



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Ari Enqvist

# Etäluettavan mittausjärjestelmän toteutus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tieto- ja viestintätekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

1.10.2019

Tekijä Otsikko	Ari Enqvist Etäluettavan mittausjärjestelmän toteutus
Sivumäärä Aika	35 sivua + 3 liitettä 1.10.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Tieto- ja viestintätekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	IoT and Cloud Computing
Ohjaajat	Lehtori Marko Uusitalo
<p>Mittausjärjestelmien hankinta voi olla hankalaa tapauksissa, joissa mitattavasta kohteesta ei tiedetä tarpeeksi ja joissa mittauslaitteiston tuhoutuminen on todennäköistä. Näissä tapauksissa edullisen etäluettavan mittausjärjestelmän rakentaminen on kustannusten vuoksi tarpeellista. Mittauslaitteiston pitää olla helposti muokattavissa tarpeiden mukaan, ja laite on oltava korvattavissa edullisesti vikaantumisen sattuessa. Kustannukset eivät saa koitua suuriksi, vaikka mittauslaitteisto suoritettaisiin useita kertoja silloin, kun mittauslaitteisto vikaantuu jokaisen mittauksen seurauksena. Mittauslaitteiston toimintaa sekä ominaisuuksia on myös tarpeen vaatiessa kyettävä muuttamaan nopeasti jokaisen mittauksen välissä.</p> <p>Insinööriyössä suunniteltiin ja toteutettiin etäluettava mittausjärjestelmä, joka rakennettiin edullisista kuluttajille tarkoitetuista komponenteista. Työn tarkoitus oli selvittää, kuinka helposti sekä nopeasti mittausjärjestelmän voisi toteuttaa ja kuinka luotettava tämä on. Mittauslaitteisto haettiin käyttäen Arduino-kehitysalustaa. Kehitysalusta ohjelmoitiin hakemaan mittauslaitteiston antureilta ja lähettämään tiedot langattomasti tietokoneelle. Kytkenässä käytettiin laajennuskorttia, johon antureiden sekä moduuleitten kytkentä on nopeaa. Näin korvaavan mittauslaitteiston rakentamisesta saatiin helppoa.</p> <p>Mittausjärjestelmä saatiin toimimaan määrittelyn mukaisesti mutta siinä törmättiin myös ongelmiin, joita edullisissa kuluttajille suunnatuissa tuotteissa on. Nämä ongelmat luovat haasteita menetelmän kaupalliselle käytölle, mutta huolellisella suunnittelulla sekä testauksella ne voidaan minimoida. Menetelmän kaupallinen käyttö vaatii lisää suunnittelua sekä laitteiden huolellisempaa testausta ja valintaa.</p>	
Avainsanat	tiedonsiirto, radiolinkki, mittaus

Author Title	Ari Enqvist Implementation of a remote access measurement system
Number of Pages Date	35 pages + 3 appendices 1 October 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Information and Communications Technology
Professional Major	IoT and Cloud Computing
Instructors	Marko Uusitalo, Senior Lecturer
<p>Acquisition of measurement systems can be difficult in cases in which the subject to be measured is not sufficiently known and in which destruction of the measuring equipment is likely. In these cases, the construction of an affordable remote-readable measuring system is necessary because of the cost. The measuring equipment should be easily adaptable to the requirements and preferably be replaced in case of failure. The cost should not be high even if the measurement situation is repeated several times when the measuring equipment fails as a result of each measurement. It should also be possible to easily change the operation and setup of the measuring equipment between each measurement.</p> <p>Because of the need for such a system, this thesis describes the process of designing and implementing of a remote reading system built from low-cost consumer components. In addition, the purpose of this study was to find out how easily and quickly the measurement system could be implemented and how reliable it is. The measurement data was retrieved using the Arduino development platform. The development platform was programmed to retrieve measurement data from the sensors and wirelessly send the data to a computer. An expansion board was used to connect the sensors and modules quickly. This made it easy to build a replacement measuring equipment.</p> <p>The measurement system was made to work according to the specification, but it also encountered problems with low-cost consumer products. These problems pose challenges to the commercial use of the method, but careful planning and testing can minimize them. Commercial use of the method requires more design and more careful testing and selection of equipment.</p>	
Keywords	communication, radio link, measurement

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Mittaustiedon kerääminen	2
2.1	Arduino	3
2.1.1	Arduino Uno	5
2.1.2	Anturilaajennuskortti v5.0	6
2.1.3	Arduino IDE	7
2.2	Anturit	8
2.2.1	Paineanturi	9
2.2.2	Lämpötila-anturi	10
2.2.3	GPS-moduuli	11
3	Mittaustiedon siirto	12
3.1	Tiedonsiirtotekniikat	12
3.1.1	LoRaWAN	13
3.1.2	Sigfox	14
3.1.3	NBLoT	15
3.2	ISM-taajuudet	16
3.3	Tiedonsiirtotekniikan valinta	17
3.4	APC220-radiomodulaatio	18
3.4.1	Modulaatio	19
3.4.2	Taajuus	19
3.4.3	Salaus	20
3.4.4	Antennit	20
3.4.5	Siirtonopeus	21
3.5	Mittaustiedon vastaanottaminen	21
4	Toteutus	22
5	Yhteenveto	24
	Lähteet	25

## Liitteet

Liite 1. Anturilaajennuskorttitoimintakaavio

Liite 2. Arduino-lähdekoodi

Liite 3. Valmis mittalaitteisto

## Lyhenteet

TTL	Transistor-transistor logic. Yleinen logiikkapiiriperhe.
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter. Muuntaa rinnakkaismuotoista tietoa sarjamuotoiseksi ja päinvastoin.
UHF	Ultra High Frequency. Yleisesti tiedonsiirtoon käytetty radioaaltojen taajuusalue välillä 0,3-1 GHz.
CISC	Complex Instruction Set Computer. Suoritinarkkitehtuuri, joka sisältää laajan käskykannan.
RISC	Reduced Instruction Set Computer. Suoritinarkkitehtuuri, joka sisältää suppean käskykannan.
IA-32	Intelin kehittämä vanha 32-bittinen CISC-suoritinarkkitehtuuri.
X86-64	AMD:n kehittämä 64-bittinen CISC-suoritinarkkitehtuuri. Yleisin henkilökohtaisten tietokoneiden suoritinarkkitehtuuri. Yhteensopiva Intelin IA-32-suoritinarkkitehtuurin kanssa.
ARM	Advanced RISC Machines. Acorn Computersin kehittämä RISC-suoritinarkkitehtuuri.
BPS	Bits Per Second. Tiedonsiirtonopeus kertoo, kuinka monta bittiä siirtyy sekunnissa.
HDX	Half-duplex. Vuorosuuntainen kommunikaatiomenetelmä, jossa lähetäviä osapuolia voi olla vain yksi kerrallaan.
FSK	Frequency Shift Keying. Taajuusmodulointimenetelmä, jossa digitaalinen tieto lähetetään taajuutta vaihtamalla.
BPSK	Binary Phase Shift Keying. Binäärinen vaiheavainnusmodulaatiomenetelmä.

GFSK	Gaussian frequency-shift keying. Gaussin funktiolla suodatettu modulointimenetelmä.
OFDM	Orthogonal Frequency-division Multiplexing. Modulointimenetelmä, jossa tietoa siirretään useilla taajuuskanavilla yhtä aikaa.
SC-FDMA	Single Carrier Frequency-division Multiple Access. Matkapuhelinverkoissa käytetty taajuusjakokanavointimenetelmä.
CSS	Chirp Spread Spectrum. Kapeakaista sovelluksissa käytetty hajaspektri-modulaatiotekniikka.
SMA	SubMiniature version A. Liitstandardi korkeataajuiselle radiosignaalille.
RAM	Random Access Memory. Lukemiseen ja kirjoittamiseen käytettävä muistityyppi
SRAM	Static Random-Access Memory. Staattinen RAM-muistityyppi.
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory. Mikro-ohjaimissa käytetty haihtumaton puolijohdemuisti.
ISM	Industrial, Scientific and Medical. Alun perin teolliseen, tieteelliseen sekä lääketieteelliseen käyttöön tarkoitettu lupavapaa taajuusalue.
LPWAN	Low Power Wide-Area Network. Pienen energian kulutuksen omaava pitkän matkan verkkotekniikka.
LORA	Low Range. Modulaatioratkaisu nopeaan sekä vähätehoiseen langattomaan tiedonsiirtoon.
NBIOT	Narrowband IoT. Kapeakaistainen LPWAN-tiedonsiirtotekniikka.

## 1 Johdanto

Tässä insinööriyössä selvitetään edullisen etäluettavan mittausjärjestelmän rakentamista ja sitä, kuinka luotettavia tuloksia tämä mittausjärjestelmä tuottaa. Mittausjärjestelmän on tarkoitus olla niin yksinkertainen, että sen voi rakentaa nopeasti kuluttajille tarkoitetuista komponenteista ja myös niin edullinen, että mittausjärjestelmällä on kustannustehokasta tehdä mittauksia, joissa mittalaitteiston tuhoutuminen on välttämätöntä. Näitä ovat esimerkiksi riskiarviointien simulaatiot, joissa mittauksilla selvitetään onnettomuuksiin johtavia tapahtumia ja kuinka niitä voidaan estää.

Mittaustietojen lukeminen on onnistuttava langattomasti alueilla, joissa ei ole kiinteää verkkoa tarjolla tai jos kiinteää verkkoa ei jostain syystä haluta käyttää. Näitä voivat olla syrjäiset seudut, joissa matkapuhelinverkkojen luotettavuus sekä nopeus ovat alhaiset, tai sisätilat, joissa tehdään väliaikaisia mittauksia eikä rakennukseen tämän vuoksi haluta rakentaa kiinteitä verkkoja. Menetelmällä voidaan toteuttaa myös yhteydet ilmasta maahan, kun mittauksia tehdään esimerkiksi säähallilla tai miehittämättömillä ilma-aluksilla.

Mittausjärjestelmä rakennetaan kehitysalustaa sekä siihen kytkettyjä antureita käyttäen. Kehitysalustana sekä antureina pyritään käyttämään markkinoilta löytyviä yleisiä ja edullisia komponentteja. Kehitysalusta ohjelmoidaan hakemaan mittauksien tiedot antureilta ja lähettämään ne langattomasti tietokoneelle, jossa tietoja voidaan analysoida. Mittausjärjestelmän ohjelmoinnissa käytetään kehitysalustan omaa ohjelmointiympäristöä sekä ohjelmointikieltä. Ohjelmoinnissa pyritään käyttämään valmiita kirjastoja, jotka nopeuttavat ohjelmointia ja tekevät muutoksien tekemisestä nopeaa.

Insinööriyössä ei selvitetä kaksisuuntaista yhteyttä mittalaitteeseen eikä pyritä suojaamaan mittauksien tietoa ulkopuolisilta salaamalla yhteys. Nämä ominaisuudet voidaan lisätä järjestelmään halutessa, mutta tässä selvityksessä niitä ei käsitellä.



## 2 Mittaustiedon kerääminen

Mittausjärjestelmä suunnitellaan niin, että sillä on mahdollisimman nopeaa, helppoa sekä edullista mitata eri tyyppisiä mittauksia. Mittaustieto saadaan antureilta, joten näiden määrää sekä tyyppiä on voitava muuttaa helposti, jotta mittausjärjestelmä soveltuu mahdollisimman moneen erityyppiseen mittaukseen. Tämä toteutuu helpoiten käyttämällä mittausjärjestelmän rakentamiseen kehitysalustaa. Kehitysalustat tarjoavat valmiin ohjelmointiympäristön sekä helpon tavan liittää mittausjärjestelmään lisää antureita niitä tarvittaessa. Kehitysalustaan saa liitettyä laajennuskortteja, joiden avulla antureiden sekä laajennusmoduuleitten kytkennöistä tulee helppoa sekä luotettavaa. Kehitysalustan ohjelmointi tehdään sen omassa ohjelmointiympäristössä, jossa käytetään sen omaa ohjelmointikieltä.

Kehitysympäristössä kirjoitetaan ohjelma tiedon hakemiseen kehitysalustaan kytketyiltä antureilta sekä laajennusmoduuleilta ja muodostetaan niistä halutut suureet eteenpäin lähetettäväksi. Antureilta saatava tieto on jännite, jonka antamista arvoista saadaan laskehtua haluttu suure. Laajennusmoduulit antavat tiedon valmiina tietona ja ne kytkeytyvätkin kehitysalustaan yleensä omalla väylällään, kuten esimerkiksi sarjaväylällä. Kehitysalusta ohjelmoidaan hakemaan tietoa antureilta sekä laajennusmoduuleilta 2 sekunnin välein.

Mittausjärjestelmän kehitysalustaksi valitaan Arduino Uno ja siihen kuuluvat ohjelmointiympäristö sekä laajennuskortit. Arduino-kehitysalustat ovat laajasti käytettyjä, edullisia ja niihin saa helposti tukea. Nämä ovat ominaisuuksia, jotka helpottavat edullisen sekä muokattavan mittausjärjestelmän luomista. Kytkeväviksi antureiksi valitaan lämpötila- sekä paineanturit ja erillinen GPS-moduuli. GPS-moduulista saadaan mittalaitteiston sijaintiin ja sen muutoksiin liittyvää tietoa, kuten tarvittaessa esimerkiksi nopeus tai korkeus. Antureiksi valitaan nykyaikaisia puolijohdeantureita, jotka on helppo sekä nopea kytkeä mittausjärjestelmään, mutta silti edullisia hankkia.

## 2.1 Arduino

Arduino on avoin mikro-ohjainalusta sekä ohjelmointiympäristö, jonka lähdekoodi sekä kaikki tekninen määrittely on vapaasti käytettävissä. Tämän vuoksi alustasta on tullut suosittu ja edullinen laite pienten projektien toteutuksessa. Ensimmäinen Arduino-mikro-ohjainalusta luotiin alun perin edulliseksi alustaksi opiskelijoiden pieniä projekteja varten. Tästä erilaisten Arduino-mikro-ohjaimien määrä on paisunut vuosi vuodelta suuremmaksi. Arduino-tuoteperheeseen kuuluu nyt useita eri Atmel AVR mikro-ohjaimiin perustuvia alustoja sekä useita muita tehokkaampia mikro-ohjaintekniikoita. Mikro-ohjaimiin on saatava laajennuksia yksinkertaistamaan kytkentöjen tekemistä. Mikro-ohjaimien tehot sekä muut resurssit poikkeavat toisistaan paljon. Osa mikro-ohjaimista ovat vanhoja 8-bittisiä ja nämä edullisina sopivat hyvin harrastelijoiden käyttöön. Tarjolla on myös nykyaikaisia 32-bittisiä mikro-ohjainalustoja, joiden resurssit riittävät vaativampaankin työskentelyyn. Mikro-ohjaimet eroavat myös liitännöiden, lisälaitteiden sekä fyysisen koon osalta. Laajantuotevalikoiman myötä Arduino mikro-ohjaimia käytetään hyödyksi yhä enemmän kaupallisesti. Sen pohjalta on kehitetty edullisia laitteita, kuten pelikonsoleita, syntetisaattoreita ja jopa nanosatelliitteja.

Mikro-ohjaimien ohjelmointiin on kehitetty oma ohjelmointiympäristö nimeltään Arduino IDE. Ohjelmointikielenä käytetään Arduinon omaa ohjelmointikieltä, joka perustuu C- sekä C++-ohjelmointikieliin. Ohjelmointiympäristöllä voi ohjelmoinnin lisäksi tarkastaa kirjoitetun lähdekoodin, kääntää sen konekielelle sekä siirtää sen mikro-ohjainalustaan. Näin ollen muita sovelluksia ei tarvita mikro-ohjaimen toiminnan kannalta. Ohjelmointia helpottaa laaja valmiiden ohjelmointikirjastojen kokoelma. Kirjastojen avulla aloittelevakin ohjelmoija voi luoda laajoja projekteja nopeasti. Ongelmatilanteissa verkosta on saatavilla laaja tuki sekä kattava dokumentointi.

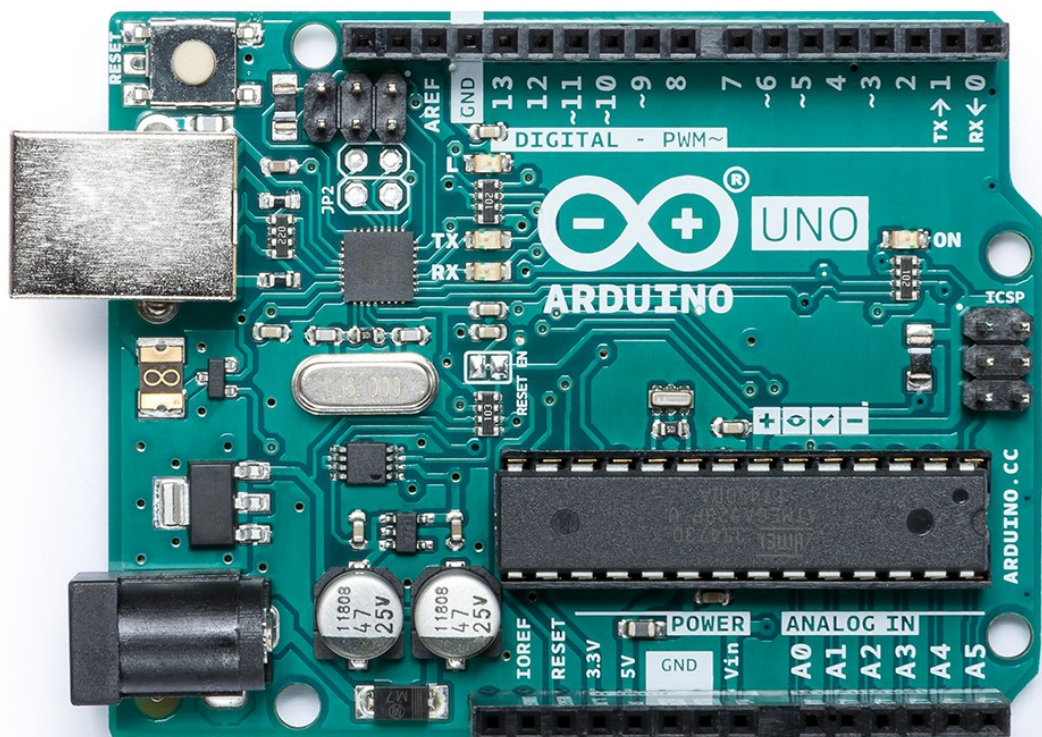
Arduino tarjoaa mikro-ohjaimilleen omaa pilvipalvelua, jonka nimi on IoT Cloud. Palvelun avulla mikro-ohjainlustalla tehdyt mittaustulokset voidaan tallentaa pilveen. Palvelu tukee useita protokollia, ohjelmointirajapintoja sekä työkaluja, joita ovat esimerkiksi HTTP REST API, MQTT, komentorivityökalun, Javascript sekä Websockets. Palvelu tarjoaa monipuoliset työkalut tiedon käsittelyyn jälkeensä ja palvelu onkin yhteensopiva useiden muiden pilvipalvelujen kanssa. Pilvipalvelun hinnoittelu lähtee ilmaisesta palvelusta, jonka ominaisuuksia on rajattu. Maksullisen palvelun voi tarvittaessa räätälöidä täysin omiin tarpeisiinsa sopivaksi, jolloin hinta määräytyy haluttujen ominaisuuksien perusteella. Mikro-ohjaimen ohjelmoinnin voi tehdä halutessa myös pilvipalvelun avulla. [1.]

FEATURES	FREE PLAN	MAKER PLAN
> Total Sketches	100	250
> Storage	100MB	200MB
> Compilation Time	200 s/day	unlimited
> Things	1	5
> Properties	5	20
> Cloud Data Retention	1 day	15 days
> Cloud API	✗	✓
> Cloud-enabled Linux Devices	1	3
> Cloud-enabled Arduino Boards	5 total	5 for each Arduino board type
> Cloud-enabled 3rd Party Boards	0	1
> Custom Library editing	✗	✓
> Chrome App Access	✗	✓
> 3rd Party Boards support on Web Editor	✗	ESP8266

Kuva 1. IoT-Cloud-palvelun ominaisuuksia.

### 2.1.1 Arduino Uno

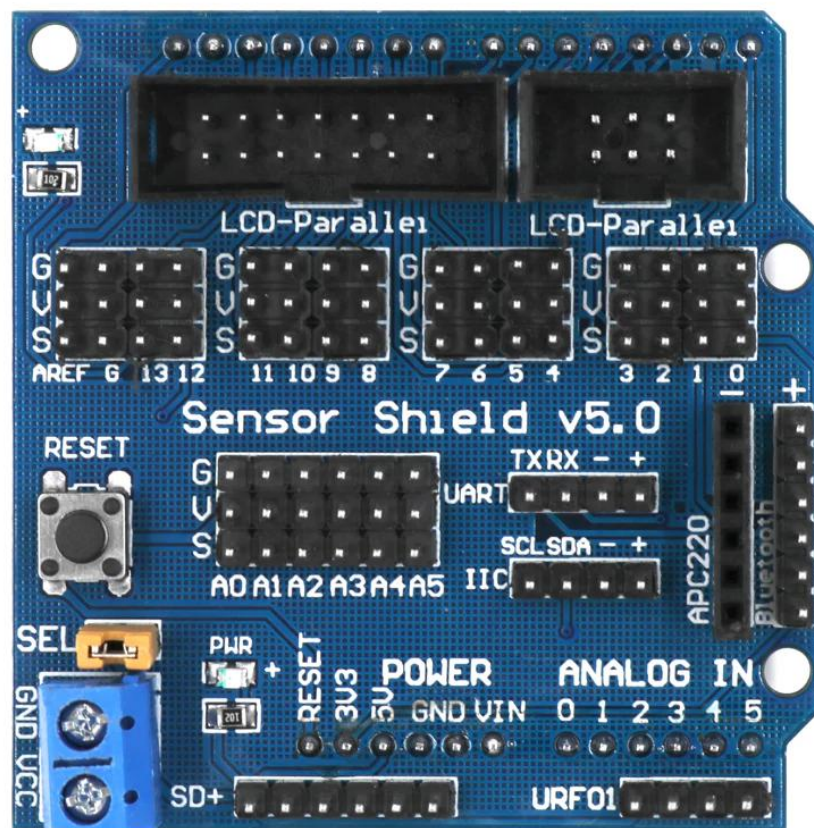
Arduino Uno on yleisin Arduino-tuoteperheen mikro-ohjainalusta. Edullisena sekä runsaan lisälaittevalikoiman vuoksi se on hyvä valinta, jos vain sen resurssit ovat riittävät projektin läpiviemiseen. Koska mikro-ohjaimen tehtävä on vain hakea jännitteiden taso sisääntuloista ja laskea näistä suureiden arvot lähetystä varten, on alustan 16 MHz:n kelloaajuudella toimiva 8-bittinen ATmega328P mikro-ohjainresurssiltaan riittävä. Arduino Unossa on 32 KiB:n flash-muisti käyttäjän tekemille ohjelmille sekä käynnistyslataajalle, 1 KiB EEROM-muistia mikro-ohjaimelle sekä 2 KiB SRAM-keskusmuistia. Digitaalisia syöttöjä on 14 ja analogisia 6. Digitaalisia syöttöjä käytetään laajennusmoduuleitten kytkemiseen, kun tieto välitetään digitaalisessa muodossa. Analogisilla syöttöillä mitataan jännitettä ja näihin voidaan kytkeä anturit. Arduino Unon käyttölämpötila-alue on -40 ja +85 celsiusasteen välillä, joten mikro-ohjain soveltuu monenlaiseen käyttöön.



Kuva 2. Arduino-UNO-kehitysalusta.

### 2.1.2 Anturilaajennuskortti v5.0

Antureiden kytkentään käytetään koekytkentälevyn sijasta laajennuskorttia, jolla kytkentöjen tekeminen on nopeaa sekä luotettavaa. Laajennuskorttia käyttämällä saadaan kytkennöistä yksinkertaisia ja koekytkentälevyssä esiintyvien huonolaatuisten kytkentöjen todennäköisyys laskee huomattavasti. Anturilaajennuskortissa ei ole kosteudelle tai lämmölle alttiita komponentteja, joten sen käyttölämpötila-alueesta ei tarvitse huolehtia. Anturilaajennuskortti on koekytkentälevyyn rinnastettava laite mutta pienemmässä koossa. [1.]



Kuva 3. Anturilaajennuskortti v5.0.

### 2.1.3 Arduino IDE

Arduino IDE on Arduino-tuoteperheen oma ohjelmointiympäristö, joka käyttää ohjelmointikielensä C- sekä C++-ohjelmointikieliin perustuvaa omaa ohjelmointikieltä. Arduino IDE on ohjelmoitu käyttäen Javaa, C:tä sekä C++-ohjelmointikieltä ja on käännetty useille käyttöjärjestelmille kuten esimerkiksi Windowsille, macOSille, Linuxille sekä useille Unixin kaltaisille käyttöjärjestelmille. Lisäksi ohjelmasta on olemassa selainversio, jolloin asennusta omaan koneeseen ei tarvitse tehdä. Ohjelma toimii useilla mikroprosessoriarkkitehtuurilla kuten esimerkiksi x86-64:lla, ARMilla sekä IA-32:lla. [1.]

The image shows a screenshot of the Arduino IDE software. The window title is "Blink | Arduino 1.8.5". The interface has a teal header bar with icons for check, undo, redo, and search. Below the header, there is a tab labeled "Blink §". The main text area contains the following code:

```
This example code is in the public domain.  
  
http://www.arduino.cc/en/Tutorial/Blink  
*/  
  
// the setup function runs once when you press reset or power the board  
void setup() {  
  // initialize digital pin LED_BUILTIN as an output.  
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);  
}  
  
// the loop function runs over and over again forever  
void loop() {  
  digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)  
  delay(1000); // wait for a second  
  digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW  
  delay(1000); // wait for a second  
}
```

At the bottom of the window, the status bar shows "32" on the left and "Arduino/Genuino Uno on COM1" on the right.

Kuva 4. Arduino IDE.



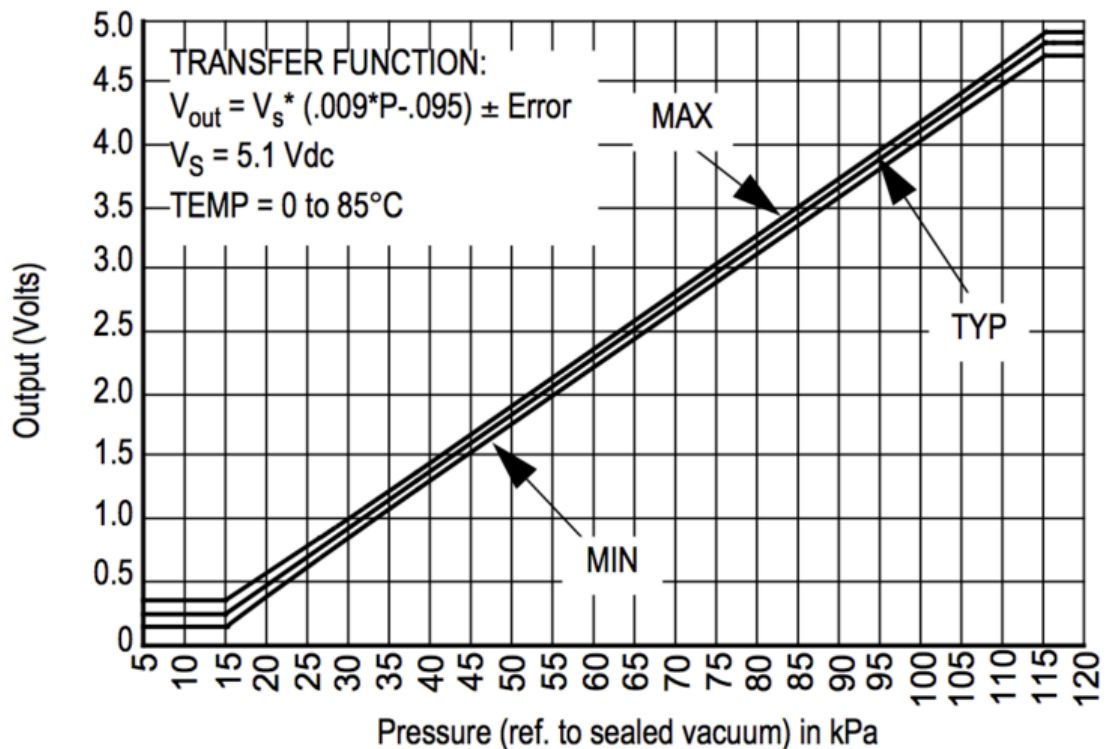
## 2.2.1 Paineanturi

Ilmanpaine mitataan käyttämällä MPX4115A-paineanturia. Anturi toimii 5 voltin jännitteellä, joten se sopii hyvin yhteen Arduino-mikro-ohjainalustan kanssa, joka käyttää myös itse 5 voltin jännitettä. Paineanturissa on 5 pinniä, joista 3 liitetään mikro-ohjainalustan laajennuskorttiin käyttäen analogiliitäntöjä. Kaksi pinniä menee virransyöttöön, joista toinen on +5 voltin virransyöttö ja toinen kytketään maadoitukseen. Kolmas pinni on ulostulo, jonka jännitteestä voimme laskea paineen. Paineanturin käyttölämpötila-alue on hyvin laaja ja sijoittuu -40 ja +125 celsiusasteen väliin.

Teknisestä dokumentista kohdasta "Nominal Transfer Value" saamme selville, kuinka laskea paine paineanturin antamasta jännitteestä. [3.]

Näin voimme muodostaa kaavan ilmanpaineen laskemiseksi:

$$((\text{sensorinjännite} / 1024.0) + 0.095) / 0.0009$$



Kuva 8. MPX4115-paineanturin jännitteen ja paineen suhde.



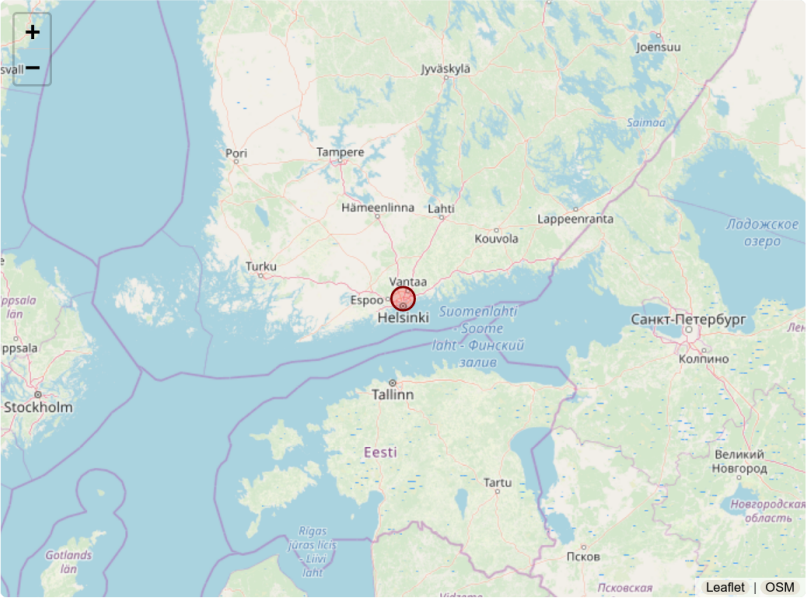


### 2.2.3 GPS-moduuli

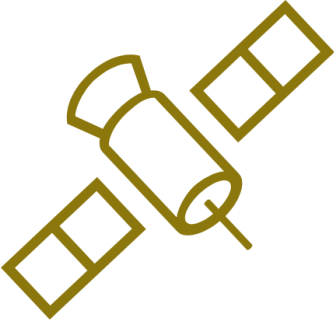
GPS-moduulina käytetään NEO-6M-GPS-moduulia, joka toimii itsenäisesti ja välittää paikannustiedot mikro-ohjainalustalle sarjaliikenteen kautta. Tämä tieto välitetään muuttumattomana eteenpäin. GPS-moduuli kytketään mikro-ohjainalustaan neljällä pinnillä, joista kaksi on virransyöttöä ja kaksi sarjamuotoista tiedonsiirtoa varten. GPS-moduulin antennina käytetään laitteen mukana tulevaa vakioantennia, joka kiinnitetään laitteen pienikokoiseen RF-liittimeen. IPX-SMA-sovittimella moduuliin voidaan kytkeä SMA-liitäntäisiä antennia. GPS-moduulin käyttölämpötila-alue on myös laaja ja sijoittuu -40 ja +85 celsiusasteen väliin. [5.]

## GPRMC & GPGGA decoder

Decode



Decoding results	
Position	60.233411°N 24.928407°E
Timestamp	Wed, 19 Feb 2020 14:17:57 UTC
Movement	Speed 1.0 kts, heading 336°
Close to	Kaarela, Finland
Local time	Wed, 19 Feb 2020 16:17:57 EET
Timezone	Europe/Helsinki (UTC +0200)



© RL.SE 2011–2020

Kuva 10. GPS-tietojen käsittelyä.

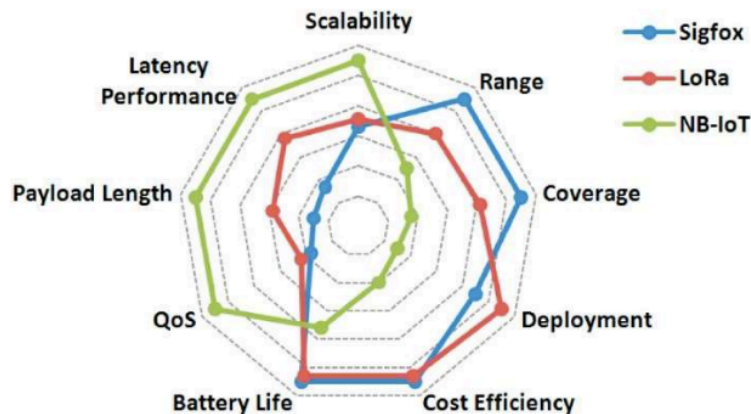
### 3 Mittaustiedon siirto

Mittaustiedonsiirtoon on olemassa useita eri kaupallisia sekä vapaasti käytettäviä tapoja. Näiden nopeus, virrankulutus, kantavuus, hinta sekä muut ominaisuudet eroavat toisistaan. Osa tekniikoista on kehitetty pitkille matkoille, kun taas toisissa painotetaan yhteyden nopeutta tai virrankulutusta. Myös yhteyden käyttökustannukset ovat tärkeitä, jos tietoa siirretään paljon.

#### 3.1 Tiedonsiirtotekniikat

Suomessa yleisimmät tiedonsiirtotekniikat perinteisen mobiiliverkon sekä WLAN-tekniikan ohella ovat LoRaWAN, Sigfox sekä NB-IoT. Nämä LPWAN-tekniikat käyttävät yhteyden muodostamisessa operaattoreiden ylläpitämiä reitittimiä, joiden käyttäminen on maksullista. Tämän lisäksi on useita tiedonsiirtotapoja, joissa tietoa siirretään laitteiden välillä ilman reitittimiä. Näissä tekniikoissa yhteys luodaan suoraan laitteiden välille, eikä tiedonsiirrosta aiheudu ylimääräisiä kustannuksia, kun käytetään lisenssivapaita taajuuksia. Näiden tekniikoiden käyttämisessä on omat haasteensa, jos halutaan luoda pitkiä yhteyksiä ja lisenssivapailla taajuuksilla on omat rajoitukset koskien kaistan käyttöä.

### Comparing SigFOX, LoRa and NB-IoT



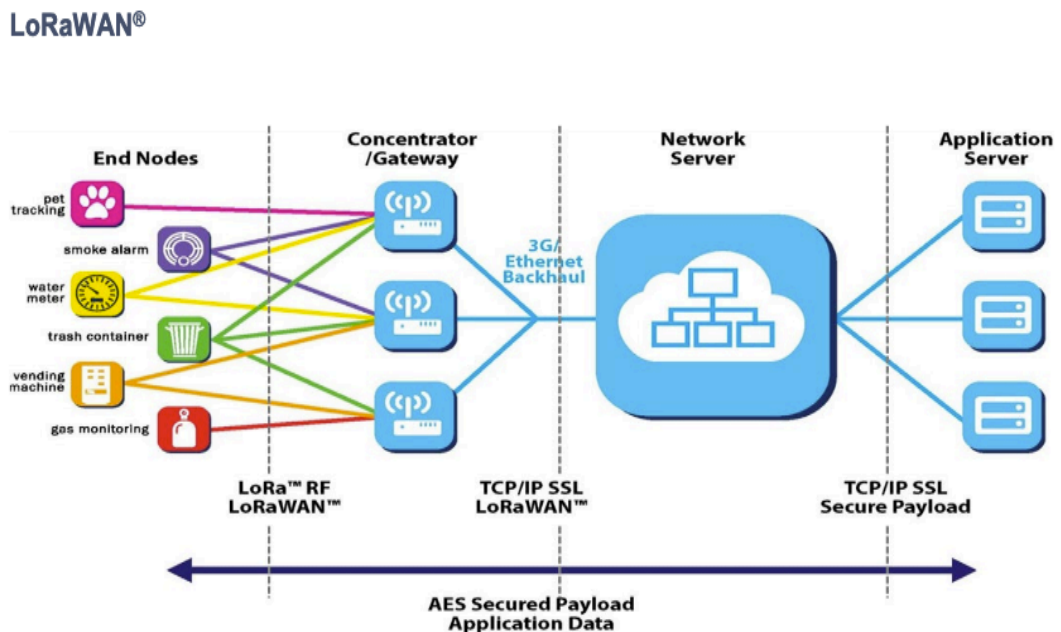
Source: K. Mekki et al, A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment, Science Direct, Dec. 2017

IoT Technologies and Applications for Smart Cities, ITU ASP  
CoE India Node, 29 Oct. to 02 Nov. 2018

Kuva 11. LPWAN-tekniikoiden vertailua. [6.]

### 3.1.1 LoRaWAN

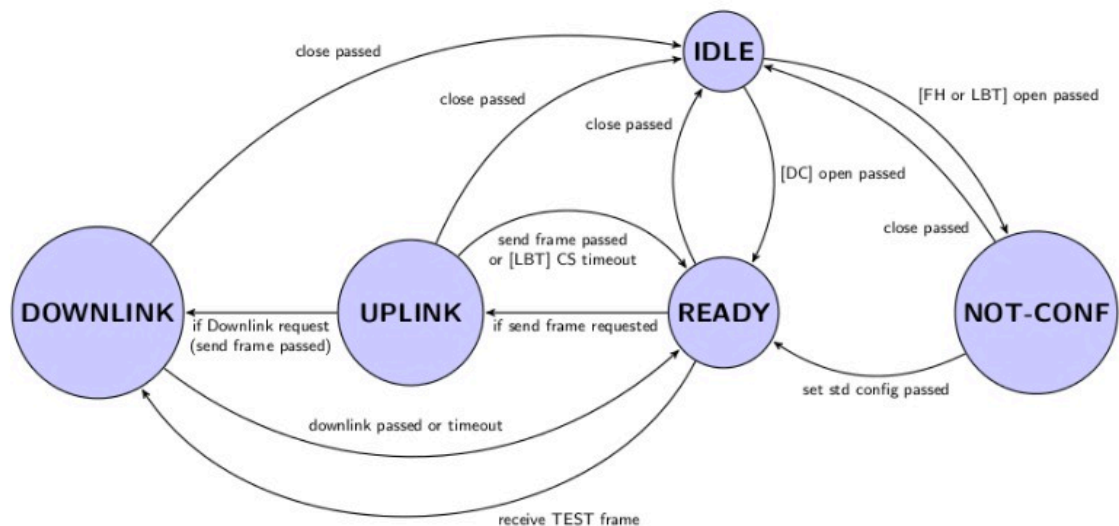
LoRaWAN on langaton LPWAN-verkkoteknologia, jonka kehitystä hallinnoi LoRa Alliance -järjestö. Järjestöön kuuluu satoja yrityksiä sekä järjestöjä ympäri maailmaa. Suomessa LoRaWAN-verkon tarjoaa Digita. LoRa-teknologia mahdollistaa kymmenien kilometrien tiedonsiirron, verkkoon kytketty anturi voi olla toiminnassa samalla paristolla vuosia. Tekniikalla voi siirtää pieniä määriä tietoa muutaman kerran tunnissa. Yhden datapaketin enimmäiskoko on 243 tavua. Verkon tiedonsiirtonopeus on noin 0,3-50 Kb/s. LoRaWAN käyttää omaa LoRa-modulaatiotekniikkaa, joka perustuu CSS-modulaatioon. Yhteyksissä käytetty taajuus riippuu missä päin maailmaa laitetta käytetään. Suomessa laitteet toimivat 868 MHz:n ISM-taajuusalueella, kun taas Yhdysvalloissa ISM-taajuusalue on 915 MHz. Suomessa on mahdollista käyttää myös 433 MHz:n taajuutta, joka kuuluu myös ISM-taajuuksiin. Yhteydessä käytetään 128-bitin AES-salausta. [7.]



Kuva 12. LoRaWAN-toimintaperiaate.

### 3.1.2 Sigfox

Sigfox on ranskalainen yritys, joka tarjoaa kapean kaistan LPWAN-verkkotekniikkaa erittäin pienten tietomäärien lähettämiseen. Yhdessä datapaketissa on mahdollista siirtää vain 12 tavua ja tämän voi lähettää enintään 10 minuutin välein. Tekniikan virrankulutus on erittäin matalaa, verkkoon kytketty anturi voi toimia samalla paristolla 10 vuodesta jopa 20 vuoteen. Mahdolliset etäisyydet ovat pitkiä ja tekniikalla on saatu toteutettua Suomessa jopa reilu 200 kilometrin kantama. Sigfox toimii Suomessa 868 MHz:n ISM-taajuusalueella. Tekniikka sietää hyvin häiriöitä, joten se soveltuu hyvin kaupunkiympäristöön. Modulointitekniikoina käytetään BPSK-modulointia lähetykseen ja GFSK-modulointia vastaanottoon. Sigfox-tekniikkaa käytetään muun muassa murtohälytyn laitteissa mobiiliyhteyksien rinnalla. Yhteys on mahdollista salata 128-bitin AES-salauksella. [8; 9.]



Kuva 13. Sigfox toimintamalli. [8.]

### 3.1.3 NB-IoT

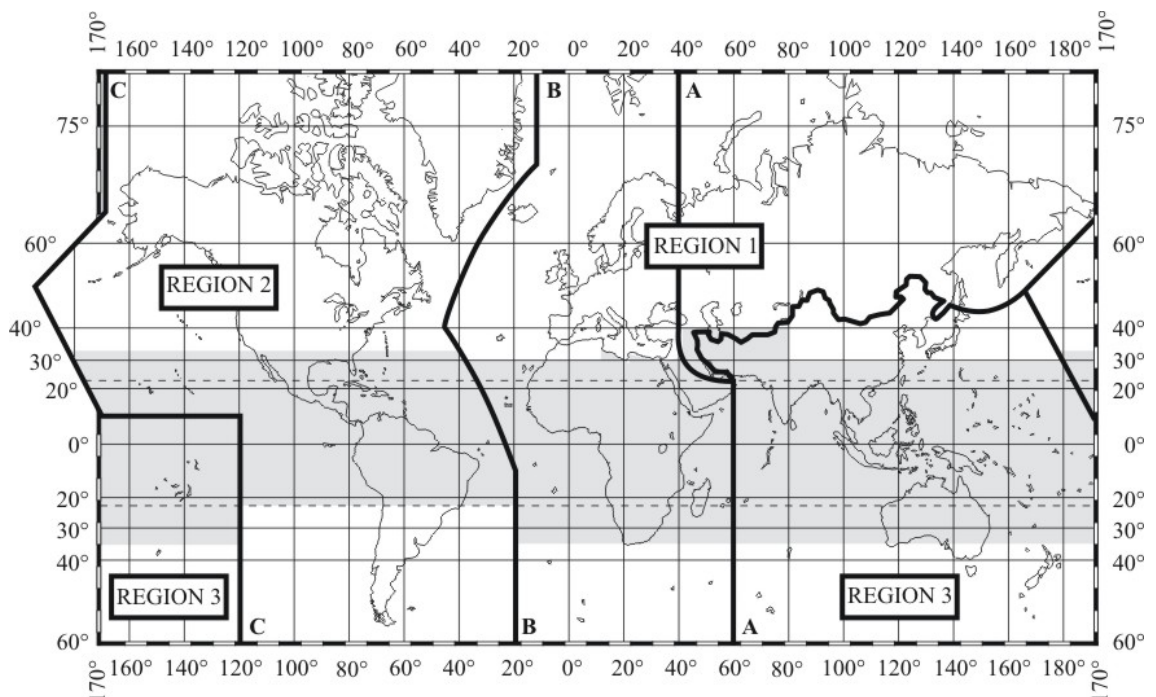
NB-IoT on kapeakaistainen LPWAN-tiedonsiirtotekniikka, jota hallinnoi 3GPP-yhteistyö-organisaatio. Yhdessä datapaketissa voidaan siirtää 1600 tavua, tiedonsiirtonopeus on 250 kbps. Tekniikalla on näistä kolmesta lyhin kantavuus, mutta se käyttää tiheää matkapuhelinverkkoa tiedonvälityksessä. Taajuusalue jota käytetään, määräytyy käytettävän matkapuhelinverkon mukaan. NB-IoT käyttää OFDM-modulointia vastaanottamisen ja SC-FDMA-modulointia lähettämiseen. Suomessa tekniikkaa tarjoavat useat operaattorit, yhteyden salaukseen käytetään 4G LTE-standardin mukaista salausta. [10.]

NB-IOT
In-band & Guard-band LTE, standalone
164 dB for standalone, FFS others
OFDMA, 15 KHz tone spacing, TBCC, 1 Rx
Single tone, 15 KHz and 3.75 KHz spacing SC-FDMA, 15 KHz tone spacing, Turbo code
180 KHz
DL: ~250 kbps UL: ~250 for multi-tone, ~20 kbps for single tone
HD (type B), FDD
PSM, ext. I-DRX, C-DRX
23 dBm, others TBD

Kuva 14. Yhteenvedo NB-IOT-tekniikasta. [10.]

### 3.2 ISM-taajuudet

ISM-taajuusalue on ITU:n eli kansainvälisen televiestintäliiton määrittelemä lupavapaa maailmanlaajuinen radiotaajuuskaista, joka on jaettu kolmeen alueeseen. Sallitut vapaat taajuudet vaihtelevat alueiden mukaan, lukuun ottamatta 2,4 GHz:n taajuusaluetta, joka on vapaa kaikkialla. Useat kuluttajille suunnatut verkkolaitteet toimivat tällä alueella, kuten muun muassa. WLAN-laitteet sekä Bluetooth. Euroopassa yleisimmät taajuusalueet ovat 433, 868 sekä 2400 MHz. Taajuusalueille on määriteltä rajoituksia lähetystehoon. Esimerkiksi 2400 MHz:n alueella suurin sallittu lähetysteho on 100 mW ja 433 MHz:n alueella 25 mW. [11.]



Kuva 15. Aluejako kartalla. [6.]

### 3.3 Tiedonsiirtotekniikan valinta

Tiedonsiirtäminen laitteiden välillä on selvityksen haasteellisin osa. Tiedonsiirtotekniikan valintaan vaikuttaa voimakkaasti se, mitä mitataan ja missä mittausta tapahtuu. Jos mittalaite on pitkän matkan päässä vastaanottavasta laitteesta, on usein järkevää käyttää yhteyttä, joka reitittää osan yhteydestä kaapelointia käyttäen. Edellä esitellyissä kaupallisissa LPWAN-tiedonsiirtotekniikoissa tämä toteutuu. Myös jos tietoa siirretään suuria määriä, on LPWAN-tiedonsiirtotekniikat helppo tapa toteuttaa yhteys. Toisaalta paikoissa, joissa valmiista verkkoista ei ole saatavana, on yhteys luotava suoraan itse laitteiden välille. Näitä ovat esimerkiksi yhteydet kaivoksiin, ilmakehässä lentäviin tutkimuspalloihin tai kiertoradalla oleviin satelliitteihin. Yhteyden kokemaa ulkopuolista häiriötä vaikuttavat myös tiedonsiirtotekniikan valintaan.

Tässä selvityksessä käytetään tiedonsiirtotekniikkaa, joka ei tarvitse erillistä tukiasemaa, vaan tiedonsiirto tapahtuu suoralla yhteydellä laitteiden välillä. Näin toteutuksesta tulee yksinkertainen ja säästyy ylimääräisiltä kustannuksilta. Selvityksessä etäisyydet pysyvät lyhyinä ja lähetettävä tietomäärä vähäisenä. Yhteys muodostetaan ISM-taajuuksia käyttäen, jotta vältytään kustannuksilta, eikä erillistä radiolupaa tarvita.

Mittaustiedot siirretään mikro-ohjainlualustalta tietokoneelle radiolinkin avulla muodostetulla sarjayhteydellä. Mittausjärjestelmään riittää yksisuuntainen yhteys. Näin ollen yksi pari radiomoduuleita riittää. Yhdellä parilla olisi mahdollista toteuttaa myös kaksisuuntainen yhteys käyttämällä HDX-menetelmää, jossa kumpikin moduuli lähettää vuorollaan. Tietokoneeseen radiomoduuli kytketään käyttäen USB-TTL-muunninta. Mikro-ohjaimen anturilaajennuskortissa on radiomoduulille oma liitin eikä näin ollen erillistä muunninta tarvita.

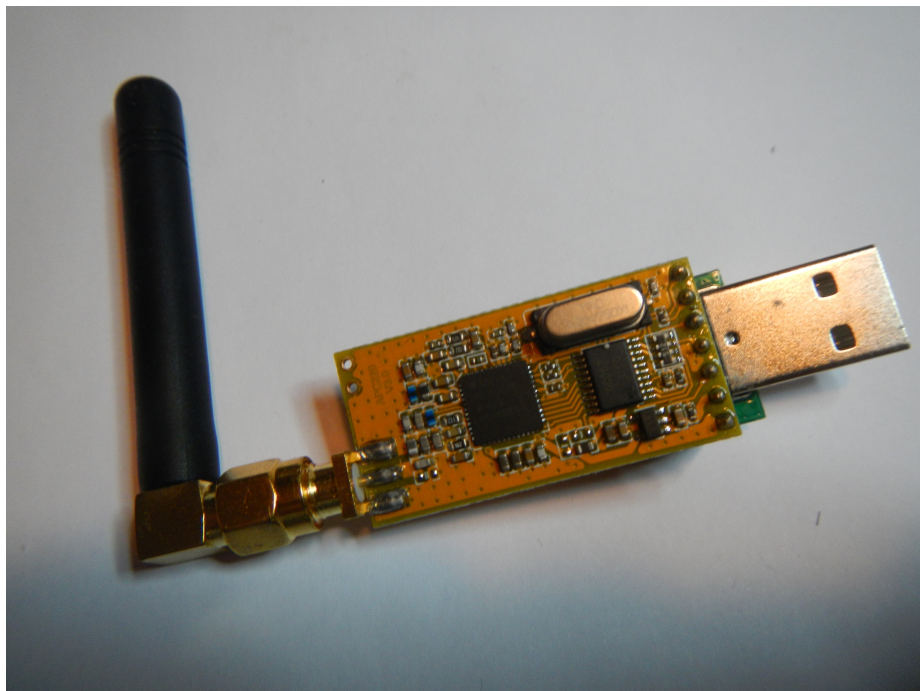


Kuva 16. Tiedonsiirrossa käytettävän tiedonsiirron periaate.



### 3.4 APC220-radiomoduuli

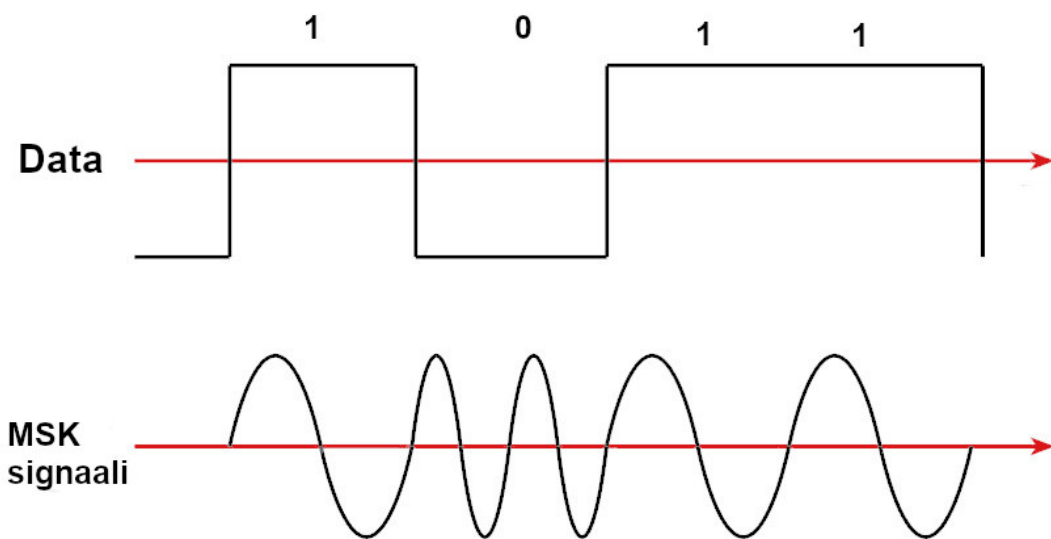
Mittausjärjestelmän tiedonsiirto toteutetaan kahdella APC220-radiomoduulilla, joiden väliin muodostetaan sarjaliikenneyhteys. Radiomoduuli toimii UHF-taajuusalueella ja taajuuden voi valita 418 MHz:n ja 455 MHz:n väliltä 200 KHz:n kanavavälein. Radiomoduulin maksimilähetysteho on 20 mW. Radiomoduuli käyttää lähetyksissään GFSK-modulointimenetelmää. Sarjaliikenteen asetukset ovat samat kuin perinteisessä kaapeloidussa sarjaliikenteessä. Mittausjärjestelmässä käytetään laitteen oletusarvoja, jolloin lähetyksenopeus on 9600 bps, lähetystaajuus 434 MHz, 8 databittiä, ei pariteettibittiä sekä 1 stop-bitti. Oletuksena radiomoduuli käyttää suurinta 20 mW:n lähetystehoa. Radiomoduulin asetuksia voi muuttaa valmistajan sovelluksella, kun laite on kytketty tietokoneen USB-väylään USB-TTL-muuntimella. Asetuksia voi muuttaa myös käyttäen Arduino-kehitysalustaa. Antenni on kytketty radiomoduuliin SMA-liittimellä, joten se on tarpeen vaatiessa vaihdettavissa. Radiomoduulin käyttöjännite on 3,3-5 voltin välillä, joten se sopii hyvin käytettäväksi Arduino mikro-ohjainalustan kanssa. APC220-radiomoduulin käyttölämpötila-alue on -30 ja +85 celsiusasteen välillä, joten se soveltuu mittauksiin Suomessa käytännössä ympäri vuoden. [12.]



Kuva 17. APC220-radiomoduuli.

### 3.4.1 Modulaatio

Radiolinkissä käytetään GMSK-modulointia, joka on taajuusmodulaatiota ja vaihemodulaatiota yhdistelevä FSK-tyyppinen modulointitapa digitaaliselle tiedolle. FSK-moduloinnissa eli vaiheavainnuksessa digitaalisen signaalin määrittäviä bittejä (0 ja 1) merkitään taajuuseroilla. GMSK-moduloinnissa signaali ajetaan gaussin suodattimen läpi ennen modulointia, jolloin taajuusalueesta saadaan kapea. Tässä modulointitavassa bitin arvo 1 lisää poikkeamaa kantaallossa, kun taas arvo 0 puolestaan vähentää sitä.



Kuva 18. MSK-taajuusmodulointi käytännössä.

### 3.4.2 Taajuus

APC220-radiomoduuli toimii 418 MHz:n ja 455 MHz:n välisellä taajuusalueella, joka kuuluu UHF-taajuusalueeseen. UHF-taajuusalueella on VHF-taajuusalueen ohella eniten käytetty taajuusalue radioliikenteessä. Valtaosa radio-, tv- sekä viestiliikenteestä tapahtuu näillä taajuuksilla. Radiomoduulin taajuusalue on jaettu 200 kHz:n kanavaväleihin. Suomessa 433,05–434,79 MHz:n välinen taajuusalue kuuluu vapaisiin ISM-taajuusalueisiin (Industrial, Scientific and Medical), jonka käyttö ei vaadi erillistä lupaa. Näin ollen voimme käyttää valmistajan asettamaa 434 MHz:n oletustaajuutta ilman erillistä lupaa.

### 3.4.3 Salaus

Tieto lähetetään yhteyden yli salaamattomana. Jos mitattu tieto on luottamuksellista tai tietosuojanalaista, voidaan se salata erikseen ennen lähettämistä. Arduinossa helppo tapa salata tietoa on käyttää AES-salausta, joka onnistuu käyttämällä mbed TLS -kirjasto. Kirjasto löytyy Arduinosta oletuksena ja on heti käyttövalmis. Tässä insinööriyössä tiedon salaaminen on tarpeetonta, joten salaustekniikoita ei käsitellä tarkemmin.

### 3.4.4 Antennit

APC220-radiomoduulissa on SMA-liitin antennin kiinnittämistä varten. SMA-liitin on yleinen RF-liitin antennien kiinnittämiseen. Valmistaja ei kertonut radiomoduulin mukana tulevasta antennista tietoja, mutta tarkastelun perusteella se vaikuttaa normaalilta monopoli-antennilta, jotka ovat yleisiä vakioantenneja radiotekniikan parissa niiden yksinkertaisuuden vuoksi. Monopoli-antenni eli maatasoantenni on ympärisäteilevä antennityyppi. Valmistaja ilmoittaa radiomoduulin maksimikantavuudeksi jopa 1200 metriä, kun käytetään 20 mW:n lähetystehoa ja nopeus lasketaan 2400 bps. Kun nopeus nostetaan 9600 bps:iin, radiolinkin maksimikantavuus on noin 800-1000 metriä. Laitteilla täytyy tällöin olla suora näkyvyys toisiinsa nähden. Voidaan olettaa, että suuntaavilla antenneilla sekä vahvistimilla tuota matkaa voidaan pidentää.



Kuva 19. Luonnos tyypillisestä yagi-tyyppisestä suuntaavasta antennista.

### 3.4.5 Siirtonopeus

Radiolinkin nopeudeksi voidaan valita 4 eri siirtonopeutta: 2400 bps, 4800 bps, 9600 bps tai 19200 bps. Koska siirrettävän tiedon määrä on vähäinen, toimisi yhteys hyvin myös hitaimmalla 2400 bps:n siirtonopeudella. Nopeutta laskemalla saadaan lisää kantavuutta yhteyteen. Tässä selvityksessä käytämme valmistajan laitteeseen oletuksena asetettua 9600 bps:n siirtonopeutta. Tämä nopeus mahdollistaa suuremman tietomäärän lähettämisen, jos mittalaitteeseen lisätään antureita myöhemmin. Jokaisessa lähetetyssä mittaustapahtumassa on noin 300 bittiä mittaustietoa, joten suurempia tietomääriä voidaan lähettää huoletta tekemättä lainkaan muutoksia nopeuteen.

### 3.5 Mittaustiedon vastaanottaminen

Mittaustieto saadaan vastaanotettua tietokoneella kytkemällä siihen ACP220-radiomoduli USB-TTL-muuntimen avulla. Radiomoduli näkyy koneessa sarjaporttina, josta tietoa voidaan lukea ja tallentaa. Tämä voidaan tehdä helposti terminaaliemulaattorin kautta antamalla komento:

```
$ (stty raw; cat > tiedot.log) < /dev/ttyUSB0
```

tai

```
$ cat /dev/ttyUSB0 | tee -a tiedot.log
```

Tämän voi tehdä myös graafisesti käyttämällä Putty-ohjelmaa. Näissä kaikissa tapauksissa sarjaväylästä saatu tieto tallennetaan tekstitiedostoon.

## 4 Toteutus

Mittausjärjestelmää lähdettiin rakentamaan Arduino UNO -kehitysalustan ympärille. Aluksi anturit kytkettiin kehitysalustaan koekytkentälevyä käyttäen ja johtokytkentöihin käytettiin hyppylankoja. Tässä vaiheessa tietoa ei siirretty langattomasti, vaan tuloksia tarkasteltiin kehitysympäristön sarjaporttia lukevan työkalun avulla. Kehitysympäristön työkaluilla pystyi seuraamaan sarjaliikennettä ja muokkaamaan lähdekoodia niin, että mittalaitteen lähettämä tieto oli helposti vastaanotettavissa. Paineanturi, lämpötila-anturi sekä GPS-moduulit lisättiin kehitysalustaan yksitellen ja jokaisen lisäyksen jälkeen järjestelmä testattiin ja lähdekoodiin lisättiin tarvittavat lisäykset. Tällä menetelmällä mahdolliset ongelmat paikannettiin heti, niiden korjaaminen oli helpompaa.

Kun mittausjärjestelmän mittaus toimi ongelmitta kehitysympäristössä, liitettiin mikro-ohjainalustaan ACP220-radiomoduuli ja jatkettiin testausta mittalaitteen ja tietokoneen yhteyden osalta. Mittausjärjestelmän toimiessa koekytkentälevyssä kuten oli suunniteltu, purettiin laite osiin ja kehitysalustaan asennettiin laajennuskortti. Mittajärjestelmä rakennettiin uudestaan lopulliseen muotoonsa. Laajennuskorttiin liitettiin anturit sekä GPS-moduuli tekemällä niille kiinteät kytkennät. Kun kehitysalusta oli rakennettu valmiiksi ja ohjelmoitu hakemaan ja lähettämään mittaustiedot, oli mittausjärjestelmä valmis testausta varten.

Mittausjärjestelmää testattiin ensiksi sisätiloissa, jolloin virtalähteenä käytettiin 5 voltin jännitteen antavaa USB-virtalähdettä, jota käytetään yleisesti matkapuhelimen latauksessa. Yhteys mittausjärjestelmän ja tietokoneen välillä toimi hyvin, mutta GPS:n signaali oli heikko. GPS:n vakioantenni vaati laitteiston asentamista ikkunan lähelle, koska lyhyt antennikaapeli ei mahdollistanut antennin viemistä erikseen avoimeen paikkaan, josta paikannussatelliittiin on esteetön näkyvyys.

Kaikki mittausjärjestelmästä lähetetyt tiedot pystyttiin vastaanottamaan tietokoneella, mutta LM35-lämpötilasensorin tuloksissa havaittiin vaihtelua. Yleismittarilla mitattuna lämpötilasensorin antama jännite pysyi tasaisena, joten sensori näytti olevan kunnossa. Sensorin ulostulojännite myös muuttui lämpötilan mukaan. Sensoria kokeiltiin myös toisessa vastaavassa kehitysalustassa, missä havaittiin sama ongelma. Ongelmaksi selvi-

sivät häiriöt, jotka kulkeutuivat anturille virransyötön mukana. Häiriöt pystyttiin poistamaan laittamalla vastus sekä kondensaattori sarjaan anturin ulostulon ja maadoituksen välille.

Testausta jatkettiin viemällä mittalaite ulos, jolloin GPS:n signaali löytyi helposti. Mikroohjainalustan ja siihen liitettävien antureiden sekä GPS-moduulin laaja käyttölämpötila-alue mahdollistaa laitteiston käyttämisen ulkona ympäri vuoden. Laite tarvitsee vain suojata sateelta, kun mittauksia tehdään ulkona tai koteloida laite. Tässä testissä mittalaitetta ei koteloitu. Mittalaitteen sekä vastaanottavan tietokoneen välistä matkaa pidennettiin vähitellen ja jo 100 metrin matka riitti tuomaan katkoksia tiedonsiirtoon, jos laitteet olivat katveessa toisiinsa nähden. 150 metrin jälkeen yhteys katkesi lopullisesti. Valmistajan lupaama 800-1000 metrin kantama ei toteudu laitteen vakioantennia käyttäen, kun käytettiin 9600 bps:n nopeutta, vaan tähän tarvitaan ehdottomasti suuntaavat antennit, joiden välissä ei ole esteitä. Toinen mahdollisuus on käyttää signaalivahvistinta lähetyksessä, jolloin signaalista saadaan voimakkaampi. Lähetysnopeuden laskeminen toisi varmasti hieman lisää kantavuutta, mutta alkuperäisiä antennia käytettäessä, hyöty jäisi todennäköisesti vähäiseksi.

Mittausjärjestelmän tehonkulutusta mitattiin mittausjärjestelmän ja virransyötön väliltä. Mittausten mukaan mittausjärjestelmän virrankulutus on noin 150 mA, jolloin 5 voltin jännitteellä tehonkulutukseksi tulee 750 mW. Kun mittalaitteella on näin pieni kulutus, voidaan mittauksia tehdä pitkään pienelläkin akustolla.

## 5 Yhteenveto

Insinööriyössä onnistuttiin luomaan edullinen mittausjärjestelmä, jonka rakentaminen on nopeaa sekä edullista. Menetelmä mahdollistaa mittausjärjestelmän ketterän kehityksen, jossa ominaisuuksia voidaan lisätä tarpeen mukaan. Näin sensoreiden ja muiden lisälaitteiden määrä sekä niiden tarkkuus pystytään mitoittamaan kohteen tarpeiden mukaiseksi. Tämä tuo kustannuksiin säästöjä ja vähentää tarvetta laitteiston määrittelylle projektin alkuvaiheessa.

Mittauslaitteisto soveltuu erityisen hyvin tapauksiin, jossa mittaus ostetaan palveluna tuntemattomaan kohteeseen. Mitattavien suureiden sekä paikkojen määrää voidaan lisätä tarpeen mukaan. Kuitenkin kuluttajille tarkoitettujen komponenttien laatuongelmat sekä muuttuvien kokoonpanojen mahdolliset yhteensopivuusongelmat luovat riskin mittausjärjestelmän ketterälle kehitykselle sekä mittauspalvelun tuottamiseen. Näitä voidaan minimoida tekemällä valmiita testattuja kokonaisuuksia, joiden rajapinnat tunnetaan. Näitä yhdistelemällä voidaan luoda helposti ja luotettavasti toimivia kokoonpanoja. Laatuongelmat pystytään minimoimaan käyttämällä luotettavia laitetoimittajia ja käyttämällä testattuja komponentteja.

Mittalaitteiston suurimmaksi ongelmaksi muodostui luotettava tiedonsiirto ulkotiloissa. Onkin selvää, että ulkotiloissa mitattaessa on suuntaavan antennin käyttö aina perusteltua. Myös antennivahvistimen käyttöä kannattaa harkita. Antennivahvistimen lisääminen järjestelmään nostaisi luonnollisesti mittalaitteen tehonkulutusta, mutta tällä saataisiin helposti lisää kantavuutta. Tehonkulutuksen seuraaminen tulee tärkeäksi siinä vaiheessa, kun tehdään pitkään mittauksia pelkän akuston varassa. Verkkovirran ollessa saatavilla virrankulutus voidaan jättää huomioimatta, koska pieni sähkön kulutus ei tuota merkittäviä kustannuksia.

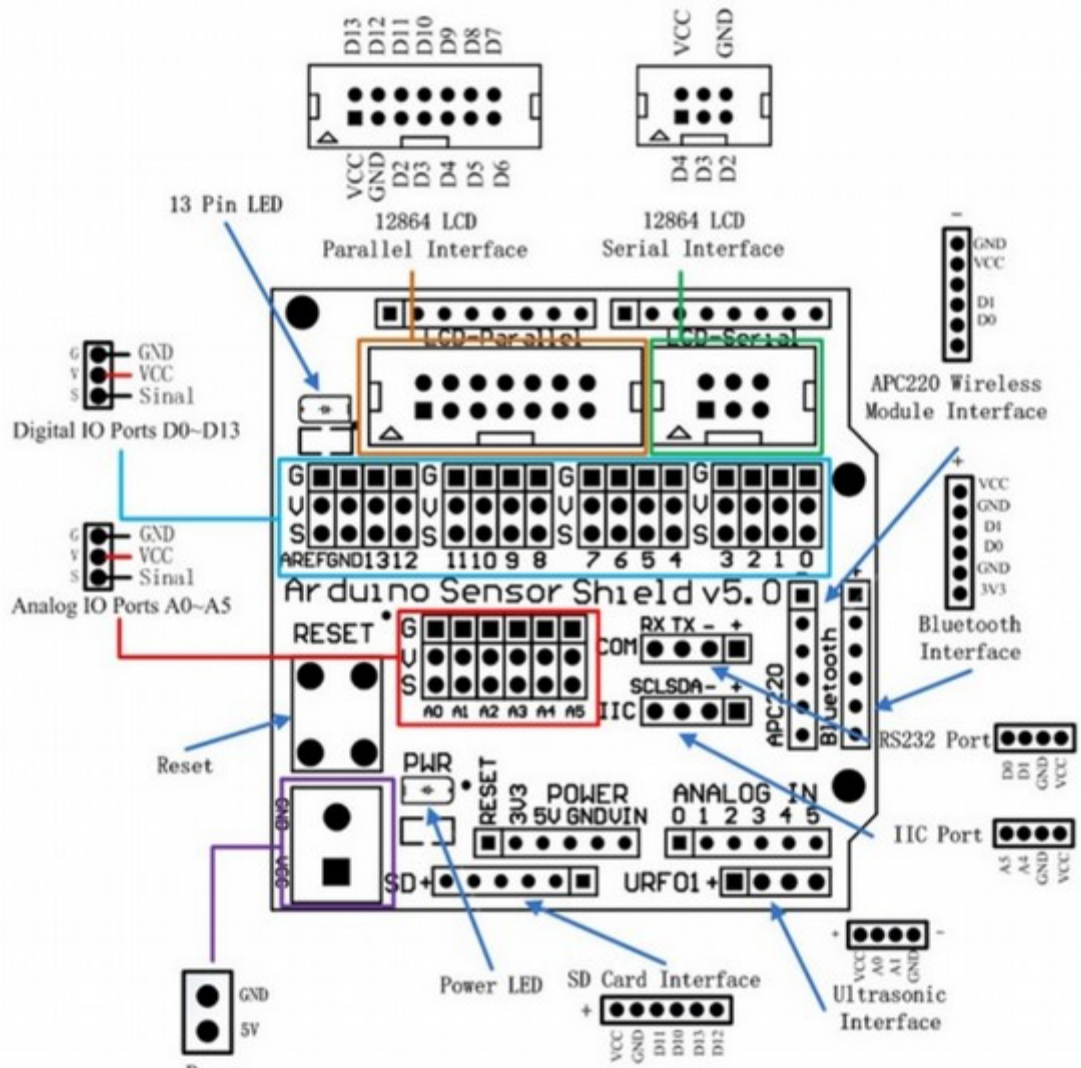
Selvitystä voisi jatkaa edelleen miettimällä, kuinka mittalaitteiston sarjatuotannon voisi toteuttaa ja millaisiin tuotantokustannuksiin sekä tuotantomääriin päästäisiin ilman suuria laiteinvestointeja. Myös vastaanotetun tiedon automaattista tallennusta tietokantaan voisi selvittää.

## Lähteet

- 1 Arduino. www-dokumentti. <<https://www.arduino.cc>>. Luettu 20.11.2019.
- 2 Kuivalainen, Pekka. 1995. Mikroanturit. 2. painos. Otatieto. Luettu 10.03.2020.
- 3 MPX4115A. Tekninen dokumentti. <<https://www.nxp.com>>. Luettu 12.11.2019.
- 4 LM35. Tekninen dokumentti. <<http://www.ti.com>>. Luettu 12.11.2019.
- 5 NEO-6M. Tekninen dokumentti. <<https://www.u-blox.com>>. Luettu 20.11.2019.
- 6 ITU. www-sivu. <<https://www.itu.fi>>. Luettu 11.05.2020.
- 7 LoRaWAN. www-sivu. <<https://digita.fi>>. Luettu 9.5.2020.
- 8 Sigfox. www-sivu. <<https://sigfox.com>>. Luettu 10.05.2020.
- 9 Suomen ensimmäinen esineiden internetin operaattori aloittaa. www-dokumentti. <<https://www.tivi.fi/uutiset/suomen-ensimmainen-esineiden-internetin-operaattori-aloittaa/880caf9e-1c2e-3120-b8ec-c17190ce2a5f>>. Luettu 10.05.2020.
- 10 3gpp. www-sivu. <<https://www.3gpp.org>>. Luettu 11.05.2020.
- 11 Traficom. <<https://www.traficom.fi>>. Luettu 12.05.2020.
- 12 APC220. Tekninen dokumentti. <<http://www.appcon.com.cn>>. Luettu 1.11.2019.
- 13 LoRa Alliance. www-sivu. <<https://lora-alliance.org>> Luettu 13.05.2020.



## UNO SENSOR SHIELD



Arduino Sensor Shield v5.0 Functional Diagram

```
anturitietojennouto
#include <SoftwareSerial.h>

// Määritellään muuttujat
float sensorValue;
float voltageA0;
float pressureValue;
float pressure;
float temperature;

// Määritellään GPS sarjaliikenne pinneille 2 sekä 3
SoftwareSerial gpsSerial(2, 3);

// Määritellään sarjaliikenteen baudinopeus
void setup () {
  Serial.begin (9600);
  gpsSerial.begin(9600);
}

void loop () {

  // Haetaan sensorin arvo ja lasketaan lämpötila
  sensorValue = analogRead(A0); // Luetaan sensorin arvo
  voltageA0 = sensorValue * (5000.0 / 1024.0); // Muunnetaan sensorin arvo virraksi
  temperature = voltageA0 / 10; // Muunnetaan jännite lämpötilaksi (10mV = 1c)

  // Haetaan sensorin arvo ja lasketaan ilmanpaine
  pressureValue = analogRead (A1); // Luetaan sensorin arvo
  pressure = ((pressureValue / 1024.0) + 0.095) / 0.0009; // Muunnetaan sensorin arvo paineeksi

  // Lähetetään tiedot sarjaliikennettä käyttäen
  Serial.println(temperature);
  Serial.println(pressure);

  // Noudetaan GPS:n raakadata ja lähetetään tiedot sarjaliikenteellä
  while (gpsSerial.available() > 0){
    Serial.write(gpsSerial.read());
  }
  Serial.println('\n');

  delay (2000); // Määritellään mittausjakson väli
}
```

