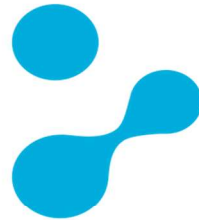




samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Satakunta University of Applied Sciences

PETRI HAUTAKOSKI

# **Kuivanapitolämmitysohjain**

Ohjaimen suunnittelu ja toteutus

SÄHKÖ- JA AUTOMAATIOTEKNIIKAN TUTKINTO-OH-  
JELMA  
2021

Tekijä(t) Hautakoski, Petri	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Maaliskuu 2021
	Sivumäärä 35	Julkaisun kieli suomi
Julkaisun nimi <b>Kuivanapitolämmitysohjain – ohjaimen suunnittelu ja toteutus</b>		
Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikka		
<p>Tyhjillään olevien rakennusten lämmittämiseen kuuluu vuositasolla merkittävä määrä energiaa. Suurin osa lämmitetyistä rakennuksista pidetään ns. ylläpitolämmityksessä, joka tarkoittaa noin 5 – 15 asteen sisälämpötilaa. Ylläpitolämmityksen tarkoitus on pitää suhteellinen kosteus rakennuksen sisällä riittävän alhaisena, ettei materiaalien homehtumista tapahtuisi.</p> <p>Vähemmän käytetty lämmitystapa on kuivanapitolämmitys, jonka tarkoitus on pitää sisälämpötila 3 – 5 astetta ulkolämpötilaa korkeampana. Tampereen yliopistossa (TTY) tehdyn tutkimuksen mukaan tämä lämpötilaero riittää pitämään suhteellisen kosteusprosentin (RH) turvallisella, alle 80 % tasolla.</p> <p>Tavoitteena oli tutustua IoT –laitteen suunnittelussa huomioitaviin seikkoihin sekä osoittaa, että toimiva laite on mahdollista toteuttaa melko edullisesti myös itse. Työn tavoitteena on lisätä tietoisuutta kuivanapitolämmityksen teoriasta, hyödyistä ja rajoitteista. Työ antaa kiinteistönomistajille tietoa mahdollisuudesta hiilijalanjäljen pienentämiseen ja taloudellisten säästöjen saavuttamiseen.</p> <p>Tässä opinnäytetyössä tutustuttiin suhteellisen kosteuden elektroniseen mittaukseen, IoT –laitteisiin, MQTT –protokollaan ja JavaScript –ohjelmointiin. Työn ohessa suunniteltiin ja toteutettiin itsenäisesti toimiva ja etähallittava kuivanapitolämmityksen ohjain. Ohjainta testattiin purjeveneen talvisäilytyskaudella helmikuussa ja testitulokset raportoitiin.</p> <p>Saatujen tulosten perusteella voidaan todeta, että rakennettu ohjain toimi odotetusti ja luotettavasti. Suhteellinen kosteus pysyi asetetun RH 70 % rajan alapuolella lukuun ottamatta lyhyitä, muutaman prosentin ylityksiä, mutta selvästi alle RH 80 %. Projektin aikana syntyi ajatuksia jatkokehittelymahdollisuuksista, kuten etähallinnan laajentaminen ja erilaisten lämmönlähteiden, kuten polttoainelämmittimien, hyödyntäminen aurinkosähkökohteissa.</p>		
<u>Asiasanat</u> kuivanapitolämmitys, IoT, MQTT, Node RED, JavaScript, hiilijalanjälki		

Author(s) Hautakoski, Petri	Type of Publication Bachelor's thesis	Date March 2021
	Number of pages 35	Language of publication: Finnish
Title of publication <b>Constant output heating controller – development and production of the controller</b>		
Degree program Electricity and automation technology		
<p>There is a huge amount of energy used on a yearly basis for heating empty buildings in Finland. The most common way of heating such buildings is so called maintenance or basic heating. In this method, indoor temperature is kept between 5 – 15 °C. The purpose of maintenance heating is to keep RH under the level where mildew cannot grow.</p> <p>The more seldom used heating method is the constant output heating. In this method internal temperature is kept 3 – 5 °C above the present outdoor temperature. According to dedicated studies, made at the University of Tampere (TTY), that temperature difference is enough to keep the RH under safety level of 80 %.</p> <p>In this thesis the target was to study requirements needed for developing an IoT device and to prove the possibility of creating such a device with the reasonable amount of money. The aim is also to increase awareness of the theory, benefits and restrictions of the constant output heating. For the property owners, this thesis shares information how to reduce carbon footprint and at the same time save money.</p> <p>In this thesis, electric measurement of RH, IoT devices, MQTT protocol and JavaScript programming were studied. During the project, an automatically working, constant output heating controller was developed and produced. The controller was tested inside the sailing boat during the storage period in February, and the test results were reported.</p> <p>According to the test results, it can be noted that the produced controller worked as expected and reliably. RH stayed under the set level 70 % with a few couple of percentage exceptions, but always under RH 80 %. During the project, some development ideas were created, such as expanding the remote functions and utilizing the controller with various heat sources, such as fuel heaters, used in a solar off-grid buildings.</p>		
<u>Key words</u> constant output heating, IoT, MQTT, Node RED, JavaScript, carbon footprint		

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	5
2 TALVIKOSTEUDEN AIHEUTTAMAT ONGELMAT JA PERINTEISET RATKAISUT .....	6
2.1 Talvikosteuden vaikutukset.....	6
2.2 Perinteinen tapa torjua kosteutta rakennuksissa.....	8
3 KUIVANAPITOLÄMMITYS .....	8
3.1 Lämmitystavan periaate .....	8
3.2 Lämmityksen toteutus .....	9
4 LÄMPÖTILAN JA SUHTEELLISEN KOSTEUDEN MITTAAMINEN.....	9
4.1 Absoluuttinen ja suhteellinen kosteus.....	9
4.2 Suhteellisen kosteuden mittaamenetelmät.....	10
4.3 Kapasitiivinen ohutkalvopolymeerianturi.....	12
5 LÄMMITYSOHJAIMEN KOMPONENTTIVALINNAT .....	13
5.1 SHT31 –yhdistelmäanturi .....	13
5.2 DS18B20 lämpötila-anturi .....	14
5.3 Simatic IoT2020 ja Mosquitto välittäjä ja Node-RED.....	15
5.4 Wemos D1 mini PRO.....	16
5.5 Sonoff ESP8266 Wifi –kytkin .....	17
6 KUIVANAPITOLÄMMITYKSEN RAKENTAMINEN .....	18
6.1 Wemos D1 mini ja anturit .....	18
6.2 IoT2020 yhdyskäytävän käyttöönotto.....	20
6.3 Node RED –ohjelmointi.....	22
6.4 Kokoonpano .....	27
7 SUORITETUT TESTIT.....	28
7.1 Toimintatesti .....	28
7.2 Kenttätesti .....	30
8 TUOTTEEN KAUPALLISTAMINEN .....	32
8.1 Vastaavat tuotteet markkinoilla.....	32
8.2 Kaupallistamismahdollisuuksien tarkastelu.....	33
9 JOHTOPÄÄTÖKSET.....	34
LÄHTEET	

## 1 JOHDANTO

Suomessa on noin puoli miljoonaa mökkiä, jotka ovat tyhjillään talviaikaan. Siitä huolimatta niitä lämmitetään ja pääsääntöisesti sähköllä. Lämmityskustannusten suhteen edullisin vaihtoehto olisi päästää mökki kylmilleen, mikä ei ole mahdollista kaikkein varustelluimmissa mökeissä ja saattaa aiheuttaa talven mittaan monenlaisia kosteusvahinkoja herkimmille materiaaleille. Mökki voidaan jättää myös ylläpitolämmitykselle, joka sekin kuluttaa runsaasti energiaa, vaikka sisälämpötila lasketaankin 5 – 15 asteeseen. Energiatehokkain lämmitystapa olisi kuivanapitolämmitys, jossa mökki pidetään vain 3–5 astetta ulkoilmaa lämpimämpänä. ”Kuivanapito on aina parempi ratkaisu kuin luopua talvilämmityksestä kokonaan.” Kuivanapitolämmitys soveltuu myös hanavedellä varustettuihin mökkeihin, tosin näissä mökeissä vesiputkisto, WC-pöntöt ja muut vesikalusteet on tyhjennettävä talveksi. Mahdollinen käyttövesivaraaja on myös tyhjennettävä tai suojattava jäätymiseltä paikallisella lämmityspatterilla. Edullisin tapa toteuttaa kuivanapito on varustaa mökki mökin koosta riippuen yhdestä kolmeen pakkasvahdilla. Pakkasvahdin käyttämä teho pysyy vakiona lämpötilan laskiessa alle termostaattirajan ja sisälämpötila tippuu ulkolämpötilan kylmentyessä, koska pakkasvahdin teho ei riitä korkean lämpötilan ylläpitämiseen. (Motiva – Loma-asunto talvikuntoon 2021)

Kuivanapitolämmityksellä voi sähkölämmitteisen mökin omistaja pienentää hiilijalanjälkeään 16,5 prosenttia vuodessa. Mikäli kaikissa suomalaisissa mökeissä käytettäisiin kuivanapitolämmitystä, säästyisi 165 000 henkilön kokonaishiilijalanjälki. (Sitra – Kesämökki talvehtii alhaisemmalla lämmöllä)

Kuivanapitolämmitys soveltuu myös niihin kohteisiin, joissa ei ole sähköliittymää. Älykkäällä polttoainelämmittimellä voidaan pitää kuivana niin kesämökit, matkailuajoneuvot, kuin veneetkin, mikäli niissä vain on tarvittava akkukapasiteetti ja aurinkopaneelit.

IoT tekee kovasti tuloaan elämän eri alueille. Mökit sijaitsevat usein pitkän ajomatkan päässä kodista ja niissä on yhä useammin internet-yhteys. Valvontakameroiden lisäksi mökille voidaan asentaa muutakin kotiautomaatiota, jota voidaan valvoa ja ohjata etänä. Tyypillisin ratkaisu lienee etäohjattava ilmalämpöpumppu, jolla voidaan mökin lämpötila nostaa mukavaksi ennen sinne saapumista. Samanlaista tekniikkaa voidaan hyödyntää myös kuivanapidon toteuttamiseen. Keskitalvella kuivanapitolämpötilan nostaminen normaaliksi saattaa kestää useita tunteja. Mikäli kuivanapitolämmitys on toteutettu etäohjausominaisuudella, voidaan lämpötilan nosto aloittaa jo hyvissä ajoin ennen mökkimatkaa.

Valmiita ratkaisuja etähallittavaksi kuivanapitolämmitysohjaimeksi ei näytä olevan. Sellaisen toteuttaminen useita eri järjestelmiä yhdistämällä on varmasti mahdollista, mutta keskitetyn järjestelmän suunnittelu ja toteutus on perusteltua mökkiolosuhteissa.

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan rakennusfysiikkaa, kuivanapitolämmitystä koskevaa tutkimusta, perehdytään suhteellisen kosteuden mittaustekniikoihin sekä suunnitellaan ja toteutetaan kuivanapitolämmitykseen soveltuva ohjain, joka on myös hallittavissa etänä. Opinnäytetyön tarkoitus on havainnollistaa IoT -laitteen suunnittelussa huomioitavia seikkoja ja osoittaa, että kaupallisen sovelluksen puuttuessa, on tuote mahdollista toteuttaa myös itse vaikka aikaisempaa kokemusta ei vastaavasta ole.

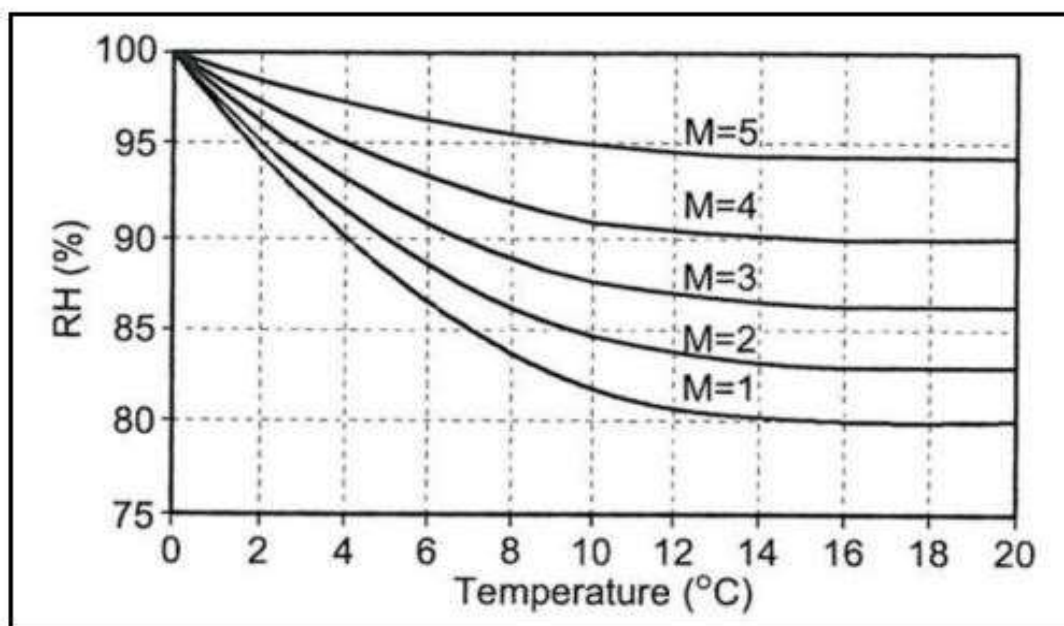
## 2 TALVIKOSTEUDEN AIHEUTTAMAT ONGELMAT JA PERINTEISET RATKAISUT

### 2.1 Talvikosteuden vaikutukset

Talvikauden sääolosuhteet ovat muuttuneet vuosi vuodelta leudompaan suuntaan. Etelä-Suomessa ei pakkasia juurikaan esiinny ennen tammikuuta, joten ilmankosteus on korkea suuren osan talvesta. Homehtuminen on vapaa-ajan asunnoilla yksi merkittävimmistä turmeltumisilmiöistä ja sama ongelma koskettaa myös muita kylmillään olevia rakenteita, kuten veneitä ja matkailuajoneuvoja.

Liian korkeasta suhteellisesta ilmankosteudesta aiheutuu rakenteille monenlaisia riskejä. Kosteus lisää hygieniariskiä, pölypunkkien määrää, haitallisten hiukkasten irtoamista materiaaleista, värivikojen ja muodonmuutosten esiintymistä materiaaleissa, metallien korroosion nopeutumista sekä home- ja lahosisienien esiintymistä. Ongelmia esiintyy erityisesti puupohjaisissa materiaaleissa sekä korroosioherkissä metalleissa. Nyrkki-sääntönä voidaan pitää, ettei homeenkasvua esiinny alle 0 °C:n lämpötiloissa suhteellisen kosteuden ollessa alle 80 %. (Piiroinen & Vinha 2010, 13)

Olosuhteet ovat homeelle suotuisat, kun lämpötila on välillä 20...50 °C ja suhteellinen kosteus on vähintään 80 % RH. Lämpötilan ollessa välillä 0...20 °C, homehtuminen vaatii 80 % RH:a korkeamman suhteellisen kosteuden kuvan 1 mukaisesti. Homehtumisriskin arviointiin käytetään usein VTT:n kehittämää homeen kasvua kuvaavaa matemaattista mallia ns. homemallia. Malli kuvaa materiaalipinnan homehtumisherkyyttä annetuissa lämpötila- ja kosteusolosuhteissa. Homeenkasvua tutkittavan materiaalin pinnalla kuvataan homeindeksillä, joka saa lukuarvoja välillä 0...6. Olosuhteilla on merkittävä vaikutus siihen, miten nopeasti tai miten korkealle homeindeksi nousee. Homeen kannalta epäsuotuisissa olosuhteissa homeindeksi alkaa laskea ja homehtuminen hidastuu. Mikäli epäsuotuisat olosuhteet jatkuvat riittävän pitkään, laskee indeksi aina nolnaan saakka. Kuvassa 1 on esimerkki puumateriaalin homeindeksistä tietyissä vakio-olosuhteissa. (Piiroinen & Vinha 2010, 6-10) (Rafnet-ryhmä 2004 , 50-51)



Kuva 1. Puumateriaalin homeindeksi

## 2.2 Perinteinen tapa torjua kosteutta rakennuksissa

Sisäilman kosteus on rakenteiden ja irtaimiston kannalta merkittävin olosuhdetekijä. Edellä kuvattuja korkean suhteellisen kosteuden aiheuttamia ongelmia voidaan ehkäistä tuulettamalla ja lämmittämällä rakennetta. Rakennusten osalta riittävän tuuletuksen toteuttaminen ei useinkaan ole mahdollista johtuen rakennusten monimuotoisuudesta ja käytännössä ainoaksi vaihtoehdoksi jää lämmittäminen. Perinteinen tapa torjua kosteutta sisätiloissa on ollut rakennuksen peruslämmitys. Peruslämmityksessä sisätilassa pidetään vakiolämpötilaa, usein 5-7 °C. Peruslämmön käyttökustannukset riippuvat voimakkaasti ulkolämpötilasta, ollen suurimmillaan kovilla pakkasilla.

Veneiden talvisäilytyksessä on perinteisesti käytetty kahta eri menetelmää, mikäli vene talvehtii ulkotiloissa. Yksi tapa on tiivistää vene mahdollisimman hyvin ja laittaa veneeseen kosteutta absorboivaa materiaalia, kuten piidioksidia. Toinen tapa on järjestää veneen sisälle mahdollisimman hyvä tuuletus, jonka toivotaan poistavan mukanaan kosteutta sisätiloista. Periaatteessa veneeseen ei pääse muodostumaan hometta ja muita kosteus-vaurioita, jos ilma kiertää riittävästi. (Venelehti – Hometta patjassa? Näin vältät kosteusongelmat veneessä)

## 3 KUIVANAPITOLÄMMITYS

### 3.1 Lämmitystavan periaate

Kuivanapitolämmityksellä pyritään pitämään sisäilman kosteus matalana, alle 80 % RH, mutta sisälämpötila vaihtelee ulkolämpötilan mukana. Lämmityskaudelle tyypillisissä matalissa ulkolämpötiloissa, 3 – 5 asteen lämpötilaero riittää pitämään suhteellisen ilmankosteuden turvallisella 60 – 70 % RH tasolla. Vakioteholämmityksessä, joksi kuivanapitolämmitystä voi myös kutsua, lämpötila seuraa ulkolämpötilan muutoksia, pysyen kuitenkin muutaman asteen korkeampana. Kuivanapitolämmitys toteutetaan useimmiten suorana sähkölämmityksena, jonka laskennallinen tehotarve on 5 – 15 W/m<sup>2</sup>, riippuen rakennuksen ominaisuuksista, kuten vaipan ilmanpitävyy-

destä, lämmöneristyksestä, tuulen vaikutuksesta sisäolosuhteisiin sekä tavoitelämpötilaerosta. Koska homehtumista ei tapahdu pakkasella, voidaan rakennus päästää miinusasteiden puolelle. Syksyllä ja keväällä, kun ulkona on 5 – 15 astetta, hieman ulkolämpöä korkeampi sisälämpötila ehkäisee homeen kasvua sisätiloissa tehokkaasti. (Ahoranta 2011, 22) (Meillä kotona – Kuivanapitolämmitys kannattaa mökillä)

### 3.2 Lämmityksen toteutus

Kuivanapitolämmitys voidaan toteuttaa siten, että sisälämpötila pääsee laskemaan myös pakkasen puolelle, mikäli rakennuksessa ei ole vesikalusteita tai mikäli ne on tyhjennetty talviajaksi. Mikäli lämpötila halutaan pitää nollan yläpuolella, voidaan kuivanapitolämmitykseen liittää alhaiseen lämpötilaan säädetty peruslämpö esim. lämpöpumpulla. Tämä voidaan toteuttaa myös pelkästään osassa rakennusta, kuten kosteissa tiloissa. Kuivanapitolämmitykseen voidaan sisällyttää myös suhteellisen kosteuden mittausta ja siihen kytketty ilmanvaihdon ohjaus. Noin kolmen asteen lämpöero edellyttää 5–10 W:n lämmitystehoa neliötä kohti. Luonnollisesti tehon tarpeeseen vaikuttavat muun muassa lämmöneristykset, ilmanpitävyys ja ilmanvaihto. (Meillä kotona – Kuivanapitolämmitys kannattaa mökillä)

Kuivanapitolämmityksen heikkouksia ovat rakennuksen hidas lämmittäminen käyttölämpötilaan sekä varustelluissa kohteissa pakkaslämpötilojen tuomat vaatimukset jäätyville laitteistoille.

## 4 LÄMPÖTILAN JA SUHTEELLISEN KOSTEUDEN MITTAAMINEN

### 4.1 Absoluuttinen ja suhteellinen kosteus

Absoluuttinen kosteus ilmaisee, montako grammaa vesihöyryä sisältyy kuutiometriin ilmaa. Yksikkönä käytetään grammoja kuutiometrissä. Tämä suure ei muutu ilman

lämpötilan muuttuessa, edellyttäen että se pysyy alle kyllästyskosteuden. (Tekeville - Ilmankosteus: käyttäytyminen, ilmiöitä ja vinkkejä)

Suhteellinen kosteus on todellisen vesihöyrynpaineen ja kyllästyshöyrnpaineen välinen suhde tietyssä lämpötilassa. Se siis kertoo, montako prosenttia absoluuttinen kosteus on vallitsevan lämpötilan kyllästyskosteudesta. Kastepistelämpötila, lyhyemmin kastepiste, on lämpötila, johon ilman pitäisi jäähtyä, jotta kyllästystila saavutettaisiin. Kuivalla ilmalla kastepiste on aina huomattavasti alempi kuin vallitseva lämpötila, mutta kostealla säällä nämä kaksi lukemaa lähestyvät toisiaan. Kun ne ovat samoja, ilman suhteellinen kosteusprosentti on 100. (Ilmatieteenlaitos – lämpötila ja kosteus)

”Valitettavasti absoluuttinen kosteus ei kerro kuinka hyvin ilma voi kuivata eri materiaaleja, koska tämä riippuu siitä mahtuuko ilmaan vielä enemmän vettä, eli kuinka kaukana ilman vesipitoisuus on kyllästyskosteudesta. Tässä merkitsevä on siis ilman suhteellinen kosteus: mitä pienempi RH on sitä paremmin ilma kuivaa pintoja ja materiaaleja. Ja olipa lämpötila mikä tahansa niin kyllästynyt 100 % kosteuden omaava ilma ei kuivaa enää mitään.” (Tekeville - Ilmankosteus: käyttäytyminen, ilmiöitä ja vinkkejä)

#### 4.2 Suhteellisen kosteuden mittausmenetelmät

Ilmankosteutta voidaan mitata useilla eri menetelmillä:

- Hiuskosteusmittari eli mekaaninen mittaus: Hiuskosteusmittarin toiminta perustuu hiuksen venymiseen tai kutistumiseen kosteuden muuttuessa, jolloin hiukseen kiinnitetyn viisarin asento muuttuu.
- Psykrometri perustuu menetelmään, jossa käytetään kahta lämpötilamittaria. Toisen anturin ympärillä on kostea kangas ja sitä tuuletetaan vakiopuhalluksella. Nesteen haihtuminen on riippuvainen ympärillä vallitsevasta kosteudesta ja nesteen haihtuessa anturi jäähtyy. Kuivan ja kostean anturin lämpötilaerosta voidaan laskea ilman kosteus.
- Resistiivinen kosteusmittari mittaa resistiivisyyden muutosta kosteuden muuttuessa. Suurin osa resistiivisistä antureista ei siedä kondensaatiota.

- Kapasitiivinen kosteusmittari mittaa kapasitanssin muutosta ilmassa olevien vesimolekyylien imeytyessä anturin ohueen polymeerikalvoon Kondensaattorin kapasitanssin muutos näkyy ympäröivän kosteuden. Kapasitiivinen kosteusmittari antaa erittäin tarkan tuloksen. Se valmistetaan asettamalla hygroskooppinen materiaali metallielektrodien väliin. Hygroskooppinen materiaali imee nopeasti vettä. Materiaali imee vettä, minkä vuoksi kondensaattorin kapasitanssi pienenee. Elektroninen piiri mittaa kapasitanssin muutosta.
- Kastepisteen impedanssianturi hygrometrit ovat erikoisantureita, joilla mitataan ensisijaisesti absoluuttista kosteutta eikä niinkään suhteellista. Mittaus perustuu alumiinioksidi tai jonkin toisen metallioksidin tai silikonipohjaiseen aktiiviseen elementtiin. Tämän tyyppinen anturi reagoi osittaiseen veden höyrynpaineeseen. Tässä kosteusmittarissa alumiinioksidi päällystetään anodisoidun alumiinin kanssa. Alumiinin dielektrinen vakio ja vastus muuttuvat kosteuden vaikutuksesta. Alumiinioksidihygrometri käyttää alumiinia yhtenä elektrodina ja kultaista kerrosta toisena elektrodina.
- Kondensaatiomittaus, jossa kastepisteanhuri on varustettu peilillä, jonka pintaan tiivistyy vesipisaroita sitä tarpeeksi jäähdytettäessä. Optisissa ratkaisuisa kondensaatiota havainnoidaan optisella anturilla, jolla tutkitaan peilin heijastuskykyä. Muissa sovelluksissa kondensaatiota mitataan sähkönjohtokyvyn tai kvartsikiteen taajuusmuunnosten perusteella.
- Kristallihygrometrissä on hygroskooppinen kide tai käytetään kiteitä, joilla on hygroskooppisen materiaalin päällyste. Kun kide imee vesipisarat, kiteiden massa muuttuu. Massan muutos on verrannollinen kiteiden absorboituun kokonaisvesiin.
- Kyllästetyn litiumkloridianturin toiminta perustuu suolan ominaisuuteen absorboida kosteutta ilmasta. Kun suola joutuu osaksi jännitteistä virtapiiriä, sähkövirran suuruus on riippuvainen absorboidun veden määrästä. Samanaikaisesti sähkövirta lämmittää suolaa ja jossain vaiheessa absorption ja lämmityksen välille syntyy tasapaino. Lämpötila, jossa tasapaino syntyy, on kytköksissä veden höyrynpaineeseen.
- Elektrolyysimittari: Mittaus perustuu fosforipentoksidilla pinnoitettuun elektrodin, johon tuodaan jännite. Elektrolyysin seurauksena vety ja happi erottuvat vesimolekyylistä. Kosteuspitoisuus voidaan määrittää Faradayn lain avulla elektrolyysin kuluttamasta sähkövirrasta.

- Mikroaaltouuni refraktometri mittaa kostean ilman taitekerrointa, kun niiden kosteus muuttuu. Taitekerroin tarkoittaa ilman nopeuden suhdetta yhdessä väliaineessa toisen väliaineen nopeuteen. Kostean ilman taitekerroin mitataan mittaamalla dielektrinen vakio kondensaattorilla tai mittaamalla taajuuden muutos.
- Spektroskooppinen NIR-kosteusmittari on kosketukseton menetelmä kosteuden mittaamiseen, joka hyödyntää mittauksessa tiettyä IR-aluetta, jolla vesimolekyylit absorboivat säteilyä.
- NMR-mittari: Kosteusmittauksessa tutkittavia spektrejä ovat H<sub>2</sub>O-protoneja vastaavat spektrit. Kun lisäksi tunnetaan veden moolimassa, voidaan laskea näytteessä olevan veden pitoisuus massayksikkönä.

(Sinisalo 2015, 11-12) (A Guide to the Measurement of Humidity 1996, 14-17)

#### 4.3 Kapasitiivinen ohutkalvopolymeerianturi

Tässä projektissa päädyttiin käyttämään kapasitiivista ohutkalvopolymeerianturia, jolla on monia valintaa tukevia ominaisuuksia resistiivisiin antureihin verrattuna. Kapasitiivisilla antureilla on mm. parempi tarkkuus ja yksinkertaisempi kytkentä, korkeiden lämpötilojen sekä kosteuden sieto. Kapasitiivinen kosteusanturi ei tarvitse myöskään lämpöanturia korjaamaan lämpötilan vaikutusta mittaukseen. Tämä johtuu siitä, että ilmankosteuden aiheuttama kapasitanssin muutos on lähes lineaarinen. Tämän ominaisuuden ansiosta saavutetaan pienempi ja yksinkertaisempi rakenne piirilevyllä, jolloin valmistuskustannukset pysyvät alhaisempina. Projekti oli tarkoitus toteuttaa kohtuullisen pienellä rahasummalla, joten edullisen anturityypin valinta tukee myös tätä periaatetta. (Mellberg 2013, 15)

”Vettä (H<sub>2</sub>O) voi esiintyä eri muodoissa. Sitä voidaan mitata lämpötilasta riippuvaisena näkymättömänä kaasuna (ilmankosteutena), paineesta riippuvaisena kastepisteinä tai nestemäisessä muodossa (kosteutena).” (Vaisala – Ilmankosteus-, kastepiste- ja kosteusmittaukset)

”Kapasiivinen ohutkalvopolymeerianturi koostuu alustasta, johon laitetaan ohut polymeerikalvo kahden johtavan elektrodin väliin. Mittauspinta päällystetään huokoisella metallielektrodilla suojaamaan sitä liialta ja kosteudelta. Alusta on yleensä lasinen tai keraaminen. Ohutkalvopolymeeri joko absorboi tai vapauttaa vesihöyryä, kun ilman suhteellinen kosteus nousee tai laskee. Polymeerikalvon eristeominaisuudet riippuvat absorboidun veden määrästä. Kun suhteellinen kosteus anturin ympärillä muuttuu, polymeerikalvon eristeominaisuudet sekä anturin kapasitanssi muuttuvat. Laitteen elektroniikka mittaa anturin kapasitanssin ja muuntaa sen kosteuslukemaksi.” (Vaisala HUMICAP® -teknologia)

## 5 LÄMMITYSOHJAIMEN KOMPONENTTIVALINNAT

Ensimmäinen suunnitelma oli toteuttaa kuivanapitolämmitysohjain liittämällä anturit suoraan Simatic IoT2020 –digitaalituloihin, mutta ongelmaksi muodostui kyseisen laitteen vajavainen tuki Arduino –kirjastoille sekä yleiskäyttöisten I/O liityntöjen hidas siirtyminen input ja output tilojen välillä, joka ei riittänyt 1-wire käyttöön. Arduino Unolla toimivaksi todetut kytkennät eivät suostuneet toimimaan Simaticilla. Esimerkiksi DS18B20 –anturin näyttämä lukema oli -127 °C, joka yleensä tarkoittaa yhteysongelmaa anturin ja mikrokontrollerin välillä. Nämä haasteet tulivat vastaan jo kirjallisuutta tutkiessani ja ongelmista oli luettavissa mm. Siemens Industry Online Support foorumilla. Yhtenä ratkaisuna tarjottiin erillisen I/O laajennuskortin lisäämistä. Päätettiin kokeilla tätä ratkaisuvaihtoehtoa ja hankittiin Dfrobotin valmistaman Gravity I/O laajennuskortin. Myös laajennuskorttiin kytkettynä lämpötilalukema oli virheellinen (-127 °C). Tämän jälkeen ryhdyttiin selvittämään muita toteuttamiskelpoisia vaihtoehtoja.

### 5.1 SHT31-D –yhdistelmäanturi

SHT31-D –yhdistelmäanturi pohjautuu Sensirion CMOSens –kosteusanturiin, jonka kosteusmittaus perustuu kapasitanssimuutosten mittaukseen. Anturissa olevan kon-

densaattorin eriste on polymeeri, joka absorboi tai luovuttaa kosteutta / vettä ympäristön suhteellisen kosteuden muutosten mukaisesti ja vaikuttaa näin kondensaattorin kapasitanssiin. Anturityyppi on PTFE suodattimella varustettu malli, joka pysyy puhtaana, mutta mahdollistaa jatkuvatoimisen kosteusmittauksen. Kapasitanssimuutos voidaan mitata virtapiirin avulla ja määrittää siten ympäristön suhteellinen kosteusprosentti. Kosteusanturin kanssa samalle piirille integroitu lämpötila-anturi mahdollistaa jatkuvan lämpötilasidonnaisten kertoimien laskennan ja näiden avulla kastepisteen sekä suhteellisen kosteuden määrittämisen. (Sensirion - Humidity Sensors with CMOSens®)

SHT3x-DIS –anturin kosteusmittausalue on 0-100% (tarkkuus  $\pm 2\%$ ) ja lämpötilamittausalue on  $-40 - 125\text{ }^{\circ}\text{C}$  (tarkkuus  $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ ). Anturin käyttöjännite on 2.15 to 5.5 V ja ne ovat tehdaskalibroituja, jonka vuosittaiseksi siirtymäksi on mitattu 0,5 %. Anturi käyttää I2C-protokollaa kommunikointiin ja siinä on käytettävissä kaksi vaihtoehtoista osoitetta. (Digital Humidity Sensor SHT3x (RH/T))

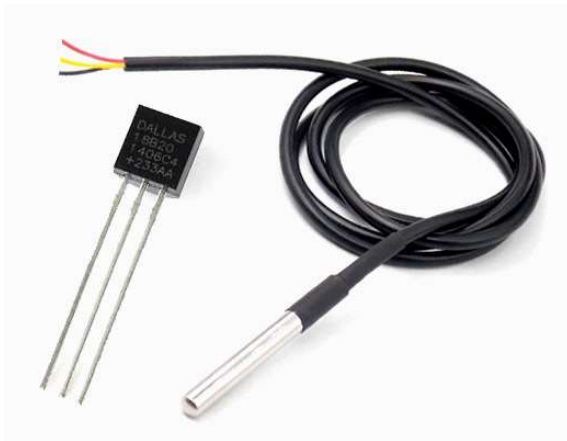


Kuva 2. SHT31-D –yhdistelmäanturi (Vapaakauppa.net)

## 5.2 DS18B20 lämpötila-anturi

DS18B20 –lämpötila-anturi mahdollistaa 9-12 bitin lämpötilamittauksen Celsius-asteikolla. Anturin mittausalue on  $-55\text{ }^{\circ}\text{C} - +125\text{ }^{\circ}\text{C}$  (tarkkuus  $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , välillä  $-30\text{ }^{\circ}\text{C} - +100^{\circ}\text{C}$ ). Anturin käyttöjännite on 3.0 - 5.5 V. Anturi käyttää 1-Wire –protokollaa kommunikointiin, joka mahdollistaa jopa 100 metrin etäisyyden anturin ja tiedonkeruulaitteen välille. Anturi voi ottaa käyttöjännitteensä myös datajohtimesta, jolloin ei tarvita erillistä jännitesyöttöä. Antureilla on 64 bitin yksilöllinen sarjanumero, joka

mahdollistaa useiden antureiden kytkennän sarjaan. Valittu anturi on koteloitu vesitiiviisti ruostumattoman terässylinterin sisälle. (DS18B20 data sheet, 1)



Kuva 3. DS18B20 –lämpötila-anturi (Components101)

### 5.3 Simatic IoT2020 ja Mosquitto välittäjä ja Node-RED

Simatic IoT2020 on suunniteltu toimimaan erilaisten tietoa tuottavien laitteiden yhdyskäytävänä. Laite on rakennettu Intel Quark x 1000 prosessorin ympärille. Oletuksena siihen asennetaan Linux Yocto käyttöjärjestelmä. Simatic on laajennettavissa Arduino lisäkorteilla ja siinä on ethernet- sekä USB-liitännät. Linux käyttöjärjestelmän mukana tulee sekä Mosquitto että Node-RED –sovellukset.

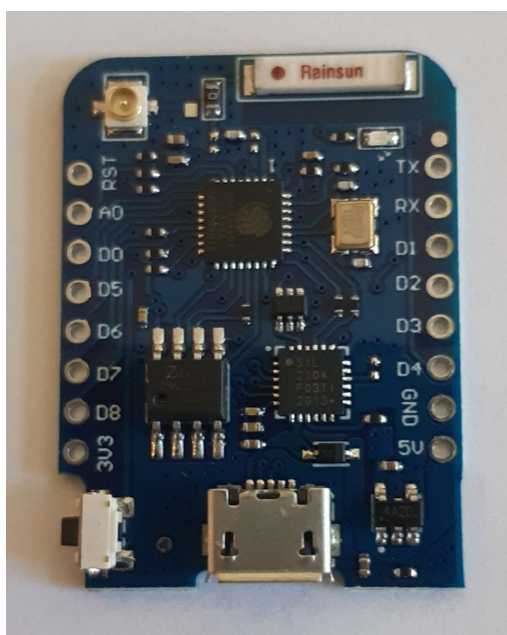
MQTT -protokolla on suunniteltu kevyeen ja vähän kaistaleveyttä tarvitsevaan tiedonsiirtoon. Se soveltuu erityisen hyvin tuottaja/tilaaja viestintään. MQTT -laitteet ovat hyvin pieniä ja vaativat minimaaliset resurssit, joten niitä voidaan toteuttaa pienillä mikrokontrollereilla. MQTT mahdollistaa viestinnän laitteelta pilveen ja päinvastoin. Tämä helpottaa viestintää laiteryhmille. Protokollassa on kolme määriteltyä palvelutasoa, useimmiten kerran, ainakin kerran ja täsmälleen kerran. MQTT tukee myös salattuja TLS salattuja viestejä sekä todennettujen asiakkaiden protokollia, kuten OAuth.

MQTT –protokollalle on kehitetty erittäin käyttäjäystävällinen selainpohjainen käyttöliittymä, joka on nimeltään Node-RED. Sovelluksen tarkoitus on visualisoida ja muokata MQTT –protokollaa käyttävät keskustelut. Node-RED –sovellus tarjoaa välineet muokata ohjelmiston toimintaa visuaalisesti. Visualisointi on toteutettu yhteen

liitettävillä laatioilla, joita kutsutaan ”nodeiksi”. Nodet määrittävät ohjelmiston toiminnan, joka puolestaan riippuu siitä millaisia nodeja käytetään ja miten ne on asetettu toimimaan. Pääasiallinen toimintatapa on ottaa vastaan tietoa ja muokata sitä ennen edelleen lähetystä. Ohjelmaa voidaan helposti testata osina kytkemällä noden sisään-tuloon haluttua dataa sekä tarkastaen toiminta ulostuloon kytketyllä ”diagnosointinodella”. (Simatic IoT2020 –esite, 1-2) (Ojala 2017, 31-32) (Naskali 2019, 7) (MQTT -verkkosivut)

#### 5.4 Wemos D1 mini PRO

MQTT tuottajat voivat olla yhteydessä välittäjään (broker) joko langallisesti tai langattomasti. Langattomuus helpottaa mittausten sijoittelua, koska hankalia johtoja ei tarvitse vetää. Lisäksi tähän tarkoitukseen on kehitetty pienikokoisia IoT –laitteita, joissa on sisäänrakennettu WiFi-tuki. Yksi suosituimmista tämän tyyppisistä kehitysalustoista on WeMos D1 mini, josta löytyy myös PRO-versio. PRO-versiossa on 12 MB perusversiota enemmän muistia, liitäntä ulkoiselle antennille ja ohuempi profiili. D1 minin molempiin versioihin voidaan asentaa helppokäyttöinen ESP Easy firmware, joka tukee monia eri antureita ja kuoria. D1 mini Pro alustoja saa lukuisilta eri valmistajilta, kuten projektiin valittu AZ-Deliveryn versio.



Kuva 4. AZ-Delivery D1 mini Pro

### 5.5 Sonoff ESP8266 Wifi –kytkin

Nykyään on markkinoilla runsaasti erilaisia WiFi –verkkoon liitettäviä pistorasioita, joita voidaan ohjata kaukosäätimellä, kännykkäsovelluksella tai jollakin kotiautomaatiojärjestelmällä, kuten Amazon Alexa, Google Home/Assistant ja IFTTT. Opinnäytetyön yhteydessä rakennettavaan järjestelmään haluttiin liittää WiFi -verkossa toimiva ja hyväksytty sähkölaite, jonka ohjelmisto olisi muokattavissa. Tutkimusten perusteella parhaiten soveltuva laite on Sonoff ESP8266 Wifi-pohjainen älykytkin, joka on tarkoitettu 90 – 250 V jännitteellä toimivien sähkölaitteiden ohjaukseen. Kytkimen maksimivirta on 10 A, joten se soveltuu noin 2,2 kW lämmittimen ohjaamiseen. Laitteen käyttölämpötila on -20 – +75 °, jonka puolesta se soveltuu kuivanapitolämmityksen toteutukseen. (Sonoff BasicR2 –verkkosivu)

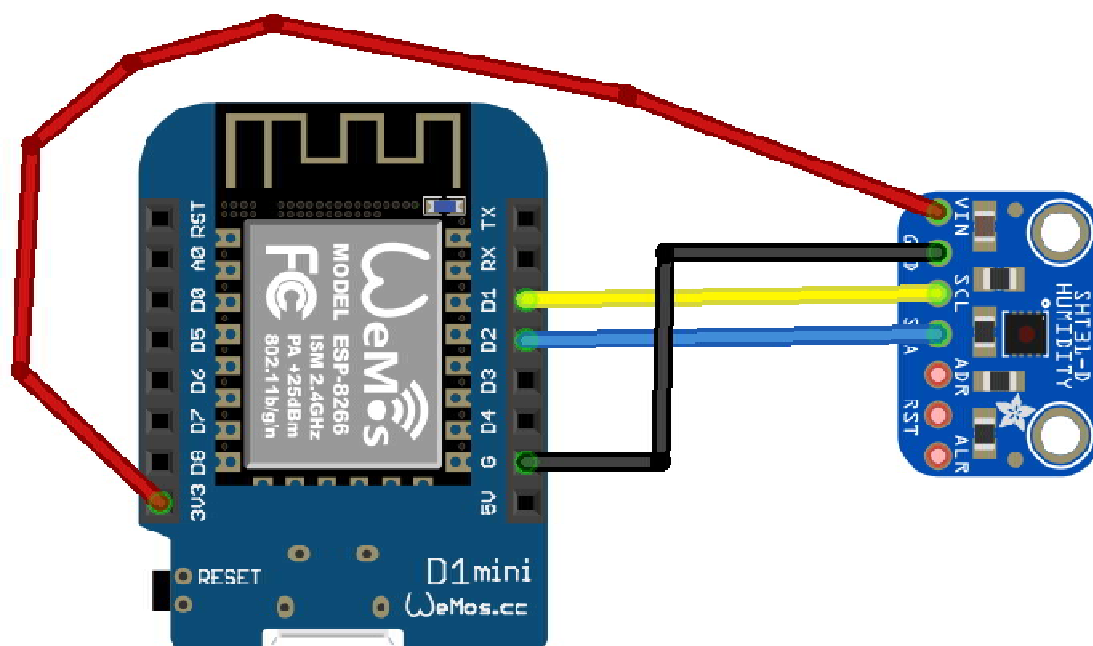


Kuva 5. Sonoff Basic -älykytkin

## 6 KUIVANAPITOLÄMMITYKSEN RAKENTAMINEN

### 6.1 Wemos D1 mini ja anturit

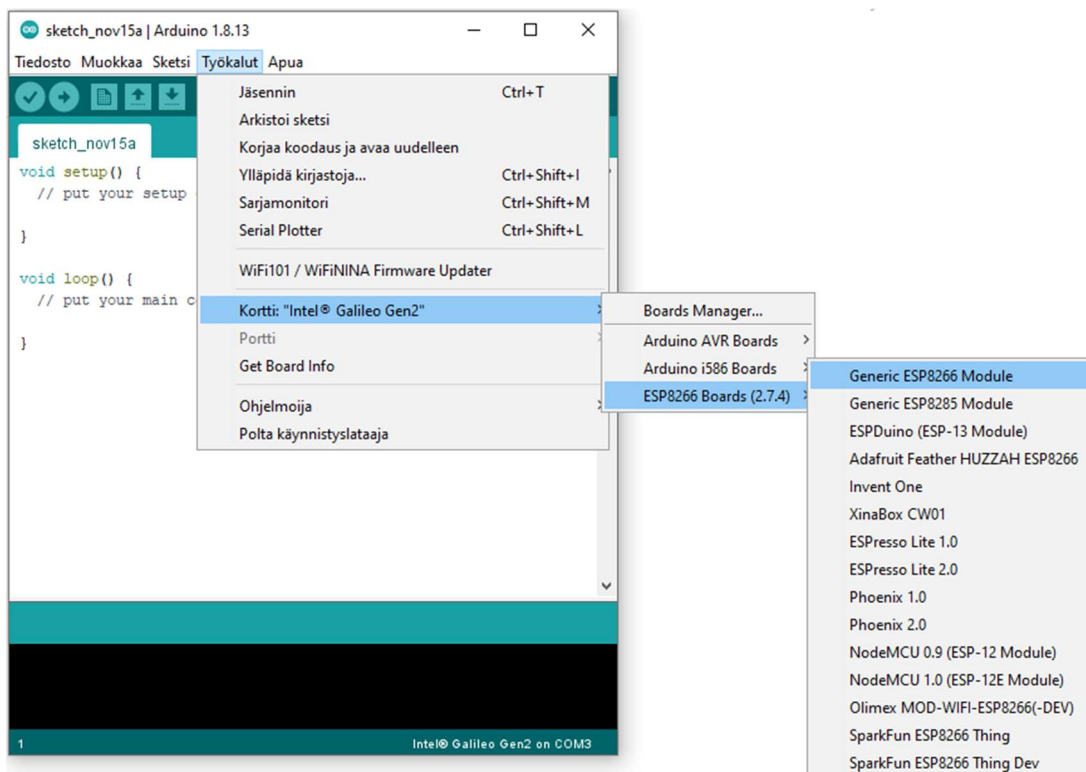
Rakentaminen aloitettiin lähetinyksikön prototyypin kehittämällä. D1 mini ja SHT31-D –yhdistelmäanturi kiinnitettiin koekytkentälevyyn, joka helpotti niiden keskinäistä johdotusta. Ohjeen johdotuksen toteutukseen löytyi Esp8266learning –tukisivustolta. Yhdistelmäanturin käyttöjännite on 2,4 – 5,5 V. I2C –liitännän väylänopeus on 1 MHz ja sillä on kaksi valittavaa osoitetta. VIN –liitin kytketään D1 Minin 3,3 V jännitelähtöön, GND maahan ja SCL I2C –kelloon, joka on Minin tapauksessa digitaalitulo D1. SDA kytketään I2C –digitaalituloon D2. Anturin luentaan voidaan käyttää Adafruitin SHT31 –kirjastoa. (Esp8266learning –tukisivusto – Wemos ja SHT31 kytkentä)



Kuva 6. SHT31 –kaksoisantrurin kytkentä D1miniin (Esp8266learning –tukisivusto)

Arduino IDE –sovellusta voidaan käyttää myös ESP8266 sirulla varustettujen mikrokontrollereiden ohjelmointiin. Jotta ohjelmointi onnistuu tulee IDE:n asetuksiin lisätä kohtaan ”Additional Boards Manager URL:s:” osoite [https://arduino.esp8266.com/stable/package\\_esp8266com\\_index.json](https://arduino.esp8266.com/stable/package_esp8266com_index.json)

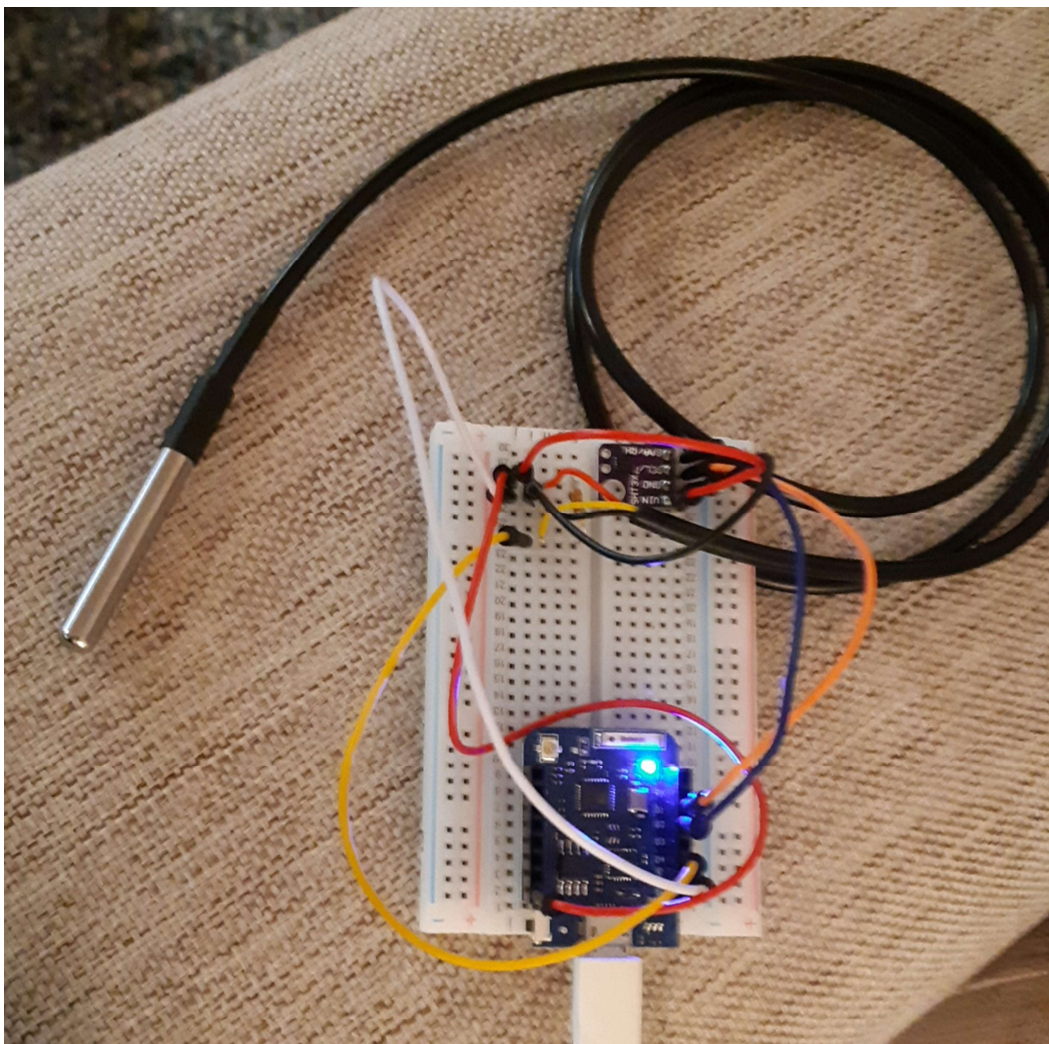
Tämän jälkeen IDE:n Boards Managerissa on mahdollisuus asentaa esp8266 by ESP8266 Community –paketti. Kun paketti on asennettu, voidaan IDE:ssä valita Generic ESP8266 Module. Tämän jälkeen valitaan normaalisti se COM –portti, johon D1 Mini -kontrolleri on kytketty. Ohjelmoinnissa hyödynnettiin esimerkkikoodia, joka pohjautuu Adafruitin SHT31 Arduino -kirjastoon.



Kuva 7. Generic ESP8266 Modulen valitseminen

Yksi tai useampia DS18B20 –lämpötila-anturia voidaan kytkeä D1 Mini -kontrolleriin. DS18B20 –anturin käyttöjännite on 3,3 – 5,5 V, joten sen VCC-johdin voidaan kytkeä Minin 5 V jännitelähtöön. Anturin datajohdin kytketään johonkin D1 Minin digitaalituloon. Toisaalta jotkut lähteet varoittavat kytkemästä anturia 5 V jännitelähtöön, koska Minin digitaalitulojen maksimijännite on 3,3 V. DS18B20 anturin kanssa tulee käyttää myös 4,7 k $\Omega$  ylösvetovastusta. Ylösvetovastus kytketään VCC- ja datajohtimien väliin. Ylösvetovastus varmistaa, että anturin datalinja on ykkönen myös linjan kelluessa. Koska DS18B20 käyttää 1-wire –protokollaa, voidaan käyttää 1-wire –kirjastoa paritettuna Dallas Temperature –kirjaston kanssa. Tällöin lukemat saadaan Celsius –asteikolla. 1-wire –antureita voidaan kytkeä sarjaan useampia, mikä on hyvä

asia, kun digitaalituloja on rajattu määrä. Tämä vähentää myös tarvittavan kaapeloinnin määrää. Arduino 1-wire ja Dallas Temperature –kirjastot toimivat ESP8266 –ympäristössä samoin, kun Arduino –ympäristössä, joten erityistä ESP8266 –koodia ei tarvita. (Esp8266learning –tukisivusto – Wemos mini DS18B20 temperature sensor example)



Kuva 8. Komponentit sijoitettuna koekytkentälevylle

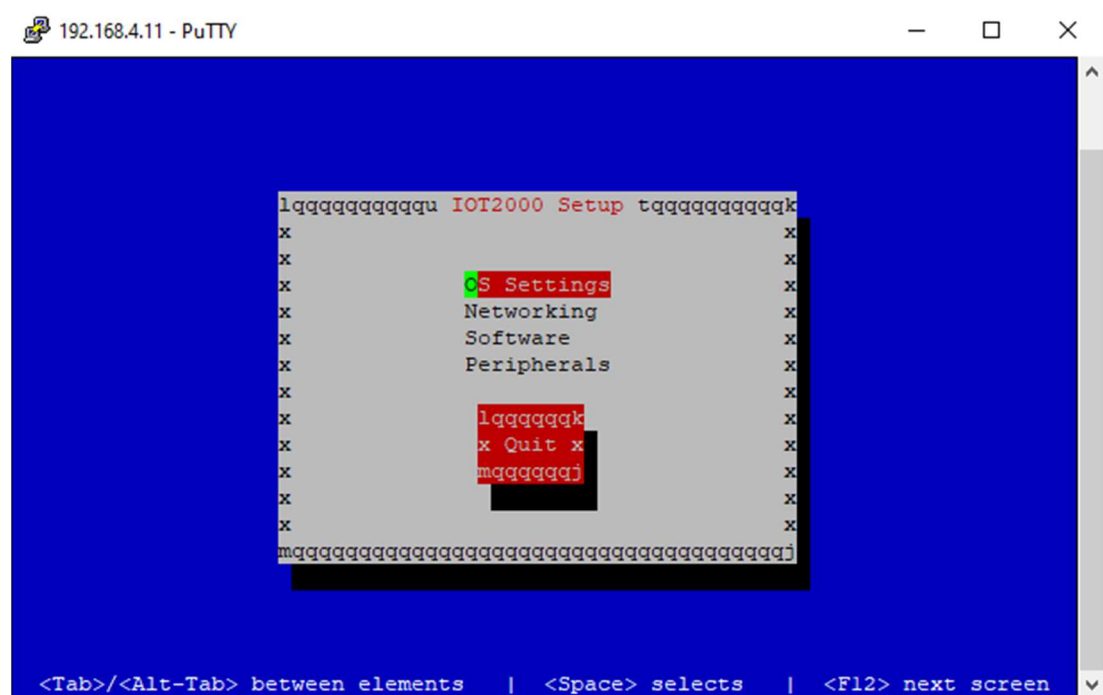
## 6.2 IoT2020 yhdyskäytävän käyttöönotto

IoT2020 käyttöönotto tapahtui valmistajan Setting up the IoT2000 -dokumentin ja tukifoorumin ohjeilla. Aikaisemman Linux-kokemuksen perusteella oli odotettavissa,

ettei yhteensopivien oheislaitteiden löytäminen ole aina kovin yksinkertaista. Simaticin USB väylään liitettävän ja Yocto Linux yhteensopivan WiFi-sovittimen löytäminen oli melko työlästä. Pitkällisen foorumien lukemisen jälkeen, sovittimeksi valikoitui Edimax EW-7811Un. Siemensin verkkosivuilta ladattu iot2000-example-image ladataan microSD –muistikortille Win32 Disk Imagerin avulla. Tämän jälkeen kortti asennettiin laitteeseen ja kytkettiin virrat päälle. Ensimmäisen käynnistyksen jälkeen muodostettiin sarjaliikennöity konsoliyhteys PuTTYn avulla. Yhteyden muodostamiseen käytettiin FTDI -kaapelia. Konsolin kautta kirjauduttiin root –käyttäjänä ja käynnistettiin käyttöönottosovellus komennolla iot2000setup. Käyttöönottosovelluksen avulla määriteltiin verkkoyhteydet, aikavyöhyke ja automaattisesti käynnistyvät sovellukset. Sovelluksista valittiin käynnistymään Node-RED, SSH server ja Mosquitto Broker. WiFi-sovittimen IP-osoite määritettiin kiinteäksi (static) ja kotiverkon IP-avaruuteen sopivaksi. Näiden lisäksi nimipalvelimien käyttöönotto edellytti tiedoston /etc/resolv.conf täydentämistä oheisilla riveillä:

```
search example.com
nameserver 8.8.8.8
nameserver 192.168.1.1
nameserver 8.8.4.4
```

Tämän jälkeen kyseinen tiedosto tulee määrittää uudelleenkäynnistysten yhteydessä muuttumattomaksi komennolla `chattr +i /etc/resolv.conf`



Kuva 9. IOT2000 käyttöönottosovelluksen päävalikko

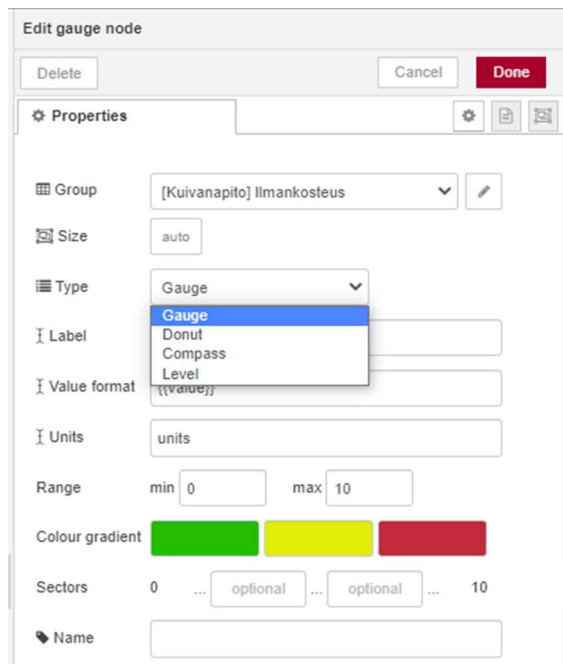
Uudet asetukset tulevat käyttöön uudelleenkäynnistyksen jälkeen ja asetusten toimivuutta pääsee testaamaan konsoliyhteyden kautta seuraavilla komennoilla:

- date (päivämäärä, kellonaika ja aikavyöhyke)
- ifconfig (verkkoasetusten oikeellisuus)
- ping 8.8.8.8 ja ping www.google.com (verkkoyhteyden toimivuus julkiseen verkkoon)

Näiden konsolissa suoritettujen testien jälkeen testattiin Node RED - sovelluksen toiminnallisuus kirjoittamalla nettiselaimen osoiteriville osoite 192.168.4.11/1880. Tässä osoitteessa avautuu Node-RED -sovelluksen ohjelmointisivu. MQTT:n toiminnallisuus testattiin Chrome-selaimen laajennuksella MQTTLens. (Setting up the IOT2000 –dokumentti) (Siemens IoT2020 / 2040 tukifoorumi)

### 6.3 Node RED –ohjelmointi

Node Red –konfigurointi aloitettiin käyttöliittymän (user interface) rakentamisella. Tarkoituksena oli toteuttaa kokeiluluonteisesti yksinkertainen mittausdataa esittävä käyttöliittymä. Käyttöliittymän toteutukseen käytettiin dashboard –osiosta löytyvää gauge nodea. Tästä nodesta on mahdollista valita neljä erilaista ulkoasua: gauge, donut, compass ja level. Lämpötilojen esittämiseen käytettiin compass -ulkoasua ja kosteusprosentin esitystavaksi valittiin level –tyyppi.



Kuva 10. Gaugenoden tyylivaihtoehdot

Mittaustiedon tuontiin tarvitaan MQTT –nodeja. Niistä on olemassa sekä input että output –versiot. Tiedon tuontiin käytetään input –nodea. MQTT –noden konfigurointi on yllättävän helppoa. Nodelle tarvitsee ainoastaan määrittellä Moquito brokerin IP-osoite sekä portti ja tämän lisäksi topic, jolla luettavan tiedon sisältö määritellään. Tämä sama topic on määritelty myös tiedon julkaisijan (publisher) konfiguraatiossa. Mittausjärjestelmässä on yksi julkaisija, joka lähettää kolmea erilaista mittaustietoa. Näiden mittaustietojen aiheet (topic) on nimetty seuraavasti: Moisture, TempIn ja TempOut. Jokaiselle mittaustiedolle konfiguroitiin oma node ja tämän jälkeen jokainen MQTT -node liitettiin yhteen, sille määritellyn gauge –noden kanssa. Tämän jälkeen voitiin käyttöliittymää testata. Hienosäätöä tarvittiin jonkin verran kuvakkeiden koon ja asetelun muuttamiseksi, mutta melko pienellä vaivalla ulkoasusta tuli kelvollinen.



Kuva 11. Käyttöliittymä matkapuhelimen näytöllä

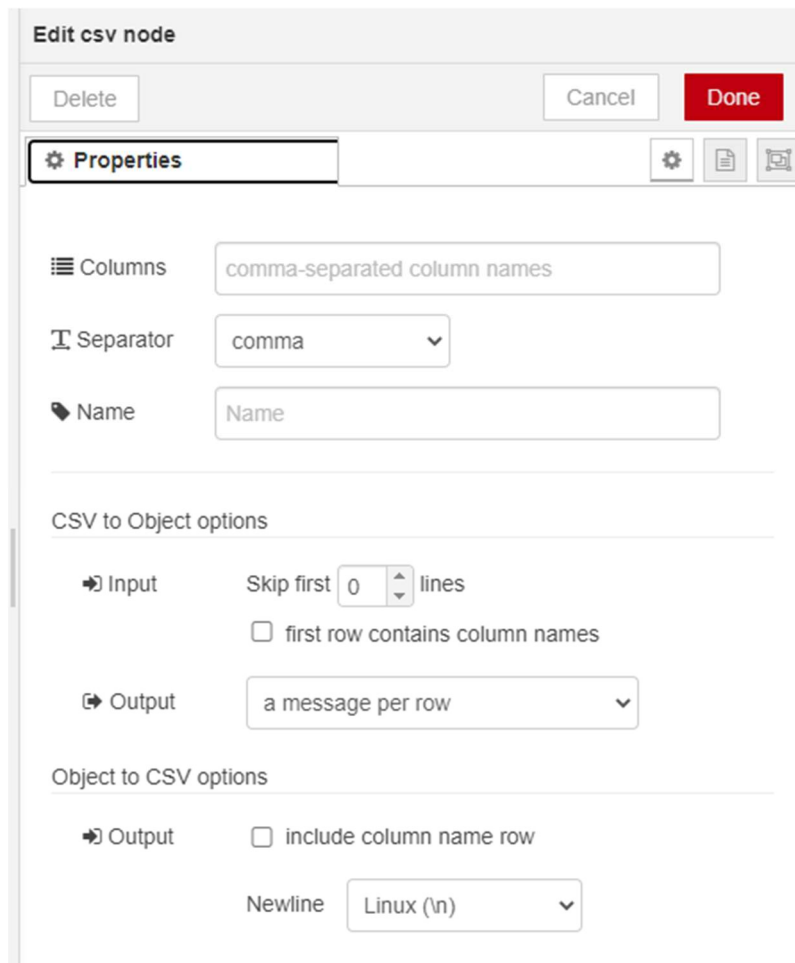
Lokitiedostojen luonti päätettiin toteuttaa storage -ryhmästä löytyvällä file-input – nodella. Nodeen syötetään tieto kansioista, jonne tekstitiedosto halutaan luoda sekä valitaan toiminnoksi append to file. Lisäksi aktivoitiin valinnat “lisää rivi jokaiselle tietosisällölle” sekä “luo kansio, ellei ole jo olemassa”. Jokaiselle riville haluttiin myös aikaleima, jossa näkyy päivämäärä ja kellonaika. Tätä varten konfiguroitiin funktio – node. Noden toiminnallisuus toteutetaan Java Script koodilla. Oheisen koodin avulla luodaan aikaleimatieto “date”, joka esitetään muodossa yyyy-mm-dd hh:mm:ss.

```

1 var date;
2 date = new Date();
3 * date = (date.getFullYear() + '-' + ('00' + (date.getMonth()+1)).slice(-2) + '-' + ('00' +
4 * date.getDate()).slice(-2) + ' ' + ('00' + date.getHours()).slice(-2) + ':' + ('00' +
5 date.getMinutes()).slice(-2) + ':' + ('00' + date.getSeconds()).slice(-2));
6 payload={"time":date,"payload":msg.payload,"topic":msg.topic};
7 msg.payload=payload;
8 return msg;

```

Kuva 12. Funktio noden Java Script koodi

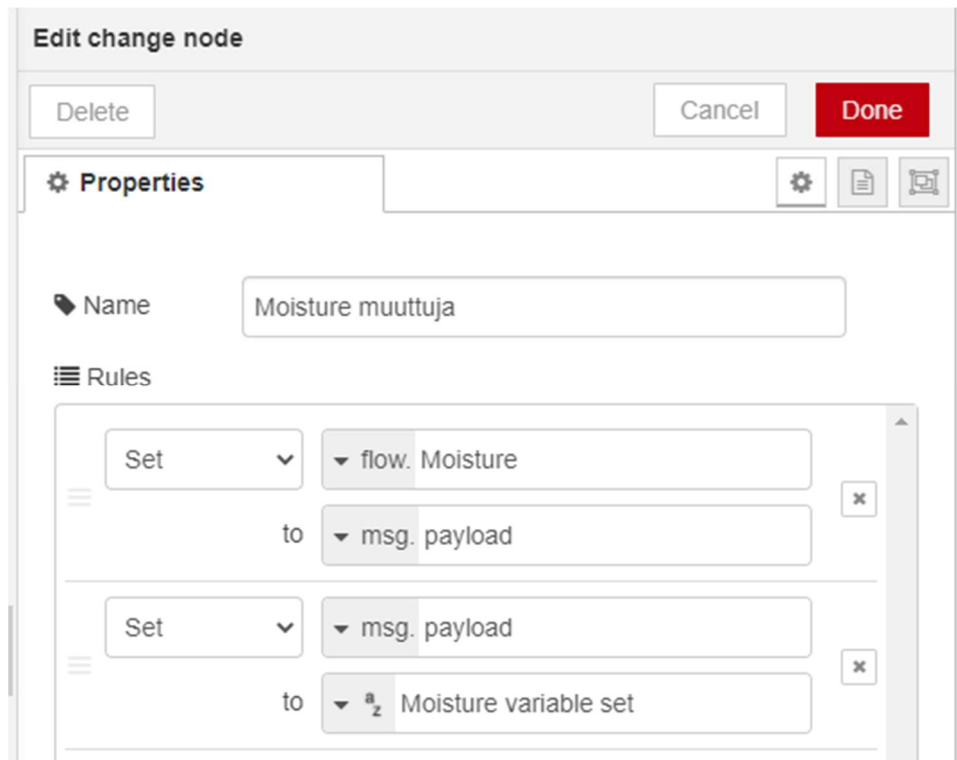


Kuva 13. CSV –node, johon määriteltiin tietojen erotusmerkiksi pilkku.

Alkuperäinen suunnitelma oli toteuttaa sekä mittaukset että lämmityksen ohjaus Siemens iot2020 –yhdykäytävän Arduino-osassa. Mittauksia varten ei löytynyt tarvittavia kirjastoja, joten mittaukset suoritetaan erillisellä mittausyksiköllä. Koska mittaus tulokset lähetetään Mosquito brokerille, on myös lämmitysohjaimen ohjaustoiminnot järkevä toteuttaa Node Red -ympäristössä. Kuten edellä jo todettiin, on funktionode hyvin monikäyttöinen Javascript –ohjelmoitava node. Funktionodessa voidaan suorittaa mm. muuttujien välistä vertailua ja ohjata MQTT –laitteita.

Ennen kuin funktionodessa voidaan käsitellä mittaustietoa, täytyy MQTT-brokerilta tuleva informaatio kytkeä muuttujiin. Tämä voidaan tehdä erillisessä funktionodessa tai toinen tapa on käyttää change -nodea. Change -nodella voidaan asettaa, muuttaa, poistaa tai siirtää viestin ominaisuuksia, tietovirran asiayhteyttä (flow context) tai globaalia kontekstia. Nodella voidaan määrittää useita sääntöjä, jotka suoritetaan ja käsitellään niiden määrittelyjärjestyksessä. Change –nodea käytettiin asettamaan kolme eri

muuttujaa, joiden arvo on sidoksissa MQTT –viestissä määriteltyyn mitta-arvoon. Kaikkia muuttujia varten määriteltiin oma nodensa.



Kuva 14. Change noden asetuvalikko

Tässä MQTT –input nodelta tulevan viestivirran (payload) arvo määritetään asetettavan muuttujan “Moisture” arvoksi. Change –nodella voidaan asettaa kolmentyyppisiä muuttujia: msg, flow ja global. Msg –muuttuja on käytettävissä ainoastaan siinä viestiketjussa, jossa se määritetään. Flow –muuttuja on käytettävissä siinä vuossa, jossa se on määritelty. Global –muuttuja on käytettävissä kaikissa vuossa. Change –nodella määriteltiin kolme muuttujaa: Moisture, TempIn ja TempOut. Näiden jokaisen perään laitettiin vielä debug –nodet, joiden avulla voidaan varmistua, että muuttujat tulevat asetetuksi. Kun muuttujat oli luotu, ryhdyttiin ohjelmoimaan lämmitysohjaimen toiminnallisuutta funktionodeen.

Luotu koodi on rakenteeltaan hyvin suoraviivainen. Aluksi alustetaan tarvittavat muuttujat. Tämän jälkeen if ja else –ehtolauseilla määritetään ne raja-arvot, joiden ylitys tai alitus käynnistää lämmityksen. Raja-arvot olisi voinut määritellä myös muuttujien avulla, jolloin niiden arvoja pystyisi säätämään käyttöliittymästä. Nyt raja-arvot ovat kuitenkin kiinteät, kosteusprosentti >70 % ja lämpötilaero <5 astetta. Ohessa muutama rivi koodista selventävin kommentein:

```

let TempOut = flow.get("TempOut"); // alustetaan muuttuja TempOut ja määritellään
sen arvoksi change –nodessa asetetun TempOut –muuttujan arvo
let TempDiff = TempIn - TempOut; // alustetaan muuttuja, joka laskee sisä- ja ulko-
lämpötilan erotuksen
var state = {}; // alustetaan muuttuja state
if (Moisture > 70) {
  state.payload = true; // ehtolause, mikäli kosteusprosentti on yli 70%, lämmitin kyt-
ketään päälle
} else {
  if (TempDiff < 5 {
    state.payload = true; // mikäli lämpötilaero on pienempi kuin 5 astetta, lämmitin kyt-
ketään päälle
  } else {
    state.payload = false; // muussa tapauksessa ei lämmitetä
  }
}

```

#### 6.4 Kokoonpano

Lopullinen anturiyksikkö muodostui kolmesta eri komponentista, mikrokontrollerista, yhdistelmäanturista sekä johdolla varustetusta lämpötila-anturista. Mikrokontrolleri ja kaksoisanturi olivat sovitettavissa samaan koteloon. Koteloksi soveltuva tuote löytyi Thingiverse –palvelusta nimellä Wemos D1 mini box. Tulostuskoodi ladattiin ja kotelo tulostettiin Anycubic Kossel Linear Plus –tulostimella. (Thingiverse, thing:1995963)

Yhdistelmäanturia ja lämpötila-anturin ylösvetovastusta tarvittiin piirilevy, joka yksinkertaisti kytkentää. Piirilevy valmistettiin valmista reikälevystä, johon komponentit ja tarvittavat johtimet juotettiin. Mikrokontrolleri yhdistettiin piirilevyyn johtimilla ja lopuksi tämä kokonaisuus asennettiin tulostettuun koteloon. Virtalähteenä toimi 5V matkapuhelinlaturi.



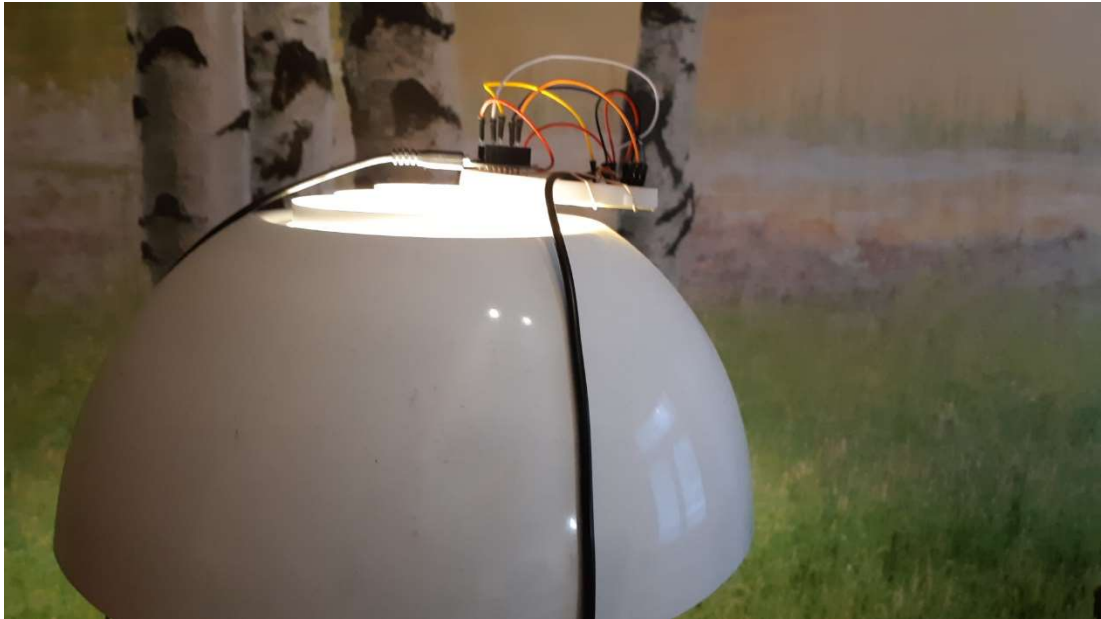
Kuva 15. Komponentit sijoitettuna koteloon

## 7 SUORITETUT TESTIT

### 7.1 Toimintatesti

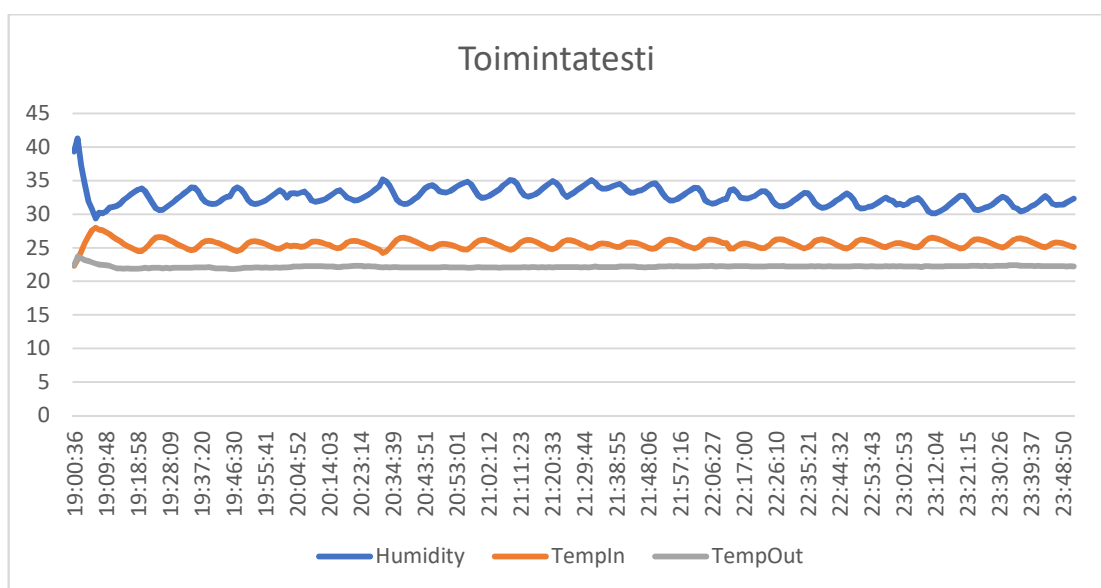
Ensimmäinen testi toteutettiin 30.12.2020 klo 19 alkaen ja testin pituus oli noin neljä tuntia. Testi toteutettiin sisätiloissa hyödyntäen lattiavalaisinta, jonka virtajohto kytkettiin Sonoff Basic –kytkimen kautta pistorasiaan. Mikrokontrolleri ja yhdistelmäanturi oli kiinnitetty koekytkentälevyyn. Koekytkentälevy asetettiin valaisinvarjostimen päälle. Ulkolämpötila-anturi jätettiin roikkumaan johdostaan valaisimen alapuolelle. Ensimmäinen kokeilu suoritettiin led-lampulla, mutta sen lämmöntuotto oli niin heikkoa, ettei tällä asettelulla testin tekemistä ollut mielekäästä jatkaa. Led-lampun tilalle

vaihdettiin perinteinen hehkulamppu, jonka lämmöntuotto oli huomattavasti tehokkaampaa.



Kuva 16. Toimintatestin koeasettelu

Kuten ao. kaaviosta on nähtävissä, lämpötilaeroksi asetettu kolme astetta säilyi koko testijakson ajan. Huomattavaa on myös se, että kosteusprosentti laski testin loppua kohti hieman. Kosteusprosentissa on havaittavissa myös sisälämpötilan kanssa vastakkaisista aaltoilua. Testin alkaessa kosteusprosentti RH oli noin 40 % ja testin päättyessä se oli 32,3 %.



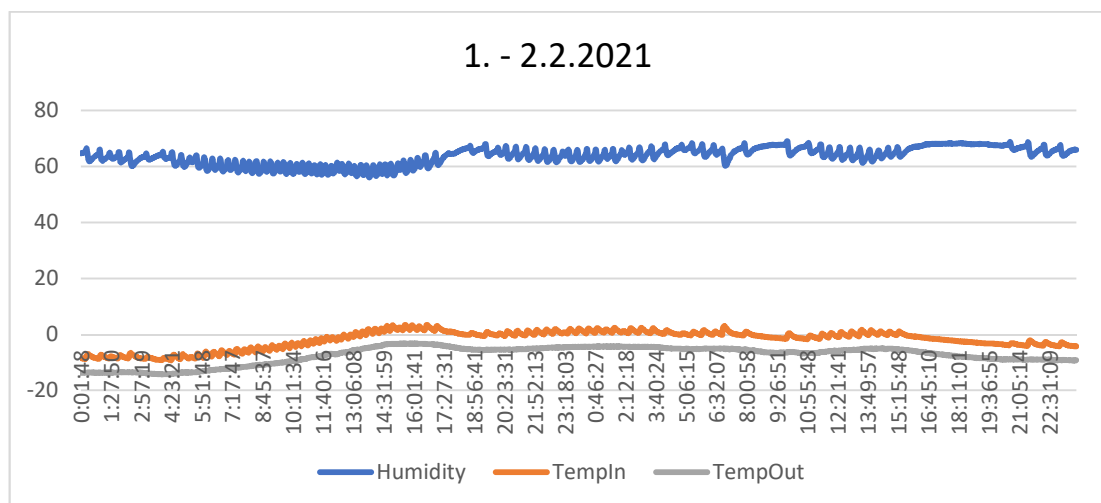
Kuva 17. Ensimmäisen testijakson lämpötila- ja kosteusprosenttikuvaaja

## 7.2 Kenttätesti

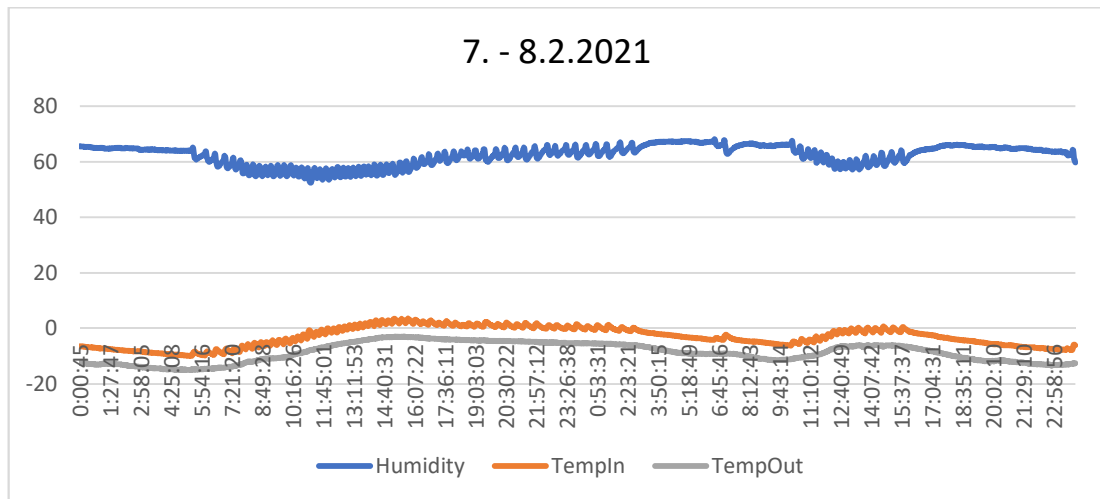
Kenttätesti toteutettiin 1. – 14.2.2021. Laitteisto asennettiin omakotitalon pihalla talvisäilytyksessä olleeseen 28 jalkaiseen purjeveneeseen. Purjeveneen kajuutta on hyvin perinteisen mallinen keulapiikkeinen ja pistopunkkineen. Purjeveneen kajuuttaan johtavat luukut suljettiin ja ulkolämpötila-anturi pujotettiin ilmanvaihtoventtiilin kautta ulos kajuutasta. Sähköpuhallin asetettiin kajuutan keskivaiheille ja suunnattiin puhaltamaan kohti keulaa. Anturiyksikkö sijoitettiin kajuutan takaosaan, sisäänkäynnin läheisyyteen.

Lämpötilat olivat kenttätestin aikana melko alhaisia, mutta muutama lauhempi päivä osui myös testijaksolle. Data kerättiin IoT2020 –yhdyskäytävän muistikortille tekstitiedostoon. Lukemat kirjoitettiin muistiin minuutin välein koko kahden viikon testijakson ajan. Tiedonkeruu onnistui melko luotettavasti ja kirjautumatta jäi ainoastaan muutamia yksittäisiä lukemia, jotka paljastuivat oheisia kaavioita laadittaessa ja dataa niihin muokatessa. Katkosten voidaan olettaa johtuneen WiFi –verkon kuuluvuusongelmista, koska matkaa tukiasemasta veneeseen oli useampi kymmenen metriä. Muuten laitteisto toimi luotettavasti eikä uudelleen käynnistykseen ollut tarvetta testijakson aikana.

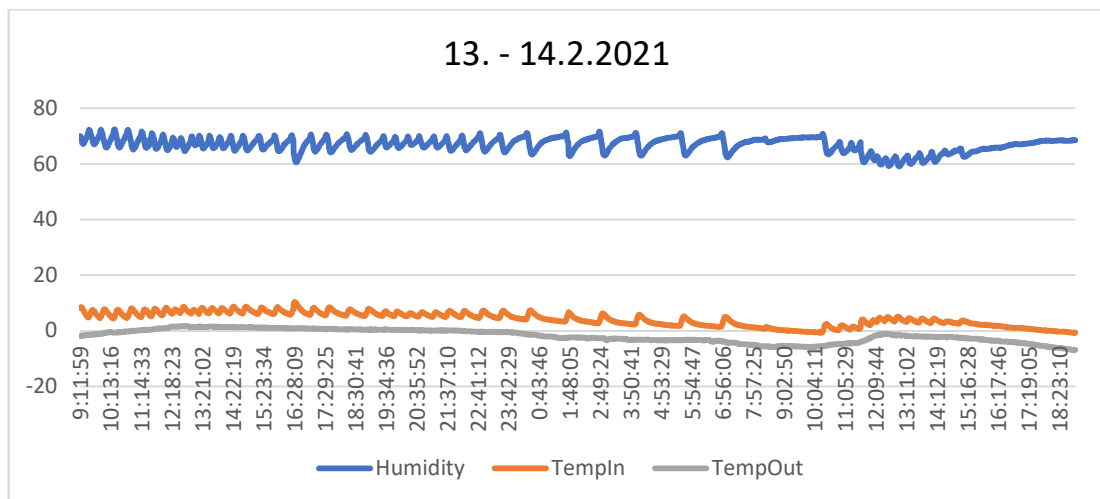
Dataa kertyi kenttätestijaksolta runsaasti, joten tuloksista on valittu esitettäväksi ainoastaan kolme havainnollistavaa, kahden päivän jaksoa. Nämä jaksot ovat 1. – 2.2.2021, 7. – 8.2.2021 ja 13. – 14.2.2021.



Kuva 18. Kenttätestijakson ensimmäinen lämpötila- ja kosteusprosenttikuvaaja



Kuva 19. Kenttätestijakson toinen lämpötila- ja kosteusprosenttikuvaaja



Kuva 20. Kenttätestijakson kolmas lämpötila- ja kosteusprosenttikuvaaja

Testijakson aikana ulkolämpötila vaihteli  $-16,82\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja  $+1,69\text{ }^{\circ}\text{C}$  välillä. Alle  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  ulkolämpötiloja esiintyi 4., 5. ja 9. helmikuuta. Leudointa oli 13. helmikuuta, jolloin ulkolämpötila pysytteli nollassa ja hieman sen yläpuolella.

Mittaustuloksista on nähtävissä, että kosteusprosentti pysytteli lähes koko testijakson ajan alle asetetun 70 % rajan. Kosteusprosentin ja sisälämpötilan muutokset olivat vastakkaisia, joka tarkoittaa sitä, että sisälämpötilan noustessa kosteusprosentti laski ja päinvastoin. Huomattavaa on myös, että suhteellinen kosteus aaltoili vähemmän ulkolämpötilan laskiessa. Asetettu  $>4\text{ }^{\circ}\text{C}$  lämpötilaero sisä- ja ulkolämpötilan välillä säilyi koko testijakson ajan. Suurin ilmankosteusprosentti 72,42 % mitattiin 13.2.2021 klo

10.21. Tuolloin sisä- ja ulkolämpötilan välinen ero oli 5,79 °C. Yhteensä raja-arvona olleen 70 % ylityksiä tapahtui testijakson aikana 114 kertaa, joten voidaan todeta ohjauksen tapahtuneen pääasiassa lämpötilaeron mukaan. Ylityksiä tapahtui ainoastaan 13. ja 14.2., jolloin ulkolämpötila oli nollan molemmin puolin (-7,13 – +1,69 °C). Yksittäisten lämmitysjaksojen pituus oli noin viisi minuuttia. Keskimääräinen sähkönkulutus testijakson aikana oli 4,8 kWh vuorokaudessa.

## 8 TUOTTEEN KAUPALLISTAMINEN

### 8.1 Vastaavat tuotteet markkinoilla

#### Leveltec ProMod Lite II

Laite on ohjelmoitu toimimaan kuivanapitolämmityksen ohjaimena. Laitteen suurin sallittu suhteellinen kosteusprosentti on RH 60 %. Kosteusohjauksen lisäksi laite on mahdollista asettaa toimimaan pelkästään termostaattiohjattuna tai termostaatin ja il-mankosteuden ohjaamana. Ohjain tallettaa lokitietoihinsa korkeimman ja matalimman suhteellisen il-mankosteusprosentin sekä korkeimman ja matalimman lämpötilan. Lokitiedot voidaan nollata älypuhelimien sovelluksella, joka toimii Bluetooth –yhteydellä. Laitteen toiminta palautuu sähkökatkon jälkeen ennalleen. Laitteen myyntihinta on 249 €.

#### LEK 24-PT lämpötilaerotermostaatti

Lämpötilatermostaatti, jossa on säädettävä lämpötilaero 0 – 10 °C ja säädettävä hystereesiarvo 0,2 – 5 °C. Laitteen releellä voidaan ohjata maksimissaan 230 V / 1150 W sähkölaitetta, kuten lämmitintä. Laitteen myyntihinta on noin 120 €.

#### Kuivanapitolämmitin v1.1 ja v2

Kuivanapitolämmitin on harrastelijan suunnittelema ja toteuttama laite, jota ei ole kaupallisesti saatavilla. Molempiin versioihin löytyy rakennusohje ja materiaalikustannusten mainitaan olevan 30 € luokkaa. Sisä- ja ulkolämpötilojen esittämistä varten

laitteessa on kaksi 4-numeroista 7-segmenttinäyttöä. Lämpötilaero on aseteltavissa kuitenkin myös hystereesi. Lämpötilaeron lisäksi voidaan asettaa huonelämpötilalle ylä- ja alaraja. Laitteesta löytyy myös lämmitysajan tuntilaskuri sekä rele lämmittimen ohjauksista varten.

#### Probyte differentiaalirele

Laitte on tarkoitettu kesämökkikäyttöön. Säätimellä pidetään sisälämpötila asetetun astemäärän verran lämpimämpänä kuin vallitseva ulkolämpötila. Laitteessa on yhden minuutin viive mittaustapahtuman ja toiminnan ohjauksen välillä. Laitteeseen asetettu hystereesi on 1 °C. Laitteesta ei ilmeisesti ole olemassa kaupallista versiota vaan kyseessä on rakennussarja.

## 8.2 Kaupallistamismahdollisuuksien tarkastelu

Pikaisen tarkastelun perusteella ei markkinoilla ole oikeastaan kuin yksi vartenotettava kaupallinen tuote kuivanapitolämmityksen toteuttamiseksi. Tässäkin ohjaimessa on omat rajoitteensa, eikä se oikein sovellu etäkohteen lämmittämiseen puuttuvan etähallinnan vuoksi. Laitetta voidaan hallita puhelinsovelluksen avulla, mutta yhteystavaksi on valittu Bluetooth, joka rajaa etäisyyden noin kymmeneen metriin.

Haasteeksi tuotteen kaupallistamisessa muodostuu myyntihinta, joka tulisi pitää kohtuullisena. 249 € ”termostaatin korvikkeesta” on aika paljon ja sillä rahalla pitäisi saada myös kohtuullinen etähallinta. Luotettavuus on myös tärkeä silloin kun puhutaan kuukausia itsekseen toimivasta laitteesta. Laitteen toiminnan ja etäyhteyden tulee molempien olla erittäin luotettavia. Tällä hetkellä tämä toteutuu hyvin harvoissa kuluttajatuotteissa. Puhuttaessa mökkituotteesta, tulisi yhteyden olla muodostettavissa erillisellä sim-kortilla WiFi -yhteyden lisäksi ja tämä lisää myös valmistuskustannuksia. Kuivanapitolämmitys on ainakin tällä hetkellä marginaalituote, joten kovin suuriin myyntimääriin tuskin päästäisiin. Mielenkiintoista olisi toteuttaa etähallittava ohjain esimerkiksi Raspberry Pi -alustalle, jolloin valmistuskustannukset olisi painettavissa alle 100 € ja luotettavuus olisi kohtuullisen hyvä.

## 9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kuivanapitolämmitys toimi lyhyen testijakson aikana johdonmukaisesti ja luotettavasti vaikka luotu ohjausmalli ehtoineen oli suhteellisen yksinkertainen eikä esimerkiksi hystereesiä ollut koodissa huomioitu lainkaan. Tilannetta helpotti kenttättestissä laitteiden asettelu, jossa lämpöpuhallin oli suunnattu pois päin anturiyksiköstä ja lämpötilan kohoaminen tapahtui melko lailla viimeisenä siinä kohdassa veneen kajuuttaa, missä anturiyksikkö sijaitsi. Lämmitysjakson pituus oli keskimäärin noin viisi minuuttia, joten hystereesin vaara ei kenttättestin aikana ollut. Käytetyt komponentit olivat Siemensiä lukuun ottamatta edullista harrastelijä tasoa. Ohjausehdot toimivat testitulosten perusteella odotetusti ja määritelty yli neljän asteen lämpötilaero säilyi koko testijakson ajan. Asetettu ilmankosteusprosentin yläraja ylittyi hetkellisesti ainoastaan silloin, kun ulkolämpötila liikkui nollan tuntumassa. Lokitietoa kerättiin runsaasti, jopa niin paljon, että kaavioita laadittaessa jouduttiin rajaamaan yhdessä kaaviossa esitettävien vuorokausien määrä kahteen, jotta käyrät pysyivät luettavina. Toinen vaihtoehto olisi ollut karsia dataa ja esittää mittaustuloksia esimerkiksi vain kymmenen minuutin välein. Tähän en kuitenkaan halunnut lähteä. Veneen kajuutta oli pienen kokonsa ansiosta helppo kohde ja sokkeloisemmassa rakennuksessa tuleekin varmistua antureiden sijoittelulla siitä, että kaikkein alhaisimmille sisälämpötiloille alttiit tilat varustetaan anturiyksiköillä.

Opinnäytetyön aikataulussa pysyminen edellytti pitäytymistä melko rajatussa määrässä ominaisuuksia. Tuotekehittelyn ohessa syntyi kuitenkin ideoita tuotteen monipuolistamiseksi. Tällaisia toimintoja voisivat olla ainakin käyttöliittymän kautta säädettävä lämpötilaero ja suhteellisen kosteuden raja-arvo, hälytystoiminto raja-arvojen ylityessä sekä pidempikestoisesta yhteyskatkosta. Käyttöliittymässä voisi esittää graafisesti myös mittaustulosten historiaa ja mahdollisesti myös sähkönkulutusta.



Kuva 21. Valmis kuivanaipitolämmitysohjain

## LÄHTEET

A Guide to the Measurement of Humidity 1996 The Institute of Measurement and Control. London

<[https://humidity-calibration.eu/resources/a\\_guide\\_to\\_the\\_measurement\\_of\\_humidity.pdf](https://humidity-calibration.eu/resources/a_guide_to_the_measurement_of_humidity.pdf)> Viitattu 18.10.2020

Ahoranta, Tommi. Vanhojen vapaa-ajan asuntojen sähköistys. Metropolia Ammattikorkeakoulu. 2011.

Components101 – DS19B20 Temperature Sensor

<<https://components101.com/sensors/ds18b20-temperature-sensor>> Viitattu 21.3.2021

Digital Humidity Sensor SHT3x (RH/T)

<<https://www.sensirion.com/en/environmental-sensors/humidity-sensors/digital-humidity-sensors-for-various-applications/>> Viitattu 15.10.2020

DS18B20 data sheet

<<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>> Viitattu 15.10.2020

Esplearning –tukisivusto Wemos ja SHT31 kytkentä

<<http://www.esp8266learning.com/wemos-and-sht31.php>> Luettu 18.11.2020

Esplearning –tukisivusto Wemos mini DS18B20 temperature sensor example

<<http://www.esp8266learning.com/wemos-mini-ds18b20-temperature-sensor-example.php>> Viitattu 18.11.2020

How to install Tasmota firmware on Sonoff switches with Tasmotizer (PC/Mac)

<<https://crosslink.io/2020/05/01/how-to-install-tasmota-firmware-on-sonoff-switches-with-tasmotizer-pc-mac/>> Luettu 4.12.2020.

Ilmatieteenlaitos – lämpötila ja kosteus

<<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/lamopotila-ja-kosteus#15>> Viitattu 24.10.2020

Instructables - Remote Temperature Monitoring Using MQTT and ESP8266 Modules

<<https://www.instructables.com/Remote-Temperature-Monitoring-Using-MQTT-and-ESP82/>> Viitattu 29.11.2020

Kuivanapitolämmittimien v1.1 ja v2 rakennusohje

<[http://kair.us/projects/temp\\_controller/index.html](http://kair.us/projects/temp_controller/index.html)> Viitattu 9.3.2021.

Leveltec Promod Lite II tuotesivu

<<https://www.leveltec.fi/tuotteet/promodlite.html>> Viitattu 9.3.2021.

Meillä kotona – Kuivanapitolämmitys kannattaa mökillä

<<https://www.meillakotona.fi/artikkelit/kuivanapitolammitys-kannattaa-mokilla>>  
Viitattu 21.11.2020

Mellberg, Henrik. 2013. Liikuteltava sisäilman mittausjärjestelmä. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Motiva – Loma-asunto talvikuntoon 2021

<[https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/ajankohtaista\\_nyt/energiatohkuutta\\_loma-asumiseen/loma-asunto\\_talvikuntoon](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/ajankohtaista_nyt/energiatohkuutta_loma-asumiseen/loma-asunto_talvikuntoon)> Luettu 7.3.2021.

MQTT -verkkosivut

<<https://mqtt.org/>> Viitattu 17.10.2020

Naskali, Tarmo. 2019. IOT-järjestelmän käyttöönotto Node-RED –ohjelmistossa. Lahden Ammattikorkeakoulu.

Ojala, Rami. MQTT IOT-protokolla. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Jyväskylä. 2017

Piironen, Jarkko. Hirsirakenteisten kesämökkien kuivanapitolämmitys. 2010.  
Verkko-dokumentti.

<<https://docplayer.fi/7243225-Hirsirakenteisten-kesamokkien-kuivanapitolammitys.html>> Viitattu 11.11.2010.

Piironen Jarkko & Vinha Juha. Vakiotehoisten kuivanapitolämmityksen vaikutus hirsimökkien lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan. Tampereen teknillinen yliopisto. 2010.

Probyte differentiaalireleen tuotesivu

<<http://remotesmart.wikidot.com/differentiaalirele>> Viitattu 9.3.2021.

Produal LEK 24-PT lämpötilaerokytkimen tuote-esite

<<https://www.produal.com/ssc-api/api/v0/file/sku-1120060/technicalBroc?inline=false&language=fi>> Viitattu 9.3.2021.

Rafnet-ryhmä 2004. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinööreille, kosteus. Verkkodokumentti

<[http://www.tekniikka.oamk.fi/~kimmoi/talrakjatko/kosteus\\_27092004.pdf](http://www.tekniikka.oamk.fi/~kimmoi/talrakjatko/kosteus_27092004.pdf)> Viitattu 10.10.2020.

Sinisalo, Jere. 2015 Olosuhdeseurantajärjestelmä. Turun Ammattikorkeakoulu

<[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/87578/Sinisalo\\_Jere.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/87578/Sinisalo_Jere.pdf?sequence=1&isAllowed=y)> Viitattu 19.10.2020.

Sensirion - Humidity Sensors with CMOSens®

<<https://www.sensirion.com/en/about-us/technology/cmosens-technology-for-humidity/>> Viitattu 15.10.2020

Setting up the IOT2000 -dokumentti luettu 28.11.2020

<<https://support.industry.siemens.com/tf/ww/en/posts/iot2000-starter-guide-and-useful-information/155652/?page=0&pageSize=10>> Luettu 28.11.2020.

Siemens IOT2020 / 2040 tukifoorumi

<<https://support.industry.siemens.com/tf/ww/en/threads/303/?page=0&page-Size=10>> Luettu 28.10.2020

Simatic IOT2020 -esite

<<https://www.automation.siemens.com/sce-static/iot2000/dffa-b10254-00-7600-simatic-iot2020-en.pdf>> Viitattu 7.3.2021.

Sitra – Kesämökki talvehtii alhaisemmalla lämmöllä. 2017.

<<https://www.sitra.fi/caset/kesamokki-talvehtii-alhaisemmalla-lammolla/>> Luettu 7.3.2021.

Sonoff BasicR2 –verkkosivu

<<https://sonoff.tech/product/wifi-diy-smart-switches/basicr2>> Luettu 24.10.2020

Tasmota – Getting started

<<https://tasmota.github.io/docs/Getting-Started/>> Luettu 4.12.2020

Tekeville – Ilmankosteus: käyttäytyminen, ilmiöitä ja vinkkejä

<<http://www.tekeville.fi/ilmankosteus>> Viitattu 18.10.2021.

Teplostar – Vinkit mökin kuivanapitolämmitykseen aurinkosähkömökillä

<<https://www.teplostar.fi/mokkilammitin-aurinkosahkomokille/vinkit-mokin-kuivanapitolammitykseen-aurinkosahkomokilla/>> Viitattu 7.3.2021.

Thingiverse – Wemos D1 mini box -tulostuskoodi

<<https://www.thingiverse.com/thing:1995963>> Ladattu 8.1.2021

Vaisala HUMICAP® -teknologia

<<https://www.vaisala.com/fi/vaisala-humicapr-technology>> Viitattu 15.10.2020

Vapaakauppa.net – Digitaalinen lämpötila- ja ilmankosteusanturi SHT31-D

<<https://www.vapaakauppa.net/digitaalinen-lampotila-ja-ilmankosteusanturi-sht31-d.html>> Viitattu 21.3.2021

Venelehti – Hometta patjassa? Näin vältät kosteusongelmat veneessä

<<https://venelehti.fi/hometta-patjassa-nain-valtat-kosteusongelmat-veneessa/>> Viitattu 14.10.2021.