



Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

Raspberry Pi-pohjainen dataloggeri Raspberry Pi-based datalogger

Joonas Kontkanen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
LUT School of Energy Systems
LUT Sähkötekniikka

Joonas Kontkanen
Raspberry Pi-pohjainen dataloggeri

2016

Kandidaatintyö.
24 s.

Tarkastaja: TKT Tero Ahonen

Dataloggerit ovat tärkeitä mittaustekniikassa käytettäviä mittalaitteita, joiden tarkoituksena on kerätä talteen mittaustietoa pitkiltä aikaväleiltä. Dataloggereita voidaan käyttää esimerkiksi teollista prosessia osana olevien toimilaitteiden tai kotitalouden energiajärjestelmän seurannassa. Teollisen luokan dataloggerit ovat yleensä hinnaltaan satojen tai tuhansien eurojen luokkaa. Työssä pyrittiin löytämään teollisen luokan laitteille halpa ja helpokäyttöinen vaihtoehto, joka on kuitenkin riittävän tehokas ja toimiva.

Työssä suunniteltiin ja toteutettiin dataloggeri Raspberry Pi-alustalle ja testattiin sitä oikeaa teollista ympäristöä vastaavissa olosuhteissa. Kirjallisuudesta ja internet artikkelista etsittiin samankaltaisia laite- ja ohjelmistoratkaisuja ja niitä käytettiin dataloggausjärjestelmän pohjana. Raspberry Pi-alustalle koodattiin yksinkertainen Python-kielinen dataloggausohjelma, joka käyttää Modbus-tiedonsiirtoprotokollaa.

Testien perusteella voidaan todeta, että toteutettu dataloggeri on toimiva ja kykenee kaupallisten dataloggereiden tasoiseen mittaukseen ainakin pienillä näytteistystaajuuksilla. Toteutettu dataloggeri on myös huomattavasti kaupallisia dataloggereita halvempi. Helpokäyttöisyyden näkökulmasta dataloggerissa havaittiin puutteita, joita käydään läpi jatkokehitysideoiden muodossa.

Avainsanat: Raspberry Pi, dataloggeri, Modbus

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
LUT School of Energy Systems
LUT Electrical Engineering

Joonas Kontkanen

Raspberry Pi-based datalogger

2016

Bachelor's Thesis.

24 p.

Examiner: D.Sc. Tech. Tero Ahonen

Dataloggers are important measurement devices used in measurement technology where they are used to collect and store measurement data over a long period of time. Dataloggers can be used for example to monitor actuators that are a part of an industrial process or to monitor the energy system of a household. The price range of industrial grade dataloggers is usually hundreds or thousands of euros. This thesis aims to find a cheaper and easy-to-use alternative for industrial grade dataloggers that still functions and performs adequately.

The datalogger was designed and implemented for the Raspberry Pi platform and it was tested in an environment comparable to a real industrial setting. Literature and internet articles were reviewed to find similar hardware and software solutions which were used as a basis for the datalogging system. A basic datalogging program that uses Modbus communication protocol was created using Python programming language.

The test results confirm that the proposed datalogger functions well and is on par with commercial dataloggers at lower sampling frequencies. The proposed datalogger is also significantly cheaper than the reviewed commercial dataloggers. From the ease of use standpoint some shortcomings were found which are addressed in the form of suggestions for future development.

Keywords: Raspberry Pi, datalogger, Modbus

SISÄLLYSLUETTELO

Käytetyt merkinnät ja lyhenteet.....	2
1. Johdanto	3
2. Laitteiston esittely	4
2.1 Raspberry Pi.....	4
2.2 BeagleBone Black	5
2.3 National Instruments USB-6000	6
2.4 Datexel DAT 9011-DL.....	7
2.5 Logic Beach IntelliLogger-80.....	8
3. Järjestelmän toimintaperiaate ja käytetty ohjelmisto	10
3.1 Dataloggausjärjestelmän periaate	11
3.2 Dataloggausohjelma	11
3.2.1 Ohjelman toteutus.....	12
3.2.2 Ohjelman toiminta.....	12
4. Testaus.....	14
4.1 Suorituskyvyn testaus.....	14
4.2 Toimivuuden testaus	14
4.3 Mittaustarkkuuden testaus	14
5. Tulokset	15
5.1 Suorituskykymittauksen tulokset	15
5.2 Toimivuusmittauksen tulokset	16
5.3 Mittaustarkkuus tulokset	16
6. Johtopäätökset	17
6.1 Jatkokehitysideat	17
Lähteet.....	19
Liitteet.....	21

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

GPIO	General Purpose Input/Output, yleiskäyttöinen tulo/lähtö
HD	High Definition, teräväpiirto
USB	Universal Serial Bus, universaali sarjaväylä
WLAN	Wireless Local Area Network, langaton lähiverkko

1. JOHDANTO

Dataloggerit ovat mittaustekniikassa käytettäviä laitteita, joilla luetaan ja kirjataan muistiin mittausdataa pitkällä, yleensä useita päiviä, viikkoja tai kuukausia kestäväällä aikavälillä. Kohdelaitteena voi olla esimerkiksi teollisessa prosessissa sähkömoottoria ajava taajuusmuuttaja tai kotitalouden aurinkosähköjärjestelmän invertteri. Teollisessa ympäristössä dataloggaukseen käytetään yleensä tietokonetta, jossa on dataloggaukseen tarkoitettu erillinen ohjelmisto, tai dataloggausta varten valmistettua laitetta kuten National Instrumentsin, Datexelin ja LogicBeachin dataloggerit, joita on esitelty tarkemmin kappaleessa 2.

Tässä työssä pyritään löytämään vaihtoehto teollisille dataloggereille. Laitteen tulisi olla halvempi kuin teollisten dataloggereiden, kompakti ja helppokäyttöinen. Kompaktilla tarkoitetaan laitetta, joka olisi niin pieni, että se mahtuisi kohdelaitteen ympäristöön häiritsemättä sen toimintaa tai käyttöä. Ideaalitapauksessa laitteen käyttö olisi niin helppoa, että sen voisi vain kytkeä kiinni kohdelaitteeseen ja se toimisi automaattisesti. Laitteen luoma lokitiedosto tulisi olla muotoa, joka on luettavissa yleisesti käytössä olevilla ohjelmistoilla ja yhteensopiva taulukkolaskentaohjelmien kanssa mittausdatan analysointia varten. Pitkäaikaisessa tallennuksessa laitteen tulisi kyetä 0.1-1 sekunnin tallennusaikaväliin.

Työn luvussa 2 esitellään laitteistovaihtoehtoja dataloggerin alustaksi, sekä kaupallisia dataloggereita eri hintaluokista, joita käytetään toteutetun dataloggerin vertailukohtina. Luvussa 3 käydään läpi toteutetun dataloggausjärjestelmän toimintaperiaate sekä dataloggerille kirjoitettu ohjelma. Luvussa 4 esitellään dataloggerille tehdyt testit, joiden tulokset on analysoitu luvussa 5. Luvussa 6 esitetään työn johtopäätökset ja dataloggerin jatkokehitys-ideat.

2. LAITTEISTON ESITTELY

Tässä kappaleessa esitellään saatavilla olevia valmiita dataloggereita kolmesta eri hintaluokasta, joita käytetään toteutetun dataloggerin vertailuun sekä pohditaan Raspberry Pi- ja Beaglebone- tietokoneiden sopivuutta dataloggeriksi. Työssä päädyttiin käyttämään laitteistona Raspberry Pi:tä, joka täyttää kannettavuus- ja kompaktiusvaatimukset ja on huomattavasti halvempi, kuin saatavilla olevat valmiit dataloggerit, ja on myös BeagleBone-tietokonetta hieman halvempi.

2.1 Raspberry Pi

Raspberry Pi on Raspberry Pi Foundationin kehittämä yhden piirilevyn tietokone, jonka suurimmat edut pöytäkoneeseen tai kannettavaan tietokoneeseen nähden ovat pieni koko ja halpa hinta. Raspberry Pi:tä voidaan käyttää tavallisen tietokoneen tavoin, se voidaan yhdistää Internetiin ja siihen voidaan lisätä oheislaitteita USB-, Ethernet-, jakki- ja general purpose input/output (GPIO)-liitännöiden kautta.

Laitteesta on julkaistu A, A+, B, B+, 2 B ja Zero versiot. Vuonna 2014 julkaistuissa A+ ja B+ -malleissa on perusmalleihin nähden pienempi tehonkulutus, enemmän GPIO -pinnejä ja MicroSD muistikorttipaikka ja ne ovat korvanneet vanhemmat A- ja B-mallit joita ei enää valmisteta. A-malleissa on B-malleihin verrattuna vähemmän muistia ja USB-liitäntöjä ja niistä puuttuu Ethernet-liitäntä. A-mallit ovat myös B-malleja halvempia ja kuluttavat vähemmän tehoa. Vuonna 2015 julkaistussa 2 B-mallissa on B- ja B+ -malleihin verrattuna tehokkaampi prosessori ja enemmän muistia ja USB-liitäntöjä. Kaikki A- ja B-mallit ovat kooltaan joko 85 × 56 mm tai 65 × 56 mm. Laitteiden suositushinnat ovat mallista riippuen 20 – 35 \$. Vuonna 2015 julkaistu Zero-malli asettuu laskentateholtaan B+ ja 2 B-mallien välille ja siinä on pienempi tehonkulutus. Zero-malli on kooltaan 65 × 30 mm ja hinnaltaan 5 \$. Kaikkia malleja voidaan käyttää HD-tasoisien videon- ja äänentoistoon. Laitteissa ei ole reaaliaikakelloa, joten ne on synkronoitava Internetin kautta kellonajan pitämiseksi ajan tasalla. (Element14 2016)



Kuva 2.1 Raspberry Pi B-malli. (Zagros Robotics 2016)

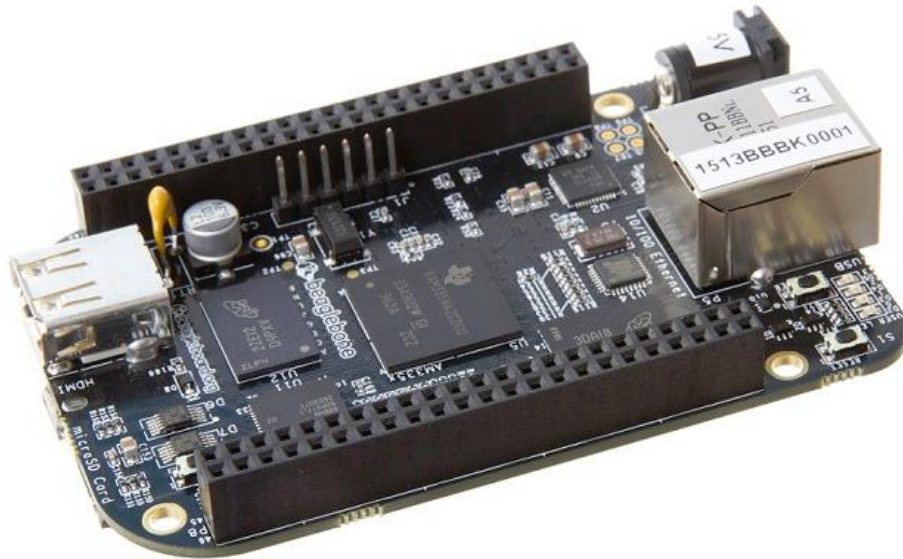
Raspberry Pi -tietokoneet täyttävät hyvin työssä asetetut kompaktius- ja kannettavuusvaatimukset ja ne ovat hyvin halpoja verrattuna varsinaisiin dataloggereihin. Raspberry Pi:t tulevat Linux pohjaisia käyttöjärjestelmiä, joten niille voidaan tehdä ohjelmia yleisesti käytössä olevilla ohjelmointikielillä, kuten C, Java ja Python.

Raspberry Pi:n käyttöön tarvitaan lisälaitteina näppäimistö, näyttö, tehonlähde ja muistikortti jolle käyttöjärjestelmä asennetaan. Raspberry Pi:tä voidaan etäohjata tietokoneella, joka on joko suoraan tai lähiverkon kautta yhdistetty Raspberry Pi:hin, jolloin ei tarvita erillistä näyttöä tai näppäimistöä. Raspberry Pi Foundation suosittelee käyttöjärjestelmäksi Linux-pohjaisia Raspbian tai Pidora käyttöjärjestelmiä. Tässä työssä käytettiin B-mallia Raspbian käyttöjärjestelmällä, johon on myös saatavilla graafinen käyttöliittymä. Ohjelmistojen asentamisen helpottamista varten laite yhdistettiin Internetiin USB-porttiin kytketyn WLAN-moduulin kautta. Tehonlähteenä käytettiin 5 V/2 A MicroUSB verkkovirtalaturia.

2.2 BeagleBone Black

BeagleBone Black on Texas Instrumentsin valmistama yhden piirilevyn tietokone, joka on ominaisuuksiltaan samankaltainen Raspberry Pi:n kanssa ja julkaistu vuonna 2013. Laitetta voidaan käyttää tavallisen tietokoneen tavoin ja yhdistää Internetiin kuten Raspberry Pi. BeagleBone Black:ssa on enemmän laskentatehoa kuin Raspberry Pi B-malleissa ja sisäänrakennettu Flash -muisti, mutta vähemmän tehoa kuin 2 B -mallissa. Siinä on myös Rasp-

berry Pi:tä enemmän GPIO -liitäntöjä. Laitteen mukana tulee valmiiksi asennettu Linux pohjainen Debian käyttöjärjestelmä. BeagleBone Black ei kykene HD-video tai HD-äänentoistoon. Laite on kooltaan 86×53 mm ja hinnaltaan 45 – 55 \$. (Beagleboard 2016)



Kuva 2.2 BeagleBone Black (Detwiler 2013)

BeagleBone Black on samankokoinen kuin Raspberry Pi, joten se täyttää asetetut kannettavuus- ja kompaktiusvaatimukset hyvin. Laitteessa on enemmän GPIO-liitäntöjä, joten se on Raspberry Pi:tä parempi vaihtoehto dataloggeriksi järjestelmissä, joissa on paljon suoraan dataloggeriin yhdistettyjä laitteita. Pienemmissä järjestelmissä Ethernet- ja USB-liitännät ovat riittävät. Parempi laskentateho Tekee BeagleBone Black:stä paremman vaihtoehdon vaativimmissa dataloggausolosuhteissa. HD-videotoiston puute ei vaikuta laitteen käyttöön dataloggerina. BeagleBone Black on Raspberry Pi:tä hieman kalliimpi.

2.3 National Instruments USB-6000

National Instrumentsin valmistama USB-6000 on pienikokoinen ja halpa, perusmittauksiin tarkoitettu monitoiminen tiedonkeruulaite, jota voidaan käyttää myös dataloggerina. Laitteessa on 8 analogista ja 4 digitaalista johtoliitäntää tulosignaaleille ja se pystyy parhaimmillaan 10 kS/s näytteistystaajuuteen. Tehonsyöttö tapahtuu USB-liitännän kautta. Laite on ohjelmoitavissa National Instrumentsin omalla LabView -ohjelmistolla. USB-6000 on kooltaan $84 \text{ mm} \times 86 \text{ mm} \times 24 \text{ mm}$ ja painaa 84 g. Tiedonkeruulaitteen hinta ilman lisävarusteita tai LabView -ohjelmistoa on 95 €. (National Instruments 2016)



Kuva 2.3 National Instruments USB-6000. (National Instruments 2016)

USB-6000 täyttää työssä asetetut kannettavuus- ja kompaktisuusvaatimukset ja on huomattavasti halvempi verrattuna muihin varsinaisiin dataloggereihin. Laitteen näytteistystaajuus on erittäin hyvä verrattuna tässä työssä asetettuihin vaatimuksiin. Laitteen ohjelmitavuus Labview -ohjelmistolla tarjoaa hyvän yhteensopivuuden muiden National Instrumentsin laitteiden kanssa, mutta ohjelmiston hinta nostaa koko dataloggausjärjestelmän hintaa huomattavasti. Mitattavat signaalit on yhdistettävä johtoliitäntöjen kautta, joten USB-6000:a ei voida kytkeä esimerkiksi suoraan Ethernet -verkkoon.

2.4 Datexel DAT 9011-DL

DAT 9011-DL on Datexelin valmistama Modbus -dataloggeri, joka tallentaa mitatun datan suoraan irrotettavalle microSD-muistikortille. Laite on ensisijassa tarkoitettu kytkettäväksi Ethernet -liitännän kautta Modbus -verkkoon, mutta siinä on myös yksi yleiskäyttöinen analoginen ja kaksi yleiskäyttöistä digitaalista johtoliitäntää tulosignaaleille. Laite kykenee parhaimmillaan 300 S/s näytteistystaajuuteen. Laite on kooltaan 100 × 120 × 22,5 mm ja painaa noin 200 g. DAT 9011-DL on ohjelmoitavissa Datexelin omalla ilmaisella DEV9K ohjelmistolla. Laitteen hinta on 500 – 600 \$. (Datexel 2016)



Kuva 2.4 Datexel DAT 9011-DL (Datexel 2016)

DAT 9011-DL täyttää asetetut kannettavuus- ja kompaktiusehdot, tosin on syytä ottaa huomioon, että laite on tarkoitettu kiinteästi asennettavaksi. Laitteen näytteistystaajuus on asetettuihin ehtoihin nähden riittävä. Irrottavalle muistikortille tallentaminen helpottaa laitteen käyttöä, koska datan tutkimista varten tarvitaan pelkkä muistikortti. Vähäisten johtoliitännöiden takia DAT 9011-DL:n käyttö monen kohdelaitteen kanssa samanaikaisesti on vaikeaa, muissa kuin Modbus sovelluksissa.

2.5 Logic Beach IntelliLogger-80

Intellilogger-80 on Logic Beachin valmistama teollisuuskohteisiin tarkoitettu dataloggeri, jossa on mukana verkkotoiminnot. Laitteessa on 15 johtoliitännää tulosignaaleille sekä sarja-, USB- ja Ethernet portit ja se kykenee parhaimmillaan 80 S/s näytteistystaajuuteen. Laite on kooltaan 349 × 239 × 46 mm ja se ohjelmoidaan Logic Beachin omalla, graafisella HyperWare II -ohjelmistolla, jossa on mukana myös Modbus -protokollan käyttöön tarvittavat ohjelmointityökalut. Ohjelmisto toimitetaan dataloggerin mukana ilmaiseksi. Laite voidaan yhdistää Internetiin, jolloin sitä voidaan käyttää myös etänä. Dataloggerin hinta on 1300 - 1500 \$. (Logic Beach 2014)



Kuva 2.5 Logic Beach IntelliLogger-80 (Logic Beach 2014)

IntelliLogger-80 on aiemmin esitelyihin dataloggerivaihtoehtoihin verrattuna kalliimpi ja suurikokoisempi. Laitteen näytteistystaajuus täyttää asetetut ehdot hyvin. Laite on suuremmasta koostaan huolimatta tarpeeksi pienikokoinen täyttääkseen kannettavuus- ja kompaktiusehdot. On kuitenkin huomioitava, että laite on tarkoitettu kiinteästi asennettavaksi. Graafinen HyperWare II -ohjelmisto tekee laitteen käyttöönotosta helppoa. Monipuoliset liitännät ja etäkäytön mahdollisuus Internetin kautta mahdollistavat laitteen käytön monissa eri sovelluksissa.

3. JÄRJESTELMÄN TOIMINTAPERIAATE JA KÄYTETTY OHJELMISTO

Tässä työssä dataloggauksella tarkoitetaan tiedon lukemista ja muistiin kirjaamista kohdelaitteesta pitkällä, useita päiviä, viikkoja tai kuukausia kestäväällä aikavälillä. Kohdelaitteena voisi olla esimerkiksi taajuusmuuttaja tai aurinkosähköjärjestelmän invertteri, josta luetaan arvoja 0,1 - 1 sekunnin välein. Luetut arvot tulisi tallentaa esimerkiksi tekstitiedostoon, joka on luettavissa ilman erillistä lukuohjelmaa.

Työssä käytettiin kohdelaitteena Lappeenrannan teknillisen yliopiston pumppulaboratorion ACS880-taajuusmuuttajaa, jossa on FENA-11 Ethernet kenttäväyläkortti. Kuvassa 3.1 on esitetty työssä käytetty taajuusmuuttaja, joka on yhdistetty lähiverkkoon FENA-11 kenttäväyläkortin kautta. FENA-11 Ethernet kenttäväyläkortti mahdollistaa taajuusmuuttajan ja isäntälaitteen välisen tiedonsiirron Modbus TCP/IP-protokollaa käyttäen. Työssä valittiin käytettäväksi tiedonsiirtoprotokollaksi Modbus protokolla, koska se on yleisesti teollisuudessa käytetty tiedonsiirtoprotokolla. Dataloggerista saataisiin näin mahdollisimman monen laitteen kanssa yhteensopiva.



Kuva 3.1 Työssä kohdelaitteena käytetty ACS880 taajuusmuuttaja, jolla ohjataan pumppua

Pienen tehonkulutuksen ja koon takia Raspberry Pi ja BeagleBone Black soveltuvat hyvin käyttökohteeseen pitkäksi aikaa jätettäväksi dataloggeriksi. Laitteet voidaan Ethernet liitännän ansiosta kytkeä suoraan tai reitittimen kautta taajuusmuuttajan FENA-11 kenttäväyläkorttiin. Raspberry Pi:ssä ei ole reaaliaikakelloa, joten se on yhdistettävä Internetiin

ennen dataloggauksen aloittamista, jotta mittauksen lokitiedostoon saadaan oikeat kellonajat.

3.1 Dataloggausjärjestelmän periaate

Kuvassa 3.2 on esitetty dataloggausjärjestelmän toimintaperiaate. Dataloggerina toimiva Raspberry Pi ja taajuusmuuttajaan kytketty FENA-11 kenttäväyläkortti on yhdistetty reitittimen kautta lähiverkkoon, jonka kautta dataloggeri lukee arvoja taajuusmuuttajan rekistereistä käyttäen Modbus TCP/IP protokollaa.



Kuva 3.2 Dataloggausjärjestelmän toimintaperiaate

Modbus TCP/IP protokollaa käytettäessä on tiedettävä käytettävien laitteiden lähiverkon IP-osoitteet, jotta dataloggeri saadaan yhdistettyä oikeaan kohdelaitteeseen lähiverkon kautta. IP-osoite saadaan selvitettyä kohdelaitteen määrittämisestä. Työssä käytetyn ACS880 taajuusmuuttajan IP-osoitteeksi oli asetettu staattinen osoite 192.168.0.4.

Modbus rekistereiden lukemista varten tarvitaan tietää kohdelaitteen rekisteriosoitteet, joihin halutut arvot on tallennettu sekä luettavien rekistereiden määrä. Työssä tarvittavat rekisteriosoitteet saadaan FENA-11 kenttäväyläkortin käyttöohjeesta, kun tiedetään muuttajien nimet joihin halutut arvot on tallennettu taajuusmuuttajassa. Taajuusmuuttajalta haluttiin lukea ajettavan moottorin pyörimisnopeus, lähtöjännitteen taajuus, lähtövirta, vääntömomentti, DC-väylän jännite, lähtöjännite, lähtöteho ja energialaskurin arvo. ACS880:n määrittämisestä selvisi, että arvot oli asetettu muuttajiin DATA IN 1...8 vastaten kohdelaitteen rekisteriosoitteita 54...61 (ABB 2014).

3.2 Dataloggausohjelma

Työn kirjoittamishetkellä Internetistä ei löytynyt valmiista ilmaista ohjelmaa Raspberry Pi:lle, joka käyttäisi Modbus-protokollaa Ethernet-väylän yli. Valmiissa ohjelmissa oli käy-

tetty Raspberry Pi:n GPIO-pinnejä Ethernet-väylän sijaan tai niissä oli käytetty erillistä anturia. Esimerkeissä ohjelmat oli kirjoitettu Python- ja C-ohjelmointikielillä. Pythonilla kirjoitetuissa ohjelmissa oli käytetty avoimeen lähdekoodiin perustuvaa *pymodbus* kirjastoa, joka sisältää kaikki Modbus kommunikointiin tarvittavat toiminnot (Collins 2016). C-kielelle saataavissa olevaa vastaavaa avoimen lähdekoodin *libmodbus* kirjastoa oli käytetty C-kielellä kirjoitetuissa ohjelmissa (Raimbault 2016). Valmiita ohjelmia käytettiin oman dataloggausohjelman pohjana (Ostafichuk 2016, Kirk 2016, Membrey 2013, Bell 2013).

3.2.1 Ohjelman toteutus

Tässä työssä päätettiin käyttää Python-ohjelmointikieltä ja *pymodbus* kirjastoa dataloggausohjelman toteuttamiseen (Collins 2016). Dataloggausohjelman kirjoittamista varten Raspberry Pi:lle tarvitsee asentaa vain tarvittavat kirjastot, koska Python-ohjelmat eivät tarvitse kääntäjää ja Python-ohjelmisto sisältyy työssä käytettyyn Raspbian käyttöjärjestelmään, Tässä työssä esitettyyn ohjelmaan käytettiin *pymodbus* kirjaston lisäksi Pythonin perusohjelmistosta löytyvää *datetime* kirjastoa, josta saatiin aikaleimaan tarvittavat päivämäärä ja kellonaika.

Ohjelma tarvitsee lähtötietoina kohdelaitteen IP-osoitteen ja portin, sekä rekistereiden osoitteet, joihin halutut tiedot on tallennettu. Osoitteet on koodattu ohjelman lähdekoodiin, eli koodia on muokattava jos kohdelaitetta tai luettavia rekistereitä halutaan vaihtaa. Ohjelman lähdekoodi kokonaisuudessaan on esitetty liitteessä 1.

3.2.2 Ohjelman toiminta

Kun ohjelma käynnistetään, se avaa yhteyden kohdelaitteeseen ja luo uuden lokitiedoston, jonka nimeksi asetetaan käynnistyshetken päivämäärä ja aika. Kullakin ohjelman käynnistyskerralla luodaan uusi loki. Arvojen luku rekistereistä ja niiden tallennus lokiin on toteutettu ikuisella silmukalla, joka pyörii kunnes ohjelma sammutetaan. Kohdelaitteesta luetaan valittu lukumäärä rekistereitä aloittaen halutusta rekisteriosoitteesta. Arvot rekistereiden lukumäärälle ja aloitusosoitteelle on määritetty ohjelmassa muuttujiksi *read_qty* ja *read_register*, jotka on määritetty lähdekoodin alussa muiden lähtötietojen kanssa. Lokitiedostoon kirjoitettaessa kullekin riville kirjoitetaan aikaleima sekä luetut arvot pilkulla erotettuina. Lokitiedosto tallennetaan *.txt* muotoon. Kuvassa 3.3 on esitetty ote lokitiedostosta.

```
2014-05-28-13:47:09,9997,10055,8,1695,5697,204,10,662
2014-05-28-13:47:10,10000,10057,8,1663,5709,204,10,663
2014-05-28-13:47:11,10000,10056,8,1670,5702,204,10,663
2014-05-28-13:47:12,9997,10054,8,1704,5699,204,11,663
2014-05-28-13:47:13,9997,10055,8,1707,5706,204,11,663
2014-05-28-13:47:14,9999,10058,8,1697,5691,204,10,664
2014-05-28-13:47:15,10001,10059,8,1690,5686,204,10,664
2014-05-28-13:47:16,10002,10059,8,1674,5696,204,10,664
2014-05-28-13:47:17,10003,10060,8,1659,5701,204,10,664
2014-05-28-13:47:18,9998,10056,8,1696,5703,204,10,665
```

Kuva 3.3 Ote dataloggausohjelman kirjoittamasta lokitiedostosta. Kohdelaitteesta on luettu 8 eri arvoa sekunnin välein.

Näytteistystaajuus voidaan valita asettamalla sopiva arvo *interval*-muuttujalle, joka määrittää sekunteina kuinka kauan ohjelma odottaa silmukan kierrosten välissä. Näytteistystaajuutta on tarkasteltu tarkemmin kappaleissa 4.1 ja 5.1.

4. TESTAUS

Dataloggerin testauksessa kohdelaitteena käytettiin ACS880 taajuusmuuttajaa, jossa oli FENA-11 kenttäväyläkortti. Taajuusmuuttaja yhdistettiin Raspberry Pi:hin Ethernet reitittimen kautta, johon oli myös yhdistetty tietokone. Tietokonetta käytettiin taajuusmuuttajan ohjaamiseen DriveComposer-ohjelmalla. Samalla koneella ohjattiin myös Raspberry Pi:tä etäyhteyden kautta, jolloin ei tarvittu erillistä näyttöä tai näppäimistöä. Etäyhteys toteutettiin Putty-ohjelmalla. Etäyhteyden kanssa testattaessa huomattiin, että etäyhteys on pidettävä auki koko ohjelman suorituksen ajan tai se sammuu.

4.1 Suorituskyvyn testaus

Dataloggerin suorituskykyä testattiin asettamalla dataloggausohjelman asetuksista näytteistysaikaväli nollassi, jolloin dataloggausohjelma ei rajoita näytteistystaajuutta ja Raspberry Pi suorittaa ohjelmaa niin nopeasti kuin mahdollista. Testin kesto oli noin 10 minuuttia ja kohdelaitteesta luettiin 8 arvoa kerrallaan. Testin aikana kohdelaitteena olevalla taajuusmuuttajalla ajettiin pumppua ensin vakionopeudella ja sitten pysähdyksissä. Testin tavoitteena oli selvittää kuinka suurella näytteistystaajuudella dataloggeri kykenee toimimaan.

4.2 Toimivuuden testaus

Dataloggerin toimivuuden testauksessa taajuusmuuttajan arvoja kirjattiin lokiin noin vuorokauden ajan, jonka aikana taajuusmuuttajan ajamaa pumppua käytettiin satunnaisesti. Näytteistysaikaväliksi asetettiin 100 ms ja kohdelaitteesta luettiin 8 arvoa kerrallaan. Testin tavoitteena oli selvittää toimiiko laitteisto luotettavasti pitkällä aikavälillä, kun kohdelaitetta käytetään mielivaltaisesti, sekä arvioida lokin tallennustilankäyttöä.

4.3 Mittaustarkkuuden testaus

Dataloggerin mittaustarkkuutta testattiin ajamalla pumpulla porrasmainen sarja eri pyörimisnopeuksia ja nopeusarvot tallennettiin muistiin samanaikaisesti Raspberry Pi:llä ja DriveComposerilla. Raspberry Pi:n mittausaikaväliksi asetettiin 100 ms ja DriveComposerissa käytettiin 10 ms mittausaikaväliä. Kohdelaitteesta luettiin 8 arvoa. Testin tavoitteena oli arvioida Raspberry Pi:llä mitattujen arvojen oikeellisuutta. Mittauksessa käytettiin porrasmaisesti ajettuna sarjana seuraavaa: 0, 150, 450, 750, 1050, 750, 450, 150, 0 rpm.

5. TULOKSET

Raspberry Pi:llä mitatut lokit saatiin siirrettyä tietokoneelle käyttämällä SCP-ohjelmaa, jolla muodostettiin yhteys Raspberry Pi:hin lähiverkon kautta. Vaihtoehtoisesti olisi voitu käyttää tietokoneeseen liitettävää muistikortinlukijaa, jolloin olisi tarvittu vain Raspberry Pi:n irrotettava muistikortti. CSV-muodossa olevat lokitiedostot saatiin tuotua suoraan Excel-taulukkoon. Mitatut arvot olivat skaalaamattomia, joten tulosten analysointia varten skaalauskerroimet selvitettiin laskemalla Raspberry Pi:llä mitattujen arvojen suhde DriveComposerin arvoihin, joka näyttää suureiden todelliset arvot. Skaalausarvojen tarkastelu on esitetty taulukossa 5.1.

Taulukko 5.1 DriveComposerilla ja Raspberry Pi:llä mitatut arvot ja niiden suhteesta saatu skaalauskerroin.

Suure	DriveComposer	Raspberry Pi	Skaalauskerroin
Pyörimisnopeus [rpm]	750	10000	13.33
Jännitteen taajuus [Hz]	25.15	10060	400
Lähtövirta [A]	8	8	1
Vääntömomentti [%]	17.6	1750	99.43
DC-linkin jännite [V]	570	5700	10
Lähtöjännite [V]	204	204	1
Lähtöteho [kW]	1.1	11	10
Energialaskuri [kWh]	74	720	9.73

Skaalauskerroimet ovat laitekohtaisia, joten ne on selvitettävä aina kun dataloggeria käytetään eri kohdelaitteen kanssa. Jos käytettävissä ei ole toista mittauslaitteistoa, kuten tässä mittauksessa käytetty DriveComposer, skaalauskerroimet voidaan selvittää kohdelaitteen käyttöohjekirjasta. Skaalauskerroimet ovat yleensä tasalukuja, joten tässäkin tapauksessa ne olisi syytä tarkistaa ohjekirjasta.

5.1 Suorituskykymittauksen tulokset

Suorituskykytestissä mitatusta lokista määritettiin keskimääräinen mittausaikaväli ja keskihajonta laskemalla aikaleimojen erotusten keskiarvo. Mittausaikaväliksi saatiin 13,6 ms, mikä on näytteinä sekuntia kohti 73,6 S/s, ja keskihajonnaksi 5,6 ms. Keskiarvo ja keskihajonta laskettiin myös toimivuustestissä mitatusta pitkän aikavälin lokista, jossa mittausaikaväliksi oli asetettu 100 ms. Keskiarvoksi saatiin 106,4 ms ja keskihajonnaksi 1,6 ms. Huomataan, että keskihajonnan suhde näytteistystaajuuteen on huomattavasti suurempi, kun ohjelmaa suoritetaan suurimmalla mahdollisella nopeudella.

Suurin mahdollinen näytteistystaajuus on kappaleessa 2 esiteltyihin dataloggereihin verrattuna matalampi, mutta täyttää silti asetetut tavoitteet (0,1-1 sekunnin tallennusaika-

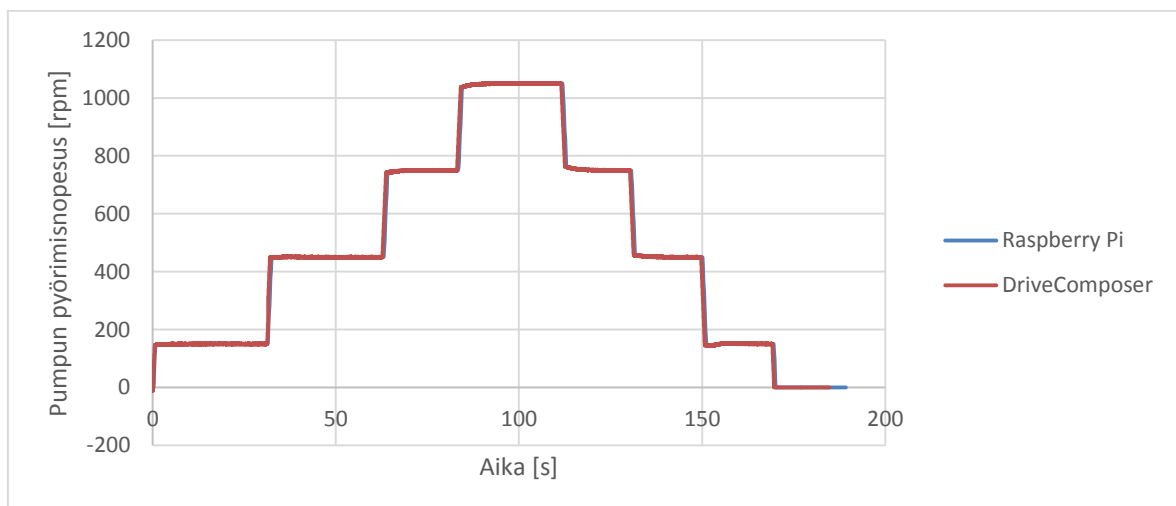
väli). Matala näytteistystaajuus saattaa johtua Raspberry Pi:n laitteiston, käytetyn tiedonsiirtoväylän tai kohdelaitteen hitaudesta. Jatkossa dataloggeria olisi syytä testata eri kohdelaitteiden kanssa ja eri väylien kautta. Aikaleimojen suuren keskihajonnan takia Raspberry Pi ei välttämättä sovellu tarkkaa aikaleimaa vaativiin mittauksiin suurilla näytteistystaajuuksilla.

5.2 Toimivuusmittauksen tulokset

Pitkän aikavälin mittaus kesti yhteensä 20,5 tuntia. Testauksen aikana dataloggausohjelma ei kaatunut, eikä Raspberry Pi:ssä ilmennyt ongelmia. Mittauslokitiedoston tilankäyttöä voidaan arvioida laskemalla lokitiedoston ja mittausajan suhde. Lokitiedoston koko oli pitkän aikavälin mittauksen jälkeen 33,4 Mb, eli lokitiedoston tilankäyttö 100 ms mittausaika- välillä ja 8 rekisteriarvon tallennuksella on noin 1,6 Mb/h.

5.3 Mittaustarkkuus tulokset

Kuvassa 5.1 on esitetty Raspberry Pi:llä ja DriveComposerilla mitattu pumpun pyörimisnopeus porrasmaisessa ajossa. Kuvaajat menevät lähes täysin päällekkäin, eli siis molemmilla laitteilla mitatut arvot ovat lähes täysin samat. Raspberry Pi sopii siten mittaustarkkuudeltaan dataloggaukseen hyvin. Suorituskykytestissä havaittu suuri aikaleimojen keskihajonta viittaa siihen, että suurilla näytteistystaajuuksilla mittausdatassa saattaa olla enemmän epätarkkuutta, mitä olisi syytä tutkia jatkossa lisää.



Kuva 5.1 Raspberry Pi:llä ja DriveComposerilla mitattu pumpun pyörimisnopeus. Raspberry Pi:llä mitatut tulokset on esitetty sinisellä ja DriveComposerilla mitatut punaisella. Kuvaajat menevät lähes täysin päällekkäin.

6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Varsinaisiin dataloggereihin verrattuna Raspberry Pi on huomattavasti halvempi ja pienikokoisempi vaihtoehto. Linux -pohjaisen käyttöjärjestelmän ansiosta se on monikäyttöinen ja yhteensopiva monien erilaisten ohjelmien kanssa. Tässä työssä toteutettu yksinkertainen dataloggausohjelma osoittaa, että Raspberry Pi kykenee toimimaan dataloggerina pitkäkestoisen tiedonkeruun vaatimusten puitteissa. Laite on 0,1...1 sekunnin näytteistysaikalavälillä riittävän tarkka, mutta lyhemmillä näytteistysaikalaväleillä aikaleimojen epätarkkuus on syytä huomioida. On myös syytä huomioida, että käytetty ohjelma on hyvin yksinkertainen ja ominaisuuksiltaan kattavammalla ohjelmalla laitteen suorituskyky saattaa olla heikompi. Pitkäkestoisessa mittauksessa laitteessa tai dataloggausohjelmassa ei esiintynyt ongelmia, joten sitä voidaan pitää luotettavana ainakin vuorokauden kestäviin mittauksiin asti. Käytetty ohjelma on myös alustasta riippumaton, joten sitä voidaan käyttää suoraan myös muilla laitteistoilla, jotka tukevat python-ohjelmia.

Kaupallisten dataloggereiden etuna Raspberry Pi:hin verrattuna on valmis tuettu ohjelmisto, jossa yleensä on kaikki dataloggaukseen tarpeelliset toiminnot. Kaupalliset laitteet ovat myös suorituskyvyltään tehokkaampia. BeagleBone Black on teoriassa suorituskyvyltään Raspberry Pi:tä tehokkaampi ja se on samassa hintaluokassa, joten se voisi olla parempi vaihtoehto, kun tarvitaan suorituskykyisempää dataloggeria.

6.1 Jatkokehitysideat

Käytetty dataloggausohjelma on hyvin yksinkertainen ja joiltain ominaisuuksiltaan vajavainen. Ohjelma kaatuu jos se ei saa muodostettua yhteyttä kohdelaitteeseen tai yhteys katkeaa kesken mittauksen. Ohjelman täytyy sammuttaa pakkolopetuksella, koska siinä ei ole varsinaista sammutustoimintoa. Kohdelaitteen IP-osoite ja luettavien rekistereiden osoitteet on kirjoitettu lähdekoodiin, eli niiden muuttaminen vaatii lähdekoodin muuttamista. Käytettäessä Raspberry Pi:tä etäyhteydellä, etäyhteys on pidettävä auki ohjelman suorittamisen ajan tai se kaatuu. Raspberry Pi:ssä ei ole reaaliaikakelloa, joten sen kello on ennen dataloggausta synkronoitava Internetin kautta, jotta aikaleimoihin saadaan oikea päivämäärä ja kellonaika. Ohjelman puutteita voisi korjata lisäämällä siihen kattava virheenkäsittely ja sammutustoiminnot. IP- ja rekisteriosoitteita varten voisi tehdä oman asetustiedoston, jonka dataloggausohjelma käyttää. Näin välttyttäisiin lähdekoodin muokkaamiselta. Asetuksia ja käyttöä varten ohjelmaan voitaisiin myös tehdä käyttöliittymä. Raspberry Pi:lle on saatavilla noin 50 € hintainen kosketusnäyttö, jolla sitä voitaisiin käyttää ilman erillistä näyttöä, hiirtä, näppäimistöä tai etäyhteyttä. Ohjelmasta voisi myös tehdä automaattisesti käynnistyvän, jolloin Raspberry Pi voitaisiin kytkeä vain kohdelaitteeseen ja se toimisi au-

tomaattisesti. Mittausloki voitaisiin tallentaa irrotettavalle muistitikulle, jolloin lokia voitaisiin analysoida irrottamatta laitetta kohdelaitteesta, tai vaihtaa muistitikku uuteen tallennustilan täytyessä. Raspberry Pi:hin on saatavilla noin 10 \$ hintainen reaaliaikakellomoduuli, jolla laitteen kello saataisiin pysymään oikeassa ajassa ilman Internet-yhteyttä. Virransaannin varmistamiseksi laitteeseen voitaisiin kytkeä akku, joka toimisi tehonlähteenä tarvittaessa.

LÄHTEET

ABB. 2014. FENA-01/-11/-21 Ethernet Adapter Module User's Manual.

Beagleboard. 2016. BeagleBone Black. [verkkodokumentti]. [viitattu 27.6.2016]. Saatavissa:

<http://beagleboard.org/black>

Bell, C. 2013. Beginning Sensor Networks with Arduino and Raspberry Pi. New York: Springer Science+Business Media

Collins, G. 2016. Pymodbus. [verkkodokumentti]. [viitattu 27.6.2016]. Saatavissa:

<https://github.com/bashwork/pymodbus>

Datexel. 2016. DAT9011DL Datasheet. [verkkodokumentti]. [viitattu 27.6.2016]. Saatavissa:

<http://www.datexel.com/Data-Acquisition-and-Control-Modules-DAT3000/Modbus-Data-logger-DAT9011DL.pdf>

Detwiler, R. 2013. BeagleBone Black. [verkkodokumentti]. [viitattu 27.6.2016]. Saatavissa:

<http://elinux.org/Beagleboard:BeagleBoneBlack>

Element14. 2016. Raspberry Pi Zero, Pi 2, B, A, Compute Module, Dev-kit comparison chart. [verkkodokumentti]. [viitattu 14.2.2016]. Saatavissa:

<http://www.element14.com/community/docs/DOC-68090/l/raspberry-pi-zero-pi-2-b-a-compute-module-dev-kit-comparison-chart>

Kirk, M. 2016. Raspberry Pi Logging Program. [verkkodokumentti]. [viitattu 27.6.2016]. Saatavissa:

<https://www.cl.cam.ac.uk/projects/raspberrypi/tutorials/temperature/plugins.html>

Logic Beach. 2014. IntelliLogger Datasheet. [verkkodokumentti]. [viitattu 27.6.2016]. Saatavissa:

<http://static.transcat.com/media/pdf/Intellilogger.pdf>

Membrey, P. & Hows, D. 2013. Learn Raspberry Pi with Linux. New York: Springer Science+Business Media

National Instruments. 2015. NI USB-6000 Device Specifications. [verkkodokumentti]. [viitattu 27.6.2016]. Saatavissa:

<http://www.ni.com/pdf/manuals/374113b.pdf>

Ostafichuk, R. 2016. Modbus on the Pi. [verkkodokumentti]. [viitattu 27.6.2016]. Saatavissa:

<http://www.ostafichuk.com/raspberry-pi-projects/modbus-on-the-pi/>

Raimbault, S. 2016. Libmodbus. [verkkodokumentti]. [viitattu 27.6.2016]. Saatavissa: <http://libmodbus.org/>

Zagros Robotics. 2016. Raspberry Pi Model-B. [verkkodokumentti]. [viitattu 27.6.2016]. Saatavissa: <http://www.zagrosrobotics.com/shop/item.aspx?itemid=895>

LIITTEET

Liite 1, Dataloggausohjelman lähdekoodi

#Tarvittavien kirjastojen tuonti

```
from pymodbus.client.sync import ModbusTcpClient as ModbusClient
from datetime import datetime
import time
```

#Kohdelaitteen IP-osoite ja portti, ensimmäinen luettava rekisteri, luettavien rekistereiden lukumäärä ja tallennusintervalli sekunteina

```
IP = '192.168.0.4'
port = 502
read_register = 53
read_qty = 8
interval = 0.1
```

#Yhteyden luonti

```
TRIPLC = ModbusClient(host=IP,port=port)
```

#Lokitiedoston nimeen tulevan aikaleiman ja laskurimuuttujan alustus

```
date = datetime.now().strftime('%Y-%m-%d-%H:%M:%S')
j = 0
```

#Pääsilukka, joka lukee kohdelaitteen rekisterit, pyörii ikuisesti

```
while True:
    datatemp = ""
    rr = TRIPLC.read_holding_registers(read_register,read_qty)
```

#Alisilukka, joka muokkaa luetut arvot tallennettavaan muotoon

```
for i in range(0, read_qty):
    if i == (read_qty - 1):
        datatemp = datatemp+str(rr.getRegister(i))
    else:
        datatemp = datatemp+str(rr.getRegister(i))+","
```

#Avataan lokitiedosto kirjoittamista varten

```
file1 = open(date + ".txt","a")
timestamp = datetime.now()
```

#Lisätään aikaleima luettuihin arvoihin ja tallennetaan lokiin ja suljetaan lokitiedosto

```
data = timestamp.strftime('%Y-%m-%d-%H:%M:%S.%f')+ "," + datatemp + "\n"
file1.write(data)
file1.close()
```

#Tulostetaan silmukan kierrosluku ruudulle ja odotetaan tallennusintervallin määräämä aika

```
j = j + 1
print j
time.sleep(interval)
```