

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma

Mikko Sukanen

Pientalon hybridi-lämmitysjärjestelmä

Insinööritö 3.6.2009

Ohjaava opettaja: yliopettaja Jukka Yrjölä

Tekijä Otsikko	Mikko Sukanen Pientalon hybridi-lämmitysjärjestelmä
Sivumäärä Aika	73 sivua 3.6.2009
Koulutusohjelma	talotekniikka
Tutkinto	insinööri (AMK)
Ohjaaja Ohjaava opettaja	yliopettaja Jukka Yrjölä
<p>Insinööri­työn aiheena on pientalon hybridi-lämmitysjärjestelmä, ja aihe oli omavalintainen. Työ suoritettiin Metropolia Ammattikorkeakouluun. Insinööri­työssä käsiteltiin hybridi-lämmitysjärjestelmien teoriaa ja järjestelmien toteuttamista. Lisäksi insinööri­työhön oli otettu mukaan esimerk­kiko­hde, johon suoritettiin pienimuotoinen lämmitysjärjestelmien kannattavuusvertailu. Esimerkkikohteena toimi Keravalla sijaitseva öljylämmitteinen pientalo.</p> <p>Insinööri­työn ensimmäisessä osiossa selvitetään aurinkolämpöjärjestelmien toimintaa ja toteutusvaihtoehtoja. Toisessa osiossa käsitellään lämpöpumppujen toimintaa ja toteutusvaihtoehtoja. Lämpöpumpuissa pääpaino on maalämpö- ja ilma-vesilämpöpumpuissa. Viimeisessä osiossa selvitetään, mikä lämmitysjärjestelmä kolmesta eri vaihtoehdosta on kannattavin esimerk­kikohteeseen. Vertailu toteutettiin investointikustannusten ja nykyarvojen perusteella. Laskennan perustana toimivat kohteesta saadut kulutustiedot.</p> <p>Työn tuloksena saatiin selville, mikä lämmitysjärjestelmä on taloudellisesti kannattavin valinta esimerk­kikohteeseen.</p> <p>Insinööri­työn tavoitteena oli tuoda esille hybridilämmityksen teoria ja mahdolliset toteutusvaihtoehdot. Työn pääpaino oli kuitenkin teoriaosuudessa. Lisäksi insinööri­työ tarjoaa öljylämmitykselle tulevaisuuden näkymiä ja erilaisia täydennysvaihtoehtoja.</p>	
Hakusanat	hybridi, lämmitysjärjestelmä, aurinkoenergia, lämpöpumppu

Author	Mikko Sukanen
Title	Hybrid heating system in a one-family house
Number of Pages	73 pages
Date	3 June 2009
Degree Programme	Building Services Engineering
Degree	Bachelor of Engineering
Instructor	
Supervisor	Jukka Yrjölä, Principal Lecturer
<p>The goal of this final year project was to study the theory of hybrid heating systems and their implementation. Another goal was to investigate and calculate the cost-based selection of a heating system for an old one-family house. The example one-family house is located in Kerava and is oil-heated.</p> <p>The first part of this final year project consists of solar energy theory and methods of solar energy implementation. The second part consists of heat pump theory and methods of heat pump implementation. In the second part the emphasis was on geothermal heat pumps and water-air heat pumps. The last part consists of cost-based investigation and calculation of a heating system for the example one-family house. There were three different alternatives. The investigation was executed based on investment expenses and the present value. The basis of the calculation was the consumption information of the example one-family house.</p> <p>The outcome of this final year project was the information about which heating system was the most profitable economically for the example one-family house.</p> <p>The project met the objective to bring up the theory of hybrid heating systems and methods of implementation, and to offer alternative heating methods and future information for oil-heated one-family households.</p>	
Keywords	hybrid, heating system, solar energy, heat pump

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

1 Johdanto	6
2 Perustietoa hybridilämmityksestä	8
3 Aurinkolämmitys	9
3.1 Yleistä aurinkoenergiasta	9
3.1.1 Passiivinen aurinkolämmitys	9
3.1.2 Aktiivinen aurinkolämmitys	10
3.2 Aurinkolämpöjärjestelmän osat	11
3.2.1 Aurinkolämpökeräin	12
3.2.2 Putkisto ja lämmönsiirtimet	14
3.2.3 Varaaja	16
3.2.4 Pumppuyksikkö	17
3.2.5 Ohjausyksikkö eli säädin	18
3.3 Suunnittelu ja mitoitus	18
3.3.1 Varaaja	19
3.3.2 Keräimet	19
3.3.3 Putkisto	21
3.3.4 Pumppuyksikkö	21
3.4 Aurinkolämpöjärjestelmän kytkentäesimerkkejä	22
4 Lämpöpumput	25
4.1 Yleistä lämpöpumpuista	25
4.1.1 Maalämpöpumppu	26
4.1.2 Ilma-vesilämpöpumppu	28
4.2 Lämpöpumppujärjestelmän osat	30
4.2.1 Höyrystin ja lauhdutin	30
4.2.2 Putkisto, lämmönjakopiiri ja kylmäaineet	31
4.2.3 Varaaja	32
4.2.4 Paisuntaventtiili	33
4.2.5 Kompressori ja pumppuyksiköt	34
4.2.6 Ohjausyksikkö eli säädin	35
4.3 Suunnittelu ja mitoitus	35
4.4 Maalämpöpumppujen eri tyyppimallit	37
5 Öljylämmitteisen pientalon lämmitystehon arviointi	41

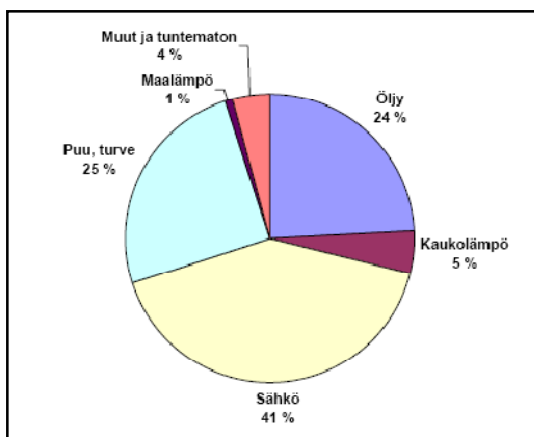
5.1	Lämmitystehon arviointi öljynkulutuksen perusteella	42
5.1.1	Energiankulutus	42
5.1.2	Lämmitystehon tarve	48
5.1.3	Tulokset	50
5.2	Uuden tilan lämmitystehon arviointi	51
5.2.1	Rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia	52
5.2.2	Vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia	54
5.2.3	Lämmitystehon tarve	56
5.2.4	Tulokset	56
6	Öljylämmitteisen pientalon lämmitysjärjestelmien vertailu	57
6.1	Vuotuisten kustannusten nykyarvo vanhalla öljylämmitysjärjestelmällä	58
6.2	Vuotuisten kustannusten nykyarvo uudella öljylämmitysjärjestelmällä	59
6.3	Vuotuisten kustannusten nykyarvo maalämpöjärjestelmällä	60
6.4	Vuotuisten kustannusten nykyarvo hybridilämmitysjärjestelmällä 1	62
6.5	Vuotuisten kustannusten nykyarvo hybridilämmitysjärjestelmällä 2	63
6.6	Lämmitysjärjestelmien lopulliset nykyarvot ja herkkyystarkastelu	65
7	Yhteenveto	68
	Lähteet	69
	Liitteet	
	Liite 1: Mittauspöytäkirja	71
	Liite 2: Excel-taulukko laskennasta	72
	Liite 3: Laskuissa käytetyt energianhinnat	73

1 Johdanto

Insinööriyöni aihe on hybridi-lämmitysjärjestelmä. Työni tarkoitus on selvittää jo olemassa olevan öljylämmitteisen pientalon hybridi-lämmitysjärjestelmävaihtoehdot. Aihe on omavalintainen ja aiheen valintaan vaikutti suuresti ajankohtaisuus sekä oma kiinnostus aiheeseen.

Työn tavoitteena on käydä läpi markkinoilla olevat hybridi-lämmitysjärjestelmät ja niiden yhdistelmät. Työssä kiinnitetään huomiota erityisesti lämpöpumppu-lämmitysjärjestelmiin. Työn tavoitteena on selvittää myös öljylämmityksen tulevaisuutta ja täydennettävyyttä.

Suomessa on noin 240 000 öljylämmitteistä pientaloa (21, s. 2). Siten noin neljäsosa pientaloista lämmitetään öljyllä (kuva 1). Järjestelmien vanhetessa ja laitteiden uudistamisen tullessa ajankohtaiseksi useimmat pientalo-omistajat alkavat vertailla ja selvittää tarjolla olevia lämmitysratkaisuja. Myös energian hinnan kallistuminen sekä ympäristöystävällisyys ovat saaneet pientalo-omistajat varpailleen ja kyseenalaistamaan öljylämmityksen tarpeellisuuden ja tulevaisuuden. Tämän takia aihe on mielestäni hyödyllinen ja ajankohtainen. Työ tarjoaa varmasti vastauksia moniin kysymyksiin, ja mukana on myös laskennallisia esimerkkejä, jotka helpottavat lämmitysjärjestelmien keskinäistä vertailua.



Kuva 1. Lämmitysmuotojen jakautuminen pientaloissa vuonna 2006 (21, s.3).

Työn ensimmäisessä osassa käsitellään aurinkolämpöä ja sen tarjoamia lämmitysjärjestelmiä. Toisessa osuudessa perehdytään lämpöpumppujärjestelmiin pääpainon ollessa maalämpö- ja ilma-vesilämpöpumppujärjestelmissä. Viimeisessä osiossa tarkastellaan molempien, aurinkolämmön ja lämpöpumpun, yhdistämistä öljylämmityksen rinnalle eli hybridijärjestelmän muodostamista. Lisäksi yhtenä vaihtoehtona tarkastellaan koko lämmitysjärjestelmän vaihtoa.

Esimerkkikohteena toimii Keravalla sijaitseva öljylämmitteinen pientalo (150 m²), joka on saneerauksessa. Saneeraustöiden seurauksena rakennukseen saadaan noin 100 m² lisää lämmintilaa, minkä vuoksi myös lämmitysjärjestelmä halutaan saneerata.

Rakennuksen vanhat tilat lämmitetään vesikiertoisella patterilämmityksellä, ja uusi lämmintila on tarkoitus lämmittää vesikiertoisella lattialämmityksellä.

Esimerkkikohteeseen tehtävät laskut ovat laskettu kohteesta saatujen lähtötietojen ja itse suoritettun savukaasumittauksen perusteella. Tarkemmat lähtötiedot löytyvät kappaleen 5 alusta. Laskelmat perustuvat pääasiassa öljynkulutustietoihin ja niiden avulla määritettyyn rakennuksen lämmitysenergiantarpeeseen. Rakennuksen lämpöhäviöitä ei ole laskennallisesti määritetty.

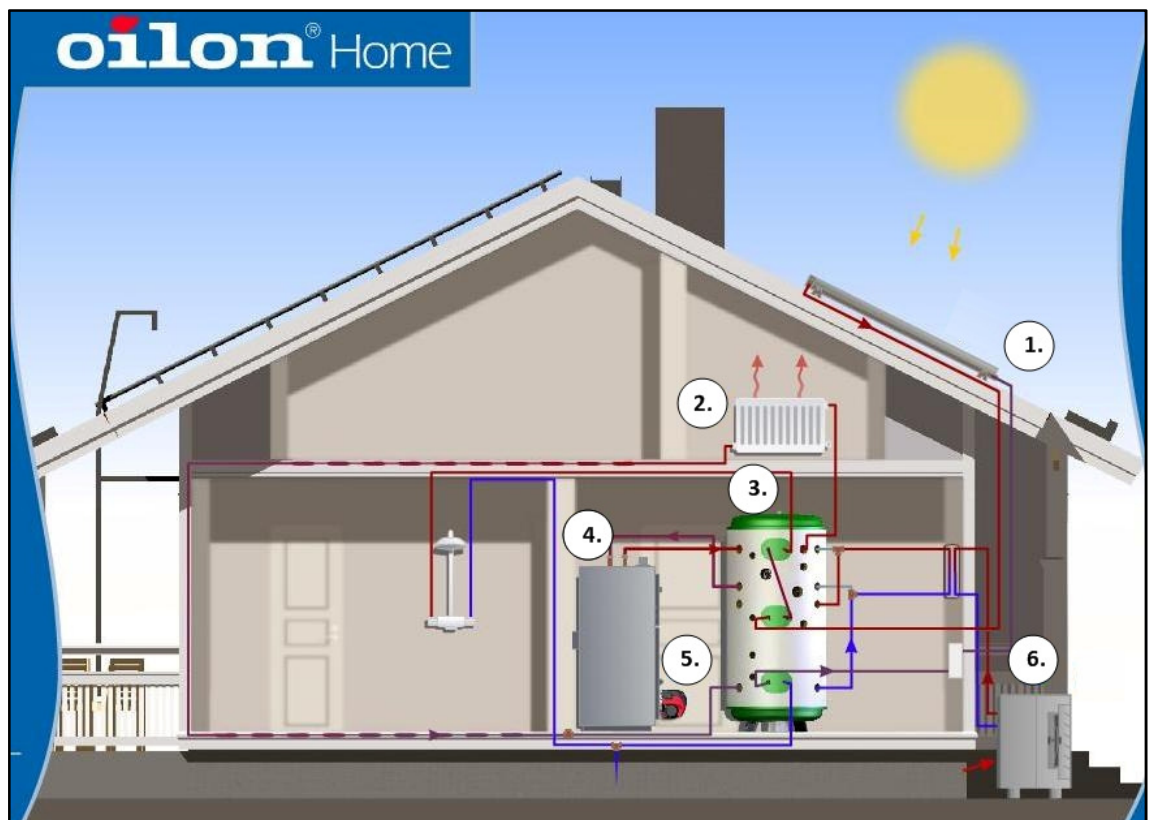
Suoritan insinööriyöni Metropolia Ammattikorkeakouluun ja ohjaavana opettajana toimii yliopettaja, Jukka Yrjölä.

2 Perustietoa hybridilämmityksestä

Hybridi-lämmitysjärjestelmällä tarkoitetaan lämmitysjärjestelmää, joka käyttää eri energianlähteitä lämmitykseen ja lämpimän käyttöveden lämmitykseen eri vuodenaikoina (kuva 2). Hybridijärjestelmän hyödyt ovat ympäristöystävällisyydessä ja uusiutuvien energian lähteiden käytössä. (6; 7.)

Esimerkiksi öljylämmitteinen talo lämmitetään kovilla pakkasilla bio- tai polttoöljyllä, kesäkuukaudet aurinkolämmöllä ja muulloin ilma-vesilämpöpumpulla.

Hybridilämmitys onkin suunnattu erityisesti öljy/kaasukattiloille ja puu/pellettikattiloille, koska näissä tapauksissa lämmitysjärjestelmän täydentäminen tulee halvemmaksi kuin kokonaan uuden lämmitysjärjestelmän hankkiminen. (6; 7.)



Kuva 2. Esimerkkikuva hybridijärjestelmästä: 1) aurinkokeräin, 2) lämmityspatteri, 3) hybridivaraaja, 4) öljykattila, 5) öljypoltin, 6) ilma-vesilämpöpumppu (7, muokattu).

3 Aurinkolämmitys

3.1 Yleistä aurinkoenergiasta

Aurinko on maapallon elämän perusta. Aurinko on ihmisen näkökulmasta ehtymätön energianlähde, ja lähes kaikki ihmisten käyttämät energiamuodot ovat alkujaan peräisin auringosta. Perinteisetkin polttoaineet ovat varastoitunutta aurinkoenergiaa, joka on aikojen saatossa tiivistynyt öljyksi, hiileksi ja maakaasuksi tai muuttunut fotosynteesin kautta orgaaniseksi aineeksi, kuten puuksi. Aurinkoenergiaa käyttämällä säästetään uusiutumattomia energianlähteitä ja samalla voidaan vähentää tarvittavan lämmitysenergian tarvetta talossa. (1, s. 8–9; 2, s. 2; 3, s. 148–151.)

Aurinkolämmityksessä lämpöenergia otetaan talteen suoraan auringon säteilyenergiasta. Tämä voidaan toteuttaa kahdella eri tavalla, joko passiivisella aurinkolämmityksellä tai aktiivisella aurinkolämmityksellä. Auringonsäteilyn hyödyntämisen ongelmana Suomessa on lämmitystarpeen ja auringonsäteilyn eriaikaisuus. Tästä johtuen Suomessa aurinkolämmitys soveltuu lähinnä lämpimän käyttöveden, huonetilojen ja uima-altaiden lämmittämiseen kesäaikana. Auringolla voidaan näin ollen peittää vain osa rakennuksen lämmitysenergian tarpeesta. Aurinkolämmitysjärjestelmien toimintaan vaikuttavat oleellisesti myös paikalliset erot ja sijainti. Etelässä aurinkolämpöä voidaan hyödyntää lähes läpi vuoden, mutta pohjoisessa vain kesäaikana, koska maan liikerata aiheuttaa muutoksia auringonsäteilyn tehoon ja määrään. (5; 4, s. 22; 3, s. 148–150.)

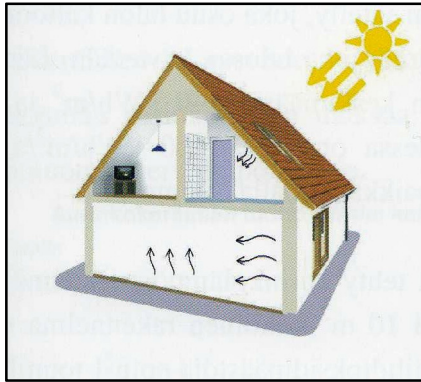
3.1.1 Passiivinen aurinkolämmitys

Passiivisella aurinkolämmityksellä tarkoitetaan auringon säteilyenergian hyödyntämistä ilman lisälaitteita. Passiivinen aurinkolämmitys voidaan toteuttaa esimerkiksi ikkunoiden ja varaavien rakenteiden avulla. (1, s. 8; 2, s. 2; 3, s. 155–158.)

Passiivisessa aurinkolämmityksessä tulee kiinnittää erityistä huomiota rakennuksen sijoitukseen, suuntaukseen, muotoiluun, ikkunoiden kokoon ja sijaintiin sekä

käytettyjen rakennusmateriaalien ominaisuuksiin. Aurinkolämmityksen perustana voidaan pitää ikkunoiden suuntaamista aurinkoisiin ilmansuuntiin. Oikein toteutetussa ja suunnitellussa rakennuksessa voidaan noin viidesosa lämmitysenergian tarpeesta kattaa passiivisella aurinkolämmöllä. (1, s. 8; 2, s. 2; 3, s. 155–158.)

Puhtaasti passiivisessa aurinkotalossa lisälaitteita ei tarvita (kuva 3). Kuvan talossa auringosta saatu lämpö hyödynnetään kattoikkunoiden ja varaavien rakenteiden (seinä ja lattia) avulla. Ikkunoiden kautta saatu lämpösäteily hyödynnetään suoraan, mutta varaavat rakenteet luovuttavat varautuneen lämmön päivän ja yön aikana hyödyksi hiljalleen. (5, s. 52–53.)



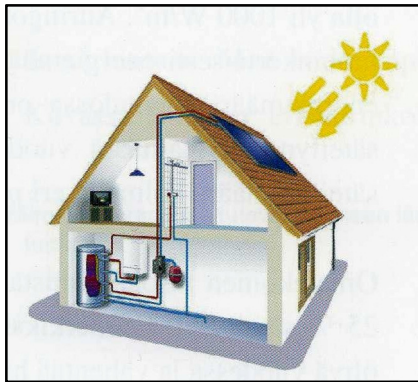
Kuva 3. Passiivinen aurinkolämmitys (2, s. 2).

3.1.2 Aktiivinen aurinkolämmitys

Aktiivisen aurinkolämmityksen periaate on sama kuin passiivisen, mutta tässä tapauksessa auringon säteilyenergia otetaan talteen tarkoitukseen sopivilla lisälaitteilla (kuva 4). Aktiivinen aurinkoenergiajärjestelmä voidaan jakaa vielä kahtia aurinkopaneeliin ja aurinkokeräimiin. Aurinkopaneelilla tuotetaan aurinkosähkö ja aurinkokeräimet on tarkoitettu aurinkolämmön talteen keräämiseen. (1, s. 8; 3, s. 151; 4, s. 72; 5, s. 2.)

Pientaloissa aurinkolämmitys toimii lisälämmityksenä, jota käytetään esimerkiksi lämpimän käyttöveden lämmitykseen tai huonetilojen lämmitykseen kesäaikana. Aurinkolämmitys kytketään peruslämmitysjärjestelmän rinnalle, joka on yleensä

lämmityskattila tai varaava sähkölämmitys. Aktiivinen aurinkolämmitys vaatii aina erillisen varaajan, johon auringosta saatu energia varastoidaan. Lämpöenergia varastoidaan yleensä lyhytaikaisesti yön yli tai korkeintaan vuorokaudeksi. Jos lämpöenergiaa halutaan käyttää huonetilojen lämmittämiseen, lämmönjako tulisi toteuttaa matalalla lämpötilatasolla kuten lattia- tai ilmalämmityksellä. Tämä siksi, että aurinkolämpöjärjestelmän lämpötilatasot ovat matalia, lämmityskauden aikana, ja käyttämällä esimerkiksi lattialämmitystä saadaan aurinkoenergiaa enemmän hyödynnetyksi. (3, s. 148–155; 5, s. 1–4.)

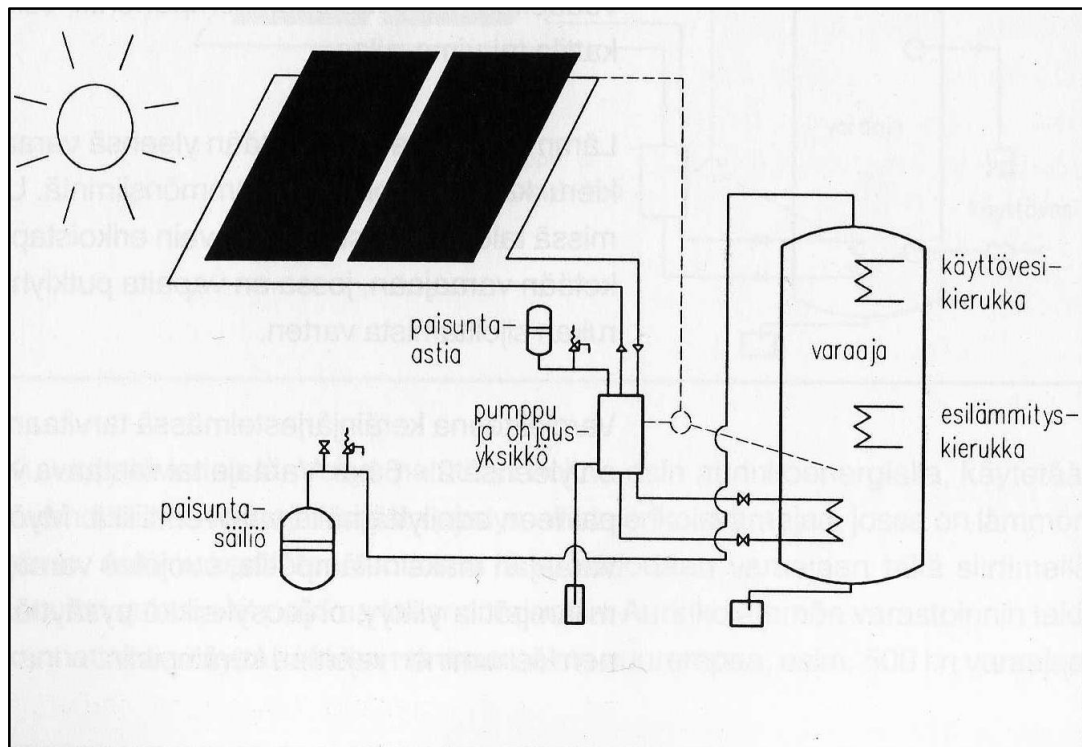


Kuva 4. Aktiivinen aurinkolämmitys (2, s. 2).

Yhden aurinkokeräimen (2,5 m²) tuotto 10 vuodessa säästää energiaa noin 9000 kWh. Kevytöljylämmitteisessä talossa tämä tarkoittaisi noin 1000 litran säästöä ja samalla ilmaston lämpenemistä aiheuttavat öljyn hiilidioksidipäästöt vähenisivät noin 2 500–3 000 kg. (1, s. 8; 3, s. 151; 4, s. 72; 5, s. 2.)

3.2 Aurinkolämpöjärjestelmän osat

Aurinkolämpöjärjestelmän pääosat ovat aurinkokeräin, putkisto, lämmönsiirrin, varaaja, pumppuyksikkö ja ohjausyksikkö eli säädin (kuva 5). Aurinkokeräin kerää talteen energian, joka siirretään pumpun ja säätimen ohjauksen avulla varaajaan odottamaan hyötykäyttöä tai vaihtoehtoisesti suoraan käyttökohteeseen. (1, s. 30.)

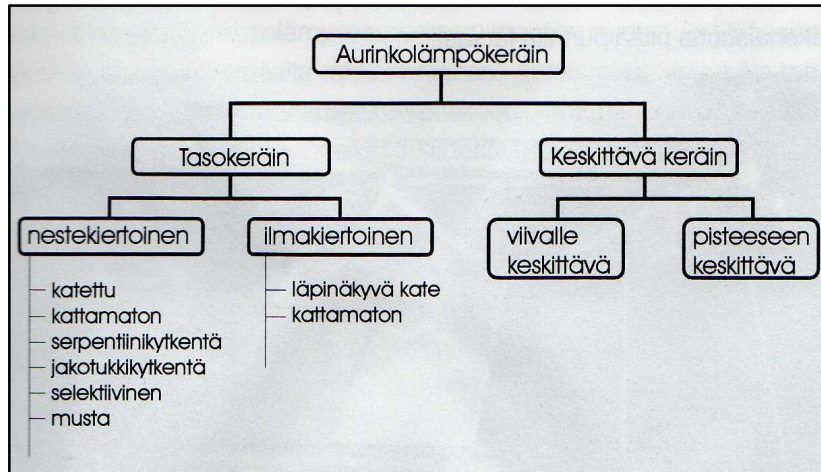


Kuva 5. Aurinkolämpöjärjestelmän osat: keräin, putkisto, pumppu, säädin, varolaitteet, lämmönsiirrin ja varaaja (4, s. 97).

3.2.1 Aurinkolämpökeräin

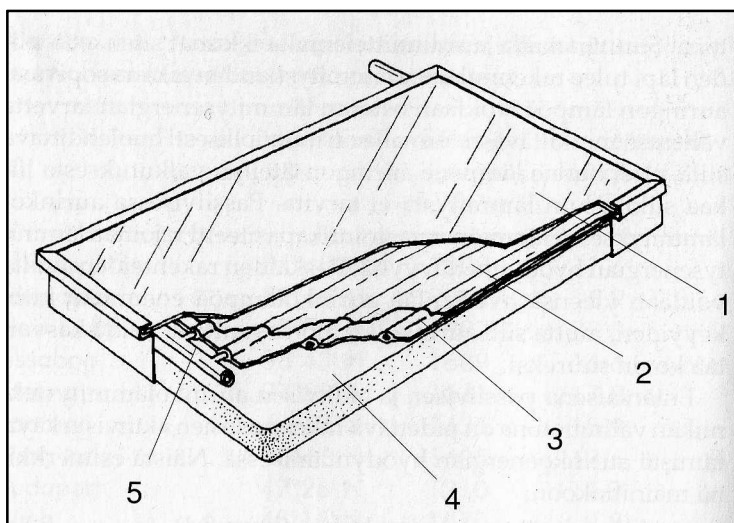
Aurinkokeräimen tehtävänä on kerätä tai vastaanottaa auringonsäteilyä ja muuttaa tämä lämmöksi, joka johdetaan keräimestä ilman tai nesteen avulla lämpövarastoon tai suoraan käyttökohteeseen. Aurinkokeräimen toiminta perustuu siihen, että musta (absorbaattorin) pinta lämpenee auringonsäteilystä ja näin aurinkolämpö saadaan talteen. (1, s. 30; 4, s. 72.)

Aurinkokeräimet voidaan jakaa kahteen eri pääryhmään: tasokeräimiin ja keskittäviin keräimiin. Nämä ryhmät voidaan jakaa vielä omiin alaryhmiin (kuva 6). Yleisimmät käytössä olevat aurinkokeräimet ovat nestekiertoisia tasokeräimiä, mutta myös niin sanotut "heat-pipe" eli tyhjiöputkikeräimet ovat suosittuja. Aurinkokeräinten oikea rakenne ja ominaisuudet valitaan aina käyttökohteen perusteella. (1, s. 30–33; 4, s. 72.)



Kuva 6. Aurinkokeräinten luokittelu (1, s. 31).

Perinteisen nestekiertoisen tasokerääjän rakenne selviää kuvasta 7. Toiminta perustuu mustaan absorptiolevyyn, joka siirtää auringosta saadun lämmön kerääjän putkistossa virtaavaan nesteeseen. Tasokeräin on yleensä katettu selektiivisellä lasilla ja pinnoitteella, joilla on suuri auringonsäteilyn absorptio sekä pieni emissiviteetti eli vähentää lämpöheijastumia. Selektiivilasin ja pinnoitteen ansiosta auringon lämpösäteilystä saadaan enemmän hyötykäyttöön. Lämmönsiirtoaineena käytetään joko vettä (kesäaikana) tai vesi-glykoliseosta (ympärivuotinen). Sisällä kulkevat putket yhdistetään lopuksi keräimen ylä- ja alareunoissa kulkeviin kokoojaputkiin. (3, s.151–152; 4, s. 72–76.)



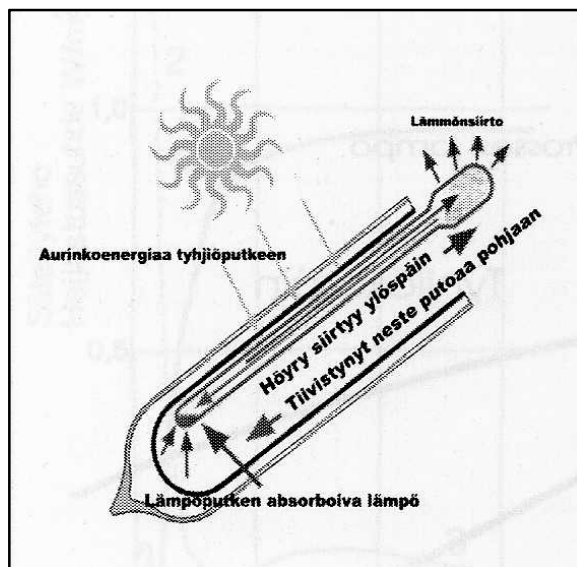
Kuva 7. Esimerkkikuva aurinkokeräimen rakenteesta: 1) selektiivinen lasi/kate, 2) selektiivinen pinnoite, 3) absorptiolevy, 4) lämmöneriste, 5) kokoojaputki (3, s. 152).

Nestekiertoisten tasokeräinten lisäksi on olemassa tyhjiöputkikeräimiä (kuva 8).

Tyhjiöputkikeräimet voidaan jakaa vielä kahteen alaryhmään:

- 1) Tyhjiöputket, jossa lämmönsiirtoneste kiertää tyhjiöputken sisällä u-muotoisessa putkessa (märkäliitäntä).
- 2) Tyhjiöputket, jossa on oma erillinen suljettu lämpöputki, kuten kuvassa 8. (kuivaliitäntä).

Tyhjiöputkikeräimen toiminta perustuu putken sisällä vallitsevaan tyhjiöön, jonka ansiosta lämpöhäviöt ovat pienemmät kuin nestemäisessä tasokeräimessä ja hyötysuhde parempi. Tyhjiöputkikeräimissä absorptiopinta on putken sisällä putkimaisessa muodossa eikä levynä. (2, s. 2–7; 4, s. 73.)



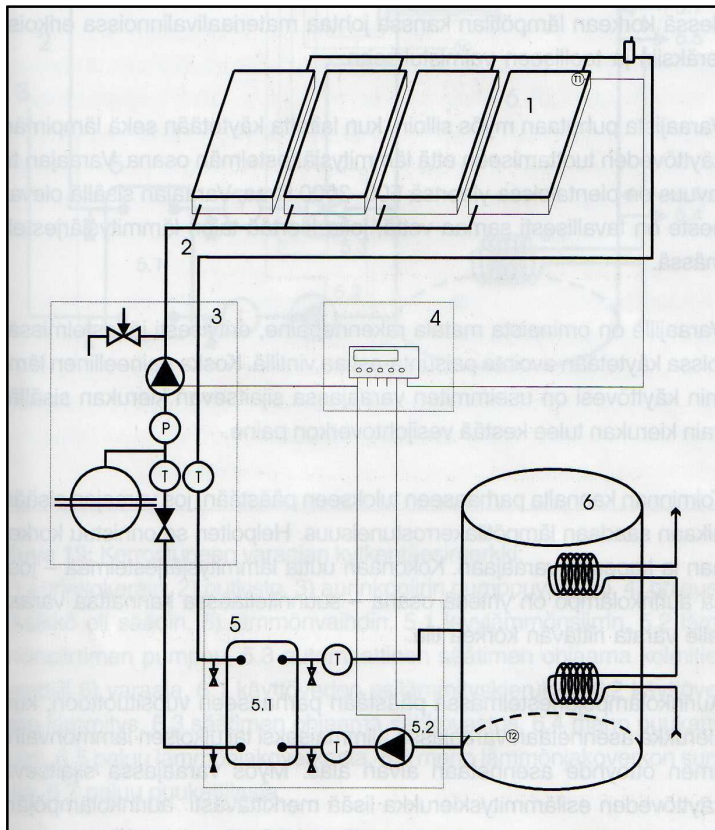
Kuva 8. Leikkauskuva tyhjiöputkesta, jossa on ”heat-pipe”-lämpöputki (4, s.73).

3.2.2 Putkisto ja lämmönsiirtimet

Aurinkolämpöjärjestelmän putkiston tehtävä on kuljettaa lämmönsiirtonestettä keräimestä lämmönsiirtimelle ja sieltä takaisin keräimelle. Lämmönsiirtonesteenä voidaan käyttää joko normaalia vettä tai vesiglykoliseosta. Putkistot toteutetaan yleensä kupariputkella. Paras vaihtoehto on hehkutettu kupariputki, koska tällöin liitosten määrä

saadaan pieneksi ja mutkat voidaan tehdä jouheiksi, jolloin painehäviöt pysyvät myös alhaisina. Putkiston suunnittelussa tulee huomioida erityisesti suurien lämpövaihteluiden aiheuttamat ongelmat, jotka saattavat aiheuttaa esimerkiksi vuotavia liitoksia tai lämpöhäviöitä rakenteisiin kannakkeiden kautta. (1, s. 41–43; 2, s. 16–17.)

Lämmönsiirtiminä aurinkolämpöjärjestelmässä käytetään yleensä tavanomaisia kuparikierukoita. Jos lämmönsiirtoaineena käytetään vettä, lämmönsiirrintä ei tarvita, vaan lämmennyt vesi syötetään suoraan varaajan yläosaan. Jos lämmönsiirtoaineena käytetään vesiglykoliliuosta, sijoitetaan lämmönsiirrin varaajan alaosaan ja aurinkokeräinpiiri erotetaan käyttövedestä. Isoissa varaajissa (tilavuus > 500 dm³) voidaan käyttää lämmönsiirtimenä erillistä lämmönsiirrintä (kuva 9), jolloin lämmin käyttövesi tai lämmityspiirin vesi esilämmitetään varaajan alaosassa ja varsinainen lämmitys tapahtuu varaajan yläosassa. (1, s. 49–51; 2, s. 21; 5, s. 2.)



Kuva 9. Ulkoisen levylämmönsiirtimen kytkentä: 1) keräin, 2) putkisto, 3) pumppu, 4) säädin, 5) lämmönsiirrin, 5.1) levylämmönsiirrin, 5.2) pumppu, 6) varaaja (1, s. 51).

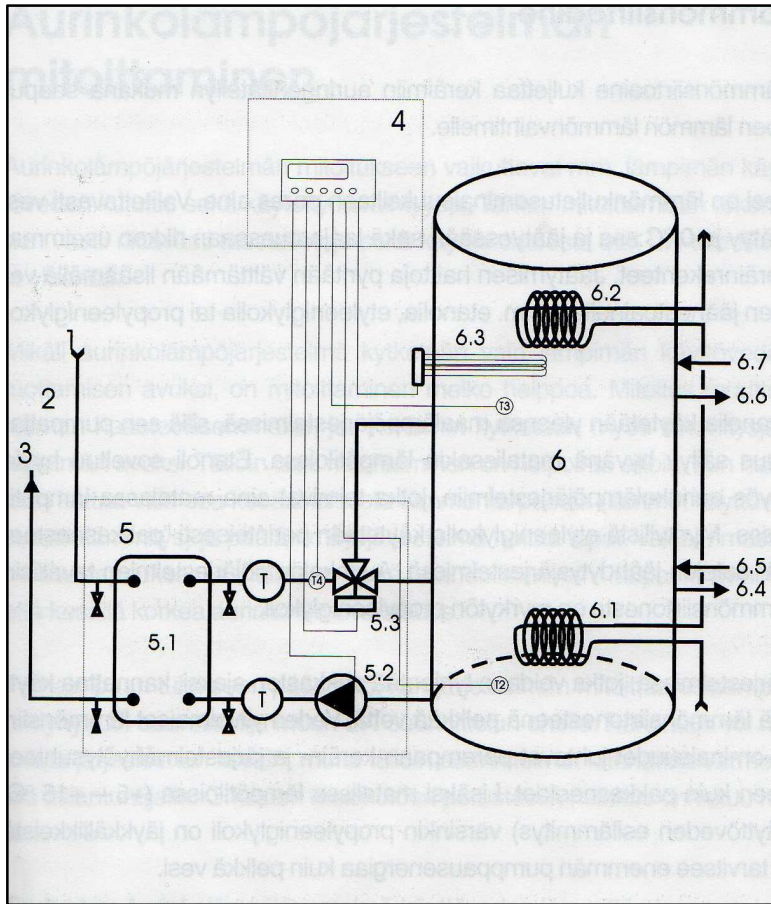
3.2.3 Varaaja

Varaajan tehtävänä on varastoida lämpöenergia käyttöä varten. Varaajat voidaan jakaa nimensä perusteella kahteen ryhmään: vedenlämmittimet ja varsinaiset varaajat. (1, s. 52; 2, s. 18–19; 5, s. 2.)

Vedenlämmittimellä tarkoitetaan varaajaa, jota käytetään lämpimän käyttöveden varastointiin ja lämmittämiseen. Vedenlämmittimet ovat yleensä tilavuudeltaan 50–300 litraa ja paineistettuja, koska käyttövesi otetaan suoraan varaajasta. Korkea rakennepaine ja korkea lämpötila asettavat materiaalivalinnoille rajoituksia, jonka seurauksesta vedenlämmittimet valmistetaan erikoisteräksistä teollisesti. (1, s. 52–53; 5, s. 2.)

Varaajista puhutaan myös silloin, kun laitetta käytetään lämpimän käyttöveden lisäksi myös lämmitysveden tuottamiseen. Pientaloissa tällaisten varaajien tilavuus on yleensä 500–3 000 litraa. Jos varaajaa käytetään myös lämmitysveden tuottamiseen, yleensä varaaja on paineistamaton ja käyttövesi lämmitetään erillisellä lämmönsiirtimellä. Varaajan sisällä oleva neste on tavallisesti lämmitysjärjestelmässä kiertävää vettä. (1, s. 52–53; 5, s. 2.)

Kummassakin tapauksessa varaajassa yritetään pitää yllä lämpötilakerrostuneisuutta (kuva 10). Tämä toteutetaan sijoittamalla putkiyhteet siten, ettei alaosassa sijaitseva kylmä vesi sekoitu yläosan lämpimän veden kanssa. Varaajan rakenteella on myös vaikutusta lämpötilakerrostuneisuuteen. Paras mahdollinen varaajan rakenne on korkea ja kapea. (1, s. 52–52; 2, s. 18–19; 5, s. 2.)



Kuva 10. Kerrostuneen varaajan kytkentäesimerkki: 1) keräin, 2) putkisto, 3) pumppu, 4) säädin, 5) lämmönsiirrin, 5.1) levylämmönsiirrin, 5.2) pumppu, 5.3) kolmitieventtiili, 6) varaaja, 6.1) lämmityskierukka (esilämmitys), 6.2) lämmityskierukka (käyttövesi), 6.3) sähkövastus, 6.4) menojohto kattilaan, 6.5) paluujohto lämmönjakopiiristä, 6.6) menojohto lämmönjakopiiriin suntille, 6.7) paluujohto kattilasta (1, s.53).

3.2.4 Pumppuyksikkö

Aurinkolämpöjärjestelmässä pumppuyksikön tehtävänä on kuljettaa lämmönsiirtoainetta aurinkokeräimiin ja saada aikaan tasainen virtaus. Pumppuyksikkö koostuu yleensä: kiertovesipumpusta, painemittarista, lämpömittarista, kalvopaisunta-astiasta, yksisuuntaventtiilistä, varoventtiilistä ja täyttämiseen sekä tyhjentämiseen tarvittavista yhteistä. Pumppu asennetaan lämmönsiirtimien jälkeen, joten pumppu työntää nestettä keräimiä kohti. (1, s. 43–46.)

3.2.5 Ohjausyksikkö eli säädin

Aurinkolämpöjärjestelmän säätö toteutetaan yleensä keskusyksiköllä, termostaateilla ja vähintään kahdella lämpötila-anturilla, jotka sijoitetaan keräimiin ja varaajaan. Säätimen ansiosta pumpput käyvät vain, kun keräimissä oleva neste on esimerkiksi 10 °C lämpimämpää kuin varaajassa oleva. Kun kiertävän nesteen lämpötila laskee alle asetuspötilän, pumppu pysähtyy. (1, s. 46–48; 2, s. 15–16; 5, s. 2.)

3.3 Suunnittelu ja mitoitus

Aurinkolämpöjärjestelmän suunnitteluun ja mitoitukseen vaikuttavat lämpimän käyttöveden kulutus, käytetty keräintyyppi ja aurinkolämmön käyttötarkoitus. Mitoittamisen kannalta helpoin tapaus on se, että aurinkolämpöjärjestelmää käytetään vain käyttöveden lämmittämiseen. Vaikeimmassa tapauksessa aurinkolämpöjärjestelmä kytketään myös lämmitysjärjestelmään, ja mitoituksen tavoitteena on saavuttaa mahdollisimman halpa energian hinta sekä korkea aurinko-omavaraisuusaste. Taulukoissa 1 ja 2 on esitelty suuntaa antava pikamitoitus omavaraisuusasteen ja keräinpinta-alan perusteella. (1, s. 55–57; 5, s. 3.)

Pienen järjestelmän, jolla tuotetaan lämmintä käyttövettä kesäaikana, keräinpinta-alaksi riittää noin 4–6 m² veden kulutuksesta ja rakennuksen sijainnista riippuen. Näin saadaan katettua kesäisin lähes koko lämpimän käyttöveden tarve. Jos aurinkoenergiaa käytetään myös huonetilan lämmitykseen, tällöin tarvitaan suurempi noin 10–20 m²:n järjestelmä. Tällaisella järjestelmällä voidaan tuottaa noin 20–30 % rakennuksen energiantarpeesta. Yli 30 %:n omavaraisuusasteeseen pyrittäessä jouduttaisiin turvautumaan kausivarastointiin ja huoneistojen lämmön keräämiseen keskitetysti. Tässä tapauksessa tulee kuitenkin muistaa, että vaikka aurinkojärjestelmä tuottaisikin parhaana kesäpäivänä kaiken tarvittavan energian, se ei välttämättä ole halvin mahdollinen ratkaisu. (1, s. 55–57; 5, s. 3.)

Taulukko 1. Keräinpinta-alan, varaajan, paisunta-astian ja putkiston mitoitus tavoitetasoon mukaan (5, s. 3, muokattu).

Tavoitelaso	Keräinpinta- ala m ²	Lämmönvesi- varaajan tilavuus dm ³	Paisunta- astian tilavuus dm ³	Keräin- putkiston putkikoko mm
Osa käyttövedestä, omavaraisuusaste 10...15 %	4...6	200...600	15	22
Myös osa lämmityksestä, omavaraisuusaste 20...30 %	10...20	500...2000	20	28

Taulukko 2. Aurinkolämpöjärjestelmän mitoitus käyttöveden lämmittämiseen, selektiivinen absorbaattori (1, s. 55, muokattu).

Lämmin käyttövesi (litraa/vrk)	100 - 200	200 - 300	300 - 500
Vedenlämmitin (litraa)	300	500	800
Keräinala (selektiivinen m ²)	4 - 6	6 - 8	9 - 12
Lämmönvaihdin (m ²)	1,8	2,5	3,6
Paisunta-astia (litraa)	18	24	35
Putkiston (alle 20 m) halkaisija (mm)	15	18	22
Putkiston (20 - 50 m) halkaisija (mm)	18	18 - 22	22

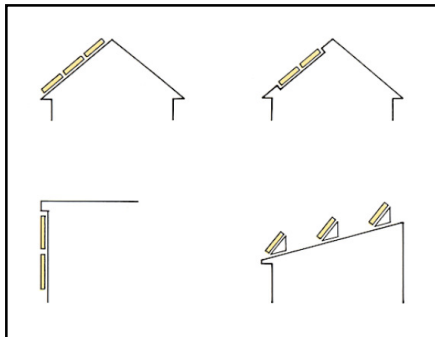
3.3.1 Varaaja

Vedenlämmitin mitoitetaan lämpimän käyttöveden tarpeen perusteella. Tavallisesti mitoituksessa käytetään arvona noin 30–100 l/hlö/vrk ja keskiarvona voidaan pitää 50 l/hlö/vrk. Lämmitysjärjestelmän varaaja mitoitetaan yleensä huippukauden lämmitystehontarpeen mukaan, joten sen vaikutus aurinkolämpöjärjestelmään on pieni. (1, s. 56.)

3.3.2 Keräimet

Keräinten mitoituksessa ja asennuksessa otetaan huomioon kesäajan tilanne ja lämmöntarve. Käytännössä mitoitus perustuu lämpimän käyttöveden tarpeeseen. Jos keräimet mitoitetaan kesäkuukausien lämmöntarpeen mukaan, tuotetaan aurinkoenergialla tällöin noin 40–50 % lämpimästä käyttövedestä vuosittain. Asennuksessa keräimet suunnataan etelään $\pm 15^\circ$. Ympärivuotisessa käytössä

asennuskulmana on 20–60° ja vain kesäkäyttöön suunnitellussa järjestelmässä asennuskulma on 15–45°. Oikea asennuskulma mitataan vaakatasosta. Selektiivisen keräimen vuotuinen energian tuotto Suomessa on noin 150–400 kWh/m². Energian tuottoon vaikuttaa keräimen sijainti, toimintalämpötila ja paikalliset erot, kuten taulukosta 3 voidaan huomata. Lämmönsiirtimen mitoitus tehdään keräinten mitoituksen yhteydessä tuotetun tehon perusteella. Kuvassa 11 on erilaisia tasokeräimien asennusvaihtoehtoja (integraatio, seinäasennus, kattoasennus ja pystyasennus). (1, s. 56; 5, s. 3.)



Kuva 11. Tasokeräimien asennusvaihtoehtoja (5, s. 3).

Taulukko 3. Aurinkoenergian säteilysummat vaakatasolla ja vuoden keskilämpötilat eräillä paikkakunnilla (3, s. 150, muokattu).

	Leveyspiiri	Säteily- summa kWh/m ²	Vuoden keski- lämpötila °C
El Paso, USA	31°48' N	2309	17,6
Jerusalem	31°47' N	2089	16,9
New Delhi	28°35' N	1987	25,3
Lissabon	38°43' N	1689	16,6
Ateena	37°58' N	1541	17,8
Rooma	41°48' N	1435	15,9
New York	40°47' N	1405	12,6
Budapest	47°26' N	1210	11,2
Wien	48°15' N	1070	9,8
Pariisi	48°49' N	1032	10,9
Lontoo	51°31' N	1023	10,6
Moskova	55°45' N	1015	4,4
Tukholma	59°21' N	993	6,6
Kööpenhamina	55°40' N	976	8,5
Hampur	53°38' N	938	8,6
Helsinki	60°12' N	938	5,3
Pietari	59°58' N	908	4,6
Jokioinen	60°49' N	887	3,9
Sodankylä	67°22' N	807	-1,0

3.3.3 Putkisto

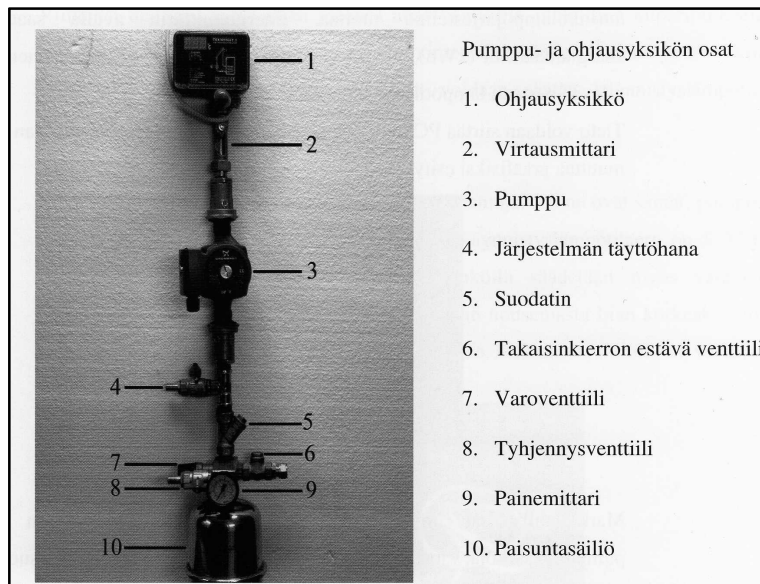
Putkistomitoituksen tavoitteena on saavuttaa mahdollisimman pienet painehäviöt ja saada pumppausenergia kohtuulliseksi. Lisäksi putkiston mitoitukseen vaikuttaa järjestelmän nestemäärä sekä keräimien ja varaajan välinen etäisyys. Virtausnopeuden mitoitukseen vaikuttaa järjestelmän ja pumpun koko. Putkimateriaaleissa tulee huomioida suuret lämpötilaerot ja virheetön eristys. Yleisimmin käytetyt putkikoot ovat 15, 18 ja 22 mm kupariputkea. Muovipäällysteistä kupariputkea tai muoviputkea ei saa käyttää. (1, s. 57; 2, s. 16–17.)

3.3.4 Pumppuyksikkö

Pumpun mitoitus tapahtuu virtaaman perusteella ja pumppu asennetaan lämmönsiirtimen jälkeen eli paluupuolelle (kuva 12). Pumpun sopiva virtaama määritetään suhteessa keräinpinta-alaan (noin 30–60 kg/m²/h). Pumppuina käytetään yleensä kiertovesipumppuja, jotka riittävät useimpiin 3–25 m²:n järjestelmiin. Pumppuyksikön paisunta-astia mitoitetaan erikseen ja yleisimmin käytetään tavallisia kalvopaisunta-astioita. Paisunta-astian tehtävä on ottaa vastaan lämmönsiirtonesteen tilavuuden vaihtelut. Järjestelmän paineet mitoitetaan taulukon 4 mukaan. (1, s. 57; 2, s. 13–15.)

Taulukko 4. Järjestelmän paineet, kun käytetään 3 bar varoventtiiliä (1, s. 57, muokattu).

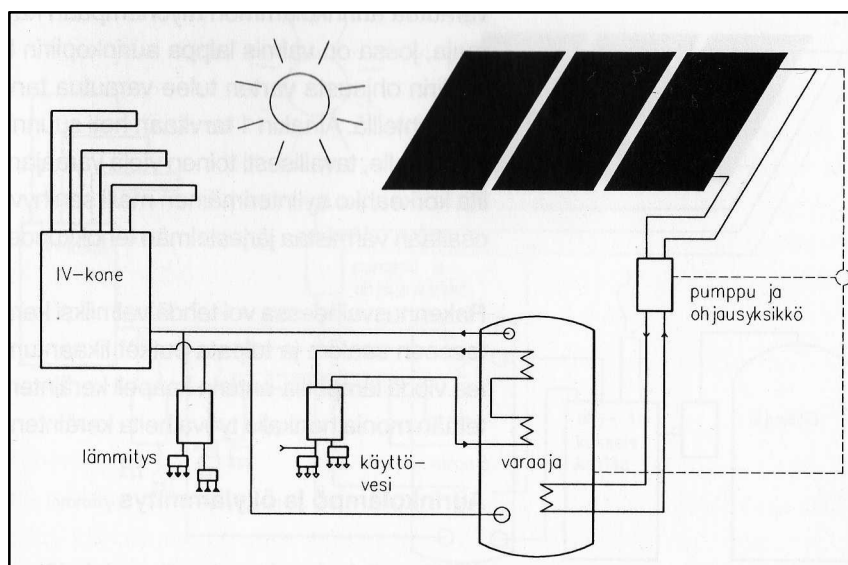
Järjestelmän paineet, kun käytetään 3 barin varoventtiiliä:			
Aurinkolämpöpiirin korkeus (m)	4 - 8	8 - 12	12 - 16
Paisunta-astian esipaine (bar)	1	1,5	2
Järjestelmän täyttöpaine	1,2	1,7	2,2



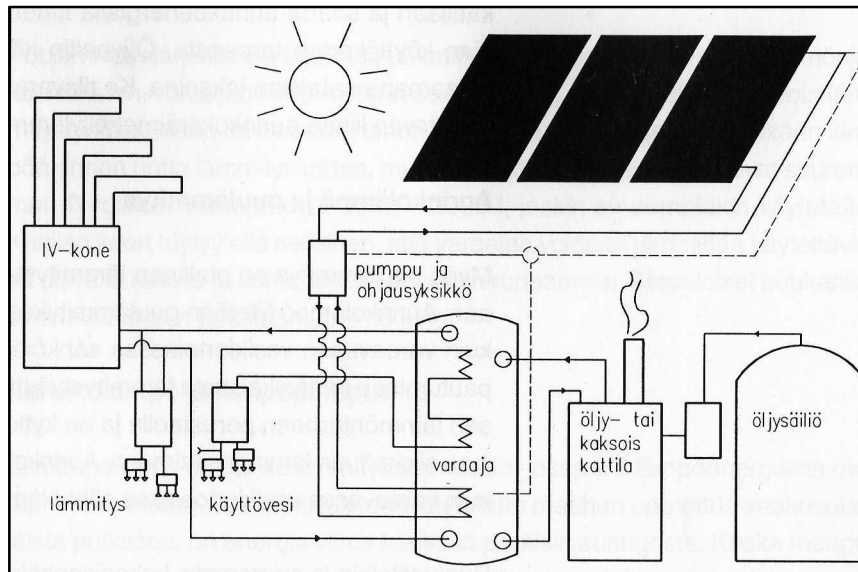
Kuva 12. Ohjausyksiköllä varustetun pumppuyksikön rakenne (2, s. 14, muokattu).

3.4 Aurinkolämpöjärjestelmän kytkentäesimerkkejä

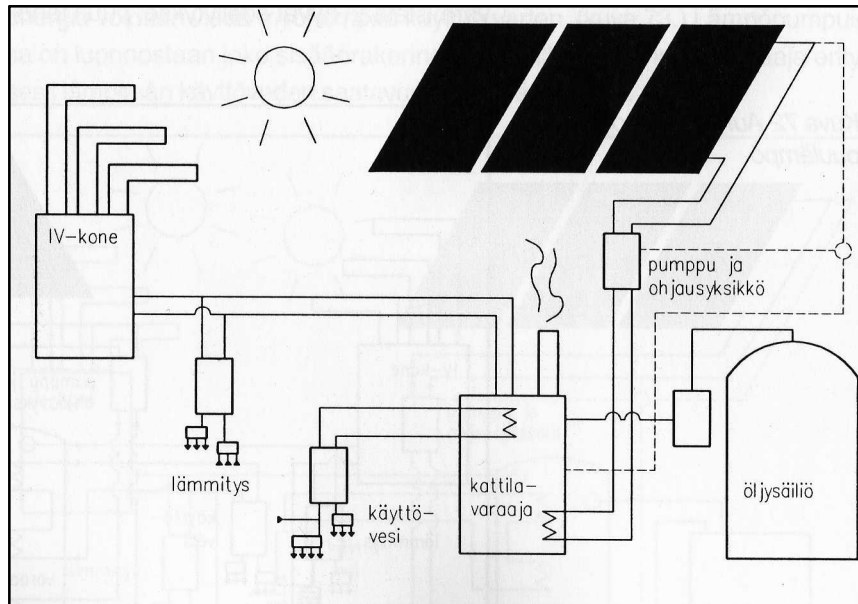
Kuvissa 13, 14, 15 ja 16 on esitelty erilaisia aurinkolämpöjärjestelmän kytkentäesimerkkejä.



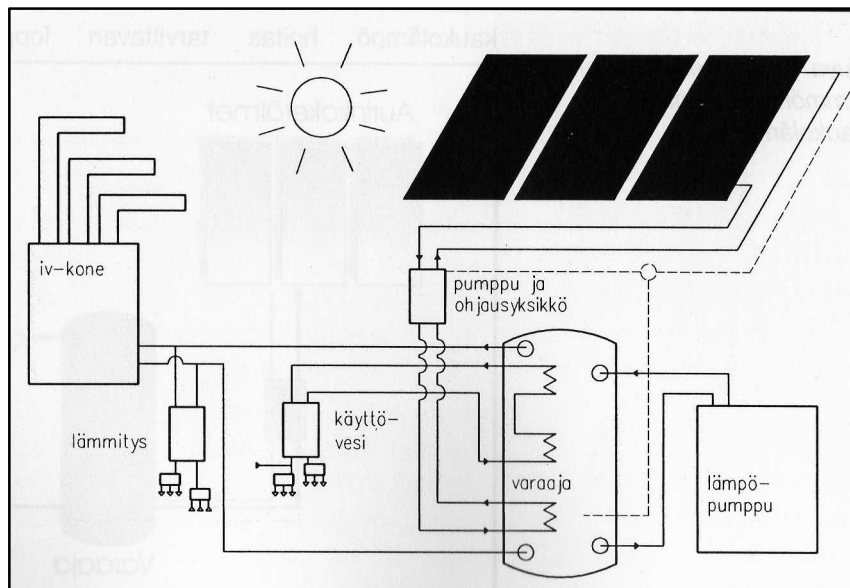
Kuva 13. Aurinkolämmön kytkentä vesikiertoisessa lämmityksessä (4, s. 101).



Kuva 14. Aurinkolämmön kytkentä öljylämmityksen rinnalle erillisellä varaajalla (4, s. 103).



Kuva 15. Aurinkolämmön kytkentä öljylämmityksen rinnalle, jossa kattilavaraaja (4, s. 103).



Kuva 16. Aurinkolämmön kytkentä maalämmön rinnalle (4, s. 105).

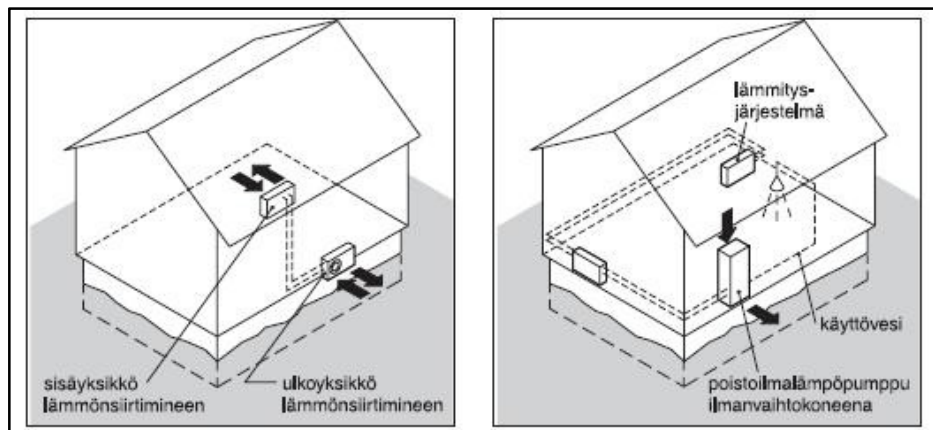
4 Lämpöpumput

4.1 Yleistä lämpöpumpuista

Lämpöpumppujärjestelmiä ja niiden sovelluksia on ollut käytössä jo kauan aikaa, mutta vasta viime aikoina järjestelmien käyttövarmuus on saatu luotettavaksi. Edellinen lämpöpumppubuumi oli 1980-luvun alussa, mutta silloin markkinat pilattiin tuomalla markkinoille heikkolaatuisia lämpöpumppuja, joiden laatu ei vastannut asiakkaiden odotuksia. Viimeisen kymmenen vuoden aikana lämpöpumppujen laatuongelmat on saatu korjattua ja myyntiluvut ovat taas kääntyneet nousuun. Lämpöpumppuratkaisut ovat yleistyneet, ja esimerkiksi vuonna 2008 Helsingin Rakennuskeskuksen päätoimikunta valitsi vuoden rakennustuotteeksi ilma-vesilämpöpumpun. (9, s. 224; 10, s. 3; 11.)

Lämpöpumppujärjestelmiä on tarjolla neljää eri toimintamallilla, toimintaperiaate on kaikissa sama, vain lämmönlähde vaihtuu. Toimintaperiaate on että, lämpöenergiaa siirretään matalasta lämpötilasta korkeampaan tai päinvastoin (jäähdytys). Tarjolla olevat toimintamallit ovat maalämpöpumppu, ilmalämpöpumppu, ilma-vesilämpöpumppu ja poistoilmalämpöpumppu. Lämpöpumppujärjestelmän peruskomponentit ovat höyrystin, kompressori, lauhdutin ja paisuntaventtiili. Kaikissa lämpöpumppujärjestelmissä hyödynnetään neljää fysikaalista luonnonilmiötä: höyrystymistä, lauhtumista, olomuodon muutoksesta johtuvaa lämpöenergian luovuttamista tai sitomista ja lämpöenergian siirtymistä korkeammasta matalampaan lämpötilaan. (8, s. 1–8; 9, s. 224.)

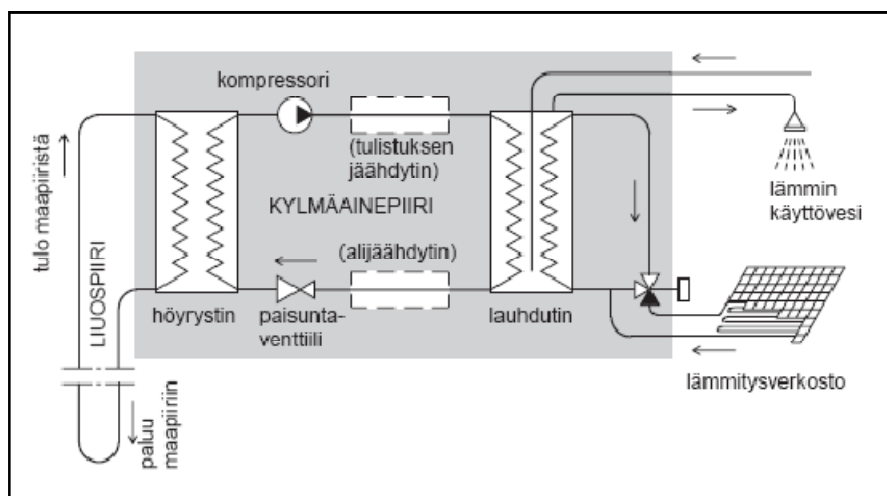
Seuraavaksi perehdytään tarkemmin maalämpöpumpun ja ilma-vesilämpöpumpun toimintaan ja niiden tarjoamiin järjestelmävaihtoehtoihin. Kuvassa 17 on esitelty ilmalämpöpumpun ja poistoilmalämpöpumpun sijoitteluesimerkit.



Kuva 17. Ilmalämpöpumpun ja poistoilmalämpöpumpun sijoitteluesimerkit (8, s. 7).

4.1.1 Maalämpöpumppu

Maalämpöpumppu on toiseksi yleisin lämpöpumppujärjestelmä ilmalämpöpumppujärjestelmän jälkeen. Maalämpöpumpun toiminta perustuu maassa, kallioperässä tai vesistössä olevaan keruuputkistoon, joka toimii maalämpöjärjestelmän lämmönlähteenä. Keruuputkiston (liuospiirin) sisällä kiertävä liuosaine tuo maaperästä lämpöä höyrystimelle, josta kylmäaine kuljettaa lämmön edelleen lauhduttimelle. Lauhduttimesta lämpö siirtyy edelleen lämmityskohteeseen (kuva 18). Kylmäainepiiri pyritään aina saamaan mahdollisimman pieneksi. Näin ehkäistään turhat lämpöhäviöt. (8, s. 2–4; 9, s. 224–225.)



Kuva 18. Maalämpöpumpun toimintaperiaate ja osat (8, s. 2).

Maalämpöpumpun toimintaperiaate (kuva 18):

- 1) Keruuputkistossa lämmennyt neste kiertää höyrystimen kautta, jossa kylmäaine höyrystyy sitoen lämpöä ympäristöstä → paluuputkessa oleva neste jäähtyy.
- 2) Kompressorin imee höyrystimestä tulevan höyryn ja puristaa sen korkeampaan paineeseen → höyry lämpenee. (Tulistuksen jäähdytintä on lämmönsiirrin, jolla voidaan kompressorilta lähtevästä kuumasta kaasusta luovuttaa kuumaa osaa esimerkiksi käyttöveden lämmittämiseen. Tulistuksen jäähdytintä nimitetään usein virheellisesti tulistimeksi (8, s. 2)).
- 3) Lauhduttimessa höyry lauhtuu takaisin nesteeksi → vapautunut lämpö luovutetaan esimerkiksi lauhduttimessa kiertävään veteen.
- 4) Lauhduttimesta kylmäaine johdetaan paisuntaventtiilin kautta takaisin höyrystimeen. (Alijäähdytintä on myös lämmönsiirrin, jolla otetaan nesteeksi tiivistyneestä kylmäaineesta ylimääräistä lämpöä esimerkiksi käyttöveden esilämmitykseen tai imuhöyryn tulistamiseen (8, s. 2)).

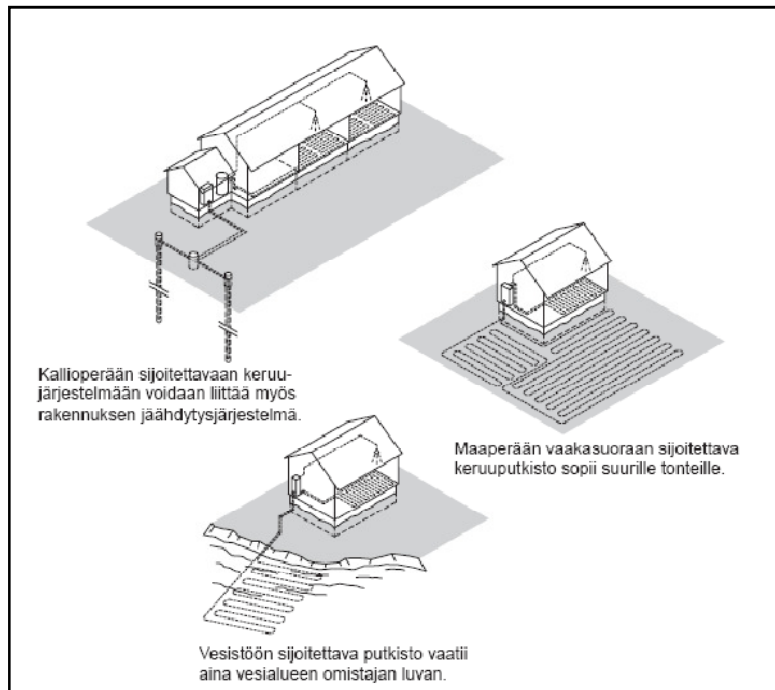
Kuvassa 19 on esitetty maalämpöpumppujärjestelmän lämmönlähdenvaihtoehdot.

Koska maalämpöjärjestelmän kompressorin toimii sähkömoottorilla, niin järjestelmän toiminta vaatii sähköenergiaa. Myös pumput ja lämmitysvastukset, joilla korvataan huippukauden lämmitystehontarve vaativat sähköenergiaa. Maalämpöpumppujen hyötysuhdetta kuvataan lämpökertoimella (COP), joka lasketaan kaavan (1) avulla. Lämpökerroin kertoo kuinka paljon lämpöenergiaa saadaan lämpöpumppuun syötetyllä sähköenergialla. (9, s. 224–225).

$$\text{Lämpökerroin} = \frac{\text{Tuotettu lämpö (kWh)}}{\text{Käytetty sähkö (kWh)}} \quad (1)$$

Maalämpöpumppu toimii sitä paremmalla lämpökertoimella, mitä matalammalla lämpötilatasolla se luovuttaa lämmön. Tämän takia maalämpöjärjestelmää käytetäänkin yleensä pelkästään vesikiertoisen lattialämmityksen tai ilmalämmityksen yhteydessä.

Lämpökertoimien tarkastelussa tulee myös ottaa huomioon, onko kyseessä kompressorin vai koko järjestelmä lämpökerroin. (9, s. 224–225.)



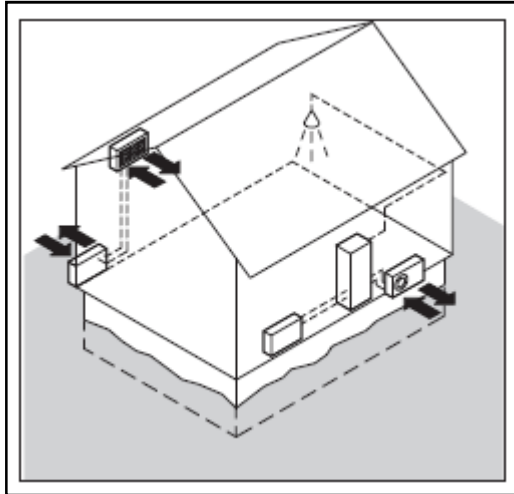
Kuva 19. Maalämpöpumpputjärjestelmän lämmönlähddevaihtoehdot (8, s. 3).

4.1.2 Ilma-vesilämpöpumppu

Ilma-vesilämpöpumput ovat yleistyneet viime vuosina huomasti ja lämpökertoimien parantuessa niistä on tullut kilpailija maalämpöpumppujen rinnalle. Erityisesti uudehkoissa öljylämmityskohteissa ilma-vesilämpöpumpun kytkeminen järjestelmän rinnalle on varteen otettava vaihtoehto. Nykyisten lämpökertoimien avulla ulkoilmasta voidaan hyödyntää lämpöä jopa -20 °C :ssa, ja järjestelmän täydentäminen tulee usein kustannusten kannalta halvemmaksi kuin koko järjestelmän vaihtaminen. (12, s. 1–6.)

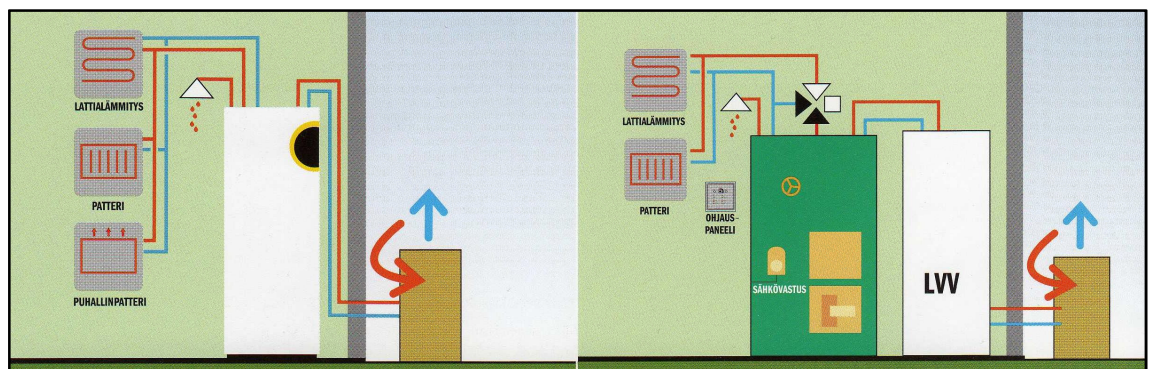
Ilma-vesilämpöpumpun toimintaperiaate on sama kuin maalämpöpumpun, mutta lämmönlähteenä hyödynnetään ulkoilmasta saatua lämpöä. Myös ilma-vesilämpöpumppujärjestelmissä suositaan matalalämpöisiä lämmitysjärjestelmiä. Järjestelmän varaajasta riippuen lämpö luovutetaan joko käyttöveden lämmitykseen

ja/tai lämmitysverkoston veteen. Kuvassa 20 on esitetty ilma-vesilämpöpumpun sijoitusesimerkki. (8, s. 7; 12.)



Kuva 20. Ilmalämpöpumpun ja ilma-vesilämpöpumpun sijoitteluesimerkit (8, s. 7).

Kuvassa 21 on esitelty kaksi erilaista ilma-vesilämpöpumpun kytkentäesimerkkiä. Vasemmanpuoleisessa kuvassa ilma-vesilämpöpumppu on kytketty saman valmistajan omaan varaajaan. Näin saadaan täydellinen järjestelmä, joka tuottaa sekä lämmön että lämpimän käyttöveden rakennukseen. Oikeanpuoleisessa kuvassa ilma-vesilämpöpumppu on kytketty olemassa olevaan kattilaan erillisen varaajan avulla. Näin saadaan muodostettua hybridilämmitysjärjestelmä, jolla saadaan edullinen lämmitys ja lämmin käyttövesi. (12.)



Kuva 21. Ilma-vesilämpöpumpujärjestelmän kytkentäesimerkkejä (12, s. 5).

4.2 Lämpöpumppujärjestelmän osat

Lämpöpumppujärjestelmien osat ovat kaikissa toimintamalleissa täysin samat, muutamaa pientä eroavaisuutta lukuun ottamatta. Seuraavassa käydään läpi lämpöpumppujärjestelmien osat, niiden toiminta ja käyttötarkoitus. Pääpaino on maalämpöpumpussa ja ilma-vesilämpöpumpussa.

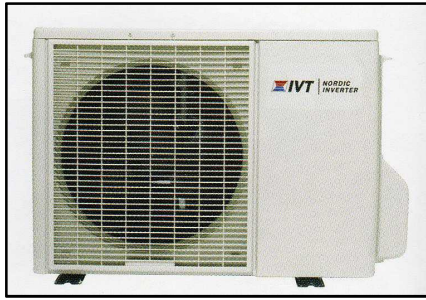
4.2.1 Höyrystin ja lauhdutin

Höyrystimen tehtävä on jokaisessa lämpöpumppujärjestelmässä sama. Se toimii lämmönsiirtimenä, jossa kylmäaine höyrystyy paisuntaventtiilin jälkeen höyryksi. Höyrystyminen on fysikaalinen luonnonilmiö, joka vaatii lämpöenergiaa. Tämän lämpöenergian kylmäaine sitoo itseensä höyrystimen ensiöpuolella kiertävästä yleensä nestemäisestä liuoksesta, mutta suoraehöyrystyksessä (esimerkiksi ilmalämpö-pumppu) lämpöenergia sidotaan suoraan lämmönlähteestä eli ulkoilmasta. (8, s. 2.)

Lauhduttimen tehtävä on päinvastainen höyrystimeen verrattuna. Lauhduttimessa kylmäaine lauhtuu takaisin nesteeksi ja luovuttaa sitomansa lämpöenergian toisiopuolella kiertävään aineeseen, yleensä lämmitysverkoston veteen. (8, s. 2.)

Höyrystiminä ja lauhduttimina käytetään yleensä levylämmönsiirtimiä niiden pienen koon ja hyvän hinta-laatusuhteen ansiosta. Maalämpö- ja ilma-vesilämpöpumppujärjestelmissä höyrystin ja lauhdutin sijaitsevat samassa paketissa muiden laitteiden kanssa, mutta esimerkiksi ilmalämpöpumppujärjestelmissä höyrystin ja lauhdutin ovat omat erilliset yksiköt (kuva 22). (9, s. 226.)

Jos lämpöpumppujärjestelmää käytetään kesäaikana jäähdytykseen, kylmäaineen kiertosuunta muutetaan. Kiertosuunnan muutos aiheuttaa höyrystimen ja lauhduttimen tehtävien kääntymisen päinvastaisiksi, vaikka laitteiden fyysinen sijainti ei muutukaan. Näin voidaan siirtää ylimääräistä lämpöenergiaa rakennuksen sisältä ulkoilmaan tai maalämpöjärjestelmässä maaperään.



Kuva 22. Ilmalämpöpumpputjärjestelmän ulkoyksikkö, jota käytetään talviaikana höyrystimenä ja kesäaikana lauhduttimena (13, s. 25).

4.2.2 Putkisto, lämmönjakopiiri ja kylmäaineet

Lämpöpumpputjärjestelmissä on yleensä kaksi erillistä lämmönsiirtopiiriä, näitä kutsutaan ensiö- ja toisiopuoliksi. Maalämpöpumpuissa keruuputkistoa eli liuospiiriä kutsutaan ensiöpuoleksi. Liuospiirin tarkoitus on kuljettaa maaperästä saatu lämpö höyrystimeen, jossa lämpöenergia luovutetaan toisiopuolen kylmäaineen höyrystyslämmöksi. (8, s. 2; 9, s.226–227.)

Liuospiirin nesteinä käytetään yleensä teollisuusalkoholin ja veden sekoitusta, kun taas toisiopuolen piirissä kiertää varsinainen kylmäaine. Yleisimpiä lämpöpumpuissa käytettyjä kylmäaineita ovat kloorivapaat HFC-yhdisteet, kuten R407C, R404a ja R410. Tämän lisäksi on olemassa myös luonnollisia kylmäaineita, esimerkiksi ammoniakki ja hiilidioksidi, joista varsinkin hiilidioksidin käyttö on yleistynyt laitekehityksen ansiosta. (8, s. 2; 9, s. 226–227.)

Poikkeuksena edellä kerrotusta voi mainita ilmalämpöpumpputjärjestelmän, jossa kiertää ainoastaan kylmäaine, yleensä R404a, ja vain yhdessä piirissä.

Muu putkisto lämpöpumpputjärjestelmissä noudattaa perinteistä lämmitysjärjestelmän putkistoa ja on yleensä valmistettu kupari- tai muoviputkesta.

4.2.3 Varaaja

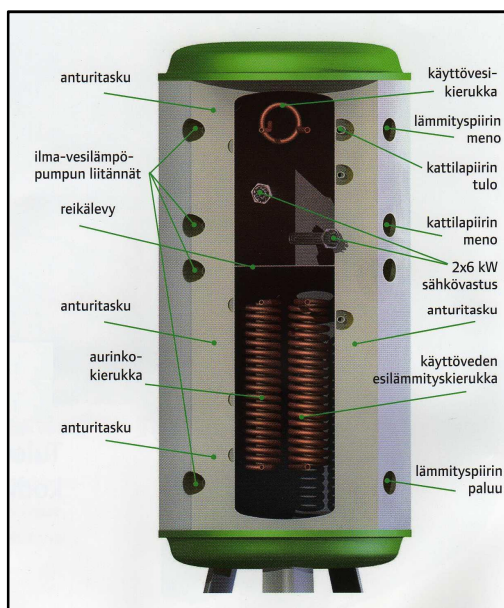
Lämpöpumppujärjestelmissä käytettävät varaajat eivät eroa perinteisistä varaajista, mutta vaihtoehtoina on kolme eri ratkaisua.

Ensimmäisessä tapauksessa varaajaa ei käytetä ollenkaan, eli lämpö siirtyy suoraan haluttuun tilaan. Esimerkkinä ovat ilmalämpöpumput, joissa kylmäaine siirtää lämpöenergian suoraan höyrystimestä lauhduttimeen ja päinvastoin kesäaikana.

Toinen vaihtoehto on, että lämpöpumppujärjestelmä on varustettu omalla kiinteällä varaajalla, joka on samassa paketissa muiden laitteiden kanssa.

Maalämpöpumppujärjestelmät ovat esimerkiksi varustettu omalla varaajalla, jossa kiertää lämmitysjärjestelmän vesi. Jos lämpöenergiaa halutaan hyödyntää myös lämpimän käyttöveden lämmitykseen, tulee lämpöpumppujärjestelmän rinnalle kytkeä vielä erillinen vedenlämmitinvaraaja.

Kolmantena vaihtoehtona ovat niin sanotut hybridivaraajat (kuva 23), joissa yhdistyy mahdollisuus käyttää useata eri lämmitysjärjestelmää. Myös lämpimän käyttöveden valmistus tapahtuu samassa varaajassa.

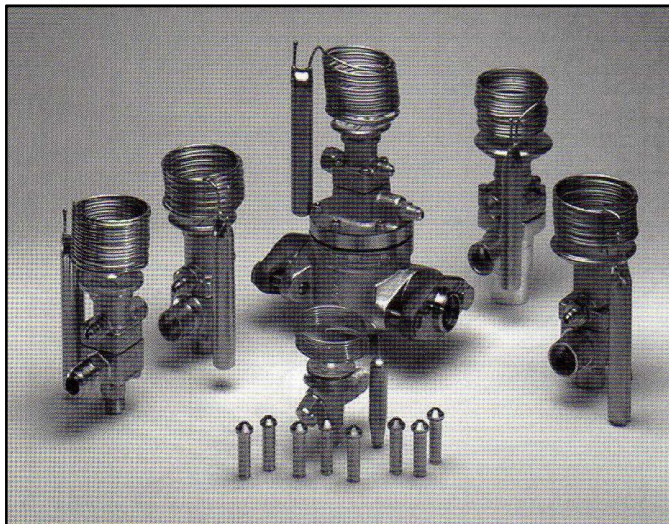


Kuva 23. Esimerkkikuva hybridivaraajasta (14, s. 1).

4.2.4 Paisuntaventtiili

Paisuntaventtiili on lämpöpumppujärjestelmässä sijoitettu kylmäainepiiriin paluupuolelle ja sen tehtävä on laskea lauhduttimelta tulevan nestemäisen kylmäaineen painetta, siten että paine vastaa kompressorin imupuolen painetta. (8, s. 2.)

Lämpöpumppujärjestelmissä perinteinen mekaaninen paisuntaventtiili on säilyttänyt suosionsa edullisen hintansa takia, mutta suuremmissa ja teollisissa järjestelmissä käytetään elektronisia paisuntaventtiilejä. Elektroniset paisuntaventtiilit pystyvät mukautumaan paremmin muuttuviin käyttöolosuhteisiin ja ovat näin toimivampia. Kehittyneempi paisuntaventtiili vaatii myös järjestelmältä enemmän. Esimerkkinä voidaan mainita termostaattiset paisuntaventtiilit (kuva 24), jotka vaativat aina koko järjestelmän testaamisen mahdollisella toiminta-alueella. Näin varmistetaan järjestelmän luotettava toiminta ja saavutetaan mahdollisimman pieni ja vakaa tulistus, jos sellainen on käytössä. (8, s. 2; 9, s. 225–226.)



Kuva 24. Erilaisia termostaattipaisuntaventtiilejä (9, s. 122).

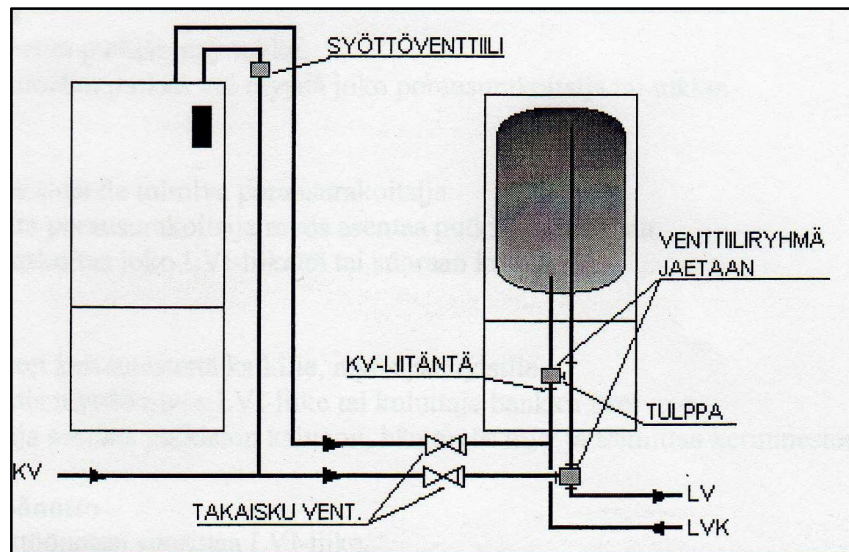
4.2.5 Kompressorit ja pumppuyksiköt

Kompressorin tehtävänä on ylläpitää lämpöpumppujärjestelmän kylmäaineen kiertoa puristamalla kaasumaista kylmäainetta höyrystimeltä eteenpäin. Puristuksessa kylmäaineeseen siirtyy kompressorin työn aiheuttama lämpöenergia, jolloin kaasumainen kylmäaine tulistuu ja lämpenee entisestään. (8, s. 2.)

Lämpöpumppujärjestelmissä käytetyt kompressorit ovat yleensä hermeettisiä eli suljettuja mäntä- ja scroll-kompressoreita, joita voidaan käyttää aina 100 kW:n lämmitystehoon asti. Merkittävä tekijä kompressorien vertailussa on lämpökerroin. Scroll-kompressorien lämpökerroin on teoreettisissa testeissä osoittautunut jopa 10 % paremmaksi, mutta käyttöolosuhteissa lämpökertoimet ovat sen sijaan lähellä toisiaan. Varsinaisina valintakriteereinä oikean kompressorin valinnassa ovat: kestävyys, hinta, tilantarve, äänitaso, eristettävyys ja liitäntöjen sijainti. Scroll-kompressorit ovat kokemusten mukaan herkempiä esimerkiksi märälle imuhöyrylle kuin hermeettiset mäntäkompressorit, mutta lämpökertoimet suosivat scroll-kompressoreja. (9, s. 225.)

Kompressorin lisäksi lämpöpumppujärjestelmissä on lämmityspiirin pumppuyksikkö eli lämmitysveden kiertopumppu. Tämä on yleensä rakennettu valmiiksi lämpöpumpun kotelon sisään, ja se on myös mitoitettu valmiiksi lämpöpumppuvalmistajan toimesta, lämmitystehon perusteella.

Lämpöpumppujärjestelmän korkein lämmitysveden lämpötila on noin 55–65 °C, minkä vuoksi lämpimän käyttöveden kiertopumppua ei yksittäisissä järjestelmissä voida käyttää. Kiertopumpun käyttö aiheuttaisi käyttöveden lämpötilan laskun alle 55 °C:n, mikä ei ole sallittua (18, s. 8). Mutta lämpimän käyttöveden kiertopumpun käyttö on sallittua ja suotavaa järjestelmissä, joiden rinnalle on kytketty erillinen lämpimän käyttöveden lämmitin ja varaaja (kuva 25). (9, s. 225; 15.)



Kuva 25. Maalämpöpumppu kytkettynä lämpimän käyttöveden varaajaan, jossa LKV (15).

4.2.6 Ohjausyksikkö eli säädin

Lämpöpumppujärjestelmien ohjaus on toteutettu yleensä sisäänrakennetulla säätökeskuksella, johon on määritetty valmiiksi oikeat säätökäyrät. Käsisäätömahdollisuudet ovat rajalliset ja lämpötilat määräytyvät asetusarvojen mukaan, mutta esimerkiksi ilmalämpöpumput on varustettu elektronisella termostaatilla, jota voidaan säätää haluttuun lämpötilaan kaukosäätimen avulla.

4.3 Suunnittelu ja mitoitus

Lämpöpumppujärjestelmien tarkka mitoitus tapahtuu tietokoneohjelmien avulla, mutta seuraavassa on esitetty muutama ”nyrkkisääntö”, joiden avulla saadaan arvio lämpöpumppujärjestelmän mitoitustehosta.

Lämpöpumppujärjestelmät mitoitetaan yleensä niin, että lämpöpumpun tehoksi valitaan 50–70 % huipputehon tarpeesta. Lämpöpumppu voidaan mitoittaa myös täysteholle, mutta se on harvinaista. Syy siihen on se, että edellä mainitulla 50–70 %:lla voidaan tuottaa jo 90 % kylmän huippukauden aikana tarvittavasta lämpöenergiasta.

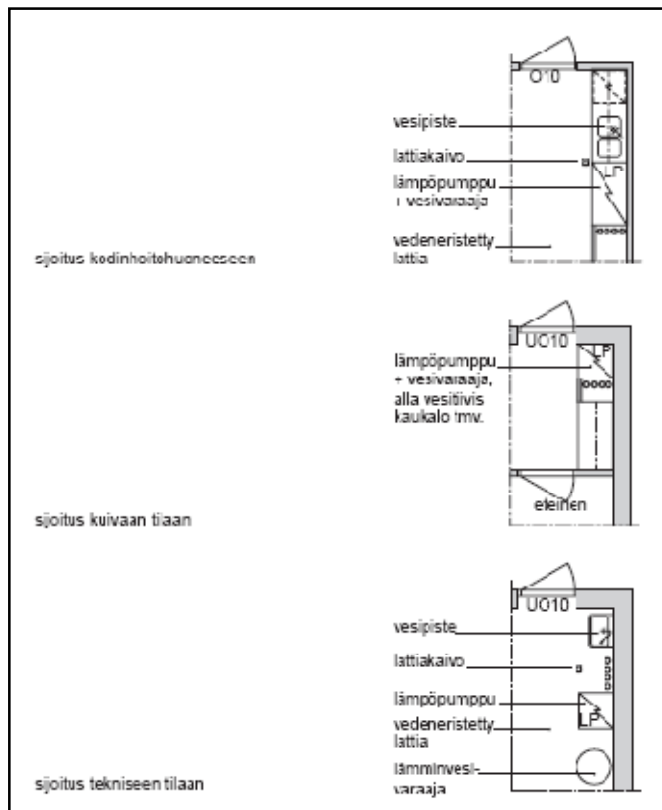
Lämpöpumppujärjestelmien rinnalla on siten aina myös lisälämpö eli tukilämmitys. Lisälämpöä tarvitaan todella kylmän huippukauden aikana sekä mahdollisen laiterikon sattuessa. Lisälämpö tuotetaan usein sähköllä, mutta esimerkiksi ilmalämpöpumppu ratkaisussa varaava tulisija on myös toimiva ja ympäristöystävällinen vaihtoehto. Laittevalmistajilla on olemassa myös omia niin sanottuja pikamitoitustaulukoita, joista voidaan arvioida lämpöpumpun tehontarve verrattuna rakennuksen lämmitettäviin neliömetreihin.

Maalämpöpumpussa maahan asennettava liuospiiri mitoitetaan vuotuisen lämpöenergian mukaan, jos käytetään maaperää tai lämpökaivoa. Vesistöä käytettäessä putkisto mitoitetaan tehon mukaan. Vuotuisena vesistöä saatavana tehona käytetään arvoa 80–90 kWh/putkimetri. Myös maaperästä saatavalle lämpöenergialle on olemassa ohjeellinen taulukko (taulukko 5). (8, s. 4; 9, s. 236.)

Taulukko 5. Maaperästä vuotuisesti saatavan lämpöenergian ohjeellisia arvoja (8, s. 4).

Sijainti	Lämpöenergia kWh/putkimetri	
	Savi	Hiekka
Etelä-Suomi	50...60	30...40
Keski-Suomi	40...45	15...20
Pohjois-Suomi	30...35	0...10

Suunnittelussa huomioitavia asioita ovat erityisesti laitteiden tilavaraukset ja sijoitus. Lämpöpumppujärjestelmät ovat usein kookkaita ja vaativat tilaa myös ympärilleen. Maalämpöpumput ovat suunnilleen samankokoisia kuin öljykattilat, mutta vaativat yleensä vielä lisäksi erillisen lämpimän käyttöveden lämmittimen. Myös ilmalämpöpumppujen sisä- ja ulkoyksiköt vaativat tilaa ja ulkoyksikön sijoittelussa tulee ottaa huomioon myös olosuhteet. Rakennuksen tontti aiheuttaa myös tiettyjä vaatimuksia kokonsa ja maaperän koostumuksen ansiosta maalämpöpumppujärjestelmissä. Kuvassa 26 on esitetty maalämpöpumpun sijoitus esimerkkejä rakennuksen sisällä.



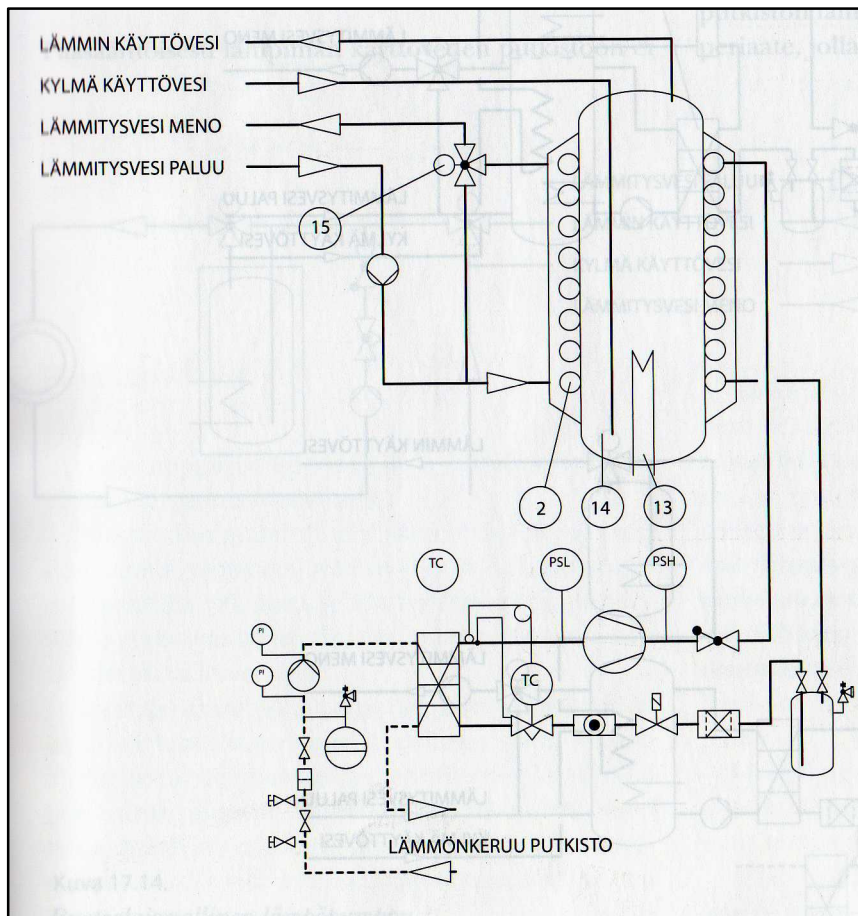
Kuva 26. Esimerkkejä maalämpöpumpputyypin sijoittamisesta rakennuksen sisällä (8, s. 6).

4.4 Maalämpöpumppujen eri tyyppimallit

Seuraavassa kappaleessa on esitelty muutama yleinen lämpöpumpputyyppi ja toimintakaavio.

Varaajamallinen lämpöpumpputyyppi

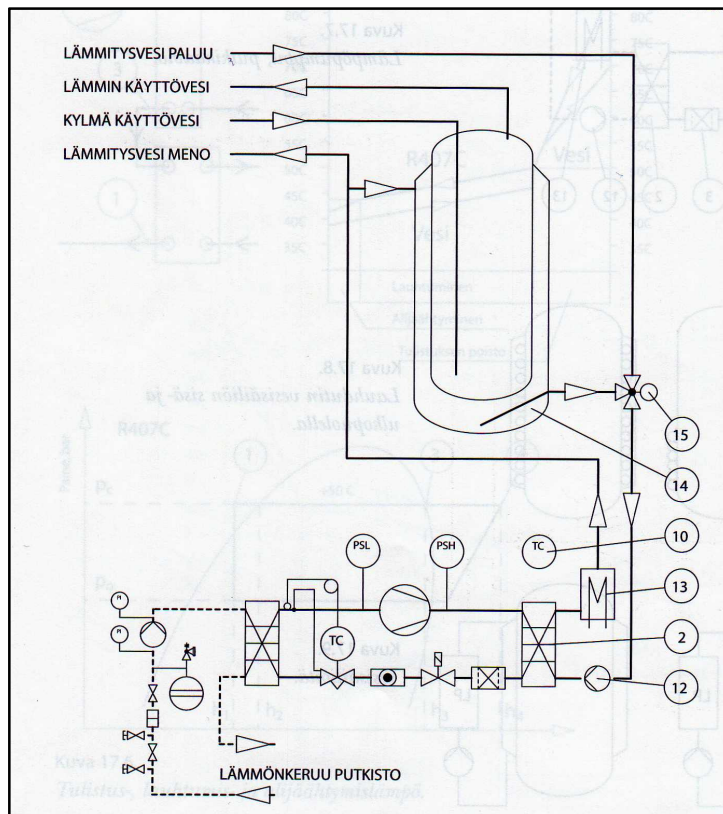
Kuvassa 27 on esimerkkinä Suomessa pitkään käytössä ollut lämpöpumpputyyppi. Tässä tapauksessa lauhdutinputkisto (2) on käyttövesisäiliön (14) ulkopuolella vaipassa ja ratkaisussa hyödynnetään myös tulistuslämpöä, joka lämmittää käyttövesisäiliön yläosassa olevaa vettä. Käyttövesisäiliö on varustettu vielä erillisellä sähkövastuksella (13) laiterikojen varalta. Lämmitysverkoston vesi kiertää vaipassa ja menoveden lämpötila säädetään 3-tiemoottoriventtiilin (15) avulla. (9, s. 231.)



Kuva 27. Lämpöpumppu, jossa käyttövesisäiliön vaipassa on lauhdutin, ns. suomalainen malli (9, s. 231).

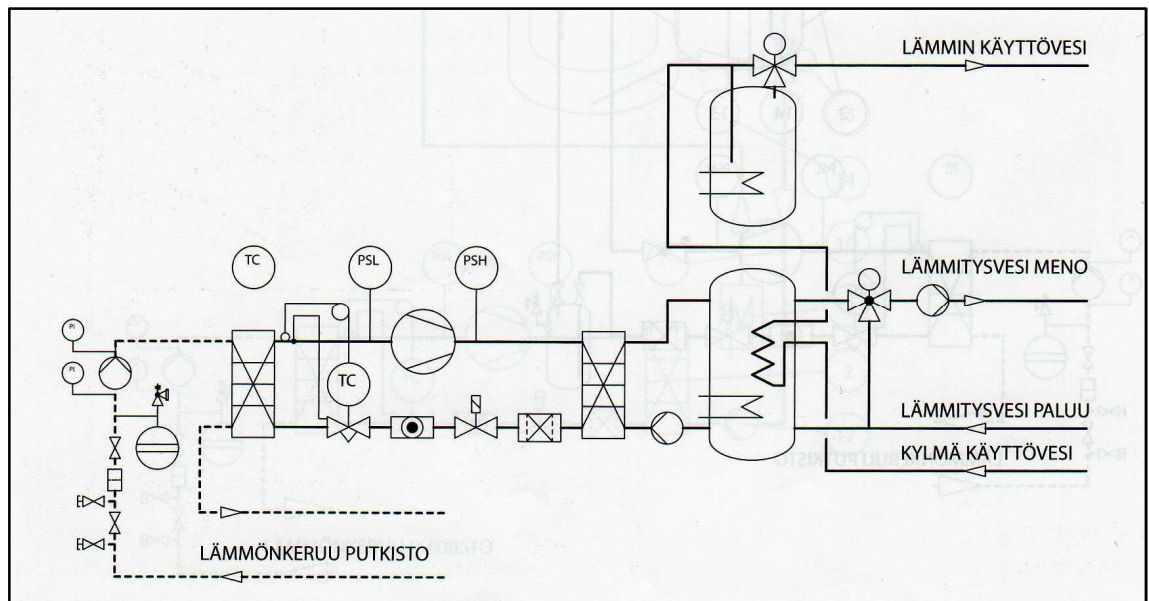
Ruotsalaismallinen lämpöpumpputyypin

Useimmat tällä hetkellä myynnissä olevat lämpöpumput on toteutettu kuvan 28 mukaan. Erona kuvan 27 ratkaisuun on käyttövesisäiliön rakenne. Tässä tapauksessa käytetään vaipallista käyttövesisäiliötä (14). Lämpöpumpun säädin (10) säätelee käyttöveden lämmityksen ja 3-tieventtiili ohjaa lämpöpumpun lämmittämän veden kiertämään käyttövesisäiliön vaipan kautta. Lauhduttimessa (2) kiertää lämmitysvesi ja tarvittaessa sitä lämmitetään lisää sähkövastuksen (13) avulla. Lämmitysveden kiertopumpun (12) ja käyttöveden lämmityksen 3-tieventtiilin (15) sijainnit saattavat vaihdella. (9, s. 230.)

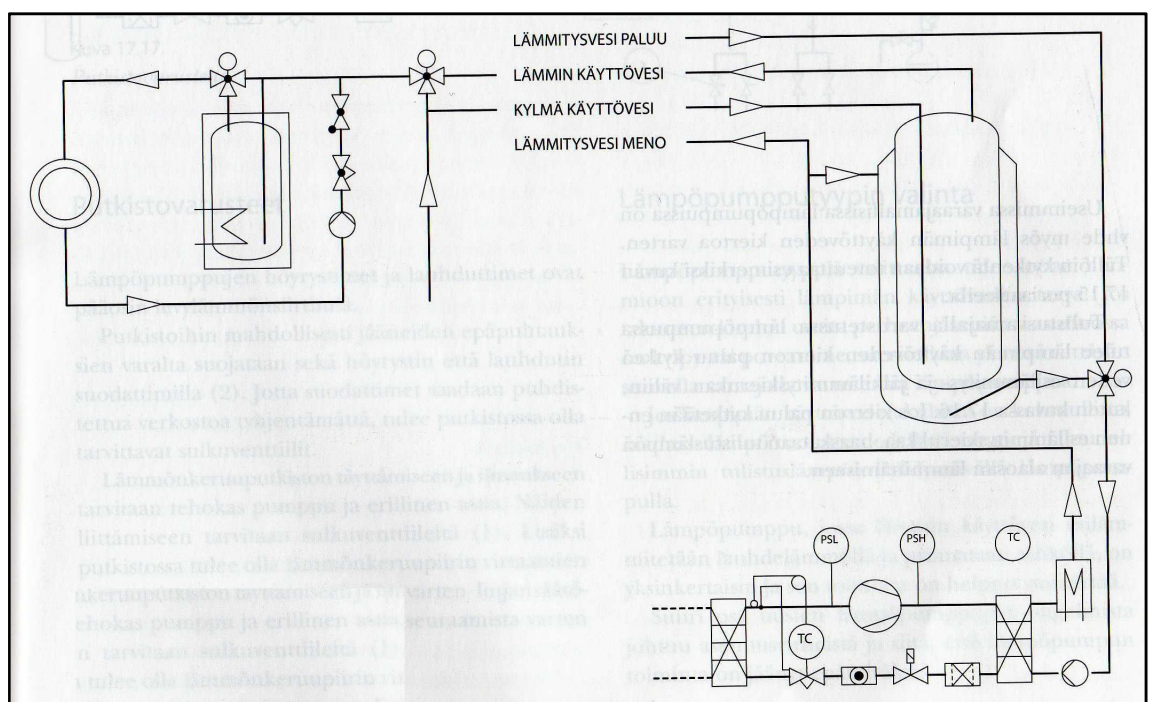


Kuva 28. Lämpöpumppu, jossa on vaipallinen käyttövesisäiliö ja erillinen lauhdutin, ns. ruotsalaismallinen (9, s. 230).

Kuvissa 29 ja 30 on esitetty edellä mainituista kuvista 27 ja 28 sovelluksia. Kuvassa 29 on lämpöpumpputyypin, jossa käyttöveden lisälämmitys on toteutettu erillisen sähkövastuksen avulla. Kuvan 30 tapauksessa lämpöpumppuun (ruotsalaismallinen) on lisätty erillinen lämpimän käyttöveden kierto.



Kuva 29. Lämpöpumppu, jossa käyttöveden lisälämmitys sähköllä (9, s. 232).



Kuva 30. Lämpöpumppu (ruotsalaismallinen), jossa erillinen lämpimän käyttöveden kierto (9, s. 233).

5 Öljylämmitteisen pientalon lämmitystehon arviointi

Tässä osiossa perehdytään lämmitystehon arviointiin ja laskentaan eräässä esimerkkikohteessa. Esimerkkitalona laskuissa toimii Keravalla sijaitseva öljylämmitteinen pientalo. Taulukossa 6 on esitelty esimerkkikohteesta saadut lähtötiedot.

Taulukko 6. Esimerkkikohteen lähtötiedot.

Kohteen lähtötiedot:	
Rakennuksen sijainti:	Kerava, Uusimaa
Rakennustyyppi:	pientalo
Rakennusvuosi:	1974 (saneerattu 2005–2009)
Lämmitettävät neliöt:	118 + 35 m ² (lämmitetty autotalli)
Lämmitettävät kuutiot:	367,2 m ³ (huonekorkeus 2,4 m)
Asukkaiden lukumäärä:	2
Maaperä:	kallio
Talousvesi ja viemärointi:	kunnallistekniikka
Ilmanvaihto:	koneellinen poisto (tulossa koneellinen tulo/poisto LTO:lla)
Lämmitysmuoto:	öljy, vuosikulutus 3 500 l/a
Lämmitystapa:	vesikiertoinen patterilämmitys (60/40 °C)
Sähkönkulutus:	9 640 kWh, yleissähköä
Lämpimänkäyttöveden kierto:	kyllä
Ikkunat:	3-lasiset

Esimerkkikohteeseen rakennetaan saneerauksen yhteydessä lisää lämmintilaa, joka otetaan myös huomioon laskennassa. Uusi lämmintila rakennetaan talon alla sijaitsevan ryömintätilan tilalle. Aikaisempia kulutustietoja ei ole saatavilla, joten laskenta tehdään johtumishäviöiden perusteella. Laskenta on suuntaa antava, koska tarkkoja tietoja, kuten rakennepiirustuksia ja ilmavirtoja, ei ollut saatavilla. Uuden tilan laskenta ja tulokset on esitetty luvussa 5.2 Uuden tilan lämmitystehon arviointi.

5.1 Lämmitystehon arviointi öljynkulutuksen perusteella

Jotta erilaisia lämmitysjärjestelmiä voitaisiin vertailla keskenään, tulee ensiksi selvittää rakennuksen tämänhetkinen lämmitystehontarve ja energiankulutus vuositasolla.

Lämmitysteho voidaan arvioida keskimääräisten tunnuslukujen W/m^2 tai W/m^3 pohjalta, mutta tehontarpeiden vaihtelu yksittäisissä taloissa on suuri.

Lämmitystehontarve ja energiankulutus voitaisiin myös laskea rakennetiedoista ja ilmanvaihtotiedoista lähtien Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaan.

Tämä tapa edellyttäisi rakennepiirustuksia, joista voidaan laskea U-arvot ja myös rakennuksen ilmavirrat täytyisi mitata erikseen.

Seuraavassa kohdassa arvioidaan rakennuksen lämmitystehontarve ja energiankulutus. Apuna käytetään öljynkulutustietoja, taulukon 6 lähtötietoja ja liitteen 1 mittaustuloksia.

5.1.1 Energiankulutus

Tässä kappaleessa lasketaan rakennuksen tämänhetkinen energiankulutus. Laskujen pohjana käytetään kohteesta saatuja lähtötietoja ja mittaustuloksia.

Energiankulutus

Kun tiedetään vuotuinen öljynkulutus, voidaan laskea rakennuksen vuotuinen energiankulutus.

Kevytöljyn ominaisuudet (16, s. 295):

- tiheys 15 °C, kg/m^3 : 855 kg/m^3
- tehollinen lämpöarvo: $-MJ/dm^3 (+15\text{ °C})$: 35,3 MJ/dm^3
- tehollinen lämpöarvo: $-MJ/kg (+25\text{ °C})$: 41,8 MJ/kg

Edellisen perusteella saadaan laskettua energian määrä 1 l:ssa öljyä kaavalla (2).

$$\frac{41,8 \frac{MJ}{kg} * 1000}{3600s} = 11,61 \frac{kWh}{kg} * \left(\frac{855kg}{\frac{m^3}{1000l}} \right) \approx 10 \frac{kWh}{l} \quad (2)$$

Öljyä oli kulunut 3 500 litraa, joten polttoaineen kulutus lämpöenergiana lasketaan kaavalla (3).

$$Q_{öljy} = 3500l * \frac{10kWh}{l} = 35000 kWh \quad (3)$$

Tämän jälkeen selvitetään, paljonko lämpöenergiasta on saatu hyödyksi eli hyötyenergian määrä. Hyötyenergian määrä saadaan selville, kun tiedetään kattilan jatkuvan käynnin hyötysuhde (η_{max}) kaava (4) ja vuosihyötysuhde (η_{vuosi}) kaava (8).

Hyötysuhteiden määrittämiseksi tehtiin kohteessa mittaukset savukaasuanalysointorilla, minkä avulla voidaan määrittää kattilan savukaasuhäviöt. Lisäksi mitattiin kattilan säteilyhäviöt infrapunälämpömittarin avulla ja arvioitiin muut mahdolliset häviöt. Tarkat mittaustulokset ovat mittauspöytäkirjassa (liite 1).

$$\eta_{max} = 100\% - \text{savukaasuhäviöt}\% - \text{säteily- ja konvektiohäviöt}\% \quad (4)$$

Savukaasuhäviöt määritettiin ilmakertoimen avulla, joka lasketaan kaavalla (5) (19, s. 3).

$$\lambda = \frac{21}{21 - O_{2,mitattu}} = 2,65 \quad (5)$$

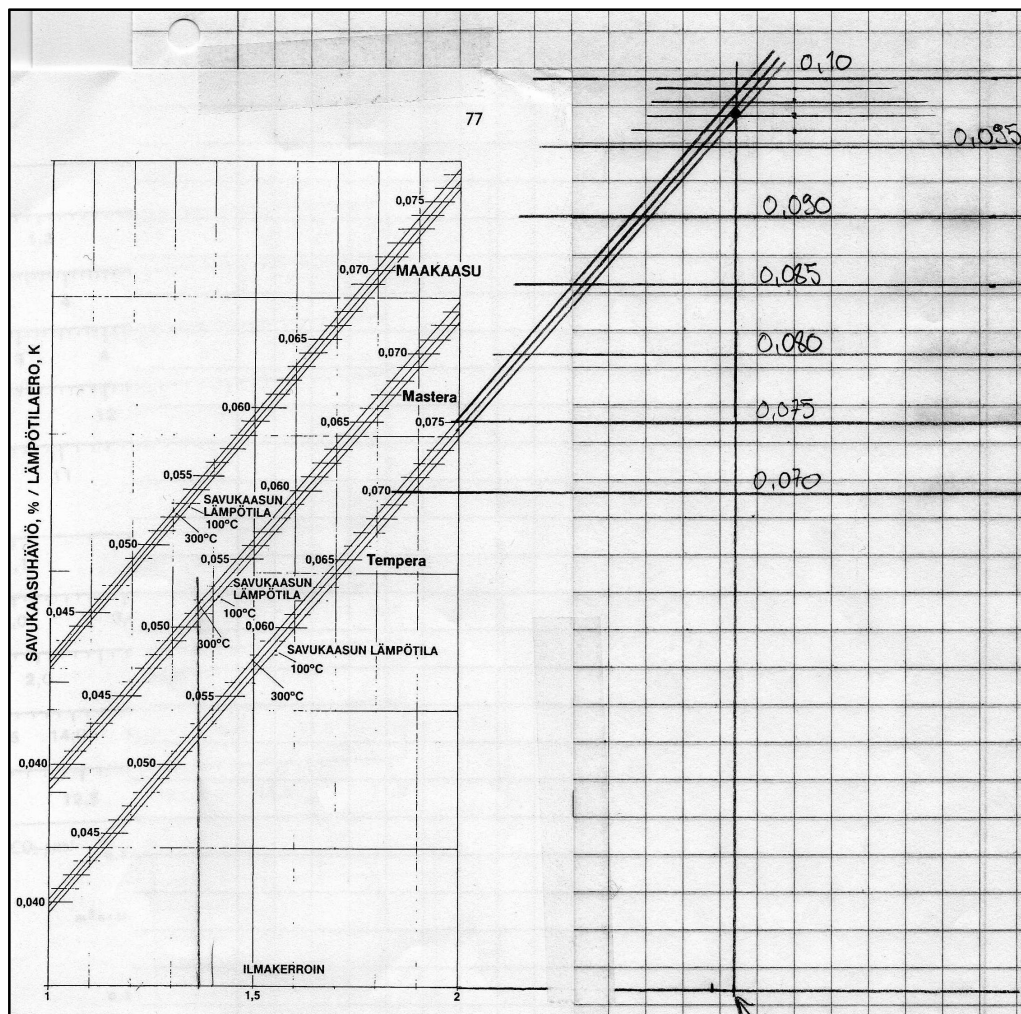
O_2 on happipitoisuus, %

Ilmakertoimen avulla määritetään savukaasuhäviöt kuvaajasta (kuva 31) kaavalla (6).

$$I_{sk} = \frac{I_{sh}}{\Delta T} * \Delta T = 0,097\%/K * (140,5 - 27,5)K = 10,961\% \quad (6)$$

$I_{sk}/\Delta T$ on savukaasuhäviö, % / lämpötilaero, K

ΔT on savukaasujen loppulämpötilan ja peruslämpötilan lämpötilaero, K



Kuva 31. Savukaasuhäviö $I_{sk}/\Delta T$ ilmakertoimesta ja savukaasujen lämpötilasta riippuen (16, s. 302, muokattu).

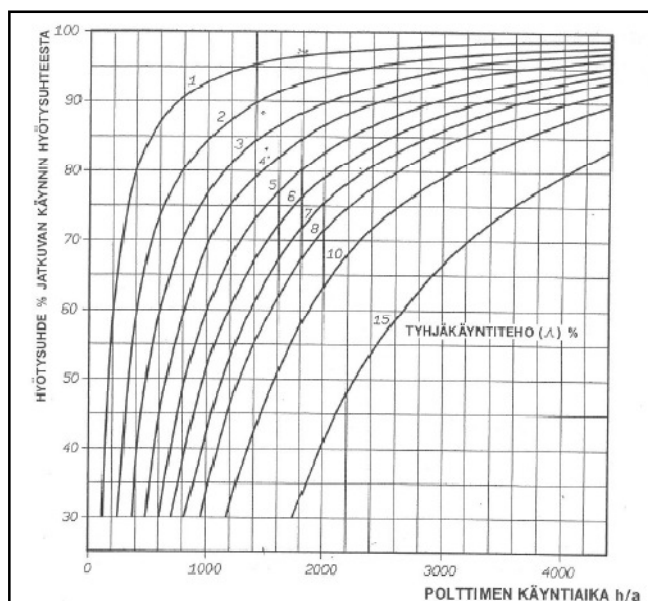
Säteily- ja konvektiohäviöt saadaan kattilan pinta-alojen ja pintalämpötilojen perusteella kaavan (7) avulla. Laskuissa käytetyt arvot selviävät liitteestä 2.

$$\phi_{\text{säteily- ja konvektio}} = \alpha * A * (T_p - T_{kh}) \quad (7)$$

$\phi_{\text{säteily- ja konvektio}}$	on säteily- ja konvektiohäviöiden teho
α	on ulkopinnan lämmönsiirtymiskerroin, 10 W/m ² K
A	on pinta-ala, m ²
T_p	on pintalämpötila, °C
T_{kh}	on kattilahuoneen lämpötila, °C

Säteily- ja konvektiohäviöiden lisäksi tulee huomioida myös kattilahuoneessa olevien putkien lämpöhäviöt. Vuosihyötysuhteeseen vaikuttavat kattilan tyhjäkäyntihäviöt. Ne muodostuvat häviöistä, jotka aiheutuvat tyhjäkäynnin aikana, kuten tuuletushäviöt, läpivirtaushäviöt, säteily- ja konvektiohäviöt sekä putkistohäviöt.

Kuvaajalla (kuva 32) saadaan vuosihyötysuhde (η_{vuosi}) käyntiajan ja tyhjäkäyntihäviöiden avulla.



Kuva 32. Suhde $\eta_{\text{vuosi}}/\eta_{\text{max}}$ polttimen käyntiajasta ja tyhjäkäyntitehosta riippuen (20, s. 76).

Vuosihyötysuhde (η_{vuosi}) voidaan myös laskea kaavan (8) avulla (20, s. 76).

$$\eta_{vuosi} = \eta_{max} * \frac{1 - \left(\frac{\Lambda}{t_*}\right)}{1 - \Lambda} \quad (8)$$

η_{vuosi}	on kattilan vuosihyötysuhde
η_{max}	on kattilan jatkuvan käynnin hyötysuhde
t_*	on polttimen käyntiaika/8760h
Λ	on tyhjäkäyntiteho polttotehosta, %/100

Polttimen käyntiaika riippuu öljyn paineesta ja suuttimen koosta. Nämä on arvioitu sellaisiksi, että kattilan polttoainevirta on 1,87 l/h ja vastaava polttoainetehto on 21,87 kW. Tämän jälkeen käyntiaika voidaan laskea kaavan (9) avulla.

$$t = \frac{Q_{öljy}}{\phi_{öljy}} \quad (9)$$

t	on polttimen vuotuinen käyntiaika, h
$Q_{öljy}$	on vuotuinen öljyn lämpöenergia, kWh
$\phi_{öljy}$	on öljyn polttoainetehto, kW

Kun vuosihyötysuhde on saatu selville, voidaan hyödyksi saatu lämpöenergia ($Q_{hyötylämpö}$) laskea kaavan (10) avulla.

$$Q_{hyötylämpö} = Q_{öljy} * \eta_{vuosi} \quad (10)$$

$Q_{hyötylämpö}$	on vuotuinen öljystä hyödyksi saatu lämpöenergia, kWh
$Q_{öljy}$	on vuotuinen öljyn lämpöenergia, kWh
η_{vuosi}	on kattilan vuosihyötysuhde, kWh

Tämän jälkeen voidaan selvittää rakennuksen tarvitsema lämpöenergia (Q_{rak}). Se saadaan laskettua, kun hyötylämmöstä ($Q_{hyötylämpö}$) vähennetään käyttöveden

lämmityksen tarvitsema lämpöenergia ($Q_{lkv, netto}$). Laskenta tapahtuu kaavojen (11), (12) ja (13) avulla (17, s. 26).

$$Q_{lkv, netto} = \rho_v * c_{pv} * V_{lkv} * \frac{T_{lkv} - T_{kv}}{3\,600} \quad (11)$$

$Q_{lkv, netto}$	on käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia eli nettoenergiatarve, kWh
ρ_v	on veden tiheys, 1 000 kg/m ³
c_{pv}	on veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/kgK
V_{lkv}	on lämpimän käyttöveden kulutus, m ³
T_{lkv}	on lämpimän käyttöveden lämpötila, 55 °C
T_{kv}	on kylmän käyttöveden lämpötila, 5 °C
3 600	on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi, s/h

Lämpimän käyttöveden vuosikulutus voidaan arvioida kahdella tavalla joko kaavan (12) tai (13) avulla (17, s. 26–27).

$$V_{lkv} = V_{lkv, omin, henk} * n * \frac{\Delta t}{1\,000} \quad (12)$$

tai

$$V_{lkv} = V_{lkv, omin} * A_{br} * \frac{\frac{\Delta t}{365}}{1\,000} \quad (13)$$

V_{lkv}	on lämpimän käyttöveden kulutus, m ³
$V_{lkv, omin, henk}$	on lämpimän käyttöveden ominaiskulutus, 55 dm ³ henkilöä kohti vuorokaudessa
n	on henkilöiden lukumäärä, 2
Δt	on ajanjakson pituus, vuorokautta
1 000	on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kuutiometreiksi, dm ³ /m ³
365	on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos vuosikulutuksesta vuorokausikulutukseksi, vuorokautta/vuosi

$V_{lkv, omin}$ on lämpimän käyttöveden ominaiskulutus, $600 \text{ m}^3/\text{brm}^2$ vuodessa
 A_{br} on rakennuksen bruttoala, 250 brm^2

Kolmas tapa olisi arvioida lämpimän käyttöveden osuus kokonaisvedenkulutuksesta. Tätä tietoa ei laskennassa ollut käytettävissä.

Rakennuksen tarvitsema lämpöenergia (Q_{rak}) saadaan laskettua kaavan (14) avulla.

$$Q_{rak} = Q_{hyötylämpö} - Q_{lkv, netto} \quad (14)$$

Q_{rak} on rakennuksen vuotuinen lämpöenergian tarve, kWh
 $Q_{hyötylämpö}$ on vuotuinen öljystä hyödyksi saatu lämpöenergia, kWh
 $Q_{lkv, netto}$ on käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia eli nettoenergian tarve, kWh

5.1.2 Lämmitystehon tarve

Tässä kappaleessa lasketaan rakennuksen tämänhetkinen lämmitystehon tarve. Laskujen pohjana käytetään kohteesta saatuja lähtötietoja ja mittaustuloksia.

Lämmitystehon tarve

Rakennuksen vuotuinen lämmitystehon tarve voidaan laskea kaavalla (15), kun ensin on selvitetty rakennuksen lämpöenergian tarve kaavan (14) avulla.

$$\phi_{rak} = H * \Delta T_{mit} \quad (15)$$

ϕ_{rak} on rakennuksen lämmitystehon tarve
 H on ominaistehontarve, $\text{kW}/^\circ\text{C}$
 ΔT_{mit} on mitoituslämpötila ($T_{sisä} - T_{ulko}$), $46 \text{ }^\circ\text{C}$

Ominaistehontarve (H) voidaan laskea kaavan (16) avulla.

$$H = \frac{Q_{rak}}{S_{17,2008} * 24} \quad (16)$$

H	on ominaistehontarve, kW/°C
Q_{rak}	on rakennuksen lämmitystehon tarve, kWh
$S_{17,2008}$	on vuoden 2008 lämmitystarveluku (astepäiväluku), °Cvrk
24h	on laatumuunnoskerroin, jolla lämmitystarveluku muutetaan yksikköön °Ch, 24h/vrk

Lämmitystehon tarpeen lisäksi ominaistehontarpeen avulla saadaan selville myös normivuoden lämmitysenergian tarve kaavalla (17).

$$Q_{rak,norm\ 2008} = G * S_{17,normaali} \quad (17)$$

$Q_{rak,norm\ 2008}$	on normaalivuoden lämmitysenergian tarve, kWh
H	on ominaistehontarve, kW/°C
$S_{17,normaali}$	on normaali vuoden lämmitystarveluku, 4 411 °Cvrk

Laskelmissa on käytetty sisälämpötilan +17 °C mukaan määritettyä lämmitystarvelukua. Tällöin oletetaan ilmaislämpöjen nostavan huonelämpötilan +17 °C:sta vallitsevaan sisälämpötilaan.

5.1.3 Tulokset

Tässä kappaleessa on esitetty edellisen laskujen tulokset. Laskut on laskettu Excel-ohjelmalla.

Vuotuinen polttoaineen kulutus lämpöenergiana:

$$Q_{\text{öljy}} = 35\,000 \text{ kWh}$$

$$\text{Savukaasuhäviöt:} = 10,96 \%$$

Säteily- ja konvektiohäviöt:

$$\phi_{\text{säteily- ja konvektiohäviöt}} = 794,5 \text{ W} = 3,63 \% \text{ (putkistojen lämpöhäviöiksi oletettiin 200 W)}$$

$$\text{Tuuletushäviöt:} = 0,2 \%, \text{ oletus, (20, s. 79)}$$

$$\text{Läpivirtaushäviöt:} = 0,3 \%, \text{ oletus, (20, s.79)}$$

$$\text{Tyhjäkäyntihäviöt:} = 4,5 \% \text{ (käyntiaika 1600 h)}$$

Jatkuvan käynnin hyötysuhde:

$$\eta_{\text{max}} = 84,90 \%$$

Vuosihyötysuhde:

$$\eta_{\text{vuosi}} = 67,00 \%$$

Hyötylämmöksi saatu lämpöenergia:

$$Q_{\text{hyötylämpö}} = 23\,452,3 \text{ kWh}$$

Lämpimän käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia:

$$Q_{\text{lkv, netto, henkilö}} = 2\,342,1 \text{ kWh}$$

$$Q_{\text{lkv, netto, pinta-ala}} = 5\,355 \text{ kWh}$$

$$Q_{\text{lkv, netto}} = 3\,848,5 \text{ kWh (keskiarvo henkilö+pinta-ala)}$$

Rakennuksen lämmitykseen tarvittu lämpöenergia:

$$Q_{\text{rak}} = 19\,604 \text{ kWh}$$

Rakennuksen lämmityksen tehontarve:

$$\dot{Q}_{\text{rak}} = 11,00 \text{ kW}$$

Ominaistehontarve:

$$H = 0,2392 \text{ kW/}^\circ\text{C}$$

Rakennuksen tarvitsema lämpöenergia normivuotena:

$$Q_{\text{rak, normivuosi}} = 29\,172 \text{ kWh}$$

5.2 Uuden tilan lämmitystehon arviointi

Uuden tilan lämmitystehon laskenta perustuu johtumishäviöihin ja vuotoilmahäviöihin. Rakennusosien lämmönläpäisykertoimina on käytetty taulukon 7 ohjearvoja. Sisätilojen mitoitustilana on käytetty +20 °C.

Laskenta on suoritettu Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 ohjeiden mukaan kuukausitasolla. Taulukossa 8 on esitetty laskennassa käytetyt lähtötiedot.

Taulukko 7. Vaatimukset rakennusosakohtaisille lämmönläpäisykertoimille ja rakennuksen ikkunapinta-alalle (23, s. 5).

seinä	0,25	W/m ² K
yläpohja, ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,16	W/m ² K
ryömintätilaan rajoittuva alapohja	0,20	W/m ² K
maata vastaan oleva rakennusosa	0,25	W/m ² K
ikkuna, ovi	1,40	W/m ² K
kattoikkuna	1,50	W/m ² K

Taulukko 8. Uuden tilan lähtötiedot.

Lämmitettävät neliöt:	102 m ²
Lämmitettävät kuutiot:	244,8 m ³ (huonekorkeus 2,4 m)
Maaperä:	kallio
Ilmanvaihto:	koneellinen poisto (tulossa koneellinen tulo/poisto LTO:lla)
Lämmitystapa:	vesikiertoinen lattialämmitys
Rakennusosat	
Ulkoseinä	
US	100,8 m ²
Yläpohja	
Lämmin	102 m ²
Alapohja	
Maanvarainen	102 m ²

5.2.1 Rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia

Rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia (Q_{joht}) saadaan määritettyä kaavan (18) avulla (17, s. 18).

$$Q_{\text{joht}} = \frac{\Sigma H_{\text{joht}} * (T_s - T_u) * \Delta t}{1\ 000} \quad (18)$$

Rakennusosien yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö (ΣH_{joht}) lasketaan rakennusosakohtaisesti kaavalla (19) (17, s. 18).

$$\begin{aligned} \Sigma H_{\text{joht}} = & \\ & \Sigma(U_{\text{ulkoseinä}} A_{\text{ulkoseinä}}) + \Sigma(U_{\text{yläpohja}} A_{\text{yläpohja}}) + \\ & \Sigma(U_{\text{alapohja}} A_{\text{alapohja}}) + \Sigma(U_{\text{ikkuna}} A_{\text{ikkuna}}) + \Sigma(U_{\text{ovi}} A_{\text{ovi}}) \end{aligned} \quad (19)$$

Q_{joht} on rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia, kWh

ΣH_{joht} on rakennusosien yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö, W/K

U on rakennusosien lämmönläpäisykerroin, W/(m²K)

A on rakennusosan pinta-ala, m²

T_s on sisäilman lämpötila, °C

T_u	on ulkoilman lämpötila, °C
Δt	on ajanjakson pituus, h
1 000	on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Maanvastaisten seinien kautta johtuva energia lasketaan kaavan (18) mukaan ulkoilman lämpötilaan maan lämmönvastus huomioon ottaen. Maanvastaisten alapohjien kautta johtuva energia lasketaan kaavan (20) mukaan käyttämällä laskuissa alapohjan alapuolisen maan lämpötilaa. (17, s. 19.)

Maanvastaisten seinien kautta johtuvan energian laskennassa maan lämmönvastus huomioitiin niin, että ulkoilman mitoitustilaksi valittiin alapohjan alapuolisen maan lämpötila.

Yläpohjan kautta tapahtuvia johtumishäviöitä ei laskennassa otettu huomioon, koska yläpohja rajoittuu yläpuolella sijaitsevaan lämmintilaan.

$$T_{maa, vuosi} = T_{u, vuosi} + \Delta T_{maa, vuosi} \quad (20)$$

$T_{maa, vuosi}$	on alapohjan alapuolisen maan vuotuinen keskilämpötila, °C
$T_{u, vuosi}$	on ulkoilman vuotuinen keskilämpötila, °C
$\Delta T_{maa, vuosi}$	on alapohjan alapuolisen maan ja ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan (taulukko 9) ero, °C

Taulukko 9. Maan ja ulkoilman vuotuinen keskilämpötilaero maalajista ja alapohjan U-arvosta riippuen (17, s. 19, muokattu).

<i>Alapohjan alapuolisen maan ja ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan ero.</i>			
<i>Maalaji</i>	<i>Alapohjan U-arvo, W/m²K</i>		
	<i><0,2</i>	<i>0,2 – 0,3</i>	<i>>0,3</i>
	<i>$\Delta T_{maa, vuosi}$, °C</i>		
Savi, salaojitettu hiekka ja sora	5	7	8
Hiesu, moreeni, hieta, salaojittamaton hiekka ja sora	3	5	6
Kallio	2	3	4

Maan kuukausittainen keskilämpötila ($T_{\text{maa,kuukausi}}$) lasketaan kaavalla (21) (17, s. 19).

$$T_{\text{maa,kuukausi}} = T_{\text{maa,vuosi}} + \Delta T_{\text{maa,kuukausi}} \quad (21)$$

$T_{\text{maa, kuukausi}}$ on alapohjan alapuolisen maan kuukausittainen keskilämpötila, °C

$T_{\text{maa, vuosi}}$ on maan vuotuinen keskilämpötila, °C

$\Delta T_{\text{maa, kuukausi}}$ on alapohjan alapuolisen maan kuukausittaisen keskilämpötilan ja vuotuisen keskilämpötilan ero (taulukko 10), °C

Taulukko 10. Maan ja ulkoilman kuukausittainen keskilämpötilaero kaikille säävyöhykkeille ja maalajeille (17, s. 20, muokattu).

<i>Alapohjan alapuolisen maan kuukauden keskilämpötilan ja vuotuisen keskilämpötilan ero.</i>	
Kuukausi	$\Delta T_{\text{maa, kuukausi}}$ °C
Tammikuu	0
Helmikuu	-1
Maaliskuu	-2
Huhtikuu	-3
Toukokuu	-3
Kesäkuu	-2
Heinäkuu	0
Elokuu	1
Syyskuu	2
Lokakuu	3
Marraskuu	3
Joulukuu	2

5.2.2 Vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia

Rakenteiden läpi johtuvan lämpöenergian lisäksi määritetään vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia ($Q_{\text{vuotoilma}}$) kaavan (22) avulla. (17, s. 20–21).

$$Q_{\text{vuotoilma}} = H_{\text{vuotoilma}} * (T_s - T_u) * \Delta t / 1\,000 \quad (22)$$

Vuotoilman ominaislämpöhäviö ($H_{vuotoilma}$) lasketaan kaavalla (23).

$$H_{vuotoilma} = \rho_i * c_{pi} * q_{v,vuotoilma} \quad (23)$$

$Q_{vuotoilma}$	on vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia, kWh
$H_{vuotoilma}$	on vuotoilman ominaislämpöhäviö, W/K
ρ_i	on ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
$q_{v,vuotoilma}$	on vuotoilmavirta, m ³ /s
T_s	on sisäilman lämpötila, °C
T_u	on ulkoilman lämpötila, °C
Δt	on ajanjakson pituus, h
1 000	on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Vuotoilmavirta ($q_{v,vuotoilma}$) lasketaan kaavalla (24).

$$q_{v,vuotoilma} = n_{vuotoilma} * V / 3\,600 \quad (24)$$

q_v	on vuotoilmavirta, m ³ /s
$n_{vuotoilma}$	on rakennuksen vuotoilmakerroin, kertaa tunnissa, 1/h
V	on rakennuksen tilavuus, m ³
3 600	on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos m ³ /h → m ³ /s

Rakennuksen vuotoilmakertoimen voidaan käyttää lämmitysenergian tarpeen laskennassa arvoa 0,16 l/h, ellei ilmanpitävyyttä tunneta (17, s. 21).

5.2.3 Lämmitystehon tarve

Uuden tilan lämmitystehon tarve lasketaan myös kaavojen (15) ja (16) avulla. Rakennuksen lämmitysenergian tarpeena (Q_{uusitila}) käytetään johtumishäviöiden ja vuotoilman lämmityksen tarvitseman energioiden summaa.

Ulkoilman mitoituslämpötilaksi valittiin -9 °C erään laskentaesimerkin mukaan (16, s. 96).

5.2.4 Tulokset

Tässä kappaleessa on esitetty edellisen laskujen tulokset. Laskut on laskettu Excel-ohjelmalla. Laskut laskettiin kuukausitasolle, jotka summattiin yhteen ja näin tulokset saatiin vuositasolle. Ulkolämpötilana (T_u) laskuissa käytettiin maaperän kuukausittaisia lämpötiloja.

Uuden tilan lämmitykseen tarvittava lämpöenergia (johtumishäviöt + vuotoilma):

$$Q_{\text{uusitila}} = 7\,472 \text{ kWh}$$

Uuden tilan lämmityksen tehontarve (mitoituslämpötila -9 °C):

$$\dot{Q}_{\text{uusitila}} = 2,64 \text{ kW}$$

Uuden tilan ominaistehontarve:

$$H_{\text{uusitila}} = 0,0912 \text{ kW/°C}$$

Uuden tilan tarvitsema lämpöenergia normivuotena:

$$Q_{\text{uusitila, normivuosi}} = 9\,652 \text{ kWh}$$

Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaa energiaa ja lämmöntalteenottoa ei huomioitu, koska tällä hetkellä käytössä on vain koneellinen poisto ja uuden ilmanvaihtolaitteiston tietoja sekä tarkkoja ilmavirtoja ei ollut saatavilla.

6 Öljylämmitteisen pientalon lämmitysjärjestelmien vertailu

Tässä osiossa perehdytään lämmitysjärjestelmien taloudelliseen vertailuun. Vertailussa on mukana kolme eri järjestelmää, joita vertaillaan nykyiseen tilanteeseen. Vertailussa on otettu huomioon lämmitysjärjestelmien investointi- ja huoltokustannukset, energianhinnan nykyarvo ja järjestelmien nykyarvo. Vertailu suoritetaan ainoastaan lämmityskustannusten osalta normivuotena ja uuden tilan vaikutus on myös huomioitu.

Investointikustannuksissa ei ole huomioitu mahdollisia asennuskustannuksia, eikä uuden tilan lattialämmityksen asennusta, koska nämä kustannukset voidaan olettaa suunnilleen samansuuruisiksi jokaisessa vaihtoehdossa. Poikkeuksena maalämpöpumpun investointikustannukset, joissa on otettu huomioon porakaivon poraamiskustannukset, koska porakaivo on toiminnan kannalta välttämätön.

Vertailuajaksi on valittu 20 vuotta, joten myös uusintakustannukset on jätetty pois laskennasta, koska järjestelmien elinikä ylittää vertailuajan.

Vertailussa käytetyt investointikustannukset ovat eräältä laitetoimittajalta saatuja ohjehintoja. Laskennassa käytetyt energian hinnat ovat samat kuin Motivan pientalon lämmitysjärjestelmien vertailupalvelussa (11.5.2009) käytetyt hinnat. Tarkemmat energian hintojen arvot löytyvät liitteestä 3. Laskuissa ei otettu huomioon odotettavissa olevaa vuotuisen energian reaalihinnan nousua. Kappaleessa 6.6 Lämmitysjärjestelmien lopulliset nykyarvot ja herkkyystarkastelu on esitetty lisäksi kolme eri herkkyystarkastelua vertailun avuksi.

6.1 Vuotuisten kustannusten nykyarvo vanhalla öljylämmitysjärjestelmällä

Tässä kappaleessa on laskettu vuotuisten kustannusten nykyarvo normivuotena, jos lämmitystä jatkettaisiin vanhalla öljylämmitysjärjestelmällä (vuosihyötysuhde 67 %).

Huoltokustannukset

Huoltokustannuksiksi voidaan olettaa noin 1 % uuden lämmitysjärjestelmän investointikustannuksista (2 835 €).

Huoltokustannukset 28 € (1 % investointikustannuksista)

Lämmitysenergian hinta

Vuotuisen lämmitysenergian hinta saadaan laskettua kaavan (25) avulla.

$$[(Q_{\text{rak,normivuosi}} + Q_{\text{uusitila,normivuosi}})/0,67] * 5,77 \frac{c}{kWh} = 3\,344\text{€} \quad (25)$$

Vuotuisten kustannusten nykyarvo

Vuotuisten energiakustannusten nykyarvo saadaan kaavan (26) avulla (22, s. 57–64).

$$Q * q * \frac{1}{(i-p)} * \frac{[1+(i-p)]^n - 1}{[1+(i-p)]^n} \quad (26)$$

Q	on energiankulutus
q	on nykyinen energian hinta
p	on odotettavissa oleva vuotuinen energian reaalihinnan nousu
i	on reaalikorkokanta
n	on toiminnallisen käyttöjakson pituus

Vuotuisten huoltokustannusten nykyarvo saadaan kaavan (27) avulla, joka on johdettu kaavasta (26).

$$\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} * \text{huoltokustannukset} \quad (27)$$

i on reaalikorkokanta

n on toiminnallisen käyttöjakson pituus

Vuotuisten kustannusten nykyarvoksi lämmityksen ja huoltokustannuksien osalta saatiin **45 820 €**. Tarkasteluaikana laskussa käytettiin 20:tä vuotta ja reaalikorkokantana 4 %:a. Öljyn reaalihinnan nousuksi oletettiin 0 %. Huoltokustannuksissa ei myöskään otettu huomioon hinnannousua.

6.2 Vuotuisten kustannusten nykyarvo uudella öljylämmitysjärjestelmällä

Seuraavassa on laskettu vuosikustannukset ja kaikkien kustannusten nykyarvo öljylämmityksellä normivuotena, jos lämmitysjärjestelmä uusitaan.

Investointikustannukset

Öllykattila	2 025 €
Poltin	810 €
Yhteensä	2 835 €

Huoltokustannukset

Huoltokustannuksiksi voidaan olettaa noin 1 % uuden lämmitysjärjestelmän investointikustannuksista.

Huoltokustannukset	28 €	(1 % investointikustannuksista)
--------------------	------	---------------------------------

Lämmitysenergian hinta

Uuden kattilan vuosihyötysuhde on huomattavasti parempi kuin vanhan kattilan, joten tämä tieto huomioidaan laskennassa. Uuden kattilan vuosihyötysuhteeksi voidaan olettaa noin 87 % (17, s.14). Vuotuisen lämmitysenergian hinta on laskettu kaavan (28) avulla.

$$[(Q_{\text{rak,normivuosi}} + Q_{\text{uusitila,normivuosi}})/0,87] * 5,77 \frac{\text{c}}{\text{kWh}} = 2\,575\text{€} \quad (28)$$

Vuotuisten kustannusten nykyarvo

Vuotuisten kustannusten nykyarvoksi lämmityksen ja huoltokustannusten osalta saatiin **35 374 €**. Tarkasteluaikana laskussa käytettiin 20:tä vuotta ja reaalikorkokantana 4 %:a. Öljyn reaalihinnan nousuksi oletettiin 0 %. Huoltokustannuksissa ei myöskään otettu huomioon hinnannousua.

Öljylämmityksen nykyarvo

Öljylämmityksen nykyarvoksi saatiin **38 209 €** (investointikustannukset + vuotuisten kustannusten nykyarvo).

6.3 Vuotuisten kustannusten nykyarvo maalämpöjärjestelmällä

Seuraavassa on laskettu vuosikustannukset ja kaikkien kustannusten nykyarvo maalämpöjärjestelmällä normivuotena, jos lämmitysjärjestelmä vaihdetaan kokonaan uuteen.

Investointikustannukset

Maalämpöpumppu	7 950 €
Lämpökaivo (n. 200 m)	6 500 €
Yhteensä	14 450 €

Huoltokustannukset

Huoltokustannuksiksi voidaan olettaa noin 1 % lämmitysjärjestelmän investointikustannuksista.

Huoltokustannukset	144,5 €	(1 % investointikustannuksista)
--------------------	---------	---------------------------------

Lämmitysenergian hinta

Maalämpöpumpun vuosihyötysuhde määräytyy maalämpöpumpun lämpökertoimen (COP) mukaan (kaava 1). Uuden maalämpöpumpun lämpökertoimeksi voidaan olettaa laitetoimittajan tietojen perusteella noin 3,5, eli vuosihyötysuhde on tällöin 350 %.

Vuotuisen lämmitysenergian hinta on laskettu kaavan (29) avulla.

$$[(Q_{\text{rak,normivuosi}} + Q_{\text{uusitila,normivuosi}})/\text{COP}] * 9,52 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 1\,056\text{€} \quad (29)$$

Vuotuisten kustannusten nykyarvo

Vuotuisten kustannusten nykyarvoksi lämmityksen ja huoltokustannusten osalta saatiin **16 315 €**. Tarkasteluaikana laskussa käytettiin 20:tä vuotta ja reaalikorkokantana 4 %:a. Sähkön reaalihinnan nousuksi oletettiin 0 %. Huoltokustannuksissa ei myöskään otettu huomioon hinnan nousuja.

Maalämpöpumppujärjestelmän nykyarvo

Maalämpöpumppujärjestelmän nykyarvoksi saatiin **30 765 €** (investointikustannukset + vuotuisten kustannusten nykyarvo).

6.4 Vuotuisten kustannusten nykyarvo hybridilämmitysjärjestelmällä 1

Seuraavassa on laskettu vuosikustannukset ja kaikkien kustannusten nykyarvo hybridilämmitysjärjestelmällä normivuotena. Hybridilämmitysjärjestelmä 1 koostuu öljykattilasta, hybridivaraajasta ja ilma-vesilämpöpumpusta.

Investointikustannukset

Ilma-vesilämpöpumppu	8 400 €
Hybridivaraaja	2 670 €
Öljykattila	2 025 €
Poltin	810 €
Yhteensä	13 905 €

Huoltokustannukset

Huoltokustannuksiksi voidaan olettaa noin 1 % lämmitysjärjestelmän investointikustannuksista.

Huoltokustannukset	139 €	(1 % investointikustannuksista)
--------------------	-------	---------------------------------

Lämmitysenergian hinta

Ilma-vesilämpöpumpun vuosihyötysuhde määräytyy lämpöpumpun lämpökertoimen (COP) mukaan (kaava 1). Uuden ilma-vesilämpöpumpun lämpökertoimeksi voidaan olettaa laitetoimittajan tietojen perusteella noin 2,5, eli vuosihyötysuhde on tällöin

250 %. Ilma-vesilämpöpumpun osuudeksi vuosienenergiasta oletetaan 95 %, joten öljykattilan osuudeksi jää loput 5 %. Kaavan (30) avulla on laskettu vuotuisen lämmitysenergian hinta ilma-vesilämpöpumpun osuudella (95 %) ja kaavan (31) avulla vuotuisen lämmitysenergian hinta öljylämmityksen osuudella (5 %).

$$\frac{[(Q_{rak,normivuosi} + Q_{uusitila,normivuosi}) * 0,95] / COP}{kWh} * 9,52 = 1\,404\text{€} \quad (30)$$

$$\frac{[(Q_{rak,normivuosi} + Q_{uusitila,normivuosi}) * 0,05] / 0,87}{kWh} * 5,77 = 129\text{€} \quad (31)$$

Vuotuisten kustannusten nykyarvo

Vuotuisten kustannusten nykyarvoksi lämmityksen ja huoltokustannusten osalta saatiin **22 726 €**. Tarkasteluaikana laskussa käytettiin 20:tä vuotta ja reaalikorkokantana 4 %:a. Sähkön ja öljyn reaalihintojen nousuksi oletettiin 0 %. Huoltokustannuksissa ei myöskään otettu huomioon hinnannousua.

Hybridilämmitysjärjestelmän 1 nykyarvo

Hybridilämmitysjärjestelmän 1 nykyarvoksi saatiin **36 631 €** (investointikustannukset + vuotuisten kustannusten nykyarvo).

6.5 Vuotuisten kustannusten nykyarvo hybridilämmitysjärjestelmällä 2

Seuraavassa on laskettu vuosikustannukset ja kaikkien kustannusten nykyarvo hybridilämmitysjärjestelmällä normivuotena. Hybridilämmitysjärjestelmä 2 koostuu öljykattilasta, hybridivaraajasta, ilma-vesilämpöpumpusta ja aurinkolämpöjärjestelmästä.

Investointikustannukset

Ilma-vesilämpöpumppu	8 400 €
Hybridivaraaja	2 670 €
Aurinkokierukka	375 €
Aurinkokeräimet	4 697 €
Öljykattila	2 025 €
Poltin	810 €
Yhteensä	18 977 €

Huoltokustannukset

Huoltokustannuksiksi voidaan olettaa noin 1 % lämmitysjärjestelmän investointikustannuksista.

Huoltokustannukset 190 € (1 % investointikustannuksista)

Lämmitysenergian hinta

Tässä tapauksessa laskenta on muuten sama kuin hybridilämmitysjärjestelmä 1:ssä, mutta voidaan olettaa, että aurinkolämpöjärjestelmällä tuotetaan vähintään lämpimän käyttöveden tarvitsema energia ($Q_{lkv,netto}$). Tämän takia lämpimän käyttöveden lämmityksen tarvitsema energia voidaan vähentää normivuoden lämmitysenergian tarpeesta. Kaavan (32) avulla on laskettu vuotuisen lämmitysenergian hinta ilma-vesilämpöpumpun osuudella (95 %) ja kaavan (33) avulla vuotuisen lämmitysenergian hinta öljylämmityksen osuudella (5 %).

$$\left[\left((Q_{rak,normivuosi} + Q_{uusitila,normivuosi} - Q_{lkv,netto}) * 0,95 \right) / COP \right] * 9,52 \frac{c}{kWh} = 1\,265€ \quad (32)$$

$$\begin{aligned}
 & [((Q_{\text{rak,normivuosi}} + Q_{\text{uusitila,normivuosi}} - Q_{\text{lkv,netto}}) * 0,05) / 0,87] * \\
 & 5,77 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 116\text{€} \qquad (33)
 \end{aligned}$$

Vuotuisten kustannusten nykyarvo

Vuotuisten kustannusten nykyarvoksi lämmityksen ja huoltokustannusten osalta saatiin **21 354 €**. Tarkasteluaikana laskussa käytettiin 20:tä vuotta ja reaalikorkokantana 4 %:a. Sähkön ja öljyn reaalihintojen nousuksi oletettiin 0 %. Huoltokustannuksissa ei myöskään otettu huomioon hinnannousua.

Hybridilämmitysjärjestelmän 2 nykyarvo

Hybridilämmitysjärjestelmän 2 nykyarvoksi saatiin **40 331 €** (investointikustannukset + vuotuisten kustannusten nykyarvo).

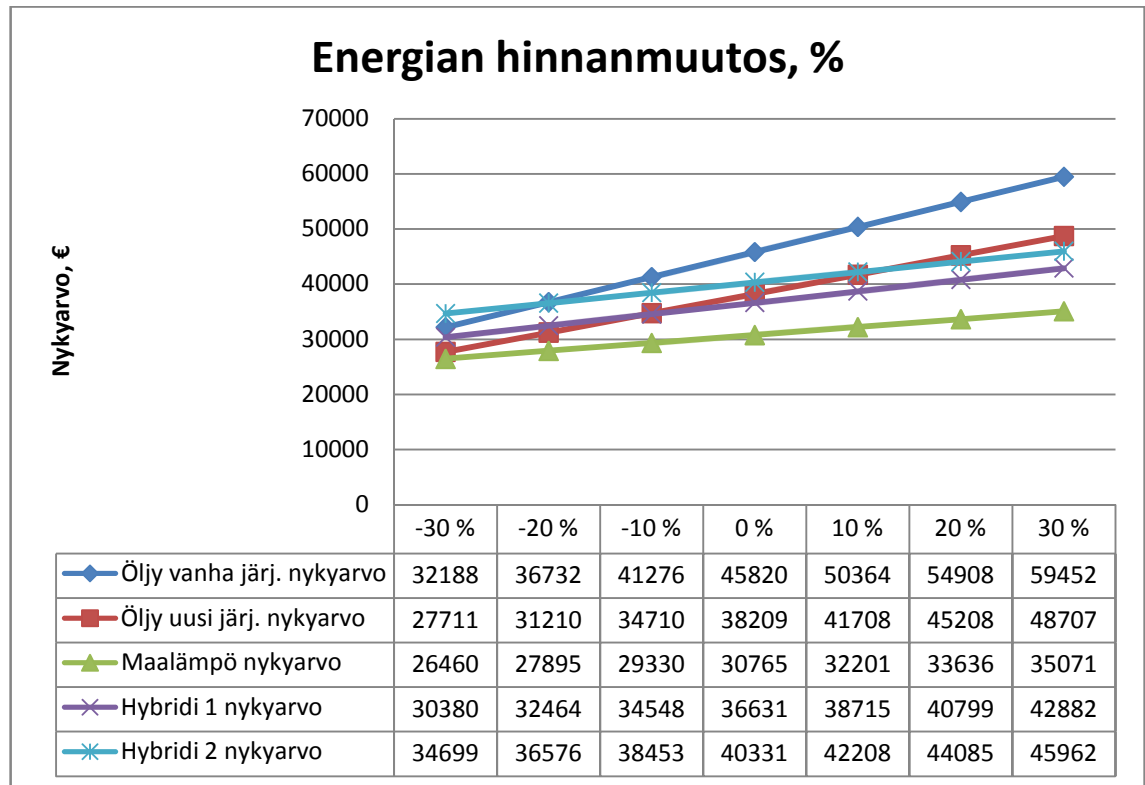
6.6 Lämmitysjärjestelmien lopulliset nykyarvot ja herkkyystarkastelu

Tässä kappaleessa on esitetty koottuna kaikkien lämmitysjärjestelmien lopulliset nykyarvot investointikustannuksineen sekä kolme eri herkkyystarkastelua.

Investointikustannukset otettiin huomioon myös herkkyystarkasteluissa. Vertailun vuoksi mukana on nykyisen tilanteen nykyarvo ilman investointikustannuksia, jos lämmitystä jatketaan vanhalla järjestelmällä.

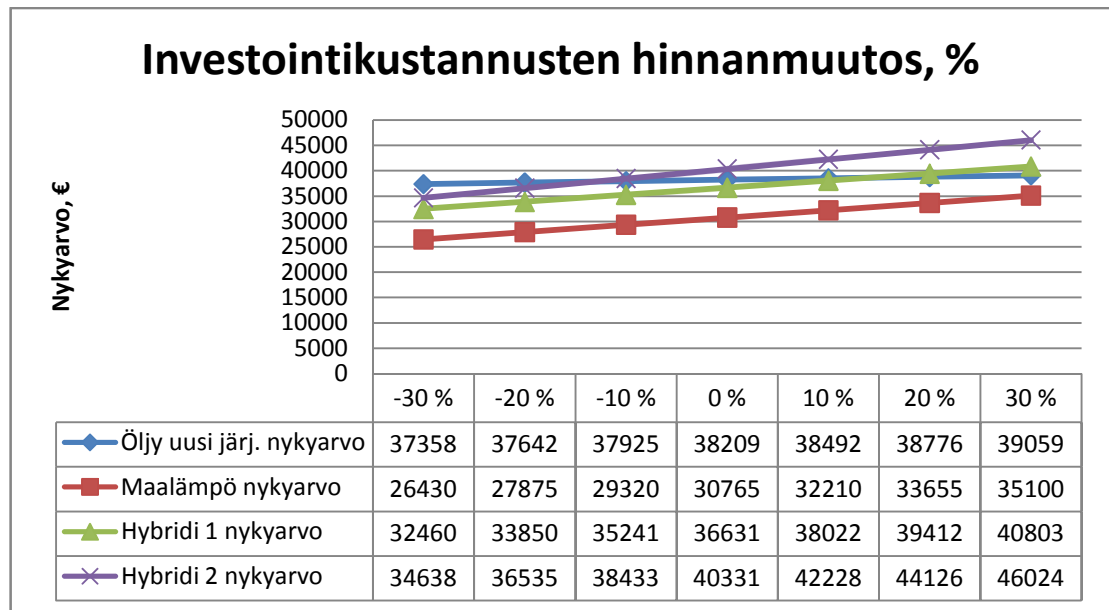
Uuden öljylämmityksen nykyarvo	38 209 €
Maalämpöpumppujärjestelmän nykyarvo	30 765 €
Hybridilämmitysjärjestelmän 1 nykyarvo	36 631 €
Hybridilämmitysjärjestelmän 2 nykyarvo	40 331 €
Vuotuisten kustannusten nykyarvo vanhalla järjestelmällä	45 820 €

Kuvassa 33 on esitetty herkkyystarkastelu energian hinnanmuutoksen vaikutuksesta eri lämmitysjärjestelmien lopulliseen nykyarvoon.



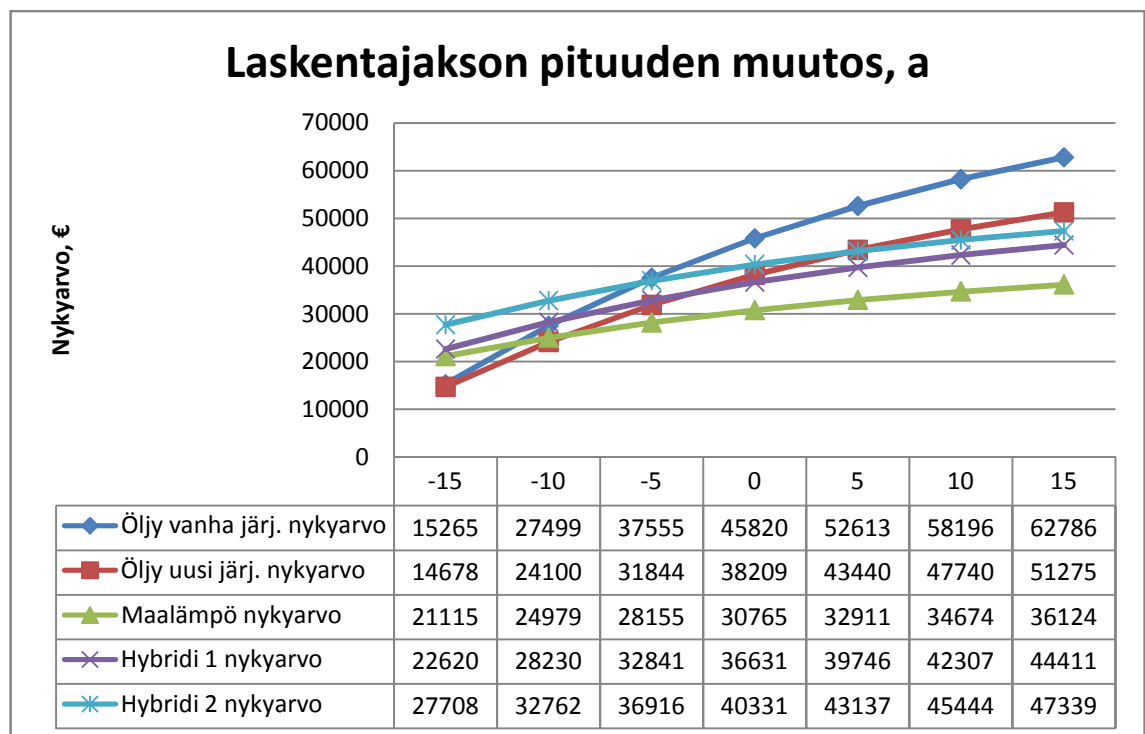
Kuva 33. Energian hinnanmuutoksen vaikutus eri lämmitysjärjestelmien nykyarvoon.

Kuvassa 34 on esitetty herkkyystarkastelu investointikustannusten hinnanmuutoksen vaikutuksesta eri lämmitysjärjestelmien nykyarvoon.



Kuva 34. Investointikustannusten hinnanmuutoksen vaikutus eri lämmitysjärjestelmien nykyarvoon.

Kuvassa 35 on esitetty herkkyystarkastelu laskentajakson pituuden vaikutuksesta eri lämmitysjärjestelmien nykyarvoon.



Kuva 35. Laskentajakson pituuden muutoksen vaikutus eri lämmitysjärjestelmien nykyarvoon.

7 Yhteenveto

Tämän insinööriyön tarkoitus oli tuoda esille erityisesti hybridilämmitysjärjestelmien teoriaa ja toteutusvaihtoehtoja. Lisäksi insinööriyössä käsiteltiin lämmitysjärjestelmien taloudellista vertailua eräässä esimerkkikohteessa.

Työn lopputuloksena saatiin nykyarvot eri lämmitysjärjestelmä vaihtoehdoille, joiden avulla vertailu voidaan toteuttaa. Saadut tulokset ja laskelmat ovat selkeitä, mutta lähinnä suuntaa antavia. Esimerkkikohteessa oli monta muuttuvaa tekijää, jotka vaikuttivat kulutustietoihin ja täten myös suoritettuun laskentaan sekä lopputuloksiin. Lisäksi laitetoimittajalta saadut hinnat ja hinta-arviot olivat ohjehintoja, jotka vaikuttivat myös lopputulosten suuruuteen. Jos laskennassa olisi käytetty tarkkoja tarjoushintoja jokaisesta järjestelmävaihtoehdosta, lopputulokset ja järjestelmien väliset erot olisivat ehkä olleet pienemmät.

Esimerkkikohteen kulutustiedot olivat myös selvästi keskimääräistä suuremmat jo lähtötiedoissa, joten insinööriyön lopputuloksia ei voida suoraan hyödyntää tietyn kokoiseen pientaloon. Jos lämmitysjärjestelmien vertailua haluttaisiin vielä tehdä tarkemmin, tulisi selvittää, mikä aiheuttaa keskimääräistä suuremman lämmitysenergian kulutuksen. Lämmitysjärjestelmän huono hyötysuhde on yksi tekijä, mutta tuskin ainoa. Lisäksi vertailuun voitaisiin lisätä takaisinmaksuaikalaskelmat.

Insinööriyön pääpaino oli teoriaosuudessa, joten lämmitysjärjestelmien vertailu oli melko pienimuotoista, mutta insinööriyölle asetetut tavoitteet saavutettiin. Lämmitysjärjestelmien vertailun lisäksi insinööriyö tarjoaa mielenkiintoista ja hyödyllistä teoriatietoa, joka saattaa kiinnostaa varsinkin öljylämmitteisten pientalojen omistajia.

Lähteet

- 1 Erkkilä, Vesa. Aurinkolämpöopas rakentajille ja suunnittelijoille. Helsinki: Kustantajat Sarmala Oy/ Rakennusalan kustantajat RAK, 2003.
- 2 Lindström, Daniel. Aurinkolämmön rakentamisen opas. Vaasa: Merinova, 2008.
- 3 Seppänen, O., Seppänen, M. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka, Helsinki: Sisäilmayhdistys ry, 1997.
- 4 Erat, B., Erkkilä, V., Nyman, C., Peippo, K., Peltola, S., Suokivi, H. Aurinko-opas aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo: Aurinkoteknillinen Yhdistys ry – Soltekniska Föreningen rf, 2008.
- 5 RT 50-10482. Aurinkolämmitys. Rakennustietosäätiö, 1992.
- 6 Pervilä, Markku. Oilon lämmittää hybriditaloja. (WWW-dokumentti.) Onninen Oy <<http://www.digipaper.fi/vip/18463/index.php?pgnum=15>>. 22.9.2008. Luettu 20.3.2009.
- 7 Hanakat on hybridi. (WWW-dokumentti). <http://www.hanakat.fi/tuotteet/lammitys/hanakat/hanakat_hybridi/>. Luettu 20.3.2009.
- 8 LVI 11-10332. Lämpöpumput. Rakennustietosäätiö RTS ja LVI-Keskusliitto, 2002.
- 9 Hakala, P., Kaappola, E. Kylmälaitoksen suunnittelu, Helsinki: Opetushallitus, 2005.
- 10 Lämpöpumppu-uutiset 1/2009. Vantaa: IVT Lämpöpumput Oy, 2009.
- 11 Vuoden 2008 rakennustuotteeksi Airpro AW 10 ilma-vesilämpöpumppu. (WWW-dokumentti.) Rakennustieto Oy <http://www.rakennustieto.fi/index/ajankohtaista/tiedotteet/uutiset/artikkelit/P_209.html.stx>. Luettu 25.3.2009.
- 12 IVT Optima – ulkoilmalämpöpumppusite. Vantaa: IVT Lämpöpumput Oy, 2009.
- 13 Uutta lämpöä elämääsi – esite. Vantaa: IVT Lämpöpumput Oy, 2009.
- 14 Oilon öljy- ja bioöljypolttimet – esite. Lahti: OILON HOME OY, 2009.
- 15 Nibe-lämpöpumput, Tuotekoulutuskansio.

- 16 Seppänen, Olli. Rakennusten lämmitys, Helsinki: Suomen LVI-liitto ry, 2001.
- 17 Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Helsinki: Ympäristöministeriö, 2007.
- 18 Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D1 Kiinteistöjen vesi- ja viemärilaitteistot. Helsinki: Ympäristöministeriö, 2007.
- 19 LVI 11-10394. Kevytöljylämmitys. Rakennustietosäätiö, 2005
- 20 Öljyn käyttö kattilalaitoksissa. Helsinki: Neste Oy, 1991.
- 21 Öljyn lämmityskäyttöön liittyviä tilastoja. (WWW-dokumentti.) Öljyalan Palvelukeskus Oy <http://www.oil-gas.fi/files/344_Lammitys.pdf>. Luettu 29.4.2009.
- 22 Talotekniikan elinkaaritarkastelut. Helsinki: Suomen Talotekniikan Kehityskeskus Oy, 2001.
- 23 Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C3 Rakennuksen lämmöneristys. Helsinki: Ympäristöministeriö, 2003.

Liite 1: Mittauspöytäkirja

<u>Palamishyötysuhdemittaus</u>				
		8.4.2009	Esimerkkikohte, Kerava	
Mittaaja: Mikko Sukanen				
Kattila:	Jämä Junior			
Teho:	15-25			
Koksi:	20			
Rakenne paine (bar):	1,5			
Koepaine (bar):	3,5			
Valm. Nro:	92691			
Valm.vuosi/malli:	1974/1k/125b			
Mitat:	1460x600x620 mm			
Pinta-alat:		pintalämpötila		
A1 vasen kylki	0,9052 m ²	35	°C	
A2 oikea kylki	0,9052 m ²	35	°C	
A3 pääliosa	0,372 m ²	40	°C	
A4 luukku	0,09 m ²	70	°C	
A5 etuosa	0,786 m ²	50	°C	
A6 takaosa	0,876 m ²	50	°C	
Mittaustulokset:	kattilavesi, °C	tekn.tila t, °C		
Mittaus alkoi 13.45	77,50	27,00		
Mittaus loppui 14.05	89,00	28,00		
Mittauskerta (5min välein)	Savukaasujen t, °C	O₂, V%	CO₂, V%	CO, mg
1.	139,00	13,00	5,80	158,00
2.	141,00	13,00	5,90	159,00
3.	140,00	13,20	5,70	150,00
4.	142,00	13,20	5,80	156,00

Liite 2: Excel-taulukko laskennasta

Öljyn tehollinen lämpöarvo	10	kWh/l					
Polttoaineen kulutus lämpöenergiana	35000	kWh					
Kattilan eristyshäviöt:	m²	pintalämpötila T, °C	kattilahuone T, °C	ΔT, °C	Φsäteily+konvektio, W		
A1 vasen kylki	0,9052	35	27,5	7,5	67,89		
A2 oikea kylki	0,9052	35	27,5	7,5	67,89		
A3 päällösa	0,372	40	27,5	12,5	46,5		
A4 luukku	0,09	70	27,5	42,5	38,25		
A5 etuosa	0,786	50	27,5	22,5	176,85		
A6 takaosa	0,876	50	27,5	22,5	197,1		
	3,9344				594,48		
				Yht.	2,72 %		
putkihäviöt, oletus	200 W	0,91 %					
tuuletushäviöt, oletus		0,20 %					
läpivirtaushäviöt, oletus		0,30 %					
öljyn määrä per tunti	2,187134503	l/h					
	1,00	h					
öljyn polttoaine teho	21,87134503	kW					
Kattilan tyhjäkäynti							
Suuttimen tiedoista öljymäärä/h	1,87	kg/h					
öljyn tiheys	855	kg/m ³					
vuotuinen öljynkulutus, kg	2992,5	kg					
polttimen vuotuinen käyntiaika	1600,26738	h					
tyhjäkäyntihäviöt kuvaajan perusteella		4,5 %					
	Muut	Jatkuvan	Tyhjäkäynti	Käyntiaika	vuosihyötysuhde/		
	säteily -ja konvektiohäviöt, %	lämpöhäviöt, %	käynnin η	Tyhjäkäynti, %ak.h	h	jatkuvahyötysuhde	ηvuosi
	2,718077005	1,41	84,90648449	4,50	1600,26738	0,789179231	67,00643412
jatkuvan käynnin hyötysuhde		84,90648449					
vuosi hyötysuhde		67,00643412					
Hyötöenergiamäärät							
savukaasut - säteily-ja konvektiohäviöt- muut häviöt		23452,25194	kWh				
Käyttöveden lämmityksen lämpöenergia Q_{kv}, netto	henkilöiden mukaan	pinta-alan mukaan					
Q _{kv} , netto käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia, kWh	2342,083333	5355	kWh				
pv veden tiheys, 1000 kg/m ³	1000						
cpv veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/kgK	4,2						
V _{kv} lämpimän käyttöveden kulutus, m ³	40,15	91,8					
T _{ikv} lämpimän käyttöveden lämpötila, °C	55						
T _{tkv} kylmän käyttöveden lämpötila, °C	5						
3600 kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi, s/h	3600						
V_{kv} lämpimän käyttöveden kulutus, m³	henkilöiden mukaan	pinta-alan mukaan					
V _{kv} , omin, henk lämpimän käyttöveden ominaiskulutus, dm ³ /hlö/vrk	40,15	91,8	m ³				
n henkilöiden lukumäärä	2						
Δt ajanjakson pituus, vuorokautta	365						
1000 kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kuutiometreiksi, dm ³ /m ³							
365 kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos							
V _{kv} , omin lämpimän käyttöveden ominaiskulutus, m ³ /brm ² vuodessa	600						
Abr rakennuksen bruttoala, brm ²	153						
Rakennuksen lämmitys, kWh							
Hyöty		23452					
LV		3849					
Lopullinen		19604	kWh				
Rakennuksen lämmittämisen ominaistehontarve, kW/K							
S17 2008		3415					
G=Q/S17 2008		0,2392					
S17/norm.v.		4411					
Q _{rak} , kWh		25324	kWh				
Q _{LV} , kWh		3849	kWh				
Q_{yht.}		29172	kWh				
Lämpöindeksi		79,44460178	kWh/m ²				
Rakennuksen lämmittämisen lämmitystehontarve (ilman LV:n valmistusta)	T_i, T_u, °C	Fil, kW					
	46	11,00257043	kW				

Liite 3: Laskuissa käytetyt energianhinnat



Käytetyt energianhinnat

Pientalon lämmitysjärjestelmien vertailupalvelussa käytetyt energiahinnat:

Lämmönlähde	Hinta
Kaukolämpö	5,59 c/kWh
Pelletti	4,86 c/kWh
Pilke (koivu)	4,96 c/kWh
Sähkö 1 (jatkuvatoiminen lämmitys):	10,25 c/kWh
Sähkö 2 (osittain varaava lämmitys):	9,52 c/kWh
Sähkö 3 (muu kuin lämmityssähkö):	12,45 c/kWh
Öljy	5,77 c/kWh

Huomautukset/hintalähteet:

Kaukolämpö:

Keskihinta 1.7.2008. Energiamaksu on keskimäärin 55,92 €/MWh eli 5,59 c/kWh (tyyppikäyttäjä: omakotitalo 500 m³, vuosienergia 20 MWh). Hinta sisältää perusmaksun.

Lähde: [Energiateollisuus ry](#)

Pelletti:

Palvelussa käytetään pelletin hintana 4,86 c/kWh eli hinta on 4 tonnin erälle irtotavarana kotiin toimitettua, kuntaluokka K1.

Lähde: [Suomen Pellettienergiayhdistys ry](#)

Pilke (koivu):

Keskihinta, joka on laskettu Mottinetista ja Halkoliiteristä löytyvistä Etelä-Savon kuntien ja Espoon hinnoista. Hinta perustuu 33/40 cm takkapuun irtokuutiometrihintoihin. Keskihinta: 51,4 €/l-m³. Muunnettuna kilowattitunneiksi: 1 037 kWh/l-m³, hinta 4,96 c/kWh. Keskihinta Etelä-Savossa 39,8 €/l-m³ ja Espoossa 63 €/m³.

- [MottiNetti](#)

- [halkoliiteri.com](#)

Sähkö 1 (jatkuvatoiminen lämmitys):

Energiamarkkinaviraston mukainen suoran sähkölämmityksen keskihinta 1.1.2009 tyyppikäyttäjälle L1 (Pientalo, huonekohtainen sähkölämmitys, pääsulake 3x25 A, sähkön käyttö 18 000 kWh/vuosi). Hinta sisältää energia- ja siirtomaksut, verot sekä perusmaksun.

Sähkö 2 (osittain varaava lämmitys):

Energiamarkkinaviraston mukainen osittain varaavan sähkölämmityksen keskihinta 1.1.2009 tyyppikäyttäjälle L2 (Pientalo, osittain varaava sähkölämmitys, pääsulake 3x25 A, sähkön käyttö 20 000 kWh/vuosi). Hinta sisältää energia- ja siirtomaksut, verot sekä perusmaksun.

Sähkö 3 (muu kuin lämmityssähkö):

Energiamarkkinaviraston mukainen sähkön keskihinta 1.1.2009 tyyppikäyttäjälle K2 (Pientalo, sähkökiuas, ei sähkölämmitystä, pääsulake 3x25 A, sähkön käyttö 5 000 kWh/vuosi). Hinta sisältää energia- ja siirtomaksut, verot sekä perusmaksun.

Öljy:

Öljy- ja Kaasualan Keskusliiton kuluttajahintaseurannan mukainen keskihinta 15.1.2009. Tilastossa ilmoitettu öljyn litrahinta (77,8 c/l) muutettu kWh-hinnaksi (7,80 c/kWh). Muunnoksessa on käytetty öljyn tiheyden arvona 0,845 kg/l ja lämpöarvona 11,78 kWh/kg.