

August Mallasto

# Arduino-pohjainen hälytysjärjestelmä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinöörityö

20.2.2017

Tekijä Otsikko	August Mallasto Arduino-pohjainen hälytysjärjestelmä
Sivumäärä Aika	33 sivua + 2 liitettä 20.2.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Koneautomaatio
Ohjaajat	Lehtori Heikki Paavilainen Projekti-insinööri Niklas Zuban
<p>Insinööriyön tavoitteena oli toteuttaa hälytinjärjestelmä, joka voidaan helposti asentaa kotiin tai mökille. Hälyttimellä voidaan seurata liikettä, ovien avautumista, tulipaloja ja vesivuotoja.</p> <p>Hälyttimen pohjana päädyttiin käyttämään ohjelmoitavaa mikrokontrolleria. Helppoutensa ja saatavuutensa takia valittiin Arduino, joka pohjautuu Atmelin ohjelmoitavaan mikrokontrolleriin.</p> <p>Työ aloitettiin tutustumalla Arduinoon, sen ohjelmointiin ja siihen saatavilla oleviin komponentteihin ja antureihin. Tietoa sopivista osista ja niiden ominaisuuksista kerättiin valmistajien tietolehdistä ja tuotesivuilta. Helpon asentamisen toteuttamiseksi laite rakennettiin langattomilla antureilla, jotka toimivat paristoilla. Hälytykset välitetään matkapuhelinverkon kautta vastaanottajalle.</p> <p>Osien valinnan ja hankinnan jälkeen hälytinjärjestelmä koottiin ja ohjelmoitiin toimivaksi järjestelmäksi. Järjestelmän toiminta testattiin asentamalla hälytinjärjestelmä väliaikaisesti testiympäristöön. Koejärjestelyllä järjestelmästä saatiin korjattua virheitä.</p> <p>Tämän työn tuloksena saatiin aikaan hälytinjärjestelmä ja se toimii halutulla tavalla.</p>	
Avainsanat	Arduino, hälytysjärjestelmä

Author Title	August Mallasto Arduino Based Alarm System
Number of Pages Date	33 pages + 2 appendices 20 February 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Machine Automation
Instructors	Niklas Zuban, Project Manager Heikki Paavilainen, Senior Lecturer
<p>The goal of this Bachelor's thesis was to develop an alarm system that could be easily fitted to a home or to a summer house. The alarm system was designed to monitor such events as a fire, water leakage or burglary.</p> <p>A programmable microcontroller was used as the base of the alarm system. For its easiness and good availability, the logical choice was Arduino which is based on an Atmel microcontroller. The sensors were designed to be wireless and battery powered. Warnings and notifications are transmitted through a mobile network to the user.</p> <p>This study was conducted as follows: firstly, Arduino electronics platform, Arduino programming and available components and sensors were studied. Secondly, the usable parts were selected and ordered.</p> <p>Finally, after receiving the parts, the alarm system was assembled and programmed. The functionality of the alarm system was tested by installing it to a test home. After some programming errors had been fixed, the results showed that the alarm system functioned according to the demands.</p> <p>As a result of this Bachelor's thesis, a functional alarm system was created.</p>	
Keywords	Arduino, Alarm System

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Arduino	2
2.1	Ohjelmointi ja rakenne	2
2.2	Arduino Pro mini	4
3	Hälytínjärjestelmán rakenne	6
4	Páálaite	7
4.1	NRF24L01+	7
4.2	GSM	10
4.3	Virransyöttö ja varavirtaláhde	13
5	Sensorit ja HMI	16
5.1	Virrankulutus	17
5.2	Jánnitteenmittaus	17
5.3	Kosteussensori	19
5.4	Palosensori	21
5.5	Liikesensori	22
5.6	Reed-sensori	24
5.7	HMI	25
5.8	Toistimet	26
6	Kustannukset	27
7	Yhteenveto	27
	Láhteet	30
	Liitteet	
	Liite 1. Laitteiston hintataulukko	
	Liite 2. Hálytínjärjestelmien hintavertailu	

## Lyhenteet

EEPROM	Electronically Erasable Programmable Read-Only Memory. Puolijohde- muisti, jossa tieto säilyy ilman erillistä sähkölähdettä.
HMI	Human Machine Interface. Ohjain, jolla ihminen pystyy kontrolloimaan lai- tetta tai konetta.
IDE	Integrated Development Environment. Arduinon ohjelmoinnin kehitysal- usta.
IO	Input / Output. Sisääntulo ja lähtö digitaalitenkiikassa.
ISM	Industrial, Scientific and Medical. Osittain rajoitettu, mutta vapaa radiotaa- juusalue, joka on alun perin tarkoitettu teolliseen, tieteelliseen ja lääketie- teelliseen käyttöön.
I2C	Inter-Integrated Circuit. Asynkroninen tiedonsiirtoprotokolla.
SPI	Serial Peripheral Interface. Synkroninen tiedonsiirtoprotokolla.
TTL	Transistor-Transistor Logic. Bipolaarisista transistoreista valmistettu digi- taalilogiikkaperhe.

## 1 Johdanto

Tämän insinööriyön tavoitteena on toteuttaa avoimen Arduino-kehitysalustan pohjalle langaton hälytysjärjestelmä, joka voidaan asentaa esimerkiksi mökille tai kotiin. Järjestelmällä voidaan seurata ovien avautumista ja liikettä sisätiloissa, sekä tunnistaa tulipalot ja kosteuden äkillinen nousu vettä käyttävien laitteiden alla. Hälytyksen sattuessa hälytysviesti lähetetään matkapuhelinverkon kautta tekstiviestillä esimääritettyihin numeroihin. Järjestelmään tullaan myös suunnittelemaan päätelaitteen varavirtalähde sähkökatkoksia varten ja seuranta langattomien antureiden paristojen varaukselle. Hälyttimelle rakennetaan myös näytöllinen laite, jolla sitä voidaan ohjata ja sen tilaa voidaan seurata.

Insinööriyö sai ideansa mökiltä, jota haluttiin seurata etänä murtautumisen, vesivuotojen ja palon varalta. Näin voidaan ennakoida suuremmat vahingot ja saadaan tieto, jos jotain tapahtuu mökillä. Helpon jälkiasentamisen vuoksi hälytysjärjestelmä tehdään langattomaksi. Näin sensorit voidaan sijoittaa parhaiten paikoille, joissa niitä käytetään. Vain päätelaite tarvitsee virtapistokkeen.

Tässä työssä ei ole otettu huomioon pakkasen vaikutusta sensoreiden paristojen kestoon, koska järjestelmä tullaan asentamaan kohteeseen, jossa pidetään talvisin peruslämpö kaikissa huoneissa. Hälytysjärjestelmän rakentamisella halutaan oppia, kuinka mikrokontrollereita ohjelmoidaan ja käytetään laajemmissa järjestelmissä muiden laitteiden kanssa. Järjestelmä rakennetaan peruskomponenteista ja valmiita laiteratkaisuja pyritään käyttämään mahdollisimman vähän.

## 2 Arduino

Arduino-kehitysalusta sai alkunsa vuonna 2005 Massimo Banzi ja David Cuartiellesin toimesta Italiassa [1, s. 9]. Arduinon ideana on tehdä helpoksi tutustuminen mikrokontrollereihin ja niiden ohjelmointiin. Tällä hetkellä markkinoilla on saatavilla kymmenen erilaista Arduino-kehitysalustaa, jotka sisältävät mikrokontrollerin. Tähän määrään ei ole laskettu jo poistuneita tuotteita.

Taulukossa 1 on esitetty yleisimmät Arduino-alustat ja niiden ominaisuuksia. Arduinoja on saatavilla monenlaisiin tarkoituksiin. Niitä on kooltaan ja ominaisuuksiltaan pieniä kuten Arduino Pro mini ja suurempia kuten Arduino Mega2560. [2] Ensimmäinen soveltuu hyvin laitteisiin, joissa ei tarvita suuria ohjelmistoja tai suurta määrää digitaalisia tai analogisia lähtöjä/tuloja. Jälkimmäinen taas soveltuu laajempaan projektiin, jossa ohjelmisto on suuri ja siihen tarvitaan paljon lähtöjä ja sisääntuloja.

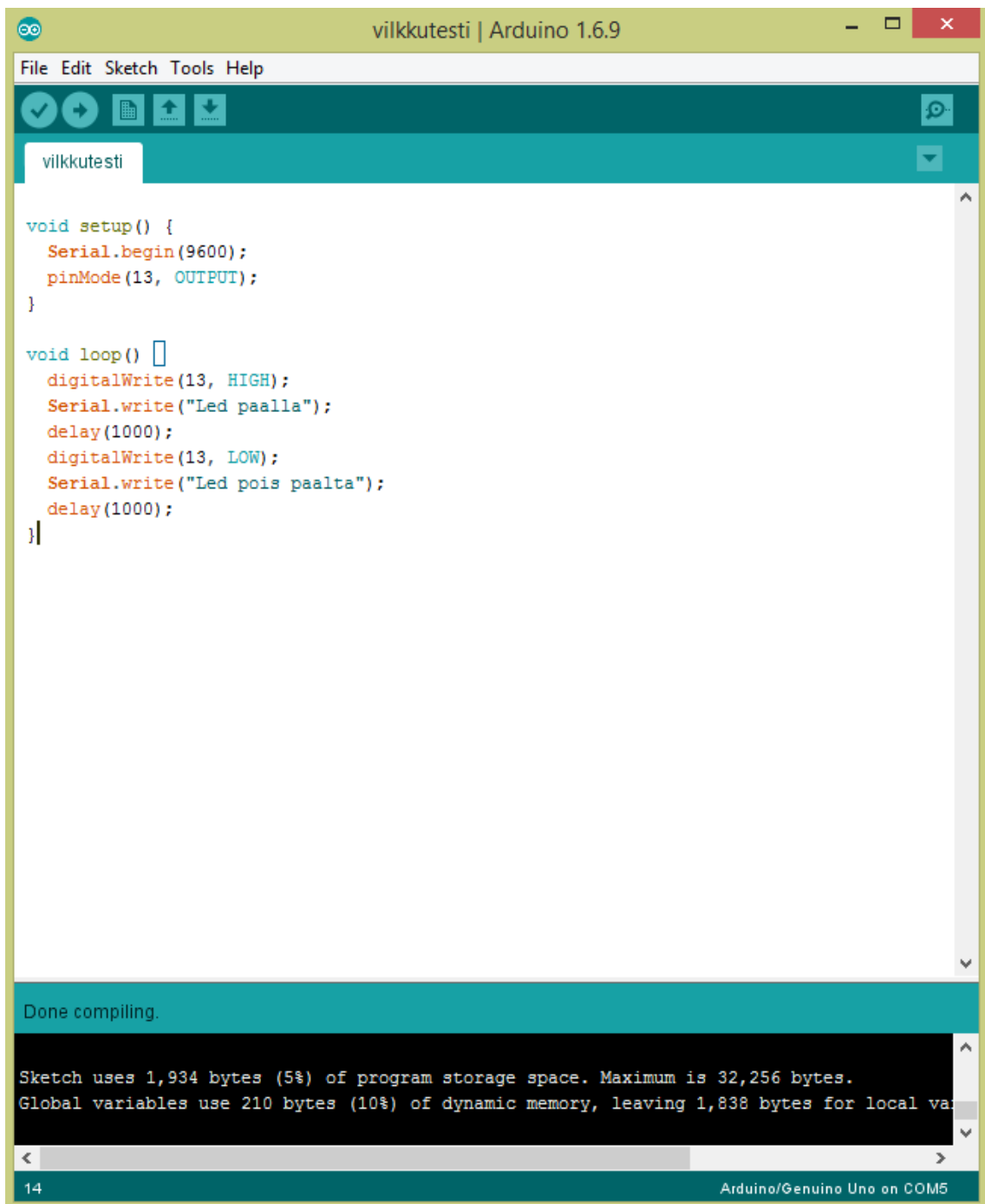
Taulukko 1 Yleisimmät Arduinot ja niiden ominaisuuksia [2]

Nimi	Prosessori	Käyttäjännite	Nopeus	Analogiset Tulot/Lähdöt	Digitaaliset IO / PWM	EEPROM [kB]	SRAM [kB]	Flash [kB]
Mega 2560	ATmega2560	5 V	16 MHz	16 / 0	54 / 15	4	8	256
Micro	ATmega32U4	5 V	16 MHz	12 / 0	20 / 7	1	2,5	32
Pro mini	ATmega328P	3.3 V	8 MHz	6 / 0	14 / 6	1	1	32
		5 V	16 MHz					
Uno	ATmega328P	5 V	16 MHz	6 / 0	14 / 6	1	2	32

### 2.1 Ohjelmointi ja rakenne

Arduinon ohjelmoinnissa käytetään omaa Arduino-kieltä, joka perustuu C/C++ -kieleen [3]. Ohjelmia voidaan kehittää Arduinon tarjoamassa IDE-kehitysympäristössä (Integrated Development Environment) helposti ja nopeasti. Arduino, laitevalmistajat ja käyttäjät tarjoavat huomasti erilaisia valmiita kirjastoja ja ohjeita eri laitteille, joita Arduinoon voidaan kytkeä. Kirjastot nopeuttavat ohjelmien kirjoittamista ja säästävät laitteen syvämmältä toiminnan ja tiedonsiirron tutkimiselta, jos sellaista ei haluta harrastaa. Näin onkin helppo ja nopea päästä rakentamaan laitteita ja kirjoittamaan ohjelmia Arduinolle.

Kuvassa 1 on esitetty Arduinin IDE-käyttöliittymä ohjelmoinnille, jossa on myös ohjelman perusrakenteet. Ohjelma aloitetaan määrittelemällä muuttujat ja tarvittavat kirjastot ennen Setup()-funktiota. Setup()-funktion sisälle taas määritetään esimerkiksi mitä digitaalisia pinnejä käytetään sisääntuloina ja mitä ulostuloina ja/tai voidaan määrittellä alustukset erilaisten kirjastojen toiminnoille. Setup()-funktio ajetaan aina kerran, kun Arduino käynnistetään.



```
void setup() {  
  Serial.begin(9600);  
  pinMode(13, OUTPUT);  
}  
  
void loop() {  
  digitalWrite(13, HIGH);  
  Serial.write("Led paalla");  
  delay(1000);  
  digitalWrite(13, LOW);  
  Serial.write("Led pois paalta");  
  delay(1000);  
}
```

Done compiling.

Sketch uses 1,934 bytes (5%) of program storage space. Maximum is 32,256 bytes.  
Global variables use 210 bytes (10%) of dynamic memory, leaving 1,838 bytes for local variables.

14 Arduino/Genuino Uno on COM5

Kuva 1 Arduino IDE



Lopuksi määritellään loop()-funktion sisälle ohjelma, joka halutaan suorittaa. Loop()-funktion sisällä olevaa ohjelmaa suoritetaan niin pitkään kuin laitteessa on käyttöjännite päällä. Kuvassa 1 on myös kirjoitettuna pieni esimerkkiohjelma, joka sytyttää ja sammuttaa digitaaliseen pinniin numero 13 liitetyn ledin 1 s välein ja tulostaa myös palautteen ledin tilasta Serial Monitoriin.

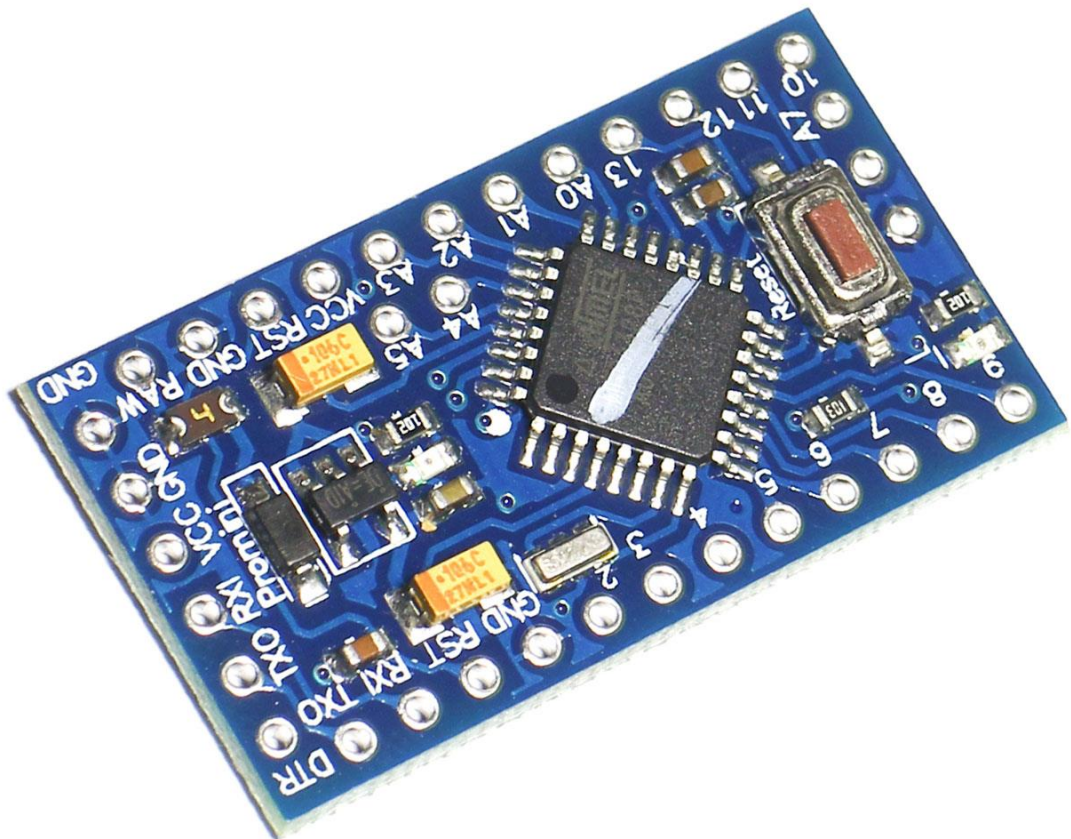
Arduino IDEen on sisäänrakennettu Serial Monitor -toiminto, jolla voidaan vastaanottaa tai lähettää Arduinolta reaaliaikaista tietoa, kuten lämpötila-anturin dataa ja seurata sen muutoksia. Serial Monitorilla voidaan myös helposti seurata, miten ohjelma etenee tai toimiiko se halutulla tavalla. Virheitä on helppo havaita, kun voidaan seurata ohjelman kulkua.

## 2.2 Arduino Pro mini

Arduino Pro miniä päädyttiin käyttämään langattomien sensoreiden pohjana sen pienen koon takia. Jokaisessa sensorissa on vain yksi anturi, joten ohjelmat ovat pieniä ja myös pieni määrä IO-pinnejä (Input / Output) riittää sensorin rakentamiseen. Tällöin sensorit saadaan myös koteloitua pienempään tilaan, jolloin ne ovat myös huomaamattomia.

Suurempikokoisissa Arduinoissa on yleensä USB-liitin (Universal Serial Bus) ohjelmointia varten. Tällöin ohjelman siirtämistä varten ei tarvitse kuin kytkeä Arduino-piirilevy USB johdolla tietokoneeseen. USB-liittimen lisäksi on vielä erillinen piiri, jolla dataliikenne muunnetaan sopivaksi ATmega-mikropiiriä varten. Piirilevytilan säästämiseksi ja virrankulun pienentämiseksi Pro ministä on jätetty USB-liitin ja muunnospiiri kokonaan pois. Tällöin tarvitaan erillinen USB-muunnospiiri aina kun ohjelma halutaan siirtää mikropiirille. Sopiva datamuunnin sisältää esimerkiksi halvan WCH CH340G -muunnospiirin. Dataa siirtäessä edellä mainitussa piirin virrantarve on noin 12 mA ja virransäästötilassa noin 50  $\mu$ A. [4.] Vaikka 50  $\mu$ A virrankulutus on pieni, on se silti turhaa paristojen kulutusta pitkäikäisessä laitteessa.

Kuvassa 2 on Arduino Pro mini, joka koostuu lähinnä Atmel Atmega328p mikrokontrolerista ja muutamista erilliskomponenteista. Atmega328p piiri toimii 4–10 MHz kellotaajuudella 1.8–2.7 V käyttöjännitteellä ja 10–20 MHz kellotaajuudella 2.7–4.5 V käyttöjännitteellä. Alhaisempiakin kellotaajuuksia voidaan käyttää tehonkulutuksen pienentämiseksi ja samalla laite saadaan toimimaan vieläkin pienemmillä käyttöjännitteillä esimerkiksi paristosovellutuksissa. [5, s. 303.]



Kuva 2 Arduino Pro Mini

Suoritettavaa ohjelmaa varten mikropiiriltä löytyy 32 kB muistia ja ohjelman muuttujia varten 2 kB muistia. Tiedon tallentamista varten piiriltä on 1 kB EEPROM-muistia (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory), jonka sisältö säilyy myös sähkön katkettua. [6, s. 584.] Yksi tavu (B) voi sisältää yhden kirjaimen, numeron tai välimerkin, joten tuhanteen tavuun mahtuu tuhat kirjainta, numeroa tai välimerkkiä [1, s. 466]. Jos tämä määrä ei riitä, esimerkiksi laajemman mittausdatan tallentamiseen, niin muistia voidaan laajentaa ulkoisella EEPROM-muistilla moneen kymmeneen kilotavuun asti [1, s. 365–365].

### 3 Hälytinjärjestelmän rakenne

Hälytinjärjestelmän tulee toimia itsenäisesti silloin kun se on aktiivinen. Järjestelmällä tullaan tunnistamaan murtautuminen, tulipalot ja vesivuodot. Kaikki sensorit tulevat toimimaan langattomasti ja ne keskustelevat 2.4 GHz ISM (Industrial, Scientific and Medical) taajuuden kautta, joka on Suomessa vapaasti käytettävissä aina 100 mW lähetysteho asti [7]. Hälytyksen tullessa laite lähettää tekstiviestin GSM-pohjaisesti (Global System for Mobile Communications) esimääritettyihin puhelinnumeroihin viestillä, josta ilmenee hälytyksen laatu (murtautuminen, palo tai kosteus) ja myös hälytyksen tarkempi sijainti (etuovi avattu, liikettä keittiössä tai kohonnut kosteus pesutiloissa).

Järjestelmä myös ylläpitää tietoa kunkin langattoman sensorin paristojen varauksesta ja ilmoittaa paristojen vaihtotarpeesta hyvissä ajoin. Päätelaitte tullaan myös varmistamaan varavirtalähteellä lyhyiden, muutamien päivien, sähkökatkojen varalle. Näin varmistetaan laitteen toimintavarmuus. Järjestelmä suunnitellaan sen tiedon pohjalta, että keskimääräisen sähkökatkon pituus vuotuisesti maaseudulla on 11 h ja taajamissa noin 10 min [8].

Järjestelmää tullaan ohjaamaan HMI (Human machine interface) avulla, mikä tarkoittaa ihmisliityntää laitteelle. Liityntä tulee sisältämään vain näppäimistön, jonka avulla järjestelmä aktivoidaan tai poistetaan käytöstä. Järjestelmän tilan muutos ilmoitetaan ledillä ja äänimerkillä tai mahdollisuuksien mukaan nestekidenäytöllä.

Hälytinjärjestelmä tulee koostumaan kolmesta pääkomponentista:

- päälaitteesta
- sensoreista
- HMI:sta

## 4 Päälaite

Järjestelmän päälaite koostuu virtalähteestä, varavirtalähteestä, Arduinoista, 2.4 GHz, GSM lähettimestä/vastaanottimesta ja kovaäänisestä. Kaikki nämä tullaan kokoamaan saman muovikotelon sisälle. Päälaitteen päänä tulee toimimaan Arduino Pro mini, johon langattomat lähettimet/vastaanottimet tullaan yhdistämään. Se toimii täydellä 16 MHz kellotaajuudella. Päälaite tulee hoitamaan tiedonsiirron sensoreiden ja GSM verkon välillä. Se tarkkailee jatkuvasti sensoreilta tulevaa dataa kuten hälytystietoja, jännitetietoja ja hälyttimen päälle laittoon ja sammuttamiseen liittyviä viestejä, ja toimii niiden pohjalta ohjelmoidulla tavalla. 2.4 GHz radioliikenne toimii vain yhteen suuntaan eli sensorit lähettävät ja päälaite vastaanottaa. Sensoreiden suuntaan ei lähetetä radioviestejä.

Sanomaliikenne sensoreiden ja päälaitteen välillä koostuu rakenteesta, joka koostuu kahdesta kokonaisluvusta. Rakenteen ensimmäinen muuttuja on sensorin yksilöivä järjestysnumero ja toinen muuttuja on sensorin lähettämä dataviesti. Dataviesti voi pitää sisällään sensorin paristojen varaustiedon tai hälytystiedon, joka ilmaistaan numerolla yksi. Sensoreiden paristojen mittaus tapahtuu sensoreissa kahden desimaalin tarkkuudella ja se muutetaan kokonaisluvuksi kertomalla sadalla. Dataviesti vaihtelee siis lukujen 0 ja 210 välillä. Hälytinsä järjestelmä kytketään aktiiviseksi dataviestillä, joka sisältää numeron viisi. Hälyttimen poiskytkemiseksi lähetetään numero nolla. Pelkkien kokonaislukujen käyttö yksinkertaistaa radioliikenteen rakennetta ja myös datalähetyksen siirtymisen varmuus paranee pienen viestikoon ansiosta [9].

### 4.1 NRF24L01+

Nordic Semiconductorin valmistama NRF24L01+ on erittäin kompakti ja vähävirtainen 2.4 GHz -taajuuden radiopiiri eikä se tarvitse montaa erilliskomponenttia toimiakseen. Se toimii täysin ISM-standardin mukaisesti, joten sen käyttö on Suomessa sallittua. Vähävirtaisuudestaan takia se on hyvä valinta päälaitteeseen ja etenkin sensoreihin, joissa paristojen pitkä elinikä on tärkeää. [9.]

Radiopiiri tukee kolmea eri datan siirtonopeutta: 2 Mbps, 1 Mbps ja 250 kbps. Koska siirrettävä datamäärä on pieni, käytetään 250 kbps tiedonsiirtonopeutta. Pienen tiedonsiirtonopeuden etuna on myös herkkä vastaanottokyky. Herkemman vastaanottokyvyn

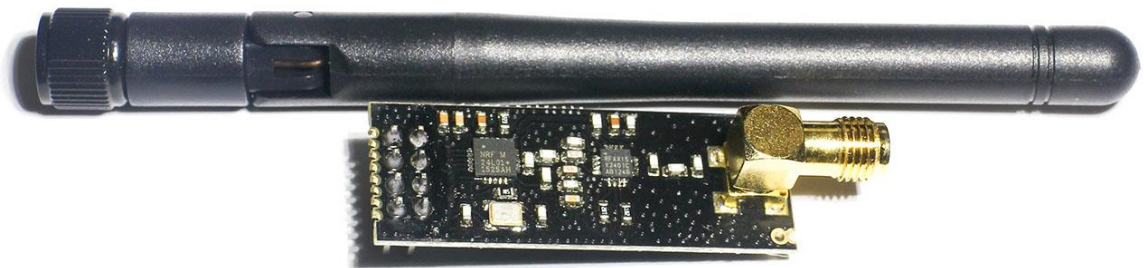
vuoksi signaali saa matkan varrella heikentyä enemmän ja se on kuitenkin vielä luotettavasti vastaanotettavissa toisessa päässä. Tämä tarkoittaa, että lähettimen ja vastaanottimen välillä voi olla enemmän esteitä ja/tai etäisyyttä. Vastaanottoherkkyydet suurimmasta siirtonopeudesta pienimpään ovat  $-82$  dBm,  $-85$  dBm ja  $-94$  dBm. [9, s. 8.] Nämä arvot voidaan muuttaa lähetystehoksi kaavalla 1, jossa  $x$  on teho dBm-arvossa [10].

$$x = 30 + 10 * \log_{10} \frac{P}{1W} \quad (1)$$

josta seuraa:

$$P = 1W * 10^{\frac{x-30}{10}} \quad (2)$$

Tehona mitattuna pienimmät vastaanottotehot ovat siis 6.3 pW, 3,2 pW ja 0,4 pW. Lähetysteho on ohjelmallisesti valittavissa neljästä eri vaihtoehdosta: 0 dBm,  $-6$  dBm,  $-12$  dBm tai  $-18$  dBm (vastaavasti 1 mW, 0.25 mW, 63  $\mu$ W tai 16  $\mu$ W). Vastaanoton ja lähetysten vahvistamiseksi NRF24L01+ piirin kanssa on saatavilla erillinen vahvistinpiiri, RFAxisin RFX2401C (kuva 3).



Kuva 3 NRF24L01+ vahvistinpiirillä (vahvistinpiiri oikealla) ja lisäantenni

Vahvistinpiiri sisältää oman osan niin lähetys- kuin vastaanottopuolelle. Jos lähetystehoksi valitaan NRF24L01+ piiriltä 0 dBm, on se vahvistimen jälkeen 21 dBm. [11.] Tehoksi muutettuna 0 dBm vastaa 1mW lähetystehoa ja 21 dBm 125 mW lähetystehoa. Lähetysteho siis 125-kertaistuu, jos käytetään 2 Mbps siirtonopeutta. Muilla siirtonopeuksilla vastaavaa mittaustietoa ei ole saatavilla. On kuitenkin otettava huomioon, että 125 mW ylittää sallitun 100 mW lähetystehorajan, joten sitä ei voida Suomessa käyttää. Vastaanottopuolella vahvistinpiiri parantaa noin 6 dB vaimentuman. Vaimentuma lähetystehon avulla voidaan laskea ao. kaavasta [12].

$$Vaimentuma (dB) = 10 * \log_{10}\left(\frac{P_{in}}{P_{out}}\right) \quad (3)$$

josta seuraa:

$$P_{out} = \frac{P_{in}}{10^{Vaimentuma (dB)/10}} \quad (4)$$

Vastaavasti tällöin 2 Mbps nopeudella pienin mahdollinen vastaanottoteho on kaavalla 4. laskettuna noin 1.6 pW eli noin -88 dBm (kaava 1).

$$Distance = 10^{\frac{ATTEN}{20}} \quad (5)$$

RFaxisin arvion mukaan radiosignaalin kuuluvuus kasvaa kaavan 5 mukaisesti, jossa Distance on etäisyyden kasvanut kertoluku vapaassa ilmassa, ja ATTEN on vahvistinpiiristä saatu hyöty desibeleissä [11, s. 7]. Vahvistinpiirin suurista hyödyistä huolimatta vain päälaitteessa käytetään erillisellä vahvistinpiirillä varustettua radiopiiriä. Tähän on selkeä syy; virrankulutus. Pelkkä NRF24L01+ käyttää Power down -tilassa virtaa keskimäärin 900 nA ja 250 kbps lähetyksen aikana keskimäärin 0 dBm lähetysteholla 11.3 mA [9, s. 14]. Vahvistinpiiriä ei voida asettaa samankaltaiseen vähävirtaiseen lepotilaan vaan sen lähetinosio kuluttaa 17 mA ja vastaanotto-osio 8 mA, vaikka laitetta ei käytettäisi [13]. 25 mA virtamäärällä sensoreiden paristot loppuisivat liian nopeasti. Kaavasta 5 laskettuna tällä järjestelyllä saatu hyöty kuuluvuuden etäisyydessä on noin kaksinkertainen.

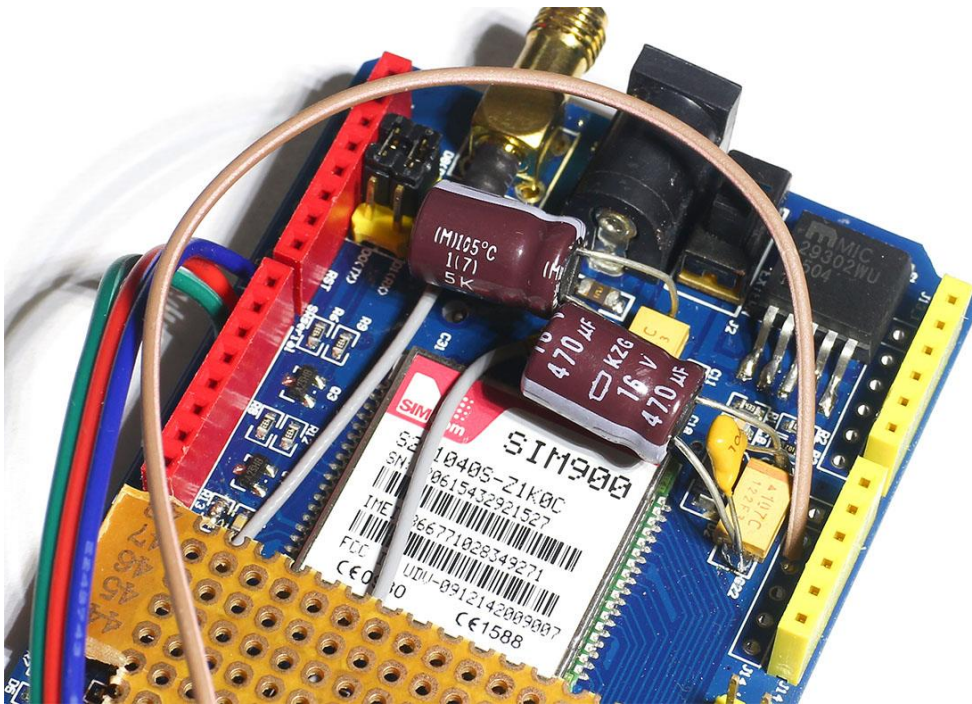
NRF24L01+ osaa vastaanottaa kuuden eri kanavan signaalin samanaikaisesti ja pystyy tallentamaan sen lukemista varten. Tästä johtuen yhdessä radioverkossa voi olla teoriassa vain seitsemän yksilöllistä radiolaitetta. [9, s. 39.] Jokaisella verkossa olevalla laitteella on ohjelmallisesti määritely tunnistenumero, joka ei tässä tapauksessa ole sama kuin aikaisemmin mainittu sensorin tunnistenumero. Kun radiopiiri tunnistaa radioviestistä yksilöllisen tunnistenumeron, se nappaa viestin talteen. Tunnistenumero toimii kuin postiosoite postinjakelussa.

Koska tässä laitteessa viestejä ei lähetetä monesta sensorista samanaikaisesti eikä päälaite lähetä viestejä sensoreiden suuntaan, ei osoitteiden rajallisuus aiheuta ongelmia. Sama tunnistenumero voidaan antaa monelle laitteelle ilman, että viestejä jäisi vastaanottamatta. Viestin lähettäjä tunnistetaan vain rakenneviestissä olevalla tunnistenumorolla, joten sensoreita voi olla satoja yhdessä verkossa.

## 4.2 GSM

GSM-yhteyttä hoidetaan Simcomin valmistamalla SIM900-piirillä. SIM900 tukee tekstiviesti- ja puhepalveluita 850 / 900 / 1800 / 1900 MHz taajuuksilla ja kykenee GPRS-tiedonsiirtoon [14]. Kommunikointi SIM900 kanssa onnistuu rauta- tai ohjelmistopohjaisella Serial-väylällä, jossa data liikkuu TTL-tasoisena. TTL-tasoisena laitteen käyttöjännite tarkoittaa arvoa yksi ja nolla [6, s. 90]. Fyysinen liitäntä koostuu kolmesta pinnistä: maasta, RX- ja TX-pinnistä. Maajohdin yhdistää laitteet samaan peruspotentiaaliin, RX on lähetinpinni ja TX vastaanotinpinni. On otettava huomioon, että Serial-väylässä voi kerrallaan olla vain kaksi laitetta käytössä, koska toisen laitteen lähetydata syötetään toisen laitteen vastaanottoon ja niin edelleen. Arduinon ohjelmien siirto ja Serial Monitor käyttävät Serial-väylää dataliikenteessään. Näitä toimintoja ei voida käyttää samaan aikaan, jos SIM900 liitetään rautapohjaiseen Serial-väylään. Atmega328p:n pohjautuvissa Arduinoissa rautapohjainen Serial-väylä on kytketty digitaalisiin pinneihin yksi ja nolla. Rautapohjaisia Serial-väyliä tässä mikropiirissä on vain yksi. Ohjelmistopohjaisessa väylässä käytettävät pinnit voidaan määrittää muihinkin digitaalisiin pinneihin. GSM-laite on liitettävä Arduinoon ohjelmistopohjaisella väylällä, jotta muut Serial-väylän toiminnot saadaan pidettyä käytettävissä. [6, s. 92.]

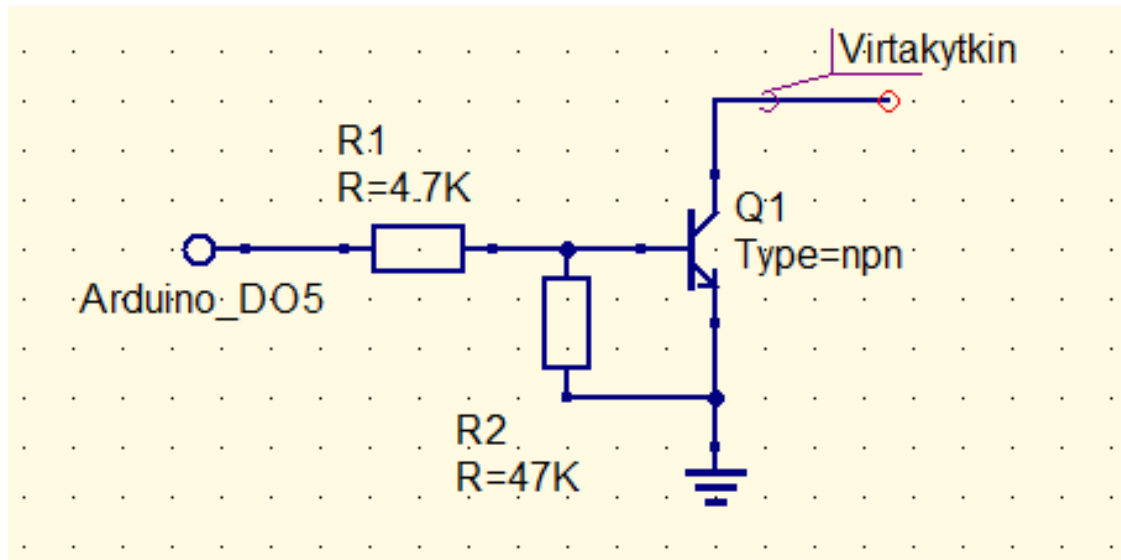
GSM-laite (kuva 4) koostuu SIM900-piirin lisäksi muutamista lisäkomponenteista. Muu huomioon otettava asia on erillinen virransyöttö, joka toimii 5 V sisääntulojännitteellä kuten päälaitteen Arduinokin. Kun laite on Power Down -tilassa, mainitaan laitteen kuluttavan  $30 \mu\text{A}$ . Kun laite on verkossa, muttei lähetä tai vastaanota mitään, sille luvataan  $22 \text{ mA}$  virrankulutus ja suurimmillaan  $2 \text{ A}$  piikki lähetyspurkeessa [15, s. 39]. Laite voidaan käynnistää fyysistä nappia painamalla tai vaihtoehtoisesti transistorikytkennällä voidaan simuloida fyysistä napin painallusta. Transistorikäynnistyksen etuna on se, että näin GSM-moduuli saadaan käyntiin ohjelmallisesti Arduinon digitaalisen ulostulon avulla.



Kuva 4 SIM900 GSM-moduuli ja sen virransyöttö

Kuvassa 5 on esitetty yksikertainen transistorikytkentä. Arduinon digitaalisesta ulostulosta tuleva jännite ja virta on kytketty transistorin kannalle ohjaamaan transistorin johtavuutta. Kun Arduinon ulostulo kirjoitetaan ylös, transistori alkaa johtaa sähköä. Kun taas lähtö kirjoitetaan alas, loppuu sähkönjohtavuus. Tässä kytkennässä transistoria ohjataan vain kahteen tilaan eli täysin johtavaksi tai täysin johtamattomaksi. Tällöin kytkennän toiminta muistuttaa fyysisen kytkimen toimintaa. [16.] Transistorin emitteri ja kollektori ovat kytkettyinä kytkimen kanssa rinnan, jolloin käynnistysnappina voidaan käyttää fyysistä nappia ja transistorikytkentää.





Kuva 5 Virtakytin transistorilla

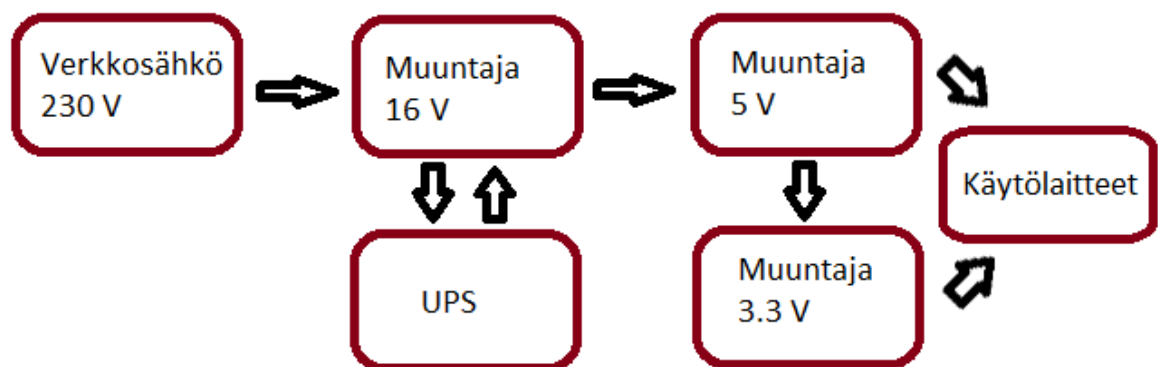
SIM900:n ohjaaminen onnistuu yleisillä AT-viesteillä tai erillisillä kirjastoilla. AT-viestit ovat helppo tapa tehdä perustoimenpiteitä kuten lähettää SMS-viestejä (Short message service). Pääohjelman rakenteen yksinkertaistamiseksi tässä työssä käytetään AT-viestejä sanomien lähettämiseen. AT-viestit siirretään Arduinolta SIM900-modeemille aiemmin mainitulla sarjaväylällä. Sarjaväylän kautta lähetettävät koodit ovat selkokieliä komentoja tai komentoja ja tietoa. Komennolla modeemi voidaan määrittää tiettyyn toimintatilaan kuten esimerkiksi määrittellä tekstiviesti lähetettäväksi tekstimuotoisena komennolla "AT+CMGF=1\r". Komennon ja tiedon yhteislähetykset ovat esimerkiksi käsky käyttää tiettyä puhelinnumeroa. Tämä tapahtuu komennolla "AT + CMGS = \"+358000000000\"". Tämän jälkeen syötetään lähetettävä teksti normaalissa tekstimuodossa ja lopuksi annetaan lähetyskäsky viestillä, joka sisältää numeron 26. [17.]

Viestejä tai soittoja tullaan käsittelemään vain yhteen suuntaan, eli lähettämiseen. Jos laitteeseen vaikka vahingossa soitettaisiin tai lähetettäisiin tekstiviesti niin se ei aiheuta laitteessa minkäänlaista toimintoa.

### 4.3 Virransyöttö ja varavirtalähde

Päälaitteen virransyöttö jakaa sähkön sitä tarvitseville laitteille. Pääosin kaikki laitteet toimivat 5 V käyttöjännitteellä, mutta 2.4 GHz -radiota varten tarvitaan vielä 3.3 V käyttöjännite. Virransyöttö voidaan rakentaa kohtalaisen kevyeksi, mutta GSM-laitteen purskkeen aiheuttama virtapiikin suuruus pitää ottaa suunnittelussa huomioon. Samoin virransyötön hyötysuhde on merkittävässä asemassa, kun halutaan varavirtalähteen eli UPS:n (Uninterruptible Power Supply) kestävä kohtalaisen kokoisella akulla pitkään.

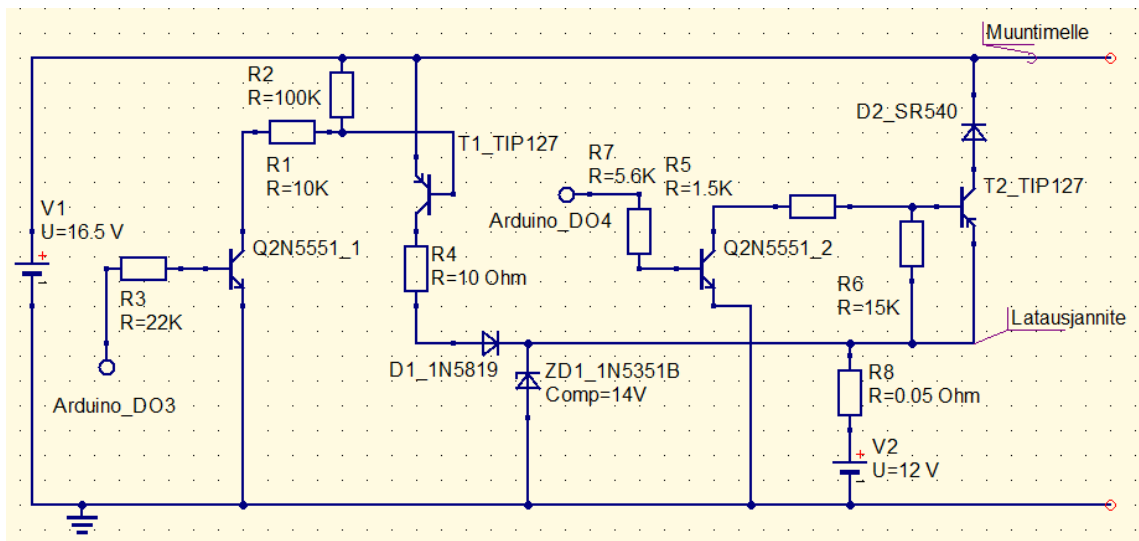
Kuvaan 6 on merkitty virransyötön rakenne. Aluksi verkkosähkö muunnetaan kannettavan tietokoneen muuntajalla 16 V:ksi, jota voidaan käyttää seuraavien vaiheiden muuntajien sisääntulona. Verkkomuuntajan jälkeen on UPS, jonka lataamiseksi tarvitaan yli 14 V käyttöjännite. UPS:n jälkeen tulee vielä 5 ja 3.3 V regulaattorit.



Kuva 6 Virransyötön rakennekaavio

UPS koostuu 12 V akusta, jonka kapasiteetti on 2.3 Ah. Tyhjän akun napajännite on kuormittamattomana noin 11.7 V ja täynnä noin 13 V. [18.] Latauksen alkuvaiheessa 16 V jännite syötetään vastuksen R1 läpi, jolloin akun jännite nousee hiljalleen zener-diodin kynnysjännitteeseen eli 14 V asti. Rakenteestaan johtuen Zener-diodi alkaa johtaa virtaa lävitseen, kun kynnysjännite saavutetaan. Koska zener on kytketty akun kanssa rinnan, ei latausjännite koskaan nouse yli kynnysjännitteen [19]. Latausvirta muuttuu latauksen

edetessä 430 mA lähes nollaan akun jännitteestä eli lataustasosta riippuen. Latausjännite ja -virta on valittu akun valmistajan suosituksen mukaan [18]. Kuvassa 7 on UPS:n piirikaavio.

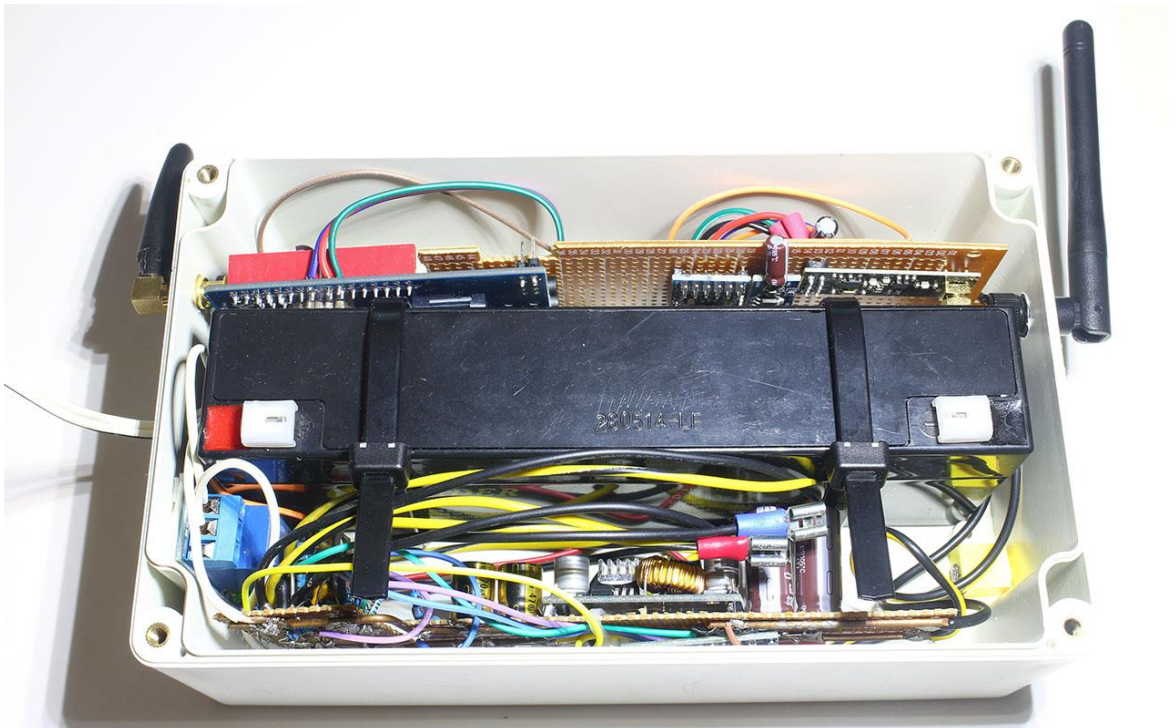


Kuva 7 UPS-piirikaavio komponenttimerkinnoilla

Akun ylläladautuminen ja -purkautuminen estetään Arduino-ohjatulla lataushallinnalla. Akun jännitettä mitataan jatkuvasti ja lataus katkaistaan, kun akun jännite nousee latauksessa 14 V. Myös akun ylipurkautuminen estetään, koska täysin tyhjäksi menevä akku pilaantuu eikä sitä välttämättä voida enää turvallisesti ladata. Koko päälaite sammutetaan, kun akun jännite laskee 11.3 V. Laite käynnistyy automaattisesti, kun sähkö palautuu.

UPS:lta tai 16 V muuntajalta tuleva jännite syötetään 5 V muuntimelle, joka perustuu XLSEMI:n valmistamaan XL4005 step-down muuntimeen [20]. Muuntimella voidaan suurimmillaan ajaa 5 A kuormaa, mikä on enemmän kuin riittävästi kaikille päälaitteen komponenteille. 5 A virranantokyky on ylimitoitettu laitteistolle normaalitilanteessa, mutta GSM-laitteen tarvitseman virtapiikin vuoksi tarpeellinen. Virtapiikin aiheuttamaa jännitelaskun tasaamista varten muuntimeen on myös lisätty suuria kondensaattoreita, jotka varastoivat ja purkavat sähköenergiaa nopeasti tällaisiin tilanteisiin [21]. XL4005 hyötysuhde on hyvä, parhaimmillaan 90 % täydellä kuormalla. Muilta kuormitusasteilta valmistajan tietoja ei ole saatavilla.

2.4 GHz -lähettimelle jännite joudutaan vielä kertaalleen muuttamaan sopivammaksi eli 3.3 V:ksi, koska lähetin kestää korkeimmillaan vain 3.6 V käyttöjännitteen [9, s. 12]. Lähetin tarvitsee suurimmillaan noin 36 mA hetkellisen käyntivirran (ks. kohta 4.2), joten muunnoksen hyötysuhteella ei ole niin väliä, kunhan muuntimen virranantokyky on riittävä. Tätä varten valittiin Advanced Monolithic Systemin valmistama AMS1117-3.3-lineaariregulaattori, joka pystyy syöttämään suurimmillaan 1 A virran [22]. Kaikki komponentit ovat asetettu kuvan 8 mukaiseen muoviseen koteloon, jolla on kokoa 200 mm x 120 mm x 75 mm (pituus x leveys x korkeus).



Kuva 8 Päälaite koteloituna

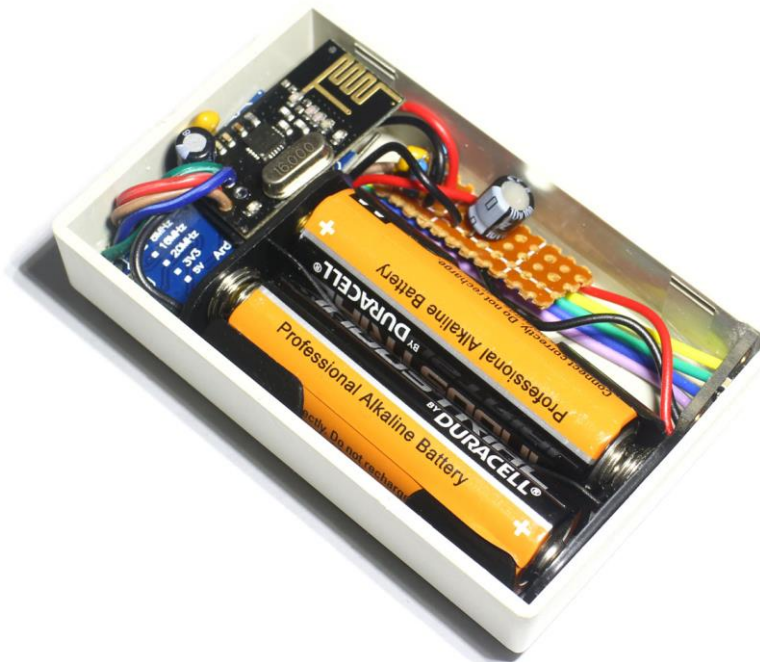
Päälaite tulee viettämään suurimman osan ajastaan tilassa, jossa GSM-laite on pois päältä, mutta muut laitteet ovat päällä. Tällöin laitteen mitattu virrankulutus UPS:n akulta on noin 44 mA. Kun tiedetään, että akun kapasiteetti on 2.3 Ah, saadaan laskettua, kuinka pitkään laite toimii akun varassa. Laskemalla saatu tulos on noin 45 h eli lähes 2 päivää. Virrankulutusta kuitenkin vielä pienennetään poistamalla ylimääräiset ledit, joita on yhteensä neljä kappaletta päälaitteen eri osissa. Ledien poistamisen jälkeen normaali-tilan virrankulutus laskee 39 mA, jolloin akku kestää noin 2.5 päivää.

## 5 Sensorit ja HMI

Sensoreissa ja HMI:ssä käytettävä perusalusta on vähävirtaiseksi muokattu Arduino Pro mini ja NRF24L01-radiopiiri. Sensorista riippuen tehonlähteenä on kaksi tai kolme AA-paristoa. Pitkän käyttöajan ja hyvän hyötysuhteen takaamiseksi jokaisesta Pro ministä on poistettu ylimääräiset komponentit, kuten hyötysuhdetta alentava jänniteregulaattori ja tehoa syövät ledit. Käyttöjännite syötetään suoraan sellaisenaan paristoilta Arduinolle, 2.4 GHz -radiopiirille ja anturille.

Pro mini on muutettu toimimaan 1 MHz kellotaajuudella, jolla se toimii aina minimissään 1.8 V käyttöjännitteellä [5, s. 303]. Kuten päätelaite-osiossa on mainittu, toimii NRF24L01-radiopiiri minimissään 1.9 V käyttöjännitteellä, joten se on myös alin sallittu käyttöjännite sensoreille.

Sensorit kootaan ABS-muovisiin (Acrylonitrile Butadiene Styrene) koteloihin. Kotelaita on kahta eri kokoa patterimäärästä ja anturin koosta riippuen. Kuvassa 9 on esimerkki kahden patterin kotelosta elektroniikkakomponentteineen, jonka koko on 80 mm x 50 mm x 20 mm (pituus x leveys x korkeus). Suuremman kotelon koko on 125 mm x 80 mm x 30 mm.



Kuva 9 Kosteussensori koteloituna

## 5.1 Virrankulutus

Taulukossa 2 on esitetty vakion ja muokatun Arduino Pro minin virrankulutuksen erot. Mittaukset ovat suoritettu Fluke 865 yleismittarilla kuten kaikki tässä työssä tehdyt jännite-, virta- ja resistanssimittaukset. ”Ohjelman suoritus” -mittauksien aikana suoritettiin perusfunktioita 10 s ajan. Tämän jälkeen mikropiiri ajettiin Power down -tilaan eli ”nukkumaan” 10 s:ksi. Saaduista tuloksista huomataan, että muokattu Arduino Pro mini kuluttaa virtaa huomattavasti vakiota vähemmän etenkin Power down -tilassa.

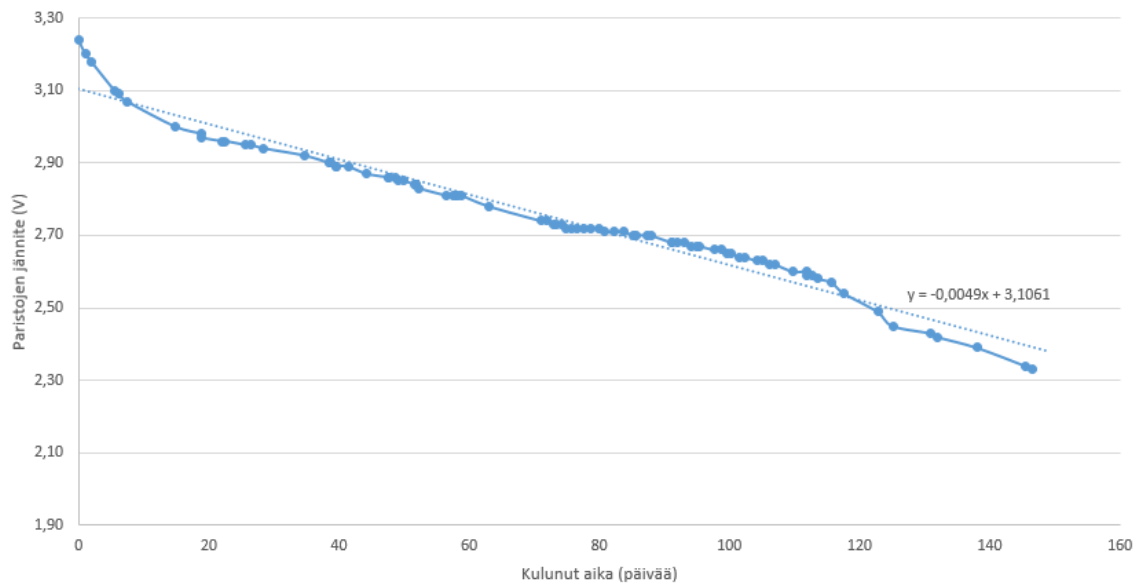
Taulukko 2 Arduino Pro mini virtamittaukset (Fluke 865)

Laitteen tila	Ohjelman suoritus	Power down
Vakio	5550 $\mu\text{A}$	1525 $\mu\text{A}$
Muokattu	1120 $\mu\text{A}$	5 $\mu\text{A}$

Paristojen eliniän pidentämiseksi jokainen sensori on asetettu menemään Power Down -tilaan. Sensorit herätetään vain silloin, kun halutaan lähettää viesti eteenpäin hälytyksestä. Jokainen sensori myös mittaa paristojensa jännitteen automaattisesti 24 h välein. Kun sensorin käyttöjännite laskee alle 2.1 V, lähetetään siitä tieto eteenpäin päälaitteelle, joka ilmoittaa tekstiviestillä sensorin paristojen olevan vaihdon tarpeessa.

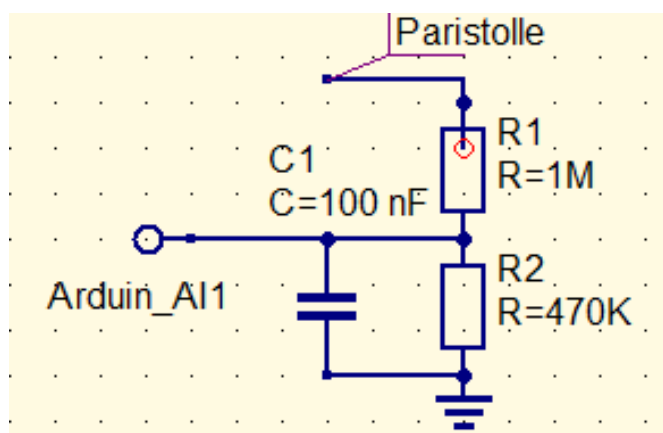
## 5.2 Jännitteenmittaus

Kuvassa 10 on mitattu kosteussensorin paristojen elinikää tarkkailemalla sen paristojen napajännitettä aina kun kosteusmittaus tapahtuu. Tässä testissä kosteusmittaus tapahtuu 10 min välein, jolloin mitataan myös pariston jännite ja ne lähetetään vastaanottimelle. Paristojen napajännite laskee ajan myötä, kun niistä otetaan tehoa ulos [23, s. 54]. Paristojen mitatusta jännitteestä voidaan muodostaa Excelin-taulukkolaskentaohjelman avulla funktio ajan suhteen mittaustietojen avulla. Kaava on muotoa  $Y = -0.0049x + 3.1061$ . Paristojen jännitteen ei sallita laskevan alle 1.9 V, joten paristojen eliniäksi voidaan laskemalla odottaa noin 246 päivää. Testissä käytetyt paristot olivat Duracell Industrial AA (ID1500) -paristoja. On hyvä ottaa huomioon, että paristoista saatuun kokonaisenergiaan vaikuttaa paristoja purkavan virran suuruus. Mitä pienempi purkausvirta on, sitä enemmän energiaa saadaan hyödynnettyä ennen kuin paristo on tyhjä [24]. Kosteussensorin lopullisessa versiossa mittaussväli on 2 h, joten paristojen elinikä on merkittävästi pidempi kuin kokeessa saatu tulos.



Kuva 10 Kuvaaja testisensorin paristojen jännitteestä

Jännitteenmittaus suoritetaan jokaisessa anturissa kuvan 11 mukaisella jännitteenjakokytkennällä. Jännitteenjakokytkentä alentaa jännitteen noin kymmenyksiin siitä, mitä se todellisuudessa on [25]. Tämä tehdään siksi, että Arduinon analogisen sisääntulon digitaaliset muuntimet ovat 10-bittisiä, mikä tarkoittaa, että se voi saada 1024 ( $2^{10}$ ) arvoa 0 V ja sisäisen vertailujännitteen välille. 0 V vastaa arvoa 0 ja vertailujännite arvoa 1023. Normaalisti vertailujännite on sidottu käyttöjännitteeseen, joka tässä tapauksessa on 3.3 V. Paristoja käytettäessä käyttöjännite laskee ajan myötä, joten myös vertailujännite laskee. Jos paristojen jännite laskee esimerkiksi arvoon 2.9 V, vastaa digitaalisen muuntimen maksimiarvo 1023 enää 2.9 V. Tällöin mittaustulokset vääristyvät ja antavat virheellisiä tuloksia [5, s. 237].



Kuva 11 Jännitejako

Ongelman ratkaisemiseksi vertailujännite voidaan sijoittaa Atmega328p-mikropiiriin sisäiseen 1.1 V jännitteeseen. Tämä arvo on sopiva niin jännitejaon antaman jännitteen kannalta ja siksi, että sensoreita ei tulla käyttämään alle 1.9 V käyttöjännitteellä.

Seuraavaksi tarvitaan vertailuarvo vertailujännitteen ja analogisen sisääntulon arvon välille, mikä saadaan laskulla  $1.1 / 1023 \text{ V} (= 0,001 \text{ V})$ . Tällöin tiedetään, että jos analogisen sisääntulon arvo nousee yhdellä, on sisään tullut jännite noussut noin 0,001 V. Kahden pariston suurin napajännite sarjaan kytkettynä on noin 3.2 V ja jännitteenjakokytkennän jälkeen Arduinin analogiseen sisääntuloon tulee  $(47 / 147) * 3.2 \text{ V} = 1.02 \text{ V}$ , joten 1.1 V vertailujännite riittää. Jotta saadaan tietoon jännitteen oikea arvo, joudutaan kertomaan saatu tulos jännitejaon käänteisluvulla eli luvulla  $147 / 47$  ja analogisen sisääntulon arvolla.

Kaavassa 6 on esitetty lopullinen laskentakaava paristojen jännitteelle. Tarkkuutta voidaan vielä lisätä mittaamalla tarkka arvo vertailujännitteelle, joka ei aina ole tasan 1.1 V. Atmega328p-piirissä on erillinen jalka (AREF), josta tämä jännite voidaan mitata.

$$U = \frac{1.1}{1023} * \frac{147}{47} * Value_{analog} \quad (6)$$

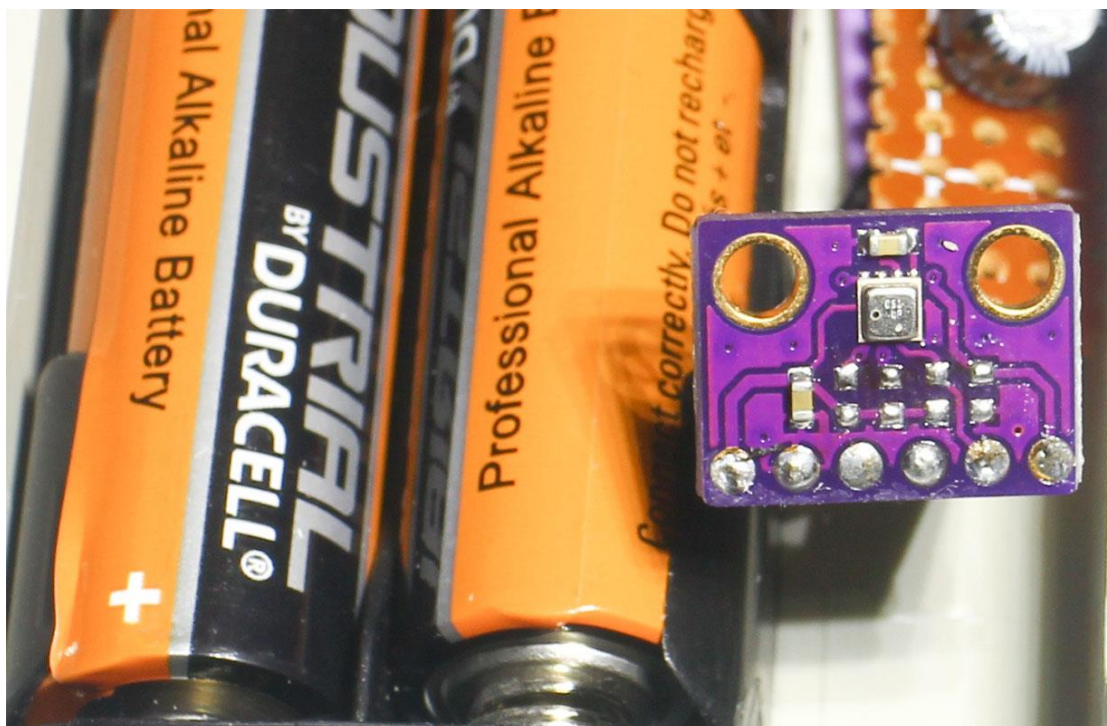
### 5.3 Kosteussensori

Kosteussensori perustuu Boschin valmistamaan, erittäin pieneen ja vähävirtaiseen, mobiilikäyttöön suunnattuun BME280-anturiin [26]. Anturi itsessään on kooltaan vain 2.5 x 2.5 x 0.93 mm. Anturi toimii 1.71 – 3.6 V käyttöjännitteellä ja virrankulutus mittauksia tehdessä on 1.8  $\mu\text{A}$ . Laitteen ollessa lepotilassa virrankulutus on 0.1  $\mu\text{A}$ . Anturi valittiin pienen virrankulutuksensa ja sopivan käyttöjännitealueensa vuoksi. Käyttöjännite osuu kahden pariston jännitealueen sisään, mikä on 1.9 – 3.25 V.

Kosteusmittausalue on 0 – 100 % ja tarkkuus 3 %. Anturi mittaa kosteuden suhteellisena kosteutena. Suhteellinen kosteus tarkoittaa ilmassa olevan vesihöyryn määrää suhteessa siihen, miten paljon vesihöyryä ilmassa voi olla kyseisessä lämpötilassa [27]. Hälytinjaohjelmassa kosteusmittaus tullaan tekemään 2 h välein vuotojen tunnistamiseksi.



Kuvassa 12 on anturi piirilevyllä juotettuna. Anturia voidaan käyttää kahdella eri tiedonsiirtoprotokollalla, I2C (Inter-Integrated Circuit) ja SPI (Serial Peripheral Interface). Tässä työssä anturia tullaan käyttämään SPI-väylässä nopeamman tiedonsiirron vuoksi ja koska SPI-väylä on määritelty käyttöön jo radiolähtetimen takia. Tämän vuoksi olisi turhaa enää määritellä I2C-kirjastoja viemään tilaa mikropiirin muistilta.



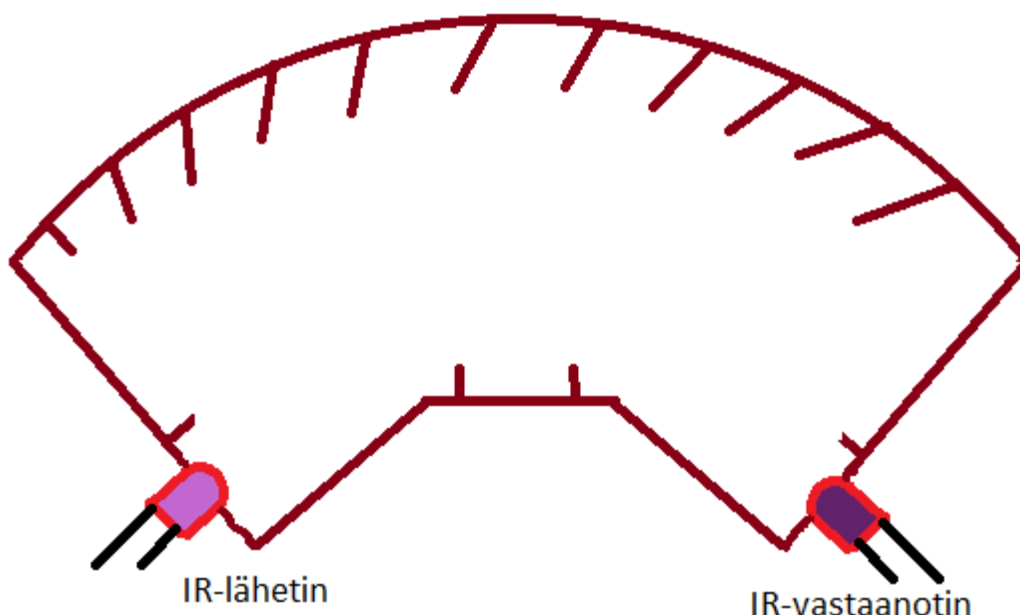
Kuva 12 BME280 juotettuna piirilevyllä

SPI-väylä koostuu neljästä datajohtimesta ja virransyöttöjohtimista. Neljään datajohtimeen kuuluu datan ulos- ja sisääntulo (MOSI / MISO), kelloaajuus (SCLK) ja käytettävän laitteen valintajohdin (SS). SPI-väylään voidaan liittää lukemattomia laitteita samaan aikaan, mutta SPI-päälaite (tässä tapauksessa Arduino) voi keskustella vain yhden orjalaitteen kanssa kerrallaan. Lupa keskusteluun annetaan laitteen valintajohtimen avulla, joka on yksilöllinen jokaiselle laitteelle. SPI-väylässä keskustelevat laitteet voivat lähettää ja vastaanottaa dataa samanaikaisesti, mikä nopeuttaa tiedonsiirtoa ja viiveitä. [1, s. 247–248.]

## 5.4 Palosensori

Palosensorissa käytetään hyödyksi erillistä paristolla toimivaa palohälytintä. Näin voidaan luottaa siihen, että hälytintä toimii vaadittavien kansallisten standardien mukaisesti eivätkä palot jää huomaamatta. Koska palohälytintä jää alkuperäiseen koteloonsa, otetaan hälytysignaali sen piirilevyiltä. Valittu palohälytintä on rakennettu Shanghai Bellingin valmistaman BL59S10-piirin pohjalle. Tässä palohälytintessä palosta tulevien partikkeleiden tunnistamiseen ei käytetä säteilylähdettä kuten vanhemmissa palovaroittimissa, vaan tunnistus perustuu infrapunaLED:llä tehtävään tunnistukseen. [28.]

Tunnistuksen perusideana on kuvan 13 mukainen kammio, johon partikkelit tulevat palokaasujen mukana. Kammiossa on infrapuna-LED (Light-Emitting Diode) lähettimenä ja vastaanottimena infrapunalle aktiivinen valosensori. Lähetin ja vastaanotin asetetaan kammion molemmille puolille osoittamaan hieman ristiin. Kammion ollessa täynnä ilmaa IR-säteet (Infrared) eivät osu ollenkaan vastaanottimeen. Kun kammio alkaa täyttyä savupartikkeleilla, jotka heijastavat IR-säteilyä ympäri kammiota, osa heijastuneesta säteilystä osuu myös vastaanottimeen [29].



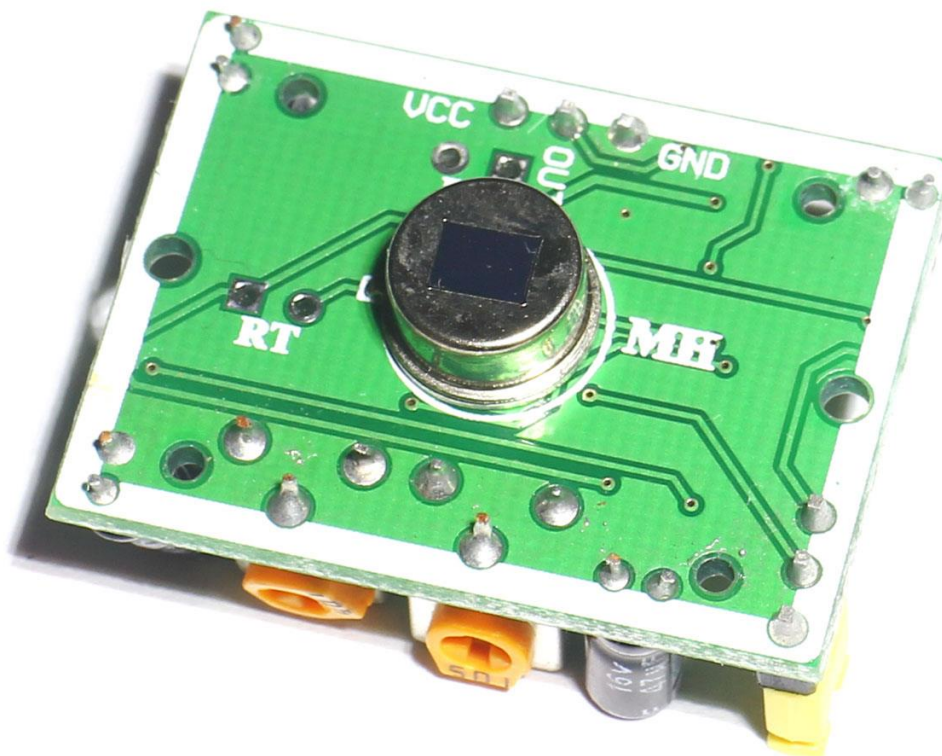
Kuva 13 Optisen palovaroittimen savuntunnistinkammio

BL59S10-piiri mahdollistaa usean palohälyttimen kytkemisen ketjuun suoraan kytkentäkaapelia pitkin. Yhden hälyttimen alkaessa soida, ilmoittavat toisetkin hälyttimet palosta. Tätä hyödyntäen saadaan helposti tuotua signaali ulos palohälyttimestä ja sisään Arduinon digitaalista sisääntuloa pitkin hälytystä varten. Arduinoa pidetään Power Down -tilassa, kunnes hälytys tapahtuu. Arduino herätetään unesta Interrupt()-funktion avulla ulkoisen signaalin saapuessa Interrupt()-funktiota tukevaan digitaaliseen sisääntuloon. [1, s. 128–129; 6, s. 600–610.] Interrupt()-funktio on tapa keskeyttää sillä hetkellä ajettava ohjelma ja siirtyä suoraan ennalta määrättyyn ohjelman kohtaan, joka halutaan suorittaa. Tätä toimintoa käytetään hyödyksi suurimmassa osassa sensoreita laitteen herättämiseksi Power Down -tilasta, koska muutoin sensori vain nukkuisi eikä hälytystä tapahtuisi.

## 5.5 Liikesensori

Liikesensori perustuu passiiviseen infrapunatunnistukseen. Jokainen kappale säteilee infrapunasäteilyä voimakkuudella, joka riippuu kappaleen lämpötilasta [30, s. 506]. Ihmisen lämpösäteily erottuu ympäröivästä huoneilmasta selkeästi suuremman lämpötilansa vuoksi. Itse infrapunaliikeanturi koostuu kahdesta erillisestä, mutta vierekkäisestä infrapunaherkästä kennosta, jotka on rakennettu samalle sirulle.

Kuvassa 14 on infrapuna-anturi juotettuna piirilevyille, ja pyöreän metallikuoren keskellä on valoherkkä kennosto. Infrapunakennot ovat passiivisia, jolloin ne eivät tarvitse toimikseen sähköä. Infrapunakennot ovat sopivista materiaaleista tehtyjä levyjä, jotka tuottavat pienen sähkövirran silloin kun niihin osuu infrapunasäteilyä. Tätä sähkövirtaa käytetään hyödyksi liikkeen tunnistamisessa.



Kuva 14 Infrapunavalokenno piirilevyllä

Jos tehtäisiin koejärjestely, jossa infrapunasensoria pidettäisiin metrin päässä seinästä, molemmat anturit vastaanottaisivat saman suuruisen infrapunasäteilyn seinästä ja kennon tuottama sähkövirta olisi lähes identtinen. Jos tämän jälkeen sensorin ja seinän välistä kävelisi ihminen, joka säteilee infrapunasäteilyä seinää voimakkaammin, säteily voimistuisi ensiksi toisessa ja sitten toisessa kennossa. Näin muodostuisi sähköimpulssi kumpaankin kennoon hieman eri aikaan.

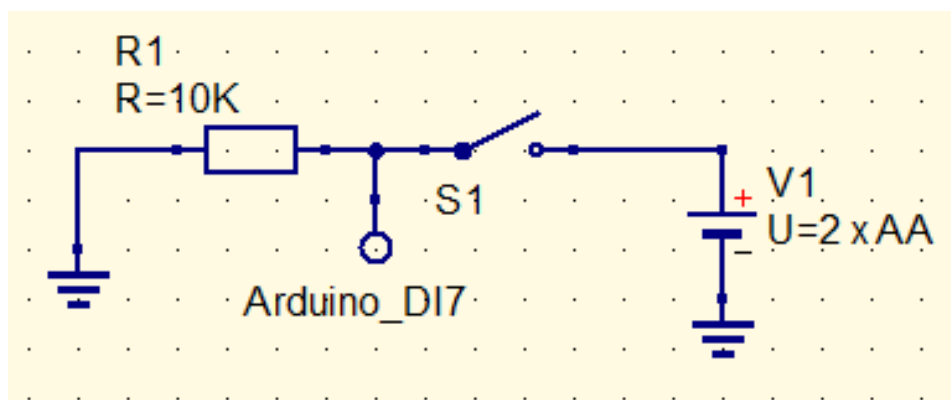
Säteilyeroista johtuvaa sähköimpulssien huomaamista varten tarvitaan tätä tarkoitusta varten rakennettu mikropiiri, kuten JXin BIS0001. Tällä mikropiirillä voidaan määrittellä, kuinka paljon eroa antureiden välillä tarvitaan, jotta voidaan sanoa jonkin liikkuneen anturin edestä. Kun haluttu herkkyys on ylitetty, muuttaa piiri ulostulopinninsä tilan päälle. Tästä saadaan Arduinolle tieto, että liikettä on havaittu. [31.]

Jotta infrapunasäteily saataisiin koottua laajemmalla alueella anturille, tarvitaan sopiva heijastava kupu anturin päälle. Kupu voidaan valmistaa esimerkiksi muovista, jonka pinnassa on monia linsejä. Näillä linseillä IR-säteily saadaan suunnattua laajalta alueelta anturin pinnalle.

## 5.6 Reed-sensori

Oven avautuminen tai ikkunan rikkoutuminen voidaan tunnistaa reed-antureilla. Reed-anturi on pohjimmiltaan normaali kytkin, jonka tilaa voidaan muuttaa magneettikentällä. Tällainen kytkin on yleensä rakennettu lasisen putken sisään erittäin ohuista ja taipuvista magneettiin reagoivasta metalliliuskoista. Lasiputken päistä tulevat liuskat on aseteltu päällekkäin, jolloin magneetti pystyy vetämään ne yhteen tai työntämään erilleen toimintatavasta riippuen.

Kuvan 15 mukaisella kytkennällä voidaan toteuttaa Arduinolle tunnistus siitä, onko ovi kiinni vai auki. On muistettava, ettei käytössä olevaa digitaalista sisääntuloa jätetä koskaan avoimeksi eli kellumaan. Tämä voi johtaa sähköhäiriöstä johtuen väärään tulkin-taan mikropiirissä siitä, onko sisääntulo ylhäällä vai alhaalla. Väärä tulkinta voidaan estää alas- tai ylösvetovastuksella. Tällöin sisääntulo on koko ajan liitettyinä jännitepotentiaaliin, joko maahan (alaszveto) tai käyttöjännitteeseen (ylösveto) vastuksen kautta. [32, s. 46.] Kytkennässä käytetty reed-kytkin on toimintatavaltaan ”Normally open”, jolloin kytkin on auki, kun magneetti on kytkimen lähellä. Oletetaan, että ovi on kiinni, jolloin sisääntulo on yhteydessä maahan. Tällöin sisääntulo on alhaalla ja sen arvo on nolla. Jos ovi avataan, alkaa kytkimen läpi johtaa sähkövirta, jolloin sisääntulo on yhteydessä käyttöjännitteeseen. Tällöin sisääntulon jännite on mikrokontrollerin käyttöjännite ja mikropiiri tulkitsee sisääntulon olevan ylhäällä. Tällöin sisääntulon arvo on yksi. Vastuksen R1 tehtävä on rajoittaa virran kulkua maahan, kun kytkin on kiinni. Jos vastus jätettäisiin pois tulisi kytkennästä oikosulku kytkimen ollessa kiinni ja paristot tyhjenisivät erittäin nopeasti.



Kuva 15 Kytkentäkaavio Reed-kytkimelle

## 5.7 HMI

HMI on laite, jolla ihminen pystyy ohjaamaan konetta tai laitetta. Esimerkkinä erilaiset kosketusnäytöt tai näppäimistöt. [33.] Laitteella tullaan syöttämään järjestelmään tunnusluku, jolla hälyttimet saadaan päälle tai pois. HMI koostuu vain näppäimistöä sekä vihreästä että punaisesta ledistä. Näppäimistö on tunnusluvun syöttöä varten ja ledeillä voidaan ilmaista, oliko syötetty tunnusluku oikea vai väärä.

Alkujaan ideana oli käyttää HMI:ssä näyttöä, jolla laitteen tilaa voitaisiin tarkastella. Useimmat nestekidenäytöt tai vastaavat näytöt eivät ole kovinkaan pienivirtaisia, joten sellaista ei tulla käyttämään paristojen elinajan pidentämiseksi. Lisäksi monet nestekidenäytöt vaativat yli 3.3 V käyttöjännitteen, joka on liian korkea radiopiirille. Näistä syistä laitteessa ei ole näyttöä, josta näkisi esimerkiksi nykyisen hälytystilan tai syötetyn tunnusluvun.

HMI kuvassa 16 on rakenteeltaan kuten muut tässä työssä rakennetut sensorit. Se koostuu Arduino Pro minin lisäksi paristoista ja 2.4 GHz-radiolähettimestä. Paristojen sääntämiseksi HMI pidetään Power Down -tilassa, kunnes näppäimistöä aletaan käyttää. Tällöin laite herää ja palaa lopuksi Power Down -tilaan. Sensorissa on myös aikakatkaisu, jotta kesken jäänyt tunnusluvun näppäily tai vahinkopainallus ei jättäisi laitetta odottamaan tunnusluvun loppuun asti syöttämistä. Tällä toiminnolla estetään paristojen turha kuluminen sillä, että laite palaa takaisin lepotilaan 30 s odottamisen jälkeen. HMI:ssä on myös toiminto, joka aiheuttaa hälytyksen, jos tunnusluku syötetään yli viisi kertaa väärin.



Kuva 16 HMI:n rakenne ilman pääliskuorta

## 5.8 Toistimet

Toistimet ovat laitteita, jotka signaalitekniikassa toistavat saamansa signaalin. Toistamiseen kuuluu yleensä myös signaalin vahvistus tai muut toimenpiteet. [34.] NRF24L01+-radiopiiri osaa toistamismahdollisuuden ohjelmistotasolla. Tätä voitaisiin käyttää hyödyksi, jos haluttaisiin laajentaa sensoreiden etäisyyttä päälaitteesta tai vaikkapa sijoittaa sensoreita talon ulkopuolelle.

2.4 GHz -radiotoistin saataisiin tehtyä käyttäen samaa radiopiiriä kuin päälaitteessa on käytössä. Tällöin voitaisiin käyttää hyödyksi radiovahvistimen vastaanotto- ja lähetyshäviöitä. Suuremman virrankulutuksen ja jatkuvan aktiivitilassa olonsa takia toistimen tulisi olla jatkuvassa verkkosähkössä ja varustettu myös varavirtalähteellä sähkökatkojen vuoksi

## 6 Kustannukset

Tässä työssä käytettyjä osia on tarjolla monella eri valmistajalla ja myyjällä. Liitteessä 1 olevaan taulukkoon on listattu osien hinnat niiden halvimman toimittajan mukaan. Hälytinjaerjestelmän kokonaishinnaksi muodostuu noin 140 €. Hinta riippuu myös siitä, kuinka paljon eri sensoreita halutaan käyttää. Tähän järjestelmään voidaan lisätä sensoreita lähes loputtomasti eri tarpeiden mukaan. Pidemmällä aikavälillä kustannuksia voidaan karsia jossain määrin esimerkiksi vaihtamalla paristoja akkuihin. Hinnat on tarkistettu 11.1.2017.

Yleisessä hintavertailussa muihin vastaaviin ja valmiiksi myytäviin paketteihin järjestelmä pärjää hyvin. Liitteen 2 taulukkoon on koottu eri järjestelmien hintoja, myyjiä ja ominaisuuksia. Hintahaitari valmiille paketeille on yllättävän laaja. Hinnat vaihtelivat noin sadasta eurosta aina viiteen sataan euroon asti. Kuitenkaan näiden pakettien hintoja ei voida suoraan vertailla tämän työn järjestelmään. Valmiiksi myytävissä hälytinjaerjestelmissä voi olla paljon ominaisuuksia, joita tässä työssä ei ole käytetty. Näitä ovat muun muassa kauko-ohjaimet ja mobiilisovellukset hälytinjaerjestelmän ohjausta varten. Myös vaihtelevat sensoreiden määrät ja niiden lajit vaikuttavat jossain määrin vertailuun. Moneen järjestelmään on ostettavissa ja lisättävissä sensoreita esimerkiksi kuten paloa tai kosteutta varten. Monista peruspaketeista nämä puuttuivat kokonaan.

## 7 Yhteenveto

Järjestelmän rakentaminen kuulosti aluksi helpolta, mutta ei lopuksi sitä ollutkaan kaikkien sensoreiden osalta. Toiminallisesti kokonaisuus kuitenkin onnistui ja hälytinjaerjestelmä saatiin rakennettua halutuilla sensoreilla ja sen toiminta on odotetulla tasolla. Hälytinjaerjestelmää testattiin mökillä, jossa sensoreiden kantama on riittävä eikä signaalien havaittu katoavan matkalla seiniin tai muihin esteisiin. Sensoreiden järkevä paristokesto saavutettiin hyvin, minkä takia esimerkiksi mökillä ei tarvitse vähän väliä olla vaihtamassa paristoja.

Paristojen kestoaikaa voitaisiin vielä pidentää, jos sensorit saisi pois päältä silloin, kun hälytinjaerjestelmä ei ole aktiivinen. Nyt jokainen anturi aktivoituu ja lähettää hälytysviestin päätelaitteelle, vaikka hälytinjaerjestelmä on pois päältä. Tämä ei kuitenkaan aiheuta hälytystä, mutta kuluttaa sensoreiden paristoja. Sensorin herätys ei suoraan onnistu



NRF24L01+-radiopiirillä, koska siitä puuttuu ominaisuus, jolla radiopiiri saataisiin toimintaan ulkoisella radiosignaalilla lepotilasta. Sensorit voitaisiin asettaa heräämään parin tunnin välein etsien tietoa ollako aktiivinen vai ei. Tämä herättely ja radiosignaalien tiedustelu taas syövät paristoja, joten on vaikea laskea, olisiko siitä loppujen lopuksi hyötyä vai haittaa.

Kotelointi onnistui hyvin, minkä vuoksi sensorit ovat monin paikoin vaikeasti havaittavissa eivätkä ne häiritse silmää. Koteloiden koko oli optimaalinen, jolloin niihin ei jäänyt turhaa tilaa vaan kaikki tila saatiin käytettyä hyödyksi. Koteloiden tiivis rakenne myös varmistaa sen, etteivät osat pääse heilumaan tai liikkumaan, vaikka niitä ei pääosin ole kiinnitetty millään kotelon sisäpuolelle. Koteloita oltaisiin vielä saatu pienennettyä, jos sensoreille olisi suunniteltu oma piirilevy, jossa komponentit olisi saatu mahdollisimman tiiviiksi ja sopivimpiin paikkoihin. Nyt käytetyt osat olivat jo valmiiksi omilla piirilevyillään ja niitä yhdisteltiin johdoilla.

Järjestelmässä on kuitenkin joitakin asioita, joita voisi jatkokehittää ja parannella. Näitä ovat muun muassa sensoreiden radiotehokkuus joissakin tilanteissa ja automaattinen vastaus viestin vastaanottamisesta. Radiolähettimen signaalin havaittiin vaimenevan pidemmällä matkoilla nopeasti, jos välissä oli paksuja ulkoseiniä. Tällaisia tilanteita olivat esimerkiksi ulkovarastoon ja ulkosaunaan sijoitetut liiketunnistimet. Tällöin matka lähettimen ja vastaanottimen välillä on noin 20 m. Tämä voi johtaa tilanteeseen, jossa sensori lähettää signaalin hälytyksestä, mutta se katoaa matkalla. Tällöin sensorin olisi hyvä tietää, menikö viesti perille vai ei, ja koettaa uudelleen signaalin lähetystä. NRF24L01+ kykenee automaattiseen vastaanottoviestin lähettämiseen, mutta sen käytön kanssa havaittiin muita ongelmia, kuten lähetysignaalin heikkenemistä ja välillä täyttä toimimattomuutta. Automaattinen vastaus voitaisiin myös toteuttaa omatoimisesti ohjelmalla, mutta sitä ei vielä tässä työssä toteutettu. Viestin perille menoa varmistetaan sillä, että jokainen sensori lähettää signaalinsa kymmenen kertaa peräkkäin 1 s väliviiveellä. Näin saadaan varmuutta siihen, että signaali pääsee perille.

Hälytinjärjestelmää ohjataan vain näppäimistön avulla. Näppäimistöllä syötetään numerokoodi, jolla hälyttimen tila saadaan muutettua. Näppäimistön lisäksi laitteeseen tullaan lisäämään tuki RFID-tageille (Radio Frequency Identification) myöhemmässä vaiheessa. RFID on lyhyen kantaman radiotunniste, jollaisia käytetään mm. erilaisissa kulkutunnis-

teissa. [35.] Tällaisen tunnisteiden avulla hälyttimen tila saataisiin muutettua vain näyttämällä tagia hälyttimessä olevalle lukijalle. RFID-tagilla laitteen kontrollointi olisi nopeampaa ja se poistaisi virhekoodin aiheuttamat hälytykset.

Sensoreiden sijoitteluun voitaisiin käyttää hyödyksi toistimia, mutta niilläkin on rajallinen kantama. Suurimmat ongelmat tulisivat siitä, että toistimetkin pitäisi varustaa varavirtalähteellä sähkökatkoja varten, jolloin järjestelmän kustannukset nousisivat. Radiopiirin ja radiovahvistimen suuri virrankulutus estäisi pienien paristojen käytön ja laitteen tulisi olla yhteydessä verkkosähköön. Virrankulutusta saataisiin vähennettyä käyttämällä radiopiiriä ilman vahvistinta, jolloin sen suurentama kantama olisi pienempi.

## Lähteet

- 1 Bayle, J. 2013. C Programming for Arduino. Birmingham: Packt Publishing.
- 2 Arduino. 2016. Compare board specs. Verkkodokumentti. <<https://www.arduino.cc/en/Products/Compare>>. Luettu 9.12.2016.
- 3 Arduino. 2016. Language Reference. Verkkodokumentti. <<https://www.arduino.cc/en/Reference/HomePage>>. Luettu 9.12.2016.
- 4 DreamCity Innovations. 2016. WCH CH340 Series USB Interface Integrated Circuit. Verkkodokumentti. <<https://www.insidegadgets.com/wp-content/uploads/2016/12/ch340g-datasheet.pdf>>. Luettu 10.1.2016.
- 5 Atmel Corporation. 2015. ATMEL 8-BIT MICROCONTROLLER WITH 4/8/16/32BYTES IN-SYSTEM PROGRAMMABLE FLASH. Verkkodokumentti. <[http://www.atmel.com/images/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P\\_datasheet\\_Complete.pdf](http://www.atmel.com/images/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P_datasheet_Complete.pdf)>. Luettu 9.12.2016.
- 6 Margolis, M. 2011. Arduino Cookbook. California: O'Reilly.
- 7 Finlex. 2015. Taajuusjakotaulukko (liite määräykseen M4S). Verkkodokumentti. <[http://www.finlex.fi/data/normit/42150/Taajuusjakotaulukko\\_06022015.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/42150/Taajuusjakotaulukko_06022015.pdf)>. Luettu 11.1.2017
- 8 Yleisradio Oy. 2014. Maaseudun sähkökatko on 60 kertaa kaupungin katkoa pidempi. Verkkodokumentti. <<http://yle.fi/uutiset/3-7298227>>. Luettu 15.12.2016.
- 9 Nordic semiconductor. 2008. nRF24L01+ Single Chip 2.4GHZ Transceiver Product Specification v1.0. Verkkodokumentti. <[https://www.nordicsemi.com/kor/nordic/download\\_resource/8765/2/96307220](https://www.nordicsemi.com/kor/nordic/download_resource/8765/2/96307220)>. Luettu 9.12.2016.
- 10 dBm. 2016. dBm. Verkkodokumentti. <<https://en.wikipedia.org/wiki/DBm>>. Luettu 9.12.2016.

- 11 RFXaxis Inc. 2012. Range Extension for Nordic nRF24LE1 with RFXaxis RFX2401C Single-Chip RFelC™. Verkkodokumentti. <[https://www.rfmw.com/data/RFXaxis\\_Nordic\\_nRF24LE1\\_Range\\_Extension\\_with\\_RFXaxis%20RFX2401\\_App\\_Note.pdf](https://www.rfmw.com/data/RFXaxis_Nordic_nRF24LE1_Range_Extension_with_RFXaxis%20RFX2401_App_Note.pdf)>. Luettu 9.12.2016.
- 12 Cisco Systems Inc. 2005. Introduction to Optical Fibers, dB, Attenuation and Measurements. Verkkodokumentti. <<http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/optical/synchronous-digital-hierarchy-sdh/29000-db-29000.html>>. Luettu 9.12.2016.
- 13 Skyworks Solution Inc. 2016. CMOS 2.4GHZ ZIGBEE/ISM TRANSMIT/RECEIVE RFelC. Verkkodokumentti. <[http://www.skyworksinc.com/uploads/documents/RFX2401C\\_DataSheet.pdf](http://www.skyworksinc.com/uploads/documents/RFX2401C_DataSheet.pdf)>. Luettu 9.12.2016.
- 14 Simcom Wireless Solutions. 2016. SIM900. Verkkodokumentti. <<http://simcom.ee/modules/gsm-gprs/sim900/>>. Luettu 9.12.2016.
- 15 Simcom Wireless Solutions. 2010. SIM900\_Hardware\_Design\_V2.00. Verkkodokumentti. <[http://elec Freaks.com/store/download/datasheet/rf/SIM900/SIM900\\_Hardware%20Design\\_V2.00.pdf](http://elec Freaks.com/store/download/datasheet/rf/SIM900/SIM900_Hardware%20Design_V2.00.pdf)>. Luettu 9.12.2016.
- 16 Sparkfun. 2016. Transistors. Verkkodokumentti. <<https://learn.sparkfun.com/tutorials/transistors>>. Luettu 10.1.2017.
- 17 SIMCom. 2010. SIM900\_AT Command Manual\_ V1.03. Verkkodokumentti. <[http://wiki.seeedstudio.com/images/a/a8/SIM900\\_AT\\_Command\\_Manual\\_V1.03.pdf](http://wiki.seeedstudio.com/images/a/a8/SIM900_AT_Command_Manual_V1.03.pdf)>. Luettu 10.1.2017.
- 18 Nordic Battery Power AB. 2016. CT2.3-12 Valve Regulated Lead Acid Batteries – [AGM]. Verkkodokumentti. <[http://www.nordicbattery.se/se/product\\_sheets/90029.pdf](http://www.nordicbattery.se/se/product_sheets/90029.pdf)>. Luettu 9.12.2016.
- 19 Sparkfun. 2016. Diodes. Verkkodokumentti. <<https://learn.sparkfun.com/tutorials/diodes>>. Luettu 15.12.2016.

- 20 XLSEMI. 2016. 5A 300KHz 32V Buck DC to DC Converter XL4005. Verkkodokumentti. <<http://www.xlsemi.com/datasheet/XL4005%20datasheet.pdf>>. Luettu 9.12.2016.
- 21 Sparkfun. 2016. Capacitor. Verkkodokumentti. <<https://learn.sparkfun.com/tutorials/capacitors>>. Luettu 15.12.2016.
- 22 Advanced Monolithic Systems. 2016. AMS1117 1A LOW DROPOUT VOLTAGE REGULATOR. Verkkodokumentti. <<http://www.advanced-monolithic.com/pdf/ds1117.pdf>>. Luettu 15.12.2016.
- 23 Pistoia, G. 2005. Batteries for Portable Devices. Rome: Elsevier.
- 24 Duracell. 2016. ID1500. Verkkodokumentti. <[http://www.sownet.nl/wp-content/uploads/2016/04/ID\\_AA\\_ID1500.pdf](http://www.sownet.nl/wp-content/uploads/2016/04/ID_AA_ID1500.pdf)>. Luettu 15.12.2016.
- 25 Sparkfun Electronics. 2016. Voltage Dividers. Verkkodokumentti. <<https://learn.sparkfun.com/tutorials/voltage-dividers>>. Luettu 9.12.2016.
- 26 Bosch GmbH. 2016. BME280 Integrated Environmental Units. Verkkodokumentti. <[https://www.bosch-sensortec.com/bst/products/all\\_products/bme280](https://www.bosch-sensortec.com/bst/products/all_products/bme280)>. Luettu 9.12.2016.
- 27 Ilmatieteen laitos. 2016. Ilman kosteus. Verkkodokumentti. <<http://ilmatieteenlaitos.fi/ilman-kosteus>>. Luettu 9.12.2016.
- 28 Shanghai Belling. 2006. PHOTOELECTRIC SMOKE DETECTOR IC. Verkkodokumentti. <<https://nurdSPACE.nl/images/3/3f/BL59S10.pdf>>. Luettu 9.12.2016.
- 29 NFPA. 2014. Ionization vs photoelectric. Verkkodokumentti. <<http://www.nfpa.org/public-education/by-topic/smoke-alarms/ionization-vs-photoelectric>>. Luettu 12.2.2017.
- 30 Giancoli, D. 2000. Physics for scientists & engineers with Modern Physics. Third Edition. New Jersey: Prentice Hall.

31 JX 2016. BISS0001 Micro Power PIR Motion Detector IC. Verkkodokumentti. <[http://wiki.seeedstudio.com/images/2/2f/Twig\\_-\\_BISS0001.pdf](http://wiki.seeedstudio.com/images/2/2f/Twig_-_BISS0001.pdf)>. Luettu 30.1.2017.

32 McRoberts, M. 2010. Beginning Arduino. New York: Apress.

33 Siemens. 2017. SIMATIC HMI. Verkkodokumentti. <<http://w3.siemens.com/mcms/automation/en/human-machine-interface/pages/default.aspx>>. Luettu 11.1.2017.

34 Bridgecom Systems. 2015. Repeater Basics: What is a 2-way radio repeater and how is it used?. Verkkodokumentti. <<https://www.bridgecomsystems.com/blogs/bridgecom-tx-rx-blog/18728421-repeater-basics-what-is-a-2-way-radio-repeater-and-how-is-it-used>>. Luettu 12.2.2017.

35 Smart Card Alliance.2017. Verkkodokumentti. <<http://www.smartcardalliance.org/publications-epc-gen2-faq/>>. Luettu 5.2.2017.

## Laitteiston hintataulukko

Liitteeseen on kerätty hälytínjärjestelmán osien hinnat.

<b>Päälaite</b>			
Laite/Osa	Määrä (kpl)	Hinta (€/kpl)	Hinta yht (€)
Arduino Pro mini	2	1,53 €	3,06 €
Kotelo	1	6,75 €	6,75 €
Virtalähde 16v	1	25,17 €	25,17 €
Muunnin 5v	1	0,90 €	0,90 €
Muunnin 3.3v	1	0,27 €	0,27 €
NRF24L01+ vahvistimella	1	1,79 €	1,79 €
Akku 12v 2.3Ah	1	18,48 €	18,48 €
GSM-moduuli	1	13,25 €	13,25 €
Sireeni	1	2,33 €	2,33 €
Rele (NC/NO)	1	0,46 €	0,46 €
UPS-elektroniiikkaosat	1	6,38 €	6,38 €
Pientarvikkeet (vastukset/johtimet/jne)	1	13,00 €	13,00 €
<b>Sensorit</b>			
Laite/Osa	Määrä (kpl)	Hinta (€/kpl)	Hinta yht (€)
Kotelo 1	3	0,19 €	0,57 €
Kotelo 2	2	1,53 €	3,06 €
Arduino Pro mini	5	1,43 €	7,15 €
Paristo (AA)	12	0,75 €	9,00 €
Paristokotelo (2 x AA)	3	0,14 €	0,42 €
Paristokotelo (3 x AA)	2	0,26 €	0,52 €
NRF24L01+	5	0,65 €	3,25 €
Reed-kytkin	1	1,86 €	1,86 €
BME280	1	3,13 €	3,13 €
Palohälytín	1	4,90 €	4,90 €
Liiketunnistin	1	0,72 €	0,72 €
Pientarvikkeet (vastukset/johtimet/jne)	1	10,00 €	10,00 €
<b>Yhteensä:</b>			136,42 €

## Hälytinjärjestelmien hintavertailu

Liitteeseen on kerätty valmiiksi myytävien hälytinjärjestelmien hintoja, myyjä ja ominaisuuksia.

Tuote:	Myyjäliike:	Hinta:	Sensorit				Kosteus	GSM
			Liike	Ovi	Palo/savu			
Murtohälytin paketti langattomalla näppäimistöllä	Nettiliike.com	279,00 €	2	2	0	0	x	
GSM murtohälytin	Nettiliike.com	159,00 €	1	1	0	0	x	
Langaton murtohälytin	Nettiliike.com	219,00 €	1	1	0	0	x	
Chuango G5 laajapaketti	Suojaakotisi.fi	230,00 €	1	2	1	1	x	
T-Mode O3 GSM-hälytysjärjestelmä	Verkkokauppa.com	109,00 €	1	1	0	0	x	
Valvontajärjestelmä Medium	Sosafe	299,00 €	2	3	1	0	x	
HÄLYTINPAKETTI	Kodin turvalaitteet	449,00 €	1	1	0	0	x	
BASIC Peruspaketti	HomeAlarm	199,90 €	1	2	0	0	x	
BASIC Kotipaketti	HomeAlarm	289,90 €	3	2	1	0	x	
Cozify - Turvaa Kotisi	Cozify	299,00 €	1	1	0	0	x	