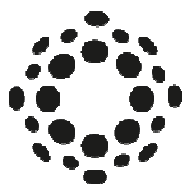


Simo Suurnäkki

PIENTALON
OSTOENERGIANKÄYTÖN
VÄHENTÄMINEN
Lämmitysjärjestelmät

Opinnäytetyö
Talotekniikka


Toukokuu 2015




MAMK

University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

	Opinnäytetyön päivämäärä 29.5.2015	
Tekijä(t) Simo Suurnäkki	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Talotekniikka	
Nimeke Pientalon ostoenergiankäytön vähentäminen		
Tiivistelmä <p>Tässä työssä tutkittiin mahdollisuuksia vähentää pientalon ostoenergiankäyttöä korvaamalla osa pientalon lämmitysenergian tarpeesta ilmaisenergioiden, kuten aurinkoenergian ja lämpöpumppujen avulla. Energian hintojen ollessa nousussa, yhä useampi pientaloasuja pohtii mahdollisuuksia säästää energialaskussaan. Energian hintojen nousu tuo myös ilmaisenergianlähteet yhä useamman pientaloasujan ulottuville takaisinmaksuaikojen pienentyessä. Ilmaisenergiat ovat erinomainen tapa tinkiä pientalon lämmityskustannuksista, ilmaisenergioiden käyttö on myös hyvin ympäristötietoinen valinta.</p> <p>Työssä tutkittiin aurinkolämpöjärjestelmien käyttömahdollisuuksia Suomen oloissa, perehdyttiin eri aurinkokeräintyyppisiin sekä pohdittiin niiden soveltuvuutta pientalokäyttöön. Myös lämpöpumppujen toimintaperiaatteeseen syvennyttiin, sekä käytiin läpi pientalokäyttöön soveltuvat lämpöpumput. Työssä pyrittiin tuomaan esille kunkin järjestelmän osalta keskeisimpiä suunnittelu- ja hankintanäkökohtia, joihin järjestelmien hankintaa suunnittelevan tulisi kiinnittää huomiota.</p> <p>Opinnäytetyössä esiteltiin esimerkkikohde, jonka toteutuneiden energiankulutustietojen perusteella laadittiin laskelmat kunkin järjestelmän energiansäästöpotentiaalista. Jokaisesta järjestelmästä pyydettiin tarjous laitetuottajalta, joiden perusteella laskettiin investoinnin takaisinmaksuaika järjestelmäkohtaisesti. Järjestelmien vaatimien investointien kannattavuutta arvioitiin takaisinmaksuaikojen perusteella.</p> <p>Tässä työssä tehdyt laskelmat osoittivat, että pientalokäytössä on mahdollista saavuttaa todellisia säästöjä hyödyntämällä ilmaisenergioita. Investointien takaisinmaksuajat vaihtelevat, mutta valitsemalla kuhunkin kohteeseen sopiva järjestelmä, todellisia säästöjä oli saavutettavissa kohtuullisin takaisinmaksuajoin.</p>		
Asiasanat (avainsanat) ilmaisenergia, ostoenergia, aurinkoenergia, aurinkokeräimet, lämpöpumput		
Sivumäärä 65 + 3	Kieli Suomi	URN
Huomautus (huomautukset liitteistä)		
Ohjaavan opettajan nimi Jarkko Kolehmainen	Opinnäytetyön toimeksiantaja	

DESCRIPTION

		Date of the bachelor's thesis 29.5.2015
Author(s) Simo Suurnäkki	Degree programme and option Building Services Engineering	
Name of the bachelor's thesis Decrease of bought energy in a one-family house		
Abstract In this thesis the possibilities of decreasing the amount of energy bought was examined. The decrease was done by replacing a part of building's energy consumption with free energies, as solar power and heat pumps. As the energy prices are going up, there are more and more small house owners considering the possibilities to save some money on their energy bills. Free energy sources are excellent way to reduce the costs of house heating, and a very sustainable choice for our environment. In this study the possibilities of solar system usage in Finland were studied, the different types of solar collectors and the suitability of solar heating systems in small house scale was examined. Also this thesis covers heat pumps, the function of heat pump and different heat pump types for one-family houses were studied. The thesis tried to point out the essential factors what a house owner should consider before acquiring these systems. A case study was made of an existing one-family house. Calculations of an energy saving potential were made for each system. The real energy consumption data of the building was available, which was the control level for the calculations. The prices for each systems were given by a retailer. The payback times were calculated for each system based on the possible energy saving and the price of the system. The calculations made on this thesis showed that there were real potential for saving money with certain types of systems. The payback times for different systems vary, but choosing the right system for each building provided a real decrease on the money spent on the energy bills with reasonable payback time.		
Subject headings, (keywords) free energy, bought energy, solar energy, solar collectors, heat pumps		
Pages 65 + 3	Language Finnish	URN
Remarks, notes on appendices		
Tutor Jarkko Kolehmainen	Bachelor's thesis assigned by	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	AURINKOENERGIA	2
2.1	Aurinkoenergia Suomessa	2
2.2	Aurinkoenergian passiivinen hyödyntäminen	4
2.3	Aurinkoenergian aktiivinen hyödyntäminen	6
2.3.1	Tasokeräin	7
2.3.2	Tyhjiöputkikeräin	8
2.3.3	Keskittävä keräin	11
2.3.4	Muut keräimet	12
2.3.5	Keräinten suuntaus.....	12
2.3.6	Aurinkokeräimen hyötysuhde	14
3	LÄMPÖPUMPUT.....	15
3.1	Lämpöpumpun toimintaperiaate	16
3.1.1	Höyrystin ja lauhdutin.....	18
3.1.2	Kompressori	18
3.1.3	Paisuntaventtiili	22
3.2	Lämpökerroin.....	22
3.3	Ilmalämpöpumppu	24
3.4	Ilma- vesilämpöpumppu	27
3.5	Maalämpöpumppu	29
3.5.1	Maalämmön keruupiiri.....	30
3.5.2	Maalämpöjärjestelmän mitoitus	35
3.5.3	Lämpimän käyttöveden valmistus maalämpöpumpulla.....	36
3.6	Lämpöpumput ja lämmönluovuttimet	38
4	TUTKIMUS JA ESIMERKKIKOHDE	38
4.1	Kohteen kuvaus.....	39
4.2	Kohteen nykyinen energiankulutus.....	39
4.3	Normeeraus.....	41
4.4	Laskentamenetelmät.....	42
4.4.1	Aurinkokeräimet	44
4.4.2	Lämpöpumput.....	46
5	LASKENNALLISET TULOKSET	53

5.1	Aurinkokeräimet	53
5.2	Lämpöpumput	57
6	TULOSTEN TARKASTELU.....	59
6.1	Aurinkokeräimet	59
6.1.1	Tasokeräin	59
6.1.2	Tyhjiöputkikeräin	60
6.2	Lämpöpumput	61
6.2.1	Ilmalämpöpumppu	61
6.2.2	Ilma- vesilämpöpumppu.....	62
6.2.3	Maalämpöpumppu	62
7	YHTEENVETO	63
	LÄHTEET	66

LIITTEET

1 Aurinkokeräinten energialaskennan tulokset

2 Aurinkokeräinten energiantuottokaavio

1 JOHDANTO

Energian hinnan jatkuvan nousun myötä energiansäästö on yhä keskeisempi tavoite niin yksityisille ihmisille kuin yrityksillekin. Pohjoisen sijaintimme vuoksi Suomessa rakennusten lämmitys muodostaa merkittävän osan käyttämästämme energiasta. Uusiin energiansäästöratkaisujen kehittyminen ja yleistyminen on tuonut tavallisen pientaloasujan ulottuville uusia mahdollisuuksia tinkiä energialaskustaan sekä säästää ympäristöämme.

Tässä työssä keskitytään olemassa olevan pientalon ostetun lämmitysenergiankäytön vähentämismahdollisuuksiin auringon lämpöenergian hyödyntämisellä ja lämpöpumpuilla. Voidaan olettaa, että tulevaisuudessa Suomessa on enenevässä määrin pientaloasujia, jotka pohtivat mahdollisuuksia säästää lämmitysenergiaa, ja näin ollen selvää rahaa. Edellä mainitut järjestelmät voidaan lisätä jo olemassa olevan lämmitysmuodon rinnalle, tai järjestelmillä voidaan korvata kokonaan olemassa oleva lämmitysjärjestelmä. Myös uudiskohteissa kyseisiä järjestelmiä voidaan hyödyntää.

Ostoenergiankäytön vähentämismahdollisuuksia kartoitettaessa on syytä pitää mielessä, että rakennuksen todellinen energiankulutus ei pienene em. järjestelmien käyttöönotolla, vaan esim. aurinkokeräimillä ja lämpöpumpuilla osa rakennuksen lämpöhäviöistä katetaan ilmaisenergioilla. Ilmaisenergioiden käyttö pienentää ostoenergiankäyttöä ja siten myös energialaskua. Todellinen rakennuksen energiankulutuksen vähentäminen saavutetaan vain rakenteellisin parannuksin, kuten eristyspaksuuksia lisäämällä, ovien ja ikkunoiden tiivistämisellä tai vaihdolla jne. Kyseisiä rakennusteknisiä menetelmiä ei käsitellä tässä työssä. Myöskään sähköenergian tuotantoa aurinkoenergialla, vesi- tai tuulivoimalla ei tässä työssä käsitellä.

Työssä esitellään esimerkkikohde, jonka ostoenergiankäyttöä pyritään vähentämään edellä mainituin keinoin. Kohteesta tehdään laskelmat, jotka osoittavat kunkin järjestelmän kannattavuuden tai kannattamattomuuden säästömahdollisuuksineen ja takaisinmaksuaikoineen. Työssä käydään läpi kunkin järjestelmän osat, toimintaperiaatteet, pohditaan järjestelmän toimintaa ja arvioidaan kunkin järjestelmän ostoenergian säästöpotentiaalia.

2 AURINKOENERGIA

Aurinko on miljardeja vuosia vanha kaasupallo, joka säteilee energiaa maapallolle hyvin suuria määriä. Aurinkoenergia on uusiutuva ja täysin päästötön energiamuoto. Auringosta saatava energiamäärä riittäisi kattamaan noin 20 000 kertaa maailman teollisuuteen ja rakennusten lämmitykseen käyttämän energiamäärän.

Auringon toiminta energianlähteenä perustuu fuusioon. Ydinvoimalassa energiaa saadaan hajottamalla atomeja uraani U-235:stä, jolloin energiaa vapautuu noin 19 miljoonaa kilowattituntia. Tätä kutsutaan fissioksi. Auringossa tapahtuvassa fuusiossa kaksi vety-ydintä yhdistyvät heliumytimeksi. Tässä reaktiossa vapautuu energiaa huomattavasti enemmän kuin fissiossa, noin 180 miljoonaa kilowattituntia. Fuusio olisi erittäin hyvä energiantuotantotapa maapallolle, sillä vetyä on hyvin saatavilla, eikä reaktiossa synny haitallista radioaktiivista säteilyä. Reaktio kuitenkin vaatii onnistuakseen noin 10 miljoonan Celsiusasteen lämpötilan. Tällöin aurinko on ainoa otollinen paikka fuusioreaktion synnylle, joskin koeluontoista fuusioreaktoria on kehitelty vaihtelevin tuloksin. [1;2.]

2.1 Aurinkoenergia Suomessa

Suomessa aurinkoenergian hyödyntämisen keskeiseksi ongelmaksi muodostuu auringonpaisteen rajallisuus; lämmitysenergian tarve on suurimmillaan silloin, kun auringonpaistetta on saatavilla vähiten. Lähes koko Suomi sijaitsee 60 leveyspiirin pohjoispuolella. Tämän vuoksi Suomessa saatava auringon säteily on huomattavasti pienempi kuin eteläisimmillä leveysasteilla. Suomessa vuosittainen auringon säteilyenergia vaihtelee 938 kWh/m²a (Helsinki) ja 807 kWh/m²a (Sodankylä) välillä. Lähellä päiväntasaajaa päästään jo tasolle 2700 kWh/m²a, Keski-Euroopassakin yli tuhanteen kilowattituntiin neliometriä kohden vuositasolla. [1.]

Auringosta saatava säteilyenergia riippuu myös vuodenajasta; Helsingissä auringonpaistetta saadaan keskikesällä keskimäärin noin 10 tuntia päivässä, kun taas sydäntalvella aurinko näyttäytyy keskimäärin vain noin tunnin päivässä. Utsjoella puolestaan kesäaurinko paistaa 66 päivää yhtäjaksoisesti, ollen taas talvella horisontin alapuolella lähes kahden kuukauden ajan. Taulukossa 1 on esitetty kuukausittaiset auringonpaistetunnit Helsingissä, Vaasassa, Joensuussa ja Utsjoella. [1.]

TAULUKKO 1. Keskimääräiset auringonpaistetunnit kuukausittain [1.]

Kuukausi	Helsinki	Vaasa	Joensuu	Utsjoki
Tammikuu	39	29	30	1
Helmikuu	72	72	69	36
Maaliskuu	130	131	131	116
Huhtikuu	183	190	174	168
Toukokuu	275	277	259	203
Kesäkuu	298	303	264	232
Heinäkuu	275	283	265	239
Elokuu	222	220	197	142
Syyskuu	135	131	114	84
Lokakuu	90	85	62	48
Marraskuu	37	40	24	7
Joulukuu	28	21	17	0

Taulukosta 1 havaitaan, että kesäisin rannikkoseudut ovat selvästi aurinkoisempia kuin sisämaa. Sisämaan rannikkoa alhaisempi auringonpaiste johtuu yleensä päivällä syntyvistä Cumuluspilvistä. Cumuluspilvet syntyvät auringon säteilyn lämmittäessä maanpintaa, josta kosteus haihtuu tiivistyäkseen pilveksi korkealle päästyään. Maanpintaa viileämmän vesistön päällä tällaista ilmiötä ei tapahdu, jolloin auringon säteilyä haittaavaa pilvikerrosta ei synny. [1.]

Auringosta maanpinnalle tuleva kokonaissäteilyenergia voidaan jakaa kolmeen komponenttiin: suora säteily (I_A), hajasäteily (I_D) ja ilmakehän vastasäteily (I_V). Suora säteily tarkoittaa auringosta suoraan ilmakehän läpi tullutta säteilyä, hajasäteily on ilmakehän molekyylien ja pilvien heijastamaa säteilyä sekä maasta heijastunutta hajasäteilyä. Ilmakehän vastasäteily tarkoittaa ilmakehässä olevan vesihöyryn, hiilidioksidin ja otsonin heijastamaa säteilyä, joka säteilee lämpöä takaisin maanpinnalle. Tätä vastasäteilyä kutsutaan myös kasvihuoneilmiöksi. Jotta saadaan laskettua jonkin pinnan hyväksi saatava säteilyteho, tulee auringon kokonaissäteilyenergiasta vähentää vielä pinnan takaisin avaruuteen heijastama pitkäaaltonen säteily (I_U). Laskenta tapahtuu kaavalla (1). [1.]

$$I = I_A + I_D + I_V - I_U \quad (1)$$

missä I on auringon kokonaissäteilyenergian intensiteetti (W/m^2)
 I_A on auringon suora säteilyenergian intensiteetti (W/m^2)
 I_D on auringon hajasäteilyenergian intensiteetti (W/m^2)
 I_V on ilmakehän vastasäteilyenergian intensiteetti (W/m^2)
 I_U on takaisin avaruuteen heijastuneen säteilyenergian intens. (W/m^2)

2.2 Aurinkoenergian passiivinen hyödyntäminen

Passiivinen aurinkoenergian hyödyntäminen tapahtuu yksinkertaisimmillaan siten, että aurinko paistaa talon ikkunoista sisään ja lämmittää rakenteita. Lämpö varastoituu rakenteisiin, auringonpaisteen loputtua rakenne luovuttaa varastoimansa lämmön huonetilaan. Varastoitavan aurinkoenergian määrä riippuu monesta tekijästä, kuten esim. rakennuksen sijoituksesta, ikkunoiden koosta ja suuntauksesta sekä käytetyistä rakennusmateriaaleista. Asiantuntevasti suunnitellussa ja oikein sijoitetussa rakennuksessa voidaan noin viidesosa kokonaislämmöntarpeesta kattaa aurinkoenergian passiivisella hyödyntämisellä. [1.]

Rakennuksen sijoituksella on suuri merkitys aurinkolämmön passiivisen hyödyntämisen kannalta. Ihanteellinen sijoituspaikka rakennukselle on etelärinteen yläosa. Rinteen yläosassa lämpötila on yleensä hieman korkeampi kuin laaksossa, sekä rinteessä saadaan parhaiten vältettyä varjostusta ja maksimoida aurinkoenergian saanti. Mikäli rakennuksen suuntaus poikkeaa eteläsuunnasta $\pm 45^\circ$ (suunnat kaakko ja lounas), vaikuttaa tämä energiansaantiin vähentävästi noin 15 %. Pienet, alle 15 asteen poikkeamat eteläsuunnasta eivät juuri vaikuta vuotuiseseen aurinkoenergian saantiin. Eteläjulkisivuun kohdistuva auringonsäteilyn määrä onkin 2-3-kertainen pohjoisjulkisivuun verrattuna ja noin 1,5-kertainen itä- ja länsijulkisivuun verrattuna. [1.]

Eräs rakennuksen lämpöhäviöitä suurentava tekijä on tuuli. Tuuli kasvattaa rakennuksen hallitsematonta ilmanvaihtoa ja lisää ulkovaipan konvektiivista lämmönsiirtoa. Rakennus tulisikin suojata tuulelta mahdollisimman hyvin, jotta aurinkoenergiasta saadaan maksimaalinen hyöty. Tuulensuojaus voi tapahtua esim. päärakennusta suojaavilla talous- ja apurakennuksilla, istuttamalla puustoa ja pensaita rakennuksen ym-

pärille tai hyödyntämällä maastoa. Maasto vaikuttaa sekä tuulen suuntaan että nopeuteen. Tuulenpuoleisella rinteellä sijaitseva mäki kasvattaa tuulen nopeutta, tuulenvastaisella rinteellä puolestaan hidastaa tuulen nopeutta. Maaston muodot myös aiheuttavat kitkaa, joka osaltaan hidastaa tuulen nopeutta. Tuulen nopeus on suurimmillaan mäen laella. [1.]

Tontilla sijaitsevalla puustolla on tehtävänsä niin tuulen suojana kuin rakennuksen yllilämpenemistä ehkäisevänä tekijänä. Perusajatuksena puuston suhteen onkin se, että puuston tulee tarjota mahdollisimman hyvä tuulensuoja sekä varjostaa rakennusta kesällä auringon paistaessa korkealta ehkäisten näin yllilämpenemistä. Talvella auringon paistaessa matalalla tulisi puuston sallia auringon säteilyenergian pääsy rakennukseen. Harvaoksaiset lehtipuut ovat tämän suhteen hyviä, sillä kesällä puissa on lehdet, jotka varjostavat rakennusta, ja talvella puiden pudottaessa lehdet puu läpäisee hyvin auringon säteilyä. Säähavaintojen mukaan erittäin kylmistä ja jäätävistä tuulista noin 70 % saadaan pohjoisen ja idän väliseltä sektorilta. Tällöin tuulelta suojaavan puuston edullisin sijoituspaikka onkin suunnassa pohjoinen – itä. Kuitenkin tuulten suunta saattaa vaihdella huomattavasti maaston muotojen metsien ja muiden rakennusten vuoksi. Tämän takia etenkin lämmityskaudella vallitsevat tuulen suunnat tulisi selvittää ennen suunnittelun aloittamista. Myös talon katto- ja räystäsrakenteet voidaan suunnitella saman periaatteen mukaisesti kuin taloon ulkopuolinen puusto, eli kesätilanteessa räystäät varjostavat kuuminta kesäaurinkoa ehkäisten näin tilojen yllilämpenemistä, mutta talviaikaan matalalta paistava aurinko pääsee esteettä lämmittämään sisätiloja. [1.]

Auringon tuottama lämpöenergia tulee myös saada talteen. Lämmön talteenottokykyyn vaikuttaa lämmön varastointiin käytettävän rakenneosan lämmönvarastointikyky. Mikäli kyseessä on esim. täystiilitalo, tai muu raskasrunkoinen talo, auringon lämpöenergia voidaan ottaa talteen talon runkorakenteisiin, joka luovuttaa varastoimansa lämpöenergian kun aurinko ei enää paista. Perinteisiin puurunkoisiin taloihin voidaan rakentaa massiivisia pintoja, johon auringonsäteily kohdistuu, kuten esim. tiiliseinä, betonilattia, ja sydänmuuri. Jotta em. rakenteet pystyisivät absorboimaan maksimaalisen määrän niihin kohdistuneesta lämpöenergiasta, ei näitä pintoja tulisi peittää. [1.]

2.3 Aurinkoenergian aktiivinen hyödyntäminen

Aktiivisessa aurinkolämpöjärjestelmässä auringon säteilyenergia siirretään lämpövarastoon ja huonetilaan erityisten sitä varten rakennettujen lisälaitteiden, esim. pumpujen ja puhaltimien avulla. On myös olemassa järjestelmiä, joissa käytetään sekä passiivisia, että aktiivisia elementtejä. Esimerkkinä huonetila, jonka seinärakenteisiin varastoituvan lämpöenergian pienitehoiset puhaltimet kierrättävät laajempien tilojen hyödyksi. Tällaista järjestelmää kutsutaan hybridijärjestelmäksi. [1.]

Auringosta saatava säteilyenergia saadaan talteen aurinkokeräimillä. Aurinkokeräin on aurinkolämpöjärjestelmien keskeisin komponentti. Aurinkokeräimet keräävät auringon säteilyenergiaa, joka lämmittää lämmönsiirron väliainetta. Lämmennyt väliaine kuljetetaan seuraavaksi lämpövarastoon tai suoraan käyttöön. Väliaine voi olla ilma, tai neste. Tyypillisesti aurinkolämpöjärjestelmän vuotuinen ominaistuotto on 250 – 400 kWh/m². Aurinkolämpöjärjestelmien toiminta-aika rajoittuu välille maaliskuu – lokakuu, joten keräimistä ei ole hyötyä talvisaikaan kun lämmöntarve on suurimmillaan. Sen sijaan kesällä lämpöä olisi tarjolla yllin kyllin. Tämän vuoksi järkevä tapa hyödyntää aurinkolämpöä on lämpimän käyttöveden lämmitys. Lämmintä käyttövettä tarvitaan ympäri vuoden ja lämpimän käyttöveden kulutus on melko vakio vuoden ympäri. Kesällä lämpimän käyttöveden valmistamiseen tarvittavasta energiamäärästä voidaan aurinkolämpöjärjestelmillä kattaa jopa 100 %. [1.]

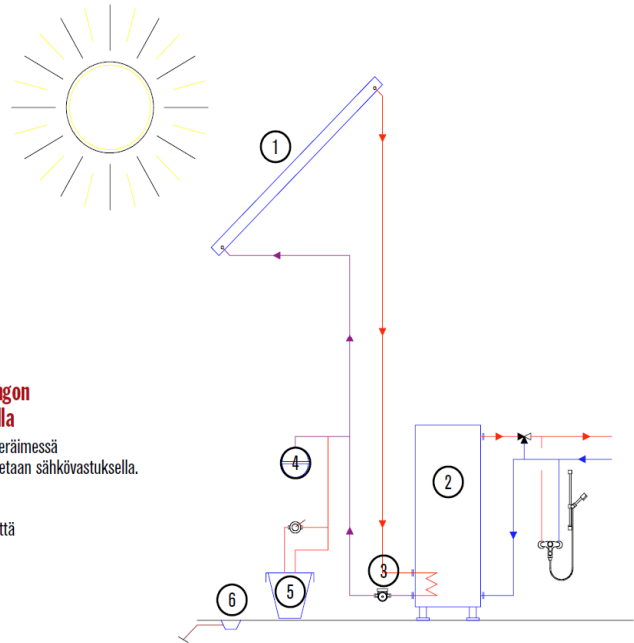
Aurinkokeräintyyppinä ovat mm. tasokeräin, tyhjiöputkikeräin sekä keskittävä keräin. Pientalokäytössä yleisimmät keräimet ovat nestekiertoisia taso- ja tyhjiöputkikeräimiä. Tyypillinen lämmönsiirron väliaine aurinkokeräinjärjestelmissä on neste. Neste voi olla pelkkää vettä, mikäli järjestelmä on käytössä vain silloin, kun jäätymisvaaraa ei ole. Näitä sovelluskohteita voivat olla esim. uima-altaat ja kesämökit. Em. järjestelmät tulee tyhjentää huolellisesti ennen pakkaskauden alkua. Mikäli järjestelmää halutaan käyttää ympäri vuoden, tulee lämmönsiirtonesteen olla pakkasen kestävä. Yleisesti järjestelmissä jäänestoaineena on käytössä propyleeniglykoli. Jäänestoaineita käytettäessä on huomioitava, että niiden lämmönsiirtokyky on huonompi puhtaaseen veteen verrattuna johtuen propyleeniglykolin vettä alhaisemmasta ominaislämpökapasiteetista. [3.]

Kuvassa 1 on esitetty tyypillisen aurinkolämpöjärjestelmän periaatekaavio käyttöveden lämmittämisestä aurinkoenergialla.

Esimerkki lämpimän käyttöveden lämmittämisestä auringon ja sähkövastuksella varustetun lämminvesivaraajan avulla

Pumppu kierrättää jäätymätöntä seosta keräinpiirissä. Piiri luovuttaa keräimessä lämmenestä nesteestä lämmön lämminvesivaraajaan. Varaaja varustetaan sähkövastuksella.

1. Aurinkolämpökeräimet esim. vesikatolla
2. Aurinkolämpöpäkki/lämminvesivaraaja, varaaja täynnä lämmintä vettä
3. Kiertovesipumppu
4. Kalvopaisunta-astia
5. Aurinkolämpöpiirin täyttöastia, myrkytön lämmönsiirtoneste
6. Lattiakaivo

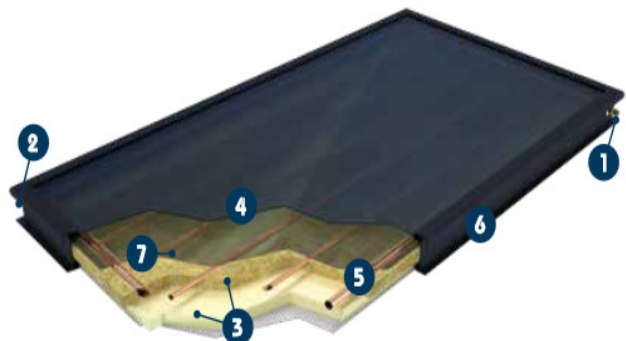


KUVA 1. Periaatekaavio aurinkolämpöjärjestelmästä [4.]

2.3.1 Tasokeräin

Tasokeräin on yleensä alumiini- tai teräsrunkoinen hyvin eristetty keräinyksikkö, joka koostuu keräimen kanteesta, absorptiolevystä, keräinputkistosta ja lämmöneristeistä. Kuvassa 2 on esitetty tyypillisen tasokeräimen osat.

1. Lämmönsiirtonesteen paluuputki
2. Lämmönsiirtonesteen menoputki
3. Eristeet; alapinnalla 20mm uretaania, yläpinnalla kivivillaa
4. Turvalasi 3mm
5. Keräinputkisto
6. Runkorakenne, eloksoitu alumiiniprofiili
7. Heijastinpinta (absorptiolevy)



KUVA 2. Tasokeräimen osat. [5.]

Katteen tehtävänä on sulkea itse keräin tiiviin kotelon sisään, ettei keräimen hyötysuhdetta heikentävää konvektiota pääse tapahtumaan, sekä toimia keräimen ulkopuolisena suojana. Katteen materiaali on yleensä karkaistu lasi, mutta myös polykarbonaattikatteita on käytössä. Kate voidaan varustaa selektiivisellä pinnoitteella. Selektiivinen pinnoite läpäisee hyvin auringon lyhytaaltoista säteilyä (aallonpituus 0,3 – 2 μm) ja säteilee huonosti takaisin pitkäaaltoista lämpösäteilyä keräimestä (aallonpituus 4 – 25 μm). Tällöin keräimen hyötysuhde paranee lämpöhäviöiden pienentyessä. [3.]

Absorptiolevy on keräimen osa, joka lämpenee auringon säteilyn vaikutuksesta ja luovuttaa lämmön keräinputkistossa kiertävään väliaineeseen. Absorptiopinnan tulee olla hyvin lämpöä johtavaa materiaalia, tyypillisesti alumiinia tai kuparia. Myös absorptiolevy voi olla varustettu selektiivisellä pinnoitteella. Absorptiolevyssä on absorptioputkisto, jossa lämmönsiirron väliaine kiertää. Absorptioputkisto on kytketty molemmista päistään kokoojaputkistoon, jonka kautta viileä neste tulee keräimeen ja poistuu keräimestä lämmentyään. Absorptioputkisto voi olla kytkennältään rinnan- tai sarjakytkentä. [3.]

Tasokeräimen absorptiolevyn takana on lämpöhäviöiden pienentämiseksi oltava lämmöneriste. Eristeenä voidaan käyttää materiaalia, joka kestää korkeat, jopa +200°C:n lämpötilat. Tästä syystä esim. styroksi ei sovellu tasokeräimen lämmöneristeeksi. [3.]

2.3.2 Tyhjiöputkikeräin

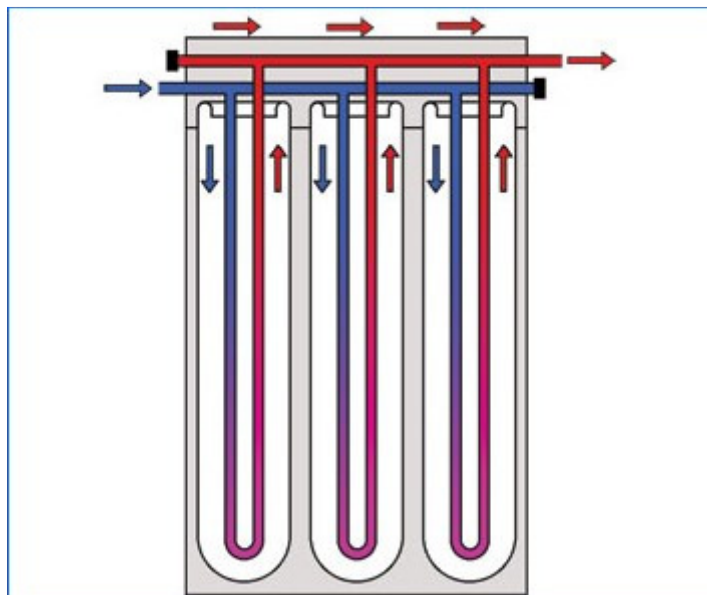
Tyhjiöputkikeräin koostuu putkimaisista elementeistä, joissa putken ulkopinnan ja absorptiopinnan välissä on tyhjiö. Jotta rakenteesta saadaan kestävä, on tyhjiökeräinelementti aina poikkileikkaukseltaan pyöreä. Tyhjiö on erinomainen eriste, lämmön johtumista tai konvektiivista lämmönsiirtoa ei tapahdu lainkaan. Tämän vuoksi tyhjiöputkikeräimen lämmöntuotto voi keskimäärin olla tasokeräintä suurempi keräineliometriä kohden. Ero korostuu kylminä vuodenaikoina sillä tyhjiöputkikeräimet voidaan suunnata pystympään (jopa täysin pystysuoraan), jolloin matalalta paistavan auringon säteet saadaan hyödynnettyä paremmin. Tämä heikentää keräimen tehoa kesäisin, mutta silti keräin yleensä tuottaa tarvittavan tehon myös kesällä. Pystympi asennuskulma myös auttaa pitämään keräimen pinnan paremmin puhtaana, sillä esim. lumi joka sataa keräimen päälle, ei jää keräimen pinnalle estämään auringon säteiden pääsyä absorptiopinnalle. Tyhjiöputkielementtien takana käytetään usein parabolista

peiliä heijastamaan putkielementin ohi mennyt auringon säteily keräimen absorptiopintaan, jolloin keräimen hyötysuhdetta saadaan parannettua. Kuvassa 3 on esitetty tyypillinen tyhjiöputkikeräin.[1.]



KUVA 3. Tyhjiöputkikeräin [6.]

Tyhjiöputkikeräimiä on kahta tyyppiä: U-putki- ja lämpöputkikeräimet. U-putkikeräimen toiminta perustuu tyhjiöputken sisällä olevaan U-muotoiseen putkeen, jossa lämmönsiirtoneste kiertää. Kuvassa 4 on esitetty U-putkikeräimen rakenne.



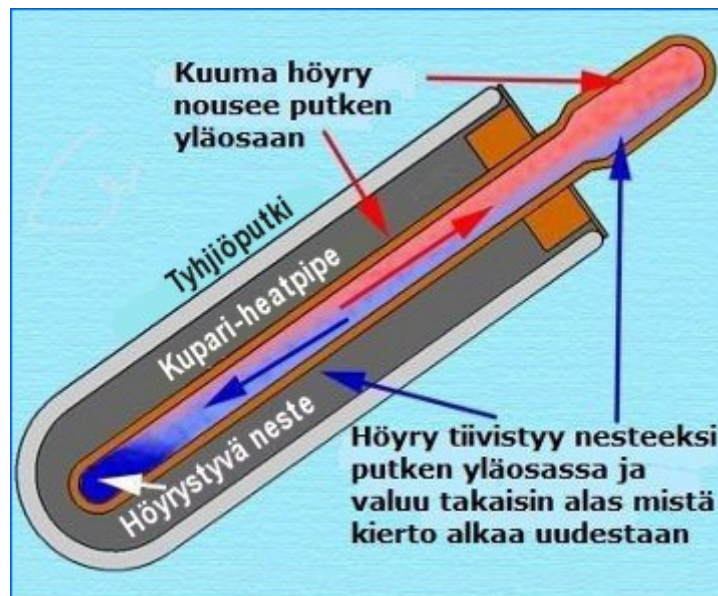
KUVA 4. U-putkikeräimen toimintaperiaate [7.]

U-putkirakenteessa lämmönsiirtoneste syötetään keräimeen yhteisestä jakolinjasta, josta lämmönsiirtoneste jaetaan yksittäisille U-putkille. U-putken absorptiopinta läm-

penee auringon säteilyn vaikutuksesta ja lämpö johtuu U-muotoiseen kupariputkeen jonka sisällä kiertävä lämmönsiirtoneste lämpenee. Lämmentyään lämmönsiirtoneste poistuu U-putkesta yhteiseen kokoojalinjaan, josta neste johdetaan lämpövaraajaan tai suoraan käyttöön. U-putkirakenteessa lämmönsiirtoneste virtaa jokaisen U-putkikeräimen läpi, jolloin yhden keräinputken rikkoutuessa joudutaan koko järjestelmä tyhjentämään. Tällaista kytkentää kutsutaan märkäputkikytkennäksi. [7.]

Lämpöputkirakenteessa (Heatpipe) tyhjiöputken sisällä on suljettu kupariputki, jonka sisällä oleva neste lämpenee ja höyrystyy auringon säteilyn vaikutuksesta. Putken yläosa on kosketuksissa putkeen, jossa lämmönsiirtoneste virtaa. Kuuma höyry putken yläosassa on lämpimämpää kuin lämmönsiirtoneste, jolloin höyryn lämpöä alkaa siirtymään lämmönsiirtonesteeseen. Höyry tiivistyy nesteeksi, jolloin myös höyryn lauhutuslämpö saadaan hyödyksi lämmönsiirtonesteeseen. Lauhtunut neste valuu takaisin putken alaosaan, jossa aurinko lämmittää nestettä ja kierto alkaa alusta. Lämpöputken sisällä höyrystyvä neste voi olla alkoholia tai vettä. Putken sisällä on normaalia ilmanpainetta alhaisempi paine, jolloin neste höyrystyy reilusti alle 100 °C:n lämpötilassa. [7.]

Kuvassa 5 on esitetty lämpöputkikeräimen toimintaperiaate.



KUVA 5. Lämpöputkikeräimen toimintaperiaate [7.]

Lämpöputkirakenteessa jokainen lämpöputki on oma yksikkönsä, jotka eivät ole yhteydessä lämmönsiirtonesteeseen. Tämän ns. kuivaputkikytkennän etuna on järjestel-

män huollettavuus. Jonkin keräinputken rikkoutuessa voidaan rikkoutunut keräinputki vaihtaa uuteen muun järjestelmän ollessa toiminnassa. [8.]

2.3.3 Keskittävä keräin

Keskittävä keräin koostuu koverasta peilistä ja absorbaattorista. Kovera peili keskittää auringonsäteet tarkasti absorbaattoriin. Peili voi olla muodoltaan kourumainen tai peili voi muistuttaa pyöreää lautasantennia. Keskittävällä keräimellä saavutetaan kovalla auringonpaisteella korkea toimintalämpötila, jopa 1000 °C. Keskittävää keräintä käytetäänkin usein sähköntuotannon osana, jossa aurinkokeräimellä höyrystetään vettä, höyry ohjataan turbiiniin joka pyörittää sähkögeneraattoria. Keskittävä keräin toimii hyvin, mikäli auringonpaistetta on reilusti saatavilla. Tällöinkin keräin on oltava hyvin suunnattu suoraan aurinkoon. Suuntaus tapahtuu yleensä automaattisen kääntömoottorin avulla. Pilvisellä säällä auringon hajasäteilyä on vaikea keskittää absorbaattoriin ja keräimen hyötysuhde jää heikoksi. Keskittävän keräimen käyttö Suomen olosuhteissa ei ole perusteltua vuositasolla vähäisten auringonpaistetuntien vuoksi, lisäksi keskittävä keräin ei ole soveltuva pientalokäyttöön. Kuvassa 6 on esitetty kourumainen keskittävä aurinkokeräin, joka on varustettu yksinkertaisella kääntömoottorilla. [8.]



KUVA 6. Kääntömoottorilla varustettu keskittävä aurinkokeräin [9.]

2.3.4 Muut keräimet

Markkinoilla on lisäksi erityisiä uima-altaisiin tarkoitettuja aurinkokeräimiä. Aurinkokeräin soveltuukin uima-allaskäyttöön hyvin, sillä uima-altaan suurin käyttö ajoittuu juuri aurinkoisimpaan aikaan ja tarvittava lämpötilataso on matala. Uima-allaskeräimiä on monia erilaisia aina kevyistä väliaikaisasennuksista kiinteisiin suuren altaan järjestelmiin. Uima-allasjärjestelmän lämmönkeruupiirin mitoituksen nyrkki-sääntönä pidetään, että keräimen pinta-ala tulisi olla vähintään puolet lämmitettävän altaan pinta-alasta. [1.]

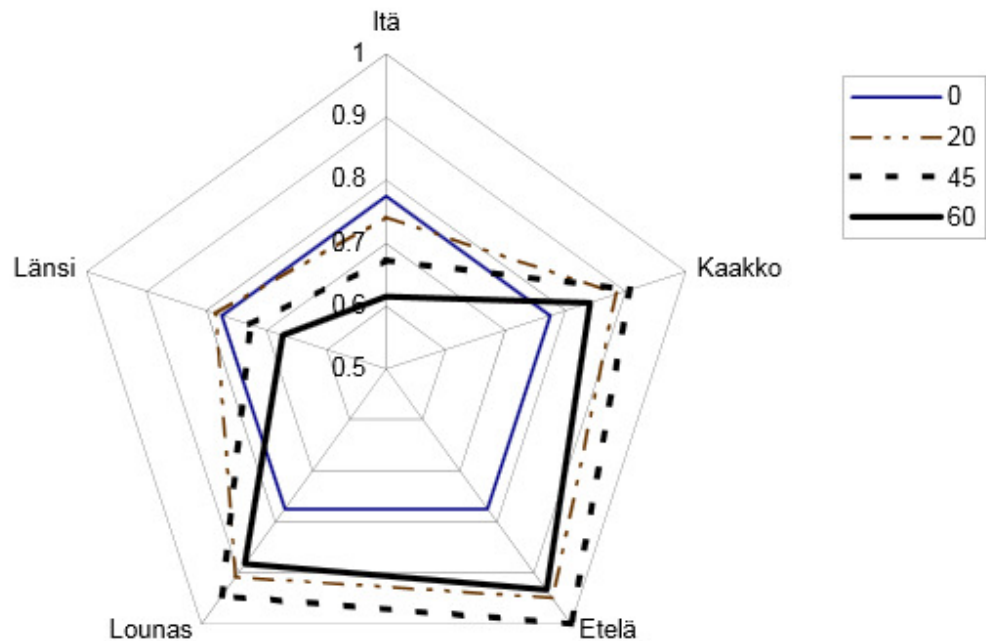
2.3.5 Keräinten suuntaus

Jotta aurinkokeräimiä voidaan hyödyntää tehokkaasti, on keräin suunnattava oikein. Keräin on suunnattu oikein silloin, kun sillä saadaan kerättyä talteen mahdollisimman paljon energiaa. Tämä tarkoittaa keräimen suuntaamista kohti aurinkoa. Aurinko kuitenkin näennäisesti liikkuu taivaalla päivän aikana, jolloin aamulla hyvin suunnattu aurinkokeräin ei olekaan iltopäivällä enää oikein suunnattu. Vaihtoehtoina on muuttaa keräimen asentoa jatkuvasti päivän aikana tai kompromissina asettaa keräin siihen asentoon, jossa sen tuotto on mahdollisimman suuri päivän aikana.

Aurinkokeräimen asentoa kuvataan kahdella termillä: suuntakulmalla ja kallistuskulmalla. Suuntakulma eli atsimuutti kertoo keräimen rintamasuunnan poikkeaman etelästä asteina. Poikkeama itään ilmoitetaan negatiivisena kulmana, vastaavasti läntinen poikkeama positiivisena kulmana. Tällöin suuntakulma voi saada arvot väliltä $-90^{\circ} \dots +90^{\circ}$, arvon -90° ollessa ilmansuuntana itä, 0° etelä ja $+90^{\circ}$ länsi. Kallistuskulma tarkoittaa keräimen kulmaa suhteessa vaakasuoraan pintaan, esim. kallistuskulma 90° tarkoittaa keräimen olevan pystysuorassa, 0° puolestaan vaakasuorassa. [3.]

Auringon asemaa taivaalla kuvataan suuntakulmalla (atsimuutti) sekä korkeuskulmalla. Suuntakulma ilmoitetaan vastaavasti kuin keräimen suuntakulma (arvot $-90^{\circ} \dots +90^{\circ}$). Auringon korkeuskulma ilmoitetaan myös asteina, kulma saa arvoja väliltä $0^{\circ} \dots 90^{\circ}$. Suomessa auringon suurin korkeuskulma on 53° . [3.]

Kuvassa 7 on esitetty aurinkokeräimen eri kulmien vaikutusta keräimen lämmöntuottoon. Kuvan viisikulmainen taustaviivoitus ilmaisee keräimen suhteellisen lämmöntuoton, suurimman arvon ollessa 1. Eri väreillä piirretyt yhtenäiset viivat, katko- ja kaksoispistekatkoviivat puolestaan ilmoittavat keräinten eri kallistuskulmat.



KUVA 7. Aurinkokeräimen suuntaus- ja kallistuskulmien vaikutus keräimen vuosittaiseen lämmöntuottoon [10.]

Kuvasta 6 voidaan lukea, että paras keräimen lämmöntuotto saavutetaan keräimen kallistuskulmalla 45° , keräimen ollessa etelään suunnattu (atsimuuttikulma = 0°). Vastaavasti keräimen kallistuskulmalla 20° etelään suunnattuna päästään arvoon 0,95 (5 % maksimiarvoa heikompi) ja kallistuskulmalla 60° arvoon 0,9 (10 % maksimiarvoa heikompi). Yleisesti ottaen suuntaamalla keräin etelään saavutetaan paras tulos keräimen kallistuskulmasta riippumatta. Mikäli kuitenkin suurin lämmöntarve ajoittuu toistuvasti aamu- tai iltapäivään, kannattaa keräin suunnata joko kaakkoon tai lounaaseen. Vastaavasti jos halutaan tehostaa keräimen tuottoa kevättalvella auringon paistaessa matalalta, kannattaa keräimet asentaa pystympään kulmaan 45° sijaan.

Aurinkokeräin voidaan rakentaa siten, että keräimen asentokulmia voidaan muuttaa auringon liikkeitä seuraten. Tämä voi tapahtua automaattisesti tai käsikäytöllä. Seuranta voi olla atsimuuttiseuranta, yhden akselin seuranta tai kahden akselin seuranta.

Atsimuuttiseurannassa keräin kääntyy pystysuoran akselin ympäri idästä länteen kallistuskulman pysyessä samana. Yhden akselin seurannassa keräin kääntyy poikittaisakselinsa ympäri, eli kallistuskulma muuttuu. Kun taas keräimen suunta- ja kallistuskulmaa muutetaan, on kyseessä kahden akselin seuranta. Teoriassa seurantalaitte voi kesäkuukausina nostaa keräinten tuottoa jopa 30 – 60 %. Kuitenkin seurantalaitte vaatii toimiakseen energiaa, jolloin todellinen hyöty jää alhaisemmaksi. Käytännössä usein päästäänkin parhaaseen lopputulokseen sijoittamalla keräimet talon katolle ja suurentamalla hieman keräinpinta-alaa kattamaan hieman virheellisestä suuntauksesta johtuvan tuoton vähenemän.[1;3.]

2.3.6 Aurinkokeräimen hyötysuhde

Aurinkokeräinten hyötysuhde määrittää sen hyödyn, joka auringon lämpöenergiasta saadaan hyödyksi rakennuksen lämmityskäyttöön. Hyötysuhteeseen vaikuttavat mm. keräimen tyyppi (taso- vai tyhjiökeräin), lämpötilatasot (keräimessä kiertävän veden lämpötilan suhde ympäristön lämpötilaan), sekä auringon säteilyteho. Usein aurinkokeräinten hyötysuhteeksi ilmoitetaan luku, joka on aurinkokeräimen hyötysuhde optimoloissa, jolloin keräimellä tuotetaan hyvin matalalämpöistä vettä, sekä ympäristön lämpötila on lähes sama kuin keräimessä kiertävän veden lämpötila. Tämä hyötysuhde on kuitenkin usein kaukana aurinkokeräimen todellista käyttöä vastaavasta hyötysuhteesta. Esim. tuotettaessa vettä, jonka lämpötila on suurempi, kuin ympäristön lämpötila, kasvavat aurinkokeräimen lämpöhäviöt, jolloin aurinkokeräimen hyötysuhde heikkenee. Aurinkokeräimen hyötysuhde voidaan laskea kaavalla (2). [11.]

$$H = H_0 - a(T_m - T_{ymp}) - b(T_m - T_{ymp})^2 \quad (2)$$

missä H = aurinkokeräimen hyötysuhde

H_0 = aurinkokeräimen hyötysuhde, kun keräimen keskimääräinen lämpötila on sama kuin ympäristön lämpötilan

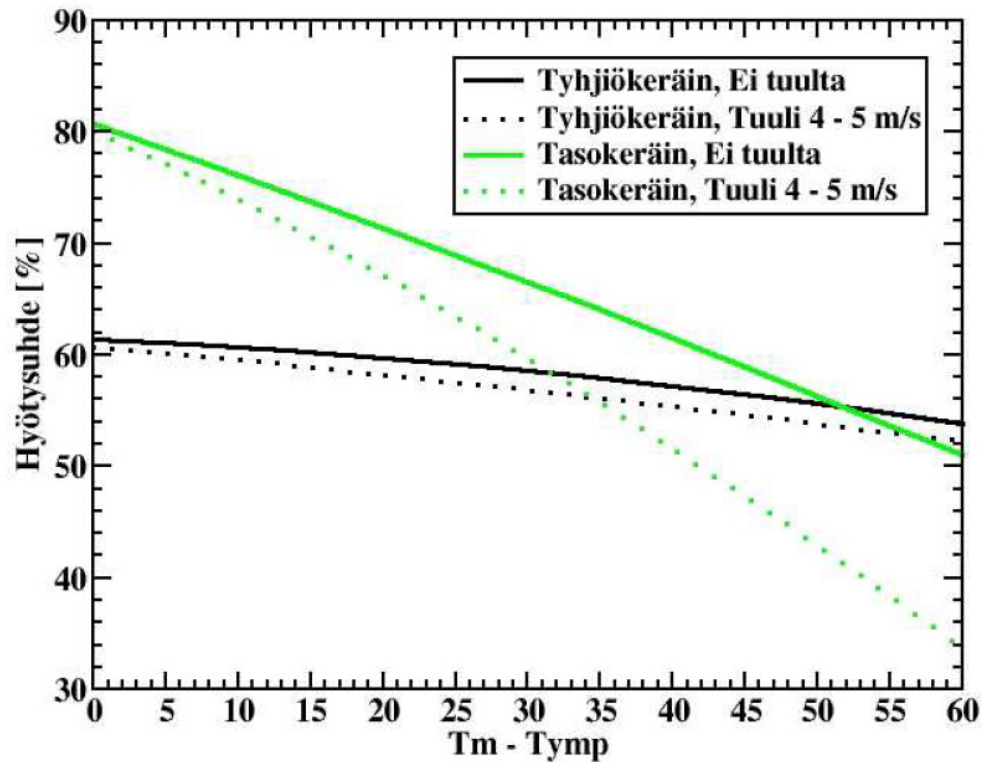
a, b = keräinkohtaiset vakiot

T_m = keräimessä kiertävän nesteen keskimääräinen lämpötila

T_{ymp} = ympäristön lämpötila

Pientalokäytössä on käytössä lähes yksinomaan kahta keräintyyppiä, taso- ja tyhjiöputkikeräin. Molemmilla on omat hyvät ja huonot puolensa. Tasokeräimen eduksi

voidaan laskea halvempi hinta sekä esteettisempi ulkonäkö, tyhjiöputkikeräimen eduksi puolestaan parempi hyötysuhde heikommalla auringonpaisteella, sekä pienemmät lämpöhäviöt ulkoilmaan. Kuvassa 8 on esitetty tyypillisten taso- ja tyhjiöputkikeräinten hyötysuhteet tyynellä säällä, sekä 4-5 m/s tuulella.



KUVA 8. Tyypillisten taso- ja tyhjiöputkikeräinten hyötysuhdekäyrät [11.]

Kuvasta 7 voidaan lukea, että tasokeräimen hyötysuhde heikkenee selvästi tuulenopeuden kasvaessa, kun taas tyhjiöputkikeräimen hyötysuhteeseen tuuli ei mainittavasti vaikuta. Tyhjiöputkikeräimen hyötysuhde pysyy myös melko vakaana lämpötilaeron kasvaessa keräimessä kiertävän veden ja ympäristön lämpötilan välillä. Tämä johtuu tyhjiöputkikeräimen rakenteesta, jokaisessa keräinelementissä oleva tyhjiö toimii erinomaisena lämmöneristeenä lämmönsiirtonesteen ja ulkoilman välillä.

3 LÄMPÖPUMPUT

Lämpöpumpun toiminta perustuu ranskalaisen fyysikon Sadi Carnot'n vuonna 1824 esittelemään termodynaamiseen kiertoprosessiin. Tähän kiertoprosessiin perustuvan lämpöpumpun toimintaperiaatteen joitakin vuosia myöhemmin esitteli englantilainen fyysikko William Thomson, joka tunnetaan myös lordi Kelvininä. Thomson sai lordin

arvonimen pystytyään määrittämään absoluuttisen nollapisteen, $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ensimmäiset lämpöpumput asennettiin rakennuksiin 1920-luvulla. Toisen maailmansodan aikana Sveitsissä käytettiin lämpöpumppuja melko laajalti, sodan jälkeen kuitenkin lämpöpumppujen käyttö hiipui. Uuden tulemisen lämpöpumput kokivat toisen öljykriisin aikana, vuosina 1979 – 1980. Öljykriisin päätyttyä ja öljyn hinnan laskettua kiinnostus kuitenkin jälleen lopahti. Vasta viime vuosina energian hintojen noustua ovat lämpöpumput saavuttaneet jälleen suosiota energianlähteenä. [12.]

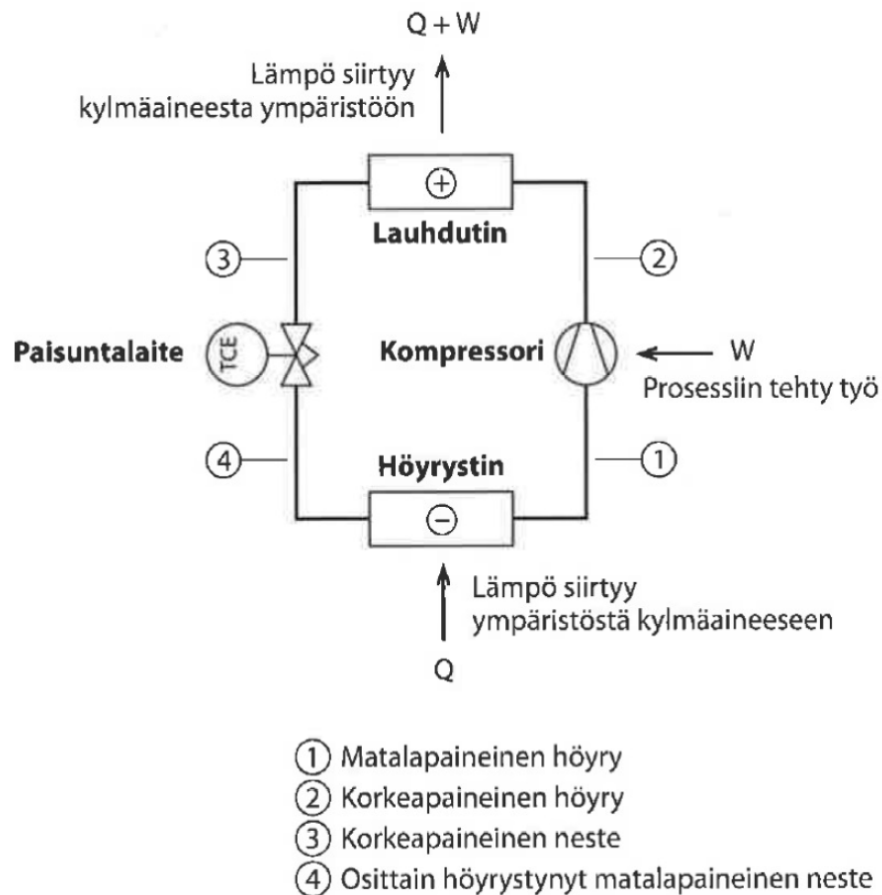
Viime vuosina lämpöpumput ovat kehittyneet voimakkaasti, ja lämpöpumpuista on tullut sarjatuotannon myötä luotettava ja hinnaltaan kilpailukykyinen energianlähde myös pientaloasujille. Vuoden 2012 lopussa Suomessa oli käytössä noin 540 000 lämpöpumppua. Näistä ilmalämpöpumppuja oli noin 450 000 kpl, poistoilmalämpöpumppuja noin 25 000 kpl, ilma/vesilämpöpumppuja noin 10 000 kpl ja maalämpöpumppuja noin 50 000 kappaletta. Uudisrakennuskohteissa nykyisin noin joka toiseen kohteeseen valitaan lämpöpumppu, ja moniin olemassa oleviin kiinteistöihin harkitaan hankittavaksi jonkin tyyppinen lämpöpumppu. [12.]

Lämpöpumput ovat hyviä energianlähteitä, sillä lämpöpumpuilla saadaan hyödyksi, lämpökertoimesta riippuen, lähes aina vähintään kaksinkertainen energiamäärä verrattuna lämpöpumpun toimintaan käytettävään ostoenergiamäärään. Parhaimmillaan hyödyksi saatava energiamäärä voi olla jopa yli viisinkertainen lämpöpumpun toimintaan käytettyyn ostoenergiaan verrattuna. Lämpökerroin riippuu suuresti höyrystymis- ja lauhtumislämpötiloista, paras lämpökerroin saavutetaan höyrystymis- ja lauhtumislämpötilojen ollessa mahdollisimman lähellä toisiaan.

3.1 Lämpöpumpun toimintaperiaate

Kaikkien lämpöpumppujen toiminta perustuu kylmätekniseen kiertoprosessiin. Tässä prosessissa kylmäaine kiertää koneistossa eri painetasoilla, välillä höyrystyen, välillä lauhtuen. Kylmäaineen höyrystyessä kylmäaineeseen sitoutuu lämpöä, joka vapautuu kylmäaineen lauhtuessa. Esimerkiksi ilmalämpöpumpussa kylmäaine höyrystyy ulkoilman lämpötilan vaikutuksesta, ja lauhtuu sisätilojen lämpötilassa, jolloin kylmäaineeseen ulkoilman lämpötilasta sitoutunut lämpöenergia vapautuu hyödyksi sisätiloihin. Laitteiston osaa, jossa kylmäaine höyrystyy, kutsutaan höyrystimeksi, lauhtumin puolestaan on laitteiston osa, jossa kylmäaine lauhtuu eli tiivistyy takaisin nesteeksi.

Muita prosessissa tarvittavia komponentteja on kompressorin ja paisuntaventtiilin. Kuvassa 9 esitetään kiertoprosessin tarvittavat komponentit.



KUVA 9. Kylmäteknisen kiertoprosessin komponentit [13.]

Termodynamiikan 2. pääsäännön mukaan lämpötila siirtyy luonnostaan aina korkeammasta matalampaan lämpötilaan. Höyrystimessä nestemäinen kylmäaine höyrystyy ympäristöä matalammassa lämpötilassa, jolloin ympäristöstä siirtyy lämpöenergiaa kylmäaineeseen. Kylmäaineen höyrystyminen sitoo energiaa. Höyrystimen jälkeen höyrin olomuodossa oleva kylmäaine jatkaa kompressoriin. Kompressorin puristaa höyrystyneen kylmäaineen korkeaan paineeseen, jolloin kylmäaineen lämpötila nousee. Kuuma kylmäaine jatkaa lauhduttimeen, jossa kylmäaine lauhduttaa takaisin nesteeksi luovuttaen itseensä sitoutuneen lämmön ympäristöön. Lauhduttimelta nestemäinen kylmäaine jatkaa paisuntaventtiilille, jossa kylmäaineen paine alenee ja lämpötila laskee. Paisuntaventtiililtä matalapaineinen kylmäaine ohjataan takaisin höyrystimelle, ja kiertoprosessi alkaa alusta. [13.]

3.1.1 Höyrystin ja lauhdutin

Höyrystin on kylmäkoneen osa, joka koostuu lämpöpumppukäytössä yleensä kupari-putkista ja alumiinilamellilämmönsiirtimestä. Höyrystimessä alhaisessa paineessa oleva kylmäaine höyrystyy ympäristöönsä matalammassa lämpötilassa, jolloin kylmäaineeseen sitoutuu lämpöä. Tarkasteltaessa esim. ilmalämpöpumppua lämmitystilanteessa, ilmalämpöpumpun ulkoyksikkö toimii höyrystimenä ja höyrystymiseen tarvittava lämpö otetaan ulkoilmasta. [13.]

Lauhduttimen tehtävänä on lauhduttaa korkeassa paineessa ja lämpötilassa oleva kylmäainehöyry takaisin nesteeksi. Kylmäainehöyryn lauhtuminen nesteeksi vapauttaa huomattavan määrän lämpöenergiaa, joka saadaan hyödyksi ilmalämpöpumpuissa puhaltimen avulla huonetilaan tai vesikiertoisissa järjestelmissä veteen, joka lämmittelee huonetiloja. Ilmalämpöpumppua lämmityskäytössä tarkasteltaessa laitteen sisäyksikkö toimii lauhduttimena, jolloin lauhtumislämpö saadaan hyödyksi huonetilaan. Lämpöpumppukäytössä lauhdutin on höyrystimen tapaan yleensä kupariputkista ja alumiinilamelleista koostuva lämmönsiirrin.[13.]

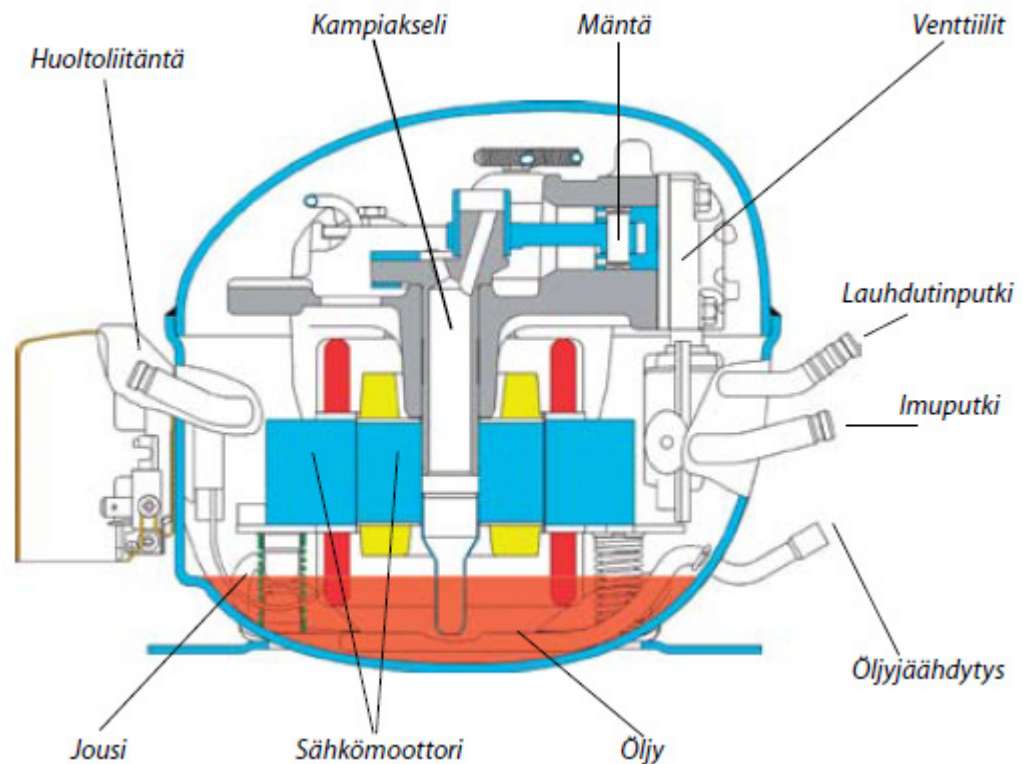
3.1.2 Kompressori

Lämpöpumpun toiminnan kannalta keskeisessä roolissa on kompressori. Kompressorin tehtävänä on puristaa kylmäaine korkeaan paineeseen, jolloin kylmäaine myös lämpenee voimakkaasti. Puristuksessa syntynyt lämpöenergia on tärkeässä osassa lämpöpumpun hyvän toiminnan kannalta. Kompressorityyppejä on olemassa erilaisia, seuraavassa on tutkittu kaksi pientalokäytössä yleisintä kompressorityyppiä.

Mäntäkompressori

Eräs yleinen kompressorityyppi on mäntäkompressori. Mäntäkompressorin toiminta perustuu männän edestakaiseen liikkeeseen. Sähkömoottori pyörittää kampiakselia, johon mäntä on kiertokangon välityksellä yhteydessä. Kampiakselin pyöriessä mäntä liikkuu vuorotellen ylös ja alas. Männän ollessa yläasennossaan (yläkuolokohta) alkaa männän liike alaspäin. Männän yläpuolelle sylinteriin syntyy alipaine, joka avaa imuventtiilit, jolloin kaasumaisessa olomuodossa oleva kylmäaine virtaa sylinteriin. Höyryä virtaa sylinteriin, kunnes mäntä saavuttaa alimman asentonsa (alakuolokohta).

Kylmäaineen virtaus sylinteriin päättyy, ja mäntä aloittaa liikkeen ylöspäin. Tilavuus sylinterissä männän yläpuolella pienenee, jolloin höyryn paine ja lämpötila kasvaa. Kun paine sylinterissä kasvaa yli painekanavassa vallitsevan paineen, avautuvat pakoventtiilit. Mäntä jatkaa liikkettään ylöspäin työntäen samalla kylmäainehöyryn ulos sylinteristä. Männän saavuttaessa yläkuolokohtansa sulkeutuvat pakoventtiilit, ja mäntä alkaa liikkumaan jälleen alaspäin. Sylinteriin jäänyt pieni määrä höyryä paisuu takaisin imupaineeseen. Tätä kutsutaan jälkipaisunnaksi. Kuvassa 10 on esitetty tyypillisen mäntäkompressorin leikkaus. [14.]



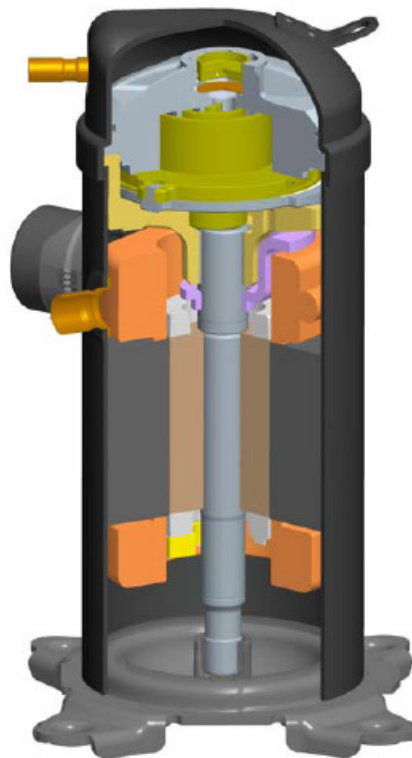
KUVA 10. Mäntäkompressorin leikkaus [15.]

Mäntäkompressorit voidaan rakenteensa puolesta jakaa kolmeen eri tyyppiin: avoimet kompressorit, hermeettiset kompressorit ja puolihhermeettiset kompressorit. Avoimissa kompressoreissa käyttövoiman siirto tapahtuu kompressorin kuoren läpi menevällä akselilla, jota voidaan käyttää esim. hihnapyörän välityksellä. Hermeettinen kompressorin on täysin suljettu rakenne. Kompressorikoneisto sijaitsee umpeen hitsatussa kaasutiiviissä (hermeettisessä) kuoressa. Kuori antaa hyvän suojan pölyltä ja liialta, vaimentaa käyntiääntä sekä toimii hyvänä lämpöeristeenä, jolloin moottorin hukkalämpö jää kylmäaineeseen parantaen näin lämpöpumpun lämpökerrointa. Haittapuolena hermeettisessä rakenteessa on suljetun teräskuoren sisään sijoitetun koneiston korjauksen hankaluus. Lähes aina koneiston vikaantuessa on hermeettinen kompressorin uusit-

tava kokonaan. Huolto- ja korjaustarpeen takia on kehitetty puolihermeettinen rakenne, jossa moottori on irrotettavissa kompressorista. Puolihermeettistä rakennetta ei kuitenkaan käytetä pientalokäyttöön tarkoitettujen kompressorien kokoluokassa. [14.]

Kierukkakompressori

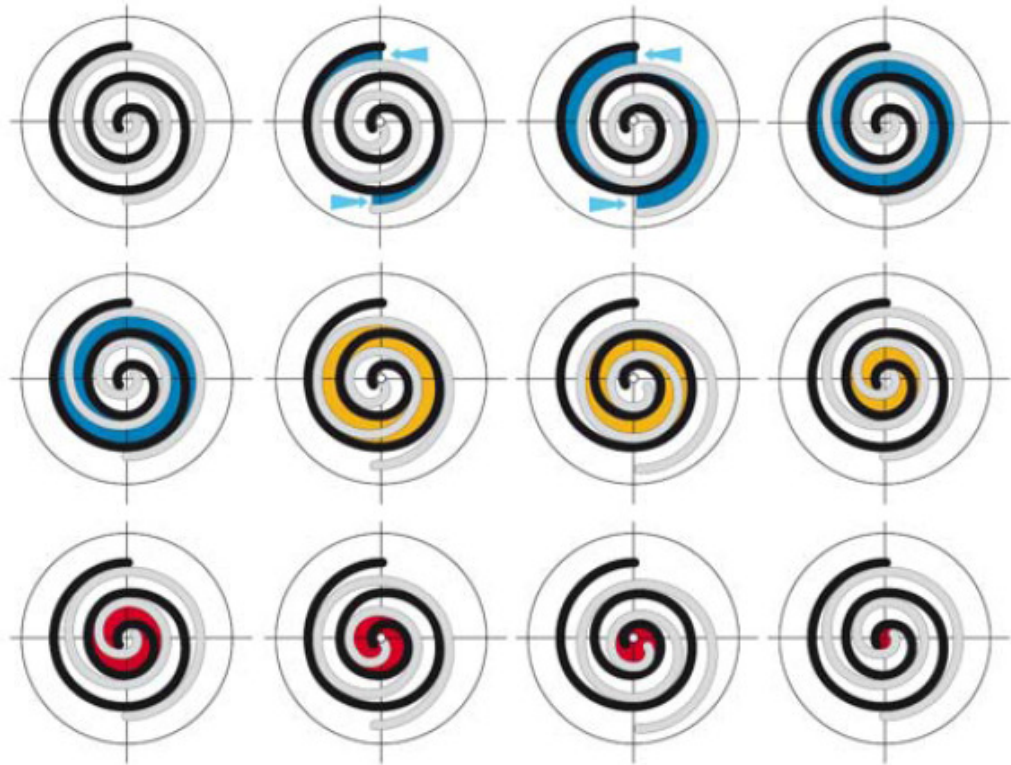
Toinen yleisesti lämpöpumpuissa käytetty kompressorityyppi on kierukkakompressori. Kierukka- eli scroll-kompressorissa kampiakseli on asennettu pystysuoraan, kierukat ovat kampiakselin yläpäässä. Kuvassa 11 on scroll-kompressori auki leikattuna.



KUVA 11. Scroll-kompressori [16.]

Scroll-kompressorin toiminta perustuu kahteen kierukkaan, jotka liikkuvat epäkeskeisesti toistensa suhteen. Toinen kierukoista on kiinteä kierukka, toinen kierukka on liikkuva kierukka. Liikkuva kierukka liikkuu epäkeskeisesti pientä ympyrärataa kiinteän kierukan ”sisällä”. Liikkuva kierukka ei kuitenkaan varsinaisesti pyöri. Puristuksen alkuvaiheessa kierukoiden väliin jäävään vapaaseen tilaan imetään kylmäainehöyryä. Liikkuvan kierukan liikkuessa vapaa tila pienenee ja etenee spiraalimaisesti kohti kiinteän kierukan keskipistettä. Tilavuuden pienentyessä kylmäaineen paine ja

lämpötila kasvavat, kunnes lopulta kylmäainehöyry poistuu kompressorista. Kuvassa 12 on esitetty scroll-kompressorin toiminta puristuksen eri vaiheissa. Kuvassa on esitetty kylmäainehöyryn puristus ja paineen nousun mukanaan tuoma kylmäainehöyryn lämpeneminen, sinisen värin kuvatessa kylmintä lämpötilaa, ja punaisen vastaavasti kuuminta kylmäainehöyryn lämpötilaa.



KUVA 12. Scroll-kompressorin toimintaperiaate [16.]

Kierukkakompressorin etuina mäntäkompressoriin verrattuna voidaan pitää hieman yksinkertaisempaa rakennetta. Esimerkiksi venttiileitä ei tarvita lainkaan, jolloin myös käyntiäänäni on hiljaisempi. [17.]

Lisäksi on olemassa muita kompressorityyppejä, kuten esim. kiertömäntä- ja lamellikompressorit, ruuvikompressorit, ja turbokompressorit. Nämä kompressorityypit eivät kuitenkaan sovellu pientalojen lämpöpumppukäyttöön, vaan ovat tarkoitettuja suurempiin sovelluksiin. [17.]

3.1.3 Paisuntaventtiili

Lauhduttimen jälkeen korkeassa paineessa oleva kylmäaine johdetaan paisuntaventtiilin kautta takaisin höyrystimelle. Paisuntaventtiilissä kylmäaineen paine laskee, sekä osa kylmäaineesta höyrystyy. Paisuntaventtiili myös säätää höyrystimelle ruiskutettavan kylmäaineen määrää. Paisuntaventtiilin toimintaa ohjaa kylmäaineen tulistus höyrystimen jälkeen. Tulistuksen kasvaessa kylmäaineen lämpötila höyrystimeltä lähtevässä imuputkessa nousee. Imuputkeen asennettu tuntoelin välittää lämpötilatiedon paisuntaventtiilille, joka avautuu tai sulkeutuu tarpeen mukaan. Paisuntaventtiili voi olla termostaattinen tai elektroninen. Termostaattisessa paisuntaventtiilissä on kapillaarinen tuntoelin, jota pitkin paine välittyy paisuntaventtiilin kalvon yläpuolelle. Kalvo on yhteydessä neulaan, joka liikkuu alaspäin avaten venttiiliä. Venttiili auetessa lisää kylmäainetta virtaa höyrystimeen. Elektronisessa paisuntaventtiilissä säädin ohjaa paisuntaventtiilin toimintaa imuputkessa olevien lämpötila- ja paineantureiden välittämän tiedon perusteella. Elektroninen paisuntaventtiili voi olla toimintaperiaatteeltaan askelmoottori, pulssittava tai jatkuvasti säätävä. [13.]

3.2 Lämpökerroin

Lämpöpumppujen toiminnan tehokkuutta kuvaa lämpöpumpun lämpökerroin. Lämpökertoimesta käytetään englannin kielestä johdettua lyhennettä COP (Coefficient Of Performance). COP-arvo kertoo, kuinka moninkertaisen määrän energiaa lämpöpumppu kykenee tuottamaan kuluttamaansa energiamäärään nähden. Esimerkiksi lämpökertoimen arvolla 3,5 lämpöpumppu tuottaa 3,5 kilowattituntia lämpöenergiaa jokaista kuluttamaansa kilowattituntia kohti. Koska lämpöpumput tai pikemminkin kylmäkoneiston kompressorit pientalokäytössä poikkeuksetta ovat sähkötoimisia, tarkoittaa COP = 3,5 yhden kilowattitunnin sähköenergiankulutuksella saatavan 3,5 kilowattituntia lämpöenergiaa. [12.]

Lämpöpumppujen niin sanottu Carnot-lämpökerroin lasketaan kaavalla (3)

$$COP = \frac{T_1}{T_1 - T_2} \quad (3)$$

missä COP on lämpökerroin
 T_1 on lauhtumislämpötila, (K)

T_2 on höyrystymislämpötila, (K)

Carnot-lämpökerroin on paras mahdollinen lämpökerroin, jonka lämpöpumppu voi teoreettisesti saavuttaa. Carnot-lämpökerroin olettaa, että lämpöpumppu toimii 100 %:n hyötysuhteella, eikä siinä siten olisi minkäänlaisia häviöitä, tai kone itsessään ei kuluttaisi lainkaan energiaa. Käytännössä todellinen lämpökerroin on aina selvästi pienempi, kuin Carnot-lämpökerroin. [12.]

Lämpöpumppujen markkinoinnissa ilmoitettu lämpöpumppujen hyötysuhde COP on yleensä ilmoitettu standardin SFS-EN 14511-2 mukaan, joskin vanhentuneen standardin SFS-EN 255 mukaan ilmoitettuja lämpökertomia esiintyy yhä. Vanhentunut standardi SFS-EN 255 antaa hieman korkeampia arvoja lämpökertoimille, kuin korvaava standardi SFS-EN 14511, minkä vuoksi standardin hylkäämiseen saattaa esiintyä haittamuuttoa joidenkin lämpöpumppuvalmistajien keskuudessa.

Standardin SFS-EN 14511-2 mukaan ilmalämpöpumppujen hyötysuhde on ilmoitettu ulkoilman lämpötilan ollessa +7 °C ja sisälämpötilan ollessa +20 °C. Ilma- vesilämpöpumpuille COP on ilmoitettu kyseisen standardin mukaisesti ulkoilman lämpötilalla +7 °C ja lämmitysverkoston menoveden lämpötilalla +45 °C. Suomessa kuitenkin huomattava osa lämmityskauden lämpötiloista on alle +7 °C, jolloin kyseinen menetelmä ei ole soveltuva kuvaamaan lämpöpumppujen soveltuvuutta Suomen oloihin. Lisäksi lämmitysverkoston menoveden lämpötila +45 °C ei useimmissa tapauksissa ole riittävä lämpötila. On myös olemassa mahdollisuus, että jotkut lämpöpumppuvalmistajat altistuvat kiusaukselle optimoida lämpöpumpun toiminta juuri +7 °C lämpötilalle, jolloin saavutetaan näennäisesti hyvä hyötysuhde myynnin edistämiseksi. [18.]

Maalämpöpumppujen testausolosuhteiksi standardi SFS-EN 14511-2 määrittää keruupiirin lämpötilan 0 °C, sekä lämmönjakoverkoston menoveden lämpötilan +35 °C. Tämän standardin mukainen hyötysuhde on melko vertailukelpoinen Suomenkin oloissa, mikäli käytössä on lattialämmitys. Käytettäessä muita lämmönjakotapoja kuin lattialämmitys, standardin SFS-EN 14511-2 mukaisesti määritelty hyötysuhde ei ole käyttökelpoinen vertailtaessa eri maalämpöpumppuja toisiinsa, johtuen muiden lämmönjakotapojen vaatimasta korkeammasta menoveden lämpötilatasosta. [18.]

Lämpöpumpun hyötysuhteen kuvaamiseen COP-arvoa käyttökelpoisempi arvo on standardin SFS-EN 14825 mukaan määritetty SCOP (Seasonal Coefficient Of Performance). SCOP-arvo kuvaa lämpöpumpun vuosittaista hyötysuhdetta tietyllä ilmastovyöhykkeellä. Ilmastovyöhykkeitä on kolme, keskimääräinen (Strasbourg), lämmin (Ateena), sekä kylmä (Helsinki). Testauslämpötiloina standardin SFS-EN-14825 mukaan kylmällä ilmastovyöhykkeellä käytetään ilmalämpöpumpuille $-15/+20$ °C (ulko-/sisälämpötila), ilma- vesilämpöpumpuille $-15/+49$ °C (ulko-/menoveden lämpötila), sekä maalämpöpumpuille radiaattorilämmityksellä $+0/+49$ °C (keruuliuksen/menoveden lämpötila) ja maalämpöpumpuille lattialämmityksellä $+0/+32$ °C (keruuliuksen/menoveden lämpötila). [19.]

3.3 Ilmalämpöpumppu

Ilmalämpöpumppu on ulko- ja sisäyksiköstä koostuva pientalokäytössä yleistynyt laite. Ilmalämpöpumppu on täysin itsenäinen laitekokonaisuus, eikä sitä voida kytkeä osaksi muita lämmitysjärjestelmiä, vaan ilmalämpöpumppu on aina rakennuksen lisälämmönlähde. Ilmalämpöpumppu voidaan asentaa mihin tahansa rakennukseen lämmitysjärjestelmästä riippumatta. Ulkoyksikkö on noin 800 mm leveä, 600 mm korkea ja 300 mm syvä koteloitettu kokonaisuus, joka sisältää pääpiirteissään höyrystimen, puhaltimen, kompressorin, paisuntaventtiilin ja ohjauselektroniikan. Sisäyksikkö on noin 800 mm leveä, 300 mm korkea ja 200 mm syvä kokonaisuus joka sisältää yleensä lauhduttimen puhaltimen ja suodattimen. Ilmalämpöpumppu soveltuu hyvin rakennusten lisälämmönlähteeksi, myös kesäaikainen viilennys on ilmalämpöpumpulla mahdollista. Ilmalämpöpumppu on kylmäkone, joka tuottaa lämpöenergiaa sähköenergiasta tietyllä lämpökertoimella. Ilmalämpöpumpulla voidaan tuottaa lämpöä järkevästi noin -15 °C asti, jonka jälkeen lämpökerroin lähestyy yhtä, eikä säästöä enää synny. Tämän vuoksi rakennuksessa on aina oltava jokin muu päälämmönlähde, lisäksi ilmalämpöpumppu tuottaa lämpöä vain siihen tilaan mihin se on asennettu sekä mahdollisesti hieman viereisiinkin tiloihin. Kuvassa 13 on esitetty ilmalämpöpumpun ulkoyksikkö. [12.]



KUVA 13. Ilmalämpöpumpun ulkoyksikkö [20.]

Ulkoyksikkö sijoitetaan rakennuksen ulkoseinustalle, seinään kannakoitujen konsolien päälle tai maanvaraisille perustuksille asennettuna. Seinäasennuksessa kompressorin käyntiääni voi joissakin tapauksissa kantautua sisätiloihin, vaikka ulkoyksikkö on kiinnitetty konsoleihin ääntä vaimentavien kumikannakkeiden avulla. Ulko- ja sisäyksikön välillä kulkee ilmalämpöpumpun kylmäaineputket ja kondenssiviemäri sekä yksiköiden väliset sähköjohdot, joille tulee tehdä seinien läpiviennit, sekä mahdollinen kotelointi. Ulkoyksikön ympärillä on oltava riittävästi tilaa, jotta ilma pääsee vapaasti kiertämään yksikön ympärillä. [12.]

Ilmalämpöpumppu puhalttaa lämmitysilmän huonetiloihin sisäyksikön kautta. Sisäyksikössä on lauhdutin, jonka läpi mennessään puhaltimen aikaan saama ilmavirta lämpenee. Ilmavirta suodatetaan ennen sen puhaltamista lauhduttimen läpi huonetilaan. Suodattimet tulee muistaa puhdistaa säännöllisesti. Sisäyksikön sijoituksessa tulee huomioida ilmalämpöpumpun aiheuttamat mahdolliset ääni- ja veto-ongelmat. Sisäyksikössä on puhallin ja ilmaa puhaltimella liikuttamalla syntyy aina ääntä. Ilmalämpöpumppujen sisäyksikön puhaltimen ääni on yleensä hiljainen, mutta sijoitusta ääniteknisesti haastaviin tiloihin, kuten makuuhuoneisiin ei suositella. Lisäksi puhaltimen aikaan saama ilmavirta voi oleskelualueelle puhallettuna aikaan saada epämiellyttävää vedon tunnetta. Tilanne korostuu kesäaikaan ilmalämpöpumpulla jäähdytettäessä. Sisäyksikön sijoituksessa tulee myös huomioida myös mahdollisuus muiden lämmönlähteiden tuottaman lämmön kierrätykseen. Esim. sijoittamalla sisäyksikkö takan tai leivinuunin läheisyyteen, voidaan näiden tuottama lämpö kierrättää muihin huonetiloihin. Monissa ilmalämpöpumpuissa on tähän tarkoitukseen kehitetty takkatoiminto, joka käynnistää sisäyksikön puhaltimen, mutta varsinainen kylmäkoneisto ei käynnis-

ty. Tällöin sisäyksikkö toimii vain puhaltimena, joka kierrättää lämmintä ilmaa. Kuvassa 14 on esitetty ilmalämpöpumpun sisäyksikkö. [12.]



KUVA 14. Ilmalämpöpumpun sisäyksikkö [20.]

Ilmalämpöpumppua ohjataan kaukosäätimellä. Kaukosäätimellä voidaan valita haluttu sisälämpötila, haluttu puhaltimen nopeus ja ilmanohjainten asento. Ilmalämpöpumppua kannattaa ilmalämpöpumpun COP-arvosta johtuen käyttää ensisijaisena lämmönlähteenä aina kun se on mahdollista, riippumatta rakennuksen päälämmönlähteestä. Huoneen lämmityspatterien termostaatit säädetään ilmalämpöpumpun tavoitelämpötilaa hieman alemmaksi, jolloin huonetilan viilentyessä ilmalämpöpumppu käynnistyy aina ensimmäisenä. Kuitenkin ilmalämpöpumpun käytössä tulee olla tarkkana. Ilmalämpöpumpuissa on automaattiasento, joka tarkoittaa lämpötilan pysymistä automaattisesti asetetussa arvossa. Jos ilmalämpöpumpun ollessa automaattiasennossa aletaan huonetilaa lämmittämään esim. takan avulla, lämpötilan noustessa alkaakin ilmalämpöpumppu jäädyttämään ja aiottu energian säästö muuttuu energiainkuluksi. [12.]

Ilmalämpöpumpulla lämmitettäessä on ulkoyksikössä sijaitsevan höyrystimen pintalämpötila usein alle ilman kastepistelämpötilan. Tämä tarkoittaa sitä, että ilmassa oleva kosteus tiivistyy vedeksi höyrystimen pinnalle. Tämä kondenssivesi valuu ulkoyksikön pohjan läpi maahan ja saattaa rapauttaa rakennuksen perustuksia tai aiheuttaa muita kosteusongelmia. Kondenssivesi kannattaakin ohjata kauemmas perustuksista mikäli mahdollista. Lämpötilan ollessa lähellä nollaa, saattaa ilman kosteus jäätyä suoraan höyrystimen pinnalle. Höyrystimen pintaan kertyvä jää toimii eristeenä höyrystimen pinnalla, eikä höyrystin enää saa tarvitsemaansa lämpöä ulkoilmasta kuten sen kuuluisi. Tämä lisää laitteen energiankulutusta. Ennen kuin jäätä ehtii kertyä liikaa, on jää poistettava. Ns. Nordic-tyyppiset ilmalämpöpumput hoitavat jään sulatusten automaattisesti tunnistamalla sulatusta vaativan jään ja kääntämällä kylmäaineen

virtauksen hetkeksi vastakkaiseen suuntaan, jolloin höyrytimen pinta lämpenee ja jää sulaa. Sulamisvedet valuvat ulkoyksikön alle, johon lämpötilan ollessa pakkasella saattaa kertyä paljonkin jäätä. Käyttäjän on huolehdittava liiallisen jään poistosta ulkoyksikön alta. [12.]

Kesäolosuhteissa ilmalämpöpumpulla jäähdytettäessä ilmalämpöpumpun sisäyksikkö toimii höyrytimenä, johon ilmassa oleva kosteus tiivistyy. Tiivistynyt kosteus johdetaan letkulla kylmäputkien ja sähköjohtojen seassa ulkoyksikölle, jonka luona kondenssivesi johdetaan ulos. Tässä tulee myös huomioida, ettei vettä johdeta paikkaan, jossa se voi aiheuttaa kosteusongelmia. [12.]

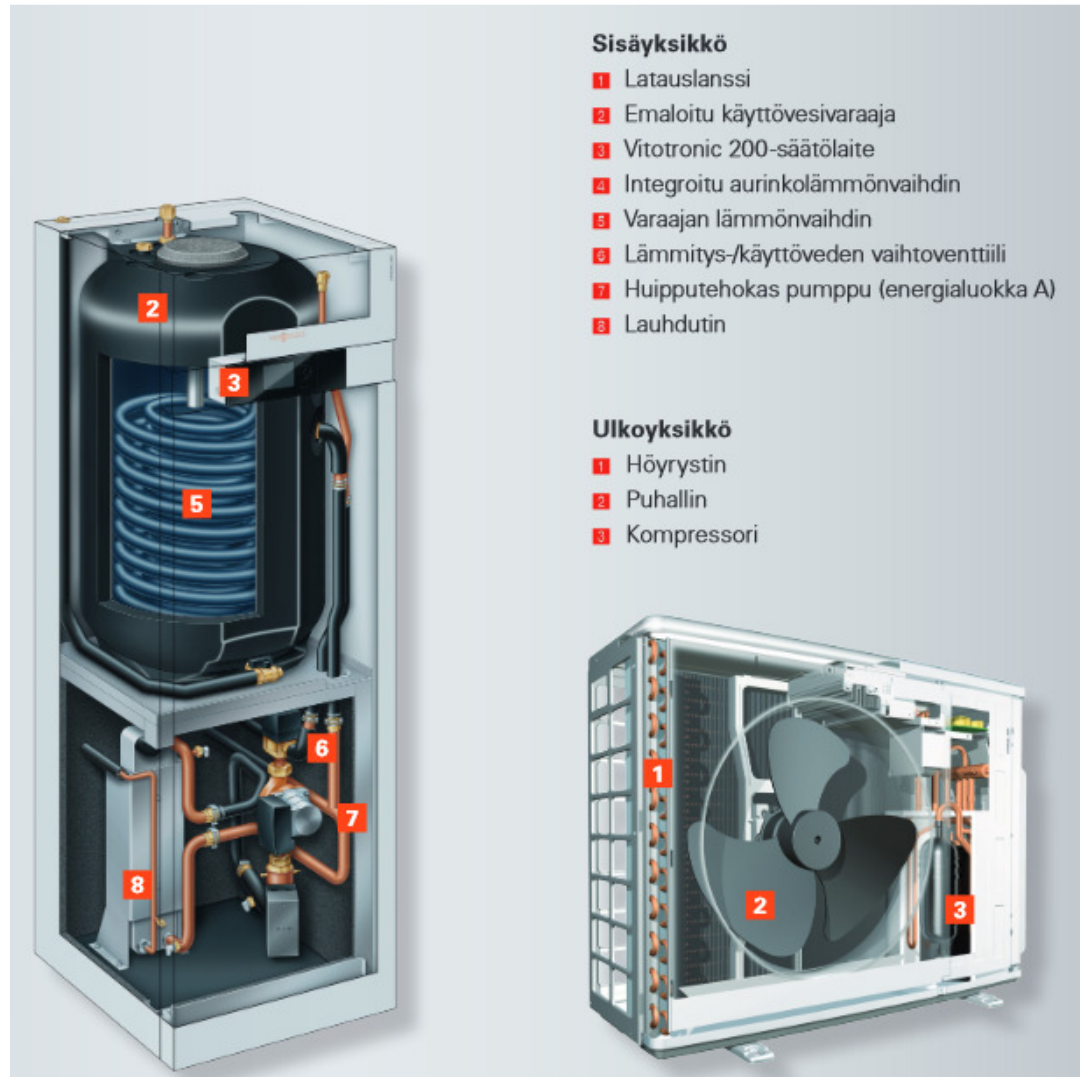
Ilmalämpöpumppuja on markkinoilla laaja valikoima eri ominaisuuksilla varustettuna. Suomen olosuhteisiin ilmalämpöpumppua hankittaessa tulee laitteen olla ns. Nordic-malli. Nordic-mallissa höyrytimen pintaan härmistyneen jään sulatus on automaattinen, ja kompressori on lämmitetty sähkövastuksella. Monissa ilmalämpöpumpuissa on myös ns. peruslämpötoiminto, jolla sisälämpötilan voi alentaa 8 – 10 asteeseen tarvittaessa. Peruslämpötoiminto on käyttökelpoinen esim. varastoissa, autotalleissa ja kesämökeillä. Hyvät ilmalämpöpumput on varustettu taajuusmuuttajakäytöllä. Ilmalämpöpumppuun integroitu taajuusmuuttaja säätelee kompressorin käyntinopeutta kuormituksen mukaan. Asuintiloihin invertteri-ilmalämpöpumppu sopii perinteistä on/off-käyttöä paremmin, sillä sen aiheuttama äänitaso on huomattavasti matalampi. [12.]

3.4 Ilma- vesilämpöpumppu

Ilma- vesilämpöpumppu on lämmönlähde, joka ilmalämpöpumpun tapaan ottaa lämpöä ulkoilmasta ja luovuttaa ulkoilmasta saadun lämpöenergian tietyllä lämpökertoimella ilma- vesilämpöpumpun sisäyksikköön. Sisäyksiköstä lämpö jaetaan huoneistoon perinteisillä vesikiertoisen järjestelmän lämmönjakomenetelmillä, kuten esim. radiaattorein tai lattialämmityksellä. [12.]

Ilma- vesilämpöpumppu koostuu ilmalämpöpumpun tapaan ulko- ja sisäyksiköstä. Ulkoyksikkö on ulkonäöltään hyvin samankaltainen ilmalämpöpumpun ulkoyksikön kanssa. Ulkoyksikön sijoitukseen pätee samat säännöt kuin ilmalämpöpumpun ulkoyksikön sijoitukseen, ulkoyksikkö tulee asentaa paikkaan, jossa sen aiheuttama ääni ei aiheuta häiriötä talon asukkaille. Myös kondenssiveden poistosta on huolehdittava.

Sisäyksikkönä ilma- vesilämpöpumpussa on lämminvesivaraaja, jonka sisällä olevaa vettä lämmitetään. Lämminvesivaraaja putkistovarusteinen voi olla koteloitu siistiksi paketiiksi, jolloin sisäyksikkö voi sijaita rakennuksen asuintiloissa, esim. kodinhoitohuoneessa, tai lämmönjakuhuoneessa. Kuvassa 15 on esitetty eräs ilma- vesilämpöpumppu. [12.]

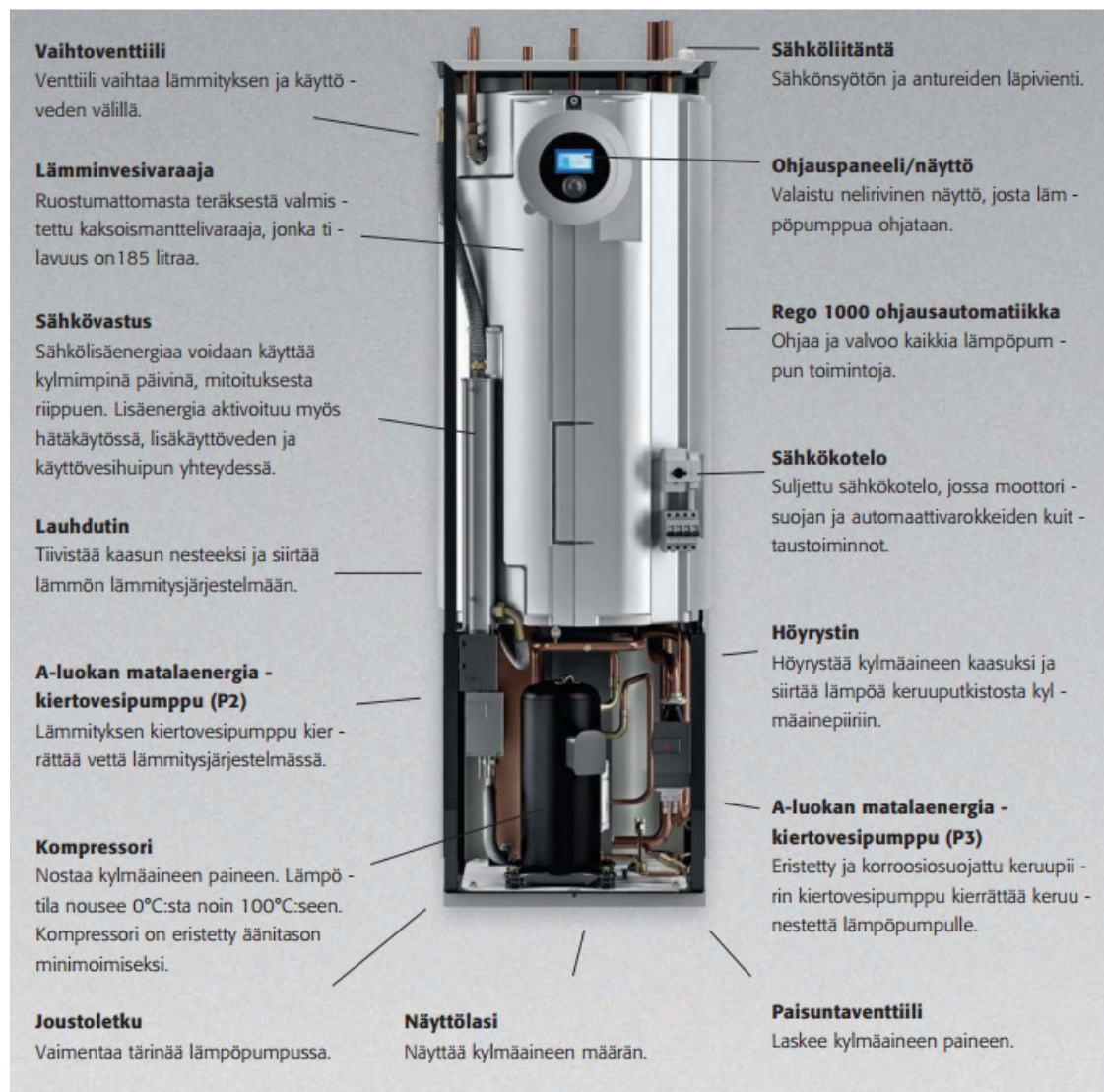


KUVA 15. Ilma- vesilämpöpumppu [21.]

Ilma-vesilämpöpumppu soveltuu päälämmönlähteeksi pientaloihin, tai lisälämmönlähteeksi olemassa olevan järjestelmän rinnalle. Yleinen ratkaisu saneerauskohteissa on jättää nykyinen lämmitysjärjestelmä, esim. öljykattila, lisälämmönlähteeksi. Lämmitys tapahtuu suurimman osan vuodesta ilma- vesilämpöpumpulla, mutta kovilla pakkasilla lämpöpumpun hyötysuhteen heiketessä lämmitys tapahtuu lisälämmönlähteen avulla. Myös aurinkokeräinjärjestelmä on mahdollista liittää ilma- vesilämpöpumppuun.[12.]

3.5 Maalämpöpumppu

Maalämpöpumppu on lämpöpumppu, joka hyödyntää maaperään sitoutunutta lämpöenergiaa. Maaperään on upotettu lämmönkeruuputkisto, jossa kiertää veden ja alkoholin seos. Alkoholi toimii keruupiirissä jäänestoaineena. Tyypillinen seos on 70 % vettä ja 30 % etyylialkoholia. Maaperäistä lämmönkeruunesteeseen sitoutunut lämpöenergia johdetaan maalämpöpumpun höyrystimelle, jossa kylmäaine höyrystyy keruuliuoksen lämpötilan vaikutuksesta. Höyrystynyt kylmäaine johdetaan kompressorille, joka nostaa kylmäaineen painetta ja lämpötilaa. Kompressorilta kuuma ja korkeassa paineessa oleva kylmäaine johdetaan lauhduttimelle, jossa kylmäaine lauhtuu nesteeksi luovuttaen lämpöenergiansa maalämpöpumpun vesitilaan. Lämmennyt vettä käytetään rakennuksen lämmitykseen. Kuvassa 16 on esitetty tyypillinen maalämpöpumppu pääosineen. [12.]



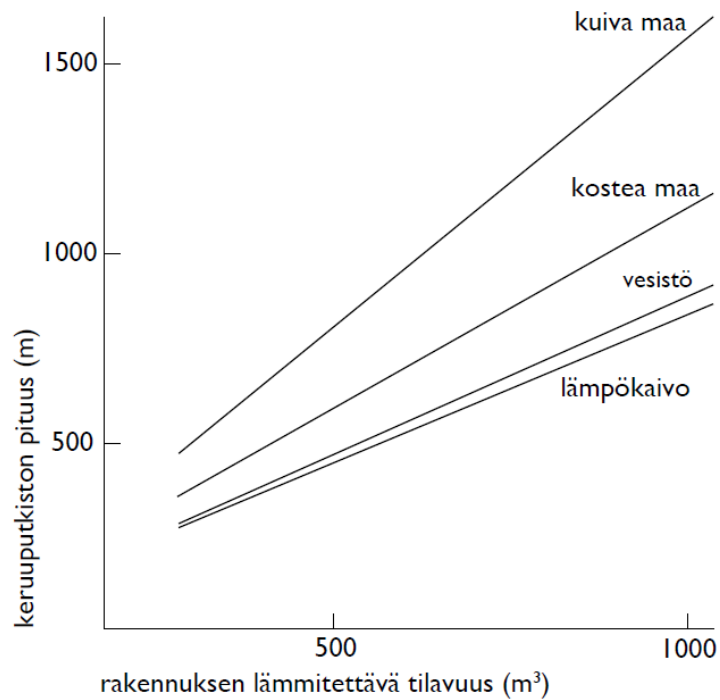
KUVA 16. Eräs maalämpöpumppu pääosineen. [22.]

Maalämpöpumppua voidaan käyttää myös rakennuksen kesäaikaiseen viilentämiseen. Maalämpöpumppua voidaan käyttää viilentämään rakennuksen tuloilmaa, mikäli ilmanvaihtokoneessa on nestekiertoinen jäähdytyspatteri. Jäähdytyspatterin nestekierto kytketään maalämpöpumppuun tätä tarkoitusta varten tehtyihin yhteisiin, jolloin lämmönkeruuputkistossa kiertävä liuos jäähdyttää nesteen erillisen lämmönsiirtimen välityksellä. Jäähtynyt neste johdetaan ilmanvaihtokoneen jäähdytyspatterille, jonka läpi kulkeva tuloilma jäähtyy. Viilennys voi tapahtua myös rakennuksen lämmönjakojärjestelmän (lattia tai radiaattorit) kautta. Lämmönjakojärjestelmän avulla viilennettäessä tulee huomioida, ettei maalämpöpumpulta lähtevän veden lämpötila missään tilanteessa ole alle ilman kastepistelämpötilan. Mikäli maalämpöpumpulta lähtevän veden lämpötila on alle kastepistelämpötilan, tapahtuu lattian tai radiaattorin pinnalla kosteuden tiivistymistä, joka voi johtaa kosteusvaurioon rakennuksessa.

Kesäaikainen viilennys on hyvä ajatus jo asumismukavuuden kannalta, mutta myös maalämpöpumpun toiminnan kannalta. Viilennystilanteessa lämpöä otetaan huonetiloista ja johdetaan ylimääräinen lämpö lämmönkerupiiriin. Huonetiloista viety lämpö ”lataa” lämpöä maaperään, jolloin lämmönlähteen hiipumista voidaan ehkäistä. Ihanteellinen tilanne olisikin, mikäli maaperään voitaisiin kesäaikaan viedä yhtä paljon lämpöä kuin sieltä on lämmityskaudella otettu. Usein tämä kuitenkin ei ole mahdollista varsinkaan pientalokäytössä. [12.]

3.5.1 Maalämmön kerupiiri

Maalämmön kerupiiri koostuu yhdestä tai useammasta putkikilnistä, jonka sisältämä veden ja alkoholin seos lämpenee maaperään sitoutuneen lämmön vaikutuksesta. Maalämmön kerupiiri voidaan upottaa vaakatasossa maaperään tai vesistöön, tai pystysuunnassa lämpökaivoon. Lämmönkeruuputkiston asennustavoilla on eroja maaperästä saatavan lämpöenergian suhteen. Kuvassa 17 on esitetty tarvittavan lämmönkeruuputkiston pituus suhteessa rakennuksen lämmitettävään tilavuuteen erilaisilla keruuputkiston asennustavoilla. Kuvasta havaitaan, että lyhyin keruuputkisto (ts. suurin lämpöenergian saanto putkimetriä kohden) saavutetaan lämpökaivolla, pisin keruuputkisto (ts. huonoin lämpöenergian saanto putkimetriä kohden) puolestaan kuivaan maahan asennettuna. [23.]



KUVA 17. Lämmönkeruuputkiston pituus suhteessa rakennuksen tilavuuteen [23.]

Maahan upotettu keruuputkisto

Vaakatasossa maahan upotettu keruuputkisto voi tulla kyseeseen tontin niin salliessa. Tontin tulee olla riittävän suuri, keruuputkisto vaatii pinta-alaa pientalokokoluokassa noin 600 – 800 m². Maaperän tulee olla hyvin lämpöä johtavaa, kuiva ja sorainen maaperä ei ole maalämmön keruuputkistolle hyvä paikka. Myöskään maaperässä ei saa olla suuria kiviä, jotka voisivat routiessaan vaurioittaa keruuputkistoa. Ihanteellinen maaperä on kostea ja hienojakoinen savimaa. [3.] Keruuputkisto kaivetaan maahan noin 0,7 – 1,2 metrin syvyyteen putkilenkkien välin ollessa noin 1,2 - 1,5 metriä. Putkistona käytetään normaalia vesijohtoputkea, kokoluokka DN 32 – DN 50. Maksimipituus keruuputkistolle on noin 400 m, johtuen kasvavista pumppauskustannuksista. Maaperästä saatava vuotuinen lämpöenergia Etelä-Suomessa on noin 50 – 60 kWh putkimetriä kohden savimaassa ja noin 30 – 40 kWh putkimetriä kohden hiekamassa. Kuvassa 18 on esitetty periaatekuva maaperään upotetusta maalämmön keruupiiristä. [23.]



KUVA 18. Maaperään upotettu keruupiiri [24.]

Vesistöön upotettu keruuputkisto

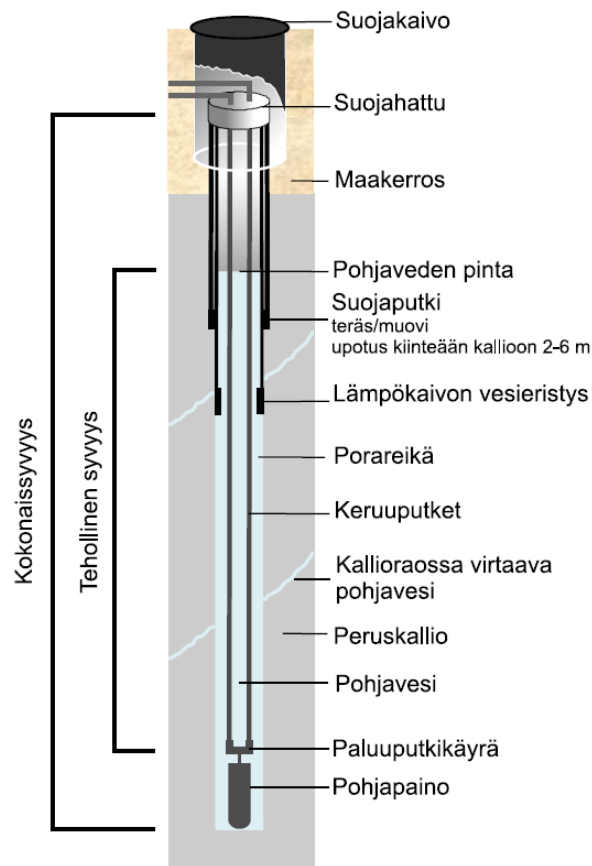
Rantatonteilla on mahdollisuus asentaa keruuputkisto veteen. Vesistöön upotettaessa keruuputkisto varustetaan lisäpainoilla, jotta putkisto pysyy vesistön pohjassa. Vesistöön upotettaessa vältetään maaperän kaivukustannuksilta, putkiston upottamiseen vaaditaan kuitenkin aina vesialueen omistajan lupa. Maahan upotetun keruupiirin tapaan keruupiirin maksimipituus on noin 400 m. Vesistöön upotetusta keruupiiristä vuodessa saatava lämpöenergia on noin 70 – 80 kWh/putkimetri. Kuvassa 19 on esitetty periaatekuva maalämmön keruupiiristä vesistöön asennettuna.[12.]



KUVA 19. Vesistöön upotettu keruupiiri [24.]

Lämpökaivo

Maalämmön keruuputkisto voidaan myös asentaa tarkoitusta varten porattuun lämpökaivoon. Lämpökaivo on porakaivo, jonka porareikään lämmönkeruuputkisto laskeetaan. Lämpökaivo on nykyisin yleinen ratkaisu ja se sopii hyvin pienemmillekin tonteille. Toisaalta poraamalla useampia lämpökaivoja saadaan maaperästä lämpöenergiaa suurienkin kiinteistöjen tarpeisiin. Lämpökaivon poraussyvyys on noin 100 m, maksimisyvyys on noin 200 m. Reiän halkaisija on noin 140 – 200 mm. Lämpökaivolla saatava lämpöenergia on hieman parempi kuin vesistöön asennetulla keruuputkistolla, noin 100 kWh/putkimetri vuodessa. Kuvassa 20 on esitetty tyypillisen lämpökaivon periaatekuva. [23.]



KUVA 20. Lämpökaivo [25.]

Ennen porakaivon poraamista tulee selvittää onko poraamista rajoitettu. Esim. joissakin kunnissa lämpökaivon poraaminen on kiellettyä pohjavesialueella. Myös alapuolella mahdollisesti sijaitsevien putkien ja johtojen sijainti tulee selvittää ennen porauksen aloittamista, jotta vältetään vaurioita. Lisäksi tulee ottaa huomioon muut lämpö-

kaivot lähialueella, talousvesikaivot, etäisyys rakennuksista sekä kiinteistön raja. Eräitä suositeltavia minimietäisyyksiä on esitetty taulukossa 2. [25.]

TAULUKKO 2. Lämpökaivon minimietäisyyksiä [25.]

Kohde	Suosittelu minimietäisyys
Energjakaivo	15 m*
Lämpöputket ja kaukolämpöjohdot	3 m**
Kallioporakaivo	40 m
Rengaskaivo	20 m
Rakennus	3 m
Kiinteistön raja	7,5 m*
Kiinteistökohtaisen jätevedenpuhdistamon purkupaikka	Kaikki jätevedet 30 m, Harmaat vedet 20 m [14]
Viemärit ja vesijohdot	3 m (omat putket)-5 m (muiden putket)**
Tunnelit ja luolat	25 m, etäisyys selvitetään tapauskohtaisesti

* porarelan ollessa pystysuora

** etäisyys riippuu maaperän laadusta, kaivussyvyydestä ja kaivantoon sijoitettavista putkista

Lämpökaivon yläosaan asennetaan suojaputki, joka ulotetaan 2 - 6 metriä peruskalli-oon asti. Suojaputken tehtävänä on estää maan ja muun irtoaineksen pääsy lämpökaivoon ja sitä kautta pohjaveteen. Lisäksi lämpökaivo vesieristetään muoviputkella tai betonoimalla varsinaisen suojaputken syvyyttä syvemmälle, jolloin estetään hule- ja kuivatusvesien pääsy kaivoon. Tavallisesti porakaivo täyttyy pohjavedellä muutamman päivän kuluessa porauksesta. Joissakin tapauksissa, jos pinta ei nousekaan kaivo joudutaan täyttämään vedellä. Mikäli vedenpinta ei silti yllä kaivon yläosaan voidaan kaivon yläosa täyttää esim. bentoniitilla, jolloin lämmönsiirtoa kaivosta keruuputkistoon saadaan parannettua. Taso, johon vedenpinta kaivossa nousee, määrittää lämpökaivon tehollisen syvyyden. Vedenpinta on syytä mitata ja tarkistaa lämpökaivon mitoitus toteutuneen tehollisen syvyyden mukaan. [25.]

Keruuputkisto muodostaa U-mallisen paluuputkikäyrän avulla U-kirjaimen muotoisen putkilenkin, joka lasketaan kaivoon pohjapainon avulla. Pohjapaino on tarpeen, sillä keruuputkisto on vettä kevyempi, eikä ilman lisäpainoa laskeutuisi suorana kaivon pohjalle asti. Maan pinnalla kaivo suojataan suojahatulla ja -kaivolla, joiden tehtävänä on estää irtoaineksen pääsy kaivoon. [25.]

3.5.2 Maalämpöjärjestelmän mitoitus

Maalämpöpumppujärjestelmän mitoituksen lähtökohtana on aina kiinteistön lämmitysenergiantarve. Rakennuksen lämmitysenergiantarve riippuu mm. rakennuksen lämmöneristystasosta, maantieteellisestä sijainnista, käyttöveden tarpeesta ja muista lämmönlähteistä rakennuksessa. Lämmönlähteen mitoitukseen vaikuttavat puolestaan maaperän kosteus ja koostumus, sekä lämpökaivoa mitoittaessa myös pohjavesiolosuhteet. Rakennuksen lämmönjakojärjestelmä vaikuttaa maalämpöpumpun hyötysuhteeseen, jolloin lämmönjakotapa vaikuttaa välillisesti myös energianlähteen mitoitukseen. [25.]

Rakennuksen lämmitystarve riippuu suuresti ulkoilman lämpötilasta. Ulkoilman lämpötila vaihtelee voimakkaasti niin vuorokaudessa, kuin vuoden kuluessakin. Keskimäärin rakennusten lämmityskausi alkaa kun ulkoilman lämpötila painuu alle +10°C. Säätilastojen pysyvyyssäyrästä selviää, että Etelä-Suomessa tällaisia päiviä on noin 250 vuodessa. Päiviä, jolloin vuorokauden keskilämpötila on -20°C tai matalampi, on vain muutamia. [12.]

Osatehomitointus

Osatehomitointuksella maalämpöjärjestelmä mitoitetaan kattamaan 60 – 85 % rakennuksen huipputehontarpeesta ja 90 - 99 % rakennuksen vuotuisesta energiantarpeesta. Kovina pakkaspäivinä, jolloin varsinaisen maalämpöpumpun teho ei riitä kattamaan rakennuksen lämpöhäviöitä, tuotetaan puuttuva lämpöenergia esim. sähkövastuksella. Sähkövastuksen käyttö heikentää maalämpöpumpun vuotuista hyötysuhdetta. Kuitenkin osatehomitointuksella maalämpöpumpun teho voidaan optimoida toimimaan paremmalla hyötysuhteella huippupakkasten ulkopuolisen ajan, jolloin käytännössä hyötysuhde ei heikkene lainkaan. [25.]

Osateholle mitoitettu laitteisto on hankintahinnaltaan edullisempi pienemmän maalämpöpumppuyksikön, sekä lyhyemmän keruuputkiston takia täystehomitointukseen verrattuna. Haittapuolena voidaan pitää suurempaa sähköenergian huipputehon tarvetta sähkövastuksen käytöstä johtuen. Tämä voi johtaa rakennuksen pääsulakekoon kasvamiseen ja sitä kautta lisääntyneisiin kustannuksiin koko rakennuksen eliniältä sähköyhtiön periessä korkeampia perusmaksuja suurentuneen pääsulakekoon mukaan.

Täystehomitoitus

Täystehomitoituksessa maalämpöjärjestelmä mitoitetaan kattamaan rakennuksen lämpöenergiantarpeen koko vuoden ajalta, mukaan lukien huippupakkaset. Täystehomitoituksessa maalämpöpumppuyksiköksi valikoituu tehokkaampi malli ja maalämmön keruuputkistosta tulee pitempi. Lisäksi maalämpöpumpun ollessa tehokkaampi, pumpun käyntisyklit ovat lyhyempiä kuin osatehomitoituksessa. Tämä voi huonontaa hyötysuhdetta, sillä kylmäteknisellä prosessilla kestää jonkin aikaa ennen kuin prosessi on vakioitunut ja lämpöpumppu tuottaa lämpöenergiaa optimaalisella hyötysuhteella. Kaikki edellä mainitut seikat nostavat täystehomitoituksen kustannuksia verrattuna osatehomitoitukseen. Hyvinä puolina täystehomitoituksessa voidaan pitää alhaisempaa huipputehon tarvetta sähköverkosta, sekä tietynlaista ”varmuutta”, onhan lämpöpumppu mitoitettu vastaamaan rakennuksen todellista lämpöenergiantarvetta. Tällöin mahdollinen sähköenergian hinnannousu ei vaikuta niin suuresti täysteholle mitoitettuun järjestelmään kuin osateholle mitoitettuun, johtuen osatehomitoituksen vaatimasta lisälämmitysenergiasta, joka usein tuotetaan sähkövastuksella.

Yleisesti maalämpöjärjestelmän mitoitukselta voidaan sanoa, että mitoitus tapahtuu aina tapauskohtaisesti ja mitoitustavan valintaan vaikuttavat monet tekijät. Lämmönkeruupiirin mitoitus tulee aina tehdä rakennuksen todellista lämpöenergiantarvetta vastaavaksi lisättynä varmuusmarginaalilla, myös osatehomitoituksella. Näin varmistetaan lämmöntuoton riittävyys vaikka rakennuksen lämmitysenergiantarve tulevaisuudessa lisääntyisikin, eikä lämmönlähteen hiipumista tapahdu. Lisäksi reilulla keruupiirin mitoituksella saavutetaan pitkän aikavälin hyötynä maalämpöpumpun paremman hyötysuhteen muodossa. [26.]

3.5.3 Lämpimän käyttöveden valmistus maalämpöpumpulla

Lämpimän käyttöveden lämpötilan tulee Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan D1 mukaan olla vähintään $+55^{\circ}\text{C}$. Kyseinen lämpötila on riittävä, jotta ihmiselle haitalliset bakteerit, kuten esim. legionella, kuolevat eivätkä näin pääse saastuttamaan käyttövettä. Kuten luvun 3.5 alussa on selostettu, usein maalämpöpumput suunnitellaan alhaisemmille lauhtumislämpötiloille, eikä niillä sellaisenaan pystytä lämpimän käyttöveden valmistamisessa vaadittaviin lämpötiloihin. Tähän on kuitenkin olemassa erilaisia ratkaisuja, maalämpöpumpun valmistajasta riippuen.

Monesti lämminvesivaraaja on koteloitu samaan koteloon maalämpöpumpun kanssa. Näissä tapauksissa voidaan käyttää muutamaa eri ratkaisua. Eräs ruotsalaisvalmistajien suosima ratkaisu on johtaa lämpöenergiaa lauhduttimelta 3-tieventtiin avulla tarpeen mukaan joko lämminvesivaraajaan tai lämmitysverkostoon. Käyttövettä lämmitettäessä käytetään korkeampaa lauhtumislämpötilaa, huonetilojen lämmityksessä matalampaa. [12.] Tätä ns. ”ruotsalaiskytkentää” ohjataan lämminvesivaraajan asetusarvon mukaan, lämminvesivaraajan lämpötilan saavutettua asetusarvonsa ohjataan lämpöenergia lämmitysverkostoon. [23.]

Toinen laajalti käytössä oleva ratkaisu on tulistinpiiriratkaisu. Tulistusmallisessa lämpöpumpussa on lämminvesivaraaja, josta huonetilojen lämmitykseen menevä vesi otetaan. Käyttövesi esilämmitetään varaajan alaosassa ja lämmitetään loppulämpötilaansa tulistuksenpoistolämmönsiirtimen avulla. Tulistuksen poisto tarkoittaa kompressorilta lähtevän tulistuneen kuumakaasun kuumimman lämmön luovuttamista lämmitettävään kohteeseen erillisen lämmönsiirtimen välityksellä. Tulistuksenpoistimen jälkeen kuumakaasu jatkaa lauhduttimelle, jossa se luovuttaa lämpöenergiansa lämminvesivaraajaan. Tulistinpiiriratkaisussa käyttövesi saadaan lämmitettyä tarvittavan korkeaan lämpötilaan, mutta silti lauhtumislämpötila voidaan pitää alhaisena, jolloin saavutetaan hyvä hyötysuhde. Tulistusmallisessa maalämpöpumpussa lämminvesivaraaja on usein jaettu esim. reikälevyllä kahteen osaan, jotta veden lämpötilakerrostuma tehostuisi. Tulistuksen poistinta (tulistuksen jäähdytintä) kutsutaan usein virheellisesti tulistimeksi. [23.]

Eräät maalämpöpumppuvalmistajat käyttävät erillistä lämminvesivaraajaa käyttövedelle. Näissä maalämpöpumpputyypeissä lämmitysverkostolla on oma lämminvesivaraaja, jossa käyttöveden esilämmityskierukka sijaitsee. Lämmitysverkoston varaajassa esilämmitetty käyttövesi johdetaan lämpimän käyttöveden varaajaan, jossa tarvittava lämpötilan nosto tehdään sähkövastuksella. [23.]

3.6 Lämpöpumput ja lämmönluovuttimet

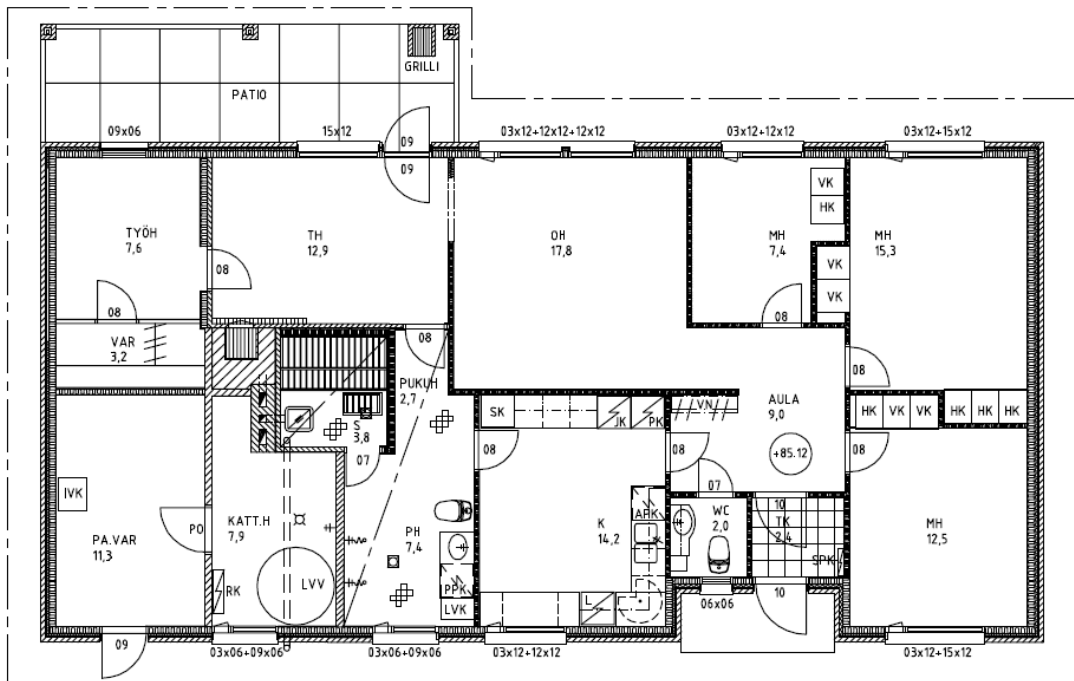
Kuten kylmätekniinen prosessi yleensä, myös maa- ja ilma- vesilämpöpumpusta saadaan suurin hyöty (COP) silloin, kun höyrystymis- ja lauhtumislämpötilat ovat mahdollisimman lähellä toisiaan. Maa- ja ilma- vesilämpöpumpun höyrystymislämpötilaan ei voida vaikuttaa, mutta lämmönjakojärjestelmä kannattaa valita matalaa lauhtumislämpötilaa silmälläpitäen. Ihanteellinen lämmönjakotapa maa- ja ilma- vesilämpöpumppujen yhteydessä on lattialämmitys. Lattialämmityksen mitoituslämpötilat ovat $+35^{\circ}\text{C}$ / $+30^{\circ}\text{C}$. Myös matalalämpöradiaattorit soveltuvat hyvin maa-, sekä ilma-vesilämpöpumppujen lämmönjakotavaksi, joskin mitoituslämpötilat ovat korkeammat kuin lattialämmityksellä ($+55^{\circ}\text{C}$ / $+45^{\circ}\text{C}$), jolloin hyötysuhde jää heikommaksi. Lämpöpumpuilla ei ole taloudellista tuottoa tätä korkeampaa menoveden lämpötilaa lämpökertoimen heikkenemisen takia. Saneerattaessa olemassa olevaa järjestelmää lämpöpumppukäyttöön, tulee aina huomioida nykyisten radiaattoreiden lämmönluovutuskyky matalammalla lämpötilatasolla. Tyypillisesti olemassa oleva järjestelmä on mitoitettu lämmitysveden lämpötiloille $+80^{\circ}\text{C}$ / $+60^{\circ}\text{C}$ tai $+70^{\circ}\text{C}$ / 40°C , jolloin lämpötiloilla $+55^{\circ}\text{C}$ / $+45^{\circ}\text{C}$ radiaattorit eivät mahdollisesti pysty luovuttamaan tarvittavaa lämmitystehoa. Monesti kuitenkin erinäisistä käytännön syistä johtuen radiaattorit ovat alun perin hieman ylimitoitettuja, jolloin siirtyminen lämpöpumppukäyttöön onnistuu radiaattoreita uusimatta. Radiaattoreiden lämmönluovutuskyky tulee kuitenkin aina tarkistaa hankkeen suunnitteluvaiheessa.

4 TUTKIMUS JA ESIMERKKIKOHDE

Työn tutkimusosassa tutkitaan, miten pientalon ostoenergiankäyttöä on mahdollista vähentää. Tutkimus keskittyy taloteknisin menetelmin saavutettavaan ostoenergian säästöpotentiaaliin. Tutkimuksessa tutkitaan erilaisten lämpöpumppujen sekä aurinkokeräinten vaikutusta rakennuksen energialaskuun. Tutkimusta varten laitteistojen vähittäiskauppiaalta on pyydetty tarjous kustakin järjestelmästä asennettuna. Tarjotun järjestelmän ominaisuuksien perusteella arvioidaan kunkin järjestelmän energiansäästöpotentiaali vuositasolla. Mahdollisen säästön perusteella lasketaan laitteistoinvestoinnin takaisinmaksuaika kullekin laitteistolle erikseen. Takaisinmaksuajan perusteella arvioidaan investoinnin kannattavuutta.

4.1 Kohteen kuvaus

Esimerkkikohde on Kouvolan seudulla sijaitseva tiiliverhoiltu puurunkoinen omakotitalo yhdessä tasossa. Talon pinta-ala on noin 110-neliötämetriä, rakennusvuosi on 1983. Talon lämmitysmuotona on varaava vesikiertoinen sähkölämmitys. Lämmönlvovuttimina toimivat teräslevyradiaattorit, mitoituslämpötilat ovat +90/+70 °C. Märkätiloissa on lattialämmitys, joka on kytketty lämmitysverkostoon omalla sekoituskytkennällä. Lämminvesivaraajan tilavuus on 2 m³, varaajassa on 2 kpl 4,5 kW:n sähkövastuksia, sekä 1 kpl 3 kW:n vastus. Kaikki sähkövastukset (yht. 12 kW) lämmittävät varaajaan vesitilassa vettä kellokytkimen ohjaamana yöaikaan (yösähkö), lisäksi pakkauskautena voidaan 3 kW:n vastus valita päälle myös päiväsaikaan, mikäli varaajaan yöaikaan varastoitunut lämpöenergia ei riitä kattamaan rakennuksen energiantarvetta. Lämminvesivaraajassa on lämminvesikierukka lämpimän käyttöveden tuotantoa varten. Rakennuksessa ei ole lämpimän käyttöveden kiertoa. Kuvassa 21 on esitetty rakennuksen pohjapiirustus.



KUVA 21. Esimerkkikohteen pohjapiirustus

4.2 Kohteen nykyinen energiankulutus

Kohteesta on olemassa energiankulutustietoja aiemmilta vuosilta. Koska kohteen lämmitysmuoto on varaava sähkölämmitys yösaikolla, on kaikki rakennuksen läm-

tykseen sekä käyttöveden lämmitykseen kulunut sähkö yösähköä. Rakennuksessa on myös mahdollisuus kytkeä sähkölämmitysvastus päiväsaikaan, mutta kyseistä mahdollisuutta ei ole ollut tarvetta käyttää viimeisten vuosien aikana. Yösähkö kytkeytyy automaattisen kytkinkellon ohjaamana päälle illalla kello 22, pois yösähkö kytkeytyy aamulla kello 7. Käytetyn yösähkön osuus luonnollisesti sisältää myös hieman taloussähköä, mutta yösähkön aikana käytetyn taloussähkön osuus on hyvin pieni suhteessa yösähkön aikana käytettyyn kokonaissähkönkäyttöön. Taloussähkön osuutta yösähkön aikana käytetystä kokonaissähkönkulutuksesta ei huomioida laskelmissa.

Yösähkön aikana käytetty sähköenergia sisältää niin rakennuksen lämmitysenergian, sekä lämpimän käyttöveden valmistukseen kuluvan energian. Rakennuksen lämpimän käyttöveden kulutusta ei ole mitattu. Lämpimän käyttöveden valmistuksen energiankulutus voidaan kuitenkin arvioida rakennuksen kokonaisvedenkulutuksen perusteella. Tyypillisesti lämpimän käyttöveden osuus kaikesta vedenkäytöstä asuinrakennuksissa on 40 %. [27.] Rakennuksen vedenkulutustiedot on esitetty taulukossa 3. Lämpimän käyttöveden energiankulutus voidaan laskea kaavalla (4).

$$Q_{lkv} = \rho_v c_p V_{lkv} (T_{lkv} - T_{kv}) / 3600 \quad (4)$$

missä Q_{lkv} = käyttöveden lämmityksen tarvitsema energia, kWh

ρ_v = veden tiheys, 1000 kg/m³

c_p = veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/kgK

V_{lkv} = lämpimän käyttöveden kulutus, m³

T_{lkv} = lämpimän käyttöveden lämpötila, °C

T_{kv} = kylmän käyttöveden lämpötila, °C

3600 = kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi, s/h

Kohteen sähkönkäyttötiedot, sekä kaavalla (4) sähkönkäyttötiedoista sekä vedenkulutuksesta lasketut lämpimän käyttöveden valmistuksen energiankulutukset on esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Kohteen energiankulutustiedot vuosilta 2011 – 2014

Vuosi	Yösähkö, kWh/a	Päiväsähkö, kWh/a	Vedenkulutus, m ³ /a	Lkv osuus, kWh/a	Lämmityksen osuus, kWh/a
2011	16060	5227	82	1913	14147
2012	15715	4418	79	1843	13872
2013	16607	4292	83	1937	14670
2014	16873	4294	74	1727	15146

4.3 Normeeraus

Ilman keskilämpötila vaihtelee vuosittain, joten rakennuksen vuosittaisia energiankulutustietoja ei voida suoraan verrata toisiinsa. Vertailukelpoisia tuloksia saadaan normeeraamalla energiankulutus paikkakuntaakohtaisten lämmitystarvelukujen avulla. Lämmitystarveluvulla tarkoitetaan rakennuksen sisä- ja ulkolämpötilojen välistä erotusta. Yleisimmin on käytössä lämmitystarveluku S17, jolla tarkoitetaan +17 °C oletetun sisälämpötilan ja ulkolämpötilan vuorokausittaisen keskiarvon välistä erotusta. Yleisesti rakennuksen sähkölaitteet, ihmiset, auringon säteily ym. nostavat rakennuksen sisälämpötilaa, tästä syystä laskennassa käytetty sisälämpötila on oletettu +17 °C:een. Kuukausittainen lämmitystarveluku saadaan laskemalla vuorokausittaiset lämmitystarveluvut yhteen, vuosittainen lämmitystarveluku puolestaan laskemalla kuukausittaiset lämmitystarveluvut yhteen. Mitä kylmempi kyseinen ajanjakso on, sitä suurempi on lämmitystarveluku. Lämmitystarveluvun laskennassa ei oteta huomioon niitä päiviä, jolloin vuorokauden keskilämpötila keväällä ylittää +10 °C ja syksyllä +12 °C. Rakennuksella ei oleteta olevan lämmitystarvetta ulkolämpötilan ylittäessä em. vuorokausittaiset rajat. Normeerattu vuosittainen energiankulutus lasketaan kaavalla (5). [28.]

$$Q_{norm} = \frac{S_{N \text{ vpkunta}}}{S_{toteutunut \text{ vpkunta}}} \times Q_{toteutunut} \quad (5)$$

missä Q_{norm} = normeerattu energiankulutus, kWh

$S_{N \text{ vpkunta}}$ = normaalivuoden lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla

$S_{toteutunut \text{ vpkunta}}$ = toteutunut lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla

$Q_{toteutunut}$ = toteutunut kiinteistön lämmitysenergiankulutus, kWh

Kaavaa (4) käytettäessä tulee huomioida, että sellaisenaan kaava soveltuu vain kiinteistön lämmitysenergiankulutuksen seurantaan. Lämpimän käyttöveden valmistukseen käytettyä energiaa ei tule sisällyttää laskentaan. Lisäksi kaava (5) soveltuu vain saman rakennuksen vuosittaiseen lämmitysenergiankäytön normeeraukseen. Haluttaessa verrata eri paikkakunnilla sijaitsevien rakennusten energiankulutuksia toisiinsa, tulee laskennassa käyttää paikkakuntakohtaisia korjauskertoimia. [28.]

Esimerkkikohteen kaavalla (5) lasketut normeeratut lämmitysenergiankulutukset vuosittain on esitetty taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Rakennuksen normeeratut lämmitysenergiankulutukset

Vuosi	Vertailupaikkakunnan lämmitystarveluku	Toteutunut vertailupaikkakunnan lämmitystarveluku	Käytetty lämmitysenergia	Normeerattu energiankulutus
2011	4392	3926	14147	15826
2012	4392	4427	13872	13762
2013	4392	4023	14670	16016
2014	4392	4073	15146	16333

4.4 Laskentamenetelmät

Rakennuksen ostoenergiankäytön vähentämismahdollisuuksia tutkitaan tekemällä kannattavuuslaskelmia eri järjestelmistä (aurinkokeräimet / lämpöpumput) asennettuna joko korvaamaan nykyinen lämmönlähde, tai toimimaan lisälämmönlähteenä nykyisen järjestelmän rinnalla. Laskennassa käytetään nykytilanteen sähköenergiankulutuksena vuosien 2011 – 2014 toteutuneiden normitettujen energiankulutuksien keskiarvoa, eli tässä tapauksessa arvoa 15484 kWh/a. Laskenta tapahtuu arvioimalla kunkin järjestelmän mahdollinen ostoenergian säästöpotentiaali ja laskemalla mahdollisten säästöjen ja vaadittavan investoinnin avulla laitteiston takaisinmaksuaika. Lisäksi investoinnin kannattavuutta arvioidaan nykyarvomenetelmällä. Laskennassa sähköenergian hintana käytetään toteutunutta sähköenergian ja siirtomaksun summan keskiarvoa väliltä 1.1.2015 – 31.3.2015. Ko. aikavälillä sähköenergian kokonaishintojen keskiarvo oli 11,84 snt/kWh [29.], joka on myös laskennassa käytettävä sähköenergian hinta.

Takaisinmaksuajalla tarkoitetaan sitä aikaa vuosina, jolloin investointi on aikaan saamallaan säästöillä säästänyt oman hankintahintansa. Takaisinmaksuaika lasketaan kaa-

valla (6). Tyypillisesti hyväksyttävänä takaisinmaksuaikana voidaan pitää 10 vuotta, joissakin tapauksissa jopa 15 vuotta.

$$T_{ma} = \frac{I}{T_n} \quad (6)$$

missä T_{ma} = investoinnin takaisinmaksuaika (a)

I = investoinnin arvo (€)

T_n = investoinnin nettotuotto (€)

Investoinnin nettotuotolla tarkoitetaan sitä rahamäärää vuositasolla, jonka investointi pystyy pienemmällä ostoenergiankulutuksellaan säästämään verrattuna nykyjärjestelmään. Kaavasta (3) havaitaan, että nettotuoton pienentyessä, kasvaa takaisinmaksuaika, ja päinvastoin. Mahdollisimman pieneen takaisinmaksuaikaan päästään mahdollisimman suuren nettotuoton avulla.

Mikäli investointi rahoitetaan lainavaroin, on hyvä menetelmä investoinnin kannattavuuden arviointiin ns. nykyarvomenetelmä. Nykyarvomenetelmällä järjestelmän tulevat vuosittaiset nettotuotot diskontataan nykyhetkeen valitulla korkokannalla. Korkokannan vähimmäistasona on pidettävä investointiin vaadittavan lainan todellista vuosikorkoa. Mikäli investoinnilta odotetaan tuottoa, voidaan korkokanta asettaa suuremmaksi. Lähtötietoina nykyarvomenetelmällä tehtäviin laskutoimituksiin tarvitaan korkokanta, hankintakustannus, järjestelmän pitoaika, vuotuiset tuotot ja kustannukset sekä investoinnin jäännösarvo pitoajan päätyttyä. Laskennassa käytetään järjestelmien todellisia hankintakustannuksia, todellisia tuottoja ja kustannuksia, sekä pitoaikana 15:a vuotta. Lisäksi haetaan lyhin mahdollinen pitoaika, jolla investointi on vielä kannattava. Nykyarvomenetelmällä laskettua investointia voidaan pitää kannattavana, mikäli nettotuotot diskontattuna nykyhetkeen ylittävät järjestelmän hankintainvestoinnin tietyllä pitoajalla. Järjestelmien jäännösarvon oletetaan pitoajan loputtua olevan 100 €. Korkokantana nykyarvomenetelmällä suoritettussa laskennassa on käytetty Suomen Rahatiedon tutkimaa kulutusluoton todellisten korkojen keskiarvoa marraskuulta 2014. Suomen Rahatiedon tutkimaa kulutusluoton todellisten vuosikorkojen keskiarvo marraskuussa 2014 oli 6,24 %. [30.]

Järjestelmien mahdollinen säästöpotentiaali arvioidaan eri järjestelmistä saatujen tarjousten perusteella, perustuen laitevalmistajien määrittelemiin hyötysuhteisiin. Hyötysuhteiden avulla saatuja ostoenergiankulutustietoja verrataan järjestelmittäin esimerkkikohteen nykyiseen lämmitysenergiankulutukseen.

4.4.1 Aurinkokeräimet

Aurinkokeräimet ovat aina rakennuksen lisälämmönlähteitä, koska käytännössä vain kesäaikaan auringosta saadaan riittävästi energiaa hyödynnettäväksi. Kesäaikaan ei kuitenkaan juuri esiinny rakennuksen lämmitystarvetta, sen sijaan lämmintä käyttövetä tarvitaan kesälläkin. Hyvin käyttökelpoinen aurinkoenergian hyödyntämistapa onkin lämpimän käyttöveden valmistus. Laskenta on tehty sillä oletuksella, että aurinkoenergiaa käytetään vain lämpimän käyttöveden valmistukseen. Laskenta on tehty Suomen Rakentamismääräykokoelman osan D5: Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta-ohjekokoelman tueksi tehdyn Aurinko-opas 2012: Aurinkolämpöjärjestelmän tuotto-laskentakaavoilla. [31.] Aurinko-opas 2012 antaa kaksi menetelmää aurinkolämpöjärjestelmien tuoton laskentaan, yksinkertaisen ja yksityiskohtaisen menetelmän. Laskenta on suoritettu käyttäen yksityiskohtaista laskentamenetelmää.

Aurinkolämpöjärjestelmän tuotto lasketaan kaavalla (7):

$$Q_{tuotto,A} = c_{tyyppi}(aY + bX + cY^2 + dX^2 + eY^3 + fX^3) \times Q_{tarve,A} \quad (7)$$

missä $Q_{tuotto,A}$ = aurinkolämpöjärjestelmän tuotto tarkastelujaksolla (kWh)

C_{tyyppi} = varaajatyypin korjauskerroin. Korjauskertoimena tässä kansallisessa menetelmässä käytetään aina $C_{tyyppi} = 1$.

a, b, c, d, e, f = varaajatyypistä riippuvia kertoimia. Tässä kansallisessa laskentamenetelmässä käytettäville järjestelmille

$$a = 1,029$$

$$b = -0,065$$

$$c = -0,245$$

$$d = 0,0018$$

$$e = 0,0215$$

$$f = 0$$

X = häviöt/tarve-suhde

Y = tuotto/tarve-suhde

$Q_{\text{tarve, A}}$ = aurinkolämpöjärjestelmiin kohdistuva lämmöntarve (kWh)

Suureet X ja Y sisältävät useita laskutoimituksia, joiden tekijöinä ovat mm. keräinten pinta-ala, keräinkohtaisia vakioita sekä auringon säteilyenergioita ja erilaisia korjauskertoimia. Suureiden X ja Y laskentamenetelmät on kuvattu tarkemmin Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan D5: Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystekohontarpeen laskenta – ohjekokoelman tueksi laaditussa Aurinko-opas 2012:ssa.

Aurinkokeräinjärjestelmän kiertopumppujen energiankulutus lasketaan kaavalla (8):

$$W_{\text{aurinko,pumput}} = P_{\text{pumppu,i}} \times t_{\text{pumppu,i}} \quad (8)$$

missä $P_{\text{pumppu,i}}$ = yksittäisen pumpun teho, kW

$T_{\text{pumppu,i}}$ = pumpun käyttöaika, h

Aurinko-opas 2012:n mukaan voidaan pumpun tehon suunnitteluarvona käyttää kaavalla (9) laskettavaa tehoa, mikäli kiertopumpun todellista tehoa ei ole saatavilla.

$$P_{\text{pumppu,i}} = \frac{50+5 \times A_{\text{aurinkokeräin}}}{1000} \quad (9)$$

missä $P_{\text{pumppu,i}}$ = yksittäisen pumpun teho, kW

$A_{\text{aurinkokeräin}}$ = kiertopiiriin kytkettyjen aurinkokeräinten pinta-ala, m²

Pumpun käyttöaikana laskennassa käytetään 2000 h/a.

Laskenta on suoritettu eri keräintyypeille (taso- ja tyhjiöputkikeräin), käyttäen kolmea eri kallistuskulmaa (30°, 45° ja 60°). Laskenta on suoritettu etelään suunnatuille keräimille. Laskennassa on käytetty Helsingin säättietoja auringon säteilyenergioita määrittäessä. Laskennassa käytetyt keräinten tekniset tiedot perustuvat todellisiin laitevalmistajien tietoihin. Laskennassa käytetyt energiankulutukset ovat esimerkkikohteen todellisia kulutustietoja. Laskenta on suoritettu Microsoft Excel-
taulukkolaskentaohjelmalla.

Aurinkokeräinten energia-, takaisinmaksuaika- ja nykyarvolaskentaa varten on laite-toimittajalta pyydetty tarjoukset järjestelmäkohtaisesti. Tarjous sisältää aurinkokeräimet (6 m²), 500 l varaajan paisunta- ja varolaitteineen, aurinkokeräimen ja varaajan väliset yhdysputket sekä kattoasennussarjan toimintavalmiiksi kokonaisuudeksi asennettuna. Tarjouksen mukaiset hinnat aurinkokeräimille ovat 8700 € (tasokeräin), sekä 8200 € (tyhjiöputkikeräin). Tarjous ei sisällä sähköteknisiä töitä, eikä nykyisten asennusten purkutöitä.

4.4.2 Lämpöpumput

Lämpöpumppujen energiansäästöpotentiaalia laskettaessa on käytetty apuna Suomen Rakennusmääräyskokoelman D5: Rakennusten energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta-ohjekokoelman tueksi tehtyä Lämpöpumppujen energialaskentaopasta. [32.] Lämpöpumppujen energialaskentaopas antaa lämpöpumppujen energialaskennalle kaksi vaihtoehtoista laskentamenetelmää, yksinkertaistetun ja yksityiskohtaisen laskentamenetelmän. Lämpöpumppujen energialaskenta on suoritettu käyttäen yksinkertaistettua laskentamenetelmää.

Laskennan lähtötietoina tarvitaan rakennuksen mitoituslämmitysteho sekä aiotun lämpöpumpun nimellisteho. Näiden tietojen perusteella voidaan arvioida lämpöpumpun tuottamaa tilojen ja lämmitysenergiaa käyttäen apuna Lämpöpumppujen energialaskentaoppaan taulukoita 1 – 3. Saatujen tulosten perusteella voidaan laskea lämpöpumpun vaatima lisälämmitysenergia, mikäli lämpöpumpun tuottama energia ei kata rakennuksen kuluttamaa energiaa. Lisälämmitystarpeen laskenta suoritetaan erikseen tilojen lämmitysenergian ja käyttöveden lämmityksen osalta. Laskenta suoritetaan kaavoilla (10) ja (11).

$$Q_{\text{lisälämmitys,tilat}} = \left(1 - \frac{Q_{lp}}{Q_{\text{lämmitys,tilat,LKV}}}\right) Q_{\text{lämmitys,tilat}} \quad (10)$$

missä $Q_{\text{lisälämmitys, tilat}}$ = tilojen lisälämmityksen tarve, kWh
 $Q_{lp}/Q_{\text{lämmitys, tilat}}$ LKV = lämpöpumpun suhteellinen lämpöenergia
 $Q_{\text{lämmitys, tilat}}$ = tilojen lämmitysenergian kulutus, kWh

$$Q_{\text{lisälämmitys,LKV}} = \left(1 - \frac{Q_{lp}}{Q_{\text{lämmitys,tilat,LKV}}}\right) Q_{\text{lämmitys,tLKV}} \quad (11)$$

missä $Q_{\text{lisälämmitys,LKV}}$ = käyttöveden lisälämmityksen tarve, kWh
 $Q_{lp}/Q_{\text{lämmitys,tilat,LKV}}$ = lämpöpumpun suhteellinen lämpöenergia
 $Q_{\text{lämmitys,LKV}}$ = käyttöveden lämmitysenergian kulutus, kWh

Mahdollinen lisälämmitysenergia vähennetään rakennuksen kokonaisenergiatarpeesta tilojen lämmitysenergian sekä käyttöveden lämmitysenergian osalta. Laskenta suoritetaan kaavoilla (12) ja (13).

$$Q_{LP,\text{lämmitys,tilat}} = Q_{\text{lämmitys,tilat}} - Q_{\text{lisälämmitys,tilat}} \quad (12)$$

missä $Q_{LP,\text{lämmitys,tilat}}$ = lämpöpumpun tuottama tilojen lämmitysenergia, kWh
 $Q_{\text{lämmitys,tilat}}$ = tilojen lämmitysjärjestelmän energiankulutus, kWh
 $Q_{\text{lisälämmitys,tilat}}$ = tilojen lisälämmitysjärjestelmän energiankulutus, kWh

$$Q_{LP,\text{lämmitys,LKV}} = Q_{\text{lämmitys,LKV}} - Q_{\text{lisälämmitys,LKV}} \quad (13)$$

missä $Q_{LP,\text{lämmitys,LKV}}$ = lämpöpumpun tuottama käyttöveden lämmitysenergia, kWh
 $Q_{\text{lämmitys,LKV}}$ = käyttöveden lämmitysjärjestelmän energiankulutus, kWh
 $Q_{\text{lisälämmitys,LKV}}$ = käyttöveden lisälämmitysjärjestelmän energiankulutus, kWh

Lämpöpumpun ostoenergiankulutus lasketaan kaavalla (14).

$$W_{LP,\text{lämmitys}} = \frac{Q_{LP,\text{lämmitys,tilat}}}{SPF_{\text{tilat}}} + \frac{Q_{LP,\text{lämmitys,LKV}}}{SPF_{LKV}} \quad (14)$$

missä $W_{LP,\text{lämmitys}}$ = lämpöpumpun ostoenergian kulutus
 $Q_{LP,\text{lämmitys,tilat}}$ = lämpöpumpun tuottama tilojen lämmitysenergia, kWh
 SPF_{tilat} = lämpöpumpun SPF-luku tilojen lämmityksessä
 $Q_{LP,\text{lämmitys,LKV}}$ = lämpöpumpun tuottama käyttöveden lämmitysenergia, kWh

$SPF_{LKV} =$ lämpöpumpun SPF-luku käyttöveden lämmityksessä

Lämpöpumppujen energialaskentaoppaassa on annettu lämpöpumppujen SPF-arvot (Seasonal Performance Factor), jotka kuvaavat tyypillisten lämpöpumppujen vuosihyötysuhteita Suomen sääoloissa. Laskennassa käytetyt SPF-luvut vastaavat standardin SFS-EN 14285 mukaisia SCOP-arvoja. Mahdolliset kiertopumppujen sähköenergiankulutukset ovat sisällytetty kunkin lämpöpumpun SPF-lukuun.

Ilmalämpöpumppu

Ilmalämpöpumpun ostoenergiankäytön säästömahdollisuuksia arvioitaessa tulee muistaa, että ilmalämpöpumppu toimii aina rakennuksen lisälämmönlähteenä. Sisäyksikkö pyritään asentamaan aina paikkaan, josta ilmalämpöpumpun tuottama lämpö leviäisi mahdollisimman laajalle rakennukseen. Käytännössä kuitenkin lämpöpumppu lämmittelee vain sitä tilaa, johon se on asennettu, sekä mahdollisesti hieman viereisiä tiloja. Näin ollen ilmalämpöpumpulla voidaan lämmittelee vain osa rakennuksen tiloista. Laskelmissa on oletettu ilmalämpöpumpulla pystyttävän lämmittelemään noin 30 % rakennuksen tiloista. Esimerkkikohteen tapauksessa kyseinen 30 % osuus kohteen lämmitysenergiankäytöstä on 4642 kWh/a.

Ilmalämpöpumpun vuosihyötysuhteena laskennassa käytetään Lämpöpumppujen energialaskentaoppaan ilmoittamaa arvoa 2,8.

Ilmalämpöpumpun energia- ja takaisinmaksuaikalaskentaa varten on laitetoimittajalta pyydetty tarjous ilmalämpöpumpusta asennettuna ja toimintavalmiina kokonaisuutena. Tarjous sisältää 5 kW ilmalämpöpumpun talvikäyttövarustuksella ulko- ja sisäyksikköineen, ulkoyksikön kannakkeet, sekä asennuksen. Tarjouksen mukainen hinta ilmalämpöpumpulle on 1750 €. Tarjous ei sisällä sähköteknisiä töitä.

Ilmalämpöpumpun kuluttama sähköenergia lasketaan kaavalla (15).

$$W_{ilp} = 0,3 \times \frac{Q_{LP,lämmitys,tilat}}{SPF_{ilp}} \quad (15)$$

missä W_{ilp} = ilmalämpöpumpun kuluttama sähköenergia, kWh

0,3 = kerroin, joka ilmoittaa ilmalämpöpumpun osuuden tilojen lämmityksestä

$Q_{LP, \text{lämmitys, tilat}}$ = lämpöpumpun tuottama tilojen lämmitysenergia, kWh

SPF_{ilp} = ilmalämpöpumpun vuosihyötysuhde

Ilmalämpöpumpun tuottamaksi säästökseksi lasketaan tuotetun lämpöenergian ja kulutetun sähköenergian välinen erotus. Tästä erotuksesta voidaan vallitsevalla sähkön hinnalla laskea ilmalämpöpumpun tuottama säästö euroina. Laskenta suoritetaan kaavalla (16).

$$Säästö_{ilp} = 0,3 \times Q_{norm,ka} - (W_{ilp} + Q_{lisälämmitys,tilat}) \times 0,1148 \quad (16)$$

missä $Säästö_{ilp}$ = ilmalämpöpumpun tuottama säästö, €

0,3 = kerroin, joka ilmoittaa ilmalämpöpumpun osuuden tilojen lämmityksestä

$Q_{norm,ka}$ = normeerattujen kulutustietojen keskiarvo, kWh

W_{ilp} = ilmalämpöpumpun kuluttama sähköenergia

$Q_{lisälämmitys,tilat}$ = tilojen lisälämmitysjärjestelmän energiankulutus, kWh

0,1184 = sähköenergian hinta, €/kWh

Kaavalla (16) lasketun ilmalämpöpumpun vuosittaisen keskimääräisen säästön avulla lasketaan investoinnin takaisinmaksuaika sekä järjestelmän nykyarvo.

Ilma- vesilämpöpumppu

Ilma- vesilämpöpumppu voi toimia rakennuksen päälämmönlähteenä tai lämmitysjärjestelmässä voi olla jokin toinen lämmönlähde, usein nykyinen lämmönlähde, joka lämmittää pakkasen ollessa kireimmillään. Kovilla pakkasilla ilma vesilämpöpumpun hyötysuhde lähestyy arvoa 1, joka vastaa suoraa sähkölämmitystä. Lisäksi ilma-vesilämpöpumpun varaajassa oleva sähkövastus kytkeytyy päälle. Huippupakkasten aikaan voikin olla edullisempaa lämmittää jollakin muulla lämmitysmuodolla, esim. öljykattilalla, kuin ilma- vesilämpöpumpulla COP-arvolla 1. Tämän työn esimerkki-kohteen nykyinen lämmitysmuoto on kuitenkin sähkö, jolloin ei ole syytä jättää nykyistä lämmitysmuotoa varalle hoitamaan huippupakkasten lämmitystarve. Lasken-

nassa on oletettu ilma- vesilämpöpumpun sähkövastuksineen kattavan rakennuksen vuosittaisesta energiantarpeesta 100 %. Vuosihyötysuhteena käytetään Lämpöpumpujen energialaskentaoppaan antamaa arvoa 2,2. Lämpöpumpujen energialaskentaoppas antaa eri SPF-lukuja ilma-vesilämpöpumpuille riippuen ilma- vesilämpöpumpun menoveden lämpötilasta, lämpöpumpun hyötysuhde heikkenee menoveden lämpötilan kasvaessa. SPF-luku 2,2 on annettu menoveden lämpötilalla 60 °C. Tätä korkeampaa menoveden lämpötilaa ei ole järkevää käyttää ilma- vesilämpöpumpuissa hyötysuhteen heikkenemisen takia.

Ilma- vesilämpöpumpun laskelmissa on huomioitava, että myös lämpimän käyttöveden tuotanto tapahtuu ilma- vesilämpöpumpulla. Tällöin laskennassa huomioidaan kohteen toteutunut normeerattu lämmitysenergiankulutus, sekä lämpimän käyttöveden valmistukseen käytetty energia. Käyttöveden lämmityksen SPF-luku on Lämpöpumpujen energialaskentaoppaan mukaisesti ilma- vesilämpöpumpulle 1,8.

Ilma- vesilämpöpumpun energia- ja takaisinmaksuaikalaskentaa varten on laitetoimitajalta pyydetty tarjous ilma- vesilämpöpumpusta asennettuna ja toimintavalmiina kokonaisuutena. Tarjous sisältää 11 kW ilma- vesilämpöpumpun sisä- ja ulkoyksikköineen, 500 l lämminvesivaraajan sähkövastuksilla, paisunta- ja varolaitteet, kierto- vesipumpun, sekä muut tarvittavat putkistovarusteet toimintavalmiiksi kokonaisuudeksi asennettuna. Tarjouksen mukainen hinta ilma- vesilämpöpumpulle on 7900 €. Tarjous ei sisällä sähkötekniisiä töitä, eikä nykyisten asennusten purkutöitä.

Ilma- vesilämpöpumpun sähköenergiankulutus lasketaan kaavalla (17).

$$W_{vilp,lämmitys} = \frac{Q_{vilp,lämmitys,tilat}}{SPF_{vilp,tilat}} + \frac{Q_{vilp,lämmitys,LKV}}{SPF_{vilp,LKV}} \quad (17)$$

missä $W_{vilp, lämmitys}$ = ilma- vesilämpöpumpun ostoenergian kulutus
 $Q_{vilp, lämmitys, tilat}$ = ilma- vesilämpöpumpun tuottama tilojen lämmitysenergia, kWh
 $SPF_{vilp, tilat}$ = ilma- vesilämpöpumpun SPF-luku tilojen lämmityksessä
 $Q_{vilp,lämmitys, LKV}$ = ilma- vesilämpöpumpun tuottama käyttöveden lämmitysenergia, kWh
 $SPF_{vilp, LKV}$ = ilma- vesilämpöpumpun SPF-luku käyttöveden lämmityksessä

Ilma- vesilämpöpumpun tuottamaksi säästökseksi lasketaan tuotetun lämpöenergian ja kulutetun sähköenergian välinen erotus. Tästä erotuksesta voidaan vallitsevalla sähkön hinnalla laskea ilma- vesilämpöpumpun tuottama säästö euroina. Laskenta suoritetaan kaavalla (18).

$$\begin{aligned} \text{Säästö}_{\text{vilp}} = & \\ & (Q_{\text{norm,ka}} + Q_{\text{LKV,ka}}) - (W_{\text{vilp}} + Q_{\text{lisälämmitys,tilat}} + \\ & Q_{\text{lisälämmitys,LKV}}) \times 0,1148 \end{aligned} \quad (18)$$

missä

- $\text{Säästö}_{\text{vilp}}$ = ilma- vesilämpöpumpun tuottama säästö, €
- $Q_{\text{norm,ka}}$ = normeerattujen kulutustietojen keskiarvo, kWh
- $Q_{\text{LKV,ka}}$ = lämpimän käyttöveden energiankulutuksen keskiarvo
- W_{vilp} = ilma- vesilämpöpumpun kuluttama sähköenergia
- $Q_{\text{lisälämmitys, tilat}}$ = tilojen lisälämmitysjärjestelmän energiankulutus, kWh
- $Q_{\text{lisälämmitys, LKV}}$ = käyttöveden lisälämmitysjärjestelmän energiankulutus, kWh
- 0,1184 = sähköenergian hinta, €/kWh

Kaavalla (18) lasketun ilma- vesilämpöpumpun vuosittaisen keskimääräisen säästön avulla lasketaan investoinnin takaisinmaksuaika sekä nykyarvo.

Maalämpöpumppu

Maalämpöpumppu toimii yleisesti rakennuksen päälämmönlähteenä tuottaen kaiken rakennuksen tarvitseman lämmitysenergian sekä lämpimän käyttöveden valmistukseen tarvittavan energian. Maalämpöpumpun hyötysuhde ei suoraan riipu ulkoilman lämpötilasta, sillä keruupiirin lämpötila on melko vakio ympäri vuoden. Maalämpöpumpun hyötysuhde kuitenkin heikkenee kovilla pakkasilla, koska lämmitysjärjestelmän menoveden lämpötilaa joudutaan nostamaan. Kovilla pakkasilla maalämpöpumpun teho ei usein yksinään riitä nostamaan menoveden lämpötilaa riittävän korkealle, jolloin apuna joudutaan käyttämään sähkövastuksia. Sähkövastusten käyttö heikentää maalämpöpumpun vuotuista hyötysuhdetta. Laskennassa maalämpöpumpun vuotuis-

na hyötysuhteena on käytetty Lämpöpumppujen energialaskentaoppaan antamaa arvoa 2,5, menoveden lämpötilan ollessa 60 °C.

Ilma- vesilämpöpumpun tapaan maalämpöpumpulla lämmitetään myös lämmin käyttövesi. Lämpimän käyttöveden energiankulutus huomioidaan laskennassa. Käyttöveden lämmityksen SPF-luku on Lämpöpumppujen energialaskentaoppaan mukaisesti maalämpöpumpulle 2,3.

Maalämpöpumpun energia- ja takaisinmaksuaikalaskentaa varten on laitetoimittajalta pyydetty tarjous maalämpöpumpusta asennettuna ja toimintavalmiina kokonaisuutena. Tarjous sisältää 6,5 kW maalämpöpumpun paisunta- ja varolaitteineen sekä muine tarvittavine putkistovarusteineen. Myös lämpökaivon (130 m) poraus keruuputkiston asennuksineen kuuluu tarjouksen piiriin. Tarjouksen mukainen hinta maalämpöpumpukokonaisuudelle on 8800 €, lämpökaivon poraukselle 4640 €. Tarjous ei sisällä sähkötekniisiä töitä, eikä nykyisten asennusten purkutöitä.

Maalämpöpumpun sähköenergiankulutus lasketaan kaavalla (19).

$$W_{mlp,lämmitys} = \frac{Q_{mlp,lämmitys,tilat}}{SPF_{mlp,tilat}} + \frac{Q_{mlp,lämmitys,LKV}}{SPF_{mlp,LKV}} \quad (19)$$

missä $W_{mlp, lämmitys}$ = maalämpöpumpun ostoenergian kulutus

$Q_{mlp, lämmitys, tilat}$ = maalämpöpumpun tuottama tilojen lämmitysenergia, kWh

$SPF_{mlp, tilat}$ = maalämpöpumpun SPF-luku tilojen lämmityksessä

$Q_{mlp,lämmitys, LKV}$ = maalämpöpumpun tuottama käyttöveden lämmitysenergia, kWh

$SPF_{mlp, LKV}$ = maalämpöpumpun SPF-luku käyttöveden lämmityksessä

Maalämpöpumpun tuottama säästö on tuotetun lämpöenergian ja kulutetun sähköenergian välinen erotus. Tästä erotuksesta voidaan vallitsevalla sähkön hinnalla laskea maalämpöpumpun tuottama säästö euroina. Laskenta suoritetaan kaavalla (20).

$$\begin{aligned}
 \text{Säästö}_{mlp} = & \\
 (Q_{norm,ka} + Q_{LKV,ka}) - (W_{mlp} + Q_{lisälämmitys,tilat} + & \\
 Q_{lisälämmitys,LKV}) \times 0,1148 & \quad (20)
 \end{aligned}$$

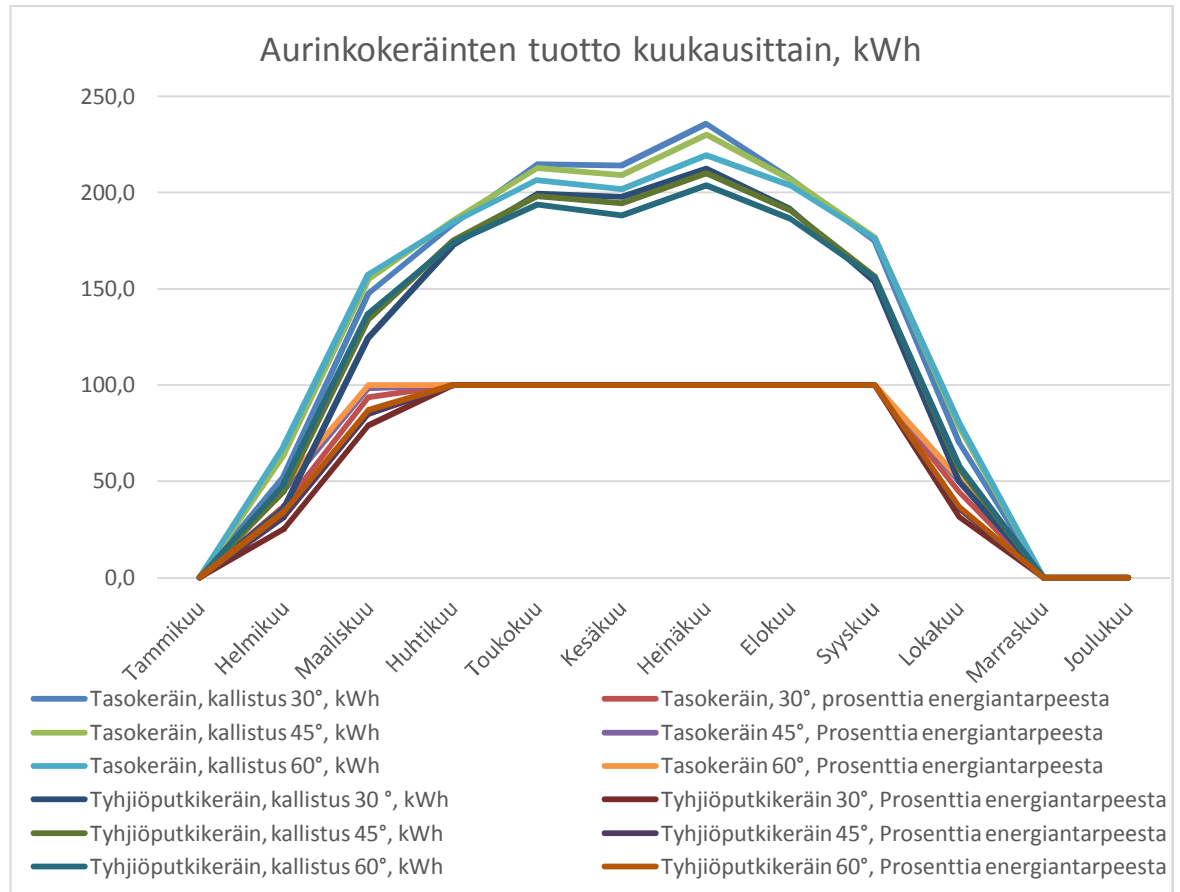
missä Säästö_{mlp} = maalämpöpumpun tuottama säästö, €
 $Q_{norm,ka}$ = normeerattujen kulutustietojen keskiarvo, kWh
 $Q_{LKV,ka}$ = lämpimän käyttöveden energiankulutuksen keskiarvo
 W_{mlp} = maalämpöpumpun kuluttama sähköenergia
 $Q_{lisälämmitys,tilat}$ = tilojen lisälämmitysjärjestelmän energiankulutus, kWh
 $Q_{lisälämmitys,LKV}$ = käyttöveden lisälämmitysjärjestelmän energiankulutus, kWh
0,1184 = sähköenergian hinta, €/kWh

Kaavalla (20) lasketun maalämpöpumpun vuosittaisen keskimääräisen säästön avulla lasketaan investoinnin takaisinmaksuaika sekä nykyarvo.

5 LASKENNALLISET TULOKSET

5.1 Aurinkokeräimet

Aurinkokeräimillä saatava energiamäärä on laskettu kullekin keräintyyppille, sekä kolmelle eri kallistuskulmalle. Kunkin keräintyyppin ja kallistuskulman energiantuotto on laskettu luvussa 4.3.1 esitettyllä kaavalla (7). Kaaviossa 1 on esitetty graafisesti kunkin keräintyyppin energiantuotto eri kallistuskulmilla etelään suunnattuna. Kaaviossa 1 on lisäksi esitetty lämpimän käyttöveden energiantarve, sekä kunkin aurinkokeräimen tuottama prosenttiosuus lämpimän käyttöveden energiantarpeesta eri kallistuskulmilla. Tarkat numeroarvot laskennasta sekä kaavio 1 täysikokoisena on esitetty liitteessä 1.

KAAVIO 1. Aurinkokeräinten energiantuotto.

Kaaviosta 1 huomataan, että tammikuussa sekä marras- ja joulukuussa kaikkien aurinkokeräinten tuotto on 0. Näinä kuukausina auringonpaiste on hyvin vähäistä, sekä keräinten lämpöhäviöt ylittävät auringosta saatavan energiamäärän. Aurinkokeräimet alkavat tuottaa energiaa hyödyksi helmikuussa, jossa saadaan jo noin 30 % lämpimän käyttöveden valmistukseen tarvittavasta energiasta. Huhtikuun ja syyskuun välisenä aikana aurinkokeräimillä pystytään tuottamaan kaikki lämpimän käyttöveden valmistukseen tarvittava energia. Vuositasolla aurinkokeräinten tuottama osuus käyttöveden lämmityksestä on noin 65 %.

Aurinkokeräinten tuottaessa vuosittaisesta käyttöveden lämmitykseen tarvittavasta energiamäärästä noin 65 %, tarvitaan ostoenergiaa korvaamaan vaje tarvittavan energian ja aurinkokeräinten tuottaman energian välillä Taulukossa 5 on esitetty kunkin keräintyyppin tuottama energia, tarvittava energiamäärä, sekä ostoenergian tarve kuukausittain.

TAULUKKO 5. Aurinkokeräinten tuottama energia ja tarvittava ostoenergia käyttöveden lämmitykseen

Kuukausi	Lämpimän käyttöveden energiantarve, kW	Tasokeräin, kallistus 30°, kWh	Tarvittava lisäenergia (ostoenergia), kWh	Tasokeräin, kallistus 45°, kWh	Tarvittava lisäenergia (ostoenergia), kWh	Tasokeräin, kallistus 60°, kWh	Tarvittava lisäenergia (ostoenergia), kWh	Tyhjiöputkikeräin, kallistus 30°, kWh	Tarvittava lisäenergia (ostoenergia), kWh	Tyhjiöputkikeräin, kallistus 45°, kWh	Tarvittava lisäenergia (ostoenergia), kWh	Tyhjiöputkikeräin, kallistus 60°, kWh	Tarvittava lisäenergia (ostoenergia), kWh
Tam	157,5	0,0	157,5	0,0	157,5	0,0	157,5	0,0	157,5	0,0	157,5	0,0	157,5
Hel	142,3	53,1	89,2	64,1	78,2	68,6	73,7	35,9	106,4	45,0	97,3	48,8	93,5
Maa	157,5	147,5	10,1	155,0	2,5	157,4	0,2	124,5	33,0	134,1	23,5	137,3	20,3
Huh	152,5	152,5	0,0	152,5	0,0	152,5	0,0	152,5	0,0	152,5	0,0	152,5	0,0
Tou	157,5	157,5	0,0	157,5	0,0	157,5	0,0	157,5	0,0	157,5	0,0	157,5	0,0
Kes	152,5	152,5	0,0	152,5	0,0	152,5	0,0	152,5	0,0	152,5	0,0	152,5	0,0
Hei	157,5	157,5	0,0	157,5	0,0	157,5	0,0	157,5	0,0	157,5	0,0	157,5	0,0
Elo	157,5	157,5	0,0	157,5	0,0	157,5	0,0	157,5	0,0	157,5	0,0	157,5	0,0
Syy	152,5	152,5	0,0	152,5	0,0	152,5	0,0	152,5	0,0	152,5	0,0	152,5	0,0
Lok	157,5	70,1	87,4	78,5	79,0	80,4	77,1	49,7	107,8	56,6	101,0	58,1	99,4
Mar	152,5	0,0	152,5	0,0	152,5	0,0	152,5	0,0	152,5	0,0	152,5	0,0	152,5
Jou	157,5	0,0	157,5	0,0	157,5	0,0	157,5	0,0	157,5	0,0	157,5	0,0	157,5
Yht.	1855,0	1200,7	654,3	1227,7	627,3	1236,4	618,6	1140,2	714,8	1165,7	689,3	1174,2	680,8

Kunkin keräintyyppin vuodessa säästämä rahamäärä on laskettu taulukossa 6, käyttäen sähköenergian hintana toteutuneiden sähkön kokonaishintojen keskiarvoa vuoden 2015 ensimmäiseltä vuosineljännekseltä. Säästölaskennassa on otettu huomioon kiertovesipumpun kuluttama sähköenergia.

TAULUKKO 6. Aurinkokeräinten säästämä rahamäärä

	Säästetty ostoenergiämäärä, kWh/a	Kiertopumpun kuluttama sähköenergia, kWh/a	Energian hinta, snt/kWh	Säästetty ostoenergiämäärä, €/a
Tasokeräin, 30°	1200,7	160,0	11,84	123,22
Tasokeräin, 45°	1227,7	160,0	11,84	126,41
Tasokeräin, 60°	1236,4	160,0	11,84	127,44
Tyhjiöputkikeräin, 30°	1140,2	160,0	11,84	116,05
Tyhjiöputkikeräin, 45°	1165,7	160,0	11,84	119,07
Tyhjiöputkikeräin, 60°	1174,2	160,0	11,84	120,08

Kunkin aurinkokeräinjärjestelmän takaisinmaksuajat ja nykyarvomenetelmän mukaiset lyhimmät pitoajat, jolla investointi on kannattava, on laskettu taulukossa 7. Laskennan perusteena on käytetty laitetoimittajan antamia hintoja.

TAULUKKO 7. Investointien takaisinmaksuajat ja nykyarvomenetelmän mukaiset lyhimmät pitoajat

	Investointi, €	Säästetty rahamäärä, €/a	Takaisinmaksuaika, a	Lyhin mahdollinen pitoaika investoinnin ollessa kannattava, a
Tasokeräin, 30°	8700,0	123,22	70,61	--
Tasokeräin, 45°	8700,0	126,41	68,82	--
Tasokeräin, 60°	8700,0	127,44	68,26	--
Tyhjiöputkikeräin, 30°	8200,0	116,05	70,66	--
Tyhjiöputkikeräin, 45°	8200,0	119,07	68,86	--
Tyhjiöputkikeräin, 60°	8200,0	120,08	68,29	--

5.2 Lämpöpumput

Lämpöpumppujen energialaskenta on suoritettu Lämpöpumppujen energialaskentaoppaan menetelmien mukaisesti kullekin lämpöpumpputyypille. Laskennassa on käytetty lämmitysverkoston menoveden lämpötilana 60 °C, jonka mukaan myös SPF-luvut määräytyvät. Ilmalämpöpumpun laskennassa on oletettu, että ilmalämpöpumpulla voidaan kattaa 30 % rakennuksen lämmitystehontarpeesta. Laskennassa on huomioitu tarvittava lisälämmöntarve kullekin lämpöpumpputyypille. Sähköenergian hintana laskennassa on käytetty toteutunutta sähköenergian ja siirtomaksun summan keskiarvoa vuoden 2015 ensimmäiseltä vuosineljännekseltä (11,84 snt/kWh). Kunkin lämpöpumpputyypin tuottama lämmitysenergia, tarvittava lisälämmitysenergia, lämpöpumpun kuluttama ostoenergia, sekä yhteensä tarvittava ostoenergiämäärä on esitetty taulukossa 8.

TAULUKKO 8. Lämpöpumppujen energialaskennan tulokset

	SPF-luku, lämmitys	SPF-luku, LKV	Lämpöpumpun tuottama lämmitysenergia, kWh/a	Lämpöpumpun tuottama energia lämpimään käyttöveteen, kWh/a	Tarvittava lisälämmitysenergia, lämmitykseen, kWh/a	Tarvittava lisälämmitysenergia lämpimään käyttöveteen, kWh/a	Lämpöpumpun kuluttama ostoenergiämäärä, kWh/a	Tarvittava ostoenergia yht, kWh/a
Ilmalämpöpumppu	2,8	--	3762,6	--	882,6	--	1343,8	2226,4
Ilma-vesilämpöpumppu	2,2	1,8	13935,6	1669,5	1548,4	185,5	7261,9	8995,8
Maalämpöpumppu	2,5	2,3	14864,6	1780,8	619,4	74,2	6720,1	7413,7

Kunkin lämpöpumpputyypin vuodessa säästämä rahamäärä on laskettu taulukossa 9, käyttäen sähköenergian hintana toteutuneiden sähkön kokonaishintojen keskiarvoa vuoden 2015 ensimmäiseltä vuosineljännekseltä.

TAULUKKO 9. Lämpöpumppujen säästämä rahamäärä

	Säästetty ostoenergiämäärä, kWh/a	Sähköenergian hinta, snt/kWh	Säästetty rahamäärä, €/a
Ilmalämpöpumppu	2418,8	11,84	286,4
Ilma-vesilämpöpumppu	8343,2	11,84	987,8
Maalämpöpumppu	9925,3	11,84	1175,2

Kunkin lämpöpumpputyypin takaisinmaksuajat sekä nykyarvomenetelmän mukaiset lyhimmät pitoajat, jolla investointi on kannattava, on laskettu taulukossa 10. Laskennan perusteena on käytetty laitetoimittajan antamia hintoja.

TAULUKKO 10. Investointien takaisinmaksuajat ja järjestelmien pitoajat, jolla investointi on kannattava

	Investointi, €	Säästetty rahamäärä, €/a	Takaisinmaksu aika, a	Lyhin mahdollinen pitoaika investoinnin ollessa kannattava, a
Ilmalämpöpumppu	1750,0	286,4	6,1	7,5
Ilma-vesilämpöpumppu	7900,0	987,8	8,0	11,5
Maalämpöpumppu	13440,0	1175,2	11,4	20,5

6 TULOSTEN TARKASTELU

Laskennassa saadut tulokset osoittavat, että aurinkokeräimillä ja lämpöpumpuilla on saavutettavissa säästöjä ostetun energian määrässä. Takaisinmaksuajat vaihtelevat järjestelmästä riippuen, mutta etenkin lämpöpumppujen kohdalla takaisinmaksuajat pysyvät kohtuullisina. Seuraavissa kappaleissa käsitellään tarkemmin kutakin järjestelmätyyppiä.

6.1 Aurinkokeräimet

Kaikilla tutkituilla aurinkokeräintyypeillä ja kallistuskulmilla saatiin tuotettua 100 % lämpimän käyttöveden energiantarpeesta huhti- syyskuun välisenä aikana, maaliskuussakin noin 90 % keräimestä riippuen. Keskikesällä aurinkokeräimillä auringosta saatava energia ylitti lämpimän käyttöveden energiantarpeen noin 1,25-kertaisesti. Tammikuussa, sekä marras- joulukuussa ei aurinkokeräimillä saatu lainkaan energiaa hyödyksi.

Huomioitavaa on, että suurin nettotuotto kummallakin aurinkokeräintyyppillä saavutettiin kallistuskulmalla 60°. Suurin kokonaistuotto vuositasolla saavutettiin kallistuskulmalla 45°, mutta koska lämpimän käyttöveden kulutus on pienempi kuin keräimellä saatava energia kesäaikaan, ei kaikkea energiaa voida hyödyntää. Keräimen ollessa asennettuna 60° kulmaan keräimellä saadaan myös energiaa yli tarpeen kesäaikaan, mutta pystymmän kallistuskulman aikaan saama keräimen hyvä toiminta myös auringon paistaessa matalta nostaa 60° kallistuskulman tuottoisimmaksi kallistuskulmaksi.

6.1.1 Tasokeräin

Tasokeräinten vuotuinen energiantuotto tutkimuksessa oli noin 1500 kWh/a. Vuotuinen lämpimän käyttöveden energiantarve on 1855 kWh/a, jolloin tasokeräimillä saatiin tuotettua noin 83 % tarvittavasta vuotuisesta energiamäärästä. Kesäaikaan energian tuotto ylittää energiantarpeen, puolestaan sydäntalvella tasokeräinten energiantuotto on nolla.

Kallistuskulma ei mainittavasti vaikuttanut tasokeräinten tuottoon, paras energiantuotto, 1518,5 kWh/a, saavutettiin kallistuskulmalla 45°. Kallistuskulmalla 30° energian-

tuotto oli 1500,7 kWh/a ja kallistuskulmalla 60° vuotuinen energiantuotto oli 1498,2 kWh/a. Pystympi kallistuskulma antoi suuremman energiantuoton helmi- maaliskuussa sekä lokakuussa, jolloin aurinko paistaa matalalta. Muina kuukausina kallistuskulmalla 45° saavutettiin suurin energiantuotto.

Takaisinmaksuajoiksi tasokeräimillä muodostui 30° kallistuskulmaan asennettuna 70 v 7 kk, 45° kulmaan asennettuna 68 v 10 kk ja 60° kulmaan asennettuna 68 v 3 kk. Investoinnin kannattavuusnäkökulmasta ajateltuna takaisinmaksuaika on monin kerroin liian pitkä. Järjestelmän tekninen elinikä on takaisinmaksuaikaa lyhyempi, jolloin investointi ei koskaan maksa itseään takaisin.

Nykyarvomenetelmän mukaisesti määritelty lyhin mahdollinen pitoaika, jolla investointi on vielä kannattava, ei toteudu lainkaan tasokeräimillä. Järjestelmän hankintainvestointi on melko suuri verrattuna järjestelmän tuottoihin, jolloin investoinnin kuole-tusaika pitenee. Laskennassa käytetyllä korkotasolla järjestelmän tuotot eivät riitä saamaan investointia kannattavaksi laitteiston teknisen käyttöiän aikana.

6.1.2 Tyhjiöputkikeräin

Tyhjiöputkikeräimillä saatiin energiaa hyödyksi parhaimmillaan 1360,7 kWh/a, keräimen kallistuskulman ollessa 45°. Tämä on noin 73 % vuotuisesta lämpimän käyttöveden energiantarpeesta. Tasokeräinten tapaan tyhjiöputkikeräimilläkin saatiin kesäaikaan tuotettua kaikki lämpimän käyttöveden tarvitsema energiamäärä, talviaikaan puolestaan energiaa ei saatu talteen.

Kallistuskulmalla oli vähäinen vaikutus tyhjiöputkikeräimen tuottoon. Paras tuotto, 1360,7 kWh/a, saavutettiin kallistuskulmalla 45°. Kallistuskulmalla 30° tyhjiöputkikeräinten tuotto oli 1337,1 kWh/a, 60° kallistuksella 1345,4 kWh/a. Tasokeräinten tapaan myös tyhjiöputkikeräimillä pystympi kallistuskulma oli eduksi helmi-, maaliskuu- ja lokakuussa auringon paistaessa matalalta.

Tyhjiöputkikeräinten takaisinmaksuajoiksi muodostui noin 51 vuotta. Pienimmillään takaisinmaksuaika on keräimen kallistuskulmalla 30°, 70 v 7 kk. Kallistuskulmalla 45° takaisinmaksuaika on 68 v 10 kk, 60° kallistuskulmalla 68 v 3 kk. Kallistuskul-

masta riippumatta takaisinmaksuajat ovat liian pitkiä, eikä investoinnille ole taloudellisesta näkökulmasta perusteita.

Nykyarvomenetelmällä tarkasteltuna tyhjiöputkikeräinten hankinta ei ole kannattava investointi. Korkea alkuinvestointi, pienet tuotot ja laskennassa käytetty korkokanta eivät mahdollista tyhjiöputkikeräinten vaatiman investoinnin kannattavuutta. Laskennassa käytetyillä lähtötiedoilla tyhjiöputkikeräimet eivät ole kannattava sijoitus millään aikavälillä.

6.2 Lämpöpumput

Tutkimuksessa saavutettiin selkeitä säästöjä jokaisella lämpöpumpputyypillä. Takaisinmaksuajat pysyivät kohtuullisina ja järjestelmät osoittautuivat kannattaviksi hankkia tietyin varauksin. Seuraavassa käsitellään tarkemmin eri lämpöpumpputyyppejä.

6.2.1 Ilmalämpöpumppu

Ilmalämpöpumpulla saatiin tuotettua energiaa rakennuksen lämmitykseen 3762,6 kWh/a lämpökertoimella 2,8. Tällöin ilmalämpöpumpun sähkönkäyttö oli 1343,8 kWh/a, säästöä syntyi 2418,8 kWh/a. Tutkimushetkellä vallitsevalla sähköenergian hinnalla vuotuinen säästö olisi 286,4 €.

Takaisinmaksuajaksi ilmalämpöpumpulle muodostui 6 v 1 kk. Tätä voidaan pitää hyväksyttävänä takaisinmaksuaikana, jolloin investointi on taloudellisesta näkökulmasta kannattava. Lisäksi päätökseen ilmalämpöpumpun hankinnasta saattaa vaikuttaa oletettu asumisviihtyvyyden parantuminen, sillä ilmalämpöpumpulla voidaan viilentää huonetiloja kesäaikaan. Kesäaikainen viilennys pienentää ilmalämpöpumpun tuottamaa säästöä vuositasolla, mutta usein tätä ei koeta merkitykselliseksi seikaksi.

Nykyarvomenetelmällä tarkasteltuna ilmalämpöpumppu osoittautui kannattavaksi investoinniksi. 15 vuoden pitoajalla ilmalämpöpumpun tuottojen nykyarvo ylitti hankintainvestoinnin reilusti. Lyhin mahdollinen pitoaika, jolla ilmalämpöpumppu osoittautui kannattavaksi investoinniksi lainavaroin, oli 7,5 vuotta.

6.2.2 Ilma- vesilämpöpumppu

Ilma- vesilämpöpumpulla saatiin tuotettua energiaa rakennuksen lämmitykseen 13935,6 kWh/a, joka on 90 % rakennuksen vuotuisesta lämmitysenergiamäärästä. Käyttöveden lämmitykseen ilma- vesilämpöpumppu tuotti energiaa 1669,5 kWh/a, joka vastaa myös 90 % lämpimän käyttöveden energiantarpeesta vuositasolla. Lämmitykseen energiaa tuotettiin lämpökertoimella 2,8, käyttöveden lämmitys tapahtui lämpökertoimella 1,8. Verrattaessa nykyiseen lämmitysmuotoon ilma- vesilämpöpumpulla saavutettiin 8343,2 kWh:n vähennys ostettavan energian määrässä. Vallitsevalla sähköenergian hinnalla vuotuinen rahansäästö olisi 987,8 €/a.

Takaisinmaksuajaksi ilma- vesilämpöpumpulle muodostui 8 vuotta. Takaisinmaksuaika on kohtuullinen ja investointi voidaan taloudellisin perustein katsoa järkeväksi tehdä.

Ilma- vesilämpöpumppu osoittautui kannattavaksi investoinniksi myös nykyarvomenetelmällä tarkasteltuna. 15 vuoden pitoaika riitti hyvin investoinnin kannattavaksi saamiseen. Lyhin mahdollinen pitoaika, jolla ilma- vesilämpöpumppu osoittautui kannattavaksi investoinniksi, oli 11,5 vuotta.

Luvussa 3.6 selostettuun tapaan ilma- vesilämpöpumpun hankintaa suunniteltaessa tulee nykyiset lämmönluovuttimet asettaa tarkastelun alle. Esimerkkikohteessa on lämmönluovuttimina teräslevyradiaattorit, mitoituslämpötiloilla 90/70°C. Ilma- vesilämpöpumpun mitoituslämpötilojen ollessa tätä alhaisemmat, esim. 60/40°C, on olemassa riski, että nykyiset radiaattorit eivät pysty luovuttamaan tarvittavaa lämpötehoa alhaisemmillä mitoituslämpötiloilla. Lämpötiloilla 60/40°C radiaattoreiden lämmönluovutus on noin 0,5-0,6-kertainen mitoituslämpötiloihin 90/70°C verrattuna, jolloin on hyvin todennäköistä ettei radiaattorien luovuttama lämpöteho riitä kattamaan rakennuksen lämpöhäviöitä. Tällöin radiaattorit tulisi uusia.

6.2.3 Maalämpöpumppu

Maalämpöpumpulla rakennuksen lämmitykseen saatiin tuotettua energiaa 14864,6 kWh/a, käyttöveden lämmitykseen puolestaan 1780,8 kWh/a. Nämä energiamäärät vastaavat 96 % rakennuksen vuotuisesta lämmitysenergian ja käyttöveden lämmityk-

seen kuluvan energian määrästä. Lämmitysenergiaa tuotettiin lämpökertoimella 2,5, käyttöveden lämmityksessä lämpökerroin oli 2,3. Nykyiseen lämmitysmuotoon verrattuna maalämpöpumpulla saavutettiin säästöä ostoenergiankäytössä 9925,3 kWh:n edestä. Vallitsevalla sähköenergian hinnalla säästöä syntyy 1175,2 €/a.

Takaisinmaksuajaksi maalämpöpumpulle muodostui 11 v 3 kk. Takaisinmaksuaika on pitkäkö, mutta hyväksyttävissä. Investointia voidaan pitää kannattavana taloudellisesta näkökulmasta.

Nykyarvomenetelmällä tarkasteltuna maalämpöpumpuinvestointia ei voida pitää kannattavana. Investointi ei ole kannattava 15-vuoden pitoajalla, lyhin mahdollinen pitoaika, jolla investointi olisi kannattava, on 20,5 vuotta. Tällä aikavälillä maalämpöpumpun tekninen käyttöikä on loppunut tai loppuillaan, sekä todennäköisesti maalämpöpumpuun on jo jouduttu tekemään korjauksia, jotka entisestään heikentävät investoinnin kannattavuutta.

Kuten aiemmin on selostettu, myös maalämpöpumpun hankintaa suunniteltaessa tulee tarkastella nykyisten lämmönluovuttimien kyky luovuttaa tarvittava lämpöteho myös maalämpöpumpun mitoituslämpötiloilla. Esimerkkikohteessa nykytilanteeseen verrattuna maalämpöjärjestelmän mitoituslämpötiloilla radiaattorit pystyvät luovuttamaan vain noin 0,5-0,6-kertaisesti sen lämpömäärän mitä radiaattorit pystyvät luovuttamaan nykyisillä mitoituslämpötiloilla. Onkin hyvin todennäköistä, että siirryttäessä maalämpöön jouduttaisiin nykyiset radiaattorit uusimaan.

7 YHTEENVETO

Tutkimuksessa tehdyt laskelmat osoittivat, että aurinkokeräimillä sekä lämpöpumpuilla on saavutettavissa selkeää ostoenergiankäytön vähenemistä. Ostoenergiankäytön vähentyminen tuo mukanaan selvää rahan säästöä, sekä osaltaan pienentää kiinteistön hiilijalanjälkeä. Myös asumisviihtyvyys kohenee tiettyjen järjestelmien hankkimisen myötä.

Aurinkokeräimillä pystytään tuottamaan kesäaikana kaikki rakennuksen tarvitsema energia käyttöveden lämmitykseen. Tutkimuksessa tasokeräimillä saavutettiin suurempi energiantuotto kuin tyhjiöputkikeräimillä. Tasokeräimen korkeampi energian-

tuotto selittynee tutkimukseen valikoituneiden aurinkokeräinten teknisillä ominaisuuksilla.

Aurinkokeräinten takaisinmaksuaika osoittautui keräimen tyypistä riippumatta liian pitkäksi, jolloin taloudellista perustetta aurinkokeräinten hankkimiselle ei ole. Aurinkokeräinten hankintaa saattavat kuitenkin ohjata muut seikat, kuin taloudellinen kannattavuus, kuten esimerkiksi ekologiset syyt, tai halu vapautua ostoenergiankäytöstä käytännössä kokonaan kesäaikana.

Ilmalämpöpumpulla saavutettiin tutkimuksessa tehtyjen laskelmien perusteella selvää säästöä rakennuksen lämmityskuluissa. Ilmalämpöpumpun vaatima investointi oli tutkituista järjestelmistä alhaisin. Myös takaisinmaksuaika oli pienin ilmalämpöpumpulla, ilmalämpöpumpulla saavutettiin lisäksi nykyarvomenetelmällä tarkasteltuna lyhin järjestelmän pitoaika, jolla investointi on kannattava. Ilmalämpöpumpulla voidaan sekä lämmittää huonetiloja lämmityskaudella, että viilentää huonetiloja kesäaikaan. Kesäaikainen viilennys nostaa asumisviihtyvyyttä, mutta osaltaan vähentää ilmalämpöpumpun tuottamaa ostoenergiankäytön vähenemistä vuositasolla.

Ilma- vesilämpöpumpulla saadaan myös vähennettyä rakennuksen ostoenergiankäyttöä selvästi. Saavutetut säästöt riittävät kuolettamaan vaaditun investoinnin kohtuullisessa ajassa. Myös nykyarvomenetelmällä tarkasteltuna ilma- vesilämpöpumppu osoittautui kannattavaksi investoinniksi. Mikäli ilma-vesilämpöpumpun hankintaa suunnitellaan saneerauskohteeseen, jossa lämmönluovuttimina on radiaattorit, tulee nykyisten radiaattoreiden lämmönluovutuskyky tarkistaa ilma- vesilämpöpumpun lämmitysverkoston menoveden lämpötilatasoilla.

Maalämpöpumppu osoittautui tutkimuksessa järjestelmäksi, jolla saavutetaan suurin vähenemä rakennuksen ostoenergiankäytössä. Maalämpöpumpun hankintahinta oli myös suurin tutkituista järjestelmistä, joka vaikutti maalämpöpumpun takaisinmaksu-aikaan. Maalämpöpumpun takaisinmaksuaika oli kuitenkin kohtuullinen, jolloin maalämpöpumppu voidaan katsoa kannattavaksi hankinnaksi. Kuitenkin nykyarvomenetelmällä tarkasteltuna maalämpöpumppuinvestointi ei ole kannattava. Kannattavuutta saadaan parannettua, mikäli koko investointia ei rahoiteta lainavaroin tai korkokanta on alhaisempi. Myös maalämpöpumpun hankintaa saneerauskohteeseen suunniteltaes-

sa tulee huomioida nykyisen lämmönjakojärjestelmän lämmönluovutuskyky maalämpöpumpun lämmitysverkoston menoveden lämpötiloilla.

Kaikkien järjestelmien osalta tulee huomioida, että laitteistojen hinnat ovat todellisia jälleenmyyjäliikkeen hintoja. Hinnat kuitenkin ovat ohjeellisia ja todellista hankintaa tehdessä laitteistojen hinnat ovat todennäköisesti matalampia kuin tutkimuksessa käytetyt hinnat, jolloin järjestelmien takaisinmaksuajat pienenevät. Myös sähköenergian hinnannousu pienentää takaisinmaksuaikoja.

Tutkimus jättää tilaa myös jatkotutkimuksille. Tutkittava aihe voisivat olla esimerkiksi ilma- vesilämpöpumppujen sekä maalämpöpumppujen soveltuvuus saneerauskohteisiin, joissa hyödynnetään nykyistä, lämpöpumppujen tuottamaa lämpötilatasoa korkeammalla lämpötilatasolla toimivaa lämmönjakojärjestelmää. Tarvittava lämpötilaston nosto tuotettaisiin esim. sähkökattilalla. Myös saneerauskohteiden lämmitysjärjestelmän ja/tai lämmönjakojärjestelmän uusinnan kokonaistarkastelu kannattavuuslaskelmineen voisi tulla kyseeseen.

Tutkimus osoitti markkinoilla olevan järjestelmiä, jotka mahdollistavat kiinteistön ostoenergiankäytön huomattavan vähentämisen. Kyseiset järjestelmät auttavat pientaloasujia vähentämään ostoenergiaan käytettävää rahamäärää, unohtamatta myöskään ympäristönäkökohtia. Kaikkiaan tutkimuksessa esitettyjä järjestelmiä voidaan pitää tietyin varauksin suositeltavina ratkaisuin pientalon ostoenergiankäytön vähentämiseen pyrkivälle.

LÄHTEET

- [1] Aurinkoteknillinen yhdistys ry. Aurinko-opas: aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo: Aurinkoteknillinen yhdistys ry, 2008.
- [2] Suvanto, K. & Laajalehto, K. Tekniikan fysiikka 2. Helsinki: Edita Prima Oy, 2005.
- [3] Erkkilä, Vesa. Aurinkolämpöopas itserakentajille, 1. p. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy, 2003.
- [4] Auringosta lämpöä ja sähköä. Motiva Oy. PDF-dokumentti.
http://www.motiva.fi/files/9698/Auringosta_lampoa_ja_sahkoa2014.pdf Ei päivitystietoa, luettu 25.3.2015.
- [5] Aurinkokeräimet, Heatco Finland Oy. 2015. PDF-dokumentti.
<http://www.heatco.fi/pdf/esitteet/Aurinkokerain-esite.pdf> Ei päivitystietoa, luettu 17.2.2015.
- [6] AHP-tyhjiöputkikeräimet heat-pipe-tekniikalla. 2015. Aurinkovoima/Alternative Solutions Finland Oy. WWW-dokumentti. <http://www.aurinkovoima.fi/fi/tuotteet/ahp-tyhjioputkikerain> Ei päivitystietoa, luettu 4.4.2015.
- [7] Aurinkolämpöjärjestelmän toimintaperiaate. 2015 Energia auringosta T:mi. WWW-dokumentti. <http://www.energia-auringosta.fi/tuotteet/toimintaperiaate> Ei päivitystietoa, luettu 11.3.2015.
- [8] Lindström, Daniel. Aurinkolämmön rakentamisen opas, 2. p. Vaasa: Keab Paper Oy, 2008
- [9] The bright future of solar thermal powered factories. 2011. Low tech magazine-lehden artikkeli. <http://www.lowtechmagazine.com/2011/07/solar-powered-factories.html> Päivitetty 26.7.2011, luettu 11.3.2015.
- [10] Aurinkolämpöjärjestelmien perusteet, mitoitus ja käyttö. 2006. Solpros Ay. PDF-dokumentti. <http://www.kolumbus.fi/solpros/reports/OPAS.pdf> Ei päivitystietoa, luettu 10.2.2015
- [11] Tutkimusraportti. 2015. Solar simulator Finland Ltd. PDF-dokumentti.
http://www.sosifi.com/files/pdf/O_TM_NN102009_public_tr.pdf Ei päivitystietoa, luettu 7.4.2015.
- [12] Perälä, Rae. Lämpöpumput, Suomalainen käsikirja aikamme lämmitysjärjestelmästä. Tallinna: Alfamer Oy, 2009.
- [13] Kaappola, E. Hirvelä, A. Jokela, M. Kianta, J. Kylmätekniikan perusteet. Helsinki: Opetushallitus, 2011.
- [14] Aittomäki, Antero. Kylmätekniikka, 4.p. Porvoo: Suomen kylmäyhdistys ry, 2012.

- [15] Kylmäinfo 1-2009, Danfoss. 2015. PDF-dokumentti.
<http://www.danfoss.com/NR/rdonlyres/AF0B95C0-D09E-4815-9274-F7E8E4681E64/0/097096DANFOSSCIMasterF..pdf>. Ei päivitystietoa, luettu: 10.2.2015.
- [16] Kylmäsovellusten scroll-kompressorit, Danfoss Oy. 2015. PDF-dokumentti.
http://www.danfoss.com/NR/rdonlyres/D42A573B-D423-42A4-B366-9B9EF12272C8/0/scroll_textFIN.pdf Ei päivitystietoa, luettu: 10.2.2015.
- [17] Seppänen, Olli. Rakennusten lämmitys, 2.p. Jyväskylä: Suomen LVI-liitto, 2001.
- [18] SFS-EN 14511-2: 2007. Lämmitykseen ja jäähdytykseen tarkoitettut, sähkökäyttöisellä kompressorilla toimivat huoneilmastointikoneet, nestejäähdyttimet ja lämpöpumput. Osa 2: Testausolosuhteet. Helsinki; Suomen Standardoimisliitto SFS. Vahvistettu ja julkaistu englanninkielisenä.
- [19] SFS-EN 14825: 2013. Lämmitykseen ja jäähdytykseen tarkoitettut, sähkökäyttöisellä kompressorilla toimivat huoneilmastointikoneet, nestejäähdyttimet ja lämpöpumput. Testaus ja luokitus osittaisella kuormituksella ja kausittaisen suorituskykykertoimen laskeminen. Helsinki; Suomen Standardoimisliitto SFS. Vahvistettu ja julkaistu englanninkielisenä.
- [20] Toshiba-ilmalämpöpumppu. 2015. LämpöYkkönen Oy. WWW-dokumentti.
<http://lampoykkonen.fi/tuotteet/ilmalampopumput/toshiba-ilmalampopumppu/> Ei päivitystietoa, luettu 17.3.2015.
- [21] Split lämpöpumppu-kompaktilaitteet. 2015. Viessmann Oy. PDF-dokumentti.
<http://www.viessmann.fi/content/dam/internet-fi/pdf/products/Vitocal%20222-S%20242-S%20-esite.pdf> Ei päivitystietoa, luettu 17.3.2015.
- [22] Maalämpö. 2015. IVT-Center Lahti. WWW-dokumentti.
<http://www.ivtlahti.fi/tekniset-tiedot-ivt-maalampo-greenline-he.htm> Ei päivitystietoa, luettu 29.3.2015.
- [23] LVI 11-10332. 2002. Lämpöpumput. LVI-ohjekortti. Helsinki: Rakennustieto.
- [24] Yleistä lämpöpumpuista. 2015. Suomen Lämpöpumppuyhdistys ry. PDF-dokumentti
<http://www.sulpu.fi/documents/184029/209175/Yleista-l%C3%A4mp%C3%B6pumpuista-SULPU.pdf> Ei päivitystietoa, luettu 10.3.2015.
- [25] Energiakaivo – Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. 2015. Ympäristöministeriö. PDF-dokumentti
https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO_2013.pdf?sequence=4 Ei päivitystietoa, luettu 20.3.2015.
- [26] Maalämpöpumppu. 2014. Motiva Oy. WWW-dokumentti.
http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/eri_lammitysmuodot/maalampopumppu Päivitetty 3.12.2014, luettu 20.3.2015.
- [27] Laskukaavat – lämmin käyttövesi. 2015. Motiva Oy. WWW-dokumentti.
http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/energian kayton_tehostaminen/kiinteistojen_

energianhallinta/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi Päivitetty 16.1.2015, luettu 21.3.2015.

- [28] Kulutuksen normitus. 2014. Motiva Oy. WWW-dokumentti.
http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/energiankayton_tehostaminen/kiinteistojen_energianhallinta/kulutuksen_normitus Päivitetty 10.9.2014, luettu 21.3.2015.
- [29] Hintatilastot. Energiavirasto. WWW-dokumentti.
<http://www.sahkonhinta.fi/summariesandgraphs> Ei päivitystietoa, luettu 4.4.2015.
- [30] Pankkilainan hinta marraskuussa 2014. 2015. Suomen Rahatieto. WWW-dokumentti. www.rahatieto.fi Päivitetty 29.1.2015, luettu 6.5.2015.
- [31] Aurinko-opas 2012 – Aurinkolämmön ja –sähkön energiantuoton laskennan opas. 2011. Ympäristöministeriö. PDF-dokumentti. http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/RakentamismaarayskokoeIma Päivitetty 23.8.2011, luettu 2.4.2015.
- [32] Lämpöpumppujen energialaskentaopas. 2012. Ympäristöministeriö. PDF-dokumentti. http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/RakentamismaarayskokoeIma Päivitetty 3.10.2012, luettu 9.4.2015.

Aurinkokeräinten energialaskennan tulokset

	Tasokeräin, kallistus 30°, kWh	Prosenttia tarpeesta, %	Tasokeräin, kallistus 45°, kWh	Prosenttia tarpeesta, %	Tasokeräin, kallistus 60°, kWh	Prosenttia tarpeesta, %	Tyhjiöputkeräin, kallistus 30°, kWh	Prosenttia tarpeesta, %	Tyhjiöputkeräin, kallistus 45°, kWh	Prosenttia tarpeesta, %	Tyhjiöputkeräin, kallistus 60°, kWh	Prosenttia tarpeesta, %	Lämpimän käyttöveden energiantarve, kWh
Tammikuu	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	157,5
Helmikuu	53,1	37,3	64,1	45,1	68,6	48,2	35,9	25,2	45,0	31,6	48,8	34,3	142,3
Maaliskuu	147,5	93,6	155,0	98,4	157,4	99,9	124,5	79,0	134,1	85,1	137,3	87,1	157,5
Huhtikuu	183,6	100,0	185,6	100,0	184,6	100,0	172,5	100,0	174,9	100,0	173,8	100,0	152,5
Toukokuu	214,8	100,0	212,7	100,0	206,5	100,0	199,2	100,0	198,1	100,0	193,6	100,0	157,5
Kesäkuu	214,0	100,0	209,0	100,0	201,7	100,0	197,6	100,0	194,6	100,0	188,1	100,0	152,5
Heinäkuu	235,6	100,0	230,0	100,0	219,2	100,0	212,4	100,0	210,1	100,0	203,6	100,0	157,5
Elokuu	207,3	100,0	206,8	100,0	203,7	100,0	191,6	100,0	190,9	100,0	186,4	100,0	157,5
Syyskuu	174,7	100,0	176,7	100,0	176,2	100,0	153,6	100,0	156,5	100,0	155,8	100,0	152,5
Lokakuu	70,1	44,5	78,5	49,8	80,4	51,0	49,7	31,6	56,6	35,9	58,1	36,9	157,5
Marraskuu	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	152,5
Joulukuu	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	157,5
Yhteensä	1500,7	64,6	1518,5	66,1	1498,2	66,6	1337,1	61,3	1360,7	62,7	1345,4	63,2	1855,0

