

Timo-Mikael Sivula

Maalämpöjärjestelmän hyötysuhteen parantamisen tarkastelu lämpimän käyttöveden lämmityksessä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Talotekniikka

Opinnäytetyö

29.5.2016

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Timo-Mikael Sivula Maalämpöjärjestelmän hyötysuhteen parantamisen tarkastelu lämpimän käyttöveden lämmityksessä 36 sivua + 5 liitettä 29.5.2016
Tutkinto	Insinööri (YAMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-tekniikka
Ohjaajat	diplomi-insinööri Mika Manner yliopettaja Jukka Yrjölä
<p>Opinnäytetyön tutkimuskohteena on Senera Oy:n kehittämä käyttöveden lämmitysjärjestelmä. Kehitetty lämmitysjärjestelmä liitetään maalämpöpumppuun, joka on optimoitu kyseiselle käyttöveden lämmitysjärjestelmälle.</p> <p>Työn tarkoituksena on tehdä teoreettinen tarkastelu maalämpöjärjestelmän vuosihyötysuhteen parantamisen potentiaalista sekä tehdä vastaava tarkastelu markkinoilla olevien maalämpöjärjestelmien vuosihyötysuhteille.</p> <p>Työssä lasketaan CoolPack-ohjelmistoa apuna käyttäen teoreettiset vuosihyötysuhteet järjestelmille, joissa käyttöveden lämmitysjärjestelmän energian kulutus on 25 % kokonaisenergian kulutuksesta.</p> <p>Saatujen tulosten perusteella voidaan todeta, että suunniteltu ja kehitetty laitteisto parantaa lämpöpumppulaitteiston vuosihyötysuhdetta ja hyöty on sitä suurempi, mitä suurempi osa kokonaisenergiasta kuluu käyttöveden lämmitysjärjestelmässä.</p> <p>Tulokset antavat suuntaviivoja Senera Oy:lle käyttövesi-intensiivisten kiinteistöjen kokonaislämmitysjärjestelmien jatkokehitykselle, johon kuuluu jäteveden lämmöntalteenottolaitteistot.</p>	
Avainsanat	maalämpö, lämpöpumppu, energiatehokkuus, lämmin käyttövesi

Author Title Number of Pages Date	Timo-Mikael Sivula Geothermal system efficiency analysis for improvement of domestic hot water heating 35 pages + 5 appendices 19 th April 2016
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Building Services Engineering
Instructors	Mika Manner, M.Sc. Jukka Yrjölä, Principal Lecturer
<p>Research subject of this Master's thesis was to analyse the annual coefficient of performance a new hot water heating system connected to a heat pump, optimized to a domestic hot water heating system.</p> <p>The purpose was to find out improvement potential of the system, as well as analyse the annual coefficient of performance of other ground source heat pump systems on the market, with DWH heating energy consumption is 25 % of the total energy consumption. The annual coefficient of performance of the systems was calculates with Cool Pack software.</p> <p>According to the results it can be concluded that the new system improved the annual coefficient of performance of the ground source heat pump system. Furthermore, the benefits increase as the amount of the total energy consumed by the domestic hot water heating system increases.</p> <p>The results give guidelines to the further development of the total heating systems, including waste water heat recovery equipment, of water-intensive real estate.</p>	
Keywords	geothermal, heatpump, energy efficiency, domestic hot water

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Energiamääräykset ja perinteiset lämpimän käyttöveden lämmitysjärjestelmät	3
2.1	Energiamääräykset	3
2.2	Käyttöveden lämmitysjärjestelmä maalämmöllä	5
2.2.1	Vaihtuvalauhdutteinen järjestelmä	6
2.2.2	Kuumakaasulämmönsiirtimellä varustettu vaihtuvalauhdutteinen järjestelmä	10
2.2.3	Kiinteälauhdutteinen järjestelmä	13
3	Lämpimän veden energiakulutuksen tarkastelu	16
3.1	Saneerattavat kohteet	16
3.2	Uudiskohteet	16
4	Maalämpöpumpun hyötysuhteen parantamisen keinoja	17
4.1	Aurinkokeräimet	17
4.2	Poistoilman lämmöntalteenotto	22
4.3	Jäteveden lämmöntalteenotto	24
5	Lämpimän käyttöveden vaiheittainen lämmitysjärjestelmä	26
6	Tulosten analysointi	29
7	Jatkokehittäminen	32
8	Yhteenveto	33
	Lähteet	34
	Liitteet	
	Liite 1. R410A–kylmäaineen lauhtumispaine lauhtumislämpötilan funktiona	
	Liite 2. Vaihtuvalauhdutteisen järjestelmän yksinkertaistettu kytkentäkaavio	
	Liite 3. Kuumakaasulämmönvaihtimella varustetun vaihtuvalauhdutteisen järjestelmän yksinkertaistettu kytkentäkaavio	
	Liite 4. Kiinteälauhdutteisen järjestelmän yksinkertaistettu kytkentäkaavio	
	Liite 5. Työssä esitettyjen järjestelmien log p, h -piirrokset	

Lyhenteet

COP	Coefficient of Performance, hyötysuhde
EPDP	Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU rakennusten energiatehokkuudesta
EU	Euroopan Unioni
KV	Kylmävesi
LS	Lämmönsiirrin
LSV	Linjasäätöventtiili
LV	Lämmin käyttövesi
LVK	Lämpimän käyttöveden kierto
LVV	Lämminvesivaraaja
LÄ	Lämmitysverkosto
MLP	Maalämpöpumppu
PU	Kiertovesipumppu
RES	Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2009/28/EY uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä.
SCOP	Seasonal Coefficient of Performance, vuosihyötysuhde
SK	Sähkökattila
SPF	Seasonal Performance Factor, vuosihyötysuhde

TE	Lämpötila-anturi
TS	Lämmitysjärjestelmän työsäiliö
TV	Venttiili
VL	Lämmitysvaraaja

1 Johdanto

Euroopan unionin (EU) rakennusten energiatehokkuusdirektiivin (EPBD) toimeenpano saatettiin Suomessa loppuun vuonna 2013. Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä tuli voimaan kaikkien rakennusten osalta 1.9.2013. (1, s. 43.)

EU on asettanut myös energian käyttöä ohjaavan direktiivin (RES) koskien uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä. Suomen valtioneuvostolla on valmistelussa RES-direktiivin kansallinen säädöshanke maankäyttö- ja rakennuslain päivittämiseksi uusiutuvan energian käytön vähimmäistason määrittelemiseksi. (1, s. 43.)

EU on määritellyt määrälliset tavoitteet neljälle eri kategorialle. Energiankulutus on jaettu kahteen pääkategoriaan: päästökauppaan kuuluvat ja sen ulkopuolelle kuuluvat. Päästökauppasektoriin kuuluvat teollisuus ja energiantuotanto, kun taas päästökaupan ulkopuolelle kuuluvat liikenne, ei-PK-teollisuus, maatalous ja talokohtainen lämmitys. Päästökaupan ulkopuolelle jäävän energian kulutuksen päästöjen vähennykselle EU on asettanut tavoitteeksi 10 %:n vähennyksen vuoden 2005 tasosta. Suomi on asettanut kansallisesti 16 %:n vähennystavoitteen. Lisäksi EU on asettanut uusiutuvan energian käytölle tavoitteen, jonka mukaan uusiutuvan energian osuus energian kokonaisloppukulutuksesta tulee olla 20 %. Suomen tavoitteeksi on asetettu 38 %. (1, s. 43) Suomessa uusiutuvan energian osuus primäärienergiana oli 28,5 % vuonna 2005 (2). Vuonna 2013 Suomessa uusiutuvan energian osuus kokonaiskulutuksesta oli 31 % (3) ja kokonaisloppukulutuksesta 35 % (4).

Edellä kuvatut direktiivit sekä kansalliset säädökset ohjaavat kehittämään jatkuvasti uusia energiatehokkaampia sekä ympäristöystävällisempiä järjestelmiä energian loppukäyttöön. Tilastokeskuksen ja Valtioneuvoston kanslian ylläpitämän Findikaattorin mukaan rakennusten lämmitys on Suomessa toiseksi suurin energiaa kuluttava sektori (5).

TkT Samuli Honkapuro, dipl.ins. Niko Nousiainen, prof. Jarmo Partanen sekä prof. Seppo Valkealahti käsittelevät julkaisemassaan raportissa energian käytön tehostamista rakennuksissa ja sen eri vaihtoehtoja. Yhtenä energiankäytön tehostamistapana tutkimuksen tekijät esittävät maalämpöpumput. (6) Tässä työssä keskitytään rakennusten

lämmitykseen kuluvan energian sisältämän uusiutuvan energian osuuden lisäämiseen nimenomaan lämpimän käyttöveden osalta.

Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarpeella tarkoitetaan lämmitysenergian tarvetta, joka sisältää kulutetun lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kylmän veden lämpötilasta lämpimän veden lämpötilaan (7, s. 3). Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry:n julkaisun mukaan käyttöveden lämmitys kohoaa tärkeäksi energiansäästökohteeksi lämmitys- ja jäähdytysenergian pienetessä (8, s. 63).

Tulevaisuudessa uusien talojen kokonaisenergian tarve tulee laskemaan rakennusten energiatehokkuuden ja tiiveyden ansioista. Tämän vuoksi lämpimän käyttöveden osuus kokonaisenergian tarpeesta tulee kasvamaan voimakkaasti. Nykyisissä passiivitaloissa lämpimän käyttöveden lämmitysenergian osuus on noin 30 % kokonaisenergiasta (8, s. 63). Joissakin vanhoissa kerrostalo saneerauskohteissa lämpimän käyttöveden lämmittämisen kuluttaman energian osuus kokonaislämmitysenergiasta on havaittu useiden satojen kartoitettujen kohteiden perusteella olevan jopa yli 50 %. Tämä johtuu isosta määrästä lämmönluovuttimia lämpimän käyttöveden kierrossa. Myös Suomen rakentamismääräyskokoelman osien D1 ja D5 mukaisesti laskettuna päästään samaan tulokseen.

Rakennusteollisuus RT ry:n vuonna 2015 tekemän asuntotuotantokysely 3/2015 raportin mukaan asuntotuotannon kappalemääräistä aloituksia nostaa rakennettavien asuntojen keskikoon pienentyminen. Raportissa mainitaan myös tuotannon kohdistuminen pieniin kerrostaloasuntoihin. (9, s. 1–2)

Edellä mainitun asuntorakentamisen vaikutuksesta lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kuluvan energian osuus kokonaisenergian kulutuksesta tulee tulevaisuudessa kasvamaan. Otettaessa huomioon uusien rakennusten energiatehokkuus sekä asuntokoon pienentyminen, lämpimän käyttöveden kuluttaman energian säästöön tähtäävät tekniset ratkaisut ja innovaatiot ovat tulevaisuudessa suuressa roolissa kehitettäessä energiatehokkuutta. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry:n julkaisu listaa muutamia teknisiä käyttöveden lämmitysenergian säästöratkaisuja (8, s. 63–64). Tässä työssä kuvataan Senera Oy:n kehittämää maalämpöpumppuratkaisua, jolla on pyritty saamaan lämpimän käyttöveden osalta järjestelmän hyötysuhde perinteistä ratkaisua paremmaksi. Tässä työssä lasketaan suunnitellun laitteiston hyötysuhde ja verrataan sitä laskennallisesti markkinoilla olevien järjestelmien hyötysuhteisiin.

2 Energiamääräykset ja perinteiset lämpimän käyttöveden lämmitysjärjestelmät

2.1 Energiamääräykset

Rakennuksen lämmitysenergian nettotarpeella tarkoitetaan lämmitysenergian tarvetta, josta on vähennetty henkilöistä, valaistuksesta ja sähkölaitteista johtuvien sisäisten lämpökuormien energia, poistoilmasta, jätevedestä ja muista energiavirroista talteen otettu ja hyväksikäytetty energia sekä auringon säteilyenergia ikkunoiden läpi. Lämmitysenergian nettotarve on energia, joka tuodaan lämmitysjärjestelmällä tiloihin, tuloilmaan ja käyttöveteen. Lämmitysenergian nettotarve koostuu tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämmityksen nettotarpeesta. (7, s. 3)

Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarpeella tarkoitetaan lämmitysenergian tarvetta, joka sisältää kulutetun lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kylmän veden lämpötilasta lämpimän veden lämpötilaan (7, s. 3). Tähän ei sisälly lämpimän käyttöveden kiertojohtoon lämpöhäviöitä.

Lämpöpumpun vuoden keskimääräisellä lämpökertoimella (SPF-luvulla, Seasonal Performance Factor) tarkoitetaan vuotuista lämpöpumpun tuottaman lämmitysenergian ja lämpöpumpun kuluttaman sähköenergian suhdetta. Lukua voidaan käyttää vain silloin, kun energian kulutus lasketaan koko vuoden lämmöntarpeesta. (7, s. 4)

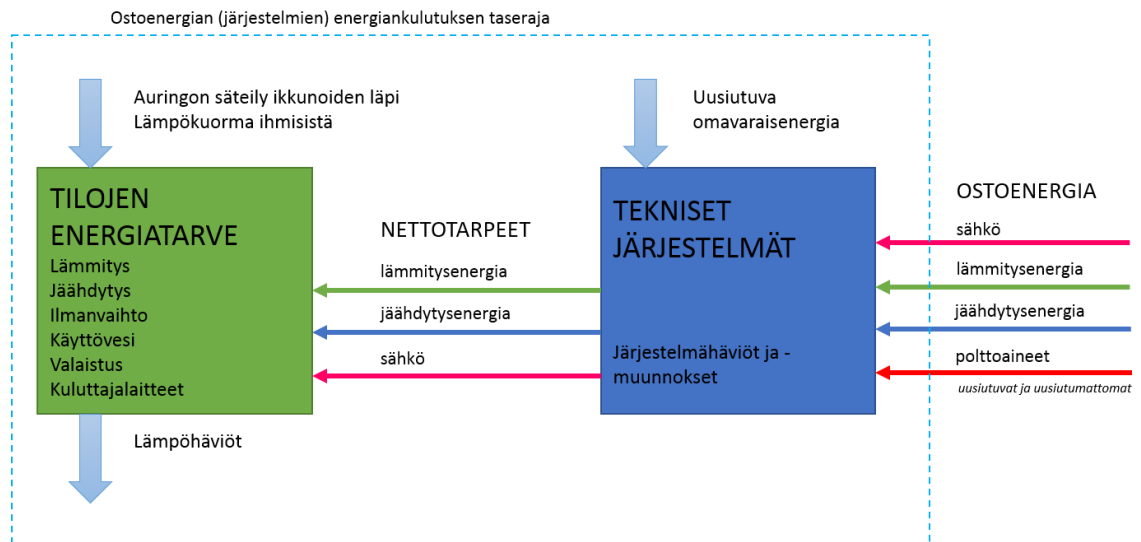
Taulukossa 1 on esitetty Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaiset SPF-arvot maalämpöpumpulle menoveden ja keruupiirin paluunesteen eri lämpötiloilla.

Taulukko 1. Maalämpöpumpujen SPF-lukuja (7, s. 50)

Maalämpöpumppu	SPF-luku	
	Vuotuinen keruupiirin paluunesteen keskilämpötila, °C	
menoveden korkein lämpötila, °C	-3	+3
<i>Tilojen lämmitys</i>		
30	3,4	3,5
40	3,0	3,1
50	2,7	2,7
60	2,5	2,5
<i>Käyttöveden lämmitys</i>		
60	2,3	2,3

Kuten taulukosta 1 nähdään, lämpöpumpun SPF-luku on hyvin alhainen korkeissa lämpötiloissa. Eri lämpöpumpuilla on eri SPF-luvut riippuen siitä, mihin lämpötilaan valmistajat ovat ne optimoineet. Lämpöpumpun SPF-luku voidaan laskea tarkemmin ympäristöministeriön oppaassa esitellyllä laskentamenetelmällä tai muulla vaihtoehdoisella menetelmällä käyttäen lähtötietona esimerkiksi standardin SFS EN 16147 tai SFS EN 14511-3 mukaisilla testausmenetelmillä mitattuja tai muulla tavoin varmennettuja lämpöpumpujen tuotetietoja (7, s. 50).

Rakennuksen ostoenergian kulutuksella tarkoitetaan energiaa, joka hankitaan rakennukseen esimerkiksi sähköverkosta, kaukolämpöverkosta, kaukojäähdytysverkosta ja uusiutuvan tai fossiilisen polttoaineen sisältämänä energiana. Ostoenergia koostuu lämmitys-, ilmastointi-, jäähdytysjärjestelmien sekä kuluttajalaitteiden ja valaistuksen energiankulutuksesta energiamuodoittain eriteltynä, missä on otettu huomioon vähennykset uusiutuvasta omavaraisenergiasta. (10, s. 6)



Kuva 1. Ostoenergiankulutuksen taseraja (10, s. 6)

Tässä työssä keskitytään kuvassa 1 kuvatun ostoenergian energiankulutuksen taserajan yli siirtyvän ostoenergian vähentämiseen lämpimän käyttöveden osalta. Työssä tutkittavana olevalla Senera Oy:n kehittämällä lämmitysjärjestelmällä pyritään maksimoimaan uusiutuva omavaraisenergia.

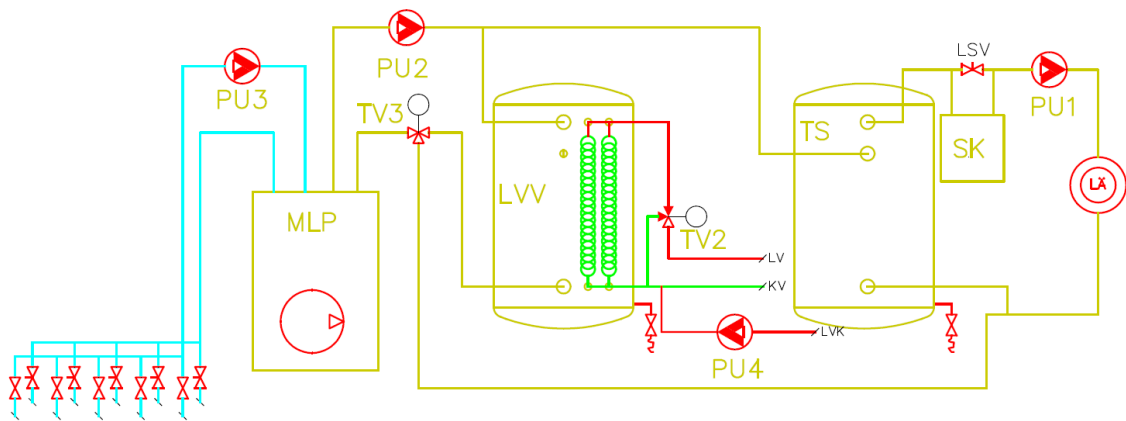
Uusiutuvalla omavaraisenergialla tarkoitetaan kiinteistöön kuuluvalla laitteistolla paikallisista uusiutuvista energialähteistä tuotettua energiaa, lukuun ottamatta uusiutuvia polttoaineita. Uusiutuvaa omavaraisenergiaa on esimerkiksi aurinkopaneeleista ja –keräimistä tuotettu energia, paikallinen tuulienergia ja lämpöpumpun lämmönlähteestä otettava energia. Uusiutuvat polttoaineet käsitellään osana uusiutuvaa ostoenergiaa. (10, s. 7)

2.2 Käyttöveden lämmitysjärjestelmä maalämmöllä

Seuraavaksi esiteltäviä järjestelmiä tarkastellaan ideaalisen lämpöpumpun näkökulmasta, jossa ei oteta huomioon kylmäaineprosessissa isentrooppista hyötysuhdetta. Isentrooppinen hyötysuhde on ideaalisesti toimivan kompressorin ja todellisessa kompressorissa olevan häviön suhde. Kun höyrystimis- ja lauhtumispaineen suhde muuttuu, muuttuu scroll-kompressorin isentrooppinen hyötysuhde. Tässä työssä oletuksena on että isentrooppinen hyötysuhde on 1.

2.2.1 Vaihtuvalauhdutteinen järjestelmä

Vaihtuvalauhdutteisesta järjestelmästä käytetään myös nimitystä muuttuvalauhdutteinen järjestelmä. Tässä järjestelmässä lämpöpumppu tuottaa eri varaajiin lämmönjakoverkoston lämpöenergian sekä lämpimän käyttöveden lämmitykseen käytettävän lämpöenergian. Kuvassa 2 on esitetty yksinkertaistettu kytkentäkaavio. Liitteessä 2 on esitettynä vaihtuvalauhdutteisen lämpöpumppujärjestelmän tarkempi kytkentäkaavio. Kuvassa 3 on esitetty yleisesti vaihtuvalauhdutteisissa järjestelmissä käytettävien lämpöpumppujen periaatekuva.



Kuva 2. Vaihtuvalauhdutteisen lämpöpumppujärjestelmän kytkentäkaavio.

Toimintakuvaus:

Kiertovesipumppu PU1 kierrättää lämmitysverkostossa (LÄ) lämmitysvettä varaajan TS kautta. Mikäli kiertävän veden lämpötila laskee lämmönsäätökäyrän määrittelemän lämpötilan alapuolelle, käynnistetään sähkökattilan SK ensimmäinen tehoporras. Tällöin PU1:n kierrättämän veden lämpötila lähtee nousemaan lämmönsäätökäyrän asettamaan tavoitelämpötilaa kohden. Mikäli tavoitelämpötilaa ei vieläkaan saavuteta määrätyn ajan kuluessa, käynnistetään sähkökattilan seuraava tehoporras. Näin toimitaan kunnes tavoitelämpötila on saavutettu. Kun tavoitelämpötila ylittyy, sammutetaan SK:n korkein tehoporras. Mikäli ollaan edelleen tavoitelämpötilan yläpuolella, sammutetaan jälleen korkein päällä oleva tehoporras. Sähkökattilan yhteydessä olevalla linjasäätöventtiilillä LSV säädetään osa vesivirrasta virtaamaan aina sähkökattilan kautta. Sähkökattilan läpi kulkevan veden virtaaman suuruus on lisäenergian tehon tarpeen mukainen suhteellinen osuus lämmönjakoverkoston kokonaisvirtaamasta. Esimerkiksi jos

järjestelmän lisäenergian tehontarve on mitoitusilanteessa 20 %, säädetään lämmönjakoverkoston kokonaisvirtaamasta 20 % kulkemaan sähkökattilan läpi.

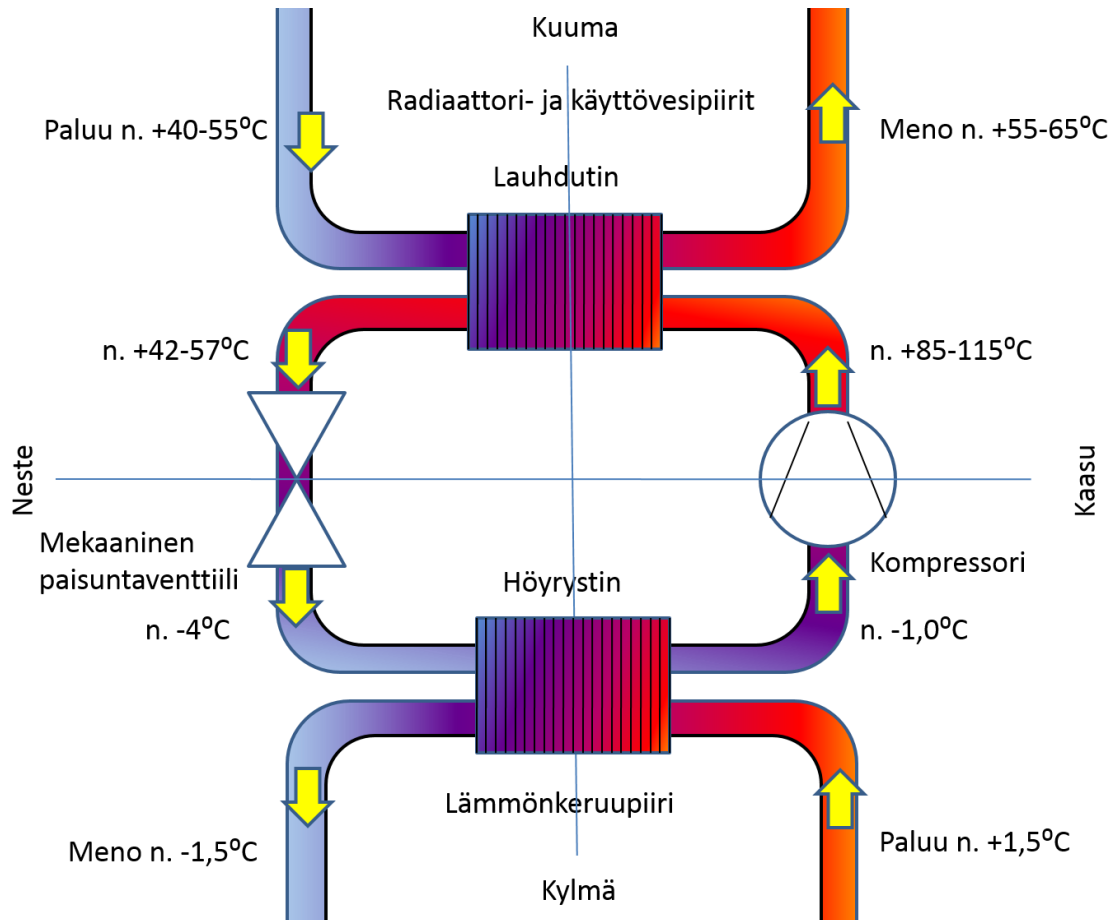
Lämmin käyttövesi lämpiää omassa varaajassa LVV. Se syötetään varaajan LVV alaosasta lähteviin lämmityskierukoihin ja virtaa niiden läpi lämmitäkseen tavoitelämpötilaan. Kiertovesipumppu PU4 kierrättää lämmintä käyttövettä LVK. 3-tieventiili TV2 huolehtii, että varaajasta ei lähde liian kuumaa vettä lämpimän käyttöveden verkostoon LV.

Kiertovesipumppu PU2 kierrättää vettä varaajien LVV tai TS ja lämpöpumpun MLP välillä siirtäen lämpöpumpun lauhduttimelta lämpöenergian varaajaan. Kiertovesipumppu PU2 kierrättää vettä silloin, kun lämpöpumppu MLP on päällä ja tuottaa lämpöenergiaa. Lämpöpumppu MLP tuottaa lämpöenergiaa niin kauan, että varaajan lämpötila on halutussa arvossaan. 3-tieventtiilillä TV3 määritellään, kumpaan varaajaan lämpöpumppu tuottaa lämpöenergiaa. Tästä valinnasta riippuu lämpöpumpun haluttu tavoitelämpötila. Lämpimän käyttöveden varaajassa LVV tavoitelämpötila on noin +60 °C ja lämmitysverkoston LÄ varaajassa TS tavoitelämpötila on lämmönsäätökäyrän mukainen lämpötila.

Kun lämpöpumppu MLP on lämmittänyt patteriverkostoa ja saa pyynnön siirtyä lämmittämään lämmintä käyttövettä, vaihtaa venttiili TV3 asentoa. Samalla lämpöpumpun tavoite lämpötila muuttuu lämmitysverkoston lämmönsäätökäyrän mukaisesta lämpötilasta lämpimän käyttöveden asetusarvoon +60 °C. Tällöin lämpöpumpun kompressori rupeaa puristamaan lauhdepiiriin suurempaa painetta, jotta lämpötila nousee tavoitelämpötilaan. Kun lämpimän käyttöveden varaaja on lämmitetty kokonaisuudessaan tavoitelämpötilaan, vaihtaa TV3 asentoa. Tässä yhteydessä lämpöpumpun tavoitelämpötila laskee lämmönsäätökäyrän mukaiseen lämpötilaan. Tällöin kompressorin ei tarvitse puristaa niin suurta painetta lauhdepiiriin saavuttaakseen tavoitelämpötilan.

Jotta lämpöpumppu MLP pystyy tuottamaan varaajiin LVV ja TS lämpöenergiaa, täytyy kiertovesipumpun PU3 kierrättää lämmönlähteen (pinta-

putkisto tai lämpökaivot) ja lämpöpumpun höyrystimen välillä lämmönkeruunestettä siirtäen matalalämpöistä lämpöenergiaa lämmönlähteestä lämpöpumpun MLP höyrystimeen. Kiertovesipumppu PU3 on päällä silloin, kun lämpöpumppu MLP tuottaa lämpöenergiaa.



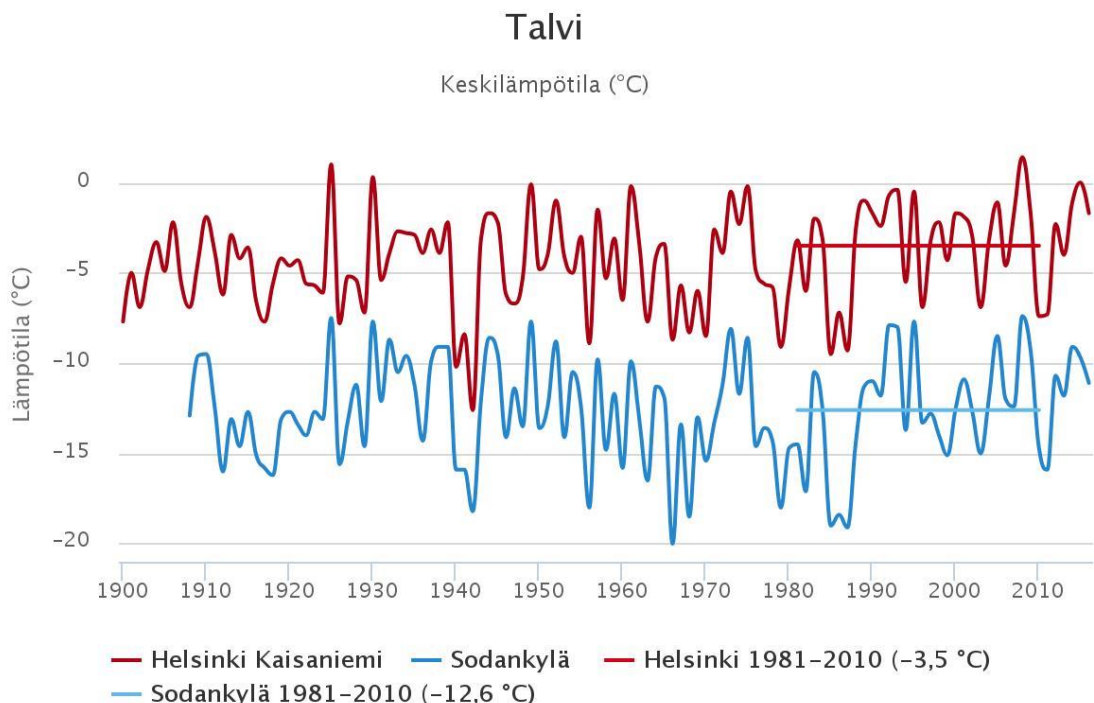
Kuva 3. Vaihtuvalauhdutteisissa lämpöpumppujärjestelmissä yleisesti käytössä olevan lämpöpumpun periaatekuva.

Tällä järjestelmällä lämmitettäessä lämmintä käyttövettä, kompressorin toiminta-alue on kapea sekä lauhdutusaine on korkea. Jotta saadaan lämpimän käyttöveden verkostoon lähtemään Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D1 mukaisesti vähintään +58 °C lämpötilaa (11, s. 8), täytyy lämpöpumpun lauhtumislämpötila olla vähintään +60 °C. Johtuen lämpöpumppujen toiminnasta, tavoitteena pitkät käyntisyklit, lauhtumislämpötilalle asetetaan toimintaikkuna, jonka sisällä lämpöpumppu toimii. Toimintaikkuna on tyypillisesti -2K...+2K tavoitelämpötilasta.

Coolpack-ohjelmalla tarkasteltuna edellä mainituissa lämpötiloissa, +58 °C...+62 °C, kylmäaineen R410A lauhtumispaine on keskimäärin 37,9 bar. Liitteessä 1 on esitetty R410A kylmäaineen lauhtumispaine lauhtumislämpötilan funktiona.

Järjestelmän keskimääräinen lauhtumispaine on huomattavasti alhaisempi ja riippuu paljon lämpimän käyttöveden lämmittämiseen tarvittavan energian osuudesta kokonaisenergian tarpeeseen kiinteistössä. Mitä alhaisempi keskimääräinen lauhtumispaine on vuoden aikana, sitä alhaisempi on myös kompressorin kuluttaman energian määrä. Toisin sanoen, mitä alhaisempi keskimääräinen lauhtumispaine on, sitä parempi vuosihyötysuhde (SCOP, Seasonal Coefficient of Performance) saavutetaan lämpöpumppu järjestelmälle.

Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian osuus kokonaisenergiasta vaihtelee kokemuksen perusteella isoissa taloyhtiökohteissa 20–50 % välillä. Tyypillisimmillään lämpimän käyttöveden lämmitysenergian osuus on 25 % koko kiinteistön tarvitsemasta lämmitysenergiasta. Samoihin lukemiin päästään laskemalla lämpimän käyttöveden lämmitysjärjestelmän energian kulutus Suomen rakentamismääräyskokoelman osien D1 ja D5 mukaisilla oletusarvoilla.



Ilmatieteen laitos

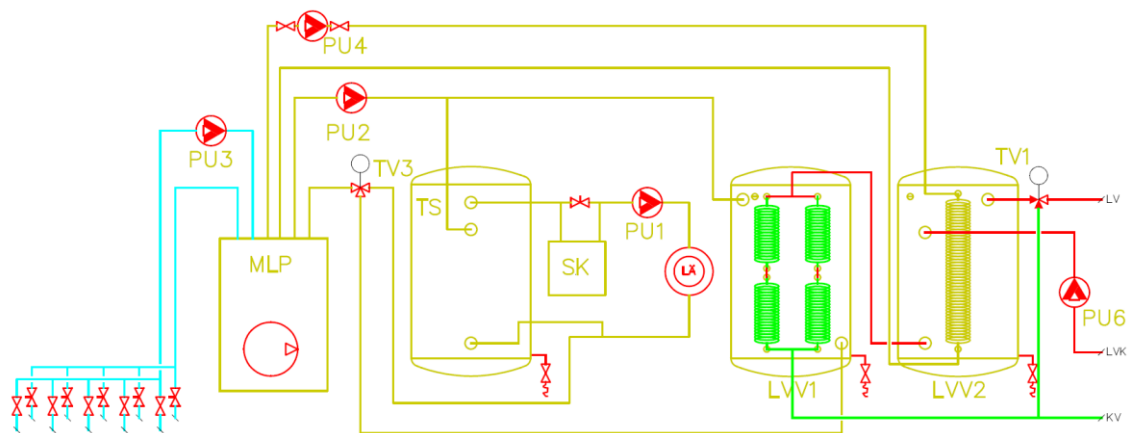
Kuva 4. Lämmityskauden keskilämpötila Helsingissä ja Sodankylässä (12).

Säävyöhykkeen I alueella vuoden keskilämpötila on $+5,3\text{ °C}$ (10, s. 29). Lämmityskauden keskilämpötila Helsingissä on Ilmatieteen laitoksen tilastojen mukaan $-3,5\text{ °C}$, kuten kuvasta 4 voidaan havaita. Tyypillisen asuinkiinteistön lämmönsäätökäyrän mukainen lämmitysveden lämpötila lämmityskauden keskilämpötilassa on $+45\text{ °C}$. Tällöin kiinteistön lämmityksen osalta keskimääräinen lauhtumispaine lämpöpumpulla on 27,0 bar.

Näin ollen koko järjestelmän vuotuiseksi keskimääräiseksi lauhtuspaineeksi tulee 29,8 bar, sillä olettamuksella, että lämpimän käyttöveden lämmitysenergian osuus kokonaisenergian tarpeesta on 25 % ja kiinteistön lämmityksen vaatima lämmitysenergian osuus on vastaavasti 75 %.

2.2.2 Kuumakaasulämmönsiirtimellä varustettu vaihtuvalauhdutteinen järjestelmä

Markkinoilla on lämpöpumppuja, joiden kylmäaineprosessiin on liitetty kompressorin sekä lauhduttimen väliin kuumakaasulämmönsiirrin. Kuvassa 5 on esitetty yksinkertaistettu kytkentäkaavio järjestelmästä. Kuvassa 6 on esitetty kuumakaasulämmönsiirtimellä varustetun lämpöpumpun periaatteellinen kaavio.



Kuva 5. Kuumakaasulämmönsiirtimellä varustetun vaihtuvalauhdutteisen lämpöpumppujärjestelmän kytkentäkaavio.

Toimintakuvaus:

Kiertovesipumppu PU1 kierrättää lämmitysverkostossa (LÄ) lämmitysvedtä varaajan TS kautta. Mikäli kiertävän veden lämpötila laskee lämmönsäätökäyrän määrittelemän lämpötilan alapuolelle, käynnistetään sähkökattilan SK ensimmäinen tehoporras. Tällöin PU1:n kierrättämän veden lämpötila lähtee nousemaan lämmönsäätökäyrän asettamaan tavoitelämpötilaa koh-

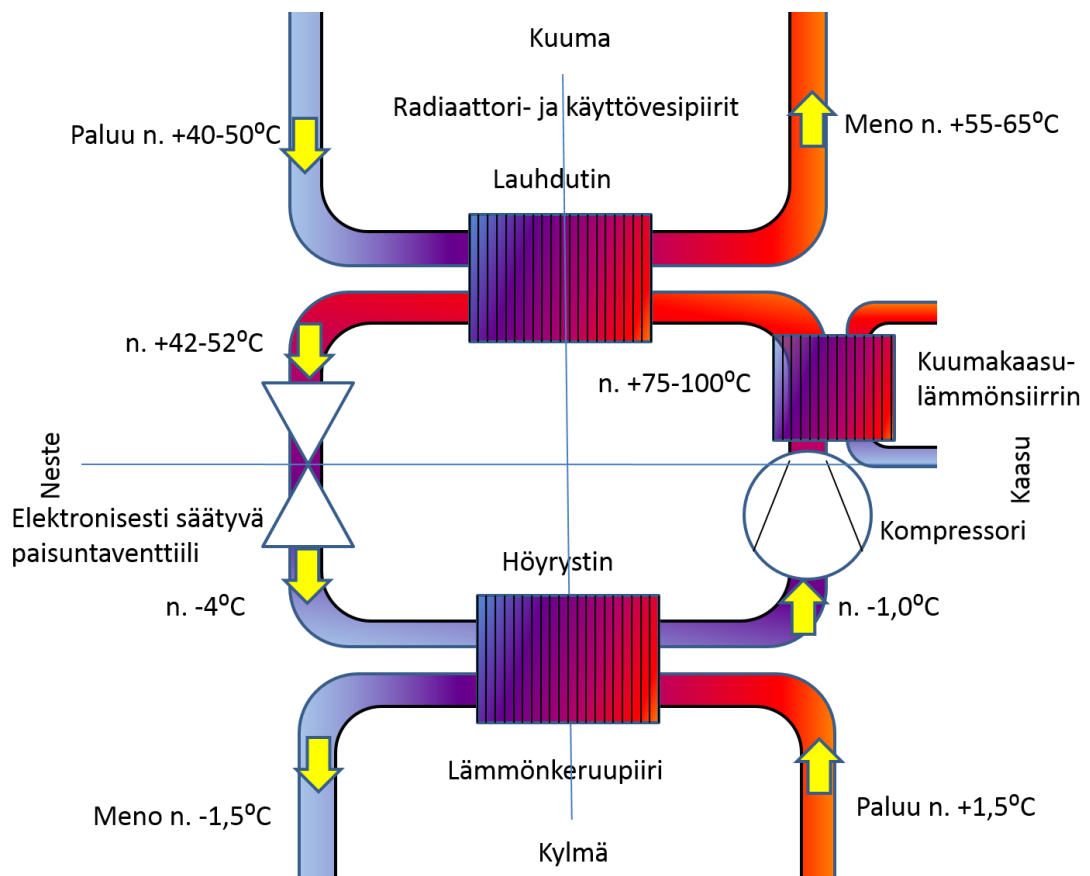
den. Mikäli tavoitelämpötilaa ei vieläkään saavuteta määrätyn ajan kuluessa, käynnistetään sähkökattilan seuraava tehoporras. Näin toimitaan kunnes tavoitelämpötila on saavutettu. Kun tavoitelämpötila ylittyy, sammutetaan SK:n korkein tehoporras. Mikäli ollaan edelleen tavoitelämpötilan yläpuolella, sammutetaan jälleen korkein päällä oleva tehoporras. Sähkökattilan yhteydessä olevalla linjasäätöventtiilillä LSV säädetään osa vesivirrasta virtaamaan aina sähkökattilan kautta. Sähkökattilan läpi kulkevan veden virtaaman suuruus on lisäenergian tehon tarpeen mukainen suhteellinen osuus lämmönjakoverkoston kokonaisvirtaamasta. Esimerkiksi jos järjestelmän lisäenergian tehontarve on mitoitusilanteessa 20 %, säädetään lämmönjakoverkoston kokonaisvirtaamasta 20 % kulkemaan sähkökattilan läpi.

Lämmin käyttövesi lämpiää omissa varaajissa LVV1 ja LVV2. Kylmävesi KV syötetään varaajan LVV1 alaosasta lähteviin lämmityskierukoihin ja virtaan niiden läpi lämmitäkseen asetettuun lämpötilaan. Tämän jälkeen lämmentynyt vesi virtaa varaajaan LVV2, jossa sitä lämmitetään tavoitelämpötilaan. Kiertovesipumppu PU4 kierrättää lämmintä käyttövettä LVK. 3-tieventtiili TV1 huolehtii, että varaajasta ei lähde liian kuumaa vettä lämpimän käyttöveden verkostoon LV.

Kiertovesipumppu PU2 kierrättää vettä varaajien LVV1 tai TS ja lämpöpumpun MLP välillä siirtäen lämpöpumpun lauhduttimelta lämpöenergian varaajaan. Kiertovesipumppu PU2 kierrättää vettä silloin, kun lämpöpumppu MLP on päällä ja tuottaa lämpöenergiaa. Lämpöpumppu MLP tuottaa lämpöenergiaa niin kauan, että varaajien lämpötilat ovat halutussa arvossaan. 3-tieventtiilillä TV3 määritellään kumpaanko varaajaan lämpöpumppu tuottaa lämpöenergiaa. 3-tieventtiilillä TV3 määritellään, kumpaan varaajaan lämpöpumppu tuottaa lämpöenergiaa. Tästä valinnasta riippuu lämpöpumpun haluttu tavoitelämpötila. Lämpimän käyttöveden varaajassa LVV1 tavoitelämpötila on noin +50 °C ja lämmitysverkoston LÄ varaajassa TS tavoitelämpötila on lämmönsäätökäyrän mukainen lämpötila. Varaajan LVV1 tavoitelämpötila on alhaisempi kuin luvussa 2.2.1 esitetystä järjestelmässä. Tällä saavutetaan matalampi keskimääräinen lauhtumispaine lämpimän käyttöveden tuotannossa ja kuumakaasulämmönsiirtimeltä saata-

valla lämpöenergialla lämmitetään varaajassa LVV2 lämmin käyttövesi lopulliseen tavoitelämpötilaan. Kiertovesipumppu PU4 kierrättää vettä lämpöpumpun kuumakaasulämmönvaihtimen ja varaajan LVV2 kierukan välillä siirtäen lämpöenergiaa kuumakaasulämmönvaihtimelta varaajaan. Varaajan LVV2 tavoite lämpötila on noin +58 °C.

Jotta lämpöpumppu MLP pystyy tuottamaan varaajiin LVV1, LVV2 ja TS lämpöenergiaa, täytyy kiertovesipumpun PU3 kierrättää lämmönlähteen, pintaputkisto tai lämpökaivot, ja lämpöpumpun höyrystimen välillä lämmönkeruunestettä siirtäen matalalämpöistä lämpöenergiaa lämmönlähteestä lämpöpumpun MLP höyrystimeen. Kiertovesipumppu PU3 on päällä silloin, kun lämpöpumppu MLP tuottaa lämpöenergiaa.



Kuva 6. Kuumakaasulämmönsiirtimellä varustetun lämpöpumpun periaatekuva.

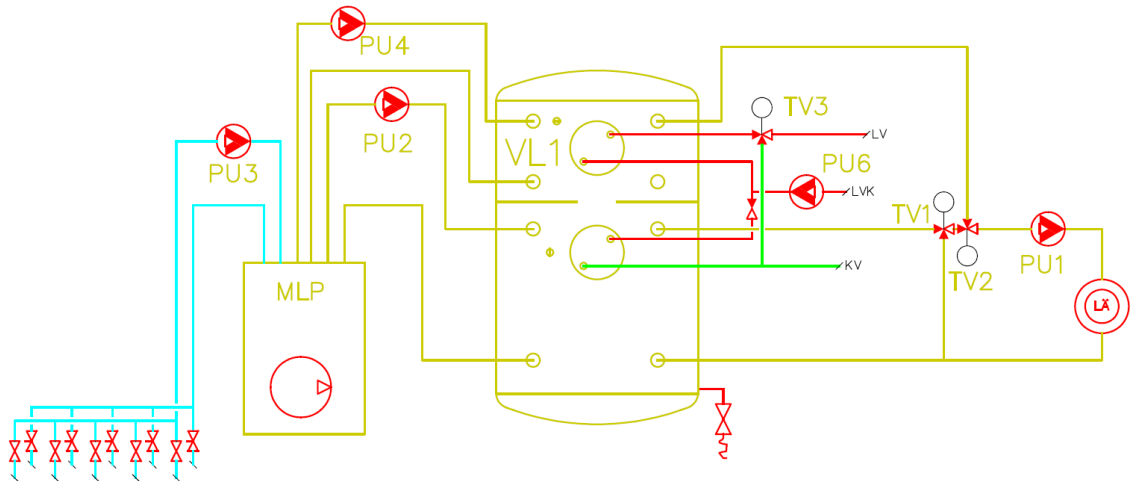
Vaihtuvalauhdutteisessa järjestelmässä kuumakaasulämmönsiirtimellä varustetun lämpöpumpun ei tarvitse nostaa lauhdutuspainetta yhtä korkealle kuin lämpöpumpun, jossa ei ole kuumakaasulämmönsiirrintä. Tämä johtuu siitä, että lauhduttimelta saatava lämpöenergia lämpimän käyttöveden lämmittämiseen ei tarvitse olla vielä lopullisessa tavoitelämpötilassa, vaan loppu lämmitys tehdään jälkilämmitysvaraajassa. Jälkilämmitysvaraajassa lämpötila nostetaan tavoitelämpötilaan kuumakaasulämmönsiirtimeltä saatavalla korkealämpöisellä lämpöenergialla. Tästä järjestelmästä on esimerkki kytkentäkaavio liitteessä 3.

Kuvassa 5 esitetyllä järjestelmällä vuosihyötysuhde on jonkin verran parempi kuin luvussa 2.2.1 esitetyllä järjestelmällä. Tämä johtuu matalammasta keskimääräisestä lauhdutuspainesta. Vaikka kesällä ei tarvitse lämmittää lämmönjakoverkostoa, saadaan varaajaan LVV2 riittävästi lämpöenergiaa varaajaa LVV1 lämmitettäessä. Varaajan LVV2 lämpötila voi nousta liki +100 °C.

Tällä järjestelmällä ja vastaavilla arvoilla kuin luvussa 2.2.1 sillä muutoksella, että lämmintä käyttövettä lämmitettäessä lauhdutuslämpötila on +55 °C, vuotuiseksi keskimääräiseksi lauhdutuspaineksi tulee 28,8 bar.

2.2.3 Kiinteälauhdutteinen järjestelmä

Kiinteälauhdutteisissa järjestelmissä käytetään kuvassa 6 esitettyä lämpöpumppua. Kiinteälauhdutteinen järjestelmä eroaa luvuissa 2.2.1 ja 2.2.2 esitetyistä järjestelmistä sekä lämpöpumpun toimintapisteen osalta että järjestelmän varaajien osalta. Järjestelmässä on vain yksi iso varaaja. Kuvassa 7 on esitetty kiinteälauhdutteisen lämpöpumppujärjestelmän kytkentäkaavio. Liitteessä 4 on esitetty järjestelmän tarkempi kytkentäkaavio.



Kuva 7. Kiinteälauhdutteen lämpöpumppujärjestelmän kytkentäkaavio.

Toimintakuvaus:

Mikäli lämmönjakoverkostossa kiertävän veden lämpötila on lämmönsäätökäyrän mukaisessa tavoitelämpötilassa, kiertovesipumppu PU1 kierrättää lämmitysverkostossa (LÄ) lämmitysvettä varaajan VL1 ohi 3-tieventtiin TV1 kautta. Mikäli kiertävän veden lämpötila laskee lämmönsäätökäyrän määrittelemän lämpötilan alapuolelle, avaa 3-tieventtiili TV1 virtaamaa varaajasta VL1. Tällöin PU1:n kierrättämän veden lämpötila lähtee nousemaan lämmönsäätökäyrän asettamaan tavoitelämpötilaan. Kun tavoitelämpötila on saavutettu, 3-tieventtiili TV1 sulkee virtaaman varaajasta. Mikäli lämmitysverkostossa kiertävän veden lämpötila ei saavuta lämmönsäätökäyrän asettamaa tavoitelämpötilaa vaikka virtaama 3-tieventtiin TV1 läpi tulee kokonaan varaajasta, avaa 3-tieventtiili TV2 virtaamaa varaajan yläosasta, kunnes saavutetaan asetettu tavoitelämpötila. Kun tavoitelämpötila on saavutettu, 3-tieventtiili TV2 sulkee virtaaman varaajan yläosasta.

Lämmin käyttövesi lämpiää kahdessa osassa. Kylmä vesi syötetään varaajan VL1 alaosassa olevaan lämmityskierukkaan, ja sen jälkeen se virtaa yläosassa olevaan kierukkaan loppukuumennusta varten. Kiertovesipumppu PU6 kierrättää lämmintä käyttövettä. 3-tieventtiili TV3 huolehtii, että varaajasta ei lähde liian kuumaa vettä lämpimän käyttöveden verkostoon.

Kiertovesipumppu PU2 kierrättää vettä varaajan VL1 ja lämpöpumpun MLP välillä siirtäen lämpöpumpun lauhduttimelta lämpöenergian varaajan alaosaan. Kiertovesipumppu PU4 puolestaan kierrättää vettä varaajan VL1 yläosan ja lämpöpumpun MLP välillä siirtäen lämpöpumpun kuumakaasulämmönvaihtimelta lämpöenergiaa varaajan yläosaan. Kiertovesipumput PU2 ja PU4 kierrättävät silloin vettä, kun lämpöpumppu MLP on päällä ja tuottaa lämpöenergiaa. Lämpöpumppu MLP tuottaa lämpöenergiaa niin kauan että varaajan lämpötila on halutussa arvossaan, tyypillisesti alaosan lämpötila halutaan +50 °C:seen.

Jotta lämpöpumppu MLP pystyy tuottamaan varaajaan VL1 lämpöenergiaa, täytyy kiertovesipumpun PU3 kierrättää lämmönlähteen (pintaputkisto tai lämpökaivot) ja lämpöpumpun höyrystimen välillä lämmönkeuruunestettä siirtäen matalalämpöistä lämpöenergiaa lämmönlähteestä lämpöpumpun MLP höyrystimeen. Kiertovesipumppu PU3 on päällä silloin, kun lämpöpumppu MLP tuottaa lämpöenergiaa.

Kiinteälauhdutteisessa järjestelmässä lämpöpumpun lauhdutuslämpötila on tyypillisesti +50 °C. Tämä lämpötila ei kuitenkaan riitä lämpimän käyttöveden lämmittämiseksi Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D1 mukaiseen lämpötilaan (11, s. 8). Edellä mainitusta syystä lämpimälle käyttövedelle täytyy järjestää loppukuumennus, joka tehdään järjestelmässä olevan ison varaajan yläosassa. Varaajan yläosaan johdetaan kuumakaasulämmönvaihtimelta korkealämpötilainen lämpöenergia. Varaajassa olevan välilevyn tavoitteena on voimistaa lämpötilakerrostumaa ja pitää varaajan ala- ja yläosan lämpötilaero mahdollisimman suurena.

Koska ko. järjestelmässä lämpöpumpulla on vain yksi toimintapiste pienellä toimintaikunalla, vuosihyötysuhde on alhaisempi verrattuna luvuissa 2.2.1 ja 2.2.2 esitettyihin järjestelmiin. Lämpöpumpuissa, jotka käyttävät kylmäainetta R410A, keskimääräinen lauhduspaine on 30,3 bar.

3 Lämpimän veden energiakulutuksen tarkastelu

3.1 Saneerattavat kohteet

Tässä työssä tarkastellaan isojen rivitalojen sekä kerrostalojen lämpimän käyttöveden energian kulutusta. Saneerattavien kiinteistöjen lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kuluvan energian määrään päästään kiinni tarkastelemalla veden kokonaiskulutusta sekä tutkimalla mahdolliset lämmönluovuttimet lämpimän käyttöveden kiertoverkostossa. Lämpimän käyttöveden osuus on tyypillisesti 40 % asuinrakennuksen talousveden kokonaiskulutuksesta. Talousveden kulutus Suomessa kerrostaloasukkailla on keskimäärin 150 dm³/hlö/vrk. Eri talouksien vedenkulutuserot ovat kuitenkin suuria; vaihteluväli on 60–270 dm³/hlö/vrk. Lämpimän käyttöveden putkiston (mukaan lukien kosteiden tilojen lämmitys) lämpöhäviöiden osuus on tyypillisesti 40 % käyttöveden lämmitysjärjestelmän kuluttamasta lämpöenergiasta. (13, s. 6–8)

Ympäristöministeri Jan Vapaavuoren vuonna 2009 asettaman työryhmän (*Huoneistokohtaisten vesimittareiden käyttö ja vaikutukset rakennusten energiankulutukseen*) mukaan kerrostalon lämmitysenergiasta 40 % kuluu käyttöveden lämmittämiseen (13, s. 8).

Saneerattavissa kerrostaloissa energian kulutusta voidaan pienentää lämpimän käyttöveden osalta pienentämällä kulutusta. Huoneistokohtaisten vesimittareiden asentamisen ja kulutuksen mukaisen laskutuksen on huomattu pienentävän veden kulutusta 10–30 %. (13, s. 15)

Veden kulutusta pienentämällä ei pystytä kuitenkaan vaikuttamaan lämpimän käyttöveden putkiston lämpöhäviöihin. Edellä mainittu työryhmä tuo muistiossaan myös esille isojen vuokrataloyhtiöiden kokemuksia huoneistokohtaisesta mittaroinnista sekä mittaukseen perustuvasta laskutuksesta. Mittarointi on todettu vähentävän veden kulutusta, mutta kustannukset ovat säilyneet kasvaneiden laskutuskustannuksien myötä. Haasteiksi on todettu myös mittauksen luotettavuus.

3.2 Uudiskohteet

Uutta asuinrakennusta rakennettaessa pystytään vaikuttamaan lämpimän käyttöveden putkiston lämpöhäviöihin optimoimalla putkiston reitti sekä asentamalla putkistoihin hy-

vät eristeet. Lisäksi voidaan olla asentamatta lämpimän käyttöveden verkostoon lämmönluovuttimia ("rättipattereita"), joiden Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D1 mukainen ohjeellinen laskennallinen teho on 200 W/kpl. Huolimatta putkiston lämpöhäviöiden pienenemisestä suhteessa saneerauskohteeseen, lämpimän käyttöveden lämmitysjärjestelmän kuluttaman energian osuus voi olla jopa yli puolet koko kiinteistön lämmitysenergian tarpeesta. Tämä johtuu kiinteistön lämmittämiseen tarvittavan energian pienenemisestä eristävämpien rakenteiden takia.

4 Maalämpöpumpun hyötysuhteen parantamisen keinoja

4.1 Aurinkokeräimet

Tilastokeskuksen tietojen mukaan kerrostaloyhtiöiden lämmityksen ja veden kustannusten osuus kokonaiskuluista on ollut viime vuodet noin 31 %. Lämmityksen osuus yksistään on merkittävä 23 %:n osuudellaan. Lämmityksen kustannusten pystytään vaikuttamaan tuottamalla lämmitysenergiaa paikallisesti. Viime vuodet Suomessa lämpöpumpuja on asennettu myös kiihtyvään tahtiin kerrostaloihin. Lämpöpumpuilla saadaan laskevaa ostoenergian tarvetta ja näin ollen myös lämmityksen kustannukset laskevat. (14)

Markkinoilla on pitkään ollut luvussa 2.2 esitettyjä lämpöpumppulaitoksia ja niitä on asennettu paljon. Suomen lämpöpumppuyhdistyksen tilastojen mukaan Suomessa on vuoden 2015 lopussa asennettuna yli 100 000 maalämpöpumppujärjestelmää (15). Lämpöpumppujen vuosihyötysuhteissa (SCOP, Seasonal Coefficient Of Performance) ei kuitenkaan ole tapahtunut pitkään aikaan selkeää parannusta, vaikka standardin EN14511 mukaiset hyötysuhteet (COP, Coefficient Of Performance) ovatkin parantuneet jonkin verran.

Merkittävänä tekijänä vuosihyötysuhteen kehittymisen esteenä on lämpimän käyttöveden vaatima korkea lämpötila sekä lämpimän käyttöveden lämmitysjärjestelmän kuluttaman energian suuri osuus kokonaisenergian kulutuksesta.

Maailmalla on tutkittu paljon vaihtoehtoja lämpöpumppujärjestelmien hyötysuhteen parantamiseksi. Kiinassa Tianjin ammattikorkeakoulun kampusalueella olevan maaläm-

pöjärjestelmän hyötysuhteen oli havaittu vuosien 2010–2012 aikana vähitellen pienenevän vuosi vuodelta. Asiaa tutkiessaan N. Zhu, J. Wang ja L. Liu (16) havaitsivat, että maaperä viilenee lämpökaivojen alueelta, koska lämpökaivot eivät ehdi palautumaan takaisin alkulämpötilaan lämmityskauden ulkopuolella. Tutkimuksesta kirjoittamassaan artikkelissa mainitsevat yhtenä hyötysuhteen parantamisen keinona lämpökaivojen syventämisen. Artikkelissa keskitytään tutkimaan aurinkokeräimien hyödyntämistä maalämpöjärjestelmässä kausiluontoisena termisenä varastointina. Kuvassa 8 on esitetty kaaviokuva aurinkokeräimien liittämiseksi maalämpöjärjestelmään.

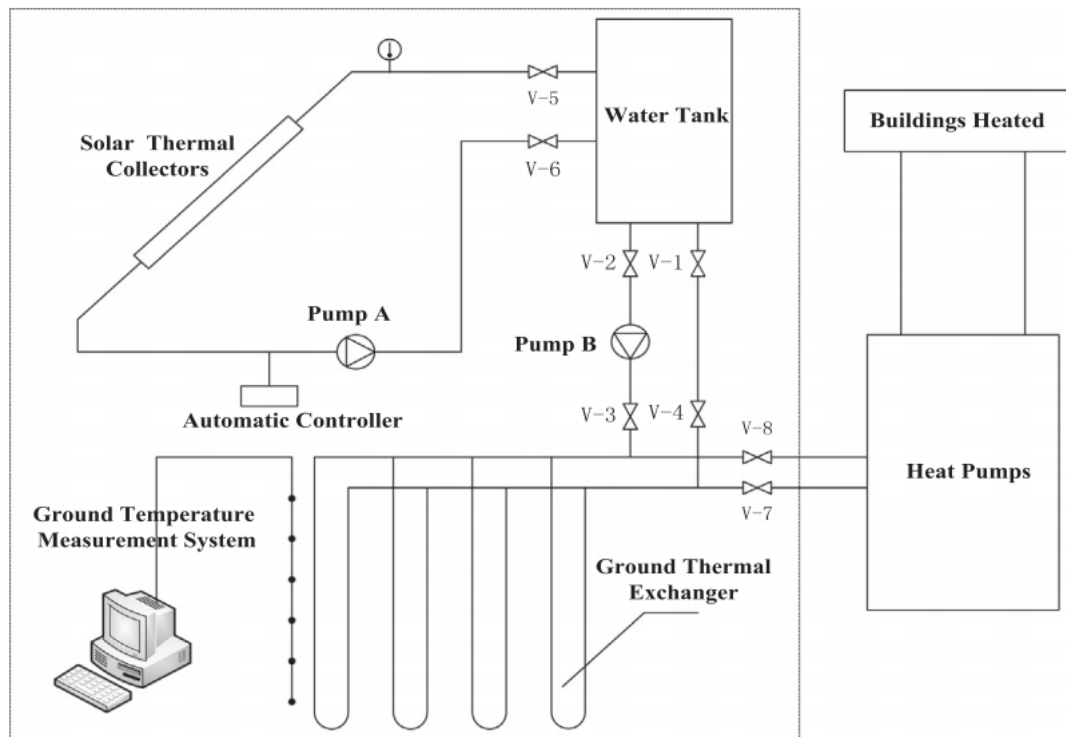


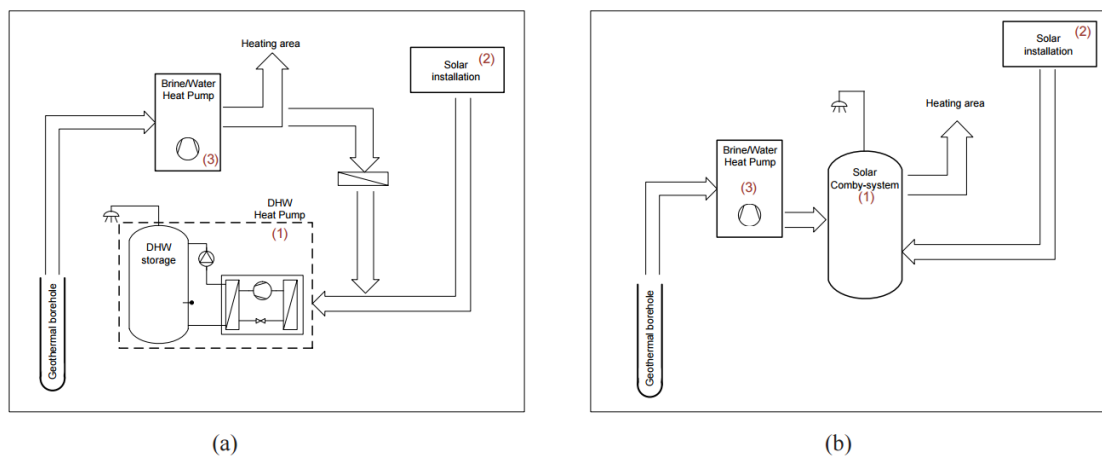
Fig. 1. Schematic diagram of ground source heat pump with seasonal thermal storage system.

Kuva 8. Kaaviokuva maalämpöpumpun ja aurinkokeräinten yhdistelmästä. (16)

Edellä mainitussa järjestelmässä on 580 kappaletta 120-metrisiä lämpökaivoja sekä 1 500 m² aurinkokeräimiä (16). Aurinkokeräimet on liitetty 24 m³:n vesivaraajan välityksellä lämpökaivoihin. Lämpökaivokenttään on rakennettu myös lämpötilamittausjärjestelmä, jolla saadaan reaaliaikainen mittausdata 13 eri syvyydestä. Aurinkokeräimien tuottama lämpöenergia varastoidaan varaajan, josta lämmityskauden ulkopuolella syötetään lämpöenergiaa lämpökaivoihin. Lämpöpumppujärjestelmän hyötysuhde oli laskeutunut ennen aurinkokeräimien käyttöönottoa ensiksi 1,6 % ja seuraava vuonna 2,3 %. Au-

rinkokeräinjärjestelmän käyttöönoton jälkeisenä lämmityskautena lämpöpumppulaitoksen hyötysuhde oli noussut jopa 3,4 % edelliseen lämmityskauteen verrattuna. Tutkimuksen johtopäätöksenä artikkelin kirjoittajat toteavat sekä taloudellisesta että ympäristönsuojelun näkökulmasta että aurinkokeräimet yhdistettynä maalämpöpumppu järjestelmään on parempi kuin pelkkä maalämpöjärjestelmä tai kaukolämpö.

Sveitsissä on puolestaan tutkittu Kansainvälisen energijärjestön (IEA, International Energy Agency) vuonna 2010 asettaman ”Solar Heating and Cooling” ohjelman mukaista toimeksiantoa numero 44, ”Solar and Heat Pump Systems”. Toimeksiannon tavoitteena on antaa näkemyksiä poliittisille päättäjille, miksi ja miten aurinko- ja lämpöpumppujärjestelmiä tulisi tukea sekä edistää. Tutkimuksessa (17) on selvitetty aurinkoenergian käyttöä lämpöpumpun höyrystinpuolella järjestelmän hyötysuhteen maksimoimiseksi käyttöveden lämmityksessä ja tavoitteena on määrittellä tutkimus ja tuotekehitysprojektin prototyyppi aurinkoenergia-avusteisesta lämpöpumpusta käyttöveden lämmittämiseen. Artikkelissa mainitaan yhdeksi aurinkoenergian hyödyntämisen ongelmaksi se, että aurinkoenergian saanti ei ole samassa vaiheessa kuin lämmitysenergiaa tarvitaan kiinteistöjen lämmitykseen sekä lämpimään käyttöveteen. Kuvassa 9 on esitetty tutkimuksessa esitetyt ratkaisut. Vaihtoehdossa (a) ajatuksena on hyödyntää käyttöveden lämmityksessä korkean lämpötilan lämpöpumppua (DHW Heat Pump), joka saa höyrystimelle energian joko aurinkokeräimistä (Solar installation) tai vaihtoehtoisesti toisen lämpöpumpun (Brine/Water Heat Pump) lauhteesta. Vaihtoehdossa (b) on ajatuksena normaalin maalämpöjärjestelmän varustaminen varaajalla, jossa on aurinkokeräimiä varten omat lämmönsiirtokierukat. Näitä varaajia on markkinoilla runsaasti saatavilla.



Kuva 9. Kehitettäviä lämpöpumppuratkaisuja (17).

Jukka Yrjölä ja Eetu Laaksonen ovat tutkineet hyötysuhteen parantamista käyttöveden lämmityksessä artikkelissaan *Domestic Hot Water Production with Ground Source Heat Pump in Apartment Buildings* (18). Yrjölä ja Laaksonen tarkastelevat hyötysuhteen parantamista kaksiportaisella lämpöpumpulla, jossa ensimmäisessä portaassa lämpöpumpppuna käytetään matalammille lämpötiloille tarkoitettua lämpöpumpppua ja toisessa portaassa korkeamman lämpötilan lämpöpumpppua. Artikkelista käy ilmi, että kaksiportaisella lämpöpumpppujärjestelmällä saavutetaan lämpimän käyttöveden lämmityksen osalta parannusta hyötysuhteeseen. Kaksiportaisella lämpöpumpppujärjestelmällä on mahdollista saavuttaa jopa 31 %:n säästö sähkönkulutuksessa käyttöveden lämmityksen osalta verrattuna yksiportaiseen kiinteälauhdutteiseen lämpöpumpppujärjestelmään. Kuten Yrjölä ja Laaksonen toteavat artikkelissaan, käyttöveden lämmitysjärjestelmän kuluttaman energian osuus koko kiinteistön kuluttamasta energiasta kasvaa uusissa matalaenergiataloissa ja lämpimän käyttöveden lämpötila on korkeampi kuin lämmitysverkon vaatima lämpötila. Tästä johtuen käyttöveden lämmitysjärjestelmän suunnittelu tulee entistä tärkeämmäksi tulevaisuudessa lämmitysjärjestelmän suunnittelussa.

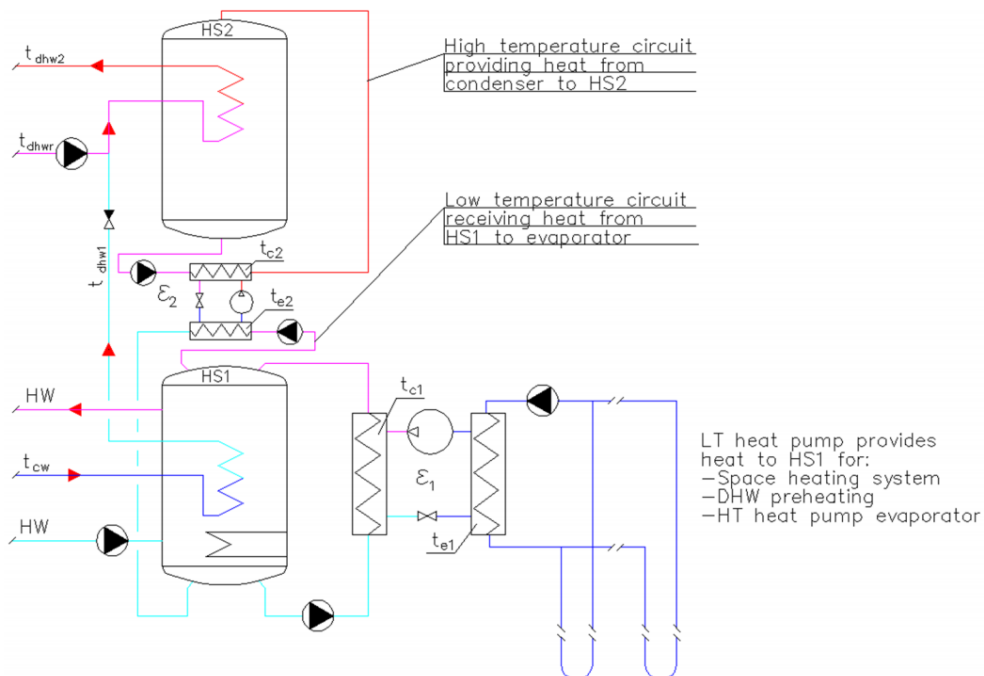
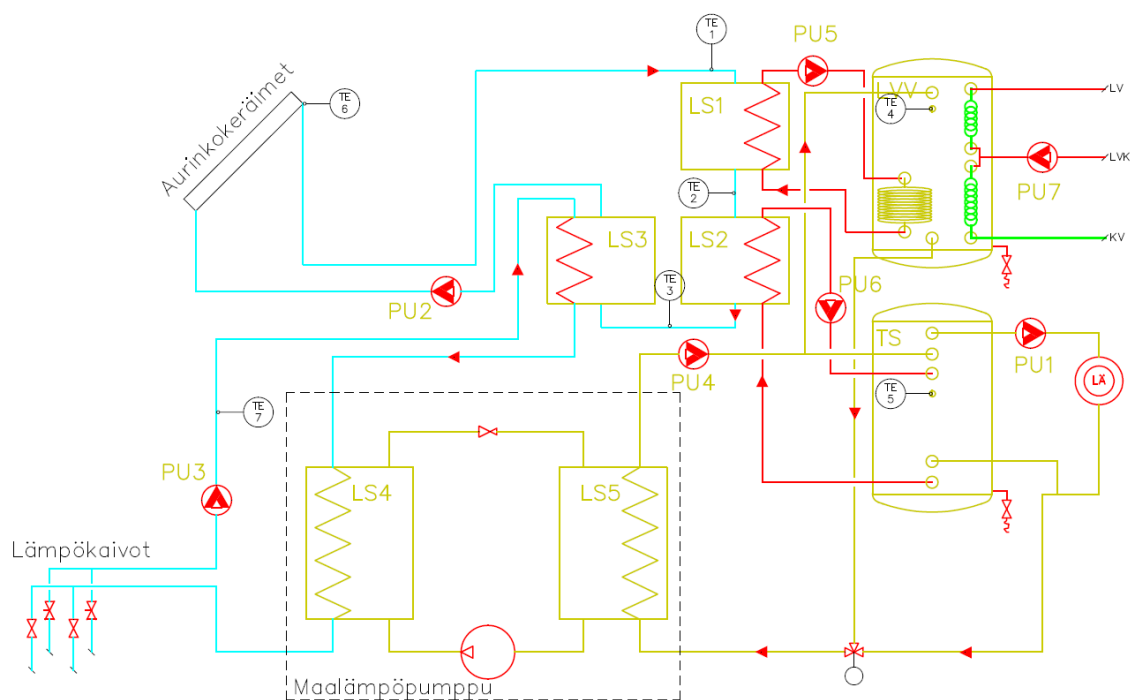


Figure 4. DHW production System 7, the two-stage heat pump.

Kuva 10. Lämpimän käyttöveden lämmitysjärjestelmä, kaksiportainen lämpöpumppu (18).

Maalämpöjärjestelmien hyötysuhteiden parantamiseen liittyviä tutkimuksia on tehty maailmalla paljon, mutta ne jakautuvat pitkälti kahteen eri kategoriaan. Osa tutkimuksista perustuu aurinkokeräimien liittämiseen lämpökaivoihin, kuten edellä mainitussa kiinalaisessa tutkimuksessa (16). Osa tutkimuksista taas pohjautuu ideaan, jonka sveitsiläiset esittelevät artikkelissaan (17). Tutkimuksia lukiessa ScienceDirect-tietokannasta nousi esiin ajatus yhdistää Kiinassa tehdyn tutkimuksen ja Sveitsissä tehdyn tutkimuksen ideat. Kuvassa 11 on esitetty ideoiden yhdistäminen. Suomesta löytyy ainakin kaksi kytkenällä tehtyä järjestelmää, joista ei ole kirjallisuudessa mainintaa. Kohteet sijaitsevat Kristiinankaupungissa.



Kuva 11. Aurinkokeräimien liittäminen maalämpöjärjestelmään.

Kuvan 11 mukaisessa järjestelmässä kerätään aurinkokeräimistä saatava energia mahdollisimman hyvin talteen. Kun keräimissä olevan lämmönsiirtonesteen lämpötila TE6 nousee yli 5K korkeammaksi kuin lämpökaivoista palaavan lämmönkeruunesteen lämpötila TE7 käynnistetään pumpppu PU2. Tällöin saadaan aurinkokeräimistä siirrettyä lämpöenergiaa lämmitysjärjestelmään. Mikäli aurinkokeräimiltä tulevan lämmönsiirtonesteen lämpötila TE1 ylittää lämminvesivaraajan LVV lämpötilan, käynnistetään pumpppu PU5. Näin saadaan lämmitettyä lämmintä käyttövettä. Aurinkokeräinten lämmönsiirtonesteen luovutettua lämpöenergiaansa lämmönsiirtimen LS1 kautta lämpimään käyttöveteen, on nesteessä vielä lämpöenergiaa, joka voidaan ottaa talteen.

Mikäli lämmönsiirtonesteen lämpötila on tämän jälkeen (TE2) vielä lämpimämpi kuin lämmönjakoverkoston työsäiliön TS lämpötila TE5, käynnistetään pumppu PU6. Lämmönsiirrin LS2 siirtää aurinkokeräimien lämmönsiirtonesteestä lämpöenergiaa lämmitysverkoston työsäiliöön TS.

Jotta aurinkokeräimille palautuu mahdollisimman viileä lämmönsiirtoneste, otetaan nesteestä vielä lämmönsiirtimellä LS3 lämpöenergiaa lämpökaivoissa kiertävään lämmönkeruunesteeseen. Pumppu PU3 on aina käynnissä, kun lämpöpumppu on päällä tai pumppu PU2 on päällä.

Järjestelmällä saadaan kerättyä lämpöenergiaa sekä käyttöveteen että lämmitykseen ja saadaan vielä ladattua lämpökaivoja. Lämpökaivojen lataamisella ehkäistään kaivojen lämpötilan mahdollista laskua, kuten Tianjin kampuksella huomattiin (16). Samalla saadaan nostettua maalämpöpumpun höyrystimelle tulevan lämmönkeruunesteen lämpötilaa, josta seuraa lämpöpumpun hyötysuhteen parantuminen.

Mikäli aurinkokeräimistä saatava lämpöenergia tai lämpötila riittää, hoitaa maalämpöpumppu lämmityksen normaalisti vaihtuvavaihtuuteisen lämpöpumppujärjestelmän periaatteella. Järjestelmän tarkempi tutkiminen ja mittarointi on oma tutkimus projektinsa tulevaisuudessa.

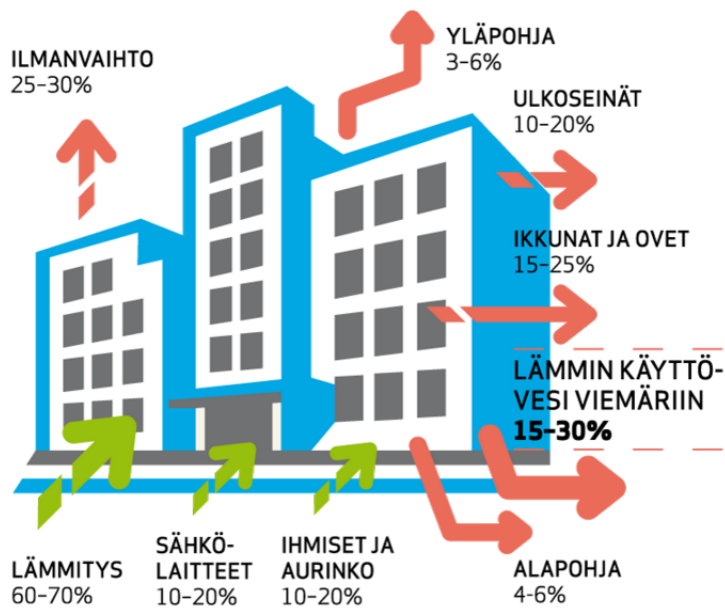
4.2 Poistoilman lämmöntalteenotto

Kuvassa 12 on esitetty asuinkerrostalon lämpötase, josta voidaan havaita kaksi merkittävää energianhukkaa. Vuotta 2005 vanhemmissa rakennuksissa ilmanvaihdon on voinut toteuttaa ilman lämmöntalteenottoa pelkällä poistoilmanpuhaltimella. Tämä lämpöenergian osuus on 25–30 % ja on jatkuva ympäri vuoden. Kuvassa 13 on esitetty Koja Oy:n poistoilman lämmöntalteenotto laite HiLTO EC, joka voidaan liittää maalämpöjärjestelmään kuvan 14 mukaisesti. Asentamalla lämmöntalteenottolaitteiston maalämpöjärjestelmään lämpökaivojen rinnalle, voidaan lämpökaivojen määrässä säästää noin 25–30 %, jolloin kokonaisinvestointi ei nouse. Laitteistolla voidaan myös oikein asennettuna ja ohjattuna suorittaa lämpökaivojen takaisinlatausta vastaavasti kuin Tianjin kampuksen tapauksessa tehtiin aurinkokeräimillä. Tällöin saadaan myös lämpöpumpun hyötysuhdetta nostettua korkeamman keruunesteen lämpötilan avulla.

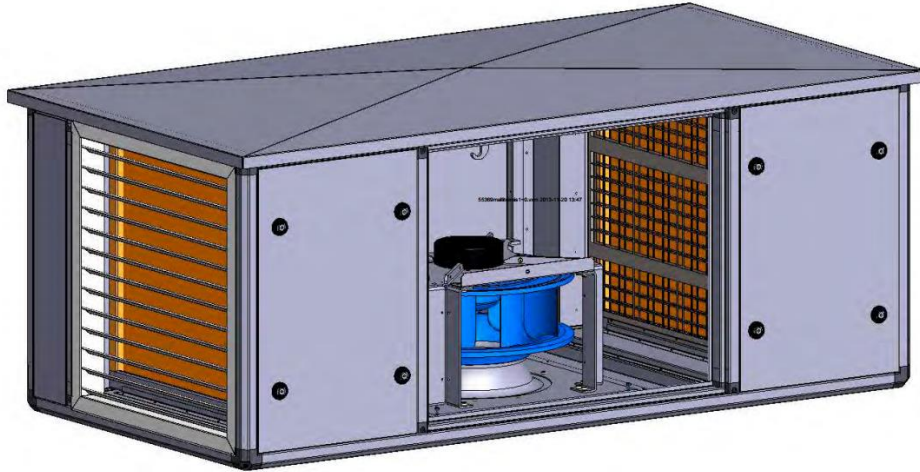
Poistoilman lämmöntalteenottolaitteisto voidaan asentaa myös ilman lämpökaivoja esimerkiksi kaukolämmön rinnalle. Tällöin lämpöpumppu tulee mitoittaa jäähdytystehon perusteella oikean kokoiseksi.

Senera Oy:n on asentanut edellä kuvattuja poistoilman lämmöntalteenottolaitteistoja sekä maalämmön että kaukolämmön rinnalle ja laitteisto on todettu toimivan suunnitelusti sekä poistoilmasta saatavan energiamäärän olevan mainittu 25–30 %.

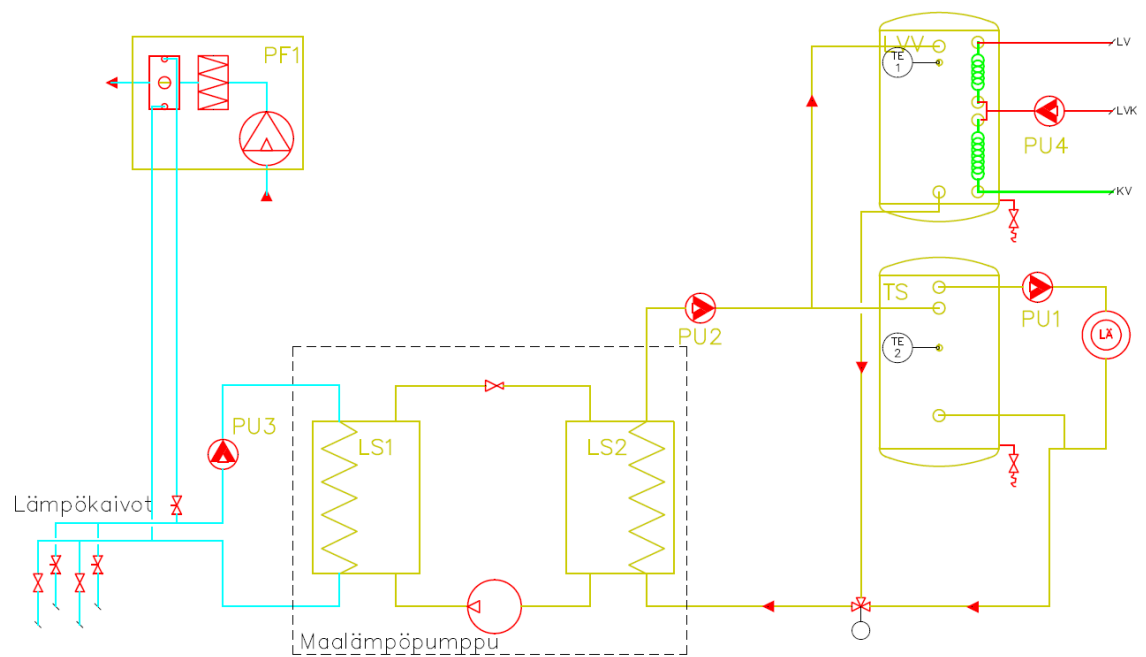
LÄMPÖTASE ASUINKERROSTALOSSA



Kuva 12. Lämpötase asuinkerrostalossa (19).



Kuva 13. Koja Oy:n tuote HILTO EC (20).



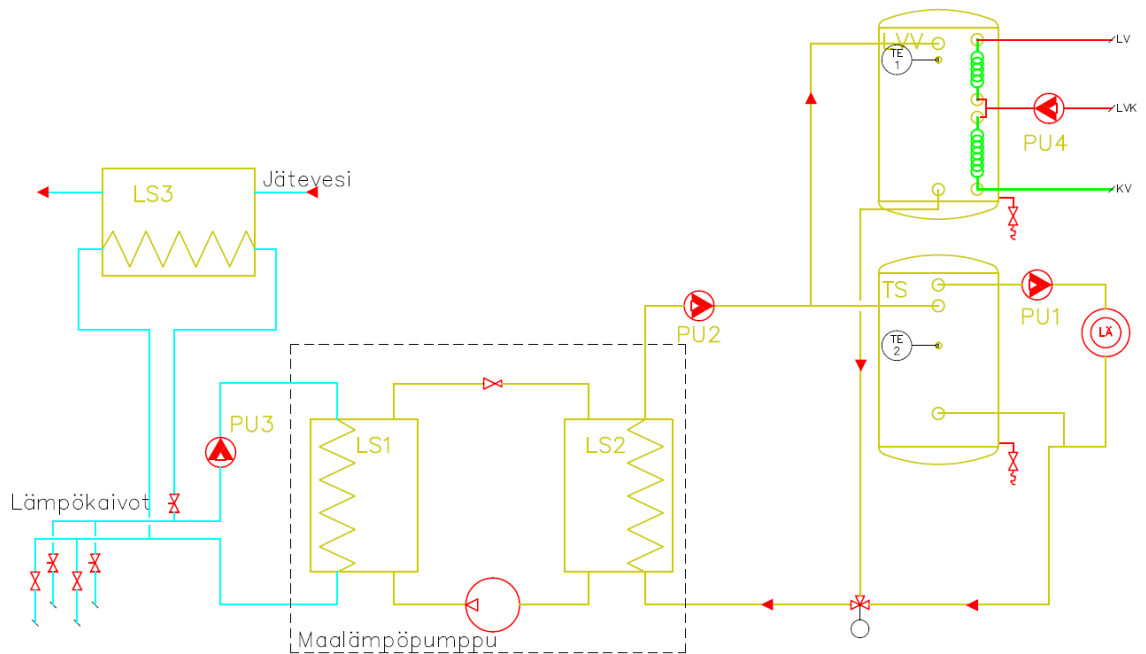
Kuva 14. Poistoilman lämmöntalteenottolaitteisto liitettynä maalämpöjärjestelmään

4.3 Jäteveden lämmöntalteenotto

Kuvassa 15 on esitetty periaate jäteveden lämmöntalteenottolaitteiston kytkemisestä maalämpöjärjestelmän lämmönkeruupiiriin. Maiju Grönholm on opinnäytetyössään selvittänyt markkinoilla olevia valmiita jäteveden lämmöntalteenottoon soveltuvia tuotteita

(21). Grönholm toteaa työssään, että jäteveden talteenottolaitteiston tulevaisuuden kehitystyössä intressinä on päästä mahdollisimman pieniin takaisinmaksuaikoihin. Asuin-kerrostalojen kokonaisenergiasta 15–30 % menee viemärin kautta jäteveden mukana hukkaan. Tämä on poistoilman mukana poistuvan lämpöenergian lisäksi merkittävä energiahukka, johon voidaan vaikuttaa kustannustehokkaasti nykyisillä markkinoilla olevilla tuotteilla varsinkin linjasaneerauksien yhteydessä.

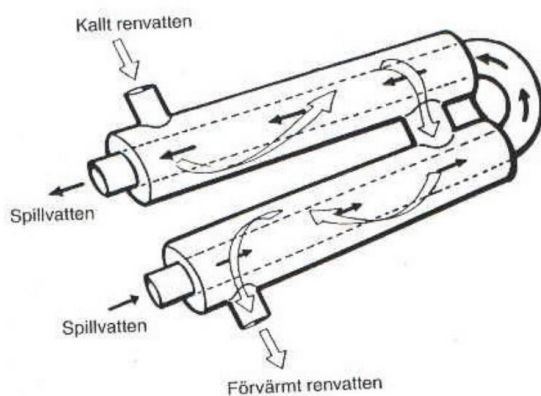
Uudiskohteissa, kun rakenteiden energiatehokkuus paranee, jäteveden sisältämän energian osuus lämpötaseesta tulee olemaan yli 50 %. Wasenco Oy:n Ecowec-tuote on siälle asennettava lämmöntalteenottolaitteisto (kuva 16). Senera Oy:n tuote on puolestaan suunniteltu maahan asennettavaksi ja on toteutusperiaatteeltaan Grönholmin työssä kuvan 9 mukainen TwinTube-järjestelmä (21), joka on myös kuvassa 17.



Kuva 15. Jäteveden lämmöntalteenottolaitteisto liitettynä maalämpöjärjestelmään



Kuva 16. Wasenco Oy:n Ecowec-tuote (19).



Kuva 17. TwinTube-järjestelmä (21).

5 Lämpimän käyttöveden vaiheittainen lämmitysjärjestelmä

Luvussa 4 esitetyt lämpöpumpun hyötysuhteen parantamiseen tähtäävät toimet vaativat perinteisen maalämpöjärjestelmän lisäksi laitteistoinvestointeja, joiden tuoma kustannuslisä tulee tarkastella tapauskohtaisesti järjestelmiä suunniteltaessa.

Senera Oy on kehittänyt 2014 loppuvuodesta alkaen omaa lämpimän käyttöveden lämmitykseen tarkoitettua lämmitysjärjestelmää parantaakseen maalämpöjärjestelmän vuosihyötysuhdetta (SCOP). Lähtökohtana suunnittelulle oli että kustannukset eivät saa nousta perinteiseen maalämpöjärjestelmään verrattuna, jolloin järjestelmälle saadaan lyhyempi takaisinmaksuaika kuin perinteisellä laitteistolla. Myöskään tilan tarve ei saanut

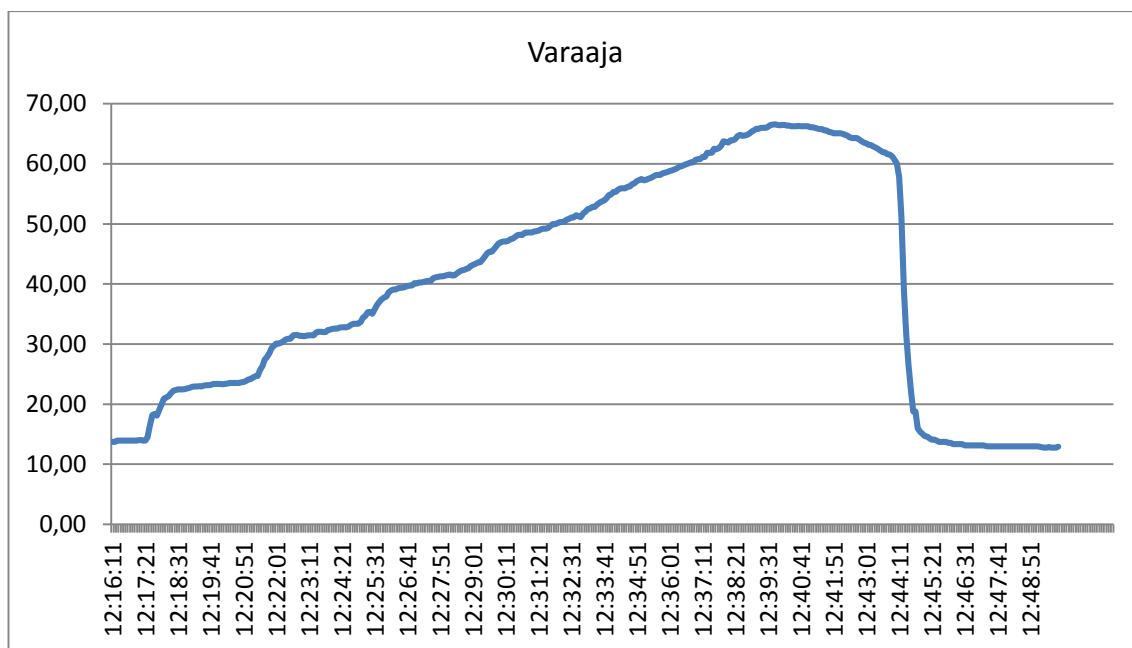
juurikaan kasvaa ja laitteiden haalattavuus nousi yhdeksi suunnittelukriteeriksi. Ajatuksena oli suunnitella järjestelmä, jolla pyritään saaman lämpöenergian tuotannon keskimääräinen lauhtumispaine mahdollisimman alas. Mitä alempi lauhtumispaine on, sitä parempi hyötysuhde (COP).

Kun tarkastellaan liitteessä 1 olevaa kylmäaineen R410A lauhtumispaineen ja lauhtumislämpötilan välistä suhdetta, havaitaan, että jotta lauhtumispainetta saadaan laskettua, täytyy laskea myös lauhtumislämpötilaa. Lämpöpumput on optimoitu toimimaan sekä höyrystimen että lauhduttimen osalta tietyn lämmönsiirtimen yli olevan lämpötilaeron mukaan. Höyrystimen osalta tulevan ja palaavan lämmönkeruuliuoksen lämpötilaero on tyypillisesti 3–5 K, kun taas lauhduttimella tulevan ja lähtevän veden lämpötilaero on tyypillisesti 7 K.

Tästä seurasi ajatus vaiheittaisesta lämpimän käyttöveden lämmittämisestä, jossa veden lämmitys aloitetaan aina vesijohtoveden lämpötilasta ja lämmitetään sitä lauhduttimen yli olevan lämpötilaeron verran kerrallaan. Mikäli oletetaan, että vesijohtoveden lämpötila on +8 °C, lämmitetään lämminkäyttövesi ensin +15 °C:seen ja sen jälkeen +22 °C, +29 °C, +36 °C, +41 °C, +48 °C, +55 °C ja viimeiseksi +62 °C:seen. Lämmittämisen jälkeen varaaja päästetään viilenemään lähes vesijohtoveden lämpötilaan uudelleen, jonka jälkeen lämmitysprosessi aloitetaan alusta. Tällä tavalla saadaan keskimääräinen lauhtumislämpötila laskettua +38,5 °C:seen. Tällöin myös keskimääräinen lauhtumispaine laskee 23,1 bar:iin. Mikäli lämpimän käyttöveden lämmittämiseen tarvittava osuus kiinteistön kokonaislämmitysenergiasta on 25 %, saadaan keskimääräiseksi lauhtumispaineeksi 26,1 bar.

Tuotetta lähdettiin suunnittelemaan ja rakentamaan markkinoilta saatavilla laitteilla. Laitteita oli kuitenkin jatkokehittävä yhdessä valitun laitevalmistajan kanssa, suunnittelukriteerien täyttämiseksi. Vaiheittainen lämpimän käyttöveden lämmitysjärjestelmä sisältää lämpimän käyttöveden lämmittämiseen omat varaajat sekä lämpimän käyttöveden kierron lämmittämiseen omat varaajat. Lämpimän käyttöveden kierto lämmitetään lämpöpumpun kuumakaasulämmönvaihtimelta saatavalla lämpöenergialla. Lämpimän käyttöveden kierron lämpöhäviöiden lämmittäminen kuumakaasulämmönvaihtimelta saatavalla lämpöenergialla mahdollistaa edellä kuvatun vaiheittaisen lämmitysprosessin.

Jotta käyttöveden lämmitys pystytään suorittamaan edellä kuvan prosessin mukaisesti, varaajassa olevat erilämpöiset vedet eivät saa sekoittua. Tätä varten suunniteltiin erikoisvaraajat. Kuvassa Kuva 18 on esitetty suunnitellun varaajan testilatauksen sekä puurun lämpötila ajan funktiona. Testauksella pystyttiin siis osoittamaan, että varaajassa olevan veden lämpötilakerrostuma on hyvä ja sekä varaajaa lämmitettäessä eli ladattaessa sekä käytettäessä eli purettaessa eri lämpötiloissa olevien vesien raja on mahdollisimman tarkka varsinkin lämmityksen alkuvaiheessa sekä varaajaa purettaessa.



Kuva 18. Kehitetyn varaajan testiajo, anturi varaajan yläosassa vesitilassa.

Koska varaajan lämmittäminen aloitetaan aina vesijohtoveden lämpötilasta, täytyy olla kaksi erillistä varaajaa. Varaajista toinen on aina lämmin ja valmis käytettäväksi ja toista lämmitetään. Lämpimän käyttöveden kierron häviöiden lämmittämistä varten järjestelmään lisättiin omat varaajat, joiden lämmittäminen hoidetaan kuumakaasuvaihtimelta saatavalla lämpöenergialla.

Suunniteltu laitteisto on saatu tuotteistettua ja järjestelmän kokonaiskustannuksen eivät nousseet mainittavasti verrattuna perinteiseen maalämpöjärjestelmään. Myös tilan järjestelmän tilan tarve saatiin pidettyä jopa pienempänä kuin perinteisillä laitteilla toteutettuna.

Vaiheittaisen lämpimän käyttöveden lämmitysjärjestelmän kytkentäkaaviota ja toimintakuvausta ei voida tässä työssä julkaista liikesalaisuuden takia.

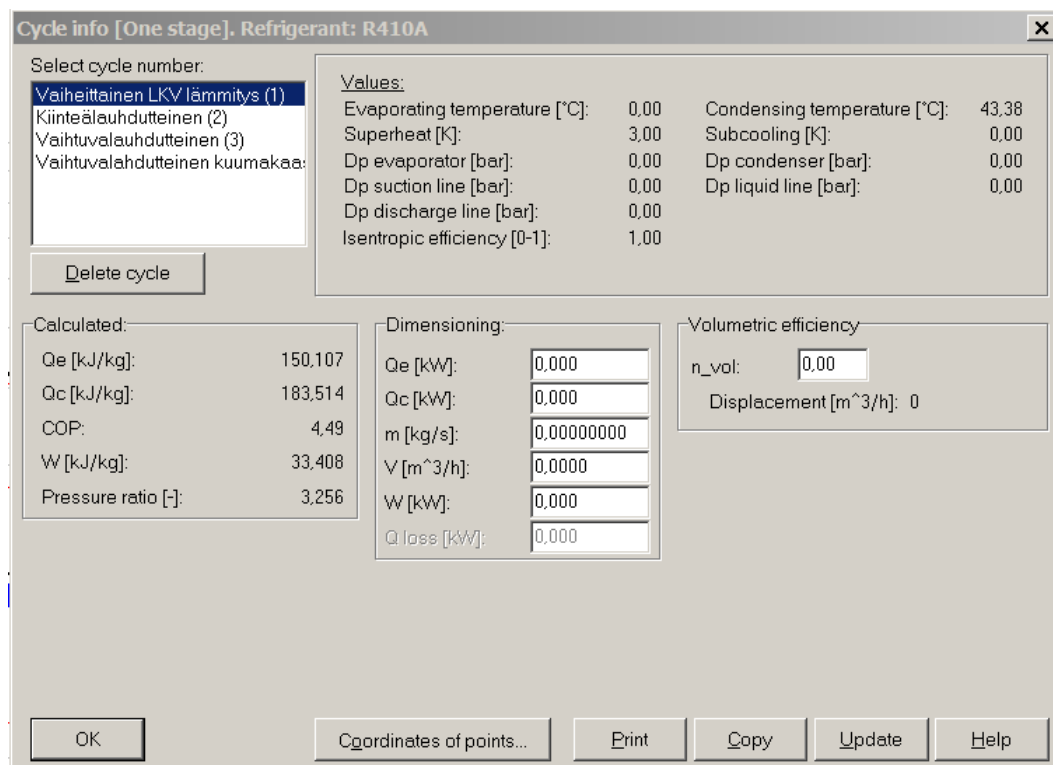
6 Tulosten analysointi

Sillä olettamuksella, että käyttöveden lämmitysjärjestelmän kokonaisenergian kulutus on 25 % asuinkiinteistön kokonaisenergian kulutuksesta, saadaan taulukon 2 mukaiset arvot.

Taulukko 2. Edellä kuvattujen järjestelmien keskimääräiset lauhtumispaaineet, kun käyttöveden osuus on 25 % kokonaisenergiankulutuksesta.

Järjestelmä	Keskimääräinen lauhtumispaaine, bar		
	Lämmitys	LKV	Yht.
Vaihtuvalauhdutteinen	27,041	37,908	29,758
Vaihtuvalauhdutteinen, kuumakaasuvaihdin	27,041	33,957	28,770
Kiinteälauhdutteinen	30,333	30,333	30,333
Vaiheittainen	27,041	23,123	26,062

Kuvissa 19–22 on esitetty taulukon 2 mukaiset arvot CoolPack-ohjelmassa (22). Kuvista voidaan päätellä eri järjestelmien laskennalliset ideaalisten lämpöpumppujen hyötysuhteet, COP-arvot, keskimääräisillä lauhtumispaaineilla, kun isentrooppinen hyötysuhde on 1.



Kuva 19. Ruutukaappaus CoolPack-ohjelmasta vaiheittaisen lämpimän käyttöveden lämmitysjärjestelmästä.

Cycle info [One stage]. Refrigerant: R410A

Select cycle number:

- Vaiheittainen LKV lämmitys (1)
- Kiinteälauhdutteinen (2)
- Vaihtuvalauhdutteinen (3)**
- Vaihtuvalauhdutteinen kuumakaas...

Delete cycle

Values:

Evaporating temperature [°C]:	0,00	Condensing temperature [°C]:	48,75
Superheat [K]:	3,00	Subcooling [K]:	0,00
Dp evaporator [bar]:	0,00	Dp condenser [bar]:	0,00
Dp suction line [bar]:	0,00	Dp liquid line [bar]:	0,00
Dp discharge line [bar]:	0,00		
Isentropic efficiency [0-1]:	1,00		

Calculated:

Qe [kJ/kg]:	138,061
Qc [kJ/kg]:	175,114
COP:	3,73
W [kJ/kg]:	37,053
Pressure ratio [-]:	3,691

Dimensioning:

Qe [kW]:	0,000
Qc [kW]:	0,000
m [kg/s]:	0,00000000
V [m ³ /h]:	0,0000
W [kW]:	0,000
Q loss [kW]:	0,000

Volumetric efficiency

n_vol: 0,00

Displacement [m³/h]: 0

OK Coordinates of points... Print Copy Update Help

Kuva 20. Ruutukaappaus CoolPack-ohjelmasta vaihtuva lauhdutteisesta järjestelmästä.

Cycle info [One stage]. Refrigerant: R410A

Select cycle number:

- Vaiheittainen LKV lämmitys (1)
- Kiinteälauhdutteinen (2)
- Vaihtuvalauhdutteinen (3)
- Vaihtuvalauhdutteinen kuumakaas...**

Delete cycle

Values:

Evaporating temperature [°C]:	0,00	Condensing temperature [°C]:	47,50
Superheat [K]:	3,00	Subcooling [K]:	0,00
Dp evaporator [bar]:	0,00	Dp condenser [bar]:	0,00
Dp suction line [bar]:	0,00	Dp liquid line [bar]:	0,00
Dp discharge line [bar]:	0,00		
Isentropic efficiency [0-1]:	1,00		

Calculated:

Qe [kJ/kg]:	140,951
Qc [kJ/kg]:	177,164
COP:	3,89
W [kJ/kg]:	36,213
Pressure ratio [-]:	3,586

Dimensioning:

Qe [kW]:	0,000
Qc [kW]:	0,000
m [kg/s]:	0,00000000
V [m ³ /h]:	0,0000
W [kW]:	0,000
Q loss [kW]:	0,000

Volumetric efficiency

n_vol: 0,00

Displacement [m³/h]: 0

OK Coordinates of points... Print Copy Update Help

Kuva 21. Ruutukaappaus CoolPack-ohjelmasta vaihtuva lauhdutteisesta järjestelmästä, jossa on kuuma-kaasulämmönvaihdin.

Cycle info [One stage], Refrigerant: R410A

Select cycle number:

- Vaiheittainen LKV lämmitys (1)
- Kiinteälauhdutteinen (2)**
- Vaihtuvalauhdutteinen (3)
- Vaihtuvalauhdutteinen kuumakaa:

Delete cycle

Values:

Evaporating temperature [°C]:	0,00	Condensing temperature [°C]:	50,00
Superheat [K]:	3,00	Subcooling [K]:	0,00
Dp evaporator [bar]:	0,00	Dp condenser [bar]:	0,00
Dp suction line [bar]:	0,00	Dp liquid line [bar]:	0,00
Dp discharge line [bar]:	0,00		
Isentropic efficiency [0-1]:	1,00		

Calculated:

Qe [kJ/kg]:	135,112
Qc [kJ/kg]:	173,000
COP:	3,57
W [kJ/kg]:	37,889
Pressure ratio [-]:	3,798

Dimensioning:

Qe [kW]:	0,000
Qc [kW]:	0,000
m [kg/s]:	0,00000000
V [m ³ /h]:	0,0000
W [kW]:	0,000
Q loss [kW]:	0,000

Volumetric efficiency

n_vol: 0,00

Displacement [m³/h]: 0

OK Coordinates of points... Print Copy Update Help

Kuva 22. Ruutukaappaus CoolPack-ohjelmasta kiinteälauhdutteisesta järjestelmästä.

Tarkastelun perusteella voidaan todeta, että Senera Oy:n kehittämä järjestelmä tuottaa ideaalisella kompressorilla vuosihyötysuhteen SCOP 4,49, joka on selvästi parempi kuin tässä työssä esitettyjen muiden järjestelmien. Mikäli käyttöveden lämmitysjärjestelmän kokonaisenergian kulutus on suurempi kuin edellä mainittu 25 %, koko lämmitysjärjestelmän vuosihyötysuhde nousee, koska lämpimän käyttöveden lämmityksen SCOP on pienempi kuin kiinteistön lämmityksen SCOP. Muissa esitetyissä järjestelmissä SCOP laskee, mikäli käyttöveden lämmitysjärjestelmän kuluttama energia on suurempi kuin 25 % kokonaisenergian kulutuksesta, kuten taulukoista 3 ja 4 voidaan havaita. Jatkotutkimuksissa ja laskelmissa tulee ottaa huomioon todellinen scroll-kompressorin isentrooppisen hyötysuhteen muuttuminen höyrystymis- ja lauhtumispaheen painesuhteen muuttuessa. Tämä saattaa muuttaa laskennallisista tuloksista tehtyjä johtopäätöksiä.

Taulukko 3. Edellä kuvattujen järjestelmien keskimääräiset lauhtumispaineet, kun käyttöveden osuus on 30 % kokonaisenergiankulutuksesta.

Järjestelmä	Keskimääräinen lauhtumispaine, bar		
	Lämmitys	LKV	Yht.
Vaihtuvalauhdutteinen	27,041	37,908	30,301
Vaihtuvalauhdutteinen, kuumakaasuvaihdin	27,041	33,957	29,116
Kiinteälauhdutteinen	30,333	30,333	30,333
Vaiheittainen	27,041	23,123	25,866

Taulukko 4. Edellä kuvattujen järjestelmien keskimääräiset lauhtumispaineet, kun käyttöveden osuus on 35 % kokonaisenergiankulutuksesta.

Järjestelmä	Keskimääräinen lauhtumispaine, bar		
	Lämmitys	LKV	Yht.
Vaihtuvalauhdutteinen	27,041	37,908	30,844
Vaihtuvalauhdutteinen, kuumakaasuvaihdin	27,041	33,957	29,462
Kiinteälauhdutteinen	30,333	30,333	30,333
Vaiheittainen	27,041	23,123	25,670

7 Jatkokehittäminen

Ensimmäiset kehitystyön mukaiset järjestelmät ovat asennusvaiheessa tämän työn kirjoittamisen aikaan. Järjestelmiä tullaan asentamaan vuoden 2016 aikana arviolta 30 kappaletta Etelä-Suomen alueelle. Järjestelmiä tullaan mittaroimaan tuotetun energian ja kulutetun energian osalta sekä seuraamaan todellisen vuosihyötysuhteen kehittymistä. Jatkokehittämisen kannalta on hyvä, että kehitettyjä järjestelmiä asennetaan sekä olemassa oleviin keskikokoisiin ja isoihin kerrostalokiinteistöihin että uudiskohteisiin.

Järjestelmän laitteiston, varaajien ja lämpöpumpun, tuotteistaminen teolliseen tuotantoon sopivaksi on loppusuoralla.

Seuraavana tutkittavana asiana on käyttövesi-intensiivisten kiinteistöjen jäteveden lämmöntalteenotto ja sen liittäminen vaiheittaiseen käyttöveden lämmitysjärjestelmään sekä jäteveden lämmöntalteenoton vaikutus vuosihyötysuhteeseen. Jäteveden talteenottolaitteistolla varustettuja järjestelmiä on tulossa vuoden 2016 aikana asennettavaksi Etelä-Suomen alueelle.

8 Yhteenveto

Opinnäytetyön tutkimuskohteena oli Senera Oy:n kehittämä lämpimän käyttöveden lämmitysjärjestelmä, jolla tavoitellaan maalämpöpumppujärjestelmän vuosihyötysuhteen (SCOP) parantamista. Kehitetty lämpimän käyttöveden lämmitysjärjestelmä liitetään maalämpöpumppuun, joka on kehitetty ja optimoitu kyseiselle käyttöveden lämmitysjärjestelmälle.

Työn tarkoituksena oli tehdä laskennallinen tarkastelu maalämpöjärjestelmän vuosihyötysuhteen parantamisen potentiaalista sekä tehdä vastaava tarkastelu markkinoilla yleisesti käytössä olevien maalämpöjärjestelmien vuosihyötysuhteille. Työssä tutkittiin myös minkälaisia maalämpöjärjestelmien hyötysuhteen parantamiseen tähtääviä tutkimuksia maailmalta löytyy. Tutkimukset perustuivat pitkälti aurinkoenergian hyödyntämiseen maalämmön rinnalla.

Työssä laskettiin CoolPack-ohjelmistoa apuna käyttäen idealliset vuosihyötysuhteet järjestelmille, joissa käyttöveden lämmitysjärjestelmän energian kulutus on 25 %, 30 % ja 35 % lämmitysenergian kokonaiskulutuksesta. Jatkotutkimuksissa tulee ottaa huomioon kompressorin isentrooppinen hyötysuhde ja sen vaikutus vuosihyötysuhteeseen. Kun hyörystymis- ja lauhtumispaineen suhde laskee optimista, saattaa isentrooppinen hyötysuhde romahtaa ja tällöin vuosihyötysuhde voi kärsiä paljon. Painesuhteen noustessa optimista isentrooppisen hyötysuhteen muutos ei ole yhtä voimakasta.

Saatujen tulosten perusteella voidaan todeta, että suunnitellulla ja kehitetyllä laitteistolla saavutetaan haluttu tulos. Lämpimän käyttöveden lämmityslaitteisto parantaa lämpöpumppulaitteiston vuosihyötysuhdetta ja vuosihyötysuhde paranee sitä enemmän, mitä suurempi osa kiinteistön lämmitysenergian kokonaiskulutuksesta kuluu lämpimänkäyttöveden lämmitysjärjestelmässä.

Tulokset antavat suuntaviivoja Senera Oy:lle käyttövesi-intensiivisten kiinteistöjen kokonaislämmitysjärjestelmien jatkokehitykselle, johon kuuluu jäteveden lämmöntalteenotto-laitteistot.

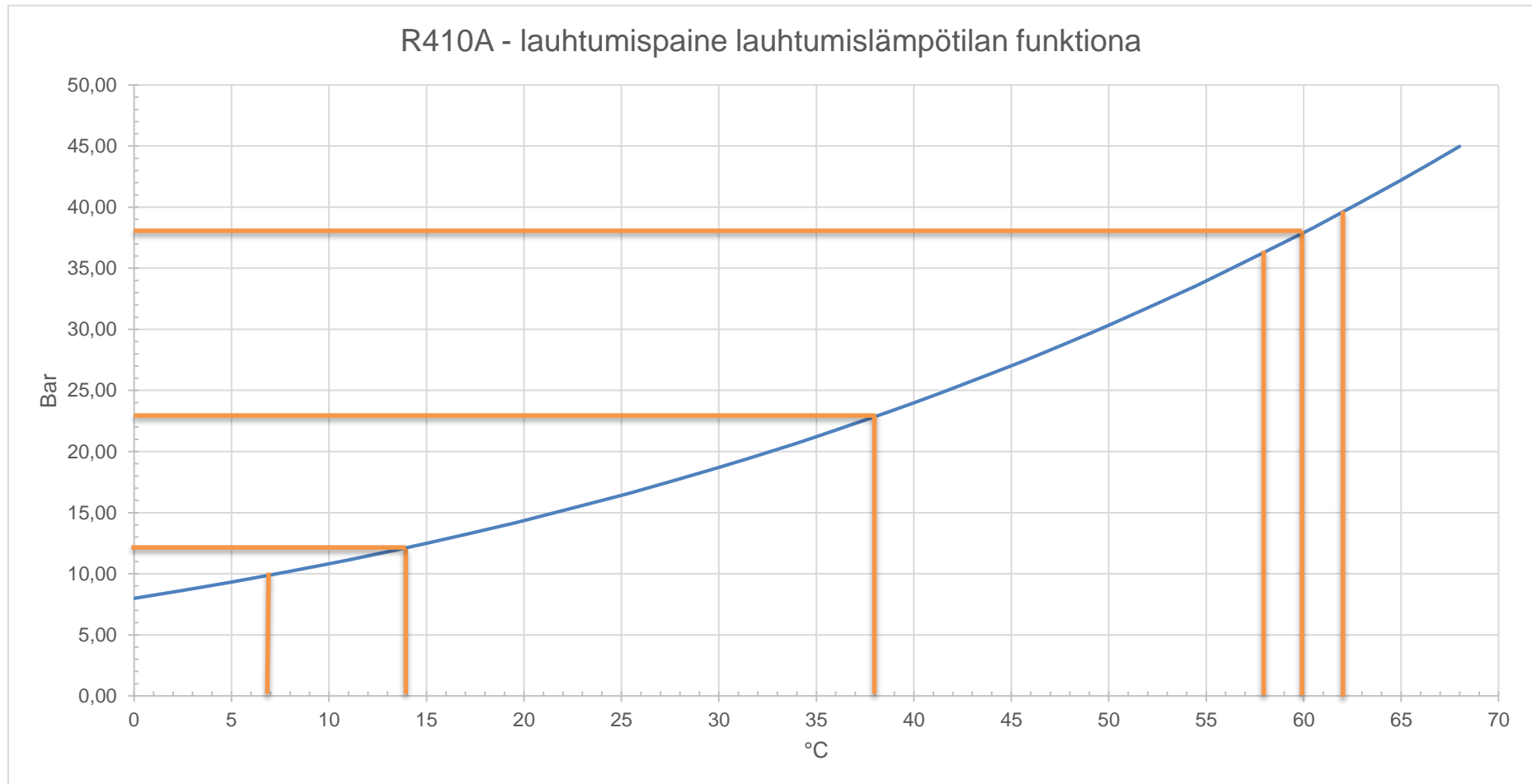
Lähteet

1. Eurooppa 2020 -strategia. 2014. Suomen kansallinen ohjelma kevät 2014. Euroopan Unioni. <http://ec.europa.eu/europe2020/europe-2020-in-your-country/finland/national-reform-programme/index_en.htm> ja <http://ec.europa.eu/europe2020/pdf/csr2014/nrp2014_finland_fi.pdf>. Luettu: 22.2.2015
2. Uusiutuvan energian trendit Suomessa 2014. 2014. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/uusiutuva_energia_suomessa/tilastotietoa> <http://www.motiva.fi/files/9609/Uusiutuvan_energian_trendit_Suomessa_2014.pdf>. Luettu: 22.2.2015.
3. Tilastokannat. 2014. Fossiilinen ja uusiutuva energia. Verkkoaineisto. Tilastokeskus. <http://193.166.171.75/Dialog/varval.asp?ma=070_ehk_tau_107&ti=Fossiilinen+ja+uusiutuva+energia&path=../Database/StatFin/ene/ehk/&lang=3&multilang=fi>. Luettu: 22.2.2015.
4. Findikaattori, Uusiutuvat energialähteet. 2014. Verkkoaineisto. Tilastokeskus ja Valtioneuvoston kanslia. <<http://www.findikaattori.fi/fi/89>>. Luettu: 22.2.2015.
5. Findikaattori, Energian loppukäyttö. 2014. Verkkoaineisto. Tilastokeskus / Energiankulutus <<http://www.findikaattori.fi/fi/26>>. Luettu: 22.2.2015.
6. Honkapuro, Samuli;ym. 2009. Sähkön ja kaukolämmön rooli energiatehokkuudessa ja energian säästössä. Lappeenranta ja Tampere : Energiateollisuus ry.
7. Kalliomäki, Pekka, 2013, D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma - Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta - Ohjeet 2012. Helsinki: Ympäristöministeriö
8. RIL 249-2009, Matalaenergiarakentaminen, asuinrakennukset. 2009. Saarijärvi: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
9. Pakarinen, Sami. 2015. Asuntotuotantokysely 3/2015. Verkkoaineisto. Rakennusteollisuus RT ry. <<https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/suhdanteet-ja->

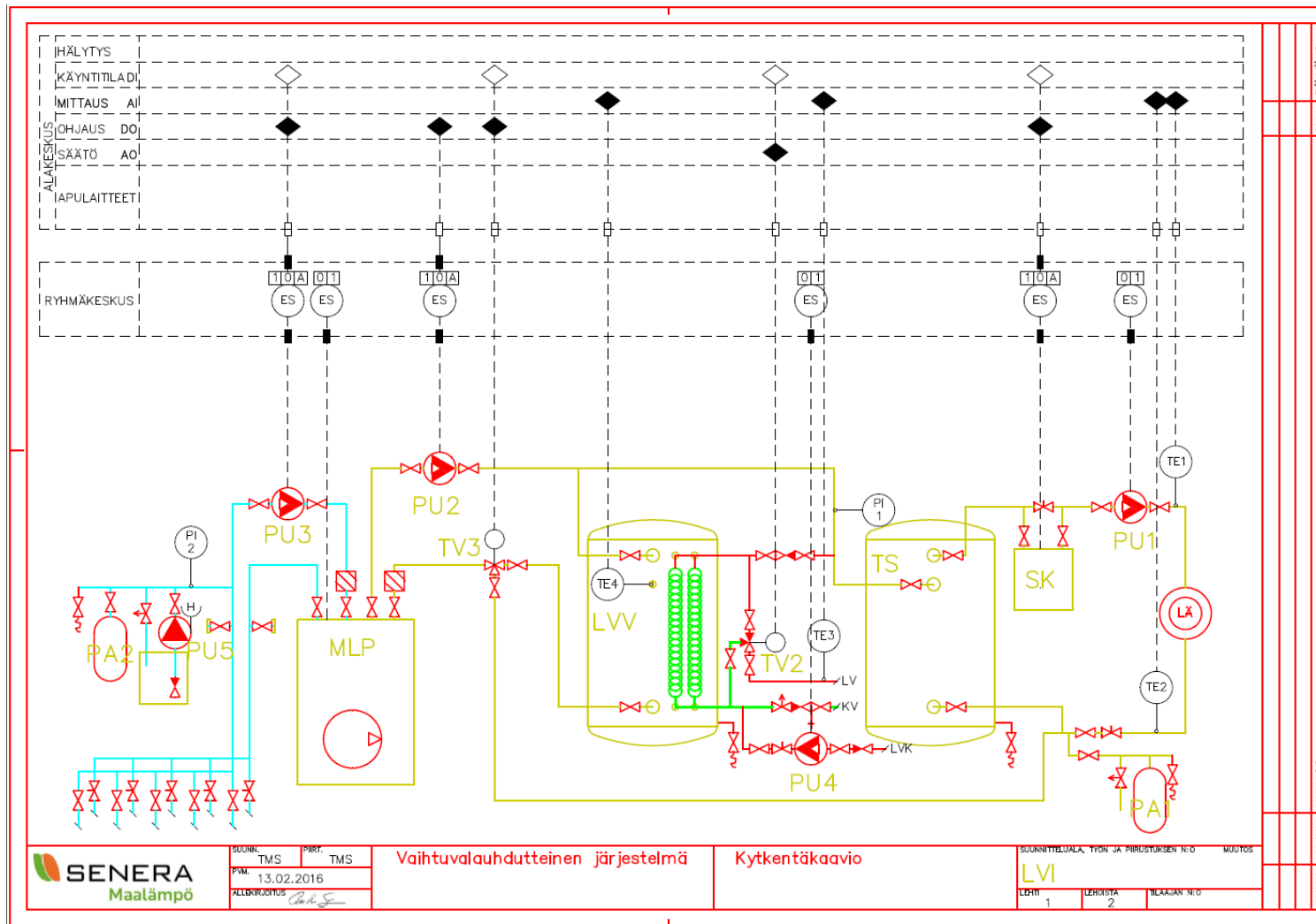
tilastot/suhdannekatsaukset/2015/lokakuu-2015/rakennusteollisuuden_asuntokysely_lokakuu_2015.pdf>. Luettu: 23.1.2016.

10. Kalliomäki, Pekka. 2011. D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma - Rakennusten energiatehokkuus - Määräyksen ja ohjeet 2012. Helsinki: Ympäristöministeriö.
11. Tengvall, Juhani. 2007. D1 Suomen rakentamismääräyskokoelma - Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot - Määräyksen ja ohjeet 2007. Helsinki: Ympäristöministeriö.
12. Talvitiilastot, 2011, Verkkoaineisto, Ilmatieteen laitos, <http://ilmatieteenlaitos.fi/talvitiilastot>. Luettu: 10.4.2016
13. Koti ja asuminen / Mihin energiaa kuluu / Vedenkulutus. 2009. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö ja Motiva Oy. <http://www.motiva.fi/files/5725/Tyoryhmamuisio_Huoneistokohtaisten_vesimittareiden_kaytto_ja_vaikutukset_rakennusten_energiankulutukseen.pdf>. Luettu 25.3.2016.
14. Asunto-osakeyhtiöiden talous. Verkkoaineisto. Suomen virallinen tilasto. <<http://www.stat.fi/til/asyta/kuv.html>>. Luettu: 25.3.2016.
15. Suomen lämpöpumpputilastot. 2016. Verkkoaineisto. Suomen lämpöpumppuyhdistys. <<http://www.sulpu.fi/documents/184029/208772/L%C3%A4mp%C3%B6pumpputilasto%202015%2C%20kuvaajat%20%20%281%29.pdf>>. Luettu: 19.4.2016
16. Zhu, Neng;Jingmei, Wang ja Long, Liu. 2015. Performance evaluation before and after solar seasonal storage coupled wiht ground source heat pump. Energy Conversion and Management. Tianjin 300072: School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Vol. 103, s. 924–933.
17. Sara, Eicher;ym. 2012. Solar assisted heat pump for domestic hotwater production. Energy Procedia 30. Vol. 30, s. 571–579.

18. Yrjölä, Jukka ja Laaksonen, Eetu. 2015. Domestic Hot Water Production with Ground Source Heat Pump in Apartment Buildings. MDPI - Open Access Publishing. Verkkoaineisto. <<http://www.mdpi.com/1996-1073/8/8/8447>>. Luettu: 25.3.2016.
19. Verkkoaineisto. 2014. Wasenco Oy. <wasenco.com>. Luettu: 11.4.2016.
20. Lämmöntalteenottoyksikkö. 2015. Verkkoaineisto. Koja Oy. <<http://www.koja.fi/fi/rakennukset/tuotteet/huippu-ja-savuimurit/hilto-ec-laemmoentalteenottoyksikkoe>>. Luettu: 11.4.2016.
21. Grönholm, Maiju. 2011. Jäteveden lämmöntalteenotto. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu Theseus-tietokanta <<http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2011061712274>>. Luettu: 11.4.2016
22. Cool Pack Version 1.50. 2012. Technical University of Denmark ja IPU & Department of Mechanical Engineering. Kgs. Lyngby, Denmark: s.n.

R410A–kylmäaineen lauhtumisaine lauhtumislämpötilan funktiona

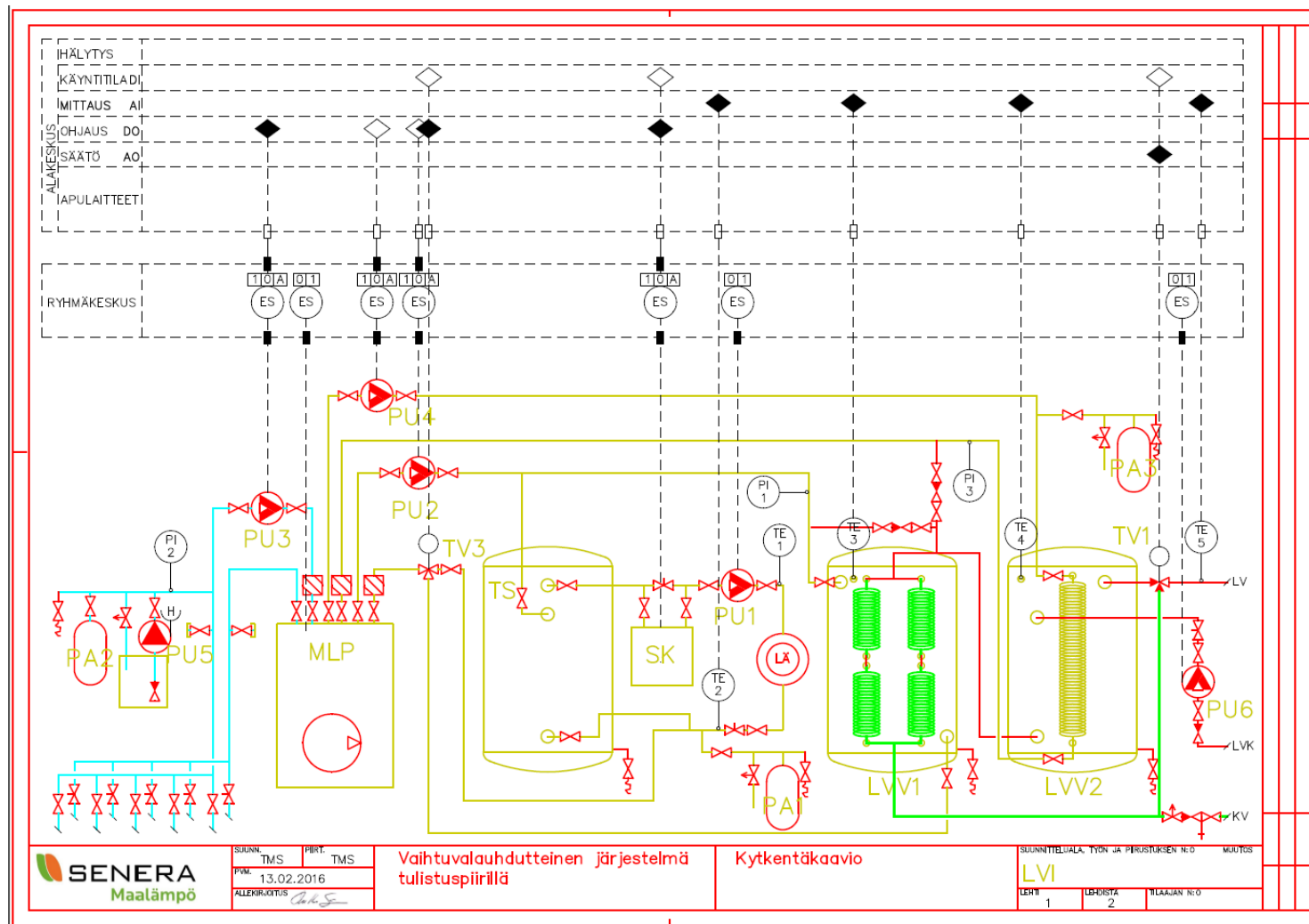
Vaihtuvalauhdutteen yksinkertaistettu kytkentäkaavio



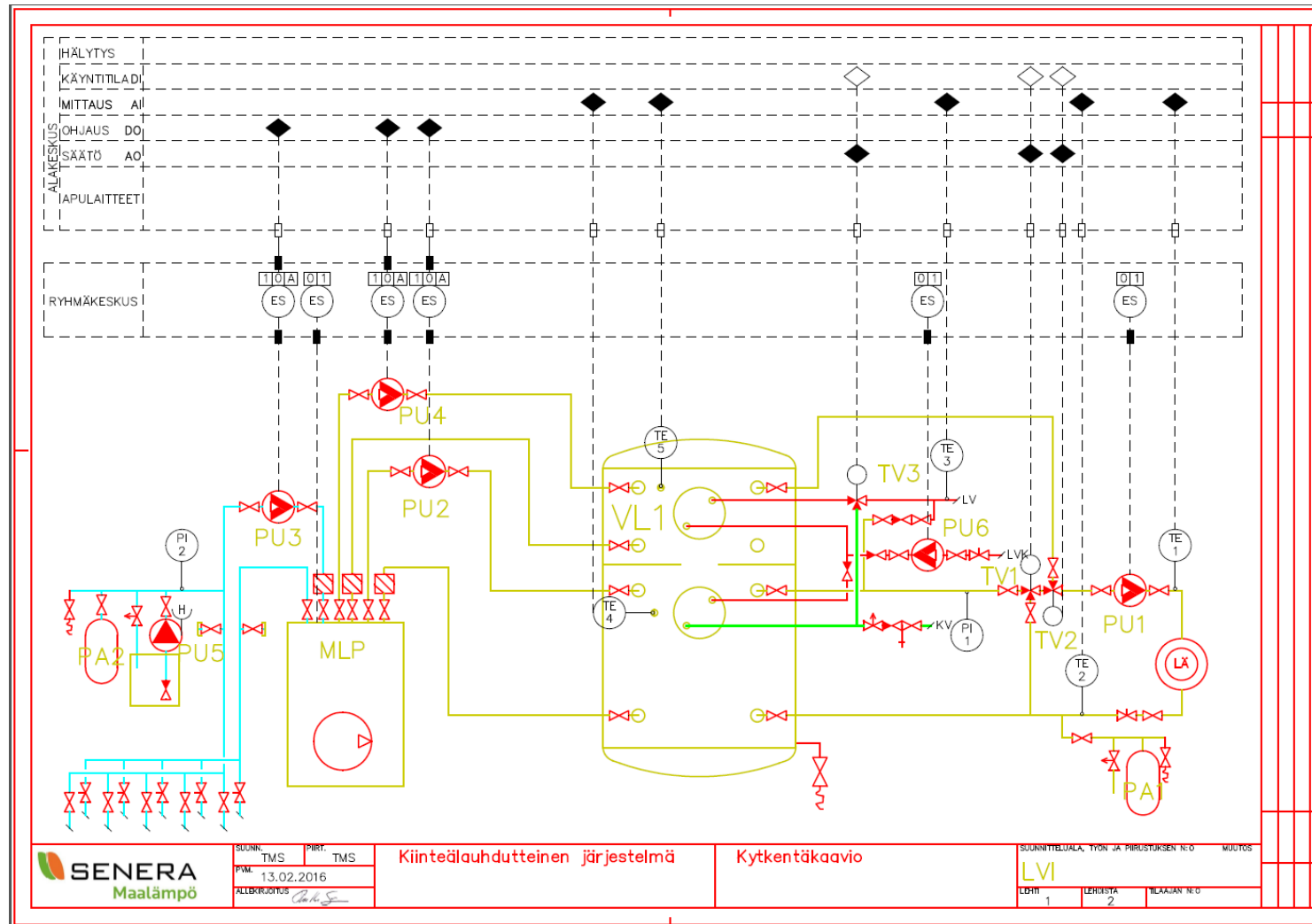
NIMI: PÄIVÄYS

TUNN.: LUKUM.: MUUTOS

Kuumakaasulämmönvaihtimella varustetun vaihtuvalauhdutteisen järjestelmän yksinkertaistettu kytkentäkaavio



Kiinteälauhdutteen järjestelmän yksinkertaistettu kytkentäkaavio



Esitetyjen järjestelmien log p, h -piirroksset

