



Maalämpöjärjestelmän hyötysuhteen parantaminen

Max Ek

OPINNÄYTE	
Arcada	
Koulutusohjelma:	Hajautetut Energiajärjestelmät
Tunnistenumero:	15588
Tekijä:	Max Ek
Työn nimi:	Maalämpöjärjestelmän hyötysuhteen parantaminen
Työn ohjaaja (Arcada):	Jarmo Lipsanen
Toimeksiantaja:	
<p>Tiivistelmä:</p> <p>Euroopan Unioni sekä muut maailmanlaajuiset organisaatiot vaativat entistä energiatehokkaampia lämmitysmuotoja. Suomessa näihin on mukauduttava ja yksi tehokas lämmitysmuoto on maalämpö. Siihen on kannattavaa liittää erilaisia hukkalämmönlähteitä.</p> <p>Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan keinoja joilla voidaan parantaa maalämpöjärjestelmän hyötysuhdetta jotta energiankulutus vähenee ja tavoitearvot pystytään saavuttamaan.</p> <p>Työssä on keskitytty uusiin innovaatioihin sekä tekniikkaan jota ei Suomessa aikaisemmin ole laajemmin käytetty.</p> <p>Työn tarkoituksena on antaa lukijalle kuva eri menetelmistä ja niiden hyödyistä maalämpöjärjestelmän hyötysuhteen parantamisessa. Opinnäytetyössä saavutaan siihen tulokseen että maalämpöjärjestelmän vuotuista hyötysuhdetta on kannattavaa parantaa kyseisillä tekniikoilla sillä ne ovat usein helposti toteutettavissa ja tarjoavat merkittäviä säästöjä.</p>	
Avainsanat:	Maalämpö, kylmäaine, lämmöntalteenotto, hyötysuhde, energia
Sivumäärä:	30+4
Kieli:	Suomi
Hyväksymispäivämäärä:	18.5.2017

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Distribuerade Energisystem
Identifikationsnummer:	15588
Författare:	Max Ek
Arbetets namn:	Maalämpöjärjestelmän hyötysuhteen parantaminen
Handledare (Arcada):	Jarmo Lipsanen
Uppdragsgivare:	
<p>Sammandrag:</p> <p>Europeiska unionen och andra globala organisationer kräver mer energieffektiva former av uppvärmning. I Finland måste vi anpassa oss och ett av de mest effektiva värmesystem är jordvärmepumpar. Det är lönsamt att ansluta en mängd olika värmekällor till värmepumpsystemet.</p> <p>I arbetet tittar man på sätt att förbättra det geotermiska systemets effektivitet så att energikonsumtionen minskas och målvärdena kan nås.</p> <p>Avhandlingen är inriktad på nya innovationer och teknik som tidigare inte har använts i Finland.</p> <p>Först behandlar jag allmänt vad en värmepump är och hur den fungerar. Det finns flera olika typer av värmepumpar t.ex. Luftvärmepump, jordvärmepump samt frånluftsvärmepump. I arbetet ligger fokus på jordvärmepumpen som har snabbt ökat sin popularitet bland konsumenter.</p> <p>Jordvärmepumpen fungerar så att man pumpar en glykol-vatten blandning igenom en samlarslinga som är placerad antingen lodrätt ner i ett hål som borrar eller vågrätt i marken grävt på ca 1.5m djup, samlarslingan kan också placeras i ett vattendrag.</p>	

Sedan går glykol-vatten blandningen genom en värmeväxlare i själva jordvärmepumpen var köldmediet tar åt sig värmeenergin. Köldmediet går sedan igenom en kompressor som ökar trycket samt temperaturen på mediet, varefter det leds till en annan värmeväxlare som avger värmen till bruksvattnet samt uppvärmnings nätverket.

I arbetet tas först upp metoder och teknik som man kan använda inom själva pumpenheten. Dessa är köldmediet samt inverter styrd kompressor.

Köldmediet har en stor inverkan på jordvärmepumpens effektivitet p.g.a. att det är mediet vilket överför värmen från kollektor slingan till uppvärmnings nätverket.

I arbetet har jag tagit upp fakta om nuvarande köldmedium vilka man försöker byta ut med mer naturvänliga alternativ utan att minska på systemets effektivitet.

De mest framstående kandidaterna för utbytet är för tillfället R32 samt naturliga köldmedium som ammoniak och koldioxid.

Den inverterstyrda kompressorn har på sista årtiondet blivit mycket populär för dess kostnad har gått ner och dess inverkan på systemets effektivitet är märkbar jämfört med tidigare använda On/Off-kompressorer.

De andra sätten med vilka man kan öka jordvärmepumpens verkningsgrad är tilläggsystem som installeras att fungera vid sidan om jordvärmepumpen. Dessa system är stegvis uppvärmning av bruksvatten, värmeåtervinning från avloppsvatten samt frånlufts värmeåtervinning.

Tekniken bakom systemet för stegvis uppvärmning av bruksvattnet är en ny innovation av företaget Senera Oy. De har utvecklat ett system där bruksvattnet värms stegvis i speciella värmebehållare och med hjälp av denna innovation har de lyckats minska på el konsumtionen för bruksvattnet uppvärms med upp till 30 %. Det nya systemet kräver inte större yta för jordvärmesystemet utan kan ibland vara till och med mera kompakt. Investerings kostnaden är inte heller betydligt större jämfört med traditionella system.

Värmeåtervinning från avloppsvattnet i byggnader är ett bra sätt att höja årsverkningsgraden då det kopplas till jordvärmesystemet. Värmeåtervinning från avloppsvatten har inte använts speciellt mycket i Finland p.g.a. att lösningarna ofta varit svåra att installera och verkningsgraden för dem har varit låg. Systemet jag har valt att ta upp är i användning av ett företag jag arbetat på, och det installeras ute på byggnadens gård var det grävs ner i marken och kopplas till huvudavloppet. Genom systemet pumpas sedan samma glykol-vatten blandning som cirkulerar i kollektorslingan. Systemet kopplas sedan in i samma omlopp med kollektor slingan.

Frånlufts värmeåtervinningen är en simpel och effektiv lösning för att öka jordvärmesystemets verkningsgrad. Det går ut på att man installerar en värmeväxlare på byggnadens tak och därmed ersätter takfläkten. Genom värmeväxlaren cirkulerar en glykol-vatten blandning som sedan kopplas in till jordvärmesystemets samlar krets.

Syftet är att ge läsaren en uppfattning om de olika metoder och deras fördelar i att förbättra effektiviteten i jordvärme systemet. Ur arbetet kommer det fram att det geotermiska värmesystemets årsverkningsgrad är värt att förbättra med dessa tekniker, eftersom de ofta är enkla att genomföra och erbjuder betydande besparingar.

Nyckelord:	Jordvärme, energi, kylmedel, verkningsgrad, värmeåtervinning
Sidantal:	30+4
Språk:	Finska
Datum för godkännande:	18.5.2017

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Distributed energy systems
Identification number:	15588
Author:	Max Ek
Title:	Maalämpöjärjestelmän hyötysuhteen parantaminen
Supervisor (Arcada):	Jarmo Lipsanen
Commissioned by:	
<p>Abstract:</p> <p>The European Union and other global organizations require more energy-efficient forms of heating. In Finland, we have to adapt and one of the most efficient heating modes is geothermal heat pumps. It is profitable to connect a variety of waste heat sources into the heat pump system.</p> <p>This thesis looks at ways to improve the efficiency of the geothermal system so that energy consumption is reduced and the target values can be reached.</p> <p>The thesis is focused on new innovations and technology that has not been widely used in Finland in the past.</p> <p>The purpose of the thesis is to give the reader a picture of the different methods and their benefits in improving the efficiency of the geothermal heat pump system. The thesis concludes that it is profitable to improve the annual efficiency of the geothermal system with these technologies, as they are often easy to implement and offer significant savings.</p>	
Keywords:	Geothermal heat pump, energy, refrigerant, heat recovery
Number of pages:	30+4
Language:	Finnish
Date of acceptance:	18.5.2017

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	9
2 MIKÄ LÄMPÖPUMPPU ON	10
2.1 Miten maalämpöpumppu toimii	10
2.2 Hyötysuhteen parantaminen	11
3 KYLMÄAINEEN VAIKUTUS MAALÄMPÖPUMPUN HYÖTYSUHTEESEEN	12
3.1 Kylmäaineiden jaottelu	13
3.2 Haasteita eri kylmäaineiden käytössä.....	14
3.3 Johtopäätöksiä	15
4 INVERTTERILLÄ OHJATTU KOMPRESSORI	16
5 VAIHEITTAINEN KÄYTTÖVEDEN LÄMMITYS	17
5.1 Johtopäätöksiä	21
6 JÄTEVEDEN LÄMMÖNTALTEENOTTO	22
6.1 Esimerkkilaitteisto	25
6.2 Johtopäätöksiä	26
7 POISTOILMAN LÄMMÖNTALTEENOTTO	27
7.1 Poistoilman lämmöntalteenoton toiminta	27
7.2 Johtopäätöksiä	29
8 YHTEENVETO	30
LÄHTEET	31
LIITTEET	34
TAULUKOT	36

Kuvat

Kuva 1: Lämpöpumpun periaate, docplayer.fi/683107-Lampopumpun-toiminta-toiminnan-periaate.html

Kuva 2: Vaihtosuunnatun sekä ON/OFF kompressorin vertaus, achahome.com

Kuva 3: Ruutukaappaus CoolPack-ohjelmasta vaiheittaisen lämpimän käyttöveden lämmitysjärjestelmästä, Sivula, Timo-Mikael. Maalämpöjärjestelmän hyötysuhteen parantamisen tarkastelu lämpimän käyttöveden lämmityksessä

Kuva 4: Ruutukaappaus CoolPack-ohjelmasta vaihtuva lauhdutteisesta järjestelmästä, Sivula, Timo-Mikael. Maalämpöjärjestelmän hyötysuhteen parantamisen tarkastelu lämpimän käyttöveden lämmityksessä

Kuva 5: Lämpötase kerrostalossa, motiva.fi

Kuva 6: Jäteveden lämmöntalteenottolaitteisto liitettynä maalämpöjärjestelmään, Sivula, Timo-Mikael. Maalämpöjärjestelmän hyötysuhteen parantamisen tarkastelu lämpimän käyttöveden lämmityksessä

Kuva 7: TwinTube-järjestelmä jossa kylmävesi/lämmönkeruuneste kiertää viemäriputken sekä teräspuutken välitilassa, Grönholm, Maiju. Insinöörityö

Kuva 8: Maalämpöjärjestelmään on liitetty poistoilman lämmöntalteenottolaitteisto, Sivula, Timo-Mikael. Maalämpöjärjestelmän hyötysuhteen parantamisen tarkastelu lämpimän käyttöveden lämmityksessä

Kuva 9: Gebwell Pilpit lämmöntalteenottolaite, gebwell.fi

1 JOHDANTO

Euroopan Unionin laatima Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi (Energy Performance of Buildings Directive), edellyttää että kaikkien julkisten rakennusten on oltava 31.12.2018 jälkeen lähes nollaenergiarakennuksia. Vuodesta 2020 eteenpäin määräys koskee kaikkia rakennuksia eikä vain julkisia.

Uusiutuvan energian käytön edistämisdirektiivi (Renewable Energy Sources Directive) mukaan jäsenvaltioiden pitää rakennusmääräyksissään tai muulla tavalla vastaavin vaikutuksin edistää uusiutuvan energian käyttöä uusissa sekä peruskorjattavissa rakennuksissa. Direktiivi astui voimaan 31.12.2014.

Jotta nämä tavoitteet voidaan saavuttaa pitää rakennusten energiankäyttöä tehostaa huomattavasti. Siksi valitsin opinnäytetyöni aiheeksi maalämpöpumpun hyötysuhteen parantamisen. Maalämpö lasketaan uusiutuvaksi energiaksi, joten se on hyvä ehdokas toteuttamaan EU:n asettamat vaatimukset.

Työssäni tarkastelen eri mahdollisuuksia parantaa maalämpöjärjestelmän hyötysuhdetta joko järjestelmän sisäisillä muutoksilla, esim. kylmäaineen vaihto tai vaiheittaisen käyttöveden lämmityksen asentamisella, sekä sen ulkoisilla tekijöillä, esim. poistoilman lämmöntalteenotto ja jäteveden lämmöntalteenotto.

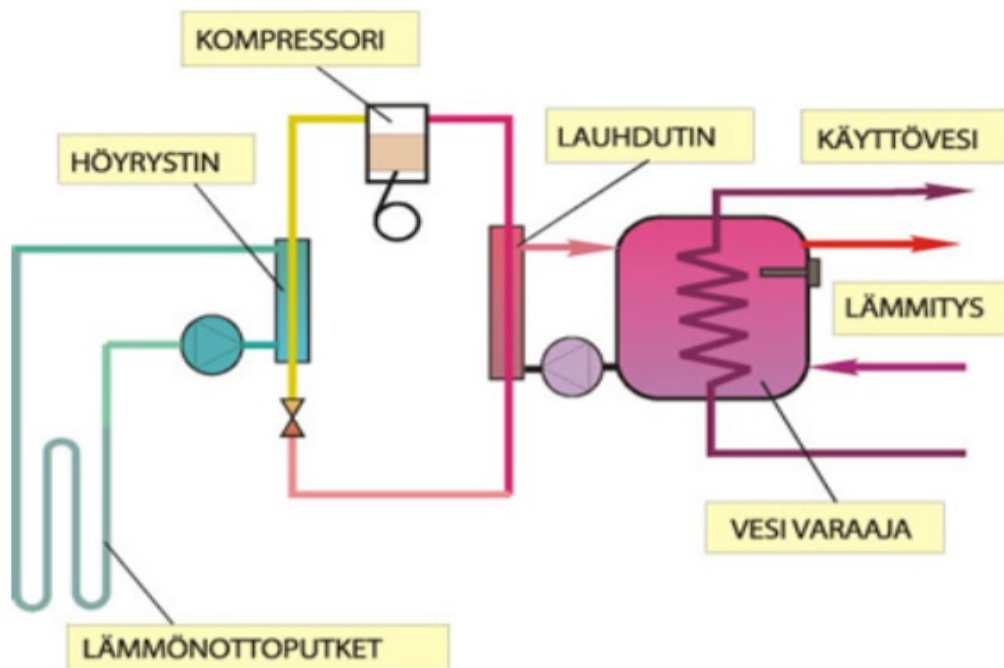
2 MIKÄ LÄMPÖPUMPPU ON

Lämpöpumppu on laite, joka pystyy siirtämään lämpöenergiaa kylmästä tilasta lämpimään mekaanisella kompressorin työllä käyttäen kylmäainetta sekä lämmönvaihtimia. Lämpöpumppuja on erilaisia, esim. maalämpöpumppu, ulkoilmalämpöpumppu ja poistoilmalämpöpumppu. Tässä työssä kuitenkin keskitytään Suomessa suureen suosioon tulleen tyyppiin eli maalämpöpumppuun.

Uusien rakennusmääräysten ansiosta erilaisia toteutustapoja on tullut käyttöön. ”Aiemmin yleisin lämmönoton tapa oli vaakasuoraan noin 1 m:n syvyyteen sijoitetut putkisto. Koska maaperän laadulle ja käytettävissä olevalle pinta-alalle asetettavat vaatimukset rajoittavat käyttömahdollisuuksia, on viime vuosina ns. lämpökaivo nopeasti yleistynyt ratkaisu.” (Hukkanen, Teija 2016)

2.1 Miten maalämpöpumppu toimii

Maalämpöpumpun toimintaperiaate on seuraava, maahan varastoitu lämpöenergia siirretään sisätilaan keruupiirin kautta jonka sisältämä glykoli-vesi liuos kerää lämpöä maasta kiertäessään putkessa. Kun lämmennyt keruuaine saavuttaa höyrystimen jossa kiertää kylmäaine se aiheuttaa kylmäaineen höyrystymisen ja kylmäaine imee itseensä lämpöenergiaa kaasuuntuessaan. Kaasuuntunut kylmäaine siirtyy sitten kompressorin jossa sen paine nousee mikä aiheuttaa lämpenemisen entisestään. Kuumentunut kaasumainen kylmäaine siirtyy seuraavaksi lauhduttimelle jossa sen sisältämä lämpö siirtyy viileämpään lämmitysveteen ja kylmäaine vaihtaa muotoa nestemäiseksi. Paisuntaventtiili säätelee sen jälkeen kuinka paljon kylmäainetta pääsee höyrystimelle määräten mahdollisen lämmitysmäärän.



Kuva 1: Maalämpöpumpun periaate.

2.2 Hyötysuhteen parantaminen

Käytännössä lämpöpumpun hyötysuhdetta voi parantaa eri keinoilla.

Kylmäaineen vaihto, kompressorin tehostaminen, lämmönvaihtimien tehostaminen sekä invertterin asennus ovat tavallisimmat tavat tehostaa järjestelmän hyötysuhdetta sisäisesti. Ulkoisesti asennettavien lisäjärjestelmien avulla voidaan maalämpöjärjestelmän hyötysuhdetta nostaa entisestään, sellaisia järjestelmiä ovat mm. jäteveden lämmöntalteenotto sekä poistoilman lämmöntalteenotto. Näiden ulkoisten järjestelmien suosio asennusvaiheessa on kasvanut merkittävästi viime vuosina koska niiden avulla voidaan vähentää ostoenergian määrää ja täten saada rakennukselle parempi E-luku energiatodistukseen.

3 KYLMÄAINEEN VAIKUTUS MAALÄMPÖPUMPUN HYÖTYSUHTEESEEN

Kylmäaineet ovat kaasuja nestemuodossa, niiden käyttötarkoituksena kylmäkoneistoissa ja lämpöpumpuissa on lämmön siirtämisen väliaineena.

Kylmäaineiden käyttö kylmäkoneistoissa perustuu siihen että ne voivat muuttaa olomuotoaan nestemäisestä kaasuksi ottaessaan vastaan lämpöä ympäristöstä sekä toisinpäin kaasumaisesta nesteeksi luovuttaessaan lämpöä ympäristöön. Tätä olomuodon muutosta käyttämällä voidaan siirtää suuriakin lämpökuormia käyttäen suhteellisen pientä kylmäaineen massavirtaa. Kylmäaineiden ominaisuudet vaihtelevat suuresti riippuen niihin kohdistuvasta paineesta sekä lämpötilasta. Siksi oikean kylmäaineen valinta eri lämpöpumppujen toimintaolosuhteisiin on tärkeää. (Kianta, Jani 2008)

Kylmäaineidelle on asetettu erilaisia tunnuslukuja jotka kertovat kuinka haitallisia ne ovat ympäristölle. Nämä luvut ovat:

ODP On luku joka ilmoittaa kylmäaineen suhteellisen otsonihaitallisuuden (engl. Ozone Depletion Potential). Referenssilukuna käytetään kylmäaineen R11 (Trikloorifluorimetaani) lukua. R11 arvo on 1,0 ja asteikko ulottuu 0... 1,0.

GWP Ilmoittaa kylmäaineen kasvihuonehaitallisuuden (engl. Global Warming Potential). GWP-luvut ilmoitetaan yleensä laskettuna 100 vuoden ajanjaksolle. GWP asteikko alkaa 0:sta ylöspäin (esim. R134a:lla luku on 1300). Vertailulukuna käytetään luonnonmukaista kylmäainetta hiilidioksidia (CO₂) jonka haitallisuusluku on 1,0.

TEWI Luku joka ilmoittaa kylmälaitoksen elinaikanaan tuottaman kasvi-huonehaitallisuuden kg:na CO₂:ta (engl. Total Equivalent Warming Impact). Yleensä TEWI-luku ilmoitetaan 100 vuoden ajanjaksolle laskettuina arvoina. Asteikko on 0:sta ylöspäin.
(Happonen, Taito 2010)

Lukuja tulkitaan niin että mitä suurempi luku sitä haitallisempi aine on ympäristölle.

3.1 Kylmäaineiden jaottelu

Pääsääntöisesti kylmäaineet ovat hiilivetyjä, niiden vetyatomeja on eri prosessien kautta korvattu halogeenimolekyyleillä. Jaottelu lainsäädännössä tehdään halogeenimolekyylien perusteella.

Halogeenihiilivedyt voidaan jakaa käytännössä neljään eri luokkaan, CFC-aineet, HCFC-aineet, HFC-aineet sekä PFC-aineet.

Näiden ryhmien lisäksi on olemassa myös kaksi muuta ryhmää mutta ne eivät sisällä yhtään halogeenimolekyylejä. Niitä kutsutaan ns. luonnonmukaisiksi kylmäaineiksi, joita ovat esimerkiksi ammoniakki(NH₃) ja hiilidioksidi (CO₂). Koska luonnonmukaisia kylmäaineita esiintyy luonnossa sellaisenaan ne eivät ole haitallisia ilmakehän otsonikerrokselle ja niiden kasvihuoneilmiötä lisäävä vaikutus on joko olematon tai hyvin vähäinen. Luonnonmukaiset kylmäaineet voidaan jakaa kahteen ryhmään, HC-aineet sekä epäorgaaniset kylmäaineet.

Tässä työssä keskitytään lämpöpumppujen käyttämiin kylmäaineisiin jotka suurimaksi osaksi koostuvat HFC-aineista niiden sopivien ominaisuuksien takia. Vaikkakin uusia luonnonmukaisia kylmäaineita yritetään soveltaa lämpöpumppuihin koska niiden ympäristövaikutukset voivat olla jopa 2000 kertaa pienemmät kuin HFC-aineilla (vertaa R410A (taulukko 1), joka on 50/50 sekoitus HFC-aineita jonka GWP on 2000 kun hiilidioksidin GWP on 1).

3.2 Haasteita eri kylmäaineiden käytössä

HFC-aineiden korvaus luonnonmukaisilla kylmäaineilla esim. hiilidioksidilla kylmissä olosuhteissa:

- Korkea laitospaine
- Tehokkuuden lasku kylmillä keleillä sekä laitteiston toimivuuden takaaminen.
- Uusia teknologioita jotka ovat kuluttajille tuntemattomia mikä vaikuttaa niiden kokeiluun.
- Matala vuotuinen ulkolämpötila.
- Lämpöpumpun hyötysuhde laskee mitä matalampi ulkolämpötila

Nils Eivind Eriksen on maisterityössään Study of Refrigerants for Heat Pumps in Colder Climate, 2014 todennut CoolPack© ohjelman kautta että yleisimmin käytetty kylmäaine R410A soveltuu parhaiten kylmiin olosuhteisiin (ulkolämpötilat -20 °C ja -30 °C väliltä) kun sen käyttöalue on ainoastaan talon lämmitysenergian tuotto. Hän totesi myös että R744:llä (CO₂) on suurempi hyötysuhde kun lämpöpumppua käytetään talon sekä käyttöveden lämmitykseen. Koska R744 tuottaa suuremman tehon kun päästään korkeampiin lämpötiloihin. Tämä näyttää selvästi että luonnonmukaiset kylmäaineet ovat mahdollinen vaihtoehto synteettisten kylmäaineiden korvaamiseen kylmissä olosuhteissa. Vertaa taulukot 2 ja 3 jotka osoittaa lämpöpumpun tehokkuuden lämmityksen tuotossa.

Monet suuret lämpöpumppujen valmistajat kuten Danfoss on myös tutkinut uuden synteettisen kylmäaineen R32 käyttömahdollisuuksia. R32:den ODP on 0 aivan kuten R410A:n jota nykyään käytetään, sen suurin etu onkin GWP arvo joka on vain noin 32 % R410A:n GWP:stä.

Tero Lindén on esityksessään uusien kylmäaineiden vaikutuksista lämpöpumpppualaan verrannut R32 ja R410A:ta keskenään.

Vertailu	R32	R410a
Paine -20 °C	3.1 Bar	3.1 Bar
Paine 0 °C	7.1 Bar	7.0 Bar
Paine +40 °C	23.8 Bar	23.1 Bar
GWP	675	1720
Tulenarkuus	Palava	Ei syty

Vertailusta huomaa että aineet ovat hyvin samanlaisia ominaisuuksiltaan paitsi että R32 GWP on paljon alempi mutta se on syttyvää (syttyy ainoastaan 14 – 30 % pitoisuuksilla). R32 hyötysuhde on myös suurempi kuin R410A koska sen kriittinen lämpötila on korkeampi. Sen tiheys on myös alhaisempi mikä johtaa pienempään määrään kylmäainetta laitteistoissa. Koska R32 myös johtaa lämpöä paremmin mikä johtaa alentuneeseen kompressorin työhön sen käyttö voi vähentää sähkönkulutusta jopa 10 % verrattuna R22 käytäviin laitteisiin.

3.3 Johtopäätöksiä

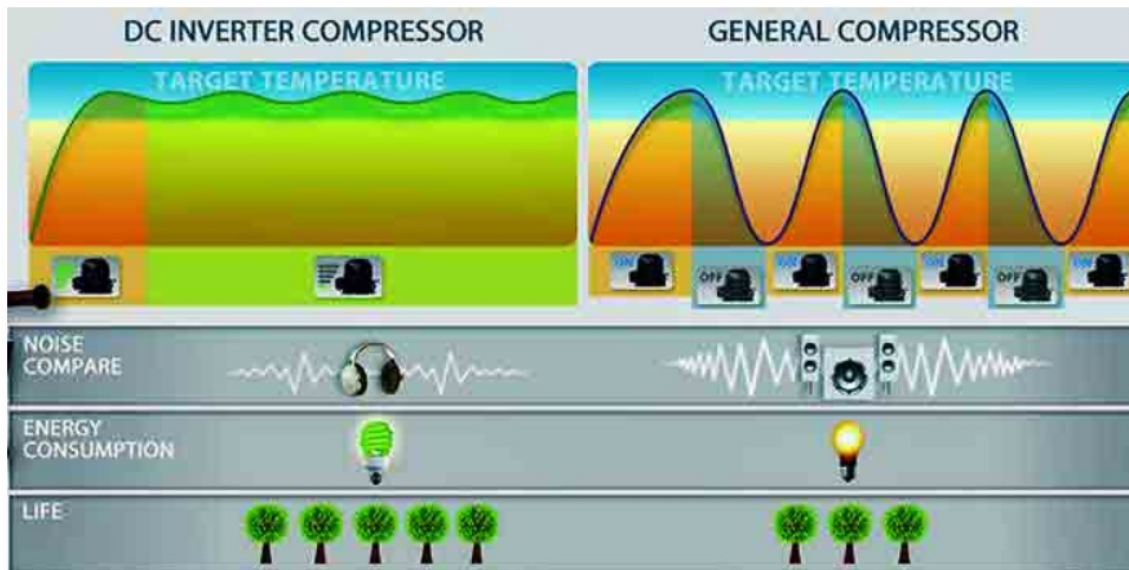
F-kaasuasetus; 517/2014 astui voimaan 1.1.2015 jonka ydin on HFC-yhdisteiden vähentäminen asteittaisesti markkinoilta. Asetuksen tarkoitus on avustaa siirtymistä F-kaasuista muihin kylmäaineisiin esim. luonnollisiin kylmäaineisiin aina kun tämä on teknillisesti mahdollista. Tavoitteena on vuoteen 2030 saavuttaa 60 % päästövähennys vuoteen 2005 verrattuna.

Daikin on suorittanut laskelmia, (perustuen opinnäytetyöhön Velders et al PNAS 2009, World Meteorological Organization) joissa on otettu selvää kuinka iso vaikutus ilmaston lämpenemiseen vuoteen 2030 olisi jos kaikki yksiköt joissa on käytössä kylmäaine R410A vaihdettaisiin käyttämään R32, tulos vastaisi 800 miljoonaa tonnia CO₂:ta mikä on 19 % vähemmän kuin R410A:n käytön jatkaminen.

Kuten Nils Eivind Eriksen oli työssään todennut niin luonnolliset kylmäaineet voivat hyvin toimia kylmissä olosuhteissa kuten pohjoisissa maissa. Näihin täytyy vain keskittää enemmän tutkimusta jotta laitteistot voidaan rakentaa niille sopiviksi.

4 INVERTTERILLÄ OHJATTU KOMPRESSORI

Vaihtosuuntaajalla varustettu kompressori maalämpöpumpussa tarkoittaa että kompressori käy eri kierrosluvuilla riippuen kohteen lämmitystarpeesta joten se mukautuu eri tilanteiden mukaan, näinollen voidaan eliminoida tarve käynnistää sekä sammuttaa kompressori joka kerta kun lämpötila vaihtelee. Vaihtosuuntaajista on lähivuosina tullut melkein perusominaisuus jokaisessa maalämpöpumpussa koska niiden säästö on merkittävä verrattuna perinteiseen ON/OFF-kompressoriin. Esimerkiksi RefGroup Oy:n tietojen mukaan vuonna 2003 ON/OFF laitteiden osuus oli noin 50 %. Vuonna 2012 lämmityskäyttöön myydyistä laitteista 99 % oli vaihtosunnattuja. Vaihtosuunnattu kompressori kuluttaa noin 30 % vähemmän sähköä kuin vastaava ON/OFF-kompressori(Mitsubishi-electric.com, 2017)



Kuva 2: Vaihtosuunnatun sekä ON/OFF kompressorin vertaus.

Kuten kuvassa 4 näkyy, vaihtosuunnatun kompressorin etu on sen jatkuva tarpeenmukainen käyminen mikä poistaa tarpeen sammuttaa sekä käynnistää kompressorin uudelleen, käynnistys on vaihe joka kuluttaa kompressorin osia eniten. Invertterillä ohjatun kompressorin toinen hyöty on sen nopeampi alkukäynti jolloin saavutetaan haluttu lämpötila nopeammin kuin ON/OFF mallissa. Kun haluttu lämpötila on saavutettu invertteriohjattu kompressorin hidastaa käyntinopeutta ja käy optimi-teholla pitäen yllä säädettyä lämpötilaa.

5 VAIHEITTAINEN KÄYTTÖVEDEN LÄMMITYS

Timo-Mikael Sivula on opinnäytetyössään tutkinut Senera Oy:n uutta menetelmää jolla voisi parantaa maalämpöjärjestelmän vuosihyötysuhdetta tehostamalla käyttöveden lämmitystä. Suunnittelun lähtökohtana oli saavuttaa lähes identtiset kustannukset perinteiseen maalämpöjärjestelmään verrattuna, jottei takaisinmaksuaika nousisi. Tavoitteena oli myös luoda järjestelmä jossa lämpöenergian tuottamiseen keskimääräinen lauhtumispaine saataisiin mahdollisimman alhaiseksi. Alempi lauhtumispaine vaikuttaa suoraan hyötysuhteen paranemiseen.

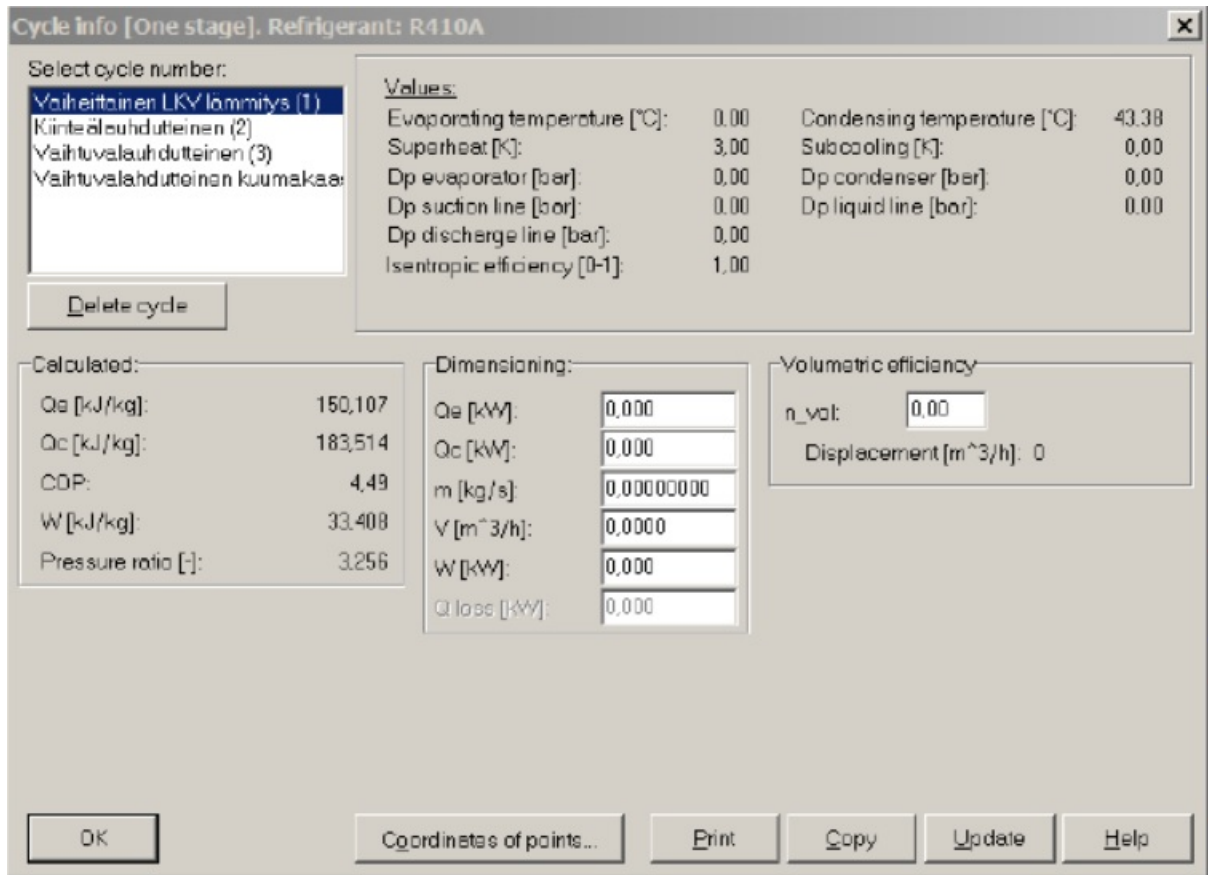
”Lämpöpumput on optimoitu toimimaan sekä höyrystimen että lauhduttimen osalta tietyn lämmönsiirtimen yli olevan lämpötilaeron mukaan. Höyrystimen osalta tulevan ja palaavan lämmönkeruuliuoksen lämpötilaero on tyypillisesti 3–5 K, kun taas lauhduttimella tulevan ja lähtevän veden lämpötilaero on tyypillisesti 7 K.” (Sivula, Timo-Mikael 2016 s.27)

Vaiheittaisella käyttöveden lämmityksellä tarkoitetaan että käyttövetä lämmitetään asteittain aina lauhduttimen yli menevän lämpötilaeron verran kerrallaan. Jos esimerkiksi vesijohtoveden lämpötila on +8 °C, nostetaan sen lämpötilaa aina 7 asteella aina lauhduttimen yli aina +62 °C:seen. Kun lämmitys on saatu päätökseen annetaan varaajan viilentyä melkein vesijohdon veden lämpötilaan, tämän jälkeen prosessi aloitetaan uudestaan.

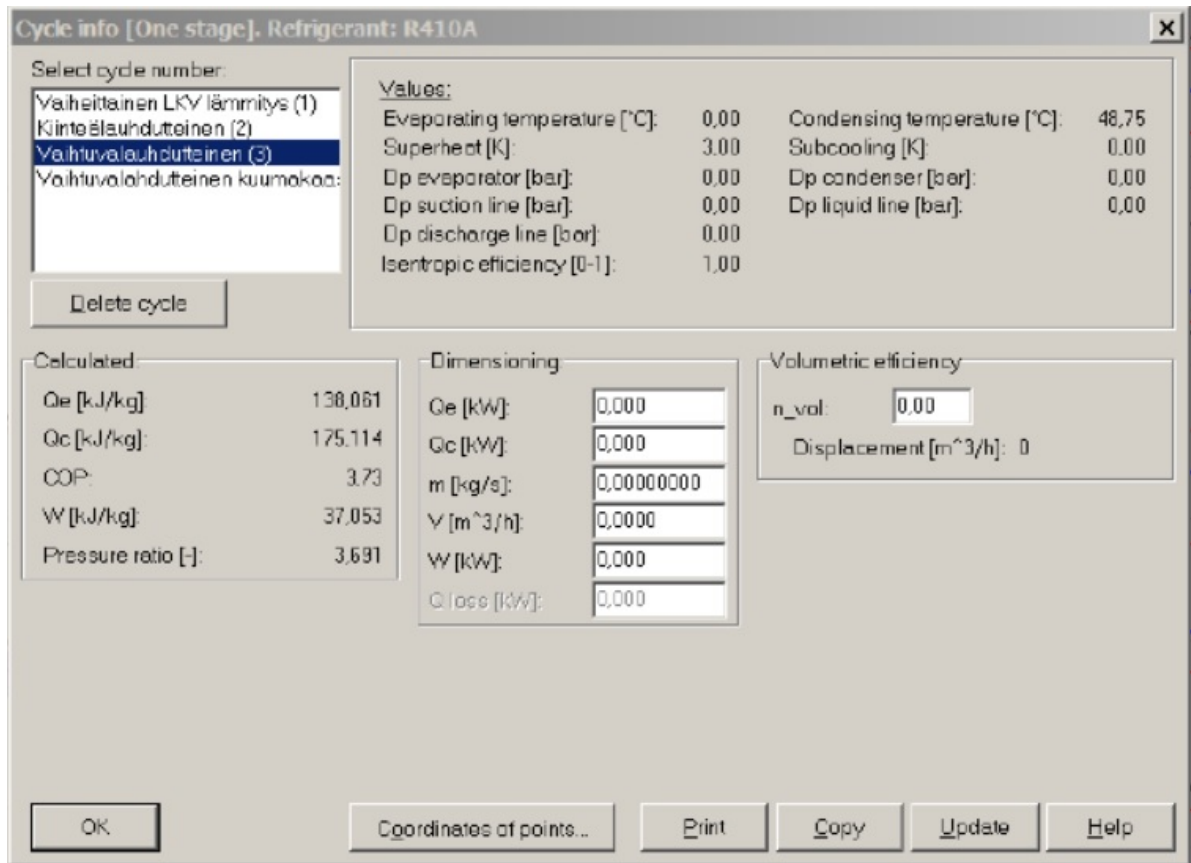
Näin saavutetaan keskimääräinen lauhtumislämpötila +38,5 °C jolloin keskimääräinen lauhtumispaine laskee 23.1 bar:iin.

”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.” (Sivula Timo-Mikael 2016 s.27)

Vaiheittaisesta käyttöveden lämmityksestä ei ole saatavilla kytkentäkaavioita tai selkeämpää toimintakuvausta liiketalousliikkeen takia.



Kuva 3: CoolPack-ohjelman avulla laskettu COP(hyötysuhde) vaiheittaisen käyttöveden lämmitysjärjestelmässä kun käyttöveden osuus on 25 % kiinteistön lämmitystarpeesta.



Kuva 4: CoolPack-ohjelman avulla laskettu COP(hyötysuhde) vaihtuvalauhdutteiselle järjestelmälle kun käyttöveden osuus on 25% kiinteistön lämmitystar-peesta.

5.1 Johtopäätöksiä

Kuvia 7 ja 8 vertaamalla huomaa että vaiheittaisen käyttöveden lämmitysjärjestelmän hyötysuhde on korkeampi (4,49) kuin vaihtuva lauhdutteen järjestelmän. Timo-Mikael Sivula toteaa työssään että mikäli lämpimän käyttöveden osuus nousee yli 25 % niin vaiheittaisen käyttöveden lämmitykseen perustuvan järjestelmän vuosihyötysuhde nousee koska lämpimän käyttöveden vuosihyötysuhde on alhaisempi kuin kiinteistön lämmityksen. Muissa järjestelmissä vuosihyötysuhde laskee mitä suurempi lämpimän käyttöveden kulutus on.

Timo-Mikael Sivula kertoo että kyseisiä järjestelmiä tullaan asentamaan vuonna 2016 noin 30 kappaletta Etelä-Suomen alueelle. Järjestelmiin asennetaan energian mittarointi jotta voidaan päätellä ovatko ne saavuttaneet laskennalliset arvot.(Sivula, Timo-Mikael 2016)

LÄMPÖTASE ASUINKERROSTALOSSA



Kuva 5: Lämpötase kerrostalossa

6 JÄTEVEDEN LÄMMÖNTALTEENOTTO

Suomessa jäteveden lämmöntalteenottoa alettiin ensin miettiä 1970- ja 1980 luvuilla öljykriisin jälkeen. Koska öljyn hinta nousi voimakkaasti tuolloin, alettiin miettiä keinoja joilla voisi paremmin hyödyntää rakennuksista poistuvaa lämpöä. Tämä johti mm. uimahalleista usein löytyvien suihku- ja allasvesien lämmöntalteenottoon kuparikierukoiden avulla veden esilämmitykseen. Mutta nämä järjestelmät ovat jo vanhentuneita eikä niiden luotettavuus/kannattavuus ole nykypäivän vaatimuksien vastaisia.(Grönholm, Maiju 2011)

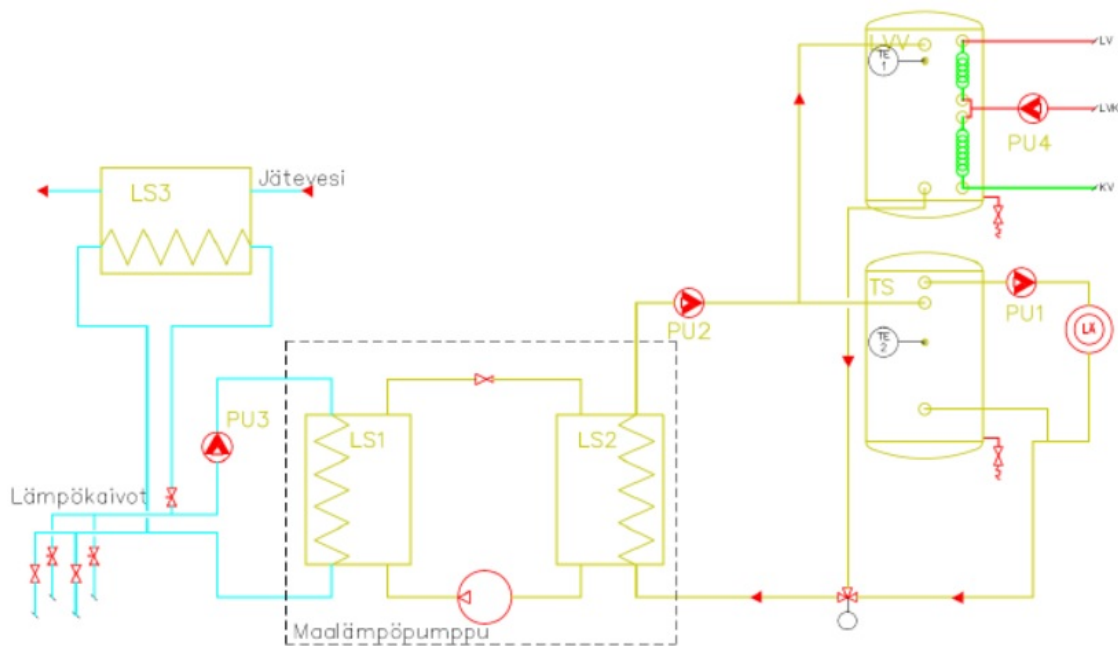
Jäteveden lämmöntalteenotto on noussut esille uudestaan EU:n energiadirektiivien myötä jotka vaativat entistä energiatehokkaampia menetelmiä rakennuksien lämmittämiseen. Lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kuluu noin 15 – 20 % kerrostalon lämmityskustannuksista (kuva 5). Uudiskohteissa kun kiinteistöjen energiatehokkuutta on parannettava entisestään tulee käyttöveden osuus kokonaisenergiakulutuksesta nousemaan jopa 50 % asti, joten jäteveden lämmöntalteenotosta tulee välttämättömyys melkein kaikkiin kiinteistöihin.

”Viemäriin päätyneen veden lämpötila on keskimäärin jopa +30 astetta, joten lämmön talteenotto jätevedestä on erittäin kannattavaa. Harmaan veden lämmöntalteenoton tekniikka on kehittynyt paljon viime vuosien aikana. Jäteveden lämpö voidaan kerätä talteen LTO-yksikön avulla, ja kerättyä lämpöenergiaa voidaan lämpöpumpun avulla hyödyntää talon lämmönjaossa ja lämpimän käyttöveden lämmityksessä.” (Tomallensenera 2017)

Tämä tarkoittaa että jäteveden lämmöntalteenotolla voi olla suurikin hyöty. Jäteveden lämmöntalteenotto yksikkö on helppo asentaa uudisrakennuksissa jossa se kaivetaan maahan jo rakennusvaiheessa. Jos kyseessä on saneerauskohde voidaan talteenottoyksikkö asentaa helposti pelkällä pääviemäriin katkaisulla sekä pihatöillä. Kummassakaan tapauksessa ei tarvitse kellarin tai muun tilan lattiaa avausta joten se ei tuota haittaa asukkaille kiinteistössä.

Lämmöntalteenotto toiminta perustuu seuraavaan: ”Jäteveden lämmöntalteenottoyksikkö koostuu sisäkkäisistä haponkestävistä teräsputkista. Sisemmän putken läpi virtaa lämmin jätevesi, ja sen ympärillä ulommassa putkessa kulkee lämmönkeruuneste. [...] Lämmönkeruuneste kuljettaa jätevedestä keräämänsä lämmön siirtoputkistoa pitkin lämpöpumpulle, joka käyttää lämpöenergian talon ja käyttöveden lämmitykseen.” (Tomallensenera 2017)

Kun kiinteistöön on myös asennettu maalämpöjärjestelmä, jätevedenlämmöntalteenotto parantaa sen hyötysuhdetta huomattavasti vuoden ympäri.



Kuva 6: Jäteveden lämmöntalteenottolaitteisto liitettynä maalämpöjärjestelmään

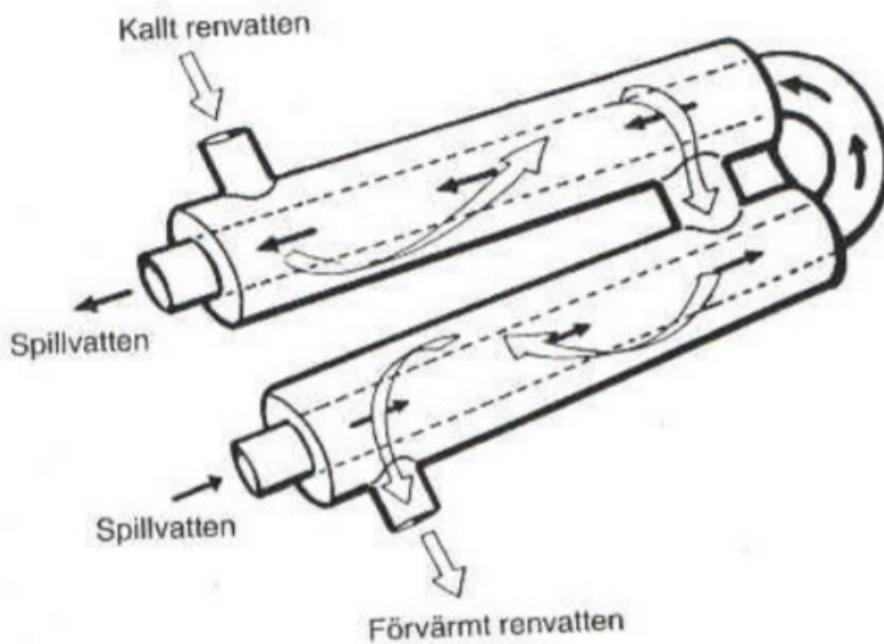
Kuvassa 6 on esitetty jäteveden lämmöntalteenottolaitteisto liitettynä maalämpöjärjestelmään periaatteellisesti. Maiju Grönholm on työssään jäteveden lämmöntalteenotto huomionnut että tulevaisuudessa tämän kaltaisten järjestelmien hankintaperuste tulee olemaan niiden nopea takaisinmaksuaika.

Tämän tyyppin järjestelmät sopivat parhaiten kiinteistöihin jossa joko tuotetaan jatkuvasti jätevettä esim. tehtaat tai sitten asuin kiinteistöissä joissa päivän mittaan tuotettu jätevesi

on tarpeeksi suuri, mieluiten yli 15 % kiinteistön koko päivittäisestä lämpöhukasta. Jäteveden lämmöntalteenotto järjestelmiä toteutetaan periaatteessa kahdella eri tavalla vaaka- ja pystylämmönvaihtimilla.

6.1 Esimerkkilaitteisto

Tähän työhön valitsin Senera Oy:n käyttämän vaakalämmönvaihtimeen joka asennetaan kiinteistön pääviemäriin. Valinnan syy on sen asennus nopeus sekä helppous. Kyseisen järjestelmän asennus ei vaadi harmaan sekä mustan jäteveden erottelua joten se on erittäin kustannustehokas. Lämmönvaihtimeen asennetaan myös kaksi teleskooppikaivoa joista voi tarvittaessa tarkastaa lämmönvaihtimen kunnon sekä tarvittaessa huuhdella tukoksia.



Kuva 7: TwinTube-järjestelmä jossa kylmävesi/lämmönkeruuneste kiertää viemäriputken sekä teräspuutken välitilassa

Senera Oy:n käyttämä järjestelmä on enimmäkseen samanlainen kuin kuva 7 osoittaa ja välitilassa kiertää maalämpöpumpun käyttämä keruuneste joka imee itseensä energiaa jätevedestä. Jätevedestä siirtyy lämmönkeruunesteeseen niin paljon lämpöenergiaa, että jätevesi jäähtyy noin +8-asteiseksi. (Tomallensenera 2017). Lämmönkeruuneste siirtyy lämpöpumpulle jossa sen energia vapautuu ja se käytetään talon lämmitykseen sekä käyttöveden lämmitykseen.

6.2 Johtopäätöksiä

Jäteveden lämmöntalteenotto järjestelmä vaikuttaisi olevan todella toimiva sekä kustannustehokas tapa nostaa maalämpöjärjestelmän vuotuista hyötysuhdetta. Sen asennus nopeus sekä huoltovapaus tekevät siitä toimivan tavan hyödyntää muuten hukkaan menevää lämpöenergiaa. Myös se että sen voi asentaa sekä saneerauskohtiin että uudisrakennuksiin periaatteessa samalla vaivalla tekee siitä kustannustehokkaan ja yleensä sen takaisinmaksuaika onkin alle 5 vuotta. Tulevaisuudessa kun kiinteistöille asetetaan entistä kovempia vaatimuksia energiankulutuksesta niin jäteveden lämmöntalteenotto nousee varmasti vielä suuremmaksi osaksi energiankäytön vähentämiseksi.

Lopuksi haluan mainita että Kristoffer Rask on opinnäytetyössään jonka hän on tehnyt ruotsissa 2012 tullut seuraaviin lopputuloksiin:

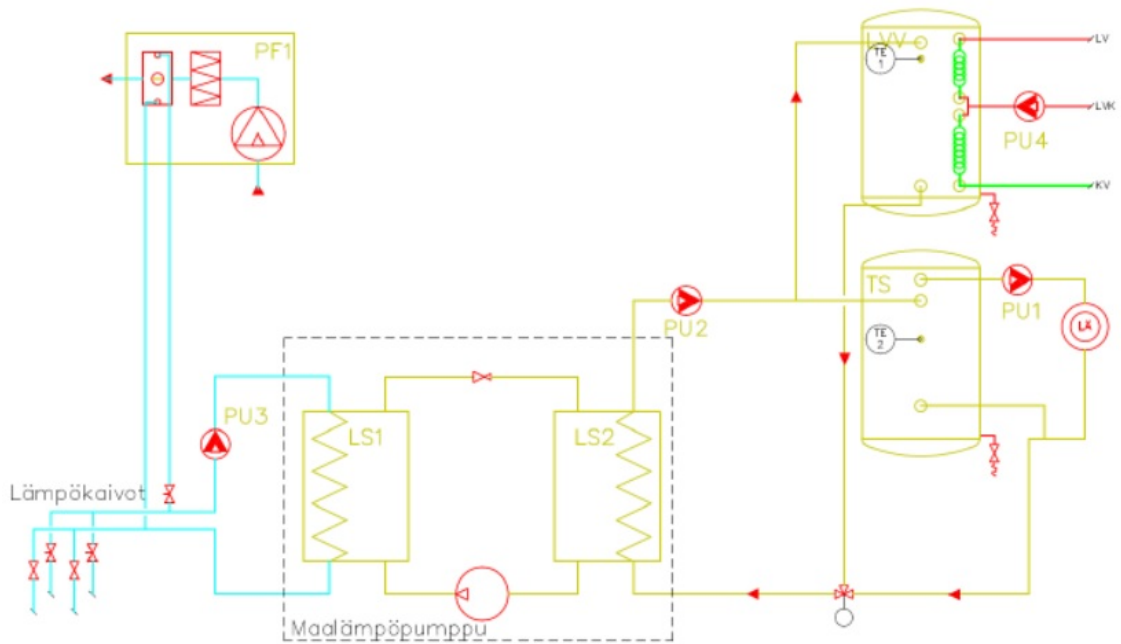
Pientaloissa säästö mahdollisuus oli jopa 43 % lämpimän käyttöveden lämmitykseen kuluvan energian määrästä ja 50 asunnon kiinteistöissä 17 %. Jäteveden lämmöntalteenotto toimii hyvin koska käyttöveden lämmitys on paljon vakaampi vuoden ympäri verrattuna lämmitystarpeeseen. (Rask, Kristoffer 2012) Kristoffer Rask ei työssään ollut verrannut lämmöntalteenotto yksikön liittämistä maalämpöjärjestelmän keruu piiriin vaan laskenut hyötysuhteen suoraan kylmän käyttöveden lämmitykseen. Kun jäteveden lämmöntalteenotto liitetään maalämpöjärjestelmän keruupiiriin on saatu hyöty suurempi kiinteistöissä johtuen kylmäaineen paremmasta hyötysuhteesta.

7 POISTOILMAN LÄMMÖNTALTEENOTTO

Poistoilman lämmöntalteenotto on 2000-luvun puolivälistä ollut standardi toimenpide kaikissa uusissa kiinteistöissä mutta ennen 2005 rakennetuissa kiinteistöissä sitä ei usein ole joten rakennuksista puhalletaan ulos koneellisen ilmanvaihdon kautta 30 - 40 % rakennuksen lämmitysenergiasta. Tämän takia poistoilman lämmöntalteenoton asennus vanhempiin kiinteistöihin tuottaa usein yli 30 % säästöt ostoenergian määrään. Timo-Mikael Sivula on opinnäytetyössään todennut että kun poistoilman lämmöntalteenotto liitetään maalämpöjärjestelmään voidaan lämpökaivojen määrässä säästää noin 25 – 30 %.

7.1 Poistoilman lämmöntalteenoton toiminta

Nimen mukaan rakennuksen poistoilmasta otetaan lämpöenergiaa talteen lämmön talteenotto yksiköllä joka asennetaan talon katolle huippuimurin tilalle tai ilmanvaihdon kokoomakammioon jotta lämmin poistoilma virtaa sen läpi. Ilman lämmöntalteenotto järjestelmää poistoilma on yleensä noin 20 asteista ilmaa joka puhalletaan ulos vuoden ympäri. Kun lämmöntalteenotto yksikkö on asennettu ilma vapauttaa lämpöenergiaa yksikössä kulkevaan keruunesteeseen ja poistoilman lämpötila laskee noin +2 asteiseksi lämmityskaudella.(Tomallensenera 2017)



Kuva 8: Maalämpöjärjestelmään on liitetty poistoilman lämmöntalteenottolaitteisto.

Kesäisin poistoilman lämpö voidaan ladata energiakaivoihin maaperässä seuraavaa lämmityskautta varten jolloin hyötysuhde paranee entisestään kun saavutetaan korkeampi keruunesteen lämpötila.



Kuva 9: Gebwell Pilpit lämmöntalteenottoyksikkö katolle.

7.2 Johtopäätöksiä

Poistoilman lämmöntalteenotosta on nopeasti tullut yksi tavallisimmista tavoista saada hukkaenergiaa kerättyä kiinteistöistä sen jälkeen kun koneellisen ilmastoinnin hukka-lämpö kiellettiin puhaltamaan suoraan ulos.

Poistoilman lämmöntalteenotto soveltuu hyvin maalämpöjärjestelmään liitettäväksi koska se nostaa huomattavasti keruunesteen lämpötilaa mikä vähentää lämpöpumpun sähkönkulutusta merkittävästi.

8 YHTEENVETO

Euroopan Unionin asettamat direktiivit koskien energiatehokkuutta sekä uusiutuvien energioiden käytöstä ovat joko astuneet voimaan tai tulevat ajankohtaisiksi lähivuosina. Energian kulutusta pitäisi tehostaa rakennuksissa jotta kyseisiin viitearvoihin päästään aikataulun mukaisesti.

Rakentamismääräyskokoelman energiatehokkuusvaatimukset muuttuvat melkein vuosittain. Nykyään on siirrytty kokonaisenergian kulutuksen tarkasteluun kun aikaisemmin keskityttiin suurimmaksi osaksi rakennusten materiaalivalintoihin.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli katsastella erilaisia mahdollisuuksia parantaa maalämpöjärjestelmän hyötysuhdetta ja antaa lukijalle mielikuva kuinka vaikeita tai helppoja toimenpiteet ovat. Ostoenergian tehokkuus tulee tulevaisuudessa nousemaan vielä tärkeämpään asemaan kun rakennukset eivät hukkaa energiaa rakennusteknisten syiden perusteella.

Maalämpöjärjestelmän hyötysuhdetta on mahdollista parantaa huomattavasti työssä esitetyillä tavoilla ja uskon juuri hybridi-järjestelmien olevan tulevaisuuden suurin mahdollisuus säästöihin verrattuna yksittäisiin erillisiin järjestelmiin.

Vaiheittainen käyttöveden lämmitys on uusin innovaatio maalämpöpumpun hyötysuhteen parantamisessa ja uskon sen lähivuosina nousemaan uutisiin.

LÄHTEET

1. Daikin (2017). Benefits of an inverter. Saatavilla: http://www.daikin.com/about/why_daikin/benefits/inverter/ (haettu 1.5.2017)
2. Daikin (2017). What's R-32? Saatavilla: http://www.daikin.com/about/why_daikin/benefits/r-32/ (haettu 2.5.2017)
3. Danfoss (2017). A Step Towards More Environmentally Friendly AC - Systems and Heat Pumps, Figure 1. Saatavilla: <http://industrialrefrigeration.danfoss.com/technicalarticles/rc/a-step-towards-more-environmentally-friendly-ac-systems-and-heat-pumps/#/> (haettu 24.4.2016)
4. Danfoss (2017). R32 – For Environmentally Friendly A/C Systems and Heat Pumps. Saatavilla: <http://refrigerants.danfoss.com/r32/#/> (haettu 2.5.2017)
5. Eriksen, Nils Eivind (2014). Study of Refrigerants for Heat Pumps in Colder Climate, University of Tromsøe. Saatavilla: <http://munin.uit.no/bitstream/handle/10037/8181/thesis.pdf;sequence=1> (haettu 26.4.2017)
6. Grönholm, Maiju (2011). Jäteveden lämmöntalteenotto. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu Theseus-tietokanta. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2011061712274> (haettu: 20.4.2017)
7. Happonen, Taito (2010). Ilmalämpöpumpun toiminta ja asennus. Kuopio: Kopijyvä Oy. Saatavilla: http://epublications.uef.fi/pub/urn_isbn_978-952-61-0044-9/urn_isbn_978-952-61-0044-9.pdf (haettu 15.5.2017)

8. Hukkanen, Teija (2016) Lämpöpumpun toiminta, toiminnan periaate. Saatavilla: <http://docplayer.fi/683107-Lampopumpun-toiminta-toiminnan-periaate.html> (haettu 1.5.2017)
9. Kianta, Jani (2008). Kylmäainetilanne 2008, Suomen Kylmäyhdistys ry. Saatavilla: <http://www.skll.fi/yhdistys/www/att.php?type=2&id=37> (haettu 24.4.2016)
10. Lehtinen, Teppo (2014). Rakentaminen osana energia- ja ilmastotiekarttaa 2050. Saatavilla: https://www.motiva.fi/files/9648/Rakentaminen_energia-_ja_ilmastotiekartan_2050_karjessa_Teppo_Lehtinen_YM.pdf (haettu 1.5.2017)
11. Lindén, Tero (2017). Uusien kylmäaineiden vaikutus lämpöpumppuun. Saatavilla: <http://www.sulpu.fi/documents/184029/2220831/9-%20Tero%20Linden%20-%20Uudet%20kylm%C3%A4aineet%20Sulpu.pdf> (haettu 2.5.2017)
12. Mitsubishi electric (2017). Heat pumps. Saatavilla: <http://www.mitsubishi-electric.co.nz/heatpump/how.aspx> (haettu 1.5.2017)
13. Rakennusteollisuus (2017) Energiatehokkuus suunnitteluvaiheessa. Saatavilla: <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Ilmasto--ja-energiapolitiikka/Energiatehokkuus-suunnitteluvaiheessa/> (haettu 1.5.2017)
14. Rask, Kristoffer (2012). Värmeåtervinning ur spillvatten, Höskolan i Gävle. Saatavilla: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:614308/FULLTEXT01.pdf> (haettu 22.4.2017)

15. RefGroup oy (2017). ON/OFF- ja Invertteri-malli. Saatavilla: <http://www.ilma-lampopumput.fi/fi/mika-ihmeen-lampopumppu/on-off-ja-invertteri-malli> (haettu 25.4.2017)
16. Sivula, Timo-Mikael (2016). Maalämpöjärjestelmän hyötysuhteen parantamisen tarkastelu lämpimän käyttöveden lämmityksessä. Metropolia Ammattikorkeakoulu Theseus-tietokanta. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2016053010858> (haettu 25.4.2017)
17. Tomallensenera (2017). Lämmön talteenotto. Saatavilla: <https://www.tomallensenera.fi/lammon-talteenotto?gclid=CMGwnoiyxNMCFY6HsgodnzgLLA> (haettu 27.4.2017)

LIITTEET

Eri maalämpöjärjestelmillä toteutettuja hankkeita ja niiden tuomat säästöt. (tiedot tomalensenera.fi)

Kohde: Kolme kolmikerroksista kerrostaloa, asuntoja 91 kpl sekä kaksi liikehuoneistoa

Rakennusvuosi: 1972-1973

Lämmitettävä pinta-ala: 5 510 m²

Asennetut lämpöpumput: 4 kpl 90 kW:n maalämpöpumppua

Lämpökaivot: 20 kpl, syvyydet 275 m

Aiempi lämmitysjärjestelmä: kaukolämpö

Lämmitysenergian kulutus kaukolämmöllä: n. 960 000 kWh/vuosi

Lämmityskulut kaukolämmöllä: n. 106 000 e/vuosi

Ostettava lämmitysenergia maalämmöllä: n. 297 600 kWh/v

Lämmityskulut maalämmöllä: n. 32 736 e/vuosi (sähkön hinnalla 0,11 e/kWh)

Säästöt: n. 73 264 e/vuosi (69 %)

Kohde: Liikekiinteistö

Rakennusvuosi: 1956

Lämmitettävä pinta-ala: n. 10 000 m²

Ostettava lämmitysenergia ennen maalämpöä: n. 1 000 000 kWh/vuosi

Ostettava lämmitysenergia maalämpöön siirtymisen jälkeen: n. 321 840 kWh/vuosi

Vuosittainen säästö: n. 678 160 kWh/vuosi (68 %)

Kaikki säästöt maalämmöllä: n. 37 816 e/vuosi

Asennetut lämpöpumput: 6 kpl IVT:n Greenline HE D43

Lämpökaivot: 17 kpl, syvyys 200 metriä

Kohde: Viisikerroksinen kerrostalo, 40 asuntoa

Rakennusvuosi: 1980

Lämmitettävä pinta-ala: 2 275 m²

Asennetut lämpöpumput:
90 kW:n maalämpöpumppu

Lämpökaivot: 5 kpl, syvyys 260 metriä

Ostettava lämmitysenergia kaukolämmöllä: n. 335 470 kWh/vuosi

Ostettava lämmitysenergia maalämmöllä ja poistoilman LTO:lla: 1741 e/vuosi (sähkön hinnalla 0,12 e/kWh)

Lämmityskulut kaukolämmöllä: n. 26 838 e/vuosi (kaukolämmön hinnalla 0,08 e/kWh)

Lämmityskulut maalämmöllä ja poistoilman LTO:lla: n. 11 741 e/vuosi (sähkön hinnalla 0,12 e/kWh)

Säästöt: n. 15 097 e/vuosi (56 %)

TAULUKOT

Taulukko 1: Eri kylmäaineiden ODP sekä GWP lukuja.

Refrigerant	ODP(R11 = 1.0)	GWP IPCC AR4 (CO ₂ =1.0)
R22	0.055	1810
R410A	0	2088
R407C	0	1770
R32	0	675
R1234yf	0	4
R290	0	6.3
CO ₂	0	1

*Taulukko 2: R290:ta (Propani) käyttävä lämpöpumppu pystyy peittämään 31 – 43 % lämpötarpeesta kun höyrystymisen lämpötila on -25 ja -35 asteen välillä.
(Eriksen Nils Eivind 2014, muokattu)*

Evaporation temperature [°C]	Heating need for house and domestic water [kWh]	Surplus energy from the heat pump [kWh]	The heat pump can cover [%]
-25	4996.90	2142.82	42.88
-30	4301.36	1571.04	36.52
-35	3807.16	1193.47	31.35

*Taulukko 3: R410A:ta käyttävä lämpöpumppu pystyy peittämään 33 – 45 %
lämpötarpeesta kun höyrystymisen lämpötila on -25 ja -35 asteen välillä.
(Eriksen Nils Eivind 2014, muokattu)*

Evaporation temperature [°C]	Heating need for house and domestic water [kWh]	Surplus energy from the heat pump [kWh]	The heat pump can cover [%]
-25	4996.90	2222.69	44.48
-30	4301.36	1650.24	38.37
-35	3807.16	1274.50	33.48

