

Rolle Viertola

MAADOITUSRESISTANSSIMITTAUS KAUKO-OHJAUKSELLA

Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma

2017

MAADOITUSRESISTANSSIMITTAUS KAUKO-OHJAUKSELLA

Viertola, Rolle
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma
Elokuu 2017
Sivumäärä: 36
Liitteitä: 1

Asiasanat: Kauko-ohjaus, Maadoitusresistanssimittaus, Ohjelmointi

Tämän työn tarkoituksena oli tutkia ja kehittää kauko-ohjauksen hyödyntämistä maadoitusresistanssimittauksissa. Koska mittaukset tehdään käännepistemennetelmällä, on epäedullista kulkea kävellen mittauspisteiden välillä. Tutkimuksen kohteena olevan laitteiston on tarkoitus pienentää ylimääräistä kävelemistä.

Työssä otetaan selvää mitä vaikutuksia kauko-ohjauslaitteistolla on mittaustuloksiin sekä minkälaisia hyötyjä kauko-ohjauksella saavutetaan. Työssä kerrotaan laitteiston kokoonpanoon tarvittavat komponentit. Laitteiden ohjelmointi on myös osana tätä työtä.

MEASUREMENT OF THE IMPEDANCE TO EARTH WITH REMOTE CONTROL

Viertola, Rolle

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in electrical and automation

August 2017

Number of pages: 36

Appendices: 1

Keywords: Remote control, Measurement of the impedance to earth, Programming

The purpose of this thesis was researching and developing how to make use of a remote control with a measuring of the impedance to earth. Because measuring is done with inflection point method, it is not useful to walk between measuring points. Equipment that is subject of this research is intent to reduce unnecessary walking.

This thesis clarifies what kind of effects the remote control can do with the results and what kind of benefits can be achieved with the remote control. Components, that is needed for assembly of these devices is clarified in this thesis. Programming is also one part of this thesis.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	MAADOITUSRESISTANSSIMITTAUS JA SEN PARANTAMISMAHDOLLISUUDET	6
2.1	Maadoitusresistanssimittaus ilman automatiikkaa.....	6
2.2	Maadoitusresistanssimittauksen parannusmahdollisuudet.....	6
3	TAVOITTEET	7
3.1	Mittausnopeutta edistävät tavoitteet	7
3.2	Säästötavoitteet	7
4	KAUKO-OHJATTAVAN LAITTEEN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS	8
4.1	Kauko-ohjattavan laitteen tavoitteet	9
4.2	Kauko-ohjattavan laitteiston toimintaperiaate	10
4.2.1	Komennot ja niiden toiminnat	10
4.2.2	Esiasetukset ohjelmassa.....	15
4.3	Kauko-ohjattavan laitteen toteutus	17
4.4	Vastaanotinrele	19
4.4.1	Arduino Micro	20
4.4.2	nRF24L01+ -lähetinvastaanotin	21
4.4.3	Omron G5Q-14-EU 5VDC –Rele	23
4.4.4	Peruskomponentit	23
4.5	Ohjainyksikkö	26
4.5.1	Arduino Mega 2560.....	26
4.5.2	nRF24L01+ -lähetinvastaanotin	27
4.5.3	Peruskomponentit	27
4.6	Akut ja laturit	28
5	TESTIT.....	29
5.1	Ensimmäinen testaus.....	29
5.2	Toinen testaus	29
6	YHTEENVETO	33
6.1	Tavoitteet	34
6.2	Toteutus.....	34
	LÄHTEET.....	35
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Sähköastek Oy on vuonna 2008 perustettu sähköasemasuunnitteluun erikoistunut sähkösuunnittelutoimisto. Sähköastek Oy toimii koko suomen alueella ja sen pääasiakkaita ovat energialaitokset, verkkoyhtiöt, urakoitsijat ja teollisuus. Sähköastek Oy tilasi tutkimuksen, jossa selvitetään kuinka maadoitusresistanssimittaukseen kuluva aikaa voidaan vähentää.

Maadoitusresistanssimittaukseen perehdytään aluksi ja selvitetään, miten mittaavan laitteen tulee suorittaa mittaus. Kauko-ohjaus järjestelmän tarkoituksena on vähentää mittauksen aiheuttamaa aikaa. Tämän vuoksi järjestelmää alettiin alunperin kehittää. Kauko-ohjausjärjestelmän yksi tärkeimmistä tavoitteista on ehdottomasti olla tuottamatta virheitä mittaukseen. Mittaustuloksesta on pystyttävä erottamaan kauko-ohjain laitteiston aiheuttama resistanssi ja sen aiheuttamat vaikutukset mittaustulokseen, jotta virheet saadaan poistettua lopullisista tuloksista.

Työssä tullaan suunnittelemaan tarvittavat laitteistot. Suunnitelmien pohjalta valmistetaan laitteisto. Työhön kuuluu lisäksi ohjelmointia käytettyjen laitteistojen ohjelmakoodien kirjoittamisen muodossa.

2 MAADOITUSRESISTANSSIMITTAUS JA SEN PARANTAMISMAHDOLLISUUDET

2.1 Maadoitusresistanssimittaus ilman automatiikkaa

Maadoitusresistanssimittauksella mitataan maadoituksen toimivuutta. Maadoitusresistanssimittaus suoritetaan normaalisti ilman automatiikkaa, jos mittauslaitteiston sisäistä automatiikkaa ei oteta huomioon. Koska automatiikkaa ei ole kuin mittauslaitteen sisällä, mittaukseen tarvittavat mittauspaikkojen vaihdot suoritetaan käsin. Maastossa olevien mittauspaikkojen välillä kuljetaan kävellen, joka on paikoin hidasta. Maastossa kuljettava matka, jota tässä työssä pyritään pienentämään, on normaalisti päästä - päähän kuljettuna 200 metriä ja se kuljetaan kun viedään aluksi yksi mittauspiikki 200 metrin päähän. Sen jälkeen lähdetään takaisin siirtämään toista mittauspiikkiä 20 metrin välein kohti alkupäätä jossa mittarikin sijaitsee. Toinen mittaajista on mittalaitteella suorittamassa mittauksia. Jokaisen 20 metrin välein olevan mittauspisteen kohdalla mittarilla oleva mittaaja mittaa ja lukee tuloksen. Kun mittapiikkiä kuljettava mittaaja on käynyt läpi kaikki mittauspaikat, lähtee mittaaja takaisin noutamaan 200 metrin päähän vietyä mittauspiikkiä ja johdinta pois ja kävelee taas takaisin mittalaitteiston luo. Tämän takia normaalisti mittausmiehistä toinen kävelee 800 metriä maastossa.

2.2 Maadoitusresistanssimittauksen parannusmahdollisuudet

Maadoitusresistanssimittauksen parantamiseksi on toivottu kehitettävän laite tai laitteisto joka vähentäisi kävelymatkoja maastossa. Maastossa kulkemista aiheuttaa runsaasti mittauspisteiden paikan vaihtelu 20 metrin välein. Mittauspisteiden valinta voidaan automatisoida siten, ettei mittaajan tarvitse kuin kytkeä mittajohdin ja mittapiikki jokaiseen mittauspaikkaan ja mittausten jälkeen kävellä takaisin ja kerätä mittauspiikit mukaan. Miinuspuolena on lisääntynyt mittapiikkien tarve, sekä se että mittapiikkejä pitää olla jatkossa mukana enemmän maastossa käveltäessä. Ajallisesti mittausta nopeuttaa se että mittauspisteistä voidaan mitata tulokset välittömästi peräkkäin, ilman että mittauspiikkiä kuljettavaa mittaajaa tarvitsee odottaa. Myöskään kaikkien välillä olevien mittauspiikkien asennus menomatalla pisimmälle 200 met-

riä mittauspiikille ei ota suurta aikaa asennukseensa, vaan on huomattavasti nopeampi kuin aika, joka kuluu mittauspisteiden siirtoon kävellen sama reitti uudestaan päästä päähän. Matkaa säästyy tällöin yhteensä 400 metriä.

3 TAVOITTEET

Nykyisen mittalaitteiston käyttäminen vaatii huomattavasti aikaa ja kävelymäärät mittauspisteiden välillä ovat suuret. Nykyisellä mittauslaitteistolla tehtäviä mittauksia halutaan vain parantaa, ei muuttaa täysin, koska nykyisessä mittauslaitteistossa ei ole itsessään mitään vikana. Mittauslaitteiston vaihto toiseen ei ole järkevää, sillä pienillä lisälaitteilla nykyisestä mittauslaitteistosta saadaan huomattavasti tehokkaampi työkalu maadoitusten mittaukseen sekä muihin mahdollisiin tarpeisiin.

3.1 Mittausnopeutta edistävät tavoitteet

Tavoitteena on valmistaa mittauksia helpottava ja nopeuttava laitteisto, joka hyödyntää jo olemassa olevaa mittauslaitteistoa. Suurin sekä eniten vaivaa aiheuttava ongelma mittauksessa on manuaalisesti tehtävät mittauspisteiden vaihdot. Niiden takia mittauksessa joudutaan siirtymään eri pisteiden välillä maastossa turhan useasti. Eri-laiset maaston olosuhteet, kuten purot, kivikot ja tiheät kasvillisuudet, hankaloittavat ja hidastavat entisestään etenemistä maastossa. Näistä syistä halutaan saada aikaan laitteisto, jolla voidaan tehdä mittauspisteiden siirto siten, että mittaja kulkee maastossa mahdollisimman vähän sekä tehokkaasti.

3.2 Säästötavoitteet

Kehitettävän laitteiston yhtenä tavoitteena on tuottaa rahallista hyötyä käyttäjälleen. Laitteella tuotetaan säästöjä, jotka syntyvät kun aikaa pystytään säästämään ja työtä tehostamaan. Säästöjä syntyy, koska mittauksesta tulee ajallisesti nopeampaa. Mittauksista aiheutuvat muuttuvat kustannukset kuten majoitukset, aiheuttavat aina lisä-

kustannuksia joista voidaan säästää mahdollisuuksien mukaan, kun mittaukseen kuluva aikaa pyritään pienentämään. Säästötavoitteista saatu hyöty voidaan muuttaa tuotoksi, kun jäljelle jäävä aika voidaan hyödyntää uusien kohteiden mittauksessa.

4 KAUKO-OHJATTAVAN LAITTEEN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

Kauko-ohjattava laitteisto on täysin alusta alkaen suunniteltu toimimaan maadoitus-resistanssimittauslaitteiston kanssa. Se on optimoitu toimimaan mahdollisimman vaakaasti ja luotettavasti.



Kuva 1. Ohjainyksikkö ja kolme vastaanotinta.

4.1 Kauko-ohjattavan laitteen tavoitteet

Kauko-ohjattava laite suunnitellaan toimimaan mahdollisimman luotettavasti omassa tehtävässään. Kriteereinä laitteelle on asetettu keveys, pieni tilantarve sekä langattomuus, johtuen siitä, että laitteet kannetaan mukana ja asennetaan omille mittauspaikoilleen. Laitteiston tulee suoriutua vaikeissa olosuhteissa, jonka vuoksi niiden kotelointiluokan, iskunkestävyyden ja signaalin kantavuuden tulee olla vaikeissakin olosuhteissa riittävät.

Maadoitusresistanssimittaus käännepistemethodella edellyttää kahdensadan(200) metrin etäisyyttä kauimmaisesta mittauspisteestä ohjainlaitteelle. Ohjauslaite sijaitsee samassa paikassa kuin mittaustaitteistokin.

Mittauksessa on tärkeää, että maadoitusresistanssimittauksen tulosta ei saa vääristää tahattomasti. Mahdollisen maadoitusresistanssimittauksen vääristymän tulee olla tiedetty ja vähintään laitekohtaisesti tiedossa jokaiselta releyksiköltä. Vääristymää voi aiheuttaa rakenteelliset resistanssit kauko-ohjattavan laitteen kojeistossa. Jokaisen laitteen mahdollinen korjauskerroin tulee tietää ja sitä tulee käyttää mittauksessa tarpeen vaatiessa. Olettamuksellisesti pienellä releellä sekä noin 15cm johtimilla ei pitäisi olla erottuvaa vaikutusta mittaustulokseen, mutta oletamus tullaan testaamaan kun laitteisto pääsee testausvaiheeseen.

Radiosignaalin kulku tulee varmistaa paluuviestillä eli tässä laitteessa ”status” paluukomennolla, jossa ilmenee jos jossain on vikaa sekä komento ilmoittaa päällä olevan vastaanotinreleen, jotta ohjaaja voi valvoa tapahtumaa. Nimitys Status on käytössä myös laitteen ohjelmassa.

Mittapiikin asennus maahan ja sen mahdolliset virheasennukset näkyvät mittaustuloksessa kuten ennenkin, eikä niille voi tällä automatiikalla vaikuttaa. Mekaanisiin ratkaisuihin ei ryhdytä tässä työssä, sillä se vaatisi esimerkiksi uudenlaisen mittaussiikin suunnittelua, jos haluttaisiin että jokaisella mittaussiikin asennuksella saataisiin hyvä tulos varmasti joka mittauskerralla. Mittauspiikin asennuksessa tulee olla entistä tarkempi, jos haluaa välttää turhaa kävelyä mittaustaastossa. Tämä voi kuitenkin aiheuttaa ongelmia, joten on hyvä käyttää tuttuja tapoja mittaussiikkien asen-

nuksessa maahan. Maaston ja mittaustyön tuntemus lisää onnistumismahdollisuuksia. Jos mittauksissa ilmenee piikkien kanssa ongelmia kesken mittauksen, kannattaa kaikki loputkin mittaukset suorittaa ensin pois kaikista piikeistä, joista mittaaminen on mahdollista ja vasta tämän jälkeen on hyvä käydä korjaamassa kaikki mahdolliset heikot kontaktit kuntoon. Kivikkoisissa maastoissa on erityisesti tätä ongelmaa, kun taas multa ja savimaastot toimivat paljon paremmin aiheuttamatta virheitä.

4.2 Kauko-ohjattavan laitteiston toimintaperiaate

Toimintaperiaate kertoo kuinka laitteet toimivat keskenään yhtenä laitteistona. Toimintaperiaatteesta selviää laitteiden järjestelmän älyn käyttämä loogisuus.

Tässä kappaleessa olevat merkinnät eri muuttujille ovat samat kuin ne joita käytetään ohjelman koodissakin. Asiat on tämän vuoksi helpompi yhdistää toisiinsa ja ymmärtäminen helpottuu. Ohjelmakoodia lukiessa on hyvä välillä seurata seuraavasta toimintasuunnitelmasta kuinka laitteiston tulisi toimia, jos ei ole yleisesti perehtynyt minkäänlaiseen ohjelmointiin. Seuraavan toimintasuunnitelman perusteella pitäisi pystyä tulkitsemaan ohjelmakoodia siten, että voidaan selvittää esimerkiksi vikatilanteista ja muutostöistä, jos niitä vastaan tulee. Kyky tulkita ohjelmaa on kuitenkin lukijan kokemuksesta riippuvainen, mutta lukemalla ensin toimintasuunnitelman, on lukijan mahdollista pysyä mukana vähemmälläkin kokemuksella.

4.2.1 Komennot ja niiden toiminnat

Mittauslaitteisto tulee olla päällä ja akuissa tulee olla virtaa ennen seuraavia toimintoja.

Mittausta aloitettaessa ohjainyksikön kiertokytkimestä valitaan haluttu vastaanotinrele eli mittauspiste. Vasta kun painetaan aktivoimispainiketta eli painonappia kiertokytkimen vieressä, lähtee ohjainyksiköltä komento kytkeä määrätty vastaanotinrele

kiinni ja näin mittausjohdin kytkeytyy mittauspiikkiin. Merkkivalo syttyy sen laitteen kohdalle joka on päällä. Tämä tieto saadaan vasta päälle menevältä vastaanotinreleeltä statustietona eikä led syty näin ollen jo ohjainyksikön painikkeen painalluksesta. Näin saadaan aina varma tieto siitä, että vastaanotinreleet vastaanottaa ja lähettää komentoja.

Kauko-ohjattavan laitteiston maasto-olosuhteisiin varauduttaessa on varmistuttava, että jokainen laite saa tarvittavat komennot. Tämä toteutetaan siten, että jokainen vastaanotinrele ja ohjainyksikkö on osoitteistettu eri osoitteella. Käytännössä se on tehty siten että jokaisella yksiköllä on oma laitekohtainen osoite. Tällöin laite vastaanottaa vain sille tarkoitettuja komentoja. Laitekohtaisen osoitteen lisäksi on annettu osoitteet lähetystä varten. Näitä käytetään aina kun uudelleen lähetetään tietoja eteenpäin seuraaville vastaanotinyksiköille.

Alkutilanteessa kun ohjainyksikkö aloittaa vastaanotinreleen ohjaamisen, viesti lähetetään aina sillä periaatteella että, viesti lähtee aina nykyiseltä laitteelta seuraavalle. Ohjelmassa on vakiona käsky ottaa käyttöön vastaanottavaa laitetta seuraavan tai edeltävän laitteen osoite, kun tiedetään kummasta suunnasta edeltävä viesti on vastaanotettu. Osoite on kerrottu laitteelle siten että se on oman laitteen numero + 1 tai - 1 eli ohjelmassa esimerkiksi ”Device +1”. Kaikki osoitteet on kirjattu ohjelman tietokantaan ja ”Device +1” valitsee käytettäväksi omaa laitenumeroa vastaavaa osoitetta seuraavan osoitteen.

Esimerkiksi vastaanotinreleen numero on 6 joten ”Device” luku on 6 ja kun siihen lisätään luku 1 eli 6+1 saadaan luku 7. Seuraavaksi päästään valitsemaan oikea osoite jolla lähetetään komento seuraavalle vastaanotinreleelle. Tiedetään, että seuraava laite on ”Device”- numeroltaan 7 ja näin ollen sen osoite on yhden pykälän eripaikassa tietokannassa kuin tällä laitteella numero 6 on. Näin komento saadaan aina eteenpäin. Takaisin ohjaimelle lähetettäessä periaate toimi päinvastoin. Laitteen luvusta 6 saadaan 5 kun siitä vähennetään luku 1. Näin Komento saadaan kulkemaan takaperin.

Ohjaimen lähettämä komento kantaa mukanaan tietoa siitä, mikä vastaanotinrele laitetaan kytkemään mittausjohdin mittauspiikkiin. Komento joka lähetetään ohjainyk-

siköltä, on muotoa 1-9, eli pelkästään yksi luku, joka määrää tietyn laitteen päälle ja samalla muut laitteet pois.

Aina kun komento tulee laitteelle, se tarkistaa onko kyseessä oikea laite joka tulisi kytkeä päälle. Jos komento ei ole tarkoitettu laitteelle, kytketään vastaanotinrele pois päältä eli yhteys mittauspiikkiin aukeaa. Tämä suoritetaan joka kerta kun ohjaimelta saapuva komento kulkee vastaanotinreleen kautta. Jos taas komento oli tarkoitettu komennon vastaanottavalle vastaanotinreleelle, kytketään vastaanottimen rele päälle eli mittauslaitteisto kytketään mittapiikkiin. Komento jatkaa aina kulkua, kunnes se saavuttaa päätelaitteen, eli sen joka on määrätty olemaan viimeisenä, riippumatta siitä missä vaiheessa vastaanotinrelejä rele kytketään päälle. Komennon uudelleenlähetys lopetetaan, kun komento saavuttaa viimeisen laitteen ja se todetaan siten, että laitteen numero on tällöin sama kuin laitteiden maksimi määrä, joka on kerrottu laitteille NumberOfDevices- muuttujalla. NumberOfDevices luku täsmää aina oikein merkittynä viimeisessä laitteessa laitteen numeron kanssa. Esimerkiksi jos NumberOfDevices -luku olisi 9. Kaikissa olisi DIP- kytkimet käytössä ja niillä ei tämän vuoksi olisi mitään pakollista järjestystä ennen DIP- arvojen asetusta. Tällöin mikään vastaanotinrele ei tiedä olevansa viimeinen kunnes jonkin laitteen DIP- kytkin asetetaan lukuun 9. Näin ollen vastaanotinrele osaa komennon saapuessa valmistautua komennon käännytykseen.

Aina kun päätelaite on saavutettu, tehdään komennolle takaisinkäännytys eli vastaan saatuun komentoon. Jokaisen laitteen ohjelmassa on valmius päätelaitteena toimimiseen. Valinta tapahtuu määräämällä vastaanotinreleiden määrä halutuksi, tässä käyttötarkoituksessa yhdeksäksi. NumberOfDevices- kohtaan merkattu kaikkien laitteiden maksimi laitenumero on aina viimeinen, josta saadaan status tieto. Se ei kuitenkaan tarkoita, että se olisi viimeinen mahdollinen päällä oleva laite, koska komento kulkee aina menosuuntaan kaikille laitteille, jotka ovat päällä ja kantoalueella. Tällä tarkoitetaan sitä, että viimeinenkin laite yrittää lähettää viestiä eteenpäin kerran, siinä kuitenkin epäonnistuen. Tästä ei ole haittaa toiminnalle, mutta jos laitteita olisi 10, vastaanottaisi tämä mahdollisesti lähetyksen. Vielä sekavammaksi tilanne muuttuisi, jos kyseistä (numero 10) vastaanotinrelettä komennettaisiin päälle, sillä tästä ei saataisi mitään status tietoa ohjainyksikölle. Tämän takia tulee olla tarkkana, mikä vastaanotinrele on merkitty viimeiseksi ja siksi kannattaa aina merkitä viime-

seksi se vastaanotinrele, joka on oikeasti viimeinen mittalaitteistossa kiinni oleva. Tämä tapahtuu ohjelman NumberOfDevices kohdassa. Jos jostain syystä haluaa käyttää vähempää määrää vastaanotinreleitä edes hetkellisesti, on vahvasti suositeltavaa sammuttaa muut releet ja irtikytkä ne pois järjestelmästä. Laitteita jotka ovat järjestyksessä NumberOfDevices- vastaavaa maksimi lukua vastaavan laitteen jälkeen, ei voida todeta päällä tai poissa oleviksi. NumberOfDevices- luku tulee aina vastata varmasti viimeisen käytössä oleva laitteen lukua, vaikka mittauksia tehtäisiin vähemmällä laitemäärällä. Käyttämättömät laitteet tulee aina tehdä virrattomiksi, jos NumberOfDevices – luku on eri kuin tässä tapauksessa yhdeksän tai lukua ei päästä muuttamaan. Virheellinen arvo NumberOfDevices –kohdassa voi aiheuttaa myös ohjelman jumiutumista.

Aina kun viimeinen laite saa komennon, se lähettää status -komennon ohjainlaitteelle. Komento, joka lähetetään takaisin, ei ole käännytettynä sama, vaan on vain seurausta ohjainlaitteelta lähteneelle komennolle. Takaisin lähetettävä komento on status komento joka kantaa mukanaan tietoa päällä olevista releistä. Komento koostuu kolmesta numerosta, esimerkkinä luku 115.

Status -komennon ensimmäinen luku (1) tarkoittaa, että kyseessä on status -komento. Status -komennon ensimmäisen luvun muodostamiseen vaaditaan pohjalle luku 100, jolloin siitä ensimmäinen numero eli 1 jää oikealle paikalleen. Laitteiston ollessa käytössä, se lisätään päätelaitteella ja poistetaan ohjainlaitteella. Tämän luvun tulee olla aina 100, jotta kyseiseen numeroyhdistelmään voidaan muodostaa luku 1 alkuun ensimmäiselle paikalle. Tällä saadaan komento kulkemaan oikeaan osoitteeseen ja käytännössä päinvastaiseen suuntaan laitteiden ollessa kuvitteellisesti rivissä, kuten ne tulevat olemaan käytössäkin. Taaksepäin kulkeminen perustuu siihen, että ohjelmassa päästetään yli sadan suuruiset luvut eri toimintoihin kuin alle sadan olevat luvut. Alle sadan olevista luvuistakin huomioidaan vain yhdeksän, ja sitä pienemmät luvut häiriöiden välttämiseksi. Yli sadan olevien lukujen yläraja on 250, koska maksimiluku, jos kaikki vastaanotinreleet ovat päällä on 135 johon lisätään pohjalle luku 100 eli 235. Luku 235 saadaan summaamalla jokaisen laitteen järjestysnumero lisätynä kymmenellä eli $11+12+13+\dots+19 = 235$. Luvut alkavat aina kymmenestä ylöspäin. Toinen luku eli kymmenen tai järjestyksessä luku 1, keskellä lukujonoa 110, selventää vikatilanteita ja siihen palataan edempänä.

Status -komennon lähettämiseksi tarvitaan lukua 100, jotta ohjelmassa edetään sille tarkoitettuun osioon. Lähetyksessä käytetään oman laitteen numeroa edeltävää osoitetta eli ohjelmassa Device -1. Edeltävällä osoitteella tarkoitetaan Array- muotoon merkattua järjestystä ja siinä edeltävää osoitetta. Tällöin päästään kulkemaan taaksepäin, kohti ohjainlaitetta. Toinen numero komennossa on selkeyden vuoksi ja kolmannella tarkoitetaan sitä laitetta, jonka rele on kiinni mittauspiikissä sähköisesti. Silloin saadaan tieto oikean merkkivalon sytyttämisestä.

Toinen numero kertoo päällä olevien vastaanotinreleiden määrän, mutta ohjainyksikössä siitä hyödynnetään vain tieto onko kaikki kuten pitääkin. Toinen luku 1 johtuu siitä että vastaanotinreleen päälle kytkeytymistä ilmoitetaan luvulla 10 johon lisätään laitteen numero. Näin voidaan selvittää jos vastaanotinreleitä on päällä useampi kuin yksi. Keskimäinen eli toinen luku kertoo suoraan kuinka monta vastaanotinrelettä on päällä yhtäaikaaisesti. Ei kuitenkaan ole tarpeen tietää mitkä vastaanotinreleet ovat yhdistäneet mittauspiikkeihin, kunhan tiedetään, että yhdistäviä kohtia on liikaa. Yhdistävien vastaanotinreleiden määrän ollessa yksi, tiedolla voidaan syyttää oikea led ohjainyksikössä. Useamman ledin syyttäminen on turhaa ja näin ollen voidaan suoraan jättää syyttämättä yhtäkään lediä, koska painiketta tulee tässä tilanteessa kuitenkin painaa uudestaan. Uudelleen painettaessa kaikkien vastaanotinreleiden tulee myös tehdä toimenpiteet kuten tarkistaa tuleeko releen olla päällä tai olla pois. Lisäksi jos joku laite matkalla ei ole toiminnassa tai muutoin toimii hitaasti, huomataan se paluuviestin puutteena.

Vastaanotinreleet lähettävät status -komennon jokaisen laitteen kautta. Lisäksi vastaanotinreleet lisäävät siihen omalla kohdallaan oman laitteen järjestysnumeronsa sekä luvun 10, mutta vain jos rele on päällä. Ohjainyksikkö lukee saadun komennon poistamalla siitä 110 jolloin jäljelle jää aina luku väliltä 1-9, jos mitään vikaa ei ole tai useampi vastaanotinrele ei ole yhteydessä mittauspiikkiin yhtäaikaaisesti. Lisätty luku 10 johtuu siitä, että tilanteessa jossa useampi rele on päällä yhtäaikaisesti, on luku aina yli rajojen. Esimerkiksi: jos laitteiden 1 ja 2 releet ovat kiinni, on vastaanotettu koodi 100+11+12 eli 123 ja siitä vähennettäessä 110 tulee 13, joka ei tarkoita mitään laitetta. Näin saadaan selville, että jossain on vika. Jos taas lisättäisiin lukuja ilman kymmentä, saataisiin luvuksi $100+1+2 = 103$ ja tällöin luultaisiin, että kaikki

on kunnossa, koska kolmannen vastaanotinreleen luultaisiin olevan vetäneenä vaikka todellisuudessa vastaanotinreleet 1 ja 2 olisivat molemmat. Koska keskimmäisestä luvusta ei ole mahdollista tietää mikä vastaanotinrele on vetäneenä, ei ole tarpeen ilmaista asiasta muutoin kuin silloin jos luku on muuta kuin 1. Vikaa voi yrittää poistaa antamalla uusia komentoja vastaanotinreleille, sillä jokainen komento sammuttaa kaikki muut laitteet, paitsi sen jota komennetaan yhdistämään. Yleensä vika, jolloin kaksi tai useampia mittauspiikkejä on yhdistetty mittauslaitteistoon, johtuu siitä että jostain syystä jokin vastaanotinrele ei ole saanut tai on hypännyt ohjelmassa kohdan yli jossa rele pitäisi avata. Tämän vuoksi voi yleensä auttaa, kun painaa ohjainyksiköstä lähetyksenappia uudestaan.

Vastaanotinreleissä on myös fyysiset ulospäin näkyvät led- valot, punainen ja vihreä, joista punainen valo syttyy aina kun laite käynnistetään ja ilmaisee releen olevan auki. Vihreä valo ilmaisee, että rele on vetäneenä. Kun rele avautuu, palautuu valo punaiseksi. Vastaanotinreleiden valoindikaattoreista voidaan huomata virheet laitteiston toiminnassa visuaalisesti, käydessä jokaisen laitteen luona. Punainen led- valo on ohjelmallisesti ohjattu ja toimii tästä syystä heti kun laite laitetaan päälle. Vihreä led- valo on suoraan releelle menevässä virtapiirissä kiinni ja saa virtansa vain jos relekin saa. Tästä syystä vihreä led- valo on hyvin varma indikaattori releen vetäneisyydelle. Koska led syttyy pienemmällä virralla kuin rele, syttyy se silloinkin vaikka virtaa ei riittäisi releen kiinni vetämiseen, mutta ohjelma sitä kuitenkin yrittäisi. Kun kumpikaan led- valo ei pala, on laite hyvin todennäköisesti sammunut tai jumissa. Jos taas molemmat ledit palavat, on rele päällä ja ohjelma jumissa. Led- valot indikoivat tarpeen vaatiessa vikaa haettaessa riittävästi kunkin vastaanotinreleen tilaa, mutta ne eivät ole tarkoitettu mittauspiikkiin kytkeytymisen seuraamista varten normaalitilanteessa.

4.2.2 Esiasetukset ohjelmassa

Tietokoneella tehtäviin ohjelman muutoksiin tarvitaan Arduino IDE eli ohjelmointi ohjelma. Vastaanotinreleiden esiasetukset voidaan tehdä tietokoneella sekä lisäksi laitenumero voidaan vaihtaa koodauskytkimestä (DIP). Tietokoneella voidaan muokata ohjelmaa täydellisestikin, mutta tärkeimmät ja yleisimmät muutostyöt tehdään

ohjelman alkupäässä erikseen määrättyihin muuttujiin. Näistä muutettavista muuttujista on pieni ohjeistus ohjelmassa kommentteina.

Kommentti on tässä ohjelmassa erotettu normaalista toiminnallisesta ohjelmasta //-merkein, kun kommentti on vain yhden rivin. Kun taas halutaan tehdä useamman rivin kommentti, voidaan käyttää /*- merkintää alussa ja */- merkintää lopussa. Esimerkiksi:

```
// Tämä osa on vain kommentti, jota ei suoriteta komentona
/*
 * Tämä
 * osa on
 * kommentoitu pois
 */
```

Muuttujista tärkeimpänä ja yleisimpänä muutettavana merkintänä näistä on Device-muuttuja, joka kertoo laitteen järjestysnumeron. Device on luku, jota haetaan eli käytetään aina kun halutaan yksilöidä tietoja käytettävään laitteeseen liittyen. Device luvulla saadaan selville laitteen oma järjestysluku ja sitä voidaan hyödyntää esimerkiksi osoitteiden valinnassa valittaessa omaa Device- lukua edeltävä tai seuraava osoite, riippuen lähetyksestä.

NumberOfDevices- muuttujalla kerrotaan laitteiden kokonaismäärä. NumberOfDevices on luku jota käytetään vain statuskomennon lähettämiseksi. Statuskomento- osioon päästään vain viimeisessä laitteessa, koska tällöin Device on sama kuin NumberOfDevices, eli saavutetaan viimeinen vastaanotinrele. Ohjelmassa puhutaan == -merkillä joka tarkoittaa että jokin on yhtäsuuri kuin jokin. NumberOfDevices on tässä 10 ja kun Device on sama kuin 10, joka toteutuu viimeisessä laitteessa, suoritetaan statuskomennon lähetys. NumberOfDevices- komentoa käytetään siksi että voidaan ohjelmoida jokaiseen laitteeseen sama koodi, mutta vain viimeinen laite käyttää tätä hyödykseen.

Osoitteiden muuttamisessa tulee huolehtia, että ohjainyksiköllä on myös tiedossa ensimmäisen laitteen oikea osoite. Osoitteita muuttaessa vaihtuu samalla vastaanotinreleiden kaikki osoitteet joten lähetys ja vastaanotto päivittyvät kerralla uusiksi osoit-

teiksi. Ohjainyksikön osoitteet tulee päivittää samalla, kun vastaanotinreleiden osoitteita muutetaan. Osoitteet on kirjattu Array- muotoon ja on erotettu pilkulla toisistaan. Arraystä haetaan numerolla aina tietyn kohdan osoite ja tämän takia osoitteiden tulee olla aina oikeassa järjestyksessä. Kaikkiin laitteisiin tulee ohjelmoida sama järjestys, mutta muuten osoitteilla ja niiden muodolla ei ole merkitystä. Osoitteet voivat koostua numeroista ja kirjaimista. Järkevää olisi, että osoitteilla olisi jokin looginen järjestys, jotta niiden kanssa olisi helpompaa toimia. Ohjelmaa muutettaessa ja varsinkin osoitteita muutettaessa tulee sama ohjelma ajaa jokaiseen vastaanotinreleeseen. Huomioiden kuitenkin pieni muutos jos käytössä on koodauskytkimellä varustettu vastaanotinrele. Tällöin ohjelmassa on ohjeet kuinka toimia, ettei laite mene sekaisin. Käytännössä ohjelmassa on kohta joka on kommentoimalla otettu pois käytöstä. Jos kohta on pois käytöstä, ei koodauskytkin toimi vaan vastaanotinreleen numero määräytyy asetetun Device- luvun mukaan. Mutta jos taas laitteessa ei ole koodauskytkintä ja ohjelmassa on jätetty kommentoimatta kohta koodauskytkimen käytöstä, muuttuu Device- luku nolllaksi. Ohjelmassa tämä kohta on pinniriippuvainen ja näin ollen se ei saa yhteenkään tarvittavista pinneistä virtaa ja luulee olevansa ”nollas” laite. Ohjelman muuttaminen ei kuitenkaan ole kovinkaan yleistä sillä laitteet on ohjelmoitu jos valmiiksi toimimaan tarvittavalla tavalla.

4.3 Kauko-ohjattavan laitteen toteutus

Kauko-ohjattavaa laitteistoa lähdettiin kehittämään siltä pohjalta, että aluksi oltaisiin verrattu jo olemassa olevia laitteita ja tutkittu minkälaisia ominaisuuksia niissä on. Eri valmistajia ja malleja löytyi kohtuullisesti, mutta ainuttakaan automatisoitua laitteistoa ei etsimällä löytynyt. Yksinkertaisesta ideasta huolimatta täytyi toteutus suorittaa kokoamalla koko laitteisto alusta alkaen.

Laitteistoa alettiin suunnittelemaan erilaisten ohjelmoitavien piirien päälle, sillä laitteiden tuli sisältää älyä. Pelkkä moninapainen johdin sekä rele siihen kytkettynä ei tullut kyseeseen ylimääräisen johdon takia. Laitteiston kehityksessä tuli noudattaa asiakkaan ohjeita esimerkiksi pieneen kokoon ja keveyteen liittyen. Logiikoita vertaillen päädyttiin Arduinon ohjelmoitaviin logiikoihin niiden vapaan ja käyttäjätavallisen ohjelmoinnin ja kokoonpanon vuoksi. Arduinon logiikoista parhaiten tar-

peita vastasi Arduino Micro, joka asennettiin kaikkiin vastaanotinreleisiin sekä Arduino Mega2560, joka asennettiin ohjainyksikköön.

Suunnittelu kuului myös tärkeäksi osaksi elektroniikan valmistamista. Suunnitelman alussa oli vain Arduino, tieto siitä että sillä tulee ohjata relettä sekä se että laitteiston tuli toimia langattomasti. Arduinon ja releen väliin tuli kehittää yksinkertainen piiri, koska releen ottama teho olisi voinut vahingoittaa arduinoa sekä tämä piiri myös mahdollisti vapaammat vaihtoehdot releille. Arduino Micron virransyöttö 5 voltin ohjelmoitavasta I/O -pinnistä on suositeltu pitämään alle 20mA. Ohjelmoitavan I/O -Pinnin sähköteho on täten 100mW. Useimmissa releissä kelan ottama teho on suurempi, kuten tässäkin, 400mW. Arduinon 5 Voltin jännitteensyöttö pinnistä tehoa saa ottaa kuitenkin 200mA, joten tehoksi saadaan 1 Watti. Ohjaamalla ensin I/O pinnillä vastuksen kautta transistoria, voidaan saada suurempi virta +5Voltin pinniltä releelle. Releen tehtävä on toimia matalavastuksisena ja häiriöttömänä yhdistäjänä mittausjohtimen ja mittauspiikin välissä. Releen lisäksi transistori syöttää samalla myös vihreää lediä joka syttyy kun releelle annetaan virtaa. Tämän tarkoituksena oli osoittaa , että rele on vaihtanut auki –tilasta kiinni –tilaan. Vihreä led syttyy vain jos releelle tulee virta, joten se on hyvin tarkka indikaattori. Kun vastaanotinreleyksikkö käynnistetään, syttyy siihen aina punainen led. Punainen led sammuu ja vihreä syttyy aina kun rele on päällä. Vikatilanteissa voidaan huomata ongelmat indikaattoriledien avulla jotka on asennettu laitteiden koteloihin. Indikaattoriledit asennettiin vasta jälkeinpäin lisävarusteiksi, jotta laitteiden tilaa voisi seurata koteloavaamatta.

Releen kytkemisen lisäksi laitteen tarvitsi olla yhteydessä toisiinsa. Tätä varten laitteisiin alettiin suunnitella ja etsiä langatonta lähetintä. Lähettimiä vertaillen kohdalle osui Nordic semiconductorin nRF24L01+ -micropiiristä valmistettu valmis piiri, jota voitiin hyödyntää Arduinon kanssa. Tämä vastaanotinlähetin tulee kytkeä rinnan kondensaattorin kanssa arduinon +3,3 voltin pinnin sekä GND –pinniin. Edullisen hintansa ja erityisen hyvän hinta-laatusuhteen vuoksi päädyttiin tähän vaihtoehtoon. nRF24L01+ -piirin ilmoitettu maksimi kantavuus antennin kanssa on 1000 metriä, mutta todellisuudessa, kun esteet otetaan huomioon, on kantama paljon pienempi. Tässä laitteistossa kantamaksi riittää 20 metriä joten viestien kulku on varmistettu. Langattomalta piiriltä ei vaadittu paljoa ominaisuuksia. Tieto jota signaalin tulee kuljettaa, on hyvin yksinkertainen ja pienikokoinen. Lisäksi laitteen ei tarvitse olla

huippunopea. nRF24L01+ -piirissä on valittavina tiedonsiirron nopeudeksi: 250kbps, 1Mbps ja 2Mbps, joissa pienin takaa pitkälle matkalle parhaan laadun. Tässä laitteistossa 250kbps on riittävä.

Releen kytkeytyminen mittauspiikkiin tapahtuu banaaniliittimien kanssa. Banaaniliittimet kiinnitettiin releeseen 2.5 neliömillimetrin johtimella. Johdin on mitoitettu riittävän suureksi, jolloin se ei muodostu pullonkaulaksi mittauspiirissä. Johtimen pituus on alle 25 senttimetriä, joten resistanssi pysyy pienenä.

Ohjaimen suunnittelussa lähdettiin siitä lähtökohdasta että ohjattava rele valitaan kiertokytkimellä, joissa on asentoja riittävästi. Yhdeksän ohjattavaa relettä vaatisi vähintään yhdeksän valittavaa kohtaa sekä yhden painonapin joka tulisi sarjaan kiertokytkimen kanssa. Kiertokytkimen asento vaikuttaisi siihen, mikä vastaanotinrele kytketään päälle. Painonapilla virta saataisiin kulkemaan kiertokytkimen läpi vain painalluksen ajan.

Ohjaimen kiertokytkimen lähettyville sijoitetaan myös Led -valoja kuvastamaan jokaisesta vastaanotinrelettä. Led -valojen ohjaukseen vaaditaan jokaiselle Led -valolle oma ohjaava pinni arduinolta. Maadoitus tulee kytkeä vastuksen kanssa Arduinon GND -pinniin.

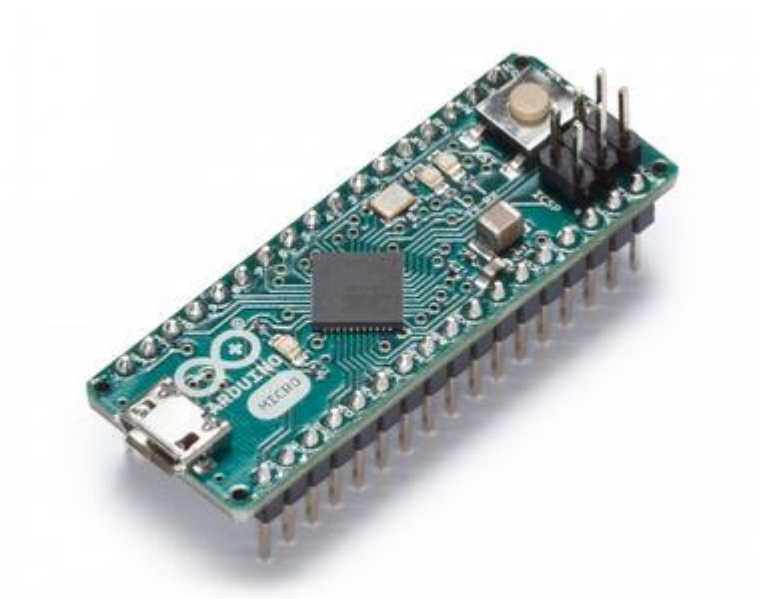
Lähetinvastaanottimena toimiva nRF24L01+ -vaatii rinnalleen kondensaattorin. Kondensaattori antaa lisävirtaa tarvittaessa. Kondensaattori sekä vastaanotinlähetin kytketään arduinossa +3,3 voltin pinniin sekä GND -pinniin.

Jokaiseen laitteeseen tulee oma akku. Akku syöttää laitteita 5 voltin jännitteellä. Akun kapasiteetillä ei ole merkitystä toimivuuteen muutoin kuin akun keston kannalta.

4.4 Vastaanotinrele

Vastaanotinreleen osat ja niiden kokonaisuus

4.4.1 Arduino Micro



Kuva 2. Arduino Micro

Arduino Micro valittiin toimimaan vastaanotinreleen logiikkana. Valinnan perusteena oli Micron mitat, toiminta 5 voltin tasavirralla sekä Micron pinnipaikkojen riittävyys tähän toteutukseen. Arduino Micro on Atmel ATmega32U4- pohjainen ohjelmoitava logiikka, jossa on sisäänrakennettu valmius USB –sarjaportille. Micro toimii 6-20V tasavirralla erillisistä pinneistä tai vaihtoehtoisesti USB- portista 5V jännitteellä, joten laitteisto voi ottaa virtansa 5V varavirtalähteestä, jollaisia käytetään tämän laitteiston jokaisessa yksikössä. Microssa on tarvittava määrä pinnejä kaikkia vastaanotinreleen toimintoja varten.

Microcontroller	ATmega32U4
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	20
PWM Channels	7
Analog Input Channels	12
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega32U4) of which 4 KB used by bootloader
SRAM	2.5 KB (ATmega32U4)
EEPROM	1 KB (ATmega32U4)
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Length	48 mm
Width	18 mm
Weight	13 g

Kuva 3. Micron arvoja.

Arduino Micron hyviin puoliin kuuluu ensinnäkin se, että se on vapaasti ohjelmoitava eli avoin laitteisto, niin ohjelman ja piirinsäkin puolesta. Arduinoon voi kuka tahansa kehittää oman ohjelman ja kokonaisuuden. Vastaanotinreleeseen Micro sopii erityisen hyvin pienen kokonsa vuoksi. Micro kiinnitetään osaksi isompaa piirilevyä, jolle muut komponentit kiinnitetään. Piirilevy, jolle Micro asennetaan on 5 x 7 cm, joten tilaa muille komponenteille jää hyvin.

4.4.2 nRF24L01+ -lähetinvastaanotin

Käytettävä nRF24L01+ lähetinvastaanotin poikkeaa kuvasta ulkoisen antennin osalta. Kuvanmukaisen kultaisenvärisen pienen antennin tilalla on liitin noin 10 senttimetrin antennille.



Kuva 4. nRF24L01+ -lähetin-vastaanotin.

Kauko-ohjauksen tiedonsiirtopiiriksi valittiin 2.4GHz ISM -taajuusalueella toimiva Nordic semiconductor:in valmistama ja kehittämä nRF24L01+ -lähetinvastaanotin.

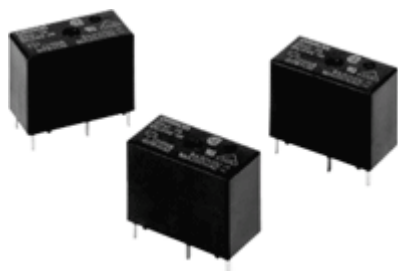
ISM- taajuudet eivät ole luvanvaraisia suomessa, joten ne todettiin käyttökelpoisiksi tässä laitteistossa. Tiedonsiirtonopeuksia voi vaihtaa kolmen välillä: 250kbps, 1mbps tai 2mbps. 250kbps antaa parhaan kantaman lähetinvastaanottimelle sekä tässä laitteistossa se riittää hyvin käyttötarkoitukseensa. Lähetinvastaanottimen hyviin puoliin kuuluu myös se, että se hoitaa lähetyksen ja vastaanottamisen eikä siksi tarvita erillisiä laitteita tämän hoitamiseksi. Kantamaksi on luvattu jopa 1000m, kun virtasyöttöön on kiinnitetty kondensaattori varavirraksi tasaamaan virran otto pulseja. Testien perusteella saavutettiin yli 200 metrin kantavuus avonaisessa maastossa ja noin 60 metriä keskimääräisessä metsässä.

Lähetinvastaanotin käyttää 1.9-3.6 voltin jännitettä, ja on tästä syystä kytkettävä muuhun kuin ohjain +5 voltin pinniin. Arduinossa on 3,3 voltin pinni jota voidaan hyödyntää suoraan nRF24L01+ kanssa. nRF24L01+ olevat ohjattavat pinnit ovat mahdollista kytkeä 3.3 - 5 voltia käyttäviin arduinon pinneihin ilman erityisiä toimia. Virtaa kuluu lähetyshetkellä noin 5-15mA, riippuen tehosta, nopeudesta ja lähetyksen määrästä. Ajallisesti lähetyksen on hyvin nopea eikä näin ollen kuluta paljon akkua. Kondensaattori tasaa virranottoa arduinolta.

4.4.3 Omron G5Q-14-EU 5VDC –Rele

Kytkentäreleeksi kytkemään mittausjohdin mittauspiikkiin valittiin Omron G5Q-14-EU 5VDC- rele. Rele oli entuudestaan tuttu ja oli aikaisemmin todettu luotettavaksi. Releen arvot ja kokoluokka vastasivat hyvin tarpeita. Rele sopi suoraan käytettävän piirilevyn rei'itykseen ja oli tämän vuoksi helposti asennettavissa piirilevylle. Rele käyttää kelassa 5 voltin ja 80 milliampeerin tasavirtaa. Teholtaan 0,4W eli 400 milliwatin kulutus on kohtuullisen pieni, huomioiden pidempienkin mittauskertojen energiankulutuksen. Kiinni vedettynä rele yli kaksinkertaistaa vastaanotinteleen energiankulutuksen, joten akun kestävyys kannalta on kuitenkin kannattavaa avata jokainen rele silloin, kun niitä ei tarvitse pitää vetäneenä.

Myös releen sähköinen kestävyys on oleellisessa asemassa. Releen tulee kestää riittävänsuurta jännitettä. Käytettävän mittalaitteen, Megger DET 2/2, jännite on releen rajoissa, sillä se on maksimissaan 50Vrms. Myös virta jää mitatessa hyvin pieneksi ja sen maksimiarvoksi on ilmoitettu 50mA. Releen kestävyudeksi on ilmoitettu 5A 30VDC tai 10A 250VAC. Releen tyyppi on vaihtava, mutta tässä tarkoituksessa hyödynnetään vain ON-OFF toimintoa.



Kuva 5. Omron G5Q-14-EU 5VDC- rele

4.4.4 Peruskomponentit

Peruskomponentteihin kuuluu yleismallin komponentit joita piiriin tarvitaan.

Taulukko käytetyistä komponenteista ja niiden arvoista:

Taulukko 1.

Alumiinielektrolyyttikondensaattori	100 μ F, 16V
Transistori	BC547B
Hiilikalvovastus	330 Ω \pm 5%, 0,25W
LED Vihreä	\varnothing 5 mm, 2,2V, 20mA, 100° siirtokulma
LED Punainen	\varnothing 5 mm, 2V, 20mA, 100° siirtokulma
Napapultti	\varnothing 4 mm, uros ja naaras
Vastus (2kpl)	3,6k Ω \pm 1%, 0,4W
Koodauskytkin (valinnainen)	OTAX KDR-162H, 20 mA@ 20 VDC

Peruskomponenttien tarkoituksena on toimia pääkomponenttien apuna. Ne on valittu täyttämään niiltä vaaditut ominaisuudet. Peruskomponenttien lisäksi on käytetty 5 x 7 cm- kokoista piirilevyä, jolle komponentit on aseteltu. Johtimina on käytetty latta-kaapelia, jonka avulla merkkivalot ja nRF24L01+ on kytketty kiinni piirilevyyn. Akulta laitteelle on käytetty johtimena microUSB- USB johdinta jonka välissä on ON-OFF kytkin.

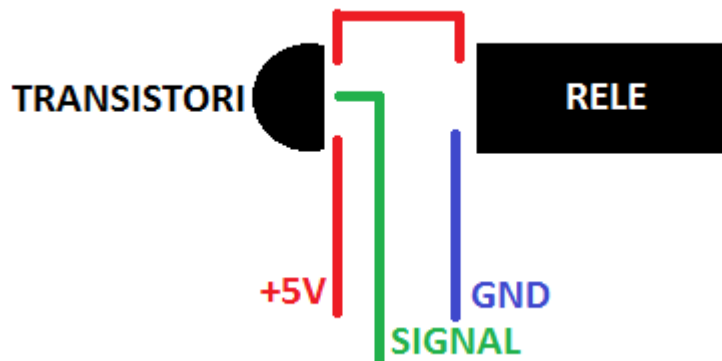
Mitoitukseen on jätetty varaa siten, että laitteen toiminnan poikkeavuudet eivät heti vaurioita komponentteja. Lisäksi laite vaatii hyvin vähän virtaa ohjauspinneihinsä, joten vastusten ei tarvitse päästää kuin vähän virtaa pinnistä toiseen.

Kondensaattori, joka on kytketty lisävirtalähteeksi nRF24L01+- lähetinvastaanottimelle, on mitoitettu siten, että siitä riittää virtaa hyvin useammankin lähetyksen tekemiseen. Kondensaattorin kapasiteetti on 100 μ F. Lähetinvastaanotin tarvitsee kondensaattoria eniten lähetyksen alkuvaiheessa, koska arduinosta ei saa virtaa riittävän nopeasti ja paljon. Kondensaattori latautuu uudelleen kun virrantarve pienentyy ja purkautuu taas kun virtaa tarvitaan.

Transistoria BC547B, käytetään ohjaamaan relettä. Transistorin tehtävä on toimia pienivirtaisena releenä, jolla isompaa relettä ohjataan. Transistori tavallaan toimii virran vahvistimena, sillä se toimii siten että sille syötetty virta laittaa transistorin johtavaan tilaan ja virta pääsee kulkemaan releelle. Virta ei voi suoraan tulla ardui-

non I/O pinniltä releelle, koska rele vaatii liikaa virtaa. Releen virran tarve on 80mA ja I/O pinnin suositeltu virrananto vain 20mA.

Releen ohjaus transistorilla.



Kuva 6.

Kuvan 5 mukainen kytkentä toimii releen ohjaimena. SIGNAL- johtimeen annettu virta saa transistorin johtamaan ja aikaansaa releen vetämisen, niin kauan kun SIGNAL- pinniin annetaan virtaa. Transistorin SIGNAL- johtimeen annettu virta kulkee $3,6\text{k}\Omega$ vastuksen kautta, jolloin virta ei kasva liian suureksi. Transistorin emitteriin eli releelle lähtevä virta koostuu kollektori eli +5V pinnistä tulevasta ja kanta virrasta eli SIGNAL- virrasta. SIGNAL- johdin on kiinni transistorin kannassa joten tämä virta voisi kasvaa turhan suureksi. Transistorin kannalle riittää hyvin pieni virta sillä sen virranvahvistus on noin 330 kertainen kantavirtaan tulevaan virtaan nähden. Kun lasketaan virtaa jota releelle tarvitaan, saadaan vastusarvo selville hyödyntämällä transistorin virranvahvistuskerrointa. 80mA virran saamiseksi tarvitaan $80\text{mA} / 330$ –virta. Arvoksi saadaan $0,2424\text{mA}$ eli $242\mu\text{A}$. 5V jännitteestä saadaan $0,2424\text{mA}$ virta kun se jaetaan vastuksella, joten Vastukseksi tarvitaan jännite jaettu-
na virralla eli $+5\text{V} / 0,0002424\text{A} = 20,6\text{k}\Omega$ vastus. Valittu $3,6\text{k}\Omega$ vastus antaa kannalle kuitenkin virraksi $+5\text{V} / 3600\Omega = 0,001389\text{A}$ eli noin $1,4\text{mA}$. Tämä tarkoittaa että kollektori saa otettua virtaa $(1,4*330+1,4)\text{mA}$. $+1,4\text{mA}$ johtuu siitä että kantavirta lisätään kollektorivirran lisäksi emitterille menevään virtaan. Virran määräksi saadaan $463,4\text{mA}$. Rele ottaa kuitenkin vain 80mA , mutta ylimääräinen vara ei ole haitaksi. Pääasia on että ohjaavalta I/O –pinniltä ei oteta liikaa virtaa. Transistoreissa on pieniä eroja sillä virranvahvistuskertoimessa on eroja eri yksilöiden kesken. Tästäkin syystä on mitoitus riittävän hyvä. Vastuksen päätarkoitus kannassa on se, ettei Ar-

duinon I/O- pinnistä oteta liikaa virtaa. Nyt virta jäi 1,4mA suuruiseksi ja on huomattavasti alle rajojen joka on 20mA.

4.5 Ohjainyksikkö

4.5.1 Arduino Mega 2560



Kuva 7. Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 on Arduinon suurimpia mikrokontrollereita ja siinä on yhteensä 54 I/O- paikkaa käytettävissä. Ohjainyksikölle pinnipaikat ovat tärkeitä, koska jokainen merkkivalo sekä katkaisijan asento vaatii omansa. Arduino Mega2560 toimii myös 5V tasavirralla ja on käytettävissä akulla. Microon nähden Mega2560 poikkeaa ensinnäkin prosessoriltaan, jonka vuoksi myös koko on suurempi niin fyysisesti kuin muistiltaan.

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Length	101.52 mm
Width	53.3 mm
Weight	37 g

Kuva 8. Arduino Mega 2560 ominaisuudet

4.5.2 nRF24L01+ -lähetinvastaanotin

nRF24L01+ -lähetinvastaanotin on sama kuin vastaanotinreleissäkin. Myös nRF24L01+ -lähetinvastaanottimen muut tarvitsemat komponentit kuten kondensaattori on sama tai vastaava kuin vastaanotinreleyksiköissäkin

4.5.3 Peruskomponentit

Peruskomponentteihin kuuluu johtimia sekä kondensaattori ja ledit sekä niiden vastukset. Ledien etuvastus on yhteisessä maadoituksessa osana piiriä. Kondensaattori kuuluu nRF24L01+ -piirin sähkönsyöttöön ja on rinnakkain nRF24L01+ -kanssa.

Pääkomponentteihin kuuluu kiertokytkin ja painonappi jolla suoritetaan valinta ja komennon lähetys. Painonappi ja kiertokytkin ovat sarjassa vastuksen kanssa. Kaikilta tarvittavilta yhdeksältä pinniltä tulee johto kiertokytkimelle. Kiertokytkimen jälkeen on painonappi jonka jälkeen on vastus jottei virta kasva liian suureksi. Komponenttien tiedot löytyvät seuraavasta taulukosta.

Taulukko 2. Ohjainyksikön komponentit

Alumiinielektrolyyttikondensaattori	100 μ F, 16V
Askelkiertokytkin	Lorlin CK1039
Hiiikalvovastus	330 Ω \pm 5%, 0,25W
LED Vihreä	\varnothing 5 mm, 2,2V, 20mA, 100° siirtokulma
LED Punainen	\varnothing 5 mm, 2V, 20mA, 100° siirtokulma
Tiivistysmutteri	APM Hexseal 5.9mm
Askelkiertokytkimen nuppi ja kansi	Elma 28mm, Elma 28mm
Painokytkin IP65	Taiway 16m 36VDC 2A
Numerolevy asekelkiertokytkimeen	Ritel 28mm

4.6 Akut ja laturit

Akuiksi on valittu +5V varavirtalähteet, jotka ovat hyvin universaaleja ja sopivia toimimaan tämän laitteiston jokaisen laitteen virranlähteenä. Virtalähde ei tarvitse erillistä painikkeen painallusta päälle laittamiseksi vaan johdon kiinni laittaminen käynnistää automaattisesti virranjaon. Tästä syystä laitteen virtajohtoon voidaan asentaa väliin katkaisija jolla virta saadaan päälle laitteeseen ilman kotelon avaamista. Valitun virtalähteen energiasisältö on 12Wh ja milliampeeritunteja siinä on 2200mAh. Täyteen ladattu akku kestää testien perusteella 15 tuntia releen päällä oloa tai valmiustilassa noin puolet pidempään eli 30 tuntia. Testitulokset ovat sisätiloissa noin +20 °C lämpötilassa toteutettuja ja voivat vaihdella lämpötilan mukaan.

5 TESTIT

5.1 Ensimmäinen testaus

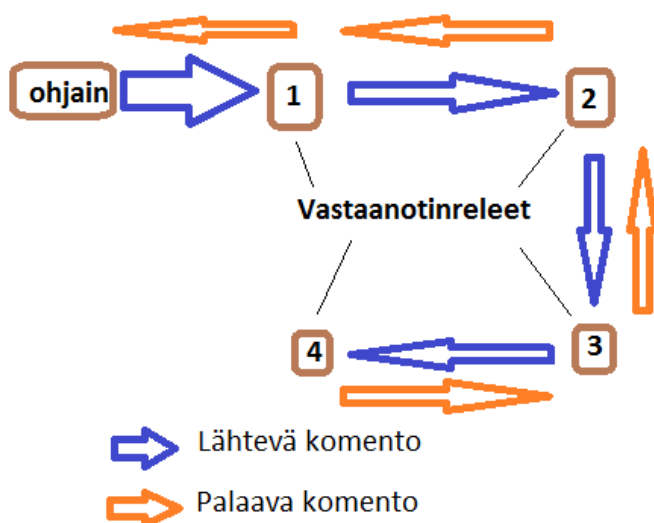
Testauksia suoritettiin ensimmäisen kerran Porissa perjantaina 28. Huhtikuuta 2017, kello 13:00 alkaen. Sää oli tuolloin hyvä. Lämpötila oli $+6^{\circ}\text{C}$ sekä maa oli jo sula. Myös edeltävien tuntien sademäärä oli vähäinen, joten häiriötekijöitä mittaukselle ei ollut. Laitteistolle suoritettiin testaus, jossa oli ohjaimen lisäksi kolme vastaanotinrelettä erilaisin välimatkoin. Testauksessa haluttiin saada selville mahdolliset vaikutukset siitä, onko mittausjohtimen välissä rele vai ei. Vastaanotinreleet asetettiin siten, että ne saivat ylipitkät etäisyydet sekä epäedulliset paikat maaston esteiden takia. Ensimmäinen vastaanotinrele oli 40-, toinen 120-, ja kolmas 180metrin etäisyydellä ohjain yksiköstä. Ensimmäiseksi tuli testata maaston esteiden vaikutukset radiosignaalin kantamaan. Etäisyydellä 0m – 40m ei havaittu ongelmia, vaikka välissä oli puita ja pensaita. Väli 40m – 120m aiheutti vaikeuksia esteiden takia. Kun 40m- kohdalla oleva laite nostettiin metrin korkeuteen, yhteydenotto 120m- laitteeseen onnistui. Laitteelle kolme, eli 180m- etäisyydellä olevalle laitteelle ei saatu yhteyttä testauksissa ilman kaikkien laitteiden uudelleen käynnistämistä. Syy oli testien aikana tuntematon ja hyvin epäselvä, sillä laitteisto meni toimintakyvyttömäksi satunnaisten komentomäärien jälkeen. Laitteistolle toisena tärkeänä testinä kantaman lisäksi oli saada selvyys kuinka suuri vaikutus vastaanotinreleen releellä todellisuudessa oli mittauksille. Mittauksia suoritettiin neljä, pitäen mittauspiikit aina samassa positiossa. Kahdella mittauksella oli johdin kiinni mittauspiikissä ilman relettä ja kahdessa mittauksessa releen kanssa, jolloin mittaus kulki releen läpi. Mittauksiksi saatiin $126,9\Omega$, joka oli jokaisella neljällä mittaus kerralla sama. Testitulosten perusteella laitteisto todettiin toimivaksi apuvälineeksi mittauksen helpottamiseksi tulevaisuudessa.

5.2 Toinen testaus

Päätös siitä että järjestetään toinen testaus, tuli jo ensimmäisellä testauksella, koska laitteisto ei toiminut halutulla tavalla. Laitteistolle piti saada varmuus vielä radioyhteyden toimivuudesta kuormituksen alla ja oikeanlaisissa olosuhteissa ja oikeilla

etäisyyksillä. Testauksessa etäisyydet toisiinsa on kuitenkin ollut puolitoistakertaiset normaaliin nähden eli 30 metriä. Pidemmällä etäisyydellä haluttiin varmistaa toiminta myös suuremmalla rasituksella.

Toinen testaus suoritettiin maanantaina 15.5.2017 Porissa. Lämpötila oli noin 12°C sekä ilmankosteus oli noin 40%, eli hyvin normaali. Mittauksiin vaikuttaa ilmastolliset olosuhteet, mutta kauko-ohjattavan laitteen signaalin kulkemiseen tällä ei ole juurikaan merkitystä kolmenkymmenen metrin etäisyydellä. Mittausilmaston tietäminen tässä kohtaa vakauttaa kuitenkin erilaisten johtopäätösten tekemistä ja helpottaa toiminnan jatkokehitystä. Sillä tiedetään että kyseessä ei ole poikkeustilanne. 15.5 tehdyssä mittauksessa ei ollut tarkoitus testata mittauslaitteiston toimintaa ja vaikutuksia kauko-ohjattavan laitteiston välillä, vaan tarkoituksena oli testata uutta ohjelmaa joka oli asennettu nyt kaikkiin laitteisiin, niin ohjainyksikköön kuin vastaanotinreleisiinkin. Vanhassa koodissa oli paljon parannettavaa. Uuden koodin etuja oli vanhaan nähden se, että nyt jokaisella laitteella on oma osoitteensa.

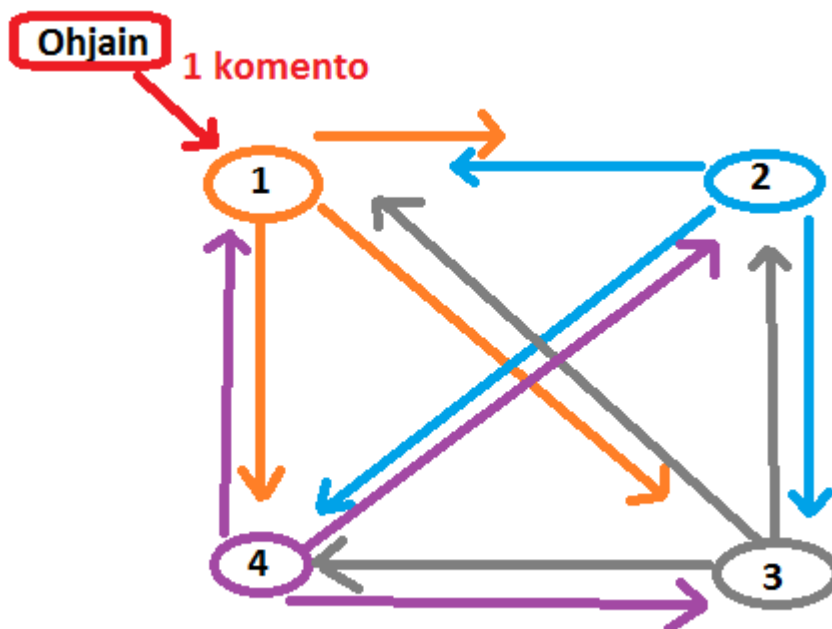


Kuva 9. Periaatekuva uudesta toimintatavasta.

Kuvassa on käytetty havainnollistamisen neljää vastaanotinrelettä, vaikka niitä todellisuudessa on enemmän. Kuvan siniset nuolet ovat niitä, joilla komennetaan releitä päälle. Oranssit nuolet ovat niitä, joiden mukana saadaan paluutietoa, mikä rele on kiinni tai onko niitä useampi yhtäaikaaisesti kiinni. Komento lähtee ohjainyksiköltä ja periaatteessa ylttäisi kuvan mukaisella asettelulla jokaiseen vastaanotinreleeseen, jos välimatkat kaikkiin yksiköihin olisivat tarpeeksi pienet. Tarpeellista kuitenkin on se

että komento menee vain ensimmäiseen yksikköön, koska osoite osoittaa viestin vain ensimmäiselle. Tämän jälkeen ensimmäinen vastaanotinrele lähettää seuraavalle ja seuraava taas seuraavalle kunnes komento saapuu viimeiseen laitteeseen. Komento teki välillä tarvittavat toimenpiteet releen päällä olon suhteen. Kun viimeinen vastaanotinrele eli numero neljä on saavutettu, lähetetään sieltä uusi komento joka poimii jokaiselta auki olevalta vastaanotinreleeltä numeron nolla ja jokaiselta kiinni olevalta numeron joka on kyseisen kiinni olevan vastaanotinreleen numero. Tavoitteena on saada tieto, mikä vastaanotinrele on kiinni eli yhteydessä mittauspiikkiin. Kun mittauspiikin releen tieto saadaan ja rele on kiinni, sytytetään merkiksi LED valo lähettimessä sillä kohdalla jota relettä se vastaa. Jos useampi vastaanotinrele on jostain syystä vetäneenä, saadaan tästäkin tieto ja ohjaimen tulee ilmoitus tapahtumasta, jottei mittaus suoriteta kun mittapiikkejä on useampi kytkeytyneenä mittalaitteistoon.

Ensimmäisen testauksen aikaisessa kauko-ohjauslaitteistossa oli ongelmana viestien sekoittuminen sekä se että vastaanottimet meni tukkoon suuresta viestimäärästä yhtä yksikköä kohti. Edeltävän kuvan mukainen asettelu täydennettynä ensimmäisen testauksen nuolilla näyttäisi seuraavaksi kuvatussa kuvassa tältä. Jokaisella laitteella on oman väriset nuolet jotka kertovat lähetetystä signaalista.



Kuva 10. Periaatekuva vanhasta toiminnasta. Tästä toimintatavasta on luovuttu virheiden vuoksi.

Vanhassa ohjelmassa vastaanotinreleet sai komennon ohjaimelta. Todellisuudessa ohjaimen komento yltää myös jokaiselle vastaanotinreleelle, jos ne sijaitsevat tarpeeksi lähellä toisiaan. Selkeyden vuoksi kuvaan on laitettu vain neljä vastaanotinrelettä todellisen yhdeksän sijaan. Kuva kuvastaa tilannetta, jossa on lähetetty komento ensimmäiselle vastaanotinreleelle. Ensimmäinen vastaanotinrele uudelleen lähettää kerran jonka jälkeen se siirtyy viiveen jälkeen vastaanottamaan. Viiveen aikana muut vastaanotinreleet ovat saaneet ja uudelleen lähettäneet komennot. Uudelleen lähetetyt komennot saapuivat taas ensimmäisen vastaanotinreleen vastaanottopuolelle vaikka se olikin viiveen takia toimettona. Viiveen loputtua vastaanotinrele kuitenkin lukee tulleet komennot ja toteuttaa ne. Näin ollen sekavuus jatkuisi teoriassa hyvin kauan, mutta todellisuudessa vastaanotinreleet tukkeutuvat yksi kerrallaan. Kuvasta on jätetty merkitsemättä nuolien lähetysjärjestys sillä sitä on muutaman uudelleenlähetyksen jälkeen hyvin hankalaa seurata. Todellista testiä yhdeksästä laitteesta ei ole, mutta pienemmälläkin määrällä jumiutumien tapahtui muutaman komennon lähetyksen jälkeen. Tämän takia tuli keksiä ratkaisu, jossa jokaisella vastaanotinreleellä oli omat osoitteensa eikä yhtä yhteistä jokaisen käytössä samaan aikaan. Oma osoite on selkeä vaihtoehto toteuttamiselle. Yhdellä yhteisellä osoitteella haettiin kuitenkin mahdollisuutta, että komento voi vahingossa hypätä jonkin laitteen yli ja palata toiselta laitteelta takaisin ylimenneelle laitteelle. Osoitteen ollessa sama, oli lähetettävässä komennossa tapahduttava muutosta laitteita ohjattaessa. Komento koostui tiedosta onko viesti ohjaava komento vai status -komento. Lisäksi komennossa oli tieto, mikä vastaanotinrele kytetään päälle. Paluuviestissä oli samantapainen menettely joka kertoi, mikä vastaanotinrele oli kytkeytyneenä mittauspiikkiin. Uudessa tavassa jossa käydään pakotetusti jokaisen laitteen läpi, voidaan tilanne jossa joku laite ei toimi, huomata siten, että yhtään vastaanotinrelettä merkitsevää merkkivaloa ei syty ohjausyksikköön ellei komento etene ensin viimeiseen laitteeseen ja viimeiseltä tuleva komento saavuta takaisin ohjainyksikölle. Uudella tavalla voidaan joutua tekemän mahdollisesti useampi painallus jos joku syy estää komennon pääsyn perille ja takaisin. Tällaista ongelmaa ei teoriassa ollut aikaisemmalla kokoonpanolla. On kuitenkin testien perusteella harvinaista, että komennon lähettämiseen menisi useampi painallus. Testeissä ei havaittu kertaakaan tällaista tilannetta. Laitteistolle ei kuitenkaan ole haitallista jos painalluksia tulee useampia.

Testauksessa todettiin, että yksinkertainen laitteisto yksinkertaisella ohjelmalla on käytännöllisempi, sillä viat komennon matkalla vaatii aikaa ja kävelemistä, jota taas pyritään laitteistolla päätarkoituksellisesti pienentämään. Testauksen aikana todettiin myös se, että jos laitteita ei ole täyttä määrää ja lähetetään komento laitteelle jota ei ole tai se on NumberOfDevices luvun yli, tapahtuu ohjainyksikölle ongelmia. Kun laitteita oli testauksessa 3kpl ja niille lähetettiin komentoja, jotka olivat maksimissaan kolmannelle tarkoitettuja, kaikki toimi toivotusti ja hyvin luotettavasti. Kun taas painettiin laite numero 4:lle tarkoitettu komento ja sen jälkeen uudestaan komento, joka koski jotain käytössä olevaa laitetta, kuten kolme, vaihtui muutaman sekunnin kuluttua vastaanotinrele 3 auki ja ensimmäinen vastaanotinrele meni kiinni. Tämä johtui siitä, ohjainyksikkö ei pidä siitä kun painettiin yli rajojen olevaa lukua. Ohjainyksikkö alkoi lähettää tauotta ensimmäisen vastaanotinreleen kiinni asettavaa komentoa. Virheitä ei kuitenkaan saatu tapahtumaan mitenkään, jos käytettiin vain niitä komentoja, joille löytyi vastaanotinrele. Tästä voitiin päätellä, että syy virheisiin johtui siitä, kun lähetettiin komento joka ei ollut tarkoitettu olemassa oleville vastaanotinreleille.

6 YHTEENVETO

Laitteisto on kokonaisuudessaan toteutettu toimimaan vain maadoitusresistanssimittauksen apulaitteena, eikä sille ole myönnetty toimintavarmuutta muunlaiseen käyttöön. Tämä johtuu releestä, joka on mitoitettu toimimaan hyvin nykyisessä käyttöympäristössä. Voi olla kuitenkin mahdollista, että rele toimii muunlaisessakin mittausympäristössä, mutta siihen tämä työ ja sen testit ei ota kantaa. Releen arvoja noudattamalla tai uusi rele vaihtamalla voidaan laitteistoa teoriassa käyttää muuhunkin toimintaan. Työn toteutuksessa on suoritettu testit Megger DET 2/2- laitteella ja näin ollen kauko-ohjauslaitteisto on hyväksytty ja testattu käytettäväksi vain tämän kanssa.

Laitteen kehitystyön aikana löytyi uusia ratkaisuja koodin toteuttamiseen sekä piirilevyn kytkennällä. Laitetta on helppo jatko kehittää sen avoimuuden vuoksi. Virtalähteitä olisi mahdollista jatko kehittää, mutta se nostaisi kokonaishintaa huomattavasti. Pienemmän kokonsa puolesta siitä kuitenkin voisi olla hyötyä. Nykyisillä akuilla toiminta on varmistettu pidemmäksikin mittauspäiväksi.

6.1 Tavoitteet

Alkuperäisen mittaustavan ja kauko-ohjauksella varustetun mittauksen suurimpana hyötynä saadaan ajallinen säästö joka normaalisti kuluisi mittapaikan vaihtamiseen maastossa. Kauko-ohjattavat laitteet kytketään jo samalla kiinni mittauspiikkeihin, kun kävellään viemään piikit mitattavaan maastoon. Laitteet kytketään päälle ja ovat sen jälkeen käyttökunnossa. Mittaaja joka käyttää mittalaitetta, käyttää myös ohjainyksikköä ja on heti valmiina tekemään mittauksia kun viimeinen mittapiikki on asennettu ja johdot kiinnitetty.

6.2 Toteutus

Työnkuvaan kuului kauko-ohjauslaitteiston kokoonpano sekä ohjelmat. Laitteistoille suoritettiin testit joiden perusteella voitiin määritellä onko laitteet kelvollisia avustamaan mittauksen kanssa. Jatkossa laitteistoa voidaan päivittää tarpeiden ja kokemusten mukaan entistä paremmaksi. Laitteiston suunnittelu oli alusta alkaen monien uusien asioiden kanssa toimimista. Mahdollisien vikojen ilmeneminen on otettu huomioon avoimuudessa. Avoimuuden ansiosta laitteiston muokkaaminen on helppoa ja antaa vapaat kädet koko ohjelman käsittelyyn.

LÄHTEET

viestintavirasto.fi. Toimiluvanvaraiset taajuudet. Viitattu: 15.05.2017

<https://www.viestintavirasto.fi/taajuudet/radiotaajuuksienkaytto/toimiluvat.html>

nordicsemi.com. Specification. Viitattu 18.05.2017

<http://www.nordicsemi.com/eng/Products/2.4GHz-RF/nRF24L01P>

Kuva 1. Valmiit laitteistot. Rolle Viertola

Kuva 2, arduino.cc. Arduino Micro. Viitattu 18.05.2017

<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMicro>

Kuva 3, arduino.cc. Arduino Micro / tech specs. Viitattu 20.05.2017

<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMicro>

Kuva 4, elektroniikkaosat.fi. nRF24L01+ lähetin-vastaanotin. Viitattu 18.05.2017

<https://www.elektroniikkaosat.com/c-45/p-464288850/NRF24L01-lahetin-vastaanotin.html>

Kuva 5, omron.com. G5Q PCB Power Relay. Viitattu 18.05.2017

<https://www.omron.com/ecb/products/pry/121/g5q.html>

Kuva 6. Transistorin käyttö releen ohjauksessa. Rolle Viertola.

Kuva 7, arduino.cc. Arduino Mega 2560. Viitattu 18.05.2017

<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>

Kuva 8, arduino.cc. Arduino Mega 2560 / tech specs. Viitattu 18.05.2014

<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>

Kuva 9. Periaatekuva uudesta toimintatavasta. Rolle Viertola

Kuva 10. Periaatekuva vanhasta toimintatavasta. Rolle Viertola

Megger DET 2/2

Specification

Earth Resistance Ranges:	0,010 Ω to 19,99 k Ω (Auto-ranging) 1 m Ω resolution		
Accuracy (23°C \pm2°C):	\pm 0,5% of reading \pm 2 digits. Service error \pm 5% of reading \pm 2 digits \pm 10 m Ω (meets VDE service error over 50 m Ω)		
Test Frequency:	105 Hz to 160 Hz reversing d.c. (50 Hz environments default to 128 Hz, 60 Hz environments default to 150 Hz). Set in steps of 0,5 Hz		
Test Current:	50 mA max. (selectable high and low levels)		
Max Output Voltage:	< 50 V r.m.s.		
Interference:	Typically 40 V pk to pk (50 Hz, 60 Hz, sinusoidal nature)		
Max. Current spike (Loop) Resistance:	Range (R_E)	High current (R_p)	Low current (R_C)
	0,010 Ω - 0,499 Ω	5 k Ω	1 k Ω
	0,500 Ω - 1,999 Ω	5 k Ω	3 k Ω
	2,000 Ω - 19,99 Ω	10 k Ω	5 k Ω
	20,000 Ω - 199,9 Ω	50 k Ω	20 k Ω
	200, 0 Ω - upwards	50 k Ω	50 k Ω
Max. Potential Spike Resistance:	Range (R_E)	High current (R_p)	Low current (R_p)
		(R _{p1}) (R _{p2})	(R _{p1}) (R _{p2})
	0,010 Ω - 0,499 Ω	1 k Ω 10 k Ω	1 k Ω 10 k Ω
	0,500 Ω - 1,999 Ω	1 k Ω 20 k Ω	1 k Ω 10 k Ω
	2,000 Ω - 19,99 Ω	1 k Ω 20 k Ω	1 k Ω 10 k Ω
	20,000 Ω - 199,9 Ω	200 x R _E 20 k Ω	200 x R _E 20 k Ω
	200, 0 Ω - upwards	50 k Ω total	50 k Ω total