

Saku Ollikainen

## **Sääasema**

Työn tyyppi Opinnäytetyö

Kevät 2014

Tekniikan yksikkö

Tietotekniikan koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikka

Koulutusohjelma: Tietotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Ohjelmistotekniikka

Tekijä: Saku Ollikainen

Työn nimi: Sääasema

Ohjaaja: Seppo Stenberg

Vuosi: 2014

Sivumäärä: 39

Liitteiden lukumäärä: 2

---

Sääilmiöiden havainnointi ja ennustaminen on edellytys monella eri alalla. Luotettava ja helppokäyttöistä sääilmiöiden havainnointilaitteistoa voidaan käyttää eri sääilmiöiden tarkasteluun, taltiointiin ja ennustamiseen. Luotettavista säähavainnoista ja -ennustuksista on hyötyä elinkeinotoiminnassa, kuten maanviljelyssä, ja vapaa-ajan toiminnassa, esimerkiksi veneilyssä tai harrasteilmailussa. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia eri vaihtoehtoja säähavaintolaitteiston kehittämiseen ja toteuttamiseen helposti saatavilla olevilla laitteisto- ja ohjelmistokomponenteilla, sekä toteuttaa prototyyppi sääasemasta.

Avainsanat: sääasema, säähavainnointi, mikrosuoritin, anturi, ohjelmistokehitys, sulautettu elektroniikka

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree programme: Information Technology

Specialisation: Software Development

Author: Saku Ollikainen

Title of thesis: Weather Station

Supervisor: Seppo Stenberg

Year: 2014

Number of pages: 39

Number of appendices: 2

---

Observing and predicting weather is essential for many purposes. A reliable and easy-to-use weather observing instrument can be used for both professional use, like agriculture, and for recreational use, like boating and leisure aviation, which all are critical on weather conditions. The purpose of this Bachelor's thesis was to study the possibilities for developing a weather station, using hardware and software components that are affordable and easily available, and to develop a prototype using them.

Keywords: weather station, weather observation, microprocessor, sensor, software development, embedded electronics

# SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet .....	7
<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>9</b>
1.1 Työn tausta .....	9
1.2 Työn tavoite .....	9
1.3 Työn rakenne .....	10
<b>2 TEORIA .....</b>	<b>11</b>
2.1 Sääilmiöiden havaitseminen ja mittaaminen .....	11
2.1.1 Sademäärän mittaaminen .....	12
2.1.2 Lämpötilan mittaaminen.....	13
2.1.3 Ilmanpaineen mittaaminen .....	14
2.1.4 Ilmankosteuden mittaaminen .....	16
2.1.5 Tuulen nopeuden mittaaminen.....	17
2.1.6 Tuulen suunnan mittaaminen.....	18
2.1.7 Valoisuuden ja UV-säteilyn mittaaminen.....	19
2.2 Mikrosuorittimeen perustuvan laitteiston käyttö säähavaintoihin.....	19
2.2.1 Arduino ja AVR .....	20
2.2.2 Raspberry Pi .....	20
<b>3 SÄÄASEMAN KÄYTÄNNÖN TOTEUTUS.....</b>	<b>22</b>
3.1 Komponenttien valinta.....	22
3.1.1 Arduino.....	22
3.1.2 Raspberry Pi .....	23
3.1.3 Ilmanpaineen ja lämpötilan mittaus.....	23
3.1.4 Sademäärän mittaus.....	25
3.1.5 Mitta-astia ja sen tyhjennys.....	26
3.1.6 Muut sääasemaan suunnitteilla olevat anturit .....	26
3.2 Mekaaninen rakenne.....	27

3.2.1 Sääaseman ja antureiden kotelointi .....	27
3.2.2 Virtalähde.....	28
3.3 Ohjelmisto .....	29
3.3.1 Arduino.....	29
3.3.2 Raspberry Pin palvelinsovellus .....	31
4 MITTAUKSET .....	34
5 YHTEENVETO JA LOPPUTULOKSET .....	35
LÄHTEET .....	36
LIITTEET .....	40

## Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Raspberry Pi (Raspberry Pi Foundation [Viitattu 25.3.2014]).....	21
Kuvio 2. Arduino Duemilanove (Arduino SA [Viitattu 26.3.2014]) .....	23
Kuvio 3. BMP085-anturi (Wippler [Viitattu 25.3.2014]).....	24
Kuvio 4. eTape-anturi (SparkFun Electronics [Viitattu 30.1.2014]).....	25
Kuvio 5. Arduinin sovellus.....	30
Kuvio 6. Raspberry Pin anturisolvellus .....	32
Kuvio 7. Raspberry Pin servosovellus.....	33

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>Anemometri</b>	Mittalaite, jonka avulla voidaan mitata tuulen tai muun ilmavirtauksen nopeutta.
<b>Aneroidi</b>	Rasiallmapuntari, joka on rakennettu joustavasta metallista.
<b>Arduino Duemilanove</b>	Nopean kehityksen mikrokontrolleriympäristö.
<b>Arduino IDE</b>	Arduinon ohjelmistokehitin.
<b>Barometri</b>	Ilmapuntari, ilmanpaineen mittaamiseen tarkoitettu laite tai instrumentti.
<b>Bootloader</b>	Ohjelma mikrokontrollerissa, joka mahdollistaa esimerkiksi varsinaisen ajettavan ohjelman ohjelmoinnin suorittamiseen esimerkiksi sarjayhteyden yli.
<b>EEPROM</b>	Electronically Erasable Programmable Read Only Memory. Sähköisesti pyyhittävässä oleva ja uudelleenohjelmoitavissa oleva vain luku -muisti, johon mikrokontrollerin suorittama ohjelma ja sen tallentamat tiedot säilötään.
<b>IDLE</b>	Python-komentotulkki.
<b>LDR-valovastus</b>	Anturi, jonka arvo vaihtelee valoisuuden mukaan.
<b>MEMS-anturi</b>	Mikromekaaniseen rakenteeseen pohjautuva anturi.
<b>Python</b>	Ajonaikaisesti tulkattava ohjelmointikieli.
<b>Raspberry Pi</b>	ARM-suorittimeen pohjautuva yhden kortin tietokone.
<b>Raspbian</b>	Yksi Raspberry Pi -tietokoneeseen soveltuva käyttöjärjestelmä.
<b>USB</b>	Universal Serial Bus, sarjamuotoinen liitäntäväylä.

**Web2Py**

Web2Py on avoimeen lähdekoodiin perustuva web applikaatio -tekniikka.



# 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö käsittelee kahden ammattikorkeakouluopiskelijan, Saku Ollikaisen ja Otto Luttisen yhteistyönä toteuttamaa automaattista sääasemaa yksityishenkilölle. Molemmat opiskelijat osallistuivat jokaiseen työvaiheeseen, ja työtä tehtiin sekä lähi- että etätyöskentelyinä.

Sääaseman prototyypin toteutuksessa käytettiin Arduino Duemilanove –kehitysalustaa, joka mahdollisti prototyypin nopean laite- ja ohjelmistokehityksen. Arduinon AVR-mikrosuoritin lukee kortille kiinnitettyjen anturien tiedon, joka välittyy edelleen Raspberry Pi -tietokoneelle käyttäjälle esittämistä varten.

## 1.1 Työn tausta

Tämän opinnäytetyön taustalla oli tavoite rakentaa yksinkertainen, automaattinen ja monikäyttöinen sääasema yksityishenkilölle käyttäen valmiita, helposti saatavilla olevia ja edullisia komponentteja. Vaikka markkinoilla on saatavana erilaisia valmiita laitteita, avoimen lähdekoodin periaatteilla toteutetun laitteiston ja ohjelmiston mukauttaminen eri tarkoituksiin on helpompaa kuin valmiin ratkaisun. Tällaisia mukautustarpeita voivat olla muun muassa kerätyn datan pohjalta tehdyt erilaiset analyysit, historiatiedot ja visualisoinnit esimerkiksi veneilijöiden, harrasteilmailijoiden, maanviljelijöiden ja muiden spesifejä sääilmiöitä tai niiden rajoja tarvitsevien henkilöiden käyttöön.

## 1.2 Työn tavoite

Opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella ja toteuttaa sääaseman ohjelmisto ja dokumentaatio käyttäen valmiita, helposti saatavilla olevia ja edullisia laitteita apuna käyttäen.

Tässä opinnäytetyössä tutkimusmenetelmät olivat tiedon hakemista ja sisäistämistä asiaan perehtyneiltä sivustoilta ja tämän tiedon kokeilemista ja soveltamista sääaseman käyttöön.

### **1.3 Työn rakenne**

Opinnäytetyö sisältää teoria- ja toteutusosuudet, mittaukset ja yhteenvedon. Teoriaosuudessa käsitellään erilaisia moderneja tapoja mitata sääilmiöitä, ja näitä mitaustapoja voidaan hyödyntää sääasemassa. Toteutusosuudessa käsitellään sääasemaan valittua toteutustapaa sekä laitteiston että ohjelmiston osalta.

## 2 TEORIA

Sääasema perustuu modernin anturiteknologian käyttöön sääilmiöiden mittauksessa. Käytettävät anturit mittaavat ilmanpainetta, lämpötilaa sekä veden pinnan korkeutta.

Opinnäytetyön teoriaosuus tulee käsittelemään automatisoituun sääasemaan sopivia tapoja havaita erilaisia sääilmiöitä. Tarkimmat ja tehokkaimmat tavat havaita erilaisia sääilmiöitä automatisoidun sääaseman avulla ovat elektroniset anturit, jotka ovat joko analogisia tai digitaalisia. Teoriaosuus sisältää tietoja sopivista tavoista ohjata antureita ja käsittelemään niiltä saatavaa informaatiota.

### 2.1 Sääilmiöiden havaitseminen ja mittaaminen

Ihminen voi havaita erilaisia sääilmiöitä ympäristössään esimerkiksi tunto- ja näköaistinsa avulla. Hyvänä esimerkkinä voidaan pitää tuulen nopeuden arvioimista. Havaittaja voi aistia tuulen eri nopeudet, muttei pysty mitenkään luotettavasti määrittelemään tarkkaa tuulen nopeuden arvoa. Edellytys tuulen nopeuden tarkkaan, toistettavissa olevaan mittaukseen ovat tarkat ja kalibroidut anturit.

Anturien tapa aistia mitattavia suureita perustuu erilaisiin ilmiöihin. Osa antureista perustuu puhtaasti mekaniikkaan, mutta modernimmat anturit voivat olla toteutettuja kokonaan joko puolijohdetekniikalla tai mikromekaanisesti. Esimerkkejä puolijohdeteknologialla toteutetuista antureista ovat moderni lämpöanturi sekä LDR-valovastus. Mekaanisia antureita voivat olla esimerkiksi vanhanaikaiset paineanturit, jotka perustuvat aneroidiin, painerasiaan, jonka laajeneminen tai supistuminen käyttää anturin mekaanista koneistoa. Moderni tapa mitata painetta perustuu kuitenkin MEMS-teknologiaan, mikromekaniikkaan, jota esimerkiksi projektissa käytetty BMP085 hyödyntää. (Digi-Key Corporation [Viitattu 26.3.2014]; Robert Bosch Oy 2008.)

Anturi havaitsee ja reagoi erilaisiin vaihteluihin ympäristössään kuten lämpötilan tai paineen muutoksiin. Kun anturi on reagoinut vaihdokseen, voidaan anturissa havaita muutos esimerkiksi resistanssissa tai kapasitanssissa. Resistanssin tai

kapasitanssin muutoksen suuruus riippuu anturin havaitseman muutoksen voimakkuudesta. Tämän perusteella voidaan helposti määrittää ympäristössä mitattavan suureen tarkka arvo. Moni anturi voidaan liittää myös digitaalisesti, esimerkiksi ModBus-, I2C- tai SPI-väylää käyttäen. (Wigmore & Rouse 2012.)

Anturit voidaan liittää esimerkiksi mikrokontrolleriin, joka ohjaa ja lukee antureita ja vastaanottaa niiltä informaatiota. Informaatio voi olla valmiiksi prosessoitua itse anturissa, tai voi edellyttää erillistä prosessointia tai kompensointia mittausjärjestelmässä. Esimerkki kompensointia vaativista antureista ovat tietyt termopariin perustuvat lämpötila-anturit, joiden vaste mitattavaan suureeseen ei ole välttämättä lineaarinen. Eri anturien tuottama tieto voidaan myös yhdistää keskenään, jotta saadaan selville haluttu tieto. (Wigmore & Rouse 2012.)

Prosessoitu anturitieto voidaan tallentaa mittausjärjestelmässä tai lähettää eteenpäin sovellukselle, joka esittää tulokset käyttäjälle. Sääaseman tapauksessa tietojen esittäminen käyttäjälle tapahtuu Raspberry Pi -tietokoneen tuottaman verkkosivun kautta.

### **2.1.1 Sademäärän mittaaminen**

Sademäärä ilmoitetaan millimetreinä vettä neliometriä kohden (Ilmatieteen laitos 2014c). Sääasema tarvitsee sademäärän mittaukseen sähköisen anturin. Sademäärää ei voida mitata perinteisellä sademittarilla, joka pitää itse käydä lukemassa ja jonka astia tulee tyhjentää seuraavaa mittausta varten. Sademäärän mittaamiseen on olemassa erilaisia menetelmiä, joita voisi hyödyntää sääaseman sademäärän mittauksessa. Näitä ovat paineen, kapasitiivisen anturin, resistiivisen anturin sekä kellukkeen ja ultraääniaaltojen avulla mittaaminen. Sademäärän mittaukseen sääasemalla voidaan käyttää seuraavaksi käsiteltäviä menetelmiä. (Apollo Co., Ltd [Viitattu 30.1.2014].)

Sademäärän mittaaminen paineen avulla perustuu mitta-astian pohjalle sijoitettuun paineanturiin. Se mittaa astiaan sataneen veden tuottaman paineen. Tämän avulla voidaan laskea astiassa olevan veden paino ja siitä astiassa olevan veden määrä ja korkeus. (Apollo Co., Ltd [Viitattu 30.1.2014].)

Kapasitiivinen ja resistiivinen anturi perustuvat anturin kapasitanssin tai resistanssin muuttumiseen veden määrän mukaan. Kun tiedetään näin astiassa olevan veden pinnan korkeus, voidaan sademäärä neliömetrin alueella laskea astiaan, johon anturi on asennettu, pinta-alaa apuna käyttäen (Apollo Co., Ltd [Viitattu 30.1.2014]). Sääaseman käytännön toteutukseen valittiin resistiivinen anturi sen luotettavuuden ja mekaanisen yksinkertaisuuden vuoksi.

Sekä paineanturi että kapasitiivinen ja resistiivinen anturi sijoitetaan mitattavaan nesteeseen. Ne soveltuvat erinomaisesti veden pinnan mittaukseen, mutta anturiin haitallisesti vaikuttavien, esimerkiksi syövyttävien kemikaalien mittaukseen itse mitattavaan nesteeseen upotettava anturi ei välttämättä sovellu.

Ultraääniaaltojen avulla tapahtuva sademäärän mittaaminen perustuu ultraäänietäisyysmittarin käyttöön veden pinnan määrittelyssä. Etäisyysmittari koostuu tavallisimmin pienestä kaiuttimesta ja mikrofonista. Kaiutin lähettää ultraääniaallon, joka kimpoaa takaisin anturin mikrofoniin veden pinnasta. Mittaamalla ääniaallon kuluaika saadaan selville etäisyys. (Gems Sensors & Controls [Viitattu 24.3.2014].)

Kellukkeen käyttö sademäärän mittaamiseen edellyttää mekaanisen koneiston rakentamista mittaukseen varten. Mitattavassa nesteessä kelluvan kohon liike muunnetaan vipukoneiston sekä esimerkiksi analogisen tai digitaalisen potentiometrin tai optisen lukijan avulla mittauksiksi. Mittaustapa on yksinkertainen, mutta edellyttää herkkäliikkeisen koneiston ollakseen luotettava ja toistettavissa oleva. (Apollo Co., Ltd [Viitattu 30.1.2014].)

### **2.1.2 Lämpötilan mittaaminen**

Lämpötila ilmoitetaan käyttäen lämpötila-asteikkoja, jotka voidaan jakaa kahteen lämpötila-asteikkotyyppiin eli suhteelliseen ja absoluuttiseen lämpötila-asteikkoon. Suhteelliset lämpötila-asteikot ovat empiirisiä, sillä yleensä kaksi sen lämpötiloista on määritetty niin sanottujen referenssipisteiden avulla. Referenssipisteet on valittu olemaan sellaisia lämpötiloja, jotka ovat olleet kenen tahansa helppo järjestää ja mitata. Tällaisia voivat olla esimerkiksi veden jäätyms- ja kiehumispisteet. Suh-

teellisiä lämpötila-asteikkoja ovat esimerkiksi Celsius- ja Fahrenheit-asteikko. Absoluuttisissa lämpötila-asteikoissa on asteikon nollapiste valittu absoluuttiseksi nollapisteksi. Yleisin käytössä oleva absoluuttinen lämpötila-asteikko on Kelvin-asteikko. Suomessa lämpötiloja ilmoitetaan Celsius-asteikon avulla, joten projektissa toteutettava sääasemassa lämpötilat tullaan ilmoittamaan Celsius-asteikolla. (Rantala 1999.)

Lämpötilaa voidaan mitata esimerkiksi resistiivisen anturin tai termoelementtian turin avulla. Termoelementti on anturi, joka synnyttää jännitettä. Jännitteen suuruus muuttuu lämpötilan muuttuessa. Tämän perusteella termoelementtian turin avulla voidaan mitata lämpötila. Lämpötilaa voidaan myös mitata resistiivisen anturin avulla. Resisttiivinen anturi perustuu resistanssin muutoksen lämpötilan muuttuessa. Resisttiivinen anturi on usein tarkempi lämpötilan mittaamisessa kuin termoelementtian tური. Resisttiiviset anturit tehdään usein platinasta, sillä platinan resistanssin muutos on lineaarinen lämpötilan muutoksen suhteen. (JMS Southeast, Inc [Viitattu 4.12.2013].)

Tällä hetkellä markkinoilla on saatavilla useita erilaisia lämpötiloja mittaavia antureita. Sääaseman käytännön toteutuksessa lämpötila saadaan digitaalisena tietona Boschin BMP-085-paineanturilta, jossa on lämpötilan mittaus sisäänrakennettuna.

### **2.1.3 Ilmanpaineen mittaaminen**

Säätieteessä ilmanpaine on pinta-alayksikköä vastaan kohdistuva kohtisuora voima, joka aiheutuu sen yläpuoliseen ilmapilariin vaikuttavasta painovoimasta. Voidaan siis todeta, että ilmanpaine kuvaa ilmakehän painoa. SI-järjestelmässä paineesta käytetään Pascal-yksikköä, Pa. Säätieteessä ilmanpaineen yksikkönä puolestaan käytetään usein hehtopascalaita, hPa. Tämä tarkoittaa sitä, että yksi hehtopascal on sama asia kuin sata pascalia. (Karttunen [Viitattu 2.12.2013]; Ilmatieteen laitos 2014a.)

Ilmanpaineen mittaamiseen käytettävästä laitteesta käytetään nimitystä ilmapuntari eli barometri. Barometreissä ilmanpaineen mittaamiseen voidaan käyttää joko vet-

tä, elohopeaa tai digitaalista paineanturia. Esimerkiksi Ilmatieteen laitos mittaa ilmanpainetta usean verkkoon liitetyn digitaalisen paineanturin avulla, ja antureilta saatavan tiedon perusteella Ilmatieteen laitos voi luoda erilaisia säädiagrammeja ja ennustaa tulevaa säätä. (Karttunen [Viitattu 2.12.2013]; Ilmatieteen laitos 2014a.)

Ilmanpaineen ja sen muutosten avulla voidaan ennustaa säätä, mutta ilmanpaineen sään ennustamisessa kannattaa ottaa myös huomioon vuodenaika, koska matala- ja korkeapaineet vaikuttavat hiukan eri lailla. Ilmanpaineen laskiessa voidaan ennakoida matalapainetta, joka yleensä enteilee niin sanottua huonoa säätä eli sää voi olla pilvistä, sateista ja joskus jopa myrskyistä. Ilmanpaineen noustessa voidaan ennakoida korkeapainetta, josta yleensä seuraa niin sanottua hyvää säätä eli sää alkaa parantua ja kirkastua. (Ilmatieteen laitos 2014a.)

Perinteinen tapa mitata ilmanpainetta on ilmapuntari, joka perustuu ilmanpaineen vaihtelun aiheuttamiin muutoksiin nesteessä tai elohopeassa. Ennen mikromekaanisia antureita yleinen tapa mitata painetta olivat aneroidiin, suljettuun paineastiaan, perustuvat ilmapuntarit. Aneroidia ympäröivän ilmanpaineen vaihdellessa sen koko muuttui. Koon muutos välitettiin mekaanisella koneistolla joko mittarin asteikolla olevalle viisarille tai laitteistolle, joka välittää tiedon sähkömekaanisesti eteenpäin. Verrattain tunnettu sovellus aneroidiin pohjautuvasta painemittarista ovat lentokoneissa käytetyt mekaaniset korkeusmittarit. (Karttunen [Viitattu 2.12.2013])

Muiden mekaanisten antureiden tavoin koneistolta edellytetään tarkkuutta ja korkeaa laatua, jotta mittaustulos olisi luotettava ja toistettavissa oleva. Se tekee mittarit arvokkaiksi ja toisaalta myös kookkaiksi. Mikromekaanisten MEMS-antureiden kehitys viime vuosina on johtanut aneroidipohjaisten antureiden väistymiseen elektronisissa sovelluksissa. Tilalle ovat tulleet mikromekaniikkaan pohjautuvat anturit, jotka ovat paitsi tarkkoja ja luotettavia, mutta edullisia. Anturit sisältävät itsessään usein mikroprosessorin, joka käsittelee mittaustiedon helposti sovellettavaan muotoon. Tiedonsiirto tapahtuu usein digitaalisesti. Sääasema-projektiin valittiin edullinen ja yleinen Boschin valmistama digitaalinen BMP085-paineanturi, joka tuottaa sääasemalle myös lämpötilatiedon. (Robert Bosch Oy 2008.)

#### 2.1.4 Ilmankosteuden mittaaminen

Ilmassa olevaa vesihöyryä sanotaan säätieteessä ilmankosteudeksi. Ilmankosteutta ei tavallisesti voi havaita näkemällä tai tuntemalla. Ilmassa olevan vesihöyryn määrään vaikuttaa myös ilman lämpötila eli mitä korkeampi lämpötila ilmalla on, sitä enemmän se pystyy sisältämään vesihöyryä. (Ilmatieteen laitos 2014b.)

Ilmankosteutta voidaan mitata erilaisten suureiden avulla, mutta yleisin niistä on suhteellinen kosteus. Suhteellinen kosteus on prosenttiluku, jolla ilmaistaan ilmassa olevan vesihöyryn määrä suhteessa siihen, mitä kyseisessä ilman lämpötilassa voi olla enimmillään vesihöyryä. Esimerkiksi utuisessa säässä suhteellinen kosteus ylittää 70 prosenttia ja sumuisessa säässä 90 prosenttia. Suhteelliseen kostearvoon vaikuttavat myös vuorokauden aika ja vuodenaika. (Ilmatieteen laitos 2014b.)

Koska ilmanpaineen tavoin myös kosteuden mittaaminen on perusta sään ennustamiselle, erilaisia mittalaitteita kosteuden mittaamiseen on kehitetty aina mekaanisista vanhanaikaisista antureista sähköisiin. Mekaaniset anturit perustuvat esimerkiksi mittarissa olevaan kosteuteen reagoivasta materiaalista valmistetun liuskan muodonmuutokseen. Vesihöyryn haihtumiseen perustuva mittaus on ollut perinteisesti sään ennustamisessa käytetty menetelmä, mekaanista menetelmää paremman tarkkuuden vuoksi. (Ilmatieteen laitos 2014b.)

Sääaseman käyttöön tulee valita sähköinen anturi, jonka mittausväli on 0–100 prosenttia. Ilmankosteuden sähköiseen mittaamiseen olevista kosteusantureista sopivimpia olisivat resistiivinen tai kapasitiivinen kosteusanturi. Resistiivinen kosteusanturi perustuu usein antureissa käytettyjen suolojen tai sähköä johtavien polymeerien resistanssin muuttumiseen kosteuden muuttuessa. Resistanssin muutoksesta voidaan laskea ilmankosteus. Kapasitiivinen anturi mittaa dielektrisyysvaihion muuttumista anturin valmistusmateriaaleissa kosteuden muutoksen suhteen. (Roveti 2001; Padfield [Viitattu 18.12.2013]; Yankee Environmental Systems, Inc. 2006.)



### 2.1.5 Tuulen nopeuden mittaaminen

Sääaseman tulee mitata myös tuulen nopeutta ja suuntaa. Tuulen nopeutta mitataan anemometrillä. Anemometrit voidaan jakaa kahteen eri luokkaan niiden käyttämän mittaustavan perusteella eli nopeusanemometreihin ja paineanemometreihin. Nopeusanemometrin avulla voidaan mitata suoraan tuulen nopeutta. Paineanemometrin avulla mitataan tuulen aiheuttamaa ilmanpainetta. (Logic Energy Ltd. [Viitattu 10.1.2014].)

Nopeusanemometrit voidaan jakaa tuulimyllyn tapaisiin propellianemometreihin, akustisiin anemometreihin sekä kuppi-, kuumalanka- ja laser-Doppler-anemometreihin. (Logic Energy Ltd. [Viitattu 10.1.2014].)

Kuppianemometri rakentuu kolmesta tai neljästä puolipallon muotoisesta kupista, jotka on liitetty kolmeen tai neljään vaakasuoraan varteen. Varret kiinnittyvät pystysuoraan varteen samansuuruisissa kulmissa toisiinsa nähden. Mistä tahansa suunnasta kohdistuva vaakasuora ilmavirta pyörittää kuppeja, joka on verrannollinen tuulen nopeuteen, ja tästä saadaan laskettua tuulen nopeus. (Logic Energy Ltd. [Viitattu 10.1.2014].)

Propellianemometrissä akselin on oltava vaakasuoraan, jotta se olisi tuulen suuntaisesti. Tuulen suunnan vaihdellessa akselin täytyy pystyä seuraamaan tuulen suunnan muutoksia. Propellianemometrissä hyödynnetään potkuri ja peräsin – yhdistelmää samalla akselilla, tämän avulla saadaan tarkka tuulen suunta ja tuulen nopeus samalla laitteella. (HowStuffWorks, Inc. 2010; Logic Energy Ltd. [Viitattu 10.1.2014].)

Kuumalanka-anemometrissä käytetään hyvin ohutta metallijohtoa, joka on vain noin muutaman mikrometrin paksuinen. Lanka lämmitetään tiettyyn ennalta määrättyyn lämpötilaan, joka on ympäristöä lämpimämpi. Ilmavirta viilentää johdinta, kun ilmavirta virtaa langan ohitse. Koska useimmilla metalleilla resistanssi riippuu metallin omasta lämpötilasta, johtimen oman resistanssin ja ilmavirran luoman viilentymisen avulla voidaan määrittää tuulen nopeus. (Logic Energy Ltd. [Viitattu 10.1.2014].)

Laser-Doppler-anemometrissä hyödynnetään lasersädettä. Lasersäde jaetaan kahteen eri lasersäteeseen, joista toinen lasersäde lähetetään ulos laser-Doppler-anemometrissä. Kun lasersäde tulee ulos laser-Doppler-anemometrissä, ilmamolekyylit sirottavat valoa takaisin laitteeseen. Laitteen sisälle sirottu valo menee detektoriin. Detektori mittaa sisään tulevan valon suhteessa alkuperäiseen lasersäteeseen. Liikkuvista ilmamolekyyleistä aiheutuu lasersäteeseen niin sanottu Doppler-ilmiö. Tämän avulla voidaan määrittää ilmamolekyylien nopeus. (Dantec Dynamics A/S [Viitattu 10.1.2014].)

Akustinen anemometri hyödyntää ultraääniäaltoja tuulen suunnan ja nopeuden mittauksessa. Akustisen anemometrin avulla voidaan tehdä mittauksia tarkkoja mittauksia joka suunnalta kääntämättä itse anemometriä. (Logic Energy Ltd. [Viitattu 10.1.2014].)

Tuulen nopeutta havaitseva sähköinen anturi voi myös samalla havaita tuulen suunnan. Tuulen nopeutta ja suuntaa havaitseva anturi tulisi sijoittaa yleensä korkealle paikalle, jotta anturilla havaittava tieto tuulen suunnasta olisi mahdollisimman tarkkaa. Hyvä esimerkki tällaisesta tuulen nopeutta ja suuntaa mittaavasta elektronisesta anturista on Vaisalan tuulianturi mallia WM30. (Ilmatieteen laitos 2014d; Vaisala Oyj [Viitattu 16.1.2014].)

### **2.1.6 Tuulen suunnan mittaaminen**

Säätieteessä tuulen suunnaksi kutsutaan suuntaa, josta tuuli puhaltaa kohti havaitsijaa tai anturia. Tuulen suuntaa mitattaessa voidaan käyttää mekaanista tai elektronista anturia. Perinteinen esimerkki mekaanisesta anturista on tuuliviiri, josta voidaan katsomalla havaita tuulen suunta. Jotta automaattinen sääasema voisi havaita tuulen suunnan, tulee tuuliviirin asentotieto saattaa sähköiseen muotoon sähköisellä asentotunnistimella. (Ilmatieteen laitos 2014d.)

Tuulen suuntaa mittaava anturi tulisi sijoittaa mahdollisimman korkealle paikalle, jotta mitattu tieto tuulen suunnasta olisi luotettava. Mittausta vääristää tuulen suunnan muuttuminen esimerkiksi rakennusten, puiden tai maan pinnan aiheuttamien ilmanpyörteiden vuoksi. (Ilmatieteen laitos 2014d.)

Tuulimittarit ovat useimmiten yhdistelmämittareita, jotka sisältävät sekä tuulen suunnan että nopeuden mittauksen. Sääasemaa varten soveltuva sähköinen tuulimittari on esimerkiksi Vaisalan WM30. (Vaisala Oyj [Viitattu 16.1.2014].)

### **2.1.7 Valoisuuden ja UV-säteilyn mittaaminen**

Säätieteessä voidaan mitata valoisuuden ja ultraviolettisäteilyn määrää. Valoisuuden voimakkuutta mitataan lukseilla: aurinkoisena kesäpäivänä valaistusvoimakkuus on noin 10 000 luksia ja pilvisenä kesäpäivänä valaistusvoimakkuus on noin 100–1000 luksia. Talvella valoisuus riippuu lumiolosuhteista, koska lumi heijastaa 80–90 prosenttia saapuneesta valosta. Valoisuuden määrä siis kaksinkertaistuu talvella. (Ilmatieteen laitos 2014e.)

Suomessa on käytössä UV-indeksi, jonka avulla arvioidaan ultraviolettisäteilyn voimakkuutta ja vaarallisuutta ihmiselle. UV-indeksi ilmaisee auringon haitallisen ultraviolettisäteilyn määrää yhdellä numerolla. Esimerkiksi UV-indeksi kaksi ilmaisee ultraviolettisäteilyn voimakkuuden heikoksi, mutta UV-indeksi neljä kertoo ultraviolettisäteilyn voimakkuuden olevan kohtalaista ja vaativan jonkinlaista suojautumista ultraviolettisäteilyä vastaan. (Ilmatieteen laitos 2014f.)

Valoisuuden ja auringon haitallisen ultraviolettisäteilyn määrän mittaus voidaan suorittaa esimerkiksi UV-herkän LDR-valovastuksen avulla. LDR-valovastuksen toiminta perustuu resistanssin muutokseen eli resistanssin arvo muuttuu riippuen anturiin kohdistuvasta valon voimakkuudesta. LDR-valovastuksen resistanssi kasvaa pimeässä ja pienenee valossa. (Poole [Viitattu 8.2.2014].)

## **2.2 Mikrosuorittimeen perustuvan laitteiston käyttö säähavaintoihin**

Sääasemaa ei voi rakentaa pelkästään analogisista ja digitaalisista antureista, koska anturit eivät toimi ilman niitä ohjaavaa mikrosuoritinta. Mikrosuoritin voidaan käsittää laitteen aivoina. Se lukee ja ohjaa antureita, prosessoi niiltä saadut mittaukset vaaditulla tavalla, ohjaa laitteiston toimintaa ja tuottaa näin laitteelta vaaditun toiminnallisuuden. Mikrosuorittimet mielletään usein pienitehoisiksi, vä-

hän virtaa kuluttaviksi, usein omaa ohjelmamuistia sisältäviksi piireiksi, joiden kapasiteetti, oheislaitteet ja toiminnot vaihtelevat mallista ja käyttötarkoituksesta riippuen. Esimerkkejä mikrosuorittimista ovat esimerkiksi Atmelin 8-bittinen AVR-suoritinperhe, Microchipin PIC-suoritinperhe sekä monipuolisemmat ja tehokkaammat 32-bittiset ARM-suorittimet. Nämä tehokkaammat suorittimet mahdollistavat muun muassa sulautetun Linuxin tai Windows CE:n käytön. Käyttöjärjestelmä mahdollistaa laitteiston ohjaamisen ja mittaustiedon tarkastelun esimerkiksi Internetin kautta käyttöjärjestelmässä suoritettavan HTTP-palvelimen avulla. (Arduino SA [Viitattu 24.3.2014]; Arduino SA [Viitattu 25.3.2014]; Arduino SA [Viitattu 26.3.2014]; Hutasu.net [Viitattu 11.2.2014].)

### **2.2.1 Arduino ja AVR**

Arduino on Atmelin 8-bittiseen AVR-suorittimeen pohjautuva sovelluskehitysalusta. Arduino on avoimen lähdekoodin yhteisöprojekti, jonka tavoitteena oli tuottaa helppokäyttöinen ja helposti lähestyttävä nopean ohjelmistokehityksen mahdollistava ympäristö kehitystyökaluineen. Arduinon nopea ohjelmistokehitys perustuu helppokäyttöiseen kehitysympäristöön sekä valmiisiin, kattavat laitteistoläheiset toiminnot toteuttaviin kirjastoihin. (Arduino SA [Viitattu 24.3.2014]; Arduino SA [Viitattu 25.3.2014]; Arduino SA [Viitattu 26.3.2014].)

Arduino soveltuu laitteistoläheisen toiminnallisuuden toteuttamiseen, esimerkiksi sulautetun elektroniikan projekteihin. Arduinon käyttöä monimutkaisiin sovelluksiin rajoittaa kuitenkin sen alhainen laskentateho ja vähäinen muistikapasiteetti.

### **2.2.2 Raspberry Pi**

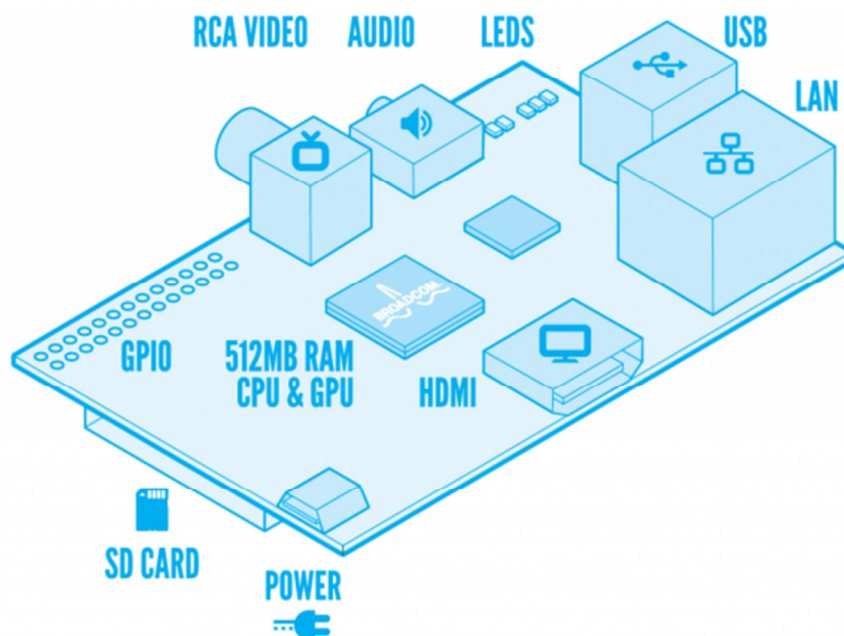
Raspberry Pi on Raspberry Pi Foundationin kehittämä edullinen yhdellä piirikortilla toteutettu Linux-tietokone. Raspberry Pi kehitettiin vastaamaan tarpeeseen edullisesta, helppokäyttöisestä sulautetun elektroniikan laitteesta, jota voitaisiin käyttää muun muassa opetuskäytössä, sekä erilaisten prototyyppien kehittelyssä. Arduinosta poiketen Raspberry Pi sisältää verrattain tehokkaan 32-bittisen ARM 11 –

suorittimen, joka mahdollistaa esimerkiksi sulautetun Linuxin ajamisen kortilla. (Raspberry Pi Foundation [Viitattu 25.3.2014].)

Raspberry Pi ei ole ensimmäinen yhden kortin Linux-tietokone. Aiempia vastaavia projekteja ovat olleet muun muassa Texas Instrumentsin tukema Beagle Board sekä Raspberry Pin kanssa samoihin aikoihin julkaistu Beagle Bone. ARM Cortex A8:aan pohjautuvat laitteet ovat paitsi Raspberry Pitä tehokkaampia, myös paljon arvokkaampia, minkä ansiosta noin kolmanneksen maksava Raspberry Pi yleistyi harrastajien keskuudessa nopeammin. (BeagleBoard.org [Viitattu 25.3.2014].)

Raspberry Pin helppokäyttöisyyden mahdollistaa paitsi hyvä ohjelmistotuki, myös se, että kortti sisältää perinteisen pöytätietokoneen toiminnallisuuden näyttö- ja oheislaiteliitäntöineen, jotka on esitetty kuviossa 1. Laitteen käyttöjärjestelmä, Debian Linuxiin pohjautuva Raspbian, on ladattavissa muistikortille tallennettavana levykuvana Internetistä. Levykuvan muistikortille kirjoittamisen jälkeen laite on käyttövalmis. (Raspberry Pi Foundation [Viitattu 25.3.2014].)

## RASPBERRY PI MODEL B



Kuvio 1. Raspberry Pi (Raspberry Pi Foundation [Viitattu 25.3.2014])

## 3 SÄÄASEMAN KÄYTÄNNÖN TOTEUTUS

Opinnäytetyön toteutusosuus käsittelee sääasemaan valittua toteutustapaa, osien valintaperusteita ja laitteiston fyysistä rakennetta. Osiossa kerrotaan myös sääasemaan liittyvistä sovelluksista, joiden avulla sääasema saa informaatiossa ja toimittaa sen eteenpäin palvelimelle. Viimeinen toteutusosion kohta sisältää sääasemalla saatuja mittaustuloksia.

### 3.1 Komponenttien valinta

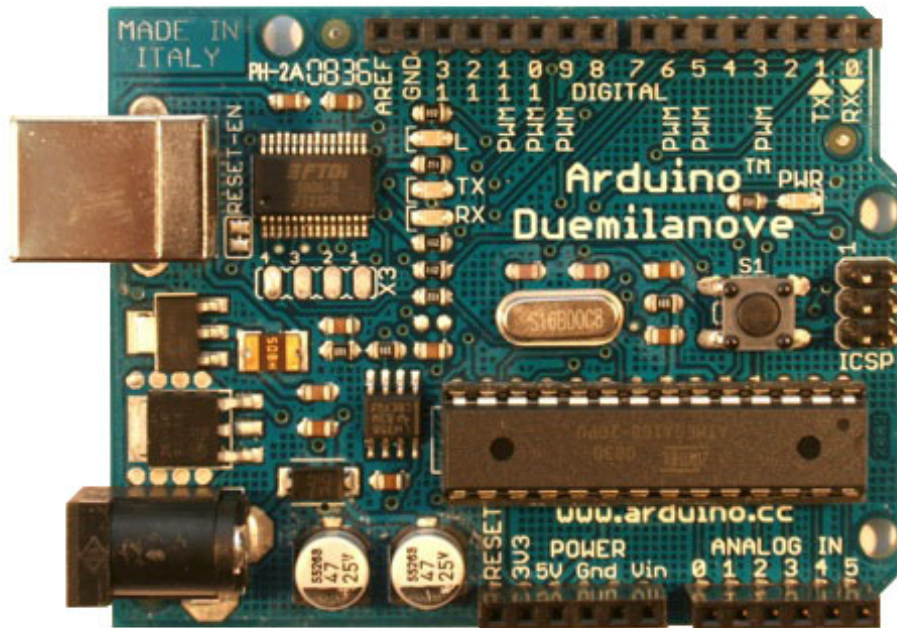
Sääasemassa käytettyjen komponenttien valintakriteereinä olivat soveltuvuus tarkoituksiin, edullinen hinta, helppo saatavuus ja jo olemassa olevien ohjelmaesimerkkien saatavuus nopea ohjelmistokehitys silmälläpitäen.

#### 3.1.1 Arduino

Arduino-mikrosuoritinta käytetään sääaseman laitteistoläheisen toiminnallisuuden toteuttamiseen. Tällä tarkoitetaan antureiden lukemista, saadun mittaustiedon käsittelyä ja välittämistä eteenpäin sarjamuotoisena datana.

Arduino-mikrosuorittimen käyttöä sääaseman toteutuksessa puoltaa sen helppo saatavuus, helppokäyttöisyys ja edullinen hinta. Arduinon helppokäyttöinen kehitysympäristö, mahdollisuus ladata käännetty ohjelmakoodi kortille suoraan USB:n yli sekä valmiit laitteistoläheisen toiminnallisuuden toteuttavat ohjelmakirjastot mahdollistavat nopean sovelluskehityksen ja prototyypin valmistuksen. Koska Arduino on vapaassa levityksessä oleva laitteisto ja ohjelmisto, sen tuki jatkuu pitkälle tulevaisuuteen.

Projektiin valittiin käytettäväksi Arduino Duemilanove kuviossa 2. Se sisältää Atmelin ATMEGA 328 P –suorittimen, joka tarjoaa käytettäväksi kuusi analogista liitäntää, 14 digitaalista liitäntää, joista kuusi tukee laitteistopohjaista pulssinleveysmodulointia. Arduinossa on myös yksi sarjaportti. Arduinon liitännät ovat riittävät sääaseman toteuttamista varten. (Arduino SA [Viitattu 26.3.2014].)



Kuvio 2. Arduino Duemilanove (Arduino SA [Viitattu 26.3.2014])

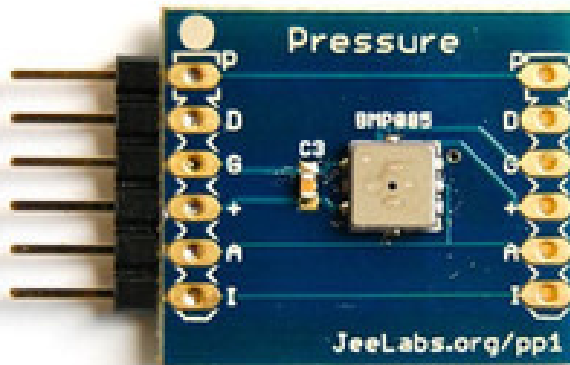
### 3.1.2 Raspberry Pi

Koska sääaseman haluttiin tuottavan mittaustulokset web-sivulle, sulautetun Linux-tietokoneen käyttö projektissa oli tarpeen. Vaikka Arduino pystyy kommunikoimaan Ethernetin välityksellä sille saatavien lisämodulien avulla, ei 8-bittisen suorittimen laskentateho ole välttämättä kaikkiin toivottuihin toiminnallisuuksiin riittävä. Markkinoilla olevista eri vaihtoehdoista sulautetuksi yhden kortin tietokoneeksi valittiin Raspberry Pi sen laajan ohjelmistotuen, edullisen hankintahinnan ja hyvän saatavuuden vuoksi. Raspberry Pistä on saatavilla kahta mallia, joiden sisältämä RAM-muistin määrä vaihtelee. Projektissa käytetty kortti on mallia B, jossa on 512 megatavun RAM-muisti.

### 3.1.3 Ilmanpaineen ja lämpötilan mittaus

Ilmanpaine on yksi tärkeimmistä suureista säähavaintojen kannalta. Sen havainnointiin valittiin Boschin valmistama, BMP085-ilmanpaineanturi kuviossa 3. I2C-väyläinen anturi sisältää ilmanpainemittauksen ohella myös lämpötilamittauksen.

Koska harrastajat käyttävät paljon BMP085-anturia esimerkiksi miehittämättömissä pienoisilma-aluksissa ja lennokeissa, sen käyttöönotto Arduinon kanssa on helppoa, koska laitteistoläheiset toiminnallisuudet toteuttavat ohjelmakirjastot on saatavissa valmiina.



Kuvio 3. BMP085-anturi (Wippler [Viitattu 25.3.2014])

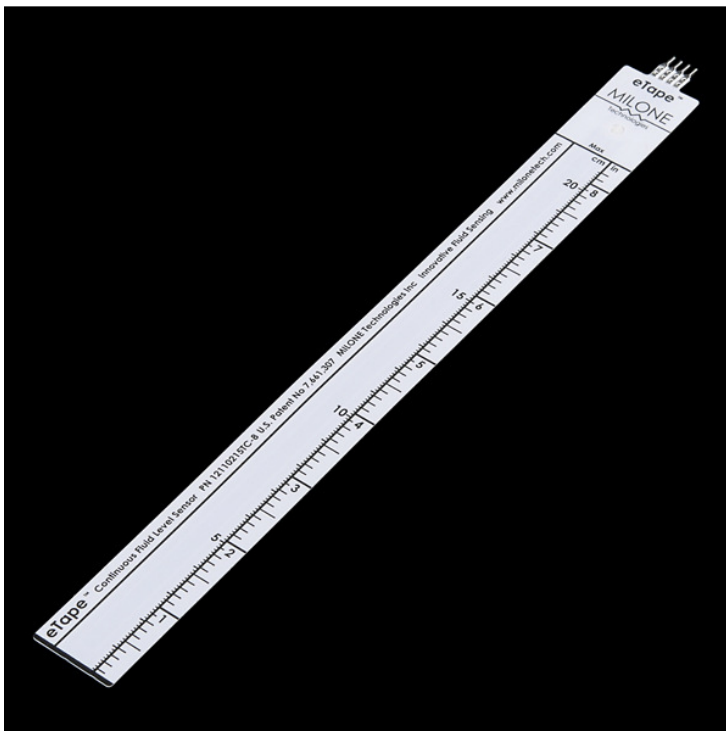
Anturi kykenee mittaamaan ilmanpaineen 300–1100 hehtopascalin välillä, joka vastaa 9000 metriä merenpinnan yläpuolella ja 500 metriä merenpinnan alapuolella. Anturin tarkkuus riippuu lämpötilasta, mutta se on heikoimmillaan  $\pm 4$  hehtopascalia, tyypillisesti  $\pm 1,5$  hehtopascalia lämpötilavälillä  $-20$ – $0$  celsiusastetta ja  $\pm 1$  hehtopascalia välillä  $0$ – $60$  celsiusastetta. Anturin tarkkuus ja mittausalue ovat riittävät säähavaintoja varten. Anturin toimintalämpötila on välillä  $-40$ – $85$  celsiusastetta, mutta täysi tarkkuus saavutetaan  $0$ – $65$  asteen välillä. Lämpötilamittauksen tarkkuus on heikoimmillaan  $\pm 2$  celsiusastetta. (Robert Bosch Oy 2008.)

Anturi on koteloitu LCC8-koteloon, jonka juotospinnat sijaitsevat anturin alapuolella. Koska tällä tavalla koteloitu komponentti on haastava käsiteltävä ilman asianmukaisia valmistusmenetelmiä, anturi päädyttiin hankkimaan piirikortille valmiiksi kytkettynä tuotteena. Piirikortille asennettu anturi oli edellytys prototyypin valmistusta ja testausta varten. Prototyypissä käytetty BMP085-anturin sisältämä kortti on JeeLabsin Pressure Plug. (Wippler [Viitattu 25.3.2014].)



### 3.1.4 Sademäärän mittaus

Sademäärän mittaaminen on yksi tärkeimmistä sääaseman ominaisuuksista. Sademäärän mittaamista varten valittiin Milone Technologiesin valmistama eTape- nestetasoanturi kuviossa 4. ETape-nestetasoanturi on analoginen anturi ja tämän vuoksi se on liitetty Arduino Duemilanoven analogiseen sisääntuloon. Koska eTape on analoginen anturi, riippuvat havaintojen arvot jatkuvasti mitattavan suureen arvosta. ETape on resistiivinen anturi, jonka resistanssi muuttuu suhteessa nesteen korkeuden kanssa. ETape-nestetasoanturin resistanssi on sitä korkeampi, mitä vähemmän nestettä on mitattavassa astiassa. (Milone Technologies [Viitattu 26.3.2014]; SparkFun Electronics [Viitattu 30.1.2014].)



Kuvio 4. eTape-anturi (SparkFun Electronics [Viitattu 30.1.2014])

Anturi pystyy mittaamaan nesteen korkeuden välillä 0–8,4 tuumaa, joka vastaa 0–21,3 senttimetriä. Anturin erottelutarkkuus on alle 0,25 millimetriä. Anturia voidaan käyttää -9–65 celsiusasteen välillä olevassa lämpötilassa. (Milone Technologies [Viitattu 26.3.2014].)

Anturin erottelutarkkuus heikentyy, mikäli anturi ei ole täsmälleen suorassa. Tämän vuoksi anturi on liitetty astian reunaan kiinni kohtisuoraan pohjaan nähden. Tällä tavalla saadaan anturista tarkka mittaustulos.

### **3.1.5 Mitta-astia ja sen tyhjennys**

Sademäärän mittaamiseen tarvitaan mitta-astia, joka on muovista valmistettu kevyt astia. Koska mitta-astia halutaan tyhjentää automaattisesti kerran vuorokaudessa, sen tyhjentämistä varten kehiteltiin erilaisia tyhjennyskeinoja. Sääasemaa varten valittu tyhjennyskeino on liittää servo mitta-astian kylkeen kiinni ja sen avulla tyhjentää astia kerran vuorokaudessa.

Servoksi valittiin edullinen ja kevyt Tower Pron valmistama SG90-servo. Servon paino on 9 grammaa ja johtojen kanssa servo painaa 10,6 grammaa. SG90-servon maksiminopeus ilman lastia on 60 astetta 0,12 sekunnin aikana. SG90-servoa käytetään pääasiallisesti radio-ohjattavissa pienoismalleissa sekä robotiikassa. Servon ohjaus tapahtuu pulssinleveysmoduloidulla signaalilla, joka tuotetaan Arduino Duemilanovella. (HobbyPartz.com [Viitattu 26.3.2014].)

### **3.1.6 Muut sääasemaan suunnitteilla olevat anturit**

Sääasemaa suunniteltiin mittaamaan myös ilmankosteutta, valoisuuden voimakkuutta, tuulen suuntaa ja nopeutta. Kaikkia edellä mainittuja sääilmiöitä varten tutkittiin erilaisia mittaustapoja ja antureita.

Ilmankosteuden mittaamista varten suunniteltiin käytettäväksi Hope Microelectronicsin valmistamaa helppokäyttöistä HH10D-ilmankosteusanturia. HH10D on digitaalinen anturi, joka käyttää I2C-väylää, minkä ansiosta se olisi helppo kytkeä Arduino Duemilanoveen. HH10D:n tarkkuus on +/-3 prosenttia ja mittausalue on 0–99 prosenttiin. HH10D toimii moitteettomasti -10–60 celsiusasteen lämpötilavälillä. (Hope Microelectronics Co., Ltd 2010.)

Sääasemaan suunniteltiin valoisuuden voimakkuuden mittaamista varten käytettäväksi Silonexin valmistama edullinen NORPS-12-valovastus. NORPS-12-

valovastuksen toimintaväli on 5,4–12,6 kilo-ohmia. NORPS-12-valovastus toimii -60–75 celsiusasteen lämpötilavälillä. (Silonex Inc [Viitattu 26.3.2014].)

Tuulen nopeuden ja suunnan mittaamista varten suunniteltiin käytettäväksi Vaisalan valmistamaa VM30-tuulianturia. VM30-tuulianturin tarkkuus on alle kymmenen metriä sekunnissa olevissa tuulen nopeuksissa +/-0,3 metriä sekunnissa ja yli kymmenen metriä sekunnissa olevissa tuulen nopeuksissa alle +/-2 prosenttia. VM30-tuulianturin mitta-alue on 0,5–60 metriä sekunnissa. (Vaisala Oyj [Viitattu 16.1.2014]; Vaisala Oyj [Viitattu 26.3.2014].)

## **3.2 Mekaaninen rakenne**

Tässä luvussa käsitellään sääaseman fyysistä rakennetta ja elektronisten laitteiden suojaamista ulkona vallitsevissa sääolosuhteissa. Elektroniset laitteet ovat usein herkkiä esimerkiksi sadevedelle ja kosteudelle, joten niiden koteloitua ja sijoittelua pitää harkita tässä tilanteessa huolellisesti. Elektroniset laitteet tarvitsevat toimiakseen myös virtalähteen, joka antaa tietyt vaatimukset sääaseman sijoittelulle.

### **3.2.1 Sääaseman ja antureiden kotelointi**

Herkän elektroniikan asentaminen ulkotiloihin säälle alttiiksi edellyttää koteloinnilta säänkestävyyttä. Sähköisten laitteiden sijoituksessa ulkotiloihin suurin ongelma on kosteus. Sadevesi ja kosteuden muodostuminen tulisi välttää kaikin keinoin luotettavan toiminnan takaamiseksi. Myös komponenttien toimintalämpötilarajoitukset tulee ottaa huomioon laitetta koteloidessa.

Vaihtoehtona on sijoittaa koko sääaseman elektroniikat, tai vain sen tarvitsemat anturit, ulkotiloihin. Pienien antureiden kotelointi säänkestävästi on helpompaa kuin kokonaisen laitteiston, mutta esimerkiksi paineanturin tapauksessa tulee huomioida, että anturin on oltava kosketuksissa ilman kanssa. Ilmatiiivis kotelointi esimerkiksi uretaaniin tai epoksiin valamalla ei näin tule kysymykseen. Boschin BMP085-anturin koteloksi sopii erinomaisesti, esimerkiksi Hammond Manufactu-

ringin valmistama 1551 FL sarjan kotelo BMP085-anturin mittasuhteet ovat 21,1 x 24,1 millimetriä, joten koteloksi sopii 1551NFL-kotelo. 1551NFL-kotelon mittasuhteet ovat 35 x 35 x 15 millimetriä. (Hammond Manufacturing Ltd [Viitattu 27.3.2014]; Lang [Viitattu 27.3.2014 ].)

Nestetasoanturin suojaaminen on toteutettava erilaisella tavalla kuin Boschin BMP085-anturin, koska eTape-nestetasoanturia ei voida suoraan koteloida. eTape-nestetasoanturin suojaaminen tapahtuu siten, että kaapeli on moninapaisesti suojattu, läpivienteihin laitetaan suojaksi kumit ja tämän jälkeen tiivistetään silikonin avulla.

Mikäli sääasema haluttaisiin sijoittaa kokonaisuudessa ulkotiloihin, on kotelointi yksittäisten antureiden kotelointia haastavampaa, kun halutaan ottaa huomioon sekä kosteus että lämpötilan vaihtelut. Kotelointiin on tarjolla kuitenkin useita eri vaihtoehtoja. Koteloksi Arduino Duemilanoven ja Raspberry Pi -tietokoneen suojaamiseksi sopii hyvin esimerkiksi OKW:n valmistama A9020065, jonka mittasuhteet ovat 60 x 120 x 40 millimetriä. Arduino Duemilanoven mittasuhteet ovat 75 x 53,5 x 15 millimetriä ja Raspberry Pin mittasuhteet ovat 85,60 x 53,98 x 17 millimetriä. Tämän vuoksi A9020065 sopii loistavasti Arduino Duemilanovelle ja Raspberry Pille. (Octopart [Viitattu 27.3.2014].)

### **3.2.2 Virtalähde**

Sääasema on elektroninen laite, joka rakentuu Arduino Duemilanovesta, Raspberry Pi -tietokoneesta ja elektronisista antureista. Elektroniset laitteet tarvitsevat kunnollisesti toimiakseen virtalähteen. Sääasemaa varten pohdittiin erilaisia virtalähdevaihtoehtoja, joita olivat akut, paristot ja seinävirtalähde. Virtalähteen tyyppi vaikuttaa sääaseman sijoittamiseen, ja virtalähteen vaihtaminen tai lataaminen rajoittaa sääaseman käyttöä.

Virtalähteeksi valittiin lopulta seinävirtalähde, koska muussa tapauksessa käyttäjän pitää ladata akut uudestaan ja vaihtaa paristot tietyin väliajoin. Seinävirtalähteen tulee olla myös säänkestävä.

Sääasemassa olevaa Raspberry Pi -tietokonetta varten valittiin edullinen, kolme ampeeria syöttävä viiden voltin säänkestävä seinävirtalähde. Eniten virtaa vievä komponentti sääasemassa on Raspberry Pi -tietokone, jonka kulutus kuormitettuna on 1200 milliampeeria. Arduino liitetään USB:n avulla Raspberry Pi -tietokoneeseen. Arduinon ja siihen liitettyjen antureiden sekä servon arvioitu kulutus on enimmillään 500 milliampeeria. Suurin osa virrasta menee servon käyttämiseen. Kolmen ampeerin edullinen sääsuojattu ja ulkokäyttöön tarkoitettu virtalähde täyttää vaatimukset. Mikäli sääasemaan lisätään antureita tai servo vaihdetaan isompaan, tulee Arduinolle hankkia oma virtalähde.

### 3.3 Ohjelmisto

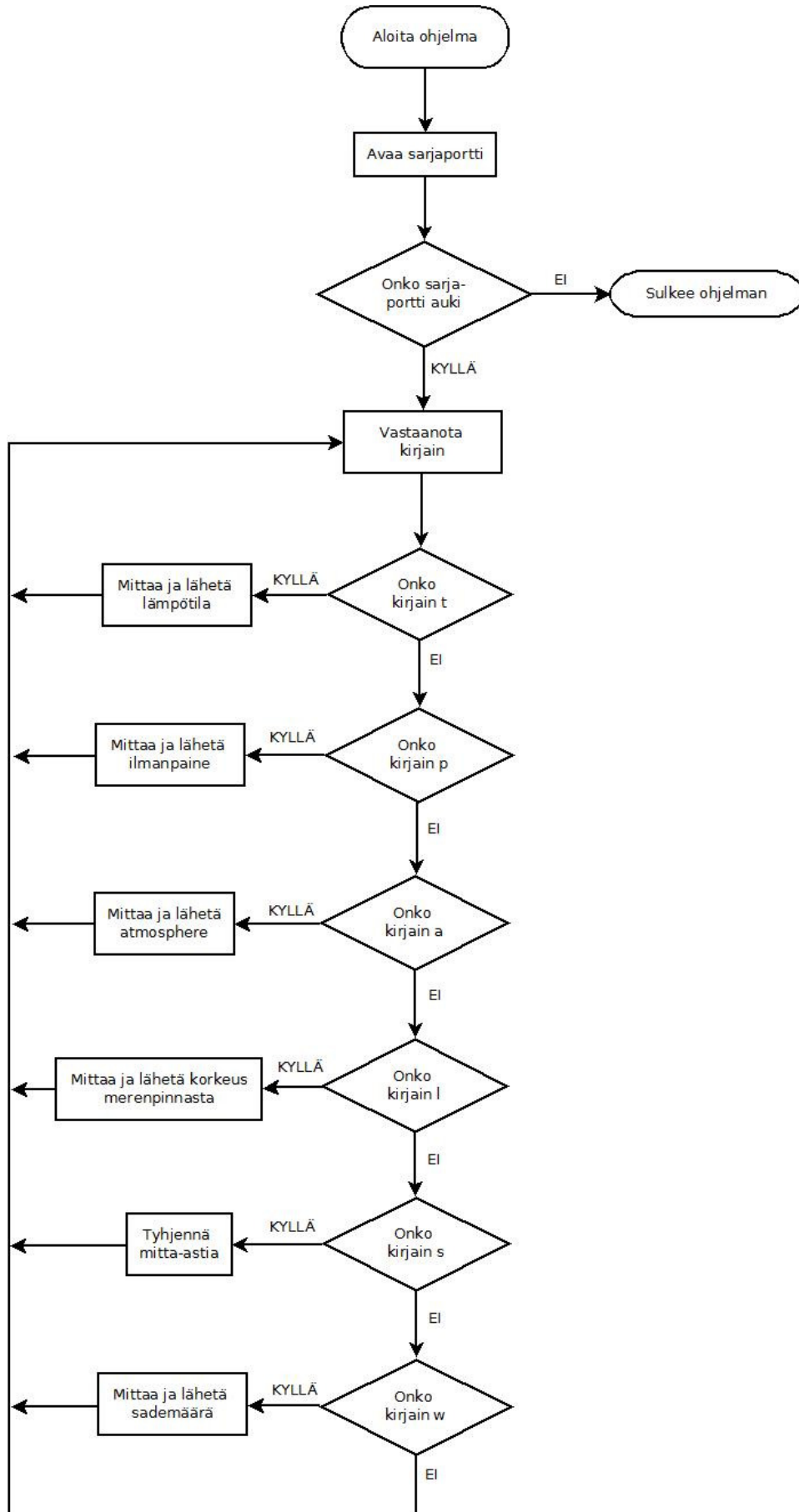
Sääasema tarvitsee toimiakseen sovelluksen, joka lukee antureita ja käsittelee niiltä saatavaa mittaustietoa joko tallennettavaksi tai esitettäväksi käyttäjälle. Myös sadeveden mittausastian tyhjentäminen mittauksen päätteeksi on ohjelman tehtävänä. Sääaseman laitteistoläheinen toiminnallisuus toteutettiin Arduino Duemilanovella, jolle ohjelma laadittiin.

#### 3.3.1 Arduino

Arduinon suorittama ohjelma toteutettiin Arduinon omaa kehitystyökalua käyttäen. Kehitystyökalu käyttää Wiring-ohjelmointikieltä, joka muistuttaa syntaksiltaan C/C++-kieltä. (Arduino SA [Viitattu 24.3.2014].)

Arduinon sovelluksissa on kaksi pääfunktioita, jotka ovat setup- ja loop-funktio. Setup-funktiossa alustetaan laitteen asetukset ja loop-funktiossa toistetaan sovellusta virran sammuttamiseen asti.

Kuviossa 5 oleva sovellus käynnistyy ja avaa sarjaportin. Sarjaportin avauksen jälkeen ohjelma tarkistaa vielä, että onko sarjaportti auki. Mikäli sarjaportti ei jostain syystä ole auennut, ohjelma sulkeutuu. Tämä kaikki kuuluu setup-funktion alaisuuteen, jossa laitteen asetukset alustetaan.



Kuvio 5. Arduinon sovellus

Seuraavana käsitellään loop-funktiossa oleva sovelluksen osuus. Loop-funktion alussa sovellus vastaanottaa kirjaimen, joka tulee palvelimelta. Palvelimelta lähetettävät kirjaimet ovat t, p a, l, s ja w. Vastaanotetusta kirjaimesta riippuen Arduinon sovellus mittaa ja lähettää antureilla mitatun arvon takaisin palvelimelle tai tyhjentää servon avulla sadeveden mitta-astian.

Mikäli antureita lisättäisiin sääasemaan, sovellus muuttuisi vain siten, että vastaanotettavien kirjainten määrä lisääntyisi. Tämän jälkeen lisättäisiin vain uuden anturin informaation lähettäminen palvelimella olevalle verkkosivustolle. Käännettynä Arduinossa oleva sovellus vie 10,18 kilotavua, joka mahtuu hyvin Arduinon 30,72 kilotavun muistiin.

### **3.3.2 Raspberry Pin palvelinsovellus**

Raspberry Pi -tietokoneella suoritetaan palvelinohjelmistoa, jonka avulla ylläpidetään sääaseman verkkosivuja. Palvelimella oleville verkkosivuille ohjelmoitiin kaksi sovellusta, joiden tehtävinä on hallita ja tulostaa sääaseman verkkosivuille antureilta tulevaa informaatiota ja kontrolloida sääaseman mitta-astian tyhjennysservoja. Sääaseman verkkosivut toteutettiin hyödyntäen Web2Py-tekniikkaa ja sovellukset ohjelmoitiin Python-ohjelmointikielellä.

Prosessoitu anturitieto voidaan tallentaa mittausjärjestelmässä tai lähettää eteenpäin sovellukselle, joka esittää tulokset käyttäjälle. Sääaseman tapauksessa tietojen esittäminen käyttäjälle tapahtuu Raspberry Pi -tietokoneen tuottaman verkkosivun kautta.

Sääaseman verkkosivuilla olevat sovellukset ajetaan tietyin väliajoin Cron-sovelluksen avulla. Cron on suorituksenajastussovellus. Antureiden hallinta- ja tulostussovellus suoritetaan Cronin avulla kerran noin parissa sekunnissa ja mitta-astian tyhjennyssovellus ajetaan Cronin avulla kerran vuorokaudessa.

Kuviossa 6 oleva sovellus käynnistyy ja aukaisee sarjaporttiyhteyden. Seuraavaksi sovellus lähettää t-kirjaimen Arduinossa olevalle sovellukselle ja pyytää Arduinoa lähettämään sen hetkisen lämpötilan verkkosivuilla olevaan sovellukseen. Arduinossa oleva sovellus lähettää lämpötilan verkkosivuilla olevalle sovellukselle.

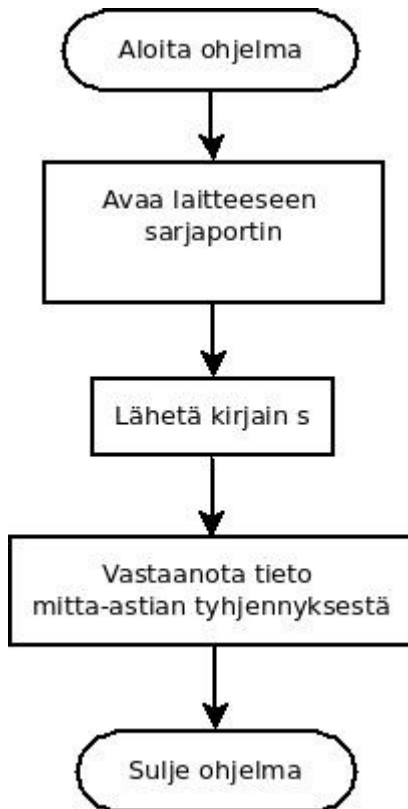
Verkkosivuilla oleva sovellus tulostaa vastaanottamansa informaation näytölle käyttäjän luettavaksi. Tämän jälkeen sovellus lähettää vielä kirjaimet p, a, l ja w, joiden avulla Arduinolta saadaan muut tiedot antureilta, minkä jälkeen tiedot tulostetaan verkkosivuille. Tämän jälkeen sovellus sammuu ja käynnistyy uudelleen Cronin avulla.



Kuvio 6. Raspberry Pin anturisovellus



Kuviossa 7 oleva ohjelma käynnistyy ja avaa sarjaporttiyhteyden. Seuraavana ohjelma lähettää kirjaimen s Arduinossa olevalle ohjelmalle. Arduinossa oleva ohjelma vastaanottaa komennon ja tyhjentää mitta-astian. Mitta-astian tyhjentämisen jälkeen verkkosivuilla oleva ohjelma ilmoittaa, että mitta-astia on tyhjennetty. Tämän jälkeen ohjelma sammuu ja käynnistyy uudelleen Cronin avulla.



Kuvio 7. Raspberry Pin servosovellus

## 4 MITTAUKSET

Tässä luvussa käsitellään sääasemalla tehtyjä mittauksia. Mittaukset tehtiin sisätiloissa ja samalla niiden tarkkuutta verrattiin digitaalisen lämpömittarin ja vanhan aikaisen ilmapuntarin avulla. Myös sademäärää havainnoivan anturin tarkkuus tarkistettiin yksinkertaisesti viivaimen avulla mittaamalla. Mittauksia tehtiin koko projektin aikana paljon, jotta voitaisiin olla varmoja, että laitteet ja sovellus toimivat. Tätä lukua varten valittiin eri kaksi mittauskertaa.

Ensimmäiseksi valittu mittauskerta oli 2.4.2014. Lämpötilaksi sääasema mittasi 23,1 celsiusastetta ja vertailua tekevä digitaalinen lämpömittari mittasi 23,0 celsiusastetta. Sääasema mittasi paineeksi 100 339 pascalia ja ilmapuntarin mittaama arvo oli 100 500 pascalia. Mitta-astiassa olevan veden korkeudeksi sääasema mittasi 50 millimetriä ja viivaimella mitattu korkeus oli 48 millimetriä.

Toinen valittu mittauskerta oli 3.4.2014. Lämpötilaksi sääasema antoi 23,6 celsiusastetta ja vertailua tekevä lämpömittari 23,5 celsiusastetta. Paineeksi sääasema mittasi 100 567 pascalia ja ilmapuntarin mittaama ilmanpaine oli 100 800 pascalia. Mitta-astiassa olevan veden korkeudeksi sääasema antoi 100 millimetriä ja viivaimella veden korkeudeksi mitattiin 99 millimetriä.

Mittauksissa on huomattavissa pieniä virheitä, jotka voivat johtua laitteistosta tai inhimillisestä virheestä. Näiden mittausvirheiden vähentäminen on tärkein jatkokehityksen kohde. Mittavirheiden minimointi voitaisiin tehdä esimerkiksi kompensointitaulukkoa käyttäen. Taulukko olisi sisäänrakennettuna Arduinon ohjelmakoodiin ja sisältäisi vastaavuudet ja korjauskertoimet mitattujen ja todellisten arvojen välille. Taulukon pisteiden väliset arvot voitaisiin saada yksinkertaisella interpoloinnilla.

## 5 YHTEENVETO JA LOPPUTULOKSET

Opinnäytetyössä tutkittiin modernin sääaseman toteuttamista nykyään saatavilla olevaa anturiteknologiaa hyödyntäen. Sääasemaan valitut anturit olivat edullisia, helppokäyttöisiä ja soveltuivat sääaseman käyttötarkoitukseen hyvin. Vaikka kalliimpien ja tarkempien antureiden käyttö on aina mahdollista, valituilla antureilla saavutettu tarkkuus koettiin riittäväksi. Projekti osoitti, että normaalit, edulliset verkkokaupoista saatavilla olevat anturit ovat riittäviä säänmittaustarkoituksiin.

Sääaseman ohjelmistot ohjelmoitiin Python- ja Wiring-ohjelmointikielillä. Ohjelmointikielien kehitysympäristöineen koettiin tarkoitukseen hyvin soveltuviksi ja mahdollistivat nopean ja helpon ohjelmistokehityksen.

Opinnäytetyössä toteutettu sääasema saavutti alkuperäiset tavoitteet ja sisälsi kaikki suunnitteluvaiheessa määritellyt perustoiminnot. Se on toiminnoiltaan helppokäyttöinen ja sen mittaustulokset olivat toistettavissa ja luotettavia. Kehittyneempien toimintojen kuten yksinkertaisten automaattisten sääennusteiden luominen, mahdollisten hälytysrajojen määrittäminen sekä säätietojen ja tilastoiden kerääminen onnistuu nykyisillä antureilla vain ohjelmakoodia muokkaamalla. Uusien antureiden lisääminen järjestelmään on niin ikään helppoa, mikäli tulee tarve mitata esimerkiksi ilmankosteutta, UV-säteilyä tai tuulta.

## LÄHTEET

- Arduino SA. Ei päiväystä. What is Arduino?. [www-lähde]. Arduino SA. [Viitattu 24.3.2014]. Saatavissa: <http://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- Arduino SA. Ei päiväystä. Arduino Uno. [www-lähde]. Arduino SA. [Viitattu 25.3.2014]. Saatavissa: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>
- Arduino SA. Ei päiväystä. Arduino Duemilanove. [www-lähde]. Arduino SA. [Viitattu 26.3.2014]. Saatavissa: <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardDuemilanove>
- Apollo Co., Ltd. Ei päiväystä. More than 20 kinds of liquid level measurement methods. [www-lähde]. Apollo Co., Ltd. [Viitattu 30.1.2014]. Saatavissa: <http://www.apollounion.com/en/news-123.html>
- BeagleBoard.org. Ei päiväystä. Meet the Beagles: Open Source Computing. [www-lähde]. BeagleBoard.org. [Viitattu 25.3.2014]. Saatavissa: <http://beagleboard.org/>
- Dantec Dynamics A/S. Ei päiväystä. Measurement principles of LDA. [www-lähde]. Dantec Dynamics A/S. [Viitattu 10.1.2014]. Saatavissa: <http://www.dantecdynamics.com/measurement-principles-of-lda>
- Digi-Key Corporation. Ei päiväystä. Bosch Sensortec and Digi-Key Introduce the BMP085 High-precision, Ultra-low Power Barometric Pressure Sensor. [www-lähde]. Digi-Key Corporation. [Viitattu 26.3.2014]. Saatavissa: <http://www.digkey.com/us/en/ph/bosch/bmp085.html>
- Gems Sensors & Controls. Ei päiväystä. UCL-510 Ultrasonic Water Level Sensor. [www-lähde]. Gems Sensors & Controls. [Viitattu 24.3.2014]. Saatavissa: <http://www.gemssensors.com/Products/Level/Multi-Point-Level-Switches/UCL-510>
- Hammond Manufacturing Ltd. Ei päiväystä. 1551NFL. [www-lähde]. Hammond Manufacturing Ltd. [Viitattu 27.3.2014]. Saatavissa: <http://www.hammondmfg.com/pdf/1551NFL.pdf>
- HobbyPartz.com. Ei päiväystä. T-Pro Mini Servo SG-90 9G Servo. [www-lähde]. HobbyPartz.com. [Viitattu 26.3.2014]. Saatavissa: <http://www.hobbypartz.com/topromisesg9.html>
- Hope Microelectronics Co., Ltd. 2010. Humidity sensor module. [www-lähde]. Hope Microelectronics Co., Ltd. [Viitattu 26.3.2014]. Saatavissa: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/HH10D.pdf>

- HowStuffWorks, Inc. 2010. Anemometer. [www-lähde]. HowStuffWorks, Inc. [Viitattu 10.1.2014]. Saatavissa: <http://science.howstuffworks.com/nature/climate-weather/meteorological-instruments/anemometer-info.htm>
- Hutasu.net. Ei päiväystä. Mikrokontrollerit. [www-lähde]. Hutasu.net. [Viitattu 11.2.2014]. Saatavissa: [http://www.hutasu.net/index.php?sivu\\_id=28&parent=10](http://www.hutasu.net/index.php?sivu_id=28&parent=10)
- Ilmatieteen laitos. 2014a. Ilmanpaine. [www-lähde]. Ilmatieteen laitos. [Viitattu 2.12.2013]. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/ilmanpaine>
- Ilmatieteen laitos. 2014b. Ilman kosteus. [www-lähde]. Ilmatieteen laitos. [Viitattu 16.12.2013]. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/ilman-kosteus>
- Ilmatieteen laitos. 2014c. Sadetta ja poutaa. [www-lähde]. Ilmatieteen laitos. [Viitattu 18.12.2013]. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/sade>
- Ilmatieteen laitos. 2014d. Tuulet ja myrskyt. [www-lähde]. Ilmatieteen laitos. [Viitattu 4.12.2013]. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/tuulet>
- Ilmatieteen laitos. 2014e. Aurinko ja kuu. [www-lähde]. Ilmatieteen laitos. [Viitattu 8.2.2014]. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/aurinko-ja-kuu>
- Ilmatieteen laitos. 2014f. Mitä ovat UV-säteily ja UV-indeksi?. [www-lähde]. Ilmatieteen laitos. [Viitattu 26.3.2014]. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/ultraviolettisateily>
- JMS Southeast, Inc. Ei päiväystä. What is an RTD? [www-lähde]. JMS Southeast, Inc. [Viitattu 4.12.2013]. Saatavissa: <http://www.jms-se.com/rtd.php>
- Karttunen, H. Ei päiväystä. Ilmanpaine. [www-lähde]. Turun yliopisto. [Viitattu 2.12.2013]. Saatavissa: <http://www.astro.utu.fi/zubi/weather/pressure.htm>
- Lang, J-P. Ei päiväystä. Pressure Plug. [www-lähde]. Redmine. [Viitattu 27.3.2014]. Saatavissa: [http://jeelabs.net/projects/hardware/wiki/Pressure\\_Plug](http://jeelabs.net/projects/hardware/wiki/Pressure_Plug)
- Logic Energy Ltd. Ei päiväystä. History of the Anemometer. [www-lähde]. Logic Energy Ltd. [Viitattu 10.1.2014]. Saatavissa: <http://www.logicenergy.com/articles/history-anemometer/>
- Milone Technologies. Ei päiväystä. Continuous Fluid Level Sensor. [www-lähde]. Milone Technologies. [Viitattu 26.3.2014]. Saatavissa: [http://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Sensors/ForceFlex/eTape%20Datasheet%2012110215TC-8\\_040213.pdf](http://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Sensors/ForceFlex/eTape%20Datasheet%2012110215TC-8_040213.pdf)

- Octopart. Ei päiväystä. A9020065. [www-lähde]. Octopart. [Viitattu 27.3.2014]. Saatavissa: <http://datasheet.octopart.com/A9020065-OKW-Enclosures-datasheet-5355317.pdf>
- Padfield, T. Ei päiväystä. Relative humidity sensors. [www-lähde]. Oxfordin yliopisto. [Viitattu 18.12.2013]. Saatavissa: <http://www.conservaionphysics.org/datalog/datlog4.php>
- Poole, I. Ei päiväystä. Light dependent resistor, photo resistor, or photocell. [www-lähde]. Adrio Communications Ltd. [Viitattu 8.2.2014]. Saatavissa: [http://www.radio-electronics.com/info/data/resistor/ldr/light\\_dependent\\_resistor.php](http://www.radio-electronics.com/info/data/resistor/ldr/light_dependent_resistor.php)
- Premier Farnell plc. Ei päiväystä. Raspberry Pi Model B 512MB RAM. [www-lähde]. Premier Farnell plc. [Viitattu 24.3.2014]. Saatavissa: <http://piregistration.element14.com/raspberrypi1.html>
- Rantala, T. 1999. Lämpötila, lämpölaajeneminen ja ideaalikaasu. [www-lähde]. Oulun yliopisto. [Viitattu 4.12.2013]. Saatavissa: <http://cc.oulu.fi/~trantala/opetus/files/LO-76102P.Lampooppi/LO97.ss1-62.pdf>
- Raspberry Pi Foundation. Ei päiväystä. FAQs. [www-lähde]. Raspberry Pi Foundation. [Viitattu 25.3.2014]. Saatavissa: <http://www.raspberrypi.org/faqs>
- Robert Bosch Oy. 2008. BMP085 Digital pressure sensor. [www-lähde]. Robert Bosch Oy. [Viitattu 18.3.2014]. Saatavissa: [http://www.adafruit.com/datasheets/BMP085\\_DataSheet\\_Rev.1.0\\_01July2008.pdf](http://www.adafruit.com/datasheets/BMP085_DataSheet_Rev.1.0_01July2008.pdf)
- Roveti, D. 2001. Choosing a Humidity Sensor: A Review of Three Technologies. [www-lähde]. Questex Media Group LLC. [Viitattu 24.3.2014]. Saatavissa: <http://www.sensormag.com/sensors/humidity-moisture/choosing-a-humidity-sensor-a-review-three-technologies-840>
- Silonex Inc. Ei päiväystä. NORPS-12. [www-lähde]. Silonex Inc. [Viitattu 26.3.2014]. Saatavissa: <http://www.vekoy.com/UserFiles/File/PDF-liitteet/LDR2.pdf>
- SparkFun Electronics. Ei päiväystä. Liquid Level Sensor - 8". [www-lähde]. SparkFun Electronics. [Viitattu 30.1.2014]. Saatavissa: <https://www.sparkfun.com/products/10221>
- Vaisala Oyj. Ei päiväystä. Vaisala-tuulianturi WM30. [www-lähde]. Vaisala Oyj. [Viitattu 16.1.2014]. Saatavissa: <http://www.vaisala.fi/fi/maritime/products/windspeedanddirection/Pages/WM30.aspx>

Vaisala Oyj. Ei päiväystä. User's guide. [www-lähde]. Vaisala Oyj. [Viitattu 26.3.2014]. Saatavissa: [http://www.vaisala.fi/Vaisala%20Documents/User%20Guides%20and%20Quick%20Ref%20Guides/WM30\\_User\\_Guide\\_in\\_English.pdf](http://www.vaisala.fi/Vaisala%20Documents/User%20Guides%20and%20Quick%20Ref%20Guides/WM30_User_Guide_in_English.pdf)

Wigmore, I. & Rouse, M. 2012. Sensor. [www-lähde]. WhatIs.com. [Viitattu 11.2.2014]. Saatavissa: <http://whatIs.techtarget.com/definition/sensor>

Wippler, J-C. Ei päiväystä. Pressure Plug. [www-lähde]. Equi 4 Software. [Viitattu 25.3.2014]. Saatavissa: <http://www.digitalsmarties.net/products/pressure-plug>

Yankee Environmental Systems, Inc. 2006. Hygrometer: Principle of Operation Chilled mirror hygrometers. [www-lähde]. Yankee Environmental Systems, Inc. [Viitattu 24.3.2014]. Saatavissa: <http://www.yesinc.com/products/data/cmh/>

## LIITTEET

### LIITE 1: Arduino Duemilanoven tekniset ominaisuudet:

Mikrokontrolleri	ATmega168 tai ATmega328
Käyttöjännite	5 V
Tulojännite (suositeltava)	7-12 V
Tulojännite (rajat)	6-20 V
Digitaalisia I/O –nastoja	14, joista kuutta voidaan käyttää PWM-ulostuloina
Analogisia sisääntuloliittimiä	Kuusi
Tasavirta per I/O nasta	40 mA
Tasavirta 3.3V nastaa varten	50 mA
Flash-muisti	16 kilotavua (ATmega168) tai 32 kilotavua (Atmega328), joista 2 kilotavua käytetään alkulatausohjelmaan (bootloader)
SRAM	Yksi kilotavu (ATmega168) tai kaksi kilotavua (ATmega328)
EEPROM	512 tavua (ATmega168) tai yksi kilotavu (ATmega328)
Kellotaajuus	16 MHz
Paino	27g
Koko	75 x 53,5 x 15 mm

(Arduino SA [Viitattu 26.3.2014])



**LIITE 2: Raspberry Pi –tietokoneen tekniset ominaisuudet:**

Proessori	Broadcom BCM2835 700MHz
Muisti	RAM 512 MB, 256/512 MB (jaettu näytönohjaimen kanssa)
Käyttöjärjestelmät	Rasbian wheezy, ARCH -Linux, Android, sekä muut ARMv61
Näytönohjoin	Dual Core VideoCore IV, OpenGL ES 2.0, 1080p h.264
SD-muistikortti	Class 4 luokan muistikortti. 4 GB ylöspäin on suositeltava.
Liitännät	USB 2 kpl, SD-kortti
Ääni	HDMI, 3,5 mm jakki
HDMI	1 kpl, HDMI (rev 1,4)
Video out	1 kpl, komposiitti RCA (PAL & NTSC)
GPIO-piikkirimat	2 kpl
Verkkoliitäntä	Ethernet10/100.RJ45.
Virtalähde	5 V MicroUSB 700 mA (3,5 W)
Paino	45 g
Koko	85,60 x 53,98 x 17 mm

(Premier Farnell plc [Viitattu 24.3.2014])

