

Lasse Hyvönen

**AURINKOLÄMMITYSJÄRJESTELMÄN
ENERGIANMITTAUSLAITTEISTO**

AURINKOLÄMMITYSÄJÄRJESTELMÄN ENERGIANMITTAUSLAITTEISTO

Lasse Hyvönen
Opinnäytetyö
Kevät 2018
Tietotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Tietotekniikan koulutusohjelma, älykkäät järjestelmät

Tekijä: Lasse Hyvönen
Opinnäytetyön nimi: Aurinkolämmitysjärjestelmän energianmittauslaitteisto
Työn ohjaaja: Eino Niemi
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2018
Sivumäärä: 34

Työn aiheena oli suunnitella ja rakentaa laitteisto, jolla voidaan mitata vesikiertois-
sen aurinkolämmitysjärjestelmän energiantuottoa. Lisäksi tavoitteena oli selvittää
aurinkolämmitysjärjestelmän energiantuottoa eri vuodenaikoina. Tässä työssä
toteutettava laitteisto soveltuu parhaiten pienempien kiinteistöjen, kuten omako-
titalot, mittauksiin.

Laitteiston rakentamisessa käytettiin mahdollisimman vähän erikoistyökaluja ja
ohjelmistot tehtiin mahdollisimman yksinkertaiseksi. Näin menettelemällä laitteis-
ton hinta ja laitteiston rakentamisen kynnys saatiin pidettyä alhaisena.

Tavoitteisiin päästiin melko hyvin. Laitteiston hankintahinnaksi tulee komponent-
tien ostopaikasta riippuen n.100 euroa. Laitteistolla saatiin mitattua energiantuot-
toa, kuten tavoitteena oli, mutta lyhyen mittausjakson takia koko vuoden kerty-
mää ei pystytty vielä selvittämään. Tarkoituksena on jatkaa mittauksia, jolloin
saadaan parempi kuva laitteiston toiminnasta ja mahdollisista ongelmista pidem-
missä mittausjaksoissa.

Asiasanat: Arduino, sulautetut järjestelmät, energianmittaus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree program of information technology, smart systems

Author: Lasse Hyvönen

Title of thesis: Equipment for measuring energy from solar heating system

Supervisor: Eino Niemi

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2018

Pages: 34

The goal of this thesis was to design and develop equipment and software for measuring solar heating system energy production. Another goal was to measure energy production on different times of year. This type of product is most suitable for measuring energy in small houses.

In construction, there was minimal usage of special tools and software was kept as simple as possible. By doing so, it was possible to keep costs and threshold to build low.

Goal was achieved quite good. Investments for equipment are around 100 euros. As planned, it was possible to measure energy production, but it wasn't possible to measure different times of year because project lasted for shorter than a year. Plan is to continue measurements for more data and see if there are any problems in longer period of measuring.

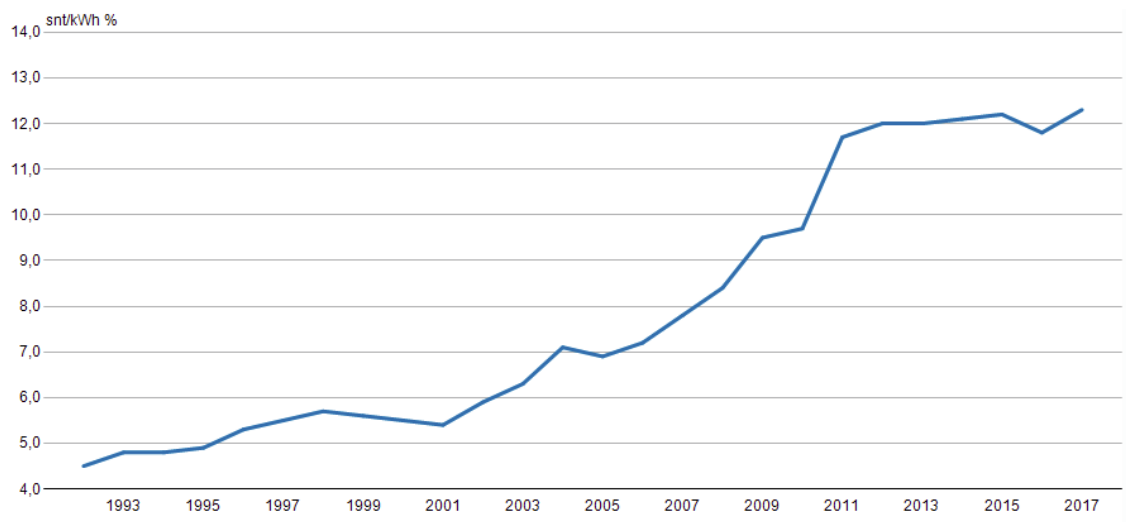
Keywords: Arduino, embedded systems, energy measurement

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 AURINKOENERGIAN TALTEENOTTO	8
3 MITTALAITTEISTO	10
3.1 Arduino	10
3.2 Raspberry Pi	11
3.3 DS18B20 lämpötila-anturi	12
3.4 Virtausanturi	12
4 OHJELMISTO	14
4.1 Arduino IDE	14
4.2 MySQL	14
4.3 taloLogger	14
5 LAITTEISTON RAKENNE	15
5.1 Aurinkokeräinjärjestelmä	15
5.2 Mittalaitteisto	16
6 LAITTEISTON TOIMINTA	17
6.1 Mittaus	17
6.2 Tiedonsiirto	17
6.3 Datan tallentaminen	18
6.4 Datan tulostaminen näytölle	18
6.5 Käyttöliittymä	18
7 OHJELMAKOODIT	23
7.1 Datan mittaaminen	23
7.2 Datan lähettäminen tietokantaan	24
7.3 PHP	25
7.4 taloLoggerin koodi	26
8 MITTAUSTULOKSET	29
9 YHTEENVETO	32
LÄHTEET	33

1 JOHDANTO

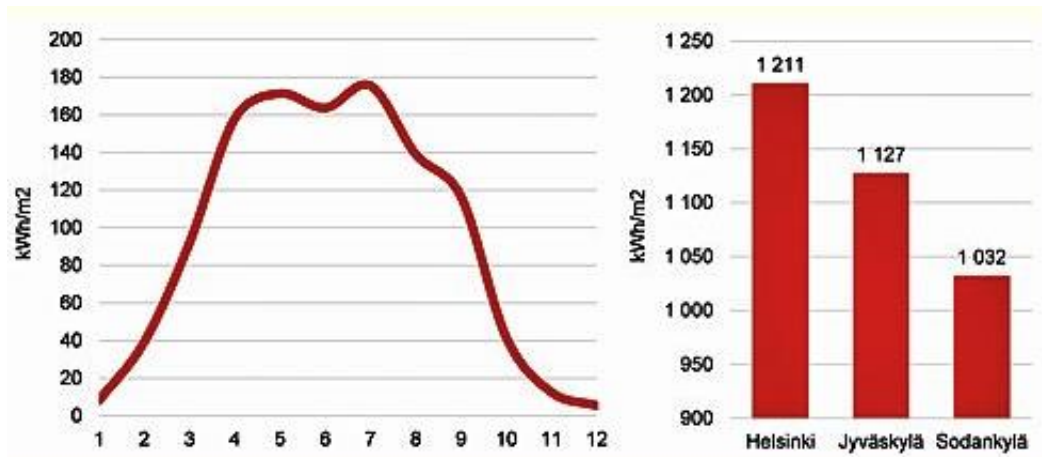
Sähkön ja muiden energiamuotojen hinnan ja kulutuksen nousun vuoksi on alettu miettimään vaihtoehtoisia energiantuotantomuotoja (1). Kuvassa 1 on esitetty pientaloasiakkaan sähkön hinnan kehitystä viimeisen 25 vuoden ajalta. Monessa Etelä-Euroopan maassa kotitalouksissa on käytetty aurinkoa energiantuotantoon.



KUVA 1. Sähkön hinnan kehitys pientaloasiakkaalla (1)

Viime vuosina järjestelmien hinnat ovat tulleet sekä aurinkosähkö- että aurinkolämpöjärjestelmissä niin paljon alaspäin, että ihmiset ovat alkaneet hankkia niitä myös Suomessa.

Aurinkoenergiaa on ollut saatavilla aina, mutta sen hyödyntäminen on toistaiseksi ollut Suomessa vähäistä. Ongelmaksi koetaan usein energian saannin epätasainen jakautuminen eri vuodelle. (2.) Kuvassa 2 on esitettyä auringon säteilyn määrä Suomessa eri vuodenaikoina.



KUVA 2. Aurinkoenergian säteilyn määrä eri vuodenaikoina (2)

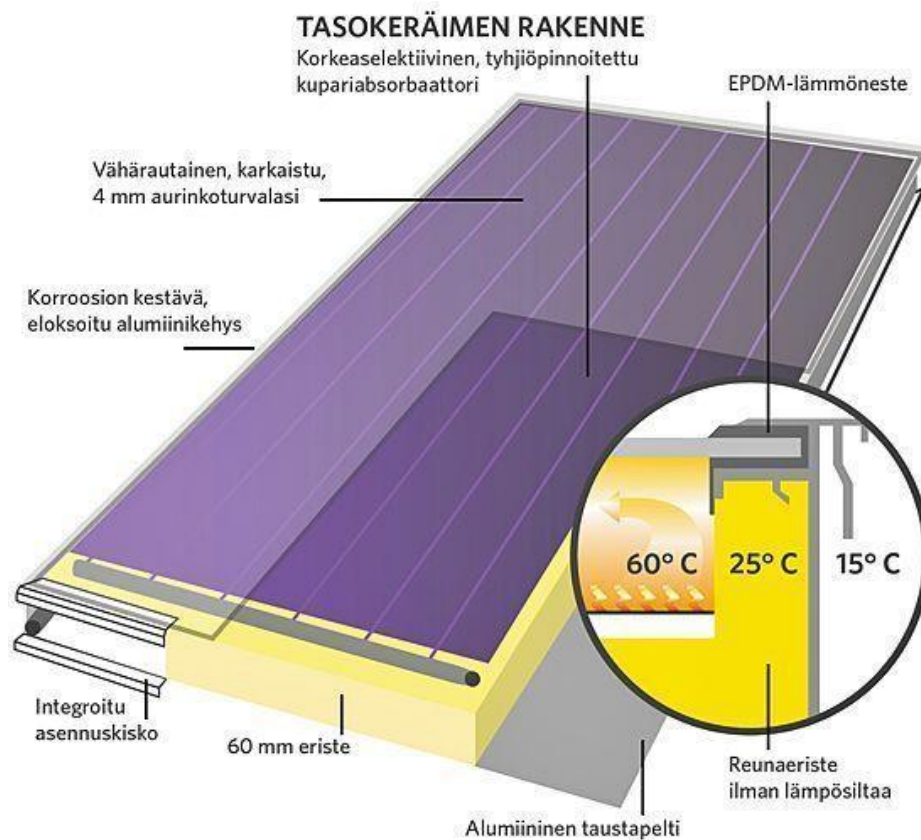
Kaikissa laitteistoissa ei ole itsessään energian mittausta, joten käyttäjä joutuu vain arvailemaan tuottoa tai vertaamaan aikaisempien vuosien energialaskujen perusteella mahdollista tuottoa. Tosin tähän vertailuun liittyy ongelmia jo pelkästä vuosittaisesta lämpötilojen vaihtelusta ja mahdollisten asumistottumusten muuttumisesta.

Työn tavoitteena on koota laitteisto edullisista ja helposti saatavilla olevista komponenteista ja mahdollisimman yksinkertaisesta ohjelmistosta niin, että lähes jokaisella on mahdollisuus toteuttaa vastaavanlainen laitteisto. Lisäksi tätä laitteistoa on mahdollista käyttää myös muiden vesikiertoisten järjestelmien energianmittaukseen.

2 AURINKOENERGIAN TALTEENOTTO

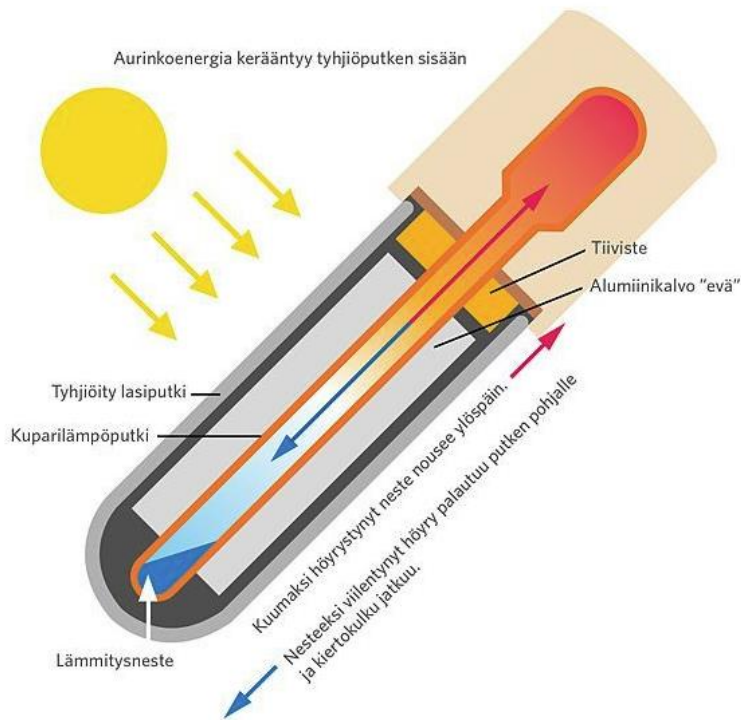
Suomessa auringosta saatavan säteilyn vuosittainen kokonaismäärä neliometriä kohti vaihtelee Helsingin n.1 200 kWh:sta Sodankylän n.1 000 kWh:iin (2). Tämä säteily voidaan muuttaa joko sähköksi tai lämmöksi. Tässä työssä käytössä oli vesikiertoinen aurinkolämpöjärjestelmä, joten aurinkosähköjärjestelmiä ei käsitellä.

Vesikiertoisia aurinkokeräimiä on kahta eri päätyyppiä: tasokeräin ja tyhjiöputki-keräin. Tasokeräimessä on kupariputkista koostuva verkosto, jonka pystyputkien välissä on lämpöä keräävät alumiinilevyt. Alumiinilevyt on päällystetty materiaallilla, joka heijastaa mahdollisimman vähän säteilyä pois. Näin suurin osa säteilystä muuttuu lämmöksi ja siirtyy nesteeseen. (3.) Kuvassa 3 on leikkauskuva tasokeräimen rakenteesta.



KUVA 3. Tasokeräimen rakenne (3)

Tyhjiöputki- tai putkikeräimessä kupariputket on sijoitettu kaksikerroksiseen lasiputkeen, johon on imetty tyhjiö. Kupariputken sisällä on neste, joka höyrystyy, kun siihen paistaa aurinko. Höyry nousee putken yläosaan, josta se luovuttaa lämmön kollektorissa kiertävään nesteeseen. Jäähdytynyt höyry nesteytyy ja valuu putken alaosaan. (3.) Kuvassa 4 on putkikeräimen poikkileikkaus.



KUVA 4. Putkikeräimen rakenne. (3)

Myös ilmakiertoisia aurinkokeräimiä on saatavilla. Niissä on yleensä eristetty laatikko, jonka päällä on lasinen tai muovinen kansi, joka päästää auringon säteilyn läpi. Sisäpuolella on mustaksi maalattu tai pinnoitettu verkko, joka lämpiää auringon säteilystä. Ilma imetään tämän verkon läpi, jolloin ilma lämpiää ja se voidaan johtaa esim. rakennuksen sisätiloihin.

3 MITTALAITTEISTO

3.1 Arduino

Arudino on avoimeen lähdekoodiin perustuva helppokäyttöinen mikrokontrolleri. Arduinoa on tarjolla montaa eri versiota erilaisiin tarpeisiin. Arduino on kehitetty Ivrea Interaction Design Institutessa. Tarkoituksena oli toteuttaa laite nopeaan ja helppoon prototyypin rakentamiseen. Laite on suunnattu oppilaille, joilla ei ole aikaisempaa kokemusta elektroniikasta tai ohjelmoinnista. Aluksi Arduinot, esimerkiksi Arduino UNO, olivat yksinkertaiseen 8-bittiseen prosessoriin perustuvia laitteita, mutta ovat kehittyneet siitä huomattavasti eteenpäin. (4.)

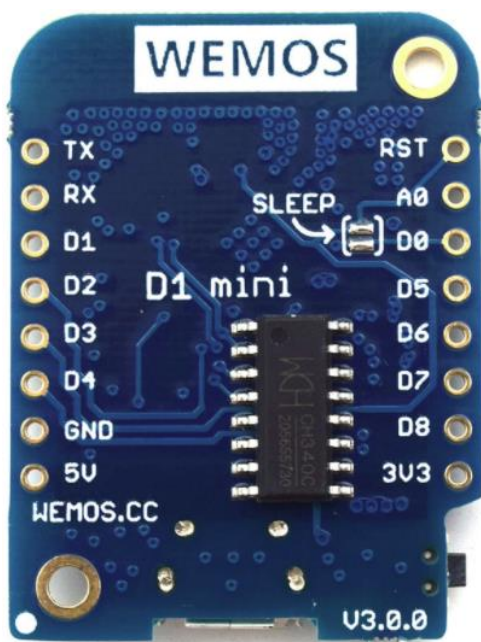


KUVA 5. Arduino UNO (4)

Arduinon helppo käyttö auttoi sitä yleistymään hyvin laajalle. Ohjelmoinnissa pääsee aloittelijakin helposti alkuun ja siitä löytyy myös ominaisuuksia kokeneille käyttäjille. Esimerkkejä ja ohjeita löytyy hyvin paljon eri keskustelupalstoilta.

Arduinon ohjelmointikielenä on Arduinon oma kieli, joka on johdettu C/C++-kielistä ja sisältää myös paljon samoja käskyjä. Lisäksi Arduinon ohjelmointi on mahdollista C/C++-kielillä.

Arduino-klooneja on monta erilaista ja niiden hinnat alkavat muutamasta eurosta. Klooneit ovat yhteensopivia Arduinon kanssa, joten lisälaitteet ja ohjelmointityökalut sopivat niille suoraan. Tässä työssä käytetään WeMos D1 mini-mikrokontrolleria, joka on yksi Arduino-klooneista. Se sisältää 11 digitaalista I/O-liitäntää ja yhden analogisen sisääntulon. Lisäksi siinä on integroitu WLAN-sovitin, jolloin sen liittäminen langottomaan verkkoon onnistuu ilman erillisiä lisälaitteita. (5.) Hintaa WeMosilla on noin 3 euroa. Edullinen hinta ja integroitu WLAN-sovitin olivat merkittävimmät syyt WeMosin valintaan. Kuvassa 6 on WeMos D1 mini.



KUVA 6. WeMos D1 mini (5)

3.2 Raspberry Pi

Raspberry Pi, tuttavallisemmin RasPi, brittiläisen Raspberry Pi Foundationin kehittämä pienikokoinen tietokone, jossa kaikki komponentit on sijoitettu yhdelle piirilevyille (6).

RasPi on Arduinon verrattuna täysiverinen tietokone. Se sisältää normaalin mikrokontrollerin ominaisuuksien lisäksi USB-liitännät, HDMI-liitännän näyttöä varten

ja Ethernet-liitännän. Joissain malleissa on myös WLAN-sovitin. (7.) RasPia käytetään monesti pienen Linux-palvelimen pyörittämisessä, koska laite on riittävän tehokas siihen, kuluttaa vähän sähköä ja voidaan asentaa pienen kokonsa vuoksi melkein minne vain. Tässä projektissa käytetään versiota 3, joka on esitettyinä kuvassa 7. Tähän valintaan päädyttiin langattoman tiedonsiirron vuoksi.



KUVA 7. RaspberryPi3 (7)

3.3 DS18B20 lämpötila-anturi

DS18B20 on digitaalinen lämpötila-anturi, jolla pystytään mittaamaan $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$:n lämpötiloja lämpötiloja. Sen erottelutarkkuus on $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Anturi on osoitteellinen (64-bittinen), joten niitä voidaan kytkeä samaan väylään useita kappaleita. (8.) Anturin saatavuus, hinta ja helppokäyttöisyys ovat tehneet siitä suosittun harrastajien käytössä.

3.4 Virtausanturi

Virtauksen mittaukseen käytetään putkeen asennettavaa pulssianturia. Sen sisällä on siipiras, joka pyörii nesteen virratessa. Siipirattaassa on magneetti, joka ohittaa magneettiin reagoivan kytkimen kerran kierroksessa, josta kytkin

muodostaa pulssin. Tämä pulssi voidaan syöttää erilaisille mittalaitteille, tässä tapauksessa WeMosille. Anturin erotelutarkkuus on $1,7 \text{ ml} \pm 10 \% / \text{pulssi}$, joten tarkkuus soveltuu tähän työhön (9).

4 OHJELMISTO

4.1 Arduino IDE

Arduinon ja sen kloonien ohjelmointiin käytetään yleensä Arduinon kotisivuilta ladattavaa Arduino IDE -ohjelmistoa. IDE on lyhenne sanoista Integrated Development Environment, joka on suomennettuna integroitu ohjelmointiympäristö tai yleisesti ohjelmointiympäristö. Ohjelmassa on yksinkertainen käyttöliittymä ja siitä löytyy myös paljon esimerkkiohjelmia testaukseen ja muokkaukseen. Näin aloittelevakin ohjelmoija pääsee helposti alkuun.

4.2 MySQL

MySQL on suomalaisen Michael Wideniuksen ja ruotsalaisen David Axmarkin kehittämä tietokantaohjelmisto. Tietokanta on tietokoneelle tallennettava tietojen muistio, josta voidaan hakea tallennettua tietoa joko yksittäisinä tai yhdistelminä eri käyttöä varten. Tietokannassa data on tallennettu taulukkoon, jossa jokaisella sarakkeella on tietynlainen tietotyyppi. Tietotyypistä selviää, millaista dataa sarakkeelle voidaan tallentaa. (10.)

4.3 taloLogger

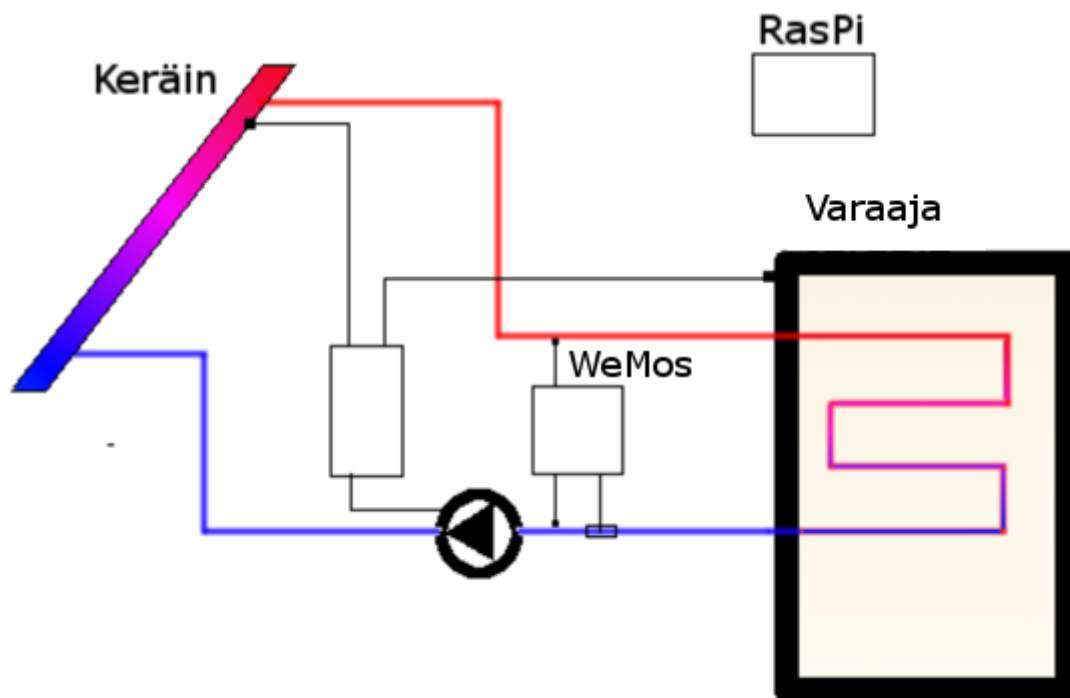
Datan esitykseen käytetään taloLogger-ohjelmistoa. taloLogger on monipuolinen automaatioprosessien dataloggeri. Se pystyy mittaamaan ja tallentamaan dataa monenlaisilta antureilta. taloLoggerilla voidaan lukea myös tietokannasta (MySQL tai SQLite) dataa ja se voidaan tulostaa selaimen viivakaaviona. Ohjelma on toteutettu Pythonilla, joten se toimii kaikilla Unix-pohjaisilla alustoilla kuten Linux. (11.) Ohjelmisto on ilmainen ja ladattavissa osoitteessa <https://zil.olammi.iki.fi/sw/taloLogger/>.

5 LAITTEISTON RAKENNE

5.1 Aurinkokeräinjärjestelmä

Kuvassa 8 on laitteiston rakenne. Katolle on asennettu 4 m²:n tasokeräin, joista nesteeseen siirtynyt lämpö syötetään kierukan kautta varaajaan. Pumppuyksikköä ohjaa järjestelmän mukana tullut ohjainyksikkö, joka mittaa varaajan lämpötilaa ja keräimen lämpötilaa. Kun näiden välinen lämpötilaero kasvaa riittävän suureksi, pumppu käynnistetään ja lämpö alkaa siirtymään varaajaan. Lämpötilaero on säädettävissä n.2–15 celsiusasteen välillä.

Energianmittauslaitteisto rakentuu WeMosista, Raspberry Pistä, kahdesta lämpötila-anturista ja virtausmittarista. Lämpötila-anturit on asennettu varaajalle menevään ja sieltä palaavaan putkeen. Virtausanturi on asennettu pumppuyksikön imupuolelle.



KUVA 8. Aurinkolämmitysjärjestelmä ja energianmittauslaitteisto

6 LAITTEISTON TOIMINTA

6.1 Mittaus

WeMos mittaa keräimelle menevän ja sieltä palaavan nesteen lämpötilaeroa ja virtausnopeutta. Näiden mittausten ja kuluneen ajan perusteella pystytään laskemaan kaavan 1 avulla järjestelmän energian tuotto (12).

$$E = c * m * \Delta t$$

KAAVA 1

missä E on saatu energian määrä, c on veden ominaislämpökapasiteetti, m on massa eli veden virtauksen määrä mittausjaksolla ja Δt on menoveden ja paluuveden lämpötilaero.

Hetkellinen teho saadaan laskettua kaavalla 2 (12).

$$P = \frac{E}{t}$$

KAAVA 2

missä P on teho, E on energia ja t on mittausjaksolla kulunut aika.

Suureiden muutokset ovat sen verran hitaita, että mittaustaajuudeksi riittää 1 Hz, eli suureet mitataan kerran sekunnissa. Tämä toistetaan 60 kertaa ja näistä mitaustuloksista lasketaan keskimääräinen teho ja saatu energia minuutin ajalta. Tämä siksi, ettei WeMosin tarvitse pitää yhteyttä jatkuvasti auki RasPiin.

6.2 Tiedonsiirto

Tiedonsiirto WeMosilta RasPille tapahtuu WLAN-verkkoa käyttämällä. Ensin WeMos yrittää muodostaa yhteyden RasPiin. Jos yhteyden muodostus onnistuu, WeMos lähettää datan RasPille, joka tallentaa mittausdatan tietokantaan. Tämä tapahtuu kerran minuutissa.

6.3 Datan tallentaminen

Raspi tallentaa WeMosilta tulevan datan MySQL-tietokantaan. Mittausdatan lisäksi jokaiseen mittaustulokseen lisätään aikaleima. Aikaleiman avulla voidaan seurata lämpötilojen, tehon ja energiantuotannon käyttäytymistä eri vuoden- ja kellon aikoina.

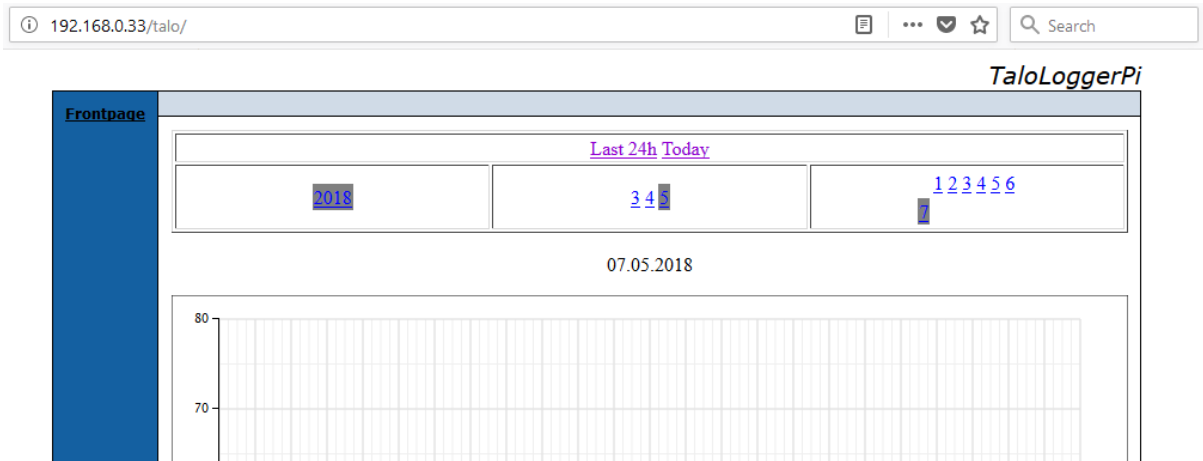
6.4 Datan tulostaminen näytölle

Mittausdatan esittämiseen käytetään taloLogger-ohjelmistoa. taloLogger lukee MySQL-tietokannasta WeMosin lähettämän datan ja siirtää sen web-sivulle näkyville. Ohjelmassa voidaan esittää useita suureita kerrallaan. Suuret voidaan myös nimetä ja ne voidaan linkittää visualisointiin, jolloin saadaan aikaiseksi helpommin lähestyttävä käyttöliittymä. Kuvaajissa näkyy meno- ja paluuveden lämpötilat sekä hetkellinen teho ja kokonaisenergiantuotanto.

Toistaiseksi laitteiston tuottamaan dataan päästään käsiksi vain kodin sisäverkosta, mutta järjestelmä olisi mahdollista liittää sellaiseen verkkoon, johon voidaan ottaa yhteyttä myös talon ulkopuolelta. Näin lämpötilojen ja energiamäärien käyttäytymistä voitaisiin seurata myös etänä.

6.5 Käyttöliittymä

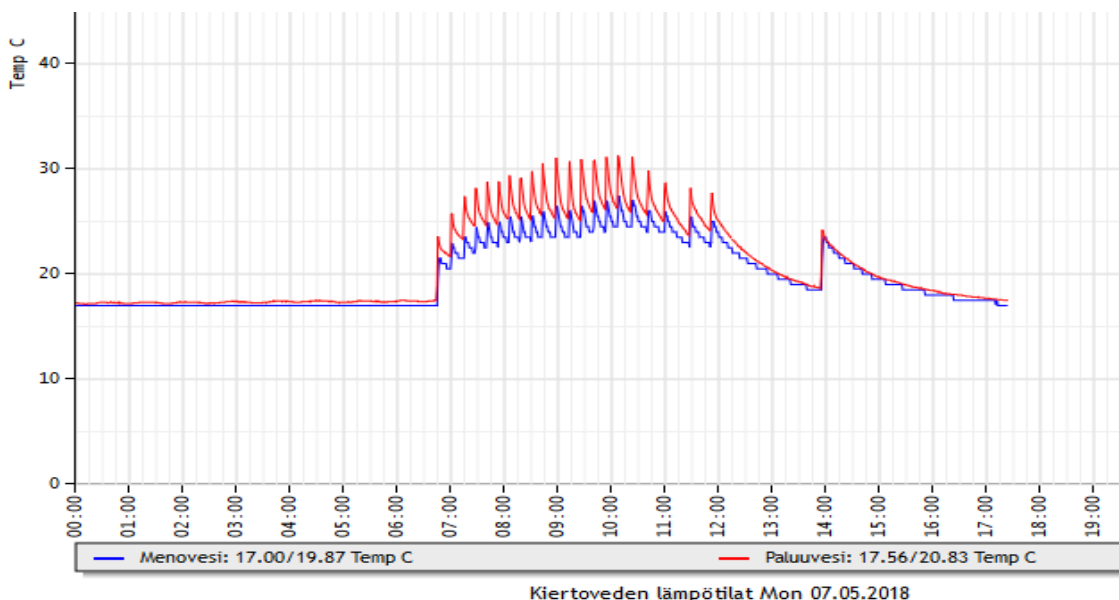
Järjestelmän käyttöliittymä on varsin yksinkertainen. Siinä ei voi tehdä mitään laitteistoon tai ohjelmistoon liittyviä muutoksia. Käyttöliittymä on pelkästään järjestelmän toiminnan seuraamista varten. Käyttöliittymään päästään selaimella, jossa osoiteriville laitetaan asetuksissa määritetty osoite. Osoite määrittyy osittain sen verkon mukaan, johon taloLogger on asennettu. /- merkin jälkeinen osa määritellään vapaasti asetuksissa. Kuvassa 10 näkyy valinnat, joita käyttöliittymässä on mahdollista tehdä. Siitä voidaan valita eri vuodelta, kuukaudelta ja päivältä mittaustulokset kuvaajaan.



KUVA 10. Näytettävän datan ajanjakson valintaruutu

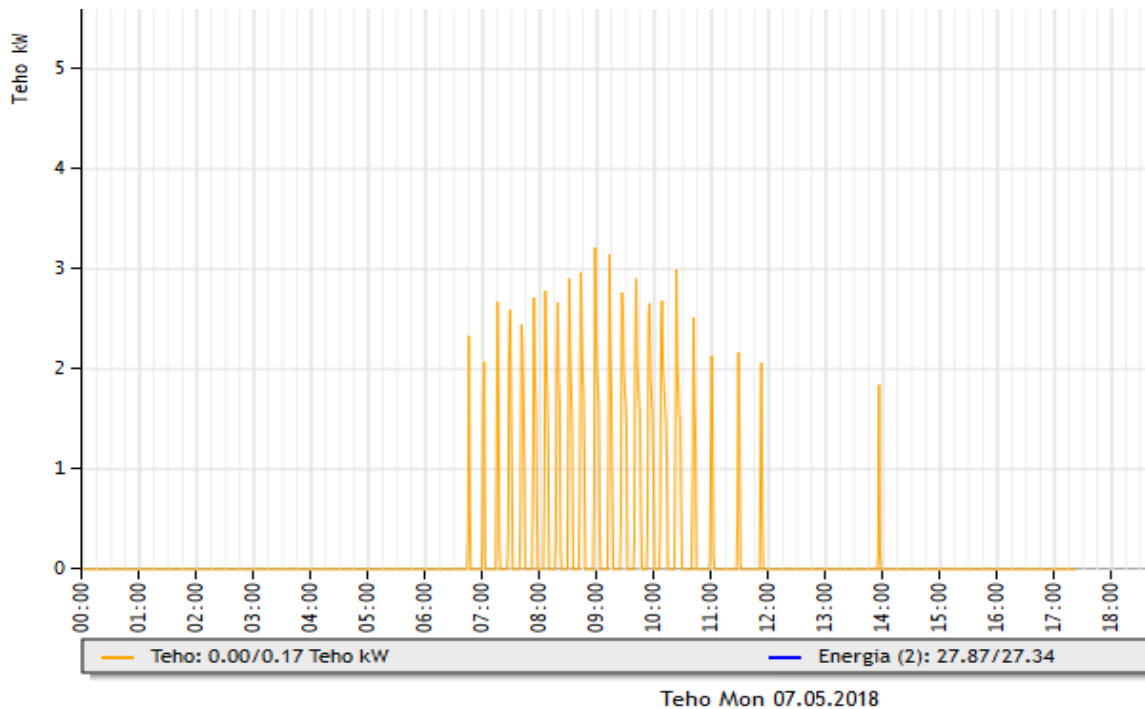
Vasemmassa laidassa olevaan siniseen palkkiin on mahdollista ohjelmoida toisia sivuja, joissa voi olla mittausdataa kuvattuna eri kohteista. Lisäksi taloLogger mahdollistaa kuvien käytön mittausdatan ja tilatietojen esittämiseen, jolloin sivulla voi olla järjestelmän kuva ja siinä indikaattori, joka ilmaisee esimerkiksi kiertovesipumpun sen hetkisen tilan.

Kuvassa 11 näkyy kuvaaja mittausdatasta. Y-akselin jako on mahdollista säätää kuvaajan määrittelyissä. Kuvassa 11 on esitetty 7.5. lämpötilojen käyttäytyminen.



KUVA 11. Lämmityspiirin kiertoveden lämpötilojen käyttäytyminen

Kuvaaja voi sisältää useita käyriä tai kuten tässä työssä on tehty, lämpötilat on yhdessä kuvaajassa ja teho toisessa kuvaajassa. Lisäksi toisen kuvaajan alalaidassa näkyy saatu energiamäärä. Kuvassa 12 on esitettyä tehojen käyttäytymisen 7.5.



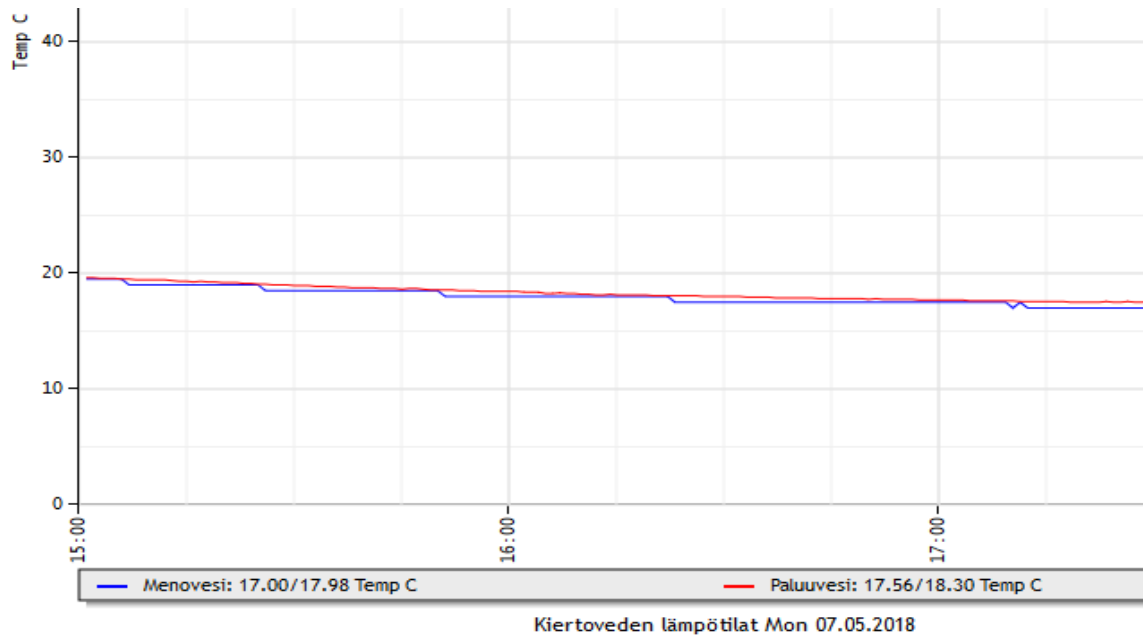
KUVA 12. Lämmityspiirin tehon käyttäytyminen päivän aikana

Lämpötilojen ja tehon käyriä seuraamalla voidaan nähdä myös kiertovesipumpun käyttäytyminen. Piikkien kohdalla kiertovesipumppu käy ja laaksojen kohdalla pumppu on pysähdyksissä.

Kuvaajaa on mahdollista tarkastella myös lyhyemmältä kuin vuorokauden ajalta. Tähän ei ole suoraan painiketta, mutta valitsemalla ajanjaksoksi Last 24h ja tämän jälkeen muuttamalla osoiterivin numeroa voidaan tarkastella myös alle 24 tunnin jaksoa. Tosin tämä onnistuu vain viimeiseltä ajanjaksolta. Esimerkiksi viikko sitten tapahtunutta mittausta ei pystytä tarkastelemaan lyhyemmältä jaksolta kuin 24 tuntia. Kuvassa 13 ympyröity on numero, jota muuttamalla mittausjakson muuttaminen onnistuu. Esimerkkiin on otettu kolmen tunnin mittausjakso ja sitä vastaava kuvaaja, joka näkyy kuvassa 14.

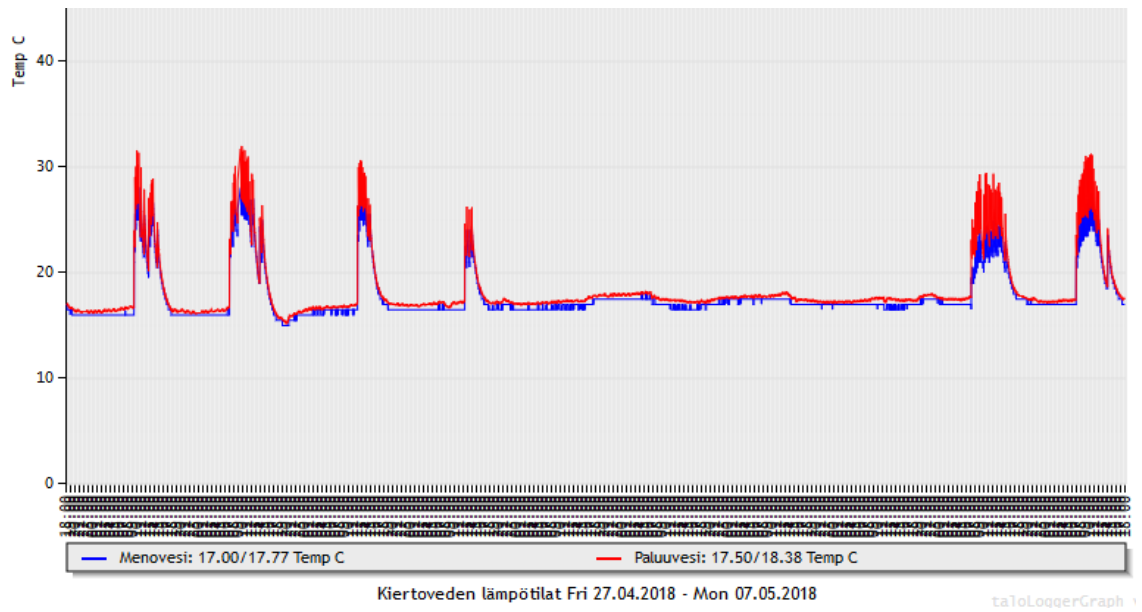
192.168.0.33/talo/?date=&period=3

KUVA 13. Osoitekenttä, johon voidaan syöttää manuaalisesti esitettävä ajanjakso



KUVA 14. Mittausdatan esittäminen kolmen tunnin jaksolta

Mittausjakson säätäminen myös toiseen suuntaan on mahdollista, jolloin saadaan kuvaajaan näkymään mittausdataa useammalta päivältä. Tämä tapahtuu samalla tavalla kuin edellisen kuvaajan piirtäminen. Kuvassa 15 on esitettyä 10 vuorokauden mittausjakso lämpötilojen käyttäytymisestä. Tuntikohtainen käyttäytyminen on kuitenkin hankala nähdä kuvasta, koska kuvaan piirtyy 240 tuntilukemaa. Tällaisesta kuvaajasta on kuitenkin hyvä vertailla laitteiston käyttäytymistä eri päivinä.



KUVA 15. Mittausdata 10 vuorokauden ajalta

7 OHJELMAKOODIT

Tässä luvussa on esitettyä laitteiston toiminnan kannalta oleelliset ohjelmat. Ne koostuvat datan mittaamisesta ja käsittelystä, datan lähettämisestä RasPille ja datan esittämisestä web-sivulla.

7.1 Datan mittaaminen

Seuraavassa ohjelmakoodauksessa on aliohjelmat virtauksen mittaamiseen, lämpötilojen lukemiseen ja energiamäärän laskemiseen.

```
//*****
void virtaus_mittaus()
{
//muutetaan mittausjakson virtaus litroiksi (1200 pulssia/litra)
virtausA=pulssilasku/1200;

//summataan virranneet litrat
virtaus_summaA=virtaus_summaA+virtausA;
//muutetaan mittaus l/min

lminA=60/aika_kulunut*virtausA;
pulssilasku=0;
}

//*****

void readTemp()
{
//luetaan lämpötilat antureilta ja tallennetaan ne muuttujiin
DS18B20.requestTemperatures();
tempA_meno = DS18B20.getTempC(AurinkoMeno);
tempA_paluu = DS18B20.getTempC(AurinkoPaluu);

delay(1000);
}

//*****
```

```

void EnergiaLasku()
{
    temp_delta=tempA_paluu - tempA_meno;
    //lasketaan energia auringosta ja muutos kJ->Wh
    energiaA=energiaA + ((temp_delta*virtausA*4.186)/3600);
    //lasketaan hetkellien teho
    teho=temp_delta*virtausA*4.186/aika_kulunut;
    //tehon keskiarvon laskentaan
    tehoKA=tehoKA+teho;
}

```

7.2 Datan lähettäminen tietokantaan

Alla olevassa ohjelmassa on tarvittava koodi tiedon lähettämiseksi RasPin tietokantaan.

```

void sendRequest(){
    laskuri=0;
    Serial.print("connecting to ");
    Serial.println(host);

    // Muodostetaan yhteys
    WiFiClient client;
    const int httpPort = 80;
    if (!client.connect(host, httpPort)) {
        Serial.println("connection failed");
        return;
    }

    //keskiarvoistetaan mittausjakson teho
    tehoKA=tehoKA/20;

    // Muodostetaan URL datan siirtoa varten
    String url = "/php/";
    url += streamId;
    url += "?tempA_meno=";
    url += tempA_meno;
    url += "&tempA_paluu=";
    url += tempA_paluu;
    url += "&energiaA=";
    url += energiaA,4;
    url += "&tehoKA=";
    url += tehoKA;
}

```



```

Serial.print("Requesting URL: ");
Serial.println(url);

// Lähetetään data palvelimelle ja katkaistaan sen jälkeen yhteys
client.print(String("GET ") + url + " HTTP/1.1\r\n" +
             "Host: " + host + "\r\n" +
             "Connection: close\r\n\r\n");

Serial.println("closing connection");

//nollataan laskurit
tehoKA=0;
energiaA=0;
}

```

7.3 PHP

PHP:llä koodattua ohjelmaa ajetaan RasPissa. Sen tarkoituksena on ottaa vastaan WeMosin lähettämä data ja tallentaa se tietokantaan.

```

<?php
//tietokannan määrittely
$servername = "localhost";
$username = "patmanni";
$password = "salasana";
$dbname = "iot";

//Muuttujien määrittely
$tempA_m = $_GET['tempA_meno'];
$tempA_p = $_GET['tempA_paluu'];
$energiaA = $_GET['energiaA'];
$teho = $_GET['tehoKA'];

// Muodostetaan yhteys
$conn = new mysqli($servername, $username, $password, $dbname);
// Check connection
if ($conn->connect_error) {
    die("Connection failed: " . $conn->connect_error);
}
//Haetaan viimeisin energian kokonaismäärä, jotta voidaan
//lisätä uusi "energiapaketti" kumulatiivisesti
$sql = "SELECT energy_sum FROM energy order by id desc limit 1";
$result = $conn->query($sql);

if ($result->num_rows > 0) {
    while($row = $result->fetch_assoc()) {
        $ener= $row["energy_sum"];
    }
}

```

```

}
else {
    echo "0 results";
}

//muunnos wh->kwh
$energiaA = $energiaA/1000;

//lisätään uusi määrä summaan
$energy_sum = $ener + $energiaA;

//aikaleiman ajan päivitys
$datenow = date("Y-m-d H:i:s");

//syötetään data tietokantaan
$sql = "INSERT INTO energy(aika,menovesi_kerain,paluuvesi_kerain,ener-
gia_kerain,teho, energy_sum)
VALUES (now(),$tempA_m','$tempA_p','$energiaA', '$teho', '$energy_sum')";

if ($conn->query($sql) === TRUE) {
    echo "New record created successfully";
} else {
    echo "Error: " . $sql . "<br>" . $conn->error;
}

$conn->close();
?>

```

7.4 taloLoggerin koodi

Ensimmäisenä määritellään tietokannan tyyppi, josta data haetaan. Lisäksi kuvaajan piirtoa varten tarvitaan tietokannan taulukko (table), jota käytetään, ja siinä olevan aikaleiman sarakkeen nimi. Näin taloLogger osaa järjestää mittaus- tulokset kuvaajaan oikein.

```

#####
# Datan käsittelyn konfigurointi
#####

# Tietokannan tyyppi
DB_TYPE = MYSQL

# Use native taloLogger database schema of given version. If key is available
# DB_TABLE and DB_TIMECOL -parameters will be ignored. Version 0 or key
# not available uses user the configurable table model.
# Available versions:

```

```
# 1 - since taloLoggerGraph v1.1a and taloLogger v1.5a
DB_TALOLOGGER_SCHEMA_VERSION = 0
```

```
# Tietokannan taulukon nimi
DB_TABLE = energy
```

```
# Aikaleiman nimi tietokannassa
DB_TIMECOL = aika
```

Seuraavaksi määritetään tietokantaan yhteyden muodostamiseen tarvittavat parametrit.

```
#####
# MySQL konfigurointi
#####
```

```
# Host
MYSQLDB_HOST = localhost
```

```
# Käyttäjätunnus
MYSQLDB_USER = patmanni
```

```
# Salasana
MYSQLDB_PASSWD = salasana
```

```
# Database name
MYSQLDB_NAME = iot
```

Tämän jälkeen määritellään kuvaajan piirtotapa.

```
#####
# Graphing configuration
#####
```

```
# Graafin piirtotapa
# false - default, draw images server side (JpGraph)
# true - use javascript (d3js) in browser to visualize the graphs
JAVASCRIPT_CHARTS = true
```

Seuraavaksi määritellään kuvaajat. Tässä työssä käytetään kahta kuvaajaa. Toiseen piirretään aurinkokeräinpiirin meno- ja paluuveden lämpötilat ja toiseen energia ja teho.

```
#####
# Chart1 konfigurointi
#####
```

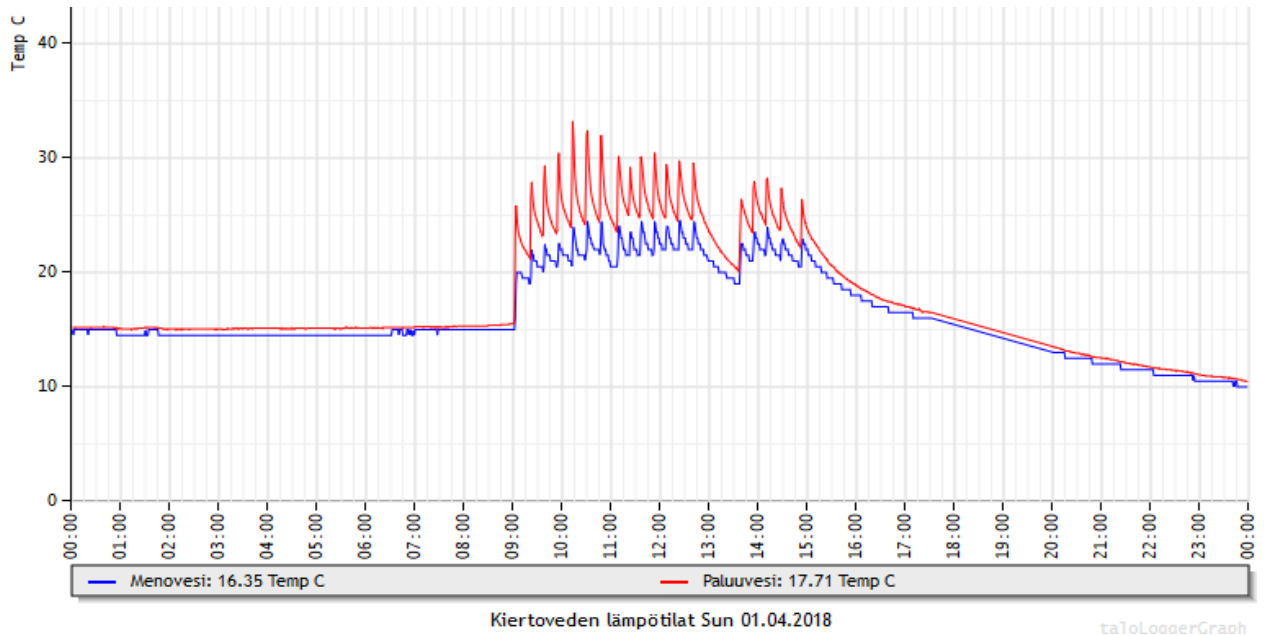
```
*CHART*
TITLE = Keräimen lämpötilat
AXIS_1 = 0:80:10:5:TempC
SIZE = 800:694
LEGEND = 3:2
#käyrien piirto tietokannan datan mukaan
@SERIES = NORMAL:menovesi_kerain:Menovesi:blue:1:1.0
@SERIES = NORMAL:paluuvesi_kerain:Paluuvesi:red:1:1.0
```

```
#####
# Chart2 konfigurointi
#####
```

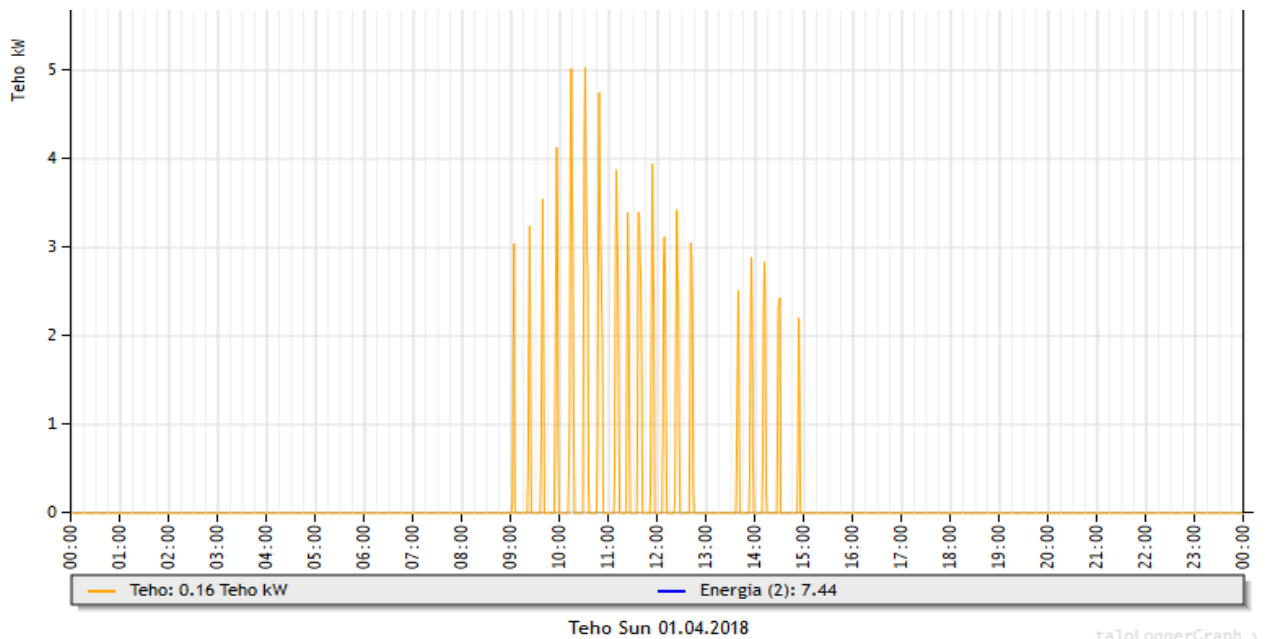
```
*CHART*
TITLE = Teho ja energia
AXIS_1 = 0:20:10:5:Energy kWh
AXIS_2 = 0:10:10:5:Power kW
SIZE = 800:694
LEGEND = 3:2
#käyrien piirto tietokannan datan mukaan
@SERIES = NORMAL:teho:Teho:orange:2:1.0
@SERIES = NORMAL:energy_sum:Energia:blue:1:1
```

8 MITTAUSTULOKSET

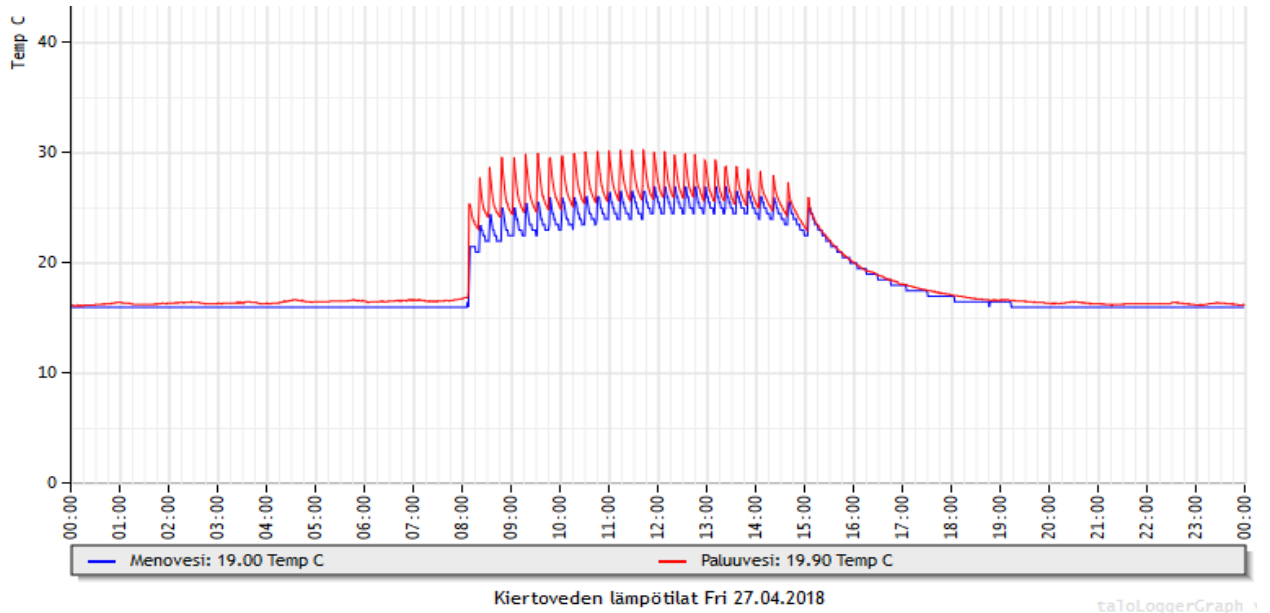
Kuvissa 16 ja 17 on esitetty lämpötilojen ja tehojen käyttäytyminen 1.4. ja kuvissa 18 ja 19 vastaavat mittaukset huhtikuun lopulta.



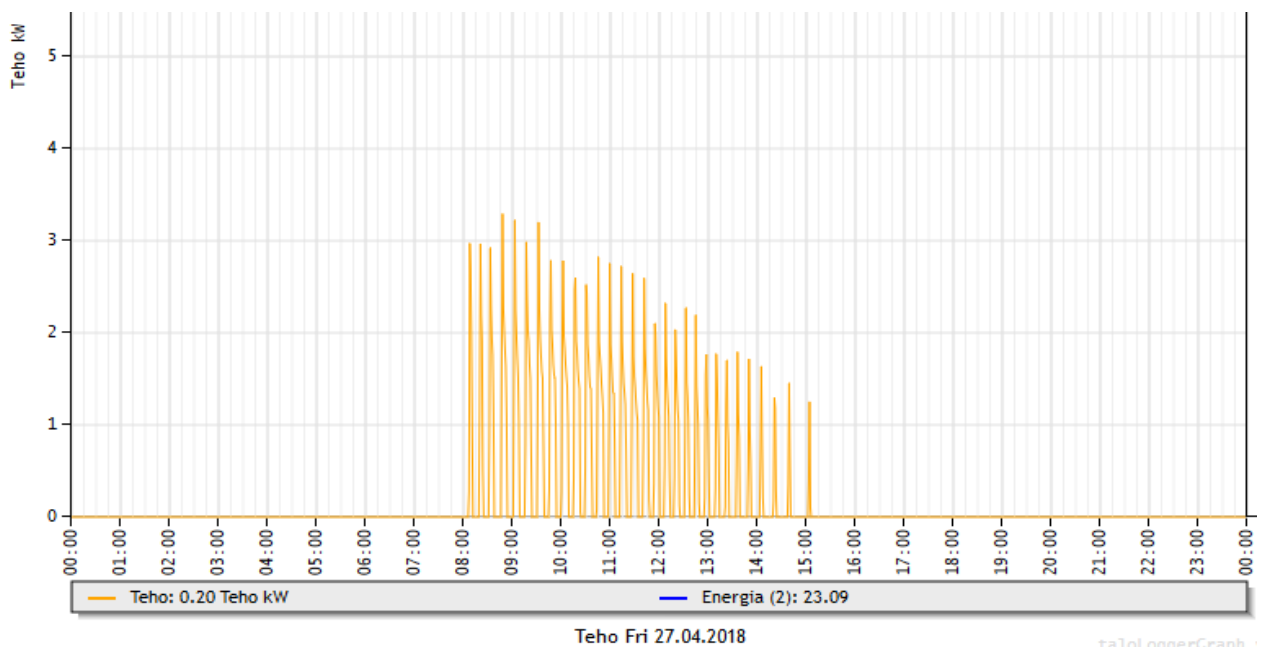
KUVA 16. Kiertoveden lämpötilojen käyttäytyminen huhtikuun alussa



KUVA 17. Tehojen käyttäytyminen huhtikuun alussa



KUVA 18. Kiertoveden lämpötilojen käyttäytyminen huhtikuun lopussa



KUVA 19. Tehojen käyttäytyminen huhtikuun lopussa

Kuten kuvista on nähtävissä, mitä pidemmälle kevät etenee, sitä aikaisemmin aurinko alkaa nousemaan ja lämmittämään keräimiä. Iltapäivän puolella niin selvää muutosta ei näy, koska tässä vaiheessa vuotta keräimiä varjostaa talon katto. Keskikesällä aurinko paistaa keräimiin noin iltakuuteen asti. Kiertoveden lämpötilaeroissa ei tapahdu isoja muutoksia, koska säädin ohjaa kiertovesipumpun käynnistymään siinä vaiheessa, kun varaajan ja keräimen lämpötilaero on n.8 °C.

Yksi mielenkiintoinen asia, joka mittaustuloksista pisti silmään, on tehojen käyttäytyminen. Huhtikuun alussa huipputeho on korkeampi kuin huhtikuun lopussa. Tämän epäilisin johtuvan lumesta tulevasta heijastuksesta, jolloin keräimeen tulee suoran paisteen lisäksi myös lumesta heijastuva auringon säteily. Loppukuusta lumet ovat pudonneet jo katolta, jolloin heijastusta ei tule. Tämän varmistamiseksi tosin pitäisi asentaa katolle lumen määrän tai syvyyden mittaus. Sillä pystyisi varmistamaan päätelmät. Toinen vaihtoehto olisi merkata ylös, milloin lumet putoavat katolta.

Kiertoveden lämpötilat pysyttelevät ainakin vielä keväällä melko matalina. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että varaajan koko on keräimien tehoon nähden liian suuri. Tämän seurauksena keräimet eivät kerkiä lämmittämään varaajaa kovin paljoa. Lisäksi talossa, jossa mittaus tapahtuu, asuu seitsemän henkilöä, jolloin lämmintä vettä kuluu aika paljon. Varaaja toimii käyttöveden esilämmittimenä, jolloin varaaja jäähtyy luonnollisesti, kun lämmintä vettä käytetään.

9 YHTEENVETO

Tavoitteena oli toteuttaa edullinen ja yksinkertainen laitteisto vesikiertoisen aurinkolämmitysjärjestelmän energianmittaukseen.

Tavoitteisiin päästiin kohtalaisen hyvin. Kustannukset pysyivät alle 100 eurossa. Kallein yksittäinen osa oli RasPi. Tästä luopumalla laitteiston hinta olisi tippunut noin puoleen. Arduinolla olisi ollut mahdollista toteuttaa myös datan tallentaminen ja tulostaminen www-sivuille, mutta se olisi tehnyt koodista huomattavasti monimutkaisemman ja herkemmän virheille.

Työssä pyrittiin käyttämään mahdollisimman paljon valmiita komponentteja ja tässä tavoitteessa onnistuttiin hyvin. Työssä käytetyt komponentit ovat saatavilla Suomesta eri elektroniikka-alan liikkeistä, mutta ulkomailta tilaamalla on mahdollista saada ne huomattavasti halvemmalla. Tosin tällöin viollisien komponenttien takuun kanssa voi tulla ongelmia.

Varsinaista energianmittausta ei päästy kovin paljoa vielä testaamaan, koska keivät on sen verran aluillaan. Mittausdataa saatiin kuitenkin jo aikaiseksi ja siitä on hyvä jatkaa eteenpäin. Laitteistoa on myös mahdollista laajentaa mittaamaan muitakin vesikiertoisia lämmitysjärjestelmiä tai käyttöveden energiankulutusta.

LÄHTEET

1. Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin. Tilastokeskus. Saatavissa: http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ene__ehi/stat-fin_ehi_pxt_004_fi.px/chart/chartViewLine/?rxid=cfa71df4-7ad7-4ff7-88f4-152325553c83. Hakupäivä 2.3.2018
2. Auringonsäteilyn määrä Suomessa. 2018. Motiva. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa. Hakupäivä 10.3.2018
3. Nestekiertoiset keräimet. 2016. Motiva. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/nestekiertoiset_keraimet. Hakupäivä 10.3.2018
4. Arduino products. Arduino. Saatavissa: <https://www.arduino.cc/en/Main/Products>. Hakupäivä 20.4.2018
5. WeMos D1 mini. 2018. WeMos electronics. Saatavissa: https://wiki.wemos.cc/products:d1:d1_mini. Hakupäivä 20.4.2018
6. Raspberry Pi. 2018. Wikipedia. Saatavissa: https://fi.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi. Hakupäivä 20.4.2018
7. Products. Raspberry Pi. Saatavissa: <https://www.raspberrypi.org/products/>. Hakupäivä 20.4.2018
8. DS18B20. 2015. Maxim integrated. Saatavissa: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>. Hakupäivä 28.4.2018
9. SUS304 Flow sensor. Ada Solutions. Saatavissa: https://www.aliexpress.com/store/product/SUS304-G1-2-OD20-5mm-thread-1-30L-MIN-Hall-effect-water-liquid-Stainless-steel-flow/1872079_32819511162.html?spm=2114.12010608.0.0.566054e6e30Mwo. Hakupäivä 28.4.2018

10. Tietokanta. 2018. Wikipedia. Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Tietokanta>. Hakupäivä 18.3.2018

11. taloLogger. Saatavissa: <https://olammi.iki.fi/sw/taloLogger/>. Hakupäivä 28.4.2018

12. Fysiikan oppikirja/Lämpö. 2017. Wikikirjasto. Saatavissa: https://fi.wikibooks.org/wiki/Fysiikan_oppikirja/L%C3%A4mp%C3%B6. Hakupäivä 28.4.2018