

Rickhard Syrjäläinen

Hybridilämmitysjärjestelmän kytkennät

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikka

Insinöörityö

29.5.2015

Tekijä Otsikko	Rickhard Syrjäläinen Hybridilämmitysjärjestelmän kytkennät
Sivumäärä Aika	66 sivua + 13 liitettä 29.5.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Energia- ja kappaletavara-automaatio
Ohjaajat	Valvoja Kai Virta Ohjaaja Kari Viirto
<p>Insinööriyössä perehdyttiin erilaisiin hybridilämmitysjärjestelmiin ja kytkentäkaavioihin, joissa hyödynnetään uusiutuvaa energiaa sekä lämmön talteenottoa kaukolämmön rinnalla. Työssä tarkastellaan aurinkolämpöä, maalämpöä, lämpöpumppua, poistoilman lämmön talteenottoa ja kaukolämpöä sekä näiden ohjaamiseen että säätämiseen vaadittavaa rakennusautomaatiota. Työssä esitellään erilaisia kytkentäperiaatteita lämmitysjärjestelmistä ja näiden liittämistä kaukolämpöön.</p> <p>Liitteissä esitetään säätökaaviot, joihin on merkitty valvonta-alakeskuksen pisteet. Säätökaavioissa on pyritty liittämään jokaisen lämmitysjärjestelmän hyvät puolet ja rakentamaan näistä toimivia kokonaisuuksia. Säätökaavioissa esitetään myös ryhmäkeskuksen kytkennät.</p> <p>Työssä käydään läpi lämmitysjärjestelmien lisäksi siihen liittyvää automaatiota ja sen merkitystä energiatehokkuuteen. Automaatiolla on keskeinen rooli hybridilämmitysjärjestelmän toiminnassa, ohjauksessa, säädössä ja turvallisuudessa.</p> <p>Insinööriyön lopputuloksena syntyi seitsemän erilaista säätökaaviota, joissa on yhdistetty eri lämmitysmuotoja. Säätökaaviot on laadittu AutoCAD – ohjelmistolla ja niitä on tarkoitus hyödyntää tulevilla hankkeilla.</p>	
Avainsanat	hybridilämmitys, säätökaavio, rakennusautomaatio

Author Title	Rickhard Syrjäläinen Hybrid heating systems
Number of Pages Date	66 pages + 13 appendices 29 May 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automation Engineering (AMK)
Specialisation option	Energy- and Manufacturing Technology
Instructors	Kai Virta, Principal Lecturer Kari Viirto, Supervisor
<p>In this Bachelor's thesis different hybrid heating systems and coupling diagrams, in which renewable energy and heat recovery are being utilized along side district heating, were examined. This study also investigates solar- and geothermal energies, heat pumps, exhaust air heat recovery and direct heating, and necessary building automation required to control and adjust them. In this thesis different coupling principles of heating systems, and their intergration to district heating are introduced.</p> <p>Attached are the function diagrams, in which the operation control points are marked. In these function diagrams the aim was to intergrate the good qualities of different heating systems with each other, and build functioning units out of those. Wiring accessory couplings are also displayed in the function diagrams.</p> <p>Heating system automation and its relevance to energy efficiency are examined in this study. Automation plays a key role in hybrid heating systems' functioning, control, adjustment and safety.</p> <p>As an outcome of this Bachelor's thesis, seven different function diagrams were made. In those diagrams, different heating systems are merged. AutoCAD –programmer was used to design the function diagrams. The designed function diagrams are to be utilized in future projects.</p>	
Keywords	hybrid heating, function diagram, building automation

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Työn taustaa	1
1.2	Työn tavoitteet	2
1.3	Työn rajaukset	3
1.4	Insinööriyön tilaaja	3
2	Kohteen esittely	4
3	Aurinkolämpö	4
3.1	Saatavuus Suomessa	5
3.2	Aurinkokeräimet	6
3.2.1	Tyhjiöputkikeräimet	7
3.2.2	Tasokeräimet	8
3.3	Hyötysuhde	9
3.4	Aurinkokeräinten sijoitus	9
3.5	Aurinkokeräinten kytkentä lämmitysjärjestelmiin	10
3.6	Aurinkolämpöjärjestelmän kiertovesipumppu	11
3.7	Lämpöenergian varastointi	13
3.8	Putkilinja ja paisunta-astia	13
4	Maalämpö	14
4.1	Maalämmön keruujärjestelmät	16
4.1.1	Maapiiri	17
4.1.2	Lämpökaivo	18
4.1.3	Vesistölämpö	19
5	Lämpöpumput	19
5.1	Maalämpöpumppu (MLP)	22
5.1.1	Lämpöpumpun toimintaperiaate	23
5.1.2	Maalämpöjärjestelmän mitoitus	24
5.2	Poistoilmalämpöpumppu (PILP)	25
5.3	Poistoilmalämpöpumpun toimintaperiaate	27
5.4	Poistoilmalämpöpumpun ohjaus	28
6	Kaukolämpö	29

6.1	Toimintaperiaate	29
6.2	Lämmönsiirtimet	30
6.2.1	Käyttöveden lämmönsiirrin	31
6.2.2	Lämmityksen ja ilmanvaihdon lämmönsiirtimet	31
6.3	Kiertovesipumput	31
6.4	Ohjausyksikön säätölaitteet	33
6.5	Säätöventtiili	35
6.6	Käyttövesivaraajan periaatekytkentä käyttöveteen	35
6.7	Muiden lämmönlähteiden periaatekytkennät kaukolämpöön	37
6.8	Aurinkolämmön yhdistäminen kaukolämpöön	38
7	Rakennusautomaatio	38
7.1	Järjestelmän rakenne	39
7.1.1	Hallintataso	39
7.1.2	Automaatiotaso	40
7.1.3	Kenttätaso	40
7.2	Kenttälaitteet	41
7.2.1	Lämpötila-anturi	41
7.2.2	Paineanturi	41
7.2.3	Vesimittari	41
7.2.4	Energiamittari	42
7.2.5	DI-pisteet	42
7.2.6	DO-pisteet	42
7.2.7	AI-pisteet	42
7.2.8	AO-pisteet	43
7.2.9	Pulssilaskentapisteet (IMP)	43
7.2.10	Venttiilin toimilaitteet	43
7.3	Tiedonsiirto ja kaapelointi	44
7.4	Säätökaaviot	44
7.5	Automaation merkitys energiatehokkuuteen	45
8	Aurinkolämmön periaatekytkennät	47
8.1	Periaatekytkentä 1	48
8.2	Periaatekytkentä 2	48
8.3	Periaatekytkentä 3	49
8.4	Periaatekytkentä 4	50
8.5	Periaatekytkentä 5	51
8.6	Periaatekytkentä 6	53

9	Maalämpöpumpun periaatekytkennät	56
9.1	Periaatekytkentä 1, maalämpöpumpun kytkentä	56
9.2	Periaatekytkentä 2, maalämpöpumpun kytkentä kaukolämpöön	57
10	Aurinkolämpö + maalämpöpumppu periaatekytkennät	60
11	Bensowinkujan kytkentäkaaviot	62
11.1	Kaukolämpö	62
11.2	Maalämpö	62
11.3	Aurinkolämpöjärjestelmä	63
12	Johtopäätökset	64
13	Yhteenveto	65
	Lähteet	67

Liitteet

Liite 1. Piirustuksissa käytettävät merkinnät

Liite 2. Yleisimmät rakennusautomaatiolaitetyypitunnukset

Liite 3. Sääntökaavio 1, KL + PILP kytketty käyttöveteen

Liite 4. Sääntökaavio 2, KL + PILP kytketty lämmitykseen

Liite 5. Sääntökaavio 3, KL + PILP kytketty käyttöveteen ja lämmitykseen

Liite 6. Sääntökaavio 4, KL + PILP kytketty varaajalla lattialämmitykseen

Liite 7. Sääntökaavio 5, Aurinkolämpö kytketty varaajalla kaukolämpökeskuksen lattialämmitysverkostoon ja lämpimän veden kierto.

Liite 8. Sääntökaavio 6, Maalämpöpumppu + sähkökattila + aurinkolämpö

Liite 9. Sääntökaavio 7, KL + Maalämpöpumppu kytketty käyttöveteen ja lämmitykseen

Liite 10. Sääntökaavio Bensowinkujan kaukolämpöjärjestelmästä

Liite 11. Sääntökaavio Bensowinkujan maalämpöjärjestelmästä

Liite 12. Sääntökaavio Bensowinkujan aurinkolämpöjärjestelmästä

Liite 13. Esimerkkilaskelma aurinkolämmön tuotosta lämpimään käyttöveteen

Lyhenteet

AI	Analog Input, analoginen sisääntulo.
AO	Analog Output, analoginen ulostulo.
COP	Coefficient Of Performance, hetkellinen lämpökerroin
DDC	Direct Digital Control, suora digitaalinen säätö.
DI	Digital Input, digitaalinen sisääntulo.
DO	Digital Output, digitaalinen ulostulo.
I/O	Input / Output, tulo- tai lähtöliityntä.
IP-osoite	Internet Protocol, tietoliikenne, joka määrittää laitteiden välisen yhteyden.
IV	Ilmanvaihto
K/W	Kelvin wattia kohti, lämpövastus
KL	Kaukolämpö
kPa	Kilopascal, paineen yksikkö 1000 pascal (Pa).
kW	Kilowatti, tehon yksikkö 1000 wattia (W). Talotekniikassa tehontarve, jota tarvitaan rakennuksen ja lämpimän käyttöveden lämmitykseen vuoden kylmimpinä päivinä.
kWh	Kilowattituntimäärä, energian yksikkö, vastaa kilowatin tehoa tunnin ajan.
LAN	Local Area Network, lähiverkko, joka toimii rajoitetulla alueella.
LTO	Lämmön talteenotto
Mb/s	Megabyte/seconds, tiedonsiirtonopeus, megabitti sekunnissa.

PILP	Poistoilmalämpöpumppu
RAU	Rakennusautomaatio
SCOP	Seasonal Coefficient of Performance, vuosilämpökerroin, lämpökertoimen arvo koko lämmityskauden ajalta.
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol, internet-liikennöinnissä käytettävä tietoverkkoprotokollan yhdistelmä.
TRT	Thermal Response Test, Terminen vastetestti.
TWh	Terawattituntimäärä, energian yksikkö, vastaa terawatin tehoa tunnin ajan.
W/Km	Watti Kelvinmetriä kohti, lämmönjohtavuuden yksikkö.
VAC	Voltage Alternating Current tasajännite

1 Johdanto

1.1 Työn taustaa

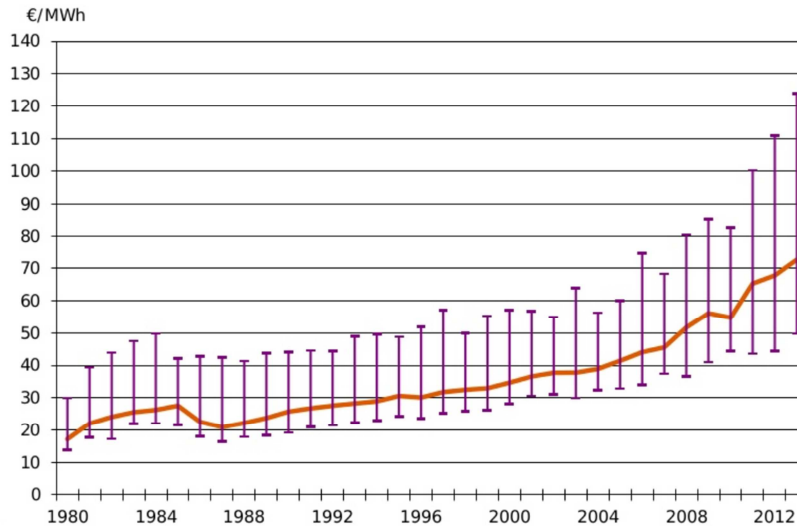
Suomi on sitoutunut vähentämään ilmastopäästöjä Euroopan unionissa yhteisesti hyväksytyjen tavoitteiden mukaisesti. Tämän pohjalta ympäristöministeriö on laatinut ohjeistuksen energiatehokkuutta parantavasta rakentamismääräyksestä. Rakentamismääräys on tullut voimaan 1.7.2012 ja sillä määrätään rakennuksen kokonaisenergian kulutukselle rakennustyyppikohtainen yläraja. Valtioneuvosto on hyväksynyt uusimman strategiapäivityksen vuonna 2013 ja se käsittelee ilmasto- ja energiapoliittisia toimenpiteitä vuoteen 2020 ja yleisimmin vuoteen 2050 asti.

Vuonna 2012 voimaan tulleessa määräyksessä rakennuksen kokonaisenergian kuluista mitataan E-luvulla. E-luvun laskennassa otetaan huomioon rakennuksen käyttämän energian tuotantomuoto. Eri energiamuodoille on annettu omat kertoimet, jotka kannustavat käyttämään uusiutuvaa energiaa. Tiukentuneet määräykset tarkoittavat käytännössä noin 20 % parannusta energiatehokkuuteen verrattuna edelliseen määräykseen. Määräyksen piirissä ovat kaikki uudet rakennukset, lukuun ottamatta alle 50 neliöisiä rakennuksia, kesämökkejä ja maatalousrakennuksia. E-luku lasketaan yksinkertaistettuna: rakennukseen ostettu energia x energiamuodon kerroin. (Ympäristöministeriö 2011, uudet rakentamisen energiamääräykset annettu; Sitra 2013, ilmastotavoitteita toteuttava asemakaavoitus)

Asemakaava voi myös edellyttää uusiutuvan energian hyödyntämistä. Esimerkkikohteessa Bensowinkujan toimistorakennuksen asemakaavassa otetaan kantaa uusiutuvan energian käyttämiseen antamalla yhdeksi suunnittelutavoitteeksi käyttää mahdollisuuksien mukaan uusiutuvaa energiaa, kuten maalämpöä ja aurinkoenergiaa. (Bensowinkujan 2 voimaan tullut asemakaavan muutos)

Kaukolämmön hinnan korotukset luovat myös mielenkiintoa omavaraiseen ja uusiutuvaan energiantuotantoon. Suomen kiinteistöliitto, Pellervon taloustutkimus ja Suomen omakotiliitto arvioivat kaukolämmön hinnan nousuksi 70 % vuoteen 2020 mennessä. Kaukolämmön hinta on noussut heinäkuusta 2010 nykyhetkeen noin 31 %. Vaikka kyseessä on arvio, niin kaukolämpöön on tulossa isoja korotuksia. Kaukolämmön hinnan nousu johtuu osittain tiukentuvasta päästäkaupasta ja perittävästä energiaverosta. Tä-

mä tarkoittaa kaukolämpöä tuottaville voima- ja teollisuuslaitoksille lisäkustannuksia, jonka maksaa kaukolämpöä ostava asiakas. Kuvassa yksi nähdään kaukolämmön hinnankehitystä. Pystyviivat kuvaavat hintojen vaihteluväliä. Käyrältä nähdään hinnan nousun olevan jyrkimmillään viime vuosina. (HS: Kaukolämpö kallistuu rajusti – korotuksia voi tulla vuoteen 2020 jopa 70 prosenttia)



Kuva 1. Kaukolämmön keskihinta sekä minimi- ja maksimiarvot (sis. alv). (Energiateollisuus, Energiavuosi 2013)

1.2 Työn tavoitteet

Insinööriyön tavoitteena oli luoda toimivat ratkaisut erilaisille hybridilämmitysjärjestelmille, joita voi hyödyntää tulevissa hankkeissa. Yksi työn tavoitteista oli tutkia erilaisia lämmitysmuotoja ja niiden kytkemistä toisiinsa. Opinnäytetyössä on laadittu erilaisia periaatekytkentöjä, jotka kuvaavat periaatetasolla järjestelmän rakennetta. Periaatekytkentöjen toimintaselostus on myös laadittu periaatetasolla. Periaatekytkentöjä jalostamalla saadaan tarvittaessa toimivia säätökaavioita. Lopputuloksena laadittiin säätökaavioita, jonka mukaan rakennusautomaatiourakoitsija toteuttaa hankkeen.

Työssä perehdyttiin aurinkolämpöön, maalämpöön, lämpöpumppuihin, kaukolämpöön ja rakennusautomaatioon. Hybridilämmitysjärjestelmän ensisijainen tavoite on säästää energiaa ja tuottaa toimiva kokonaisratkaisu, joka ottaa huomioon asiakkaan tarpeen.

1.3 Työn rajaukset

Johtuen työn laajuudesta on siitä rajattu pois järjestelmän mitoitus. Mitoitus lasketaan aina kohdekohtaisesti ja eri laitetoimittajilla on hieman erilaisia mitoitusmenetelmiä laitteilleen. Viitteellisiä ohjearvoja työssä annetaan, mutta viimekädessä tulee aina olla yhteydessä laitetoimittajaan. Liitteessä 13 lasketaan aurinkolämmön kokonaistuotto kerrostalossa.

Investoinnin takaisinmaksuaikaan ei ole otettu myöskään kantaa. Takaisinmaksuaikaa tulee aina tarkastella rakennuksen sijainnin, energianhinnan, lämmitysjärjestelmän investoinnin ja järjestelmän hyötysuhteen mukaan.

Jäähdytystä ei muuten huomioida lopputyössä, kuin mallikaaviossa, joissa se on esitetty ylimääräisenä varauksena. Vaikka jäähdytys onkin oleellinen elementti nykyaikaisissa rakennuksissa, niin se on rajattu työstä pois. Sen sijaan on keskitytty lämmön tuottoon.

Lainsäädäntö ja määräykset on mainittu, mutta niitä ei käydä sen tarkemmin työssä läpi. Tarpeelliset lupa-asiat tulee aina selvittää esimerkiksi kunnan rakennusvalvontavirastolta ennen työn aloittamista.

Eri lämmitysjärjestelmiä on myös jätetty pois, jotka koskevat pääsääntöisesti pientaloja. Nämä ovat sähkö-, öljy-, puu-, hake- ja pellettilämmitys. Tässä työssä on pyritty keskittymään isompiin lämmitysjärjestelmiin.

1.4 Insinööriyön tilaaja

Insinööriyön tilaajana toimii Suomen Talokeskus Oy, Toimitila- ja uudissuunnittelupalvelut-yksikkö, jonka päällikkönä toimii Markku Sinisalo. Yhtiö on Suomen vanhin insinööritoimisto. Yhtiön on perustettu vuonna 1922, jolloin yhtiön nimi oli Talonomistajain osakeyhtiö. Nykyisellä nimellä yhtiö on toiminut vuodesta 1963. Yhtiön taustatukena toimivat Suomen kiinteistöliitto ja sen jäsenyhdistykset. Yhtiö tuottaa suunnittelu-, energiahallinnan-, kiinteistönpidon palveluja sekä Tampuuri-ohjelmistoa. Liikevaihto vuonna 2014 oli 25,2 miljoonaa euroa.

2 Kohteen esittely

Bensowinkujan kohde on Kauniaisiiin suunniteltu toimistorakennus, jossa kellari-kerroksessa parkkihalli, ensimmäisessä kerroksessa ruokala ja toimistotilaa, toisesta viidenteen kerrokseen ovat toimistotilaa ja ullakolla sijaitsee IV-konehuone. Lämmitetty nettoala on 6132,4 m².

Bensowinkujan toimistorakennus liitetään kaukolämpöverkkoon, jonka lisäksi kohteeseen rakennetaan maalämpökaivoja. Näiden tuotto on noin 190 000 kWh/vuosi. Käyttöveden lämmityksessä toimii aurinkokeräimet, jotka asennetaan vesikatolle (aurinkokeräinten pinta-ala 30 m² ja tuotto noin 12 000 kWh/vuosi). Kaukolämmön energiaa tarvitaan 144 340 kWh/vuosi.

Maalämmön aktiivinen porausvyvyys on yhteensä 2 290 metriä, ominaisenergianotto 139 kWh/metri ja ominaistehonotto 21 W/metri. Lämpöpumpun mallina ruotsalaisvalmistainen NIBE F1345-60. NIBE:n ilmoittama COP arvo 4,1. Kylmäaineena toimii R410A.

Lämmitystehoa rakennuksella on yhteensä 555 kW, josta patterilämmitys 140 kW, IV-lämmitys 175 kW, kiertoilmakoneet 30 kW ja käyttövesi 210 kW. Jäähdytystehoa yhteensä 240 kW. Rakennus kuuluu energiatehokkuusluokkaan B.

3 Aurinkolämpö

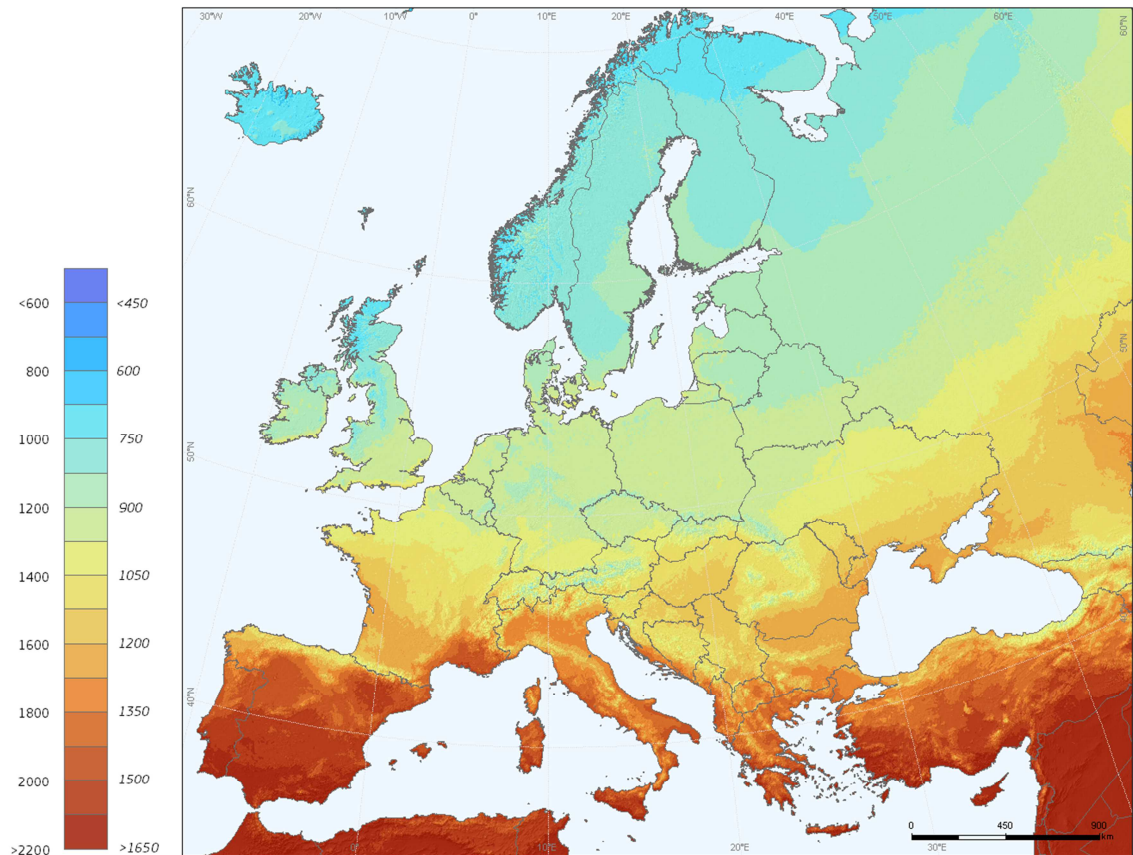
Aurinkoenergia on auringon säteilemän energian hyödyntämistä. Energiantuotannossa se voidaan jakaa aurinkolämpöön ja aurinkosähköön, sen mukaan muutetaanko säteily sähkö- vai lämpöenergiaksi. Aurinkoenergia on uusiutuvaa energiaa ja sen tuotanto on ympäristön kannalta puhdasta. Kaikki aurinkoenergian tuotannossa syntyvät päästöt ja jätteet johtuvat järjestelmän laitteiden valmistuksesta ja kierrätyksestä. Aurinkolämmitystä hyödynnetään lisälämmityksenä muun lämmitysjärjestelmän kanssa. (Auringosta lämpöä ja sähköä 2013: 2; Sundial 2012: Aurinkolämpö Suomessa)

Aurinkoenergia on investoinnin jälkeen lähes ilmaista. Aurinkoenergialla kannattaa korvata jo nykyisillä energian hinnoilla osa ostoenergiasta. Kannattavuutta lisää energian hinnan kehitys, joka on yleistä kustannuskehitystä nopeampaa. Valmistusmäärien

noustessa ja teknologian kehittyessä aurinkolämpöjärjestelmien hinnan lasku lisää myös kannattavuutta. (Sampsa Heilä 2013: 2)

3.1 Saatavuus Suomessa

Suomessa auringosta saadaan energiaa niin paljon, että sitä kannattaa hyödyntää. Pimeästä talvesta huolimatta auringonsäteilyn määrä Suomessa on lähes samaa luokkaa kuin Saksassa, jossa aurinkoenergia kattaa noin viisi prosenttia energian kokonaiskulutuksesta. Kuvassa kaksi käy ilmi Etelä-Suomen aurinkosäteilyn olevan vuositasolla noin 1000 kW/m^2 ja Keski-Suomessa 900 kW/m^2 . Keräinten sijainti, kallistuskulma ja suuntaus vaikuttavat merkittävästi aurinkokeräimen energian saantiin ja koko järjestelmän toimintaan. Lämpötilan vaihtelut Suomessa ovat suuria, marrastammikuussa auringonsäteilyä ei saada käytännössä ollenkaan. Etelä-Suomessa vuotuisesta aurinkosäteilyn energiasta 90 % saadaan maalisyyskuun välillä. Aurinkolämpöä voidaan hyödyntää lämmityksessä 8–10 kuukauden verran vuoden aikana. (Aurinkolämpö Suomessa; Auringosta lämpöä ja sähköä 2013; Aurinko-opas 2008: 13; Aurinkoenergia 2014)



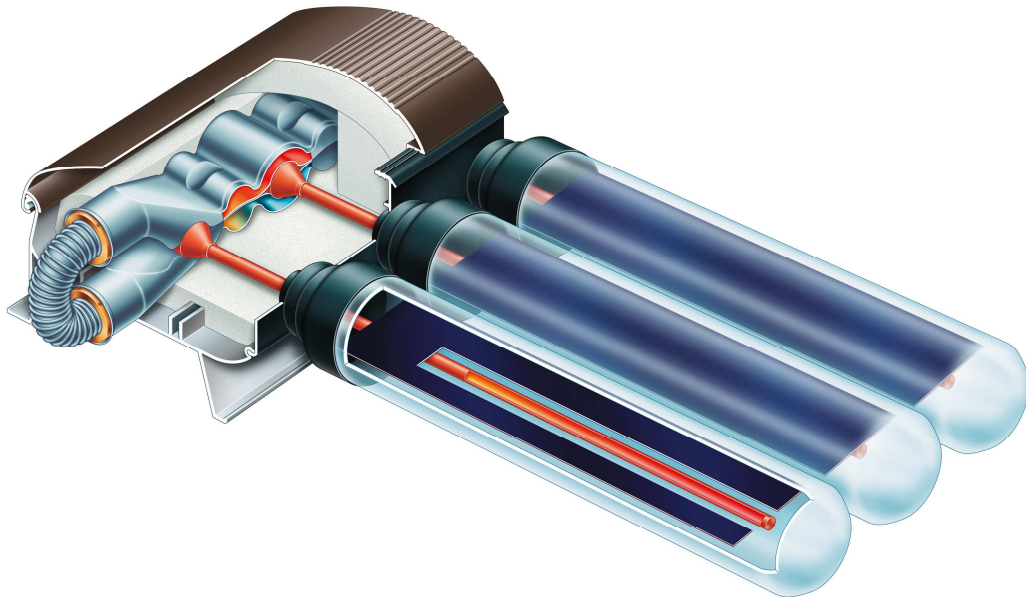
Kuva 2. Aurinkosäteilyn määrä (kWh/m^2) vuoden aikana Euroopassa. (Euroopan komissio: PVGIS)

3.2 Aurinkokeräimet

Aurinkokeräimet ovat aurinkolämmitysjärjestelmän keskeisin osa. Aurinkokeräimen tehtävä on vastaanottaa ja kerätä auringonsäteilyä sekä muuttaa se lämmöksi. Auringon-säteilyä otetaan talteen aurinkokeräimessä olevan tumman ja kuumenevan metallisen tai muovisen pinnan avulla, jolloin aurinkoenergia muuttuu lämmöksi. Aurinkokeräimen sisällä kiertää nestettä tai ilmaa, joka sitoo itseensä lämpöä keräimen pinnasta. Lämpöenergia varastoidaan Suomessa usein vesivaraajaan. Yhden neliömetrin keräin tuottaa noin 250–450 kWh energiaa vuodessa. Pelkästään aurinkokeräinten ominaisuus- ja suorituskkytietojen perusteella ei voida suoraan päätellä keräimen todellista tuottoa. (Auringosta lämpöä ja sähköä 2013; Aurinkoenergiaa 2014; Aurinko-opas 2008: 72; Motiva 2014: Aurinkokeräimet; Micre: Aurinkolämpö)

3.2.1 Tyhjiöputkikeräimet

Tyhjiöputkikeräimissä lämmönkeruuputkisto on putkimaisessa muodossa (katso kuva kolme), eikä suorana levynä, kuten tasokeräimissä. Lasiputken tyhjiö toimii lämmöneristeenä ja estää siten absorboitua lämpöä karkaamasta takaisin ulkoilmaan. Tyhjiöputki toimii kuten läpinäkyvä termospullo. Kuparinen putki (heat pipe) sisältää helposti höyrystyvää nestettä. Neste höyrystyy auringon lämpösäteilyn tuottaman lämmön vaikutuksesta. Höyry tiivistyy takaisin nesteeksi putken yläosassa ja luovuttaa lämpöenergiaa lämmönvaihtimessa kiertävään vesi-glykoli seokseen. Kierro jatkuu niin kauan kunnes lämpötila on niin korkea, että höyry ei enää tiivisty nesteeksi, jolloin prosessi pysähtyy. Lämmönvaihdin koostuu kuparisesta jakotukista, jossa on holkit tyhjiökeräimen kupariputkelle.



Kuva 3. Heat pipe -kupariputki tyhjiöputkessa yhdistettynä jakotukkeen.

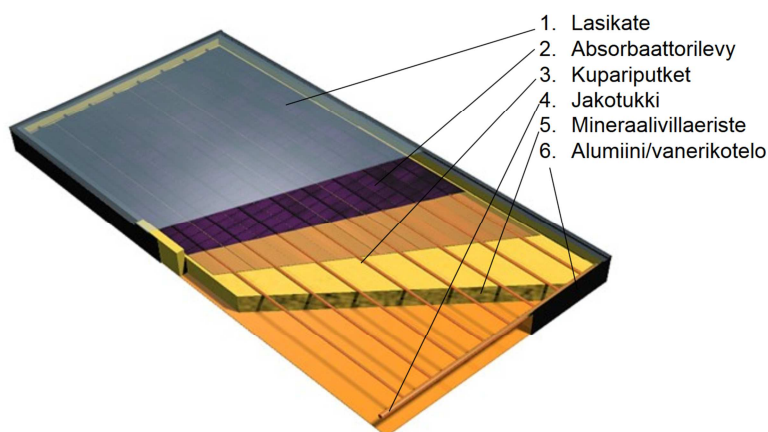
Tyhjiöputkikeräimillä pystytään hyödyntämään auringon tuottamaa hajasäteilyä, eli lämpöä saadaan talteen myös pilvisellä säällä. Tyhjiöputkitekniikasta on hyötyä keväällä ja syksyllä, jolloin aurinko paistaa vähemmän, mutta energian tarve on suurempaa. Tyhjiöputket ovat kustannuksiltaan kuitenkin kalliimmat kuin tasokeräimet. (Promecon 2012: Tyhjiöputkikeräimien toiminta; Motiva 2014: Tyhjiöputkikeräimet; Aurinko-opas 2008: 73; Sepratec: Aurinkokeräimet.)

3.2.2 Tasokeräimet

Tasokeräimissä auringon säteilyä kerätään tumman keräinelementin avulla. Kuvassa neljä esitetään tasokeräimen komponentit. Elementin tumma pinta absorboi siihen osuvasta säteilystä suurimman osan ja kuumenee, näin valosäteily muuttuu lämpösäteilyksi.

Tasokeräimien putkisto on usein kytketty rinnan, joten kiertoneste jakautuu tasan keräimen alareunasta yläreunaan meneviin putkiin. Keräimet voidaan myös yhdistää sarjaan, jolloin neste kiertää tasokeräimet yhdessä pitkässä putkessa. Tasokeräimen yhdistetään ala- ja yläreunasta kokoojaputkiin, joilla keräimet yhdistetään toisiinsa. Tasokeräimen putkisto valmistetaan lähes poikkeuksetta kuparista.

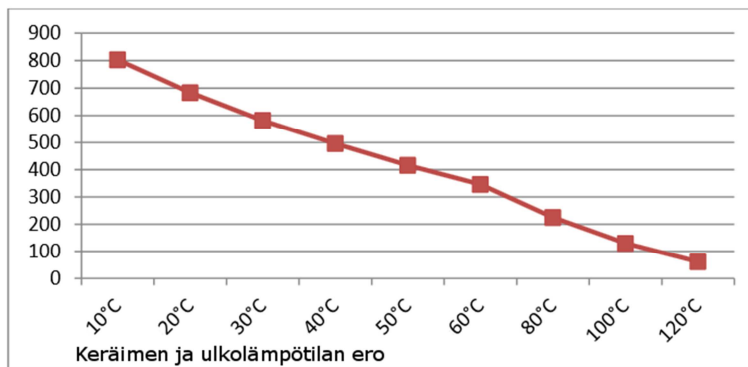
Tasokeräimet ovat edullisempia kuin tyhjiöputkikeräimet, mutta toimivat hieman huonommalla hyötysuhteella. Edullisilla tasokeräimillä voidaan kuitenkin päästä parempaan hintasuhteeseen vähemmän aurinkoisilla paikoilla verrattuna tyhjiöputkiin. Tasokeräin menettää yleensä enemmän lämpöä ympäristöönsä kuin tyhjiöputkikeräin, näin ollen lämpöhäviö kasvaa lämpötilaeron suhteen. Tasokeräimen lämpöhäviöitä voidaan parantaa katteen lasilaadulla. Yleisin kateeratkaisu on käyttää vähärautaista erikoislasiä, jonka läpäisykerroin on yli 90 % aurinkosäteilystä. Talviolosuhteissa tasokeräin pysyy paremmin sulana kuin tyhjiöputkikeräin, koska tyhjiöputkikeräimen pintalämpötila ei nouse niin korkealle, että lumi sulaisi sen päältä. (Micre: Aurinkolämpö; Aurinko-opas 2008: 73—74: 75: 79—80)



Kuva 4. Tasokeräimen komponentit.

3.3 Hyötysuhde

Hyötysuhteeseen vaikuttaa voimakkaasti se, kuinka paljon keräimen keskimääräinen lämpötila poikkeaa ympäristön lämpötilasta. Kuvassa 5 näkyy erään tasokeräimen teoreettinen vuotuinen tuotto (kWh/m^2) lämpötilaeron funktiona. Keräimet on suunnattu Helsingissä etelään suunnattuna 45 asteen kulmassa. Arvot ovat laskettu karkeatuottolaskurilla (SPF19) kyseisen keräimen mittaustulosten pohjalta. Kuvaajasta voidaan todeta, että keräimen ja ulkolämpötilan eron noustessa $+10^\circ\text{C}$:stä $+20^\circ\text{C}$:een putoaa vuotuinen tuotto noin 15 %. Tyhjiöputkikeräimillä ei tuoton pudotus ole yhtä suurta. Jos järjestelmään halutaan syöttää lämpöä korkeammassa lämpötilassa, on syytä harkita tyhjiöputkikeräimiä. (Gaia: Aurinkolämmön mahdollisuudet kaukolämpöjärjestelmässä)



Kuva 5. Erään tasokeräimen tuotto (kWh/m^2 / vuosi) Helsingissä lämpötilaeron funktiona.

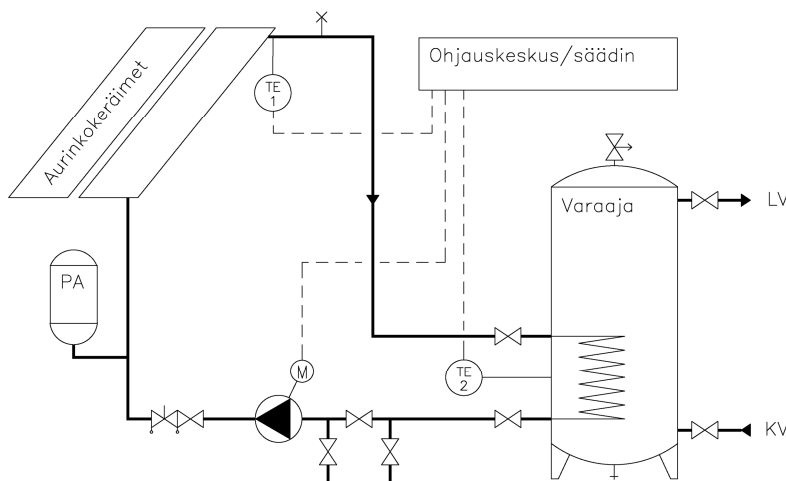
3.4 Aurinkokeräinten sijoitus

Aurinkokeräimet asennetaan tyypillisesti rakennuksen katolle tai ulkoseinälle paikkaan, jossa paistaa aurinko varjostamatta mahdollisimman pitkään. Paras ilmansuunta asentaa aurinkokeräimet ovat etelä, mutta kaakon (-45 astetta) ja lounaan (45 astetta) välinen asennus on vielä hyvä. Itä- ja länsisuuntaa kannattaa välttää, koska niitä pystytään hyödyntämään vain kesäisin.

Aurinkokeräimen suuntauksella on iso merkitys lämmöntuottoon. Kaltevuus aurinkokeräimillä olisi hyvä olla 30 – 60 astetta. Kuvassa kuusi näkyy kulmien vaikutus keräimen tehoon. Loivalla kulmalla saadaan kesällä eniten energiaa ja jyrkemmällä kulmalla saadaan energiaa enemmän keväällä ja syksyllä. Pohjoisessa kulman voi asettaa jopa 70 – 80 asteeseen. Jos halutaan optimoida energian saanti keväeseen ja syksyyn, on

paisuntasäiliö sekä varolaitteet. Nämä osat löytyvät jokaisesta aurinkolämpöjärjestelmästä riippumatta siitä, millainen on päälämmönlähde.

Kuvan seitsemän periaatekaaviossa automaatiojärjestelmä ohjaa pumppuyksikköä lämpötila-anturien TE1 ja TE2 lämpötilojen mukaan. Anturit sijaitsevat keräimessä ja toinen varaajassa. Keräimen lämpötila-anturi sijoitetaan keräimen kuumalle puolelle (meno). Lämpötilaerosäädin pitää pumpun käynnissä aina, kun keräimen ja varaajan lämpötila-ero ylittää sille asetetun arvon, esimerkiksi viisi astetta. Pumpun käynnistytessä, sen tulisi käydä vähintään 3—5 minuuttia yhtäjaksoisesti. Keräimiltä tuleva lämpö siirretään varaajan alaosaan aurinkokierukan avulla, josta kiertoneste jatkaa takaisin keräimille luovutettuaan lämmön varaajaan.



Kuva 7. Periaatekaavio aurinkokeräinten kytkennästä.

3.6 Aurinkolämpöjärjestelmän kiertovesipumppu

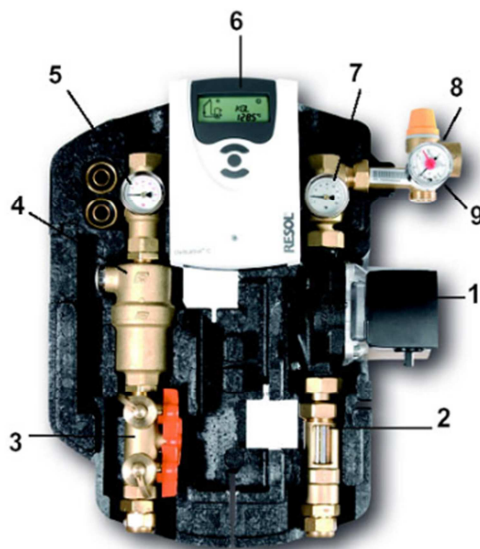
Aurinkolämpöjärjestelmän kiertovesipumput toimivat pienillä virtaamilla ja verrattain suurilla painehäviöillä. Aurinkolämpöjärjestelmiin on saatavilla valmiita pumppuyksiköitä, jotka ovat varustettu omalla säätö- ja ohjausyksiköllä. Valmiiden pumppuyksiköiden etuina on toimintavarmuus ja nopeampi asennus. Aurinkolämpöjärjestelmissä pumppu säädetään toimimaan lämpötilaeron mukaan.

Ohjausyksikkö pysäyttää kiertovesipumpun, kun asetettu raja-arvo kahden anturin välillä on tarpeeksi pieni, esimerkiksi varaajan ja keräimen lämpötilaero on alle viisi astetta.

Kiertovesipumppu pysäytetään myös, jos veden lämpötila varaajassa ylittää sille asetetun ohjearvon. Tässä tilanteessa keräimen on kestettävä korkeita lämpötiloja rikkoutumatta. Keräimen valmistaja ilmoittaa lämpötilan, jonka keräin kestää. Varaajan yltäessä maksimi lämpötila-arvoonsa voi kiertonesteen keräimiltä ohjata vaikka maalämpöjärjestelmään, jos sellainen on käytössä tai asentamalla toisen varaajan järjestelmään. (Savumax 2013: 7; Aurinko-opas 2008: 98)

Veden virtausnopeus suositellaan asetettavaksi 0,25–0,5 l/min jokaista paneelin neliötä kohden, jos ohjauskeskuksessa ei ole taajuusohjausta. Säätokeuskeskuksen ohjatessa pumpun taajuutta, on sulkuventtiili täysin auki. (Thermofloor: Aurinkolämpöasema)

Tehdasvalmisteisissa järjestelmissä kiertovesipumppuryhmään on integroitu esimerkiksi lämpömittarit, painemittari, varoventtiili, virtauksen säätö- / sulkuventtiili, virtausmittari, takaiskuventtiili, sulkuventtiili ja ilmanpoistin, kuten kuvan kahdeksan pumppuryhmässä. Pumppuryhmiä on myös saatavilla lämmönsiirtimin. (Savumax 2013: 7; Aurinko-opas 2008: 98; Sundial: Pumppuryhmät)



Kuva 8. Aurinkolämmityksen pumppuryhmä. 1. pumppu 2. virtausmittari. 3. täyttö- ja huuhteluliitäntä 4. ilmanpoisto 5. menolämpömittari, sulku ja vapaakierron esto 6. ohjausyksikkö 7. paluu-lämpömittari, sulku ja vapaakierronesto 8. varoventtiili 9. painemittari. (Flow Con C – pumppuyksikkö)

3.7 Lämpöenergian varastointi

Lämminvesivaraaja valitaan aurinkokeräinten pinta-alan perusteella, jos varaajaan ei liitetä muita lämmityskomponentteja. Yhtä keräinliötä kohden olisi hyvä olla noin 65 litraa tilavuutta varaajassa. Monissa lämpöjärjestelmissä talon lämmitystarve määrää varaajan koon. Suomessa vesivaraajat ovat yleensä yhdistelmävaraajia, jolla lämmitetään kuumaa käyttövettä sekä rakennuksen sisätiloja. Rakennuksen lämmöntuottojärjestelmä suljetaan kesän ajaksi, joten varaajan ainoaksi tehtäväksi jää käyttöveden lämmittäminen. Varaajan alaosassa on aurinkopiirin kierukka, jolla keräimiltä tuleva lämpö siirretään varaajaan. Varaajassa pyritään aina pitämään yllä lämpökerrostumia. Lataus- ja purkauskytkennöillä pyritään olla sekoittamatta varaajan lämpötilakerrostumia. Veden ominaispaino pienenee lämmitessä ja se laajenee, siksi lämmennyt vesi pyrkii varaajan yläosaan ja vastaavasti jäähtynyt vesi varaajan alaosaan. Nykyajan varaajissa käytetään kaksitasoista rakennetta, jossa välilevyllä erotetaan viileä ja lämmin vesi.

Varaajissa on 100 millimetrin polyuretaanieristys lämpöhäviöiden minimoimiseksi. Varaajia on paljon erilaisia riippuen käyttötarkoituksesta. Lämpöakkuja voidaan käyttää lämmitysenergian varaamiseen useimpien energialähteiden kanssa, kuten maalämpöpumpulla, poistoilmalämpöpumpulla tai aurinkoenergialla. Muita varaajia ovat hybridi-varaajat, käyttövesivaraaja, lämminvesivaraaja ja tulistusvaraajat.

Aurinkolämpöpiirissä pitää käyttää myrkytöntä lämmönsiirtonestettä, jos lämmönvaihdin on suoraan kosketuksissa kuumaan käyttöveteen. Tällä varmistetaan, ettei vuotava neste aiheuta vaaraa käyttöveden käyttäjälle. Toinen turvallisuusnäkökohta liittyy käyttöveden lämpötilaan, jonka tulee olla 55–65 °C. Alhaisemmissa lämpötiloissa kasvaa legionella-bakteeria, joka aiheuttaa keuhkokuumetta. (Aurinko-opas 2008: 109–111; y-energia: Varaaja)

3.8 Putkilinja ja paisunta-astia

Putkilinja yhdistää aurinkolämpöjärjestelmän eri komponentit toisiinsa. Menoputkeksi kutsutaan putkilinjaa keräimestä varaajaan ja tuloputkeksi varaajasta keräimeen. Järjestelmän tekniikka asennetaan paluuputkeen. Menoputkeen ei asenneta muuta kuin lämpömittari ja mahdollisesti vapaakierron esto. Pumpun päälle pitää kuitenkin asentaa

yksi mekaaninen vapaakierron esto, joka estää koko järjestelmän vapaakierron. Putkilinja kannattaa asentaa siten, että se viettää loivasti keräimestä varaajaan, näin sen ilmaus ja tyhjennys on helpompaa. Putkilinjan pohjalenkkiin asennetaan kaksi letkuventtiiliä ja niiden väliin yksi sulku (katso kuva 7). Letkuventtiileistä järjestelmä täytetään, huuhdotaan ja tyhjennetään. Lämmönkestävä ilmausventtiili asennetaan tavallisesti järjestelmän korkeimpaan kohtaan.

Paisunta-astia asennetaan paluuputkeen (varaajasta keräimeen) pumpun yläpuolelle. Keräimen ja paisunta-astian välille ei saa laittaa sulkua, vain huoltohana on sallittu. Paisunta-astia kannattaa asentaa hieman päälinjasta syrjään, jotta kiertoneste ehtii jäähtyä ennen kuin se saavuttaa paisunta-astian. Paisunta-astia mitoitetaan yli 10 % järjestelmän tilavuudesta, koska aurinkolämpöjärjestelmä saattaa kiehua kuivaksi. Paisunta-astian paine saa maksimissaan nousta 90 % varoventtiilin avaamispaineeseen. Isommassa paisunta-astiassa kalvo rasittuu vähemmän ja näin sen käyttöikä pitenee. (y-energia: Putkilinja)

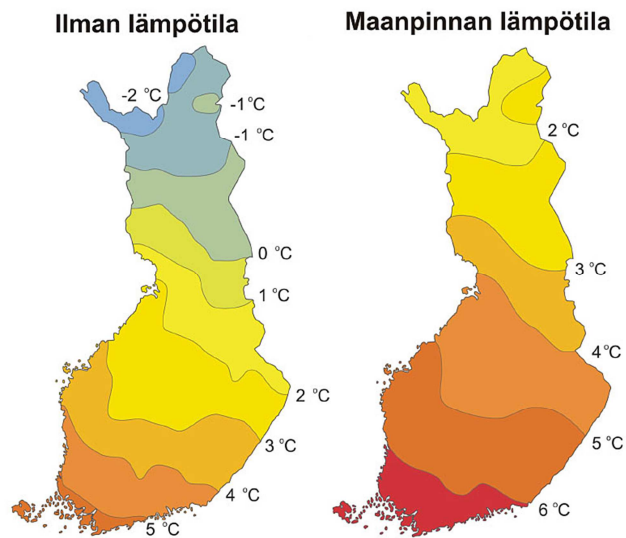
4 Maalämpö

Maalämmöllä (myös geolämpö, geoenergia tai geoterminen lämpö) tarkoitetaan maa-, kallioperään ja vesistöihin varastoitunutta energiaa. Maalämpö voidaan syntytapansa mukaan jakaa kolmeen eri ryhmään

- Maapallon sisäosista purkautuva sulan massa lämpöenergia. Ilmenee tulivuorten purkauksina tai kuumina suihkuavina lähteinä. Esiintyy tyypillisesti suhteellisen syvällä maassa.
- Radioaktiivisten aineiden hajoamisesta muodostunutta lämpöenergiaa. Esiintyy tyypillisesti vanhassa kallioperässä, johon ei maan sisuksen lämpö vaikuta.
- Auringon säteilyenergiasta muodostunutta maan pintaosien varaamaa lämpö-energiaa. Tähän ryhmään kuuluu myös vesistöjen lämpöenergia.

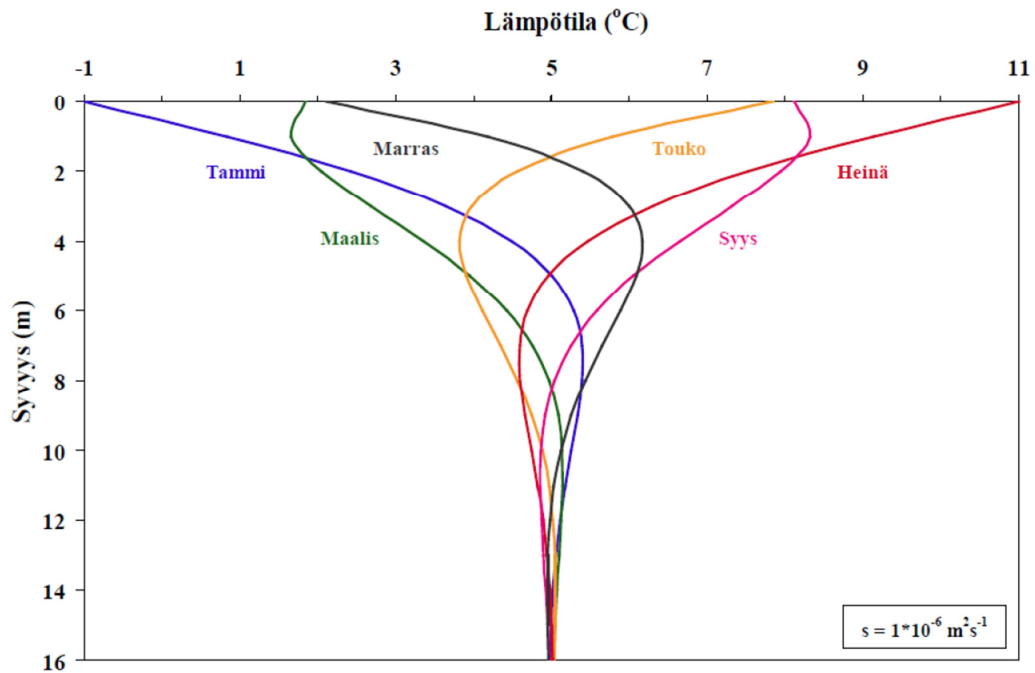
Tärkein maalämmön muoto on aurinkoenergian lämmittämä maanpinta. Suomessa keskilämpötila on suhteellisen matala ja se vaihtelee leveyspiirin mukaan. Maanpinnan keskilämpötila on kuitenkin kaksi Celsiusastetta korkeampi kuin ilman keskilämpötila vastaavilla vyöhykkeillä (kuva 9). Maalämpöjärjestelmää suunniteltaessa maanpinnan keskilämpötila on tärkeä mitoitettava tekijä. Oikein mitoitettu maalämpöjärjestelmä toimii

etelässä paremmalla hyötysuhteella kuin pohjoisessa. (Geologian tutkimuskeskus: geoenergia; Geoenergia: maalämmön hyödyntäminen)



Kuva 9. Lämpökartta, ilman ja maanpinnan keskilämpötilat vertailukaudelta 1971—2000. (ympäristöopas 2013)

Suomen suhteellisen viileä maanpinta tarjoaa edellytykset hyödyntää myös viilennystä vapaalla kierrolla. Maanpinnan vaihtelut tasaantuvat noin 14—16 metrissä ollen vuoden ympäri maanpinnan keskilämpötilan luokkaa (kuva 10). Kallioperän koostumus, rikkonaisuus ja pohjaveden liikkeet vaikuttavat saatavaan lämpöön. Kallioperän rikkonaisuus vaikeuttaa myös porausta ja voi aiheuttaa seinien sortumista. (Ympäristöministeriö: Ympäristöopas 2013)

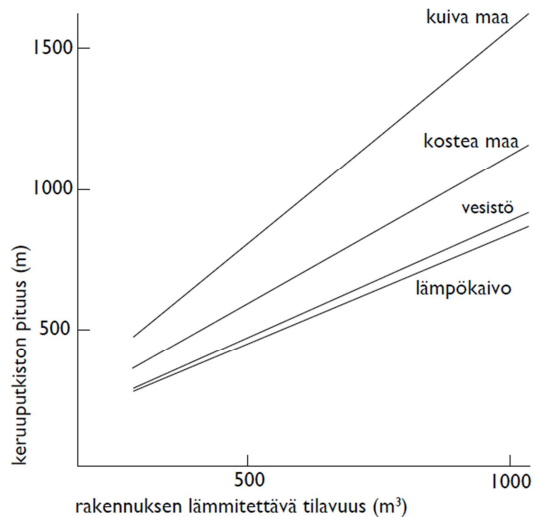


Kuva 10. Noin 15 metrin syvyydeltä lähtien on lämpötila vuodenajasta riippumaton. (Jarmo Kallio 2011, GTK)

4.1 Maalämmön keruujärjestelmät

Lämpöpumpputekniikan avulla maa- ja kallioperän lämpöenergia voidaan hyödyntää rakennusten ympärivuotiseen lämmittämiseen ja jäähdyttämiseen sekä käyttöveden lämmittämiseen. Lämmönlähteenä maalämpö on tehokkain lämpöpumpujen käyttämistä lähteistä, tosin hankintakustannukset ovat korkeammat kuin muissa lämpöpumpujärjestelmissä. Suhteelliset käyttökustannukset ovat kuitenkin pienemmät verrattuna muihin järjestelmiin. Maalämmön keruujärjestelmän rakentaminen vaatii aina kunnalta rakennusluvan. (Ympäristöministeriö: Ympäristöopas 2013)

Maalämpöjärjestelmään kuuluu lämpöpumppu, keruupiiri ja siirtoputkisto. Keruupiirin perinteiset sijainnit ovat: maapiiri, lämpökaivo tai vesistön pohjaan painoilla asennettu keruupiiri. Kuvassa 11 nähdään eri maalämpöjärjestelmien keruuputkistojen pituuksia suhteessa lämmitettävän rakennuksen tilavuuteen. Nykyään on myös saatu varteentettavia tuloksia sedimenttilämmöstä, joka hyödyntää vesistöjen sedimenttiä. Lämmönkeruupiiri asennetaan useiden metrien syvyyteen vesistön pohjaan. (Ympäristöministeriö: Ympäristöopas 2013; Geoenergia: Lämmön keruutapoja)



Kuva 11. Keruuputkistojen arvioituja pituuksia suhteessa rakennuksen tilavuuteen eri maalämpöjärjestelmillä. Maapiirin lämmönvarauskykyyn vaikuttaa oleellisesti maaperän kosteus, kostealla maaperällä on huomattavasti parempi lämmön varastointikyky kuin kuivalla maaperällä. (Ympäristöopas 2013, ympäristöministeriö)

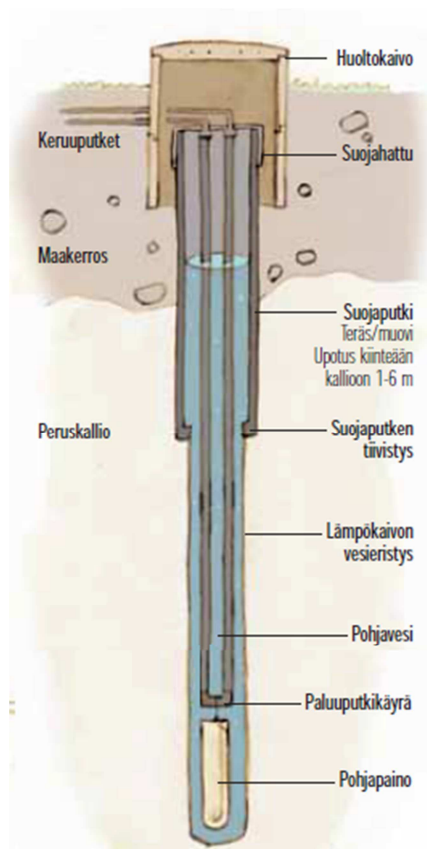
4.1.1 Maapiiri

Maapiiri on maanpinnan alle kaivettu vaakasuuntainen putkiverkosto, jossa kiertää lämmönkeruuneste. Asennussyvyys vaihtelee eri alueilla ja asentajien kesken. Tyypillisesti se asennetaan noin metrin syvyyteen ja vähintään puolentoista metrin välein. Maapiiri edellyttää tontilta tarpeeksi suurta pinta-alaa ja mielellään pehmeää maata, yleensä siis peltomaata. Savimaasta saadaan enemmän lämpöä kuin hiekkaperäisestä maasta. Kivinen maaperä ei sovellu hyvin maapiirille, koska roudan liikuttamat kivet voivat vahingoittaa putkistoa.

Maapiiri on yleensä hieman edullisempi hankkia kuin lämpökaivo. Maapiirin lämpötilavaihtelut ovat noin kymmenen Celsiusasteen luokkaa vuoden ajasta riippuen. Tontin pinta-alaa tarvitaan noin puolitoista neliometriä yhtä putkimetriä kohden. Rakennuskuitiota kohden tarvitaan yhdestä kahteen metriä keruuputkistoa, riippuen maaperän koostumuksesta. (Sisäministeriö: Ympäristöopas 2013; Motiva 2012: Lämpöä omasta maasta; Geoenergia: Lämmön keruutapoja)

4.1.2 Lämpökaivo

Lämpökaivo (kuva 12) on yleisin lämmönlähde maalämpöjärjestelmistä. Lämpökaivo on peruskallioon porattu pystysuuntainen reikä, johon keruuputket asennetaan. Lämpökaivo porataan tilanteesta riippuen 100—250 metrin syvyyteen ja on halkaisijaltaan useasti 115 millimetriä. Syvyyteen vaikuttaa rakennuksen lämmöntarve ja porakaivon vedentuotto. Veden saanti lisää kaivosta talteen otettavan energian määrää. Yleensä lämpökaivo täytetään vedellä, jos kaivosta ei saada vettä.



Kuva 12. Lämpökaivon komponentit

Lämpökaivosta saatu energian määrä vaihtelee alueittain. Energian määrä riippuu maaperän pohjaveden virtauksista sekä kallioperän lämmönjohtavuudesta. Usean lämpökaivon hankkeissa on suosittua tehdä testilämpökaivo, jonka perusteella voidaan selvittää lämmöntuottopotentiali. Suomessa kallioperän lämpötila on noin seitsemästä kahdeksaan Celsiusastetta 100 metrin syvyydessä. Kierrosta höyrystimelle palaavan lämmönkeruunesteen lämpötila on tavallisesti yli nolla Celsiusastetta. Kuvassa 10 nähdään maaperän keskimääräinen lämpötila eri syvyyksissä.

Lämpökaivoja porataan useampia, jos yksi kaivo ei tuota riittävästi lämpöä. Etäisyys lämpökaivoissa tulisi olla 15—20 metriä. Yli kymmenen lämpökaivon aluetta kutsutaan lämpö- tai energiakentäksi. Lämpökaivoa voidaan käyttää kesällä viilentämiseen. (Geidril: Lämpökaivo; Senera: Lämpökaivo porakaivo; Rototec: Lämpökaivo; Motiva 2012: Lämpöä omasta maasta)

4.1.3 Vesistölämpö

Vesistölämpö on varteenotettava vaihtoehto, jos rakennus sijaitsee lähellä rantaa ja vesi on kaksi metriä syvä jo rannan läheisyydessä. Vesistölämpöön soveltuvat hyvin lammet, järvet ja merenrannat. Yhdellä putkimetrillä saadaan noin 70–80 kWh lämpötehoa. Vesistön pohjan laatu ei merkittävästi vaikuta vesistölämmönratkaisun toteutukseen, vaan se määrää lämmönkeruuputken tyyppin. Kivikkoiseen pohjaan valitaan pakuseinäinen putki, joka kestää 10 baarin paineen. Pehmeään pohjaan, jossa sedimenttikerros on paksu, soveltuva putkityyppi on 40 millimetrin lämmönkeruuputki, jonka seinämän vahvuus on 2,4 millimetriä. Putki asennetaan pohjaan käyttäen noin 5—10 kilogramman betonipainoja jokaista putkimetriä kohden, jottei putki nouse pintaan. Veneen ankkurointi on kielletty alueella, jossa lämmönkeruuputki sijaitsee.

Lämmöntuottoon vaikuttaa vesistön pohjan laatu, pohjasedimentin lämpötila sekä veden virtaus. Tämän lämmönkeruuputkiston mitoituksessa käytetään 1,5 varmuuskerrointa, liian lyhyt lämmönkeruuputki alentaa lämmönkeruunesteen lämpötilaa, mikä taas laskee lämpöpumpun hyötysuhdetta. (Senera: Vesistölämpö; Motiva 2014: Vesistölämpö; Thermia: Neljä eri lämmönlähdettä)

5 Lämpöpumput

Maaperään ja vesistöihin varastoitunutta lämpöenergiaa voidaan pumpata hyötykäyttöön lämpöpumppujen avulla. Kaukojäähdytyksestä talteen otettua hukkalämpöä sekä kylmäkoneikkojen lauhdelämpöä voidaan myös hyödyntää lämpöpumppujen avulla.

Lämpöpumpun periaate on siirtää lämpöenergiaa lämmönlähteen ja lämmityskohteen välillä. Lämpöpumpulla lämmönlähteestä saatu lämpöenergia puristetaan kompressorin avulla lämmönkäyttökohteessa vaadittavalle tasolle. Vaikka lämpöpumput hyödyntävät

ilmaista energiaa (esimerkiksi maalämpöä), niin lämpöpumpulle tulee käyttökustannuksia sähkön kulutuksesta, joka taas vaikuttaa niiden lämpökertoimeen.

Lämmitystehoon ja lämpökertoimeen COP vaikuttaa lämmönlähteen ja lämmityskohteen lämpötilaero. Lämpökerroin kertoo, kuinka paljon enemmän lämpöä laite tuottaa, verrattuna suoraan sähkölämmitykseen. Esimerkiksi COP arvo 3 kertoo saadun lämmitystehon olevan kolminkertainen sähköverkosta otettuun tehoon nähden. COP käsitettä kutsutaan myös hyötysuhteeksi. (Sulpu: lämpöpumput; Motiva 2014: Lämpöpumput; Energiateollisuus 2014: Lämmön pientuotannon ja ylijäämälämmön hyödyntäminen kaukolämpötoiminnassa)

Lämpökertoimen suuruus riippuu lämmön keruu- ja luovutuslämpötiloista. Lämpökertoimen arvoa laskettaessa on käytettävä Kelvin -yksiköitä. Celsiusarvot muutetaan Kelvineiksi lisäämällä mitattuihin arvoihin luku 273. Teoreettisella kaavalla laskettu COP arvo olettaa kompressorin ja lämpöpumpun sekä muiden laitteiden toimivan 100 % hyötysuhteella. COP -arvo ei myöskään ota huomioon putkiston lämpöhäviötä. Tämän takia todelliset lämpökertoimet ovat aina pienempiä kuin ilmoitettu COP -arvo. Kohtalaisen hyvänä arvona voidaan pitää arvoa 3. (Perälä 2013: 30—32)

Lämpökertoimia verratessa pitää ottaa huomioon, missä mittausolosuhteissa lämpökerroin on annettu. Matala lämmönjakoverkoston lämpötila parantaa lämpökerrointa. Vuosilämpökerroin SCOP kuvaa paremmin lämpöpumpun lämpökerrointa.

Lämmönkeruupiirissä kulkeva kylmäaineen ominaisuudet vaikuttavat myös lämpöpumpun lämmitystehoon ja lämpökertoimeen. Sähkövastusten avulla voidaan nostaa ulos tulevaa lämpötilaa, mutta se heikentää lämpökerrointa.

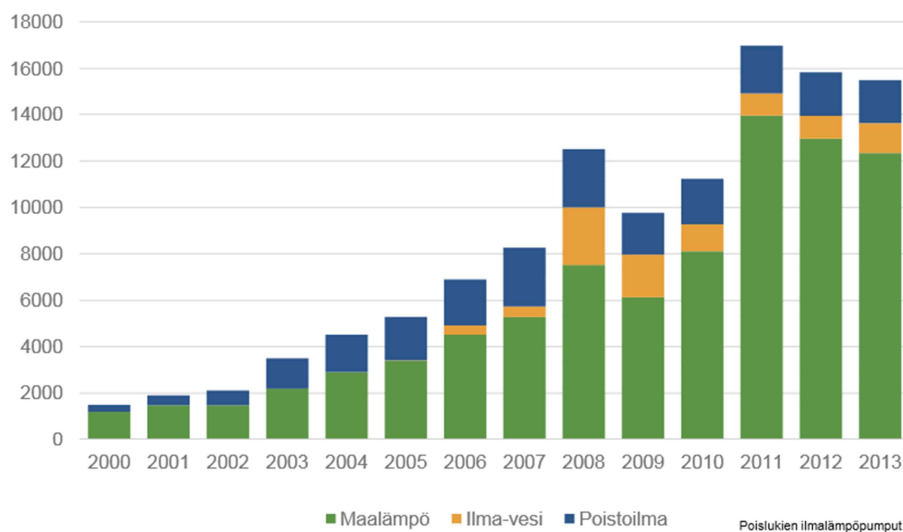
Kannattavuuden näkökulmasta ratkaisevassa roolissa on sähkön hinta suhteessa lämmön hintaan. Lämpöpumpuilla tuotettiin vuonna 2011 lämpöä Suomessa noin 4 TWh, jonka tuottamiseen tarvittiin sähköä 1,4 TWh.

Lämpöpumppuja luokitellaan lämpöenergian ottotavan mukaan:

- Ilmalämpöpumppu (ILP)
- Maalämpöpumppu (MLP)
- Poistoilmalämpöpumppu (PILP)
- Ilma-vesilämpöpumppu (IVLP)

Tässä opinnäytetyössä perehdytään maalämpöpumpun ja poistoilmalämpöpumpun toimintaperiaatteisiin sekä niiden hyödyntämiseen kaukolämmityssä kiinteistössä. (Sulpu: lämpöpumput; Motiva 2014: Lämpöpumput; Energiategollisuus: Lämmön pien-
tuotannon ja ylijäämä-lämmön hyödyntäminen kaukolämpötoiminnassa)

Lämpöpumppujen suosio on noussut energian hintojen myötä. Kuvassa 13 näkyy, miten lukumäärä on kasvanut vesikiertoisissa lämpöpumppujärjestelmissä. Lukumäärä kasvaa 16 000 lämpöpumpulla vuosittain pois lukien ilmalämpöpumput. (Sulpu: Lämpöpumpputilastoja)

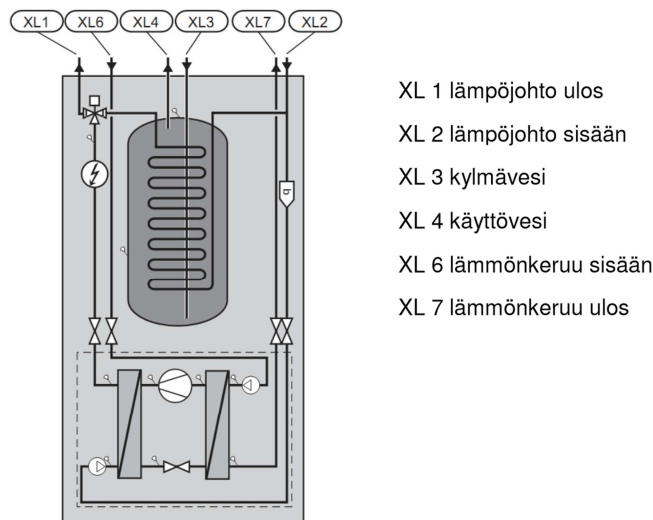


Kuva 13. vuosittainen kasvu noin 16 000, vesikiertoiset lämpöpumppujärjestelmät 2000—2013. (Sulpu ry. Lämpöpumpputilastoja)

5.1 Maalämpöpumppu (MLP)

Maalämpöpumppu kerää auringon lämpöä kalliosta, maaperästä tai vedestä. Lämpöpumppu perustuu fysikaaliseen ilmiöön, jossa tiivistetty kaasu lämpenee ja laajeneva kaasu kylmenee. Maalämmön tuottamasta lämmöstä noin 2/3 on uusiutuvaa energiaa ja loppu menee kompressorin vaatimaan sähkөөn.

Maalämpöpumppu soveltuu hyvin lämmönlähteeksi matalan lämpötilan lämmönjakojärjestelmiin, kuten lattialämmitykseen ja ilmalämmitykseen. Maalämpö soveltuu myös patterilämmitykseen, mutta patteripinta-alaa voidaan joutua suurentamaan. Maalämpöpumppua hyödynnetään myös käyttöveden lämmitykseen ja kesällä rakennuksen viilennykseen.

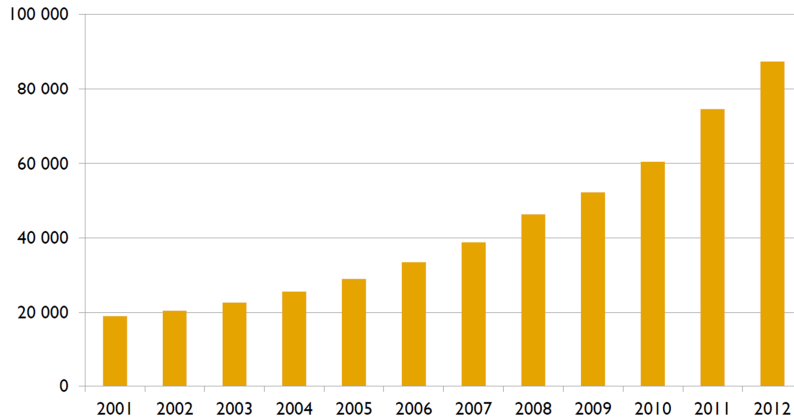


Kuva 14. Maalämpöpumpun periaate: alhaalla näkyy höyrystin, lauhdutin, kompressorin ja paisuntaventtiili. MLP:n yläosassa integroitu varaaja, isommissa järjestelmissä varaajat ovat erikseen kytketty järjestelmään. (NIBE, asentajan opas)

Maalämpöpumppu tarvitsee teknisen tilan, jossa huolto ja ylläpito on helppoa. Teknisen tilan mitoittamiseen tulee varata tarpeeksi tilaa lämpöpumppuyksikölle sekä tarvittaessa lämminvesivaraajalle. Esimerkkejä löytyy RT-ohjekortista 50–10755 maalämmitys tai rakennustietosäätöön ja LVI-keskusliiton LVI-ohjekortista 11–10332 lämpöpumput.

Vuonna 2014 maalämpöpumppuja asennettiin 20–30 % enemmän edellisvuosiin verrattuna (kuva 15). Vuonna 2012 Suomessa myytiin 13 000 maalämpöpumppua. Ylivoimaisesti eniten maalämpöpumppuja asukasluokkaan nähden on Ruotsissa. Vuosittain

Ruotsissa rakennetaan noin 40 000 lämpökaivoa. (Sulpu: lämpöpumput; Motiva 2014: Lämpöpumput; Thermia Lämpöpumput: Suuri lämpöpumppukirja; Ympäristöopas 2013: 10—11)



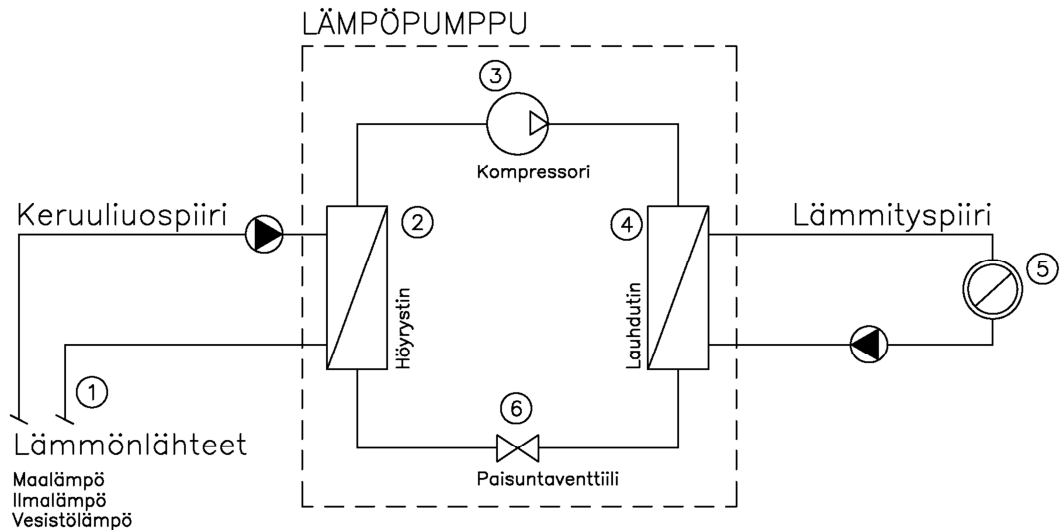
Kuva 15. Suomeen asennettujen maalämpöpumppujen kehitys vuosina 2000—2012. (Sulpu ry)

5.1.1 Lämpöpumpun toimintaperiaate

Lämpöpumpun toimintaperiaate on esitetty kuvassa 16, jossa esitetään numeroin prosessit, jotka ovat:

- 1 Keruuliuospiirissä kiertävä pakkasenkestävä lämmönkeruuneste (etanolin ja veden sekoitusta) lämpenee putkistoa ympäröivän maan/ilman/veden johdosta.
- 2 Keruuliukseen sitoutunut neste luovuttaa lämmön höyrystimessä ja jatkaa kiertoa takaisin lämmönlähteeseen. Höyrystimessä kylmäaineen lämpötila nousee muutaman asteen.
- 3 Kylmäaine puristetaan kompressorin avulla korkeaan paineeseen. Puristuksen seurauksena kylmäaineen lämpötila nousee ja muuttuu kaasuksi.
- 4 Lauhduttimessa kaasun lämpö siirretään lämmitykseen.
- 5 Lämmityspiirissä kiertävä vesi voidaan johtaa haluttuun käyttötarkoitukseen, usein lämminvesivaraajaan tai suoraan lämmönsiirtimeen.
- 6 Kylmäaine laajentuu paisuntaventtiilissä, jäähtyy ja jatkaa kiertoa takaisin höyrystimeen.

(Suuri lämpöpumppukirja: 16—17; IVT 2014: Lämpöpumpun toiminta)



Kuva 16. Lämpöpumpun toimintaperiaate.

5.1.2 Maalämpöjärjestelmän mitoitus

Maalämpöjärjestelmän keruuputkiston mitoituksen tärkein lähtökohta on rakennuksen energian tarve. Energian kulutukseen vaikuttaa rakennuksen eristystaso, muut lämmönlähteet, käyttöveden tarve, ilmanvaihto sekä maantieteellinen sijainti. Keruuputken mitoitukseen vaikuttaa myös oleellisesti kallio- ja maaperän koostumus, rakenne ja pohjavesiolosuhteet.

Rakennuksen lämmön ja jäähdytyksen tehon tarpeen ollessa selvillä, voidaan valita lämpöpumppu ja mitoittaa maalämpöjärjestelmän eri osat. Mitoituksessa huomioidaan keruuputkiston pituus ja määrä, lämpökaivon syvyys ja määrä sekä lämpökaivojen etäisyys toisistaan. Keruuputkistossa huomioidaan kokonaissyvyys, tehollinen syvyys sekä siirtoputkissa etäisyys lämpökaivolta lämpöpumpulle. Tehollinen syvyys tarkoittaa sitä osaa keruu-putkesta, joka on vedessä.

Maalämpöpumpun varaaja mitoitetaan tehon mukaan. Tarvittava tilavuus on noin 10 l/kW, joten laskettu varaajan koko olisi 50 kW tehoiselle maalämpöpumpulle 500 litraa.

Maalämpöpumppu voidaan mitoittaa kahdella eri tavalla, joko osatehoiseksi tai täysitehoiseksi. Täysitehoista mitoitusta käytettäessä lämpöpumppu tuottaa lämmitys- ja käyttöveden ilman sähkövastusta tai muuta lämmitysjärjestelmää myös vuoden kylmimpinä päivinä. Etuna on pienempi energiakulutus ja sulakekoko. Haittapuolena täysitehoises-

sa järjestelmään on korkeampi hankintakustannus. Osatehoisessa mitoituksessa lämpöpumppu mitoitetaan noin 60–85 % verrattuna huipputehotarpeeseen. Osa-tehoisella järjestelmällä tuotetaan laskennallisesti noin 90–98 % vuotuisesta energiatarpeesta. Loppu energia voidaan tuottaa lisälämmitysvastuksella tai muulla lämmitysjärjestelmällä. Etuna on hieman nopeampi takaisinmaksuaika ja kompressorin pidempi kestoikä, haittapuolena suurempi huipputehontarve sähköverkosta.

Kallioperän kivilajien lämmönjohtavuuksissa on myös isoja eroja, jotka on otettava huomioon mitoituksessa. Graniitin keskimääräinen lämmönjohtavuus on noin 3,4 W/mk ja kiilleliuskeen lämmönjohtavuus 2,0 W/mk. Lämmönjohtavuus vaikuttaa merkittävästi tarvittavien lämpökaivojen määrään ja syvyyteen.

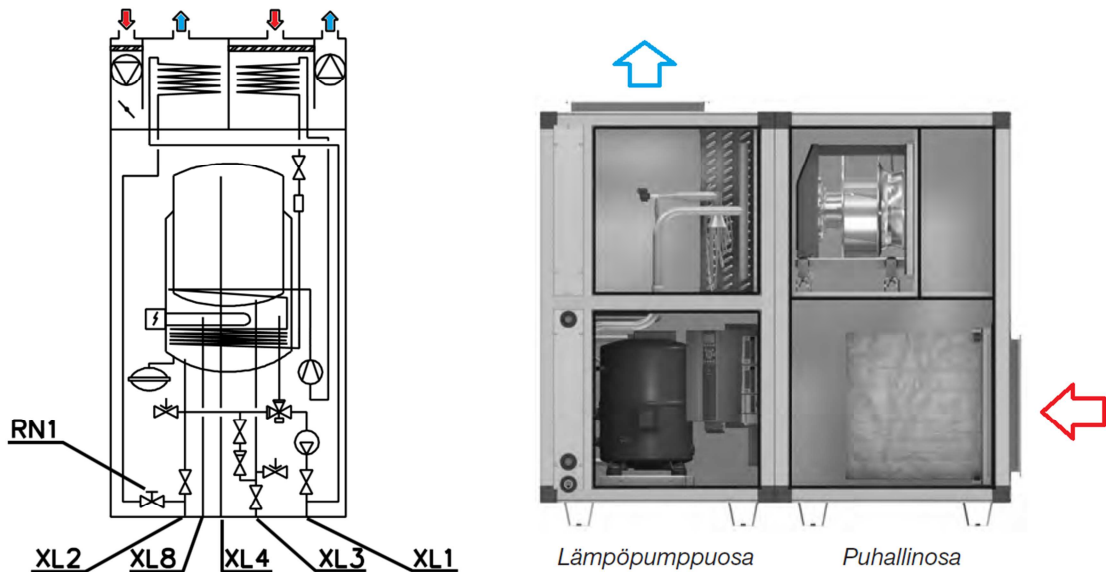
TRT-mittausmenetelmällä pystytään mittaamaan kallioperän sekä porareian termisiä ominaisuuksia paikan päällä, kuten häiriötön keskilämpötila, kallioperän tehollinen lämmönjohtavuus, λ [W/Km].

Poratun reiän lämmönjohtokykyyn vaikuttaa kallioperän lämmönjohtavuus, pohjaveden virtaus sekä porareian lämpövastus [K/W]. TRT-mittausten perusteella pystytään mallintamaan energiakentän toimintaa jopa sadan vuoden ajalle. TRT-mittaus tehdään usein maksimissaan 30 vuoden ajalle.

Lämpöpumpputoimittajat tarjoavat usein omille järjestelmilleen omia laskentaohjelmia, joita järjestelmän suunnittelija voi hyödyntää. (Ympäristöopas 2013: mitoitus; Motiva 2014: Lämpöpumppu)

5.2 Poistoilmalämpöpumppu (PILP)

Poistoilmalämpöpumppu (kuva 17) ottaa lämpöä talteen rakennuksesta poistettavasta ilmasta. Lämpöpumpun avulla talteen otettu lämpö voidaan siirtää haluttuun kohteeseen, esimerkiksi lämpimään käyttöveteen, lämmitykseen tai muuhun lämmitysjärjestelmään. PILP ottaa lämmitysenergiaa talosta koneellisesti poistettavasta ilmasta IV-putkiston kautta. Ilmanvaihtokone ja LTO-laite voidaan korvata pienemmissä kohteissa PILP:llä. Lisäominaisuutena PILP:iin voi saada tuloilman viilennyksen. (Sulpu: Poistoilmalämpöpumppu; Motiva 2013: Poistoilmalämpöpumppu; Motiva 2008: Ilmalämpöpumppu; Perälä 2013: 78)



Kuva 17. Poistoilmalämpöpumppu ottaa lämpöä talteen rakennuksen poistoilmasta, niin että ulos puhallettava jäteilma jäähtyy huomattavasti. Vasemmanpuoleisessa mallissa, joka on tarkoitettu pienempiin kohteisiin, on poistoilman lisäksi tuloilma huoneisiin. Lämmityksen meno kytketään XL1:en ja paluu XL2:en. Kylmävesi kytketään XL3:en ja Lämminvesi XL4:en. Kosteiden tilojen lämmitys kytketään XL8:an ja paluu lämmityksen paluuputkeen. Vesivirta tuloilmapatterin lävitse säädetään säätöventtiilillä RN1. Oikeanpuoleinen malli on suunniteltu kerrostalon katolle asennettavaksi. (Rae Perälä, Lämpöpumput, s.78, vasen PILP NIBE F470 ja oikeanpuoleinen IV-produkt)

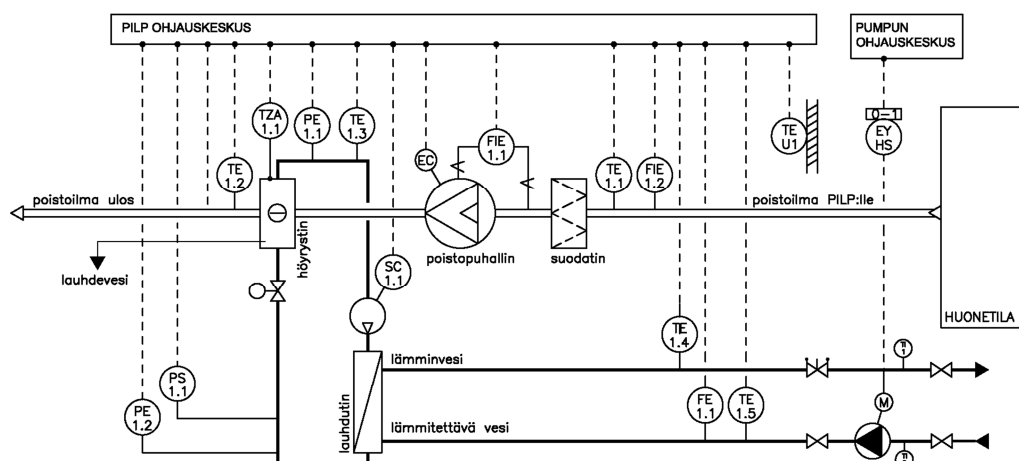
Toimiakseen PILP vaatii jatkuvan poistoilmavirran, joka on 0,5 kertaa rakennuksen ilmatilavuus tunnissa. PILP:llä varustettu rakennus vaatii aina myös lisälämmönlähteen, joka voi olla sähkövastus lämminvesivaraajassa pienemmissä kohteissa. Tyypillisesti PILP:llä voidaan säästää noin 40 % rakennuksen energiakuluista. Suurin hyötysuhde saadaan matalaenergia- tai passiivitalossa, koska sisätilavuus on suuri suhteessa lämmitystehon tarpeeseen nähden. Kaukolämmitetyssä rakennuksessa PILP:n lämpö kannattaa syöttää lämmitysverkostoon pitkän lämmityskauden takia (noin 9 kk), vaikka kesällä PILP:iä ei käytettäisi lämmittämään käyttövettä. (Perälä 2013: 79; Motiva 2013: Poistoilmalämpöpumppu; Motiva 2008: Ilmalämpöpumppu)

PILP toimii vakioteholla tai ohjastusti kolmella eri teholla mallista riippuen (esimerkiksi hidastettu-, vakio- ja tehostusnopeus). PILP:n lämmönlähde on noin 21 °C sisäilma, joten siitä saadaan lämpöä ympäri vuoden. Talvella voidaan käyttää hidastettua toimintaa, jolloin ilmamäärät ovat pienempiä ja taas kesällä tehostettu toimintaa, jolloin ilmamäärä on suurempi. Mitä kylmemmäksi jäteilma pystytään jäähdyttämään, sen parempi on laitteen lämpökerroin. Parhailla laitteilla pystytään saavuttamaan jopa -15 °C jäteilman lämpötila. (Energiatehokaskoti 2014: poistoilmalämpöpumppu; Sulpu: Poistoilma-

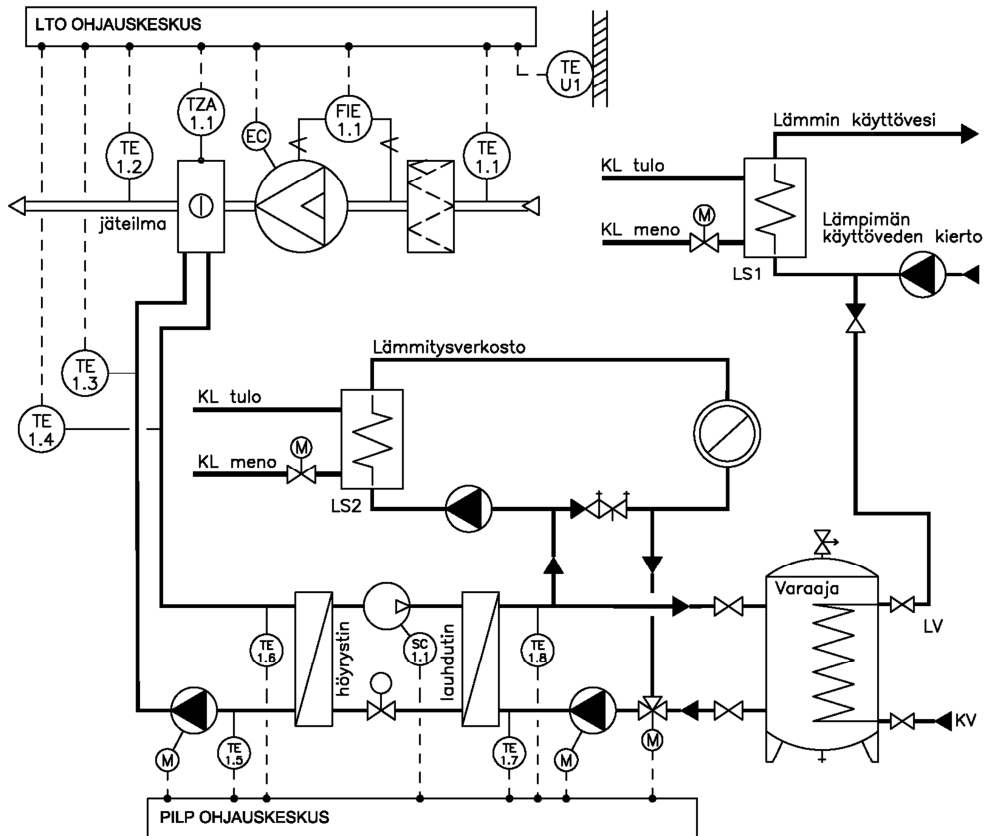
lämpöpumppu; Motiva 2013: Poistoilmalämpöpumppu; Motiva 2008: Ilmalämpöpumppu)

5.3 Poistoilmalämpöpumpun toimintaperiaate

Toimintaperiaate vastaa lämpöpumpun toimintaa. PILP:n toimintaperiaatteessa lämmin poistoilma puhalletaan lämmönsiirtimen läpi, jolloin lämpöenergia siirtyy höyrystimen kautta kylmäainepiiriin josta se jatkaa matkaa kompressorille, joka puristaa kylmäaineen noin 80 asteeseen. Höyry ohjataan lauhduttimelle, jossa lämpö siirretään vesikiertoiseen järjestelmään, esimerkiksi varaajaan tai suoraan lämpimän veden kiertoon. Lauhduttimelta kylmäaine jatkaa paisuntaventtiilille, jossa kylmäaine jäähtyy ja palaa takasin höyrystimelle. Poistoilma puhalletaan jäähtyneenä ulos talosta. Kuvassa 18 ja 19 periaatekaaviot PILP:n toiminnasta. (NIBE 2014: Poistoilma; IV-produkt: Käyttö- ja huolto-ohjeet)



Kuva 18. Periaatekaavio poistoilmalämpöpumpun kytkennästä, jossa höyrystin kytketty suoraan poistoilmakanavaan. Lämpöpumppu sijaitsee tässä esimerkissä katolla. (lähde IV-produkt)



Kuva 19. Periaatekaavio poistoilmalämpöpumpun kytkennästä, jossa LTO-patteri kerää lämmön poistoilmakanavasta, josta lämmönkeruuneste pumpataan erikseen lämpöpumpulle. Lämpö vietään lämpöpumpulta suoraan lämmitysverkostoon ja varaajan kautta käyttöveteen. Lämpöpumppu voidaan sijoittaa lämmönjakuhuoneeseen. (lähde Kair)

5.4 Poistoilmalämpöpumpun ohjaus

Poistoilmalämpöpumpun ohjaus tapahtuu ohjausyksikön avulla. Yksiköstä riippuen PILP:iä voidaan ohjata eri tavoin, esimerkiksi puhaltimen pyörimisnopeutta voidaan ohjata monella tapaa. Poistopuhaltimelle annetaan tyypillisesti aikaohjelman mukaiset pyörimisnopeudet, jonka mukaan poistoilmaa puhalletaan ulos. Puhaltimen nopeutta voidaan säätimestä riippuen ohjata myös huonelämpötilan, ilmanlaadun, ilmankosteuden tai ulkolämpötilan avulla.

Kompressoria ohjataan antureiden mittaustulosten perusteella taajuusmuuttajalla, joka pyörittää kompressoria parhaalla hyötysuhteella ja pysäyttää tarvittaessa sen, mikäli joku antureista alittaa tai ylittää sille annetut raja-arvot. (Intervent: Climatix-ohjausyksikön pikaohje)

6 Kaukolämpö

Suomessa yleisin lämmitysmuoto on kaukolämpö. Kaukolämpöä on saatavissa lähes kaikista kaupungeissa ja taajamissa. Kaukolämpöä on käytetty Suomessa 1950 –luvun alusta lähtien. Kaukolämmityksen osuus lämmitysmarkkinoista on noin 46 %. Asuinkerrostaloista noin 95 % on kaukolämpöverkossa. Julkisista ja liikerakennuksista valtaosa on kaukolämmitettyjä.

Kaukolämmön polttoaineita ovat maakaasu, kivihiili, turve, metsäpolttoaine, teollisuuden puutähte, muut biopolttoaineet, sekapolttaineet, teollisuuden sekundäärilämpö, raskas polttoöljy ja kevyt polttoöljy. Maakaasua ja kivihiiltä käytettiin yhteensä yli 50 % kokonaisuudesta.

Toimintavarmuus kaukolämmöllä on lähes 100 %. Verkosto on useimmiten silmukoitu eli asiakaan lämmönsaanti tulee useammalta kuin yhdeltä syöttösuunnalta. (Motiva 2012: Kaukolämpö; Energiateollisuus: Kaukolämmitys; Kaukolämpö: Toimintaperiaate; Energiateollisuus: Kaukolämpötilasto 2013)

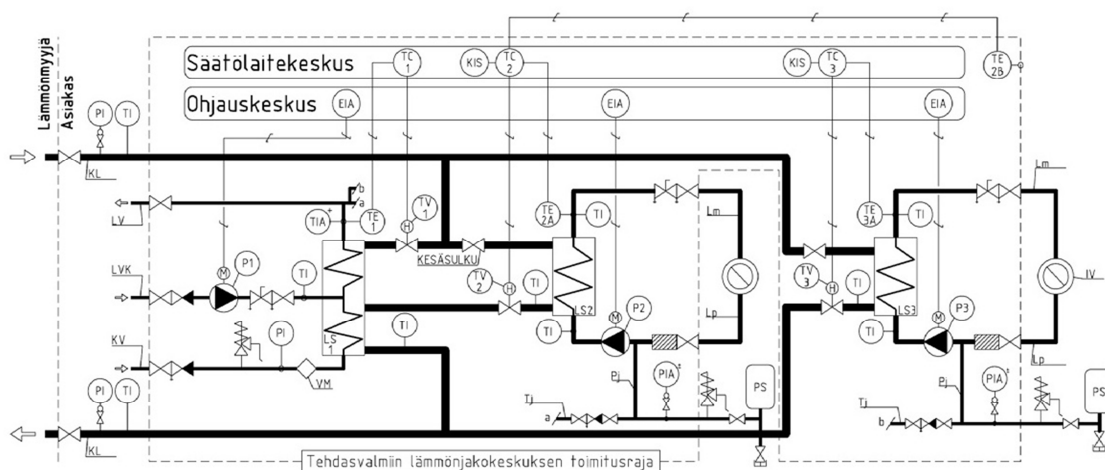
6.1 Toimintaperiaate

Kun asiakas liittyy kaukolämpöverkoston, hänen tiloihin asennetaan kaukolämpökeskus. Lämpö siirretään kuumana vetenä suljetussa kaksiputkisessa kaukolämpöverkossa. Lämmin vesi johdetaan asiakkaan lämpökeskukseen, jossa se luovuttaa lämpöä lämmönsiirtimen avulla asiakkaan lämmitysverkoston ja käyttöveteen. Lämmönsiirtimet erottavat vesijärjestelmät toisistaan, joten ne eivät pääse sekoittumaan keskenään. Ensiöpuolen lämmönsiirtimessä kiertää kaukolämpöverkoston vesi. Mittaus tapahtuu ensiöpuolella kaukolämmön myyjän toimittamilla laitteilla. Keskuksen toisiopuolella lämmönsiirtimessä kiertää rakennuksen vesi.

Rakennukset käyttävät lämpöä huoneiden ja käyttöveden lämmittämiseen sekä ilmanvaihtoon. Kaukolämpöveden lämpötila vaihtelee sään mukaan 65—115 °C välillä. Alimmillaan se on kesällä, jolloin lämpöä tarvitaan vain lämpimään käyttöveteen. Kaukolämpöverkon vesi palaa jäähtyneenä, noin 25—50 °C takaisin verkoston, jossa se kulkee paluujohdossa takaisin tuotantolaitokseen uudelleen lämmitettäväksi. (Harju 2006: 102; Motiva 2012: Kaukolämpö)

Kaukolämpöverkossa kiertävä vesi on käsitelty mekaanisten epäpuhtauksien ja hapen poistamiseksi putkien sisäpuolisen korroosion estämiseksi. Vesi värjätään usein vihreäksi mahdollisten vuotojen tai vaurioiden paikantamiseksi. Kaukolämpöverkossa kiertävä vesi ei ole terveydelle tai ympäristölle vaarallinen.

Asiakkaat ottavat kaukolämmön vastaan lämmönjakokeskuksessa, jotka suunnitellaan ja mitoitetaan rakennuksen mukaan. Lämmönjakokeskukset ovat tehdasvalmisteisia kokonaisuuksia, jotka rakennetaan suunnittelijan tekemän suunnitelman mukaan. Lämmönjakokeskukseen kuuluu kohteesta riippuen lämmityksen ja käyttöveden lämmönsiirtimet, säätölaitteet, pumput, paisunta-astia, varolaitteet, lämpö- ja painemittarit, sulkuventtiilit sekä mahdollinen ilmanvaihdon ja luiskalämmityksen lämmönsiirrin. Kuvassa 20 on esitetty tyypillinen kaukolämpökeskuksen kytkentä välisyötöllä. (Motiva 2012: Kaukolämpö; Energiategollisuus: Kaukolämmitys; Kaukolämpö: Toimintaperiaate; Energiategollisuus: Kaukolämpötilasto 2013)



Kuva 20. Kaukolämmön välisyöttökytkentä, jossa ilmanvaihdon lämmitys on kytketty omalla lämmönsiirtimellä kaukolämpöön. Säädin TC1 ohjaa säätöventtiiliä TV1 anturin TE1 mukaan käyttöveden asetusarvoonsa ja pitäen sen asetusarvon mukaisena. Lämmitysverkosto säädetään anturin mittaaman ulkolämpötilan ja verkoston tarvitseman lämmön mukaan. Merkinntä liitteessä 1. (Energiategollisuus 2014: K1)

6.2 Lämmönsiirtimet

Lämmönsiirtimet ovat yleensä levylämmönsiirtimiä, joilla saadaan tehokas lämmönsiirto pienessä tilassa. Siirtimet mitoitetaan vastaamaan tarvittavaa hetkellistä lämmitystehoa. Tarvittaessa kaukolämmöstä voidaan osa ohjata lämmönsiirtimien ohi (jos ky-

seessä on tarpeeksi pieni mitoituslämpötilaero ja painehäviöt muuten ylittäisivät sallitun 20 kPa:n), muuten ensiö- ja toisiopuolen koko vesivirta ohjataan siirtimen läpi. Lämmönsiirtimet ovat paineastiamääräysten alaisia ja niillä on omat tyyppikilvet. Kaukolämpöveden jäähtymisestä voidaan päätellä laitteiston säädön asiallinen toiminta ja mitoituksen oikeellisuus. Kaukolämpöveden jäähtymä tulisi olla mahdollisimman suuri, vähintään 25—50 °C. Lämpöenergiamittareista voidaan lukea hetkellisen jäähtyksen lämpötilaero. (Harju 2006: 111; Kaukolämmön käsikirja 2006: 71)

6.2.1 Käyttöveden lämmönsiirrin

Siirtimen teho mitoitetaan käyttöveden virtaaman mukaan 55 °C:een. Käyttöveden virtaaman pitää olla vähintään 0,3 dm³/s, joka vastaa 57 kW tehoa siirtimessä. Käyttöveden jatkuva virtaus tulee olla kupariputkessa enintään 1,0 m/s eroosiokorroosion ehkäisemiseksi. (Kaukolämmön käsikirja 2006: 72)

6.2.2 Lämmityksen ja ilmanvaihdon lämmönsiirtimet

Lämmönsiirtimet mitoitetaan suurimman lämmitystehon mukaisilla lämpötiloilla. Jaksotaisessa käytössä mitoitetaan seisontajakson jälkeisen tehohuipun mukaan. Siirtimen toiminta on myös otettava huomioon tilanteessa, jossa virtaamat ovat suurimmat, kuten ilmanvaihdon käyttö täydellä teholla alimmassa ulkolämpötilassa.

Glykolivesiliuosta käytettäessä tulee ottaa liuoksen ominaisuudet huomioon lämmönsiirrossa. Glykolivesiliuosta voidaan käyttää esimerkiksi tilanteessa, jossa kytketään aurinkolämpö suoraan lämmitykseen. (Kaukolämmön käsikirja 2006: 72)

6.3 Kiertovesipumput

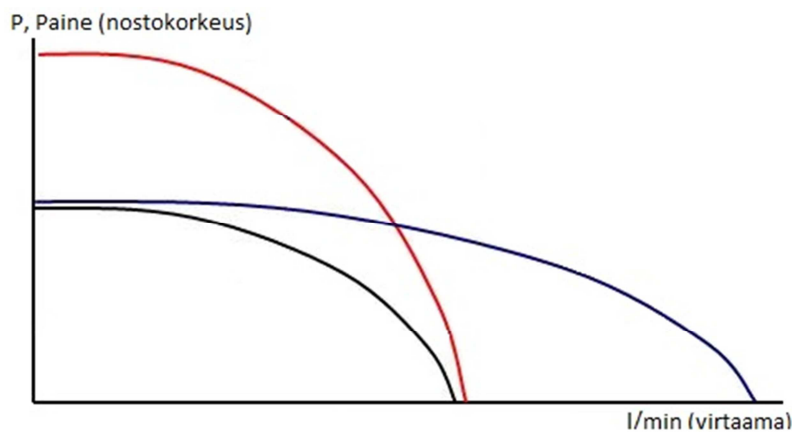
Käyttövesipumpun täytyy kierrättää vettä jatkuvasti. Pumppu suositellaan asennettavaksi paluu puolelle. Lämmitys- ja IV-puolen pumpun pysähtyessä, täytyy vastaavan ensiöpuolen säätöventtiilin sulkeutua automaattisesti. Ohjausjärjestelmän olisi hyvä käyttää lämmityspumppuja määräjain ennalta määritetyllä aikaohjelmalla. Lämmitys- ja IV-pumppuja suositellaan käytettäväksi portaattomalla säädöllä. (Kaukolämmön käsikirja 2006: 78)

Kiertovesipumppu mitoitetaan lämmönsiirtimen toiminta-arvojen mukaisilla virtaamilla. Painehäviöitä kiertovesipiiriin muodostavat putket, venttiilit, säätölaitteet ja radiaattorit. Pumpun nostokorkeuteen, eli paineen tuottoon vaikuttaa verkoston putkipituus.

Kuvassa 21 pumpun ominaiskäyrä (musta viiva), jossa on otettu huomioon virtaama ja nostokorkeus. Kuvasta nähdään näiden keskinäinen riippuvuus, suurelle virtaukselle kasvaa painehäviö ja suuremmalla paineella virtauksen määrä tippuu.

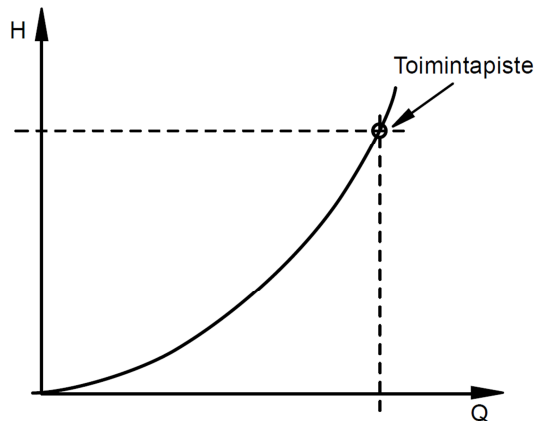
Punainen käyrä kuvaa pumpun käyttöä sarjassa, siinä nostokorkeus kasvaa tuoton pysyessä samana. Sarjakäytössä jälkimmäistä pumppua voidaan kutsua paineenkorotuspumpuksi. Pumput sijaitsevat verkon menopuolella ja toinen paluupuolella.

Sininen käyrä kuvaa pumpun käyttöä rinnan, virtaamaa saadaan näin kasvatettua paineen pysyessä samana. Rinnan kytkennässä pumput ovat usein menopuolella ja keskenään samankokoiset.



Kuva 21. Kiertovesipumpun ominaiskäyrä

Jokaisella kiertovesipumpulla on toimintapiste (kuva 22), jolla pumppu toimii parhaalla hyötysuhteella. Toimintapiste saadaan selville vertaamalla pumpun ominaiskäyrää verkoston vastustuskäyrään. Näiden kahden käyrän leikkauspistettä kutsutaan toimintapisteeksi



Kuva 22. Toimintapiste.

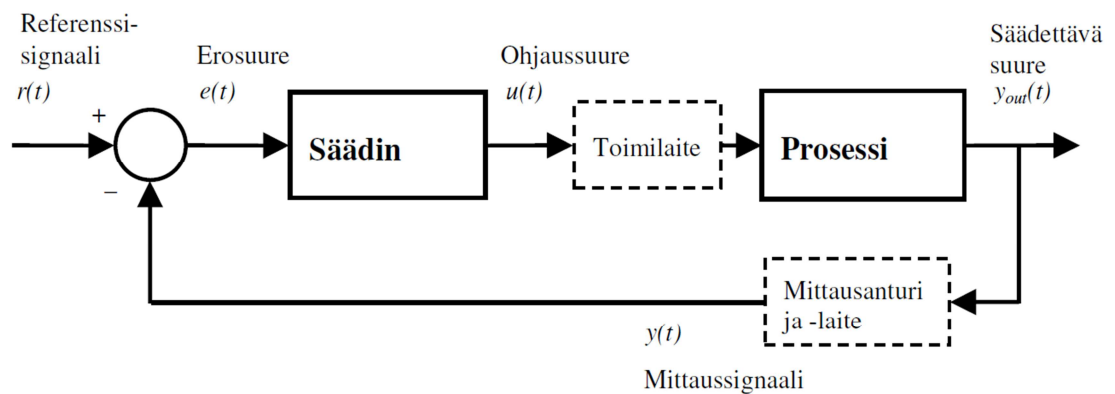
Kiertovesipumppuja voidaan säätää myös pumpuista riippuen suhteellisen paineen mukaan, vakiopaineen, vakiolämpötilan ja vakiokäyrän mukaan. Suhteellista painetta käytetään järjestelmissä, joissa esiintyy suuria painehäviöitä. Vakiopaineen säätöä käytetään järjestelmissä, joissa on pienet painehäviöt. Vakiolämpötilan säätöä käytetään lämpimän käyttöveden kierrätyksessä. Vakiokäyrää voidaan käyttää tilanteessa, jossa pumppua ohjataan ulkoisella signaalilla. (Motiva 2009: Energiatehokas pumpausjärjestelmä; Harju 2006: 80; Grundfos 2012: Magna3)

6.4 Ohjausyksikön säätölaitteet

Säätölaitteilla ylläpidetään käyttövedelle ja huoneilmalle asetettuja ohjearvoja kaikissa olosuhteissa. Hyvin toteutettu säätö edesauttaa hyvän sisälämpötilan luomisessa ja energiatehokkaan toiminnan. Yksittäisen säätöpiirin tehtävä on pitää säädettävän suureen arvo tarkoituksenmukaisella tarkkuudella asetusarvossaan. (Harju 2006: 182; Rakennusautomaatiojärjestelmät 2012: 55)

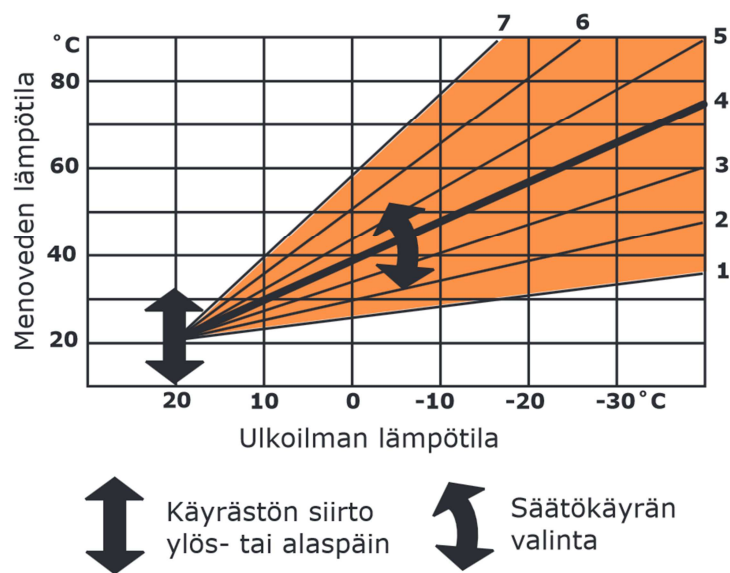
Suljetun säätöpiirin rakenne muodostuu seuraavista osista: anturi tai lähetin, säädin ja toimilaitte. Kaukolämpöjärjestelmässä on säätökeskus, jossa on lämmityksen ja käyttöveden säätimet. Säätimeen on kytketty ulkolämpötila-anturi, patteriverkostoon menevän veden lämpötila-anturi sekä säätöventtiilin ohjaus. Lämmityspatterin menoveden lämpötila säädetään ulkolämpötilan mukaan, käyttövesi ohjearvon mukaan. Kuvassa 23 referenssisignaalilla kuvataan asetusarvoa säätökäyrään, jota säädin vertailee anturilta tulleeseen arvoon ja antaa ohjausviestin näiden suureiden erotuksella toimilaitteelle, joka tässä tapauksessa tarkoittaa ohjattavaa säätöventtiiliä. Säädettävä suure on läm-

mitysveden virtaama. (Rakennusautomaatiojärjestelmät 2012: 55—56; VTT 2003; Sää-
tökeskus)



Kuva 23. Lohkokaavio suljetusta säätöpiiristä.

Lämmitysveden lämpötilaa säädetään ulkolämpötilan mukaan säätökäyrän (kuva 24) avulla. Säädin on varustettu omalla säätökäyrällä ja käyttäjä voi valita oikean säätökäyrän asennon kokeilemalla. Säätökäyrä on laitekohtainen ja eroaa eri valmistajien laitteiden mukaan. Lattia- ja IV-lämpö säädetään omalla säätökäyrällä. (VTT: Mikä on säätökäyrä; Energiateollisuus: Käytä kaukolämpöä oikein)



Kuva 24. Kaukolämmön säätökäyrä. (Energiateollisuus: Käytä kaukolämpöä oikein)

Säätöpiirin tulee olla riittävän nopea ja olla huomioimatta ulkopuolisia häiriöitä. Liian nopeaksi viritetty säätöpiirin häiriöherkkyys lisääntyy ja piiristä tulee helposti itsestään värähtelevä, epästabiili. Liian hitaaksi viritetty säätöpiiri hidastuu ja muutostilanteiden hallinta vaikeutuu.

Suurin pysyvä poikkeama asetusarvosta saa olla ± 2 °C ja palautumisajan viive kaksi minuuttia. Säädön muut toimintavaatimukset (hetkellinen poikkeama ja jatkuva huojunta) löytyvät energiateollisuuden julkaisusta K1, määräykset ja ohjeet. (Energiateollisuus 2014: K1 määräykset ja ohjeet; Energiateollisuus: Käytä kaukolämpöä oikein)

6.5 Säätöventtiili

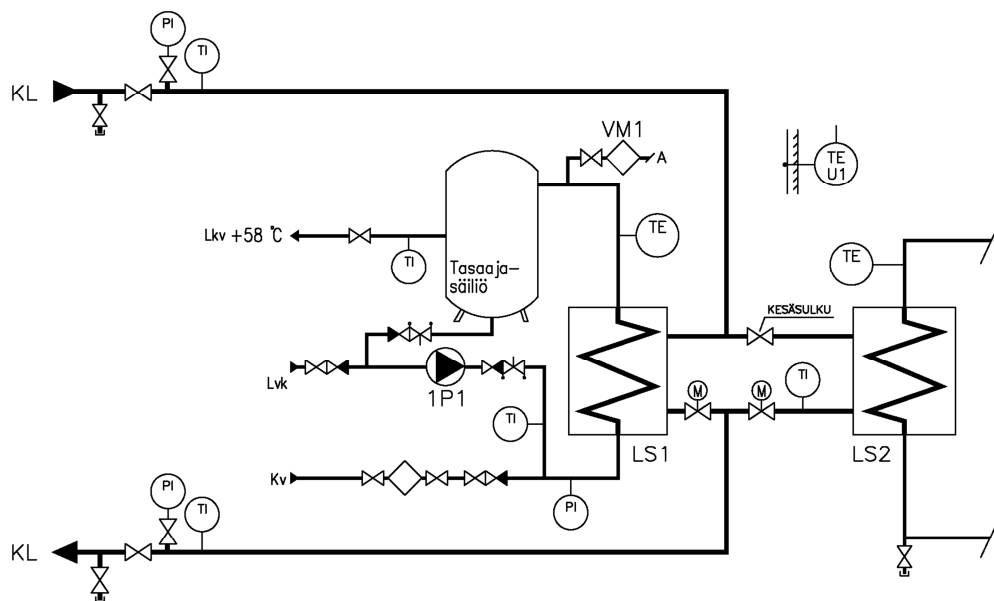
Säätöventtiiliä käytetään lämmityksen ja lämpimän käyttöveden säädössä. Säätöventtiiliä ohjataan toimilaitteella. Säätöventtiili mitoitetaan lämmönsiirtimen mitoituservojen mukaisilla virroilla, tehoilla, lämpötiloilla ja paine-eroilla. Paine-eron vaihtelurajoihin toimittaa lämmönmyyjä. Venttiiliin k_{vs} –arvolla tarkoitetaan venttiilin läpi kulkevaa virtausta (m^3/h) venttiilin ollessa täysin auki paine-erolla 100 kPa. Venttiilin k_{vr} –arvolla ilmoitetaan kiinni – asennossa pienin virtaus (m^3/h), joka menee venttiilin läpi 100 kPa paine-erolla. Lämmönjakokeskuksen säätöventtiilit kuuluvat aina keskuksen valmistajan toimitukseen. Säätöventtiilin valinnassa tarvitaan lähtötietoina:

- Lämmityssiirtimen ensiöpuolen virtaus.
- Lämmönmyyjän ilmoittama paine-ero.
- Lämmönsiirtimen painehäviö.
- Putkiston painehäviö.

6.6 Käyttövesivaraajan periaatekytkentä käyttöveteen

Kaukolämmön tilaustehoa saadaan leikattua lämpimän käyttöveden varaajalla, kuvassa 25 periaatekaavio. Tilausteho määrittää kaukolämmön liittymis- ja perusmaksut. Kaukolämmöntoimittaja hyötyy voidessaan käyttää pienempää putkikokoa uusissa jakeluverkostoissa. Käyttövesivaraajien käyttö on kuitenkin vähäistä johtuen ilmeisesti lämpimän käyttöveden varastointiin liittyvän legionellariskin takia.

Varaaja tulee liittää käyttövedenkiertoon siten, että käyttöveden lämmönsiirtimeltä tuleva vesi varastoidaan varaajaan. Kiertoon lähtevän käyttöveden lähtö tapahtuu varaajan keskivaiheilta, jotta veden lämpötila säilyy lähes vakiona (+58 °C). Varastoitunutta vettä palautetaan varaajalta linjasäätöventtiilin avulla takaisin käyttövesikierron paluu puolelle. Varaajan tilavuus mitoitetaan käyttöveden huippukulutuksen mukaisesti niin, että kahden minuutin ajan (sallittu säätöpoikkeama) käyttöveden kulutus tulee käytännössä kokonaan varaajasta. Varaajan yläosaan varastoidaan yli +58 °C vesi ja alaosaan alle +58 °C vesi. Lämpötila tasataan kierrättämällä vettä tasaajan alaosasta takaisin käyttövesikierron paluupuolelle. Suuremmissa kohteissa lämpimän käyttöveden kiertopumpuna on kannattavaa käyttää paluulämpötilan mukaan kierrosnopeussäädettyä pumpua, jolloin käyttöveden kierron paluulämpötilaksi voidaan asettaa +55 °C. Tällä menetelmällä vältetään tarpeettoman suuri pumppaus. Kiertopumpun säätö tulee asettaa hitaaksi, jotta vältetään lisähäiriö käyttöveden menolämpötilasäädölle. (VTT 2009: Huippuenergiatehokkaan asuintalon kaukolämpöratkaisut)



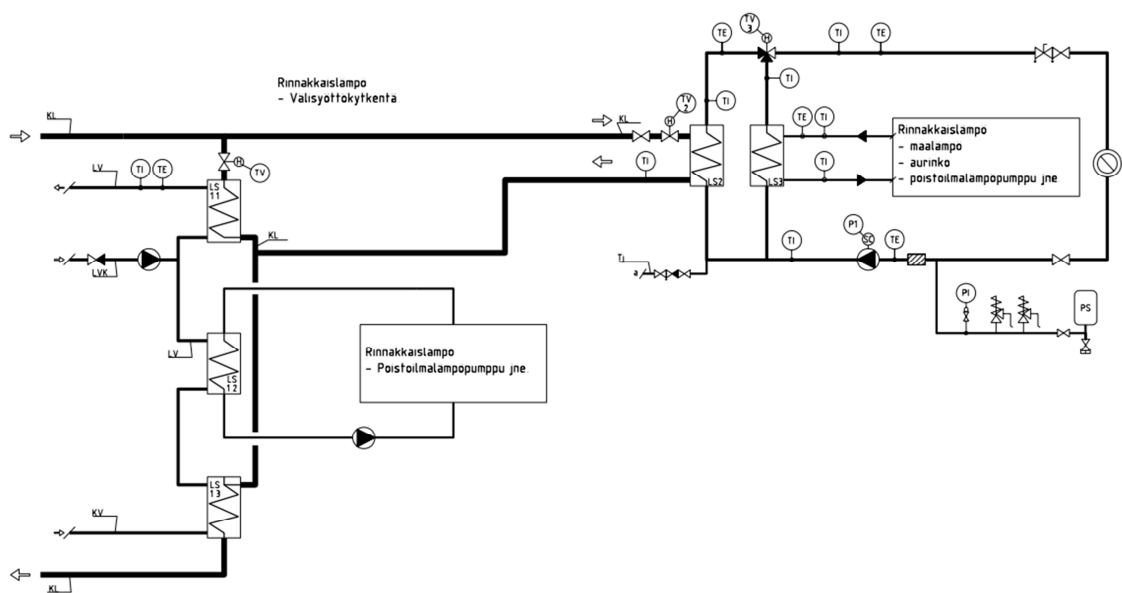
Kuva 25. Periaatekaavio käyttövesivaraajan kytkennästä. Kylmävesijohdossa erillinen pumpu varaajan veden kierrättämiseen lataus tilanteessa. (VTT 2009: huippuenergiatehokkaan asuintalon kaukolämpöratkaisut; Pöyry 2011: Kaukolämmön lämmönjakokeskusten kytkennät ja lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat)

6.7 Muiden lämmönlähteiden periaatekytkennät kaukolämpöön

Kaukolämpöön voidaan kytkeä rinnakkain myös muita lämmönlähteitä. Kaukolämmön tarjoajaan on hyvä olla yhteydessä heti hankkeen alkuvaiheessa, ainakin ennen laitehankintaa ja asennusta. Laitteiston suunnittelussa on noudatettava seuraavia ohjeita:

- Rakennusten kaukolämmitys Määräykset ja ohjeet K1/2013
- Kaukolämmön suunnittelu- ja urakointiohjeita HE 1/2014
- Suomen rakentamismääräyskokoelma D1
- Sosiaali- ja terveysministeriön opas 2003:1 Asumisterveysohje

Periaatekaaviossa (kuva 26) on esitetty kytkentä lämmönsiirtimellä rakennuksen lämmitysverkostoon sekä kytkentä käyttöveteen. Kyt kentämallit on laadittu siten, että kaukolämmitysveden jäähtymä ei huonone tarpeettomasti. Varaajan avulla järjestelmää saadaan lisättyä toimintavarmuutta ja tehostettua rinnakkaisen lämmönlähteen hyötyä. (Energia-teollisuus 2014: K1 määräykset ja ohjeet)



Kuva 26. Periaatekaavio rinnakkaisen lämmönlähteen käyttämisestä lämmitysverkostossa. (Helsingin energia 2014: Ohje hybridikytkennästä asiakkaan kaukolämpölaitteiston rinnalle)

Lämmityksessä käytetään ensisijaisesti rinnakkaisen lämpöjärjestelmän lämmönsiirintä, johon lämpö tuodaan kiinteistökohtaisesta lämmönlähteestä, kuten aurinkokeräimil-

tä, maalämpö- tai poistoilmalämpöpumpulta. Kaukolämmön lämmönsiirrin tulee apuun siinä vaiheessa, kun lämmitysverkon lämpötila ei pysy haluttuna. Kaukolämmön lämmönsiirtimen pitää tuottaa lämmitysverkoston menoveden korkeampaa lämpötilaa.

Lämpimän käyttöveden lämmitys rinnakkaisella järjestelmällä pysyy asetusarvossa oman säätölaitteistoa ohjaavan TE mittausarvon perusteella. TE mittaus otetaan lämpimänveden menopuolelta. Mikäli asetusarvoa ei saavuteta, ohjataan kaukolämmön säätökeskukselta TV säätöventtiiliä TE mittausarvon perusteella pitäen lämpötila asetusarvossa, joka on noin 58 °C. (Energiateollisuus 2014: K1 määräykset ja ohjeet)

6.8 Aurinkolämmön yhdistäminen kaukolämpöön

Kaukolämmön kanssa voidaan käyttää aurinkoenergiaa kytkemällä aurinkokeräimet varaajaan, jossa lämmin käyttövesi esilämmitetään. Käyttöpisteessä saa aina sopivan lämpöistä vettä, sitten kun aurinkokeräimistä loppuu lämmitysteho, niin kaukolämpö hoitaa loppulämmityksen. Kytkentä tehdään lähes poikkeuksetta varaajan kautta ja liitetään käyttöveden lämmitykseen 3-tiemoottoriventtiin avulla lämpimän veden kiertoon. Varaajasta voidaan syöttää lämpöä myös esimerkiksi lattialämmitykseen samalla periaatteella. Kaukolämmönmyyjä ei välttämättä hyväksy käyttöveden esilämmittämistä, joten sitä kannattaa aina kysyä etukäteen ennen tarkempien suunnitelmien tekemistä.

7 Rakennusautomaatio

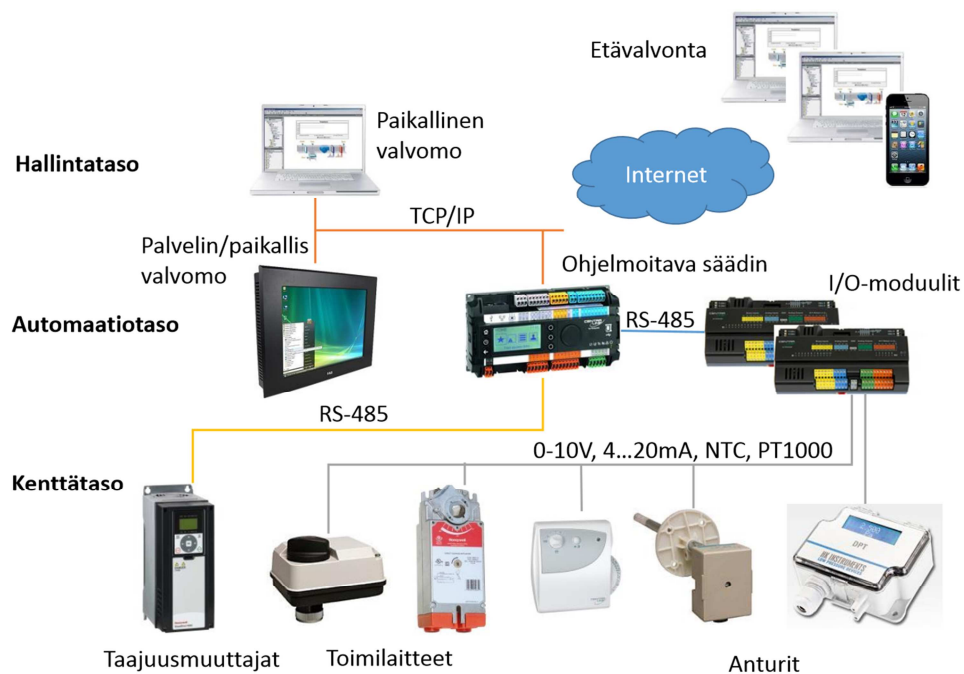
Rakennusautomaatiolla ohjataan rakennuksen lämmitys-, ilmanvaihto-, valvonta-, hälytys- ja valaistusjärjestelmiä. Rakennusautomaation avulla pystytään lisäämään viihtyvyyttä, turvallisuutta ja vähentämään energian kulutusta. Rakennusautomaatiojärjestelmä koostuu yleensä valvomosta, valvonta-alakeskuksista, kenttälaitteista ja kentällä olevista säätimistä, kuten huonesäätimistä sekä pakettikoneisiin liitetyistä säätimistä. Järjestelmän tehtävänä on kerätä informaatiota energian kulutuksesta, olosuhde muutoksista ja laitteiden käyttötiloista. Järjestelmän eri osat kommunikoivat keskenään tiedonsiirtolaitteilla ja kaapeloinnin avulla. (Sahlstén 2014: Luentomateriaali)

7.1 Järjestelmän rakenne

Rakennusautomaatiojärjestelmän hierarkkinen rakenne käsittää kolme päätasoa:

- Hallintataso, johon kuuluu paikallisvalvomot ja etäyhteydellä varustetut valvomot, jota kutsutaan keskusvalvomoksi.
- Automaatiotaso, johon kuuluu valvonta-alakeskus (VAK) sekä sen sisältämät komponentit, kuten I/O-moduulit, säätiminen ja prosessoriyksiköt.
- Kenttätaso, johon kuuluu kentällä sijaitsevat kenttälaitteet, kuten anturit, toimilaitteet sekä itsenäiset säätimet.

(Rakennusautomaatiojärjestelmät 2012: 93)



Kuva 27. Rakennusautomaation hierarkkinen rakenne. (Prosessi-automaatio, puhdistila-automaatio)

7.1.1 Hallintataso

Rakennusautomaatiojärjestelmää hallitaan PC-valvomon avulla, jolla käyttäjä pystyy valvomaan graafisia prosessikuvia eri laitteiden toiminnasta. Valvomoon saadaan tiedot eri hälytyksistä. Käyttäjä voi tehdä haluttuja muutoksia asetusarvoihin ja aikaohjelmin. Valvomossa on usein eri käyttäjille luotu tunnukset, joilla on erilaiset oikeudet jär-

jestelmään. Paikallisvalvomot sijaitsevat valvottavassa kiinteistössä ja keskus- tai kaukovalvomot ovat etävalvonnassa, johon on usein keskitetty useita kiinteistöjä. Kaukovalvontaa käyttävät pääasiassa huoltoyhtiöt, kunnat ja kaupungit. Paikallisvalvomot ovat usein myös etäyhteydellä varustettu, jossa käyttäjä voi kiinteän IP-osoitteen avulla valvoa prosessia puuttumatta sen toimintaan. Erilaisten trendien ja käyttöhistorian raportoinnin tekeminen onnistuu myös valvomosta, jos sellainen lisäominaisuus on siihen lisätty. (Rakennusautomaatiojärjestelmät 2012: 93)

7.1.2 Automaatiotaso

Automaatiotaso käsittää itsenäiset valvonta-alakeskukset (jatkossa VAK), joissa sijaitsee prosessiyksiköt, I/O-moduulit, tiedonsiirtolaitteet ja operointipaneeli. Pienemmissä järjestelmissä käytetään usein kiinteän I/O-pistemäärän sisältäviä kokonaisuuksia. VAK sisältää ohjelmat, joilla ohjataan ja säädetään erilaisia prosesseja, kuten IV-koneita, pumppuja, moottoreita ja valaistusta.

Automaatiotason kommunikointi valvomoon perustuu usein LAN-verkkoon ja TCP/IP-protokollaan, joka toimii Ethernet-verkossa. Kenttäkaapeloinnissa käytetään CAT6 muukaista kaapelointia, jolla päästään 100 Mb/s nopeuksiin. Saneerauskohteissa voidaan myös käyttää tiedonvälitykseen langatonta WLAN-verkkoa. (Rakennusautomaatiojärjestelmät 2012: 94; Prosessi-automaatio: Puhdastila-automaatio)

7.1.3 Kenttätaso

Kenttätaso muodostuu ensisijaisesti antureista, jotka välittävät tietoa VAK:n ja toimilaitteista, joita ohjataan antureista saatujen tietojen perusteella. Kenttätasolla voi myös olla hajautettuja I/O-moduuleita sekä itsenäisiä säätimiä, kuten huonesäätimiä, jotka ovat väyläteknikalla liitetty VAK:n tai vaihtoehtoisesti suoraan valvomoon. Kenttätasoon kuuluu myös käyttövalmiit pakettikoneet, jotka ovat usein varustettu omalla automaatiolla, sekä säätimellä. Pakettikoneet ovat liitettävissä piirikortilta väylän avulla VAK:n tai valvomoon. (Rakennusautomaatiojärjestelmät 2012: 95)

7.2 Kenttälaitteet

Kenttälaitteet yhdistävät rakennusautomaatiojärjestelmän sen fyysiseen ympäristöön. Luvussa on esitelty kenttälaitteet, jotka esiintyvät säätökaavioissa.

7.2.1 Lämpötila-anturi

Rakennusautomaation yleisin anturi on lämpötila-anturi. Sen toiminta perustuu vastusarvoon, eli resistanssiin. Lämpötilakertoimen ollessa negatiivinen, anturin tyyppi on NTC (Negative Temperature Coefficient). Lämpötilakertoimen ollessa positiivinen, anturin tyyppi on PTC (Positive Temperature Coefficient). Yksi käytetyimmistä anturityypeistä on PT 100, jossa on platinaelementti. Anturin nimellisvastus on $100 \Omega / 0 \text{ }^\circ\text{C}$:ssa ja tarkkuusluokka $\pm 0,3 \text{ }^\circ\text{C} / 0 \text{ }^\circ\text{C}$:ssa.

Lämpötila-anturin tyyppi valitaan lämpötila-alueen, sijainnin ja toimintanopeuden mukaan. (Produal: Lämpötilan mittaus)

7.2.2 Paineanturi

Suljettujen nestepiirien painetta voidaan valvoa analogisilla paineantureilla. Paineen ylittäessä tai alittaessa asetetut raja-arvot, saadaan ohjelmallinen hälytys VAK:sta. LVI-automaatioissa käytetään joko painelähetintä, joka ilmoittaa järjestelmän painetta tai paine-erolähetintä, joka ilmoittaa kahden piirin välistä painetta. Painetta mitataan ke-raamisella anturielementillä, jota voidaan käyttää anturista riippuen vedessä, glykoli/vesiseoksessa, ilmassa ja öljyssä. Anturista voidaan valita käyttöönotossa sopiva mittausalue. (Produal 2012: Vesiverkoston painelähettimet)

7.2.3 Vesimittari

Vesimittarilla mitataan rakennuksen kuluttamaa vesimäärää kuutiometreinä. Uusissa asuinkiinteistöissä vaaditaan huoneistokohtaista alamittausta kylmälle ja kuumalle vedelle. Vesimittari voi olla tyypiltään yksi- tai monisuihkuinen kuivalaskuri, jossa vesisuihku pyörittää siipiratasta ja laskurikoneistoa. Liityntä RAU-järjestelmään toteutetaan impulssilaitteella tai väyläpohjaisella järjestelmällä, esimerkiksi M-BUS. (Rakennusautomaatiojärjestelmät 2012: 120)

7.2.4 Energiamittari

Energiamittari mittaa meno- ja paluuputkesta lämpötilaeron sekä virtauksen. Näillä tiedoilla lasketaan teho ja kulutettu lämpömäärä tietyllä ajanjaksolla. Liityntä tehdään samaan tapaan kuin vesimittarilla. (Rakennusautomaatiojärjestelmät: 120)

7.2.5 DI-pisteet

Kosketintietoon perustuvat tilatiedot ja hälytykset liitetään VAK:n digitaalisina tulopisteiden avulla. Pistetyypin tunnuksena käytetään DI-pistettä. Kenttälaitteelta tuleva tieto voi olla avautuva tai sulkeutuva. Kriittinen tilatieto voidaan tarvittaessa liittää lisävasituksen avulla analogiapisteeksi, jolloin järjestelmä pystyy erottamaan kaapelikatkokset, oikosulun ja varsinaiset koskettimen tilatiedot.

Valvontasilmukoiden jännitetasot ovat normaalisti 20—48V ja suojattu ylijännitteiltä. Mikäli indikoitava laite on herkkä antamaan häiriöitä, voidaan apuna käyttää galvaanista erotusta käyttäen erotusmuuntajia tai optoerottimia. (Rakennusautomaatiojärjestelmät: 105)

7.2.6 DO-pisteet

Digitaalisilla lähdoilla ohjataan toimilaitteita ja koneita päälle/pois tyyppisesti. Ohjaukset tehdään DO-moduulilla, jossa on 230V releet koneiden ohjaamista varten. Väliireleitä voidaan käyttää, jos DO-moduulilla ei ole omia releitä. Ohjaukomentoja valvotaan usein erillisellä DI-pisteellä, jolla saadaan tilatieto ohjauksen tilasta, jos tilatieto poikkeaa ohjaustiedosta, järjestelmä antaa ristiriitahälytyksen. Koneiden ohjaaminen käsikytkimellä tapahtuu usein ryhmäkeskuksesta, josta voidaan ohjauspiste ajaa päälle, pois päältä tai automaatille. (Rakennusautomaatiojärjestelmät 2012: 105)

7.2.7 AI-pisteet

Analogisiin tuloihin liitetään erilaisia mittausantureita, joiden mittaustulos saadaan yleensä 0—10VDC jänniteviestillä. Jänniteviesti skaalataan alueiden mukaan VAK:n vastaamaan anturin teknisiä arvoja. Anturin oikea mittausalue on ratkaisevassa roolissa prosessin säädön tarkkuudessa, tämän vuoksi on tärkeää valita oikean tyyppinen anturi prosessin mittaukseen. AI-moduuli käsittelee mittaustulosta monin tavoin, ennen

kuin järjestelmä säätää prosessia mittaustuloksen mukaan. (Rakennusautomaatiojärjestelmät 2012: 106)

7.2.8 AO-pisteet

Analogisiin lähtöihin liitetään säädettäviä toimilaitteita, kuten säätöventtiileitä ja peltejä. VAK:n ohjelmisto käyttää eri säätömenetelmiä, kuten PID-säätöä muuttaessaan ohjausarvot analogiseksi jänniteviestiksi. Jänniteviestit ovat normaalisti 0—10 tai 2—10VDC. AO-moduulin D/A-muunninpiiri tuottaa analogisen ohjausjännitteen. Muuntimen bittimäärä kertoo jännitetasojen määrän. 8-bittisellä muuntimella saadaan 256 eri jännitetasoja ja 10-bittisellä muuntimella jännitetasoja on 1024. (Rakennusautomaatiojärjestelmät 2012: 107)

7.2.9 Pulssilaskentapisteet (IMP)

Pulssilaskentatuloihin liitetään kulutusmittareita, kuten vesi-, energia- ja sähkömittareita. Mittarin kosketinlähde antaa yhden pulssin tiettyä kulutusmäärää nähden. Pulssitiedot lasketaan yhteen pulssilaskentapisteen muistipaikkaan ja skaalataan kertoimella vastaamaan todellista kulutusta. Näin voidaan valvoa kulutusta ja laatia seurantaraportteja valvomosta. (Rakennusautomaatiojärjestelmät 2012: 107)

7.2.10 Venttiilin toimilaitteet

Toimilaitte on yleisnimitys laitteelle, jolla voidaan säätää putkessa virtaavaa ainetta. Kahden lämmönlähteen tai varaajan järjestelmiä ohjataan 3-tieventtiileillä. Venttiilit ovat usein säätöön soveltuvia palloventtiileitä. Palloventtiileillä on tasaprosenttinen säätökäyrä ja etuina pienempi virtauspiikki venttiilin avautuessa.

Venttiiliä ohjataan moottorilla joko 3-pistesignaaliilla tai jännitesignaaliilla. 3-pisteohjattu venttiili on kaksiasentoinen ja sitä voi ohjata 24 VAC:n tai 230 VAC:n jänniteviesteillä riippuen moottorista. Jänniteohjattua moottoria ohjataan useasti 0—10 V säätösignaalilla. Moottorin ajoaika on noin 35—140 sekuntia riippuen moottorin mallista. Moottorit ovat usein varustettu jousipalautuksella.

Suuremmissa venttiileissä on toimilaitteen ja venttiilin yhdistelmälle määrätty sulkupaine. Määrätyn sulkupaineen alemmissa paineissa venttiili pystyy toimimaan luotettavasti. (Rakennusautomaatiojärjestelmät 2012: 123)

7.3 Tiedonsiirto ja kaapelointi

Kenttäkaapeloinnissa otetaan huomioon mittausperiaate, toimilaitteiden toimintaperiaate ja toimilaitteen käyttöjännite. Yleisimmin käytettyjä kaapelityyppejä ovat:

- Passiiviset anturit (esimerkiksi lämpötila-anturi) ja mittauslähettimet (esimerkiksi painelähetin) suojattu kaapeli, esimerkiksi NOMAK 2x2x0,5+0,5.
- Toimilaitteet käyttöjännitteellä 230 VAC, kaapeli esimerkiksi MMJ 4x1,5s.
- Toimilaitteet käyttöjännitteellä 24 VAC, suojattu kaapeli, esimerkiksi NOMAK 2x2x0,5+0,5.
- Indikoinnit ja hälytykset suojatulla kaapelilla, esimerkiksi NOMAK nx2x0,5+0,5.
- 230 VAC:n ohjaukset, esimerkiksi MMJ/MMO nx1,5.

Rakennusautomaation kenttäväylinä käytetään Lon-, Modbus-, KNX- ja BACnet protokollia. (Rakennusautomaatiojärjestelmät 2012: 134)

7.4 Säättökaaviot

Säättökaavioissa kuvataan järjestelmään liitettyjä prosesseja ja annetaan perustiedot yksityiskohtaista RAU toteutussuunnittelua varten. Säättökaavioissa käytetään piirustusmerkkejä, jotka on esitetty standardeissa SFS-ISO 14617-5 ja SFS-ISO 14617-6, jonka lisäksi käytetään rakentamismääräyskokoelman osan D4 esitettyjä merkkejä. Säättökaavioihin liitetään toimintaselostus, joissa kuvataan laitteiston toiminta. Antureille ja laitteille annetaan omat positionumerot, jotta ne pystytään yksilöimään.

Säättökaaviossa esitetään VAK:n liitettävät pisteet, jotka ovat joko ohjelmallisia tai fyysisiä. VAK:ssa olevat pisteet ovat hälytys, indikointi, ohjaus, mittaus ja säätö. VAK:n kuuluvat apulaitteet, kuten jäätymissuojatermostaatti esitetään säättökaavioissa. Ryh-

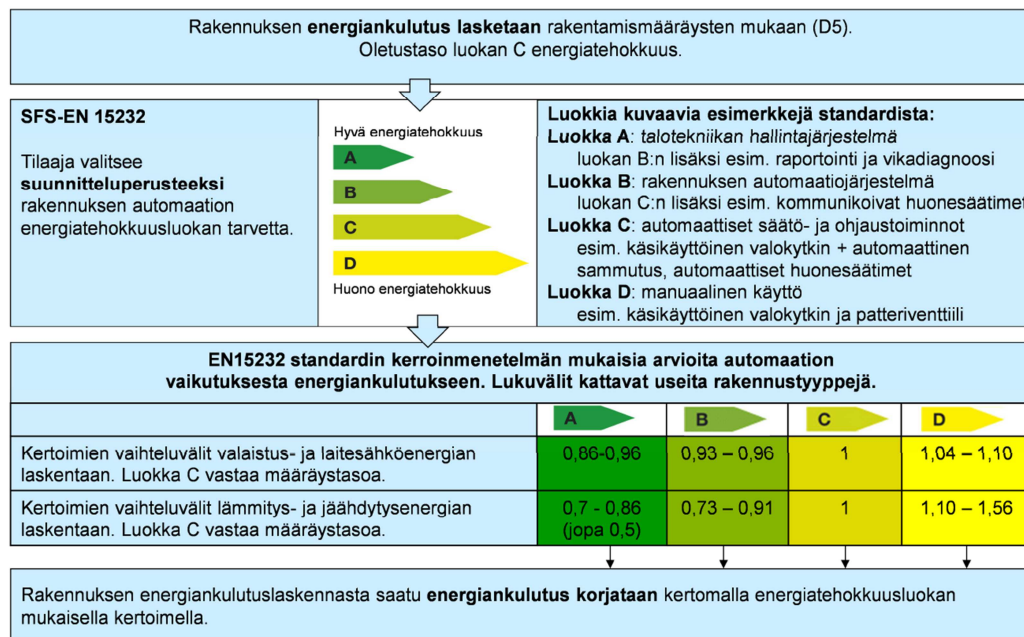
mäkeskukseen liittyvät lukitukset ja kytkimet esitetään säätökaavioissa, kuten myös kaapeleihin liittyvä urakointi. (Rakennusautomaatiojärjestelmät 2012: 180)

7.5 Automaation merkitys energiatehokkuuteen

Automaatio on keskeisessä osassa rakennuksen energiatehokkuudessa. Järjestelmä- ja laiteratkaisujen oikea käyttötapa on yksi keino saavuttaa energiasäästöjä. Automaatiojärjestelmällä ohjataan ja seurataan laitteiden optimaalista käyttöä ja energian kulu- tusta. Optimaalisella käytöllä pyritään:

- Käyttämään energiaa vain silloin, kuin se on välttämätöntä.
- Käyttämään vain se määrä energiaa, mikä tarvitaan.
- Käyttämään energiaa mahdollisimman tehokkaasti.

Eurooppalainen standardi SFS-EN 15232 (2007) ”Rakennusten energiatehokkuus. Rakennusautomaation, säädön ja kiinteistönhoidon vaikutus energiatehokkuuteen” käsittelee kerroinmenetelmää ja automaation vaikutusta energiatehokkuuteen. Standardi jakaa rakennuksen automaation neljään tehokkuusluokkaan: A, B, C ja D. A-luokka on paras ja D-luokka heikoin (kuva 28).



Kuva 28. Energiatehokkuusluokat.

Tehokkuusluokan D (manuaalinen käyttö) automaatiossa ei ole huomioitu rakennuksen energiatehokkuusasioita. Lämmitys- ja jäähdytysenergia lasketaan 30 % lisäkulutuksella ja sähkön kulutus 10 %. Tehokkuusluokan D ratkaisut ovat tyypillisesti käsikäyttöisiä patteriventtiileitä ja sähkökytkimiä. Standardin mukaan tehokkuusluokan D järjestelmät tulisi parantaa, eikä uusia järjestelmiä rakentaa luokkaan D.

Tehokkuusluokan C (automaattinen ohjaus ja säätö) automaatio toteuttaa säätö- ja ohjaustoiminnot. Tehokkuusluokan C toimisto- ja liikerakennusten automaatio on tyypillisesti rakennettu keskitetyillä ohjaus-, säätö- ja RAU-järjestelmillä, mutta myös erillisillä säätö- ja ohjauslaitteilla. Tehokkuusluokalla C on omat minivaatimukset, jotka ovat esitetty standardissa.

Tehokkuusluokalla B (rakennuksen automaatiojärjestelmä) on oma rakennusautomaatiojärjestelmä. Edellytyksenä on tiettyjen säätö- ja ohjaustoimintojen älykkäämpi ohjaus verrattuna luokkaan C. Luokka B kuvaa tasoa, jolla voidaan optimoida rakennuksen eri toimintoja. Luokan B yksi ominaispiirre on se, että huonesäätimet ovat liitetty rakennuksen automaatiojärjestelmään sekä valaistusta ohjataan automaattisesti.

Tehokkuusluokassa A (talotekniikan hallintajärjestelmä) on energiatehokkuus otettu kattavasti huomioon. Luokassa A automaatio on usein toteutettu usealla eri järjestelmällä, jotka pystyvät hyödyntämään toistensa tuottamaa informaatiota. Rakennuksen automaatiota käytetään ohjaamiseen, säätöön, energiakulutuksen seurantaan, raportointiin ja poikkeamien ennakoointiin. Luokan A ominaispiirre on energian (sähkön, lämmön ja veden) kulutuksen seuranta, jolla voidaan optimoida järjestelmän eri osia.

Suosituksena rakennuksen automaatiolle on tehokkuusluokka B ja tavoitetaso energiatehokkuusluokka A. Automaatiostandardi SFS-EN 15232 esittää luettelon toiminnoista, jonka mukaan rakennus määritellään tiettyyn luokkaan. Kerroinmenetelmän kertoimia (kuva 29) käytetään energiankulutuksen laskennassa, joka on kuvattu rakentamismääräskokoelman osassa D5. Oletuksena energiankulutuksen laskennassa käytetään tehokkuusluokkaa C.

	D	C	B	A
	tehoton	tavan- omainen	edistynyt	tehokas
Asuinrakennukset - kaikki tyypit				
$f_{BAC,hc}$ Lämmitys- ja jäähdytysenergia	1,10	1	0,88	0,81
$f_{BAC,el}$ Valaistus- ja laitesähköenergia	1,08	1	0,93	0,92
Muut rakennukset - toimistot				
$f_{BAC,hc}$ Lämmitys- ja jäähdytysenergia	1,51	1	0,80	0,70
$f_{BAC,el}$ Valaistus- ja laitesähköenergia	1,10	1	0,93	0,87
Muut rakennukset - koulut				
$f_{BAC,hc}$ Lämmitys- ja jäähdytysenergia	1,20	1	0,88	0,80
$f_{BAC,el}$ Valaistus- ja laitesähköenergia	1,07	1	0,93	0,86

Kuva 29. Automaation tehokkuusluokan kertoimet asuinrakennuksille, toimistoille ja kouluille.

(ABB: Rakennusten energiatehokkuus KNX-taloautomaatio; Ympäristöministeriö 2012: Rakennuksen automaation vaikutus energiatehokkuuteen)

8 Aurinkolämmön periaatekytkennät

Aurinkolämmitys toimii aina jonkun muun järjestelmän tukena, jolloin sitä voidaan hyödyntää vesikiertoisissa järjestelmissä. Aurinkolämpö voidaan yhdistää kaikkiin vesikiertoisiin lämmitysjärjestelmiin. Aurinkokeräimiä asennetaan sen mukaan, mikä on haluttu tehontarve. Tyypillisesti aurinkolämmöllä pyritään tuottamaan lämmintä käyttövedettä, mutta myös kesällä käytössä olevia kosteiden tilojen lämmityksiä. Huonetilojen lämmitykseen ei keräimillä saada kovin suuria energiamääriä. Toimivalla järjestelmällä pyritään tuottamaan noin puolet rakennuksen tarvitsemasta energiamäärästä. Rakennustyyppistä riippuen se voi olla 10 % luokkaa koko lämmöntarpeesta. (Aurinko-opas 2008: 96—97)

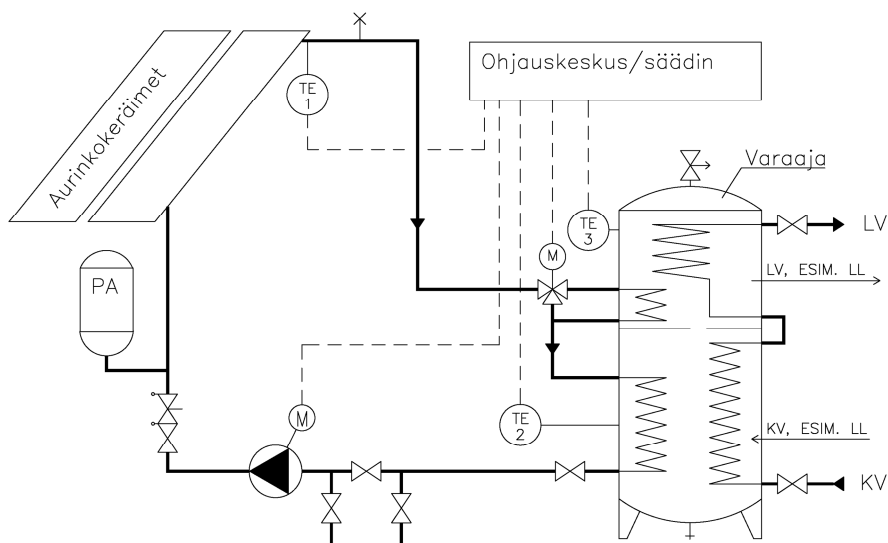
Kytkeämällejä on paljon erilaisia riippuen järjestelmän koosta ja ryhmien (esimerkiksi keräinten ja varaajien) lukumäärästä. Suorat kytkentämallit, jossa aurinkolämpö kytkeään esilämmittämään lämpimän käyttöveden paluuvettä, soveltuu järjestelmiin, jossa aurinkolämmöntuotto on vähäistä verrattuna kokonaistuotantoon. Suuremmat järjestelmät tarvitsevat lämpövaraston aurinkolämmön parhaan tuottokauden energian hyö-

dyntämiseksi. Suuremmissa kohteissa voi ongelmaksi muodostua pitkät linjavedot ja monimutkaiset järjestelmät, joiden ohjaus ja säätö voi olla työläämpää.

8.1 Periaatekytkentä 1

Aurinkokeräimet voidaan kytkeä monella tapaa suoraan varaajaan, riippuen keräinten pinta-alasta ja keräinryhmien lukumäärästä sekä varaajan koosta ja lukumäärästä. Alla esitelty kolme erilaista peruskytkentää, jolla voidaan tuottaa lämpöenergiaa.

Kuvassa 30 aurinkokeräin on kytketty varaajaan kerrostavalla menetelmällä. Ohjausjärjestelmä säätää vaihtoventtiiliä lämpötila-antureiden TE2 ja TE3 mukaan. Kiertovesipumppua ohjataan TE1 ja TE2 lämpötilaeron mukaan. Lämmin vesi voidaan ohjata kaukolämpöjärjestelmässä lämpimän veden kiertoon ennen lämmönsiirintä. Varaajan lämmönsiirtoneste ohjataan matalalämpöiseen järjestelmään, esimerkiksi lattialämmitykseen.

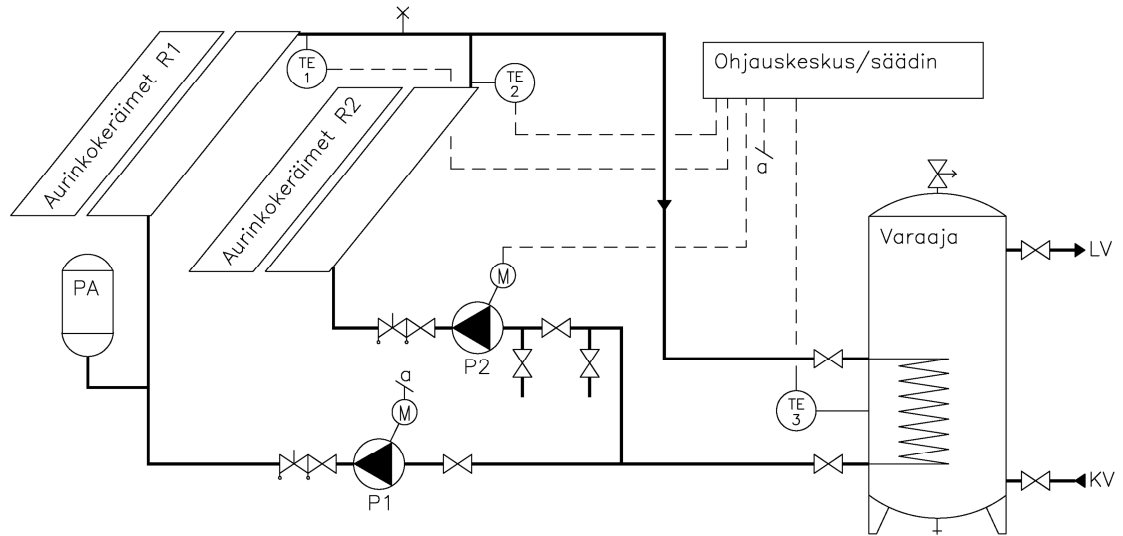


Kuva 30. Aurinkokeräimen periaatekytkentä 1.

8.2 Periaatekytkentä 2

Kuvassa 31 on kolmelinjainen, kahden tasokeräinryhmän periaatekytkentämalli. Aurinkokeräimet voivat sijaita eri paikassa osoittaen eri ilmansuuntiin, tällöin kiertovesipum-

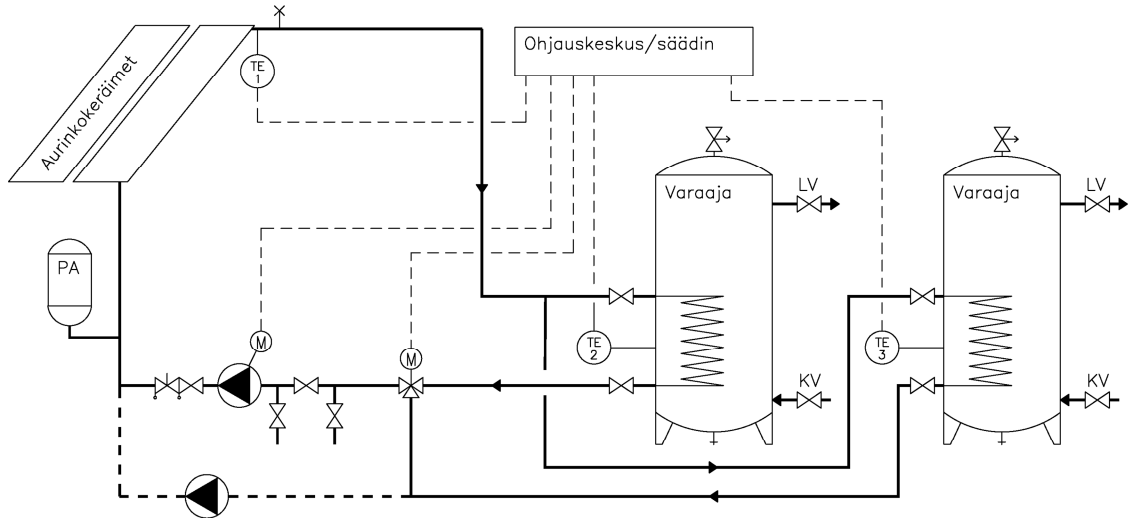
put pyörittävät lämmönkeruunestettä oman tasokeräinryhmän nestelämpötilan mukaan. Pumppu (P1) toimii TE1 ja TE3 lämpötilaeron mukaan ja pumppu (P2) TE2 ja TE3 mukaan.



Kuva 31. Aurinkokeräimen periaatekytkentä 2.

8.3 Periaatekytkentä 3

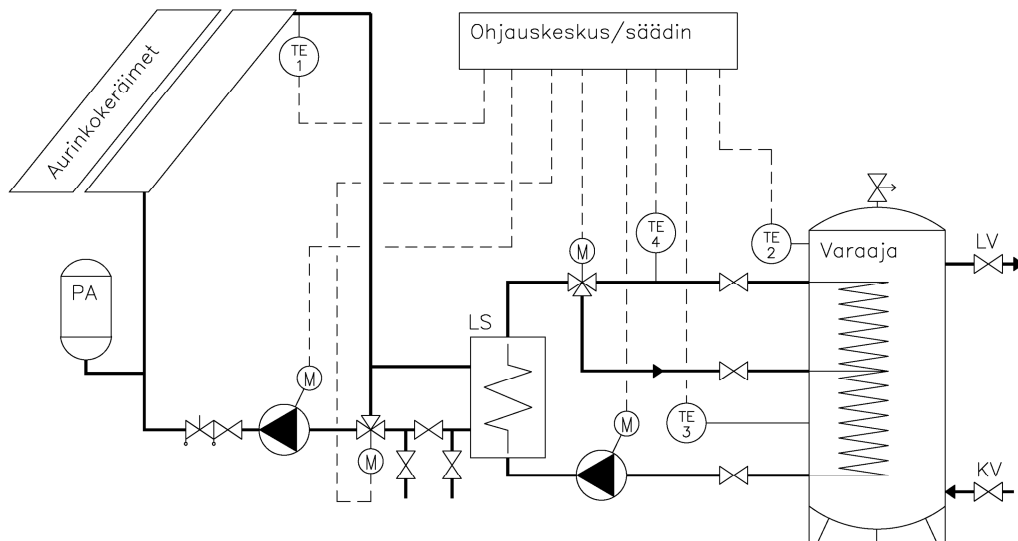
Kuvassa 32 on kolmilinjainen, kahden lämminvesivaraajan periaatekytkentämalli yhdellä pumpulla ja kolmitieventtiilillä. Kiertovesipumppua ohjataan lämpötila-antureiden TE1 ja TE2 mukaan. Kolmitieventtiiliä ohjataan TE2 ja TE3 mukaan siten, että viileämpää lämmönkeruunestettä päästetään enemmän läpi. Kytkentä voidaan toteuttaa myös ilman kolmitieventtiiliä, tällöin varaaja 2 varustetaan omalla kiertovesipumpulla (esitetty katkoviivalla).



Kuva 32. Aurinkokeräimen periaatekytkentä 3.

8.4 Periaatekytkentä 4

Kuvassa 33 aurinkolämpöjärjestelmä on kytketty lämmönsiirimellä varaajaan kerrostavalla menetelmällä. Ohjauskeskus säättää 3-tieventtiiliä TE2 ja TE3 lämpötilaeron mukaan. Varaajan yläosaan syötetään kuumempaa vettä, kuin varaajan keskiosaan ohjearvon mukaisesti. Lämmönsiirintä suositellaan käytettäväksi keräinten pinta-alan mennessä yli 15 m^2 , varaajan tilavuudet ovat tällöin minimissään noin 800 litraa.

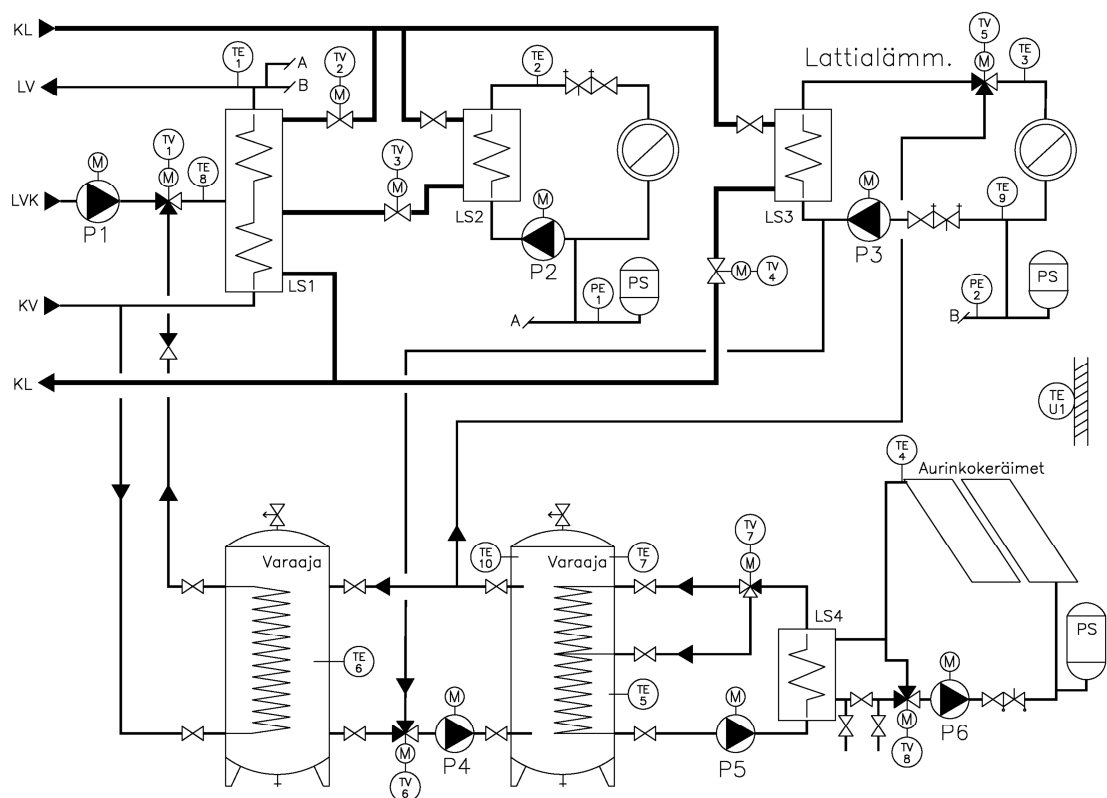


Kuva 33. Aurinkokeräimen periaatekytkentä 4.

8.5 Periaatekytkentä 5

Periaatekytkennässä 5 (kuva 34) on aurinkolämpö kytketty omalla lämmönsiirtimellä kahteen varaajaan, joista toinen lämmittää käyttövettä ja toinen lattialämmityspiiriä. Kytkennät ovat toteutettu 3-tiemoottoriventtiileillä. Rakennukseen saapuvaa käyttövettä esilämmitetään varaajassa olevan kierukan avulla. Venttiiliä ohjataan TE6 mittaustuloksen mukaan siten, että TE6 mitattu arvo on suurempi kuin rakennukseen saapuva vesi. Aurinkokeräimillä saadaan hyvä hyötysuhde syöttämällä lämpöä matalalämpöiseen järjestelmään. Lattialämmöltä yli jäänyttä lämpöä käytetään käyttöveden esilämmitykseen.

Huonona puolena voidaan pitää runsasta säätöpiirien määrää. Riippuen järjestelmän koosta, säätöpiirejä voidaan joutua lisäämään esimerkiksi kaukolämmön lämpimän veden piiriin. Säädettävyyden kuitenkin helpottuu hieman varaajien ansiosta, eikä suuria piikkejä pääse syntymään.



Kuva 34. Aurinkokeräimen periaatekytkentä 5. Aurinkolämpö kytketty lämminvesivaraajalla kaukolämpökeskuksen lämpimän veden kiertoon sekä lattialämmitysverkostoon.

Periaatekytkentä 5 toiminta:

Ohjaus

- P1 käy aina.
- P2 käy ulkoilman ollessa alle verkostokohtaisen asetusarvon ja seisonta-aikana 1h/viikko.
- P3 käy ulkoilman ollessa alle verkostokohtaisen asetusarvon ja seisonta-aikana 1h/viikko.
- P4 Käy TE10 mittaustuloksen ollessa yli asetusarvon ja seisonta-aikana 1h/viikko.
- P5 ja P6 käy TE4 ja TE5 lämpötilaeron (noin 5 °C) mukaan vähintään 5 minuuttia, seisonta-aikana 5 minuuttia/viikko. Pumput pysähtyvät lämpötilaeron ollessa tarpeeksi pieni (noin 3 °C).

Säätö

- TV1 3-tiemoottoriventtiiliä ohjataan mittaustuloksen TE6 mukaan.
- TV2 2-tiemoottoriventtiili säädetään mittaustuloksen TE1 mukaan pitäen lämmin käyttövesi halutussa asetusarvossa.
- TV3 2-tiemoottoriventtiili säädetään mittaustuloksen TE2 ja ulkolämpötila-anturin TEU1 mukaan asetettuun lämmityskäyrään.
- TV4 ja TV5 säädetään rinnan TE3 ja TEU1 mittaustuloksen mukaan omalle säätökäyrälle.
- TV6 3-tiemoottoriventtiiliä säädetään mittaustulosten TE9 ja TE10 mukaan.
- TV7 3-tiemoottoriventtiiliä ohjataan mittaustuloksen TE7 mukaan.
- TV8 3-tiemoottoriventtiiliä säädetään mittaustuloksen TE4 mukaan. Mittaustuloksen ollessa tarpeeksi lähellä nollaa, säädetään TV8 kierrättämään neste lämmönsiirtimen ohi suoraan pumpulle, jottei seisonta-aikana lämmönsiirrin jäädy.

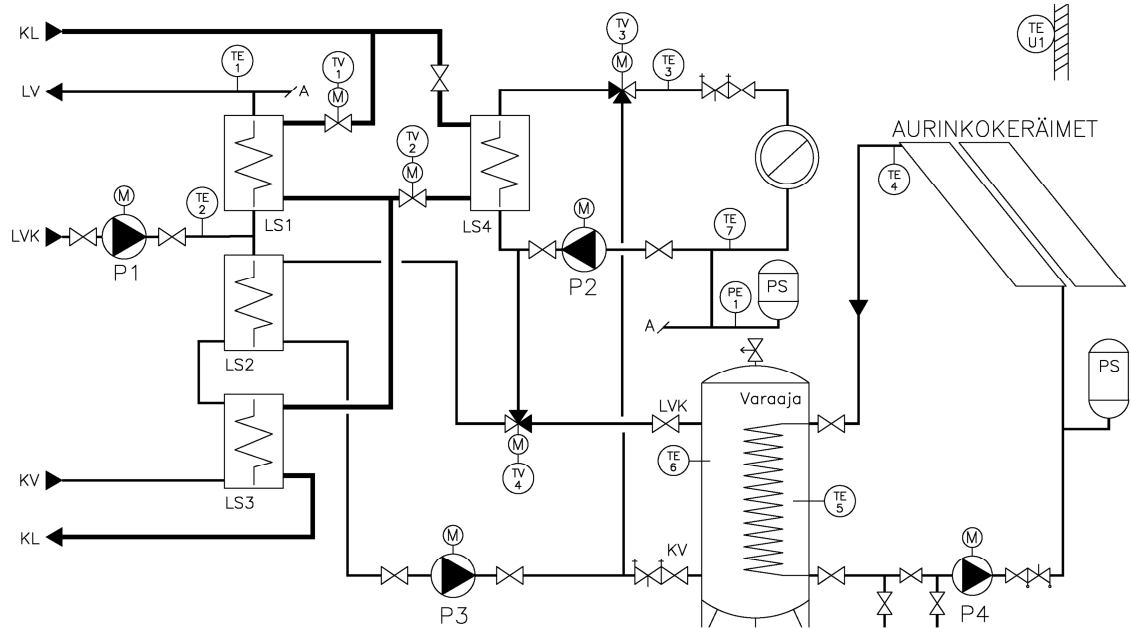
Varotoimet ja hälytykset

- Paisunta-astiat varustetaan paineen mittauksella, raja-arvon ylityksestä / alituksesta tapahtuu hälytys valvontajärjestelmään.
- Nesteiden lämpötilojen raja-arvojen ylityksestä / alituksesta tapahtuu hälytys valvontajärjestelmään.
- Taajuusmuuttajan hälytykset ohjataan valvontajärjestelmään.
- TE3 pysäyttää kiertovesipumpun P3 mikäli lämpötilan raja-arvo ylittyy.

8.6 Periaatekytkentä 6

Aurinkolämpö siirretään kesällä erillisellä lämmönsiirtimellä (LS2) varaajasta käyttöveden lämmitykseen, keväällä ja syksyllä sitä voidaan myös hyödyntää lämmityksessä 3-tieventtiileiden avulla. TE6 antama asetusarvo pumpulle P3 oltava korkeampi kuin esilämmitys siirtimellä LS3:lla saapuvan veden lämpötila. Aurinkokeräinten tyypiksi sopisi tyhjiöputkikeräimet, koska keräimet ovat kytketty myös lämmitykseen. Liitännän voi jättää myös pois, jolloin aurinkolämpö johdetaan vain lämpimän käyttöveden lämmitykseen.

KytKentä soveltuu liitettäväksi olemassa olevaan järjestelmään 3-piirisen toimintansa ansiosta. Useasta lämmönjakokeskuksen säätimestä löytyy 3-säätöpiiriä. Jos aurinkolämmön kytkee vain käyttöveden lämmitykseen, ei olemassa olevaa järjestelmää tarvitse säätää uudelleen, jos käytetään aurinkolämmön lämmönsiirintä sarjassa muiden siirtimien kanssa.



Kuva 35. Aurinkokeräimen periaatekytkentä 6. Aurinkolämpö kytketty kaukolämpökeskukseen omalla lämmönsiirtimellä ja 3-tieventtiilillä lämmitysverkostoon. Mahdollisuus käyttää vain jompaakumpaa piiriä erikseen.

Periaatekytkentä 6 toiminta:

Ohjaus

- P1 käy aina
- P2 käy ulkoilman TEU1 ollessa alle verkostokohtaisen asetusarvon ja seisonta-aikana 1h/viikko.
- P3 käy TE6 mittaustuloksen ollessa yli asetetun asetusarvon ja seisonta-aikana 1h/viikko.
- P4 käy TE4 ja TE5 lämpötilaeron (noin 5 °C) mukaan vähintään 5 minuuttia, seisonta-aikana 5 minuuttia/viikko. Pumput pysähtyvät lämpötilaeron ollessa tarpeeksi pieni (noin 3 °C).

Säätö

- TV1 2-tiemoottoriventtiiliä säädetään mittaustuloksen TE1 mukaan pitäen lämmin käyttövesi halutussa asetusarvossa.
- TV2 ja TV3 säädetään rinnan TE3 ja TEU1 mittaustuloksen mukaan omalle säätökäyrälle.
- TV4 säädetään TE6 ja TE7 mittaustulosten mukaan.

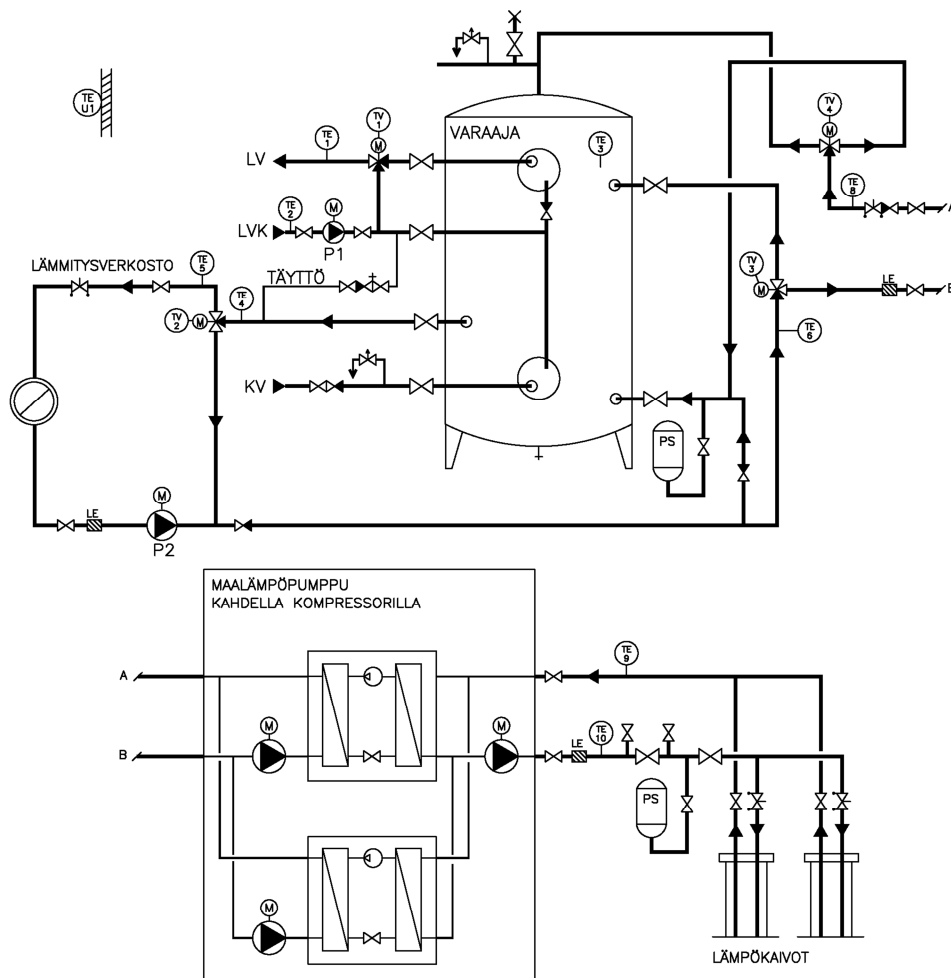
Varotoimet ja hälytykset

- Paisunta-astiat varustetaan paineen mittauksella, raja-arvon ylityksestä / alituksesta tapahtuu hälytys valvontajärjestelmään.
- Nesteiden lämpötilojen raja-arvojen ylityksestä / alituksesta tapahtuu hälytys valvontajärjestelmään.
- Taajuusmuuttajan hälytykset ohjataan valvontajärjestelmään.

9 Maalämpöpumpun periaatekytkennät

9.1 Periaatekytkentä 1, maalämpöpumpun kytkentä

Kuvassa 36 esitetään periaatekaavio maalämpöpumpun kytkennästä. Varaajalla hoidetaan käyttöveden ja lämmitysverkoston lämmitys. Varaaja varustetaan tilanteesta riippuen yhdellä tai useammalla sähkövastuksella, jolla hoidetaan loppulämmitys vuoden kylmimpinä ajanjaksoina. Tehokkaammat järjestelmät mitoitetaan lähes poikkeuksetta osatehoiseksi, jolloin tarvitaan sähkökattilaa kattamaan lämmöntuottoa kulutuksen ollessa huipussaan. Varaajan tilavuudella saadaan lämpöpumpun käyntiaikoja pidennettyä ja näin käyttöikää pidennettyä.



Kuva 36. Maalämpöpumpun periaatekytkentä 1. Maalämpöpumppu kytketty lämminvesivaraajalla käyttöveden ja lämmitykseen.

Maalämmön periaatekytkentä 1 toiminta:

Ohjaus:

- P1 käy aina.
- P2 käy ulkoilman TEU1 ollessa alle verkostokohtaisen asetusarvon ja seisonta-aikana 1h/viikko.
- Maalämpöpumppu saa käyntiluvan ulkolämpötilan TEU1 ja varaajan lämpötilan TE3 perusteella. Kiertovesipumput käyvät maalämpöpumpun ohjauksesta.
- Maalämpöpumppu käy siihen asti, kunnes ulkolämpötila TEU1 ja varaajan lämpötilaero TE3 on oman säätökäyrän mukaisella asetusarvolla.

Säätö:

- TV1 säädetään TE1 ja TE2 mitoituslämpötilojen mukaan asetusarvoon.
- TV2 säädetään TE5 ja TEU1 säätökäyrän mukaiseksi.
- TV3 säädetään TE6 lämpötilan mukaan.
- TV4 säädetään TE8 lämpötilan mukaan.

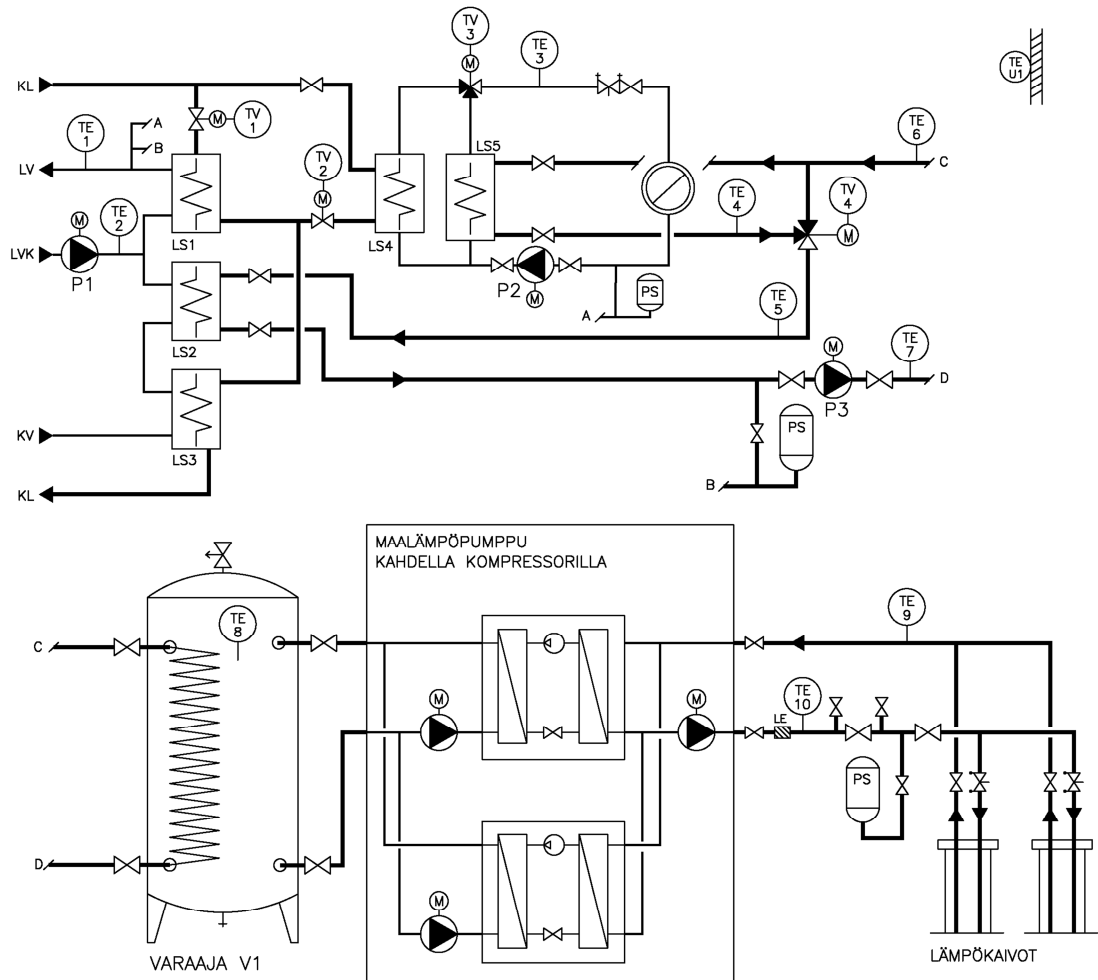
Varotoimet ja hälytykset:

- Paisunta-astiat varustetaan paineen mittauksella, raja-arvon ylityksestä / alituksesta tapahtuu hälytys valvontajärjestelmään.
- Nesteiden lämpötilojen raja-arvojen ylityksestä / alituksesta tapahtuu hälytys valvontajärjestelmään.
- Maalämpöpumppu varustetaan jäätymisvaaratermostaattilla sekä virtauskytkimellä.
- Taajuusmuuttajan hälytykset ohjataan valvontajärjestelmään.

9.2 Periaatekytkentä 2, maalämpöpumpun kytkentä kaukolämpöön

Maalämpöpumpun voi kytkeä kaukolämmön rinnalle monella eri tavalla, riippuen mihin ja miten lämpöpumpun lämpö halutaan ohjata. Lähtökohtana voidaan pitää kytkentää, jossa molemmat lämmitysmuodot toimivat parhaalla mahdollisella tavalla. Lämpöpum-

pun ja kaukolämmön hybridikytkentä suunnitellaan toimivaksi lämpöpumpun ehdoilla, jolloin kaukolämpö tukee lämmitystarvetta vuoden kylmimpinä ajanjaksoina. Hybridilämmitysjärjestelmään liitetään usein varaaja, jolloin lämpöpumpun käyntiajat pitenevät ja saadaan tasattua kulutuspiikkejä (kuva 37). Varaajan liittäminen järjestelmään ei kuitenkaan ole välttämätöntä. Järjestelmää mitoittaessa tulisi ottaa huomioon kaukolämmön jäähtymä, lämpöpumpun hyötysuhde, lämmöntarve, käyttöveden tarve, varaajan tilavuus ja säädettävyys.



Kuva 37. Maalämpöpumpun periaatekytkentä 2. Maalämpöpumppu kytketty varaajaan, josta lämpö siirretään lämmönsiirtimin lämpimään käyttöveteen ja lämmitykseen. Varaajan tilavuus tai lukumäärä vaihtelee lämpöpumpun- ja kaivojen tehon mukaan.

Maalämmön periaatekytkentä 2 toiminta:

Ohjaus

- P1 käy aina.
- P2 käy ulkoilman TEU1 ollessa alle verkostokohtaisen asetusarvon ja seisonta-aikana 1h/viikko.
- P3 käy TE8 ylittäessä asetusarvon.
- Maalämpöpumppu käy siihen asti kunnes ulkolämpötila TEU1 ja varaajan lämpötilaero TE8 on oman säätökäyrän mukaisella asetusarvolla.

Säätö

- TV1 säädetään TE1 mitoituslämpötilan mukaan asetusarvoon.
- TV2 ja TV3 säädetään rinnan TE3 ja TEU1 mittaustuloksen mukaan omalle säätökäyrälle.
- TV4 säädetään TE4 ja TE6 lämpötilaeron mukaan siten, että lämmitysverkostoon syötetään ensisijaisesti lämpöä.

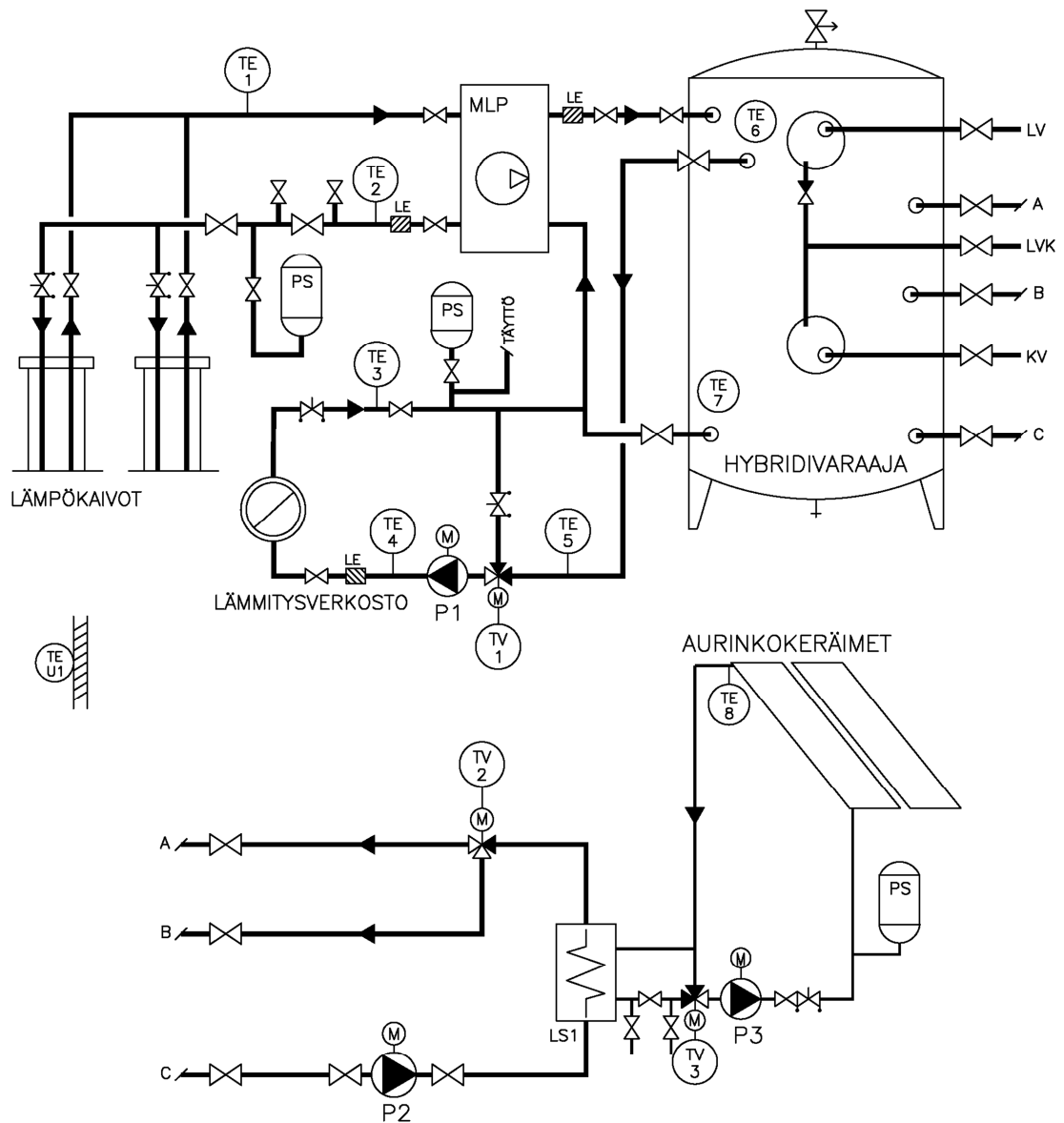
Varoimet ja hälytykset

- Paisunta-astiat varustetaan paineen mittauksella, raja-arvon ylityksestä / alituksesta tapahtuu hälytys valvontajärjestelmään.
- Nesteiden lämpötilojen raja-arvojen ylityksestä / alituksesta tapahtuu hälytys valvontajärjestelmään.
- Maalämpöpumppu varustetaan jäätymisvaaratermostaattilla sekä virtauskytkimellä.
- Taajuusmuuttajan hälytykset ohjataan valvontajärjestelmään.

Periaatekytkennässä maalämmöllä lämmitetään ensisijaisesti lämmitysverkostoa, koska rakennus käyttää suurimman osan kokonaisenergian määrästä lämmitykseen.

10 Aurinkolämpö + maalämpöpumppu periaatekytkennät

Aurinkolämmön liittäminen maalämpöpumppuun tapahtuu lämmönsiirtimen avulla varaajaan (kuva 38). Käytettäessä lämpöpumpun varaajaa, tulee siihen pystyä asentamaan kierukka aurinkolämpöä varten. Tyypillisesti maalämpöpumpun varaajan tilavuus on riittävän suuri aurinkolämmön tarpeisiin. Kierukka asennetaan lähelle varaajan pohjaa.



Kuva 38. Aurinkolämmön ja maalämpöpumpun periaatekytkentä 1. Lämpöpumppu ja aurinkolämpö kytketty lämminvesivaraajalla käyttöveteen ja lämmitykseen.

Ohjaus

- Maalämpöpumppu (MLP) käy siihen asti, kunnes ulkolämpötila TEU1 ja varaajan lämpötilaero TE6 on oman säätökäyrän mukaisella asetusarvolla.
- Lämmitysverkoston pumppua P1 ohjataan ulkolämpötilan ja TE4 mukaan asetettuun säätökäyrään. Seisonta-aikana 1h/viikko jumiutumisen estämiseksi.
- P2 ja P3 käy TE10 ja TE7 lämpötilaeron (noin 5 °C) mukaan vähintään 5 minuuttia, seisonta-aikana 5 minuuttia/viikko. Pumput pysähtyvät lämpötilaeron ollessa tarpeeksi pieni (noin 3 °C).

Säätö:

- TV1 säädetään mittaustulosten TE4 ja TE5 mukaan.
- TV2 säädetään varaajan TE6 ja TE7 mukaan.
- TV3 3-tiemoottoriventtiiliä säädetään mittaustuloksen TE10 mukaan. Mittaustuloksen ollessa tarpeeksi lähellä nollaa, säädetään TV8 kierrättämään neste lämmönsiirtimen ohi suoraan pumpulle, jottei seisonta-aikana lämmönsiirrin jäädy.

Varotoimet ja hälytykset:

- Paisunta-astiat varustetaan paineen mittauksella, raja-arvon ylityksestä / alituksesta tapahtuu hälytys valvontajärjestelmään.
- Nesteiden lämpötilojen raja-arvojen ylityksestä / alituksesta tapahtuu hälytys valvontajärjestelmään.
- Maalämpöpumppu varustetaan jäätymisvaaratermostaattilla sekä virtauskytkimellä.
- Taajuusmuuttajan hälytykset ohjataan valvontajärjestelmään.

11 Bensowinkujan kytkentäkaaviot

Bensowinkujan toimistorakennus lämmitysjärjestelmään kuuluu kaukolämpö, maalämpö ja aurinkopaneelit. Päälämmitysmuoto on maalämpö. Lämminkäyttövesiverkosto lämmitetään kaukolämmöllä ja aurinkolämmöllä. Patteriverkosto lämmitetään maalämmöllä ja kaukolämmöllä. Ilmastointiverkosto ja ajoluiskan sulatusverkosto lämmitetään kaukolämmöllä. Ilmastointiverkosto ja ajoluiskan lämmitys on rajattu pois, koska niitä ei liitetä hybridilämmitykseen. Toimintakaaviot ovat esitetty liitteissä 10 – 12.

11.1 Kaukolämpö

Kaukolämpökeskuksen lämmönsiirtimet ovat mitoitettu rakennuksen huipputehon mukaan.

Lämminkäyttövesi pidetään asetusarvossa säätämällä menovesianturin 1TE1 mittaustuloksen perusteella säätöventtiileitä 1TV1 ja 1TV2. Aurinkolämmön 3-tiesäätöventtiili 1TV3 säädetään 1TE3 mittaustuloksen perusteella.

Patteriverkostoon menevän veden lämpötila säädetään ulkolämpötilan ja menovesianturin 2TE1 mittaustuloksen perusteella säätöventtiilillä 2TV1 asetusarvoon.

Valvontajärjestelmä pysäyttää kesällä patteriverkoston pumpun ja sulkee vastaavan säätöventtiilin erikseen aseteltavina ulkolämpötilan, päivä- ja yölämmitysraja-arvossa. Valvontajärjestelmä käynnistää seisokkiaikana pumpun kerran vuorokaudessa 15 minuutin ajaksi ajastettuna.

11.2 Maalämpö

Maalämpöjärjestelmään kuuluu kahdeksan kappaletta 220 metriin porattuja lämpökaivoja, maalämpöpumppu, maaliuospumppu, pumppuasema, varaaja, lämpömäärälaskin, lianerotin, varoventtiili, mittarit ja anturit.

Maalämpöpumppu on mallia Nibe F1345. Maalämpöpumppu on varustettu kahdella kompressorilla ja tehoa on 60kW. Maalämpöpumpussa on sarjakytkentämahdollisuus.

Valmistajan ilmoittama COP arvo lämpöpumpulle on 4,1. Lämmitysveden enimmäislämpötila on 65/58 °C. Lämmönkeruupiirissä virtaa 28 % etyleeniglykoli.

Varaaja on tyypiltään Nibe UKV500, jonka tilavuus on 500 litraa. Varaajan maksimi käyttöpainne on 6 bar ja sen lämpötila 95 °C.

Maalämpöpumpulla on oma ohjauskeskus, joka on kytketty RAU-järjestelmään. Maalämpöpumppu ohjataan päälle ulkolämpötilan perusteella. Kiertovesipumppu 10P1 käynnistyy samaan aikaan maalämpöpumpun kanssa. Kompressori ei käy, jos pumppu 10P1 ei käy. Pumput 10P2 ja 10P3 käyvät maalämpöpumpun ohjauksessa. Maalämpöpumppu käy kunnes varaajan lämpötila on saavuttanut ulkolämpötilaan verrannollisen asetusarvon, jonka valvontajärjestelmä antaa säätöviestillä 0—10V.

11.3 Aurinkolämpöjärjestelmä

Aurinkolämpöjärjestelmä koostuu viidestä komponentista: aurinkokeräimistä, pumppuyksiköstä, varaajista, lämmönsiirtimestä kahdella kiertovesipumpulla ja pumppausasemasta.

Aurinkokeräimiä on 15 kappaletta ja ne toimivat kolmessa ryhmässä. Yhden keräimen absorptio pinta-ala on 2,3 m², joten kokonaispinta-ala on 34,5 m². Ryhmän aurinkokeräimet ovat kytketty rinnan toisiinsa. Maksimi teho yhdellä keräimellä on 1000 W ja vuosituotto on 800 – 1000 kWh. Painetta keräin kestää 10 bar.

Kiertovesipumppuna toimii tehdasvalmisteinen pumppuyksikkö, jossa oma lämmönsiirrin ja ohjausyksikkö. Ohjausyksikkö on liitetty väylällä RAU-järjestelmään. Pumppuyksikön lämmönsiirrin on kytketty kahteen varaajaan, joiden yhteenlaskettu tilavuus on 2000 litraa. Varaajat ovat kytketty lämmönsiirrinpakettiin, jossa on omat kiertovesipumput ja ohjauskeskus. Myös tämä ohjauskeskus on liitetty väylällä RAU-järjestelmään. Lämmönsiirrinpaketti on kytketty 3-tiemoottoriventtiilillä lämpimän veden kierto.

12 Johtopäätökset

Kytkeäntäpoja hybridilämmitysjärjestelmälle on todella paljon johtuen järjestelmien erilaisista variaatioista. Jotta saataisiin verrattua hybridilämmitystä perinteiseen yhden järjestelmän lämmitykseen, on tarkasteltava hybridilämmityksen eri komponentteja keskenään, jotta saadaan käsitys sen hyödyistä. Järjestelmän kannattavuuteen liittyy paljon muuttujia, jotka on otettava huomioon suunnittelussa.

Aurinkoenergiaa on saatavissa lähes rajattomasti, mutta sen ongelmana voidaan pitää tuotannon epätasaisuutta. Tämän takia tarvitaan lämminvesivaraajia, jotka varastoivat lämpöenergiaa. Varaajalla tasataan tuotannon epätasaisuutta ja helpotetaan toimivan säädön tekemistä. Varaajan käytöllä saadaan myös pidennettyä kiertovesipumpun käyntiaikoja ja pidentää sen käyttöikä. Aurinkolämmön hankinnan perusteena on yleensä siitä koituva säästö. Muita syitä hankintaan voi olla ekologinen imago, vihreät aatteet ja asemakaavan velvoitus. Aurinkoenergia on ehdottomasti yksi kasvavista energiamuodoista tulevaisuudessa, sillä se on halpaa, päästötöntä ja toimittajasta riippumatonta. Aurinkoenergian hinta muodostuu pääosin tarvike- ja käyttökustannuksista. Muita kuluja tulee huoltokustannuksista, jotka ovat noin 1-2 % tarvikeinvestoinneista. Aurinkolämpöjärjestelmää suunniteltaessa kannattaa laskea käyttöveden osuus kokonaisenergian tarpeesta. Jos käyttöveden osuus jää alle 25 % vuoden kokonaisenergian käytöstä vuodessa, tarkoittaa se noin 12,5 % säästöä vuodessa.

Maalämmöllä saadaan katettua järkevästi rakennuksen kokonaislämmöntuotto mitoittamalla se osatehoiseksi, jolloin maalämmön rakentaminen ja käyttö on edullisempaa kuin se, että sen mitoittaisi kokonaistehoiseksi. Maalämpöä käytetään useasti yhdessä sähkökattilan kanssa, jolloin loppulämmitys hoidetaan sähkövastuksilla. Maalämpöön on helppo liittyä aurinkolämmöllä, koska kummatkin järjestelmät käyttävät hyödykseen pääsääntöisesti lämminvesivaraajia. Maalämpöpumpun energian saanti riippuu maaperän koostumuksesta, kalliotyypistä ja pohjavesistä. Isommissa järjestelmissä onkin järkevää porata testikaivo, jotta pystytään mallintamaan tarvittava kaivosyvyys ja kaivomäärä.

Poistoilmalämpöpumpulla voidaan säästää lämmityskustannuksia. Poistoilmalämpöpumpun kannattavuus on riippuvainen energian- ja kaukolämmön hinnasta sekä sen kautta kulkevasta ilmamäärästä. Yli 800 l/s ilmamäärällä voidaan jo päästä riittävän pieniin takaisinmaksu aikoihin. Kaukolämmön hinnan nousu varmasti lisää poistoilma-

lämpöpumppujen määrää, jos sähköenergian hinta ei nouse samaa tahtia. Talteen otettua lämpöä voidaan käyttää käyttöveden lämmitykseen, lämmitysverkostoon tai molempiin. Lämpöä on myös mahdollista ohjata tuloilman lämmitykseen.

Energiateollisuuden ohjeistus K1 määrää esilämmittämään käyttöveden kaukolämmöllä. Tämän takia talteen otetun lämmön hyötysuhde pienenee niin paljon, että käytännössä poistoilmalämpöpumpulla talteen otettu lämpö kannattaa ohjata lämmitysverkostoon. Tätä tukee myös IV-produktin tekemä tutkimus, jonka mukaan parhaan hyötysuhteen saa syöttämällä talteen otettu lämpö suoraan lämmitysverkostoon ja jättää lämpimän käyttöveden lämmitys kaukolämmölle tai muulle lämmitysjärjestelmälle.

13 Yhteenveto

Työssä tarkasteltiin, kuinka eri lämmitysmuodot tukevat toisiaan ja miten niistä saadaan toimivia kokonaisuuksia. Hybridilämmityksessä on kyse saavuttaa optimaalinen järjestelmä eri komponenteista. Sen tärkein tavoite on tuoda säästöjä ja sen pitäisi olla helppo huoltaa ja ylläpitää. Hybridijärjestelmissä toimivan automaation merkitys kasvaa entisestään. Hybridijärjestelmän kannattavuus tulee laskea tarkkaan etukäteen. Järjestelmän käyttöikä ja hinta on ratkaisevassa asemassa.

Aurinkolämmön yhdistäminen on mahdollista jokaisessa vesikiertoisessa lämmitysjärjestelmässä. Aurinkolämmön hyviä puolia on sen soveltuvuus muihin lämmitysjärjestelmiin. Se voidaan liittää tavalla tai toisella jokaiseen olemassa olevaan lämmitysjärjestelmään ja kytkentämalleja on todella runsaasti. Aurinkolämmön hankinnassa onkin ensiarvoisen tärkeää laskea sen tuotto verrattuna hankintakustannuksiin. Keräinten suuntaus optimaaliseen ilmansuuntaan ja kulmaan vaikuttaa oleellisesti siitä saatavaan lämmitysenergian määrään.

Maalämmön yhdistäminen kaukolämpöön on harvinaisempi ratkaisu, koska nämä lämmitysmuodot toimivat yleensä päälämmitysmuotona. Suomessa on kuitenkin toteutettu hankkeita, joissa nämä lämmitysmuodot toimivat yhdessä. Maalämmön ja kaukolämmön toimiessa yhdessä on maalämpö ensisijainen lämmönlähde. Tällöin maalämpö mitoitetaan osateholle, jolloin kaukolämpö hoitaa loppulämmityksen. Toimiva järjestelmä mitoitetaan siten, että maalämmön osuus on noin 90 % ja loppulämmitys tehdään kaukolämmöllä. Rakennusta lämmitettäessä maalämpöpumppua ajetaan parhaalla

hyötysuhteella vertaamalla COP arvoa ja ostoenergian hintaa. Järjestelmä sopii kohteisiin, joissa halutaan käyttää uusiutuvaa energiaa ja käytössä on kaukolämpökeskus, jolla on käyttöikä jäljellä. Periaatekaaviot ja säätökaaviot on laadittu energiateollisuuden K1 ohjeistusta noudattaen. Tätä ohjeistusta on kuitenkin kritisoitu, koska lämmin käyttövesi joudutaan aina esilämmittämään kaukolämmönvaihtimella, joka heikentää lämpöpumpun hyötysuhdetta.

Poistoilmalämpöpumpun liittäminen olemassa olevaan lämmitysjärjestelmään voi olla teknisesti haastava toteuttaa. Vaikka poistoilmalämpöpumpun lämmönlähde on sisäilma, voi sen lämpötila vaihdella vuodenajasta riippuen viisi Celsiusastetta. Poistoilman lämpötila otetaan huomioon kompressorin säädössä. Poistoilmalämpöpumppu kannattaa mitoittaa osateholle, koska näin sille saadaan parempi hyötysuhde. Poistoilmalämpöpumppu liitetään suoraan lämmönsiirtimellä kaukolämpökeskukseen ja varaajalla lämpimään käyttöveteen. Yhden tai useamman varaajan käytöllä saadaan pidennettyä kompressorin käyntiaikaa.

Lähteet

ABB. Rakennusten energiatehokkuus. Verkkójulkaisu.

<http://www.asennustuotteet.fi/documents/Esitteet/rakennusten_energiatehokkuus_FIN_11-2011.pdf>. Luettu 5.4.2015.

Aurinkoenergiaa. 2014. Aurinkokeräin. Verkkosivu.

<<http://www.aurinkoenergiaa.fi/Info/24/aurinkokerain>>. Luettu 20.10.2014.

Aurinkolämmön laskentaopas 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Helsinki: ympäristöministeriö.

Bruno, Erat. Erkkilä, Vesa. Nyman, Christer. Peippo, Kimmo. Peltola, Seppo. Suokivi, Hannu. 2008. Aurinko-opas aurinkoenergiaa rakennuksiin. Aurinkoteknillinen Yhdistys ry.

Energia-auringosta. Aurinkolämpöjärjestelmän toimintaperiaate. Verkkosivu.

<<http://www.energia-auringosta.fi/tuotteet/toimintaperiaate>>. Luettu 20.10.2014.

Energiatehokaskoti. 2014. Poistoilmalämpöpumppu. Verkkosivu.

<http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/ilmalampop-_ja_maalampopumput/poistoilmalampopumppu>. Luettu 1.1.2015.

Energiateollisuus ry. 2007. Käytä kaukolämpöä oikein. Verkkodokumentti.

<http://energia.fi/sites/default/files/kayta_kaukolampoa_oikein_0.pdf>. Luettu 3.1.2015.

Energiateollisuus ry. Energiavuosi 2013 –kaukolämpö. Kalvosarja.

<<http://www.slideshare.net/energiateollisuus/energiavuosi-2013-kaukolmp>>. Luettu 10.2.2015.

Energiateollisuus ry. K1/2013, päivitetty 9.5.2014. Rakennusten kaukolämmitys, määräykset ja ohjeet. Verkkodokumentti. <<http://energia.fi/julkaisut/julkaisu-k12013-rakennusten-kaukolammitys-maaraykset-ja-ohjeet>>. Luettu 20.12.2014.

Energiateollisuus ry. Kaukolämmön toimintaperiaate. Verkkosivu. <<http://energia.fi/koti-ja-lammitys/kaukolammitys/toimintaperiaate>>. Luettu 20.12.2014.

Energiateollisuus ry. Kaukolämpötilasto 2013. Verkkodokumentti.

<http://energia.fi/sites/default/files/kaukolampotilasto_2013_web.pdf>. Luettu 15.12.2014.

Energiateollisuus ry. 2014. Lämmön pientuotannon ja ylijäämälämmön hyödyntäminen kaukolämpötoiminnassa. Verkkodokumentti.

<http://energia.fi/sites/default/files/lammon_pientuotannon_ja_ylijaamalammon_hyodyntaminen_kaukolampotoiminnassa20141215_.pdf>. Luettu 20.12.2014.

Euroopan komissio. PVGIS. Verkkojulkaisu.

<<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eur.htm>>. Luettu 20.10.2014.

Gaia. 2011. Aurinkolämmön mahdollisuudet kaukolämpöjärjestelmässä. Loppuraportti <Gaia: Aurinkolämmön mahdollisuudet kaukolämpöjärjestelmässä>.

Geidrill. Lämpökaivo. Verkkosivu. <<http://www.geodrill.fi/maalampo/lampokaivo/>>. Luettu 7.12.2014.

Geoenergia. Lämmön keruutapoja. Verkkosivu.

<http://www.geoenergia.fi/lammon_keruutapoja_fi.html>. Luettu 26.11.2014.

Geoenergia. Maalämmön hyödyntäminen. Verkkosivu.

<http://www.geoenergia.fi/maalammon_hyodyntaminen_fi.html>. Luettu 26.11.2014.

Geologian tutkimuskeskus. Geoenergia. Verkkosivu.

<<http://www.gtk.fi/geologia/luonnonvarat/geoenergia/>>. Luettu 26.11.2014.

Grundfos. 2012. Magna3. Verkkodokumentti. <<http://fi.grundfos.com/tuotteet/etsi-tuote/magna3.html#brochures>>. Luettu 8.3.2015.

Heilä, Sampsa. 2013. Energiaa Auringosta. Verkkodokumentti.

<<http://www.tekes.fi/nyt/uutiset-2013/energiaa-auringosta/>>. Luettu 20.10.2014.

Helsingin Energia. 2014. Ohje hybridikytkennästä asiakkaan kaukolämpölaitteiston rinnalle. Verkkodokumentti. < <https://www.helen.fi/globalassets/suunnittelijat-ja-urakoitsijat/kaukolampo/kaukolammon-hybridikytkennat-asiakkaan-kaukolampolaitteiston-rinnallepdf> >. Luettu 7.12.2014.

Intervent. Climatix-ohjausyksikön pikaohje. Verkkodokumentti.

<<http://www.intervent.fi/pdf/ENVISTARsarja/Climatix-ohjausyksikon%20pikaohje.pdf>>. Luettu 1.2.2015.

IV Produkt. EcoHeater. Verkkodokumentti.

<<http://www.intervent.fi/pdf/ecoheater/EcoHeater,%20kaytto-%20ja%20huolto-ohjeet.pdf>>. Luettu 1.1.2015.

IVT. 2014. Lämpöpumpun toiminta. Verkkosivu. <<http://ivtturku.fi/lampopumpun-toiminta>>. Luettu 26.12.2014.

Juvonen, Janne. Lapinlampi, Toivo. 2013. Ympäristöopas 2013. Energiakaivo. Ympäristöministeriö. Verkkodokumentti. <<https://helda.helsinki.fi/handle/10138/40953>>. Luettu 23.11.2014.

Kallio, Jarmo. 2011. Geologian tutkimuskeskus, GTK. Verkkodokumentti.

<<http://www.poratek.fi/binary/file/-/id/2/fid/84/>>. Luettu 30.12.2014.

Kauniaisten kunta. Bensowinkuja 2, voimaan tullut asemakaavan muutos. Asemakaavaselostus. Verkkodokumentti.
<http://www.kauniainen.fi/files/3237/Kaavaselostus_liitteet_%28kaavaehdotus_valtuustoon_Bensowinkuja2%29.pdf>. Luettu 12.2.2015.

Klobut, Krzysztof. Knuuti, Antti. Vares, Sirje. Heikkinen Jorma. Rämä, Miika. Laitinen, Ari. Ahvenniemi, Hannele. Hoang, Ha. Shemeikka, Jari. Sipilä, Ari. 2014. Tulevaisuuden kaukolämpöasuinalueen energiaratkaisut. VTT. Verkkodokumentti.
<http://energia.fi/sites/default/files/tulevaisuudenkl-ratkaisut_t187_2014_vtt.pdf>. Luettu 10.1.2015.

Koskelainen, Lasse. Saarela, Rauli. Sipilä, Kari. 2006. Energiateollisuus ry. Kaukolämmön käsikirja. Kirjapaino Libris Oy.

Micre. Aurinkolämpö. Verkkosivu.
<<http://www.micre.eu/fi/energiantuotanto/aurinkolaempoe/>>. Luettu 18.11.2014.

Motiva. 2008. Ilmalämpöpumppu. Verkkodokumentti.
<<http://www.motiva.fi/files/175/Ilmalampopumput.pdf>>. Luettu 1.1.2015.

Motiva. 2009. Energiatehokas pumppausjärjestelmä. Koulutusmateriaali.
<http://www.motiva.fi/files/7810/Energiatehokas_pumppausjarjestelma_KOULUTUSAI NEISTO.pdf>. Luettu 12.12.2014.

Motiva. 2012. Kaukolämpö. Verkkodokumentti.
<http://www.motiva.fi/files/7963/Lampoa_kotiin_keskitetysti_Kaukolampo.pdf>. Luettu 20.12.2014

Motiva. 2012. Lämpöä omasta maasta. Verkkojulkaisu.
<http://www.sulpu.fi/documents/184029/190695/Motiva%2C%20Lampoa_omasta_maa sta-1.pdf>. Luettu 7.12.2014.

Motiva. 2013. Auringosta lämpöä ja sähköä. Verkkodokumentti.
<http://www.motiva.fi/files/6137/Auringosta_lampoa_ja_sahkoa2012.pdf>. Luettu 20.10.2014.

Motiva. 2013. Poistoilmalämpöpumppu. Verkkosivu.
<http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/eri_lammitysmuodot/poistoilmalampopumppu>. Luettu 1.1.2015.

Motiva. 2014. Aurinkoenergia. Verkkosivu.
<http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia>. Luettu 20.10.2014.

Motiva. 2014. Lämpöpumput. Verkkosivu.
<http://motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/lampopumput>. Luettu 21.12.2014.

Motiva. 2014. Tyhjiöputkikeräimet. Verkkosivu.
<http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkolampo/tyhjioputkikeraimet>. Luettu 12.11.2014.

Motiva. 2014. Vesistölämpö. Verkkosivu.
<http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologia/vesistolampo>. Luettu 1.1.2015.

NIBE. 2014. Poistoilma. Verkkodokumentti.
<<http://www.nibe.fi/nibedocuments/14686/M11173-4.pdf>>. Luettu 1.1.2015.

Perälä, Osmo. Perälä, Rea. 2013. Lämpöpumput. Alfamer Oy.

Produal. Lämpötilan mittaus. Verkkosivu.
<<http://www.produal.fi/FI/Tuotteet/L%C3%A4mp%C3%B6tilan%20mittaus>>. Luettu 6.3.2015.

Produal. 2012. Vesiverkoston painelähetimet. Verkkodokumentti.
<<http://www.produal.fi/FI/Tuotteet/Mittal%C3%A4hettimet/Vesiverkoston%20paineI%C3%A4hettimet/VPL%2016%20-dash-%20VPL%2016-N>>. Luettu 10.3.2015.

Promecon. 2012. Tyhjiöputkikeräimen toiminta. Verkkosivu.
<<http://www.promecon.fi/Page%204.html>>. Luettu 12.11.2014.

Prosessi-automaatio Oy. Puhdastila-automaatio. Verkkodokumentti.
<<http://mestari2013.bonsait.fi/resources/public/Luennot//Puhdastila-automaatio.pdf>>. Luettu 12.2.2015.

Pöyry. 2013. Aurinkolämmön liiketoimintamahdollisuudet kaukolämmön yhteydessä Suomessa. Verkkodokumentti.
<http://energia.fi/sites/default/files/aurinkokaukolampo_loppuraportti.pdf>. Luettu 5.11.2014.

Pöyry. 2011. Kaukolämmön lämmönjakokeskusten kytkennät ja lämmönsiirtimien mitoitus-lämpötilat. Verkkodokumentti. <http://energia.fi/sites/default/files/ljk-kytkennat_mitoituslampotilat_poyry_2011.pdf>. Luettu 5.1.2015.

Rototec. Lämpökaivo. Verkkosivu. <<http://rototec.fi/tuotteet-ja-palvelut/lampokaivo.html>>. Luettu 7.12.2014.

Savumax. 2013. Aurinkolämpöjärjestelmän LVI asennus ja käyttöohje. Verkkodokumentti. <http://www.savumax.fi/index.php/tuotteet-ja-palvelut/dokumentit/cat_view/2-dokumentit/6-lammitys-asennus-ja-kayttoohjeet>. Luettu 22.11.2014.

Senera. Lämpökaivo, porakaivo. Verkkosivu.
<http://www.senera.fi/Maalampo/Lampokaivo__porakaivo/>. Luettu 7.12.2014.

Senera. Vesistölämpö. Verkkosivu. <<http://www.senera.fi/Maalampo/Vesistolampo/>>. Luettu 1.1.2015.

Sepratec. Aurinkokeräimet. Verkkosivu. <<http://www.sepratec.fi/seprasolar3.htm>>. Luettu 12.11.2014.

Sitra. 2013. ilmastotavoitteita toteuttava asemakaavoitus. Verkkodokumentti. <http://www.sitra.fi/julkaisut/muut/Ilmastotavoitteita_toteuttava_asekaavoitus.pdf>. Luettu 12.2.2015.

Sulpu. Lämpöpumpputilastoja. Verkkodokumentti. <<http://www.sulpu.fi/documents/184029/209175/Lampopumpputilastoja-SULPU.pdf>>. Luettu 21.12.2014.

Sulpu. Lämpöpumput. Verkkosivu. <<http://www.sulpu.fi/lampopumput>>. Luettu 21.12.2014.

Sulpu. Poistoilmalämpöpumppu. Verkkosivu. <<http://www.sulpu.fi/poistoilmalampopumppu>>. Luettu 1.1.2015.

Sundial. 2012. Aurinkolämpö Suomessa. Verkkosivu. <<http://www.sundial.fi/aurinko.php?page=aurinko2>>. Luettu 20.10.2014.

Sundial. Pumppuryhmät. Verkkosivu. <<http://www.sundial.fi/pumppuryhmt-c-9.html>>. Luettu 5.1.2015.

Rakennusautomaatiojärjestelmät 2012. Sähkötieto ry. Sähköinfo Oy. Useampi kirjoittaja.

Thermia Lämpöpumput. 2014. Suuri lämpöpumppukirja. Paino ja sidonta Gravity, GVT-Group Oy.

Thermia. Neljä eri lämmönlähdettä. Verkkosivu. <<http://www.thermia.fi/lampopumppu/Nelja-eri-lammonlahdetta.asp>>. Luettu 1.1.2015.

Thermofloor. Aurinkolämpöasema. Verkkodokumentti. <<http://www.thermofloor.fi/download/18.6752c0a612fe1e1590480002978/AO1002Aurinkol%C3%A4mp%C3%B6asema.pdf>>. Luettu 3.1.2015.

Toivo Sahlstén. 2014. Rakennusautomaatio. Luentomoniste. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Vasama, Tanja. 2015. Helsingin sanomat. Kaukolämpö kallistuu rajusti – korotuksia voitulla vuoteen 2020 jopa 70 prosenttia. Sanomalehti. Päivätty 30.8.2015. <<http://www.hs.fi/koti/a1409363728229>>.

VTT. 2009. Klobut, Krzysztof. Heikkinen, Jorma. Shemeikka, Jari. Laitinen, Ari. Rämä, Miika. Sipilä, Ari. Huippuenergiatehokkaan asuintalon kaukolämpöratkaisut. <<http://www2.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2009/T2513.pdf>>. Luettu 8.1.2015.

VTT. 2003. Webdia. Verkkosivu. <<http://projectapps.vtt.fi/webdia/kaukolampo/opastus/faq.asp?Viite1=KF11#Mik%C3%A4%20on%20s%C3%A4%C3%A4t%C3%B6keskus?>>. Luettu 2.1.2015.

y-energia. Aurinkokeräin. Verkkosivu. <<http://www.y-energia.com/aurinkolampo/aurinkokerain/aurinkokerain.html>>. Luettu 22.11.2014.

y-energia. Varaaja. Verkkosivu. <<http://www.y-energia.com/aurinkolampo/varaaja/varaaja.html>>. Luettu 23.11.2014.

Ympäristöministeriö. 2012. Rakennuksen automaation vaikutus energiatehokkuuteen. Verkkojulkaisu. <http://www.avoinautomaatio.fi/doc/standardi_sfs-en_15232/Rakennusten-automaation-vaikutus-energiatehokkuuteen.pdf>. Luettu 5.4.2015.

Ympäristöministeriö. 2011. Uudet rakentamisen energiamääräykset annettu. Verkko-tiedote. <http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Tiedotteet/Tiedotteet_2011/Uudet_rakentamisen_energiamaaraykset_ann%28900%29.>>. Luettu 13.2.2015.

Liite 1

Symbolien merkinnät.

Symboli	Mer- kintä	Nimitys	Symboli	Mer- kintä	Nimitys
	LS	Lämmonsirrín		L	Lämmönluovutin (lämmitysverkosto)
	TV	Säätöventtiili (2-tie), automaatti- ja käsiohjaus		LP	Lämmityspatteri
	TV	Säätöventtiili (3-tie), automaatti- ja käsiohjaus		SP	Sulku-/säätöpelti
	MV	Magneettiventtiili		PU	Puhallin (ja moottori)
	P	Pumppu (ja moottori)		VV	Varoventtiili
	PS	Paisuntasäilio		TI	Lämpömittari
		Sulkuventtiili		TIA	Lämpömittari hälytyksellä
		Yksisuuntaventtiili		PI	Painemittari
		Kertasäätöventtiili paineen- mittaus yhteen		PIA	Painemittari hälytyksillä
		Ryhmäventtiili (sulku+koes- tusyhd+yksisuunta)		TE	Lämpötila-anturi
		Ryhmäventtiili (sulku+koes- tusyhd+yksisuunta+sulku)		TE±	Lämpötila-anturi (rajoitus)
		Paineenlennusventtiili Vakiopaineventtiili		TC	Säätokeskus
		Ylivirtausventtiili/ virtaus vasemmalta oikealle		KIS	Aikakytkin
		Lianerotin		HS	Kytkin
		Sähköinen viestijohto		EIA	Relekytkin (näyttö + hälytys)
		Hydraulinen viestijohto		EY	Ohjausrele
		Kaukolämpöjohto		FG	Peltimoottori
		Lämpöjohto meno		TAH	Jaatymissuojatermostaatti
		Lämpöjohto paluu		SC	Kierrätysnopeuden säätö
		Lämminvesijohto		TS	Putken laajennus/ tasaussäilio
		Lämpimän käyttö- veden kiertöjohto			
		Kylmävesijohto			
		Paisuntajohto			
		Ilmakanava			

Oheiset tässä julkaisussa käytetyt merkinnät perustuvat pääasiassa seuraaviin standardeihin:

-Suomen Rakentamismääräyskokoelman osa D4 LVI-piirrosmerkit. Ohjeet

-Standardi SFS-ISO 14617 kaavioissa käytettävät piirrosmerkit

-Standardi SFS-EN ISO 10628 Prosessikaaviot. Yleiset ohjeet

Liite 2

Yleisimmät rakennusautomaatiolaitetyyppitunnukset.

LAITTEEN TUNNUS JA SELITE		LAITTEEN TUNNUS JA SELITE	
EC	Sähkötehon säädin	PDA	Paine-erokytkin
EE	Sähkötehon mittaus	PDC	Paine-eron säädin
EQ	Sähkömäärälaskuri	PDE	Paine-eroanturi
FC	Virtaussäädin	PDI	Paine-eromittari
FE	Virtausanturi	PE	Paineanturi
FG	Pellin toimilaite	PI	Painemittari
FI	Ilmanvirtausmittari	PS	Painekytkin
FQ	Vesimäärälaskuri	PSA	Painehälytin
FSA	Virtausvahti	QE	Pitoisuusmittaus
FT	Virtauslähetin	QQ	Lämpömäärälaskuri
FV	Venttiilin toimilaite	RLK	Riviliitin-/riviliitinkytkentäkotelo
HS	Painike (kuitaus, käsi, hätäpysäytys)	SLK	Säätölaitekotelo
KS	Ajastinkellokytkin	TC	Lämpötilan säädin
LC	Pinnankorkeuden säädin	TE	Lämpötila-anturi
LE	Pinnankorkeusanturi	TI	Lämpömittari
LSA	Pinnankorkeuskytkin	TS	Ohjaus/hälytystermostaatti
LT	Pinnankorkeuslähetin	TZA	Yliämpö/jäätymisvaaratermostaatti
MC	Suhteellinen kosteussäädin	VAK	Valvonta-alakeskus
ME	Suhteellinen kosteusanturi	XE	Valoisuusanturi
MI	Suhteellinen kosteusmittari	XS	Hämäräkytkin
PC	Paineen säädin	ZS	Rajakytkin

Liite 13

Aurinkolämmön energiatuoton laskenta lämpimän käyttöveden tuotannossa.

Lähtötiedot:

- Kohde on kerrostalo, joka sijaitsee säävyöhykkeellä 1
- Keräiminä käytetään tyhjiöputkikeräimiä, absorptiopinta-ala 100m²
- Keräimet ovat suunnattu etelään 45° kulmassa
- Keräinten hyötysuhde on 0,8 W/m²°C
- Keräinpiirin lämpöhäviökerroin 5,53 W/m²K
- Lämpimän käyttöveden tarve vuodessa on arvioitu olevan 112 055 kWh
- Varaajan tilavuus noin 7000 litraa

Laskelman voi suorittaa valmistajan ilmoittaman vuosituoton mukaan, tai tarkemmalla menetelmällä (F-chart). Eräs valmistaja on luvannut tyhjiöputkikeräimille vuosituotoksi 490kWh absorptiopinta-alalle 1,0m². Tästä saadaan 100m² noin 49 000kWh vuosituotto, jota voidaan käyttää vertailupohjana F-chart menetelmälle.

F-Chart menetelmä

Rakmk D3:sta luetaan kuukausittaiset keskimääräiset ulkolämpötilat ja auringon säteilyenergiat vaakapinnalle.

Taulukko 1.

	A	B	C	D	E	F
	Säteilyn määrä: HELSINKI	Korjauskerroin 45 astetta etelä	säteily kallistetulle pinnalle	Päiviä/kk	Tunteja/kk	Keskimääräinen säteilyteho /kk
			kWh/m ² /kk	d	h	W/m ²
Tammikuu	6,2	1,75	10,85	31	744	14,58
Helmikuu	22,4	1,78	39,87	28	672	59,33
Maaliskuu	64,3	1,57	100,95	31	744	135,69
Huhtikuu	119,9	1,24	148,68	30	720	206,49
Toukokuu	165,5	1,06	175,43	31	744	235,79
Kesäkuu	168,6	0,98	165,23	30	720	229,48
Heinäkuu	180,9	1,02	184,52	31	744	248,01
Elokuu	126,7	1,13	143,17	31	744	192,43
Syyskuu	82	1,33	109,06	30	720	151,47
Lokakuu	26,2	1,55	40,61	31	744	54,58
Marraskuu	8,1	1,56	12,64	30	720	17,55
Joulukuu	4,4	1	4,40	31	744	5,91
	975,2		1135,402	365	8760	

Keskimääräinen säteilyteho kuukaudessa (sarake F) lasketaan kaavalla

$$\frac{\text{Säteily kallistetulle pinnalle} \cdot 1000}{\text{Kuukauden tuntimäärä}}$$

(1)

Tässä tapauksessa lämmöntarve lasketaan koko vuoden lämmöntarpeesta jaettuna 365, josta saadaan päivän tarve. Päivän tarve kerrotaan kuukauden päivien mukaan, niin saadaan kuukausittainen lämmöntarve.

Taulukko 2. Lämmöntarve

Lämmöntarve	Päiviä /kk	LKV lämmön tarve
	d	kWh
Tammikuu	31	9517,0
Helmikuu	28	8596,0
Maaliskuu	31	9517,0
Huhtikuu	30	9210,0
Toukokuu	31	9517,0
Kesäkuu	30	9210,0
Heinäkuu	31	9517,0
Elokuu	31	9517,0
Syyskuu	30	9210,0
Lokakuu	31	9517,0
Marraskuu	30	9210,0
Joulukuu	31	9517,0
		112055,0

Kuukauden keskilämpötila

Käytetyt muuttujat:

Θ_{hw} = lämpimän käyttöveden minimilämpötila

Θ_{cw} = kylmän veden lämpötila

Θ_e = tarkastelujakson keskimääräinen ulkolämpötila

Θ_{ref} = sovelluksesta ja varastotyypistä riippuva vertailulämpötila

Referenssilämpötilat lasketaan joka kuukaudelle erikseen. Keskimääräinen ulkolämpötila saadaan rakmk D3:sta ja referenssilämpötila lasketaan kaavalla:

$$\Theta_{ref} = 11,6 + 1,180 * \Theta_{hw} + 3,86 * \Theta_{cw} - 1,32 * \Theta_e \quad (2)$$

jossa keskimääräinen ulkolämpötila Θ_e saadaan säätiedoista $\Theta_{hw}=40^{\circ}\text{C}$ ja $\Theta_{cw}=5^{\circ}\text{C}$

Taulukko 3. Referenssilämpötilat

Referenssilämpötilat	Keskim. Ulkol.	Referenssilämpötila	kk keskilämpötila
	J, Θ_e	K, Θ_{ref}	L, ΔT
Tammikuu	-3,97	83,34	87,31
Helmikuu	-4,5	84,04	88,54
Maaliskuu	-2,58	81,51	84,09
Huhtikuu	4,5	72,16	76,66
Toukokuu	10,76	63,90	74,66
Kesäkuu	14,23	59,32	73,55
Heinäkuu	17,3	55,26	72,56
Elokuu	16,05	56,91	72,96
Syyskuu	10,53	64,20	74,73
Lokakuu	6,2	69,92	76,12
Marraskuu	0,5	77,44	77,94
Joulukuu	-2,19	80,99	83,18

Lämpöhäviökertoimet

Käytetyt muuttujat:

A = pinta-ala m^2

a_1 = lämpöhäviökerroin (mikäli ei testattua arvoa, voidaan tyhjiöputkikeräimille käyttää arvoa $3 \text{ W/m}^2\text{K}$)

a_2 = häviökerroin (mikäli ei testattua arvoa, käytetään arvoa $0 \text{ W/m}^2\text{K}^2$)

U_L = keräinpiirin putkiston lämpöhäviökerroin (W/K)

U_C = keräinpiirin lämpöhäviökerroin ($\text{W/m}^2\text{K}$)

Putkiston eristystasoa ei tunneta, joten lasketaan oletusarvoisesti kaavalla

$$U_L = 5 + 0,5A = 5 + 0,5 * 100 = 55 \text{ W/K} \quad (3)$$

Koko keräinpiirin lämpöhäviökerroin lasketaan kaavalla

$$U_C = \frac{a_1 + 40a_2 + U_L}{A} \quad (4)$$

$$U_C = \frac{3 + 40 * 0 + 55}{100} = 3,55 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (5)$$

Tuoton laskenta

Käytetyt muuttujat:

A = pinta-ala m^2

U_c = keräinpiirin lämpöhäviökerroin (W/m^2K)

η_{kierto} = keräinpiirin hyötysuhde ottaen huomioon lämmönvaihtimen vaikutus sekä keräinpiirin lämpöhäviöt. Oletuksena voidaan käyttää 0,8.

η_0 = optinen hyötysuhde, voidaan käyttää oletuksena 0,83

ΔT = keräimen standardihäviöiden laskentaan käytettävä referenssilämpötilaero, joka lasketaan kaavalla (6)

Θ_{ref} = sovelluksesta ja varastotyyppistä riippuva vertailulämpötila

Θ_e = tarkastelujakson keskimääräinen ulkolämpötila

t_h = tarkastelujakson pituus (kuukausi), h.

IAM = keräintyyppiin liittyvä kohtauskulmakerroin, voidaan oletuksena käyttää 1,0 tyhjiöputkikeräimille, jossa putkimainen absorptiopinta

a, b, c, d, e ja f = korjauskertoimia (a=1,029, b=-0,065, c=-0,245, d=0,0018, e=0,0215 ja f=0)

X = häviö/tarve suhde, lasketaan kaavalla (7)

Y = tuotto/tarve suhde, lasketaan kaavalla (8)

Q_{tuotto} = aurinkolämpöjärjestelmän tuotto jakson aikana, lasketaan kaavalla (9),

jos $Q_{tuotto} < 0$, $Q_{tuotto} = 0$ tai $Q_{tuotto} > Q_{tarve}$, $Q_{tuotto} = Q_{tarve}$

Q_{tarve} = lämmitysjärjestelmän lämmön tarve (käyttövesi)

$Q_{keräin}$ = keskimääräinen säteilyteho kuukaudessa (taulukosta 1)

$$\Delta T = \Theta_{ref} - \Theta_e \quad (6)$$

Jokaiselle kuukaudelle lasketaan erikseen X, Y ja Q_{tuotto} .

$$X = \frac{A \cdot U_c \cdot \eta_{kierto} \cdot \Delta T \cdot t_h}{Q_{tarve}} \quad (7)$$

$$Y = \frac{A \cdot IAM \cdot \eta_0 \cdot \eta_{kierto} \cdot Q_{keräin}}{Q_{tarve}} \quad (8)$$

$$Q_{tuotto} = (aY + bX + cY^2 + dX^2 + eY^3 + fX^3) \cdot Q_{tarve} \quad (9)$$

Tammikuu:

$$X = \frac{100 \cdot 3,55 \cdot 0,8 \cdot 87,31 \cdot 744}{9517 \cdot 1000} = 1,94$$

$$Y = \frac{100 \cdot 1 \cdot 0,83 \cdot 0,8 \cdot 14,58}{9517} = 0,08$$

$$Q_{\text{tuotto}} = -0,04$$

Helmikuu:

$$X = \frac{100 \cdot 5,53 \cdot 0,8 \cdot 88,54 \cdot 672}{8596 \cdot 1000} = 1,97$$

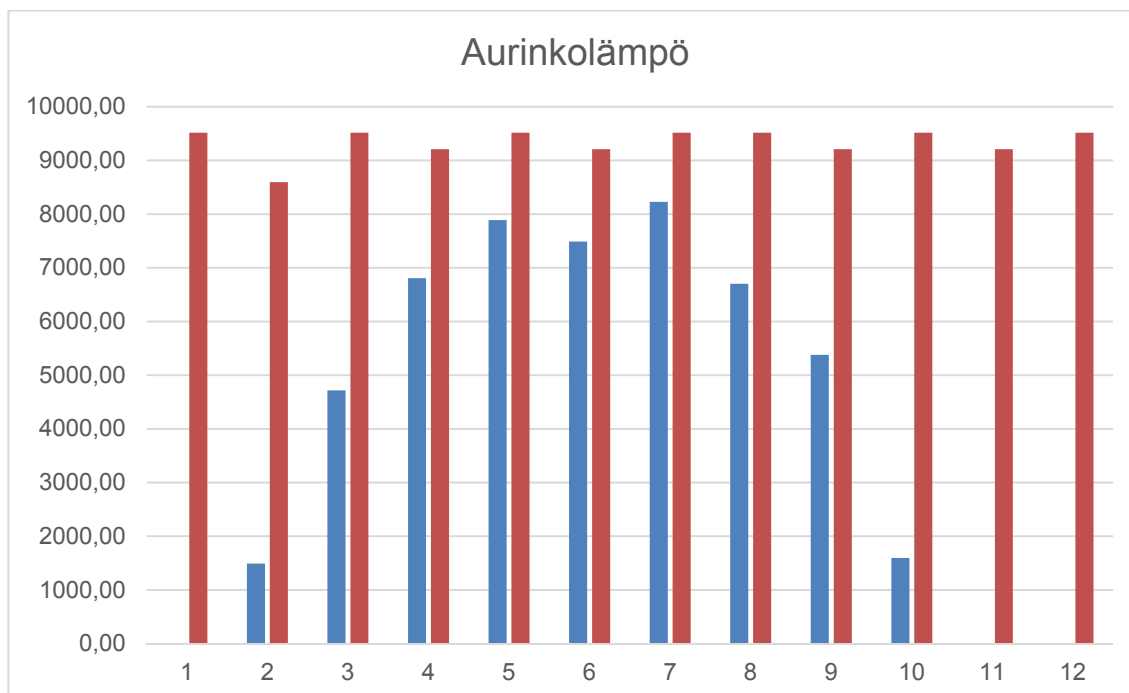
$$Y = \frac{100 \cdot 1 \cdot 0,83 \cdot 0,8 \cdot 59,33}{8596} = 0,31$$

$$Q_{\text{tuotto}} = 0,17$$

Lasketaan samalla periaatteella loput kuukaudet ja saadaan seuraava taulukko.

Taulukko 4. Tuotto ja tarve.

	X	Y	Q (kerroin)	Q _{Tuotto}	Tarve noin (kWh)	%
Tammikuu	1,94	0,08	0	0,00	9 517	0,0
Helmikuu	1,97	0,31	0,17	1491,34	8 596	17,3
Maaliskuu	1,87	0,70	0,50	4717,18	9 517	49,6
Huhtikuu	1,76	1,07	0,74	6808,12	9 210	73,9
Toukokuu	1,66	1,22	0,83	7890,17	9 517	82,9
Kesäkuu	1,63	1,19	0,81	7488,78	9 210	81,3
Heinäkuu	1,61	1,29	0,86	8227,35	9 517	86,4
Elokuu	1,62	1,00	0,70	6702,49	9 517	70,4
Syyskuu	1,66	0,79	0,57	5378,73	9 210	58,4
Lokakuu	1,69	0,28	0,17	1595,70	9 517	16,8
Marraskuu	1,73	0,09	0	0,00	9 210	0,0
Joulukuu	1,85	0,03	0	0,00	9 517	0,0



Kuva 1. Aurinkolämmön tuotto ja tarve kuukausittain. Punainen palkki kuvaa tarvetta ja sininen palkki kuvaa aurinkolämpöjärjestelmän tuottoa.

Tulokset

100m² määrällä tyhjiöputkikeräimiä saadaan vuosituotoksi 50 300 kWh/a tarpeen ollessa 112 055 kWh/a. Näin ollen aurinkolämmöllä saadaan katettua 44,9 % koko vuoden tarpeesta. Tyhjiöputkivalmistajan ilmoittama tuotto 100m² keräinpinta-alalle oli 49 000 kWh/a.

F-chart -menetelmässä käytettiin parhaita hyötysuhteita (keräinten suuntaus ja kulma), joita luultavasti myös tyhjiöputkivalmistaja on käyttänyt. Eroa oli noin 2,5 %, joten valmistajan ilmoittamaa vuosituottoa voidaan pitää luotettavana.

Tarkempaa laskumenetelmää on hyvä käyttää, jos valmistaja ei ole ilmoittanut vuosituottoa, tai jos sitä haluaa verrata laskettuun tuottoon.