



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

Aurinkosähköjärjestelmän etähallinta

Mikko Saarikko

Opinnäytetyö
Marraskuu 2018
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Sähkövoimatekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikka
Sähkövoimatekniikka

SAARIKKO, MIKKO:
Aurinkosähköjärjestelmän etähallinta

Opinnäytetyö 41 sivua
Marraskuu 2018

Opinnäytetyön tavoitteena on löytää alle sadan euron hintainen ohjainlaite, joka pystyy vastaanottamaan HTTP-viestejä siihen liitettävän releen ohjaamiseksi. Laitetta tulee pystyä ohjamaan internetissä sijaitsevan pilvipalvelimen kautta. Ohjainlaitteen tulee välittää myös siihen liitettävien muiden komponenttien, kuten lämpötila-anturin keräämää dataa.

Ohjainlaitteen avulla on tarkoitus rakentaa ympäristö aurinkosähköjärjestelmän ohjaamiseksi etäältä. Järjestelmään kytketyltä lämminvesivaraajalta lähetetään lämpötilatietoa etäpalvelimelle, joka edelleen ohjaa kyseistä lämminvesivaraajaa sekä muita sähkölaitteita releiden ja kontaktorien avulla. Järjestelmä päätettiin rakentaa Raspberry Pi 3 Model B -ohjainlaitteen avulla.

Työn tuloksena toteutettiin toimiva järjestelmä, joka kykeni lähettämään lämpötilatietoa etäpalvelimelle, ottamaan edeltä mainitulta palvelimelta ohjaustietoja vastaan sekä täyttämään muutkin tilaajan asettamat tavoitteet.

Työn tilasi valkeakoskelainen yritys e-buildings Finland Oy, joka toimii aurinkosähköjärjestelmien toimittajana, konsultointi- ja konseptipalveluiden tarjoajana sekä koulutusten järjestäjänä.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Electrical Engineering
Electrical Power Engineering

SAARIKKO, MIKKO:
Remote management of a solar power system

Bachelor's thesis 41 pages
November 2018

The objective of this work was to find a device which costs less than 100 euros, which can receive http request messages and can control at least one relay.

The purpose of this thesis was to build a system to remotely control a solar power system. A temperature sensor connected to a solar power system sends temperature data to a server to control a water heater or other electric devices through relays and contactors from a server. The system was built by using a Raspberry Pi 3 Model B –computer.

As a result, a fully functional system, which is capable to send temperature data to a server and also capable to receive data to control relays, was realized. It fulfills other criteria set by the client.

This work was ordered by e-buildings Finland Oy, a solar power system supplier, a consulting and conceptual service provider and an educational organizer from Valkeakoski, Finland.

Key words: solar power, Raspberry Pi, remote control, temperature data

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	AURINKOENERGIA	8
2.1	Aurinko	8
2.2	Auringon säteily maapallolla	8
2.3	Auringon säteily Suomessa.....	9
3	AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄT	11
3.1	Aurinkopaneelit	11
3.1.1	Aurinkokennot	12
3.1.2	Pn-liitos	12
3.2	Invertterit	13
3.3	Aurinkosähköjärjestelmän liittäminen sähköverkkoon.....	14
3.3.1	Tuotannon mittaus.....	15
3.3.2	Sähkövero.....	15
3.3.3	Alle 100 kVA sähköntuotantolaitoksen liittäminen sähköverkkoon	15
3.3.4	Yli 100 kVA sähköntuotantolaitoksen liittäminen sähköverkkoon	18
3.4	Jännitteen ohjaus.....	21
3.4.1	Rele	21
3.4.2	Kontaktori	22
4	RASPBERRY PI	23
4.1	Tekniset tiedot.....	24
4.2	Raspberryn historia	24
4.3	Raspberry Pi:n käyttöönotto	25
4.3.1	Raspbian-käyttöjärjestelmän asennus	25
4.3.2	Yhdistäminen verkkoon	26
4.3.3	SSH-yhteyden muodostaminen	27
4.3.4	Käyttöjärjestelmän päivitys.....	27
4.3.5	Tiedostojen siirto Raspberrylle	28
5	VERKKOPALVELIN	29
5.1	Dynaamiset verkkosivut	29
5.2	PHP	29
5.3	MySQL	30
5.4	FTP.....	30
6	LÄMPÖTILATIEDON TALTEENOTTO	31
6.1	Lämpötila-anturi	31

6.1.1	1-Wire	32
6.2	Lämpötilatiedon talteenoton toimintaperiaate	33
6.3	Lämpötila-anturin kytkentä.....	34
7	LÄMMINVESIVARAAJAN ETÄOHJAUS.....	36
7.1	Lämminvesivaraajan etäohjauksen toimintaperiaate	36
7.2	Kytkenä.....	37
8	YHTEENVETO	39
	LÄHTEET.....	40

ERITYISSANASTO

DIN-kisko	Standardoitu kiskokoko
FTP	File transfer protocol. TCP-protokollaa käyttävä tiedonsiirto- menetelmä kahden tietokoneen välille.
PHP	Hypertext Preprocessor. Dynaamisten Web-sivujen ohjel- mointikieli
SQL	Structured Query Language. Relaatiotietokannan standardoitu kyselykieli.
UNIX	Laitteistoriippumaton käyttöjärjestelmä.
GPIO	General purpose input/output. Liitinrivistö, joka mahdollistaa elektroniikkakomponenttien kytkemisen.
Raspbian	Unixin kaltainen käyttöjärjestelmä, jota Raspberry Pi:n kehit- täjät suosittelevat normaalissa käyttöympäristössä.
VNC	Virtual network computing on protokolla graafisen etähallin- tayhteyden muodostamiseen.
kWp	Aurinkopaneeleista saatava huipputeho.

1 JOHDANTO

Uusiutumattomien luonnonvarojen ehtyessä pyritään jatkuvasti kehittämään uusia sekä ympäristöystävällisempiä tapoja tuottaa sähköä. Ihmisten kiinnostus aurinkoenergialla tuotettua sähköä kohtaan on kasvussa. Teknologian kehittyessä tämän tuotantotavan mahdollisuudet kasvavat ja sillä tuotettu sähkö tulee entistä kilpailukykyisemmäksi. Laite- ja ohjelmistotekniikan kehittyessä aurinkosähköjärjestelmät automatisoituvat entisestään ja niistä tulee yhä helpommin etäluettavia sekä -ohjattavia.

Tämän työn tarkoituksena oli kehittää edullinen aurinkosähköjärjestelmän ohjaustapa. Järjestelmä perustuu ohjainlaitteeseen, jonka avulla voidaan lähettää aurinkosähköjärjestelmään liittyviä keskeisiä tilatietoja pilvipalvelimelle sekä edelleen ohjata aurinkosähköjärjestelmän kuormaa pilvipalvelimen välityksellä.

Ohjainlaitteen tuli olla asennettavissa DIN-kiskokoteloon. Sen tuli vastaanottaa http-viestejä, toimia langattomassa verkossa, ohjata relettä sekä maksaa alle sata euroa.

Järjestelmän ohjainlaitteeksi valittiin yhden piirikortin tietokone Raspberry Pi 3 Model B, joka maksaa noin 40 euroa. Järjestelmän rakentamiseksi tarvitaan lisäksi erinäisiä työkaluja, asennustarvikkeita sekä hieman python- ja html-kielen opettelua.

Työssä tarkastellaan myös aurinkosähköön liittyvää teoriaa, Raspberry Pi 3 Model B -rakennetta sekä sähköjärjestelmän verkkoon liittämiseen liittyviä sääntöjä ja lainsäädäntöä.

2 AURINKOENERGIA

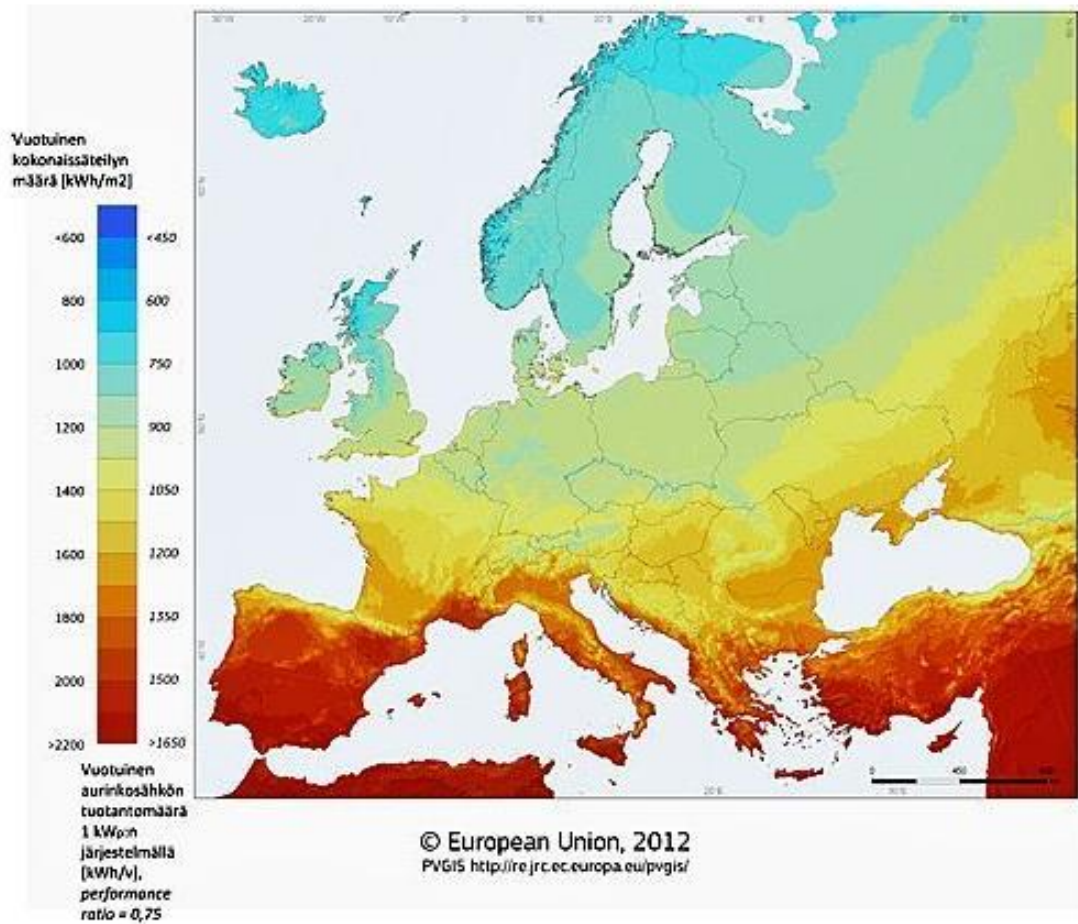
2.1 Aurinko

Noin viisi miljardia vuotta sitten tähtienvälisen aineen pilvistä tiivistyi tähti, jota kutsumme auringoksi. Aurinko on enimmäkseen vedystä (71 %) sekä heliumista (27 %) muodostunut kaasupallo. Auringon etäisyys maasta on noin 150 miljoonaa kilometriä ja sen halkaisija on 1,4 miljoonaa kilometriä. Auringon pinta-lämpötila on noin 5800 kelviniä ja auringon valon kestää 8 minuuttia saavuttaa maapallo. (Aurinkoenergiaa, 2017.)

2.2 Auringon säteily maapallolla

Auringon energia syntyy lämpöydinreaktiosta, kun neljä vetyatomia yhdistyy yhteen heliumatomiin. Yli 10 miljoonan Celsius asteen lämpötilassa tapahtuvan lämpöydinreaktion aiheuttamassa massamuutoksessa vapautuva energia antaa auringolle $3,8 \times 10^{23}$ kW ominaistehon, josta säteilee maapallolle $1,7 \times 10^{14}$ kW. Se on 20 000 kertaa enemmän, kuin ihmiskunnan tämänhetkinen energiankulutus. Auringosta tulevan säteilyn vuontiheyttä Maan kaasukehän ulkorajalla kutsutaan aurinkovakioksi. Se kuvaa auringonsäteilyn tehoa pinta-alayksikköä kohti, jonka arvo on päiväntasaajalla noin 1368 W/m^2 . (Aurinkoenergiaa, 2017.)

Kuvassa 1 näkyy Euroopassa optimaalisesti suunnatuille aurinkopaneeleille tuleva vuotuinen säteily määrä (kWh/m²) sekä aurinkosähkön määrä (kWh/v), joka on tuotettu 1 kWp järjestelmällä 0,75:n hyötysuhteella.

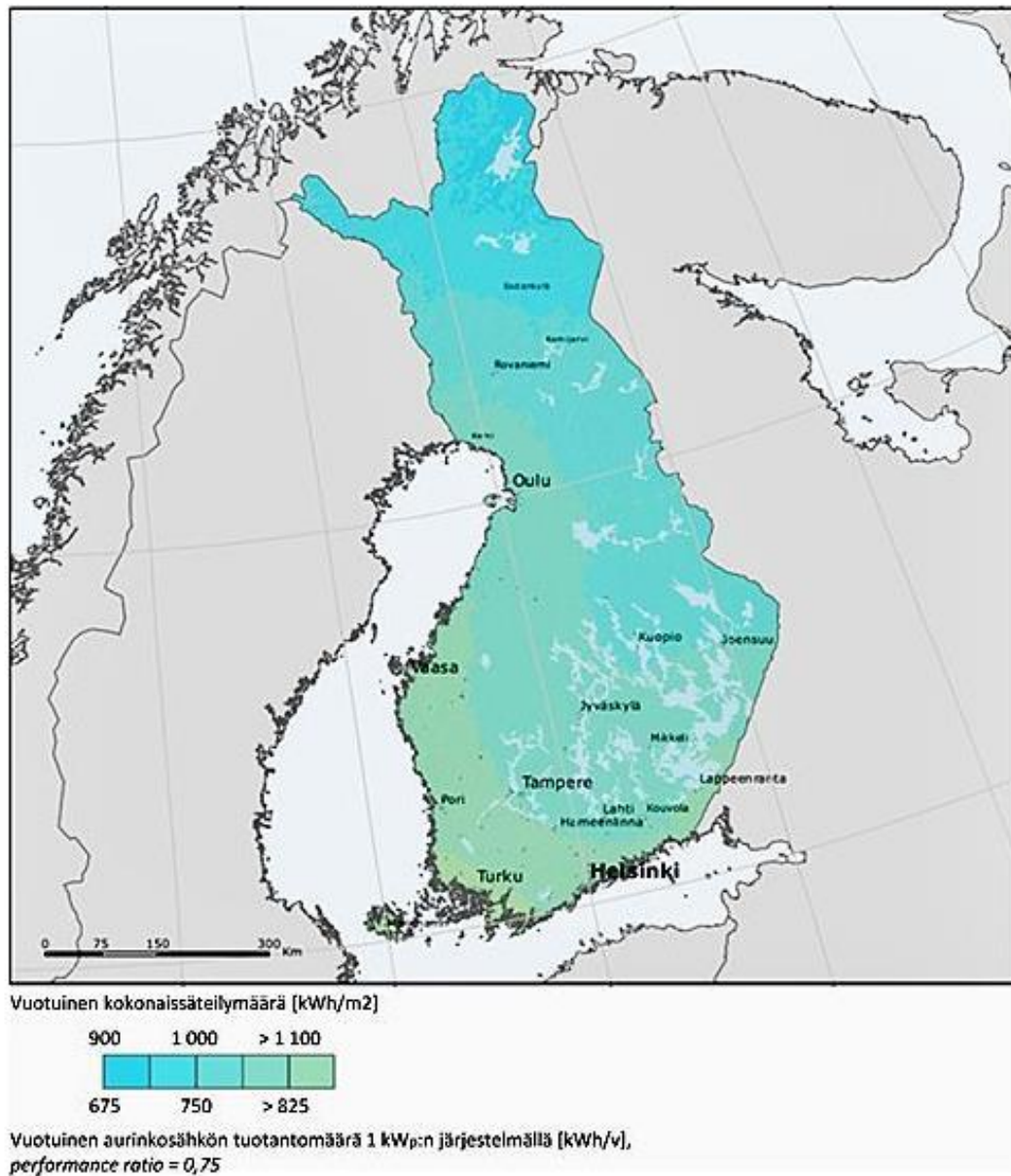


KUVA 1. Vuotuinen säteily määrä sekä sähköntuotanto optimaalisesti suunnatussa järjestelmässä Euroopassa (Auringonsäteilyn määrä Suomessa, 2018).

2.3 Auringon säteily Suomessa

Etelä-Suomessa vuotuinen kokonaissäteily on lähes samaa luokkaa kuin Pohjois-Saksassa. Suomessa auringonsäteily keskittyy kuitenkin vahvemmin kesäkuukausille verrattuna Etelä-Eurooppaan. Etelä-Suomessa säteily määrä vaakasuoralle pinnalle on noin 1000 kWh/m² ja Keski-Suomessa noin 800 kWh/m². Suuntaamalla paneelit 45 asteen kulmassa etelään päin, säteilyn määrää voidaan lisätä vuositasolla 20–30 prosenttia verrattuna vaakasuoraan asennukseen. (Auringonsäteilyn määrä Suomessa, 2018.)

Kuvassa 2 näkyy Suomessa optimaalisesti suunnatuille paneeleille tuleva vuotuinen säteily määrä (kWh/m²) sekä aurinkosähkön määrä (kWh/v), joka on tuotettu 1 kW_p järjestelmällä 0,75:n hyötysuhteella.



KUVA 2. Vuotuinen säteily määrä sekä sähköntuotanto optimaalisesti suunnatussa järjestelmässä Suomessa (Auringonsäteilyn määrä Suomessa, 2018).

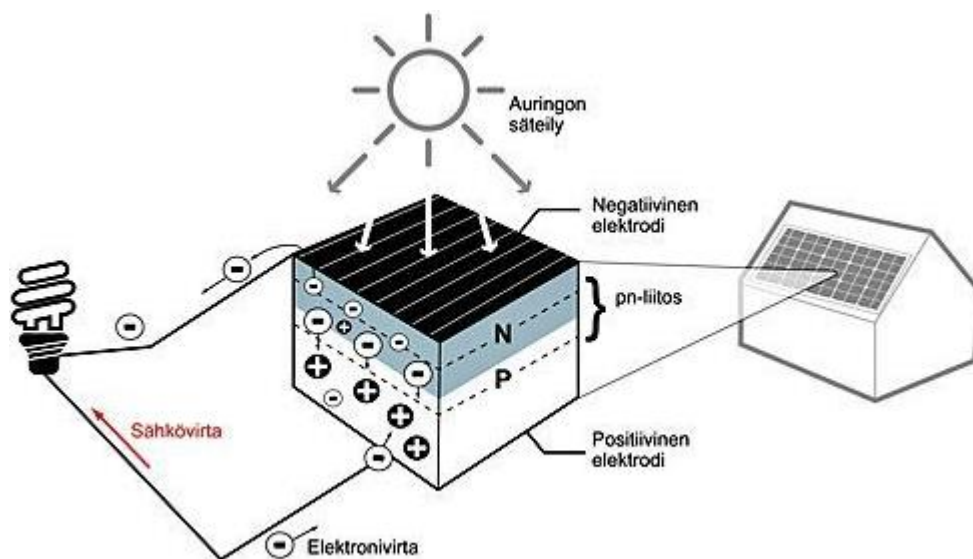
3 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄT

Aurinkosähköjärjestelmät voivat olla niin irti verkosta olevia, kymmenien wattien mökkisovelluksia, kuin satojen kilowattien aurinkovoimaloita, jotka syöttävät sähköä verkkoon.

Aurinkosähköjärjestelmän tärkeimmät komponentit ovat aurinkopaneelit sekä verkko-vaihtosuuntaajat eli invertterit. Inverttereillä muunnetaan aurinkopaneelien tuottama tasajännite 230 V vaihtojännitteeksi, jota voidaan käyttää useimmilla kodin sähkölaitteilla tai vaihtoehtoisesti syöttää takaisin sähköverkkoon. Myös pienemmän aurinkosähkövoimalan, esimerkiksi omakotitalon aurinkosähköjärjestelmän, oman sähkönkäytön ylitse jäänyt sähköenergia voidaan syöttää takaisin jakeluverkkoon.

3.1 Aurinkopaneelit

Aurinkopaneelit muodostuvat useasta sarjaan kytketystä kennosta, kennoa suojaavasta lasista sekä kapselointifoliosta. Kuvassa 3 on esitetty puolijohdeaurinkokennon toimintaperiaate.



KUVA 3. Pn-liitokseen perustuvan aurinkokennon toimintaperiaate (Aurinkosähköteknologiat, 2017)

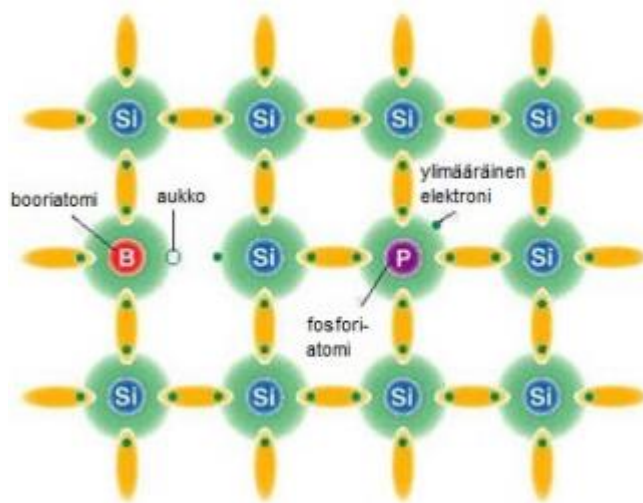
3.1.1 Aurinkokennot

Aurinkokennot ovat puolijohdekomponentteja, jotka tuottavat valosähköiseen ilmiöön perustuen tasasähköä. Yhden kennon jännite on noin 0,5 V ja se tuottaa pilvettömällä taivaalla virtaa noin 32 mA/cm^2 eli kennon koosta riippuen 3-8,5 A. Kennoja kytketään sarjaan useita kappaleita, jotta saadaan haluttu jännitetaso. Kenno muodostuu kahdesta yhteen liitetystä puolijohdekerroksesta, p-tyypin ja n-tyypin puolijohteista, jota kutsutaan pn-liitokseksi. Puolijohdekerrosten väliin jää tyhjennysalue, joka erottelee auringonsäteilyn fotonien irrottamia varauksenkuljettajia. (Paavola, 2012.)

Aurinkokennot valmistetaan yleisimmin yksikiteisestä, monikiteisestä tai amorfisesta piistä. Yksikiteisen piin valmistaminen on huomattavasti kalliimpaa verrattuna valamalla valmistettuun monikiteiseen piihin, vaikka ne eroavat hyvin vähän toisistaan. Yksikiteisestä piistä valmistetut paneelit olivat pitkään yleisin paneelityyppi, mutta nykyään monikiteinen paneeli on yleisin. Amorfista piitä käytetään ohutkalvopaneeleissa. Amorfisessa piissä atomit ovat täydellisessä epäjärjestyksessä, jolloin sitä voidaan höyrystämällä valmistaa hyvin ohut, joustava, valoa läpäisevä kerros ja piitä tarvitaan vähän. (Anttonen, 2015.)

3.1.2 Pn-liitos

Puhtaan piin uloimman elektronikuoren kaikki neljä elektronia liittyvät atomien välisiin sidoksiin. N-puolella käytetään esimerkiksi fosforilla seostettua piitä, jonka atomin uloimmalla elektronikuorella neljä elektronia osallistuvat piin kiderakenteessa atomien välisiin sidoksiin sekä yksi ylimääräinen elektroni. P-puolella käytetään esimerkiksi boorilla (B) seostettua piitä, jonka uloimmalla elektronikuorella on kolme elektronia, jotka osallistuvat sidoksiin, sekä neljännen elektronin paikalla oleva tyhjä aukko. Tällöin elektronit saadaan liikkumaan n-puolelta p-puolelle, jotta elektronit saavat täytettyä kaikki aukot. Kuvassa 4 on esitetty p- ja n-tyypin puolijohteiden atomien väliset sidokset. (Hajautettu sähköenergian tuotanto, 2016.)



KUVA 4. P- ja n-tyyppin puolijohdeiden atomien väliset sidokset (Hajautettu sähköenergian tuotanto, 2016)

3.2 Invertterit

Aurinkopaneeleilla tuotettu tasasähkö on muutettava vaihtosuuntaajalla eli invertterillä vaihtosähköksi, jotta sähköä voidaan käyttää useimmilla kodin sähkölaitteilla tai vaihtoehtoisesti syöttää takaisin verkkoon. Invertterien hyötysuhde on parhaimmillaan noin 90 %. (Hietala, 2017.)

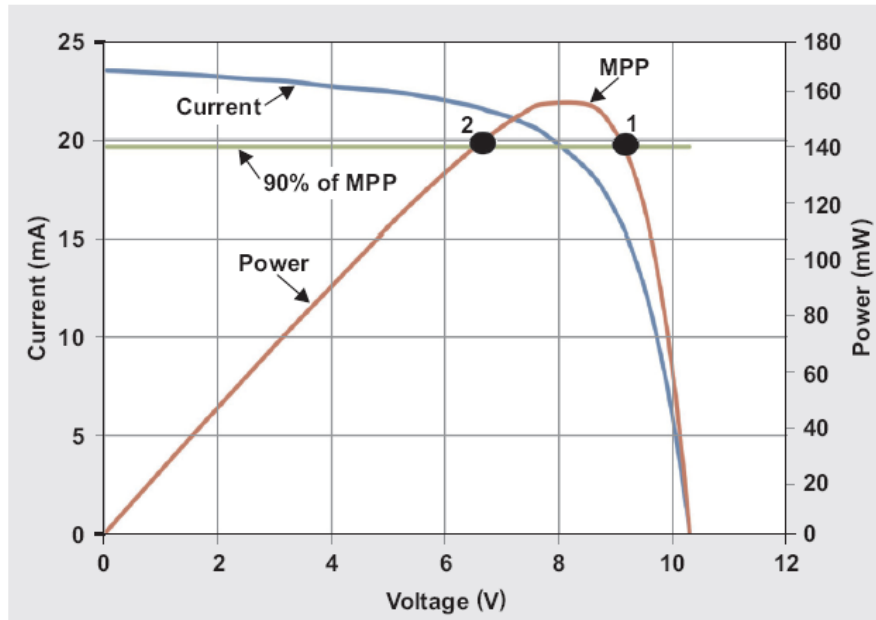
Invertterien säätöyksikköjä on olemassa useita eritavalla toimivia versioita, mutta kolme niistä on selvästi yleisempiä (MPPT vs PWM Solar Controllers, 2018).

Ensimmäinen näistä on vanhin ja yksinkertaisin järjestelmä, joka toimii releillä. Releet katkovat tai kytkevät irti aurinkopaneelin, kun tietty jännite on saavutettu. (MPPT vs PWM Solar Controllers, 2018.)

Toinen näistä perustuu PWM -tekniikkaan (pulse width modulation eli pulssinleveysmodulaatio). PWM -tekniikka pienentää akustolle syötettävää tehoa hiljalleen sitä mukaan, mitä lähempänä akku on täyttä kapasiteettiaan. (MPPT vs PWM Solar Controllers, 2018.)

Kolmas on näistä uusin, joka perustuu MPPT -tekniikkaan. Invertterin säätöyksikkö mittaa maksimitehopistettä MPPT (Maximum Power Point Tracking), joka säätää paneelien ulostulojännitettä paneelien toimiakseen suurimmalla mahdollisella teholla.

Aurinkopaneelien ominaiskäyrä on virtakuvaaja jännitteen funktiona. Maksimitehopiste saavutetaan, kun jännitteen ja virran tulo saavat suurimman arvon. Kuvassa 5 on esitetty esimerkki paneelin ominaiskäyrästä ja tehokuvaajasta. (MPPT vs PWM Solar Controllers, 2018.)



KUVA 5. Aurinkopaneelin maksimitehopiste (Hietala, 2017)

Kuvassa 5 sininen käyrä on aurinkopaneelin virta jännitteen funktiona. Punainen käyrä on paneelin teho jännitteen funktiona. Kuvaajaan merkitty MPP on paneelin maksimitehopiste, joka sijaitsee tehokäyrän huipulla.

3.3 Aurinkosähköjärjestelmän liittäminen sähköverkkoon

Sähkömarkkinalain 9 §:ssä sanotaan, että verkonhaltijan tulee pyynnöstä liittää verkkoonsa tekniset vaatimukset täyttävät sähköntuotantolaitokset kohtuullista korvausta vastaan. Kuka tahansa saa siirtää sähköenergiaa verkkoon, kun tuotantolaitoksen liityntä ja mittaus täyttää niille asetetut vaatimukset. Tuottajalla on myös oltava ostaja verkkoon siirretylle sähkölle. Verkonhaltija useimmiten joustaa antamalla mikrotuottajan syöttää ylijäämänsähköään verkkoon, kunnes tuottaja löytää ostajan. (Paavola, 2013.)

3.3.1 Tuotannon mittaus

Enintään 3 x 63 A pääsulakkeilla varustetuissa käyttöpaikoissa sijaitsevat tuotantolaitteistot on vapautettu tuotannon mittausvelvoitteesta. Käyttöpaikalla on kuitenkin oltava mittauslaitteisto, joka kykenee mittaamaan sähköverkosta otetun sekä sähköverkkoon syötetyn sähkön määrän. Yli 3 x 63 A pääsulakkeilla varustetuissa käyttöpaikoissa sijaitsevat tuotantolaitokset tarvitsee aina varustaa mittauksella, jonka avulla määritellään oman tuotannon kulutus. Sillä tarkoitetaan paneelien tuottamaa sähköä, joka käytetään suoraan kohteessa. (Paavola, 2013.)

3.3.2 Sähkövero

Sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverolaki säättää, että nimellisteholtaan alle 100 kVA mikrovoimalaitoksen omistavat tuottajat on vapautettu kaikista sähköverotuksen velvollisuuksista. Mikrovoimalaitosten tuottajien ei tarvitse rekisteröityä verovelvollisiksi eikä myöskään tarvitse antaa sähköntuotannostaan veroilmoituksia. (Laki sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta, 1997.)

Nimellisteholtaan yli 100 kVA, mutta enintään 800 000 kWh vuodessa tuottavan pienvoimalaitoksen omistajan on rekisteröidyttävä Tullille sähköverovelvolliseksi, mutta sen ei tarvitse antaa veroilmoitusta kuin kerran vuodessa. Tämä helpottaa säädettyä vuosituotantorajan valvontaa. Veroa ei tarvitse kuitenkaan maksaa itse tuotetusta ja käytetystä sähköstä, vaan tuotetun sähkön määrästä. (Laki sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta, 1997.)

Nimellisteholtaan yli 100 kVA ja yli 800 000 kWh vuodessa tuottavan sähkön tuottajan on annettava normaali veroilmoitus kuukausittain riippumatta siitä, syöttääkö sähköä verkkoon vai ei. (Laki sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta, 1997.)

3.3.3 Alle 100 kVA sähköntuotantolaitoksen liittäminen sähköverkkoon

Alle 100 kVA nimellistehoinen sähköntuotanto määritellään Suomessa mikrotuotannoksi. Mikrotuotantolaitosten jatkuvasti kasvavan suosion vuoksi tuotantolaitoksille on asetettu teknisiä vaatimuksia. On tärkeää, että myös mikrotuotantolaitosta liitettäessä yleiseen sähköverkkoon ja käytettäessä sitä yleisen sähköverkon kanssa rinnan, on varmistettava, että tuotantolaitos on turvallinen eikä aiheuta häiriöitä sähköverkkoon. (Nimellisteholtaan enintään 100 kVA laitoksen liittäminen, 2016.)

Tuotantolaitosta ei saa kytkeä yleiseen verkkoon, ellei sähköverkon taajuus sekä jännite ole sovittujen asettelurajojen sisäpuolella. Tuotantolaitos ei myöskään saa jäädä syöttämään sähköverkkoon, kun verkkoa ei syötetä muualta. Verkkajännitteen palauduttua laitos voi kytkeytyä verkkoon manuaalisesti tai automaattisesti, mikäli verkonhaltijan kanssa näin on sovittu. Mikäli tuotantolaitosta halutaan käyttää myös varavoimana sähkökatkoissa, järjestelmässä tulee olla erillinen kytkin sekä lisälaitteisto, joka mahdollistaa kaksoiskytkennän. Jos tuotantolaitos aiheuttaa häiriöitä verkkoon, niin verkonhaltija puuttuu tilanteeseen ja ääritapauksessa kieltää järjestelmän käytön. (Nimellisteholtaan enintään 100 kVA laitoksen liittäminen, 2016.)

Taulukossa 1 on esitetty erilaisessa käytössä olevien laitosten luokittelua ja niihin kohdistuvia vaatimuksia.

TAULUKKO 1. Tuotantolaitosten luokittelu laitteiston käyttötavan ja käyttötarkoituksen mukaan (Nimellisteholtaan enintään 100 kVA laitoksen liittäminen, 2016.)

	Luokka	Rinnan- käynnin esto	Tahdistus	Yhteen- sopivuus	Saareke- käytön esto	Sopimus- ehdot
Rinnankäyttö estetty mekaanisesti	1	X				LE2014 ja VPE2014
Sähkön siirto jakeluverkkoon estetty	2		X			LE2014 ja VPE2014
Tuotetulle sähkölle ei ole ostajaa	3		X	X	X	LE2014 ja TVPE11
Tuottaja myy sähköä sähkömarkkina- osapuolelle	4		X	X	X	LE2014 tai TLE2014 ja TVPE11

Taulukossa 1 rinnankäynnin esto tarkoittaa, että sähköntuotantolaitos on mekaanisesti erotettu rinnankäymästä sähköverkon kanssa. Tahdistus tarkoittaa, että

sähkötuotantolaitos pystyy tahdistumaan jakeluverkon tahtiin ja pysymään siinä. Yhteensopivuus kuvaa sähkötuotantolaitoksen ja sähköverkon sähköistä yhteensopivuutta. Saarekekäytön esto tarkoittaa suojausta, jolla estetään tuotantolaitosta syöttämästä sähköverkkoa, jota ei syötetä muualta. Sopimusehdot tarkoittavat laitoksen haltijan ja verkko haltijan välisiä sopimuksia. Sopimusehtojen lyhenteet viittaavat sähkötuotantolaitoksen liittämiseen ja käyttöön sovellettaviin Energiateollisuus ry:n suositteliin sopimusehtoihin Liittymisehdot (LE2014), Verkkopalveluehdot (VPE2014), Tuotantoa koskeva liite verkkopalveluehtoihin (TVPE11), ja Tuotannon liittymisehdot (TLE2014). (Nimellisteholtaan enintään 100 kVA laitoksen liittäminen, 2016.)

Tuotantolaitteiston suojauslaitteiden asetteluarvot on esitetty taulukossa 2, jossa U_n tarkoittaa jakeluverkon normaalia nimellisjännitettä.

TAULUKKO 2. Tuotantolaitteiston suojauslaitteiden asetteluarvot (Nimellisteholtaan enintään 100 kVA laitoksen liittäminen, 2016)

Parametri	Toiminta-aika	Asetteluarvo
Ylijännite	0,2 s	$U_n + 10 \%$
Alijännite	0,2 s	$U_n - 15 \%$
Ylitaajuus	0,2 s	51,5 Hz
Alitaajuus	0,2 s	47,5 Hz
Saarekekäyttö	enintään 5 s	

Tuotantolaitteiston on pysyttävä verkossa vähintään 30 minuuttia taajuusalueilla 47,5–49,0 Hz ja 51,0–51,5 Hz. Saarekekäytönestosuojauksesta huolimatta laitteiston tulee jatkaa toimintaansa normaalisti taajuuden suurimman muutosnopeuden ollessa alle 2 Hz/s. Mikäli tuotantolaitos putoaa verkosta suojauslaitteiden toimimisen takia, takaisinkytketyminen saa tapahtua vasta, kun verkon jännite ja taajuus ovat palautuneet asetteluarvojen sallimiin rajoihin ja ovat pysyneet 60 sekuntia rajojen sisäpuolella. (Nimellisteholtaan enintään 100 kVA laitoksen liittäminen, 2016.)

Tuotantolaitoksen on toimitettava keskeiset laitosta koskevat dokumentit ja tiedot ennen tuotantolaitoksen verkkoon liittämistä. Toimitettavat tiedot ovat:

- Laitoksen tyyppi, nimellisteho ja nimellisvirta sekä oikosulkuvirta
- Liitäntälaitteen (vaihtosuuntaajan) tyyppitiedot
- Suojauksen asetteluarvot ja toiminta-ajat

- Tiedot saarekekäytön estosuojauksen toteutuksesta (menetelmä ja toiminta-aika)

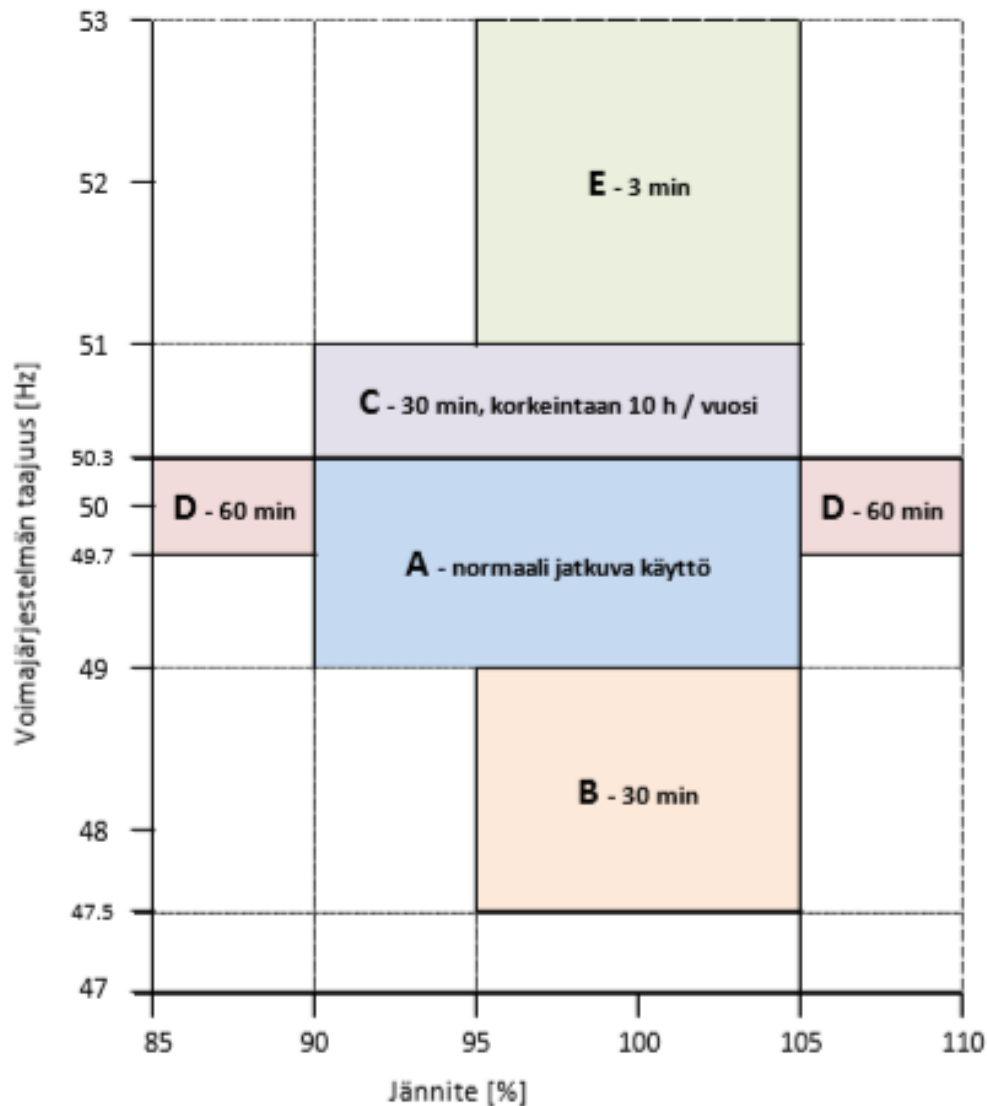
Nämä tiedot on hyvä toimittaa verkonhaltijalle jo ennen tuotantolaitoksen hankkimista. (Nimellisteholtaan enintään 100 kVA laitoksen liittäminen, 2016.)

3.3.4 Yli 100 kVA sähköntuotantolaitoksen liittäminen sähköverkkoon

Yli 100 kVA sähköntuotantolaitoksen yleiset määräykset ovat samoja, kuin alle 100 kVA tuotantolaitoksellakin. Suuremmat, yli 500 kVA tuotantolaitokset voivat merkittävästi vaikuttaa koko paikallisen sähköverkon rakenteeseen. Suurten tuotantolaitosten merkitys korostuu voimakkaasti koko voimajärjestelmän kannalta laitosten määrän kasvaessa. Suurempien laitosten on kyettävä toimimaan verkon jännitteen ja taajuuden vaihdellessa, jotta ne pystyvät tukemaan voimajärjestelmän toimintaa häiriöiden aikana sekä välittömästi sen jälkeen. (Nimellisteholtaan yli 100 kVA laitoksen liittäminen, 2016.)

Yli 100 kVA nimellistehoisen tuotantolaitoksen suojauksen asetteluarvot määritellään tapauskohtaisesti. Suojauksen asetteluarvoihin vaikuttaa verkon rakenne, tuotantolaitoksen tyyppi ja käyttötapa sekä tuotantolaitoksen liityntäkohta. (Nimellisteholtaan yli 100 kVA laitoksen liittäminen, 2016.)

Kuvassa 6 on esitetty taajuus- ja jännitealueet, joilla yli 500 kVA tuotantolaitoksen on kyettävä toimimaan.



KUVA 6. Taajuus- ja jännitealueet, joilla yli 500 kVA:n tuotantolaitoksen on kyettävä toimimaan (Nimellisteholtaan yli 100 kVA laitoksen liittäminen, 2016)

- A. Normaali jatkuva käyttö: voimajärjestelmän jännitteestä ja/tai taajuudesta johtuvaa pätötehon tai loistehon tuotantokyvyn alenemista ei sallita.
- B. 30 min yhtäjaksoinen käyttö: tehonalenema sallittu siten, että suurin sallittu alenema 49 Hz:n tasolla on 0 % ja 47,5 Hz:n tasolla 15 % (välille jäävällä taajuusalueella sallittu alenema määräytyy lineaarisesti rajataajuuksilla sallittujen alenemien perusteella).
- C. 30 min yhtäjaksoinen käyttö yhteensä korkeintaan 10 tunnin ajan vuosittain: 10 % tehonalenema sallitaan, mikäli se ei aseta rajoituksia jatkaa toimintaa täydellä teholla taajuuden palaututtua alle 50,3 Hz:n tason.

- D. 60 minuutin yhtäjaksoinen käyttö yhteensä korkeintaan 10 tunnin ajan vuosittain: 10 % tehonalenema sallitaan, mikäli se ei aseta rajoituksia jatkaa toimintaa täydellä teholla taajuuden palaututtua alle 50,3 Hz:n tason.
- E. 3 minuutin yhtäjaksoinen käyttö: voimakas tehonalenema sallittu.

Yllä mainittujen toiminta-alueiden ulkopuolella käyttöä tulee jatkaa teknologian sallimissa rajoissa, välitön irti kytketyminen ei ole sallittua. (Nimellistehoaltaan yli 100 kVA laitoksen liittäminen, 2016)

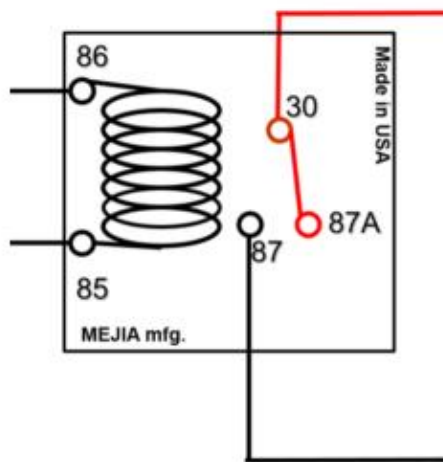
Voimalaitoksesta tulee toimittaa jakeluverkonhaltijalle yleiset ja sähkötekniset tiedot. Verkonhaltija edellyttää yleensä seuraavine tietojen lähettämistä. Suluissa on esimerkkejä:

- voimalaitoksen rakenne ja sijainti (pääkaavio, voimalaitoksen tyyppi, sijainti)
- voimalaitoksen muuntajan/muuntajien tekniset tiedot (muuntajien lukumäärä, muuntajien nimellisarvot)
- voimalaitoksen voimajärjestelmätekniset tiedot (generaattoreiden lukumäärä, toimittaja, tyyppi, nimellisarvot, tuotantotehon riippuvuus käyttöolosuhteista ja mahdolliset taajuuden ja loistehon säädössä käytettävät laitteet)
- voimalaitoksen ominaisuudet (loistehokapasiteetti, kyky toimia ali- ja ylijännitteellä, ali- ja ylitaajuudella sekä jännitehäiriöiden yhteydessä, säätöominaisuudet, vaikutus sähkön laatuun)
- voimalaitoksen suojaustiedot (relesuojauskaavio, relesuojausasettelut, saarekesuojan toimintaperiaate)
- käyttöönottodokumentit (käyttöönottopöytäkirjat, loistehonsäädön lopulliset asetteluarvot ja toimintatila, lopulliset relesuojausasettelut)
- muu dokumentaatio (laskentamallit). (Nimellistehoaltaan enintään 100 kVA laitoksen liittäminen, 2016.)

3.4 Jännitteen ohjaus

3.4.1 Rele

Rele on kytkin, jonka toiminta perustuu sähkömagnetismiin. Releen käämiin kytketty virta synnyttää magneettikentän, joka vetää releen liikkuvaa kärkeä. Kun releeltä katkaistaan ohjausjännite, kärki palaa auki eli lepoasentoon jousivoimalla. Releellä voidaan pienellä ohjausvirralla ohjata suurempia virtoja. Kuvassa 17 on esitetty lepotilassa olevan normaalisti auki (NO) olevan releen rakenne. Releitä valmistetaan myös normaalisti kiinni olevia (NC), jossa kytkin on kiinni asennossa lepotilassa ja avautuu releen toimiessa.



KUVA 7. Lepotilassa auki olevan releen rakenne (Bustekhub)

Kuvassa 7 pisteiden 85 ja 86 välissä on käämi, joka synnyttää magneettikentän. Magneettikenttä liikuttaa kytkintä, joka on kytketty pisteisiin 30, 87 ja 87 A.

Tässä työssä rakennetussa järjestelmässä käytettävän releen on toimittava 5 Vdc ohjausjännitteellä, koska Raspberryn GPIO-pinnien ulostulojännite on 3,3 Vdc ja 5 Vdc. Releen on myös kyettävä ohjaamaan 230 voltin vaihtojännitettä, koska releeseen kytkettävän kontaktorin käyttöjännitteen tulee olla 230 Vac.

3.4.2 Kontaktori

Kontaktori on toimintaperiaatteeltaan samanlainen kuin rele, mutta sillä ohjataan suurempia kuormia. Kontaktorilla ohjataan kolmivaiheista päävirtapiiriä, kun taas releellä ohjataan yksivaiheista ohjausvirtapiiriä. Kuvassa 8 on esitetty ABB:n valmistama kontaktori. Kontaktorin malli on AF09-30-10-13 ja se kykenee ohjaamaan 4 kW:n kuormaa. (Tolonen, 2012.)

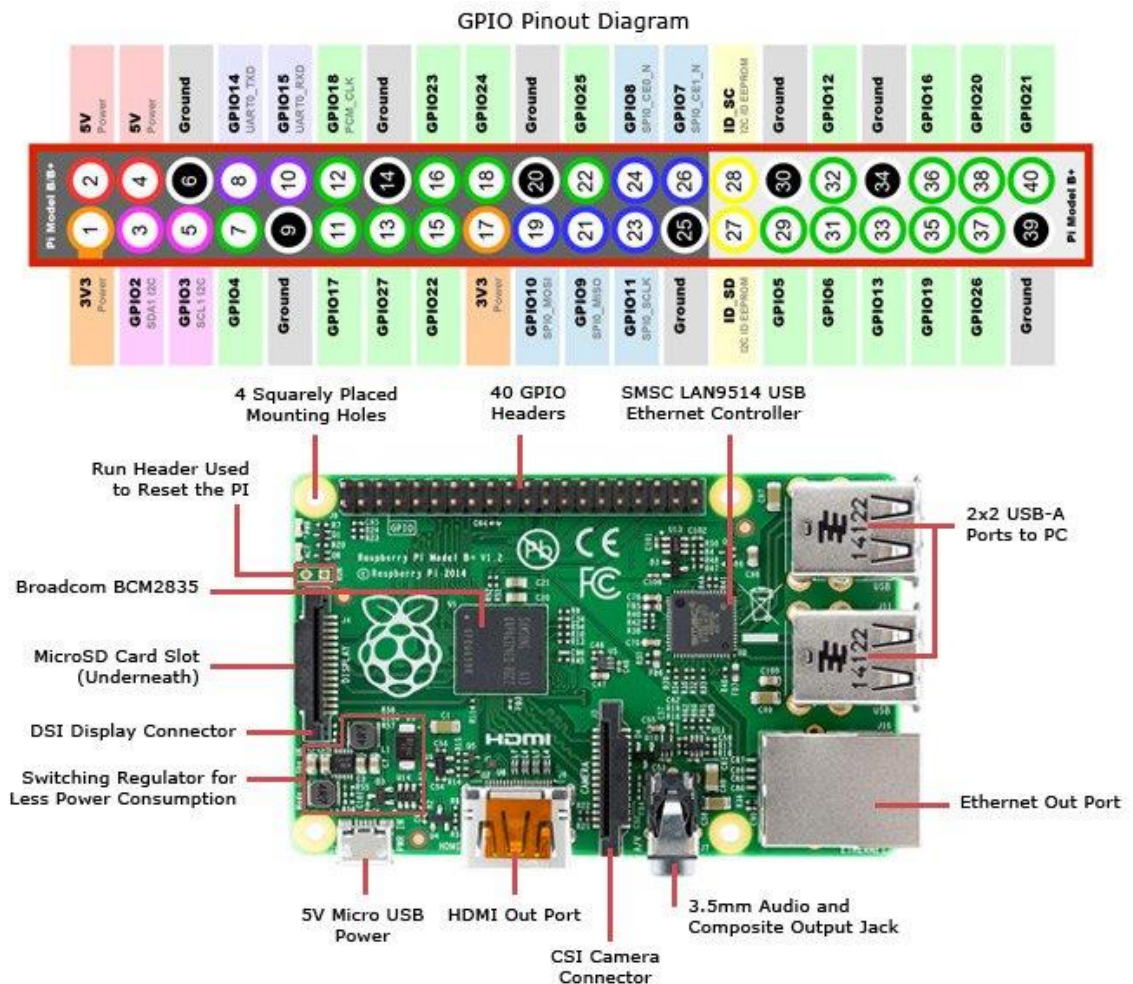


KUVA 8. ABB AF09-30-10-13 kontaktori (ABB products)

4 RASPBERRY PI

Raspberry Pi on englantilaisen Raspberry Pi Foundationin kehittämä yhden piirilevyn tietokone, joka on noin luottokortin kokoinen. Raspberry Pi:n alkuperäinen idea oli luoda edullinen tietokone opetuskäyttöön, joka kehittäisi nuorten ohjelmointitaitoja ja ymmärrystä laitteistoista, mutta Linux-käyttöjärjestelmä ja monipuoliset liitännät tekevät sen käyttömahdollisuuksista lähes rajattomat. (Opensource, 2018.)

Kuvassa 9 on esitetty tässä työssä käytetty Raspberry Pi 3 Model B sekä sen GPIO-pinnit.



KUVA 9. Raspberry Pi 3 model B ja GPIO pinnit (Jameco)

4.1 Tekniset tiedot

Raspberry Pi 3 Model B:n koko on 85,6 mm x 56 mm x 21 mm. Piirikortilta löytyy:

- Quad Core 1,2 GHz Broadcom BCM2837 64-bit CPU
- 1 GB LPDDR2 SDRAM
- Dual-core VideoCore IV GPU
- 4 kpl USB 2.0 -liitäntöjä
- WLAN sekä RJ45-liitäntä
- 40-pinninen GPIO liitäntä
- MicroSD-muistikortin lukija
- HDMI-portti
- 3,5 mm AV-ulostulo
- 5V Micro USB-liityntä virtalähteelle
- CSI-kameraväylä (Camera Serial Interface)
- DSI-näyttöväylä (Display Serial Interface)

Raspberrylle on asennettavissa lukuisia käyttöjärjestelmiä, joihin kuuluu muun muassa Raspbian, OSMC, Libelec, Pinet, Snappy Ubuntu Core sekä Windows 10 IoT Core. (Opensource, 2018.)

4.2 Raspberryn historia

Vuonna 2006 Eben Upton, Rob Mullins, Jack Lang ja Alan Mycroft huomasivat Cambridgen tietoteknisessä korkeakoulussa, että opiskelijoiden tietotekninen osaaminen oli laskussa aiempiin vuosiin verrattuna. (Martin, 2015.)

Vuonna 2008 mobiiliprosessoreiden alkaen ollessa tarpeeksi tehokkaita sekä edullisia, pystyttiin kehittämään edullinen alusta ohjelmoinnin opetukseen lapsille sekä aikuisille. (Martin, 2015.)

Vuonna 2009 perustettiin Raspberry Pi Foundation -hyväntekeväisyysjärjestö, josta lähti liikkeelle Raspberry Pi:n kehitys. (Martin, 2015.)

Vuonna 2012 tuli ensimmäinen Raspberry Pi Model B myyntiin, joka myi kahden vuoden aikana yli kaksi miljoonaa kappaletta. Tähän mennessä laitetta on myyty noin 15 miljoonaa kappaletta, ja täten ollen maailman kolmanneksi myydyin tietokone. (Martin, 2015.)

Raspberrystä on useita edellisiä malleja, joiden viimeisimmät versiot ovat

- Raspberry Pi Model B+ (Julkaistu 14.7.2014)
- Raspberry Pi 2 Model B (julkaistu 2.2.2015)
- Raspberry Pi Zero (julkaistu (26.11.2015)
- Raspberry Pi 3 Model B+ (julkaistu 14.3.2018).

Tässä työssä käytettiin versiota Raspberry Pi 3 Model B, joka on julkaistu 29.2.2016 (Opensource, 2018).

4.3 Raspberry Pi:n käyttöönotto

4.3.1 Raspbian-käyttöjärjestelmän asennus

Käyttöjärjestelmän lataamiseen tarvitaan PC- tai MAC-tietokone, jolla voidaan ladata ja purkaa NOOBS-asennuspaketti (New Out of Box Software) Raspberryn kotisivuilta, joka sisältää mm. Raspbian-käyttöjärjestelmän usean muun käyttöjärjestelmän lisäksi. Raspbian vaatii vähintään neljän gigatavun SD-muistikortin. Tässä työssä käytettiin 8 gigatavun microSD-muistikorttia. Muistikortti formatoitiin SDFormatter-ohjelmalla ennen asennusta. Alustaminen on suositeltavaa parhaimman toimintavarmuuden varmistamiseksi. Muistikortti voi olla väärässä muodossa tai siihen on voinut jäädä vanhoja tiedostoja. Ladattu NOOBS-tiedosto on ZIP-tiedosto, joka tulee purkaa ennen SD-kortille siirtämistä. (Getting started with the Raspberry Pi, 2018.)

Raspbian-käyttöjärjestelmä voidaan myös ladata omana levykuvanaan, jolloin ei tarvitse ladata koko NOOBS-pakettia. Myös pelkkä Raspbian-käyttöjärjestelmän levykuva-tiedosto on saatavilla Raspberryn kotisivuilta. Tässä tapauksessa tarvitsee ladata esimerkiksi

Win32DiskImager-ohjelma, jolla käyttöjärjestelmän image-tiedosto asennetaan muistikortille. (Getting started with the Raspberry Pi, 2018.)

Virrattomaan Raspberry Pi – tietokoneeseen kytkettiin näppäimistö, hiiri, näyttö sekä SD-kortti, johon on siirretty purettu NOOBS-ohjelmisto. Tämän jälkeen kytketään virta Raspiin ja näytölle ilmestyy käyttöjärjestelmän valintaikkuna. Näistä valitaan suositeltu Raspbian-käyttöjärjestelmä ja tietokone asentaa sen. (Getting started with the Raspberry Pi, 2018.)

Käyttöjärjestelmän asentamisen jälkeen avautuu Raspbianin asetusikkuna, josta määritetään Raspberry Pi-tietokoneen yleiset asetukset. Asetuksista vaihdetaan alueeksi, aikavyöhykkeeksi, näppäimistön kieleksi sekä wifi-maaksi Suomi. System-välilehden alta voi vaihtaa laitteen pääkäyttäjän tunnuksen sekä salasanan, jotka ovat vakiona käyttäjä *pi* ja salasana *raspberry*. Interface-välilehden alta valitaan käyttöön SSH, VNC sekä 1-Wire. 1-Wire asetuksen voi myös valita lisäämällä tiedostoon */boot/config.txt* rivin *dtoverlay=w1-gpio*. Raspbianin yleisiin asetuksiin pääsee takaisin LXTerminalin komennolla *sudo raspi-config*. Unix-käyttöjärjestelmissä käsky *sudo* (superuser do) sallii käyttäjän suorittaa ohjelmia ylimmillä käyttöoikeuksilla (root), jotka ovat verrattavissa Windows-maailman järjestelmänvalvojaan. (Getting started with the Raspberry Pi, 2018.)

4.3.2 Yhdistäminen verkkoon

Paikallisen langattoman verkkoyhteyden saa helposti luotua työpöydän oikeasta ylänurkasta painamalla verkkokuvaketta ja syöttämällä lähiverkon SSID eli verkkotunnus sekä salasana. Työpöydän verkkokuvake näkyy kuvassa 10. (Getting started with the Raspberry Pi, 2018.)



KUVA 10. Työpöydän verkkokuvake.

Vaihtoehtoisesti Raspberry Pi voidaan yhdistää verkkoon käyttämällä RJ45 Ethernet -kaapelia. (Getting started with the Raspberry Pi, 2018.)

4.3.3 SSH-yhteyden muodostaminen

Raspberry Pi -tietokoneen käytön helpottamiseksi muodostetaan SSH-yhteys (Secure Shell) PC-tietokoneen kanssa, joka mahdollistaa Raspberryn Pi:n etähallinnan PC-tietokoneelta lähiverkossa. SSH-palvelin on valmiiksi asennettuna Raspbian-käyttöjärjestelmässä. Tällöin Raspberry Pi:ssä ei tarvitse olla näyttöä, näppäimistöä eikä hiirtä. SSH-yhteyttä varten PC:lle ladataan terminaaliemulaattori PuTTY, joka mahdollistaa komentojen antamisen komentorivillä Raspberry Pi:lle. PuTTY tarvitsee vain Raspberry Pi:n IP-osoitteen, käyttäjätunnuksen ja salasanan. Raspberry Pi:n IP-osoite saadaan selville kirjoittamalla LXTerminalin komentoriville käsky *ifconfig*. (Getting started with the Raspberry Pi, 2018.)

Myös graafinen etähallinta on mahdollista Raspberry Pi:llä. Tätä varten pitää asentaa PC:lle VNC protokollaa käyttävä ohjelma nimeltä VNC Viewer. (Getting started with the Raspberry Pi, 2018.)

4.3.4 Käyttöjärjestelmän päivitys

Uusin päivitys Raspbian-käyttöjärjestelmälle ladataan avaamalla LXTerminal ja komentoriville kirjoitetaan käsky *sudo apt-get update*. Päivityksen ladattua annetaan erillinen käsky päivityksen asennukselle *sudo apt-get upgrade*.

Käyttöjärjestelmästä sekä päivityksistä jää turhia asennustiedostoja, jotka vievät tilaa SD-kortilta. SD-kortin levytila voidaan tarkistaa LXTerminalin komennolla *df-h*. Asennustiedostot poistetaan komennolla *sudo apt-get clean* (/var/cache/apt/archives -kansioista *.deb -tiedostot).

4.3.5 Tiedostojen siirto Raspberrylle

Tiedostojen siirron helpottamiseksi Raspberrystä jaetaan muiden paikallisverkossa olevien laitteiden käytettäväksi jaettu kansio Samba-ohjelmiston avulla. Samba on IBM:n 1980-luvulla kehittämä SMB-protokollaan pohjautuva toteutus UNIX-käyttöjärjestelmille. Samban lataaminen ja asennus tapahtui LXTerminalin kautta komennolla *sudo apt-get install samba samba-common-bin*. (About Samba, 2018.)

Asentamisen jälkeen varmistettiin ”samba.conf” -tiedoston asetukset komennolla *sudo nano /etc/samba/smb.conf*. Työryhmäksi määriteltiin PC:n käyttämä työryhmä ja mahdollistettiin Windows-käyttäjien pääsy ko. jaettuun resurssiin. Tarvittavat määrittelyt olivat seuraavat;

```
workgroup = WORKGROUP  
wins support = yes.
```

Samba.conf tiedoston loppuun lisättiin seuraavat asetukset;

```
[share]  
comment = Pi share folder  
path = /share  
browseable = yes  
writeable = yes  
only guests = no  
create mask = 0777  
directory mask = 0777  
public = yes  
guest ok = yes.
```

5 VERKKOPALVELIN

Työn keskeisenä osana oli etähallintajärjestelmän ohjaus pilvipalvelimelta. Työssä luotiin nettisivusto, joka simuloi pilvipalvelintä.

Verkkopalvelimena toimi ilmainen Awardspacen tarjoama nettisivusto, jonka ympärille järjestelmä rakennettiin. Alustaksi valittiin Awardspace, koska se oli maksuton, se sisälsi MySQL-tietokantapalvelimen ja se tuki php-tiedostoja.

5.1 Dynaamiset verkkosivut

Web-dokumentit sisältävät usein muuttuvaa tietoa. Ne vaativat helppokäyttöistä päivitettävyyttä ajan tasalla pysymiseen. Perinteisin HTML-dokumenteihin tämä ei ole mahdollista, koska ne ovat staattisia.

Esimerkiksi tässä työssä seurattiin verkkosivuston avustuksella järjestelmään liitetyn releen muuttuvaa tilatietoa (ON / OFF) sekä myös ohjattiin sen toimintaa. Lisäksi seurattiin lämpötila-anturin tuottamaa muuttuvaa lämpötilatietoa.

5.2 PHP

PHP (Hypertext Preprocessor) on HTML-dokumentin sisään upotettu ohjelmointikieli. PHP on ensisijaisesti suunniteltu palvelinpuolen dynaamisten Web-sivustojen luomiseen. PHP on avoimen lähdekoodin ohjelmisto, joka on saatavilla ilmaiseksi useille eri käyttöjärjestelmille sekä verkkopalvelimille. WWW-sivujen sisällä oleva PHP-koodi suoritetaan aina, kun WWW-palvelin lähettää sivun selaimelle. PHP:n ansiosta voidaan toteuttaa monimutkaisiakin sovelluksia palvelimella. PHP-koodia ei ole nähtävissä nettisivujen HTML-koodia katsoessa, vaan se on nähtävissä vain, kun käsitellään palvelimen tiedostoja esimerkiksi FTP:n kautta. (Paajanen 2010.)

5.3 MySQL

MySQL on monipuolinen relaatiokanta (Structured Query Language), jota käytetään WWW-palvelujen taustalla. MySQL-palvelimella voi olla useita tietokantoja ja jokaisessa tietokannassa voi olla useita tauluja. MySQL:n on kehittänyt ruotsalainen MySQL AB, joka oli alun perin tarkoitettu kyseisen konsultointiyrityksen omaan käyttöön. MySQL on kevyt ylläpitää, joten se sopii myös pienempien WWW-sivustojen taustatietokannaksi. (Paajanen 2010.)

5.4 FTP

Verkkopalvelimelle html- ja php-tiedostot siirrettiin käyttämällä FileZilla-ohjelmistoa. FileZilla on avoimeen lähdekoodiin perustuva alustariippumaton FTP-muotoa tukeva tiedonsiirto-ohjelma. FTP-protokolla (File Transfer Protocol) mahdollistaa tiedonsiirron kahden koneen välillä käyttäjärjestelmästä riippumatta. (FileZilla, 2018.)

6 LÄMPÖTILATIEDON TALTEENOTTO

Työssä rakennettiin järjestelmä, joka kykenee mittaamaan lämpötilaa ja lähettämään sen Web-serverille luettavaan muotoon. Järjestelmässä käytetty anturi oli DS18B20-lämpötila-anturi.

6.1 Lämpötila-anturi

Yhdysvaltalaisen Maxim Integratedin valmistama DS18B20 on vedenkestävä digitaalinen lämpötila-anturi, joka mittaa lämpötilat 9-12-bittisenä. Anturi käyttää 1-Wire-protokollaa kommunikointiin. Jokaisella DS18B20-lämpötila-anturilla on oma 64-bittinen sarjanumeronsa, joten samalla 1-Wire-väylällä voidaan käyttää useita samanlaisia lämpötila-antureita. Anturi kykenee mittaamaan lämpötilaa välillä $-55\text{ °C} \dots +125\text{ °C}$. Mittaustarkkuus on $\pm 0,5\text{ °C}$, kun mitattava lämpötila on $-10\text{ °C} \dots +85\text{ °C}$. Lämpötila-anturin käyttöjännite on $3\text{--}5.5\text{ V}_{\text{DC}}$. (Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer, 2015.)

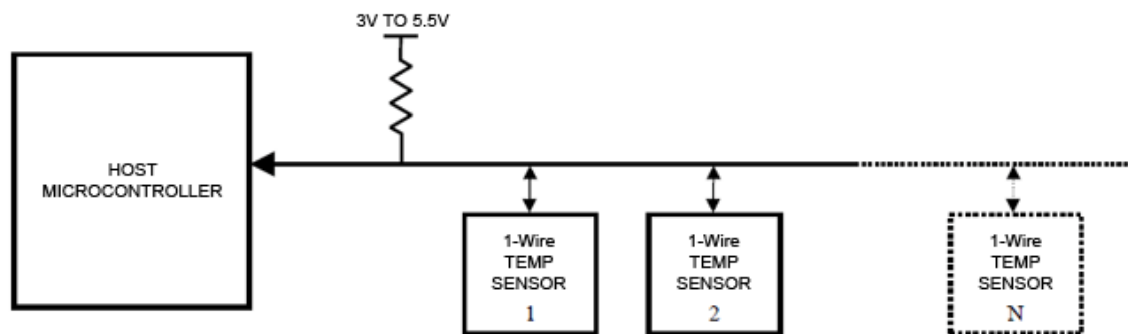
Lämpötila-anturin 1-Wire-tekniikan ansiosta anturi tarvitsee vain yhden datalinjan maan ja käyttöjännitteen ($3\text{--}5,5\text{ V}_{\text{DC}}$) lisäksi. Jännite- ja data-johtimen väliin on kytkettävä $4,7\text{ k}\Omega$:n ylösvetovastus, joka varmistaa, että anturin tuloliitäntä on ykkönen "1", silloin, kun liitäntään ei ole kytketty muuta signaalia. Kuvassa 11 on esitetty DS18B20-lämpötila-anturi. (Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer, 2015.)



KUVA 11. DS18B20-lämpötila-anturi (Probots)

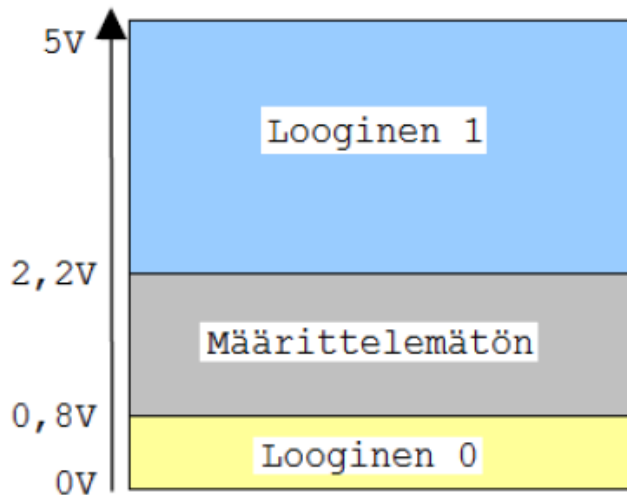
6.1.1 1-Wire

Dallas Semiconductors on kehittänyt tiedonsiirtomenetelmän elektronisten laitteiden välille, jota kutsutaan 1-Wire-tekniikaksi. 1-Wire-tekniikka käyttää yhtä datalinjaa, jossa yhdellä isäntälaitteella voidaan ohjata useampia orjalaitteita samalla väylällä. Väylän jokaisella orjalaitteella on oma 64-bittinen ID-tunnistenumerosa. Kuvassa 12. on esitetty useamman lämpötila-anturin kytkentä mikrokontrolleriohjaukseen. (Overview of 1-Wire Technology and its use, 2008.)



KUVA 12. Mikrokontrollerin ja lämpötila-antureiden kytkentä (Interfacing the DS18X20/DS1822 1-Wire® Temperature Sensor in a Microcontroller Environment, 2002)

1-Wire-laitteet toimivat 2.8 V – 5.25 V jännitealueella ja useimmat laitteet ottavat käyttöjännitteensä datalinjalta. 1-Wire-tekniikassa looginen ”nolla” on alle 0,8 V jännitteellä ja looginen ”ykkönen” on yli 2,2 V jännitteellä. 0,8 V - 2,2 V väliin jäävä alue on ”määrittelemätön”. Kuvassa 13 on esitetty 1-Wire-väylän loogiset tasot. (Overview of 1-Wire Technology and its use, 2008.)



KUVA 13. 1-Wire-väylän loogiset tasot (Nissinen 2012)

6.2 Lämpötilatiedon talteenoton toimintaperiaate

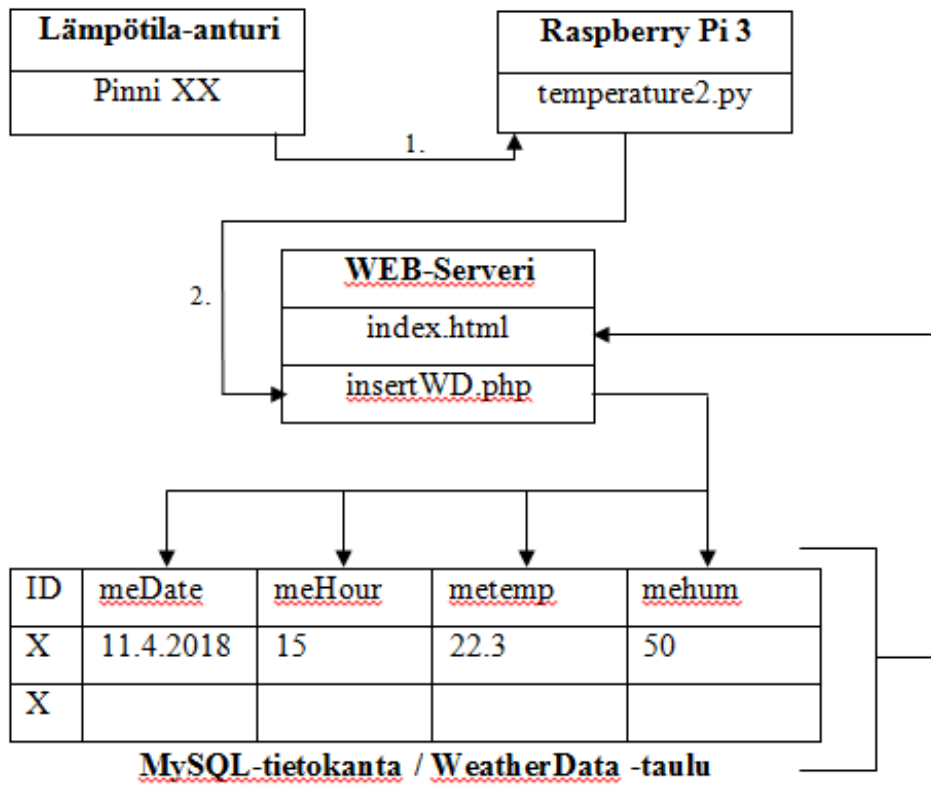
Lämpötila-anturin tilatiedon lukemisesta ja tallentamisesta huolehtii Raspberry Pi 3:ssa ajettava python-ohjelma *temperature2.py*. Ohjelmisto suoritetaan kirjoittamalla komentoriville komento *sudo nohup python temperature2.py*. Komentoon lisätty valitsin *nohup* asettaa ohjelman pyörimään taustalle.

Ohjelma *temperature2.py* suorittaa ennalta asetetun ajan välein seuraavat tehtävät:

1. Lukee lämpötila-anturin lukeman ja muuntaa sen Celsius-asteiksi
2. Yhdistää Web-serveriin
3. Kutsuu skriptiä *insertWD.php* (request = GET), joka lisää lämpötilalukeman (sekä pvm, h, ...) Sql-serverin *WeatherData*-tietokantatauluun

Skriptiä *insertWD.php*, kutsutaan GET-metodilla. GET-metodilla pyydetään lähettämään informaatiota.

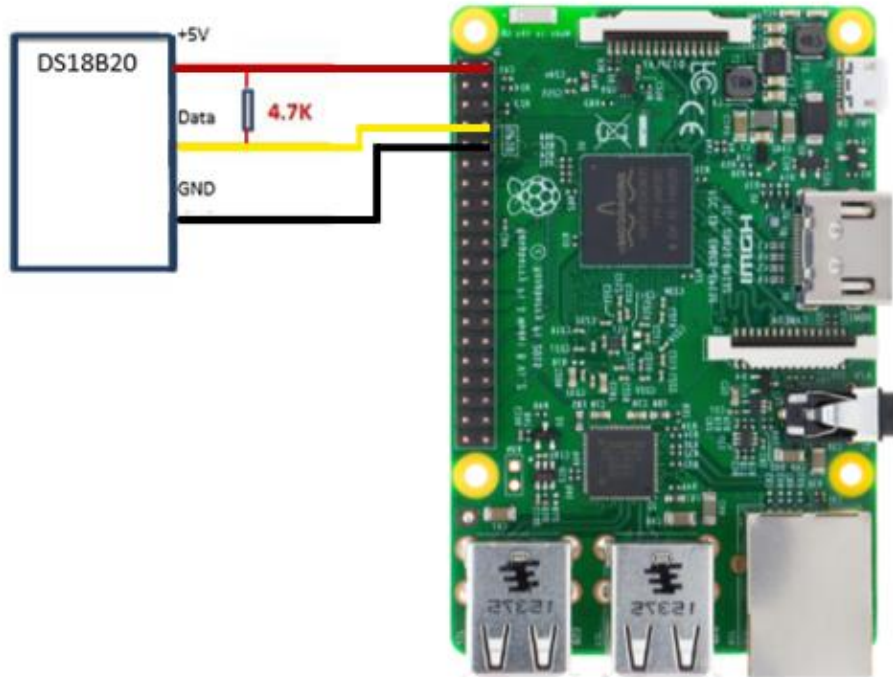
Kuvassa 14 on esitetty lämpötilatiedon talteenoton toimintaperiaate.



KUVA 14. Lämpötilatiedon talteenoton toimintaperiaate.

6.3 Lämpötila-anturin kytkentä

Kuvassa 15 on esitetty lämpötila-anturin kytkentä.



KUVA 15. Lämpötila-anturin kytkentä GPIO-pinneihin (Jameco) (Probots) (Kuvaa muokattu)

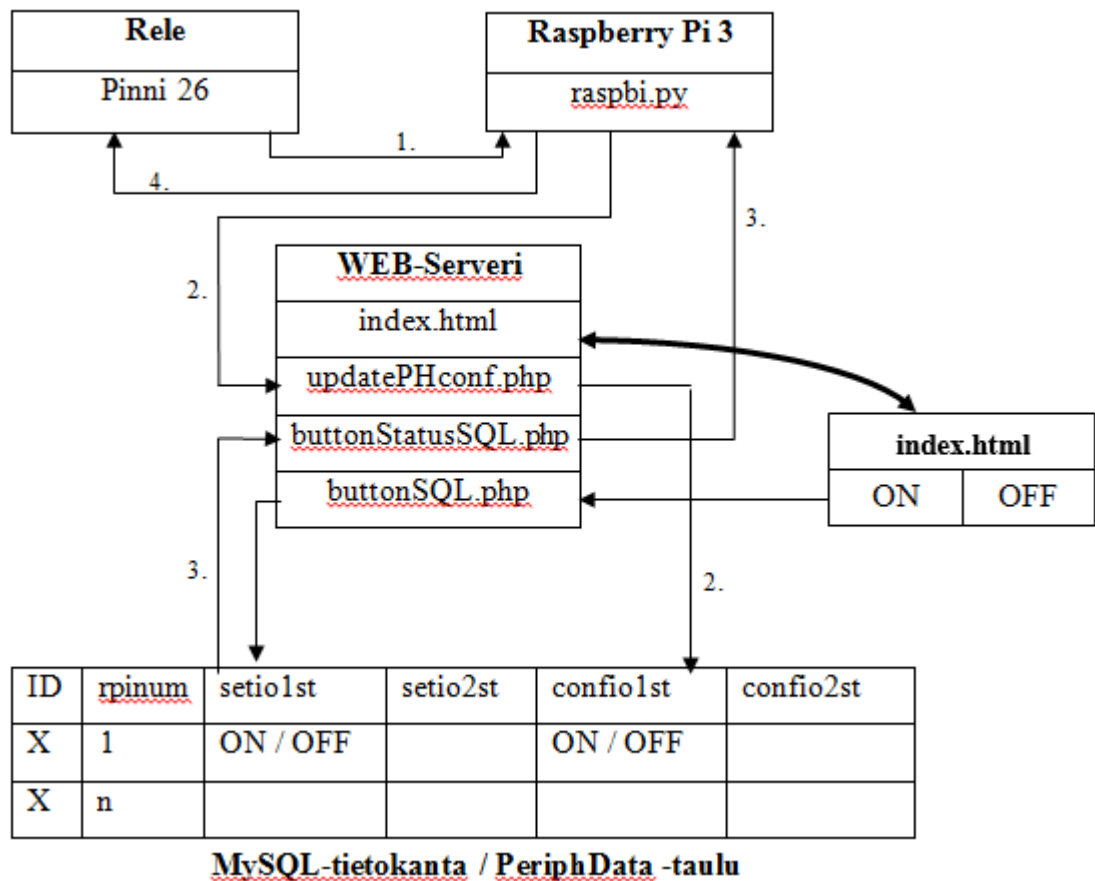
Kuvan 15 kytkennän lämpötila-anturin punainen johto on käyttöjännite, joka kytkettiin Raspberry Pi:n GPIO-pinniin 1 (3,3 V). Keltainen johdin on datajohto, joka kytkettiin pinniin 7, (GPIO4). Musta johdin on maa, joka kytkettiin pinniin 9 (Ground). Käyttöjännitteen sekä datajohtimen väliin kytkettiin 4,7 k Ω :n ylösvetovastus.

7 LÄMMINVESIVARA AJAN ETÄOHJAUS

Työssä rakennettiin järjestelmä, jonka avulla voidaan verkkoselaimelta ohjata releitä. Releen käyttötarkoitus on ohjata suurempaa kontaktoria, jolla ohjataan lämminvesivaraajaa ja mahdollisesti muita sähkölaitteita. Työssä mallinnettiin releen toimintaa led-valolla.

7.1 Lämminvesivaraajan etäohjauksen toimintaperiaate

Kuvassa 16 on esitetty lämminvesivaraajan etäohjauksen toimintamalli.



KUVA 16. Lämminvesivaraajan etäohjauksen toiminta

Raspberryn sisällä pyörivä Python-skripti *raspbi.py*, suorittaa asetetun ajan välein seuraavat tehtävät:

1. Tutkii pinnin 26 tilan (0=OFF / 1=ON)

2. Yhdistää Web-serveriin ja kutsuu skriptiä *updatePHconf.php*, joka päivittää *PeriphData*-taulun *rpinum = 1* -tietueeseen *confui1st* -kenttään edellä mainitun pinnin tilan (ON / OFF), jos se on muuttunut edellisen kierroksen jälkeen
3. Kutsuu skriptiä *buttonStatusSQL.php*, joka lukee edellä mainitun taulun/tietueen kentän ”*setio1st*” arvon (ON / OFF) eli onko jompaakumpaa Web-serverin aloitussivun nappulaa painettu
4. Laittaa pinnin 26 tilaan ON tai OFF riippuen *setio1st* -kentän palauttamasta arvosta

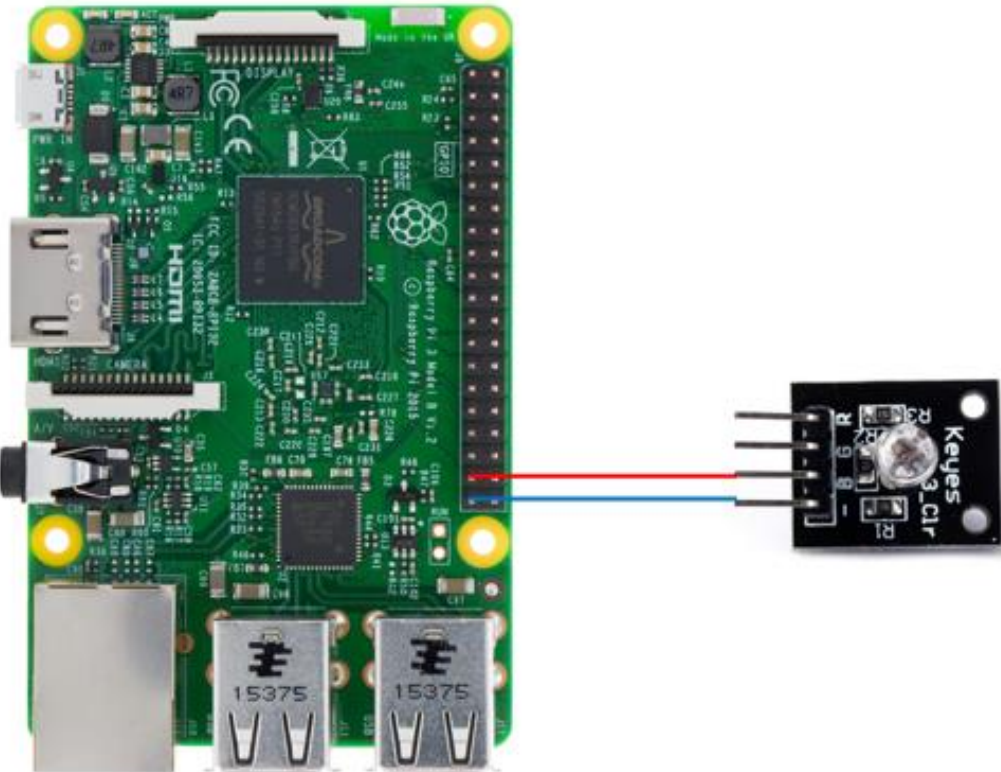
Web-serverin aloitussivu *index.html* suorittaa seuraavat tehtävät:

1. Sivuston kaksi painiketta, ”Valot ON” ja ”Valot OFF”, kutsuvat *buttonSQL.php* -tiedostoa POST-metodilla, ”ON” tai ”OFF”.
2. *buttonSQL.php* yhdistää SQL-serveriin ja päivittää *PeriphData*-taulun *rpinum=1* -tietueen *setio1st* -kenttään arvon ”ON” tai ”OFF”, riippuen kumpaa aloitussivun painiketta on painettu.

Valopainikkeet kutsuvat *buttonSQL.php* -tiedostoa POST metodilla, jolla pyydetään palvelinsovellusta ottamaan vastaan sisällytetty tieto.

7.2 KytKentä

Kuvassa 17 on esitetty releen ohjausta mallintavan led-valon kytKentä.



KUVA 17. Kytettä (Jameco) (Everbuying RGB-led module) (Kuvaa muokattu)

Kuvan 17 kytkennän punainen johto on kytketty GPIO-pinnin 37 (GPIO26) sekä led-moduulin B-pinnin (blue) välille. Käytetty led-valo on RGB-led, jolloin led-valo voi pa-
laa kolmella eri värillä, jotka ovat punainen, vihreä ja sininen (red, green, blue). Pinni 37 on asetettu ulostuloksi. Sininen johdin on kytketty pinnin 39 (Ground) sekä led-moduulin miinuksen välille.

8 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli etsiä alle sadan euron ohjainlaite, jolla voidaan lähettää tietoa pilvipalvelimelle ja samalla laitteella voidaan ohjata relelähtöä http-viestejä käyttäen. Laitteen oli toimittava langattomassa verkossa ja sen oli myös oltava asennettavissa DIN-kiskoon keskuksen sisälle. Ohjainlaitteeksi valitsin Raspberry Pi 3 Model B tietokoneen sen edullisen hinnan ja monipuolisuuden vuoksi sekä myös osittain oman kiinnostukseni vuoksi laitetta kohtaan.

Lämpötila-anturin tieto tallentui SQL-tietokantaan, joka oli luettavissa tekemältäni kotisivulta. Tietokantaan lisättiin myös tietueet kellonajasta sekä päivämäärästä luettavuuden helpottamiseksi, kun lämpötilatietoja tallentui useampia palvelimelle.

Raspberryn GPIO-pinnien etäohjaus onnistui myös, mutta releen ohjausta en päässyt varsinaisesti testaamaan, koska prototyyppiä testattiin led-moduulilla, joka korvasi varsinaisen releen.

Mielestäni työn toteutus onnistui erittäin hyvin siihen nähden, mikä oma tietämykseni aiheesta oli. Työ myös opetti hyvin monipuolisesti elektroniikan sekä tietotekniikan toimintaperiaatteita. Sain myös enemmän ymmärrystä aurinkosähköjärjestelmän toiminnasta sekä sen liittämisestä sähköverkkoon.

Raspberryn on saatavilla DIN-kiskokoteloita sekä DIN-kiskoon kiinnitettäviä virtalähteitä ja releet ja kontaktorit kiinnitetään myös DIN-kiskoon, joten laitteiston asennus keskuksen onnistuisi vaivattomasti.

Raspberryn monipuolisen käytettävyyden ansiosta projektia voitaisiin myös jatkojalostaa monin puolin. Esimerkiksi lämpötila-anturit on päivitettävissä langattomiin versioihin ja kun kytketään kontaktori järjestelmään, voitaisiin saada tilatieto kontaktorin vetäessä, jolla varmistetaan kontaktorin mekaaninen toiminta. Järjestelmää voitaisiin myös automatisoida ohjelmoimalla lämpötila-antureille raja-arvot, joiden mukaan lämminvesivaraajaa ohjattaisiin.

LÄHTEET

- ABB. Products. NF contactor relays. Verkkodokumentti. Luettu 28.5.2018.
<https://new.abb.com/low-voltage/products/motor-protection/contactor-relays-for-auxiliary-circuit-switching/nf-contactor-relays>
- Anttonen, I. 2015. Aurinkosähköjärjestelmät. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Luettu 23.4.2018.
- Aurinkoenergiaa Suomessa. Aurinkoenergia. Verkkodokumentti. Luettu 10.4.2018.
<http://www.aurinkoenergiaa.fi/aurinkoenergiaa.html>
- Bustekhub. Relay function and operations. Verkkodokumentti. Luettu 28.5.2018.
<http://bustekhub.com/index.php/2016/08/20/relay-function-and-operations/>
- Enerdrive. 2018. MPPT vs PWM Solar Controllers. Verkkodokumentti. Luettu 2.11.2018. <http://www.enerdrive.com.au/mppt-vs-pwm-solar-controllers/>
- Energiateollisuus. 2016. Tekninen liite 1 ohjeeseen sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon. Nimellistehoaltaan enintään 100 kVA laitoksen liittäminen. Verkkodokumentti. Luettu 24.4.2018. https://energia.fi/files/1249/tekninen_liite_1_-_enintaan_100_kva_paivitetty_20160427.pdf
- Energiateollisuus. 2016. Tekninen liite 2 ohjeeseen sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon. Nimellistehoaltaan yli 100 kVA laitoksen liittäminen. Verkkodokumentti. Luettu 24.4.2018. https://energia.fi/files/1252/tekninen_liite_2_-_yli_100_kva_paivitetty_20160427.pdf
- Everbuying. Keyes KY-016 3-color RGB LED Sensor. Verkkodokumentti. Luettu 31.5.2018. <http://www.everbuying.net/product1033236.html>
- FileZilla. Overview. Verkkodokumentti. Luettu 30.5.2018. <https://filezilla-project.org/>
- Finlex. Laki sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta. Verkkodokumentti. Luettu 5.5.2018. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1996/19961260>
- Hietala, T. 2017. Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Luettu 28.5.2018.
- Jameco. Raspberry Pi Pinout Diagram. Verkkodokumentti. Luettu 26.3.2018.
<https://www.jameco.com/Jameco/workshop/circuitnotes/raspberry-pi-circuit-note.html>
- Korpela, A. 2016. Hajautettu sähköenergian tuotanto. Aurinkosähkö osa 2. Opetusmateriaali. Luettu 23.4.2018.
- Martin, M. 2015. Pilvipalvelin Raspberry Pi:llä. Opinnäytetyö. Tampereen Ammattikorkeakoulu. Luettu 5.5.2018.

- Maxim Integrated Products. 2015. Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer. Verkkodokumentti. Luettu 12.4.2018. <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
- Maxim Integrated Products. 2002. Interfacing the DS18X20/DS1822 1-Wire® Temperature Sensor in a Microcontroller Environment. Verkkodokumentti. Luettu 18.4.2018. <https://origin-www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/162>
- Maxim Integrated Products. 2008. Overview of 1-Wire Technology and its use. Verkkodokumentti. Luettu 18.4.2018. <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/1796>
- Motiva. 2017. Aurinkosähköteknologiat. Verkkodokumentti. Luettu 23.4.2018. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat
- Motiva. 2018. Auringonsäteilyn määrä Suomessa. Verkkodokumentti. Luettu 10.4.2018. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa
- Nissinen, J. 2012. Lämpötilojen seurantajärjestelmä. Opinnäytetyö. Savonia-Ammattikorkeakoulu. Luettu 18.4.2018.
- Opensource. What is a Raspberry Pi? Verkkodokumentti. Luettu 26.3.2018. <https://opensource.com/resources/raspberry-pi>
- Paajanen, E. 2010. Dynaamiset WEB-sivut. Opinnäytetyö. Mikkelin Ammattikorkeakoulu. Luettu 28.5.2018.
- Paavola, M. 2013. Verkkoon kytkettyjen aurinkosähköjärjestelmien potentiaali Tampereella. Diplomityö. Tampereen Teknillinen Yliopisto. Luettu 23.4.2018.
- Probots. DS18B20 Waterproof Temperature Sensor for Arduino Raspberry Pi. Verkkodokumentti. Luettu 12.4.2018. https://probots.co.in/index.php?main_page=product_info&products_id=796
- Raspberrypi. Getting started with the Raspberry Pi. Verkkodokumentti. Luettu 5.5.2018. <https://projects.raspberrypi.org/en/projects/raspberry-pi-getting-started>
- Raspberrypi. Buy A Raspberry Pi. Verkkodokumentti. Luettu 5.5.2018. <https://www.raspberrypi.org/products/>
- Samba. About Samba. Verkkodokumentti. Luettu 2.11.2018. <https://www.samba.org/>
- Tolonen, J. 2012. Kiinteistösähköistyksen oppimisympäristö. Opinnäytetyö. Kemin Ammattikorkeakoulu. Luettu 3.11.2018.
- Tutorialspoint. Python dictionary get() method. Verkkodokumentti. Luettu 28.5.2018. http://www.tutorialspoint.com/python/dictionary_get.htm

