

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
Infotehnoloogia teaduskond

Andreas Nagel

**KOORDINAATIDE KAUDU SUUNATAV
KONTROLLER SUUNDANTENNI
PÖÖRAJALE**

Bakalaureusetöö

Juhendaja: Toomas Ruuben
PhD

Tallinn 2019

Autorideklaratsioon

Kinnitan, et olen koostanud antud lõputöö iseseisvalt ning seda ei ole kellegi teise poolt varem kaitsmisele esitatud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on töös viidatud.

Autor: Andreas Nagel

20.05.2019

Annotatsioon

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks on töötada välja koordinaatide kaudu suunatava antennipööraja kontrolleri prototüüp. Kirjeldatud on süsteemi loomise põhjuseks oleva probleemi olemust ning kavandatavat lahendust probleemile. Kõik välja töötatud prototüübi komponendid on detailselt kirjeldatud.

Antud töös keskenduti riistvaralise ning tarkvaralise lahenduse loomisele. Välja on toodud olemasolevad alternatiivsed lahendused, nende eelised ja puudujäägid probleemi ning neid on arvesse võetud probleemi lahendamisel.

Töös on kirjeldatud kõiki süsteemi komponente, nende ülesandeid ja olulisust ning ka töötamise põhimõtted. Kirjeldatud on seadme kasutamise protsessi ning ülesseadmist korrektseks töötamiseks.

Töö käigus valmistati prototüüp, mis on valmis kasutamiseks reaalses töötingimustes, et kontrollida ja teadvustada arendatud süsteemi eeliseid ning puuduseid.

Lõputöö on kirjutatud eesti keeles ning sisaldab teksti 29 leheküljel, 5 peatükki, 10 joonist, 1 tabelit.

Abstract

Coordinate directed controller for directional antenna rotator

The aim of this thesis is to develop a prototype for coordinate directed antenna rotator controller. The problem, which prompted the development of this system, and a proposed solution for the problem is described.

The thesis is focused on developing the hardware and software for this project. Existing alternative solutions for the problem are described with their advantages and disadvantages.

All components used in the system are described in depth with their tasks, significance and foundations for working. The process for setting up the hardware and software of the system in a way required for the correct operation of the system is also specified.

The prototype developed is based on Raspberry Pi 1 B and Yaesu G-1000DXC antenna rotator. An electronics scheme was developed to interface the antenna rotator with Raspberry. Software developed for the project is modular and possible to use with other antenna rotators with relatively small effort. The prototype can be used through local area connection.

The prototype developed during this project, is ready for testing in real conditions, with the goal to understand the virtues and shortcomings of the developed system.

The thesis is in Estonian and contains 29 pages of text, 5 chapters, 10 figures, 1 table.

Lühendite ja mõistete sõnastik

QTH-lokaator	Raadioamatöörade kasutatav geograafiliste koordinaatide süsteem.
GPIO	<i>General Purpose Input/Output</i> – üldise otstarbega sisend-väljund-viigud, mille tegevust saab kasutaja programmi jooksmise ajal juhtida.
WSGI	<i>Web Server Gateway Interface</i> – standard, mis defineerib veebiserveri ja Pythoni rakenduse vahelise liidese.
WSGI server	Veebiserver, mis implementeerib WSGI standardit.
ADC	Analoog-digitaalkonverter.
I ² C	<i>Inter-Integrated Circuit</i> – sünkroonne jadaühendus, mis sobib suhtluseks lühikestel vahemaadel.
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i> – sünkroonne jadaühendus väliste seadmetega suhtlemiseks.
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i> – asünkroonne jadaliides väliste seadmetega suhtlemiseks.
PWM	<i>Pulse-Width Modulation</i> – meetod digitaalse lülitusega analoogpinge simuleerimiseks.
MGRS	<i>Military Grid Reference System</i> – koordinaatide süsteem, mida kasutab NATO ja selle liitlased asukohtade määramiseks Maal.
UTM	<i>Universal Transverse Mercator</i> – silindrilise projektsiooniga koordinaatsüsteem, millel põhineb MGRS süsteem.
UPS	<i>Universal Polar Stereographic</i> – koordinaatvõrgustik, mida kasutatakse MGRS koordinaatide polaaralade asukohtade tähistamiseks.
WMM	<i>World Magnetic Model</i> – USA ning Ühendkuningriikide koostöös arendatud maa magnetiline mudel..
WGS-84	<i>World Geodetic System 1984</i> – maakeskne rahvusvaheline geodeetiliste koordinaatide süsteem, mida kasutatakse koordinaatide määramiseks.

Sisukord

Sissejuhatus	9
1 Probleemi ja olukorra kirjeldus	10
2 Teadaolevad lahendused.....	12
2.1 Yaesu seadmete komplekt	12
2.2 Rohde&Schwarz seadmete komplekt.....	12
2.3 PstRotator tarkvara.....	13
3 Probleemi lahendamise meetod	15
4 Probleemi lahendus ja selle kirjeldus.....	18
4.1 Kasutatavad komponendid.....	18
4.1.1 Kasutatavad riistvara komponendid	18
4.1.2 Kasutatavad tarkvara komponendid	18
4.2 Kasutatavate riistvaraliste komponentide kirjeldus.....	19
4.2.1 Miniarvuti Raspberry Pi 1 B	21
4.2.2 Yaesu G-1000DXC.....	22
4.2.3 Madalpääsfilter	24
4.2.4 MCP3008 – Analoo-digitaalkonverter	25
4.2.5 LSM303DLHC – elektrooniline kompass	25
4.2.6 IRFZ44N, BS108 – MOSFET Transistorid	27
4.3 Arendatud tarvara kirjeldus	27
4.3.1 Antenni juhtimise tarkvaramoodul	27
4.3.2 Kompassi tarkvaramoodul	28
4.3.3 Koordinaatide käsitlemise tarkvara moodul	29
4.3.4 Maakera magnetiline mudel WMM	30
4.3.5 Kasutajaliides	31
5 Prototüübi kvaliteedinäitajad	35
5.1 Täpsus.....	35
5.2 Mobiilsus	36
Kokkuvõte	37

Jooniste loetelu

Joonis 1. Yaesu G-1000DXC.	15
Joonis 2. Komponentid maketeerimislaual.....	19
Joonis 3. Süsteemi elektriline skeem.	20
Joonis 4. Joodetud elektriline skeem.	21
Joonis 5. Yaesu GS-232B ja 6pin mini-DIN pistikute viikude nummerdus [3], [16]. ...	22
Joonis 6. Kompassi täpsuse hindamine antennipööraja läheduses.	26
Joonis 7. Kasutajaliides.	32
Joonis 8. Kasutajaliides, antenni pööramine ja laadimise tähis.	33
Joonis 9. Kasutajaliides pärast edukat pööramist.	34
Joonis 10. Lehel „Suund“ kuvatav info.....	34

Tabelite loetelu

Tabel 1. Standardhälve (σ , σ_f), mediaan (M , M_f) ning maksimaalne hälve mediaanist (D_{max} , D_{max_f}).	24
--	----

Sissejuhatus

Bakalaureusetöö põhieesmärgiks on lihtsustada suundantennide kasutamist Eesti Kaitseväe maastikul paikneva personali jaoks. Sellel eesmärgil töötatakse välja MGRS koordinaatide kaudu juhitud suundantenni juhtimise süsteem.

Praegu kasutatakse Eesti Kaitseväes peamiselt erinevates mõõtmetes dipoolantenne, mis on isotroopse suunadiagrammiga. See võimaldab suhelda korraga efektiivselt rohkem kui kahe saatja vahel ning tähendab, et saatja ülesseadmisele kulub vähem aega. Isotroopse antenni tugevused võrreldes suundantenniga on samal ajal ka selle nõrkused - signaali saatmisele sama kaugele kulub rohkem energiat ja signaali vastuvõtmisel on signaal mürarikkam kui suundantenniga sama signaali vastu võttes.

Eelnevast lähtub, et suundantennide kasutamine militaarolukorras on takistatud kolme probleemi poolt. Esiteks, ühe antenni abil on võimalik tavaolukorras suhelda vaid ühe korrespondendiga. Teiseks, suundantenni ülesseadmine ja suunamine nõuab rohkem aega. Kolmandaks, antenni suunamisel tehtud arvutustes võib esineda vigu.

Esimesest probleemist selgub, et suundantenne saaks edukalt kasutada raadiolinkide loomiseks teineteisest kaugel asuvate üksuste puhul. Teine ja kolmas probleem on autori hinnangul põhjustatud sellest, et müügil olevad suundantennide kontrollerid pakuvad antenni pööramise võimalust teatud suunale antenni mootori põhja suhtes. Kiireks kasutamiseks oleks autori hinnangul militaarolukorras mugav, kui antenni saaks suunata enda koordinaatidelt teise korrespondendi koordinaatidele.

Käesoleva lõputöö eesmärk ongi töötada välja prototüüp seadmele, mis suudab suundantenni pöörata teise korrespondendi suunda, saades sisendandmeteks enda ning teise korrespondendi asukoha MGRS koordinaadid.

1 Probleemi ja olukorra kirjeldus

Suundantennid ei kiirga ega võta vastu igast suunast sama palju energiat[1]. Efektiivseks sidepidamiseks on tarvis suunata need nõnda, et antenni suunadiagrammi pealeht oleks suunatud teise korrespondendi poole [1].

Tsiviilkasutuses on see tavaliselt lihtne. Teades enda ning teise soovitud kiirgaja asukohta, saab arvutada välja või mõõta kaardilt asimuudi, millele oma antenn suunata. Teades antenni suunadiagrammi, saab antenni üles seada nõnda, et see võtaks vastu maksimaalselt energiat teise kiirgaja suunast. Seejärel tuleb kontrollida kas signaali tugevus ja kvaliteet on piisavalt head. Liiga nõrga või mürarikka signaali korral tasub uuesti kontrollida antenni suunda, kuid hea signaali korral pole tavaliselt vaja antenni rohkem liigutada, sest nii kiirgusallikas kui vastuvõtja suure tõenäosusega oma asukohta enam ei muuda.

Militaarvaldkonnas piirab suundantennide kasutamist nende kehv mobiilsus. Üksused vahetavad sõltuvalt oma ülesannetest positsioone mõne päeva tagant või lausa mitu korda päevas. Seetõttu on oluline, et kasutatava sidesüsteemi üles seadmine oleks kiire ja lihtne.

Suundantennidega maastiku kahe punkti vahele raadiolingi loomiseks tuleb teha kõigepealt arvutused leidmaks magnetiline asimuut enda koordinaatidelt teise korrespondendi koordinaatidele. Seejärel tuleb mõõta kompassiga põhjasuund ning antenn leitud asimuudile keerata. Samal ajal peab ka teine korrespondent enda antenni piisava täpsusega esimese korrespondendi suunas keerama.

Kui mõlemad antennid suudavad suuremate häireteta teise saadetud signaali vastu võtta, ongi raadiolink loodud. Kui aga üks või teine korrespondent on teinud mõne vea asimuudi arvutamisel, põhjasuuna mõõtmisel või antenni suunamisel, võib lingi loomisega minna pikalt aega. Ajakulu oleneb sellest, kas korrespondentidel on mõni alternatiivne sidekanal teineteisega suhtlemiseks.

Vahel polegi võimalik kahe positsiooni vahele raadiolinki luua. Seda kas kohalike häirete tõttu, mis ei lase ühel või teisel korrespondendil signaali vastu võtta või otsenägemise puudumise tõttu. Sellises olukorras peab üks korrespondentidest tavaliselt asukohta muutma ning mõlemad korrespondendid peavad oma antenne uuesti suunama.

Suuna arvutamise, magnetasimuudi mõõtmise ja antenni pööramise protsessi automatiseerimine võimaldaks kiiremat side loomist, sest vähendab arvutamisele ja antenni pööramisele kuluvat aega. Samuti peaks loodav süsteem olema veakindlam kui inimene ning vähendada inimeksimustest tulenevat ajakaotust raadiolingi loomisel. Lisaks sellele saab automaatse süsteemiga suundantenni juhtimisega hakkama ka ainult üks inimene. Käsitsi antenni pöörates on olenevalt antennist aga mugavam tegutseda kahekesi.

Oleks hea, kui sidesüsteeme looval personalil oleks maastikul raadiolingi loomine võimalik, teades vaid enda ja teise korrespondendi koordinaate. Automaatse suundantenni lahendus võimaldaks säästa aega ning kiirendaks side loomist.

Antenni oleks võimalik kasutada ka elektroonilises võitluses vastase segamiseks ning enda üksuste manöövri toetamiseks.

2 Teadaolevad lahendused

Enamik alternatiivseid lahendusi, mida pakutakse, keskenduvad antenni pööramisele mingis suunas, mitte aga soovitud asukohale. Samuti ei tegeleta antenni asukoha sidumisega maastikul. Järgnevalt on ära toodud kolm alternatiivset lahendust.

2.1 Yaesu seadmete komplekt

Yaesu seadmetest on võimalik panna kokku erinevaid antennipöörajate komplekte [2]. Võimekuse illustreerimiseks kasutatav näidiskomplekt sisaldab G-1000DXC antennipöörajat ja antennipööraja kontrolleri ning G-232B kaugjuhtimisseadet.

Antenni saab juhtida otse G-1000DXC kontrolleri paneelilt või arvutist, üle jadaliidese kontrolleri kätte saates. Võimalik on valida suund pöördlülilt ning lasta kontrolleri antenn valitud suunas pöörata või kontrolleri päripäeva ja vastupäeva nuppudega antenn soovitud suunas pöörata. Jadaliidese kaudu kasutatav kasutajaliides on täpselt samasuguse võimekusega nagu kontrolleri juhtpaneel [3]. Jadaliidese käsustik on G-232B manuaalis ära toodud, seega on võimalik kaugjuhtimisseadme külge ehitada tarkvaraline lahendus, millega antenni koordinaadilt koordinaadile pöörata.

Komplekt suudab pöörata antenni kindlasse suunda, kuid pole abiks soovitava suuna leidmisel, et antenni maastikuga siduda. Samuti võimaldab see komplekt ka arvuti kaudu pöörata antenni teatud suunale.

Komplekti puuduseks on see, et soovides luua sidet kahe punkti vahel, peab kasutaja endiselt ise mõõtma magnetasimuudi ning leidma suuna, millele antenn pöörata. Automatiseeritud on vaid antenni pööramise samm.

2.2 Rohde&Schwarz seadmete komplekt

Saksa firma Rohde&Schwarz toodab sarnaseid antennipöörajate komplekte nagu Yaesu. Nende komplekti võimekus on sarnane eelnevalt kirjeldatud seadmete komplektile. Ka nende komplekt koosneb kolmest seadmest, milleks on järgnevad: R&S RD130 antennipööraja, R&S GB130 antennipööraja kontrolleri ning R&S CP001 antenni kaugjuhtimistarkvara[4].

Võimalik on luua erinevate omadustega komplekte, kuid tarkvara võimaldab juhtida ainult antenni asimuuti ja elevatsiooni, juhul kui kontroller on võimeline juhtima nii asimuuti kui elevatsiooni.

Lisaomadusena on võimalik tarkvara juhtimisrutiine kasutada ka kliendi tarkvara projektides [4]. Ka Rohde&Schwarzi seadmetele oleks seega võimalik luua tarkvaraline lisa, mis võimaldaks antenni pöörata koordinaadilt koordinaadile, mitte suunale.

2.3 PstRotator tarkvara

Erinevalt eelnevast kahest komplektist on PstRotatori puhul tegemist tarkvaraga. Programm on loodud Rumeenia raadioamatööri Codrut Gabriel Buda poolt. See laseb kasutajal juhtida väga laia valikut antennikontrollereid [5].

PstRotator tuleb käivitada arvutis, mis on jadaliidese kaudu ühendatud antennikontrolleriga, mida soovitakse juhtida. Programmil on väga palju funktsionaalsust – see võimaldab pöörata antenni soovitud nurgale, jälgida taevakehi ja satelliite maa ümber [5] ning veel palju muud. Antud töö kontekstis tuntakse huvi antenni asimuudile pööramise võimekuse vastu.

Programm võimaldab kasutajal pöörata antenni asimuudi või QTH-lokaatori järgi või kaardil klikkides. QTH-lokaatori ja kaardil klikkimise järgi antenni juhtimiseks peab kasutaja olema eelnevalt määranud enda asukoha [5].

QTH-lokaatori järgi juhtimine ei ole militaarolukorras mõttekas. Asukohtade märkimiseks kasutatakse militaarvaldkonnas MGRS koordinaate. MGRS koordinaadi QTH-lokaatoritesse teisendamine käib üle geograafiliste koordinaatide ning nõuab keerukamaid arvutusi kui asimuudi leidmine ühest MGRS koordinaadist teisele.

Kaardile klikkides antenni pööramine on väga hea lahendus. Selle kasutamiseks tuleb aga antennipööraja mootor alati paigaldada nõnda, et selle pööramisel 0° peale, oleks antenn pööratud põhjasuunale. See pole aga alati võimalik näiteks autodele kinnitatud antennide puhul, kui autot soovitakse metsa varjatult parkida. Seetõttu võib antud lahenduse miinuseks lugeda antennipööraja alatist põhja suunda paigutamist, mis põhjustab lisakeerukust antenni ülesseadmisel.

Kaardile klikkimisega suuna määramiseks peab kasutajal olema ka internetiühendus. Militaarolukorras pole tihtipeale võimalik internetiühendust tagada.

On võimalik kasutada kohalikke kaardilehti või salvestada kaardilehti Google Maps rakendusest [5]. Selle meetodi kasutamiseks peab valima uue kaardi menüüst ning saab juhtida antenni vaid positsioonile mis kaardil parajasti näha on. Seega peab enne sellise süsteemiga positsioonile liikumist teadma, mis piirkonnas tegutsetakse ning kuhu jäävad teised üksused, millele oma antenni suunata soovitakse. Kui salvestatud alast välja liigutakse tuleks jällegi leida internetiühendus, et salvestada kaardid uuest asukohast.

Programmi kasutamise muudab soovitavast ebamugavamaks just see, et internetiühenduseta ei saa asukohta teades efektiivselt antenni soovitud asukoha suunas pöörata.

3 Probleemi lahendamise meetod

Probleemi lahendamiseks oleks kõige parem luua seade, mis suudab vaid enda ja teise korrespondendi MGRS koordinaatide sisestamisega pöörata suundantenni teise korrespondendi poole. Seadme prototüüp ehitatakse juba olemasolevate antennipöörajate süsteemide peale. See vähendab ajakulu mehaanilise seadme ning pööramise mootorite arenduse peale ning lubab keskenduda süsteemi juhtimise loogika loomisele. Esimene prototüüp ehitatakse auto külge kinnitatud suundantenni juhtimiseks.

Kättesaadavad antennipööraja süsteemid, mida on kirjeldatud peatükis 2.1, suudavad antenni edukalt keerata kindla nurga peale antenni null suunast. Süsteemile tuleks lisada digitaalne kompass antenni suuna sidumiseks selle suunaga maastikul, arvutusvõimsust MGRS koordinaatidest asimuudi arvutamiseks ning kompassi põhjasuuna korrigeerimiseks MGRS ruudustiku põhjasuunale vastavaks. Hea oleks ka võimalus juhtida antenni autost seest, kas siis üle kohaliku võrgu või füüsilise liidese kaudu. Esimese prototüübi loomisel otsustati võrguliidese kasuks, sest selles on vähem komponente ning kergem on luua arusaadavat kasutajaliidest.

Süsteemi prototüüp luuakse Yaesu G-1000DXC antennipööraja mootori ning kontrolleri (Joonis 1) baasil, sest neil oli töö tegemise hetkel parim kättesaadavus. Prototüübi arendamise ajaks anti need seadmed Eesti Kaitseväest prototüübi arendajale kasutamiseks.



Joonis 1. Yaesu G-1000DXC.

Hea oleks süsteemi ülesehitusel kasutada ka Yaesu GS-232B kaugjuhtimisseadet, mis muudab antennikontrolleri kaugjuhtimisliidesesse tulevad analoogsignaali digitaalseteks. Seadme kõrge hinna tõttu, umbkaudu 150\$ eBayst tellides, pole selle kasutamine siinkohal otstarbekas.

Antennipöörajale lisatakse miniarvuti, millel on võrguühendus kasutaja arvutiga. Miniarvutile lisatakse elektroonikaskeem, mis liidestab arvuti Yaesu antennipööraja kontrolleriga. Selle abil tekib miniarvutil võimekus antenni pöörata ja arvuti saab infot antenni asendi kohta antennipööraja nullasendi suhtes. Antennipööraja külge kinnitatakse kompass, mis on ühendatud miniarvutiga. See annab miniarvutile infot antennipööraja nullasendi kohta põhjasuuna suhtes.

Miniarvutile lisatakse Maa magnetilise mudeli tarkvara, mis suudab leida kaardiruudustiku põhjasuuna erinevust magnetilisest põhjasuunast ning võimaldab antenni täpsemalt teise korrespondendi asukohale pöörata. Sellega on süsteemil olemas kõik vajalikud andmed, et leida nurk, millele antennipööraja tuleb pöörata ning seda ka pöörata.

Süsteemi sisenditeks kasutajatelt on:

- Sihtmärgi asukoht (käsitsi sisestatud, MGRS koordinaatides).
- Kasutaja asukoht (käsitsi sisestatud, MGRS koordinaatides).
- Antennipööraja null-asendi ning põhjasuuna vahe (käsitsi või automaatselt sisestatud, kraadides).

Sisendite põhjal peaks süsteem suutma pöörata antennipööraja nõnda, et suundantennipöörajas oleks suunatud kasutaja koordinaatidelt sihtmärgi koordinaatidele.

Antennipöörajat peaks olema võimalik kasutada ka kohtades, kus on tugevad kohalikud magnetvälja häired ning kompassid eksivad põhjasuuna suhtes. Põhjasuund tuleks sellisel juhul mõõta häirest kaugemal. Pööratud antenniga autoga ei pruugi aga olla võimalik positsioonile sõita.

Sellise olukorra lahendamiseks tuleb jätta veebirakenduse kasutajale võimalus käsitsi sisestada antenni nullasendi nurk põhjasuuna suhtes. Nõnda saab kasutaja minna

analoogkompassiga magnetvälja häiret põhjustavast objektist kaugemale, mõõta seal põhjasuuna asukoha ja hinnata antenni nullasendi ja põhjasuuna vahelist nurka.

4 Probleemi lahendus ja selle kirjeldus

4.1 Kasutatavad komponendid

Siin peatükis on loetletud projektis kasutatud tarkvara komponendid. Komponentide projektis kasutamiseks valimise põhjused ja kirjeldus on toodud ära peatükis 4.2.

4.1.1 Kasutatavad riistvara komponendid

Süsteemi ülesehituseks kasutatakse aja säästmise huvides G-1000DXC antennipööraja ja antennipööraja kontrollerit selle kerge kättesaadavuse tõttu. Antennipööraja kontrolleri juhtimiseks kasutatakse Raspberry Pi 1 B miniarvutit.

Antennipööraja liidestamiseks Yaesu G-1000DXC antennipööraja analoogväljundiga kasutatakse MCP3008 analoog-digitaalkonverterit.

Antennipööraja nullasendi ning põhjasuuna vahe mõõtmiseks kasutatakse STMicroelectronicsi LSM303DLHC kompassimooduli põhjal Adafruiti loodud kompassi laiendusplaati.

Antennipööraja sisendite juhtimiseks Raspberry Pi-st, kasutatakse N-kanali MOSFET transistoreid IRFZ44N, antennipööraja kiiruse juhtimiseks sama tüüpi transistori BS108.

4.1.2 Kasutatavad tarkvara komponendid

Raspberry Pi operatsioonisüsteemina kasutatakse Raspbian Stretch Lite – Debian Stretchil põhinevat operatsioonisüsteemi, millel pole graafilist töölauda. Tarkvara installeerimiseks Raspberry mälukaardile kasutati programmi Etcher. Seadmele üle võrgu ligi pääsemiseks, kasutati SSH protokollit. Selle lubamiseks tuleb töölauda Raspbian operatsioonisüsteemi puhul luua fail nimega „ssh“ Raspbiani *boot* partitsioonile [6]. Windowsi keskkonnast Raspberryga SSH ühenduse loomiseks kasutati PuTTY SSH klienti.

Antenni pööramise tarkvara kirjutati Pythoni versioonile 3.5.3. Veebirakenduse loomiseks kasutati Flaski teeki.

Flask on väga väike veebiserveri teek, mida kasutati sellepärast, et see võimaldab väga kiiresti arendada staatilise lehega veebirakenduse ning sisaldab ka lihtsakoelist

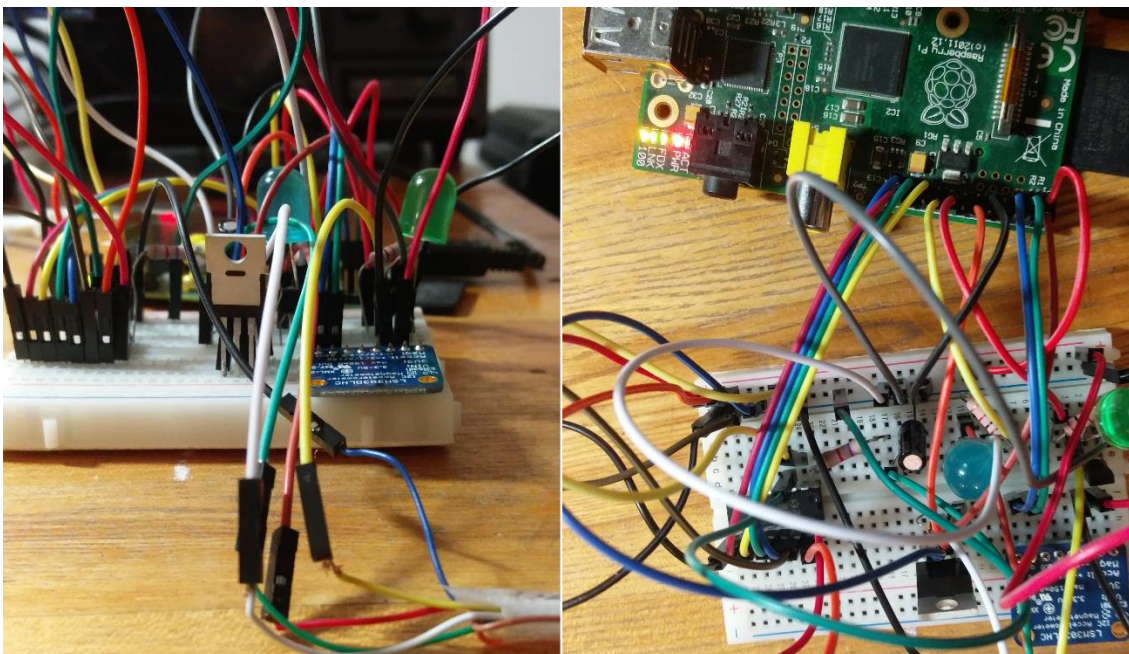
veebiserverit. Arendusrežiimis käivitab veebiserveri Flask ise. Prototüübil kasutamiseks on arendusrežiimi server piisavalt võimekas. Reaalse seadme välja töötamisel tuleks kasutada WSGI serverit, mis võtab vastu HTTP päringud ning suunab need edasi Flaski rakendusele. Täpsemad kasutusvõimalused on leitavad Flask projekti kodulehelt [7].

Raspberry Pi sisend-väljundviikude Pythoni koodiga juhtimiseks kasutati pigpio [8] teeki ning gpiozero teegi MCP3008 juhtprogrammi [9]. I2C ja SPI ühenduste kasutamiseks kompassi ja ADC-ga suhtlemisel on oluline lubada Raspberryl kasutada I2C ja SPI viikuseid I2C ja SPI liidestena, mitte tavaliste GPIO viikudena. Selleks tuleb I2C ja SPI kasutamine lubada Raspberry konfiguratsioonist [10].

Deklinatsiooninurga ning kaardivõrgustiku põhjasuuna erinevuse leidmiseks magnetilisest põhjasuunast kasutati NGA maailma magnetilise mudeli tarkvara [11], mida modifitseeriti nõnda, et see sobiks kasutamiseks loodavas süsteemis.

4.2 Kasutatavate riistvaraliste komponentide kirjeldus

Riistvara struktuur koostati seadmeid maketeerimislaual (Joonis 2) ühekaupa süsteemi lisades.

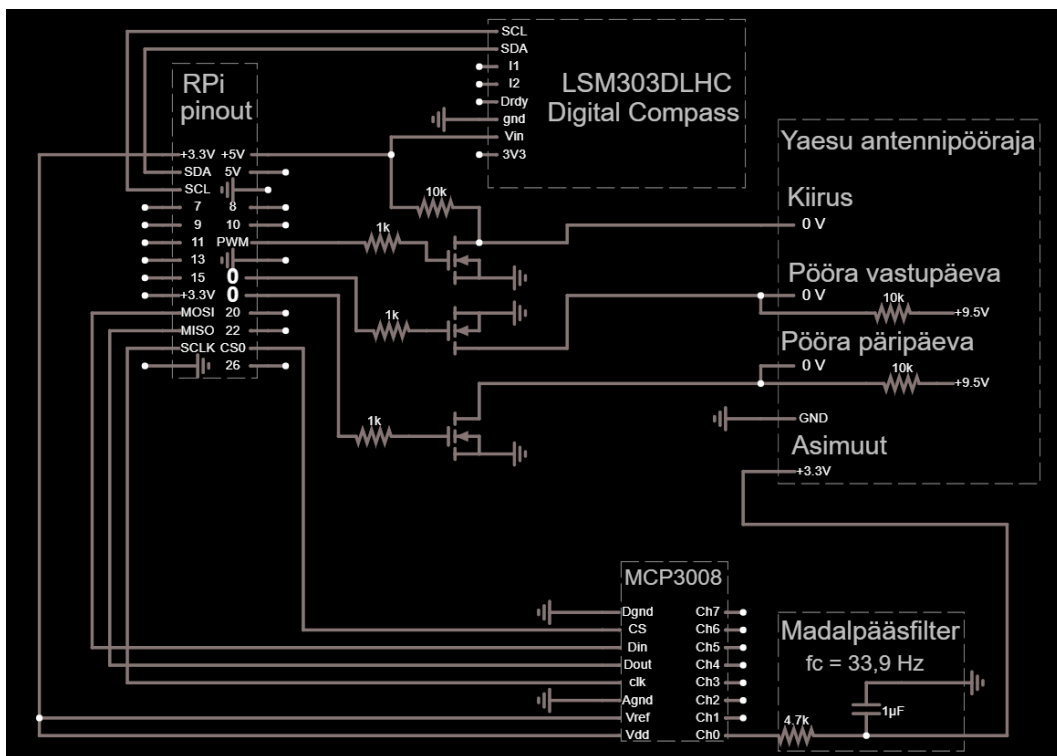


Joonis 2. Komponentid maketeerimislaual

Esimesena ühendati MCP3008 ADC Raspberry'ga. Olles veendunud seadme töötamises, liidestati Yaesu G-1000DXC kaugjuhtimispistik Raspberry Pi külge transistorite ning analoog-digitaalkonverteri abil.

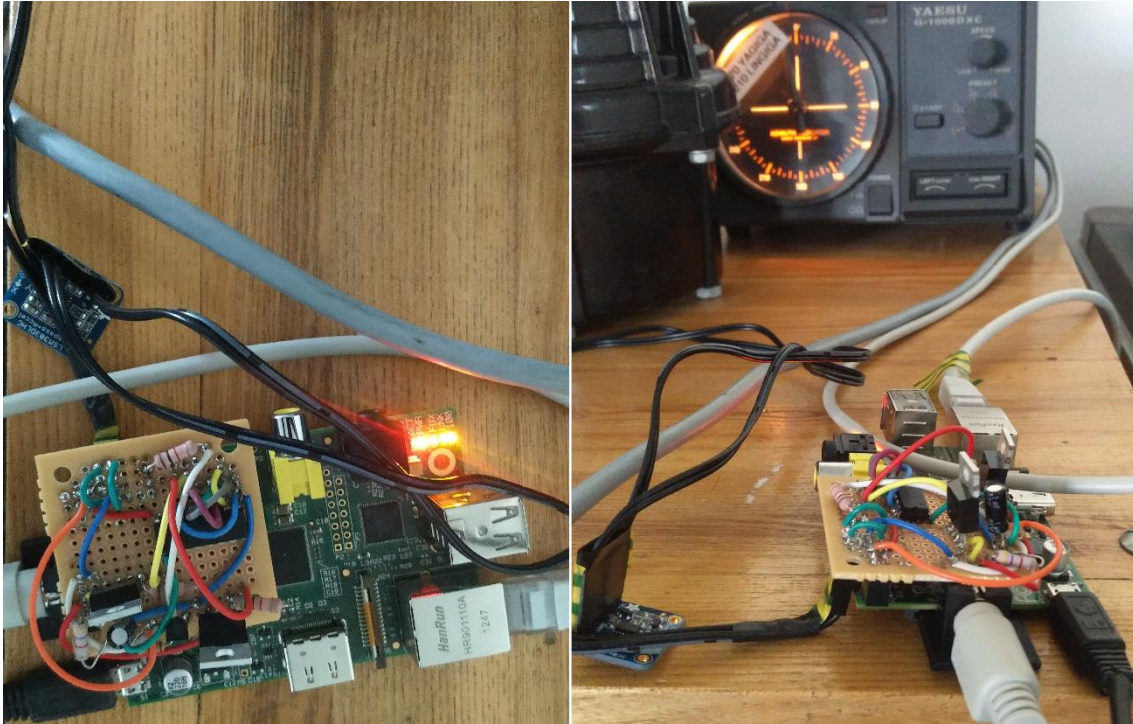
ADC pinge mõõtmistes oli märgatav värelevus suurusjärgus 10 kuni 20 mV, mistõttu lisati ADC sisendisse madalpääsfilter. Pärast seda lisati antennipööraja juhtimisloogika ning kiiruse reguleerimine. Viimasena lisati süsteemi kompass.

Pärast süsteemi töökindluse kontrollimist maketeerimislaual koostati elektriskeem (Joonis 3) Falstadi voluringi simuleerimise aplikaatsioonis. Selle eelisteks on kiire leitavus veebist, brauseris tasuta töötamine ning lihtsamate elektroonikaskeemide simuleerimise võimalus.



Joonis 3. Süsteemi elektriline skeem.

Pärast süsteemi elektrilise skeemi koostamist võeti komponendid maketeerimislauale koostatud skeemilt, joodeti need joodetavale maketeerimisplaadile, kus ühendused on stabiilsemad. Saadud elektroonika skeem ühendati Raspberry Pi külge (joonis 4).



Joonis 4. Joodetud elektriline skeem.

4.2.1 Miniarvuti Raspberry Pi 1 B

Raspberry Pi on krediitkaardi suurune arvuti [12], millel on lisaks tavalistele arvuti omadustele ka mitmeid digitaalseid liideseid ning lülitavaid GPIO viike. Käesoleva projekti käigus pakkusid enim huvi GPIO võimekus ning kommunikatsiooniprotokollid nagu I²C, SPI ja UART.

Raspberry Pi sai projekti keskmesse valitud, sest omab piisavat arvutusvõimsust, ning sellel on arvutivõrguga juhtmega etherneti ühendus ning kommunikatsiooniliidesed suhtlemiseks kompassimooduliga. Lisaks sellele on Raspberry küllalt väike, et kinnitada antennipööraja külge ning on kerge kasutada programme ja tööriistu mis töötavad Linux'i operatsioonisüsteemis.

Juhtmega võrguühendus on oluline, sest füüsilist paigutust antennipööraja suhtes antud töös ei otsustata. Juhul kui Raspberry kinnitatakse näiteks antennipööraja mootori külge, on arvuti kasutatavast suundantennist vaid paari meetri kaugusel. Sellisel kaugusel võib juhtmevaba ühendus põhjustada soovimatuid häireid antennis, juhul kui antenn töötab juhtmevaba ühendusega samas vahemikus või sellega harmoonilisel sagedusel.

Lisaks eelnevatele omadustele on Raspberry Pi mudeleid müüdnud juba ühe 25 miljoni [13]. Tänu suurele hulga kasutajatele on seadmele loodud väga hea dokumentatsioon

ning palju programmeerimist lihtsustavaid teeke. Ka seadmega koos kasutatavate tavapäraste lisade kohta on internetist võimalik leida palju infot ning tänu sellele on areendusprotsess kiirem.

Kõigil mudelitel peale Raspberry Pi Zero on olemas piisav hulk GPIO viike, ning kommunikatsiooniliideseid. Raspberry Pi Zerol puudub kaabliga etherneti ühendus [14], kuid see on lisatav üle micro-USB pordi.

Konkreetne mudel Raspberry Pi 1 B valiti prototüübi koostamiseks, sest sellel oli tööteostajale parim kättesaadavus ning selle arvutusvõimsus väga sarnane[15], kuid veidi kehvem Raspberry Pi Zerost. Raspberry Pi Zero on kõige pisem Raspberry arvuti ning maksab vaid 5\$. Realse seadme koostamiseks võiks kasutada Raspberry Pi Zerot koos juhtmega etherneti mooduliga.

4.2.2 Yaesu G-1000DXC

Yaesu antennipööraja kontrollerial on kaugjuhtimiseks mini-din 6-pin pistik. Kaugjuhtimiseks müüb Yaesu eraldi seadet – GS-232B, mis ühendatakse jadaliidese abil arvutiga ning kaugjuhtimispistiku kaudu antennipööraja kontrolleriaga (lisatud pilt GS-232B manuaalist).

Manuaali on lisatud ka kaugjuhtimispistiku viikude kirjeldus. Kõrvutasin selle 6-pin mini-din pistiku viikude nummerdusega (Joonis 5).

GS-232B Rotator Control:
5-pin connector(AZ connector)

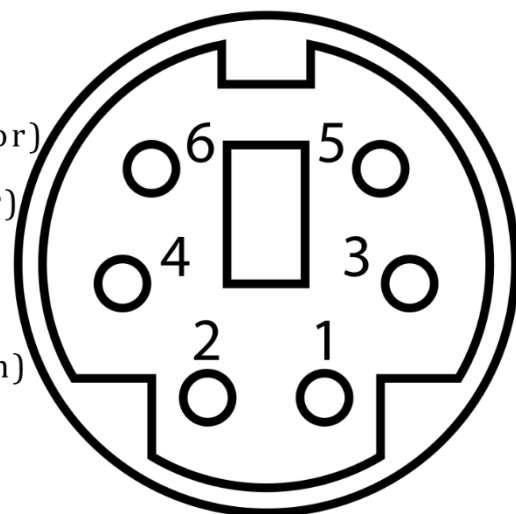
Pin 1 - Right switch (open collector)

Pin 2 - Left switch (open collector)

Pin 3 - analog output (0-4.5 V,
four steps)

Pin 4 - analog input (0-5V azimuth)

Pin 5 - analog ground



Joonis 5. Yaesu GS-232B ja 6pin mini-DIN pistikute viikude nummerdus [3], [16].

Kirjelduses on mainitud 5-viigulist pistikut, mis on Yaesu GS-232B küljes, kuid antennipööraja kontrolleri küljes on 6-viiguline mini-DIN pistik, mille kirjeldust leida ei õnnestunud. 6-pin mini-DIN pistiku viikude nummerdus kõrvutati manuaalist saadud viikude nummerdusega. Pistiku viikude pingeid kontrolliti multimeetriga.

Avatud kollektoriga lülituse puhul GS-232B küljes, peaks pinge viigul G-1000DXC küljes olema maandusest kõrgem, sest avatud kollektoriga lülitus ühendab kollektorisse ühendatava pinge maandusega [17]. Analoogväljund ja -sisend G-1000DXC küljes peaksid olema vahetuses, võrreldes kaugjuhtimisseadmega. Seega viik 3 peaks olema sisend ning selle pinge peaks mõõtmise korral olema 0V. Viik 4 peaks olema antennipööraja asimuuti väljendav väärtus vahemikus 0-5V ning antenni asendi muutumise korral sellega võrdeliselt muutuma. Viik number 5 peaks olema maandus. Viik 6 ei ole GS-232B ühendustes mainitud, seega selle pinge väärtuse kohta hinnangud puuduvad.

Pistikult multimeetriga pinget mõõtes saadi järgmised tulemused (nummerdus vastab pistiku nummerdusele): 1 = 9,5 V; 2 = 9,5 V; 3 = 0 V; 4 = 0...3.3V (olenevalt antenni asimuudist); 5 = 0 V; 6 = 0 V. Mõõtmistulemused vastavad suhteliselt täpselt eeldatud tulemustele. Vaid 4 viigu maksimaalne väärtus on eeldatavast madalam. Seda seetõttu, et asimuuti määrava pinge kõrgeimat väärtust on võimalik kontrolleri tagumise paneeli küljest reguleerida. Paneelist pinge kõrgemaks krüvimisel muutus ka 4 viigu maksimaalne väärtus 5V peale. Seadme kasutamiseks süsteemis seati maksimaalne väärtus pärast mõõtmisi tagasi 3.3V peale.

Samuti vastas kirjeldusele kontrolleri käitumine – pin 1 maandusega ühendamise korral pööras kontrolleri antenni vastupäeva, pin 2 maandusega ühendamise korral pööras kontrolleri antenni päripäeva. Maandusviigu (viik 5) kontrollimiseks võeti seade lahti ning mõõdeti takistust pistiku väljaviikude ning pistiku korpuse ja teiste mikroskeemil nähaolevate tõenäoliste maanduspunktide vahel. Vaid viik 5 korral oli takistus alati nullilähedane – sellest järeldati, et pistiku nummerdus ning manuaalis kirjeldatud nummerdus vastavad teineteisele ning kõikide kaugjuhtimispistiku oluliste signaalide asukohad pistikus on määratud.

4.2.3 Madalpääsfilter

Madalpääsfiltri lisamine oli tingitud 10 kuni 20 mV suurusest väreelusest MCP3008 mõõdetavas sisendis. Väreeluse põhjuseks peeti antennikontrolleri toitepinge ebatäpset alaldamist. Antennikontrolleri toitepinge on vahelduvpinge sagedusega 50 Hz. Madalpääsfiltri piirsagedus peaks olema. Piirsagedus 33,9 Hz kujunes välja, sest oli märgatavalt madalam kui 50 Hz ning skeemi koostajal olid kohe olemas vajalikud komponendid. Reaalse seadme koostamisel ei pea piirsagedus olema 33,9 Hz. Filter koosneb 1 μF suuruse mahtuvusega elektrolüüt-kondensaatorist ning 4,7 k Ω takistusega takistist. Piirsagedust saab arvutada valemiga 1.

$$f = \frac{1}{2 * \pi * C * R} \quad (1)$$

Filtri lisamise otstarbekuse hindamiseks sooritati mõõtmised viiel asimuudi väärtusel. Igal asimuudil mõõdeti 100 väärtust ADC esimeselt kanalilt (Tabel 1). Mõõtmised sooritati koos filtriga ja ilma, asimuudi väärtuste juures 0°, 120°, 240°, 360° ja 450°.

Tabelis 1 on ära toodud standardhälve, mediaanväärtus ning maksimaalne hälve mediaanist 100 filtriga ja filtrita mõõtmise korral. Arvutused tehti programmis Excel.

Tabel 1. Standardhälve (σ , σ_f), mediaan (M , M_f) ning maksimaalne hälve mediaanist (D_{\max} , D_{\max_f}).

Asimuut	σ	σ_f	M	M_f	D_{\max}	D_{\max_f}
0	0,69	$2,34 * 10^{-15}$	3,74	3,30	4,4	0
120	0,38	0,186	124,21	123,33	3,5	0,44
240	0,60	0,226	244,68	243,36	4,0	0,88
360	0,90	0,243	365,58	363,83	11	0,88
450	0,03	0	450,00	450,00	0,4	0

Standardhälve, tabelis tähistatud sümboliga σ filtrita mõõtmise korral ning σ_f filtriga mõõtmise korral, leiti kasutades Exceli funktsiooni STDDEV.S, mis hindab standardhälve suurust valimi põhjal. Valim on sama asimuudi juures mõõdetud pingeväärtused, ehk valimi suurus on 100.

Mediaanväärtus leiti Exceli funktsiooniga MEDIAN. Tabelis tähistatud sümboliga M filtrita mõõtmise korral ning M_f filtriga mõõtmise korral

Maksimaalne hälve mediaanist leiti Excelis, lahutades mediaanväärtusest valimi miinimum ja valimi maksimumi. Saadud arvudele rakendati absoluutväärtuse funktsioon valiti suurim. Tulemuseks saadud arv on tähistatud tabelis nimega D_{max} filtrita mõõtmise korral ja D_{max_f} filtriga mõõtmise korral.

4.2.4 MCP3008 – Analoog-digitaalkonverter

MCP3008 on 10-bitise resolutsiooniga 8 kanaliga analoog-digitaalkonverter [18], mis suhtleb Raspberry Piga üle SPI-liidese. Teades ADC resolutsiooni ning antennipööraja maksimaalset pöördenurka, saame arvutada mõõtetäpsuse kraadides (2). 10-bitine täpsus ning pöördenurk 450° annavad asimuudi mõõtmise täpsuseks 0,44 kraadi. Seda hinnati prototüübi koostamisel piisavalt täpsuks. Reaalse seadme koostamisel tasuks kaaluda ka 12-bitise resolutsiooniga ADC kasutamist. Selle mõõtetäpsus on 0,8 mV ehk 0,1 kraadi.

$$T = \frac{\varphi}{2^{bit}} \quad (2)$$

MCP3008 valiti prototüübis kasutamiseks, sest gpiozero teegis on selle kasutamist lihtsustav moodul ning seda oli lihtne kätte saada. Komponent on reaalses seadmes projektis kasutamiseks liiga massiivne. Tegu on 8 kanalise analoog-digitaalkonverteriga. Projektis on kasutusel vaid üks kanal. Projektis kasutamiseks sobiks ideaalselt MCP3001 (1-kanaliga ADC), sest ka sellel on gpiozero teegis olemas lihtsustav moodul. Kahjuks ei olnud projekti koostamise ajal võimalik saada väiksema kanalite arvuga konverterit ning prototüübi ehitamisel tuli leppida MCP3008ga.

4.2.5 LSM303DLHC – elektrooniline kompass

LSM303DLHC on 16-bitise resolutsiooniga elektrooniline kompass [19], mis suhtleb Raspberry Piga üle I²C liidese. Kompass mõõdab kolmes ortogonaalses teljes magnetvälja tugevust ning seadmele mõjuvat kiirendust [19]. Nende väärtuste põhjal on võimalik leida Maa magnetvälja põhjapooluse suund seadmest, ning selle väärtust korrigeerida olenevalt seadme kaldest maapinna suhtes.

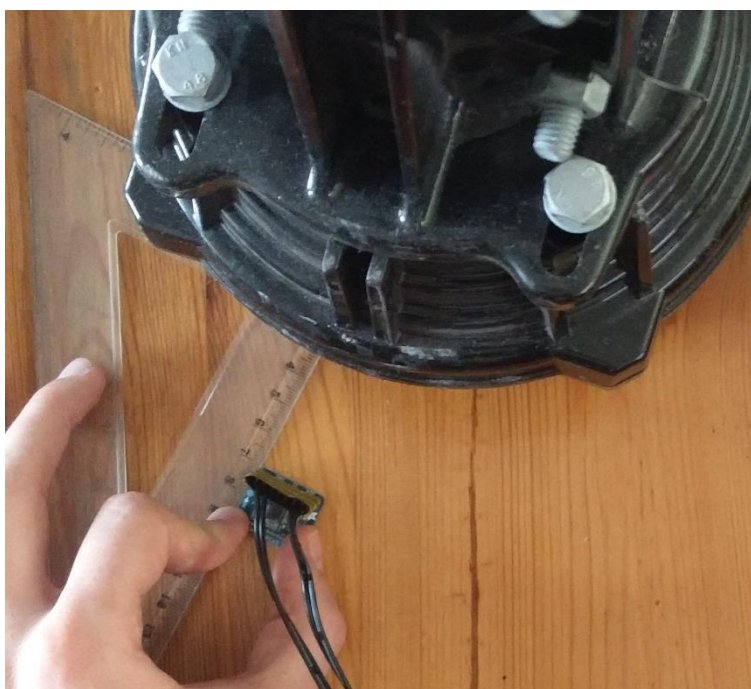
Magnetvälja tugevuse mõõteskaalaks on võimalik valida vahemikud $\pm 1,3$ gaussist kuni $\pm 8,1$ gaussini [19]. Maa magnetvälja tugevuse absoluutväärtus maa pinnal jääb

vahemikku 0,3 kuni 0,6 gaussi [20]. Seega kasutame magnetsensori kõige tundlikumat vahemikku $\pm 1,3$ gaussi.

Digitaalse kompassiga antenni põhjasuuna leidmiseks tuleb see siduda antennipööraja staatilise osaga. Antud seadme tarkvara arendati sääraselt, et kompassi x-telg (märgitud kompassi mikroskeemile) tuleks orienteerida paralleelselt nullasendisse pööratud suundantenniga, xy tasand paralleelselt antennipööraja põhjaga, z-telg suunaga üles.

Kompassi lugemit mõjutavad ferromagnetilistest metallidest objektid. Yaesu antennipööraja korpus on rauast ning selle sees on mootor, mis antenni pöörab. Antennipööraja mõju vältimiseks kompassi lugemile, tuleb kompass kinnitada antennipööraja korpuse vahetust lähedusest kaugemale.

Hinnangulised mõõtmised (Joonis 6) prototüübi magnetsensoriga näitasid, et sensor peaks olema antennipöörajast vähemalt 7 cm kaugusel, et usaldusväärselt suunda mõõta. Kompassi lugemi täpsuse hindamise keerukuse tõttu on mõõtmise täpsust raske hinnata.



Joonis 6. Kompassi täpsuse hindamine antennipööraja läheduses.

Hinnangulise mõõtmise käigus seati kompassi x-telg paralleelseks joonlaua servaga ning märgiti üles kompassi lugem. Seejärel lisati joonlaua ühte otsa antennipööraja ning asuti kompassi 1 cm suuruse intervalliga antennipöörajale lähemale viima. Kui kompassi mõõdetud tulem mingil kaugusel erines rohkem kui 5 kraadi alguses mõõdetud tulemist, siis otsustati, et sellel kaugusel mõjutab antenn kompassi lugemist.

Kauguseks, kus mootor kompassi ei mõjutanud, mõõdeti 7 cm. Kindlasti pole tegemist täppismõõtmisega. Tehtud mõõtmise eesmärgiks oli anda vaid üldine hinnang kompassi täpsusele antennipööraja läheduses.

4.2.6 IRFZ44N, BS108 – MOSFET Transistorid

IRFZ44N ja BS108 on mõlemad MOSFET transistorid. Need valiti seadmesse, sest töötavad 3,3V loogikaga ning on võimelised lülitama kõrgemat pinget kui 10V [21], [22]. Algselt oli plaanis katsetada mõlemaid transistore antenni pööramise juhtimiseks. Seal tuleb lülitada Raspberry Pi GPIO 3,3V pingega Yaesu G-1000DXC 9,5V pinget.

Hiljem otsustati kasutada BS108 transistori hoopis antennipööraja kiiruse reguleerimisel PWM lülituses. Tegelikult lülituvad mõlemad transistorid piisavalt kiiresti, et neid kasutada antennipööraja kiiruse reguleerimisel. PWM lülituses lülitatakse 3.3V GPIO viiku tarkvaraliselt ning transistor võimaldab 3,3V abil lülitada 5V RaspberryPi toitepinget antennipööraja kiiruse analoogsisendisse. Sellega saavutatakse antennipööraja kiiruse reguleerimine loodud tarkvara kaudu.

Kõikide skeemis kasutatud transistoride paisu ja Raspberry väljaviigu vahele on jadamisi ühendatud 1k Ω takisti, et vähendada Raspberry väljaviigus kuluvat võimsust transistori sisse ja välja lülitamisel.

4.3 Arendatud tarkvara kirjeldus

Projekti käigus arendatud tarkvara arendusstiil sarnaneb kõige enam agiilsele arendusmudelile. Tarkvara arendati mooduli kaupa, inkrementaalsete osadena testides käsitsi tarkvara toimimist enne järgmise mooduli lisamist.

Tarkvara koosneb index.py failist, moodulitest Antenna, Compass, Coordinates, LSM303 ning WMM. Failis index.py toimub süsteemi juhtimise loogika ning veebirakenduse kuvamine. Selles kasutatakse mooduleid Antenna, Compass, Coordinates ja WMM ning veebirakenduse kuvamiseks HTML-malli main.html.

4.3.1 Antenni juhtimise tarkvaramoodul

Antenni moodul koosneb klassist „*Antenna*“ ning selle töötamiseks vajalikest konstantidest. Selle ülesandeks on pöörata antennipööraja etteantud koordinaatidele ning tagastada antennipööraja hetkeasendit. Selleks koosneb ta meetodist „*turnTo*“, mis võtab

sisendiks asimuudi, millele soovitakse antenn pöörata ning virtuaalsest atribuudist „*heading*“, mis kajastab antennipööraja hetke asimuuti.

Antenni pööramine toimub maksimaalse kiirusega kuni antenni jõudmiseni 15° (määratud konstandiga SLOW_DOWN_DISTANCE failis Antenna.py) kaugusele soovitud asimuudist. Seejärel pööratakse antenni minimaalse kiirusega, kuni antenn on pööratud etteantud asimuudile täpsusega $\pm 1^\circ$ (määratud konstandiga POSITION_ACCURACY).

Antenni asukoha lugemisel virtuaalsest atribuudist „*heading*“, loetakse ADC esimese kanali pinge normaliseeritud väärtust 10 korda ning pinge väärtuseks loetakse mõõdetud väärtuste mediaani. Pinge normaliseeritakse gpiozero teegis vahemikku nullist üheni [9]. Normaliseeritud väärtusest saame asimuudi, kui korrutame selle antenni maksimaalse pöördenurgaga, antud seadme korral 450° [23].

Kaalumisel oli ka mõõdetud väärtuste keskmise väärtuse kasutamine. Mõlemad on piisavalt täpsed, kuid lõpuks otsustati kasutada mediaanväärtust, sest seda suurust ei mõjuta üksikud ebatäpsed mõõtmised.

4.3.2 Kompassi tarkvaramoodul

Kompassi moodul koosneb klassist „*Compass*“ ning selle ülesandeks on tagastada kompassimooduli x-telje hetkeasend põhjasuuna suhtes. Selle saavutamiseks kasutab see „LSM303“ klassi, mis suhtleb antud projektis kasutatud kompassimooduliga ning sisaldab kahte meetodit, mis võimaldavad arvutada põhjasuunda. Üks neist arvestab kompassi kallakut maapinna suhtes ning teine leiab põhjasuuna seda arvesse võtmata.

Kompassi mõõdetud magnetvälja tugevustele rakendati ka kahe punkti kalibreerimismeetodit [24], mis ühtlustas mõõdetud tulemuste väärtusi erinevatel telgedel.

Kompassi kalde järgi maapinna suuna arvutamine kasutab nii magnetsensorit kui kiirendussensorit. Seetõttu võib see olla ebatäpne vibratsioonirikas keskkonnas. Auto, mille külge on kinnitatud generaator, on tõenäoliselt piisavalt vibratsioonirikas, et kompassi tulemused oleksid ebatäpsed.

Kuna selle hindamine teoreetiliselt on suhteliselt keeruline, siis loodigi suuna arvutamiseks kaks meetodit, üks kompassi kallat arvestades ja teine eeldades horisontaalselt orienteeritud kompassi. Nõnda saab reaalses kasutusolukorras kindlaks teha vibratsiooni mõju suuna arvutamise täpsusele.

Arvutustes kompassi kallakut ignoreeriv meetod leiab põhjasuuna arvutades arkustangensi y- ja x-teljel mõõdetud magnetväljatugevuste jagatisest (3).

$$N = \tan^{-1} \frac{Y_m}{X_m} \quad (3)$$

Kallakut arvestav meetod arvutab põhjasuuna sama valemi (3) abil, kuid korrigeerib eelnevalt magnetvälja tugevuste väärtusi (4) (5) vastavalt kaldenurgale.

$$X'_m = X_m * \cos\left(\tan^{-1} \frac{a_x}{a_z}\right) - Z_m * \sin\left(\tan^{-1} \frac{a_x}{a_z}\right) \quad (4)$$

$$Y'_m = Y_m * \cos\left(\tan^{-1} \frac{a_y}{a_z}\right) - Z_m * \sin\left(\tan^{-1} \frac{a_y}{a_z}\right) \quad (5)$$

Töö käigus seadistati kiirendusanduri mõõtesageduseks 10Hz, lootuses, et see vähendab vibratsiooni mõju mõõtetulemustele. Sellele ei saa kindel olla, sest anduri spetsifikatsioonis pole määratletud, kas andur keskmistab mõõdetud andmeid või kui pikk on mõõteperiood. Kui anduri mõõtetulemused on vibratsioonist tugevalt häiritud, on võimalik mõõdetud tulemustele rakendada tarkvaraliselt madalpääsfiltreerimist, et vähendada vibratsiooni mõju põhjasuuna mõõtmistele.

4.3.3 Koordinaatide käsitlemise tarkvara moodul

Koordinaatide mooduli olulised osad on klass „*BaseCoordinate*“ ja selle alamklass „*MgrsCoordinate*“. Esimese abil on võimalik luua koordinaadi tüüpi muutujad, millel on atribuudid x ja y, mis väljendavad punkti asukohta tasandil. See klass defineerib ka liitmis- ja lahutamistehte koordinaaditüüpi muutujate vahel. Lahutamistehet kasutatakse programmis asimuudi leidmiseks kahe punkti vahel.

MGRS koordinaat koosneb kolmes osast – UTM tsooni tunnus, sajakilomeetri võrguruudu tunnus ning ristkoordinaat tasandil. UTM tsoonid on 6° pikkuskraadi ning 8° laiuskraadilised tsoonid, mõningate eranditega Lääne-Norra ning Svalbardi saare juures. Tsoonid katavad kogu Maa vahemikus 80° laiuskraadi lõunapoolkeral kuni 84° laiuskraadi põhjapoolkeral. Neid on kokku 1197 [25].

Polaaralad väljaspool -80° kuni 84° põhjalaiust on tähistatud UPS tsooni tunnusega [25]. Polaaralade kaardiprojektsioone pole antud töös kasutatud, sest seal on keeruline kasutada kompassi põhjasuuna määramiseks ning tuleks lisada asimuudi arvutused teise koordinaadisüsteemi puhul, mis aga nõuab lisa aega töö koostamisel.

Tsooni tunnus algab ühe või kahe numbriga ning lõpeb tähestiku tähega vahemikus C-X, kusjuures välja on arvatud I ja O. Numbrid tähistavad tsooni järjekorranumbrit ida suunas, tähed märgivad tsooni kaugust 80° laiuskraadist lõunapoolkeral [25].

Sajakilomeetri võrguruudu tunnused on ühe UTM tsooni sees unikaalsed. Need on sajakilomeetrise küljepikkusega ruudud, mis on märgitud ära kahe tähega. Sajakilomeetri võrgustik saab alguse ekvaatori ja UTM pikkustsooni algmeridiaani ristumispunktist [25]. See on paralleelne ekvaatoriga kuid mitte tsooni nullmeridiaaniga.

Koordinaati iseloomustav klass pärib „*BaseCoordinate*“ klassilt. Seetõttu on ka sellel atribuudid x ja y. Atribuudid x ja y tähistavad MGRS koordinaadi puhul kaugust sajakilomeetrite ruudu alumisest vasakust nurgast ehk ristkoordinaati. MGRS koordinaadil on veel atribuudid „*gridZone*“ ning „*squareIdentifier*“, mis tähistavad vastavalt MGRS koordinaadi UTM tsooni ning sajakilomeetri võrguruudu tunnust.

Suuna arvutamisel võetakse hetkel arvesse ristkoordinaati ning sajakilomeetri ruutu, kuid mitte UTM tsooni. See on plaanis seadme tarkvarale lisada, kuid hetkel töötavat arvutuslahendust pole. Kuna tsoonide suurused on 6° korda 8° , siis ei tohiks väga tihti tekkida olukorda, kus raadiolink on vaja luua ühest tsoonist teise. Prototüüpi on seega võimalik edukalt katsetada ka arvestamata UTM tsoone asimuudi arvutamisel.

4.3.4 Maakera magnetiline mudel WMM

WMM on maakera magnetiline mudel. See kasutab maakera kujutamiseks WGS-84 pöördellipsoidi, samamoodi nagu MGRS koordinaadid. Selle programmiga on võimalik leida erinevaid magnetvälja iseloomustavaid suuruseid mingis asukohas [26]. Antud projektis kasutati programmi vahendina, millega leitakse UTM võrgustiku põhjasuuna erinevus magnetilisest põhjasuunast mingis punktis.

WMM moodul põhineb töö tegija poolt modifitseeritud programmikoodil. Algne programmikood on saadaval USA valitsusorganisatsiooni National Centers for Environmental Information kodulehel [11]. Programm suudab välja arvutada

kaardivõrgustiku erinevuse, kasutades koefitsientide faili, mida uuendatakse iga viie aasta tagant. Seega tuleks ka käesolevas töös valminud seadmele vähemalt iga viie aasta tagant laadida uus koefitsientide fail. Järgmine uuendus koefitsientidele peaks saabuma detsembris 2019 [26].

Modifitseeritud programm käivitatakse funktsioonist, mis võtab sisendiks laiuskraadi, pikkuskraadi ja hetkeaasta komakohtadega kümnendarvuna ning ujukomaarvu mäluaadressi, millele funktsioon kirjutab UTM võrgustiku põhjasuuna ja magnetilise põhjasuuna vahe. Funktsioon tagastab 0, kui arvutus läbiti edukalt ning nullist erineva täisarvu, kui arvutust ei suudetud mingil põhjusel teha.

Funktsioon kasutab magnetasimuudi arvutamisel hetkeaega. Raspberry Pi ei oma sisemist referentskella, mis suudaks aega pidada ajal, mil Raspberry on välja lülitatud. Seetõttu ei suuda funktsioon arvutada täpset võrgustiku erinevust põhjasuunast juhul kui Raspberry pole käivitamise ajal ühendatud internetiga.

Antennipööraja süsteemi kasutamiseks ilma internetiühendusega tuleb süsteemile lisada patareitoitega referentskell või konfigureerida Raspberry sünkroniseerima aega kohalikust võrgust. Prototüübi puhul on mõistlik konfigureerida Raspberry aega sünkroniseerima arvutiga kohalikust võrgust, sest seadet ongi võimalik kasutada vaid üle kohaliku võrgu. Samuti oleks võimalik hetkeaega lugeda GPS moodulist, kui see süsteemile lisada.

Kellaaja pärimise võimaldamiseks tuleb arvutis käivitada NTP server. Windowsi operatsioonisüsteemi puhul on NTP server operatsioonisüsteemiga kaasas ning selle kasutamiseks tuleb lubada NTP serveri käivitamine ning käivitada Windows Time Service [27]. Linuxi operatsioonisüsteemiga NTP server enamasti installeeritud ei ole ning see tuleb eraldi installeerida ja konfigureerida.

4.3.5 Kasutajaliides

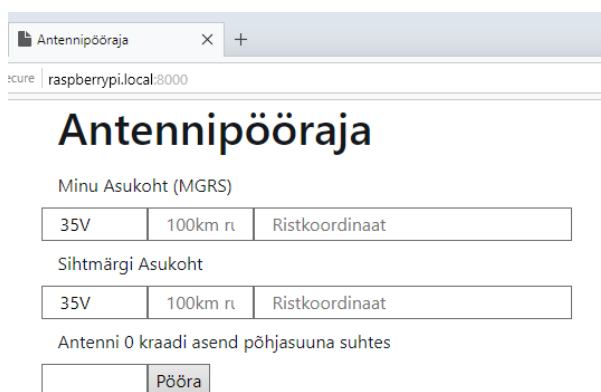
Prototüübil veebiserveri käivitamiseks ning antenni juhtimise võimaldamiseks tuleb Raspberry Pi ühendada kohaliku võrguga, ühendada Yaesu G-1000DXC kaugjuhtimispistik, kompassi pistik ning Raspberry Pi toitejuhe. Veebiserver Raspberry Pil käivitub pärast miniarvuti käivitumist. Tööle tuleb lülitada ka antennipööraja kontrolleri.

Prototüübi jaoks loodud kasutajaliides on väga minimalistlik. Selles on võimalik sisestada enda ja teise korrespondendi asukoht MGRS koordinaatides 3 lahtrisse – UTM tsoon, 100km ruut ning ristkoordinaat.

Korrektse koordinaadi UTM tsoon koosneb kahest või kolmest tähemärgist, ning kuulub 1197 UTM tsooni tähise hulka. Viimane tähemärk tsooni tunnuses võib olla sisestatud nii suur- kui väiketähena. Korrektse koordinaadi sajakilomeetruu tähis peab kuuluma UTM tsoonis eksisteerivate sajakilomeetruu tähiste hulka. Ristkoordinaat peab koosnema numbritest, olema paarisarvulise pikkusega ning lühem kui 10 tähemärki pikk.

Kasutajaliidest (Joonis 7) saab kasutada veebibrauseris, aadressilt raspberrypi.local:8000 või Raspberry Pi IP aadressilt pordilt 8000.

Raspberrypi.local veebiaadressi kasutiseks peab Raspberlyle olema installeeritud mDNS teenus. Raspbian Stretch operatsioonisüsteemiga on vabavaraline Avahi mDNS teenus juba seadmele installeeritud.



Antennipööraja

Minu Asukoht (MGRS)

35V	100km ru	Ristkoordinaat
-----	----------	----------------

Sihtmärgi Asukoht

35V	100km ru	Ristkoordinaat
-----	----------	----------------

Antenni 0 kraadi asend põhjasuuna suhtes

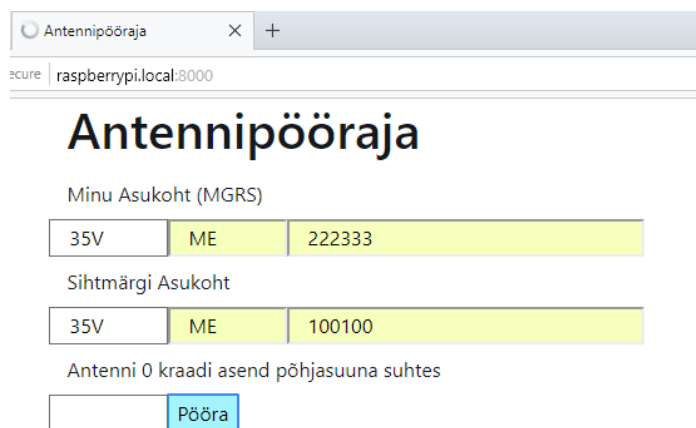
Pööra

Joonis 7. Kasutajaliides.

Antenni pööramiseks peab kasutaja sisestama enda ning teise korrespondendi koordinaadid veebirakendusse. Kui kasutakse käsitsi mõõdetud magnetasimuuti, tuleb see sisestada viimasesse lahtrisse enne „Pööra“ nuppu. Enne antenni pööramist tuleb kontrollida, et Yaesu antennipööraja oleks sisse lülitatud. Prototüüp ei anna kasutajale teada, kui antennipööraja on välja lülitatud ja antenni seetõttu pöörata pole võimalik. See funktsionaalsus oleks mõistlik seadmele lisada edasise arenduse käigus.

Kasutajaliides annab kasutajale märku, kui sisestatud koordinaadid pole korrektsed MGRS koordinaadid.

Vajutades nuppu „Pööra“ asub süsteem antenni soovitud suunale pöörama. Prototüübi puhul annab kasutajale sellest märku ringikujuline laadimise tähis brauseri akna pealkirja kõrval (Joonis 8).



Joonis 8. Kasutajaliides, antenni pööramine ja laadimise tähis.

Kui veebirakenduses on antud käsk antenni pööramiseks, siis valmistatud prototüübi puhul pole pööramist võimalik peatada. Antenni teistele koordinaatidele pööramiseks tuleb oodata, kuni antenn on poolelioleva pööramise lõpetanud. Antenni peatamise funktsionaalsus oleks mõistlik seadmele lisada, kuid prototüübi katsetamise jaoks ei peetud seda funktsionaalsust oluliseks.

Ühtlasi ei kasuta antenn ära maksimaalset 450° suurust pöördevahemikku, vaid ainult esimest 360° . 450° pöördevahemik võimaldaks antennipöörajal kiiremini soovitud suunale jõuda kui antenni soovitakse pöörata näiteks 350° nurga pealt 20° nurga peale. Prototüüp pöörab antenni 20° asimuudi peale, kuid antennipööraja võimaldaks ka 380° peale pööramist, mis tähendaks, et antenn osutab samas suunas. Prototüübi puhul ei peetud ka seda funktsionaalsust oluliseks, kuid seadme väljatöötamisel tasuks selline võimekus lisada.

Antenni jõudmisel arvestatud asimuudile kuvatakse rakenduses sisestatud asukohad, antenni asend antennipööraja põhja suhtes ning antennipööraja hetkeasend põhjasuuna suhtes (Joonis 9). Andmete kuvamine võimaldab kontrollida, kas antenni suund vastab kuvatavatele parameetritele ning võimaldab hinnata antenni pööramise täpsust, mis on prototüübi hindamisel oluline.

Antennipööraja

secure | raspberrypi.local:8000

Antennipööraja

Minu Asukoht (MGRS)

35V	ME	100200
-----	----	--------

Sihtmärgi Asukoht

35V	ME	120020
-----	----	--------

Antenni 0 kraadi asend põhjasuuna suhtes

	Pööra
--	-------

Minu asukoht - 35VME100200

Sihtmärgi asukoht - 35VME120200

Põhjasuund antenni 0 kraadi suhtes - 21.84

Antenni soovitud suund - 161.78

Joonis 9. Kasutajaliides pärast edukat pööramist.

Loodud on veel teine leht aadressiga „/suund“ (Joonis 10). Seda kasutatakse, kui soovitakse infot antenni hetkeasendi kohta ilma antenni pööramata.

Antennipööraja

secure | raspberrypi.local:8000/suund

Antennipööraja

Minu asukoht: 35VME100200

Sihtmärgi asukoht: 35VME120200

Antenni suund: -3.23

Antenni suund põhja suhtes: 17.77

Joonis 10. Lehel „Suund“ kuvatav info.

5 Prototüübi kvaliteedinäitajad

5.1 Täpsus

Teoreetiliselt on keeruline hinnata, kui täpselt antenn kasutaja poolt määratud suunale pööratakse. A-tüüpi määramatuse hindamiseks oleks tarvis seadet, mis suudaks paari kraadise täpsusega hinnata antennipööraja poolt pööratud nurka. Seejärel tuleks teha mõõtmised erinevates olukordades ning statistiline analüüs. B-tüüpi mõõtemääramatuse hindamine on keerukas, sest seadme pööramise täpsus sõltub mitmest tegurist, millest mõne kohta info puudub.

Antenni täpsus sõltub baasiks kasutatud antennipööraja täpsusest, antennipööraja asimuudi tagasiside täpsusest, tagasisidet mõõtvast ADC täpsusest, kompassi mõõtmistulemuse täpsusest, WMM magnetilise mudeli võrguruudustiku ja magnetasimuudi erinevuse hinnangu täpsusest.

Yaesu G-1000DXC pööramistäpsuse ning asimuudi tagasiside täpsuse kohta infot leida ei õnnestunud. Tagasisidet mõõtvast ADC täpsus on 0,44 kraadi (arvutatud peatükis 0). Seega teame, et süsteem ei saa olla täpsem kui 0,44 kraadi.

Kompassi mõõtmistulemuse täpsus sõltub omakorda kompassiks kasutatava magnet- ning kiirendussensori täpsusest. Magnetsensori täpsus sõltub omakorda magnetsensori resolutsioonist (antud sensori puhul 2 mG) ning magnetvälja ristisuunalise komponendi efektist, mis antud sensori puhul on 1% valitud mõõtevahemiku positiivsest maksimumist [19]. Töös kasutasime mõõtevahemikku $\pm 1,3$ Gaussi, seega määramatus ristisuunalise komponendi efekti tõttu on ± 13 mG. Kiirendussensori täpsus sõltub temperatuurist ning mõõtmise sagedusest [19] ning on liiga keerukas, et seda siinkohal avaldama asuda.

WMM mudeli hinnangu täpsus sõltub hinnanguks kasutatud koordinaatide täpsusest ning nende koordinaatide asukohast maal. Prototüübis on hinnanguks kasutatavate koordinaatide täpsus tavaliselt $\pm 3^\circ$ idalaiust ning $\pm 4^\circ$ põhjalaiust ehk hinnangu saamiseks kasutatakse UTM tsooni tähise keskpunkti koordinaate. Lisaks tuleb arvestada ka antennimastide konstruktsiooniliste eripärasustega mis oma väände või paindumise tõttu võivad põhjustada täiendavaid vigu.

5.2 Mobiilsus

Kuna prototüüp on ehitatud suunitlusega kasutamiseks auto küljes, siis auto küljes kasutatuna on tegu küllaltki mobiilse seadmega. Seadme mobiilsust piirab hetkel asjaolu, et sellel pole korralikku korpust. Seadme mobiilsust ning töökindlust saaks parandada luues veekindla ümbrise kompassile ning Raspberryle ning kinnituse mõlemale antennipööraja külge.

Antennipööraja juhtsüsteemi arvutuste kiirus jääb alla 0,2 sekundi. Antenni pööramise kiirus sõltub seega peamiselt süsteemi baasiks kasutatava süsteemi kiirusest. Prototüübi korral kulus antennipööraval täisringi pööramiseks 48,7 sekundit. Mõlemad mõõtmised tehti Pythoni *time* teegi *time* funktsiooni abil. Antenni pööramiseks pärast koordinaatide sisestamist kulub seega kindlasti alla minuti.

Seadme reaalne kasulikkus vajab veel testimist, sest pole katsetatud, kas seadme pööramistäpsus on piisavalt hea, et seda raadiolinkide loomiseks kasutada.

Seadme mobiilsust saaks kasvatada veel, kui lisada süsteemile ka GPS moodul. See tähendab, et kasutaja ei pea enam sisestama veebiliidesesse enda asukohta.

Kokkuvõte

Töö käigus loodi MGRS koordinaatide kaudu juhitava süsteemi prototüüp, eesmärgiga lihtsustada raadiolinkide loomist maastikul. Prototüüp võtab sisendiks esimese ning teise korrespondendi MGRS koordinaadid, teeb seejärel kõik vajaminevad arvutused ning pöörab antenni välja arvutatud suunale, esimese korrespondendi poolt teise korrespondendi poole.

Prototüübi puhul on tegemist tarkvaralise ning riistvaralise lahendusega antud probleemile. Mehaanilist kinnitust ning korpuseid arendatud seadme jaoks töö käigus ei loodud. Mehaanilise lahenduse loomine aitaks märgatavalt parandada seadme töökindlust ning kasutusmugavust.

Käesolev Bakalaureusetöö on esimeseks etapiks sellist tüüpi lahenduste loomiseks. Kui palju loodud seade lihtsustab sidepersonaliga jaoks suundantennide kasutamist on veel ebaselge, sest prototüüpi pole tööolukorras katsetatud. Samuti on hetkel veel ebaselge prototüübi täpsus suundantenni pööramisel. Lisaks sellele tuleb arvesse võtta ka kasutatavate mastide konstruktsioone, kui palju nad võivad kas raskuse või tuule mõjul painduda ja väänduda. Nendele küsimustele vastuse saamiseks tuleb prototüüpi tööolukorras katsetada.

Kasutatud kirjandus

- [1] R. D. Straw *et al.*, Antenna Fundamentals, in *The ARRL Antenna Book*, 21st ed., R. D. Straw, Ed. 2007, pp. 2–10, 2–11.
- [2] Yaesu.com. [WWW].
<https://www.yaesu.com/?cmd=DisplayProducts&DivisionID=65&ProdCatID=104>. (12.05.2019).
- [3] Yaesu GS-232B Computer Control Interface for Antenna Rotators. 2004.
- [4] Rohde&Schwarz CP001 Antenna Remote Control Software, 2018. [WWW].
https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/CP001.pdf. (12.05.2019).
- [5] PstRotator - Software for Antenna Rotators. [WWW].
https://www.qsl.net/yo3dmu/index_Page346.htm. (12.05.2019).
- [6] SSH (Secure Shell) - Raspberry Pi Documentation. [WWW].
<https://www.raspberrypi.org/documentation/remote-access/ssh/>. (10.05.2019).
- [7] Deployment Options — Flask 1.0.2 documentation. [WWW].
<http://flask.pocoo.org/docs/1.0/deploying/>. (14.05.2019).
- [8] pigpio library. [WWW]. <http://abyz.me.uk/rpi/pigpio/python.html>. (10.05.2019).
- [9] 15. API - SPI Devices — Gpiozero 1.5.0 Documentation. [WWW].
https://gpiozero.readthedocs.io/en/stable/api_spi.html#mcp3008. (19.05.2019).
- [10] raspi-config - Raspberry Pi Documentation. [WWW].
<https://www.raspberrypi.org/documentation/configuration/raspi-config.md>. (19.05.2019).
- [11] World Magnetic Model - Software Download. [WWW].

- <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/soft.shtml#downloads>. (10.05.2019).
- [12] What is a Raspberry Pi? [WWW]. <https://www.raspberrypi.org/help/what-is-a-raspberry-pi/>. (14.05.2019).
- [13] 25 million + Raspberry Pi computers sold. [WWW]. https://blog.adafruit.com/2019/03/15/25-million-raspberry-pi-computers-sold-raspberry_pi-raspberrypi/. (14.05.2019).
- [14] Raspberry Pi Zero - Version 1.3. [WWW]. <https://www.adafruit.com/product/2885>. (19.05.2019).
- [15] Raspberry Pi - Wikipedia. [WWW]. https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi#Specifications. (19.05.2019).
- [16] Mini-DIN connector - Wikipedia. [WWW]. https://en.wikipedia.org/wiki/Mini-DIN_connector. (19.05.2019).
- [17] P. Horowitz and W. Hill, *The Art of Electronics Third Edition*, vol. 306, no. 5942. 2015.
- [18] MCP3008 Datasheet, 2008. [WWW]. <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/MCP3008.pdf>. (19.05.2019).
- [19] LSM303DLHC Datasheet. [WWW]. www.st.com. (19.05.2019).
- [20] IAGA Division V-MOD Geomagnetic Field Modeling: IGRF Proper Use. [WWW]. <https://www.ngdc.noaa.gov/IAGA/vmod/igrfhw.html>. (16.05.2019).
- [21] IRFZ44N datasheet. [WWW]. <https://datasheet.octopart.com/IRFZ44N-Inchange-Semiconductor-datasheet-15981338.pdf>. (19.05.2019).
- [22] BS108 - Small Signal MOSFET. [WWW]. http://www.redrok.com/MOSFET_BS108_200V_250mA_80_Vth1.5_TO-92.PDF. (19.05.2019).
- [23] Yaesu G-800/G-1000/G-2800 DXA User Manual.pdf. p. 1.
- [24] Two Point Calibration | Calibrating Sensors | Adafruit Learning System.

- [WWW]. <https://learn.adafruit.com/calibrating-sensors/two-point-calibration>. (19.05.2019).
- [25] J. W. Hager, L. L. Fry, S. S. Jacks, and D. R. Hill, *DMA Technical Manual. Datums, Ellipsoids, Grids, and Grid Reference Systems*. 1990.
- [26] A. Chulliat *et al.*, Out-of-Cycle Update of the US/UK World Magnetic Model for 2015-2020: Technical Note, 2015.
- [27] How to configure an authoritative time server in Windows Server. [WWW]. <https://support.microsoft.com/en-us/help/816042/how-to-configure-an-authoritative-time-server-in-windows-server>. (19.05.2019).