

Indrek Pöldmaa

Vesikiertoinen takka kaukolämmön rinnalla

Opinnäytetyö

Kevät 2019

SeAMK Tekniikka

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: SeAMK Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Lvi-tekniikka

Tekijä: Indrek Pöldmaa

Työn nimi: Vesikiertoinen takka kaukolämmön rinnalla

Ohjaaja: Marita Viljanmaa

Vuosi: 2019

Sivumäärä: 58

Liitteiden lukumäärä:

Työn tavoitteena on suunnitella ja saada toimimaan omakotitalossa vesikiertoinen takka kaukolämmön rinnalla. Miten sen saisi toteutettua helpoiten ja pienillä kustannuksilla. Suoritetaan energiamittaukset siitä, kuinka paljon vesikiertoinen takka pystyy siirtämään lämmitysenergiaa veteen ja onko se kannattava.

Vesikiertoisen takan lisääminen kaukolämmön rinnalle vaatii lämminvesivaraajan, latauspumpun ja kolmitieventtiilin, joka ohjaa automatiikkaa. Mahdollisimman pienillä kustannuksilla saatiin vesikiertoinen takka kytkettyä kaukolämmön rinnalle. Työn aikana tuli tehtyä laskelmia ja muutettuja säätöjä säätöpaneelin asetuksissa.

Mittaustulokset antoivat pienempiä tuloksia kuin mitä vesikiertoisen takan valmistaja on luvannut. Suoritettiin kokeita kahdella eri kerralla, erilaisilla polttopuilla ja määrällä. Vuoden kuluessa on vertailtu energialaskujen energiamäärää ja suuntaa antavia energiakulutusarvoja neliömetriä kohti, mistä on tullut suuret erot. Säästöjä on tullut vuoden aikana paljon, jos verrataan vertailuarvoon. Vesikiertoinen takka on kannattava, kunhan polttopuut ovat ilmaisia.

Avainsanat: tulisijat, kaukolämmitys, lämmitysjärjestelmät, puulämmitys, kannattavuus

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School Of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: HVAC

Author: Indrek Pöldmaa

Title of thesis: Water-circulation fireplace alongside with central heating

Supervisor: Marita Viljanmaa

Year: 2019

Number of pages: 58

Number of appendices:

The purpose of the thesis was to plan and make a water-circulation fireplace work along with district heating. The question was how it should be done with ease and at a low cost. Energy measurements would be performed to discover how much the water-circulation fireplace could transfer heating energy to the water and whether it were profitable.

Adding a water-circulation fireplace alongside district heating requires a water boiler, a loading pump and a three-way valve controlled by automation. A water-circulation fireplace was connected alongside the district heating at the lowest possible cost. In the course of the work, calculations were made and the settings in the control panel were adjusted.

The results of the measurements were lower than expected, and as promised by the manufacturer of the water circulation fireplace. Experiments were performed at two different times, with different firewood and quantity. During the year, the amount of energy and energy consumption was compared to the reference value of energy consumption per square meter, and the difference was big. There was a lot of savings during the year if compared to the benchmark. The water circulation fireplace would be worthwhile until the firewood was free.

Keywords: fireplace, central heating, heating systems, wood heating, profitable

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	1
Thesis abstract.....	2
SISÄLTÖ.....	3
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	7
1 JOHDANTO.....	9
2 TALON LVI-SUUNNITTELU.....	10
2.1 Talon sijainti, rakenne ja tekniikka.....	10
2.2 Lämmityspiiriin tavoite ja sen tulevaisuus.....	10
2.3 Lämpimän käyttöveden tavoitteet.....	11
2.4 Lämmitysjärjestelmän kalusto.....	11
2.4.1 Vesikiertoinen takka ja sen tarvittava kalusto.....	12
2.4.2 Venttiili ja ohjausmoottori.....	14
2.4.3 Paisuntasäiliö.....	16
2.5 Lämmitysjärjestelmän suunnittelun haasteita.....	17
2.6 Lämmitysenergian luovuttaminen.....	19
2.7 Lämmityspiirin neste.....	20
3 VESIKIERTOINEN TAKKA.....	22
3.1 Vesikiertoinen takka ja lämmön kerääminen.....	22
3.1.1 Latauspumput.....	22
3.1.2 Eristäminen.....	23
3.1.3 Riskit.....	24
3.1.4 Luonnollinen kierto.....	24
3.1.5 Varasähköjärjestelmä.....	25
3.1.6 Erillinen painevesisäiliö.....	25
3.2 Polttoaine.....	26
4 KAUKOLÄMPÖ.....	28
4.1 Säätolaitte.....	28
4.2 Kestävyys.....	28
4.3 Riskit.....	29

5	SÄÄTÄMINEN.....	30
5.1	Ohjausyksikön säätäminen	30
5.2	Latauspumpun säätäminen	30
5.3	Ilmanvaihtokoneen jälkilämmityksen säätäminen.....	32
5.4	Kolmitieventtiin säätömoottorin asetusarvot	32
5.5	Säätöjen viimeistely	33
6	KÄYTTÄJÄYSTÄVÄLLISYYS	36
7	HÄIRIÖT	37
	Kuvio 7. Häiriörajan ylityskuvio. Punaisella varaajasta lämmönvaihtimella tuleva vesi termostaattisen venttiin kautta. Vihreä on lämmönvaihtimelta lähteva kuuma vesi.....	38
8	MITTAUKSET	40
8.1	Tavoite	40
8.2	Energiamittaus	40
8.3	Mittarit	41
8.4	Vesikiertoisen takan energiamittaukset.....	41
8.5	Virhearvot.....	42
8.5.1	Mittaus 1	42
8.5.2	Mittaus 2	44
8.5.3	Yhteenveto.....	45
9	LASKENNAT.....	46
9.1	Vuoden energia.....	46
9.2	Virhearvo.....	47
10	KANNATTAVUUS	48
10.1	Kannattavuus suoran sähkölämmityksen rinnalla	48
10.2	Kannattavuus lämpöpumpun rinnalla	48
10.3	Kannattavuus kaukolämmön rinnalla	49
10.4	Kannattavuus aurinkolämmityksen rinnalla	50
10.5	Lämmitysjärjestelmän kannattavuus	50
10.6	Säästäminen	51
10.7	E-luku.....	52
10.8	Takaisinmaksuaika	52
11	YHTEENVETO.....	54

LÄHTEET 55

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Grundfos UPM3 AUTO L-50 kiertovesipumpun virtaman ominaiskäyrä..	14
Kuvio 2. Lämmitysjärjestelmän kytkentäkaavio.....	18
Kuvio 3. Swegon w4 Econo ilmanvaihtokoneen vesilämmityspatterin mitoitus.....	20
Kuvio 4. Etyleeniglykolin ja veden suhdetaulukko.....	21
Kuvio 5. Puulajien energiasisällöt.	27
Kuvio 6. PID-säätökäyrät eri asetusarvoilla.	33
Kuvio 7. Häiriörajan ylityskuvio.	38
Taulukko 1. Vuoden energiakulutus kWh ja euroissa.	46

Käytetyt termit ja lyhenteet

NTC-anturi	Negative temperature coefficient, negatiivinen lämpötilakerroin.
Kiintokuutio	Yhden kuutiometrin kokoinen $1\text{ m} \times 1\text{ m} \times 1\text{ m} = 1\text{ m}^3$ tiheästi ladottu puukasa, jossa ei ole ilmvälejä. Polttopuita on enemmän kuin pinokuutiassa.
Pinokuutio	Yhden kuutiometrin kokoinen $1\text{ m} \times 1\text{ m} \times 1\text{ m} = 1\text{ m}^3$ tiheästi ladottu polttopuukasa, jossa on ilmvälejä. Polttopuita enemmän kuin irtokuutiassa.
Irtokuutio	Yhden kuutiometrin kokoinen $1\text{ m} \times 1\text{ m} \times 1\text{ m} = 1\text{ m}^3$ heitetty kasa, jossa on runsaat ilma-eristykset. Polttopuita vähemmän kuin pinokuutiassa.
COP	Coefficient Of Performance, suoritusero, lämpöpumpulle annettu ominaisarvo, joka antaa energiantuottoon kertoimen, kun ulkolämpötila on $+7\text{ °C}$. Parhaimmillaan annettu COP-arvo voi olla yli 5, mutta todellisuudessa se on aina hieman pienempi. Jos COP on 5 silloin kun lämpöpumppu ottaa 1 kWh sähköenergiaa, pumppu tuottaa lämpöä 5 kWh:n verran. Kun ulkolämpötila laskee, pienenee myös COP-arvo. Ulkolämpötilan ollessa luokkaa -20 °C COP-arvo putoaa välille 1-2.
Etyleeniglykoli	Puhdas etyleeniglykoli jäätyy jo -15 °C :ssa, mutta sen sijaan vesi-etyleeniglykoliseos kestää kovaa pakkasta jäätymättä. Tästä syystä etyleeniglykolin käyttäminen nostaa lämmitysputkiston ja aurinkokeräimien järjestelmässä pakkaskestävyyttä. Paras pakkaskestävyys saavutetaan 60-70 %:n etyleeniglykoliosuudella, jopa -55 °C :n pakkasessa.

Nm	Newtonmetri on (vääntö-)momentti, joka syntyy vääntämällä metrin pituisella varrella Newtonin voimalla.
Styrox-eriste	Polymeeri, jota valmistetaan sen monomeeristä eli styreenistä, joka on aromaattinen hiilivety. Polystyreeni on kestopuovi: huoneenlämmössä jäykkä, mutta voidaan muokata kuumentamalla.

1 JOHDANTO

Talojen lämmitykseen käytetään erilaisia lämmönlähteitä ja lämmitysmuotoja. Viime aikoina on muotiin tullut hybridilämmitys, jossa käytössä on useampi lämmitysmuoto. Lämmitystapoja on useita ja joissakin käyttökustannukset ovat alhaiset, mutta ylläpito- ja huoltokustannukset voivat nousta korkeaksi.

Aina ei uudisrakennukseen voi valita haluamaansa lämmitysmuotoa, koska viranomaiset ovat esimerkiksi asemakaavassa määrittäneet, mitä tietyillä alueilla voi käyttää. Kaupunkialueilla on todennäköisesti kaukolämpö, ja siihen liittymistä myös edellytetään. Yleensä jos valitaan kaukolämpö, se on talon ainoa lämmitysmuoto. Usein talossa on varaava takka, joka siirtää/jakaa lämpöä epätasaisesti talossa. Eri syistä johtuen varaava takka usein toimii vain koristeena tai tunnelman luojana.

Parempi vaihtoehto olisi vesikiertoinen takka, jolla voidaan siirtää lämmitysenergia tasaisemmin ja tarpeen mukaan lämmitettävälle alueelle. Vaikka takka lämmitettäessä säteilee lasin kautta huoneeseen, jaetaan lämpöä kuitenkin lattialämmityspiirin kautta tasaisemmin. Tämä edellyttää, että talossa on vesikiertoinen lämmönjakojärjestelmä.

Työn tavoitteena on esittää ja tutkia hybriditalon malli, jossa kaukolämpö on päälämmitysmuoto. Sen rinnalle saadaan toimimaan vesikiertoinen takka apulämmitysmuotona ja lisäksi olisi valmius hyödyntää tarvittaessa aurinkolämpöä. Nämä apulämmitykset tuottavat energiaa talon ja käyttöveden lämmittämiseen. Tavoitteena on mitata vesikiertoisen takan antama energia ja se, onko lisäjärjestelmä kannattava.

Tässä työssä suunnitellaan LVI-järjestelmä talolle ja toteutetaan se. Talon seinäelementit toimittanut elementtitehdas on laskenut talolle energiatodistuksen, josta saadaan lämmitystehon tarve talolle. Talon päälämmitysmuodoksi tulee kaukolämpö ja sen rinnalle vesikiertoinen takka. Suunnitellaan kaukolämmön lämmönjakokeskus niin, että se on talon ainoa lämmitysmuoto. Vesikiertoisen takan valinnassa otetaan huomioon tehon tarve sekä varaajan vaatima tila teknisessä tilassa. Suunnitellaan toimintakaavio ja ohjaukset erilaisten tarpeiden mukaan.

2 TALON LVI-SUUNNITTELU

2.1 Talon sijainti, rakenne ja tekniikka

Suunniteltu omakotitalo sijaitsee Etelä-Pohjanmaalla Seinäjoella Simunan alueella, osoitteessa Bullerinlenkki 31. Rakennuksen lämmitettävä pinta-ala on 124 m². Alueella on kaukolämpöverkosto, johon talo liitetään. Talon pohjois- ja länsipuolella on Kyrkösjärven tekojärvi, jonka vesi on padottu valleilla. Patovallit muodostavat rakennukselle hyvän tuulensuojan. Muista suunnista rakennusta ympäröivät talot ja metsä hieman etäämpänä.

Maanvaraiselle alapohjalle rakennettava talo tehdään puurunkoisista elementeistä ja yläpohjan eristeeksi tulee puhallusvilla. Lämmitystavaksi on valittu vesikiertoinen lattialämmitys, jossa päälämmönlähteenä on kaukolämpö ja täydentävänä lämmönlähteenä vesikiertoinen takka. Taloon tulee koneellinen ilmanvaihto, jossa esilämmitys tapahtuu sähköllä ja jälkilämmitys lämmitysjärjestelmän vedellä.

Vesikalusteita on sijoitettu WC-tiloihin, kylpyhuoneeseen, kodinhoitohuoneeseen ja keittiöön. Varusteluun kuuluu mm. kylpyamme, joka kuluttaa enemmän lämmintä käyttövettä kuin suihku.

2.2 Lämmityspiiriin tavoite ja sen tulevaisuus

Asukas on suunnitellut, että otettaisiin mieluiten auringosta sähköenergiaa veden lämmittämisen, koska aurinkosähkö on kannattavampaa ja edullisempi asentaa kuin vesikiertoinen aurinkoenergian kerääjä. Jos olisi vesikiertoinen aurinkolämmitysjärjestelmä ja varaaja täyttyy, osa saatavilla olevasta aurinkoenergiasta jäisi hyödyntämättä. Kun varaajaan asennetaan sähkövastukset lämmitys- ja käyttövettä varten, ylimääräinen sähköenergia on käytettävissä muihin tarkoituksiin tai myytäväksi sähköverkkoon.

Lämmityspiiriin lämmittäminen alkaa lattialämmityksen paluupuolelta ennen lämmönjakokeskusta. Tarvittaessa lämmönjakokeskus nostaa menoveden lämpötilaa ulkolämpötilan mukaan. Ensisijaisesti otetaan käyttöön varaajaan

lämmöt kolmitieventtiin ohjaamana. Kolmitieventtiin jälkeen vesi ohjataan kaukolämmön lämmönjakokeskuksen toisiopuolelle, joka on tarkoitettu lämmityspiiriksi. Kun varaajan lämmöt on käytetty, otetaan puuttuva energia kaukolämpöverkosta. Lämmitetty lattialämmityksen menovesi ohjataan kiertovesipumpulla jakotukille ja siitä lattian lämmityspiirien läpi uudelle kierrokselle.

Ohjauksen tekee kaukolämmön lämmönjakokeskuksen oma säätölaite Ouman EH-203. Laite on tarkoitettu yhdelle käyttövesipiirille ja kahdelle lämmityspiirille. Lämmönjakokeskus on kaksipiirinen ja talon lattialämmitys käyttää niistä yhden piirin, toisen ohjauspiirin jäädessä vapaaksi. Vapaata säätöpiiriä käytetään kolmitieventtiin ohjausyksikkönä. (Ouman tietopankki 2013.)

2.3 Lämpimän käyttöveden tavoitteet

Käyttövesi ohjataan varaajaan kahden käyttövesikierukan läpi. Alimmaisessa tapahtuu esilämmitys, sillä viileämpi vesi raskaampana pysyy alempana varaajassa. Ylimmäinen kierukka on varaajan kuumimmassa paikassa ja antaa varaajasta maksimilämpötilat. Varaajan lämpötila voi nousta korkeammaksi kun $+55^{\circ}\text{C}$, joka on käyttöveden tavoitelämpötila. Tämän vuoksi varaajan ja lämpöjakokeskuksen väliin on kytketty termostaattinen sekoitusventtiili, jonka säätöarvot ovat $+30^{\circ}\text{C}$... $+60^{\circ}\text{C}$. Sekoitusventtiili on säädetty lämpötilalle $+55^{\circ}\text{C}$. Venttiin jälkeen ohjataan käyttövesi kaukolämmön lämpöjakokeskukseen, toisiopuolen käyttövesipiirin läpi. Lämmönjakokeskuksen ohjauskeskus seuraa lämpimän käyttöveden lämpötilaa anturin avulla. Jos varaajasta ei tule riittävästi lämmintä käyttövettä, otetaan puuttuva osa kaukolämpöverkostosta. (Rakentamismääräyskokoelma D1 2007, 8,)

2.4 Lämmitysjärjestelmän kalusto

Kaluston valinnan kriteereitä ovat fyysinen koko, toimintavarmuus, kestävyys ja käytettävyys. Huolto- ja korjaustarpeeseen kannattaa varautua käyttämällä kalustoja, joihin saa myös 20 vuoden kuluttua varaosia. Talon teknisen tilan pinta-ala on $1,8\text{ m}^2$ ja korkeutta on 2,6 m. Siihen tulee mahtua 500 litran hybridivaraaja, lämmönjakokeskus, ilmanvaihtokone, paisuntasäiliö, keskuspolynimuri,

sähkökeskus, jakotukit, vesimittari ja putkisto. Tulevaa huoltoa ajatellen teknisessä tilassa kaikkien kohteiden tulee olla hyvin käsillä. Tässä kohteessa tekniikka saatiin hyvin mahtumaan, vaikka tila on hyvin rajoitettu.

Lämmönjakokeskus valitaan talon tilavuuden tai energiatarpeen mukaan. Muutamasta vaihtoehdosta valittiin haponkestävistä putkista valmistettu Högfors UNIS 100-2RF. Keskuksessa on kaksi piiriä toisiopuolella, käyttövesi- ja lämmityspiiri. Säätolaitte on Ouman EH-203, jossa on vapaana kolmas säätöpiiri. Tätä säätöpiiriä voisi käyttää varaajan ja lämmönjakokeskuksen väliseen lämmitysveden säätämiseen. (Rakentamismääräys asiakirja D5 2007, 10.)

Varaajan valinnassa ei ollut monia vaihtoehtoja. Varaajan valinnan tärkein kriteeri on fyysinen koko ja varaajaksi valittiin Jäspi GTV Hybrid 500 -energiavaraaja. Varaajan 500 litran tilavuus on pienelle vesikiertoiselle takalle ehkä liian suuri. Vesikiertoista takkaa ei pysty sisätiloissa lämmittämään jatkuvasti, sillä lämpösäteily takan suojalasin kautta on liian suurta. Takkaa käytetään enemmänkin apulämmitysmuotona kylminä vuodenaikoina. Varaajassa on kolme kierukkaa, kaksi käyttövedelle ja yksi esimerkiksi aurinkokennoille. Aurinkovarauskierukan käyttöönottoa varten aurinkokeräimien tehot kannattaa suunnitella niin, ettei varaaja ylikuumene.

Varaajan puoleenväliin sisäänrakennettu laipio jakaa varaajan kahteen osastoon ja varmistaa kylmän ja kuuman veden kerrostumisen, kun kuumempi vesi kevyempänä nousee ylös ja viileämpi vesi painuu alemmas. Molempien käyttövesikierukoiden teho on 100 kW ja ne on valmistettu 22 mm kupariputkesta. Varaajan ympärillä olevat hyvät eristeet estävät hukkalämmön pääsemisen tekniseen tilaan.

2.4.1 Vesikiertoinen takka ja sen tarvittava kalusto

Takaksi valittiin kulmamallinen Nemo 2B, jonka vedenlämmitysteho on 10 kW yksilaisena ja tähän taloon valitussa tuplalaisisessa mallissa 12 kW. Takassa on 39 litran säiliö ja tehtaan lupaama kokonaishyötysuhde on 78 %. Kokonaishyötysuhde

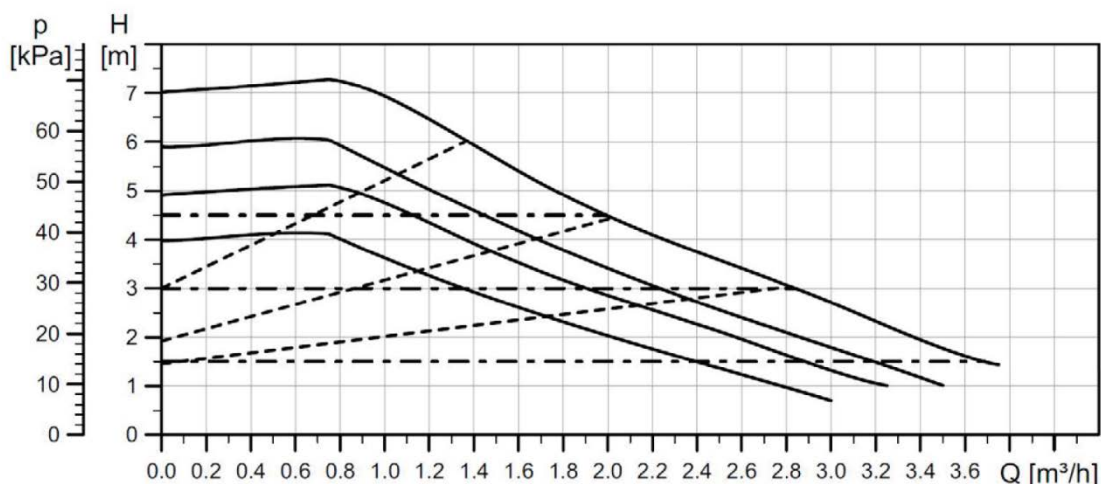
näyttää, paljonko takka siirtää lämpöä veteen ja antaa säteilylämpöä ympäristöön. Polttoaineen kulutukseksi on annettu 6,8 kg/h. (Nemo 2B 2019.)

Vesikiertoisen takan ja varaajan väliset putket on sijoitettu lattian alle. Vesikiertoisen takan riskinä on ylitämpi, minkä vuoksi väliputkien on oltava metallia. Paras vaihtoehto olisi korkeampaa lämpötilaa ja painetta kestävä haponkestävä tai kupariset putket, koska muoviputki kestää +90 °C:n lämpötilaakin vain hetkellisesti. Valittiin vaihtoehdoista edullisempänä 22 mm kupariputki, joka asennettiin eristeisiin lattiavalun alle. Putki on pehmeäksi hehkutettu, jotta se voidaan asentaa suojaputkeen. Suojaputkessa oleva kupariputki on mahdollista vaihtaa myöhemmin ilman lattian rikkomista. Toinen vaihtoehto on eristetty haponkestävä haitariputki, joka on tuntuvasti kalliimpi.

Hyvä lämpöeriste siirtoputken ympärille tehdään 200 mm Styrox-eristeestä. Putket sijoitetaan kahden 100 mm styroxin väliin. Muut järjestelmän putket ovat kuumasinkittyjä peltiputkia, jotka jäävät lattiapinnan yläpuolelle.

Latauspumpuksi tuli Termovar UPS2, jossa kiertovesipumppu on Grundfos UPM3 AUTO L-50. Termostaatti alkaa aueta +61 °C:n lämpötilassa ja on täysin auki +72 °C:n lämpötilassa. (Vexve Thermovar UPS2 2017.) Latauspumpun ulkokuoressa on kolme mekaanista lämpötilamittaria. Latauspumppu suositellaan sijoitettavaksi takan lähelle, mutta äänen ja huoltotarpeen vuoksi pumppu sijoitettiin teknisen tilaan, noin 6 m päähän takasta. Latauspumpun säätönupissa on kolme asentoa virtausteholle. Ykkösnopeudella $P = 40 \text{ W}$ ja kun korkeusero $H =$ noin 1,5 metri, virtaamaksi saadaan kuvion 1. mukaisesti $Q = 15 \text{ l/min}$. (Grundfos kiertovesipumppu UPM3 AUTO L-50 2015.)

Virtaama $15 \text{ l/min} = 0,25 \text{ l/s} = 0,9 \text{ m}^3/\text{h}$ on riittävä vesikiertoiselle takalle, jonka vesilämmitysteho on korkeintaan 15 kW.



Kuvio 1. Grundfos UPM3 AUTO L-50 kiertovesipumpun virtaaman ominaiskäyrä. (Grundfos kiertovesipumppu UPM3 AUTO L-50. 2015)

2.4.2 Venttiili ja ohjausmoottori

Kolmitieventtiili sekoittaa kahdesta suunnasta tuleva vettä. Venttiiliä voi säätää käsin tai sitä säätää venttiilimoottori. Venttiilimoottoria ohjaa lämmönjakokeskuksen säätökeskus, joka lukee kolmitieventtiilin kolmannesta haarasta lähtevää lämpötilatietoa. Toinen lämpötilatieto, jota tarvitaan säätämiseen, luetaan lämmönjakokeskuksen ulkolämpötila-anturista. Yhdellä anturilla saataisiin tasainen lämpötila kolmitieventtiilin jälkeen ja kahdella anturilla saadaan tarvittava menoveden lämpötila ulkolämpötilan mukaan. Asennetaan kolmitieventtiilille säätökäyrä, jonka perusteella venttiilimoottori alkaa toimia.

Kolmitieventtiili ottaa lämmitysenergiaa varaajaan yläosasta ja sekoittaa sen lattiasta palaavan veden kanssa. Kun on tarve nostaa lämmitysveden lämpötilaa, otetaan tarvittava lisälämpö varaajasta, jos siellä on lämmitysenergiaa. Kun varaajan lämpöenergia loppuu, otetaan tarvittava energia kaukolämpöverkostosta koko prosessin viimeisellä osalla.

Kolmitieventtiiliä ohjaa venttiilimoottori, joka tulee valita säätökeskuksen mukaan. Venttiilimoottoreita ohjataan kahdella tavalla.

1. Kolmipistehjauksessa on kolme sähköliitospaikkaa: nolla, auki ja kiinni. Kolmipistehjauksen tyyppinä voi olla 24 V tasa- tai vaihtojännitteellä tai 230 V vaihtojännitteellä toimiva venttiilimoottori. Jos on tarvetta avata venttiili, ohjataan venttiilimoottorille auki-asentoa vastaava jännite. Kiinni-asentoon venttiilimoottori lähtee pyörittämään, kun ohjataan päin vastoin.

2. Toisessa versiossa on myös kolme sähköliitosta: nolla, syöttö ja ohjaus. Syötön ja nollan välillä on 24 V tasajännite, joka on aina päällä. Ohjausjännitteellä 0-10 V tai 2-10 V ohjataan venttiilimoottoria. Ohjausjännite tarkoittaa, että arvolla 0 V (tai 2 V) venttiilimoottori on kiinni ja arvolla 10 V täysin auki. Venttiilimoottorin säätö on portaaton molemmilla jännitealueilla ja alueella 0-10 V esim. 3,3 V ohjausjännitteellä venttiili on auki 33 prosenttia.

Venttiilimoottori valitaan niiden parametrien mukaan, millainen ohjausjärjestelmä on ohjauslaitteessa (Ouman tietopankki).

Ouman EH-203 säätökeskus pystyy ohjamaan kaikenlaisia venttiilimoottoreita. "Vexve 245140, 24 VAC, 5 Nm, 140 s" kolmipisteventtiilimoottori on tyyppinä yksinkertaisin. AMV3 tuotantosarjaan kuuluva kolmitieventtiilin ominaisarvoilta 2,5 kvs, mistä pystyy virtaamaan läpi 2,5 m³/h nestettä.

1. "24 VAC" on 24-volttinen vaihtojännite.
2. "5 Nm" on venttiilimoottori, joka pystyy säätämään venttiiliä 5 Nm vääntövoimalla.
3. "140 s" on venttiilimoottorin täysin suljetusta asennosta täysin auki olevaan asentoon kuluva aika.

Venttiilimoottorin ominaisarvoista tärkeimmät ovat avautumisaika ja ohjaustyyppi. Nämä parametrit pitää syöttää säätökeskuksen asetusarvoihin. Säätökeskus tietää, kuinka kauan sitä saa ajaa, kunnes venttiili on kiinni tai auki ja millä jännitteellä. Avautumisaika on tieto säätölaitteelle, milloin se on puolessa välissä. Venttiilimoottorissa ei ole yli- tai aliajon vaaraa, koska siinä on omat alku- ja loppupään katkaisimet, jotka katkaisevat syöttövirran, kunnes on saavutettu tavoite.

Tällä ehkäistään hammaspyörien tai sähkömoottorin rikkoutuminen. (Vexve sekoitusventtiili)

2.4.3 Paisuntasäiliö

Lämmönjakokeskuksessa on oma pieni paisuntasäiliö, tilavuudeltaan 12 litraa. Nyt lisättiin samaan vesipiiriin 500 litran hybridivaraaja, vesikiertoisen takan oma vesisäiliö 31 litraa sekä vielä syöttöputkien tilavuus. Paisuntasäiliön koko valitaan lämpötilan muutoksen ja lämmitettävän veden tilavuuden perusteella.

Veden tiheys +20°C on 0,99820 g/cm³

Veden tiheys +100°C on 0,95836 g/cm³

Veden ominaistilavuus kasvaa $0,99820 \text{ g/cm}^3 / 0,95836 \text{ g/cm}^3 = 1,042 \approx 4,2\%$.
(Veden tiheys)

Lasketaan lämmitysveden tilavuus: paisuntasäiliö 12 litraa + varaaja 500 litraa + takan säiliö 31 litraa + lattialämmitysputkien tilavuus 85 litraa (640 m 17 mm) + syöttöputkitukset noin 20 litraa = 648 litraa.

Paisuntasäiliötilavuudeksi saadaan 4,2 % mukaan 27,2 litraa tapauksessa, jossa koko lämmitysvesitilavuus muuttuu välillä +20 °C ... +100 °C. Jos esim. varaajassa saavutetaan +95 °C:n lämpötila, eivät lattialämmityspiirien ja lämmönjakokeskuksen putkistojen lämpötilat nouse korkeammaksi kuin +45 °C. Sillä teoriolla olisi korkeamman lämpötilan alueella tilavuus seuraavanlainen: varaaja 500 litraa + takan säiliö 31 litraa = 531 litraa, josta 4,2 % mukaan on 22,3 litraa paisuntatilavuutta. Lämmönjakokeskuksen oma paisuntasäiliö on 12 litraa ja siitä käytetään ehkä 50 %, jolloin käyttämättä jäisi 6 litraa. Kuumemman lämmitysveden puolella on 27,2 litran paisuntasäiliötarve, josta voi poistaa lämmönjakokeskuksen paisuntasäiliön ylimääräisen tilavuuden 6 litraa. Lopputuloksena saadaan 27,2 litraa – 6 litraa = 21,2 litran paisuntasäiliötilavuudelle on tarve. (Paisuntasäiliö)

Verkostoon lisättiin 50 litran paisuntasäiliö, mikä tekee lämmitysverkoston paisuntasäiliön kokonaistilavuudeksi 62 litraa. Varaajaan asennettiin varmuuden

vuoksi varoventtiili ja lämmönjakokeskuksessa on tehdasasennettu varoventtiili, joka avautuu, kun verkoston paine nousee yli 2,5 barin.

2.5 Lämmitysjärjestelmän suunnittelun haasteita

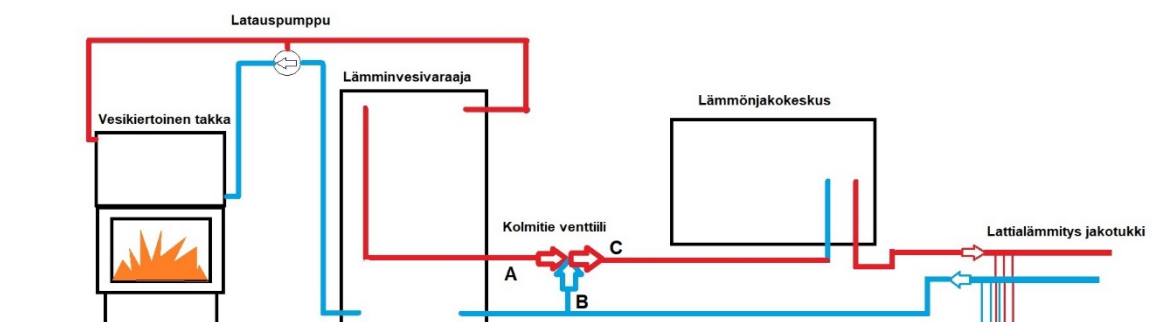
Mitä vähemmän järjestelmässä on tekniikkaa, sitä yksinkertaisempia asiat aina ovat. Järjestelmän voi suunnitella yksinkertaiseksi tai monimutkaiseksi. Yksinkertainen järjestelmä toimii, mutta ei ole 100 % täydellinen. Monimutkainen järjestelmä sisältää paljon tekniikkaa ja voi olla helposti vikaantuva. Suunnittelussa tulee harkita, kuinka tarpeellinen joku toiminto on ja mitä haittaa olisi sen jättämisestä.

Suunnitteluvaiheessa oli mukana kaksi kolmitieventtiiliä, mutta sen ohjaaminen ei olisi onnistunut lämmönjakokeskuksen säätölaitteen kautta. Lämmönjakokeskuksen säätölaitteessa on tila vain yhdelle ylimääräiselle venttiilimoottorille.

1. Yksi lisäventtiili olisi ollut avattuna vasta sitten kun varaaja on lämpimämpi kuin paluuvesi lattiasta. Jos varaajan lämpötila olisi ollut pienempi kuin lattiasta paluuvesi, olisi turha kierrättää vettä varaajan kautta ja menisi vähemmän lämmitysenergiaa kaukolämpöverkostosta. Venttiilin lisääminen järjestelmään olisi yksinkertaista, mutta ohjaus vaikeampaa.
2. Toinen venttiili sekoittaa varaajasta tulevan ja lattiasta palaavan lämmitysveden ja ohjaa veden lämmönjakokeskukselle. Tämä venttiili on toiminnan kannalta tärkeä ja välttämätön järjestelmässä.

Sellaisen ominaisuuden rakentamiseksi, johon tulee kaksi venttiiliä, tarvitaan lisäksi toinen säätölaite. Toisen venttiilimoottorin suunnittelu olisi onnistunut toimilaitteella, jossa on oma anturi ja asetusarvojen syöttömahdollisuus. Tällainen järjestelmä lisää asennuskustannuksia. Lämmönjakokeskuksen säätölaite Ouman EH-203 pystyy lukemaan toisen säätölaitteen tietoja väylien kautta. Sellaisella linkityksellä saisi

liitettyä enemmän toimilaitteita järjestelmään. Ensimmäinen venttiili jätetään pois järjestelmästä, millä saavutetaan yksinkertaisempi järjestelmä. Ainoa asia siinä on se, että varaajassa on aina pieni lämpö, joka saadaan lattian paluuedestä. (Ouman tietopankki)



Kuvio 2. Lämmitysjärjestelmän kytkentäkaavio.

Kuviossa 2. on kytkentäkaavio, jossa on yksi toimintaventtiili. Ohjataan kolmitieventtiiliä lämmönjakokeskuksesta niin, että varaajan lämminvesi (piste A) sekoitetaan lattiasta paluuveteen (piste B), mikä siirtyy (piste C) lämmönjakokeskukseen. Tällaisella toiminnolla kierto varaajan kautta on aina. Paitsi jos lämmityskäyrän mukaan ei olisi lämmitykselle tarvetta voi olla täysi kierto vain pisteen B ja C välillä. Sitten on varaajan käyttäminen pois pelistä, mikä tapahtuu silloin, kun pihalla on lämmin.

Lattiasta palaava lämmitysvesi voi olla kesällä noin +20-asteista, kun säädetty minimi lämmitysveden lämpötila kesällä on +22 °C, jotta suihkuhuoneen lattia kuivuu nopeammin. Paluuvesi lattiasta virtaa varaajasta läpi lämmönjakokeskukseen ja varaajassa vesi on aina vähintään +20-asteinen.

Kylmän käyttöveden lämmitysprosessi alkaa varaajan alimmaisesta kierukasta. Seuraavaksi esilämmitetty käyttövesi sitoo lämmöt myös varaajan yläosasta, jossa on korkein lämpötila. Varaajan kautta kierron olisi saanut jättää pois toisella venttiilillä, mutta periaatteessa sellaista toimintoa ei tarvita, sillä varaaja ja putket ovat muutenkin hyvin eristetyt hukkalämmön vuoksi. Hukkalämpöä tulee erittäin vähän, jos varaajan ympärillä olevan tilan lämpötila on reilusti yli +20 °C. Tätä ei voi

kutsua hukkalämmöksi. Hyvä puoli siinä on se, että kaukolämpökatkoksen aikana varaajasta saataisiin hieman lämmitysenergiaa.

2.6 Lämmitysenergian luovuttaminen

Lämmitysenergian luovuttaminen tapahtuu korkea- tai matalalämpötilaisella järjestelmällä. Vanhemmat patterit on suunniteltu niin, että lämmitysveden lämpötila on korkeampi kuin nykyajan lämmityspattereilla. Ominaisarvona on jopa 80/60, mikä tarkoittaa, että tuleva lämmitysvesi on +80-asteista ja lähtevä vesi +60-asteista. Yleinen ominaisarvo lämmityspattereilla on 60/40 ja uusimmissa 45/30. Mitä matalamaksi lämmitysveden lämpötila menee, sitä suuremmaksi kasvaa patterin lämmönluovutuspinna-ala. Vanhojen pattereiden ominaisarvo 80/60 on ongelmallinen esimerkiksi maalämpöpumpulle, josta saadaan kompressorin avulla korkeintaan +55 ... +62-asteista vettä. Tällöin voi kovimmilla pakkasilla sisälämpötila laskea reilusti. Sähköisiä lisävastuksia maalämpöpumpun sisällä apulämmittiminä käyttämällä lämpöpumpun kannattavuus huononisi, joten pattereiden vaihto on tässä tapauksessa kannattavaa. Korkealämpötilan järjestelmässä olisi vesikiertoisella takalla vain apulämmitystehtävä. (Hannu Savo 2017, 18.)

Talo suunnitellaan niin että siinä on matalalämpötilajärjestelmä, jossa voi myös käyttää vesikiertoista takkaa jopa päälämmitysmuotona. Sellainen onnistuisi riittävän tehokkaalla takalla ja isolla varaajalla. Talon ilmanvaihtokone tulee olemaan vesikiertoisella jälkilämmityspatterilla. Ilmanvaihtokoneessa ilmaa jälkilämmittää vesikiertoinen patteri. Patterin voi valita korkea- tai matalalämpötilajärjestelmän välillä. Tässä tapauksessa korkealämpötilajärjestelmä tarkoittaa 40/60 vesipatteria, joka on suunniteltu normaalisti +55 °C-asteiselle käyttövedelle. Swegon w4 Econo ilmanvaihtokoneen (Kuvio 3) lämmityspatteri on suunniteltu +35 ... +70 °C ja siihen sopii sekä normaali lattialämmitysvesi että lämmin käyttövesi. (Swegon tietopankki 2019, 24.)

CASA W4 Econo

Vesilämmityspatterin mitoitus

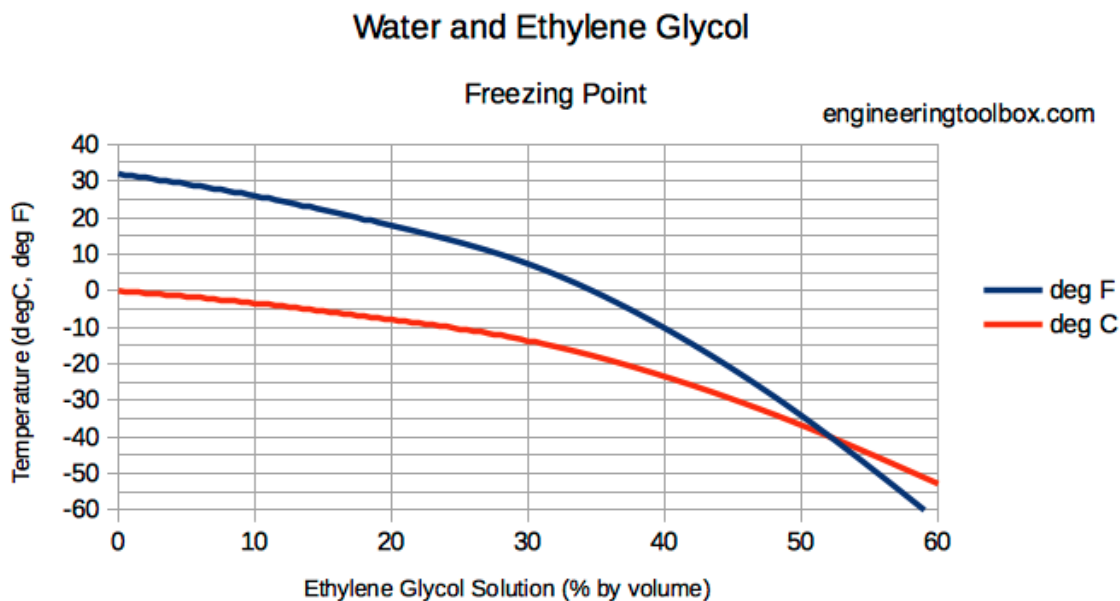
Tulovesivirta °C	Vesivirta l/h	Ilmavirta, l/s Ilmavirta, m ³ /h Teho W		
		40 144	60 216	80 288
35	40	260	310	330
	80	360	430	470
	150	400	490	560
	220	420	520	600
50	40	450	540	580
	80	590	710	790
	150	650	810	920
	220	680	840	980
70	40	730	860	930
	80	890	1070	1230
	150	1000	1130	1410
	220	1040	1280	1490

Kuvio 3. Swegon w4 Econo -ilmanvaihtokoneen vesilämmityspatterin mitoitus.

2.7 Lämmityspiirin neste

Lämmityspiiriin lisätään pakkasnestettä/etyleeniglykolia. Se liukenee täysin veteen ja antaa pakkaskestävyyttä lämmityspiirivedelle. Etyleeniglykolia lisätään verkostoon sen verran, että saadaan varmuuden vuoksi jonkinlainen pakkaskestävyys, koska ulkoseinän vieressä olevan lattialämmityspiirin termostaatti, venttiilin toimimoottori tai kiertovesipumppu saattaa vioittua kovilla talvipakkasilla. Jotta lattiassa olevat putket eivät vaurioidu, lisätään etyleeniglykolia pitäen pakkaskestävyyden tavoitearvona -10 °C. Vaikka seos teoriassa kestää vain -10 °C pakkasen, ei neste vielä -10 °C:n alittavissa lämpötiloissa muutu täysin jääksi. Puhtaan jään tiheys on noin 0,9 kg/dm³ ja vedellä 1,0 kg/dm³, joten jään tilavuus on noin 10 % vettä suurempi. Etyleeniglykolin lisääminen veteen muuttaa kovalla pakkasella seoksen hillomaiseksi, mutta tilavuus pysyy samana. Se ei vielä riko lämmitysputkia, mikä antaa enemmän varmuutta järjestelmään. Etyleeniglykolin ja veden seos on myös hieman tahmea ja sen etuna saadaan venttiilien ja kiertovesipumpun voitelu - lattialämmityksen jakotukkien venttiilit saattavat joskus jäädä jumiin. Tätä riskiä etyleeniglykolin lisääminen pienentää. (Pakkasneste, etyleeniglykolin suhde)

Lämmitysjärjestelmän tilavuus on noin 648 litraa ja kun siihen lisätään 90 litraa 100-prosenttista etyleeniglykolia, saadaan 12,2 % seos $((90 \text{ l} / (648 \text{ l} + 90 \text{ l})) * 100 \%)$, joka antaa noin -8 °C pakkaskestävyyden (Kuvio 4).



Kuvio 4. Etyleeniglykolin ja veden suhdetaulukko. (Pakkasneste)

Etyleeniglykolin lisääminen lämmityspiiriin pienentää lämmitysveden ominaislämmönkapasiteettia. Veden ominaislämpökapasiteetti 4,186 kJ/(K·kg) on suurempi kuin etyleeniglykolin 4,02 - 3,17 kJ/(K·kg), mikä tarkoittaa, että seos sitoo vähemmän lämpöä kuin puhdas vesi. Ominaiskapasiteettiero on niin vähäinen, että lämmityspiirissä normaalistikin pidettävä hieman korkeampi lämpötila antaa termostaateille pelivaraa säätämisessä. Tämä kompensoi vesi-etyleeniglykoliseoksesta puuttuvan lämpökapasiteetin puuttuvan osan, ilman että olisi tarpeen esimerkiksi suurentaa kiertovesipumpun virtaamaa.

3 VESIKIERTOINEN TAKKA

3.1 Vesikiertoinen takka ja lämmön kerääminen

Tavallinen varaava takka luovuttaa lämmitettäessä lämpöä epätasaisesti rakennuksessa. Koneellisella ilmanvaihdolla voidaan siirtää lämpöä kierrättämällä ilmaa paikkoihin, joissa on tuloilmaventtiilit. Lämmityksen tasaisuutta ei tässä tapauksessa kuitenkaan voida säätää. Vesikiertoisen takan lämmitysenergiaa pystytään siirtämään ja säätämään huonekohtaisten tarpeiden mukaan.

Vesikiertoisen takan päällä on vesisäiliö, josta takan lämmittämä vesi ohjataan varaajaan. Lämmön siirtäminen aloitetaan vasta, kun takan vesisäiliön lämpötila on lähellä +63 °C ja tämä sen vuoksi, että vesikiertoisen takan hyötysuhde on korkeampi lämpötilan ollessa yli +60 °C. Lämmön siirtämisessä käytetään latauspumppua, jonka sisällä oleva termostaatti aukeaa vasta sitten, kun vesi on riittävän kuumaa. Termostaatin auetessa alkaa lämmön lataaminen varaajaan, joko termostaattisella tai kierrosohjatulla latauspumpulla. (Latauspumppu)

3.1.1 Latauspumput

Tässä pumpputyypissä on oma kiertovesipumppu ja mekaaninen termostaatti. Pumppu kierrättää vettä vesikiertoisen takan ja latauspumpun välillä niin kauan, kun veden lämpötila on yli 63 °C. Termostaatti on hitaasti aukeava ja on täysin auki vasta +70 °C:n lämpötilassa. Latauspumppu ottaa varaajan alaosasta viileämpää vettä tilalle samalla, kun kuumaa vettä siirtyy varaajan yläosaan. Termostaattisen latauspumpun toiminnan loppuessa takan vesisäiliöön jää vielä ainakin yli +63-asteista vettä. (Vexve Thermovar)

Latauspumppu sijoitetaan takan lähelle, jottei syntyisi pitkien syöttölinjojen vuoksi lämpöhukkaa. Sähköinen termostaatti tai ohjauspaneeli mittaa lämpötilan takan vesisäiliöstä ja kytkee latauspumpun päälle vasta, kun lämpötila takan vesisäiliössä on +55 °C. Latauspumpun automaattinen päälle ja pois kytkeminen säästää sähköenergiaa ja pidentää pumpun elinikää. (Vexve Thermovar)

Toisena pumppuvaihtoehtona olevassa kierrosohjatussa latauspumpussa ei ole lainkaan termostaattia. Pumpun ohjausyksikkö mittaa vesikiertoisen takan lähtevän veden lämpötilaa ja muuttaa sen mukaan kiertovesipumpun kierroslukua, millä saadaan pidettyä tasainen lämpötila takan vesisäiliössä. Sama lämpötila on takan vesisäiliön yläosassa ja lähtevän veden putkessa. Näin aikaansaadaan ilman termostaattia sama toiminta kuin termostaattisella latauspumpulla. Termostaatin puuttuminen vähentää huoltoriskin yhden kohteen verran pienemmäksi. Systemissä on kaksi anturia, mutta niistä on helppo todeta viat ja vaihtaa uusiksi. Yksi anturi mittaa tulevan ja toinen menevän veden lämpötilan. Tällaisella pumpulla saadaan viimeisetkin lämmöt siirrettyä varaajaan. Painehäviöt ovat pienemmät kuin tavallisella termostaattisella latauspumpulla, mikä helpottaa veden siirtoa. Kierrosohjattu latauspumppu on kustannuksiltaan kalliimpi, koska siinä on oma ohjausyksikkö ja lineaarisesti säädettävä kiertovesipumpun moottori. Tämän tyyppisen latauspumpun ohjausyksiköstä pystyy myös lukemaan teholumemat, jotka lasketaan tulevan ja menevän veden lämpötilaerosta ja virtaamasta. Pumpun kierroksista pystytään laskemaan virtaama, josta saadaan ominaisvirtaama tietyillä kierroksilla. Pumpussa on ainoa haittapuoli se, että pumppu ei pysty siirtämään vettä tosi pienellä litramäärällä. Se voi olla haitaksi pienelle kattilalle tai vesikiertoiselle takalle. Kierrosohjattu pumppu pitää vesikiertoisen takan lämpötilan liian alhalla, kun vesi kiertää liian nopeasti. Tämän vuoksi hyötysuhde laskee.

3.1.2 Eristäminen

Takan ympärille rakennetaan kuori kalsiumsilikaattilevystä, joka on hyvä lämmöneriste. Sen lämmönjohtavuus on $0,08 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, minkä ansiosta takasta saadaan enemmän tehoa irti ilman, että lämpöä karkaa huonetilaan. Takan päälle ja sisälle olisi hyvä laittaa paloeristettä, etteivät lämmöt karkaa myös yläkautta pois. Takan yläosaan ei tule kiinteää kalsiumsilikaattilevyä, siellä pitää olla huoltoluukku. Sinne voi laittaa esimerkiksi peltiluukun, ja sen alle paloeristeen. Tämä mahdollistaa myös keväisin ja syksyisin tehokkaamman lämmityksen vesikiertoisella takalla. (Kalsiumsilikaattilevy)

3.1.3 Riskit

Lämmitettäessä vesikiertoista takkaa tarvitaan latauspumpulle sähköä ja ellei pumppu toimi, lämpenee vesi koko ajan tulta pidettäessä. Jotta estetään veden kiehuminen, suositellaan takan vesisäiliön sisälle asennettavaksi jäähdytinkierukka, johon ohjataan tarvittaessa kylmä käyttövesi. Vesi ohjataan kierukkaan kapillaarianturilla varustetun termostaattiventtiilin kautta, joka aukeaa, kun lämpötila takan vesisäiliössä nousee +95 asteeseen. Venttiili ohjaa tällöin kylmää käyttövettä kierukan läpi viemäriin ja tällä saadaan kiehumisriski hallintaan. (Turvaventtiili)

Ellei rakennukseen tule kunnallista vesijohtoa, kylmän käyttöveden saanti tulee sähkökatkoksen varalta varmistaa varaavalla sähkölaitteella tai omalla painevesisäiliöllä. Tämä vaihtoehto on realistinen toteuttaa tapauksissa, jolloin sähkökatkon jälkeen käyttövesipaine pienenee tai katoaa kokonaan.

Näitä riskejä kannattaa miettiä asuinrakennuksissa erityisesti maaseudulla, missä luonnonvoimat voivat aiheuttaa usean vuorokauden sähkökatkoja. Siellä missä paineellinen käyttövesi on riippuvainen sähköstä, tulee järjestää oma painevesisäiliö sähkökatkojen varalle. Jos vesikiertoisen takan jäähdytys puuttuu ja kiertovesipumppu ei pyöri, viimeisenä vaihtoehtona sammutetaan tulipesä.

3.1.4 Luonnollinen kierto

On mahdollista rakentaa vesikiertoisen takan ja varaajan välille luonnollinen kierto. Tällöin takalta lähtevä lämmin latausputki on reilusti suurempi kuin paluuputki. Kun putken kaltevuus on nousevassa suunnassa takasta lähtien, kuuma vesi kylmää kevyempänä nousee ylöspäin ja virtaus jatkuu isomman putken kautta varaajaan. Varaajasta viileämpi vesi virtaa alakautta takkaan ja näin toimii luonnollinen kierto.

Luonnollisen kierron järjestelmä toimii parhaiten, kun korkeuserot ovat sopivia ja nousu tasainen. Myös varaajan ja takan välinen lyhyt etäisyys parantaa luonnollisen kierron toimintaa.

Vapaakiertoisen järjestelmän putkistot ovat yksinkertaisia rakentaa, mutta välillä oleva latauspumppu voi muodostua ongelmaksi. Termostaattisessa

latauspumpussa on termostaatin ohitus ja sulkemalla pumpun kiertventtiili saataisiin vapaakierto järjestelmään. Kuitenkin sähkön katketessa kesken takan lämmityksen ovat laitteet melko kuumia, kun yrittää lähteä kääntämään termostaatin ohitusta vapaan kierron aikaansaamiseksi.

Kierrosohjatulla latauspumpulla ei ole termostaattia ja pumpusta saisi vähäisen vedenvirtauksen läpi, mutta se ei välttämättä ole riittävä. Vapaakierto voidaan aikaansaada rakentamalla latauspumpun rinnalle venttiilillä varustettu ohitusputki, mikäli putkisto on rakennettu vapaakierrolle sopivaksi. Tulee muistaa, että mitä korkeampi on varaajan lämpötila, sitä suuremmaksi kasvaa kierto takan ja varaajan välissä. Kun rakennetaan vapaakierron järjestelmä ilman latauspumppua, on yksi kuluva osa vähemmän.

3.1.5 Varasähköjärjestelmä

Korvaavaksi sähkölaitteeksi sopii esimerkiksi akkukäyttöinen verkkovirralla toimiva keskeytymätön virransyöttöjärjestelmä. Sillä on normaalit akkujen huoltovälit, mikä aiheuttaa tietyt kustannukset. Varasähkölaitteeksi sopii myös aggregaatti, jolla on omat kustannus- ja huoltovaikutuksensa. Tällaisessa tapauksessa tulee sähköjärjestelmä olla rakennettu niin, että sähkönsyöttö pumpulle on helppoa ja että aggregaatin käynnistys tapahtuu nopeasti.

3.1.6 Erillinen painevesisäiliö

Vesikiertoiseen takkaan saa asennettua tai siinä on sisäänrakennettu jäähdytyskierukka, joka tarvitsee kylmää jäähdytysvettä. Jos vesi otetaan omasta kaivosta, sähkökatkoksen aikana katoaa vesipaine verkostosta. Tämän varalta olisi hyvä olla jäähdytyskierukalle oma painevesisäiliö. Erillinen painevesisäiliö on tilaa vievä ja myös huoltoa ja tarkistusta vaativa järjestelmä. Yhdellä yksisuuntaventtiilillä varustettu painevesisäiliö saa vedenpaineen käyttövesijärjestelmästä ja jos verkoston paine häviää, yksisuuntaventtiili lukittuu ja paine pysyy säiliössä. Painevesisäiliön tilavuuden tulee olla selkeästi suurempi kuin laskettu jäähdytysvesimäärän tilavuus. Painevesisäiliön sisällä on kalvo tai ilmapussi, mikä

myös vaikuttaa säiliön kokoon. Huoltoa edellyttävät kohteita ovat yksisuuntaventtiilin ja kalvon toimivuuden varmistaminen.

Riskeihin kuuluva ylikuumentuminen olisi helposti tarkistavissa varaajassa olevasta lämpötilamittarista, jonka näyttö olisi talon sisätiloissa. Mittarin tulisi olla digitaalinen ja siinä tulisi olla ylälämmön äänimerkki, joka ei kuitenkaan saa olla häiritsevän kova tai pitkäkestoinen. Tässä talossa mittalaitteen ja anturin välinen etäisyys on noin 10 metriä. Lämpötilamittarin mukana ollutta 10 cm pituista anturinjohtoa pidennettiin 10 metriä, mikä suurentaa lämpötila-anturin vastusta. Anturin tyyppi on NTC ja vastus kilo-ohmiluokkaa. Jatkojohdosta tulee muutaman ohmin lisävastus, mutta se ei vaikuta lämpötilamittaukseen, sillä NTC-anturin vastus pienenee lämpötilan kasvaessa.

3.2 Polttoaine

Polttoaineena käytetään ylivuotista kuivaa polttopuuta, sen kosteus on tällöin 15-20 %. Mitä tiheämpi puu, sitä kauemmin se palaa ja lämmitysaika on pidempi. Kuviossa 5 on esitetty kuivan puun ja kosteudeltaan 20-prosenttisen puun lämpöarvoja painoyksikköä kohti, hyötysuhteella 100 %. Esimerkkitalon vesikiertoisen takan kokonaishyötysuhde on 78 % (2.6.3), kun veden lämpötila vesisäiliössä on yli +63 °C. 78 % kokonaishyötysuhteesta lämmitysveteen siirretty osuus ei ole tiedossa. Realistinen arvio on, että noin 30 % saadaan siirrettyä veteen ja loppu siirtyy säteilylämpönä ympäröivään huonetilaan. Alkulämmitysvaiheessa hyötysuhde on pienempi. Polttamalla lämpimässä takassa 1 kg kuivaa (20 %) koivupuuta saadaan $4,1 \text{ kWh/kg} \times 30 \% = 1,23 \text{ kWh}$ lämmitysenergiaa veteen. (Kuvio 5) Laskelmassa ei ole huomioitu hukkalämpöä eikä virhearvoja.

Polttopuiden hankkiminen ja kuljetus saattavat olla työläs prosessi, riippuen omistajan osaamisesta ja ajankäyttömahdollisuuksista. Hankinnan kustannukset ratkaisevat, onko puun polttaminen kannattavaa. Kannattavuus loppuu, jos polttopuusta saatu energia ja järjestelmän huolto maksavat enemmän kuin kaukolämpö. Tässä tapauksessa esimerkkitalon omistaja saa puutavaran ilmaiseksi, eikä omalle työlle lasketa hintaa.

Puulaji	Kuiva- aineen tehollinen lämpöarvo	Tehollinen lämpöarvo, 20 %:n kosteus	Tehollinen lämpöarvo	
			kWh/irto-m ³	kWh/pino-m ³
Mänty	5,4	4,2	810	1 360
Kuusi	5,3	4,1	790	1 320
Koivu	5,3	4,1	1 010	1 700
Koivun tuohi	6,3	4,9		
Haapa	5,1	4,0	790	1 330
Leppä	5,2	4,1	740	1 230
Puubriketti	5,3	4,7*	3 120	

* 10 %:n kosteudessa

Lähde: Alakangas, Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia, VTT Tiedotteita 2045. Työtehoseura: Pilkeopas omakotitaloille.

Kuvio 5. Puulajien energiasisällöt. (Hillebrand 2010.)

Vesikiertoisia takkoja ja kamiinoita on saatavana myös pellettikäyttöön. Pellettitakassa on pelletinsyöttöjärjestelmä ja sen tulipesä on pienempi. Pelletti palaa kovalla ja kuumalla liekillä ja tarvitsee enemmän palamisilmaa. Palamisilma syötetään tulipesälle puhaltimella, joka pitää omaa ääntä. Pellettitakan ulkonäkö poikkeaa melko paljon perinteisestä takasta.

4 KAUKOLÄMPÖ

Kaukolämpö on taajama-alueilla yleisin lämmitysmuoto. Kaukolämmön lämmönjakokeskus on sen tehoon verrattuna pienikokoinen. Lämmönjakokeskuksen periaate on siirtää kaukolämpöverkossa kulkevasta vedestä lämpöä lämmitykseen ja käyttöveteen lämmönsiirtokennon (lämmönvaihdin) avulla. Lämmönvaihtimessa kaukolämpövesi ja kiinteistön lämmitysvesi virtaavat ´ristiin´ toisiinsa koskematta levykennosta läpi. Kaukolämmön vesi ensiöpuolella lämmittää lämmönsiirtokennon haponkestävän metalliseinän, joka siirtää lämmön toisiopuolen lämmitysveteen. Toisiopuolen lämpötiloja ohjaa ohjausyksikkö, joka tarkkailee ulkolämpötilaa ja laskee menoveden lämpötilan ohjearvojen mukaan. (Högfors)

Kaukolämpöpiiristä tulee lämpöä nopeasti, varmasti ja tasaisesti, minkä tähden kaukolämpö on hyvä päälämmitysmuoto vesikiertoisen takan rinnalle.

4.1 Säätolaitte

Kaksipiirisessä lämmönjakokeskuksessa on sama ohjauslaite kuin kolmipiirisessä, eli kaksipiirisessä lämpöjakokeskuksessa kolmas piiri on vapaana. Tarkoituksena on ottaa kolmas piiri käyttöön ohjamaan apulämmitysjärjestelmää. Piiriin tarvitaan lisävarusteiksi kolmitieventtiili, sen säätömoottori sekä ainakin yksi pinta-anturi. Näillä komponenteilla saadaan apulämmitysjärjestelmä toimimaan.

4.2 Kestävyys

Lämmönjakokeskuksen putkistot ja lämmönsiirtimet on tehty haponkestävästä materiaalista, koska edellytyksenä on pitkä elinkaari ja varma toimivuus. Putkisto tehdään joko haponkestävästä teräksestä tai haponkestävästä kuparista. Venttiilit ja liittimet ovat haponkestävästä teräksestä tai haponkestävästä messingistä. Vaurioherkimpiä ovat liikkuvat osat, kuten kiertovesipumput, venttiilit, venttiilimoottorit ja anturit.

4.3 Riskit

Kaukolämmön lämmönjakokeskus toimii hienosti niin kauan, kun sähkökatkoksia ei tule tai kaukolämpöverkostosta ei lopu lämpöenergia. Sähkökatkos on todennäköisempi kuin lämpöenergian loppuminen. Sähkökatkoksen aikana eivät toimi kiertovesipumput eivätkä säätöventtiilit, jotka voivat jäädä samaan asentoon kuin missä ne olivat sähkökatkoksen tullessa. Tällöin lämmitysverkoston vesi alkaa viiletä, vaikka säätöventtiili olisi jäänyt auki. Kiertovesipumppu ei kierrätä lämmitysvettä ja lattiat viilenevät. Talvella on lattialämmitysputkiston jäätymisvaara, jos järjestelmässä ei ole pakkasnestettä.

Käyttöveden puolella verkostossa pysyy paine, jos on kyseessä kaukolämpöalue. Sähkökatkoksen alettua säätöventtiili jää pienimmissä lämmönjakokeskuksissa ”avattu”-asentoon. Rivitalojen ja kerrostalojen isompien lämmönjakokeskusten kuuman käyttöveden säätöventtiilit sulkeutuvat itsestään sähkökatkoksen alkaessa. Kuuman käyttöveden lämpötila nousee korkeaksi ja veden tilavuus kasvaa. Lämmönjakokeskuksessa on sen vuoksi varoventtiili, joka aukeaa käyttöveden puolelle, kun verkoston paine ylittää 10 barin painerajan. Sähköjen katoamisen jälkeen kuuman käyttöveden kiertovesipumppu ei pyöri - muuten olisi koko kiertoveden lämpötila vaarallisen korkealla.

Sähkökatkoksen riski kaukolämpöverkoston alueella on yleensä melko pieni. Sähkökatkoksen aikana ainoa lämmitysmuoto olisi ´perustakka´. Vesikiertoinen takka toimisi tällaisessa tapauksessa, jos luonnollinen kierto toimisi vesikiertoisen takan ja varaajan välissä. Siinä tapauksessa saataisiin kuitenkin vain lämmintä käyttövettä. Suunnittelukohteessa luonnollinen veden kierto ei onnistu, koska syöttöputket menevät lattian alla. Onnistuakseen varaajan olisi pitänyt sijaita takan lähellä seinän takana.

5 SÄÄTÄMINEN

5.1 Ohjausyksikön säätäminen

Ohjausyksikön säätölaitteessa on kolme säätöpiiriä: LV - lämmin käyttövesi, L1 - ensimmäinen lämmityspiiri ja L2 - toinen lämmityspiiri. Lattialämmityspiirille on säädetty lämmönjakokeskuksesta L1 tavoitelämpötila, koska kaukolämpö on rakennuksen päälämmitysmuoto ja se täydentää apulämmitysmuotoa. Varaajasta lämmönjakokeskukseen säätää piiri L2, jolla asetusarvot on laitettu pari astetta pienemmäksi. Jos sekä päälämmityspiirille L1 että apulämmityspiirille L2 asetetaan samat säätöarvot, alkaa säätökeskus antaa vikailmoituksia. Säätölaite alkaa tunnistaa vikaa, jos lattialämmityksen paluuvesi on korkeampi kuin menovesi. Ero voi johtua lämpötila-antureiden virhearvosta tai säätömoottorin nopeudesta. Myös venttiilipohjat voivat olla erilaiset, mikä antaa erilaiset virtaukset venttiilistä läpi. Varaajasta tulevan veden lämpötila tulisi olla hieman alhaisempi kuin lattian tavoitelämpötila, ettei päälämmitysmuoto pyri sulkemaan säätöventtiiliä yllilämmön vuoksi. Tämä kuormittaisi venttiilimoottoria jatkuvasti ja tuloksena olisi venttiilimoottorin vaurioituminen. Häiriöarvojen muuttaminen lämmönjakokeskuksesta auttaisi tähän, mutta se ei ole järkevää, vaan arvot kannattaa pitää kohdallaan.

5.2 Latauspumpun säätäminen

Latauspumppu sijaitsee takasta noin 6 metrin päässä, teknisessä tilassa. Latauspumppua Termovar UPS2 pystyy säätämään ja siinä on kolme nopeutta, joiden säätöalueet näkyvät kuviossa 1.

Lasketaan lämpöenergiayhtälön (1) avulla veden tilavus.

$$Q = \frac{\rho \times c_p \times V \times (t_2 - t_1)}{3600}$$

(1)

, jossa

Q on veden lämmittämiseen kuluva energia 15 (kWh), vesikiertoisen takan tehdasarvo maksimi

ρ on veden tiheys (1 000 kg/m³)

C_p on veden ominaislämpökapasiteetti (4,2 kJ/kg°C)

V on veden määrä (m³)

t_2 on lämmitetyn veden lämpötila +100 °C, maksimilla

t_1 on lämmitettävän veden lämpötila, tyypillisesti +95 °C, maksimilla

3600 - yksikkömuunnoskerroin (kJ->kWh)

$$V = (15 \text{ kw} \times 3600) / (1\,000 \text{ kg/m}^3 \times 4,2 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \times (+100\,^\circ\text{C} - +95\,^\circ\text{C})) \\ = 3,14 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q \text{ (l/min)} = 3,14 \text{ m}^3/\text{h} / 60 = 52 \text{ l/min}$$

Tällainen litramäärä saadaan, jos varaajan alaosan lämpötila on +95 °C, mikä voi tapahtua ehkä silloin, kun on otettu käyttöön aurinkokeräimet. Lasketaan normaalikäytössä missä lämpötilaero on +70 °C - +30 °C = 40 °C.

$$V = (15 \text{ kw} \times 3600) / (1\,000 \text{ kg/m}^3 \times 4,2 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \times (+70\,^\circ\text{C} - +30\,^\circ\text{C})) = 0,32 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q \text{ (l/min)} = 0,32 \text{ m}^3/\text{h} / (1000 \text{ l/m}^3/60 \text{ min/h}) = 5 \text{ l/min}$$

Testeissä korkein saavutettu varaajaan lämpötila on +72 °C, mikä tarkoittaa, että latauspumppu säädetään nopeudelle 1. Korkeusero on periaatteessa nolla, mutta kitkapainehäviö tulee putkistosta ja venttiileistä. Tällä periaatteella voidaan laittaa korkeuseroksi 1,5 metriä. Saadaan 13 l/min (13 l/min x 60 min/h / 1000 l/m³ = 0,78 m³) pumpulta, mikä tarkoittaa, että takalta lämmitysveden ja paluuv veden lämpötilaero saisi olla minimissään:

$$\Delta t = (15 \text{ kw} \times 3600) / (1\,000 \text{ kg/m}^3 \times 4,2 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \times 0,78 \text{ m}^3) = 16,48\,^\circ\text{C}$$

Jos lämpötilojen ero on suurempi, tulee pumpun kierrokset nostaa nopeudelle 2. Pumpun tehot pienentyvät ajan myötä ja minkä tähden riittävästi vettä takasta varaajaan, jolloin kannattaa laittaa pumpu heti nopeudelle 2.

5.3 Ilmanvaihtokoneen jälkilämmityksen säätäminen

Ilmanvaihtokoneessa Swegon W4 Econo on vedellä toimiva jälkilämmityspatteri, jossa kiertää sama lämmitysvesi kuin varaajassa ja lattialämmityspiirissa. Syöttö jälkilämmityspatterille tulee lämmönjakokeskuksen jälkeen, eikä siinä ole erillistä säätöventtiiliä ilmanvaihtokoneen lämmitysvedelle. Ilmanvaihtokoneessa on oma termostaattinen venttiili, joka säätää lämmitysveden virtausta. Termostaatti sijaitsee jälkilämmityspatterin lähellä tuloilman puolella. Ulkolämpötilan laskiessa nousee lämmitysverkon lämpötila. Ilmanvaihtokoneessa ensimmäinen raitisilman lämmitys tapahtuu sähköllä. Toisena tuloilman lämmittää poistoilmasta talteenottokennon avulla otettu lämpöenergia. Puuttuvan lämmön tuloilmaan antaa jälkilämmityspatteri, joka saa energian lämmitysvedestä. Ilmanvaihtokoneessa ensiksi raitisilma lämmitetään ristivirtakennoilla ja sen jälkeen jälkilämmityspatterilla. Lopuksi, jos tuloilma on liian kylmää, kytketään päälle sähköinen esilämmityspatteri, mikä sijaitsee raitisilman puolella ilmanvaihtokoneessa ennen ristivirtakennoa

Jälkilämmityspatterin termostaatti säädetään niin, että esilämmitysvastus ei ole päällä kovilla pakkasilla. Samalla tarkistetaan, ettei ilmanvaihdon tuloilman lämpötila ole liian korkea, jolloin sisäilma ei enää tuntuisi raikkaalta. Tuloilman lämpötila pidetään 1 °C – 3 °C matalampana kuin haluttu huoneilman lämpötila. Tämän säädön tekemiseen tarvitaan pakkaskeliä, jotta termostaatti saadaan oikeaan asentoon.

5.4 Kolmitieventtiilin säätömoottorin asetusarvot

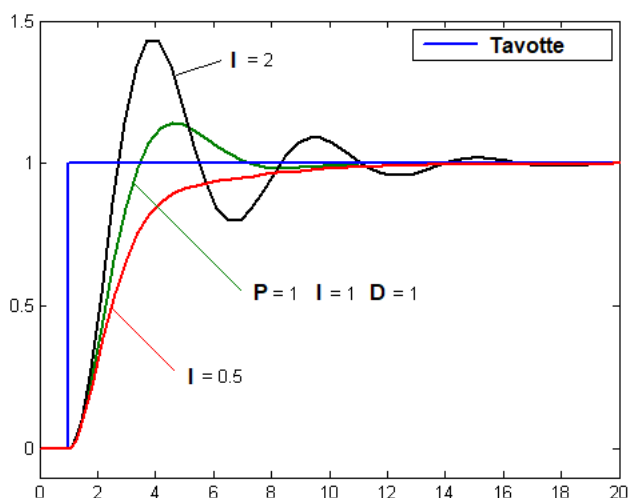
PID-tyyppinen säädin säätää venttiilimoottoria.(PID-säädin)

P on (alue) menoveden lämpötilan muutoksen suuruus

I on (aika) menoveteen jäänyt lämpötilan poikkeama asetusarvoon nähden korjataan ajamalla P-ajomäärä joka I-jakson aikana

D on (aika) säädön reagoinnin nopeus lämpötilan muuttuessa

Venttiilimoottorin ominaisarvo on juoksu-aika eli kuinka monta sekuntia kuluu, että venttiili aukeaa 0 – 100 %. Vexve venttiilimoottorissa juoksu-aika on 140 sekuntia ja tämä arvo pitää asettaa lämmönjakokeskuksen säätölaitteelle, että säädin osaa säätää niin, ettei tule yllämpöä. Kuviossa 6 on PID-säätimen periaate. Lämmönvaihtimen säätöarvoissa on arvo I asetettu niin, että lämpötilat eivät nouse yli tavoitteen. Kuviossa 6 on esimerkiksi $I = 0,5$ ja lämpötila pyrkii vähitellen tavoitearvoa kohti. Jos asetusarvo $I = 2$, nousee menoveden lämpötila yli tavoitearajan. Lämmityspiirissä ei veden lämpötilan ole tarpeen nousta heti tavoitearajalle. Lämpötilan muutos tapahtuu yleensä hitaasti ja sen säätämiseen ei tarvita pikatoimintoa. Muutenkin lämmön luovutus lattialämmityspiirissä on erittäin hidasta. (Vexve sekoitusventtiili)



Kuvio 6. PID-säätökäyrät eri asetusarvoilla.

5.5 Säätöjen viimeistely

Talossa on asuttu muutama kuukausi ja järjestelmän asetusarvot eivät todennäköisesti ole vielä kohdallaan. Käyttöönoton ajaksi säätöarvot laitetaan lähelle todellista säätöarvoa esimerkiksi kokemusten perusteella tai jättämällä aluksi tehdasasetukset. Lämpötilojen kehittymistä seurataan ja asetuksia muutetaan

tarpeen mukaan. Tehdasasetusten käyttäminen pidentää säätöprosessia ja aiheuttaa pahimmassa tapauksessa vahinkoa. Ammattiosaamiseen perustuvien asetusarvojen käyttäminen auttaa pääsemään lähemmäksi todellisia säätöarvoja. Talvipakkaset asettavat kovimmat vaatimukset lämmitykseen ja vaikuttavat eniten säätöarvoihin, joten paras ajankohta säätämiseksi on talven kylmät jaksot.

Säätöarvojen asettaminen laskemalla vie enemmän aikaa ja arvot ovat vain suuntaa antavia. Lämmityksen säätöarvojen saaminen kohdalleen ei myöskään aina onnistu säätämällä, vaan järjestelmän toimintaa voidaan joutua korjaamaan vaihtamalla komponentteja tai toimintoja, esimerkiksi vaihtamalla tehokkaampi pumppu tai muuttamalla putkikokoa.

Talon sisälämpötila-asetus säädetään niin, että tavoitteena on pitää lämpötilana +21 °C. Erityistarpeita asetuksiin tuovat esimerkiksi asukkaiden haluama korkeampi sisälämpötila sekä lattioiden kuivattamiseksi myös kesäisin päällä pidettävä pesuhuoneen lattialämmitys. Tällöin tulee säätöarvot nostaa lämmönjaon säätökeskuksessa haluttujen maksimilämpötilojen mukaisesti ja säätää halutut lämpötilat huoneistokohtaisilla termostaateilla.

Lämpötilaa huoneistotermostaatista säädettäessä lattialämmityspiirisä kiertävän lämmitysveden virtaamaa joko pienennetään tai kasvatetaan termostaatin ohjaamalla moottorilla, joka avaa tai sulkee venttiiliä.

Huoneistotermostaateilta ei siis saa huoneistokohtaisia lämpötiloja korkeammiksi kuin mitä lämmönjakokeskus lämmitysverkostoon antaa. On saatavilla huoneistotermostaatteja, jotka antavat luvan nostaa lämmönjakokeskukselta lähtevän lämmitysveden lämpötilaa. Tämä edellyttää, että huoneistotermostaatista on koko ajan pyyntö päällä, eikä huoneiston lämpötila kuitenkaan nouse. Omakotitalossa tällainen on mahdollista saada toimimaan liittämällä lämmönjakokeskukseseen sisälämpötilamittari, joka nostaa sen mukaisesti menoveden lämpötilaa.

Edellä mainittu lämpötila-anturi mittaa sisälämpötilan vain yhdestä paikasta ja jos esimerkiksi yksi lattialämmityspiiri on käsisäädöllä, nousee lattialämpötila tämän pyynnön vuoksi. Tästä herää asukkaalla kysymys, miksi lattian lämpötila muuttuu koko ajan. Termostaattinen ohjaus jokaisessa huoneessa saisi tällaisen

järjestelmän toimimaan. Lämpöjen nostamisen tai laskemisen yhteydessä on muistettava myös ilmanvaihtojärjestelmän lämpötila-arvot, jotka tulee muuttaa vastaamaan lämmönjakokeskuksen asetuksia.

6 KÄYTTÄJÄYSTÄVÄLLISYYS

Käyttäjälle tärkeimpiä asioita ovat helppous, kannattavuus ja käytettävyys. Suoralla sähkölämmityksellä on näistä ominaisuuksista helppous ja käytettävyys, kun termostaatti hoitaa huoneistokohtaiset lämpötilat ”päälle ja pois”. Asukas vain asettaa termostaatista halutun lämpötilan kohdalleen ja niin kauan, kun sähkö tulee taloon, kaikki toimii automaattisesti.

Vesikiertoisessa takassa ei aivan kaikki toimi yhtä automaattisesti. Polttopuut on hankittava ja kannettava vajasta, saatava tuli syttymään ja huolehdittava siitä. Huoltopuolella tulisija ja hormi pitää nuohota tuhkasta ja noesta, joita kerääntyy kanaviin ja piipun sisäpinnoille. Vesikiertoisen takan lämmityksen aikana on seurattava, ettei lämpötila nouse liian korkeaksi. Varoventtiilien toiminta tulee tarkastaa ja vaihtaa venttiilit määräajoin. Turvalaitteena tulee olla varoventtiilien rinnalla myös takan vesisäiliön jäähdytys ja lisäksi on tarpeen jäähdytysjärjestelmän termostaattiventtiilin tarkastus.

Asukas on käyttänyt takkaa muutaman kuukauden, eikä ole saanut lämminvesivaraajan lämpötilaa kertaakaan korkeammaksi kun +72 °C. Kysymyksessä on ajanjakso talvikuukausina, jolloin sää on ollut kylmä. Talon asukas on käyttänyt kylpyammetta, mikä kuluttaa runsaasti lämmintä käyttövetä. Lisäksi kylpyammeen käytön jälkeen luonnollisesti käydään suihkussa. Tässä käytännössä hyvä puoli on, että yllilämpöä ei helposti tule.

Tässä tapauksessa seurataan säiden lämmitessä, kuinka korkeaksi varaajan lämpötila saadaan. Otetaan myös huomioon, että lämpömittari on sijoitettu melko keskelle varaajaa ja tästä johtuen varaajan yläosan lämpötila on 5 °C – 10 °C korkeampi.

7 HÄIRIÖT

Lämmönjakokeskuksesta on tullut häiriöilmoituksia KV käyttöveden puolelta. Häiriön syynä on poikkeuksellinen lämpötila-arvo käyttöveden puolella, kun käyttöveden lämpötila on hetkellisesti noussut liian korkeaksi. Lämpötilan häiriöilmoituksia on tullut useita ja ne jäävät kaikki lämmönjakokeskuksessa olevan säätölaitteen muistiin. Lämpötilat ovat olleet välillä +70 °C ja +83 °C ja syynä on todennäköisesti väliputken pituus varaajasta lämmönjakokeskukseen ja/tai termostaattisen sekoitusventtiiliin reagointiaika. Vaikka varaaja olisi lämmin, väliputkessa olevan veden lämpötila laskee, kun vesi seisoo. Kun kuumavesihana avataan, lämmönjakokeskus lähtee avaamaan kaukolämmön venttiiliä nopeasti ja lämmittää käyttövettä. Kun varaajasta sitten tulee lämmintä vettä vaihtimeen ja kaukolämmön venttiili on auki, kasvaa käyttöveden lämpötila haluttua korkeammaksi. Syöttövesi lämmönjakokeskukseen on normaalisti +6 ... +10-asteista.

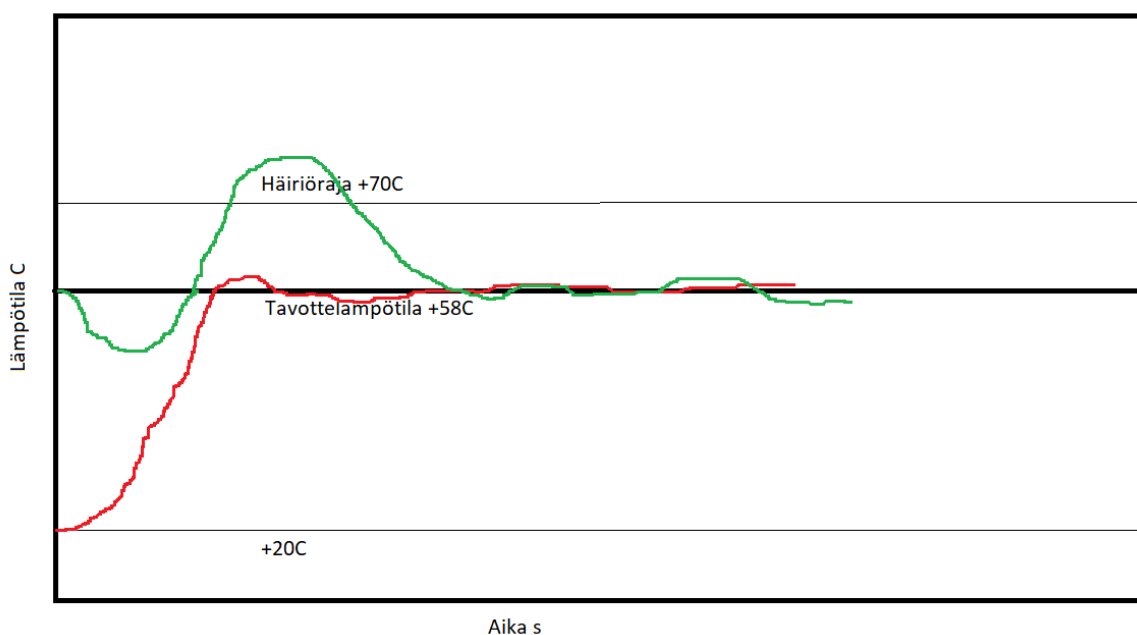
Lämmönjakokeskuksen säätöarvoja LV lämpimälle käyttövedelle voitaisiin muuttaa, mutta kuinka pystyttäisiin välttämään säätölaitteen häiriöt. Säätimessä on pika-avaustoiminnalle asetusarvo, jossa säätölaite tunnistaa virtausanturilla tai lämpötilamuutoksesta syntyvän muutoksen ja avaa kaukolämpöventtiiliä pikaisesti esimerkiksi 50 % ja sitten toiminta jatkuu normaalisti. Normaali tapa on pyrkiä pysymään LV / lämpimän käyttöveden asetusarvojen rajoilla. Voidaan muuttaa pika-avauksen prosentiksi esimerkiksi 25 %, kun kuumen veden kiertovesiputkistossa on lämmitettyä vettä sen verran, että käyttäjä ei juuri huomaa kuumen veden lämpötilamuutoksia. Näin saataisiin kaukolämpöventtiili hitaammin auki, kunnes varaajasta tulee lämmitettyä vettä lämmönjakokeskuksen antureihin.

Säätimestä saa muutettua PID-säätimen asetusarvoja. Kiinnostavampi olisi P-ominaisuus eli menoveden lämpötilamuutoksen suuruus. Sen säätöarvoa voisi nostaa suuremmaksi, jolloin kaukolämmön kuumen käyttöveden venttiilimoottorin reagointiaika muuttuu hitaammaksi.

Lämmönjakokeskuksen kylmän käyttöveden anturin voi siirtää termostaattisen sekoitusventtiiliin lähelle. Säätölaite huomaa nopeammin, minkä lämpöistä vettä sekoitusventtiilistä on tulossa.

Lämmönjakokeskuksesta voi muuttaa raja-arvoja, millaisella lämpötila-arvon ylityksellä häiriöilmoitus tulee muistiin. Tämä olisi ehkä viimeinen muutos, joka voitaisiin tehdä, ellei muita versioita saataisi toimimaan. Häiriöilmoitukset eivät ole turhia, eikä varsinkaan kuumen käyttöveden puolella. Häiriöilmoituksella annetaan korjaus- tai huoltokäske, jolla saadaan suojattua veden käyttäjiä ja putkistoa.

Termostaattisen sekoitusventtiilin asetusarvojen muuttaminen saattaa hiukan estää häiriöitä. Termostaattinen sekoitusventtiili on asetettu varaajan ja lämmönjakokeskuksen väliin, se sekoittaa varaajasta tulevaa kuumaa ja kylmää vettä keskenään. Säästöalue on +30 ... +60 °C ja alun perin lämpötila on asetettu +55 °C:een. Häiriön tullessa lämpötila on säädetty +45 °C:een. Häiriön aiheuttaja voi olla venttiilin reagointiaika tai putken pituus. Reagointiaika tulee siitä, että termostaattinen venttiili sekoittaa kuumaa ja kylmää vettä keskenään tavoitelämpötilaan. Sekoitusta voi häiritä putken pituus varaajasta termostaattiselle venttiilille ja venttiilistä lämmönjakokeskuksen kylmänveden lämpötila-anturille.



Kuvio 7. Häiriörajan ylityskuvio. Punaisella varaajasta lämmönvaihtimella tuleva vesi termostaattisen venttiilin kautta. Vihreä on lämmönvaihtimelta lähteva kuuma vesi.

Kuviossa 7 on punaisen viivan alkulähtö +20 °C, kun varaajan ja lämmönjakokeskuksen väliin jääneessä putkessa seisova vesi saavuttaa

ympäristön lämpötilan. Kuumaa vettä tarvittaessa lähtee vesi putkessa virtaamaan ja tuo varaajasta kuumaa vettä termostaattiselle sekoitusventtiilille ja sieltä sekoitettuna noin +45-asteisena lämmönjakokeskukseen. Lämmönjakokeskus on siinä tapauksessa jo lukenut tuloveden lämpötilan ja avannut kaukolämpöventtiilin, joka on nostanut jo käyttöveden tavoitelämpötilaan ja helposti ylikin. Lämmönjakokeskukseen virtaava vesi tuo kuumaa vettä vaihtimelle ja veden lämpötila nousee vielä tavoitelämpötilaa korkeammaksi. Jos ylikuuman veden arvot pysyvät riittävän kauan (aika s) ja korkealla (häiriöraja °C), antaa järjestelmä häiriöilmoituksen säätölaitteelle.

Jos häiriöitä tulee lisää kuumen käyttöveden puolelle, muutetaan pika-avauksen asetusarvoja tai häiriöherkkyyden ja häiriötason parametria. Kesäisin, kun takkaa ei juuri lämmitetä, voi suihkuun mentäessä esiintyä pieniä lämpötilamuutoksia. Vaikka suihkuhana on termostaattinen, ei sen reagointiaika ole riittävän nopea pitämään käyttöveden lämpötilamuutoksia huomaamattomina. Häiriöherkkyys on arvo sekunneissa, kuinka kauan arvon on oltava häiriörajan yläpuolella, että häiriö syntyisi. Häiriöparametri eli lämpötilan yläraja voidaan nostaa isommaksi häiriön estämiseksi. (Ouman tietopankki)

8 MITTAUKSET

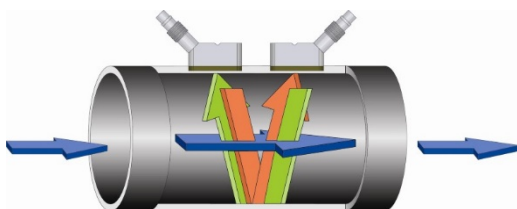
Energian mittaamisessa tarvitaan aika, virtaama ja lämpötila. Haasteena mittauksissa on riittävän tarkkuuden aikaansaaminen. Mittauksiin käytetään ultraäänellä toimivaa energiamittaria.

8.1 Tavoite

Tavoitteena on mitata vesikiertoiselta takalta saatavaa energiamäärää. Mitataan polttopuiden suhteellinen kosteus ja polttopuiden määrän tuottama energia. Tuloksena saadaan vesikiertoisen takan hyötysuhde sekä arvio järjestelmän vaikutuksesta vuosittaisiin lämmityskuluihin.

8.2 Energiamittaus

Energiamittaus suoritetaan ultraäänellä toimivalla mittarilla (Kuvio 8). Veden virtausta putkessa voi mitata kahdella tavalla, siipipyörällä ja ultraäänellä. Siipipyörällä varustettu virtausmittari on epätarkempi kuin ultraäänimittari, sillä siipipyörän välistä voi päästä hieman virtausta läpi. Myös kulumisella on vaikutusta, sillä laakerit ja siipipyörä kuluvat mekaanisen liikkumisen, lämpötilan ja nesteen vaikutuksesta. Ultraäänimittaus on tarkka, eikä mekaanisia kuluvia komponentteja ole lainkaan.



Kuvio 8. Ultraäänivirtausmittarin toimintaperiaate.

Ultraäänivirtausmittarissa lähetetään yhdestä anturista ultraäänisignaali ulos toiselle anturille. Toinen anturi antaa samanlaisen ultraäänisignaalin takaisin ensimmäiselle ja jos signaalien kuluaika on sama ja signaali palautuu saman

paikkaan, ei putkessa ole virtausta. Jos arvot muuttuvat, lasketaan virtaus ja virtauksen suunta putkessa. Ultraäänellä voi mitata periaatteessa kaikkia virtaavia nesteitä. (Ultraäänivirtausanturi)

Mittari tarvitsee vielä tulevan ja menevän lämpötilan lukemat, että saatu energia voidaan laskea. Lämpötila-anturit ovat putkilomalliset ja niitä ei tässä laiteta putken sisälle, kuten pitäisi tarkemman tuloksen saamiseksi. Anturit asennetaan sinkityn peltiputken kylkeen lämpöä johtavalla tahnalla ja teipataan eristeteipillä kiinni.

8.3 Mittarit

Kaukolämmössä on oma ultraäänimittari, josta saa tarkasti tietoja energian kulutuksesta. Eräät kaukolämpöä toimittavat yritykset antavat netissä tietoa päivittäisestä kulutuksesta sekä reaaliaikaisesta energian kulutuksesta käyttäjän omilla sivuilla.

Polttopuiden kosteus mitataan Digital Moisture Tester BT403 -testerillä. Kosteusmittauksen ei tarvitse olla erittäin tarkka, kunhan tietää, että valitaan polttopuiden energiasisältötaulukosta täysin kuiva tai 20 %:n kosteutta vastaava lähtöarvo.

8.4 Vesikiertoisen takan energiamittaukset

Jotta saataisiin mitattua takasta tuleva energia, tarvitaan energiamittaria. Ultraääni-energiamittari on paras vaihtoehto. Se kestää lämpöä ja on tarkka virtauksien seurannassa.

Mittaus numero 1. Mitataan niin, että otetaan x kg polttopuita, samaa puulajia ja samalla kosteusprosentilla. Lopullista saatua energia-arvoa verrataan polttopuiden ominaisenergia-arvoihin.

Mittaus numero 2. Suoritetaan sama mittaus kuin edellinen x kg polttopuilla ja huomioidaan kosteusprosentti.

8.5 Virhearvot

Ultraääniselle energiamittarille annetaan virhearvoksi +/-1 %, mikä on riittävän tarkka lopputuloksen kannalta.

Puun kosteusmittari haarukkamalli Digital Moisture Tester BT403. Tuottaja antaa virhearvoksi +/-1 %. Mittausalue on 5 % - 40 %.

8.5.1 Mittaus 1

Kuivaa koivupuuta oli 27 kg ja puun kosteuspitoisuus oli 6-10 %. Klapit olivat melko pieniä ja kuivia, mikä teki palamisesta erittäin nopean. Palamisesta saataisiin enemmän energiaa, jos palamisprosessi on hidas.

Analogisen vesimassamittarin lähtöarvo oli 155,517 m³ ja testin jälkeen 156,725 m³. Digitaalisen ultraäänimittarin lähtöarvo oli 117,083 MWh ja testin jälkeen 117,116 MWh.

Testin aikana siirrettiin varaajaan 33 kWh energiaa ja vesimäärä oli 1,208 m³. Osa lämmitysenergiasta jäi takan vesisäiliöön ja siirtoputkistoon. Vesikiertoisen takan oman vesisäiliön tilavuus on 39 litraa ja siirtoputket (cu) halkaisijaltaan 22 mm ja 7 metrin pituiset.

Siirtoputkiston tilavuus

22 mm Cu-putki

1 mm seinämävahvuus

7 m pituisia putkia kaksi kpl

$$V = \pi r^2 h$$

$$V = \pi * 0,01^2 * (7m * 2) = 0,00439 \text{ m}^3 = 4,4 \text{ litraa}$$

Vesitilavuus, josta ei saa energiaa siirrettyä varaajaan, on takan säiliö 39 litraa + siirtoputkisto 4,4 litraa = 43,4 litraa. Sen energia +63 °C:n lämpötilassa on merkittävä mittaustuloksen kannalta.

$$Q = \frac{\rho \times c_p \times V \times (t_2 - t_1)}{3600}$$

,jossa

Q on veden lämmittämiseen kuluva energia (kWh)

ρ on veden tiheys (1 000 kg/m³)

c_p on veden ominaislämpökapasiteetti (4,2 kJ/kg°C)

V on vesimäärä 0,00439 (m³)

t_2 on lämmitetyn veden lämpötila +63 °C

t_1 on lämmitettävän veden lämpötila, +20 °C lattiasta palaavan veden lämpötila

3600 on yksikkömuunnoskerroin (kJ -> kWh)

$$Q = (1\,000 \text{ kg/m}^3 * 4,2 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} * 0,0439 \text{ m}^3 * (+63 \text{ }^\circ\text{C} - +20 \text{ }^\circ\text{C})) / 3600$$

$$\text{kJ/kWh} = 2,20 \text{ kWh}$$

27 kg polttopuumäärästä veteen saatu kokonaisenergia oli 35,2 kWh. Kuvion 5 mukaan kuivan koivupuun energiasisältö olisi 5,3 kWh/kg. 27 kg koivupuumäärän energia olisi 100 % kokonaishyötysuhteella 27 kg * 5,3 kWh/kg = 143,1 kWh. Testin aikana saatiin tulokseksi, että tämä vesikiertoinen takka tuottaa 35,2 kWh / 143,1 kWh * 100 % = 24,6 % hyötysuhteella energiaa lämmitysveteen.

Vesikiertoisesta takasta saatiin 35 kWh energiaa. Tämä tarkoittaa, että kylpylämpöistä +32-asteista vettä saadaan 1080 litraa.

$$Q = \frac{\rho \times c_p \times V \times (t_2 - t_1)}{3600}$$

, jossa

Q on veden lämmittämiseen kuluva energia 33 (kWh)

ρ on veden tiheys (1 000 kg/m³)

C_p on veden ominaislämpökapasiteetti (4,2 kJ/kg°C)

V on vesimäärä (m³)

t_2 - lämmitetyn veden lämpötila +32 °C

t_1 - lämmitettävän veden lämpötila, +6°C verkoston kylmän veden lämpötila

3600 - yksikkömuunnoskerroin (kJ->kWh)

$$V = 33 \text{ kWh} \times 3600 \text{ kJ/kWh} / (1\ 000 \text{ kg/m}^3 \times 4,2 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \times (+32\ ^\circ\text{C} - +6\ ^\circ\text{C})) = 1,08 \text{ m}^3$$

Saadulla +32-asteisella vesimäärällä voi esimerkiksi täyttää kylpyammeen 3-4 kertaa.

8.5.2 Mittaus 2

Kiertovesimittarin lähtöarvo oli 164,654 m³ ja testin lopussa 165,240 m³. Ultraäänivirtausmittarin lähtöarvo oli 17,336 MWh ja testin lopussa 17,349 MWh. Polttopuiden määrä on 12,2 kg mäntypuuta. Kuvio 5 mukaan mäntypuu antaa energiaa palaessaan 4,2 kWh/kg, kun puun kosteus on 20 %.

Testin aikana siirrettiin vesikiertoisesta takasta varaajaan 13 kWh energiaa ja 0,586 m³ vettä. Vesitilavuus, josta ei saa energiaa siirrettyä varaajaan, on takan säiliö 39

litraa + siirtoputkisto 4,4 litraa = 43,4 litraa. Edellisessä laskussa laskettiin takkaan ja putkistoon jäävän veden energiamääräksi 2,2 kWh.

12,2 kg polttopuumäärästä saatu kokonaisenergia oli 15,2 kWh. Taulukon mukaan puulajien energiasisältö 20 %:n kosteudella on mäntypuulla 4,2 kWh/kg. 12,2 kg mäntypuun energiamäärä olisi 100 % kokonaishyötysuhteella $12,2 \text{ kg} * 4,2 \text{ kWh/kg} = 51,24 \text{ kWh}$ energiaa. Testin aikana saatiin tulokseksi, että vesikiertoinen takka tuotti $15,2 \text{ kWh} / 51,24 \text{ kWh} * 100 \% = 29,7 \%$ hyötysuhteella lämmitysvedeen.

8.5.3 Yhteenveto

Parin testituloksen perusteella 1 kg polttopuuerästä saadaan veteen noin 1,3 kWh energiaa. Talo käyttää vuodessa noin 11 MWh energiaa, mikä tarkoittaa polttopuumäärässä $11000 \text{ kWh} / 1,3 \text{ kWh/kg} = 8462 \text{ kg} / \text{vuosi}$. Tähän ei ole laskettu kokonaishyötysuhdetta, joka pienentää puiden kokonaistarvetta ainakin 30 % ja puutarpeeksi jää 5923 kg vuodessa. Myöskään ei ole otettu huomioon, kuinka käyttövesi kesällä pystytään lämmittämään.

9 LASKENNAT

Laskelmiin tarvitaan mittareista saatavia lähdearvoja. Ultraäänisestä energiamittarista saadaan suhteellisen tarkkoja tuloksia, joiden perusteella lasketaan vesikiertoisen takan kannattavuus ja takaisinmaksuaika.

9.1 Vuoden energia

Vuodessa kulutettu energia saadaan tarkasti energialaskuista. Taulukossa 1 on vuoden ajalta sähkö- ja kaukolämpölaskuista saadut arvot. Vuoden lukemien aikaväli on 1.11.2017 – 31.10.2018. (Seinäjoen Energia)

Taulukko 1. Vuoden energiakulutus kWh ja euroissa. (Seinäjoen Energia)

	Lämpö	kWh	Sähkö	kWh
Marraskuu	81,69	1040	65,87	549,77
Joulukuu	105,6	1453	73,32	621,42
Tammikuu	103,91	1432	79,27	678,52
Helmikuu	109,36	1562	97,38	852,67
Maaliskuu	115,92	1638	92,85	808,99
Huhtikuu	81,69	1040	54,87	444,05
Toukokuu	58,84	618	37,63	278,26
Kesäkuu	51,39	499	34,78	250,96
Heinäkuu	45,57	381	34,27	217,13
Elokuu	48,87	440	39,4	266,33
Syyskuu	63,38	285,32	43,79	308,54
Lokakuu	54,01	531	51,78	414,41
	920,23	10919,32	705,21	5691,05
	EUR	kWh	EUR	kWh

Kaukolämmön 12 kuukauden kulutus on ollut 10,919 MWh / 920,23 EUR sisältäen vuosimaksun 285,32 EUR. Sähkön kulutus on ollut 5,691 MWh / 705,21 EUR. Talossa on kylpyamme, jota käytetään usein ja tämä vaikuttaa paljon lämpölaskuun verrattuna pelkkään suihkuun. Kokonaislämpökustannusta on vaikea määrittää, koska sähköllä toimii myös ilmanvaihtokoneen esilämmitys sekä muita sähköisiä lämpölähteitä.

9.2 Virhearvo

Vesikiertoiselle takalle annettu kokonaishyötysuhde on tehdasarvo, jonka laskentamenetelmää ei ole kerrottu. Vesikiertoisen takan arvot saataisiin vasta testejä tekemällä. Omat testit eivät ole täysin varmoja, koska niihinkin tulee virhearvoja. Virhearvo muodostuu monesta asiasta, kuten mittarien epätarkkuus, hukkalämpö, polttopuiden koko, palamisnopeus jne. Kokonaishyötysuhde tarkoittaa, paljonko vesikiertoinen takka pystyy antamaan energiaa lämmitysveteen ja säteilylämpöä huoneympäristöön. Vesikiertoinen takka säteilee melko paljon lämpöä sisätilaan, vaikka takassa on tuplalasiluukku. Takan seinät ja yläosa on eristetty, mutta nekään eivät eristä 100 %:sti. Eniten lämpöenergiaa tulee läpi lasista ja vielä huomattavasti enemmän, jos on kulmalasi.

10 KANNATTAVUUS

Vesikiertoisen takan rakentaminen kaukolämmön rinnalle on kohtuuhintainen investointi, jos taloon joka tapauksessa haluaa hankkia tulisijan. Vesikiertoiset takat ovat hyvin samanhintaisia kuin normaalit varaavat takat ja lisäkustannusta aiheuttaa järjestelmän rakentaminen ja sen monimutkaisuus. Jos talossa on jo olemassa lämminvesivaraaja lämmityksen puolella, se pienentää kustannuksia merkittävästi. Olemassa oleva lämmitysjärjestelmä lämminvesivaraajalla tarkoittaa käytännössä, että jo latauspumpun ja latausputkiston asentamisen jälkeen järjestelmä toimii. Maalämmön ja ilmalämpöpumppujen rinnalle vesikiertoisen takan lämmitysjärjestelmän rakentaminen kannattaa silloin, kun polttopuut saadaan omasta metsästä tai muuten korvauksetta.

10.1 Kannattavuus suoran sähkölämmityksen rinnalla

Suoran sähkölämmityksen rinnalle vesikiertoinen takka on kannattava, jos talossa ei ole muuta lämmitysmuotoa. Sähkön kuluttajahinta on nykyään noin 0,10 – 0,14 €/kWh ja koivupolttopuun pinokuutiohintaa noin 50 €. Koivun lämpöarvo 20 % puunkosteudella on 1700 kWh/m³. Vesikiertoisen takan kokonaishyötysuhteeksi valmistaja antaa 78 %. Lasketaan koivupolttopuulle kWh-hinta: $50 \text{ €/m}^3 / (1700 \text{ kWh/m}^3 \times 78\%) = 0,037 \text{ €/kWh}$. Tuloksena saatu energiakustannus on noin 2,5 kertaa edullisempi kuin suoran sähkölämmityksen energiakustannus. Tämä on vain laskennallinen vertailu; jos haluaa tietää paljonko vesikiertoisesta takasta saisi tehoja irti, se pitää testata. (Puun ja sähkön hinta)

10.2 Kannattavuus lämpöpumpun rinnalla

Ilmalämpöpumput ottavat sähköenergiaa ja tuottavat lämpöenergiaa kertoimella COP. Jos ulkolämpötila on +7 °C ja COP-arvo 4, saadaan 1 kWh lämpöenergian hinnaksi 0,12 €/kWh (sähkön hinta kuluttajalle) / 4 (COP) = 0,03 €/kWh. Hinta on melkein sama kuin polttopuilla saatu kWh-hinta. Ilmalämpöpumput tuottavat kovemmalla pakkasella kalliimpaa lämmitysenergiaa ja mitä matalammaksi

ulkolämpötila menee, sitä lähemmäksi arvoa 1,0 COP menee. Jos COP-arvo on 1, lämpöpumppu tuottaa ottaessaan 1 kWh sähköenergiaa 1 kWh lämpöenergiaa. Tämä ei ole enää kannattavaa ja lämpöpumpun asemesta kannattaa käyttää jotakin muuta lämmitysmuotoa. Esimerkiksi suorassa sähkölämmityksessä ei ole kuluvia osia ja kWh-hinta on sama. Ulkolämpötilan muuttuessa kylmemmäksi paranee vesikiertoisen takan kannattavuus koko ajan ilmalämpöpumppuun verrattuna. (Sähkön hinta)

Ilma-ilmalämpöpumppu tuottaa lämmitystä sisätiloihin vain sinne, missä on sisäyksikkö ja hintaluokka nousee heti selkeästi, jos sisäyksiköitä lisätään. Ilma-vesilämpöpumppu sen sijaan tuottaa lattia- tai patterilämmitykselle lämmitysenergiaa, joka voidaan jakaa tasaisesti.

Vesikiertoinen takka maalämpöpumpun rinnalle on kannattava, jos polttopuita ei tarvitse ostaa. Maalämpöpumppu saa maapiiristä aina samanlämpöistä kiertonestettä, jolloin COP-arvon mukaan energian tuotanto on aina yhtä tehokasta. Muuttuvana tekijänä on sähkön hinta kuluttajalle. Maalämmön ja ilma-vesilämpöpumpun yhteydessä on mahdollisesti jo olemassa varaaja, jonka koko ei riitä vesikiertoiselle takalle. Järjestelmään tulee tällöin lisätä varaaja, jotta vesikiertoinen takka toimisi. Suurempien maalämpölaitteiden yhteydessä on isot varaajat, jolloin ei ole tarvetta lisävaraajalle.

10.3 Kannattavuus kaukolämmön rinnalla

Kaukolämmön hinta Seinäjoella 1.10.2017 oli $56 \text{ €/MWh} = 0,056 \text{ €/kWh} + 20 \text{ €/kk}$ perusmaksu. Kaukolämmön kustannukset ovat suuremmat kuin puilla lämmitettäessä, jos polttopuita saa ilmaiseksi. Puulämmityksen kannattavuus edellyttäisi kaukolämmön sopimuksen irtisanomista, mikä ei kuitenkaan kaikkialla ole mahdollista, vaan perusmaksun joutuu maksamaan myös muilla lämmitysmuodoilla lämmitettäessä. Jos kaukolämmön rinnalle haluaa rakentaa vesikiertoisen takkajärjestelmän, on se kallein vaihtoehto verrattuna muihin lämmitysmuotoihin, missä on valmiina jo varaaja. Siihen joutuu rakentamaan kaiken paitsi säätölaitteen, jolla mahdollisesti saisi ohjattua venttiilimoottoria. Joka

tapauksessa järjestelmä kannattaa rakentaa silloin, kun polttopuita saa ilmaiseksi.
(Seinäjoen kaukolämpö)

‘Tunnelmatakan’ muuttamista vesikiertoiseksi takaksi kannattaa myös harkita. Takan ulkonäkö pysyy samana ja elävästä tulesta pystyy nauttimaan kauemmin. Kaikki lämmöt eivät tule takan ympärille, jos se on hyvin eristetty ja tuplalasilla varustettu.

10.4 Kannattavuus aurinkolämmityksen rinnalla

Vesikiertoisen aurinkolämmön rinnalle on helppo lisätä vesikiertoisen takan järjestelmä. Aurinkolämmitysjärjestelmässä on jo olemassa lämminvesivaraaja ja tällaisessa järjestelmässä saadaan tasapaino auringon ja vesikiertoisen takan välille. Kun on pimeä ja kylmä aika, lämmitetään puilla ja kun on lämmin, ulkona lämmittää aurinko. Aurinkolämmitysjärjestelmä lämpötilalukema nousee helposti +100 asteeseen ja yli. Aurinkolämmityksen aikana ei kannata lämmittää vesikiertoista takkaa, ettei lämpötila nouse liian korkeaksi. Jos varaajan vesitila on suuri, ei takan lämmittäminen haittaa. Kesäaikana ei yleensä kovin paljon lämmitetä takkaa, mikä vähentää yllämmön riskiä. Syksyllä ja keväällä on usein riski, että takassa on tuli ja aurinko tulee yhtäkkiä näkyviin. Aurinkokeräimiä ei saa sulkea pois, sillä ne voivat rikkoontua. Tulipesän sammuttaminen on jonkin verran työlästä ja sotkuista. Vesikiertoisen takan sisällä on ehdottomasti oltava jäähdytyskierukka aurinkolämmityksen rinnalla.

10.5 Lämmitysjärjestelmän kannattavuus

Lämmitysjärjestelmä on kannattava, kun se on halvempi käyttää kuin edellinen järjestelmä ja maksaa itsensä takaisin riittävän lyhyessä ajassa. Huoltokustannukset sekä pumpun, kompressorin tai muiden osien vaihdot vaikuttavat lämmitysjärjestelmän takaisinmaksu-aikaan.

Suora sähkölämmitys on edullisin lämmitysmuoto rakentaa, huoltokustannukset ovat lähellä nollaa ja käyttömukavuus korkeaa luokkaa. Sen sijaan energiakustannukset ovat melko korkeat ja pääsulakkeiden koko tulee olla suuri. Yleensä halutaan pieniä käyttökustannuksia, mitä ei suorasähkölämmityksellä saavuteta. Mieluummin usein käytetäänkin rakennusvaiheessa enemmän rahaa lämmitystekniikkaan, jotta saadaan pienemmät kuukausittaiset lämmityslaskut.

Ratkaiseva asia vesikiertoisen takan hankinnassa on mahdollisuus saada polttopuita edullisesti ja halu sekä osaaminen tehdä polttopuita omana työnä. Erilaisilla yhdistelmillä tästä lämmitysmuodosta voi saada kustannuksiltaan kannattavan. Kannattavuus on selkeästi huono, jos polttopuut pitää ostaa ja lisäksi nähdä vaivaa puiden varastoinnissa ja käsittelyssä rakennuksen tontilla.

10.6 Säästäminen

Lämmityskauden esimerkkipituus on 6 kk eli noin 180 päivää. Jos joka päivä lämmityskauden aikana polttaa puita 12,2 kg eli testin 2 mukaisesti, näistä saadaan 13 kWh energiaa. Vuodessa saadaan vesikiertoisen takan avulla energiaa $180 \text{ pv} \times 13 \text{ kWh} = 2,34 \text{ MWh}$. Kaukolämpöverkosta vastaava määrä energiaa maksaisi $56 \text{ €/MWh} \times 2,34 \text{ MWh} = 131,04 \text{ €}$.

Jos polttaa puita testin 1 mukaisesti, 27 kilosta koivupuita saadaan 33 kWh energiaa. Vuodessa se tekisi $33 \text{ kWh} \times 180 \text{ pv} = 5,94 \text{ MWh}$, mikä kaukolämpöverkosta maksaa $5,94 \text{ MWh} \times 56 \text{ €/MWh} = 332,64 \text{ €}$. (Seinäjoen kaukolämpö)

Kun polttaa 27 kg puita, talon sisälämpötila on jo niin korkea, että suuremman määrän polttaminen ei ole miellyttävää eikä järkevää. Säästämiseen vaikuttaa vielä lämmityskauden pituus, mikä voi pidentää tai lyhentää mahdollisuutta polttaa puita.

Laskettu energiamäärä on lämmitysveteen saatu määrä, mutta takka lämmittää myös omaa ympäristöään ja sitä ei ole tässä otettu huomioon. Takan valmistaja antaa 78 % kokonaisyötysuhteeksi ja jos tämä pitää paikkansa, saatiin 29,7 % hyötysuhteesta lämmitysveteen. Jäljelle jäävä osa hyötysuhteesta olisi 48,3 %. Takan lasista läpi tulevaa säteilyenergiaa on vaikea mitata. Jos saman verran

energiaa tulisi sisätiloihin, mitä saadaan veteen, jää hukkalämmöksi: $78\% - (29,7\% \times 2) = 18,6\%$. Silloin voimme päätellä, että säästöä olisi puolet lasketusta enemmän. 27 kg polttopuumäärä on 2 pesällistä 180 päivän aikana ja saman verran energiaa sisätiloihin tekee $332,64 \text{ €} \times 2 = 665,28 \text{ €}$ säästöä. Tässä ei ole otettu huomioon ilmanvaihtokoneen hyötysuhdetta, kun sisäilma vaihtuu jatkuvasti.

Vuodessa talo on ottanut kaukolämpöverkosta 10,919 MWh / 920,23 EUR sisältäen vuosimaksun 285,32 EUR. Se kulutus on aika pieni kun talon lämmitettävä ala on 124 m².

10.7 E-luku

Rakennuksen E-luvun avulla voidaan laskea laskennallinen energiankulutus vuodessa. Omakotitalon E-luku sähkökulutukseen on 50 kWh/m² vuodessa. Talon lämmitettävä pinta-ala on 124 m², mikä tekee vuodessa sähkökulutusta $124 \text{ m}^2 \times 50 \text{ kWh/m}^2 = 6,2 \text{ MWh}$ vuodessa. Talon 12 kk sähkökulutus oli 5,7 MWh vuodessa.

Kaukolämmöllä E-luku on 155 kWh/m², mikä tekee vuodessa $155 \text{ kWh/m}^2 \times 124 \text{ m}^2 = 19,22 \text{ MWh}$ vuodessa. Talon 12 kk kaukolämmönkulutus oli 10,919 MWh. (E-luku)

10.8 Takaisinmaksuaika

Talon E-luvun mukainen energiankulutus kaukolämpöverkosta olisi 19,22 MWh vuodessa. Siinä ei ole otettu huomioon kylpyammetta, joka on merkittävä energiasyöppö. Talossa on kulunut vuodessa 10919 kWh energiaa kaukolämpöverkostosta. Saavutettu energiamäärän erotus vuodessa on tehtyjen laskelmien mukaan $19220 \text{ kWh} - 10919 \text{ kWh} = 8301 \text{ kWh}$. Ultraäänimittari on asetettu vesikiertoisen takan väliin joulukuussa 2018. Vasta joulukuussa 2019 voidaan sanoa, mikä oli vuodessa lämmitysveteen vesikiertoiselta takalta saatu energia.

Energiamäärä 8301 kWh kaukolämpöverkossa maksaa $8,301 \text{ MWh} * 65 \text{ €/MWh} = 539,56 \text{ €}$ vuodessa. Kun otetaan huomioon säteilylämmöstä saatu hyötysuhde noin 30 %, saadaan säästökseksi 701,43 € vuodessa. (Seinäjoen kaukolämpö)

Takka, kuori, putkistot, latauspumppu, varaaja ja hormi maksoivat yhteensä noin 5500 €. Takaisinmaksuaika olisi siten $5500 \text{ €} / 701,43 \text{ €/vuodessa} = 7,8$ vuotta.

Toinen tapa tehdä laskelma takaisinmaksuajasta on, että lasketaan lämmityskauden alkavan syyskuusta ja loppuvan huhtikuun lopussa. Tällöin on lämmityskauden pituus 8 kuukautta. Laskelma edellyttää, että joka päivä lämmityskaudella poltetaan saman verran polttopuita. Testit on suoritettu kahdella polttopuumäärällä; ensimmäinen testi oli 27 kg polttopuita ja toisessa testissä oli 12,2 kg. Ensimmäisessä testissä oli niin paljon puita, että takka piti täyttää useamman kerran. Toisessa testissä päästiin kahdella tulipesän täyttökerralla. Jos lasketaan tästä molempien keskiarvo ja siitä 8 kuukauden energiamäärä, saatiin suoraan varaajaan tehot 33 kWh ja 15,2 kWh. Keskiarvo molemmista $(33 \text{ kWh} + 15,2 \text{ kWh})/2 = 24,1 \text{ kWh}$ ja se saavutetaan 18,5 kg polttopuumäärällä. Lämmityskauden 240 päivänä poltettaisiin 18,5 kg puita ja saataisiin 5,78 MWh energiaa lämmitysveteen vuodessa, mikä tekee rahana $5,78 \text{ MWh} * 65 \text{ €/MWh} = 375,7 \text{ €}$. Takan säteilyenergia huomioiden saataisiin $375,7 \text{ €} * 2 = 751,4 \text{ €}$ arvosta kokonaisenergiaa vuodessa. Silloin takaisinmaksuaika olisi $5500 \text{ €} / 751,4 \text{ €/v} = 7,3$ vuotta.

11 YHTEENVETO

Energiaa on saatu vesikiertoisesta takasta jonkin verran. Vaikka hyödynsuhte veteen on ollut pieni, säästöä on silti saatu mukavasti. Hybridilämmityksen toiminta säästää kustannuksissa ja saa valita, mitä lämmitysmuotoa milloinkin käytetään.

On esitetty näkemyksiä, että ilmastonmuutoksen takia puulla lämmittämistä tulee vähentää. Kuitenkin puulla on lämmitetty ja lämmitetään vielä pitkälle tulevaisuuteen. Sen sijaan tulevaisuudessa saatetaan edellyttää taloissa hybridilämmitystä eli useampaa lämmitysmuotoa. Esimerkiksi aurinkolämpökauden ulkopuolella lämmitetään puulla – perinteinen puulämmitystekniikka on yksinkertaista ja se mm. toimii aina ilman sähköä.

Vesikiertoinen takka tarvitsee sähköä, vaikka olisi rakennettu luonnollinen vesikierto varaajalle; varaajasta ei saa ilman sähköä siirrettyä lämmitysvettä lattia- tai patteriverkostolle. Vesikiertoista takkaa on huonoa käyttää säteilylämmittimenä, kun vesi sen sisällä saattaa alkaa kiehua.

LÄHTEET

E-luku Lähtöarvot RakMk D3. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma: Rakennusten energiatehokkuus. [Verkojulkaisu]. Helsinki: Ympäristöministeriö. [Viitattu 19.5.2019]. Saatavana: https://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf

Grundfos kiertovesipumppu UPM3 AUTO L-50. 2015. LK Systems Oy. [Verkojulkaisu]. Tuusula: LK Systems Oy. [Viitattu 19.5.2019]. Saatavana:<https://www.lksystems.fi/globalassets/inriver/resources/fi.33.c.178-grundfos-upm3-auto2.pdf>

Hillebrand, K. 2010. Polttopuun kuivaus ja laadunhallinta: Energiasisältö, polttopiden eri lämpöarvoja. Helsinki: VTT.

Högfors lämmönjakokeskus UNIS 100-2RF. 2015. [Verkojulkaisu]. Leppävirta: HögforsGST Oy. [Viitattu 19.5.2019]. Saatavana:<https://hogforsgst.com/fi/tuotteet/seinaasenteiset-lammonjakokeskukset/unis-100-2rf-lammonjakokeskus/>

Kalsiumsilikaattilevy tuote. 2019. Oy Abresto Ab [Verkojulkaisu]. Helsinki: Oy Abresto Ab. [Viitattu 19.5.2019]. Saatavana:https://www.abresto.fi/pdf/datalehti-kalsiumsilikaatti-skamotec_225.pdf

Lämmön luovutus. 2017. Lämpöhäviöt ja pattereiden lämmönlouutus- tehot 1980-luvun toimitilakiinteistössä, [Verkojulkaisu]. Metropolia: Hannu Savo [Viitattu 19.5.2019]. Saatavana:

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/134819/Savo_Hannu.pdf.pdf?sequence=1

Nemo 2B vesikiertoinen takka. 2019. Tulituote Oy. [Verkojulkaisu]. Seinäjoki: Tulituote Oy. [Viitattu 19.5.2019]. Saatavana: https://www.tulituote.com/tuotteet/vesikiertotuotteet/vesikiertotakkasydamet/nemo_2b/

Ouman tietopankki. 2013. Ouman EH-203 ohjauskeskuksen tietopankki. [Verkojulkaisu]. Kempele: Ouman Oy. [Viitattu 27.4.2019]. Saatavana: http://ouman.fi/documentbank/EH-203_manual_fi.pdf

Paisuntasäiliö, ohjeet LVI kortisto LVI 11-10142. 2001. Rakennustietosäätiö RTS ja LVI-Keskusliitto, [Verkojulkaisu]. Helsinki: Rakennustieto Oy [Viitattu 19.5.2019]. Saatavana: https://www.rakennustieto.fi/kortistot/rane/attachments/5eczM8oF/5efG5yDTz/Files/CurrentFile/LVInayte_1110329.pdf

Pakkasneste, etyleeniglykolin suhde. 2003. Engineering ToolBox, [Verkojulkaisu]. Ethylene Glycol Heat-Transfer Fluid [Viitattu 19.5.2019]. Saatavana: https://www.engineeringtoolbox.com/ethylene-glycol-d_146.html

Puun hinta. 2019. Polttopuumyynti. [Verkojulkaisu]. Kolkantaipale: T:mi Tuomas Muhonen. [Viitattu 19.5.2019]. Saatavana: <http://www.polttopuumyynti.com/hinnasto.html>

Rakentamismääräys asiakirja D5. 2007. Suomen rakentamismääräyskokoelma Ympäristöministeriö, Asuntoja rakennusosasto. [Verkojulkaisu]. Helsinki:

Ympäristöministeriö. [Viitattu 19.5.2019]. Saatavana:
<https://www.finlex.fi/data/normit/29520-D5-190607-suomi.pdf>

Rakentamismääräyskokoelma D1. 2007. Ympäristöministeriön asetuskiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistoista. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Ympäristöministeriö. [Viitattu 19.5.2019]. Saatavana:https://www.finlex.fi/data/normit/28208-D1_2007.pdf

Savolainen, J. & Vaittinen, R. 2003. Sääätötekniikan perusteita. Helsinki: Suomen Robotiikkayhdistys ry.

Seinäjoen Energia energiakulutuksen laskut. 2019. Asukkaan tiedoilla saattut laskut. [Verkkosivu]. [Viitattu 19.4.2019]. Saatavana:<https://portal.sen.fi/Users/Account/AccessDenied?ReturnUrl=%2F>

Seinäjoen kaukolämmön hinnasto. 2019. [Verkkajulkaisu]. Seinäjoki: Seinäjoen Energia Oy. [Viitattu 19.5.2019]. Saatavana:
<https://www.seinajoenenergia.fi/documents/key20190519213728/pdf/kl-hinnasto-09112017.pdf>

Sähkön hinta. 2019. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Energiavirasto. [Viitattu 19.5.2019]. Saatavana: <https://www.sahkonhinta.fi/>

Swegon tietopankki. 2019. Swegon w4 econo ilmanvaihtokone, [Verkkajulkaisu]. Oy Espoo: Swegon Ab [Viitattu 19.5.2019]. Saatavana:
http://www1.swegon.com/Global/PDFs/Home%20ventilation/Air%20handling%20units/Swegon%20CASA%20W-series/_fi/W4_e_FI-t.pdf

Turvaventtiili BVT5. 2012. Oy Danfoss Ab [Verkkajulkaisu]. Espoo: Oy Danfoss Ab.
[Viitattu 19.5.2019]. Saatavana:
<http://files.danfoss.com/TechnicalInfo/Dila/04/IC.PD.500.E3.01.pdf>

Ultraäänivirtausanturi. 2007. General Electric Company [Verkkajulkaisu]. Boston, Massachusetts, USA: General Electric Co. [Viitattu 19.5.2019]. Saatavana:
https://www.finnpri.com/userData/finnpri-sf83/pdf/pt900/ge_transport_pt900_flow_meter_user_manual_910-315b.pdf

Varaaja Jäspi Hybrid GT500. 2015. Kaukora Oy. [Verkkajulkaisu]. Raisio: Kaukora Oy. [Viitattu 19.5.2019]. Saatavana: <https://jaspi.fi/wp-content/uploads/2016/09/KayttoohjeGTV500Hybridi.pdf>

Veden tiheys. 2011. Computer Support Group. [Verkkajulkaisu]. Palm Springs, California: CSGNetwork. [Viitattu 19.5.2019]. Saatavana: <http://www.csghnetwork.com/h2odenscalc.html>

Vexve latauspumppuThermovar UPS2. 2017. Vexve Oy. [Verkkajulkaisu]. Sastamala: Vexve Oy. [Viitattu 19.5.2019]. Saatavana: https://vexve.studio.crasman.fi/file/dl/i/Pw7FDg/X0iUjD5rRp-fBetp-w2qOA/Thermovar_manual_FI-1.pdf

Vexve sekoitusventtiili amv3. 2017. Vexve Oy. [Verkkajulkaisu]. Sastamala: Vexve Oy. [Viitattu 19.5.2019]. Saatavana: <https://www.vexve.com/fi/tuotteet/lammonsaatotuotteet/sekoitusventtiilit/vexve-amv3/>