaa. Käytännössä tuuliturbiini ikään kuin kompensoi tuulen taloa viilentävää vaikutusta tuomalla lämpöä lämmitysveteen ja käyttöveteen.

Kolmen eri lämmönlähteen *yhdistämisen* yhtenä etuna on, että se minimoi järjestelmän sähkönkulutuksen kahdella tavalla ottaen huomioon, että systeemin suurin sähkökuluttaja on maalämpöpumpun kompressori. Ensinnäkin sähkönkulutusta pienentää se, että järjestelmä ottaa lämpöä aurinkojärjestelmästä käyttöveden lämmitykseen niin pitkään kuin mahdollista ja kun aurinkojärjestelmän teho ei riitä, siirtyy järjestelmä ottamaan vasta sitten tarvittavan lisäenergian maalämpöpumpun avulla. Keräimien käyttö vähentää erityisesti kesäaikaan maalämpöjärjestelmän kompressorin käyttöä sekä sen käynnistys- ja pysäytyskertoja, mitkä aiheuttavat Suomen lämpöpumppuyhdistyksen mukaan ylimääräisen sähkönkulutuksen lisäksi

kulumista sekä lämpökertoimen alenemista [62]. Toiseksi järjestelmän sähkönkulutusta pienentää tuuliturbiinin lämmitysvettä ja käyttövettä esilämmittävä vaikutus. Sähkönkulutuksen minimoimisen lisäksi yhdistetyn systeemin etuna on, että maalämpöpumpun ollessa pääosin pois päältä kesän aikana, porareikien lämpötila saa palautua luonnollisesti [74]. Yhdistetyn järjestelmän toimivuuden kannalta olisi jatkossa vielä mahdollisuuksien mukaan mielenkiintoista selvittää, mikä on tuuliturbiinin osuus lämmöntuotosta ja kuinka paljon suurempi maalämpöpumpun kompressorin sähkönkulutus olisi ilman aurinkokeräimiä ja tuuliturbiinia. Lisäksi kiinnostavaa olisi pystyä arvioimaan, miten paljon maalämpöpumpun kesäaikaisella poispäällä olemisella on positiivista vaikutusta kallioerän lämpötilan luonnolliseen palautumiseen ja lämpöpumpun lämpökertoimeen. Nämä asiat saattavat olla vaikeita arvioida järjestelmän monipuolisuuden ja useiden muuttujien takia.

Tärkeimpänä *hyötynä* siirtymisessä vanhasta öljyjärjestelmästä uuteen yhdistettyyn järjestelmään voidaan pitää merkittävää pienenemistä lämpöenergian tuottamiseen tarvittavan sekundäärienergian määrässä sekä sen aiheuttamissa CO₂-päästöissä. Lämpöenergian tuottamiseen tarvittavan energian pieneneminen tarkoittaa lämmityskustannuksien pienenemistä pitkällä aikavälillä sekä sitä, että uusi järjestelmä on energiaomavaraisempi kuin vanha järjestelmä. Talon lämmityksen aiheuttamien hiilidioksidipäästöjen huomattava pieneneminen uuden järjestelmän myötä on seurausta siitä, että uusi lämmitysjärjestelmä toimii pääosin uusiutuvan energian voimin, kun vanhan järjestelmän toiminta perustui lähes kokonaan fossiilisen polttoaineineen hyödyntämiseen. Tutkittavassa omakotitalossa CO₂-päästöjen määrän vähenemisen merkitystä lisää se, että kyseisen omakotitalon lämmöntarve on talon suuresta pinta-alasta johtuen suuri. Lähes kolmen vuoden käyttökokemuksen mukaan uuden järjestelmän käyttöön liittyvä eräs positiivinen ominaisuus on se, että järjestelmän huoltotoimenpiteet ovat pienempiä vanhaan öljyjärjestelmään verrattuna. Myönteisenä asiana voidaan pitää myös sitä, että kyseisen järjestelmän toteutus antaa esimerkin muille uusiutuvaa energiaa taloonsa suunnitteleville ja lisää mahdollisesti kiinnostusta uusiutuvan energian hyödyntämiseen omakotitaloissa. Tarkasteltavasta järjestelmästä on ollut esimerkiksi sanomalehti Keskiuomalaisessa kirjoitus (ks. [110]), joka on herättänyt kiinnostusta ihmisissä.

Maa- ja aurinkolämpöä sekä tuulivoimaa hyödyntävän järjestelmän takaisinmaksuaika on nykyisillä öljyn ja sähkön hinnoilla laskujen mukaan noin 14,8 vuotta ilman lainanottoa ja noin 18,4 vuotta työssä tarkastellulla lainanottoesimerkillä. Näin ollen järjestelmän takaisinmaksu ei tapahdu hetkessä, mutta on kuitenkin pitkällä tähtäimellä melko pieni aika.

Yhdistetyn järjestelmän haittapuolena voidaan pitää sen suuria alkukustannuksia, mikä rajoittanee kyseisten järjestelmien yleistymistä omakotitaloissa. Lisäksi järjestelmän väliaikaisiin haittapuoliin voidaan laskea sen asennukseen liittyvät, kallioperän poraamisesta aiheutuvat meluhaitat sekä putkien asennuksista aiheutuneet maankäytölliset muutokset. Järjestelmää voitaisiin parantaa vielä siten, että nykyiset korkea menoveden lämpötilaa vaativat patterit vaihdettaisiin uusiin matalalämpöpattereihin. Tällöin maalämpöpumpun ei tarvitsisi tuottaa niin korkealämpöistä vettä talon lämmitysveden varaajaan ja pumpun lämpökerroin olisi suurempi, koska lämmönlähteen (kallioperä) ja lämmitettävän kohteen (patterin) välinen lämpötilaero olisi pienempi. Talon suuren pinta-alan ja lämmöntarpeen takia olisi lämmön hyödyntämisen näkökulmasta hyödyllistä, että talon asukkaiden lukumäärä olisi tulevaisuudessa nykyistä kahta asukasta suurempi.

8. Päätelmät

Tutkielman mukaan Suomen ilmasto-olosuhteissa pientalon *päälämmönlähteeksi* soveltuu mm. perinteisen öljyn, sähkön ja puun lisäksi pääosin uusiutuvaa energiaa hyödyntävä maalämpö, jonka lämmönlähteenä voidaan hyödyntää maalämpöpumpun avulla maaperän, kallioperän tai vesistön sisältämää lämpöä. Maalämpöjärjestelmän toteutustapa riippuu pääasiassa pientalon tontin pinta-alasta ja maaperästä, vesistön olemassaolosta lähistöllä sekä siitä, kuinka paljon järjestelmään ollaan valmiita sijoittamaan rahallisesti. Maalämpöpumpulla toimiva järjestelmä soveltuu parhaiten vesikiertoiseen lattia- tai ilmalämmitykseen, mutta sen lisäksi maalämpöä voidaan käyttää patterilämmitykseen, käyttöveden lämmitykseen sekä kesällä huoneistojen viilennykseen.

Tutkimuksessa tehdyn selvityksen mukaan tyypillisellä lämpökertoimella toimiva maalämpöpumppu tuottaa talon tarvitsemasta lämmöstä noin 2/3 uusiutuvaa energiaa hyödyntäen ja loput 1/3 sähköenergiaa käyttäen, joten sähköllä toimivaan järjestelmään verrattuna maalämpöjärjestelmän sähkönkulutus on noin 2/3 pienempää. Uusiutuvan energian lopullinen osuus maalämpöjärjestelmän tuottamasta lämmöstä sekä järjestelmän aiheuttamat CO₂-päästöt määräytyvät sen mukaan, millä energialähteellä järjestelmän käyttämä sähkö on tuotettu. Hiilidioksidipäästöjen kannalta maalämpöjärjestelmään siirtymisestä on sitä suurempi hyöty, mitä enemmän aikaisemmassa lämmitysjärjestelmässä on hyödynnetty fossiilisia polttoaineita joko suoraan esimerkiksi kevyen polttoöljyn muodossa tai välillisesti talossa käytetyn sähkön tuotannossa. Maalämpöjärjestelmän huonona puolena ovat tutkimuksen mukaan suuret alkukustannukset.

Tutkielman mukaan aurinkolämpöä voidaan hyödyntää Suomen leveyspiireillä *lisäenergialähteenä* pientaloissa ja aurinkokeräinten käyttö erityisesti matalalämpötilaratkaisuisissa, kuten käyttöveden ja kosteiden tilojen lattialämmityksessä on edullista. Talojen lämmitystarkoitukseen käytettävät aurinkokeräimet ovat tyypiltään tasokeräimiä tai tyhjiöputkikeräimiä ja niiden tuottaman lämmön osuus koko talon lämmön tarpeesta määräytyy pääasiassa sen mukaan, käytetäänkö keräimiä käyttöveden lämmityksen lisäksi talon lämmittämiseen päälämmönlähteen rinnalla. Keräimet voidaan integroida esimerkiksi osaksi öljy-, sähkö-, puu-, tai maalämpöjärjestelmää ja niiden käyttö mahdollistaa päälämmitysjärjestelmän pienemmän käytön tai sulkemisen pois päältä kokonaan kesä-aikana. Keräinten käyttö osana pientalon lämmitysjärjestelmää pienentää talon CO₂-päästöjä riippuen siitä, minkä energialähteen rinnalla keräimiä hyödynnetään. Kun keräimiä käytetään öljyllä

toimivan lämmitysjärjestelmien rinnalla, vähentävät keräimet suoraan fossiilisten polttoaineiden käyttöä ja talon tuottamia hiilidioksidipäästöjä, ja kun keräimet integroidaan sähkölämmitteiseen taloon, ne pienentävät lämmityksen aiheuttamia CO₂-päästöjä sen mukaan, millä energialähteellä talossa käytetty sähkö on tuotettu. Keräinten käyttö yhdessä puulämmityksen kanssa puolestaan pienentää lämmitystyön tarvetta, mutta ei vaikuta talon hiilidioksidipäästöihin. Kun keräimet yhdistetään maalämmön kanssa pientaloon, voidaan lämmityksessä hyödyntää suurimmaksi osaksi uusiutuvaa energiaa järjestelmän CO₂-päästöjen ollessa pieniä.

Työn tutkimuskohteen tarkastelu osoitti, että omakotitalon öljylämmitysjärjestelmän vaihtamisella maa- ja aurinkolämpöä sekä tuulivoimaa yhdistetysti hyödyntävään lämmitysjärjestelmään voidaan saavuttaa energian käytön ja ympäristön kannalta merkittäviä positiivisia vaikutuksia. Tutkimuksen mukaan siirtyminen öljyllä toimivasta lämmitysjärjestelmästä maalämpöä (lämpökaivoa) päälämmönlähteenään hyödyntävään järjestelmään voi lisätä huomattavasti uusiutuvan energian käyttöä, pienentää selvästi lämpöenergian tuottamiseen tarvittavaa energian määrää sekä sen tuottamia CO₂-päästöjä omakotitalossa. Öljyn käytön lopettaminen ja lämpöenergian tuottamiseen tarvittavan energian pieneneminen tarkoittavat hiilidioksidipäästöjen vähenemisen ohella välitöntä energiaomavaraisuuden kasvua sekä pitkällä tähtäimellä lämmityskustannuksien pienenemistä. Työssä tarkastellun omakotitalon *yhdistetyn* järjestelmän etuna voidaan tutkimuksen mukaan pitää sitä, että aurinkokeräimet tuottavat osan kuumasta käyttövedestä, pienentävät maalämpöpumpun kompressorin käyttöä sekä käynnistys- ja pysäytyskertoja erityisesti kesäaikana, ja mahdollistavat lämpökaivon lämpötilan palautumisen tuona aikana. Lisäksi yhdistetyssä järjestelmässä automatiikasta riippumattoman tuuliturbiinin etuna on, että sen lämmitysvettä ja käyttövettä esilämmittävä vaikutus pienentää osaltaan maalämpöpumpun sähkönkulutusta. Tutkimus osoitti, että yhdistetyn järjestelmän haittapuolena ovat suuret alkuinvestointikustannukset, mikä on todennäköisesti yksi suurimmista esteistä kyseisten järjestelmien yleistymistä omakotitaloissa ajatellen.

9. Kirjallisuus

- [1] Motiva Oy ja Vesa Ville Mattila, Epiteetti, *Pientalon lämmitysjärjestelmät* (3. painos), Motiva Oy, Helsinki, 2006.
- [2] Tilastokeskus, *Energiatilasto – Vuosikirja 2008*.
- [3] Öljy- ja kaasualan keskusliitto, *Öljy- ja kaasualan vuosikirja 2009*. Saatavilla pdf-muodossa: http://www.oil-gas.fi/files/668_vuosikirja09.pdf, viitattu 18.12.2009.
- [4] V. Quasching, *Understanding renewable energy systems*, Earthscan, London, 2005.
- [5] Daniel D. Chiras, *Environmental Science, Creating a Sustainable Future* (Sixth edition), Jones and Bartlett Publishers, USA, 2001.
- [6] Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21), *Renewables 2007 Global Status Report*, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, 2008. Saatavilla pdf-muodossa: http://www.ren21.net/pdf/RE2007_Global_Status_Report.pdf, viitattu 4.3.2010.
- [7] Godfrey Boyle, Bob Everett and Janet Ramage, *Energy Systems and Sustainability: Power for Sustainable Future*, Oxford University press; The Open University, UK, 2003.
- [8] Yunus A. Cengel, Michael A. Boles, *Thermodynamics: An Engineering Approach* (Fourth edition), McGraw-Hill Companies, New York, 2002.
- [9] Hugh D. Young, Roger A. Freedman, *Sears and Zemansky's University Physics with modern physics* (Tenth edition), Addison Wesley Longman, USA, 2000.
- [10] Weston A. Hermann, *Quantifying global exergy resources*, Energy 31 (2006), 1685-1702. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2005.09.006>, viitattu 18.3.2009
- [11] OECD/IEA/Eurostat, *Energy Statistics Manual*, IEA Publications, 2005. Saatavilla pdf-muodossa: http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2005/statistics_manual.pdf, viitattu 15.4.2009.
- [12] J. Lilley, *Nuclear Physics, Principles and Applications*, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, UK, 2001.
- [13] IPCC, *Climate Change 2007: Synthesis Report, Annex II: Glossary*, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, 2007. Saatavilla pdf-muodossa: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_appendix.pdf, viitattu 26.4.2010.
- [14] Lahtinen, Jokinen, Leino, *Turpeen energiakäytön asema Suomen energiajärjestelmässä*, KTM Julkaisuja 14/2005, Edita Publishing Oy, 2005. Saatavilla pdf-muodossa osoitteesta:

[http://ktm.elinar.fi/ktm_jur/ktmjur.nsf/All/DACB3F2AC0E4430EC2257042003259B1/\\$file/jul14eos_2005_netti.pdf](http://ktm.elinar.fi/ktm_jur/ktmjur.nsf/All/DACB3F2AC0E4430EC2257042003259B1/$file/jul14eos_2005_netti.pdf), viitattu 7.4.2010.

- [15] Abdeen Mustafa Omer, *Ground-source heat pumps systems and applications*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 12 (2008), 344-371. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2006.10.003>, viitattu 11.5.2009.
- [16] European Commission, Directorate-General Energy & Transport, *Renewables make the difference*, European Communities, 2007. Saatavilla pdf-muodossa: http://bookshop.europa.eu/is-bin/INTERSHOP.enfinity/WFS/EU-Bookshop-Site/en_GB/-/EUR/ViewPDFFile-OpenPDFFile?FileName=KO7807244ENC_002.pdf&SKU=KO7807244ENC_PDF, viitattu 8.4.2010.
- [17] International Energy Agency (IEA), *Key World Energy Statistics 2009*, OECD/IEA, 2009. Saatavilla pdf-muodossa: http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2009/key_stats_2009.pdf, viitattu 19.10.2009.
- [18] United States Energy Information Administration (EIA), *Total Primary Energy Consumption (Quadrillion Btu)*, EIA, 2009. Saatavilla osoitteesta: <http://tonto.eia.doe.gov/cfapps/ipdbproject/IEDIndex3.cfm?tid=44&pid=44&aid=2>, viitattu 19.10.2009.
- [19] IPCC, *Climate Change 2007: Synthesis Report*, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, 2007. Saatavilla pdf-muodossa: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf, viitattu 10.11.2009.
- [20] Ilmatieteen laitos (Internet-sivut), *Miten Suomen ilmasto muuttuu?* Saatavilla osoitteesta: <http://www.fmi.fi/ilmastonmuutos/suomessa.html>, viitattu 25.2.2010.
- [21] Soteris A. Kalogirou, *Solar thermal collectors and applications*, Progress in Energy and Combustion Science 30 (2004), 231-295. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pecs.2004.02.001>, viitattu 4.2.2010.
- [22] Työ- ja elinkeinoministeriö, *Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia: Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 6. päivänä marraskuuta 2008*, Työ- ja elinkeinoministeriö, marraskuu 2008. Saatavilla pdf-muodossa: http://www.tem.fi/files/20585/Selontekoehdotus_311008.pdf, viitattu 10.11.2009.
- [23] Suomen ympäristöministeriö (Internet-sivut), *Kioton pöytäkirjan tavoitteet ja velvoitteet*. Saatavilla osoitteesta: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=1885&lan=fi#a0>, viitattu 8.4.2010.
- [24] Tilastokeskus (Internet-sivut), *Vuoden 2007 kasvihuonekaasupäästöt noin 10 % Kioton tavoitetason yläpuolella*. Saatavilla osoitteesta: http://www.tilastokeskus.fi/til/khki/2007/khki_2007_2008-12-12_tie_001_fi.html, viitattu 19.10.2009.

- [25] European Commission, *EU energy and transport in figures, Statistical Pocketbook 2009, Part 2 - Energy*, European Communities, Luxembourg, 2009. Saatavilla pdf-muodossa:
http://ec.europa.eu/energy/publications/statistics/doc/2009_energy_transport_figures.pdf#pagemode=bookmarks, viitattu 5.11.2009.
- [26] EUREC Agency, *The Future for Renewable Energy, Prospects and Directions*, James & James Ltd, London, 1996.
- [27] Bent Sørensen, *Renewable Energy: Its physics, engineering, environmental impacts, economics & planning* (Second edition), Academic press, UK, USA, 2000.
- [28] P. D. Lund, *The link between political decision-making and energy options: Assessing future role of renewable energy and energy efficiency in Finland*, *Energy* 32 (2007), 2271-2281. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2007.05.015>, viitattu 20.5.2009
- [29] Crispin Aubrey, Angelika Pullen, Arthouros Zervos, Sven Teske, *Global Wind Energy Outlook 2006*, The Global Wind Energy Council (GWEC) & GREENPEACE, September 2006. Saatavilla pdf-muodossa:
http://www.gwec.net/fileadmin/documents/Publications/GWEC_A4_0609_English.pdf, viitattu 30.11.2009.
- [30] C. Richter (edited), *Solar Power and Chemical Energy Systems, SolarPACES Annual Report 2008*, International Energy Agency (IEA), May 2009. Saatavilla pdf-muodossa:
<http://www.solarpaces.org/Library/AnnualReports/docs/ATR2008.pdf>, viitattu 2.2.2010.
- [31] Renewable Energy World Magazine, September-October 2009, Volume 12, Number 5. Saatavilla osoitteesta: <http://www.renewableenergyworld.com/rea/magazine/renewable-energy-world/archives?techId=0&issueId=27>, viitattu 3.12.2009.
- [32] Carlo Di Napoli, *Tuulivoimaloiden melun syntytavat ja leviäminen*, Suomen ympäristö 4/2007, Ympäristöministeriö, 2007. Saatavilla pdf-muodossa:
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=64260&lan=fi>, viitattu 2.2.2010.
- [33] B. Erat, V. Erkkilä, T. Löfgren, C. Nyman, S. Peltola, H. Suokivi, *Aurinko-opas - Aurinkoenergiaa rakennuksiin*, Kustantajat Sarmala Oy, Rakennusalan Kustantajat RAK. KIRJAKAS KY, Nurmijärvi, 2001.
- [34] Tilastokeskus (Internet-sivut), *Energian hankinta, kulutus ja hinnat: Käsitteet ja määritelmät*. Saatavilla osoitteesta: <http://www.tilastokeskus.fi/til/ehkh/kas.html>, viitattu 3.2.2010.
- [35] Tilastokeskus (Internet-sivut), *Sähkön ja lämmön tuotanto tuotantomuodoittain vuonna 2007*. Saatavilla xls-muodossa:
http://www.tilastokeskus.fi/til/salatuo/2007/salatuo_2007_2008-09-26_tau_001.xls, 26.9.2008.
- [36] Tilastokeskus (Internet-sivut), *Sähkön ja lämmön tuotanto tuotantomuodoittain ja polttoaineittain vuonna 2007*. Saatavilla xls-muodossa:

- http://www.tilastokeskus.fi/til/salatuo/2007/salatuo_2007_2008-09-26_tau_002.xls,
26.9.2008.
- [37] Tilastokeskus (Internet-sivut), *Energiaennakko 2008*. Saatavilla xls-muodossa:
http://www.tilastokeskus.fi/til/ehkh/2008/04/ehkh_2008_04_2009-03-24_tau_012.xls,
24.3.2009.
- [38] Hannele Holttinen & Anders Stenberg, *Tuulivoiman tuotantotilastot, Vuosiraportti 2008*, VTT Working Papers 132, VTT, 2009. Saatavilla pdf-muodossa:
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2009/W132.pdf>, viitattu 10.11.2009.
- [39] Chris Rose, *Winning with European Wind: Creating power, helping the environment, EWEA 2008 Annual Report*, The European Wind Energy Association (EWEA), June 2009. Saatavilla pdf-muodossa:
http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/Annual_Report_2008.pdf, viitattu 10.11.2009.
- [40] Kauppa- ja teollisuusministeriö/Uusiutuvan energian työryhmä, *Uusiutuvan energian edistämishjelma 2003-2006, Työryhmän ehdotus*, Kauppa- ja teollisuusministeriön työryhmä- ja toimikuntaraportteja 5/2003, Edita Publishing, helmikuu 2003. Saatavilla pdf-muodossa:
[http://ktm.elinar.fi/ktm_jur/ktmjur.nsf/All/4B1BDE137F9B5121C2256CE5002B3AC1/\\$file/tyto5eos.pdf](http://ktm.elinar.fi/ktm_jur/ktmjur.nsf/All/4B1BDE137F9B5121C2256CE5002B3AC1/$file/tyto5eos.pdf), viitattu 10.11.2009.
- [41] Helsingin Sanomat 12.2.2008, Lasse Makkosen kirjoitus otsikolla ”*Ilmaston lämpeneminen lasketaan fysiikan pohjalta*”.
- [42] Helsingin Sanomat 24.1.2008, Atte Korholan kirjoitus otsikolla ”*Nykyinen ilmaston lämpeneminen ei selity luontaisella vaihtelulla*”.
- [43] Keski-suomalainen 21.10.2009, Heljä Korpjoen kirjoitus otsikolla ”*Yhä kuivempia keväitä, entistä märempiä talvia*”.
- [44] Motiva Oy, *Hyvä talo: Rakennetaan energiatehokas pientalo*, Motiva Oy, Helsinki, 2008. Saatavilla pdf-muodossa:
http://www.motiva.fi/files/2766/Hyva_talo_Rakennetaan_energiatehokas_pientalo.pdf,
viitattu 9.4.2010.
- [45] Suomen lämpöpumppuyhdistys ry (SULPU) (Internet-sivut), *Tilastotietoa*. Saatavilla osoitteesta:
http://www.sulpu.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=27&Itemid=87,
viitattu 16.1.2010.
- [46] John A. Duffie, William A. Beckman, *Solar engineering of thermal processes* (Second edition), John Wiley & Sons, Inc., 1991.
- [47] SOLPROS AY, *Aurinkoenergia Suomen olosuhteissa ja sen potentiaali ilmastonmuutoksen torjunnassa*, Tekes-projekti 594/480/00, SOLPROS AY, kesäkuu 2001. Saatavilla pdf-muodossa:
http://www.kolumbus.fi/solpros/reports/3rdeport_final.PDF, viitattu 9.4.2010.

- [48] Ilmatieteen laitos (Internet-sivut), *Suomen ilmasto*. Saatavilla osoitteesta: http://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmastonmuutos/suomessa_2.html, viitattu 24.2.2010.
- [49] Ilmatieteen laitos (Internet-sivut), *Auringon säteily ja pilvisuus*. Saatavilla osoitteesta: http://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmastonmuutos/suomessa_3.html, viitattu 24.2.2010.
- [50] Ilmatieteen laitos (Internet-sivut), *Auringonpaistetilastoja ja -ennätyksiä: Kokonaissäteily keskimäärin 1971-2000, Jyväskylä*. Saatavilla osoitteesta: http://www.fmi.fi/saa/tilastot_9.html#6, viitattu 9.4.2010.
- [51] SOLPROS AY, *Aurinkolämpöjärjestelmien perusteet, mitoitus ja käyttö*, EU-projekti: Extend Accredited Renewables Training for Heating (EARTH), SOLPROS AY, joulukuu 2006. Saatavilla pdf-muodossa: <http://www.kolumbus.fi/solpros/reports/OPAS.pdf>, viitattu 27.3.2010.
- [52] SOLPROS AY, *Aurinkoenergian käyttö Suomessa vuonna 2005*, SOLPROS AY, lokakuu 2006. Saatavilla pdf-muodossa: http://www.kolumbus.fi/solpros/reports/Aurinkotilasto2005_2.pdf, viitattu 3.2.2010.
- [53] Austin Stack, John Goulding and J. Owen Lewis, *Shading systems: Solar Shading for the European climates*, Energie Publication, European Commission, Directorate-General Energy & Transport. Saatavilla pdf-muodossa: http://erg.ucd.ie/mb_shading_systems.pdf, viitattu 4.3.2010.
- [54] European Solar Thermal Technology Platform (ESTTP), *Solar Heating and Cooling for a Sustainable Energy Future in Europe*, ESTTP. Saatavilla pdf-muodossa: http://www.rhc-platform.org/cms/fileadmin/user_upload/Structure/Solar_Thermal/Download/ESTTP_SRA_RevisedVersion.pdf, viitattu 27.2.2010.
- [55] Janne Juvonen (toim.), *Lämpökaivo: Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa*, Suomen ympäristökeskus (SYKE), Ympäristöopas/2009, elokuu 2009. Saatavilla pdf-muodossa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=108597&lan=fi>, viitattu 26.2.2010.
- [56] Felix A. Peuser, Karl-Heinz Remmers, Martin Schnauss, *Solar thermal systems: Successful Planning and Construction*, Solarpraxis AG (Germany), James & James Ltd (UK), 2002.
- [57] Aurinkoteknillinen yhdistys ry, *Aurinkoteknologiasanasto*. Saatavilla pdf-muodossa: <http://www.aurinkoteknillinenyhdistys.fi/liite/sanasto.pdf>, viitattu 1.12.2009.
- [58] Godfrey Boyle, *Renewable Energy: Power for Sustainable Future* (Second edition), Oxford University press; The Open University, UK, 2004.
- [59] International Energy Agency (IEA), *Solar Heating & Cooling Programme, Task 26 Solar Combisystems, Data Sheet #11: Space Heating Store with DHW Load-Side Heat Exchanger(s) and External Auxiliary Boiler/ Finland/ Sweden*. Saatavilla osoitteesta: http://www.iea-shc.org/task26/publications/bro_ix.htm, viitattu 2.3.2010.

- [60] P. D. Lund, *Sizing and applicability considerations of solar combisystems*, Solar Energy 78 (2005), 59-71. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2004.07.008>, viitattu 25.2.2010.
- [61] European Solar Thermal Industry Federation (ESTIF), *Solar Thermal Action Plan for Europe: Heating & Cooling from the Sun*, ESTIF, January 2007. Saatavilla pdf-muodossa: http://www.estif.org/fileadmin/estif/content/policies/STAP/Solar_Thermal_Action_Plan_2007_A4.pdf, viitattu 27.2.2010
- [62] Suomen lämpöpumppuyhdistys ry (SULPU) (Internet-sivut), *Lämpöpumput: maalämpöpumppu*. Saatavilla osoitteesta: http://www.sulpu.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=20&Itemid=77, viitattu 16.1.2010.
- [63] Georgios Florides, Soteris Kalogirou, *Ground heat exchangers – A review of systems, models and applications*, Renewable energy 32 (2007), 2461-2478. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2006.12.014>, viitattu 24.3.2009.
- [64] C.O. Popiel, J. Wojtkowiak, B. Biernacka, *Measurements of temperature distribution in ground*, Experimental Thermal and Fluid Science 25 (2001) 301-209. Doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0894-1777\(01\)00078-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0894-1777(01)00078-4), viitattu 25.2.2010.
- [65] Motiva Oy ja Suomen lämpöpumppuyhdistys Sulpu ry, *Lämpöä omasta maasta*, Motiva Oy, 2009. Saatavilla pdf-muodossa: http://www.motiva.fi/files/234/maalampopumppu_final_08.pdf, viitattu 21.2.2010.
- [66] Suomen lämpöpumppuyhdistys ry (SULPU) (Internet-sivut), *Uutiset: Lämpöpumppujen suosio kasvaa*. Saatavilla osoitteesta: http://www.sulpu.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=37&Itemid=83, viitattu 2.2.2010.
- [67] S. Vuori, M. Tuusjärvi ym., *Geologisten luonnonvarojen hyödyntäminen Suomessa vuonna 2007*, Geologian tutkimuskeskus (GTK), Tutkimusraportti 176, Vammalan kirjapaino Oy, 2008. Saatavilla pdf-muodossa: <http://arkisto.gtk.fi/tr/tr176.pdf>, viitattu 11.5.2009.
- [68] Suomen kaivonporausurakoitsijat ry (Internet-sivut), *Lämpökaivot: Normilämpökaivon kriteerit*. Saatavilla osoitteesta: <http://www.poratek.fi/fi/lampokaivot/normilampokaivon+kriteerit/>, viitattu 26.2.2010.
- [69] O. Ozgener, A. Hepbasli, *Modeling and performance evaluation of ground source (geothermal) heat pump systems*, Energy and Buildings 39 (2007), 66-75. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.04.019>, viitattu 27.1.2010.
- [70] Neste Oil, *Aurinkolämpö lisäenergiana - taustaa ja tuotteet*. Saatavilla osoitteesta: <http://www.neste.fi/binary.asp?page=5523&field=FileAttachment&version=2>, viitattu 22.2.2010.

- [71] Motiva Oy ja Aurinkoteknillinen yhdistys ry, *Auringosta lämpöä ja sähköä*, Motiva Oy. Saatavilla pdf-muodossa: http://www.motiva.fi/files/2220/AurinkoEnergia_www.pdf, viitattu 21.2.2010.
- [72] Lämmöllä: Asiaa öljylämmityksestä (Internet-sivut), *Oikea säätö varmistaa aurinkolämmityksen säästöt*, Lämmöllä-lehden kotisivut, artikkelit, 2010. Saatavilla osoitteesta: <http://www.lammolla.fi/7>, viitattu 22.2.2010.
- [73] Motiva Oy, *Yksittäisen kohteen CO₂-päästöjen laskentaohjeistus sekä käytettävät CO₂-päästökertoimet*. Saatavilla pdf-muodossa: http://www.motiva.fi/files/209/Laskentaohje_CO2_kohde_040622.pdf, viitattu 18.12.2009.
- [74] IEA Heat Pump Centre, *Combining heat pumps and other technologies*, IEA Heat Pump Centre Newsletter, Volume 25 - No. 4/2007, IEA Heat Pump Centre, 2007. Saatavilla osoitteesta: <http://www.heatpumpcentre.org/publ/HPCOrder/default.aspx?Search=Yes&CategoryId=5#436>, viitattu 2.3.2010.
- [75] Maanmittauslaitos (Internet-sivut), *Ilmaiset kartat: Kartta 5 - Korkeusvyöhykekartta*. Saatavilla osoitteesta: <http://www.maanmittauslaitos.fi/default.asp?id=873>, viitattu 28.4.2010.
- [76] Jyrki Leijala, keskustelut ja kirjeenvaihto.
- [77] Mirja Leijala, keskustelut ja kirjeenvaihto.
- [78] Viljo Kumpulainen, *Lämmitysjärjestelmän kaaviokuva*, 24.2.2009.
- [79] Viljo Kumpulainen, *Monilämmitysjärjestelmän toimintaselostus (Omakoti- ja Leijala, Keuruu)*, 24.2.2009.
- [80] Viljo Kumpulainen, keskustelut ja kirjeenvaihto.
- [81] Viljo Kumpulainen/Rakennuspalvelu Heikkinen Oy, *Energialaskelma (VIESSMANN)*, 27.2.2007.
- [82] VIESSMANN, *Vitocal lämpöpumput*. Saatavilla pdf-muodossa: http://www.viessmann.fi/etc/medialib/internet-fi/pdf/products.Par.38294.File.File.tmp/Vitocal_05-2008_Fi.pdf, viitattu 28.1.2010.
- [83] VIESSMANN, *Vitosol 100: Flat collectors for the utilisation of solar energy, Data Sheet*. Saatavilla pdf-muodossa: http://www.bgtherm.com/products/heating/solar_systems/sun_flat_collectors/d/6_1_VITOSOL_100.pdf, viitattu 28.1.2010.
- [84] VIESSMANN, *Solar Technology: Reducing heating costs with solar energy*. Saatavilla osoitteesta: <http://www.viessmann.fi/fi/products/Solar-Systeme.html.html>, viitattu 18.5.2010.

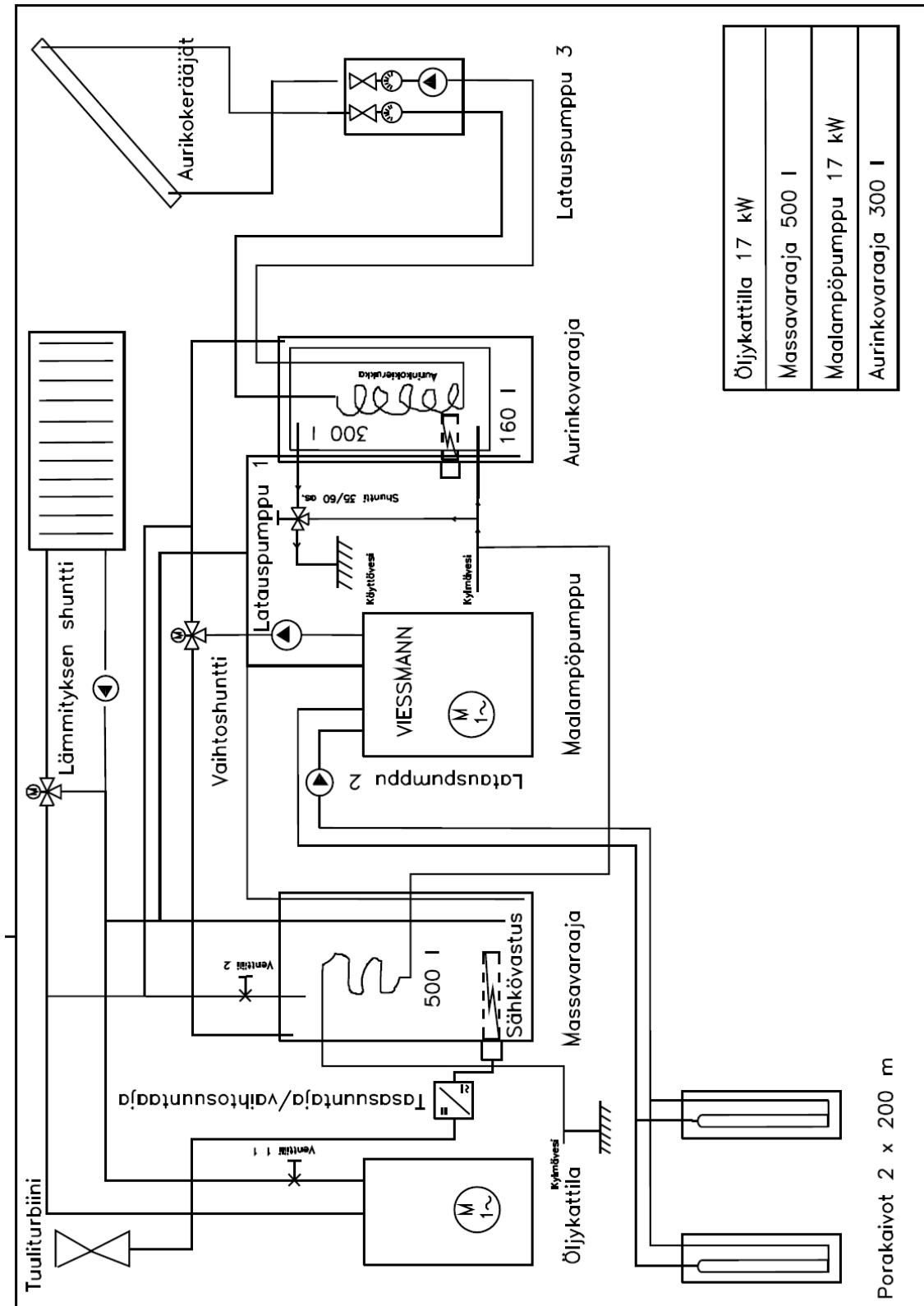
- [85] VIESSMANN, *VITOSOL Aurinkojärjestelmät: Tasokeräimet ja Tyhjiötuubikeräimet -esite*.
- [86] Oy Windside Production Ltd (Internet-sivut), *Turbiinimallit: WS-0,30C Tekniset tiedot*. Saatavilla osoitteesta: <http://www.windside.com/finnish/technical.html#WS-0,30C>, viitattu 1.2.2010.
- [87] Oy Windside Production Ltd, *Windside tuuliturbiinit -esite*.
- [88] A.S. Bahaj, L. Myers, P.A.B. James, *Urban energy generation: Influence of micro-wind turbine output on electricity consumption in buildings*, Energy and Buildings 39 (2007), 154-165. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.06.001>, viitattu 1.3.2010.
- [89] Suomen Tuulivoimayhdistys ry (Internet-sivut), *Pientuulivoima*. Saatavilla osoitteesta: <http://www.tuulivoimayhdistys.fi/pientuulivoima>, viitattu 1.2.2010.
- [90] Keskisuomalainen 2.7.2008, kirjoitus otsikolla ”*Tuulesta temmattua sähköä mökille*”.
- [91] Sari Grönholm (toim.), *Retkeilijän kiviopas* (2. painos), Geologian tutkimuskeskus (GTK). Saatavilla osoitteesta: <http://www.gtk.fi/geotieto/jokamies/RetkeilijanKiviopas.html>, viitattu 18.5.2010.
- [92] Tarkasteltavan omakotitalon öljyntoimitustositteet vuosilta 1985-2007.
- [93] Puolustushallinnon rakennuslaitos (42720 Keuruu), *Kuukausien keskilämpötilat Varuskunnassa 1973-2010*.
- [94] Eija Alakangas, *Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia*, VTT tiedotteita 2045, VTT, 2000. Saatavilla pdf-muodossa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2045.pdf>, viitattu 17.2.2010.
- [95] Keuruun sähkö Oy, Tarkasteltavan omakotitalon ja viereisen rakennuksen yhteissähkönkulutus vuosilta 2003-2009.
- [96] Keuruun sähkö Oy (Internet-sivut), *Sähkön alkuperätiedot*. Saatavilla osoitteesta: <http://www.keuruunsahko.fi/index.php?id=1115>, viitattu 14.1.2010.
- [97] TKK Dipoli, WWF Suomi, Motiva Oy, *Ilmastolaskuri: Sähkönkulutus*. Saatavilla osoitteesta: <http://www.ilmastolaskuri.fi/fi/user/page/show/name/electricity>, viitattu 13.1.2010.
- [98] Suomi.fi (Internet-sivut), *Perustietoa Suomesta: Luonto ja maantiede*. Saatavilla osoitteesta: http://www.suomi.fi/suomifi/suomi/tietopaketti/perustietoa_suomesta/luonto_ja_maantiede/index.html, viitattu 24.2.2010.
- [99] Ajoneuvohallintokeskus (AKE), *EkoAKE 2008: Uuden auton kulutustiedot*, Edita Prima Oy/Viisikko-Communications VCA, joulukuu 2008. Saatavilla pdf-muodossa osoitteesta: <http://www.ake.fi/NR/rdoonlyres/285015EB-103D-41E0-BECF-00CF7FAD8AC4/0/Ekoake2008.pdf>, viitattu 21.3.2010.

- [100] International Civil Aviation Organization (ICAO), *Carbon Emissions Calculator*. Saatavilla osoitteesta: <http://www2.icao.int/en/carbonoffset/Pages/default.aspx>, viitattu 27.3.2010.
- [101] Viessmann Werke GmbH & Co. KG, *Serviceanleitung für die Fachkraft Vitosol (Vitosol 100, SV1)*, 5/2005.
- [102] Solar Keymark Collector Database: Collector Certificates, *Vitosol 100-F SV1 and SH1 (Viessmann Werke GmbH & Co. KG)*. Saatavilla pdf-muodossa osoitteesta: http://www.dincertco.de/logos/011-7s329_f.pdf, viitattu 1.4.2010.
- [103] Ilmatieteen laitos (Internet-sivut), *Ilmastollinen vertailukausi 1971-2000: Kuukausitilastot uudessa julkaisussa: Jyväskylä 1971-2000*. Saatavilla osoitteesta: http://www.fmi.fi/saa/tilastot_100.html, viitattu 27.3.2010.
- [104] Tarkasteltavan omakotitalon uuden lämmitysjärjestelmän hankintaan liittyvät laskut ja kuitit.
- [105] Öljy- ja kaasualan keskusliitto, *Öljytuotteiden kuluttajahintaseuranta*. Saatavilla pdf-muodossa: http://www.oil-gas.fi/files/728_Kuluttajahintaseuranta.pdf, viitattu 1.3.2010.
- [106] Keuruun sähkö Oy, Tarkasteltavan omakotitalon ja viereisen rakennuksen yhteissähkönkulutuksen tasaaslaskut vuosilta 2008 ja 2009.
- [107] Paavo Jäppinen ym., *Calculus 4: Lukion pitkä matematiikka; Tilastotiedettä ja todennäköisyyslaskentaa, Lukujonot ja sarjat* (1.-4. painos), Lukion pitkän matematiikan oppikirjasarja Calculus, Kustannusosakeyhtiö Otava, Helsinki 1995.
- [108] Paavo Jäppinen ym., *Calculus 5: Lukion pitkä matematiikka; Lukiomatematiikan kertaus* (1.-4. painos), Lukion pitkän matematiikan oppikirjasarja Calculus, Kustannusosakeyhtiö Otava, Helsinki 1996.
- [109] Suomen Tuuliatlas, *Tuulisuus Suomessa*. Saatavilla osoitteesta: <http://www.tuuliatlas.fi/tuulisuus/index.html>, viitattu 1.3.2010.
- [110] Keski-suomalainen 21.9.2008, Rainer Liimataisen kirjoitus otsikolla ”Öljypoltin poikki kokonaan”.

Liitteet**Liite A. Kerrannaisyksiköt****Taulukko A.1.** Kerrannaisyksiköiden etuliitteet.

Etuliite	Tunnus	Kerroin
femto	f	10^{-15}
piko	p	10^{-12}
nano	n	10^{-9}
mikro	μ	10^{-6}
milli	m	10^{-3}
kilo	k	10^3
mega	M	10^6
giga	G	10^9
tera	T	10^{12}
peta	P	10^{15}

Liite B. Lämmitysjärjestelmän kaavio



Kuva B.1. Lämmitysjärjestelmän kaavio. [78]

Liite C. Tutkimuskohteen öljynkulutus ja Keuruun lämpötilat ajalta 1985-2009

Taulukko C.1. Tarkasteltavan omakotitalon vuosittainen öljynkulutus ja Keuruun vuosikeskilämpötila sekä talvikuukausien (tammi-, helmi-, maaliskuu-, marraskuu- ja joulukuu) keskilämpötila aikavälillä 1985-2009. Taulukko on luotu lähteiden [92,93] pohjalta.

Vuosi	Öljynkulutus (l/a)	Vuosikeskilämpötila (°C)	Talvikuukausien keskilämpötila (°C)
1985	11.734	0,3	-11,5
1986	14.673	2,3	-7,6
1987	13.165	0,7	-10,2
1988	8.777	3,1	-6,7
1989	9.185	4,7	-2,9
1990	9.178	4,2	-3,5
1991	10.322	3,7	-4,3
1992	8.067	3,7	-3,1
1993	10.946	2,9	-4,5
1994	8.873	2,2	-7,5
1995	8.252	3,4	-5,5
1996	8.009	2,3	-6,5
1997	8.208	2,7	-6,1
1998	9.280	2,1	-7,2
1999	7.332	3,1	-6,3
2000	8.908	4,1	-3,6
2001	9.924	2,6	-7,8
2002	9.082	2,3	-7,0
2003	7.719	2,2	-6,7
2004	6.068	2,5	-6,1
2005	6.067	3,4	-5,9
2006	5.950	3,4	-6,2
2007	6.433	3,1	-4,9
2008	0	4,2	-2,5
2009	0	3,2	-5,6

Liite D. GetSolar-ohjelmassa käytetyt parametrit

Taulukko D.1. Aurinkokeräimen ja keräinpiirin parametrit ja niiden arvot.

<p>Keräinmalli: Viessmann Vitosol 100 SV1 (tasokeräin)</p> <p>Keräimen tekniset tiedot [101]:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Optinen tehokkuus η_0: 0,81 • Lämpöhäviökerroin k_1: 3,480 W/m²K • Lämpöhäviökerroin k_2: 0,0164 W/m²K² • IAM50: 0,885 (<i>Huom! Vitosol 100-F:lle määritetty arvo</i>) [102] • Apertuuri pinta-ala: 2,32 • Tilavuus: 0,79 l/m²
<p>Keräimen muut tiedot [76,80]:</p> <p>Keräimien yhteispinta-ala: 4,64 m² (2 keräintä)</p> <p>Keräimen kallistuskulma: 30°</p> <p>Keräimen suuntakulma: 0°</p> <p>Keräimen ja aurinkovaraajan välinen (yksinkertainen) etäisyys: 19 m</p> <p>Keräimen asennustapa: Kiinteä asennus</p>
<p>Aurinkopiirin tiedot:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Putkiston materiaali: Rst-haitariputki DN 20 (<i>arvio</i>) • Volyymivirtaus: 45 l/m²h [101] • Lämmönvaihtimen lämmönsiirtokerroin: 60 W/Km² (<i>arvio</i>)

Taulukko D.2. Käyttövesivaraajan ja peruslämmityksen parametrit ja niiden arvot.

Järjestelmän tyyppi: Käyttövesivaraaja
Lämpötilat [80]: <ul style="list-style-type: none"> • Kylmä vesi: +15 °C • Kuuma vesi: +55 °C • Ylläpitolämpötila: +54 °C • Maksimilämpötila: +100 °C
Lämpimän käyttöveden tarve: 90 l/vrk (2 hlö)
Kulutusprofiili: Normaali
Varaajan (käyttövesivaraaja aurinkokierukalla) tilavuus [78]: 300 l
Eriste: 0,30 W/m ² K (<i>arvio</i>)
Peruslämmityksen tiedot: <ul style="list-style-type: none"> • Lämmönlähde: Lämpöpumppu • Lämpöpumpun lämpökerroin: 2,9 [81] • Lämpöpumpun käyttöaste (peruslämmityksessä)²⁶: <ul style="list-style-type: none"> Talvi: 100 % Kesä: 100 % Kevät/Syksy: 100 %

²⁶ Lämpöpumpun käyttöaste peruslämmityksessä eri vuoden aikoina perustuu siihen tietoon, että lämpöpumppu tuottaa järjestelmässä kaiken *talon lämmitykseen* tarvittavan lämmön vuoden ajasta riippumatta, kun mukaan ei huomioida tuuliturbiinin tuottamaa lämpöä.

Taulukko D.3. Auringon kokonaissäteily eri kuukausina ja kuukausien keskilämpötilat Jyväskylässä (leveysaste: 62,2°, pituusaste: 25,7°). Taulukko on luotu lähteiden [50,103] pohjalta.

Kuukausi	Auringon säteilyn intensiteetti		Kuukauden keskilämpötila (°C)
	(kWh/m ² kk)	(kWh/m ² d)	
Tammikuu	6,11	0,20	-8,5
Helmikuu	22,50	0,80	-8,7
Maaliskuu	59,44	1,92	-4,0
Huhtikuu	104,44	3,48	1,4
Toukokuu	153,33	4,95	8,7
Kesäkuu	160,56	5,35	14,0
Heinäkuu	155,28	5,01	16,0
Elokuu	112,78	3,64	13,7
Syyskuu	61,94	2,06	8,2
Lokakuu	25,56	0,82	3,2
Marraskuu	7,22	0,24	-2,2
Joulukuu	2,78	0,09	-6,4

Liite E. Järjestelmän takaisinmaksuaika lainanottoesimerkillä

Taulukko E.1. Lainan takaisinmaksun erittely, kun lainan suuruus on 42.811 €, laina-aika on 9 vuotta, lainan takaisinmaksuerien määrä vuodessa on 12, lainan korko on 5 % ja lainan takaisinmaksutapa on annuiteetti.

Erä	Takaisinmaksuerä (tasaerämaksu a) (€)	Lyhennys L (€)	Korkor (€)	Jäljellä oleva lainak' (€)
1.	493,07	314,69	178,38	42.811,00
2.	493,07	316,00	177,07	42.496,31
3.	493,07	317,31	175,75	42.180,32
4.	493,07	318,64	174,43	41.863,00
5.	493,07	319,96	173,10	41.544,36
6.	493,07	321,30	171,77	41.224,40
7.	493,07	322,64	170,43	40.903,10
8.	493,07	323,98	169,09	40.580,47
9.	493,07	325,33	167,74	40.256,48
10.	493,07	326,69	166,38	39.931,15
11.	493,07	328,05	165,02	39.604,47
12.	493,07	329,41	163,65	39.276,42
13.	493,07	330,79	162,28	38.947,01
14.	493,07	332,17	160,90	38.616,22
15.	493,07	333,55	159,52	38.284,05
16.	493,07	334,94	158,13	37.950,51
17.	493,07	336,33	156,73	37.615,57
18.	493,07	337,74	155,33	37.279,23
19.	493,07	339,14	153,92	36.941,50
20.	493,07	340,56	152,51	36.602,35
21.	493,07	341,98	151,09	36.261,80
22.	493,07	343,40	149,67	35.919,82
23.	493,07	344,83	148,24	35.576,42
24.	493,07	346,27	146,80	35.231,59
25.	493,07	347,71	145,36	34.885,32
26.	493,07	349,16	143,91	34.537,61
27.	493,07	350,61	142,45	34.188,45
28.	493,07	352,07	140,99	33.837,84
29.	493,07	353,54	139,52	33.485,76
30.	493,07	355,02	138,05	33.132,22
31.	493,07	356,49	136,57	32.777,21
32.	493,07	357,98	135,09	32.420,71
33.	493,07	359,47	133,59	32.062,73
34.	493,07	360,97	132,10	31.703,26
35.	493,07	362,47	130,59	31.342,29
36.	493,07	363,98	129,08	30.979,82
37.	493,07	365,50	127,57	30.615,84
38.	493,07	367,02	126,04	30.250,34
39.	493,07	368,55	124,51	29.883,31
40.	493,07	370,09	122,98	29.514,76
41.	493,07	371,63	121,44	29.144,67
42.	493,07	373,18	119,89	28.773,04
43.	493,07	374,73	118,33	28.399,87
44.	493,07	376,29	116,77	28.025,13
45.	493,07	377,86	115,20	27.648,84
46.	493,07	379,44	113,63	27.270,98
47.	493,07	381,02	112,05	26.891,54
48.	493,07	382,61	110,46	26.510,52
49.	493,07	384,20	108,87	26.127,92
50.	493,07	385,80	107,27	25.743,72
51.	493,07	387,41	105,66	25.357,92
52.	493,07	389,02	104,04	24.970,51

53.	493,07	390,64	102,42	24.581,49
54.	493,07	392,27	100,80	24.190,84
55.	493,07	393,91	99,16	23.798,57
56.	493,07	395,55	97,52	23.404,67
57.	493,07	397,19	95,87	23.009,12
58.	493,07	398,85	94,22	22.611,93
59.	493,07	400,51	92,55	22.213,08
60.	493,07	402,18	90,89	21.812,56
61.	493,07	403,86	89,21	21.410,38
62.	493,07	405,54	87,53	21.006,53
63.	493,07	407,23	85,84	20.600,99
64.	493,07	408,93	84,14	20.193,76
65.	493,07	410,63	82,44	19.784,84
66.	493,07	412,34	80,73	19.374,21
67.	493,07	414,06	79,01	18.961,87
68.	493,07	415,78	77,28	18.547,81
69.	493,07	417,52	75,55	18.132,03
70.	493,07	419,26	73,81	17.714,51
71.	493,07	421,00	72,06	17.295,25
72.	493,07	422,76	70,31	16.874,25
73.	493,07	424,52	68,55	16.451,49
74.	493,07	426,29	66,78	16.026,98
75.	493,07	428,06	65,00	15.600,69
76.	493,07	429,85	63,22	15.172,63
77.	493,07	431,64	61,43	14.742,78
78.	493,07	433,44	59,63	14.311,14
79.	493,07	435,24	57,82	13.877,71
80.	493,07	437,06	56,01	13.442,46
81.	493,07	438,88	54,19	13.005,41
82.	493,07	440,71	52,36	12.566,53
83.	493,07	442,54	50,52	12.125,83
84.	493,07	444,39	48,68	11.683,28
85.	493,07	446,24	46,83	11.238,90
86.	493,07	448,10	44,97	10.792,66
87.	493,07	449,96	43,10	10.344,57
88.	493,07	451,84	41,23	9.894,60
89.	493,07	453,72	39,34	9.442,76
90.	493,07	455,61	37,45	8.989,04
91.	493,07	457,51	35,56	8.533,43
92.	493,07	459,42	33,65	8.075,92
93.	493,07	461,33	31,74	7.616,50
94.	493,07	463,25	29,81	7.155,17
95.	493,07	465,18	27,88	6.691,92
96.	493,07	467,12	25,94	6.226,74
97.	493,07	469,07	24,00	5.759,62
98.	493,07	471,02	22,04	5.290,55
99.	493,07	472,98	20,08	4.819,53
100.	493,07	474,96	18,11	4.346,54
101.	493,07	476,93	16,13	3.871,59
102.	493,07	478,92	14,14	3.394,65
103.	493,07	480,92	12,15	2.915,73
104.	493,07	482,92	10,15	2.434,81
105.	493,07	484,93	8,13	1.951,89
106.	493,07	486,95	6,11	1.466,96
107.	493,07	488,98	4,08	980,01
108.	493,07	491,02	2,05	491,02
	yht. 53.251,12	yht. 42.811,00	yht. 10.440,13	