



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

**TÄPSE POSITSIONEERIMISEGA  
RAADIOMAJAKAS AUTONOOMSE ROBOTLAEVA  
RAKENDUSTEKS**

**PRECISELY POSITIONED RADIO BEACON FOR  
AUTONOMOUS ROBOTIC SHIP APPLICATIONS**

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Mattias Kitsing

Üliõpilaskood: 185444EAAB

Juhendaja: Heigo Mölder, PhD, insener

(Tiitellehe pöördel)

## **AUTORIDEKLARATSIOON**

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

17. mai 2021.

Autor: Mattias Kitsing, .....

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö esitatud nõuetele

17. mai 2021.

Juhendaja: Heigo Mölder, .....

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....." .....202... .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina Mattias Kitsing

(*autori nimi*)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose täpse positsioneerimisega raadiomajakas autonoomse robotlaeva rakendusteks,

(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja on Heigo Mõlder,

(*juhendaja nimi*)

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

17.05.2021 (*kuupäev*)

---

<sup>1</sup> Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

## LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

*Autor:* Mattias Kitsing

*Lõputöö liik:* Bakalaureusetöö

*Töö pealkiri:* Täpse positsioneerimisega raadiomajakas autonoomse robotlaeva rakendusteks

*Kuupäev:*  
17.05.2021

88 lk (*lõputöö lehekülgede arv koos lisadega*)

*Ülikool:* Tallinna Tehnikaülikool

*Teaduskond:* Inseneriteaduskond

*Instituut:* Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

*Töö juhendaja(d):* Heigo Mõlder, PhD

*Töö konsultant (konsultandid):* -

*Sisu kirjeldus:*

Lõputöö eesmärgiks oli ehitada täpse positsioneerimisega raadiomajaka prototüüp, mis suhtleb autonoomse NYMO robotlaevaga. Täpse positsioneerimisega raadiomajakat on võimalik rakendada demonstreerimisel, katsetamistel ja tulevikus ka päästevestidel ning robotlaeva laadimisjaamas.

Lõputöös püstitati süsteemile nõuded, võrreldi olemasolevaid lahendusi, teostati lähteülesanne positsioneeriva raadiomajaka prototüübi näol ning katsetati antud majakat. Loodud süsteem tuvastab vee keskkonna olemasolu ja vastavalt sellele aktiveerub. Majakas positsioneerib ennast kahes etapis ja edastab andmed serverisse. Selliselt suudab süsteem töötada 11h.

*Märksõnad:* positsioneerimine, raadiomajakas, BLE, GPS, RSSI, bakalaureuse töö, NYMO robotlaev, ESP32

## ABSTRACT

<i>Author:</i> Mattias Kitsing	<i>Type of the work:</i> Bachelor Thesis
<i>Title:</i> Precisely positioned radio beacon for autonomous robotic ship applications	
<i>Date:</i> 17.05.2021	<i>88 pages (the number of thesis pages including appendices)</i>
<i>University:</i> Tallinn University of Technology	
<i>School:</i> School of Engineering	
<i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics	
<i>Supervisor(s) of the thesis:</i> Heigo Mölder, PhD	
<i>Consultant(s):</i> –	
<i>Abstract:</i> <p>The main goal of this thesis was to build a prototype for a precisely positioned radio beacon. The beacon is capable to communicate with the autonomy's robot ship NYMO. Precisely positioned radio beacon can be used to demonstrate or test NYMO capabilities. In the future it could be used on life jackets or on robot ship charging stations.</p> <p>Firstly, requirements were set in the thesis, after that existing solutions were compared. Then according to the set requirements, a prototype for a precisely positioned radio beacon was built. The prototype was tested: system can detect if its in water and then activate; find its position with a two-step positioning system and send the data to the server. The system can work 11h like this.</p>	
<i>Keywords:</i> positioning, radio beacon, BLE, GPS, RSSI, Bachelor Thesis, NYMO robot ship, ESP32	

# LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema:	<b>Täpse positsioneerimisega raadiomajakas autonoomse robotlaeva rakendusteks</b>
Lõputöö teema inglise keeles:	<b>Precisely positioned radio beacon for autonomous robotic ship applications</b>
Üliõpilane:	<b>Mattias Kitsing, 185444EAAB</b>
Eriala:	<b>Mehhatroonika</b>
Lõputöö liik:	<b>bakalaureusetöö</b>
Lõputöö juhendaja:	<b>Heigo Mölder</b>
Lõputöö kaasjuhendaja: (ettevõtte, amet ja kontakt)	-
Lõputöö ülesande kehtivusaeg:	<b>3 aastat</b>
Lõputöö esitamise tähtaeg:	<b>18.05.21</b>

---

Üliõpilane (allkiri)

---

Juhendaja (allkiri)

---

Õppekava juht (allkiri)

## 1. Teema põhjendus

Lõputöö eesmärgiks on ehitada täpse positsioneerimisega (GPS) raadiomajakas, mis suhtleb vajadusel üle raadioside autonoomse robotlaevaga. Täpse positsioneerimisega raadiomajakat on võimalik rakendada mitmel otstarbel. Näiteks võib raadiomajaka kinnitada päästevesti külge, et vees olevale uppuvale inimesele oskaks robotlaev järgi sõita. Lõputöö raames ehitatakse selline elektroonika moodul, mis tuvastab, et raadiomajakas on vette kukkunud ja tõmbab selle peale püsti raadioside robotlaevaga, et saata enda GPS koordinaadid.

Lisaks oleks võimalik täpse positsioneerimisega raadiomajakat kinnitada autonoomse robotlaeva parkimiskota (laadimisjaama), kust juhtsignaali välja saates, oleks võimalik robotlaev kiirelt parkimiskohta kutsuda.

## **2. Töö eesmärk**

Töö eesmärgiks on disainida ja ehitada prototüüpseade, mis sisaldab endas mikrokontrollerit, akupanka, GPS-moodulit, veetuvastussensorit, raadiosidesaatjat ja vastuvõtjat. Seadeldis aktiveerub veega kokkupuutel ja saadab NYMO robotlaevale GPS koordinaate, et robotlaev oskaks kohale sõita.

## **3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:**

1. Sarnaste olemasolevate lahenduste leidmine, võrdlemine ja analüüsimine.
2. Seadme tehnilise lähteülesande koostamine, mille käigus määratleda erinevad parameetrid ning tingimused.
3. Erinevate tehnoloogiate (positsiooni määramine, sidesüsteemid, akusüsteemid jne) võrdluse teostamine ning võrdluse põhjal valida sobivad tehnoloogiad või seadmed lähteülesande teostamiseks.
4. Teostatud lahenduse katsetamine ning analüüsimine.

## **4. Lähteandmed**

- Olemasolevate lahenduste võrdluseks vajalikke andmeid saan teadusartiklitest ja ettevõtete kodulehtedelt.
- Lähteülesande koostamiseks vajalikke andmeid saan teadusartiklitest ja NYMO iselaeva meeskonnalt.
- Erinevate tehnoloogiate võrdluseks vajalikke andmeid saan teadusartiklitest ja erialasest kirjandusest.

## **5. Uurimismeetodid**

Peamine uurimismeetod on kirjanduse analüüs. Analüüsi tulemuste põhjal disainin ja konstrueerin seadeldise. Antud seadeldise erinevate parameetrite mõõtmisel koostan analüüsi seadeldise sobivusest ja edukusest. Mõõteandmete analüüsiks kasutan MS Excelit ja erinevaid metrooloogilisi valemeid.

## **6. Graafiline osa**

- Olulisemad joonised oleksid seadeldise korpusest, seadeldise töötamisest vees ja NYMO iselaevast.
- Olulisemad tabelid oleksid olemasolevate lahenduste võrdlus, lähteülesanne ja katseandmete tabelid.

- Olulisemad skeemid oleksid seadeldise elektriskeem ja loogikaskeem seadeldise juhtimiseks.

## **7. Töö struktuur**

1. Lähteülesanne positsioneerimisseadeldisele NYMO aspektist
  - 1.1. Üldine süsteemi ülesande kirjeldus
  - 1.2. Süsteemi nõuded
2. Olemasolevad lahendused positsioneerimiseks veekogul /merel
  - 2.1. Ülevaade olemasolevatest lahendustest
  - 2.2. Leitud lahenduste võrdlus
3. Lähteülesande teostamine
  - 3.1. Andurid
    - 3.1.1. Erinevate andurite analüüs
    - 3.1.2. Andurite valik ja põhjendus
    - 3.1.3. Andurite teostamine
  - 3.2. Positsioneerimissüsteem
    - 3.2.1. Erinevate positsioneerimissüsteemide analüüs
    - 3.2.2. Positsioneerimissüsteemi valik ja põhjendus
    - 3.2.3. Positsioneerimissüsteemi teostamine
  - 3.3. Kontroller ja juhtimissüsteem
    - 3.3.1. Kontrolleri valik
    - 3.3.2. Kontrolleri juhtimisloogika ja selle teostamine
  - 3.4. Elektroonikasüsteem ja -skeem
    - 3.4.1. Sensorid ja moodulid
    - 3.4.2. Toitesüsteem
    - 3.4.3. Elektroonikaskeem
4. Katsetamine ja analüüs
  - 4.1. Aktiveerimise katsetamine
  - 4.2. Toitesüsteemi katsetamine
  - 4.3. Positsioneerimissüsteemi täpsuse katsetamine
  - 4.4. Makseanalüüs
  - 4.5. Edasised arendused

## **8. Kasutatud kirjanduse allikad**

Kasutan teadusartikleid võrdluste koostamisel.



## **9. Lõputöö konsultandid**

Lõputöö konsultantideks võivad kujuneda vajadusel erinevad NYMO iselaeva meeskonna liikmed. Eriti seadeldise lähteülesande koostamisel.

## **10. Töö etapid ja ajakava**

1. Kirjanduse läbitöötamine (november)
2. Lähteandmete kogumine (november)
3. Teoreetilise osa kirjutamine (detsember – jaanuar)
4. Seadme disainimine (veebruar)
5. Seadme konstrueerimine (veebruar)
6. Katsetuste läbiviimine (märts)
7. Järelduste kirjutamine (märts)
8. Kokkuvõtte koostamine (märtsi lõpp)
9. Töö esimene versioon valmis (aprill)
10. Juhendajale läbilugemiseks saatmine (aprill)
11. Paranduste sisseviimine (10.05.21)
12. Juhendajale teiseks läbilugemiseks saatmine (10.05.21)
13. Töö lõplik versioon valmis (16.05.21)

# SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE .....	4
ABSTRACT .....	5
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE .....	6
EESSÕNA .....	12
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU .....	13
SISSEJUHATUS .....	14
1. LÄHTEÜLESANNE POSITSIONEERIMIS-SEADELDISELE NYMO ISELAEVA ASPEKTIST .....	16
1.1 Probleem ja probleemi kirjeldus .....	16
1.2 Süsteemi nõuded .....	17
2. OLEMASOLEVAD POSITSIONEERIMIS-SÜSTEEMIDE LAHENDUSED MEREL .....	20
2.1 Hädaabi raadiomajakad .....	20
2.1.1 Radar-SART hädaabi transponder .....	20
2.1.2 AIS-SART hädaabi majakas .....	21
2.1.3 EPIRB hädaabi majakas .....	22
2.1.4 EPIRB-AIS hädaabi majakas .....	22
2.1.5 ELT hädaabi majakas .....	23
2.1.6 PLB, AIS-MOB ja PAB hädaabimajakad .....	23
2.2 Poid ja raadiomajakad .....	24
2.2.1 AIS-poid .....	24
2.2.2 Targad lokaalsed poid .....	25
2.2.3 Targad triivivad poid .....	25
2.3 Lahenduste võrdlus .....	26
3. LÄHTEÜLESANDE TEOSTAMINE .....	28
3.1 TPS-majaka andurid .....	28
3.1.1 Veeandurite valik .....	28
3.1.2 Veeandurite võrdlus .....	29
3.1.3 Veeanduri rakendamine .....	30
3.2 Positsioneerimissüsteem .....	30
3.2.1 GNSS-positsioneerimine .....	31
3.2.2 GNSS seadmete võrdlus .....	33
3.2.3 GNSS-majaka rakendamine .....	34
3.2.4 Ohutsooni loomine .....	35
3.3 Kontroller ja juhtimissüsteem .....	36
3.3.1 Kontrolleri valik .....	36
3.3.2 Kontrolleri võrdlus .....	37

3.3.3	Kontrolleri juhtimisloogika ja selle teostamine.....	38
3.4	Elektronikasüsteem .....	40
3.4.1	Toitesüsteem .....	40
3.4.2	Elektronikaskeem .....	42
4.	KATSETAMINE JA ANALÜÜS.....	44
4.1	TPS-majaka aktiveerimise katsed.....	44
4.2	GNSS-süsteemi katsed .....	46
4.3	Ohutsooni katsed .....	48
4.4	Toitesüsteemi katsed.....	50
4.5	Prototüübi maksumuse analüüs .....	52
4.6	Edasised arendused.....	54
	KOKKUVÕTE .....	55
	KASUTATUD KIRJANDUS .....	57
	LISAD .....	63
	Lisa 1 NYMO robotlaev .....	64
	Lisa 2 Programmikood.....	65
	Lisa 3 GNSS mooduli katseandmed.....	73
	Lisa 4 Ohutsooni katseandmed.....	85
	Lisa 5 Toitesüsteemi katseandmed.....	88

# EESSÕNA

Käsitletav teema on välja pakutud NYMO iselaeva meeskonnalt - täpsemalt Heigo Mõlder poolt, kes oli ka lõputöö juhendaja. Teema uurimine oli aktuaalne ja põnev kuna autonoomsete robotsõidukite täpne paigutamine reaalkeskkonda on üha olulisem ning sellistel lahendustel on rohkelt rakendusi. Lõputöö käigus loodud prototüübi loomisele aitas kaasa Skeemipesa.

# LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

AIS	- automaatne identifitseerimissüsteem (ingl <i>Automatic identification system</i> )
BDS	- Hiina Rahvavabariigi poolt hallatav satelliitnavigatsioonisüsteem (ingl <i>BeiDou satellite navigation System</i> )
BLE	- madala energiatarbimisega Bluetooth (ingl <i>Bluetooth Low Energy</i> )
dB	- detsibell
EGNOS	- Euroopa Geostatsionaarse Navigatsioonilisasüsteem (ingl <i>European Geostationary Navigation Overlay Service</i> )
ELT	- õhusõiduki hädaabi raadiomajakas (ingl <i>Emergency Locator Transmitters</i> )
EPIRB	- veesõiduki hädaabi raadiomajakas (ingl <i>Emergency Position Indicating Radio Beacon</i> )
GLONASS	- Venemaa Föderatsiooni poolt hallatav satelliitnavigatsioonisüsteem (ingl <i>Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema</i> )
GNSS	- ülemaailmne satelliitnavigatsioonisüsteem (ingl <i>Global Navigation Satellite System</i> )
GPS	- Ameerika Ühendriikide poolt hallatav satelliitnavigatsioonisüsteem (ingl <i>Global Positioning System</i> )
Hz	- herts, sageduse ühik
M	- meremiil, pikkusühik merel
MOB	- „mees üle (laeva) parda“ kutsung (ingl <i>“Man overboard”</i> )
PAB	- personaalne hädaabi raadiomajakas AIS-iga (ingl <i>Personal AIS Beacon</i> )
PLB	- personaalne hädaabi raadiomajakas (ingl <i>Personal Locator Beacons</i> )
PPP	- täpne positsioneerimine (ingl <i>Precise Point Positioning</i> )
QZSS	- Jaapani poolt hallatav satelliitnavigatsioonisüsteem (ingl <i>Quasi-Zenith Satellite System</i> )
RSS	- signaali tugevus detsibellides
RSSI	- vastuvõetud signaalitugevuse indeks detsibellides
RTK	- reaajas kinemaatiline positsioneerimine (ingl <i>Real Time Kinematic</i> )
SART	- radartransponder (ingl <i>Search and Rescue Transponder</i> )
SBAS	- satelliidi põhine tugisüsteem, mis pakub erinevaid positsioneerimise parandusi
SOS	- rahvusvaheline appikutsesignaal
TPS	- täpse positsioneerimise süsteem
TTF	- aeg, mille jooksul süsteemi sisse lülitades toimub esimese positsioneerimine (ingl <i>Time-To-First-Fix</i> )
UWB	- Ultra lairiba raadioside tehnoloogia (ingl <i>Ultra-wideband</i> )
V	- volt, pingühik

# SISSEJUHATUS

Lõputöö eesmärgiks on ehitada täpse positsioneerimisega raadiomajaka prototüüp, mis suhtleb autonoomse NYMO robotlaevaga. Täpse positsioneerimisega raadiomajakat on võimalik rakendada mitmel otstarbel. Robotlaeva demonstreerimise ja katsetamise jaoks oleks selline majakas väga vajalik, kuna hetkel eraldi süsteemi selleks ei ole. NYMO katsetamise lisavõimalus aitab kaasa laeva edasisele arendamisele.

Lisaks võib tulevikus raadiomajaka kinnitada päästevesti külge, et vees olevale uppuvale inimesele oskaks robotlaev järgi sõita. Sellise võimekuse lisamine, annaks robotlaevale tulevikus lisavõimalusi. Modifitseerimisel oleks võimalik täpse positsioneerimisega raadiomajakas kinnitada autonoomse robotlaeva parkimiskohta (laadimisjaama). Sealt juhtsignaali välja saates, oleks võimalik robotlaev kiirelt parkimiskohta kutsuda.

Antud teema on välja pakutud NYMO iselaeva meeskonnalt. Teema uurimine on aktuaalne kuna autonoomsete robotsõidukite täpne paigutamine reaalkeskkond on üha olulisem ning sellistel lahendustel on rohkelt rakendusi. Autonoomsete meresõidukite puhul näiteks targad päästevestid või poid ning sadamas liiklemine.

Lõputöö raames ehitatakse elektroonika moodul, mis tuvastab, et raadiomajakas on vette kukkunud, positsioneerib ennast robotlaeva suhtes ja edastab positsioonialased andmed robotlaevale. Loodan, et minu töö tulemus annab NYMO iselaeva meeskonnale ühe võimaluse lisaks demonstreerida laeva praeguseid võimekusi ja realiseerida tulevikueesmäärke nagu

- NYMO laadimisjaamad ja laeva täpne positsioneerimine laadimiseks
- Autonoomne ja täpne parkimine sadamas
- Robotpäästeparve funktsioon sadamas ja laevadel
- Teadusuuringute võimekuse suurendamine

Lõputöö esimeses peatükis püstitatakse lähteülesande probleem ja nõuded süsteemile. Teises peatükis tehakse ülevaade sarnastest olemasolevatest lahendustest ning võrreldakse neid. Kolmandas peatükis leitakse sobivad komponendid, luuakse juhtimisloogika ja elektriskeem ning teostatakse lähteülesande alusel prototüüp. Neljandas peatükis katsetakse ja analüüsitakse aktiveerimist, positsioneerimist ja toitesüsteemi. Lisaks analüüsitakse ka maksumust ja tuleviku perspektiivi.

Lõputöö lisades on ära toodud NYMO robotlaeva erinevad parameetrid ja mõõtmed. Lisaks on toodud lisades katsetuste tulemusena kogutud andmed ja muud vajalik täpsustav informatsioon.

# 1. LÄHTEÜLESANNE POSITSIONEERIMIS- SEADELDISELE NYMO ISELAEVA ASPEKTIST

Antud peatüki eesmärk on esitada probleemi püstitus ning kirjeldus, mille abil koostatakse ka nõuded süsteemile. Ideaalis peaks kirjeldama, mis on probleem ilma mainimata, kuidas seda tuleks lahendada Selline lähenemine ei piira alternatiivide või potentsiaalselt paremate lahenduste moodustamis. Vastavalt probleemi kirjeldusele koostatakse nõuded süsteemile.

## 1.1 Probleem ja probleemi kirjeldus

Antud probleemi taust on tugevalt seotud TalTechis arendatava robotlaeva projektiga NYMO. NYMO on innovaatiline robot-veesõiduk ja teenusepakkumise platvorm, mis on suuteline täitma nii erinevaid ülesandeid kui ka vedama pakke ja kaupa (Joonis 1.1). Tänu modulaarsele ehitusele on võimalik laevale lisada erinevaid funktsionaalsusi nagu näiteks sonar merepõhja uurimiseks, reostussensoreid seireks ning kaameraid teadustöök. Robotlaeval on olemas erinevad sidelahendused nii internetiga ühildumiseks kui ka raadiosideks. Lisaks on laeval ka erinevaid sensorid nagu millimeeterradar ja güroskoop. Täpsemad parameetrid on toodud lisas (Lisa 1). [1]

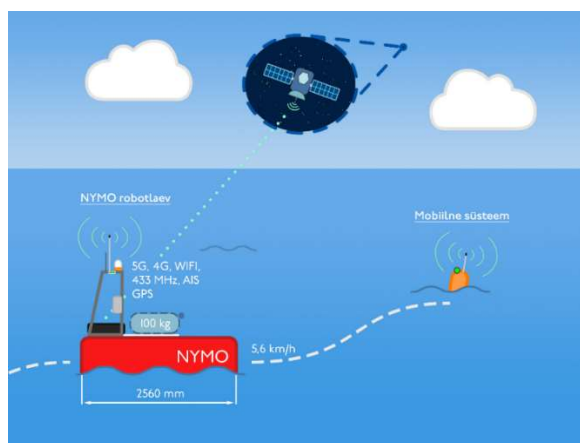


Joonis 1.1 NYMO iselaev [2]

Kõikide arendatavate süsteemide, nagu ka NYMO, võimekust ja oskusi on vajalik demonstreerida üldsusele ja projekti toetajatele. NYMO robotlaeval on selleks piiratud võimalused nagu manuaalselt juhtimine puldiga ning teekonna punktide seadistamine eelnevalt või jooksvalt. Nende olemasolevate lahenduste kaudu ei kajastu robotlaeva täielik potentsiaal ja võimekus. Vaja oleks demonstreerida ka autonoomsust ja spontaanset tegevust. Selle tõttu on vajadus lisasüsteemi järgi, mille abil oleks hea seda teha.



Esile toodud omaduste demonstreerimiseks oleks vajalik mobiilne süsteem, mis asub samas keskkonnas kui robotlaev ning omab reaajas enda asukoha alast informatsiooni robotlaeva suhtes (Joonis 1.2). Mobiilne süsteem suhtleb robotlaevaga ja selle suhtluse käigus edastatud andmete alusel moodustub või aktiveerub ülesanne. Ülesande teostamise käigus toimub robotlaev autonoomne liikumine süsteemi asukohta. Süsteemi võib paigutada ka keerulistesse tingimustesse, mille läbimiseks peab robotlaev kasutama oma mitmekülgeid funktsioone ja läbi selle demonstreerib kogu oma potentsiaalset võimekust. Lisaks peab süsteem tajuma, millal ta on veekeskkonnas. Selline funktsionaalsus aitaks vähendada suhtlus- ja positsioneerimisfunktsioonide tööd ja läbi selle säästa energiatarbimist ning lihtsustada robotlaeva tööd.



Joonis 1.2 Illustratsioon mobiilsest süsteemist ja robotlaevast

Süsteem võimaldaks teostada erinevaid testimisi robotlaevaga, mis oleks suureks abiks arendustööle. Täpse positsioneerimissüsteemi olemasolu aitaks arendada ja täiustada robotlaeva unikaalseid ning konkurentidest eristavaid omadusi. Tulevikus oleks võimalik kasutada sellist positsioneerivat mobiilset süsteemi ka päästemajakana ning kinnitada saatja kas päästevesti või päästerõnga külge. Antud juhul käituks NYMO robotlaev päästepaadina. Lisaks avab veekogul robotlaeva täpne positsioneerimine võimalused NYMO laadimisjaama juurde juhtimiseks.

## 1.2 Süsteemi nõuded

Probleemi kirjeldusest lähtuvalt peab olema täpse positsioneerimise süsteemi (edaspidi TPS) majakas veekindel, vastupidav ja veepinnal ujuv. TPS majakas peab omama võimekust positsioneerida ennast robotlaeva suhtes ning seda informatsiooni edastada robotlaevale. Lisaks peab TPS majakas tajuma, kas ta on veekeskkonnas. Kuna majakas

on mobiilne, siis peab süsteem töötama akutoite pealt ning olema võimalikult kompaktne ja kerge.

Antud TPS majakas on mõeldud robotlaeva funktsioonide demonstreerimiseks ja nende katsetamiseks ning arendamiseks, sellest tulenevalt peab süsteemil olema võimaldatud suhtlus robotlaevaga kuni 1 km kauguselt. See määrab ära ka majaka tööaja, milleks oleks kuni 6 h. Hindavalt võtab ühe tegevuse teostamine süsteemiga 1 – 2 h, ehk see võimaldab ligikaudu 3 – 6 korda majakat kasutada enne laadimist. Lisaks ei tohiks seadme maksumus ületada 100 €.

TPS majaka positsioneerimistäpsus robotlaeva suhtes peab olema vähemalt 10 cm. Selline täpsus võimaldaks robotlaeval liikuda majakale lähedale, kuid hoida ohutut kaugust süsteemist. Selle peamine eesmärk on, et ei toimuks kokkupõrget majaka ja robotlaeva vahel. Antud täpsus ei pea olema tagatud kogu protsessi vältel, kuid peab olema tagatud kui robotlaev on lähemal kui 10 m.

Tabelis 1.1 on kompaktset kokku võetud süsteemi nõuded: on vaja projekteerida ja ehitada optimaalne tehnoloogiline süsteem, mis kuni 1 km kauguselt edastaks NYMO robotlaevale 10 cm täpsusega süsteemi positsiooni veekogul ja muid vajalikke andmeid. Antud majakas aktiveeruks vette kukkudes ning asuks suhtlusesse robotlaevaga, ning on suuteline seda tegema kuni 6 h. Lõppseadme maksumus ei tohiks ületada 100 €, arendustegevuste kulud võivad seda piiri ületada. Lisaks on vajalik lihtne kasutajaliides majaka asukoha jälgimiseks, selleks sobiks näiteks mobiili rakendus.

Tabel 1.1 Täpse positsioneerimise süsteemi nõuded

Kategooria	Nõuded	Märkused
Sidesüsteem	Suhtlus robotlaevaga kuni 1 km ulatuses	-
Juhtsüsteem	Süsteemi juhib controller, millel on vajalik arv sisendeid ja väljundeid. Peab olema adapteeruv tulevikulahendustega	Sisendid ja väljundid määratakse projekteerimise käigus
Positsioneerimissüsteem	Süsteemi asukoha määramine robotlaeva suhtes 10 cm täpsusega	Selline täpsus ei pea olema tagatud kogu protsessi vältel, ainult kui kaugus on vähem kui 10 m.
Tajusüsteem	Süsteem tajub kui on veekeskonnas	Kui süsteem on veekeskonnas siis asub suhtlusesse robotlaevaga
Elektronikasüsteem	Akutoitel, süsteemi tööaeg kuni 6 h	-

Tabel 1.1 järg

<b>Kategooria</b>	<b>Nõuded</b>	<b>Märkused</b>
Konstruksioon ja ehitus	Süsteem veekindel, vastupidav ja veepinnal ujuv. Võimalikult kompaktne ja kerge.	-
Kasutajaliides	Majaka asukoha jälgimiseks	Näiteks mobiili rakendus
Maksumus	TPS majaka hind kuni 100 €	Lõpptoote maksumus peab jääma alla 100 €, arendustegevuse kulud võivad olla suuremad

## 2. OLEMASOLEVAD POSITSIONEERIMIS- SÜSTEEMIDE LAHENDUSED MEREL

Enne oma süsteemi projekteerimist on mõistlik vaadata, mis maailmas antud valdkonnas on varem tehtud. Järgnevalt vaadeldakse ja võrreldakse erinevate raadiomajakate lahendusi ja süsteeme. Esimeses osas käsitletakse kitsamalt päästemajakaid ja teises osas laiemalt üldisemaid raadiomajakaid ja -poisid. Vastavalt leitud lahendustele leitakse puudujäägid lähteülesande suhtes ja proovitakse neid oma lahendusega peatükk 3. lahendada.

### 2.1 Hädaabi raadiomajakad

Kasutusel on erinevaid hädaabi raadiomajakaid, mille eesmärgiks on edastada abivajaja kutsung ning asukoht päästjatele. Tuntumad nendest on SART (ingl *Search and Rescue Transponder*), EPIRB (ingl *Emergency Position Indicating Radio Beacons*), PLB (ingl *Personal Locator Beacons*). Nendel on erinev ülesehitus, töökeskkond ja funktsioonid, kuid üldine eesmärk on sama.

#### 2.1.1 Radar-SART hädaabi transponder

Radar-SART (ingl *Search and Rescue Transponder*) on hädaabi transponder (Joonis 2.1), mis on mõeldud veekogudel kasutamiseks ja on kohustuslik laevadel. Otseselt see abivajaja kutsungit ei edasta, kuid see edastab äratuntava märguande laevale või lennuki radarile, kui see on piisavalt lähedal. [3]



Joonis 2.1 SART transponder [3]

SART on väike akutoitel töötav mitmesuunaline transponder, mis töötab 9 GHz sagedusega: seda kasutavad ka laeva- ja lennukiradarid. Kui SART on aktiveeritud, siis edastab see 8 meremiili ehk 8 M (14,82 km) raadiuses olevate laevade või 30 M (55,56 km) ulatuses olevate lennukite radariekraanidele 12 punkti, mille järgi saab transponderini navigeerida. Üks meremiil on 1852 meetrit (1 M = 1852 m) [4]. Selleks peab SART majakas asuma merepinnast 1m kõrgusel, et optimaalselt töötad. Seadme tööaeg aktiivsena on 8 h ja positsioneerimistäpsus kuni 150 m. Eestis on SART seadmed kohustuslikud laevadele [5]. [3]

### 2.1.2 AIS-SART hädaabi majakas

AIS-SARTS (ingl *Automatic Identification System Search and Rescue Transponder*) on SART majakas (Joonis 2.2), mille tööpõhimõtte seisneb suhtluses teiste aluste või lennukite AIS-idega. AIS ehk automaatne identifitseerimissüsteem on positsioneerimissüsteem, mida kasutatakse erinevate veesõidukite pardal [6]. Lisaks on sellel majakal ka GNSS (ingl *Global Navigation Satellite System*) moodul, mis võimaldab AIS-i tööd. GNSS on ülemaailmsete satelliitnavigatsioonisüsteemide üldnimetus, mille abil on võimalik määrata positsiooni ja aega igal pool maailmas [7]. [8]



Joonis 2.2 AIS-SART majakas [8]

AIS-SART on oma olemuselt sarnane SART-iga, kuid on täpsem ja kaasaegsem tööpõhimõtte poolest. Aktiveerides edastab see sõnumeid oma asukoha, olemuse ning oleku kohta. Neid sõnumeid saavad lugeda oma AIS-ist alused, mis on 5 M (9,26 km) raadiuses ning lennukid, maksimaalselt 129 M (238,91 km) raadiuse ulatuses. Antud majakas on mõeldud optimaalseks tööks 1 m kõrguselt merepinnast. Eestis on SART seadmed kohustuslikud laevadele ning nende maksumus on ca 500 € [5] [9]. [8]

### 2.1.3 EPIRB hädaabi majakas

EPIRB (ingl *Emergency Position Indicating Radio Beacons*) on hädaabimajakas (Joonis 2.3), mis on samuti mõeldud veekogudel kasutamiseks. Antud majakas suudab iseseisvalt ujuda ja veepiirilt signaali edastada. Olenevalt mudelist võivad olla majakad aktiveeritavad manuaalselt või kokkupuutel veega. EPIRB majaka maksumus algab u 165 eurost ning võib ulatuda kuni u 1200 euroni. [10]



Joonis 2.3 erinevad EPIRB majakad [11]

Erinevalt SART-ist töötab see majakas 406,0 – 406,1 MHz sagedusalas, milles saab EPIRB andmeid edastada satelliidile. Tänu sellele saab selle majaka asukohta määrata igal pool maailmas. Lisaks hädakutsungile saab EPIRB edastada ka identifitseerimiskoodi, millega tuvastatakse hädas olev alus ning erinevad kontaktandmed. Satelliidid saavad seadme asukoha määrata 2 – 5 km täpsusega. EPIRB majakale võib olla lisatud ka GNSS moodul, mis suurendab täpsust 120 m peale, ning kiirendaks hädakutsungi vastuvõtmisaega. [11]

Osa majakatest kasutab lisaks ka 121,5 / 243 MHz sagedust. Nende signaalide vastuvõtmine ja töötlemine satelliitsüsteemide poolt lõpetati aastal 2009 ja nendele reageeritakse vaid erijuhtudel. Sellisel sagedusel saadetud positsioneerimissignaali järgi saab leida saatjat, kuid on osutunud efektiivsemaks kasutada 406 MHz sagedust. [10]

### 2.1.4 EPIRB-AIS hädaabi majakas

EPIRB-AIS majakad on sarnase tööpõhimõttega nagu tavalised EPIRB majakad, kuid neile integreeritud AIS ja GNSS moodulid (Joonis 2.4). EPIRB-AIS saab lisaks 406 MHz signaalile saata välja ka SOS-signaali AIS mooduliga, mida saavad lugeda 4 M (7,41 km) raadiuses olevate aluste ja lennukite AIS-id. AIS liideses on näha ka täpne asukoht. See võimaldab kiiremini ja täpsemini reageerida õnnetusjuhtumile. Keskmiselt maksavad sellised majakad u 700 eurot [12]. [13]



Joonis 2.4 EPIRB-AIS ja tööpõhimõte [13]

### 2.1.5 ELT hädaabi majakas

ELT (ingl *Emergency Locator Transmitters*) on samuti 406 MHz hädaabi majakas, sarnaselt EPIRB-ga, kuid on mõeldud kasutamiseks lennukites. Neid saab aktiveerida manuaalselt või automaatselt. ELT puhul automaatsüsteem ei aktiveeru veega kokkupuutel, vaid G-lülitiga, mis mõõdab raskuskiirendust. Olles aktiveeritud, saab erinevate satelliitsüsteemidega registreerida neid signaale, nagu EPIRB puhul. Samuti saavad osad ELT majakad saata ka koos hädaabisignaali asukoha andmeid, kas ühekordselt lennuki enda navigatsioonisüsteemist või perioodiliselt ELT-sse sisseehitatud GNSS moodulist. [14]

### 2.1.6 PLB, AIS-MOB ja PAB hädaabimajakad

**PLB** (ingl *Personal Locator Beacons*) hädaabimajakad töötavad suurem osalt sama moodi nagu EPIRB ja ELT majakad, kuid on mõeldud kaasas kandmiseks üksikisikutele. Eelmiste 406 MHz majakatega võrreldes seisneb ka nende aktiveerimises - antud majakaid saab aktiveerida vaid manuaalselt. PLB-majakad ei pea olema ujuvad seadmed ja on mõeldud kasutamiseks kõikjal. Lisaks väljastab PLB samuti 121,5 MHz sagedusega signaale, millega saavad päästjad asukohas olles täpsemini saatjat positsioneerida. Lisaks on osadel PLB majakatel GNSS moodulid, millega on võimalik positsioneerimistäpsust suurendada ca 100 m peale. [14]

**AIS-MOB** (ingl *AIS – "Man overboard devices"*) on „mees üle parda“ seadmed, mis töötavad nagu AIS-SART seadmed. MOB-seadmed on mõeldud vette kukkunud inimeste tuvastamiseks ja positsioneerimiseks. Põhimõtteline erinevus PLB-seadmetega on suhtlus lähedal olevate aluste/lennukitega: AIS-MOB saadab välja AIS sõnumeid asukoha, olemuse ning oleku kohta, mida saavad lugeda lähedal asuvate aluste AIS-id,

kuid PLB kutsub abi satelliitsüsteemide kaudu. AIS-i kasutamine kiirendab päästmist, kuid kui pole aluseid läheduses siis ei ole võimalik hädakutsungit tuvastada. [15]

**PAB** (ingl *Personal AIS Beacon*) on PLB hädaabimajakas, milles on ühendatud AIS-MOB suhtlus lähedal olevate aluste AIS-idega ning PLB suhtlus satelliitidega, läbi 406 MHz signaalide. Selline lahendus eemaldaks kahe süsteemi nõrkused, kuid hetkel veel selliseid lahendusi turul ei ole. [13]

## 2.2 Poid ja raadiomajakad

Antud alapeatükis kirjeldatakse üldisemalt olemasolevaid raadiomajaka poi lahendusi merel. Kolme erinevat poid on AIS poi, targad lokaalsed poid ja targad triivivad poid.

### 2.2.1 AIS-poid

Laevade AIS süsteemis kuvatakse poisid erinevalt vastavalt nende olemusele ja asukoha määramisele. Eristatakse kolme sorti AIS poisid: füüsilised poid, millel on AIS moodul; füüsilised poid, millel puudub AIS moodul, aga AIS signaale väljastab teine seade; virtuaalne poi, mida füüsiliselt ei eksisteeri ning AIS signaale väljastab teine seade [16]. Erinevalt ülejäänud poidest suudavad AIS mooduliga poid värskendada peaaegu reaalselt oma asukohta.

Poi positsiooni edastamiseks olev AIS moodul võib olla osa poi ehitusest [17]. Selline integreeritus võimaldab AIS mooduli siduda poi teiste funktsioonidega ning olemasolul ka akusüsteemiga [18]. AIS süsteemid kasutavad 161,975 / 162,025 MHz sagedusalasid ning kasutavad asukoha määramiseks GNSS moodulit [19].

AIS moodul võib olla ka lisatud poile eraldiseisva majaka süsteemina. Poide asukoha täpseks positsioneerimiseks on olemas AIS-majakad, mis edastavad AIS raadiosignaali abil oma asukohta. Antud majakad tuleb kinnitada poi külge ning aktiveerida (Joonis 2.5). Sarnaselt AIS-SART majakale, edastatakse erinevatele läheduses olevatele AIS vastuvõtjatele poi asukohta, kuid kuvatakse poi tähisega AIS süsteemis. Majakad on eraldiseisev süsteem poidest, ning võimaldavad muuta tavalised poid tarkadeks meremärkideks. Laialdaselt leiab selline lahendus kasutust kalanduses, kus kalavõrkude poide külge kinnitatakse majakas vältimaks võrkude kadumist merel. Süsteem töötab aku toitel (3,7 V liitiumioonaku) ning tööaeg tavaliste töötingimiste juures on 120 h. Kalastuse AIS-majakate hind algab ca 300 euro juurest. [19]





Joonis 2.5 Kalastuspoid koos majakaga [19]

### **2.2.2 Targad lokaalsed poid**

Tavapärasele navigatsioonipoidele on tänapäeval võimalik lisada uuenduslikud targad mereseire funktsioonid ning ühendada need interneti. Sellised targad poid võimaldavad mõõta erinevaid parameetreid ning enda asukohta merel ja saata neid serverisse. Tulevikus saab luua sellistest poidest targad mereteed, mida saavad autonoomsed sõidukid kasutada. [20]

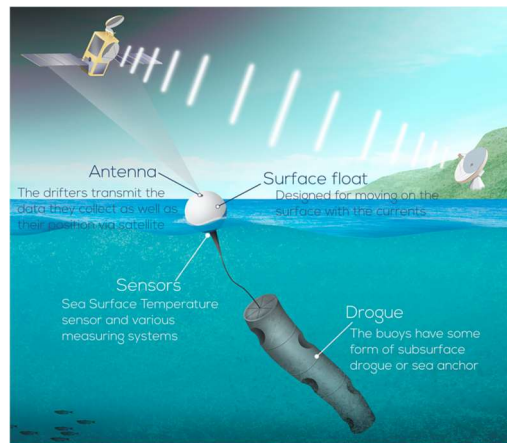
Lisaks navigeerimise abistamisele võivad targad poid omada mitmesuguseid erinevaid funktsionaalsusi. Poid platvormile on võimalik ehitada laevade seire süsteem, mis suudab tuvastada aluseid olemasolu, identifitseerida neid ja teavitada oma asukohast isegi kui AIS süsteem on alusel välja lülitatud. Sellised poid on võimalik omavahel ühendada ning luua mere järelvalve süsteem, kus on võimalik tuvastada kahtlasi aluseid kiiresti reageerida illegaalsele tegevusele. Poid on olemas kõrglahutusega radar, stabiliseeritud kaamerad ja AIS moodul. [18]

Targad poid on võimelised jälgima ka veealuseid tegevusi. Sellised targad poid on rannapiirkondades võimelised tagama inimeste ohutuse vees, lisaks tavalistele mere parameetrite mõõtmisele ja edastamisele. [21]

### **2.2.3 Targad triivivad poid**

Kasutusel on ka poid, millel puuduvad ankrud merepõhjas ehk nad saavad vabalt triivida merel või ookeanil. Sellised poisid kasutatakse hoovuste jälgimiseks ning andmete kogumiseks veekogudel. Triivivad poid koosnevad tavaliselt kahest-kolmest osast: veepealne ujukeha; veealused sensorid ning mõõtevahendid; veealune triivankur. Veepealse ujukehas asub sidelahendus, millega saab edastada kogutud andmeid ning asukohta satelliitühenduse abil keskusesse. Lisaks asub seal ka GNSS-

positsioneerimissüsteem. Triivivatel poidel on tavaliselt veelune temperatuuriandur, millega mõõdetakse temperatuuri hoovuse erinevates osades. Lisaks temperatuurisensorile võib lisada poile erinevaid mõõtevahendeid, mis mõõdavad õhurõhku, tuulekiirust ja -suunda, lainepikkust ning soolsust [22]. Selleks, et poid triiviks kaasa hoovustega ja ei kalduks kõrvale tuule või lainetuse mõjuga, on ujukehade külge kinnitatud veelused triivankrud. Ankrud võivad ulatuda kuni 20 m sügavusele, kus see liigub kaasa hoovustega [22]. [23]



Joonis 2.6 Triiviva poi skeem [23]

Lisaks tavalistele triivivatele poidele on ka autonoomsed triivprofileerijad, mis võimaldavad koguda hoovuste kohta andmeid erinevatel sügavustel. Need on oma ehituselt palju keerukamad, kuid läbi selle on võimalik koguda andmeid kuni 2000 m sügavuselt. Profileerijate töötükk algab veepinnalt, kus sarnaselt tavalisele triivivale poile edastatakse satelliitühenduse abil informatsiooni. Peale seda laskub profileerija vee alla ettemääratud sügavusele ning liigub kaasa hoovusega. Määratud aja möödudes laskub seadeldis veel sügavamale, kus alustab tõusmist veepinnale, ning töötükkel algab uuesti. [23]

## 2.3 Lahenduste võrdlus

Eelnevalt käsitletud lahendused on toodud välja tabelis (Tabel 2.1). Lahendusi on võrreldud erinevate parameetrite alusel: seadme täpsus, suhtluskanalite ulatus, suhtluskanalite sagedus, seadme hind ja muud märkused.

Tabel 2.1 Lahenduste võrdlus

Nimetus	Täpsus	Ulatus	Sagedus	Hind	Märkused
SART	150 m	14,82 km	9 GHz	ca 500 €	Tööks vajalik radar
AIS-SART	ca 1-2 m	9,26 km	161,975 / 162,025 MHz	ca 500 €	-
EPIRB, EPIRB-AIS	120 m	Üle maailma	406 MHz 121,5 / 243 MHz 161,975 / 162,025 MHz (AIS)	165 – 1600 €	-
ELT	120 m	Üle maailma	406 MHz 121,5 / 243 MHz	-	Mõeldud lennukitele
PLB	ca 100 m	Üle maailma	406 MHz 121,5 / 243 MHz	-	Ei ole ujuv
AIS-MOB	1-2 m	7,41 km	161,975 / 162,025 MHz	-	-
Targad poid	-	-	4G / satelliitühendus	-	Puudulik info
AIS-majakad	15-20 m*	64,82 km**	161,975 / 162,025 MHz	300 € - ...	-

\*GPS täpsus [24]

\*\*AIS keskmine ulatus [25]

Võrdlusest tuleb välja, et olemasolevad leitud lahendused ei ole piisavalt täpsed ja liiga kallid lähteülesandega võrreldes: soovitatav täpsus 10 cm ja maksumus 100€. Lisaks saab välja tuua, et mitmed lahendused positsioneerivad AIS-süsteemiga seotud GPS-iga, 406 MHz päästesignaali satelliidiga positsioneerimisega või raadiosignaali asukoha määramisega vee- / maapeal (nt PLB ja EPIRB – 121,5 / 243 MHz). Suhtluseks kasutasid paljud lahendused raadiosidet, AIS suhtlust või otsest satelliitühendust.

### 3. LÄHTEÜLESANDE TEOSTAMINE

Lähteülesande alusel projekteeritakse ja teostatakse TPS-majakas. Projekteerimine toimub neljas alapeatükis: sensorid, positsioneerimissüsteem, kontrollid ja juhtimissüsteem, ning elektroonikasüsteem. Lähteülesande tingimused on toodud tabelis (Tabel 1.1). Kolmes esimeses alapeatükis teostatakse vähemalt kolme komponendi / mooduli võrdlus ja valitakse kõige sobivam vastavalt lähteülesandele. Valitud peamise kolme komponendi / mooduli põhjal projekteeritakse elektroonikasüsteem, mis sisaldab toitesüsteemi ja ühendusi komponentide / moodulite vahel.

#### 3.1 TPS-majaka andurid

TPS-majakas peab aktiveeruma vette kukkudes ning asuma siis suhtlusesse robotlaevaga. Selle tajumiseks on vaja majakale andurit, mis suudab tajuda, kas ta asub veekeskonnas või mitte. Ehk andur peab olema suuteline vähemalt väljastama, kas väljundi signaaliga kohe vedeliku olemasolu tõese või väärana, või andmeid, mille analüüsimisel saab juhtimisloogika seda ise järeldada.

##### 3.1.1 Veeandurite valik

Veeandurite valikuks on võetud kolm erineva tööpõhimõttega veeandurit: Parallax 28090, SST LLC500D3L ja XKC-Y25-T12V. Alapunktidenä on toodud seadmete kirjeldused ning olulised parameetrid.

**Parallax 28090** (Joonis 3.1) on väike vedelikutaseme andur (ingl *Mini Liquid Level Sensor*), mille tööpõhimõte on transistori abil teostatava voolu võimendus [26] [27]. Antud vedelikutaseme andur on mõeldud tuvastama 0 – 48 mm kõrgust vedeliku muutust, töötama vedelikuhäirena või veevoolu taseme indikaatorina. Sensori väljundpinge vahemikuks on 2 – 5 V, mis on vastavuses vedeliku tasemega. Sensori toitepinge on 3,3 V ja hind 4,45 € [28]. Sensor suudab kiiresti tuvastada vedeliku muutumist ja on mõeldud vedeliku sees olema vaid alaga, mis tajub vedeliku ehk triibulise pinnaga (Joonis 3.1.a). Ülemine osa tuleb hoida vedelikust väljas või teha vedelikukindlaks. [26]

**SST LLC500D3L** on optiline vedeliku andur, mille tööpõhimõte seisneb optiliselt ühendatud infrapunase valgusega LED-ist ja fototransistorist: kui anduri ots on õhus, siis LED-i valgus jõuab fototransistorini, aga kui fototransistor on vedelikku kastetud,

pääseb anduri infrapunane valgus välja, muutes väljundi oleku (Joonis 3.1.b) [29]. Ehk andur tuvastab vedeliku olemasolu ja siis tõstab väljundi suurust. Anduri väljundpinge minimaalne väärtus on 0,5 V ja maksimaalne väärtus on vahemikuks on 4,5 – 15,4 V, mis on korrelatsioonis toitepingega. Anduri toitepinge vahemik on sammuti 4,5 – 15,4 V. Seadme hind on 34,22 €. [30]

Andur suudab tuvastada erinevate vedelike olemasolu. Kere on tehtud polüsulfoonist ja suudab töötada -25 °C kuni 80 °C temperatuurivahemikus. Kui toitepingeks on 5 V, siis anduri väljundpinge vahemik oleks 0,5 - 3,5 V. [31]

**XKC-Y25-T12V** on kontaktivaba veetaseme andur (Joonis 3.1), mille tööpõhimõte seisneb mahtuvuse muutumise tuvastamisel. Andur võib tuvastada vee olemasolu teisel pool plastikust, klaasist või teistest mittemetallilistest anumatest, anuma seina paksus ei tohi olla üle 13 mm. Ehk erinevalt teistest veeanduritest, siis ei pea see andur kokku puutuma veega, et selle olemasolu tuvastada. Anduri toitepinge vahemik on 5 – 24 V. Anduri väljundpinge vahemikuks on 0 – 24 V, mis on korrelatsioonis toitepingega: maksimaalne väljundpinge on võrdne toitepingega. Seadme hind on 16,80 € [32]. [33]



Joonis 3.1 a) Parallax vedeliku taseme andur [26], b) SST vedeliku andur [31], c) XKC-Y25-T12V veetaseme andur [33]

### 3.1.2 Veeandurite võrdlus

Kolme veeanduri parameetreid on toodud ära tabelis (Tabel 3.1). Võrreldud on tööpõhimõtet, toitepinget, väljundsuurust, vedelikukindlust, mõõtmist ja hinda. Kuna TPS-majaka arendamine on hinnakriitiline, siis SST LLC500D3L veeandur hinnaga 34,22 eurot ei ole sobilik. Parallax 28090 veeandur on kõige soodsam andur võrdluses, kuid kahjuks ei ole see täielikult vedelikukindel. Kuna see andur vajab vedeliku olemasolu tuvastamiseks otsest kontakti, siis on see oluline aspekt. Võimekus kaudselt tuvastada vee olemasolu läbi korpuse seina on hea omadus XKC-Y25-T12V anduril. Mereveega

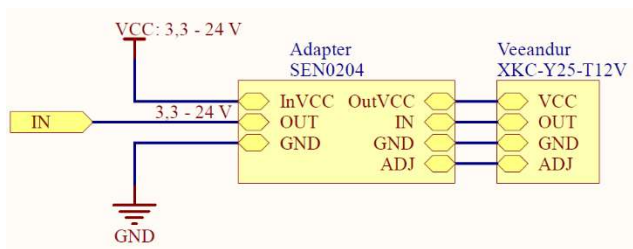
kokkupuutumise vajaduse puudumine pikendab anduri eluiga ja ei kahjusta korpuse terviklikust. Selle tõttu kasutatakse TPS majaka veeandurina XKC-Y25-T12V andurit.

Tabel 3.1 Veeandurite võrdlus

Nimetus	Tööpõhimõte	Toitepinge	Väljundsuurus	Vedeliku-kindlus	Mõõtmine	Hind
Parallax 28090	transistori abil voolu võimendus	3,3 V	2 – 5 V	osaline	Otsene kontakt	4,45 €
SST LLC500D3L	infrapunase LED ja fototransistor	4,5 – 15,4 V	0,5 – 15,4 V	täielik	Otsene kontakt	34,22 €
XKC-Y25-T12V	Mahtuvuse mõõtmine	5 – 24 V	0 – 24 V	Veekindel (IP67)	Kaudne	16,80 €

### 3.1.3 Veeanduri rakendamine

XKC-Y25-T12V on kontaktivaba veetaseme andur. Anduri komplektis on juures adapter SKU: SEN0204 ühendamaks andurit kontrolloriga. Andur ühendatakse nelja ühendusega adapteri külge (toitepinge, väljundsuurus, väljundsuuruse tase ja maandus) ning adapter ühendatakse valitud kontrolloriga kolme ühenduse kaudu (toitepinge, väljundsuurus, maandus) [33]. Anduri toitepinge vahemik on 5 – 24 V ja väljundsuuruse maksimaalne väärtus on võrdne toitepingega. Anduri toitepinge võib langetada ka 3,3 V juurde ja läbi selle anduri reageerimisaeg väheneb, kuid täpsus jääb samaks.



Joonis 3.2 Veeanduri elektroonikaskeem

## 3.2 Positsioneerimissüsteem

Lähteülesandes on öeldud, et TPS-majaka positsioneerimistäpsus robotlaeva suhtes peab olema vähemalt 10 cm. Antud täpsus ei pea olema tagatud kogu positsioneerimisprotsessi vältel, kuid peab olema tagatud kui robotlaev on lähemal kui 10 m. Sellise täpsuse saavutamiseks jagame protsessi kaheks osaks (Joonis 3.3):

- esimeses etapis toimub positsioneerimine kuni 10 m kauguselt ning positsioneerimistäpsus võib olla üle 10 cm. Lähtetingimustes on kirjeldatud, et NYMO robotlaeva positsioneerimine algab 1 km kauguselt majakast. See tähendab, et esimese etapi tsoon on 1 km – 10 m kaugusel TPS-majakast.
- teises etapis toimub positsioneerimine alates 10 m kauguselt, kust lõppeb esimese etapi tsoon, ning positsioneerimistäpsus on kuni 10 cm. See tähendab, et teise etapi tsoon on 10 m – 10 cm kaugusel TPS-majakast.

Selline hübriidlahendus võimaldab kasutada maksimaalselt olemasoleva riistvara võimalusi ning võimalusel ka minimeerida toitesüsteemi tarbitavat voluhulka.



Joonis 3.3 Positsioneerimise etapid

### 3.2.1 GNSS-positsioneerimine

Välitingimustes positsioneerimises domineerivad satelliidipõhised lahendused ehk GNSS-tehnoloogiad [34]. GNSS on ülemaailmsete satelliitnavigatsioonisüsteemide üldnimetus ja selle hulka kuuluvad erinevad süsteemid nagu [7]:

- GPS (ingl *Global Positioning System*) – Ameerika Ühendriikide poolt hallatav satelliitnavigatsioonisüsteem [7].
- GLONASS (ingl *Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema* [35]) – Venemaa Föderatsiooni poolt hallatav satelliitnavigatsioonisüsteem [7].
- Galileo – Euroopa Liidu poolt hallatav satelliitnavigatsioonisüsteem [7].
- BDS / BDS-3 (ingl *BeiDou satellite navigation System*) – Hiina Rahvavabariigi poolt hallatav satelliitnavigatsioonisüsteem [36].
- QZSS (ingl *Quasi-Zenith Satellite System*) – Jaapani poolt hallatav satelliitnavigatsioonisüsteem, mis on mõeldud rohkem parandama GPS-i täpsust kui iseseisvalt positsioneerima vastuvõtjat [7].

Lisaks kasutatakse GNSS-süsteemide positsioneerimissüsteemide täpsuse suurendamiseks SBAS-e (ingl *Satellite-Based Augmentation System*). SBAS on satelliidi põhine tugisüsteem, mis pakub erinevaid positsioneerimise parandusi ja parameetreid kindla ala kohta. Euroopas on oma SBAS-süsteem, mille nimetus on EGNOS (ingl *European Geostationary Navigation Overlay Service*) ehk Euroopa Geostatsionaarse Navigatsioonilisasüsteem.

Tavaliselt suudavad satelliidi põhised positsioneerimistehnoloogiad saavutada täpsuse, mida saab mõõta meetrites, kuid erinevate meetoditega on võimalik saavutada ka alla meetri täpsusklassi. Suurem osa selliseid meetodeid kasutavad referentsjaamu, mis pakuvad positsioneerimistäpsuse suurendamiseks parandeid ja parameetreid. Ametlikke selliseid referentsjaamu on Eestis neli, lähim Tallinnale nendest asub Suurupis ca 18 km kaugusel [37]. [34]

Üks tuntumaid meetodeid on diferentsiaal GNSS-süsteem, kus kasutatakse lähedal asuva referentsjaama parandusi: ametlik avalik jaam või positsioneerimissüsteemi enda jaam. Meetodi miinuseks on see, et jaam peab asuma lähedal positsioneeritavale süsteemile. Teiseks tuntud meetodiks on PPP (ingl *Precise Point Positioning*) meetod, mis on GNSS-süsteemi täpne positsioneerimine läbi järeltötluse. Töötluse tulemusena on võimalik saavutada alla meetri täpsusklassi, kuid see võtab aega ning selle tõttu nihkub reaajas täpsus liikuvale objektile üle meetri. Kuna arendatav TPS-majakas on vabalt liikuv vees, siis tuleb sellega arvestada. Kõige täpsem meetod parandada GNSS-i täpsust on RTK (ingl *Real Time Kinematic*). RTK on reaajas kinemaatiline positsioneerimine, mis kasutab lisaks satelliidi andmetele ka signaali faasi mõõtmist ja referentsjaama. Selle meetodiga on võimalik saavutada täpsus sentimeetrites, kuid selleks on soovitatud, et referentsjaam jääks lähemale kui 10 km. [34]

PPP ja RTK meetodite hübriid on PPP-RTK meetod, mis kasutab mõlema meetodi eeliseid ja saavutab tänu sellele kiire positsioneerimisaja, suure täpsuse ja ei vaja iseseisvat referentsjaama, vaid kasutab ära olemasolevat infrastruktuuri. Infrastruktuuri puudumisel lülitub ümber PPP meetodi peale. Kui faasipõhise PPP meetodiga oli positsioneerimisaeg 20 min, siis hübriidmeetod suudab positsioneerida seadme ajavahemikus 5 s - 1 min. Positsioneerimistäpsus PPP-RTK meetodi puhul on sentimeetrites sarnaselt RTK meetodiga. Praeguse seisuga on PPP-RTK veel arendusjärgus ja varases kasutuselevõtu faasis, kuid see on paljulubav meetod täpse positsioneerimise masskasutamiseks. [38]



**SimpleRTK2B ZED-F9P** on võimas GPS moodul, millega saab kasutada nii PPP, RTK kui ka PPP-RTK parandusmeetodeid [39]. Nende abil on võimalik saavutada sentimeetrites positsioneerimistäpsus: RTK-ga väiksem kui 1 cm ja PPP-RTK-ga väiksem kui 4 cm [39] [40]. PPP meetodi kohta positsioneerimistäpsust ei olnud antud, kuid selle meetodi kasutamine on võimalik. ZED-F9P abil saab kätte GNSS positsioneerimise toorandmeid ning neid töödeldes kasutada PPP meetodit. Lisaks on võimalik kasutada moodulit ka iseseisvalt ainult GNSS positsioneerimisvahendina ja saavutada täpsus, mis on väiksem kui 1,5 m või SBAS toega väiksem kui 1 m. SimpleRTK2B plaadi toitepinge vahemik on 3,3 – 5 V ja moodul vajab töötamiseks GNSS paljuribalist antenni, mille ühendamiseks on sisend olemas [39]. ZED-F9P mooduli külm TTFF (ingl *Time-To-First-Fix*) on vahemikus 25 – 30 s. Külm TTFF on aeg, mille jooksul süsteemi sisse lülitades toimub esimese positsioneerimine ja süsteemil puuduvad eelnevalt positsioneerimise andmed [41]. SimpleRTK2B ZED-F9P GPS mooduli hind jääb vahemikku 211 – 845 eurot: Antenniga komplekt 211 eurot [42], 4G komplekt 449 € [43] ja PPP-RTK komplekt 845 eurot [44]. [40]

**U-BLOX NEO-7N** on iseseisev GNSS moodul, mis suudab leida oma kasukohta kasutades GPS, GLONASS või QZSS satelliitsüsteeme [45]. Kasutatav NEO-7N mooduli plaat oleks Velleman VMA430, kus on lisatud NEO-7N süsteemile ühendused, toiteklemmid, keraamiline antenn ja võimalus kinnitada lisaantenn [46]. VMA430 hind on 32,59 € [47]. Mooduli toitepinge vahemik on 3,3 – 5 V [46]. Kasutades GPS satelliitsüsteemi positsioneerimiseks on NEO-7N iseseisev positsioneerimistäpsus on 2,5 m ja SBAS toega on 2,0 m. Lisaks on GPS-i kasutades mooduli külm TTFF 30 s. [45]

**AI-Thinker BG01-T** on GNSS moodul, millele on integreeritud juba keraamiline antenn võimusega 2 detsibelli (dB). Moodul saab leida oma asukohta kasutades BDS, GPS, GLONASS, GALILEO või QZSS satelliitsüsteeme ja suudab parandada oma positsioneerimistäpsust kasutades SBAS tuge. GNSS mooduli täpsus on 2,5 m ja suudab töötada -40 ja 85 °C temperatuurivahemikus kuni 90 % niiskuse juures. Mooduli soovituslik toitepinge on 5 V. BG01-T külm TTFF aeg on 27,5 s. Mooduli hind on 15 € [48]. [49]

### 3.2.2 GNSS seadmete võrdlus

Kolme GNSS mooduli parameetreid on toodud ära tabelis (Tabel 3.2). Võrreldud on tööpõhimõtet, toitepinget, täpsust, antenni, külma TTFF aega ja mooduli hinda. Kuna SimpleRTK2B ZED-F9P moodulit on võimalik erinevalt komplekteerida ning kasutada erinevaid parandusmeetodeid, siis on need eraldi välja toodud.

TPS-majaka komponentide summaks on lähtetingimustes toodud 100 eurot. Selle tõttu ei saa kasutada SimpleRTK2B ZED-F9P moodulit, kuigi kasutades PPP-RTK parandusmeetodit saavutataks nõuetes soovitud täpsus. Lisaks vajab antud moodul eraldi paljuribalist antenni. U-BLOX NEO-7M ja AI-Thinker BG01-T moodulid on sama positsioneerimistäpsusega ning mõlemal on olemas antenn, kuid BG01-T moodul on soodsam ning kiirema külma TTFF ajaga. NEO-7M moodulile saab lisada ka välise antenni, mis on hea tuleviku perspektiivi mõttes. Lisaks on sellel moodulil võimalik kasutada ka 5 – 3,3 V toitepinget, mis annab suurema valikuvõimaluse toitesüsteemi ülesehitamisel. Need teevad sellest moodulist parima variandi tingimusi arvestades.

Tabel 3.2 GNSS seadmed

Nimetus	Tööpõhimõte		Toitepinge	Täpsus	Antenn	Külm TTFF	Kuum TTFF**	Hind
	Üldine	Parandusmeetod						
SimpleRTK2B ZED-F9P	GNSS	PPP-RTK	3,3 – 5 V	< 4 cm	GNSS paljuribaline antenn	25 – 30 s	2 s	845 €
		PPP		-				449 €
		RTK*		< 1 cm				
		SBAS		< 1 m				
		-		< 1,5 m				221 €
U-BLOX NEO-7M	GNSS	SBAS	3,3 – 5 V	2,0 m	Keraamiline või lisatav	30 s	1 s	32,59 €
		-		2,5 m				
AI-Thinker BG01-T	GNSS	SBAS	5 V	-	Keraamiline (2 dB)	27,5 s	< 1 s	15 €
		-		2,5 m				

\*RTK meetod vajab referentsjaama

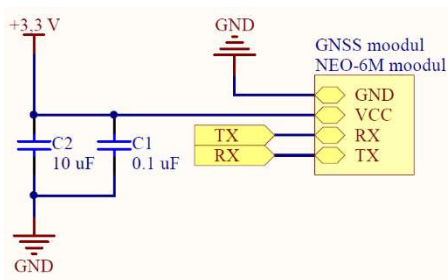
\*\* Kuum TTFF – on eelnevate andmete abil esmase positsioneerimise kiirus

TPS-majaka arendamiseks kasutatakse U-BLOX NEO-7M vanemat versiooni NEO-6M. Antud moodul on TPS-majaka prototüübi arendamiseks saadaval juhendaja poolt ning omab sarnaseid parameetreid nagu uuem 7M versioon [50], lisaks on selle hind soodsam, kuna tegemist on vanema mudeliga (5,5 eurot [51]). TPS-majakaga on tegu prototüübi arendamisega - odavamate või olemasolevate komponentide kasutamine on soovituslik, hiljem saab odavamad komponendid asendada täpsemate positsioneerimismoodulitega. Kuna mooduli täpsus jääb alla lähtetingimustes soovitud, siis sobib seda GNSS-moodulit kasutada esimeses positsioneerimise etapis.

### 3.2.3 GNSS-majaka rakendamine

U-BLOX NEO-6M on GNSS-moodul, mis on suuteline kasutama GPS-satelliitsüsteemi. Mooduli ühendamisskeem on toodud joonisel (Joonis 3.4). Moodul töötab iseseisva süsteemina ja TX ja RX ühenduste abil saab luua järjestiksuhtluse teiste seadmetega. Toitepinge peab jääma vahemikku 3,3 – 5 V: olemasoleval moodulil on oma pingeregulaator, NEO-6M kiibi stabiilse toite tagamiseks. Lisaks on moodulil eraldi aku,

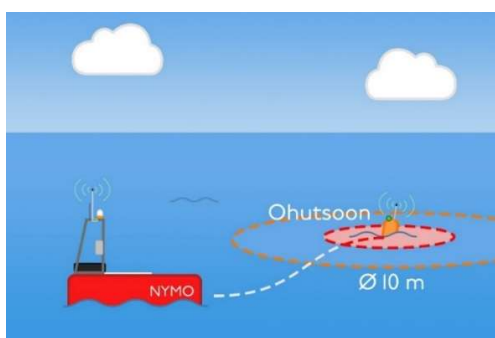
mis võimaldab toite kadumisel hoida alles viimaseid andmeid positsioneerimise kohta, ning läbi selle kiirendada esmase positsioneerimise kiirust. [52]



Joonis 3.4 GNSS majaka elektroonikaskeem

### 3.2.4 Ohutsooni loomine

Eelnevalt valitud GNSS-mooduli positsioneerimistäpsus ei vasta lähteülesande nõuetele. BG01-T moodulit saab kasutada positsioneerimise esimeses etapis, kuid teise etapi jaoks on vaja lahendust, mille positsioneerimistäpsus on vähemalt 10 cm. Sellise suhteliselt kõrge täpsuse eesmärgiks on vältida kokkupõrget majaka ja robotlaeva vahel - luuakse ohutsoon ümber majaka. Lahenduse, mis loob ohutsooni, tööraadius peab olema 10 m, kuna ümberlülitumine teise etapi peale toimub 10 m kauguselt (Joonis 3.5).



Joonis 3.5 TPS majaka ohutsoon

Ohutsooni loomiseks saab kasutada majakapoolt edastatava raadiosignaali tugevusemõõtmist. Madala energiatarbimisega Bluetooth (ingl *Bluetooth Low Energy*), edaspidi BLE, on raadiosuhtlus protokoll, mis on mõeldud asjade interneti seadmetel kasutamiseks. BLE eesmärgiks ei ole mitte suurte andmete edastus, vaid seadmete leidmine ja ühendamine madala energia tarbimise juures. Vastuvõetud signaalitugevuse indeksi ehk RSSI alusel saab määrata ka kauguse saatja ja vastuvõtja vahel RSS valemi abil: [53]

$$RSS = RSS_0 - 10 \cdot p \cdot \log_{10} \left( \frac{d}{d_0} \right) + v \quad [53] \quad (3.1)$$

Valemis  $RSS$  on signaali tugevus detsibellides,  $RSS_0$  on  $RSS$  keskmine väärtus referentskauguse juures  $d_0 = 1$  m,  $d$  on kaugus saatja ja vastuvõtja vahel,  $p$  on keskkonnast tingitud tegur ning  $v$  on  $RSS$  standardhälve, mis iseloomustab mõõtevea teket. Kauguse täpsemaks määramiseks saab muuta tegureid  $RSS_0$  ja  $p$ . [53]

$RSS$  väärtuse mõõtmisel tuleks teha 10 mõõtmist iga tulemuse kohta. Mõõtmisel tekkivate vigade eemaldamiseks kasutatakse alguses mediaanfiltrit - 10 viimast mõõte tulemust sorteeritakse ning leitakse mediaan. Leitud mediaani alusel arvutatakse kaugus. Müra vähendamiseks võib kasutada lisaks ühe dimensioonilist Kalmani filtrit. [54]

Hetkel kasutatav BLE on soodne lahendus katsetada kahe etapilist positsioneerimist TPS-majakaga, et hoida kokku GNSS-mooduli maksumuselt. Väga palju lubav tehnoloogia selle asendamiseks on Ultra lairiba (ingl *Ultra-wideband*), edaspidi UWB, mis on kõrge andmeedastuse ja madala võimsusega raadioside protokoll [55]. UWB tehnoloogiat kasutades on võimalik saavutada sentimeetri tasemel positsioneerimist. Soodsamaid vahendeid kasutades on saavutatud 10 cm täpsusega positsioneerimine [55]. Siiaani pigem uuritud kui siseruumides kasutatavat tehnoloogiat, kuid omab ka palju potentsiaali välitingimustes [55].

### 3.3 Kontroller ja juhtimissüsteem

Juhtimissüsteemi loomiseks on vaja sobivat mikrokontrollerit, mis hakkab teostama kogu TPS-majaka juhtimisloogika teostamist. Järgnevalt võrreldakse kolme turul levinud kontrollerit: Arduino Nano, Raspberry Pi Pico ja ESP32.

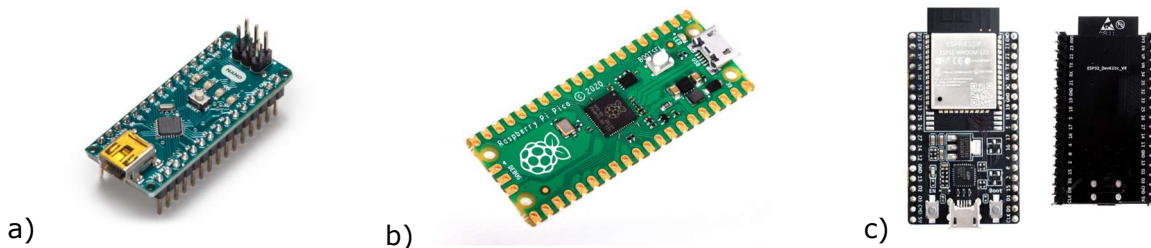
#### 3.3.1 Kontrolleri valik

**Arduino Nano** on üks väiksemaid Arduino mikrokontrolleri plaat, mis töötab ATmega328 kontrolleri põhjal (Joonis 3.6). Nano töötab 5 V pingega ja plaadil on pingeregulaator, mille sisendpinge on 7 – 12 V. Keskmine voolu tarbimine on 19 mA. ATmega328 töösagedus 16 MHz ja muutmälu SRAM suurus 2 KB. Lisaks on kontrolleril 1 KB püsimälu ja 32 KB välmälu. Arendusplaadil on 8 analoogsisendit ja 22 digitaalset sisendit. Arendusplaadi hind on 20 eurot. [56]

**Raspberry Pi Pico** on kõige väiksem Raspberry poolt pakutav plaat, mille mikrokontrolleri kiibiks on RP2040 (Joonis 3.6). Pico protsessoriks on kahetuumaline Arm Cortex-M0+ protsessor, mille töösagedus 133 MHz. Plaadil on muutmälu SRAM 264

KB ja välmälu 2 MB. Plaadi sisendid töötavad pingega 3,3 V ja plaadi toitepinge vahemik on 1,8 – 5,5 V. Plaadil on 3 analoogsisendit ja 23 digitaalset sisendit. Olenevalt plaadi olekust võib olla tarbitav vooluhulk kas 88,9; 1,3 või 0,8 mA. Plaadi hind ametliku edasimüüja juures on 6,59 eurot [57]. [58]

**ESP32 Wroom-32D** on Espressif poolt pakutav plaat, mis on suuteline Wi-Fi ja Bluetooth ühendamiseks (Joonis 3.6). ESP32 protsessoriks on ESP32-D0WD, mille töösagedus on 40 MHz. Plaadil on välmälu 4MB ja muutmälu SRAM 520 KB. Lisaks on ka 8 KB muutmälu, mis ei kustuta andmeid kui kontrolleri läheb vähendatud võimsuse olekusse või „magama“. Plaadi ühendamiseks on võimalik kasutada Wi-Fi’ 802.11 b/g/n ja Bluetoothi h v4.2 BR/EDR. Lisaks on plaadil sisse integreeritud antenn. Plaadi tööpinge on 3,3 V ja arendusplaadi toiteks saab kasutada sisendpinget vahemikus 4,75 – 12 V [59]. Sisendeid on ESP32 plaadil 38 tükki, millest 20 on analoogsisendid. Plaadi hind on 19,20 € [60]. [61]



Joonis 3.6 a) Arduino Nano [56], b) Raspberry Pi Pico plaat [57], c) ESP32 Wroom-32D plaat [60]

### 3.3.2 Kontrolleri võrdlus

Kolme mikrokontrolleri parameetreid on toodud ära tabelis (Tabel 3.3). Võrreldud on protsessorit, tööpinget, töösagedust, muut-, püsi- ja välmälu hulka, toitepinge sisendi suurust, voolutarbimist, analoog- ja digitaalsisendite hulka, erinevate sidelahenduste olemasolu ning hinda.

Tabel 3.3 Mikrokontrollerite võrdlus

Nimetus	Arduino Nano	Raspberry Pi Pico	ESP32 Wroom-32D
Protsessor	ATmega328	Arm Cortex-M0+	ESP32-D0WD
Tööpinge	5 V	3,3 V	3,3 V
Töösagedus	16 MHz	133 MHz	40 MHz
Muutmälu	2 KB	264 KB	520 KB (8 KB)

Tabel 3.3 järg

Nimetus	Arduino Nano	Raspberry Pi Pico	ESP32 Wroom-32D
Püsimälu	1 KB	-	-
Välkmälu	30 KB	2 MB	4 MB
Sisendpinge toiteks	7 – 12 V	1,8 – 5,5 V	4,75 – 12 V
Voolutarbimine	19 mA	88,9 mA	80 mA
Analoog- / Digitaalsisendid	8 / 22	3 / 23	20 / 38
Bluetooth	-	-	Bluetooth h v4.2 BR/EDR
Wi-Fi	-	-	802.11 b/g/n
Hind	20 €	6,59 €	19,20 €

Arduino Nano on kõige nõrgem kolmest kontrollierist vähese võimsuse, kuid suure hinna tõttu. Siiski on Nano ainuke kontrollier kolmest, millel on olemasolev püsimälu plaadil. Raspberry Pi Pico ja ESP32 Wroom-32D erinevused on väiksemad: voolutarbimine ja tööpinge on sarnased. Pico töökiirus on ca kolm korda kiirem ning hind ka peaaegu kolm korda soodsam. ESP32 kontrollieri mälu hulk on ca kaks korda suurem, plaati saab toita kuni 12 V pingega ning ka analoogsisendite arv on suurem. Lisaks on plaadil ka integreeritud raadio sidelahendused: Wi-Fi ja Bluetooth.

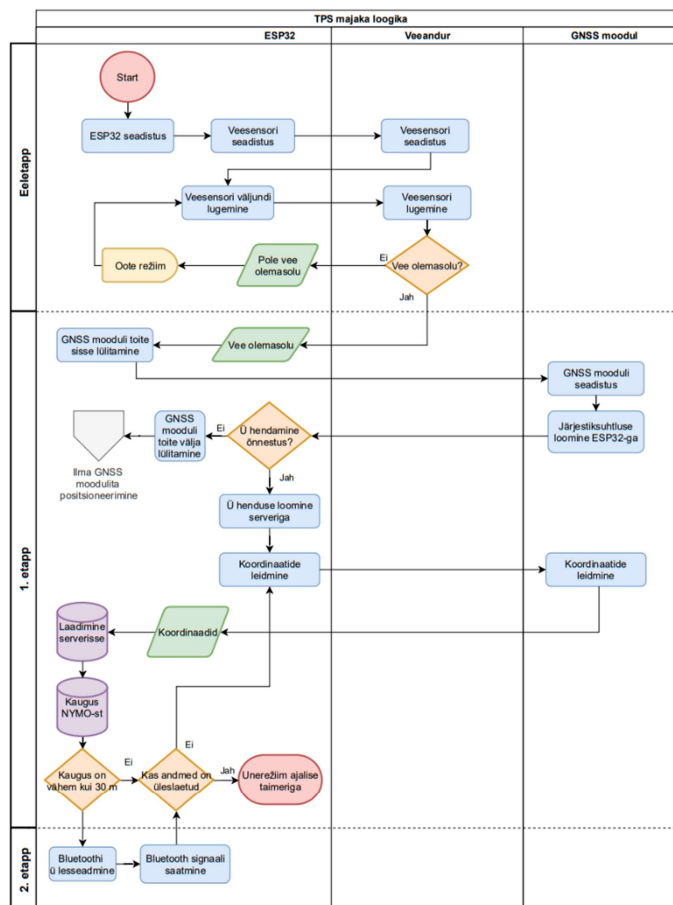
Mikrokontrollieriks kasutatakse ESP32 kontrollierit, teostatav lahendus on adapteeruv tulevikulahendustega. Otsustavaks oli olemasolev võimalus kasutada ühendamiseks Wi-Fi või Bluetoothi. See annab võimaluse teostada ohustoon TPS-majakal ja kommunikatsiooni NYMO-ga ilma lisa komponentidena. Lisaks on toitepinge vahemikud sarnasemad eelnevalt valitud komponentidega.

### 3.3.3 Kontrollieri juhtimisloogika ja selle teostamine

Valitud kontrollier TPS majaka juhtimisloogika seob oma vahel veesensori, GNSS majaka ning ESP32 kontrollieri. Juhtimisloogika koosneb kolmest etapist:

- Eeletapp – kontrollier ning veesensor seadistatakse ning kontrollitakse vee olemasolu.
- 1. etapp – TPS majakas on vees ning asutakse edastama koordinaate NYMO robotlaevale.
- 2. etapp – NYMO robotlaev on piisavalt lähedal Bluetooth suhtluse loomiseks ning läbi selle ohustooni loomiseks TPS majaka jaoks. Kontrollitakse, kas TPS majakas on vees või välja võetud juba.

Juhtimisloogika algoritm on toodud joonisel (Joonis 3.7). Loogika on jaotatud kolme tulpa vastavalt moodulitele (kontroller, andur, GNSS-moodul). Siniste elementidega on toodud välja tegevused, rohelised elemendid on andmed, oranžid elemendid on kontrollid, kollased elemendid on ajalised ooted, lillad elemendid tähistavad andmebaase serveris ning punased elemendid on algus ja lõpp. Lisaks on toodud hall element, mis tähistab joonise välist erandjuhtumil kasutatavat algoritmi jätku.

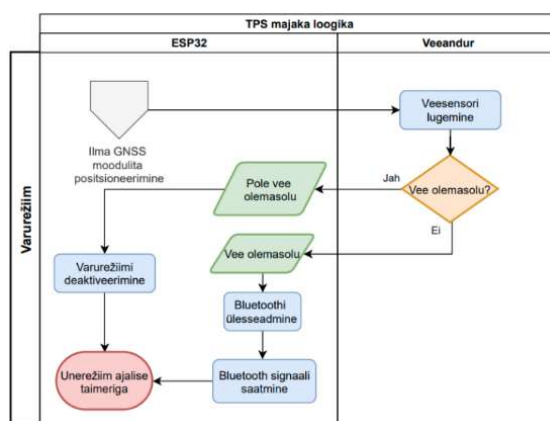


Joonis 3.7 TPS majaka juhtimisloogika

Kui seade sisse lülitada seadistatakse esimesed seadmed ja alustatakse jälgimist eeletpis, kas majakas on vees. Ooterežiimis kontrollitakse veesensori sisendit passiivselt ja kontroller on tegelikult unerežiimis. Kui leitakse vee olemasolu, siis sisend on kõrge, kontroller aktiveerub unerežiimist ja liigutakse esimesse etappi. Esimeses etapis lülitatakse sisse GNSS-moodul. Suhtlus mooduli ja kontrolleri vahel toimub järjestiksuhtluse abil. Kui suhtluse loomine ebaõnnestub mooduliga siis lülitatakse erand juhul ümber varurežiimi: ilma GNSS-moodulita positsioneerimine. Ühenduse õnnestumisel GNSS-mooduliga leitakse koordinaadid ja laetakse need andmebaasi, kust NYMO robotlaev saab selle alusel võtta sihtpunkti ja leida ligikaudse kauguse majakani. Kui kaugus on vähem kui 30 m siis käivitub 2. etapp. Kauguse alusel saab TPS-majakas sisse lülitada Bluetoothi ja selle kaudu ka teha enda ümber ohutsooni. Kui kõik vajalik

on tehtud siis lülitab kontrolleri ennast taimeriga unerežiimi, et säästa patareide eluiga. Sellega lõppeb ka juhtimisloogika ja ärkamisel algab uuesti „Start“ positsiooni juurest. Koostatud kood ESP32 kontrolleri jaoks on toodud lisa (Lisa 2).

Varurežiimi juhtimisloogika on toodud välja joonisel (Joonis 3.8). Selle aktiveerumisel kasutatakse ainult Bluetooth signaali saatmist ja ohutsooni loomist. NYMO robotlaev võib kasutada signaali ka asukoha leidmiseks vajadusel. Kui ühenduse loomine ebaõnnestub, siis jääb TPS-majakas ootele ning proovib teatud aja möödumisel uuesti.



Joonis 3.8 TPS majaka varurežiim

## 3.4 Elektroonikasüsteem

Süsteem koosneb kolmest põhilisest komponendist: kontrolleri, veeanduri ja GNSS moodul. Kontrolleri peab lugema veeanduri väärtust ning olema ühendatud GNSS mooduliga TX-RX ühenduste kaudu. Kõik komponendid peavad olema ühendatud toite ja maandusega.

### 3.4.1 Toitesüsteem

Komponentide toitepinged ja keskmised voolud on toodud tabelis (Tabel 3.4). ESP32 kontrolleri on võimalik ühendada toitesüsteemi kahe erineva pingega abil: 3,3 V toitepinge ning ühendada otse kontrolleri, ning võib kõikuda  $\pm 0,3$  V [61] või kasutada arendusplaadil olevat pingeregulaatorit AMS1117-3.3 [62], mille sisendpinge on vahemikus 4,75 – 12 V [59]. Keskmise voolu kontrolleri on 80 mA [61]. Veeanduri toitepinge on vahemikus 5 – 24 V ja keskmine tarbitav vool on 5 mA [33], katsetuste käigus leitud, et sensor töötab ka 3,3 V juures ja on aeglasema reageerimisega, kuid see on sobivam TPS-majaka jaoks. GNSS-mooduli toitepinge vahemik on 3 – 5 V [63].



Mooduli andmelehes on toodud kaks erinevat tarbimisvoolu: „tavaline režiimis“ 39 mA ja „säätürežiimis“ 11 mA [50].

Tabel 3.4 komponentide toitepinged ja voolud

Seade	Toitepinge	Vool keskmine
ESP32	3,3 V ± 0,3 V	80 mA
	4,75 – 12 V	
Veeandur	(3,3 - ) 5 – 24 V	5 mA
GNSS moodul	3 – 5 V	39 mA (tavaline režiim)
		11 mA (Säästu režiim)

Kuna toitesüsteemi abil töötavad erinevad komponendid siis tuleb projekteerida kõikidele parameetritele sobiv süsteem. Veeanduri ja GNSS-mooduli minimaalne toitepinge on 3,3 V, see tähendab, et nende toitmiseks saab kasutada ESP32 arendusplaadil olemasolevat pingeregulaatorit, mille toitepinge 4,3 – 15 V. Sellisel juhul saaks kasutada süsteemi toitepingeks vahemiku 4,75 – 12 V.

TPS-majakas on prototüüp, mille eelarve on minimaalne ning fikseeritud lähtetingimustes. Kuna TPS majakas on mobiilne, siis peab toitesüsteem töötama akude või patareide pealt. Eelarve vähendamiseks kasutatakse süsteemis patareid, kuid sellist lahendust kasutades peab arvesse võtma patareide poolt tekitatud pinge vähenemist aja jooksul [64]. Kuna ESP32 pingeregulaatori sisendpinge võimalikud muutused on vastavalt 7,25 V, siis see ei mõjutaks moodulit. Patarei väljundpinge peab jääma üle 5 V. Selle tõttu kasutatakse toitesüsteemis allikana 9V patareid ja prototüübi arendamisel olemasolevaid vastavaid 9 V patarei-ühendusi. 9 V patarei väljundpinge võib langeda kuni 5,4 V juurde [65].

Kasutatava patarei mahtuvus on 580 milliampertundi (mAh), ja see näitab, et patarei töötab tund aega 580 mA väljundvoolu juures. Toitesüsteemi keskmiseks vooluks liidame komponentide voolud kokku, kus  $I_x$  on vastava elemendi vool:

$$I_{keskmine} = I_{ESP32} + I_{veeandur} + I_{GNSSmoodul} = 80 + 5 + \frac{39+11}{2} = 110 \text{ mA} \quad (3.2)$$

Lähteülesande alusel peab süsteem töötama vähemalt 6 h. See tähendab, et TPS majaka toitesüsteem tarbib keskmiselt 110 mA. Energiasalvestite mahu arvutame nende andmete pealt:

$$Q_{minimaalne} = I_{keskmine} \cdot t_{minimaalne} = 110 \cdot 6 = 660 \text{ mAh} \quad (3.3)$$

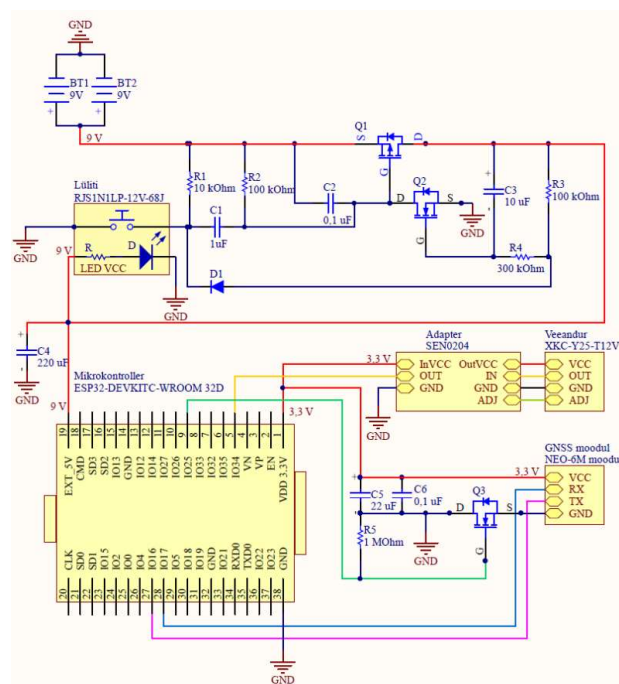
Kus  $Q_{\text{minimaalne}}$  on energiasalvestite minimaalne mahutavus,  $I_{\text{keskmine}}$  on tarbitav vool ja  $t_{\text{minimaalne}}$  on minimaalne tööaeg. Kuna ESP32 kasutab teises ja esimeses positsioneerimise etapis erinevaid sidelahendusi, mis võivad keskmist voolutarbimist tõsta siis tuleb toitesüsteemi planeerimisel sisse arvestada ka varu -planeerime veerand ehk 25% varu. Selle abil saab uue võimsuse arvutada:

$$Q_{\text{keskmine}} = 660 \cdot 1,25 = 825 \text{ mAh} \quad (3.4)$$

Leitud soovitatav akumaht on suurem kui 9 V aku maht. Ühendades kaks 9 V patareid rööbiti saame kahekordistada akumahtuvus: 1160 mAh.

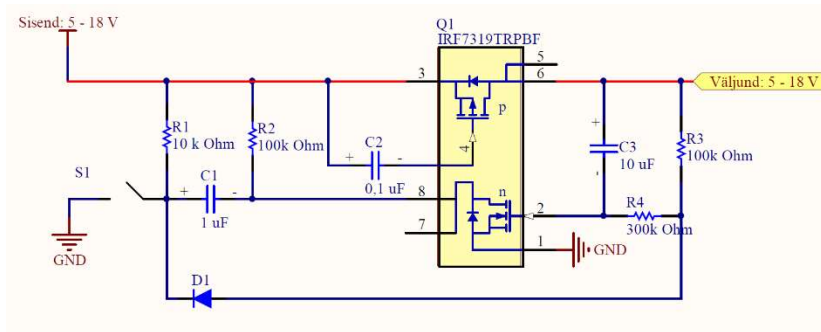
### 3.4.2 Elektroonikaskeem

Eelnevalt määratud komponentide alusel koostatakse elektroonikaskeem (Joonis 3.9), mis sisaldab veesensorit, GNSS moodulit, mikrokontrollerit ja nende toitesüsteemi. Lisaks projekteeritud on vajalikud tugikomponendid ja ühendused.



Joonis 3.9 TPS majaka elektroonikaskeem

Toiteks kasutatakse kahte 9 V patareid, et pikendada toitesüsteemi tööaja kestvust. Süsteemi saab sisse ja välja lülitada veekindla nupuga RJS1N1LP-16M-F-R-B-BS-12V-68J, mille küljes on lisaks LED-lamp. Selle abil on võimalik kasutajal tuvastada, kas süsteem töötab. Nuppu vajutades lülitab süsteemi sisse topelt MOSFET, hoides nuppu all saab süsteemi välja lülitada (aega reguleerib C3 kondenssaator) (vt Joonis 3.10) [66]. Lülitus skeemist ühendub edasi 9 V mikrokontrollerisse.

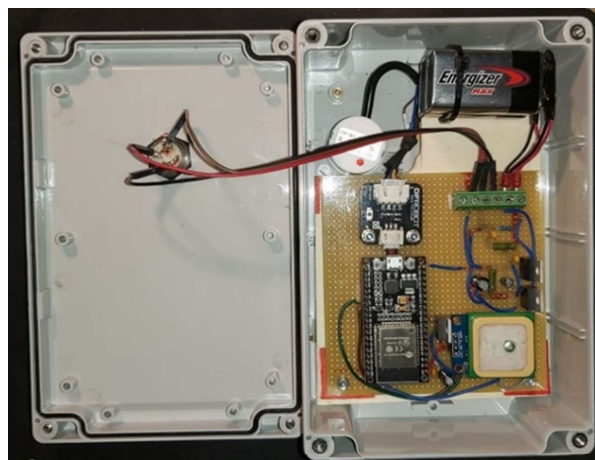


Joonis 3.10 Lülitusskeem [66]

Mikrokontroleri plaadil on peal pingeregulaator , mille väljund on 3,3 V. Ülejäänud komponentide toide on ühendatud selle väljundisse VDD 3,3 V. Pingeregulaatori sisendi (EXT 5V) ja väljundi juures (VDD 3,3 V) on kondensaatorid (C4 = 200  $\mu$ F ja C5 = 20  $\mu$ F), et voolutarbimiste kõikumiste puhul ei katkeks süsteemi töö. Lisaks on lisatud GNSS-mooduli ette veel üks kondensaator C6, mille mahtuvus on 0.1  $\mu$ F. See süsteem tagab GNSS-mooduli katkematu töö 3,3 V juures. Kõik komponendid on maandatud GND-ühenduste kaudu.

Mikrokontroller on ühendatud TX-RX ühenduste kaudu GNSS-mooduliga, et oleks võimaldatud järjestiksuhtlus. IO34 ühenduse kaudu on ühendatud veesensori adapteri controlleriga. Veesensori adapteri maksimaalne väljundpinge on võrdne sisendpingega, milleks on 3,3 V. Mikrokontroller saab juhtida MOSFET transistori Q3 (ESP32 ühendus IO25 ja MOSFET ühendus 1) ja läbi selle juhtida GNSS-mooduli tööd. Lisaks on veesensori adapter ja veesensor oma vahel ühendatud vastavate ühenduste kaudu: outVCC - VCC; IN - OUT; GND - GND; ADJ - ADJ.

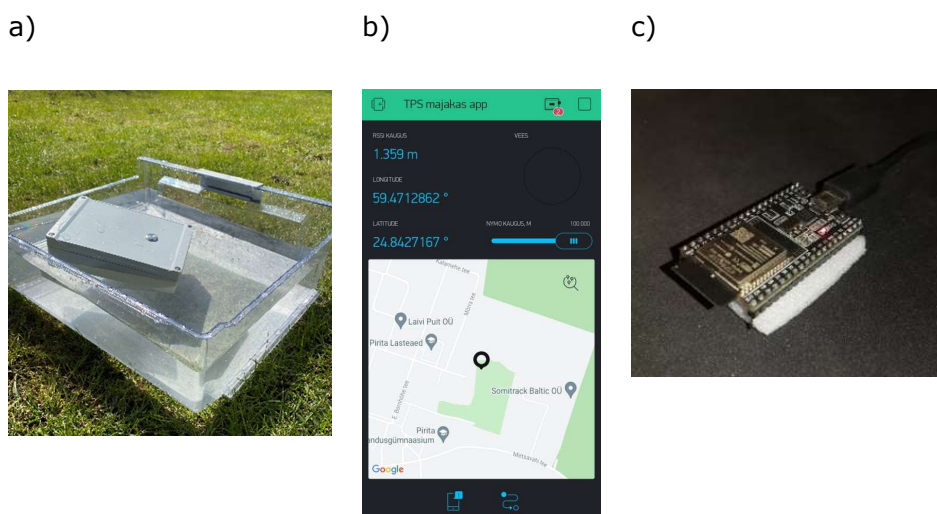
Elektriskeemi alusel koostatud süsteemi on näha joonisel (Joonis 3.11).



Joonis 3.11 Teostatud TPS majakas

## 4. KATSETAMINE JA ANALÜÜS

Katsetuste jaoks ja kasutajaliidese simuleerimiseks kasutatakse Blynk keskkonnas loodud telefoni rakendus (Joonis 4.1). Rakenduses on välja toodud: eraldi koordinaatide pikkus- ja laiuskraadid ning mäрге ka kaardil; tuluke näitamaks, kas majakas on vees; Kaugus arvutatud kasutades RSSI meetodit; slaider simuleerimiseks TPS-majaka kaugust NYMO-st. Lisaks rakendusele simuleeritakse NYMO robotlaeva ka samasuguse ESP32 arendusplaatiga, nagu kasutab TPS-majakas (Joonis 4.1). Majakas suhtleb Blynk keskkonna serveriga Wi-Fi kaudu.



Joonis 4.1 a) TPS majakas testimisel, b) rakendus, c) NYMO simuleerimine ESP32-ga

### 4.1 TPS-majaka aktiveerimise katsed

Kui majakas on sisse lülitatud ja majakas ei ole vees, siis läheb TPS-majakas oote režiimile aku säästmiseks ning aktiveerub, kui sensori tuvastab vee olemasolu. Aktiveerumise aja määramiseks tehti kümme katset: viis eelnevalt positioneeritud süsteemiga ja viis külma TTFF-ga. Mõõdeti aega mikrokontrolleri aktiveerumiseni, serveriga ühendumise saavutamiseni ning GPS-koordinaatide saamiseni. Tulemused on toodud tabelis (Tabel 4.1). ja tabelis 4.2. Leitud andmeid töödeldi Excelis: andmete keskmine kasutades AVERAGE käsklust ja standard hälve kasutades STDEV.P käsklust.

Tabel 4.1 Aktiveerimisega katsete tulemused, eelnevalt positsioneeritud

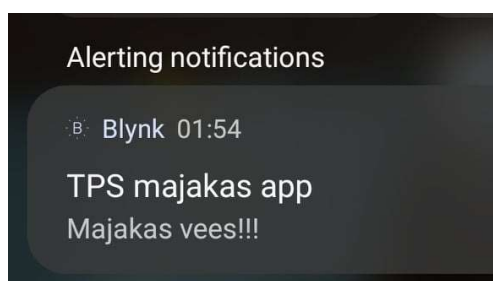
Katse number	1.	2.	3.	4.	5.	Keskmine	Standardhälve
Aeg aktiveerumiseni $t_1$ , s	0,88	0,91	0,85	0,95	0,77	0,87	0,061
Aeg serveriga ühendumiseni $t_2$ , s	5,58	5,48	5,23	5,62	5,43	5,47	0,137
Aeg GPS koordinaatide saamiseni $t_3$ , s	20,34	19,44	20,02	20,10	20,04	19,99	0,297
Kogu aeg $t$ , s	22,34	21,54	22,02	22,40	22,24	22,11	0,312

Tabel 4.2 Aktiveerimisega katsete tulemused, külm TTFF

Katse number	1	2	3	4	5	Keskmine	Standardhälve
Aeg aktiveerumiseni $t_1$ , s	0,89	0,77	0,78	0,95	0,95	0,87	0,079
Aeg serveriga ühendumiseni $t_2$ , s	6,01	5,03	5,84	5,67	5,61	5,63	0,332
Aeg GPS koordinaatide saamiseni $t_3$ , s	57,87	49,94	53,03	59,02	52,45	54,46	3,433
Kogu aeg $t$ , s	60,03	51,793	55,15	61,48	54,88	56,67	3,570

TPS majakas aktiveerub vette kukkudes keskmiselt 0,87 sekundiga ja sellest alates läheb positsioneerimiseks esimesel korral, ehk külm TTFF, keskmiselt 56,67 sekundit ja edasi keskmiselt 22,11 sekundit. Lisaks annab TPS majaka rakendus teada teate ning märguandetulega vette sattumisest (Joonis 4.2). Veekeskkonda paigutades määrati kindlaks, et TPS majakas on veekindel. Katsetamiste käigus ilmnis asjaolu, et sensor tuvastab ka inimese keha kokkupuudet sensori alaga.

a)



b)



Joonis 4.2 a) teavitus ja b) märguandetuli

## 4.2 GNSS-süsteemi katsed

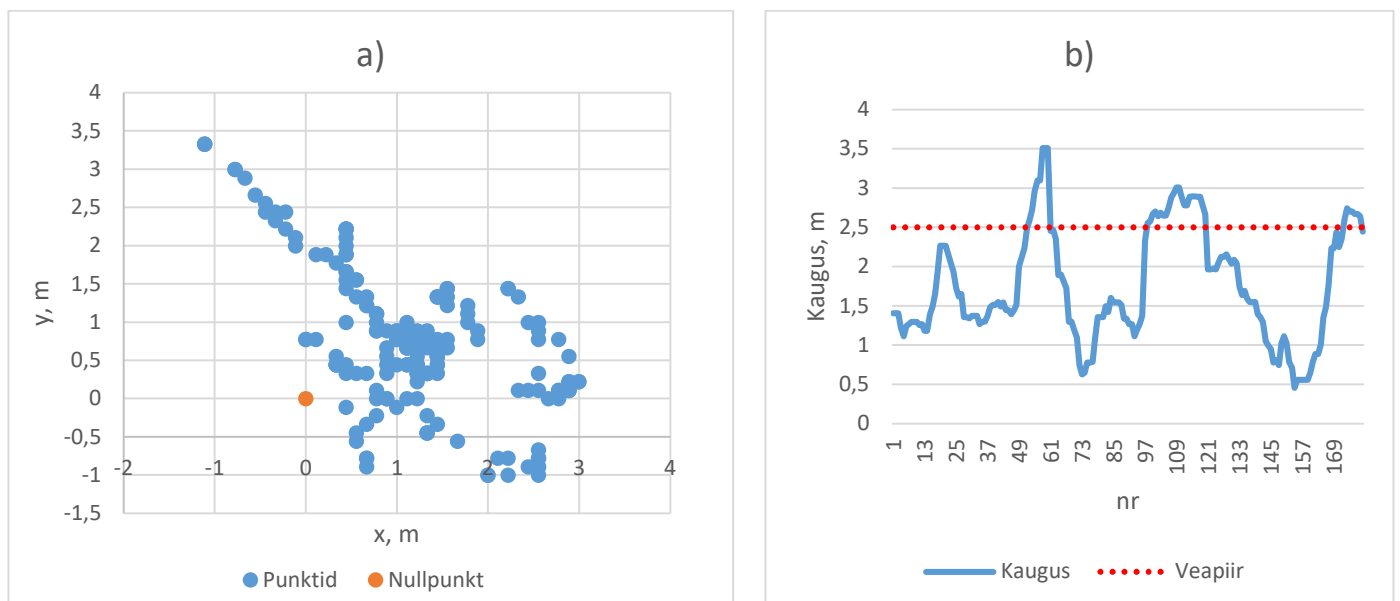
GNSS mooduli täpsuse mõõtmiseks tehti statsionaarne ja dünaamiline katse. Statsionaarse katse jaoks paigutati TPS-majakas kindlaks määratud koordinaatidega asukohta ja koguti 120 andmepunkti sellest asukohast. Asukoha koordinaadid saadi Maa-ameti GIS-X kaardilt: 59,470384 laiuskraadi ( $X_0$ ) ja 24,84272 pikkuskraadi ( $Y_0$ ) [67]. Kasutatud kaart on toodud lisa ( Lisa 3) koos katseandmetega. Katseandmeid töödeldi Excelis. Esmalt teisendati koordinaadid ümber uude koordinaatsüsteemi, kus katse asukoht on nullpunkt: selleks lahutati asukoha vastav koordinaat ( $X_0$  või  $Y_0$ ) kogutud andmete vastavatest koordinaatidest ( $X$  või  $Y$ ). Meetriteks teisendamise jaoks arvestatakse, et üks kraad on ca 111 km [68]:

$$X_{\text{meetrites}} = X_{\text{kraadides}} \cdot 111\,000 \quad (4.1)$$

Kaugus nullpunktist  $R$  leiti Pythagorase teoreemiga, kasutades leitud kauguseid nullpunktist  $X$  ja  $Y$ :

$$R = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad (4.2)$$

Leitud punktid ja kaugused on toodud joonisel (Joonis 4.3). Keskmise kaugus nullpunktist leiti AVERAGE käsklusega: 1,7604 m. Standard hälve leiti STDEV.P käsklusega: 0,7180 m. Kauguseks leiti  $(1,7582 \pm 0,7171)$  m ( $k = 1$ ). Sellisel juhul jääb kauguse maksimaalne väärtus 2,4753 m ( $k = 1$ ) andmelehes lubatud väärtuse piiridesse (2,5 m).



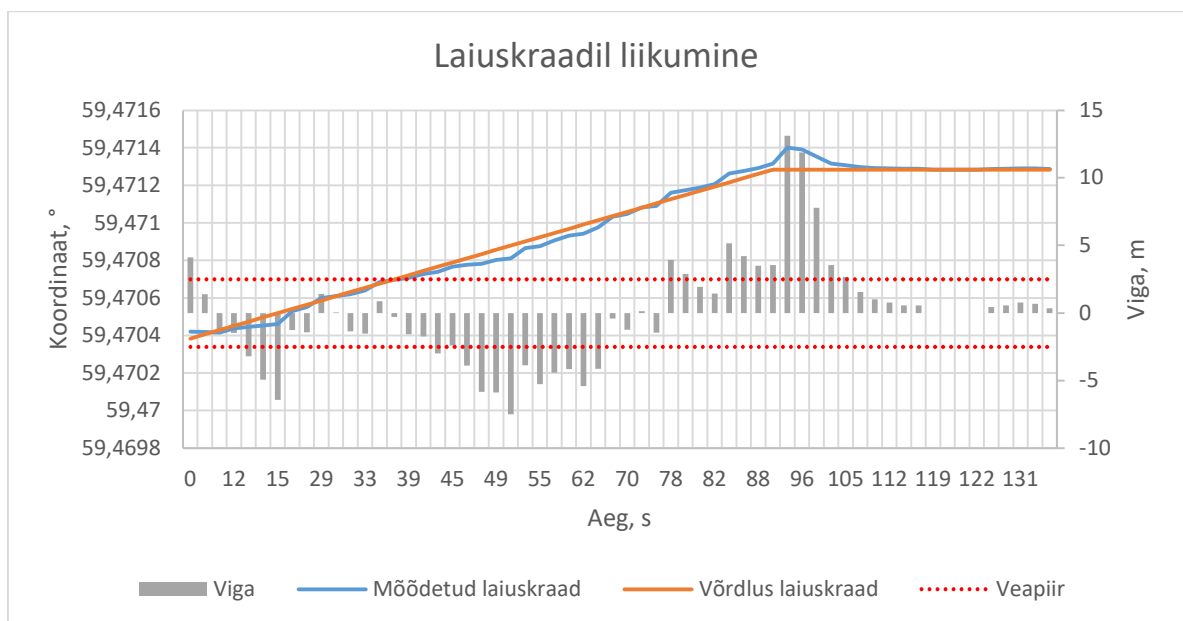
Joonis 4.3 Statsionaarse katse a) hajuvuskaart ja b) nullpunkti kauguse muutumine

Dünaamilise katse jaoks leiti 100 m pikkune lõik, mida oleks võimalik majakaga sirgelt ja ühtlase kiirusega läbida. Katse tegemiseks kasutati staadionit, millel põhiline liikumine toimus mööda laiuskraadi: liiguti 99,79 m mööda laiuskraadi ja 2,4 m mööda pikkuskraadi. Liikumise algus ja lõpp koordinaadid saadi Maa-ameti GIS-X kaardilt: Algus 59,470384 laiuskraadi ( $X_0$ ) ja 24,84272 pikkuskraadi ( $Y_0$ ) ning lõpp 59,471283 laiuskraadi ( $X_1$ ) ja 24,842742 pikkuskraadi ( $Y_1$ ) [64]. Kasutatud kaart on toodud lisa ( Lisa 3) koos katseandmetega.

Katse jaoks läbiti antud 100 m lõik 95 s jooksul ja siis seisti lõpp koordinaatidel 43 s. Katse käigus koguti 60 andmepunkti, leitud andmed on toodud lisa ( Lisa 3). Lõpp koordinaatidele jõudmise ajalise fikseerimise abil saab projekteerida eeldatava teekonna kahes osas: ühtlase kiirusega lõpp-punkti liikumine ja lõpp punktis statsionaarselt olek. Projekteeritud koordinaatide alusel saab võrrelda tegelikke koordinaate:

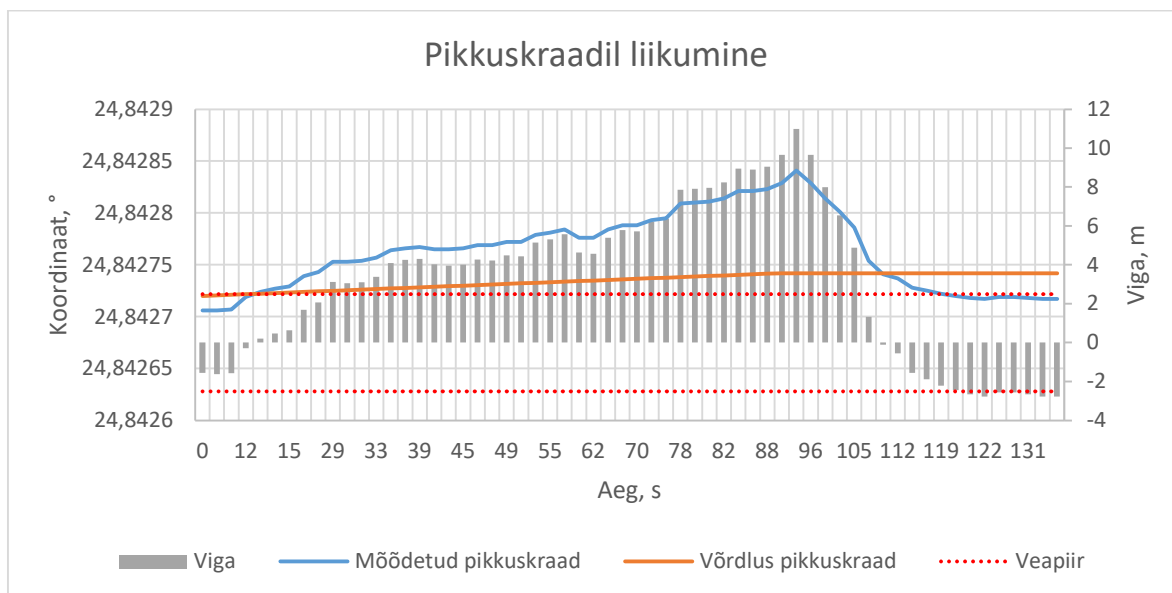
$$\Delta X = X_i - X_{projek.i} \quad (4.3)$$

Leitud erinevus teisendatakse meetriteks eelnevalt kirjeldatud loogika abil. Leitud erinevused kuvatakse koos laius ja pikkuskraadide muutumisega vastavalt joonistel 4.4 ja 4.5. Laiuskraadidel on keskmiseks veaks ( $-0,0805 \pm 3,8652$ ) m ( $k = 1$ ) ning liikuva osa keskmiseks veaks ( $-1,2440 \pm 3,2548$ ) m ( $k = 1$ ). Kõige suurem viga (13,099 m) esines peale liikumise lõppu, kuid siis sumbus ja viga langes tagasi veapiiridesse.



Joonis 4.4 Dünaamiline katse laiuskraadil liikumisega

Pikkuskraadidel on keskmiseks veaks ( $3,1968 \pm 3,9277$ ) m ( $k = 1$ ) ning liikuva osa keskmiseks veaks ( $4,3398 \pm 2,9328$ ) m ( $k = 1$ ). Kõige suurem viga (13,099 m) esines sammuti peale liikumise lõppu, kuid siis langes negatiivseks ja tagasi veapiiridesse. Kuna projekteeritud liikumine pikkuskraadil oli 2,5 m, siis joonisel (Joonis 4.5) näha, kuidas viga suurenes katsekäigus ja alles hakkas vähenema peale liikumise lõppu.



Joonis 4.5 Dünaamiline katse pikkuskraadil liikumisega

Statsionaarse katse tulemuste alusel olid koordinaadid 78 % ajast (kus 100 % on koguaeg antud % on aeg, mille jooksul oli majakas 2,5 kaugusel) 2,5 m raadiuses nullpunktist. Dünaamilise katse käigus aga on näha, kuidas liikudes viga suureneb ajas ja ainult GNSS-mooduliga ei suudeta saavutada lähtetingimustes soovitud täpsust.

### 4.3 Ohutsooni katsed

Nagu eelnevatest GNSS-mooduli katsetest oli näha, siis ei ole leitud täpsus piisav lähtetingimuste rahuldamiseks. Selleks kasutatakse ohutsooni, mis kompenseerib puudulikku täpsust. Ohutsooni katsetamiseks lülitatakse sisse TPS-majaka BLE funktsioon. Selleks vähendatakse mobiili rakendusest NYMO simuleeritud kaugust alla aktiveerimispiiri. BLE signaalitugevust ehk RSS suurus mõõdetakse neljal kaugusel: 30 cm, 1 m, 5 m ja 20 m. Signaalitugevust mõõdab NYMO laeva simuleeriv ESP32 kontrolleri. Mõõdetud väärtus filtreeritakse läbi mediaanfiltri: 10 viimast mõõte tulemust sorteeritakse ning leitakse mediaan, mis edastatakse. Iga kauguse juures leitakse 105 katsepunkti, leitud andmed on toodud lisa (Lisa 4).



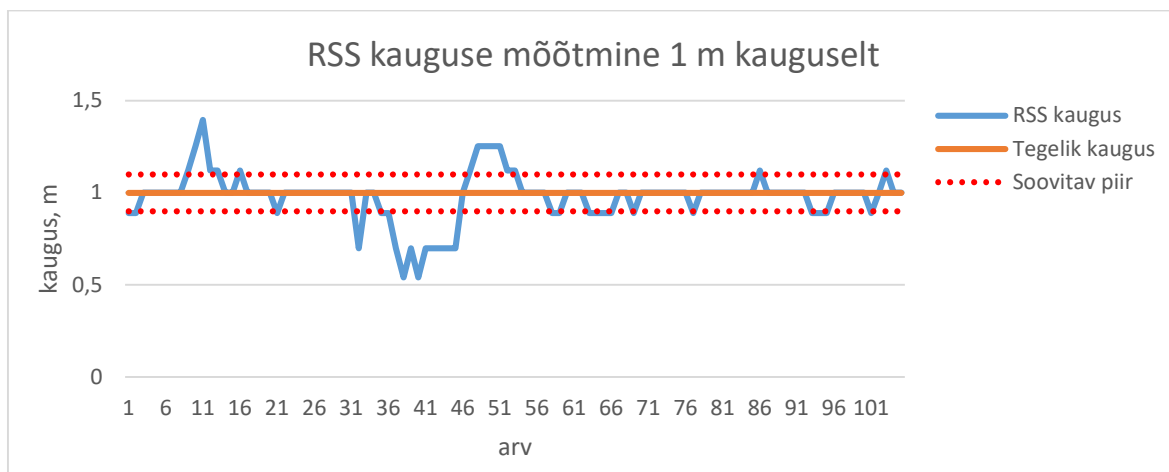
Esimese katsena mõõdetakse RSS suurus 1 m kauguselt. Leitud andmeid töödeldi Excelis: andmete keskmine leiti kasutades AVERAGE käsklust ja standard hälve kasutades STDEV.P käsklust. Keskmine RSS väärtus 1 m juures oli  $(-49,72 \pm 1,27)$  dB. Kauguse leidmiseks kasutatakse eelnevalt toodud valemit (3.1). Avaldatakse kaugus  $d$ , kui  $d_0$  on 1 m:

$$d = 10^{\frac{RSS_0 - RSS}{10 \cdot p}} \quad (4.4)$$

Keskonna teguri  $p$  täiendamiseks seotakse see mõõtetulemustega teguri  $k$  abil:

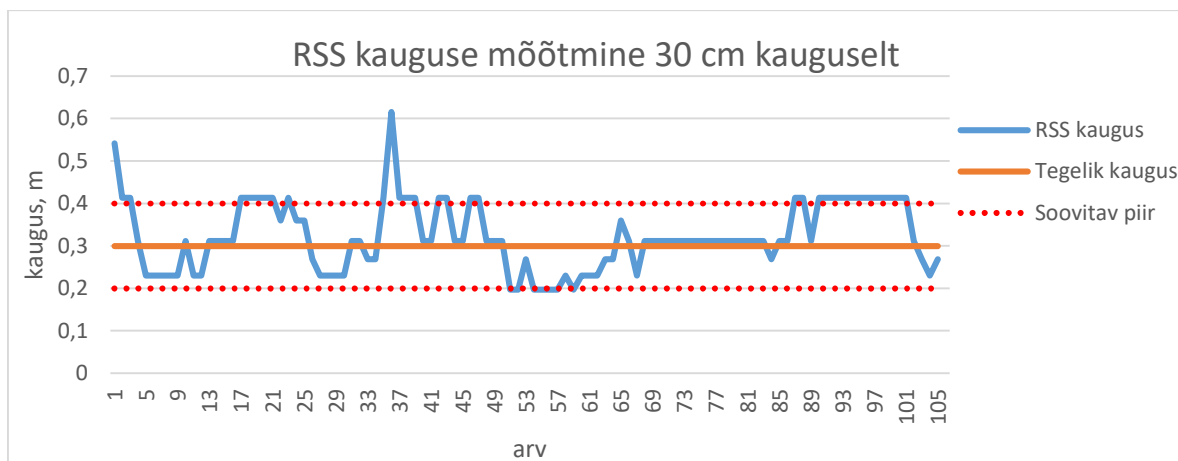
$$d = 10^{10 \cdot (p + \frac{RSS_0 - RS}{k})} \quad (4.5)$$

$RSS_0$  väärtuseks võetakse lähim täisarv leitud RSS-i keskmisele 1 m juures, ehk  $RSS_0 = -50$  dB. Lisaks keskkonna teguri  $p$  väärtus on 2 ja kompenseerimisteguri  $k$  väärtuseks 40 dB. Valemi abil arvutatakse iga RSS väärtuse juures kaugus, tulemused on toodud lisa (Lisa 4). Joonisel (Joonis 4.6) on toodud arvutatud RSS kaugus võrreldes tegeliku kaugusega 1 m, lisatud on soovitud täpsust (10 cm) illustreerivad piirid. Leitud kauguste keskmine koos standard hälbega oli  $(0,977 \pm 0,135)$  m.



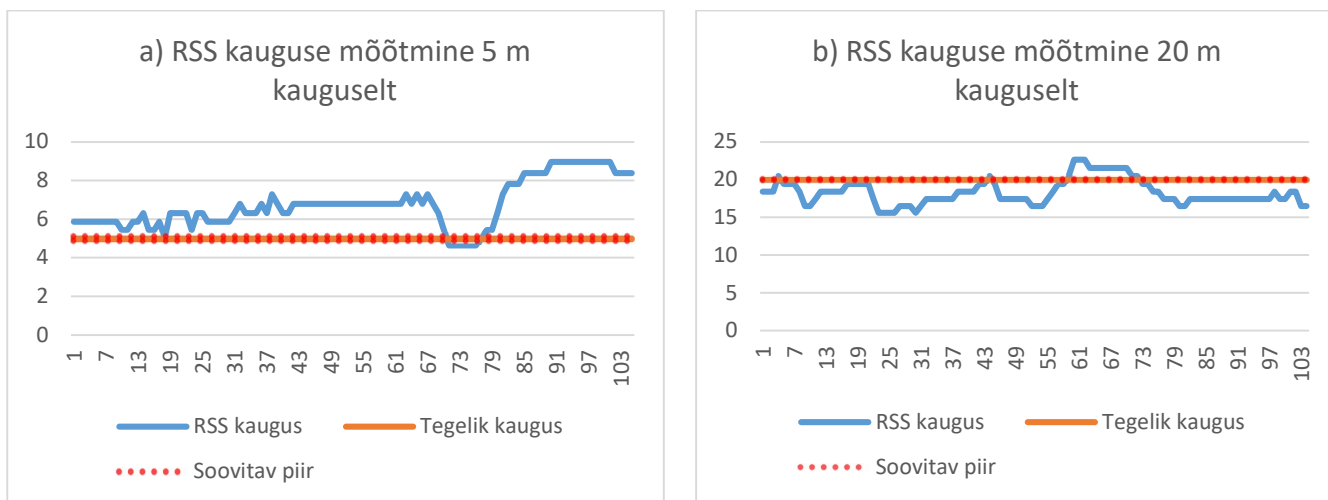
Joonis 4.6 RSS kauguse mõõtmine 1 m kauguselt

RSS mõõtmine 30 cm kauguse puhul on tulemused on toodud lisa 3. Joonisel (Joonis 4.7) on toodud arvutatud RSS kaugus võrreldes tegeliku kaugusega 30 cm, lisatud on soovitud täpsust (10 cm) illustreerivad piirid. Leitud kauguste keskmine koos standard hälbega oli  $(0,323 \pm 0,080)$  m.



Joonis 4.7 RSS kauguse mõõtmine 30 cm kauguselt.

Sammuti on RSS 5m ja 10m kauguselt saadud tulemused toodud lisas (Lisa 4). Joonisel (Joonis 4.8) on toodud arvutatud RSS kaugus võrreldes tegeliku kaugusega vastavalt 5 m ja 20 m juures, lisatud on soovitud täpsust illustreerivad piirid. Leitud kauguste keskmised koos standard hälbega olid vastavalt  $(6,742 \pm 1,198)$  m ja  $(18,304 \pm 1,668)$  m.



Joonis 4.8 RSS kauguse mõõtmine a) 5 m ja b) 20 m kauguselt.

RSS väärtuse mõõtmise järgi on võimalik luua ohutsoon ümber TPS-majaka. Kauguse suurenemisel majakast suureneb ka mõõteviga: minimaalne 0,080 m ja maksimaalne 1,668 m. Siiski saavutatakse lähtetingimustes soovitud mõõtetäpsus (10 cm) olles piisavalt lähedal majakale, mida näitas katse 30 cm kauguselt.

#### 4.4 Toitesüsteemi katsed

Mõõdeti TPS-majaka voolutarbimist erinevate etappide juures. Voolu mõõtmiseks ühendati multimeeter ampermeetriks patarei ja lülituskeemi vahele. Katseandmed on

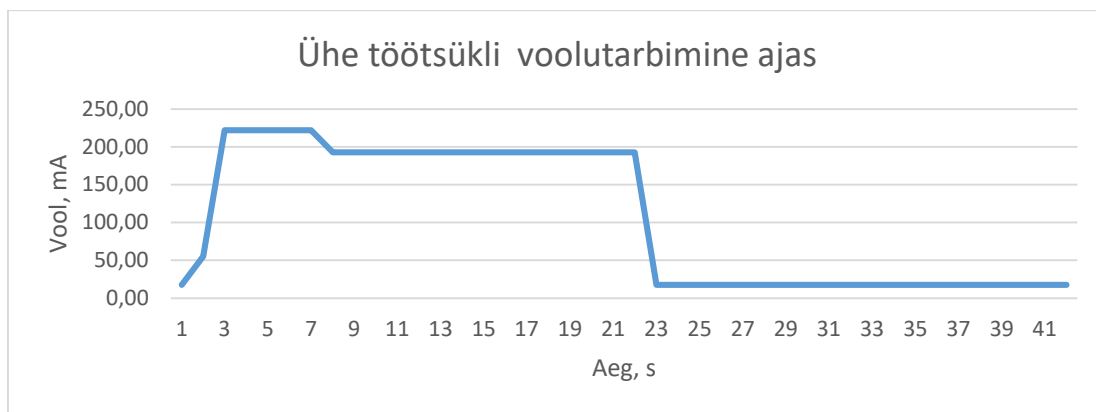
toodud lisas (Lisa 5). Voolu tarbimist leiti neljal erineval juhtumil: eeletapis enne majaka aktiveerimist, eeletapis aktiveerimise ajal, aktiveerituna serveriga ühendumisel ja koordinaatide leidmine. Iga juhtumi jaoks tehti 10 katset ja leitud andmeid töödeldi Excelis. Leiti andmete keskmine kasutades AVERAGE käsklust ja standardhälve kasutades STDEV.P käsklust. Töödeldud andmed on toodud tabelis (Tabel 4.3).

Tabel 4.3 Töödeldud toitesüsteemi andmed

<b>Juhtum</b>	<b>Keskmine, mA</b>	<b>Standardhälve, mA</b>
Eeletapp: aktiveerimise ajal	55,035	0,070
Eeletapp: enne majaka aktiveerimist	17,64	0,030
Aktiveeritud: serveri ühendumine	222,42	1,995
Aktiveeritud: Koordinaatide leidmine	192,64	15,925

Une- ja ooterežiimis on voolutarbimine ( $17,64 \pm 0,070$ ) mA, sellist kõrget tarbimist võivad seletada ebaefektiivne pingemuundur, valmislahendusena ESP32 plaat ja sees olev vedeliku andur. Vette kukkudes aktiveerub majakas ja sellele ajal voolutarbimine tõuseb ca 3 korda ja on ( $55,035 \pm 0,070$ ) mA. Kõige suurem voolutarbimine on serveriga ühenduse loomise ajal Wi-Fi kaudu: ( $222,42 \pm 1,995$ ) mA. Ühenduse loomise järgselt positsioneerib majakas ennast ning laeb alla ja üles andmeid: sellel ajal on voolutarbimine kõige kõikumavam standard hälbega 15,925 mA, tarbitav vool on ( $192,64 \pm 15,925$ ) mA.

Eelnevalt leitud aktiveerimiskatsetuste andmete alusel saame projekteerida ühe töötsükli voolutarbimise kõvera (Joonis 4.9). Keskmiselt kulub 22,11 s TPS-majaka aktiivseks osaks, kuhu kuulus aktiveerumine, serveriga ühendumine ja positsioneerimine. Järgnevalt lülitus majakas unerežiimi peale taimeriga 20 s.



Joonis 4.9 Ühe töötsükli voolutarbimise kõver

Unerežiimi kasutamise abil saab vähendada keskmist voolutarbimist:

$$I_{keskmise} = \frac{I_1 \cdot \Delta t_1 + I_2 \cdot \Delta t_2 + \dots + I_n \cdot \Delta t_n}{t} =$$

$$= \frac{17,64 \cdot 21 + 180 \cdot 15 + 20 \cdot 20}{42} = 105,41 \text{ mA} \quad (4.6)$$

Keskmiseks voolutarbimiseks on 105,41 mA. Elektroonikasüsteemi projekteerimisel oli voolutarbimine 110 mA. Kahe voolutarbimise erinevus on ainult 4,59 mA. Leitud keskmise voolutarbimise abil saab leida TPS-majaka tööaja aktiveerituna ja ooterežiimis. Q on patareimahtuvus,  $I_x$  on keskmine voolutarbimine ja  $t_x$  on süsteemi tööaeg:

$$t_x = \frac{Q}{I_x} \quad (4.7)$$

Q on kahel rööbiti ühendatud 9 V patareil 1160 mAh. Kui majakas on aktiveeritud, siis vool on 105,41 mA ja sellest tulenevalt tööaeg on 11,00 h. See on 5 h rohkem, kui lähteülesandes nõutud. Kui majakas on ooterežiimis ja ei ole veekeskkonnas, siis voolutarbimine on 17,64 mA ja sellest tulenevalt tööaeg on 65,76 h.

## 4.5 Prototüübi maksumuse analüüs

Prototüübi arendamiseks kasutatud komponendid ja nende maksumus on toodud tabelis (Tabel 4.4). TPS-majaka prototüübi arendamiseks kulunud summa on 96,98 eurot. Lähteülesandes on toodud, et maksumus ei tohi ületada 100 eurot: 3,02 eurot jäi üle. Põhikomponentide peale kulus 41,5 eurot, mis on 42,8 % kogumaksumusest. Veekindlate komponentide peale kulus 28,3 eurot, ehk 29,2 %; elektroonikakomponentide peale kulus 16,13 eurot ehk 16,6 %; muude komponentide

peale kulus 11,05 eurot ehk 11,4 %. Protsendi arvutusel võeti 100% väärtuseks kogu summa ja kajastunud % vastavaks väärtuseks alasumma.

Tabel 4.4 Komponentide maksumus

	<b>Komponendid</b>	<b>Tüüp</b>	<b>Hind</b>
<b>Põhikomponendid</b>	XKC-Y25-T12V	Veesensor	16,80 € [32]
	NEO-6M moodul	GNSS moodul	5,5 € [51]
	ESP32 dev board	kontroller	19,20 € [60]
<b>Veekindlad komponendid</b>	1555H2GY	IP68 karp	21,38 € [69]
	RJS1N1LP-16M-F-R-B-BS-12V-68J	IP68 lüliti	6,92 € [70]
<b>Elektronika komponendid</b>	E300115800	9 V patarei 2 tk	13,14 € [71]
	PSMN017-30PL,127	MOSFET N 2 tk	0,87 € [72]
	FQP7P06	MOSFET P	0,94 € [73]
	BAX16TR	Diod	0,26 € [74]
	25YXJ220M6.3X11	Kondensaator 220 µF	0,19 € [75]
	16ML22MEFC4X7	Kondensaator 22 µF	0,286 € [76]
	50ML10MEFC5X7	Kondensaator 10 µF	0,14 € [77]
	50YXJ1M5X11	Kondensaator 1 µF	0,17 € [78]
	MCRH100V104M5X11	Kondensaator 0.1 µF 2 tk	0,12 € [79]
	MF25 300K	Takisti 300 kOhm	0,004 € [80]
	MCF 0.25W 100K	Takisti 100 kOhm 2 tk	0,006 € [81]
	MCMF006FF5101A50	Takisti 10 kOhm 2 tk	0,006 € [82]
	<b>Muu</b>	MC001796	Makettplaat 100x100mm
61303211821		Pinnid 32 tk üks rida	1,33 € [84]
282836-6		Kruviklemmid 6 ühendust	1,76 € [85]
MP000298		Patareiühendused 2 tk	4,10 € [86]
<b>Kokku:</b>			<b>96,98 €</b>

## 4.6 Edasised arendused

Tulemuste alusel vastab TPS-majakas kõigile lähtetingimustele, teatud muganduste abil. Kõige suuremaks probleemiks on positsioneerimissüsteem, mis saavutas soovitud täpsuse alles 30 cm kaugusel majakast. Ohutustsooni eesmärgiks oli kaitsta majakat kokkupõrke eest. Majakale lähenedes ka täpsus kasvas, siis võib lugeda tulemusi rahuldavaks. Edasiseks arendamiseks tuleks katsetada positsioneerimissüsteemi, mis kasutab BLE asemel UWB raadiosignaale ning uuemat GNSS-moodulit (näiteks PPP-RTK GPS-i). Lisaks tuleks asendada 9 V patareid liitium akuga, ning kasutada ESP32 valmismooduli asemel eraldi plaadil olevat kiipi.

Hetkel toimub suhtlus serveri ja simuleeritud NYMO-ga Wi-Fi kaudu. Tuleviku perspektiivis tuleks kasutada, kas mobiilset andmesidet (nt 4G, 5G) ja suhtlus teostada läbi interneti või kasutada raadiosidet ning suhelda otse robotlaevaga. Lisaks tuleks süsteem integreerida NYMO-ga ja teostada reaalsed testimised merel.

Praegune korpus on valmis veekindel lahendus elektrikarbi näol. Uue korpuse disainimisel saaks arvesse võtta ujuvust ning stabiilsemat ehitust. Lisaks saab lisada välised antennid, kas suhtluse või positsioneerimise parandamiseks. Uue korpusega saaks rakendada ka vee tuvastamiseks veega kokkupuutuvaid andureid: praegune andur reageerib nii metallidele, kui ka kasutaja puudutusele.

# KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli ehitada täpse positsioneerimisega raadiomajaka prototüüp, mis suhtleb autonoomse NYMO robotlaevaga. Robotlaeva demonstreerimise ja katsetamise jaoks oli selline majakas väga vajalik, kuna eelnevalt eraldi süsteemi selleks ei olnud. NYMO katsetamise lisavõimalus aitab kaasa laeva edasisele arendamisele. Täpse positsioneerimisega raadiomajakat on võimalik rakendada mitmel otstarbel. Lõputöö käigus projekteeriti ja ehitati tehnoloogiline süsteem, positsioneeriv raadiomajakas, mis edastab leitud koordinaate, majaka olekut ning ohutsooni loovat raadiosignaali.

Selleks koostati esmalt lähtuvalt probleemist süsteemile nõuded. Leitud nõuded olid kategoriseeritud kaheksa teema abil: sidesüsteem, juhtsüsteem, positsioneerimissüsteem, tajusüsteem, elektroonikasüsteem, konstruktsioon ja ehitus, kasutajaliides ning maksumus. Koostatud nõuete abil oli võimalik võrrelda olemasolevaid lahendusi soovitud, koostada prototüüp ning analüüsida saadud tulemusi.

Järgnevalt võrreldi olemasolevaid positsioneerimismajakate lahendusi. Võrdluses olid erinevad hädaabi raadiomajakad ning tavakasutuses või uurimistegevuses olevad poid ja raadiomajakaid. Lahendusi oli võimalik võrrelda vastavalt eelnevalt püstitatud nõuetele. Tulemuste abil sai kinnitust, et on vajalik koostada ise positsioneerimissüsteemiga majakas: uuritud lahenduste maksumus ning täpsus ei olnud vastavad soovitud.

Süsteemi projekteerimisel ja planeerimisel lähtuti püstitatud nõuetest. Lähteülesanne teostati neljas osas: andurid, positsioneerimissüsteem, mikrokontroller ja juhtimisloogika, ning elektroonikasüsteem. Veetuvastamiseks kasutati mahtuvuslikku veeandurit, mis seoti kontrolleri unerežiimi loogikaga. Positsioneerimist teostati kahes etapis: esimeses etapis kasutati GNSS positsioneerimissüsteemi ja teises etapis täpsuses tõstmiseks Bluetoothi signaalitugevuse mõõtmise abil loodud ohutsooni. Juhtimisloogika teostamiseks võeti kasutusele ESP32 mikrokontroller, kuhu oli sisseehitatud nii Wi-Fi kui ka Bluetooth võimekus. Süsteem suhtleb serveriga Wi-Fi abil ning loob ohutsooni Bluetoothi signaali abil. Majaka koordinaate, olekut ja ohutsooni signaali abil mõõdetud kaugust on võimalik vaadata kasutajaliidesest mobiilirakenduse näol.

Koostatud süsteemi peal tehti kolmes osas katseid: aktiveerimine ja töötükkel; voolutarbimine; positsioneerimine. Lisaks tehti ka maksumuse ja edasiste arenduste

analüüs. Katsetuste käigus määrati kindlaks, kas süsteem vastab püstitatud nõuetele. Antud majakas aktiveerub veega kokku puutel ning alustab tööd vastavalt loodud algoritmile, ning on suuteline seda tegema kuni 11 h. Kasutajaliidest on võimalik majaka positsioonialast informatsiooni ja olekukohaseid teavitusi vaadata.

Majaka positsioneerimine GNSS süsteemi abil ei rahuldanud süsteemi nõudeid ja sobis esimeses etapis positsioneerimiseks. Bluetoothi abil loodud ohutsooni täpsus saavutati 30 cm kaugusel olles majakast. Tasub märkida, et järgmine katse tehti alles 1 m kauguselt. Kahe etapilist positsioneerimist kasutades täideti nõuetega soovitud eesmärk: majaka kaitsmine kokkupõrke eest. Puudu jäi täpsuse säilitamisest kauguse kasvades. Selle parandamiseks on soovitatud lõputöös kasutada prototüübi edasi arendamisel paljulubavat ultra lairiba raadiotehnoloogiat. Saab tõdeda, et positsioneerimisnõuded täideti teatud mugandustega.

Katsetulemuste abil saab öelda, et prototüüp vastab kõigile püstitatud nõuetele. Siiski on ruumi edasisteks arendusteks. Tegemist oli alles esimese prototüübi loomisega. Järgnevalt tuleks positsioneerimissüsteemi parandada: luua uus GNSS-moodul ja ultra lairiba abil ohutsoon. Jätkusuutlikkuse eesmärkidel tuleks hetkel patareidel töötav majakas üle viia akutoitele. Loodud süsteem tuleb lisaks siduda NYMO robotlaevaga ja teha lisakatsed merel. Selleks tuleb majakas suhtlus üle viia kas mobiilsele andmesidele või raadiosidele. Kui katsed õnnestuvad, siis saab majakat kasutada testimiseks ja demonstreerimiseks. Üks tuleviku eesmärk loodud positsioneerimismajaka prototüübi loomisel oli päästevestidel kasutamiseks. Selleks tuleks luua kompaktne uus korpus. Uue korpuse loomisel saab lisada ka välised antennid ja uue veesensori, kuid siiski säilitada vedelikukindlus.

Kokkuvõtteks saab tõdeda, et täpse positsioneerimisega raadiomajaka prototüübi loomine oli edukas. Loodud süsteemi täiustamise ja edasine arendamise jaoks on tehtud ettepanekud. Raadiomajakaga on hetkel võimalik juba osaliselt lähteprobleemi leevendada.



## KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] MindChip, „NYMO,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://mindchip.ee/nymo/>. [Kasutatud 05 märts 2021].
- [2] P. Heigo Mölder, „NYMO Gallery,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://mindchip.ee/gallery/>. [Kasutatud 19 veebruar 2020].
- [3] Aeromarine SRT, „Search and Rescue Radar Transponders (SARTs),” [Võrgumaterjal]. Available: <https://gmdsstesters.com/radio-survey/sart/search-and-rescue-radar-transponders-sarts.html>. [Kasutatud 30 jaanuar 2021].
- [4] Bureau international des poids et mesures, *Le Système international d'unités (The International System of Units) 8e édition*, Pariis: STEDI Media, 2006.
- [5] Majandus- ja kommunikatsiooniminister, „Klassifitseerimata laevade seadistamise ja varustamise nõuded ning ohutusnõuded,” 01 detsember 2015. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/120112015003?dbNotReadOnly=true>. [Kasutatud 12 märts 2021].
- [6] Aeromarine SRT, „Shipborne Automatic Identification System (AIS),” [Võrgumaterjal]. Available: <https://gmdsstesters.com/radio-survey/ais/shipborne-automatic-identification-system-ais.html>. [Kasutatud 30 jaanuar 2021].
- [7] C. J. Hegarty ja E. Chatre, „Evolution of the Global Navigation Satellite System (GNSS),” *Proceedings of the IEEE*, kd. 96, nr 12, pp. 1902 - 1917, 2008.
- [8] Aeromarine SRT, „AIS-Search and Rescue Transmitters (AIS-SARTs),” [Võrgumaterjal]. Available: <https://gmdsstesters.com/radio-survey/sart/ais-search-and-rescue-transmitters-ais-sarts.html>. [Kasutatud 30 jaanuar 2021].
- [9] Merevarustus, „Em-trak SART100,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.merevarustus.ee/toode/elektroonika/ais/em-trak-sart100/>. [Kasutatud 12 märts 2021].
- [10] U.S. Coast Guard Navigation Center, „Emergency Position Indicating Radiobeacon (EPIRB),” 11 september 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.navcen.uscg.gov/?pageName=mtEpirb>. [Kasutatud 30 jaanuar 2021].
- [11] Aeromarine SRT, „Emergency Position Indicating Radio Beacons,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://gmdsstesters.com/radio-survey/epirb/emergency-position-indicating-radio-beacons.html>. [Kasutatud 30 jaanuar 2021].
- [12] S. McCrystal, „What is an EPIRB?,” 20 märts 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.oroliamaritime.com/2019/03/20/what-is-an-epirb/>. [Kasutatud 8 veebruar 2021].
- [13] Aeromarine SRT, „Get ready to upcoming IMO requirements for EPIRBs,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://gmdsstesters.com/radio-survey/epirb/get-ready-to-upcoming-imo-requirements-for-epirbs.html>. [Kasutatud 1 veebruar 2021].
- [14] National Oceanic and Atmospheric Administration, „Emergency Beacons,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.sarsat.noaa.gov/emercbns.html>. [Kasutatud 30 jaanuar 2021].
- [15] Aeromarine SRT, „Maritime Survival Locating Systems (‘Man overboard devices’),” [Võrgumaterjal]. Available: <https://gmdsstesters.com/radio-survey/ais/maritime-survival-locating-systems-man-overboard-devices.html>. [Kasutatud 1 veebruar 2020].

- [16] NOAA, „Portrayal of AIS Aids to Navigation,” 12 detsember 2017. [Võrgumaterjal]. Available: <https://nauticalcharts.noaa.gov/publications/portrayal-of-ais-aids-to-navigation.html>. [Kasutatud 21 veebruar 2021].
- [17] Sealite, „AIS Monitoring,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.sealite.com/ais-monitoring/>. [Kasutatud 22 veebruar 2021].
- [18] A. Ajdin, „OPT launches wave-powered surveillance solution,” 8 juuli 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.offshore-energy.biz/opt-launches-wave-powered-surveillance-solution/>. [Kasutatud 22 veebruar 2021].
- [19] em-trak Marine Electronics Limited, „BT100 SERIES | Fishing Buoy-Tracker,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://em-trak.com/products-bt100/>. [Kasutatud 12 veebruar 2021].
- [20] SeaHow, „Smart Buoy Concept,” [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.arctia.fi/media/esitteet/viitat-ja-poijut/smart\\_buoy\\_concept.pdf](https://www.arctia.fi/media/esitteet/viitat-ja-poijut/smart_buoy_concept.pdf). [Kasutatud 23 veebruar 2021].
- [21] Innovative Marine Technologies, „Clever Buoy Marine Monitoring System,” 2017. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.smartmarinesystems.com/cleverbuoy.html>. [Kasutatud 23 veebruar 2021].
- [22] NOAA, „Global Drifter Program,” 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.aoml.noaa.gov/global-drifter-program/>. [Kasutatud 13 veebruar 2021].
- [23] MEDCLIC, „Lagrangian Platforms: Discovering The Surface Current Map.,” [Võrgumaterjal]. Available: <http://medcllic.es/en/instrumentos/plataformas-lagrangianas/>. [Kasutatud 13 veebruar 2021].
- [24] N. M. E. Zhang, „Increasing GPS Localization Accuracy With Reinforcement Learning,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, kd. 22, nr 5, pp. 2615-2626, 2021.
- [25] C. Ray, R. Gallen, C. Iphar, A. Napoli ja A. Bouju, „DeAIS project: Detection of AIS spoofing and resulting risks,” %1 *OCEANS 2015 - Genova*, 2015, pp. 1-6.
- [26] Mouser Electronics, „Parallax 28090 Mini Liquid Level Sensor,” 05 detsember 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.mouser.ee/new/parallax/parallax-28090-sensor/>. [Kasutatud 16 märts 2021].
- [27] Waveshare, „Liquid Level Sensor User Manual,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.mouser.ee/pdfDocs/28090-Mini-Liquid-Level-Sensor-User-Manual.pdf>. [Kasutatud 16 märts 2021].
- [28] Mouser Electronics, „Parallax 28090,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.mouser.ee/ProductDetail/Parallax/28090?qs=Cb2nCFKsA8qJcY7MqIdP3g%3D%3D>. [Kasutatud 16 märts 2021].
- [29] Mouser Electronics, „SST Sensing Optomax Digital Range of Liquid Level Switches,” 31 oktoober 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.mouser.ee/new/sst-sensing/sst-sensing-optomax-digital-liquid-level-switches/>. [Kasutatud 16 märts 2021].
- [30] Mouser Electronics, „SST LLC500D3L,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.mouser.ee/ProductDetail/SST-Sensing/LLC500D3L?qs=3jNSNtuqJTKAKsC644ze2w%3D%3D>. [Kasutatud 16 märts 2021].
- [31] SST, „Data Sheet Liquid Level Switches Optomax Digital Series,” [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.mouser.ee/datasheet/2/973/DS0032rev15\\_LLDigital-1-1590340.pdf](https://www.mouser.ee/datasheet/2/973/DS0032rev15_LLDigital-1-1590340.pdf). [Kasutatud 16 märts 2021].

- [32] Robolabor, „Kontaktivaba veetaseme andur,“ [Vörgumaterjal]. Available: <https://robolabor.ee/et/andurid-ja-nende-tarvikud/896-kontaktivaba-veetaseme-andur.html>. [Kasutatud 18 märts 2021].
- [33] DFRobot, „Non-contact Liquid Level Sensor XKC-Y25-T12V SKU SEN0204,“ [Vörgumaterjal]. Available: [https://wiki.dfrobot.com/Non-contact\\_Liquid\\_Level\\_Sensor\\_XKC-Y25-T12V\\_SKU\\_\\_SEN0204](https://wiki.dfrobot.com/Non-contact_Liquid_Level_Sensor_XKC-Y25-T12V_SKU__SEN0204). [Kasutatud 18 märts 2021].
- [34] P. Sedlacek, M. Slanina ja D. Kovac, „An Overview of Indoor and Outdoor Positioning Technologies with Focus on their Precision,“ 2016. [Vörgumaterjal]. Available: <http://www.elektrorevue.cz/cz/download/an-overview-of-indoor-and-outdoor-positioning-technologies-with-focus-on-their-precision/>. [Kasutatud 19 märts 2021].
- [35] Information and Analysis Center for Positioning, Navigation and Timing, „MODERN NAVIGATION SATELLITE SYSTEMS,“ 2021. [Vörgumaterjal]. Available: <https://www.glonass-iac.ru/guide/gnss/>. [Kasutatud 03 aprill 2021].
- [36] Y. Yang, Y. Xu, J. Li ja e. al, „Progress and performance evaluation of BeiDou global navigation satellite system: Data analysis based on BDS-3 demonstration system,“ *Science China Earth Sciences*, kd. 61, p. 614–624, 2018.
- [37] Royal Observatory of Belgium, „Station List,“ 2021. [Vörgumaterjal]. Available: [http://www.epncb.oma.be/\\_networkdata/stationlist.php](http://www.epncb.oma.be/_networkdata/stationlist.php). [Kasutatud 19 märts 2021].
- [38] European GNSS Agency, „PPP-RTK market and technology report,“ 2019. [Vörgumaterjal]. Available: [https://www.gsa.europa.eu/sites/default/files/calls\\_for\\_proposals/rd.03\\_-\\_ppp-rtk\\_market\\_and\\_technology\\_report.pdf](https://www.gsa.europa.eu/sites/default/files/calls_for_proposals/rd.03_-_ppp-rtk_market_and_technology_report.pdf). [Kasutatud 19 märts 2021].
- [39] ArduSimple, „simpleRTK2B ZED-F9P,“ [Vörgumaterjal]. Available: <https://www.ardusimple.com/simplertk2b/>. [Kasutatud 20 märts 2021].
- [40] u-blox, „ZED-F9P u-blox F9 high precision GNSS module,“ 04 juuni 2020. [Vörgumaterjal]. Available: [https://www.u-blox.com/sites/default/files/ZED-F9P\\_DataSheet\\_%28UBX-17051259%29.pdf](https://www.u-blox.com/sites/default/files/ZED-F9P_DataSheet_%28UBX-17051259%29.pdf). [Kasutatud 20 märts 2021].
- [41] M. Lytvyn, A. Kemetinger ja P. Berglez, „How can an orbit prediction module speed up the TTFF and help to authenticate the position?,“ 2012. [Vörgumaterjal]. Available: [https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6423124?casa\\_token=ORIXWLAE X8AAAAA:jkzMwbjeaAHFxd8UAvboybvoxvF8Br5U-rwfeHX\\_aapVJen13bRgTwWek791BX84GFgTuxSfHA](https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6423124?casa_token=ORIXWLAE X8AAAAA:jkzMwbjeaAHFxd8UAvboybvoxvF8Br5U-rwfeHX_aapVJen13bRgTwWek791BX84GFgTuxSfHA). [Kasutatud 20 märts 2021].
- [42] ArduSimple, „simpleRTK2B - Basic Starter Kit,“ 2021. [Vörgumaterjal]. Available: <https://www.ardusimple.com/product/simplertk2b-basic-starter-kit-ip65/>. [Kasutatud 20 märts 2021].
- [43] ArduSimple, „simpleRTK2B V3 - 4G NTRIP Starter Kit,“ 2021. [Vörgumaterjal]. Available: <https://www.ardusimple.com/product/simplertk2b-v3-4g-ntrip-starter-kit/>. [Kasutatud 20 märts 2021].
- [44] ArduSimple, „simpleSSR - Starter Kit incl. 1 year unlimited RTK corrections,“ 2021. [Vörgumaterjal]. Available: <https://www.ardusimple.com/product/simpler-sr-basic-starter-kit-sapa-premium2/>. [Kasutatud 20 märts 2021].
- [45] u-blox, „NEO-7 u-blox 7 GNSS modules,“ 11 november 2014. [Vörgumaterjal]. Available: [https://www.velleman.eu/downloads/29/infosheets/neo7\\_datasheet.pdf](https://www.velleman.eu/downloads/29/infosheets/neo7_datasheet.pdf). [Kasutatud 20 märts 2021].
- [46] Velleman, „GPS MODULE U-BLOX NEO-7M FOR ARDUINO,“ 2021. [Vörgumaterjal]. Available:

- <https://www.velleman.eu/products/view/?id=439218>. [Kasutatud 20 märts 2021].
- [47] Ronex, „GPS moodul: U-BLOX NEO-7M ARDUINO®-le,” [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.ronex.ee/Tootekataloog/Arduino/VMA430>. [Kasutatud 20 märts 2021].
- [48] Oomipood, „GPS POSITSIOONI MOODUL,” [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.oomipood.ee/product/bg01\\_t\\_gps\\_positsiooni\\_moodul?q=GPS](https://www.oomipood.ee/product/bg01_t_gps_positsiooni_moodul?q=GPS). [Kasutatud 20 märts 2021].
- [49] Shenzhen Ai-Thinker Technology, „BG01-T Specification,” 2019. [Võrgumaterjal]. Available: [https://docs.ai-thinker.com/\\_media/gps/docs/bg01-t\\_%E8%A7%84%E6%A0%BC%E4%B9%A6\\_en.pdf](https://docs.ai-thinker.com/_media/gps/docs/bg01-t_%E8%A7%84%E6%A0%BC%E4%B9%A6_en.pdf). [Kasutatud 20 märts 2021].
- [50] u-blox, „NEO-6 u-blox 6 GPS Modules Data Sheet,” 05 detsember 2011. [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6\\_DataSheet\\_\(GPS.G6-HW-09005\).pdf](https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_(GPS.G6-HW-09005).pdf). [Kasutatud 25 aprill 2021].
- [51] DIGIPURK, „NEO-6M GPS Module GY-GPS6MV2,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://digipurk.ee/toode/neo-6m-gps-module-gy-gps6mv2/>. [Kasutatud 25 aprill 2021].
- [52] Last Minute Engineers, „Interface ublox NEO-6M GPS Module with Arduino,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://lastminuteengineers.com/neo6m-gps-arduino-tutorial/>. [Kasutatud 25 aprill 2021].
- [53] A. R. Jiménez ja F. Seco, „Finding objects using UWB or BLE localization technology: A museum-like use case,” %1 *2017 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, Sapporo, Japan, doi: 10.1109/IPIN.2017.8115865, 2017, pp. 1-8.
- [54] J. Huang, S. Chai, N. Yang ja L. Liu, „A Novel Distance Estimation Algorithm for Bluetooth Devices Using RSSI,” juuni 2017. [Võrgumaterjal]. Available: <https://doi.org/10.2991/caai-17.2017.86>. [Kasutatud 13 aprill 2021].
- [55] S. & K. M. & S. C. Hu, „Vehicle positioning based on UWB technology,” *Journal of Physics: Conference Series.*, kd. 887, nr 10.1088/1742-6596/887/1/012069, p. 012069, 2017.
- [56] Arduino, „ARDUINO NANO,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://store.arduino.cc/arduino-nano>. [Kasutatud 03 aprill 2021].
- [57] Jkollerup, „Raspberry Pi Pico,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://raspberrypi.dk/en/product/raspberry-pi-pico/?src=raspberrypi>. [Kasutatud 09 aprill 2021].
- [58] Raspberry Pi (Trading) Ltd, „Raspberry Pi Pico Datasheet,” 07 aprill 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://datasheets.raspberrypi.org/pico/pico-datasheet.pdf>. [Kasutatud 09 aprill 2021].
- [59] Kexin, „Low Dropout Linear Regulator AMS1117-X.X,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://datasheetspdf.com/pdf-file/861301/Kexin/AMS1117-3.3/1>. [Kasutatud 03 aprill 2021].
- [60] Robolabor, „NODEMCU ESP-WROOM-32D WIFI+BLUETOOTH ARENDUSPLAAT,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://robolabor.ee/et/arendusplaadid/1257-nodemcu-esp-wroom-32d-wifiblueetooth-arendusplaat.html>. [Kasutatud 09 aprill 2021].
- [61] Espressif Systems, „ESP32-WROOM-32 datasheet,” 2021. [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf). [Kasutatud 03 aprill 2021].
- [62] Espressif Systems, „ESP32-DevKitC V4 schematics,” [Võrgumaterjal]. Available: [https://dl.espressif.com/dl/schematics/esp32\\_devkitc\\_v4-sch.pdf](https://dl.espressif.com/dl/schematics/esp32_devkitc_v4-sch.pdf). [Kasutatud 03 aprill 2021].

- [63] Synacorp, „Arduino GY-NEO6MV2 GPS Module c/w Antenna & Flight Control EEPROM,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.epitran.it/ebayDrive/datasheet/NEO6MV2.pdf>. [Kasutatud 25 aprill 2021].
- [64] T. Crompton, „Battery Reference Book,” 2000. [Võrgumaterjal]. Available: [https://books.google.ee/books?hl=en&lr=&id=QmVR7qiB5AUC&oi=fnd&pg=PP2&dq=battery+&ots=cmDhFPV8eE&sig=SJZIH\\_Xq8Ued0Vd7pijUBHiCnq0&redir\\_esc=y#v=snippet&q=%229%20V%22&f=false](https://books.google.ee/books?hl=en&lr=&id=QmVR7qiB5AUC&oi=fnd&pg=PP2&dq=battery+&ots=cmDhFPV8eE&sig=SJZIH_Xq8Ued0Vd7pijUBHiCnq0&redir_esc=y#v=snippet&q=%229%20V%22&f=false). [Kasutatud 03 aprill 2021].
- [65] VARTA Consumer Batteries, „Data Sheet The Powerful Alkaline,” 02 august 2010. [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.mega-piles.com/im/VARTA-6LR61-9V-580mAh-HIGH-ENERGY\\_12.pdf](https://www.mega-piles.com/im/VARTA-6LR61-9V-580mAh-HIGH-ENERGY_12.pdf). [Kasutatud 03 aprill 2021].
- [66] Mosaic Documentation Web, „Latch and Toggle Power Circuits,” [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.mosaic-industries.com/embedded-systems/microcontroller-projects/electronic-circuits/push-button-switch-turn-on/latching-toggle-power-switch>. [Kasutatud 25 aprill 2021].
- [67] Maa-amet, „X-GIS,” 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://xgis.maaamet.ee/xgis2/page/app/maainfo>. [Kasutatud 01 mai 2021].
- [68] B.-W. Oh, „Map Detection using Deep Learning,” *JOURNAL OF ADVANCED INFORMATION TECHNOLOGY AND CONVERGENCE*, kd. 10, nr 2, pp. 61-72, 2020.
- [69] Farnell, „1555H2GY,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://ee.farnell.com/hammond/1555h2gy/small-enclosure-small-pc-grey/dp/2988679>. [Kasutatud 30 aprill 2021].
- [70] Farnell, „RJS1N1LP-16M-F-R-B-BS-12V-68J,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://ee.farnell.com/rjs-electronics/rjs1n1lp-16m-f-r-b-bs-12v-68j/switch-a-vandal-16mm-m-trav-blu/dp/3459576>. [Kasutatud 30 aprill 2021].
- [71] Farnell, „E300115800,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://ee.farnell.com/energizer/e300115800/alkaline-battery-9v-pp3-snap-2pk/dp/2507377?st=9v%20battery>. [Kasutatud 30 aprill 2021].
- [72] Farnell, „PSMN017-30PL,127,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://ee.farnell.com/nexperia/psmn017-30pl-127/mosfet-n-ch-30v-32a-to220/dp/2103835?st=psmn017>. [Kasutatud 30 aprill 2021].
- [73] Farnell, „FQP7P06,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://ee.farnell.com/on-semiconductor/fqp7p06/mosfet-p-to-220/dp/9846557>. [Kasutatud 30 aprill 2021].
- [74] Farnell, „BAX16TR,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://ee.farnell.com/on-semiconductor/bax16tr/diode-small-signal-do-35/dp/1076355>. [Kasutatud 30 aprill 2021].
- [75] Farnell, „25YXJ220M6.3X11,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://ee.farnell.com/rubycon/25yxj220m6-3x11/cap-220-f-25v-20/dp/2811498?st=220%20uf>. [Kasutatud 30 aprill 2021].
- [76] Farnell, „16ML22MEFC4X7,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://ee.farnell.com/rubycon/16ml22mefc4x7/cap-22-f-16v-20/dp/8126259?st=22%20uf>. [Kasutatud 30 aprill 2021].
- [77] Farnell, „50ML10MEFC5X7,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://ee.farnell.com/rubycon/50ml10mefc5x7/cap-10-f-50v-20/dp/8126941?st=10%20uf>. [Kasutatud 30 aprill 2021].
- [78] Farnell, „50YXJ1M5X11,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://ee.farnell.com/rubycon/50yxj1m5x11/cap-1-f-50v-20/dp/2346264?st=1%20uf>. [Kasutatud 30 aprill 2021].
- [79] Farnell, „MCRH100V104M5X11,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://ee.farnell.com/multicomp/mcrh100v104m5x11/cap-0-1-f-100v-20/dp/1902938?st=0.1%20uF>. [Kasutatud 30 aprill 2021].

- [80] Farnell, „MF25 300K,” [Võrgumaterjal]. Available:  
<https://ee.farnell.com/multicomp/mf25-300k/res-300k-1-250mw-axial-metal-film/dp/9341714?st=300%20kohm>. [Kasutatud 30 aprill 2021].
- [81] Farnell, „MCF 0.25W 100K,” [Võrgumaterjal]. Available:  
<https://ee.farnell.com/multicomp/mcf-0-25w-100k/res-100k-5-250mw-axial-carbon/dp/9339078?st=100%20kohm>. [Kasutatud 30 aprill 2021].
- [82] Farnell, „MCMF006FF5101A50,” [Võrgumaterjal]. Available:  
<https://ee.farnell.com/multicomp/mcmf006ff5101a50/res-5k1-1-600mw-axial-metal-film/dp/2401773?st=10%20kohm>. [Kasutatud 30 aprill 2021].
- [83] Farnell, „MC001796,” [Võrgumaterjal]. Available:  
<https://ee.farnell.com/multicomp/mc001796/matrix-board-100mm-x-100mm/dp/2770324?ost=mc001796>. [Kasutatud 30 aprill 2021].
- [84] Farnell, „61303211821,” [Võrgumaterjal]. Available:  
<https://ee.farnell.com/wurth-elektronik/61303211821/socket-2-54mm-vert-32way/dp/1841237?st=pin%20header%20socket%20female> . [Kasutatud 30 aprill 2021].
- [85] Farnell, „282836-6,” [Võrgumaterjal]. Available:  
<https://ee.farnell.com/buchanan-te-connectivity/282836-6/terminal-block-wire-to-brd-6pos/dp/3089071?st=screw%20connector%20pcb>. [Kasutatud 30 aprill 2021].
- [86] Farnell, „MP000298,” [Võrgumaterjal]. Available:  
<https://ee.farnell.com/multicomp-pro/mp000298/battery-holder-pp3-snap-on/dp/3126530?st=battery%209v%20holder>. [Kasutatud 30 aprill 2021].

# LISAD

Lisa 1 NYMO robotlaev

Lisa 2 Programmikood

Lisa 3 GNSS mooduli katseandmed

Lisa 4 Ohutsooni katseandmed

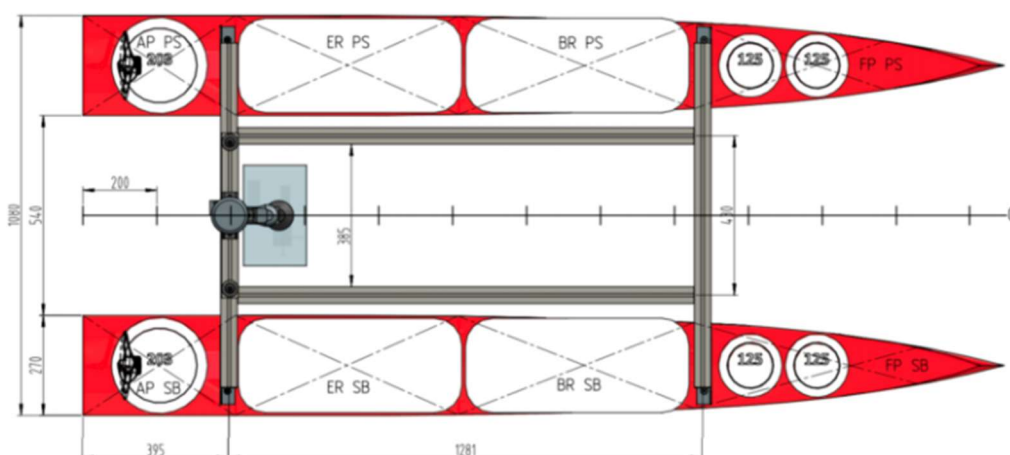
Lisa 5 Toitesüsteemi katseandmed

## Lisa 1 NYMO robotlaev

Tabelis L.1 on toodud erinevad robotlaeva parameetrid ja joonisel L.1 on kujutatud NYMO robotlaeva ja laeva erinevaid mõõtmeid.

Tabel L.1. NYMO parameetrid [1]

Nimi	Väärtus	Ühik
Pikkus	2560	mm
Laius	1100	mm
Sügavus	180...270	mm
Maksimaalne kandevõime	100	kg
Maksimaalne kiirus	11	km/h
Operatiivne kiirus	5.6	km/h
Elektrilise ajami pinge	48	V
Juhtimissüsteemi pinge	12	V
Ühenduvus	5G, 4G, 433 MHz, WIFI, AIS	-
Sensordid	3 LIDAR-it, radar, kaamera, magnetomeeter, anemomeeter, güroskoop, sügavuse leidja	-
Ohutustehnika	AIS, radaripeegeldi, navigeerimistuled	-



Joonis L.1. NYMO mõõtmed [1]



## Lisa 2 Programmikood

Joonistel L.2.1 kuni L.2.7 on toodud kasutatud programmikood. Kood on jagatud seitsme joonise peale vormistuslikel eesmärkidel. Kood on mõeldud töötama ühtsena.

```
/* Nimi:      TPS majaka prototyybi kood
 * Autor:    Mattias Kitsing
 * Kuupäev:  14.05.21
 * Selgitus: Antud kood tuvastab vee keskkonna, ativeerib majaka, yhendub
 *           serveriga, ja positsioneerib majaka. Serverist loeb kaugust
 *           NYMO-st ja edastab asukoha. Vajadusel ka edastab BLE signaali
 *           NYMO-le
 */
//-----
//-----Teegid-----
//-----

//yldine
#include <Arduino.h>
#include <math.h>
#include "Esp32SynchronizationContext.h"

//positsioneerimiseks
#include <TinyGPS++.h>
#include <CircularBuffer.h>

//yhendamiseks
#include <BLEDevice.h>
#include <BLEUtils.h>
#include <BLEBeacon.h>
#include <WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <BlynkSimpleEsp32.h>

Esp32SynchronizationContext g_mainSync;
TinyGPSPlus gps;
BLEAdvertising *pAdvertising;
```

Joonis L.2.1 Programmikood: Teegid ja päis

```

//-----
//-----Universaalsed muutujad-----
//-----

//yhendumiseks
#define RXD2 17
#define TXD2 16
#define GPSBaud 9600
#define BEACON_UUID "962bda71-b653-44f8-98a9-95af3185f969"
char auth[] = "i3lp7RxfEnmfjjMP9luH2VWd3qUeepgm";
char ssid[] = "GSMSim";
char pass[] = "testtest";

//positsioneerimiseks
int nosignallast = -1;
float kaugus = 0;
int setuptime = 0;

//yldine
bool updateTPS = false;
bool downloadTPS = false;
bool NScheck = false;
bool phasetwo = false;

RTC_DATA_ATTR bool tagavara = false;
int nosignal = 0;
int timelast= 0;
int i = 0;

//sorteerimiseks
CircularBuffer <int, 10> RSSIdataRaw;

```

Joonis L.2.2 Programmikood: Universaalsed muutujad

```

//-----
//-----Funktsioonid-----
//-----

//-----BLE majaka loomine-----
void setBeacon() {

    BLEBeacon oBeacon = BLEBeacon();
    oBeacon.setManufacturerId(0x4C00); // fake Apple 0x004C LSB (ENDIAN_CHANGE_U16!)
    oBeacon.setProximityUUID(BLEUUID(BEACON_UUID));
    BLEAdvertisementData oAdvertisementData = BLEAdvertisementData();
    BLEAdvertisementData oScanResponseData = BLEAdvertisementData();

    oAdvertisementData.setFlags(0x04); // BR_EDR_NOT_SUPPORTED 0x04

    std::string strServiceData = "";

    strServiceData += (char)26; // Len
    strServiceData += (char)0xFF; // Type
    strServiceData += oBeacon.getData();
    oAdvertisementData.addData(strServiceData);

    pAdvertising->setAdvertisementData(oAdvertisementData);
    pAdvertising->setScanResponseData(oScanResponseData);

}

//-----Syvaune pohjuse tuvastamine-----
void print_wakeup_reason() {
    esp_sleep_wakeup_cause_t wakeup_reason;

    wakeup_reason = esp_sleep_get_wakeup_cause();

    switch (wakeup_reason)
    {
        case ESP_SLEEP_WAKEUP_EXT0: Serial.println("Wakeup caused by external signal
using RTC_IO"); break;
        case ESP_SLEEP_WAKEUP_EXT1: Serial.println("Wakeup caused by external signal
using RTC_CNTL"); break;
        case ESP_SLEEP_WAKEUP_TIMER: Serial.println("Wakeup caused by timer"); break;
        case ESP_SLEEP_WAKEUP_TOUCHPAD: Serial.println("Wakeup caused by touchpad");
break;
        case ESP_SLEEP_WAKEUP_ULP: Serial.println("Wakeup caused by ULP program");
break;
        default: Serial.printf("Wakeup was not caused by deep sleep: %d\n",
wakeup_reason); break;
    }
}

//-----maatriksi sorteerimise funktsioon-----
void sort(int a[], int size) {
    for (int i = 0; i < (size - 1); i++) {
        for (int o = 0; o < (size - (i + 1)); o++) {
            if (a[o] > a[o + 1]) {
                int t = a[o];
                a[o] = a[o + 1];
                a[o + 1] = t;
            }
        }
    }
}
}

```

Joonis L.2.3 Programmikood: 1. funktsioonid

```

//-----Serverist andmete lugemine-----
BLYNK_WRITE (V1)
{
    kaugus = param.asInt();
    if (!downloadTPS)
    {
        downloadTPS = true;
    }
}

//-----BLE signaali saatmine-----
void BLE()
{
    BLEDevice::init("");
    pAdvertising = BLEDevice::getAdvertising();

    setBeacon();
    //alustamine
    pAdvertising->start();
    vTaskDelay(1000);
    //l6petamine
    pAdvertising->stop();
}

//-----Timeriga syvaune aktiveerimine-----
void magama(int timer)
{
    ledcWrite(0,0);
    Serial.println("magama");
    esp_sleep_disable_wakeup_source(ESP_SLEEP_WAKEUP_EXT0);
    esp_sleep_enable_timer_wakeup(1000000 * timer);
    esp_deep_sleep_start();
}

```

Joonis L.2.4 Programmikood: 2. funktsioonid

```

//-----
//-----Ylesanded-----
//-----

//-----Ylesanne kontrollimiseks ja BLE jaoks-----
void thread1(void* state) {
    while (g_mainSync.post([](void* state) {
        // Ylesande alusamine
        if (Blynk.connected()) {
            Blynk.syncVirtual(V1); //kauguse saamine serverist
            if (kaugus <= 50){
                phasetwo = true; //teise etapi aktiveerimine
            }
            else if (!tagavara && kaugus > 50 && phasetwo){
                phasetwo = false; //teise etapi deaktiveerimine
            }
        }
        if (phasetwo){
            BLE();//teise etapi jooksutamise
        }
        if (tagavara) //tagavara režiimi aktiveerimine
        {
            Serial.println("tagavara");
            phasetwo = true;
            if (nosignal >=2 && nosignal%10!=0){
                NScheck = true;
            }
            else if (nosignal%10 == 0){
                NScheck = true;
                nosignal = 0;
            }
        }
        //kui kõik vajalik on tehtud siis unerežiimi aktiveerimine
        if ((tagavara && NScheck) || (updateTPS && downloadTPS))
        {
            int timer;
            if (!phasetwo)
            {
                timer = 40;
            }
            else
            {
                timer = 5;
            }
            if (nosignal == 0 && tagavara){
                tagavara = false;
            }
            magama(timer);
        }
    }))) {
        vTaskDelay(2500);
    }
    vTaskDelete(NULL);
}

```

Joonis L.2.5 Programmikood: 1. ülesanne

```

//----GNSS mooduli tootamiseks ja uleslaadimiseks----
void thread2(void* state) {
    while (g_mainSync.send([](void* state) {
        // Ylesande alusamine
        bool brk = false;
        //Kui GNSS yhendus olemas siis suhluse alusamine
        if (Serial2.available()==0 && (!tagavara || nosignal%10==0)){
            Serial2.begin(GPSBaud, SERIAL_8N1, RXD2, TXD2);
            vTaskDelay( 1000 );
        }
        while(Serial2.available()> 0){
            //kuni serial saadaval ja andmed korrektsed
            if (gps.encode(Serial2.read()) && gps.location.isValid()){
                // Serveri kontroll
                if (Blynk.connected()) {
                    //appis info uuendamine
                    Serial.println("Blynk check");
                    Blynk.virtualWrite(V2,          1,          gps.location.lat(),
gps.location.lng(), "TPS majakas");
                    Blynk.virtualWrite(V3, gps.location.lat());
                    Blynk.virtualWrite(V4, gps.location.lng());
                    tagavara = false;
                    updateTPS = false;
                    nosignal = 0;
                    brk = true;
                }
                else{
                    //uhenduse puudumisel proovi uuesti uhendada
                    Serial.println("just GPS");
                    WiFi.begin(ssid, pass);
                    tagavara = !Blynk.connect();
                    NScheck=true;
                    brk = true;
                }
            }
            if (millis() > 5000 && gps.charsProcessed() < 10)
            {
                //GNSS moodulga yhendus puudub
                Serial.println("No GNSS moodul detected");
                brk = true;
            }
            if (brk){
                brk=false;
                break;
            }
        }
        if ((millis() > 500000+(setuptime) ) && !updateTPS && false)
        {
            Serial.println("Uuesti proovimine");
            if (nosignal==2){
                Serial.println("tagavara aktiveerimine");
                tagavara = true;
            }
            else{
            }
            ++nosignal;
        }
    }
    vTaskDelay(1000);
    vTaskDelete(NULL);
}

```

Joonis L.2.6 Programmikood: 2. ülesanne

```

//-----
//-----Seadistus ja koodi jooksutamine-----
//-----
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  delay(1000); //Seriali jaoks aja andmine

  //ESP32 unest arkamise p6hjuse tuvastamine
  print_wakeup_reason();

  //kui ei ole vees siis unerežiim
  if (analogRead(34) == LOW) {
    esp_sleep_disable_wakeup_source(ESP_SLEEP_WAKEUP_TIMER);
    esp_sleep_enable_ext0_wakeup(GPIO_NUM_34, 1);
    delay(1000);
    Serial.println("Magama");
    esp_deep_sleep_start();
  }
  //GNSS mooduli toite aktiveerimine
  if (!tagavara){
    ledcSetup(0, 5000, 10);
    ledcAttachPin(25, 0);
    pinMode(25,OUTPUT);
    ledcWrite(0,1024);
    Serial.println("pinge");
    Serial2.begin(GPSBaud, SERIAL_8N1, RXD2, TXD2);
  }
  //Serveriga yhenduse loomine
  WiFi.begin(ssid, pass);
  Blynk.config(auth, "blynk-cloud.com", 8080);
  Blynk.connect();
  Serial.println("connected");
  Blynk.virtualWrite(V6, 255);

  if (!g_mainSync.begin()) {
    Serial.println("Error initializing synchronization context");
    while (true); // halt
  }
  // RTOS abil ylesannete loomine tuumadele (ESP32 on kahetuumaline)
  delay(100);
  xTaskCreatePinnedToCore(
    thread1, // Function that should be called
    "1 ylsanne", // Name of the task (for debugging)
    1000, // Stack size (bytes)
    NULL, // Parameter to pass
    1, // Task priority
    NULL, // Task handle
    0 // core
  );
  xTaskCreatePinnedToCore(
    thread2, // Function that should be called
    "2 ylseanne", // Name of the task (for debugging)
    1000, // Stack size (bytes)
    NULL, // Parameter to pass
    1, // Task priority
    NULL, // Task handle
    1 // core
  );
  delay(100);
  setuptime = millis();
}

```

Joonis L.2.6 Programmikood: Seadistus ja ülesannete loomine

```
void loop() {  
  //kontrollida kas ylesanded jooksevad  
  if (!g_mainSync.update()) {  
    Serial.println("Could not update synchronization context");  
  }  
  //uuendada serveriga tegevusi kui yhendus olemas  
  if (Blynk.connected()){  
    Blynk.run();  
  }  
}
```

Joonis L.2.7 Programmikood: koodi lõpmatu jooksutamine peafunktsioonis

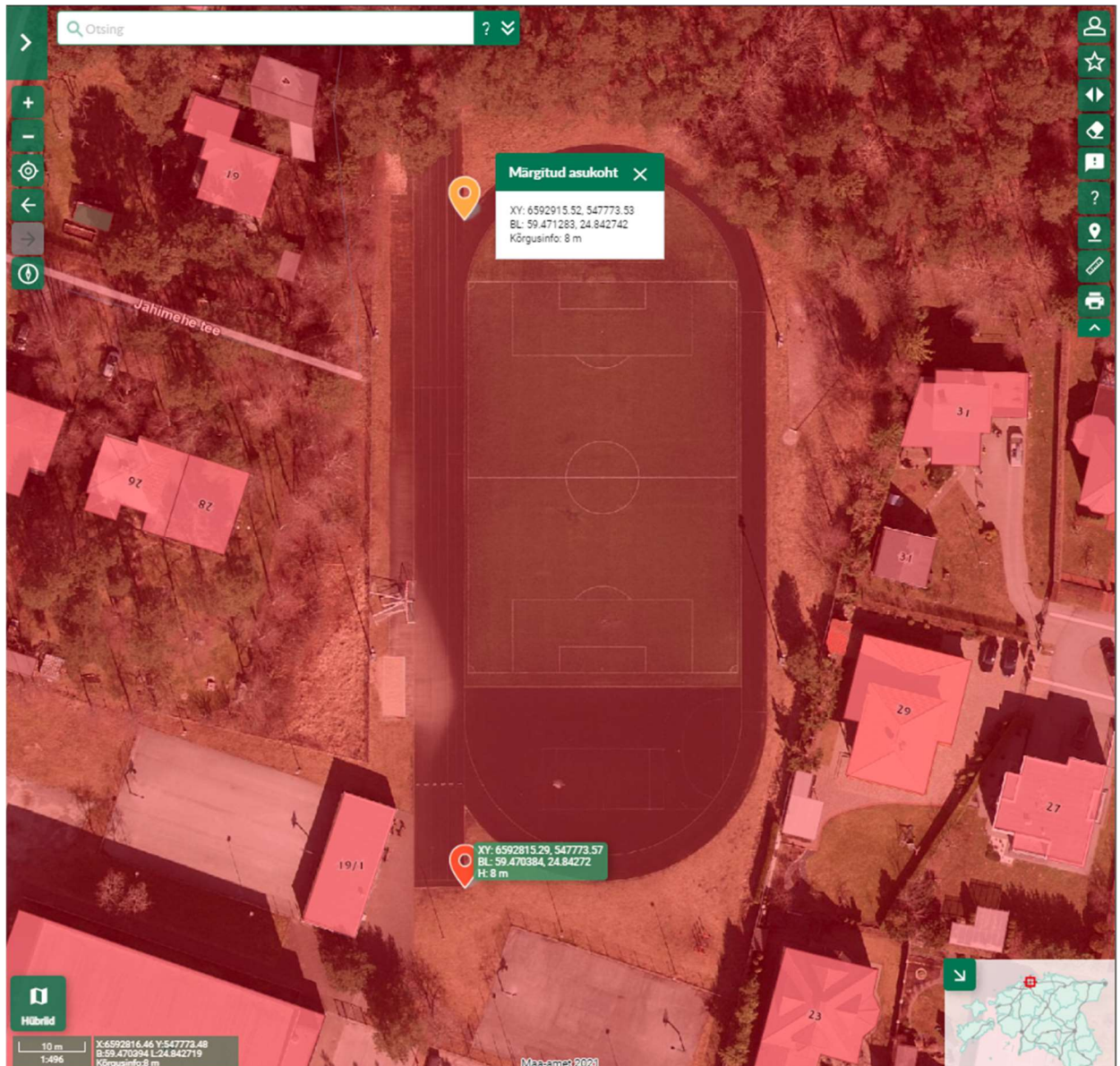


## Lisa 3 GNSS mooduli katseandmed

Tabelis L.3.1 on toodud GNSS mooduli statsionaarsed katseandmed.

Tabelis L.3.2 on toodud GNSS mooduli dünaamilised katseandmed.

Joonisel L.3 on toodud kasutatud Maa-ameti kaart.



Joonis L.3 Maa-ameti kaart ja testimiskoordinaadid [67]

Tabel L.3.1. Positsioneerimise statsionaarsed katseandmed

Nr	Laiuskraad, °	Pikkuskraad, °	Delta Pikkus- kraad, °	Delta Laius- kraad, °	Kaugus pikkus- kraadil, m	Kaugus laius- kraadil, m	Kaugus, m
1	24,842716	59,470396	0,000012	-0,000004	1,3320	-0,4440	1,4041
2	24,842716	59,470396	0,000012	-0,000004	1,3320	-0,4440	1,4041
3	24,842716	59,470396	0,000012	-0,000004	1,3320	-0,4440	1,4041
4	24,842720	59,470395	0,000011	0,000000	1,2210	0,0000	1,2210
5	24,842720	59,470394	0,000010	0,000000	1,1100	0,0000	1,1100
6	24,842722	59,470395	0,000011	0,000002	1,2210	0,2220	1,2410
7	24,842723	59,470395	0,000011	0,000003	1,2210	0,3330	1,2656
8	24,842726	59,470394	0,000010	0,000006	1,1100	0,6660	1,2945
9	24,842726	59,470394	0,000010	0,000006	1,1100	0,6660	1,2945
10	24,842726	59,470394	0,000010	0,000006	1,1100	0,6660	1,2945
11	24,842728	59,470392	0,000008	0,000008	0,8880	0,8880	1,2558
12	24,842729	59,470391	0,000007	0,000009	0,7770	0,9990	1,2656
13	24,842728	59,470391	0,000007	0,000008	0,7770	0,8880	1,1799
14	24,842728	59,470391	0,000007	0,000008	0,7770	0,8880	1,1799
15	24,842731	59,470390	0,000006	0,000011	0,6660	1,2210	1,3908
16	24,842732	59,470390	0,000006	0,000012	0,6660	1,3320	1,4892
17	24,842734	59,470389	0,000005	0,000014	0,5550	1,5540	1,6501
18	24,842737	59,470388	0,000004	0,000017	0,4440	1,8870	1,9385
19	24,842740	59,470388	0,000004	0,000020	0,4440	2,2200	2,2640
20	24,842740	59,470388	0,000004	0,000020	0,4440	2,2200	2,2640
21	24,842740	59,470388	0,000004	0,000020	0,4440	2,2200	2,2640
22	24,842739	59,470388	0,000004	0,000019	0,4440	2,1090	2,1552
23	24,842738	59,470388	0,000004	0,000018	0,4440	1,9980	2,0467

Tabel L.3.1 jätk

<b>Nr</b>	<b>Laiuskraad, °</b>	<b>Pikkuskraad, °</b>	<b>Delta Pikkus- kraad, °</b>	<b>Delta Laius- kraad, °</b>	<b>Kaugus pikkus- kraadil, m</b>	<b>Kaugus laius- kraadil, m</b>	<b>Kaugus, m</b>
24	24,842737	59,470388	0,000004	0,000017	0,4440	1,8870	1,9385
25	24,842735	59,470388	0,000004	0,000015	0,4440	1,6650	1,7232
26	24,842734	59,470388	0,000004	0,000014	0,4440	1,5540	1,6162
27	24,842734	59,470389	0,000005	0,000014	0,5550	1,5540	1,6501
28	24,842727	59,470394	0,000010	0,000007	1,1100	0,7770	1,3549
29	24,842727	59,470394	0,000010	0,000007	1,1100	0,7770	1,3549
30	24,842725	59,470395	0,000011	0,000005	1,2210	0,5550	1,3412
31	24,842723	59,470396	0,000012	0,000003	1,3320	0,3330	1,3730
32	24,842723	59,470396	0,000012	0,000003	1,3320	0,3330	1,3730
33	24,842723	59,470396	0,000012	0,000003	1,3320	0,3330	1,3730
34	24,842723	59,470395	0,000011	0,000003	1,2210	0,3330	1,2656
35	24,842724	59,470395	0,000011	0,000004	1,2210	0,4440	1,2992
36	24,842724	59,470395	0,000011	0,000004	1,2210	0,4440	1,2992
37	24,842723	59,470396	0,000012	0,000003	1,3320	0,3330	1,3730
38	24,842723	59,470397	0,000013	0,000003	1,4430	0,3330	1,4809
39	24,842724	59,470397	0,000013	0,000004	1,4430	0,4440	1,5098
40	24,842724	59,470397	0,000013	0,000004	1,4430	0,4440	1,5098
41	24,842725	59,470397	0,000013	0,000005	1,4430	0,5550	1,5461
42	24,842726	59,470396	0,000012	0,000006	1,3320	0,6660	1,4892
43	24,842727	59,470396	0,000012	0,000007	1,3320	0,7770	1,5421
44	24,842727	59,470395	0,000011	0,000007	1,2210	0,7770	1,4473
45	24,842727	59,470395	0,000011	0,000007	1,2210	0,7770	1,4473
46	24,842731	59,470390	0,000006	0,000011	0,6660	1,2210	1,3908

Tabel L.3.1 jätk

<b>Nr</b>	<b>Laiuskraad, °</b>	<b>Pikkuskraad, °</b>	<b>Delta Pikkus- kraad, °</b>	<b>Delta Laius- kraad, °</b>	<b>Kaugus pikkus- kraadil, m</b>	<b>Kaugus laius- kraadil, m</b>	<b>Kaugus, m</b>
47	24,842732	59,470389	0,000005	0,000012	0,5550	1,3320	1,4430
48	24,842733	59,470388	0,000004	0,000013	0,4440	1,4430	1,5098
49	24,842738	59,470383	-0,000001	0,000018	-0,1110	1,9980	2,0011
50	24,842739	59,470383	-0,000001	0,000019	-0,1110	2,1090	2,1119
51	24,842740	59,470382	-0,000002	0,000020	-0,2220	2,2200	2,2311
52	24,842742	59,470380	-0,000004	0,000022	-0,4440	2,4420	2,4820
53	24,842743	59,470380	-0,000004	0,000023	-0,4440	2,5530	2,5913
54	24,842744	59,470379	-0,000005	0,000024	-0,5550	2,6640	2,7212
55	24,842746	59,470378	-0,000006	0,000026	-0,6660	2,8860	2,9618
56	24,842747	59,470377	-0,000007	0,000027	-0,7770	2,9970	3,0961
57	24,842747	59,470377	-0,000007	0,000027	-0,7770	2,9970	3,0961
58	24,842750	59,470374	-0,000010	0,000030	-1,1100	3,3300	3,5101
59	24,842750	59,470374	-0,000010	0,000030	-1,1100	3,3300	3,5101
60	24,842750	59,470374	-0,000010	0,000030	-1,1100	3,3300	3,5101
61	24,842742	59,470382	-0,000002	0,000022	-0,2220	2,4420	2,4521
62	24,842742	59,470381	-0,000003	0,000022	-0,3330	2,4420	2,4646
63	24,842741	59,470381	-0,000003	0,000021	-0,3330	2,3310	2,3547
64	24,842737	59,470385	0,000001	0,000017	0,1110	1,8870	1,8903
65	24,842737	59,470386	0,000002	0,000017	0,2220	1,8870	1,9000
66	24,842736	59,470387	0,000003	0,000016	0,3330	1,7760	1,8069
67	24,842735	59,470388	0,000004	0,000015	0,4440	1,6650	1,7232
68	24,842726	59,470394	0,000010	0,000006	1,1100	0,6660	1,2945
69	24,842724	59,470395	0,000011	0,000004	1,2210	0,4440	1,2992

Tabel L.3.1 jätk

<b>Nr</b>	<b>Laiuskraad, °</b>	<b>Pikkuskraad, °</b>	<b>Delta Pikkus- kraad, °</b>	<b>Delta Laius- kraad, °</b>	<b>Kaugus pikkus- kraadil, m</b>	<b>Kaugus laius- kraadil, m</b>	<b>Kaugus, m</b>
70	24,842724	59,470394	0,000010	0,000004	1,1100	0,4440	1,1955
71	24,842724	59,470393	0,000009	0,000004	0,9990	0,4440	1,0932
72	24,842723	59,470390	0,000006	0,000003	0,6660	0,3330	0,7446
73	24,842724	59,470388	0,000004	0,000004	0,4440	0,4440	0,6279
74	24,842725	59,470387	0,000003	0,000005	0,3330	0,5550	0,6472
75	24,842727	59,470384	0,000000	0,000007	0,0000	0,7770	0,7770
76	24,842727	59,470384	0,000000	0,000007	0,0000	0,7770	0,7770
77	24,842727	59,470385	0,000001	0,000007	0,1110	0,7770	0,7849
78	24,842729	59,470388	0,000004	0,000009	0,4440	0,9990	1,0932
79	24,842730	59,470391	0,000007	0,000010	0,7770	1,1100	1,3549
80	24,842730	59,470391	0,000007	0,000010	0,7770	1,1100	1,3549
81	24,842730	59,470391	0,000007	0,000010	0,7770	1,1100	1,3549
82	24,842729	59,470394	0,000010	0,000009	1,1100	0,9990	1,4934
83	24,842728	59,470394	0,000010	0,000008	1,1100	0,8880	1,4215
84	24,842728	59,470396	0,000012	0,000008	1,3320	0,8880	1,6009
85	24,842727	59,470396	0,000012	0,000007	1,3320	0,7770	1,5421
86	24,842727	59,470396	0,000012	0,000007	1,3320	0,7770	1,5421
87	24,842727	59,470396	0,000012	0,000007	1,3320	0,7770	1,5421
88	24,842728	59,470395	0,000011	0,000008	1,2210	0,8880	1,5098
89	24,842728	59,470393	0,000009	0,000008	0,9990	0,8880	1,3366
90	24,842728	59,470393	0,000009	0,000008	0,9990	0,8880	1,3366
91	24,842727	59,470393	0,000009	0,000007	0,9990	0,7770	1,2656
92	24,842727	59,470393	0,000009	0,000007	0,9990	0,7770	1,2656

Tabel L.3.1 jätk

<b>Nr</b>	<b>Laiuskraad, °</b>	<b>Pikkuskraad, °</b>	<b>Delta Pikkus- kraad, °</b>	<b>Delta Laius- kraad, °</b>	<b>Kaugus pikkus- kraadil, m</b>	<b>Kaugus laius- kraadil, m</b>	<b>Kaugus, m</b>
93	24,842726	59,470392	0,000008	0,000006	0,8880	0,6660	1,1100
94	24,842724	59,470394	0,000010	0,000004	1,1100	0,4440	1,1955
95	24,842723	59,470395	0,000011	0,000003	1,2210	0,3330	1,2656
96	24,842723	59,470396	0,000012	0,000003	1,3320	0,3330	1,3730
97	24,842721	59,470405	0,000021	0,000001	2,3310	0,1110	2,3336
98	24,842721	59,470407	0,000023	0,000001	2,5530	0,1110	2,5554
99	24,842723	59,470407	0,000023	0,000003	2,5530	0,3330	2,5746
100	24,842727	59,470407	0,000023	0,000007	2,5530	0,7770	2,6686
101	24,842728	59,470407	0,000023	0,000008	2,5530	0,8880	2,7030
102	24,842729	59,470406	0,000022	0,000009	2,4420	0,9990	2,6384
103	24,842732	59,470405	0,000021	0,000012	2,3310	1,3320	2,6847
104	24,842733	59,470404	0,000020	0,000013	2,2200	1,4430	2,6478
105	24,842733	59,470404	0,000020	0,000013	2,2200	1,4430	2,6478
106	24,842729	59,470407	0,000023	0,000009	2,5530	0,9990	2,7415
107	24,842727	59,470409	0,000025	0,000007	2,7750	0,7770	2,8817
108	24,842725	59,470410	0,000026	0,000005	2,8860	0,5550	2,9389
109	24,842722	59,470411	0,000027	0,000002	2,9970	0,2220	3,0052
110	24,842722	59,470411	0,000027	0,000002	2,9970	0,2220	3,0052
111	24,842721	59,470410	0,000026	0,000001	2,8860	0,1110	2,8881
112	24,842721	59,470409	0,000025	0,000001	2,7750	0,1110	2,7772
113	24,842721	59,470409	0,000025	0,000001	2,7750	0,1110	2,7772
114	24,842721	59,470410	0,000026	0,000001	2,8860	0,1110	2,8881
115	24,842722	59,470410	0,000026	0,000002	2,8860	0,2220	2,8945

Tabel L.3.1 jätk

<b>Nr</b>	<b>Laiuskraad, °</b>	<b>Pikkuskraad, °</b>	<b>Delta Pikkus- kraad, °</b>	<b>Delta Laius- kraad, °</b>	<b>Kaugus pikkus- kraadil, m</b>	<b>Kaugus laius- kraadil, m</b>	<b>Kaugus, m</b>
116	24,842722	59,470410	0,000026	0,000002	2,8860	0,2220	2,8945
117	24,842721	59,470410	0,000026	0,000001	2,8860	0,1110	2,8881
118	24,842721	59,470410	0,000026	0,000001	2,8860	0,1110	2,8881
119	24,842720	59,470409	0,000025	0,000000	2,7750	0,0000	2,7750
120	24,842720	59,470408	0,000024	0,000000	2,6640	0,0000	2,6640
121	24,842732	59,470397	0,000013	0,000012	1,4430	1,3320	1,9638
122	24,842732	59,470397	0,000013	0,000012	1,4430	1,3320	1,9638
123	24,842731	59,470398	0,000014	0,000011	1,5540	1,2210	1,9763
124	24,842732	59,470397	0,000013	0,000012	1,4430	1,3320	1,9638
125	24,842732	59,470398	0,000014	0,000012	1,5540	1,3320	2,0467
126	24,842733	59,470398	0,000014	0,000013	1,5540	1,4430	2,1207
127	24,842733	59,470398	0,000014	0,000013	1,5540	1,4430	2,1207
128	24,842731	59,470400	0,000016	0,000011	1,7760	1,2210	2,1552
129	24,842730	59,470400	0,000016	0,000010	1,7760	1,1100	2,0943
130	24,842729	59,470400	0,000016	0,000009	1,7760	0,9990	2,0377
131	24,842728	59,470401	0,000017	0,000008	1,8870	0,8880	2,0855
132	24,842727	59,470401	0,000017	0,000007	1,8870	0,7770	2,0407
133	24,842727	59,470398	0,000014	0,000007	1,5540	0,7770	1,7374
134	24,842727	59,470397	0,000013	0,000007	1,4430	0,7770	1,6389
135	24,842726	59,470398	0,000014	0,000006	1,5540	0,6660	1,6907
136	24,842726	59,470397	0,000013	0,000006	1,4430	0,6660	1,5893
137	24,842725	59,470397	0,000013	0,000005	1,4430	0,5550	1,5461
138	24,842725	59,470397	0,000013	0,000005	1,4430	0,5550	1,5461

Tabel L.3.1 jätk

<b>Nr</b>	<b>Laiuskraad, °</b>	<b>Pikkuskraad, °</b>	<b>Delta Pikkus- kraad, °</b>	<b>Delta Laius- kraad, °</b>	<b>Kaugus pikkus- kraadil, m</b>	<b>Kaugus laius- kraadil, m</b>	<b>Kaugus, m</b>
139	24,842725	59,470397	0,000013	0,000005	1,4430	0,5550	1,5461
140	24,842726	59,470395	0,000011	0,000006	1,2210	0,6660	1,3908
141	24,842727	59,470394	0,000010	0,000007	1,1100	0,7770	1,3549
142	24,842726	59,470394	0,000010	0,000006	1,1100	0,6660	1,2945
143	24,842725	59,470392	0,000008	0,000005	0,8880	0,5550	1,0472
144	24,842724	59,470392	0,000008	0,000004	0,8880	0,4440	0,9928
145	24,842723	59,470392	0,000008	0,000003	0,8880	0,3330	0,9484
146	24,842720	59,470391	0,000007	0,000000	0,7770	0,0000	0,7770
147	24,842718	59,470391	0,000007	-0,000002	0,7770	-0,2220	0,8081
148	24,842717	59,470390	0,000006	-0,000003	0,6660	-0,3330	0,7446
149	24,842713	59,470390	0,000006	-0,000007	0,6660	-0,7770	1,0234
150	24,842712	59,470390	0,000006	-0,000008	0,6660	-0,8880	1,1100
151	24,842713	59,470390	0,000006	-0,000007	0,6660	-0,7770	1,0234
152	24,842715	59,470389	0,000005	-0,000005	0,5550	-0,5550	0,7849
153	24,842716	59,470389	0,000005	-0,000004	0,5550	-0,4440	0,7107
154	24,842719	59,470388	0,000004	-0,000001	0,4440	-0,1110	0,4577
155	24,842724	59,470387	0,000003	0,000004	0,3330	0,4440	0,5550
156	24,842724	59,470387	0,000003	0,000004	0,3330	0,4440	0,5550
157	24,842724	59,470387	0,000003	0,000004	0,3330	0,4440	0,5550
158	24,842724	59,470387	0,000003	0,000004	0,3330	0,4440	0,5550
159	24,842723	59,470388	0,000004	0,000003	0,4440	0,3330	0,5550
160	24,842723	59,470389	0,000005	0,000003	0,5550	0,3330	0,6472
161	24,842721	59,470391	0,000007	0,000001	0,7770	0,1110	0,7849



Tabel L.3.1 jätk

Nr	Laiuskraad, °	Pikkuskraad, °	Delta Pikkus- kraad, °	Delta Laius- kraad, °	Kaugus pikkus- kraadil, m	Kaugus laius- kraadil, m	Kaugus, m
162	24,842720	59,470392	0,000008	0,000000	0,8880	0,0000	0,8880
163	24,842720	59,470392	0,000008	0,000000	0,8880	0,0000	0,8880
164	24,842719	59,470393	0,000009	-0,000001	0,9990	-0,1110	1,0051
165	24,842718	59,470396	0,000012	-0,000002	1,3320	-0,2220	1,3504
166	24,842717	59,470397	0,000013	-0,000003	1,4430	-0,3330	1,4809
167	24,842715	59,470399	0,000015	-0,000005	1,6650	-0,5550	1,7551
168	24,842711	59,470402	0,000018	-0,000009	1,9980	-0,9990	2,2338
169	24,842711	59,470402	0,000018	-0,000009	1,9980	-0,9990	2,2338
170	24,842711	59,470404	0,000020	-0,000009	2,2200	-0,9990	2,4344
171	24,842713	59,470403	0,000019	-0,000007	2,1090	-0,7770	2,2476
172	24,842713	59,470404	0,000020	-0,000007	2,2200	-0,7770	2,3520
173	24,842712	59,470406	0,000022	-0,000008	2,4420	-0,8880	2,5984
174	24,842711	59,470407	0,000023	-0,000009	2,5530	-0,9990	2,7415
175	24,842712	59,470407	0,000023	-0,000008	2,5530	-0,8880	2,7030
176	24,842712	59,470407	0,000023	-0,000008	2,5530	-0,8880	2,7030
177	24,842713	59,470407	0,000023	-0,000007	2,5530	-0,7770	2,6686
178	24,842713	59,470407	0,000023	-0,000007	2,5530	-0,7770	2,6686
179	24,842714	59,470407	0,000023	-0,000006	2,5530	-0,6660	2,6384
180	24,842721	59,470406	0,000022	0,000001	2,4420	0,1110	2,4445

Tabel L.3.2. Positioneerimise dünaamilised katseandmed

Aeg, s	Mõõdetud Pikkuskraad, °	Mõõdetud laiuskraad, °	Projekteeritud laiuskraad, °	Projekteeritud pikkuskraad, °	delta laiuskraad, °	delta pikkuskraad, °	Delta Laiuskraad, m	delta pikkuskraad, m
0	24,84271	59,47042	59,47038	24,84272	3,700E-05	-1,400E-05	4,1070	-1,5540
1	24,84271	59,47042	59,47041	24,84272	1,252E-05	-1,455E-05	1,3903	-1,6150
8	24,84271	59,47042	59,47043	24,84272	-1,295E-05	-1,410E-05	-1,4375	-1,5651
12	24,84272	59,47044	59,47045	24,84272	-1,343E-05	-2,650E-06	-1,4902	-0,2941
13	24,84272	59,47045	59,47047	24,84272	-2,890E-05	1,800E-06	-3,2079	0,1998
14	24,84273	59,47045	59,4705	24,84272	-4,438E-05	4,250E-06	-4,9256	0,4718
15	24,84273	59,47046	59,47052	24,84272	-5,785E-05	5,700E-06	-6,4214	0,6327
22	24,84274	59,47053	59,47054	24,84272	-1,133E-05	1,515E-05	-1,2571	1,6817
24	24,84274	59,47055	59,47056	24,84272	-1,280E-05	1,860E-05	-1,4208	2,0646
29	24,84275	59,4706	59,47059	24,84272	1,272E-05	2,805E-05	1,4125	3,1136
30	24,84275	59,47061	59,47061	24,84273	2,500E-07	2,750E-05	0,0277	3,0525
31	24,84275	59,47062	59,47063	24,84273	-1,223E-05	2,795E-05	-1,3570	3,1025
33	24,84276	59,47064	59,47065	24,84273	-1,370E-05	3,040E-05	-1,5207	3,3744
37	24,84276	59,47068	59,47068	24,84273	7,825E-06	3,685E-05	0,8686	4,0904
38	24,84277	59,4707	59,4707	24,84273	-2,650E-06	3,830E-05	-0,2942	4,2513
39	24,84277	59,47071	59,47072	24,84273	-1,413E-05	3,875E-05	-1,5679	4,3013
41	24,84277	59,47073	59,47074	24,84273	-1,560E-05	3,620E-05	-1,7316	4,0182
42	24,84277	59,47074	59,47077	24,84273	-2,708E-05	3,565E-05	-3,0053	3,9572
45	24,84277	59,47077	59,47079	24,84273	-2,155E-05	3,610E-05	-2,3921	4,0071
46	24,84277	59,47078	59,47081	24,84273	-3,503E-05	3,855E-05	-3,8878	4,2791
47	24,84277	59,47078	59,47083	24,84273	-5,250E-05	3,800E-05	-5,8275	4,2180
49	24,84277	59,4708	59,47086	24,84273	-5,298E-05	4,045E-05	-5,8802	4,4900
50	24,84277	59,47081	59,47088	24,84273	-6,745E-05	3,990E-05	-7,4870	4,4289
54	24,84278	59,47087	59,4709	24,84273	-3,493E-05	4,635E-05	-3,8767	5,1449
55	24,84278	59,47088	59,47092	24,84273	-4,740E-05	4,780E-05	-5,2614	5,3058
57	24,84278	59,47091	59,47095	24,84273	-3,988E-05	5,025E-05	-4,4261	5,5778
61	24,84278	59,47093	59,47097	24,84273	-3,735E-05	4,170E-05	-4,1459	4,6287
62	24,84278	59,47094	59,47099	24,84273	-4,883E-05	4,115E-05	-5,4196	4,5677

Tabel L.3.2 jätk

Aeg, s	Mõõdetud Pikkuskraad, °	Mõõdetud laiuskraad, °	Projekteeritud laiuskraad, °	Projekteeritud pikkuskraad, °	delta laiuskraad, °	delta pikkuskraad, °	Delta Laiuskraad, m	delta pikkuskraad, m
64	24,84278	59,47098	59,47101	24,84274	-3,730E-05	4,860E-05	-4,1403	5,3946
69	24,84279	59,47103	59,47104	24,84274	-3,775E-06	5,205E-05	-0,4190	5,7776
70	24,84279	59,47105	59,47106	24,84274	-1,125E-05	5,150E-05	-1,2488	5,7165
72	24,84279	59,47108	59,47108	24,84274	1,275E-06	5,595E-05	0,1415	6,2105
73	24,8428	59,47109	59,4711	24,84274	-1,320E-05	5,740E-05	-1,4652	6,3714
78	24,84281	59,47116	59,47113	24,84274	3,532E-05	7,085E-05	3,9211	7,8644
79	24,84281	59,47117	59,47115	24,84274	2,585E-05	7,130E-05	2,8693	7,9143
80	24,84281	59,47119	59,47117	24,84274	1,737E-05	7,175E-05	1,9286	7,9643
82	24,84281	59,47121	59,47119	24,84274	1,290E-05	7,420E-05	1,4319	8,2362
86	24,84282	59,47126	59,47122	24,84274	4,642E-05	8,065E-05	5,1532	8,9522
87	24,84282	59,47128	59,47124	24,84274	3,795E-05	8,010E-05	4,2124	8,8911
88	24,84282	59,47129	59,47126	24,84274	3,147E-05	8,155E-05	3,4937	9,0521
89	24,84283	59,47132	59,47128	24,84274	3,200E-05	8,700E-05	3,5520	9,6570
95	24,84284	59,4714	59,47128	24,84274	1,180E-04	9,900E-05	13,0980	10,9890
96	24,84283	59,47139	59,47128	24,84274	1,070E-04	8,700E-05	11,8770	9,6570
98	24,84281	59,47135	59,47128	24,84274	7,000E-05	7,200E-05	7,7700	7,9920
103	24,8428	59,47132	59,47128	24,84274	3,200E-05	5,900E-05	3,5520	6,5490
105	24,84279	59,47131	59,47128	24,84274	2,400E-05	4,400E-05	2,6640	4,8840
107	24,84275	59,4713	59,47128	24,84274	1,400E-05	1,200E-05	1,5540	1,3320
111	24,84274	59,47129	59,47128	24,84274	9,000E-06	-1,000E-06	0,9990	-0,1110
112	24,84274	59,47129	59,47128	24,84274	7,000E-06	-5,000E-06	0,7770	-0,5550
114	24,84273	59,47129	59,47128	24,84274	5,000E-06	-1,400E-05	0,5550	-1,5540
115	24,84273	59,47129	59,47128	24,84274	5,000E-06	-1,700E-05	0,5550	-1,8870
119	24,84272	59,47128	59,47128	24,84274	-6,395E-14	-2,000E-05	0,0000	-2,2200
120	24,84272	59,47128	59,47128	24,84274	-6,395E-14	-2,200E-05	0,0000	-2,4420
121	24,84272	59,47128	59,47128	24,84274	-6,395E-14	-2,400E-05	0,0000	-2,6640
122	24,84272	59,47128	59,47128	24,84274	-6,395E-14	-2,500E-05	0,0000	-2,7750
128	24,84272	59,47129	59,47128	24,84274	4,000E-06	-2,300E-05	0,4440	-2,5530

Tabel L.3.2 jätk

<b>Aeg, s</b>	<b>Mõõdetud Pikkuskraad, °</b>	<b>Mõõdetud laiuskraad, °</b>	<b>Projekteeritud laiuskraad, °</b>	<b>Projekteeritud pikkuskraad, °</b>	<b>delta laiuskraad, °</b>	<b>delta pikkuskraad, °</b>	<b>Delta Laiuskraad, m</b>	<b>delta pikkuskraad, m</b>
129	24,84272	59,47129	59,47128	24,84274	5,000E-06	-2,300E-05	0,5550	-2,5530
131	24,84272	59,47129	59,47128	24,84274	7,000E-06	-2,400E-05	0,7770	-2,6640
136	24,84272	59,47129	59,47128	24,84274	6,000E-06	-2,500E-05	0,6660	-2,7750
138	24,84272	59,47129	59,47128	24,84274	3,000E-06	-2,500E-05	0,3330	-2,7750

## Lisa 4 Ohutsooni katseandmed

Tabelis L.4 on toodud ohutsooni katseandmed.

Tabel L.4. Ohutsooni katseandmed

Nr	RSS (30 cm), dB	RSS kaugus (30 cm), m	RSS (1 m), dB	RSS kaugus (1 m), m	RSS (5 m), db	RSS kaugus (5 m), m	RSS (20 m), db	RSS kaugus (20 m), m
1	-45	0,5412	-49	0,8900	-69	5,8570	-87	18,4059
2	-43	0,4135	-49	0,8900	-69	5,8570	-87	18,4059
3	-43	0,4135	-50	1,0000	-69	5,8570	-87	18,4059
4	-41	0,3111	-50	1,0000	-69	5,8570	-89	20,4609
5	-39	0,2303	-50	1,0000	-69	5,8570	-88	19,4149
6	-39	0,2303	-50	1,0000	-69	5,8570	-88	19,4149
7	-39	0,2303	-50	1,0000	-69	5,8570	-88	19,4149
8	-39	0,2303	-50	1,0000	-69	5,8570	-87	18,4059
9	-39	0,2303	-51	1,1204	-69	5,8570	-85	16,4965
10	-41	0,3111	-52	1,2519	-68	5,4287	-85	16,4965
11	-39	0,2303	-53	1,3950	-68	5,4287	-86	17,4333
12	-39	0,2303	-51	1,1204	-69	5,8570	-87	18,4059
13	-41	0,3111	-51	1,1204	-69	5,8570	-87	18,4059
14	-41	0,3111	-50	1,0000	-70	6,3096	-87	18,4059
15	-41	0,3111	-50	1,0000	-68	5,4287	-87	18,4059
16	-41	0,3111	-51	1,1204	-68	5,4287	-87	18,4059
17	-43	0,4135	-50	1,0000	-69	5,8570	-88	19,4149
18	-43	0,4135	-50	1,0000	-67	5,0238	-88	19,4149
19	-43	0,4135	-50	1,0000	-70	6,3096	-88	19,4149
20	-43	0,4135	-50	1,0000	-70	6,3096	-88	19,4149
21	-43	0,4135	-49	0,8900	-70	6,3096	-88	19,4149
22	-42	0,3594	-50	1,0000	-70	6,3096	-86	17,4333
23	-43	0,4135	-50	1,0000	-68	5,4287	-84	15,5949
24	-42	0,3594	-50	1,0000	-70	6,3096	-84	15,5949
25	-42	0,3594	-50	1,0000	-70	6,3096	-84	15,5949
26	-40	0,2683	-50	1,0000	-69	5,8570	-84	15,5949
27	-39	0,2303	-50	1,0000	-69	5,8570	-85	16,4965
28	-39	0,2303	-50	1,0000	-69	5,8570	-85	16,4965
29	-39	0,2303	-50	1,0000	-69	5,8570	-85	16,4965
30	-39	0,2303	-50	1,0000	-69	5,8570	-84	15,5949
31	-41	0,3111	-50	1,0000	-70	6,3096	-85	16,4965
32	-41	0,3111	-47	0,6985	-71	6,7871	-86	17,4333
33	-40	0,2683	-50	1,0000	-70	6,3096	-86	17,4333

Tabel L.4 jätk

Nr	RSS (30 cm), dB	RSS kaugus (30 cm), m	RSS (1 m), dB	RSS kaugus (1 m), m	RSS (5 m), db	RSS kaugus (5 m), m	RSS (20 m), db	RSS kaugus (20 m), m
34	-40	0,2683	-50	1,0000	-70	6,3096	-86	17,4333
35	-43	0,4135	-49	0,8900	-70	6,3096	-86	17,4333
36	-46	0,6158	-49	0,8900	-71	6,7871	-86	17,4333
37	-43	0,4135	-47	0,6985	-70	6,3096	-86	17,4333
38	-43	0,4135	-45	0,5412	-72	7,2903	-87	18,4059
39	-43	0,4135	-47	0,6985	-71	6,7871	-87	18,4059
40	-41	0,3111	-45	0,5412	-70	6,3096	-87	18,4059
41	-41	0,3111	-47	0,6985	-70	6,3096	-87	18,4059
42	-43	0,4135	-47	0,6985	-71	6,7871	-88	19,4149
43	-43	0,4135	-47	0,6985	-71	6,7871	-88	19,4149
44	-41	0,3111	-47	0,6985	-71	6,7871	-89	20,4609
45	-41	0,3111	-47	0,6985	-71	6,7871	-88	19,4149
46	-43	0,4135	-50	1,0000	-71	6,7871	-86	17,4333
47	-43	0,4135	-51	1,1204	-71	6,7871	-86	17,4333
48	-41	0,3111	-52	1,2519	-71	6,7871	-86	17,4333
49	-41	0,3111	-52	1,2519	-71	6,7871	-86	17,4333
50	-41	0,3111	-52	1,2519	-71	6,7871	-86	17,4333
51	-38	0,1968	-52	1,2519	-71	6,7871	-86	17,4333
52	-38	0,1968	-51	1,1204	-71	6,7871	-85	16,4965
53	-40	0,2683	-51	1,1204	-71	6,7871	-85	16,4965
54	-38	0,1968	-50	1,0000	-71	6,7871	-85	16,4965
55	-38	0,1968	-50	1,0000	-71	6,7871	-86	17,4333
56	-38	0,1968	-50	1,0000	-71	6,7871	-87	18,4059
57	-38	0,1968	-50	1,0000	-71	6,7871	-88	19,4149
58	-39	0,2303	-49	0,8900	-71	6,7871	-88	19,4149
59	-38	0,1968	-49	0,8900	-71	6,7871	-89	20,4609
60	-39	0,2303	-50	1,0000	-71	6,7871	-91	22,6658
61	-39	0,2303	-50	1,0000	-71	6,7871	-91	22,6658
62	-39	0,2303	-50	1,0000	-71	6,7871	-91	22,6658
63	-40	0,2683	-49	0,8900	-72	7,2903	-90	21,5443
64	-40	0,2683	-49	0,8900	-71	6,7871	-90	21,5443
65	-42	0,3594	-49	0,8900	-72	7,2903	-90	21,5443
66	-41	0,3111	-49	0,8900	-71	6,7871	-90	21,5443
67	-39	0,2303	-50	1,0000	-72	7,2903	-90	21,5443
68	-41	0,3111	-50	1,0000	-71	6,7871	-90	21,5443
69	-41	0,3111	-49	0,8900	-70	6,3096	-90	21,5443

Tabel L.4 jätk

Nr	RSS (30 cm), dB	RSS kaugus (30 cm), m	RSS (1 m), dB	RSS kaugus (1 m), m	RSS (5 m), db	RSS kaugus (5 m), m	RSS (20 m), db	RSS kaugus (20 m), m
70	-41	0,3111	-50	1,0000	-68	5,4287	-90	21,5443
71	-41	0,3111	-50	1,0000	-66	4,6416	-89	20,4609
72	-41	0,3111	-50	1,0000	-66	4,6416	-89	20,4609
73	-41	0,3111	-50	1,0000	-66	4,6416	-88	19,4149
74	-41	0,3111	-50	1,0000	-66	4,6416	-88	19,4149
75	-41	0,3111	-50	1,0000	-66	4,6416	-87	18,4059
76	-41	0,3111	-50	1,0000	-66	4,6416	-87	18,4059
77	-41	0,3111	-49	0,8900	-67	5,0238	-86	17,4333
78	-41	0,3111	-50	1,0000	-68	5,4287	-86	17,4333
79	-41	0,3111	-50	1,0000	-68	5,4287	-86	17,4333
80	-41	0,3111	-50	1,0000	-70	6,3096	-85	16,4965
81	-41	0,3111	-50	1,0000	-72	7,2903	-85	16,4965
82	-41	0,3111	-50	1,0000	-73	7,8199	-86	17,4333
83	-41	0,3111	-50	1,0000	-73	7,8199	-86	17,4333
84	-40	0,2683	-50	1,0000	-73	7,8199	-86	17,4333
85	-41	0,3111	-50	1,0000	-74	8,3768	-86	17,4333
86	-41	0,3111	-51	1,1204	-74	8,3768	-86	17,4333
87	-43	0,4135	-50	1,0000	-74	8,3768	-86	17,4333
88	-43	0,4135	-50	1,0000	-74	8,3768	-86	17,4333
89	-41	0,3111	-50	1,0000	-74	8,3768	-86	17,4333
90	-43	0,4135	-50	1,0000	-75	8,9615	-86	17,4333
91	-43	0,4135	-50	1,0000	-75	8,9615	-86	17,4333
92	-43	0,4135	-50	1,0000	-75	8,9615	-86	17,4333
93	-43	0,4135	-49	0,8900	-75	8,9615	-86	17,4333
94	-43	0,4135	-49	0,8900	-75	8,9615	-86	17,4333
95	-43	0,4135	-49	0,8900	-75	8,9615	-86	17,4333
96	-43	0,4135	-50	1,0000	-75	8,9615	-86	17,4333
97	-43	0,4135	-50	1,0000	-75	8,9615	-86	17,4333
98	-43	0,4135	-50	1,0000	-75	8,9615	-87	18,4059
99	-43	0,4135	-50	1,0000	-75	8,9615	-86	17,4333
100	-43	0,4135	-50	1,0000	-75	8,9615	-86	17,4333
101	-43	0,4135	-49	0,8900	-75	8,9615	-87	18,4059
102	-41	0,3111	-50	1,0000	-74	8,3768	-87	18,4059
103	-40	0,2683	-51	1,1204	-74	8,3768	-85	16,4965
104	-39	0,2303	-50	1,0000	-74	8,3768	-85	16,4965
105	-40	0,2683	-50	1,0000	-74	8,3768	-85	16,4965

## Lisa 5 Toitesüsteemi katseandmed

Tabelis L.5 on toodud toitesüsteemi katseandmed.

Tabel L.5. Voolutarbimise katseandmed

Aktiveeritud: Koordinaatide leidmine, mA			Aktiveeritud: serveri ühendumine, mA			Eeletapp: enne majaka aktiveerimist, mA	Eeletapp: aktiveerimise ajal, mA	Katse number
Keskmine	Min	Max	Keskmine	Min	Max			
176,05	210,7	141,4	221,75	239,2	204,3	17,67	55,04	1
172,15	201,3	143	221,15	243,6	198,7	17,66	55,09	2
177,05	213,8	140,3	223,4	243	203,8	17,66	55,08	3
176,8	221,8	131,8	220,6	242,7	198,5	17,65	55,04	4
220,95	285,9	156	223,8	243,3	204,3	17,66	55,07	5
201	261,2	140,8	220,3	241,4	199,2	17,66	55,05	6
199,6	257	142,2	225,85	243,3	208,4	17,65	54,94	7
197,8	258,4	137,2	221,9	241	202,8	17,61	55,13	8
192,35	252,3	132,4	220	241,5	198,5	17,58	55,03	9
212,65	283,8	141,5	225,45	243,4	207,5	17,6	54,88	10