

**TAL
TECH**

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

**AUTOMAATNE AKULAADIMISSÜSTEEM
ROBOTPAATIDELE**

**AUTOMATIC BATTERY CHARGING SYSTEM FOR
ROBOTIC BOATS**

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Günther Põllumäe

Üliõpilaskood 179461EAAB

Juhendaja: Indrek Roasto, vanemlektor

Tallinn 2021

(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.

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

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

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

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

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

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina _____ (autori nimi)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja on

(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.

_____ (kuupäev)

¹ 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 loominguulise 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: Günther Põllumäe

Lõputöö liik: Bakalaureusetöö

Töö pealkiri: Automaatne akulaadimissüsteem robotpaatidele

Kuupäev:

61 lk

18.05.2021

Ülikool: Tallinna Tehnikaülikool

Teaduskond: Inseneriteaduskond

Instituut: Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Töö juhendaja(d): Indrek Roasto

Töö konsultant (konsultandid): -

Sisu kirjeldus:

Merenduses on tavaks saamas autonoomsed meresõidukid. TalTechis on arendamisel elektriline robotpaadil Nymo. Arendustööd liiguvad suunas, et paat oleks täiesti ise opereeriv. Üks võimalus lisada paadile juurde vabadusaste on teha paadi laadimine autonoomseks.

Antud lõputöö eesmärgiks on projekteerida robotpaadile automaatne akulaadimissüsteem. Töö käigus teostatakse olemasolevatele juhtmevabadele akulaadijatele turuülevaade ning analüüsimise põhjal leitakse sobivaim laadija robotpaadile. Valitud laadija baasil luuakse automaatne süsteem, mis tagab robotpaat Nymo laadimise ujuvkai ääres ilma kõrvalise abita. Süsteemist luuakse 3D-mudel programmis Autodesk Inventor Professional 2021. Loodud mudelile töötatakse välja elektroonika ja juhtimisalgoritm. Süsteemi toimimist katsetatakse tarkvaraga Autodesk Tinkercad.

Märksõnad: Robotpaat, Nymo, juhtmevaba laadimine, turuülevaade, autonoomne laadimine, bakalaureusetöö.

ABSTRACT

Author: Günther Põllumäe

Type of the work: Bachelor Thesis

Title: Automatic battery charging system for robotic boats

Date: 18.05.2021

61 pages

University: Tallinn University of Technology

School: School of Engineering

Department: Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics

Supervisor(s) of the thesis: Indrek Roasto

Consultant(s): -

Abstract:

Autonomous vessels are becoming the norm in the sea industry. TalTech is currently developing an electric robotic boat Nymo. The development work is moving towards making the boat fully self-operative. One way to add a degree of freedom to the boat is to make charging autonomous.

The objective of this thesis is to design an automatic battery charging system for the electric robot boat. In the course of work market overview of the existing wireless chargers will be carried out, and the basis of the analysis, the most suitable charger for the boat will be found. Based on the selected charger, an automatic system will be created, which ensures robotic boat Nymo charging at the floating dock without any assistance. 3D model will be created using Autodesk Inventor Professional 2021. Electronics and control algorithm will be developed for the created model. The system is tested with the Autodesk Tinkercad software.

Keywords: Robotic boat, Nymo, wireless charging, market overview, autonomous charging.

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema: Automaatne akulaadimissüsteem robotpaatidele
Lõputöö teema inglise keeles: Automatic battery charging system for robotic boats
Üliõpilane: Günther Põllumäe, 179461EAAB
Eriala: Mehhatroonika, EAAB
Lõputöö liik: bakalaureusetöö
Lõputöö juhendaja: Indrek Roasto
(ettevõtte, amet ja kontakt) Taltech, vanemteadur, tanel.jalakas@taltech.ee
Lõputöö ülesande kehtivusaeg: 09.2021
Lõputöö esitamise tähtaeg: 18.05.2021

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppekava juht (allkiri)

Kaasjuhendaja (allkiri)

1. Teema põhjendus

Merenduses on viimasel ajal saanud trendiks autonoomsete sõidukite arendamine. Merel hakkab liikuma üha rohkem nii suuri kui ka väikeseid robotlaevu. Robotlaevad on laevad, mis suudavad autonoomselt nii merel kui sadamas liigelda. Käesolev lõputöö keskendub väikestele täiselektrilistele robotpaatidele (suurusega kuni 1,5 m x 2,5 m). Elektrilisel robotpaadil on üks oluline eelis diiselmootoriga robotpaadi ees. Nimelt võib elektrilist robotpaati suhteliselt lihtsalt ka autonoomselt laadida, mis annab paadile juurde lisavabadusastme. Selline robotpaat võib ilma kõrvalise abita töötada päevi või nädalaid.

Antud lõputöö teemaks ongi automaatse laadimissüsteemi projekteerimine ja ehitamine. Teema on ajendatud Taltech robotpaat Nymo projektist, kus töötati välja väike (1,2 m x 2 m) katamaraan tüüpi robotpaat. Lõputöö raames töötatakse välja automaatne akulaadimissüsteem, mis sobiks Nymo laadimiseks.

2. Töö eesmärk

Töö eesmärgiks on väljatöötada automaatne akulaadimissüsteem, mis võimaldaks laadida robotpaat Nymot ujuvkai ääres ilma kõrvalise abita.

3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

Lahendamisele kuuluvad probleemid:

Ülevaade olemasolevatest akulaadimistehnoloogiatest.

Sobiva akulaadija välja valimine.

3D joonised akulaadimissüsteemist.

Akulaadimissüsteemi elektroonika ja juhtimise väljatöötamine.

4. Lähteandmed

Robotlaeva Nymo spetsifikatsioon

Tehnilised nõuded laadimissüsteemile

5. Uurimismeetodid

Töö teoreetilise osa tulemusteni jõutakse läbi erineva kirjanduse analüüsi, kasutades teemakohaseid artikleid ning teadustöid. Praktilise osa tulemus saavutatakse läbi mõõtmiste ja arvutamiste, mille tulemusi analüüsitakse simulatsioonidega.

6. Graafiline osa

Joonised, skeemid, pildid ja tabelid on peamiselt töö põhiosas.

7. Töö struktuur

Esimene peatükk "Ülevaade juhtmevabadest laadijatest" koosneb alapeatükkidest "Laadija valikukriteeriumid", "Juhtmevaba laadimise olemus ja arengu suund" ning Juhtmevabade laadijate turuülevaade". Teine peatükk „Automaatne akulaadimissüsteem“ koosneb alapeatükkidest „Lähtandmed akulaadimissüsteemile“, „Automaatse akulaadimissüsteemi kontseptsioon“ ja „Akulaadimissüsteemi elektroonika“. Kolmas peatükk „ Simulatsioonid“ koosneb alapeatükist „Tinkercad simulatsioonid“.

8. Kasutatud kirjanduse allikad

Kasutatud kirjandus koosneb 37. võrgupõhisest allikast, mis on peamiselt komponentide andmelehed ja teaduslikud artiklid.

9. Lõputöö konsultandid

Juhendaja ja kaasjuhendaja.

10. Töö etapid ja ajakava

Sobiva akulaadija valik (18. detsember)

Automaatse akulaadimissüsteemi kontseptsiooni kirjeldus (29. jaanuar)

Automaatse akulaadimissüsteemi kontseptsiooni 3D mudel (10. veebruar)

Akulaadimissüsteemi elektroonika (15. märts)

Akulaadimissüsteemi juhtimissüsteem ja algoritm (3. aprill)

Teoreetilise osa kirjutamine ning kirjanduse läbitöötamine (8. aprill)

Töö esimene versioon valmis (23. aprill)

Juhendajale läbilugemiseks saatmine (23. aprill)

Paranduste sisseviimine (3.mai)

Juhendajale teiseks läbilugemiseks saatmine (10.mai)

Töö lõplik versioon valmis (15. mai)

SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE	4
ABSTRACT	5
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE	6
EESSÕNA	11
Lühendite ja tähiste loetelu	12
SISSEJUHATUS	13
1 ÜLEVAADE JUHTMEVABADEST LAADIJATEST	14
1.1 Laadija valikukriteeriumid	14
1.2 Juhtmevaba laadimise olemus ja arengu suund	15
1.3 Juhtmevabade laadijate turuülevaade.....	16
2 AUTOMAATNE AKULAADIMISSÜSTEEM	22
2.1 Lähteandmed akulaadimissüsteemile.....	22
2.1.1 Delta juhtmevaba laadimissüsteemi spetsifikatsioon	22
2.1.2 Robotpaat Nymo spetsifikatsioon	23
2.1.3 Robotpaadi sildumisprotsess	24
2.2 Automaatse akulaadimissüsteemi kontseptsioon	24
2.2.1 Laadija paigutus	25
2.2.2 Laadimise mehaanika	27
2.3 Akulaadimissüsteemi elektroonika.....	30
2.3.1 Akulaadimissüsteemi kontrolleri	30
2.3.2 Akulaadimissüsteemi andurid	31
2.3.3 Akulaadimissüsteemi mootorid koos komponentidega.....	37
2.3.4 Laadija ühendusskeem	42
2.3.5 Akulaadimissüsteemi juhtmestik	43
2.3.6 Juhtimisalgoritm	45
3 Simulatsioonid.....	48
3.1 Tinkercad simulatsioonid.....	48
KOKKUVÕTE	54
SUMMARY.....	55
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	56
LISAD	60

EESSÕNA

Käesoleva lõputöö teema kujunes TalTechi poolt arendatava autonoomse robotlaeva projektist „Nymo“. Projekti käigus töötatakse välja isetoimiv meresõiduk, kuhu alla kuulub ka automaatne laadimine, mis sai ajendiks antud lõputööle.

Võtmesõnad: robotpaat, juhtmevaba laadimine, automaatne laadimine, bakalaureusetöö.

Lühendite ja tähiste loetelu

AGM – Imav klaasist matt aku

GEL – Geel aku

LiFePO₄ – Liitium raud fosfor aku

LiIon – Liitiumioon aku

LiPo – Liitium polümeer aku

NMH - Nikkel-metallhüdriid aku

PWM – Pulsilaiusmodulatsioon

SLA – Pitseeritud pliihape aku

SISSEJUHATUS

Merenduses on viimasel ajal saanud trendiks autonoomsete sõidukite arendamine. Üha rohkem on hakanud liikuma nii suuri kui ka väikeseid robotlaevu, mis suudavad ilma kõrvalise abita liigelda nii merel kui sadamates. Robotpaadid liiguvad nii elektri kui diiselmootori jõul. Elektrilisel robotpaadil on üks oluline eelis diiselmootoriga robotpaadi ees. Nimelt võib elektrilist robotpaati suhteliselt lihtsalt ka autonoomselt laadida, mis annab paadile juurde lisavabadusastme. Selline robotpaat võib ilma kõrvalise abita töötada päevi või nädalaid.

Autonoomsete meresõidukite valdkonnaga tegeletakse üha enam. Näiteks Jaapanis tegeleb Yanmar autonoomse paadi sildumise ja merel koordineerimistega. Inglismaal arendatud paat on juba hakkama saanud 22-päevase missiooniga Atlandi ookeanil. Teadus ja arendustöö on töötanud eesmärgiga säästa inimesi üksluisest, pikast ning kohati ohtlikust tööst. [1] [2]

Eestis tegeleb autonoomse robotpaadi Nymo arendamisega TalTech ja MEC Insenerilahendused OÜ. Nymo on esimene Eestis arendatav autonoomne meresõiduk. Robotpaat on prototüüp modulaarsele robotplatvormile, mis suudab iseseisvalt liigelda nii sadamas kui merel, täita etteantud missiooni ning on teadlik enda energiakulust ja reservist. [3]

Käesolev lõputöö keskendub väikestele täiselektrilistele robotpaatidele (suurusega kuni 1,5 m x 2,5 m). Lõputöö teemaks on automaatse laadimissüsteemi projekteerimine. Teema valik on ajendatud Taltech robotpaat Nymo projektist, kus töötati välja väike (1,2 m x 2 m) katamaraan tüüpi robotpaat. Lõputöö eesmärgiks on luua autonoomne akulaadimissüsteem robotpaat Nymo laadimiseks.

Tööd alustatakse juhtmevabade laadijate turul leiduvate valmislahenduste analüüsimisega, eesmärgiga leida Nymo paadile kõige sobilikum laadija. Järgmiseks arendatakse välja vastavalt laadija valikule sobiv laadimissüsteem, mis koosneb mehaanikast ja elektroonikast. Seejärel teostatakse loodud süsteemi simulatsioonid tõestamaks projekteeritud süsteemi töökindlust. Töös kasutatakse 3D modelleerimistarkvara Autodesk Inventor Professional 2021, elektriskeemide loomiseks Fritzing tarkvara ning simuleerimiseks Autodesk Tinkercadi.

1 ÜLEVAADE JUHTMEVABADEST LAADIJATEST

Akude laadimisel on kasutusel kaks peamist tehnoloogiat. Kasutatakse nii juhtmega kui ka juhtmevaba laadimist. Juhtmevaba laadimine on uudne ja kiiresti arenev tehnoloogia, mis on saamas uueks trendiks kogu elektroonika valdkonnas. Tänapäeval on kõige lihtsam viis tagada autonoomne laadimine kasutades juhtmevaba laadimist. Antud töös uuritakse autonoomse robotlaeva akude laadimisvõimalusi. Autonoomsete sõidukite puhul on kõige olulisemaks nõudeks tagada sõiduki iseseisev toimetulek. See nõue peab olema tagatud ka laadimislahenduse korral.

1.1 Laadija valikukriteeriumid

Laadija valikul lähtutakse Nymo robotpaadil kasutatavast toiteallikast. Paadil on kaks 48 V 40 Ah liitium-raudfosfaat (LiFePO_4) akut, mille nominaalne tööpinge on 52,6 V. Akul on integreeritud akuhaldussüsteem. Laadija valikul on piirteguriteks aku andmelehest tulenevad andmed. Maksimaalne laadimisvool on 20 A ja maksimaalne laadimispinge on 58,4 V. Akul puudub mälu efekt, mis tähendab, et aku ei kaota mahutavust, kui seda ei laeta täielikult tühjaks ehk paadil kasutatavat akut võib laadida igal hetkel.

Juhendaja poolt antud lähtandmete alusel leidub sadamates peamiselt ühefaasiline 230 Vrms 50 Hz toide, seega on mõistlik valida laadija sisend vastavalt sadamates olevale toitele. Muutlikus keskkonnas töötavale seadmele tuleb tagada kaitse keskkonna tingimuste eest. Elektriseadmete korpuste tihedusastmeid määratakse IP-hinnangutega, sama saab teha ka laadijate puhul. IP-hinnangutel on eristamiseks kaks numbrit, millest esimene hindab seadmesse sissetungi võimalikkust ja teine kaitset niiskuse eest. Seda kõike tuleb arvestada laadija valikul ja selle paigutamisel ujukai äärde. Valitud laadija peab vastama vähemalt IP51 klassile, mis tähendab osalist tolmu- kaitset ja ka kaitset vertikaalsete veeosakeste eest. Kõik olulised valikukriteeriumid sobiva laadija valikul on kuvatud tabelis 1.1. [4] [5]

Tabel 1.1 Laadija valikukriteeriumid [4]

Aku tegurid	Väärtus
Tüüp	LiFePO_4
Nominaalne tööpinge, V	52,6
Laadimispinge, V	57,6 – 58,4
Maksimaalne laadimisvool, A	20
Laadija sisend, Vrms, Hz	230, 50
IP - hinnang	$\geq\text{IP51}$

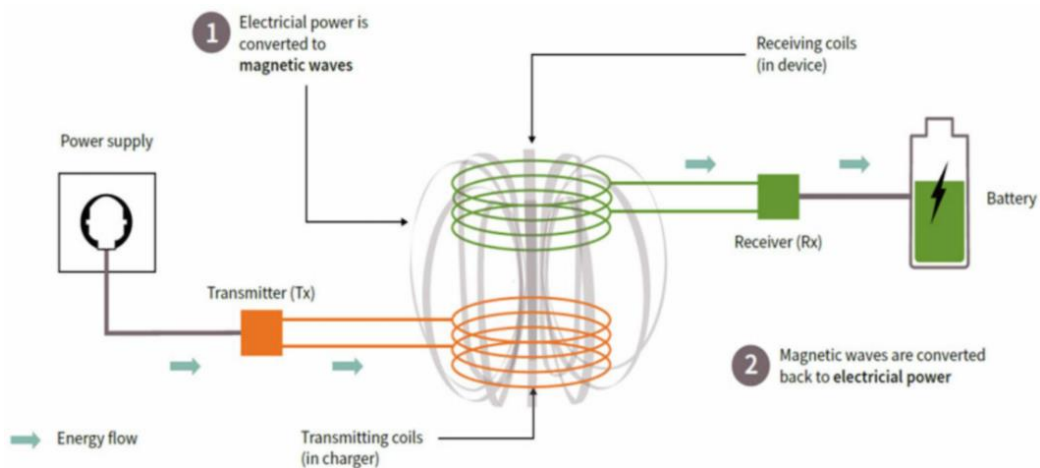
Koostatud tabelis toodud andmeid kasutatakse turul leiduvate laadijate hulgast sobiva valiku tegemisel.

1.2 Juhtmevaba laadimise olemus ja arengu suund

Juhtmevaba laadimise juured ulatuvad 1830. aastatesse, kui tollal tuli Michael Faraday avalikuse ette ideega, et energiat on võimalik läbi õhu ühest punktist teise üle kanda. Ainuüksi mõtte polnud piisav, et välja arendada juhtmevaba laadimine, kuid see oli piisavaks sisendiks Nikolai Teslale, kes 20. sajandi alguses töötas välja Tesla transformaatori, millel põhineb tänapäeval tuntud juhtmevaba laadimise tehnoloogia. 1978. aastal loodi Ameerika Ühendriikides esimene induktsioonil töötav laadija, mis toitis elektriautot 20 kW ja 180 Hz-ga. [6] [7]

Maailm on suurel kiirusel muutumas juhtmevabaks. Väga efektiivselt on seda juba suutnud internet ja mobiilside. Tundub, et järgmine samm on seadmed, millel on laetavad akud. Juhtmevaba laadimine on hetkel kiiresti laienemas autotööstusesse, tervishoiu- ning tootmisvaldkondadesse, kus on vaja üle kanda suuri võimsuseid. Aastaks 2026 on prognoositud, et juhtmevaba laadimise turg globaalsel tasemel ületab 30. miljardi dollari piiri. Hetkel on laialt levinud madala võimsusega laadijad, mis sobivad väikese mahutavusega aku laadimiseks nagu näiteks nutiseadmete, sülearvutite jms laadijad. Mahukamate akude laadimiseks pole veel leitud sobivaid lahendusi, mis oleksid nii hinna kui ka efektiivsuse suhtes mõistlikud. [8]

Juhtmevaba laadimine põhineb magnetresonantsil. Esmalt pingestatakse laadija mähis, mis kutsub esile elektromagneetilise induktsiooni. Selle tulemusena kantakse energia laadija mähisest laaditava objekti mähisesse. Laadija tekitab induktsioonmähise abil vahelduva elektromagnetvälja, mille vastuvõttev mähis muundab energiaks, mida kasutatakse aku laadimiseks. Tehnoloogiat illustreeriv pilt on kuvatud joonisel 1.1. [8]



Joonis 1.1 Juhtmevaba laadimise olemus [9]

Juhtmevaba laadimise tehnoloogial on erinevaid eeliseid. Laadimine on galvaaniliselt isoleeritud, mis teeb selle tavaoludes vastupidavaks keskkonna mõjude eest. Laadimisviis on väga mobiilne ja kergesti automatiseeritav, mis võimaldab seda lihtsasti kasutada autonoomsete robotite juures. Suureks boonuseks juhtmevaba laadimise juures on selle töökindlus võrreldes traditsioonilise juhtmetega viisi puhul, sest puudub otsene ühendamine ja sellega kaasnevad ebaõnnestumise võimalused. Süsteemil esineb lisaks nimetatud eelistele ka puudujääke. Tehnoloogia puudujäägiks saab välja tuua asjaolu, et juhtmevaba laadimine nõuab kindlat positsioneerimist saatja ja vastuvõtja mähiste vahel. Nimetatud laadimisviis on tavapärasest juhtmega laadimisest kallim. [2]

1.3 Juhtmevabade laadijate turuülevaade

Akude laadimiseks on võetud vaatluse alla laadijad, mille võimsusklass on kuni 5 kW. Sobiva laadija valikul on autor otsustanud keskenduda dronide, laorobotite ja väikelaevade laadimistehnoloogiate uurimisele. Turuülevaate eesmärgiks on võrrelda erinevaid laadijaid ja leida kõige sobivam lahendus Nymo robotpaadile. Antud töös keskendutakse kuue kõige paremini internetis turundatud firma toodangule, mis annab tööle piisava ülevaate. Vaatluse alla võeti laadijate sobivus Nymo paadi akuga, toodete ühilduvus sadamate toitega ja sobivus töötamiseks veetingimustes, mille teguriteks on ilmastikukaitse ja mähistevaheline lubatud liikumisvabadus.

Skycharge on Saksamaa firma, mis tegutseb aastast 2014 dronidele mõeldud laadimistehnoloogiatega. Skycharge Bologini S1 on ilmastikukindel 500 W ja 92% efektiivsusega juhtmevaba laadimistehnoloogia. Laadija tööpõhimõte seisneb selles, et

drooni jala külge installeeritakse vastuvõtja (Retrofit-kit), mis on ühenduses akuga. Droon maandub laadimisalusele, mis on ühtlasi saatja mähiseks. Peale maandumist tekib saatja ja vastuvõtja vahel kontakt ning läbi selle toimub energia ülekandmine. Laadija vajab 110 V – 240 V ja 50 Hz – 60 Hz vahelduvvoolu. Seade võimaldab kuni 10 A laadimisvoolu ning laadimine toimub 11 V – 50 V alalisvoolu pingel. Toode on kuvatud joonisel 1.2. Laadija boonuseks on veekindlus (IP65), mis tagab toote toimimise märgades tingimustes. Laadija puudujäägiks on asjaolu, et tehnoloogia pole kontaktivaba ning kasutab lubatud aku laadimisvoolust vaid poolt potentsiaali. [10] [11]



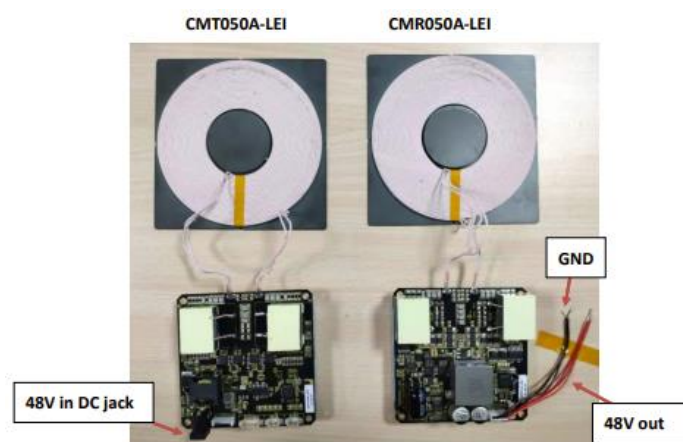
Joonis 1.2 SKYCHARGE BOLOGNINI S1 laadimisjaam [10]

Järgmise tootena on vaatluse all Wibotic-u standardse kõrge võimsusega laadija. Wibotic on alguse saanud Washingtoni ülikoolis Seattles. Uuritavas valdkonnas on Wibotic kõige nimekam, sest firma tegeleb juhtmevaba laadimisega laiahaardeliselt alustades õhus ja vees liikuvate robotitega ning lõpetades tööstusrobotite ja kuukulguritega. TR-251 saatja koos OC-251 vastuvõtjaga moodustab koosluse, mis võimaldab akut laadida 250 W ja kuni 12 A vooluga. Süsteemi toide on küllalt mobiilne vajamaks 90 V – 264 V vahelduvvoolu, samuti on olemas ka alalisvoolu variante. Laadija sobindub laadima LiPo, LiFePO4, LiIon, SLA, NMH akusid. Eelmise toote ees on Wibotic-u boonuseks kontaktivabadus ja kõrgem laadimisvool, mis võimaldab paadi akusid kiiremini laadida. Toode on mõeldud vastu pidama määrdunud, märgades ja söövitatavates keskkondades. Tootja ei ole avalikustanud infot mähisevahelise joondamise ning täpse IP hinnangu kohta. Antud süsteemist on toodud pilt, mis on kuvatud joonisel 1.3. [12] [13] [14]



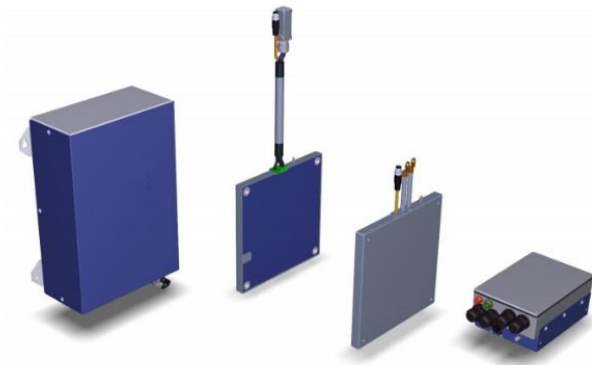
Joonis 1.3. Wiboticu kõrge võimsusega laadimiskomplekt [12]

Järgmiseks tooteks on JJPlus 200 W Wireless Power Module. JJPlus on juhtmevaba kommunikatsiooni ja energia edastamisega tegelev firma, mis rajati aastal 2004. Nimetatud toode on süsteem, mis vajab alalisvoolu toidet 48 V ja 6 A. Toode on võimeline akut laadima 200 W võimsusega, mis tähendab 48 V pinget ja kuni 5 A voolu. Laadija on kontaktivaba ja mähistevaheliseks liikumisvabaduseks on tootja andnud 2 cm, mis on toote plussiks. Süsteemi miinuseks on sellele vajaminev toide - alalisvool, mis nõuaks kasutamiseks erilahendust ning maksimaalne laadimisvool, mis on kõigest neljandik lubatud maksimaalsest aku laadimisvoolust. Lisaks sellele on tootja välja toonud, et antud toodet on sobilik kasutada keskkonnas, mille suhteline niiskus on vahemikus 10% - 90%, mis tähendaks lisakorpuse vajadust konkreetse rakenduse juures. Antud süsteemist on toodud pilt, mis on kuvatud joonisel 1.4. [15] [16]



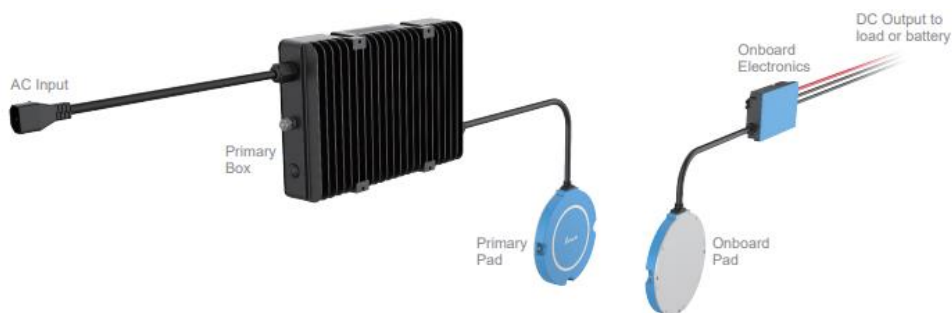
Joonis 1.4. JJPlus 200W Wireless Power Module [15]

Järgmine vaadeldav toode on Wiferion etaLINK 3000. Wiferion on asutatud 2015. aastal ja firma toodab juhtmevabu laadijaid tööstussõidukitele, autonoomseid juhita transpordisüsteeme ja koostöötavaid roboteid. EtaLink 3000 on 3000 W juhtmevaba laadimistehnoloogia, mis on mõeldud tööstuslikele sõidukitele ja mobiilsetele robotitele. Süsteem töötab kontaktivabalt, on 93% efektiivsusega ning tagab kuni 60 A laadimisvoolu. Süsteem vastab IP65 ja IP68 kaitseklassidele, mistõttu sobib kasutamiseks välitingimustes ja karmides keskkonnaoludes. Laadimistehnoloogia on sobilik liitiumakudele. EtaLINKil on tootja andnud mähiste vaheliseks liikumisvabaduseks 30 mm, mida teised tooted pole siiani suutnud. Sisendiks on 1 faasiline 230 V 50 Hz – 60 Hz vahelduvvool. Süsteem ühildub etaHUB tarkvaraga, mis on pilves töötav energiahaldustarkvara, mis annab täieliku ülevaate laadimisest. EtaHubist on võimalik näha kas laadimine toimub, millisel pingel ja voolul see toimub ja milline on temperatuur mähistel. Miinuseks on laadija võimekus 3 kW, mis jääb paadi rakenduses täies mahus kasutamata. Antud süsteemist on toodud pilt, mis on kuvatud joonisel 1.5. [17] [18] [19]



Joonis 1.5 Wiferion etaLINK 3000 [19]

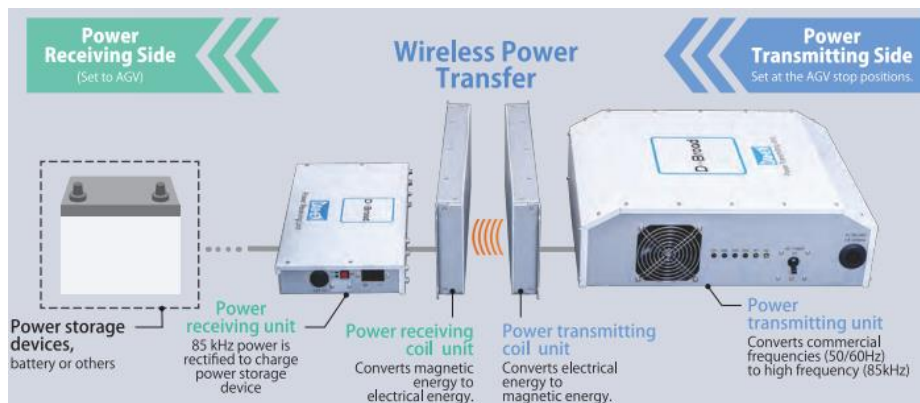
Delta Electronics on asutatud Tais aastal 1988. Ettevõtte eesmärgiks on pakkuda innovaatilisi ja energiatõhusaid lahendusi parema tuleviku nimel. Lisaks elektrisõidukite laadimisele tegeleb Delta automatiseerimisega, telekommunikatsiooniga ja taastuvenergiaga. Delta toodetest on vaatluse alla võetud tööstusesse mõeldud juhtmevaba laadimistehnoloogia Delta 1 kW (vaata joonist 1.6). Laadija toiteks on ühefaasiline 100 V – 240 V 50 Hz – 60 Hz vahelduvvool. Süsteem on mõeldud 48 V liitium ja AGM/GEL akudele, andes välja maksimaalselt 20,8 A laadimisvoolu ja 60 V pinget. Saatja mähis peab olema vastuvõtja mähisest kuni 20 mm kaugusel. Toode on disainitud ilmastikule vastupidama ja on saanud IP65 hinnangu, mis on tähendab veekindlust. Antud toode on seni kõige sobivam Nymo rakenduses eelnimetatud valikutest, sest paadi aku kasutaks laadija täitpotentsiaali ja vastab ilmastikunõuetele. [20] [21]



Joonis 1.6 Delta 1000W juhtmevaba laadimissüsteem [21]

Kõige pikema kogemusega energiatööstuse kogemusega firma selles ülevaates on Daihen, mis alustas tegevust juba 20. sajandi alguses. 2016. aastaks oli firma valmis saanud juhtmevabad laadijad ja hakanud neid müüma. Daihenil valikust leiab D-Board Core, Slim ja Mini, mille peamine erinevus on laadimise võimsusklass. Ettevõtte laadimissüsteemide valikust on robotpaadile sobivaim D-Board Mini. Tootel on saatja ja vastuvõtja mähiste vaheline liikumisvabadus kuni 20 mm. Laadija väljundpinge on

vahemikus 12 V - 52,5 V ja laadimisvool kuni 20 A. Süsteem ise vajab toiteks ühefaasilist 50 Hz – 60 Hz vahelduvpinget 200 V - 220 V \pm 10%. Toode on mõeldud töötama keskkonnas, mille suhteline niiskus ei ületa 80%. Daihenni plussiks on mähiste vaheline liikumisvabadus. Antud toode on mõeldud töötama siseruumides, mis on ka selle toote miinuseks. Nimetatud süsteem on kuvatud joonisel 1.7. [22] [23]



Joonis 1.7 Daihenn D-Broad new slim type wireless power transfer system [23]

Andmete koondamiseks ja parema ülevaate saamiseks on koostatud Tabel 1.2, kuhu on märgitud kõik paadi laadimisjaama valiku jaoks olulised ja teadaolevad andmed. Tabelis on välja toodud iga vaadeldud toote omadused ja parameetrid. Võimsus, pinge ja vool on kõik laadija väljundid. Sisend on laadijale vajaminev toide. Liikumisvabadus on mähistevaheline lubatud liikumisruum ja ilmastikukaitse laadija vastupidavus ilmastikule.

Turuülevaates kuvatud toodete seas polnud ühtegi juhtmevaba laadijat, mis oleks spetsiaalselt mõeldud väikelaevadele. Tabelis 1.2 väljatoodud tegurid on võrdlemiseks olulised ja tehes modifikatsioone on võimalik kõiki laadijaid kasutada, aga mõistlik on valida toode, mis sobitub koheselt enim kõigi kriteeriumitega. Vaadeldud laadijad sobivad oma väljundi poolest Nymo paadis kasutusel olevat akut laadima, seega sobivaima toote valik tuleb teha kolme parameetri põhjal: ilmastikukaitse, sisend ja liikumisvabadus.

Tabel 1.2 Juhtmevabade laadijate turuülevaate tulemused

	SKYCHARGE BOLOGNINI S1	Wibotic TR-251 & OC-251	jjPlus 200W Wireless Power Module	Wiferion etaLINK 3000	Delta 1kW Wireless charger	Daihen D.Broad Mini
Võimsus, kW	0,5	0,3	0,2	3	1	2
Pinge, V	11 - 50	8 - 58,4	48	15 - 60	24 - 60	12 - 52,5
Vool, A	10	12	5	60	21	10 - 30
Sisend, V, Hz	110 - 240, 50 - 60	90 - 264, 50 - 60	48, 0	230, 50 - 60	230, 50-60	220, 50-60
Liikumisvabadus, mm	0, kontakt	-	10	15	20	20
Ilmastiku kaitse	IP65	Määratud/märja/söövitava keskkonna kaitse	10% - 90% Suhteline õhuniiskus	IP65, IP68	IP65	20% - 80% Suhteline õhuniiskus

Laadijate piiritlemist alustas autor ilmastikukaitse kriteeriumi alusel. Sellele vastasid SKYCHARGE BOLOGNINI S1, Wiferion etaLINK 3000 ja Delta 1 kW Wireless charger. Järele jäänud kolme laadijat on lihtsasti võimalik toita igas sadamas. Arvestades liikumisvabaduse kriteeriumit, saab välistada SKYCHARGE BOLOGNINI S1, sest kontakti tagamine mähiste vahel on lainetuse korral raskendatud. Wiferion etaLINK 3000 ja Delta 1 kW Wireless charger võrreldes tuli arvesse võtta asjaolu, et paadi aku kannatab laadimisvoolu 20 A. Wiferion etaLINK 3000 oli kolmekordselt üledimensioneeritud laadimaks paadil kasutuselolevat akut. Järelikult on käesoleva töö turuülevaate tulemusena sobivaimaks lahenduseks Delta 1 kW Wireless charger.

2 AUTOMAATNE AKULAADIMISSÜSTEEM

Peatüki eesmärk on luua automaatne akulaadimissüsteem, kasutades eelmises peatükis valitud juhtmevaba laadijat. Loomeprotsess hakkab pihta kontseptsiooni kirjeldusega, kus tuuakse välja kõik probleemid ja leitakse neile sobivaim lahendus. Kui kontseptsioon on välja valitud, algab selle teostamine, mis koosneb mähise korpuse ja selle mehaanika projekteerimisest, vajalike komponentide valikust ja kogu loodud mehaanikale vajamineva juhtimissüsteemi kirjeldamisest ning loomisest.

2.1 Lähteandmed akulaadimissüsteemile

Projekteerimise alustamiseks on vaja sisendit valitud laadijalt ja robotpaadilt endalt. Sellest lähtuvalt täpsustatakse kõik teadaolevad ja vajaminevad andmed seoses eelnimetatud objektidega. Lisaks sellele kirjeldatakse robotpaadi sildumist.

2.1.1 Delta juhtmevaba laadimissüsteemi spetsifikatsioon

Turuülevaate tulemusena valiti välja Delta 1 kW juhmevaba akulaadimissüsteem, mis koosneb viiest põhikomponendist (vt joonist 1.6). Süsteemi ülesehitus on järgmine: primaarne elektroonika komponent enne saatja mähist, vastuvõtja mähis ja sekundaarne elektroonika komponent peale mähist, lisaks sellele on tagatud juhtmetega ühendus iga nimetatud komponendi, välja arvatud saatja ja vastuvõtja mähiste vahel. Tabelis 2.1 on välja toodud laadija komponentide mõõtmed, mass ja IP hinnang. Andmed pärinevad toote andmelehest. Tabelis 2.1 kuvatud andmeid kasutatakse laadimissüsteemi projekteerimiseks.

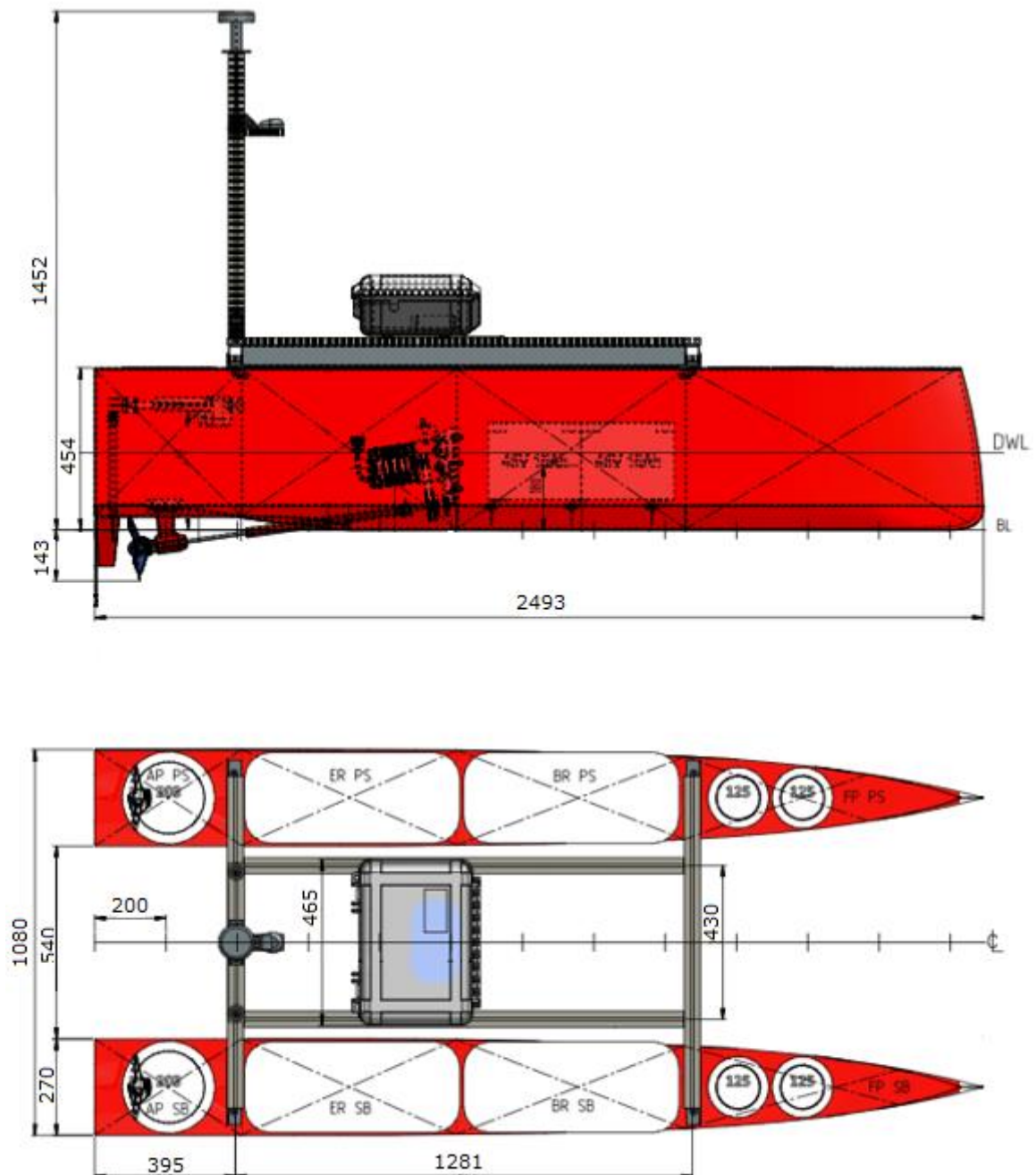
Tabel 2.1 Juhtmevaba laadija komponendid koos andmetega [21]

	Primaarne elektroonika karp	Mähised	Sekundaarne elektroonika karp
Mõõtmed, mm	280 x 192 x 60	Ø 160 x 19	168 x 82 x 28
IP klass	65	65	40
Mass, kg	5,4	-	1,5

Kirjeldatud toote andmeid võetakse arvesse laadimissüsteemi projekteerimisel. Mõõdud on sisendiks loodavatele 3D mudelitele.

2.1.2 Robotpaat Nymo spetsifikatsioon

Robotpaadi mõõtmete saamiseks on kasutada paadist tehtud mehaanikajoonist ning 3D mudelit. Joonisel 2.1 on näha robotpaadi erinevaid mõõtmeid. Selle töö raames on esmatähtsad ujuki mõõtmed, sest ujuki sees paiknevad akud ning seetõttu on mõistlik sinna paigutada ka laadija komponendid. Joonisel 2.1 pole kajastatud ujuki seina ja laukide paksus, milleks on 4 mm. Need mõõdud tulenevad paadi 3D mudelist.

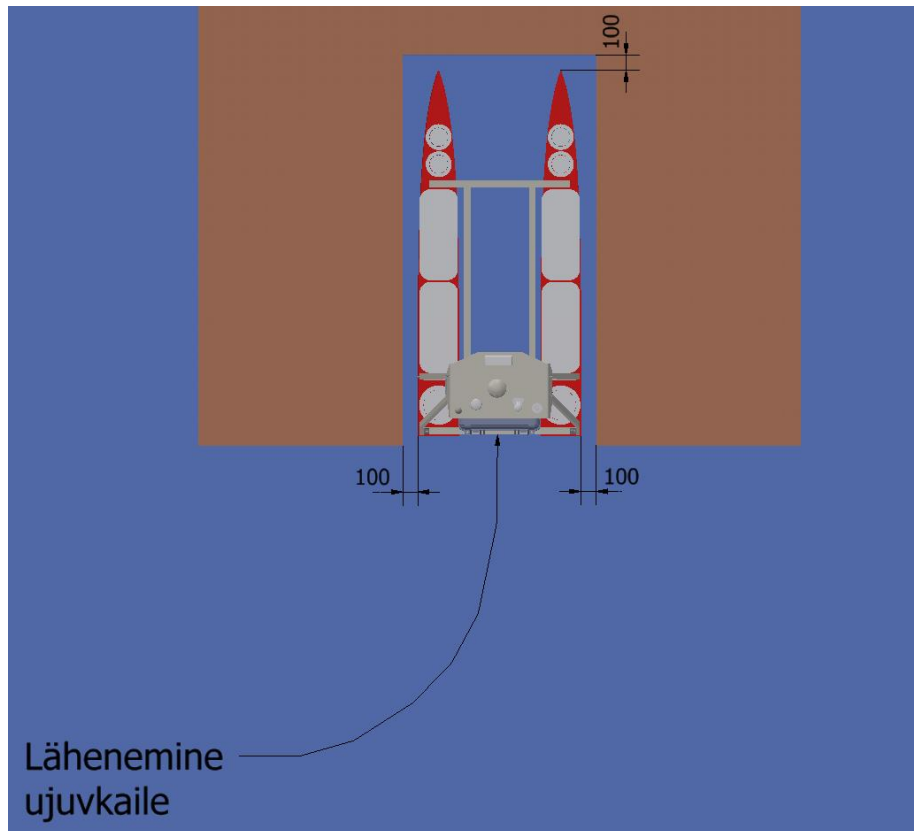


Joonis 2.1 Nymo mõõtmed

Joonised on töö lähteandmeteks ning pärinevad lõputöö juhendajalt.

2.1.3 Robotpaadi sildumisprotsess

Robotpaat on mõeldud silduma ujuvakai külge autonoomselt. Ujuvkai leidmiseks ja õige positsiooni tuvastamiseks kasutab paat andureid. Kui paat on jõudnud õigesse positsiooni, fikseeritakse veesõiduk sinna autonoomselt, et lainetus seda ära ei kannaks. Juhendaja poolt antud algandmetele tuginedes on liikumisvabadus ± 100 mm paadi keskmest peale paadi sildumist. Joonisel 2.2 on kuvatud robotpaat ujuvkai ääres sildununa.



Joonis 2.2 Robotpaadi lähenemine ja paiknemine ujuvkai ääres.

Joonisel on näidatud paadi lähenemistrajektor ning mõõtudega liikumisvabadus millimeetrites, millega tuleb arvestada laadija projekteerimisel.

2.2 Automaatse akulaadimissüsteemi kontseptsioon

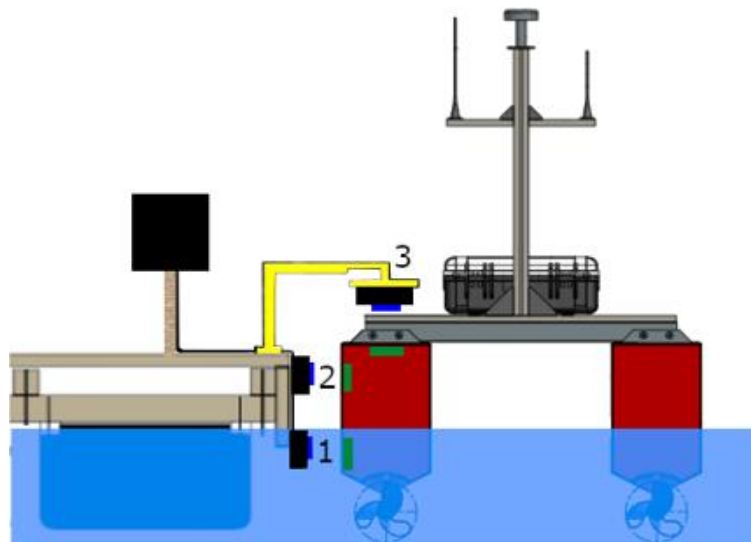
Robotpaat Nymo on täisautonoomne ja iseopereeriv veesõiduk, mis tähendab, et paadi sildumine ja ka laadimine peab olema iseseisev. Antud lõputöö ülesanne hakkab pihta eeldusel, et paat on sildunud ujuvkai külge. Kontseptsioon koosneb valitud laadija kohandamisest ja paigaldamisest ujuvkaile ning saatja ja vastuvõtja mähiste iseseisvast

joondamisest. Süsteem on mõeldud toimima eeldusel, et lainetus sadamas ei liiguta paati üle ± 20 mm üles – alla sihis.

2.2.1 Laadija paigutus

Kõigepealt alustatakse vastuvõtja mähise paigaldamisega paadi külge. Vaatluse all on kaks varianti. Esimene neist on fikseerida vastuvõtja pool väljapoole ujukit. Nimetatud lahenduse puhul on eeliseks mähiste kokkuviiimine, sest nii on mähised üksteisele kõige lähemal. Idee miinuseks on keskkonna mõju poolile, kuna paat peab soolases merevees töötama ja lisaks sellele vastupidama pidevale päikesepaistele. Tootja on saatja ja vastuvõtja mähist hinnanud IP65 hinnanguga, mis tähendab, et ümbriks on täiesti õhutihe ja kaitstud madalarõhuliste suunatud veevoogude eest mistahes nurga alt. Sellegipoolest ei ole antud seade ettenähtud töötama pidevalt veega kokkupuutes, mis tähendab, et seadmele tuleks luua lisakaitse. Teine ja mõistlikum variant on paigaldada vastuvõtja mähis ujuki sisemusse. Positiivseks küljeks on asjaolu, et mähis ei vaja lisakaitset keskkonnatingimuste eest. Negatiivseks küljeks on mähiste omavahelise lubatud distantsi tagamine, arvestada tuleb ka ujuki seina paksusega. [5]

Saatja mähise paigutus ujuvkai külge määratletakse laadimise asukoha järgi. Ülesande lahendamiseks on võetud vaatluse alla kolm varianti: esiteks laadida paati küljelt veest, teiseks laadida paati küljelt veest väljas ja kolmandaks paadi kohalt. Eelnimetatud kolm erinevat laadija paigutust on kuvatud joonisel 2.3.

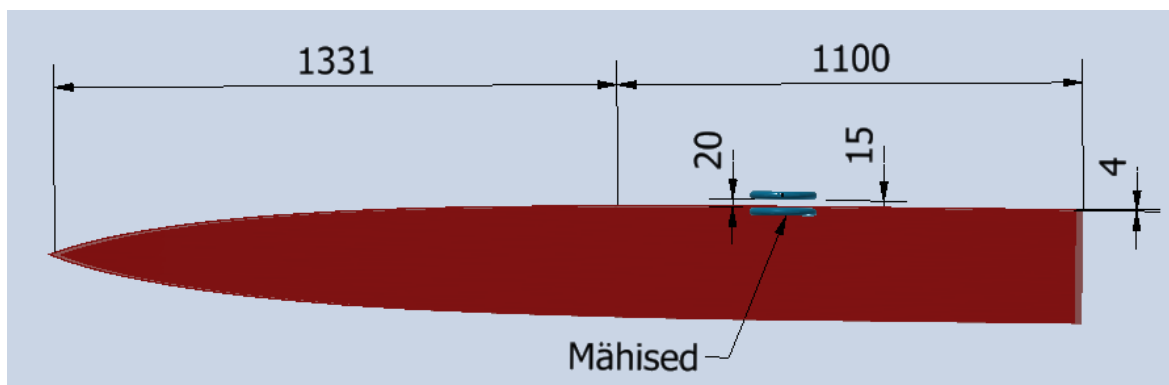


Joonis 2.3 Laadija erinevad võimalikud paigutused (laeva tagant vaade)

Välja toodud variantidest on ebamõistlik kasutada esimest, sest tootja poolt pole mähis ettenähtud töötamiseks pidevalt vee all, mis tähendaks, et tuleks luua lisakorpus, mis

kaitseks pooli keskkonna eest. Sellega võivad kaasneda probleemid, näiteks seadme jahutamise osas. Variant on võetud kaalutluse alla, sest suur osa ujukist on vee piirist all pool ning kui on vaja kompenseerida üles–alla liikumist, siis tuleks arvestada, et seade võib kas osaliselt või täielikult veega kokku puutuda.

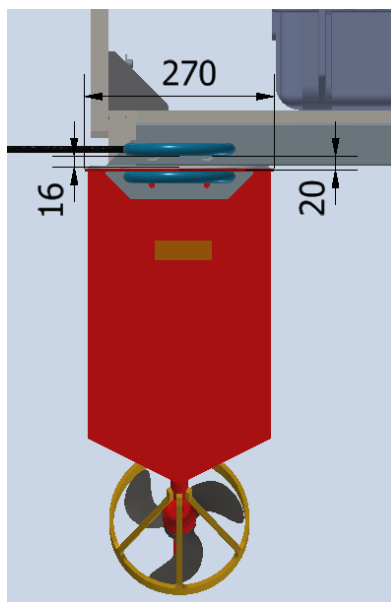
Teiseks variandiks on laadida paati ujuki kõrvalt veest väljast. Küljelt laadimise eeliseks on mähise jaoks vajamineva konstruktsiooni lihtsus ja kompaktsus teiste variantide ees. Puudujäägiks on üles–alla liikumise kompenseerimine, mis tähendaks, et mähise liigutamiseks tuleks vajadusel lisada veel üks telg, mida kontrollida. Lisaks sellele on raskendavaks asjaoluks võimalik paigutus ujuki küljele tulenevalt selle kumerast kujust ning asjaolust, et suur osa ujukist on vee all. Joonisel 2.4 on kuvatud mähiste paigutus ujuki küljele pealtvaates. Nimetatud paigutusega oleks võimalik kasutada ujuki külgpinnast umbes 45% ehk antud vaatest umbes 1100 mm mõõdetuna tagumisest servast. Samuti tuleb arvestada erinevate kaide veest välja ulatuvate osadega. Juhul, kui ujuvkai veest väljaulatuva osa pind on minimaalne, st väiksemad kui laadimissüsteemi mõõdud, siis tuleks kasutusele võtta lisa konstruktsioon. Joonisel 2.4 on punasega märgitud ujuki pealtvaade ning sinisega on tähistatud mähiseid. Jooniselt on näha mähiste maksimaalset lubatud kaugust (20 mm) ja orienteeruvat kaugust saatja mähisest kuni paadi välise küljeni (15 mm).



Joonis 2.4 Paadi laadimine ujuki küljelt

Akusid on võimalik laadida ka ujuki kohalt, mis on joonisel 2.3 tähistatud numbriga kolm. Võrreldes teiste paigutusviisidega on keskkonna mõjud kõige väiksemad just pealt laadides, sest nii on laadija veest kõige kaugemal. Teiseks eeliseks küljele paigutuse ees on ujuki pealse osa kasutatavus. Ujuki pealmises osas on erinevaid luuke, mille külge oleks mähist lihtne paigutada, lisaks puuduvad ka kumerused ujuki pinnal. Pealt laadides on üles–alla liikumist kompenseerida välja toodud valikutest kõige lihtsam, sest paadi üles liikumine ei mõjuta laadimist, mis tähendab et mähiste joondamine on võimalikest valikutest lihtsaim. Ujuki pealtlaadimise puudujäägiks on

mähise paigutuseks vajamineva konstruktsiooni kompleksus, sest vajab lisakinnitust, et viia see ujukait paadi kohale. Esmane kontseptsioon on nähtav joonisel 2.3 kollasena. Mähiste paigutus ujuki kohalt on võimalik näha joonisel 2.5, kus on kuvatud mähiste lubatud maksimaalne kaugus, võimalik paigutusala ja maksimaalne vahemaa saatja mähiselt kuni paadi pinnani.

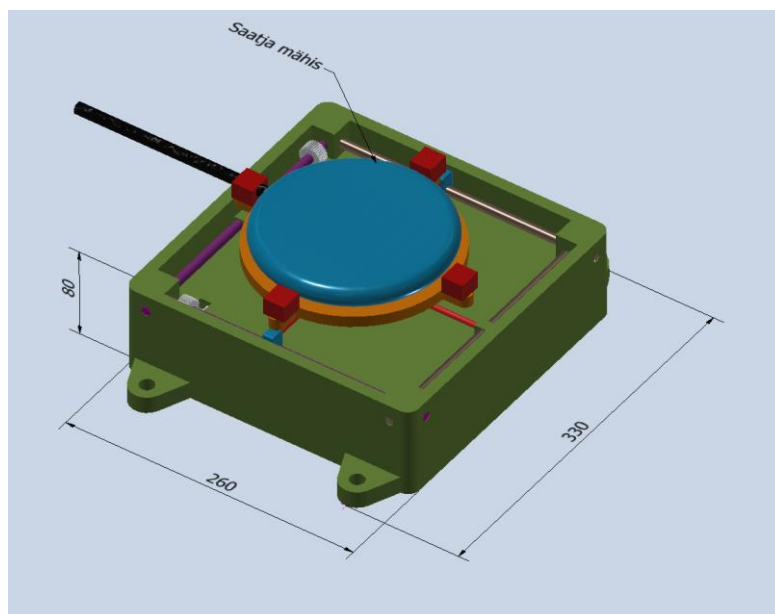


Joonis 2.5 Mähiste paigutus ujuki kohal

Alapeatükis vaadeldi laadija paigutust paadi ja ujukai suhtes. Keskenduti kolmele eri olukorrale. Kirjeldatud paigutusviisidest osutus kõige sobilikumaks variant number kolm ehk ujuki kohalt laadimine. Otsust toetasid järgmised asjaolud: lainetuse mõju, süsteemi paigaldatavus erinevate ujukaide külge ja mähiste kinnitatavus paadi ujukile.

2.2.2 Laadimise mehaanika

Peale laadija valikut on tarvis teha lisaprotseduure, et tootest saaks automaatne laadimisjaam. Eelnevate alapeatükite põhjal on kokku pandud 3D CAD keskkonnas mudel esialgsest kontseptsioonist. Joonisel 2.6 on kujutatud saatja mähise liigutamiseks vajalik korpus koos mehaanikaga ning joonisele on lisatud gabariitmõõdud millimeetrites. Mehaanika on loodud laialt levinud kahe teljeliste liikumissüsteemide (CNC, laetöstukite) põhimõttel. Punased kastid tähistavad andureid ja nende võimalikku paigutust, sinine on saatja mähise mudel, punasega on näidatud 5 mm ja pruuniga 8 mm läbimõõduga raudlatid, mille peal saab mähis vabalt liikuda. Lillad latid on M8 keermetatid, mis juhivad mähise liikumist.



Joonis 2.6 Saatjamähise korpus

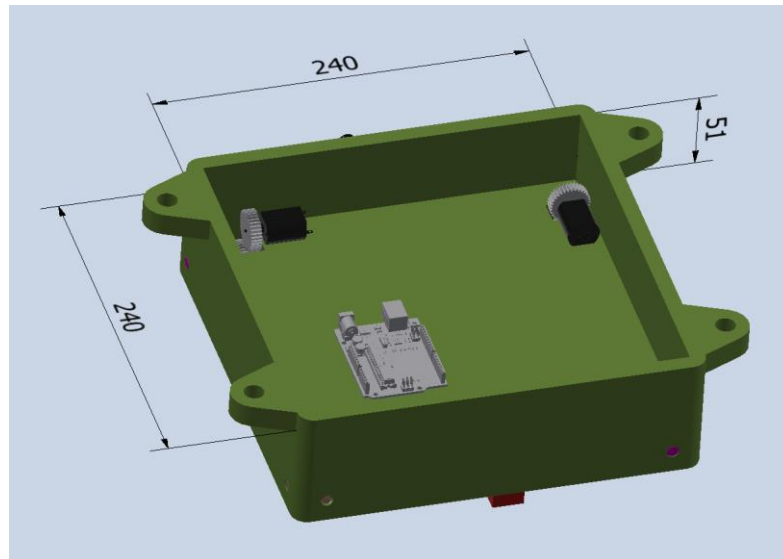
Projekteeritud mehaanika komponendid on koondatud tabelisse 2.2, kus on välja toodud nende materjali valik, mõõtmed, mass, kogus ning värv joonisel 2.6.

Tabel 2.2 Süsteemi komponentide nimekiri ja detailsed andmed

Komponent	Materjal	Mõõtmed, mm	Mass, g	Detailide kogus, tk	Värv mudelis
Korpus	ABS plastik	330 x 260 x 80	1180	1	roheline
Mähise hoidmise rakis	ABS plastik	213 x 213 x 33	257	1	oranž
8mm keermelatt	Teras	8 x 260	103	2	lilla
8mm raudlatt	Teras	8 x 260	102	2	pruun
5mm raudlatt	Teras	5 x 210	32	2	punane
Alumine varraste ühendus	ABS plastik	13 x 11 x 10	1	2	roheline
Ülemine varraste ühendus	ABS plastik	20 x 13 x 10	2	2	sinine

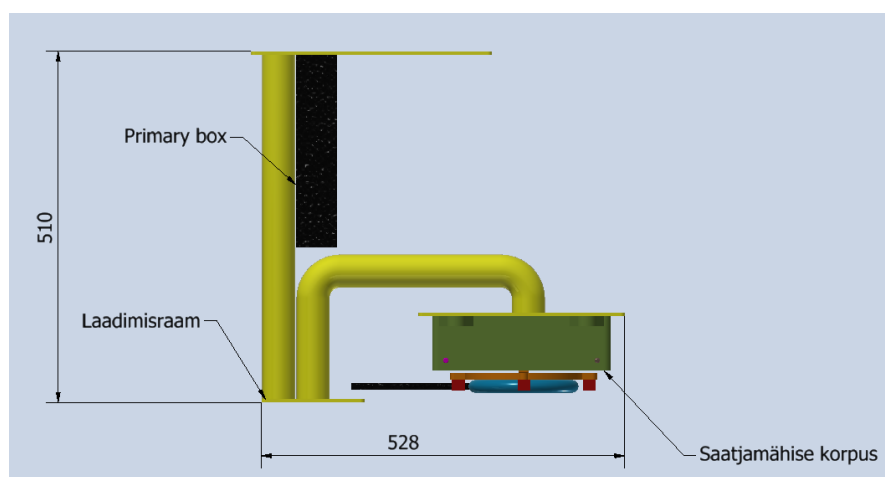
Korpuse projekteerimisel on arvestatud, lisaruumi vajavate elektroonikakomponentidega. Joonisel 2.7 on kuvatud korpuse tagumine pool, kus on

see visuaalselt välja toodud. Mudelisse on lisatud parema ülevaate saamiseks ArduinoUNO kontrolleri ning kaks elektrimootorit. Lisaks on välja toodud elektroonika ruumi laius, pikkus ja kõrgus millimeetrites.



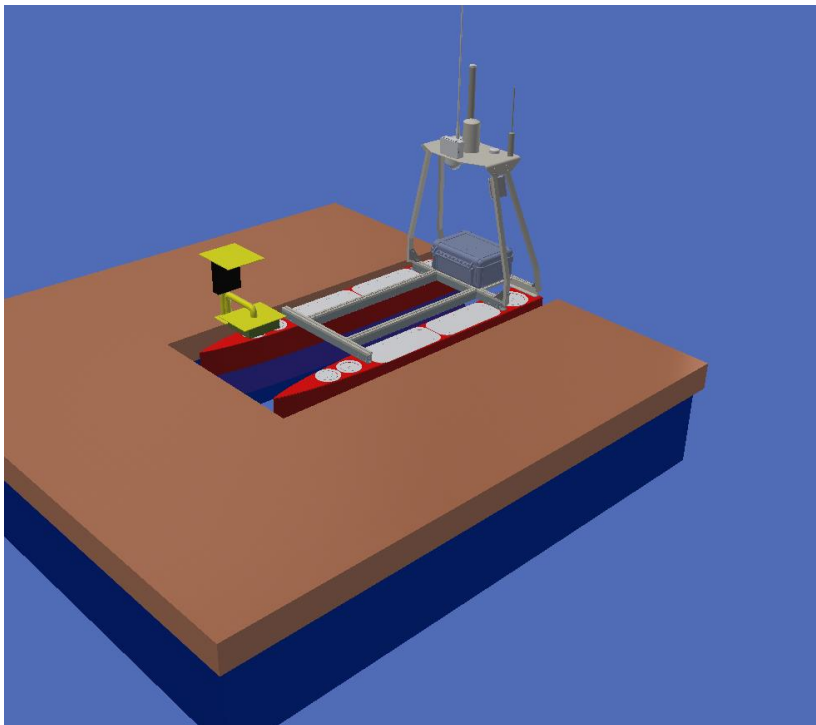
Joonis 2.7 Saatjamähise korpus tagant vaadatuna

Saatjamähis paigutatakse paadi ujuki kohale eelnimetatud analüüsi tulemusena. Selleks, et laadimine toimuks paadi kohalt, on vaja lisaks saatjamähise korpusele ka raami, mis hoiaks seda ujuvkaist eemal paadi kohal ning omaks kinnitust elektroonika hoiustamiseks. Joonisel 2.8 on kuvatud esialgne kontsptsioon raamist, mis sisaldab kolme lehtmetailist plaati ja kahte toru. Joonisele on lisatud esialgsed gabariitmõõdud millimeetrites ning komponentide nimetused.



Joonis 2.8 Saatjamähis koos laadimisraami konstruktsiooniga

Üldpildi saamiseks on koondatud eelnevalt kirjeldatud laadimiskomponendid ning näidatud nende paiknemist ujukvai küljes. Joonisel 2.9 on kujutatud sildunud Nymo robotpaat koos laadimiselementidega. Samuti on näha pildilt laadija paigutust paadi suhtes ja ligikaudset ruumi kasutust laadija poolt ujukvail.



Joonis 2.9 Robotpaadi laadimine ujukvai ääres

Laadimismehaanika peatükis loodi 3D mudel akulaadimissüsteemile. Laadimisjaama konstruktsiooni mõttmed on esialgu spekulatiivsed, sest lõplikud mõõdud määrab kindlaks reaalne ujukvai.

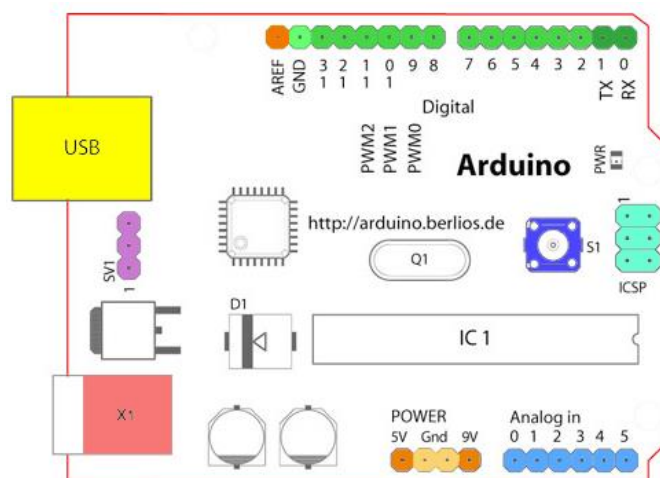
2.3 Akulaadimissüsteemi elektroonika

Paadile mõeldud automaatse akulaadimissüsteemi võib jagada kaheks suureks osaks: üks nendest on eelpoolkirjeldatud mehaanika ja teine pool on elektroonika. Selles peatükis leitakse laadimiseks vajaminevad komponendid, töötatakse välja juhtimissüsteem ja selle algoritm.

2.3.1 Akulaadimissüsteemi kontrollid

Kontrolleri valikul tuleb lähtuda valminud mehaanika mudelist. Esialgse kontseptsiooni kohaselt koosneb elektroonika osa kahest mootorist, mille kummagi ülesanne on liigutada mähist ühes sihis. Sinna juurde on vaja veel andureid. Kõige selle juhtimisega tuleb toime ArduinoUNO mikrokontroller, kus on kuus analoog sisendklemmi, 14

digitaalsisend klemmi, millest kolmel on PWM võimekus. Arduino on avatud tarkvaral põhinev elektrooniline platvorm, mis on kergesti kasutatav ja töötab 5 V pealt. Joonisel 2.10 on kuvatud valitud kontrolleri skemaatiline vaade. [24]



Joonis 2.10 Arduino mikrokontroller [25]

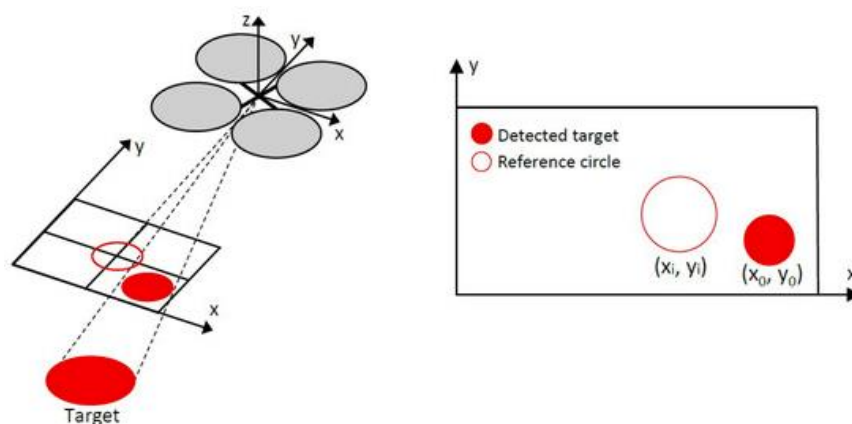
Mikrokontroller suudab anduritelt lugeda sisendeid, aktiveerida mootoreid ja kontrollerile on võimalik õpetada, mida loetud sisenditega peale hakata, kasutades Arduino programmeerimiskeelt.

2.3.2 Akulaadimissüsteemi andurid

Juhtmevaba laadimise efektiivsus sõltub mähisevahelisest distantsist, mis tähendab, et paadi laadimise juurde tuleb lisada võimalus liigutada mähiseid, et tagada pidev laadimine ja kõrge efektiivsus. Valitud laadija puhul on tootja andnud mähisevaheliseks lubatud liikumisvabaduseks 0-20 mm. Arvestades lainetust ja võimalikku paadi liikumisvabadust peale sildumist, ei ole tingimused piisavad, et tagada pidev akude laadimine. Antud probleemi lahendatakse andurite abiga. Eesmärgiks on tuvastada paadil oleva mähise asukoht ning teha kindlaks, kuhu poole on vaja ujukail olevat mähist liigutada, et oleks tagatud energia ülekandmine.

Sarnaste probleemide lahendamiseks on droonidel kasutusel näiteks masinnägemine. Joonisel 2.11 on kuvatud illustreeriv pilt drooni maandumisprotsessist. Sõidukile lisatakse kaamera ja peale pildi töötlust peab droon maanduma sihtmärgi peale. Droonide puhul on selline lahendus loogiline, sest laadimisjaamale lähenetakse kaugelt ja arvestada tuleb kolmeteljelise liikumisega. Nymo näitel, kus paat on juba sildunud, pole otstarbekas luua sellele juurde masinnägemist, sest distants on minimaalne ja

laadija paigutusest tulenevalt on vaja laadija mähiseid liigutada vaid kahes sihis. Selline rakendus ei tasuks end oma keerukuselt ära. [26]



Joonis 2.11 Drooni laadimisjaamale lähenemise näide [26]

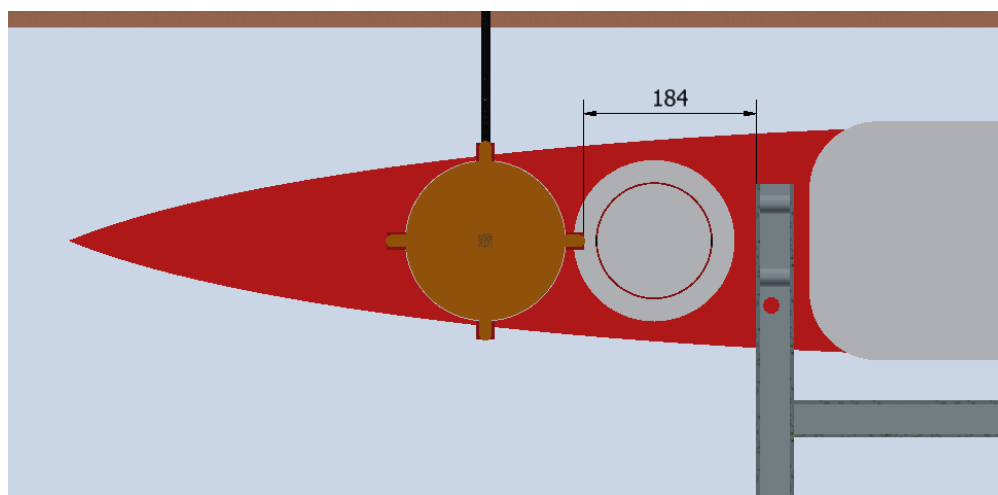
Üks võimalik variant probleemi lahendada oleks kasutada distantsi mõõtvaid andureid (laser, ultraheli või infrapuna). Sensori põhikomponendid on saatja ja vastuvõtja. Saatjast saadetakse välja signaal, mis püütakse kinni vastuvõtjas. Signaali liikumise tulemusena arvutatakse välja distants esimese ettejääva objektini. Joonisel 2.12 on kuvatud nimetatud andurite tööpõhimõtet illustreeriv joonis. [27]



Joonis 2.12 Distantsi mõõtvate andurite tööpõhimõte [27]

Idee seisneb selles, et mähis paikneb mingil kindlaksmääratud distantsil, mis on vastava anduri mõõtepiirkonnas ning vastavalt mõõtetulemusele tuleb liigutada mähist kas positiivses või negatiivses suunas. Igale teljele tuleb lisada oma andur ehk kui on vaja mähistevahelist joondamist kompenseerida kahes sihis, siis on tarvis minimaalselt kahte andurit. Andurid tuleks paigutada liikuva mähise külge, et seade saaks aru, et on toimunud liikumine. Lisaks sellele tuleb luua mähisest kindlaks määratud kaugusele referentspind, mille järgi saab mähist joondada. Siinkohal tuleb silmaspidada asjaolu, et takistused ei saa paikneda laadimispiirkonnas. Põhjus selleks on laadimise võimalik blokeerimine. Seega tuleks takistused viia eemale mähisest.

Kui paigutada laadimine ujuki esiossa, oleks võimalik ühe telje reguleerimiseks kasutada ujuki seal paiknevat raami (vt joonist 2.13). Joonisel on ära toodud mõõt 184 mm, mis kirjeldab olukorda kus mähised on kohakuti, ehk ideaalkaugus mähisest raamini. Sellele tuleb lisaks arvestada lubatud liikumine ± 100 mm, ehk kogu piirkonnaks on sellisel juhul $184 \text{ mm} \pm 100 \text{ mm}$. Distsants ei ole takistuseks anduri valikul. Teise anduri jaoks tuleks luua referentspind, kinnitades see näiteks sama raami tala külge.



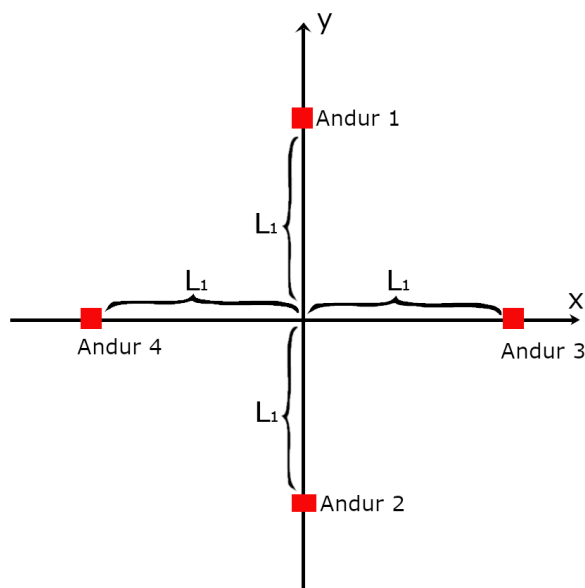
Joonis 2.13 Laadija paigutus ujuki esiossa ja ideaalkaugus olemasolevast raamist

Distsantsi mõõtvat andurit eelis on tema lihtsus ja soodsus, sest on vaja kõigest kahte andurit. Idee puudujäägiks on võimalik tulemuse eksitamine keskkonnamõjude poolt ning kui paat on laadija suhtes nurga all, siis andur ei pruugi tuvastada takistust korrektselt.

Sarnase lahendusena on võimalik kasutada füüsilise puutele ülesehitatud andureid, mis vajaks samuti minimaalselt kahte andurit ja indikaatorpinda. Kontseptsioon seisneb selles, et liigutada mähist nii kaugele, kuni tuleb füüsiline takistus vastu. Idee puudujääk seisneb selles, et antud lahendus nõuab väga täpset paigutust ning töötab vaid eeldusel, et see on tagatud.

Järgmine võimalus antud probleemi lahendada on läbi magnetvälja. Magnetvälja tuvastamiseks on loodud andurid, mis töötavad *Hall'i* efektiga. Anduri lähenemine magnetväljale on võrdelises seoses signaali tugevusega. Siinkohal samuti ei piisa ainult ühest andurist, sest siis jääb tuvastamata, mis suunas tuleb liigutada pooli, et need oleksid kohakuti. Hea ülevaate saamiseks oleks mõistlik kasutusele võtta neli sedasorti andurit, mis tuleks paigutada ühele tasapinnale, kusjuures kaks andurit ühes sihis. Sensorite paigutus on kuvatud joonisel 2.14. Andurid on kõik paigutatud vastuvõtja mähise keskmest samale kaugusele (L_1). See tagab olukorra kui mähised on kohakuti,

siis on ka andurite signaalid ligikaudu võrdsed. Andurid 1 ja 2 kompenseerivad liikumist y-telje sihis ning andurid 3 ja 4 kompenseerivad x-telje sihelist liikumist. [28]



Joonis 2.14 Hall'i efekti andurite paigutus mähise tuvastamiseks

Idee eelis on selle puutumatus keskkonnamõjude suhtes, sest andurid on võimalik paigutada suletud anumate sisse. Samuti võib eeliseks tuua kontseptsiooni lihtsuse, sest indikaatoriks on vaja vaid ühte püsिमagnetit, mille võib paigutada laadimispiirkonda. Võimalik probleem seisneb aga ümbritsevas müras, mis võib andurite tööd segada ning magnetvälja tuvastamises, mis on distantsiga pöördvõrdelises seoses. Andurite valikute võimalused on koondatud kokku tabelisse 2.3, kus on hinnatud rakenduste eeliseid ja puudujääke.

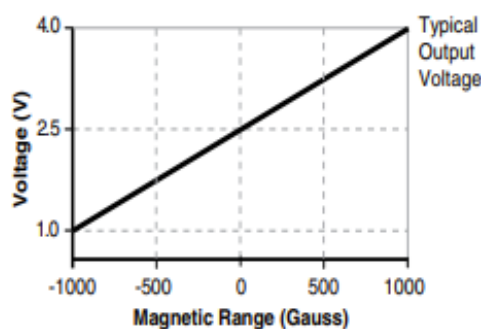
Tabel 2.3 Andurite eelised ja puudujäägid

Tuvastamiseviis	Plussid	Miinused
Masin nägemine	<ul style="list-style-type: none"> Vajab 1. seadet Võimalik kaitsta keskkonna eest 	<ul style="list-style-type: none"> Kulukas Keeruline
Distanti andur	<ul style="list-style-type: none"> Lihtne ülesehitus Vajab 2. andurit 	<ul style="list-style-type: none"> Keskkonna mõjudele alluv Eeldab, et paat on piisavalt hästi joondatud
Puuteandur	<ul style="list-style-type: none"> Lihtne ülesehitus Vajab 2. seadet 	<ul style="list-style-type: none"> Keskkonnamõjudele alluv Eeldab, et paat on piisavalt hästi joondatud
Hall'i efekti andur	<ul style="list-style-type: none"> Võimalik kaitsta keskkonna eest Kõige töökindlam Ei vaja paadi eeljoondamist 	<ul style="list-style-type: none"> Võimalik mõju ümbritsevatelt seadmetelt Vajab 4. seadet

Andurite valiku puhul vaadeldi nelja erinevat viisi kuidas omavahel mähiseid joondada. Valiku käigus analüüsiti variantide sobivust, toodi välja iga variandi eeliseid ja

puudused. Sobilikuks osutus kasutada magnetvälja mõõtvaid andureid ehk *Hall'i* efekti andureid. Valikut toetasid asjaolud, et andureid on võimalik keskkonna eest vastava anumaga kaitsta, nimetatud viis ei vaja paadi eelnevat joondamist, vaid on selle kohapealt väga töökindel. Samuti on variant soodne ja lihtsasti integreeritav.

Magnetvälja mõõtvad andurid peavad olema suutelised tuvastama magnetvälja distantisilt, mis eeldab kõrget tundlikust ja väljundsignaal peab olema loetav arvulisel kujul. Sellega saavad hakkama analoogandurid. Eelkirjeldatud tingimustele on sobilik näiteks lineaarne *Hall'i* efekti andur SS39ET. Tegemist on Honeywell'i anduriga, mis tuvastab magnetvälja tugevust ning annab väljundina magnetvälja tugevusega proportsionaalse pingepulsi. Tootja poolt välja toodud magnetvälja tundlikus seoses väljundpingega on kuvatud joonisel 2.15. Andur ühildub ka Arduinoga ning anduri sisendpinge peab jääma vahemikku 2,7 V – 6,5 V. [29]



Joonis 2.15 Anduri magnetvälja tugevuse ja väljundpingesuhe [29]

Peale andurite valikut on vaja indikaatorit. Selleks on sobilik võtta kasutusele püsिमagnet. Magneti valikul on põhiliseks teguriks selle mõõtmed, sest magnet paigutatakse kahe mähise vahele ning see vähendab mähiste vahelist distantssi. Teiseks valiku kriteeriumiks on magneti tugevus. Andur peab tuvastama magnetvälja maksimaalselt 30 mm kauguselt. Selleks on sobilik amagnetist valitud plokk neudüümmagnet mõõtmetega 50 mm x 10 mm x 2 mm. Valitud magneti on N45 klassi kuuluv, mis tagab maksimaalse tõmbejõu on 18,7 kg. Magneti sisemine jääkinduksioon on 13500 Gaussi. [30]

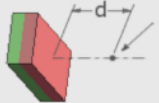
Magneteid on vaja kokku 4 tk, et tagada piisavalt tugev ja anduri jaoks tuvastatav magnetväli. Magnetvälja tugevuse arvutamiseks võeti kasutusele K&J Magnetics online kalkulaator, millega on võimalik arvutada magnetvälja tugevust distantisilt, vastavalt magneti klassi ja mõõtmetele. Joonisel 2.16 on kuvatud teostatud arvutus magnetvälja

tugevuse leidmiseks vastavalt sisendparameetritele. Tulemuseks saadi 30 mm kaugusel 45 gaussi, mis on piisvalt, et andur seda tuvastaks. [31]

Select a Shape:			
Discs/Cylinders	Blocks	Rings	Spheres
Grade: N45	Length: 50 mm	Width: 10 mm	
Thickness: 2 mm	Distance: 30 mm	Calculate	

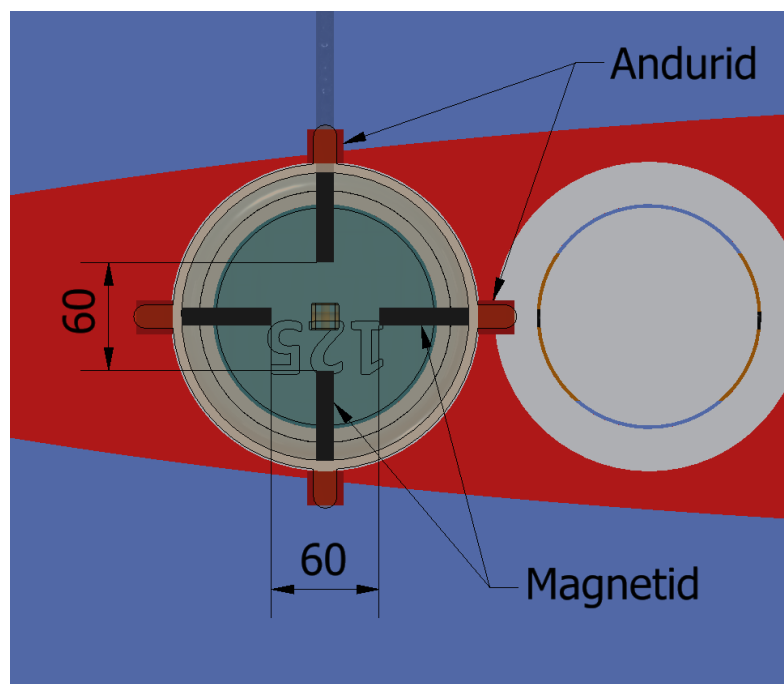
Magnetic Field at 1.181" away *: **45 gauss** [See the Magnetic Field](#) Permeance Coefficient (Pc)*: **0.18**
[See Pc graphed on a demagnetization curve](#)

Dipole Moment (m)*: **1.09 A m²**



Joonis 2.16 Magnetvälja tugevuse arvutus valitud magneti kohta [31]

Tagamaks piisava magnetvälja tugevuse andurite jaoks, on vaja need kindlalt ära paigutada mähiste lähedusse. Joonisel 2.17 on näidatud magnetite paigutus. Magnetid on paigaldatud kaane külge, iga üks mähise keskmest 30 mm kaugusele, sihid on paika pandud andurite järgi. Mõõtmed joonisel on kuvatud millimeetrites.



Joonis 2.17 Magnetite paigutus paadile

Alapeatükis võrreldi erinevaid lahendusi kuidas oleks võimalik tuvastada mähiseid. Kõige sobilikumaks lahenduseks osutus *Hall'i* efektil töötavad andurid. Peale analüüsi

leiti sobiv andur antud töö rakendusse, valiti sobivad magnetid ning näidati nende paigutust.

2.3.3 Akulaadimissüsteemi mootorid koos komponentidega

Mootori valikul on kaks põhilist suunda: servomootorid ja alalisvoolu mootorid. Siinkohal on tarvis meeles pidada, et mõlemal mootoril peab olema edasi- ja tagasiliikumisfunktsioon. Seda on võimalik tekitada mõlema tüübi mootoritega.

Alalisvoolu mootoritel on kindlaks määratud magnetilised polaarsused, mis tähendab, et mootori pöörlemine sõltub voolu suunast. Kui vahetada vool vastupidiseks, hakkab mootor vastupidi pöörlema. Alalisvoolu mootoril on võimalik pöörlemissuunda muuta, võttes appi lisaseadmeid. Mootori suunda on automaatselt võimalik vahetada kasutades näiteks releed.

Suunamuutmise probleemi on võimalik lahendada ilma lisaseadmeteta, kui kasutada pideva pöörlemisega servomootorit. Sellisel mootoril on kolm põhilist olekut: päripäeva pöörlemine, seismine ja vastupäeva pöörlemine. Igale olekule vastab kindel signaal. Sellepärast on mõistlik akulaadimistehnoloogia puhul kasutada pideva pöörlemisega servomootorit.

Mootori valiku puhul tuleb arvestada tema ühilduvust valitud mikrokontrolleriga ja tema mõõtmeid. Lisaks sellele tuleb arvestada süsteemis tekkivate kadudega ja mootori võimekusega liigutada mähist. Kuna laadija tootja pole mähise enda massi välja toonud, siis peab arvestada siinkohal varuteguriga. Objektid mida liigutada tuleb on sekundaarne elektroonika karp koos mähisega, 5 mm läbimõõduga raudlatt, andurid ja mähisekinnitamise rakis. Nimetatud komponentidel on kõigil oma mass ning neid liigutades tekib summaarne hõõrdejõud F_h . Liigutatava keha massi m leidmisel on lähtutud tabelitest 2.1 ja 2.2 toodud andmetest. Liigutatava keha alla kuuluvad: mähis koos sekundaarelektroonikaga (1,5 kg), mähise hoidmise rakis (0,257 kg), 5 mm raudlatt (0,032 kg) ja kaks varraste kinnitust (0,002 kg).

$$F_h = m \cdot g \cdot \mu_h \quad (2.1)$$

kus F_h – summaarne hõõrdejõud, N,

m – liigutatava keha mass, kg,

g – gravitatsioonikonstant, $9,81 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}$,

μ_h – hõõrdetegur metall – pleksiklaas (õlitatud), 0,5. [32]

$$F_h = (1,5 + 2 \cdot 0,002 + 0,032 + 0,257) \cdot 9,81 \cdot 0,5 = 8,79 \text{ N}$$

Süsteemi kaod tulenevad projekteeritud mehaanikamudeli ülekandest, mis koosneb lineaarsest kruviajamist ja hammasratasülekandest. Hammasratta ülekande kasutegur on 98% ja kruviülekande kasutegur 90%, mis annab summaarseks kasuteguriks η . [33] [34]

$$\eta = \eta_{\text{hammasratas}} \cdot \eta_{\text{kruvi}} \quad (2.2)$$

Kus η – süsteemi kasutegur,

$\eta_{\text{hammasratas}}$ – hammasratas ülekande kasutegur,

η_{kruvi} – kruviülekande kasutegur.

$$\eta = 0,98 \cdot 0,9 = 0,882$$

See tähendab, et süsteemis läheb kaduma 11,8% kasulikku tööd. Et mootor jõuaks liigutada mähist peab ta ületama sellele mõjuva hõõrdejõu F_h .

Arvestades juurde ülekande kadusid, saadakse vajaminev mootori jõud F_m :

$$F_m = \frac{F_h}{\eta} \quad (2.3)$$

Kus F_m – vajaminev mootorijõud, N,

F_h - süsteemi hõõrdejõud, N,

η – süsteemi kasutegur.

$$F_m = \frac{8,79}{0,882} = 9,97 \text{ N}$$

Kuna mootori jõudlus sõltub suuresti mootori jõuõlast, ehk mootori otsas olevast hammasrattast, seega ei saa leida kindlat jõudu, milleks mootor peab olema suuteline, enne seda välja valimist. Arvutuste tegemiseks võetakse kasutusele spekulatiivne jõuõlg raadiusega 20 mm, mille valikul on arvestatud väikese varuga. Seega vajaminev pöördemoment on M_V .

$$M_V = r \cdot F_m \quad (2.4)$$

Kus M_V – vajaminev pöördemoment, Nm,

r – spekulatiivne jõuõlg, m,

F_m – vajaminev mootorijõud, N.

$$M_v = 9,97 \cdot 0,02 = 0,199 \text{ Nm} = 2,03 \text{ kg.cm}$$

Kirjeldatud tingimustele vastab Feetec FS5103R pideva pöörlemisega servomootor. Nimetatud mootor on mõeldud töötama pingetel 4,8 V – 6 V ja tagab 4,8 V juures pöörlemiskiiruse 56 rpm. Valitud mootor on seisupöördemomendiga 3 kg.cm 4,8 V pingega, mis tähendab, et 1 cm jõulaga suudab mootor tõsta 3 kg. Joonisel 2.18 on kuvatud nimetatud seade. [35]



Joonis 2.18 FeeTech FS5103R pideva pöörlemisega servomootor [35]

Valitud servomootori andmed on välja toodud tabelisse 6. Andmed on välja toodud pingel 4,8 V.

Tabel 2.4 FS5103R Servo mootori tehnilised näitajad [35]

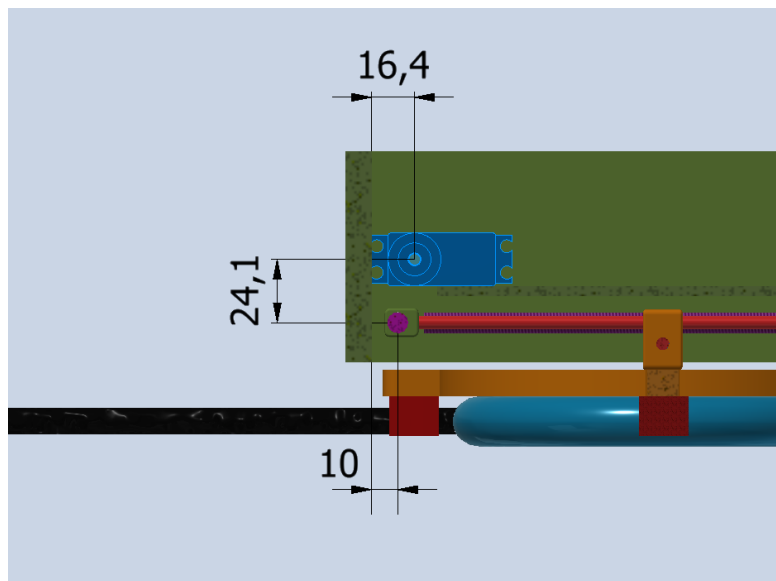
Tööpinge, V	4,8 – 6
Mõõtmed, mm	40,8 x 20,1 x 38
Mass, g	36
Keskmine kiirus, rpm	56
Seiskumise pöördemoment, kg.cm	3
Voolu tarbimine, A	0,75

Valitud servomootoreid pole võimalik toita arduino kontrolleriaga, sest ühe mootori kontrollimiseks tuleks arvestada 0,75 A voolutugevusega, mida kontrolleri ei suuda tagada. Seega tuleb toite tuua sadamates kättesaadavast 230 Vac ning konverteerida see parajaks valitud servo mootori jaoks. Selleks on vaja kasutada toitemuundurit. Sobiv lahendus on SKU CE-M0184. Seade konverteerib 230 Vac pingel 5 Vdc pingeks, on kõrge väljundvooluga 2 A ning on mõõtmetelt kompaktne (40 mm x 40 mm x 15 mm). Muundur on kuvatud joonisel 2.19. [36]



Joonis 2.19 Valitud Hi-Linki toitemuundur [36]

Mootori tööks viimane vajalik komponent on ülekanne. Siinkohal on põhiliseks kriteeriumiks olemasolev ruum. Joonisel 3.20 on kuvatud servomootori mudel koos eelnevalt projekteeritud laadijaga. Lisaks sellele on joonisele lisatud piiritlevad mõõtmed millimeetrites.



Joonis 2.20 Servo mootori ja võlli omavaheline paigutus

Mootori jõumoment on 4,8 V juures $M_r = 3 \text{ kg.cm} = 0.29 \text{ Nm}$. Mõõtmeid arvestades tuleb valida ülekanne tüüp. Mugav oleks kasutada rihmülekannet, kuid arvestades keskkonda võib see tekitada probleeme, kui niiskus peaks sattuma ülekanne vahele, siis ülekanne lakkab töötamast. Keskkonnamõjudest tulenevalt osutus valituks hammasratasülekanne.

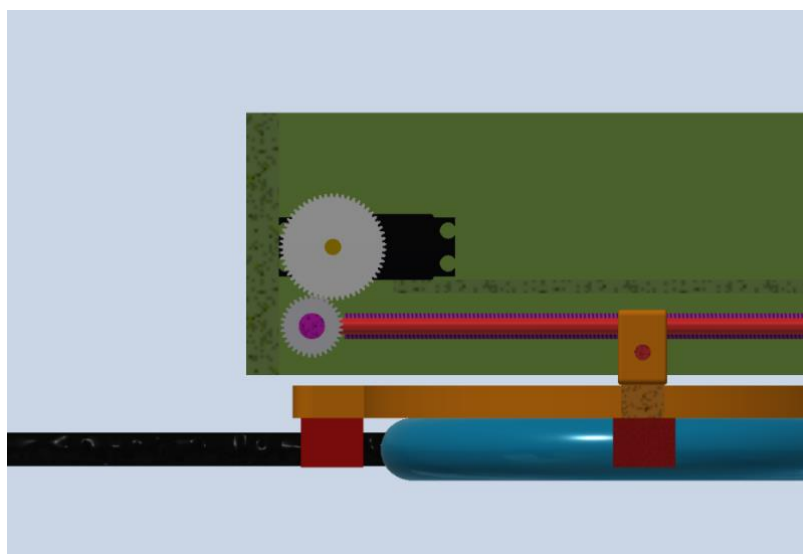
Keermestatud lati (lilla latt joonisel 2.20) paigutus on fikseeritud, seega alustatakse hammasratta valikut sealt. Arvestades varuga tuleb võlli hammasratta raadiuseks $r_1 = 9 \text{ mm}$. Seega peab mootori hammastaras olema raadiusega r_2 :

$$r_2 = 24,1 - r_1 \quad (2.5)$$

Kus r_2 – mootori hammasratta raadius, mm,
 24,1 – vertikaalne mõõde mootori rootorist kuni keermestatud völliini, mm,
 r_1 – Völli hammasratta raadius, mm.

$$r_2 = 24,1 - 9 = 15,1 \text{ mm}$$

Arvutatud lähtandmetega genereeriti hammasrattad kasutades Autodesk Inventori Spur Gears Component Generatorit, mis tagab hammasrataste ühilduvuse ning tulemus on nähtav joonisel 2.21.



Joonis 2.21 Genereeritud hammasrattad

Genereeritud hammasrattad on võimalik valmistada 3D printimise teel ja materjaliks on ABS plastik. Mootori jõudluse kontrollarvutus genereeritud hammasrattale M_k on leitav:

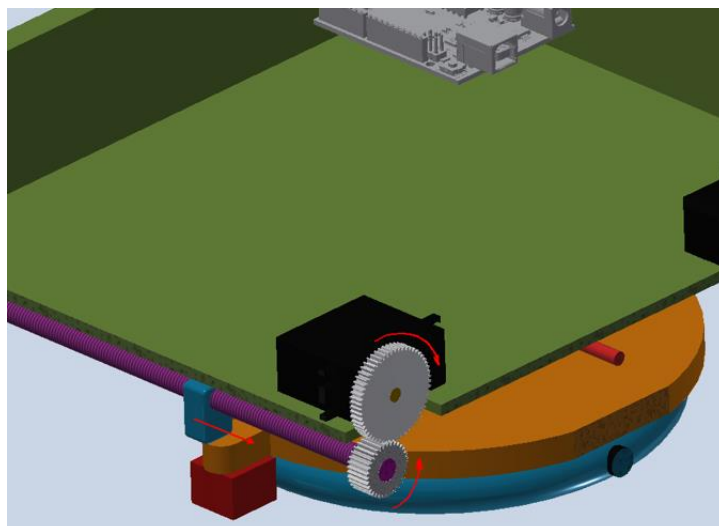
$$M_k = \frac{M_r}{r_2} \quad (2.6)$$

Kus M_k – Mootori jõumomendi kontroll, Nm,
 M_r – Mootori jõumoment, Nm,
 r_2 – mootori hammasratta raadius, m.

$$M_k = \frac{0,29}{0,0151} = 19,21 \text{ N}$$

Järelikult mootor on võimeline liigutama süsteemi. Hammasrataste massid on vastavalt suurusele 2 g ja 4 g.

Joonisel 2.22 on näidatud hammasrataste pöörlemissuund, millega tuleb arvestada juhtimisalgoritmi koostamisel. Joonisel näidatud liikumine kirjeldab olukorda, kui on vaja mähist liigutada andur u2 suunas.

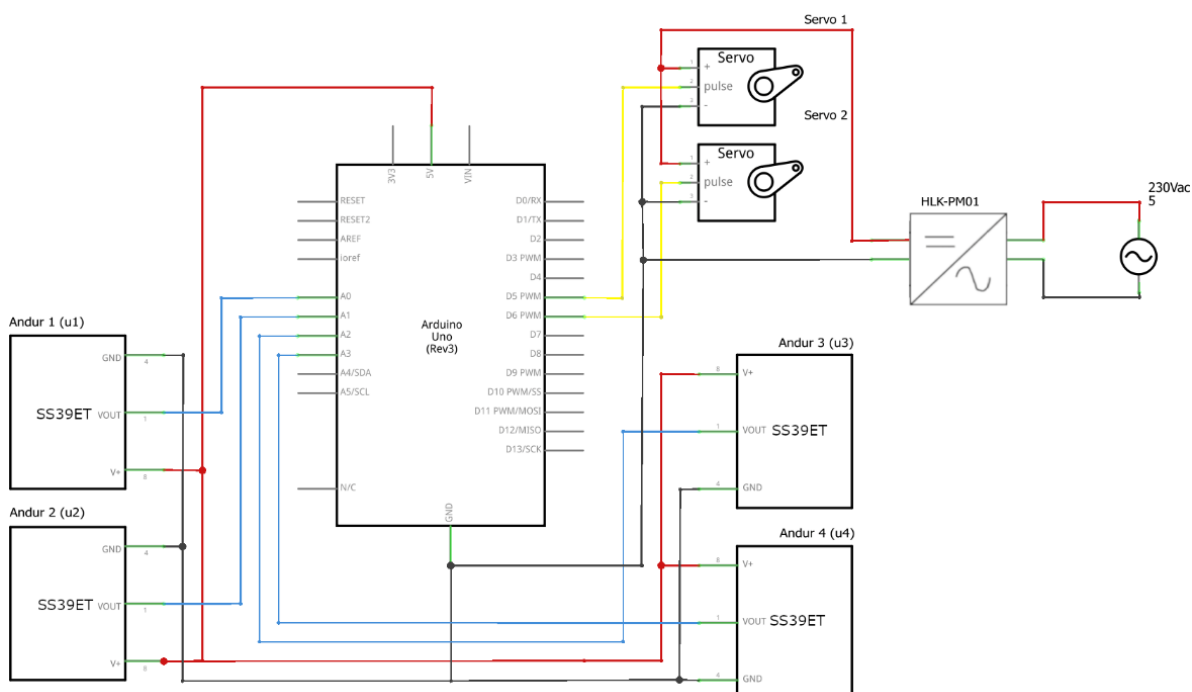


Joonis 2.22 Mootori pöörlemine päripäeva

Antud alapeatükis leiti süsteemile sobilik mootor, toitemuundur ning genereeriti ülekanne.

2.3.4 Laadija ühenduskeem

Peatükis on näidatud kõikide valitud laadija liigutamise komponentide ühendamist, mis on näidatud joonisel 2.23.

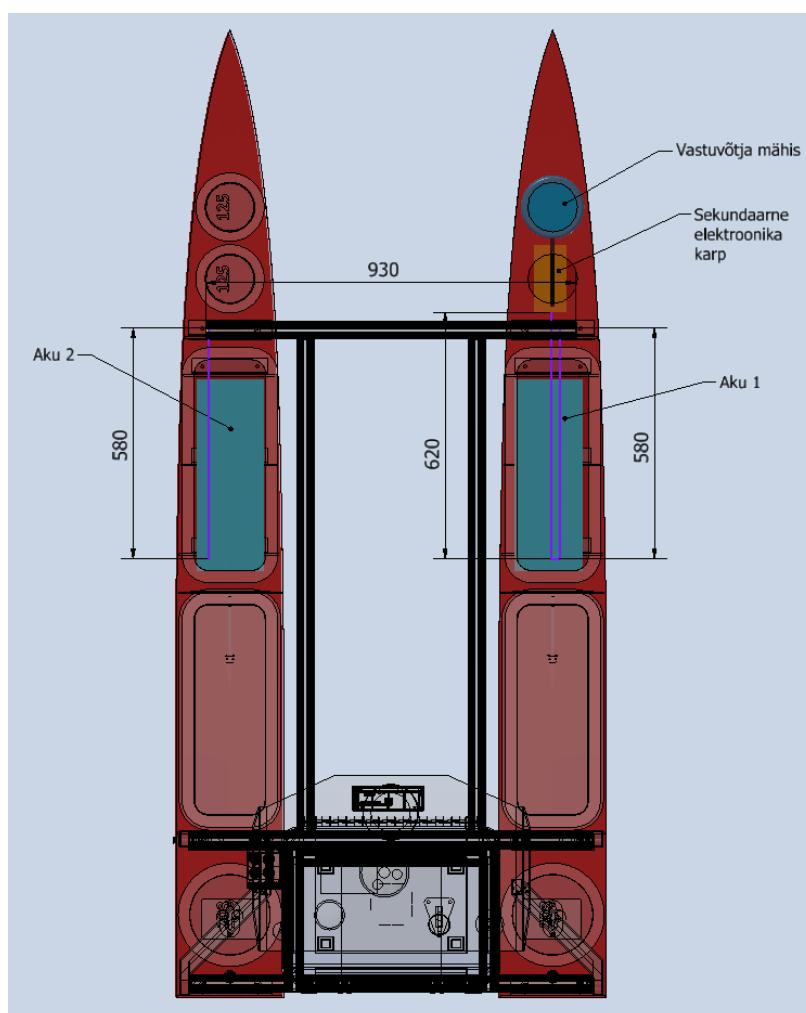


Joonis 2.23 Akulaadimissüsteemi ühenduskeem

Punased jooned skeemil tähistavad 5 V ühendusi, mustad ühendusi maandusega (0 V). Sinisega on tähistatud kontrolleri analoog klemmi ja anduri väljundi omavahelised ühendused ning kollasega servomootori ja kontrolleri digitaal PWM klemmide ühendus.

2.3.5 Akulaadimissüsteemi juhtmestik

Alapeatükis on näidatud mähise ühendamine laeval olevate akudega ning vajaminevaid modifikatsioone laadija mehaanika korpusele. Samuti valitakse välja vajaminevad juhtmed ja kaablid. Joonisel 2.24 on välja toodud paat pealtvaates, koos pardal oleva elektroonikaga. Lillaga on tähistatud ligikaudne vajaminev juhtmestik, koos mõõtmetega, mis on antud millimeetrites. Joonisel pole nähtav juhtme vertikaalne paigutus, mis on 150 mm mõlema ujuki kohta.



Joonis 2.24 Paadi akude laadimise juhtmestik

Kogu juhtmestiku pikkus mis on vajalik paigaldada paadile alustades sekundaarsest elektroonika komponendist ning on leitav L_{juhe} :

$$L_{juhe} = 620 + 930 + 580 + 2 \cdot 150 = 2430 \text{ mm} \quad (2.7)$$

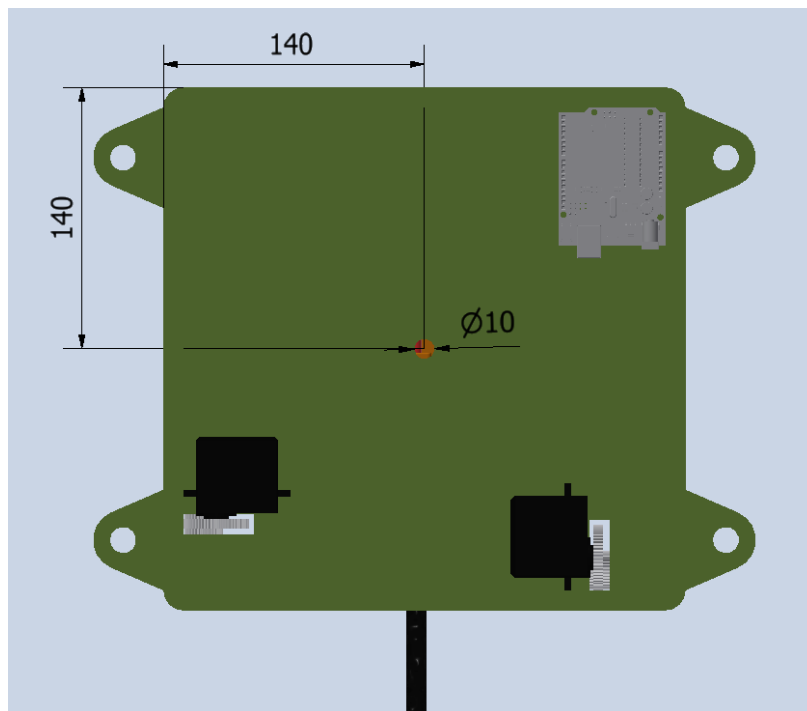
- Kus 620 – kaabli pikkus elektroonika karbist akuni, mm,
 930 – kaabli pikkus kahe ujuki vahel, mm,
 580 - kaabli pikkus paadi raamist teise akuni, mm,
 150 - kaabli pikkus ujukilt raamini vertikaalselt, mm.

Antud rakendusele on sobilik kaabel ristlõike pindalaga 2,5 mm², mis kannatab voolu 22 A. Valitud juhtme andmed on kuvatud tabelis 2.5. [37]

Tabel 2.5 Valitud laadimiskaabli andmed [37]

Diameeter, mm	Ristlõike pindala, mm ²	Läbilaske võime, A
1,78	2,50	22

Samuti on tarvis teha korpusele lisa ava, läbi mille veetakse andurite juhtmed kontrolleriini. Ava on näidatud joonisel 2.25.



Joonis 2.25 Korpuse ava andurite juhtmetele

Ava suuruseks valiti läbimõõt 10 mm, mis on piisav et läbi juhtida neli anduri juhet. Kontrolleri analoog ja digitaalklemmidel on väljundiks maksimaalselt 40 mA, samas tuleks arvestada, et servomootoritega, mis tarbivad kuni 0,75 A. Seega on sobilik sellises olukorras kasutada juhet, mille ristlõike pindala on 0,0509 mm², mis on mõeldud juhtima voolu kuni 0,86A. Valitud juhtme andmed on kuvatud tabelis 2.6. [25] [37]

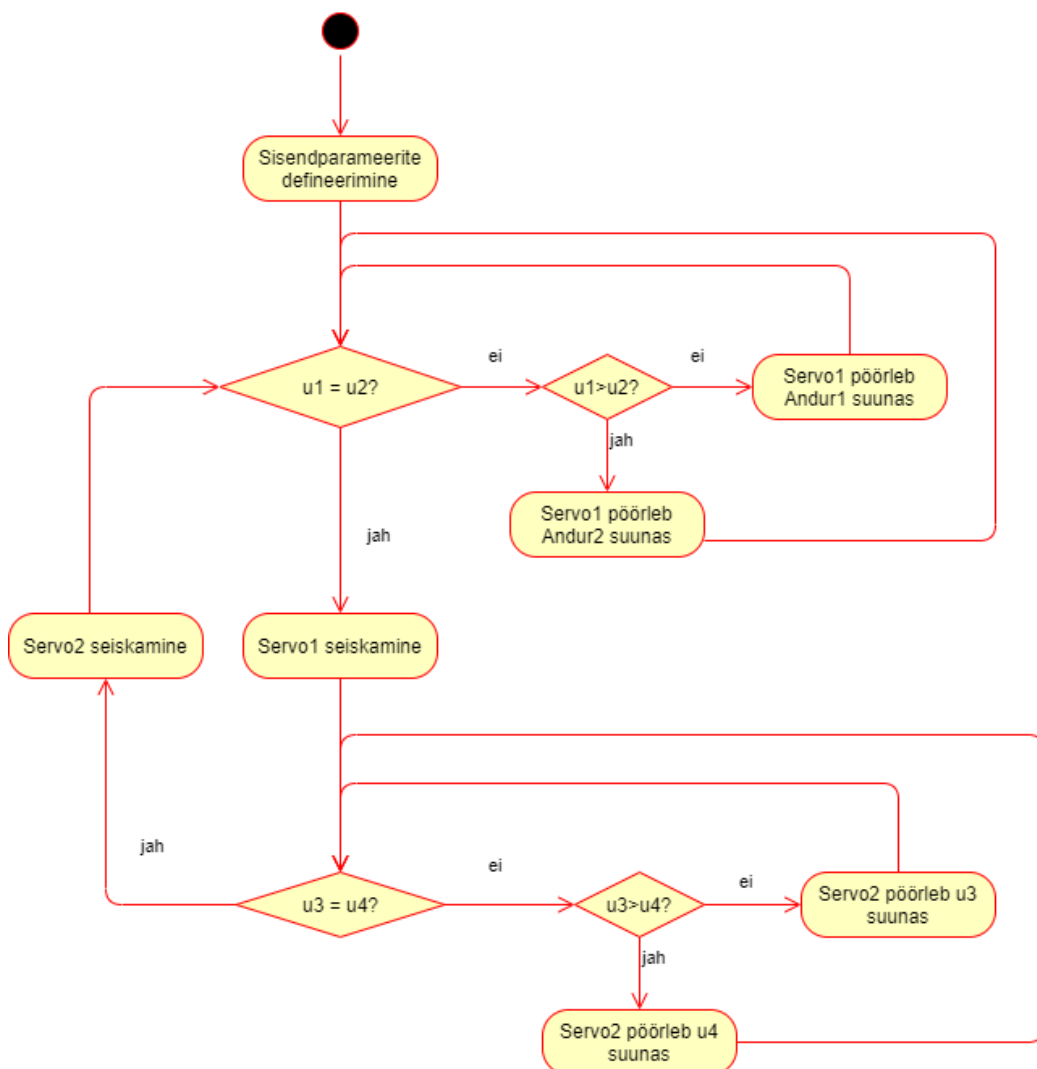
Tabel 2.6 Valitud elektroonika ühenduste juhtmed [37]

Diameeter, mm	Ristlõike pindala, mm ²	Läbilaske võime, A
0,255	0,0509	0,86

Juhtmete valikuga sai kirjeldatud kõikide vajaminevate komponentide vajalikus antud projektis.

2.3.6 Juhtimisalgoritm

Peale komponentide ühendamist, mis on näidatud joonisel 2.23 on vaja veel süsteemi toimimiseks juhtimisalgoritmi. Joonisel 2.26 on kuvatud programmi toimisalgoritm.



Joonis 2.26 Akulaadimise juhtimisalgoritm

Programm algab kõikide sisendparameetrite defineerimisega, mis tähendab erinevate kontrolleri klemmide defineerimist ja vajaminevate raamatukogude kasutamist. Andurite väljundid $u1$, $u2$, $u3$ ja $u4$ on vastavalt andurite kokkuleppelisele järjekorrale, ehk Andurile 1 vastab väljund $u1$, Andurile 2 vastab väljund $u2$ jne.

Peale sisendparameetrite määramist hakkab pihta tsükliline ja pidev kontrolliv tegevus. Programm koosneb kahest suuremast osast, milleks on x - teljeline liikumine ja y - teljeline liikumine. Mõlemad nimetatud osad koosnevad samadest komponentidest (1 x servomootor ja 2 x andur) ning töötavad sama loogika alusel. Servomootori liigutamine käib andurite väljundite järgi, kontrollier võrdleb $u1$ ja $u2$ ning annab servomootorile signaali vastavalt sellele kumb võrreldavatest on väiksema väärtusega, et ühtlustada väärtusi. Andurite väljundväärtustele on liidetud juurde parand ± 30 , mis sisuliselt tähistab $u1 = u2$, kuid on kooskõlastatud reaalsusega ning lubatud tolerantsidega. Tegevust korratakse nii kaua kuni andurite väljundväärtused on lubatud piirides ning seerjarel saab liikuda järgmise servomootori juhtimiseni. Kui teine mootor on paigas, hakatakse uuesti otsast pihta. Juhul kui paat on laadija alt ära liikunud, ehk andurite läheduses ei ole enam magnetvälja, siis eelduste kohaselt peaksid andurite väljundid olema kõik ühtemoodi madalad, mis tähendab et on tagatud tingimus $u1 = u2$, ehk servomootoritele on edastatud signaal peatumiseks.

Koodis näeb asi välja järgmine: Joonisel 2.27 on näidatud algparameetrite defineerimine.

```
#include <Servo.h>

Servo servo1;
Servo servo2;

int u1;
int u2;
int u3;
int u4;

void setup() {
  servo1.attach(5);
  servo2.attach(6);
  Serial.begin(9600);
}
```

Joonis 2.27 Algparameetrite defineerimine

Loodud programmis on kasutusel Servo.h raamatukogu, mis lihtsustab servomootorite kontrollimist arduino tarkvaras. Muutujad $u1 - u4$ on iga anduri väljundväärtus, mida kasutatakse hiljem servo mootorile pöörlemissuuna andmiseks. Käsklus Servo servo1; defineerib ära servomootorite nimetused. Void setupis on omistatud servomootoritele

PWM digitaalsed klemmid 5 ja 6 ning viimase käsklusena defineerib ära programmi töötamise 9600 baud rate peal.

Järgneb koodi tsükliline osa. Joonisel 2.28 on näidatud ühe teljelise liikumise kompenseerimine, teise telje kompenseerimiseks kasutatakse täpselt sama loogikat.

```
void loop() {
  // loetakse analog klemmidelt sensorite väärtused
  u1 = analogRead(A0);
  u2 = analogRead(A1);
  u3 = analogRead(A2);
  u4 = analogRead(A3);

  if (u1 - 30 <= u2 && u1 + 30 >= u2)
  {
    servol.write(90);
    delay(10);
  }
  else if (u1 -30> u2)
  {
    servol.write(180);
    delay(10);
  }
  else if (u1 + 30< u2)
  {
    servol.write(0);
    delay(10);
  }
}
```

Joonis 2.28 Parameetrite lugemine ja servomootorite liigutamine

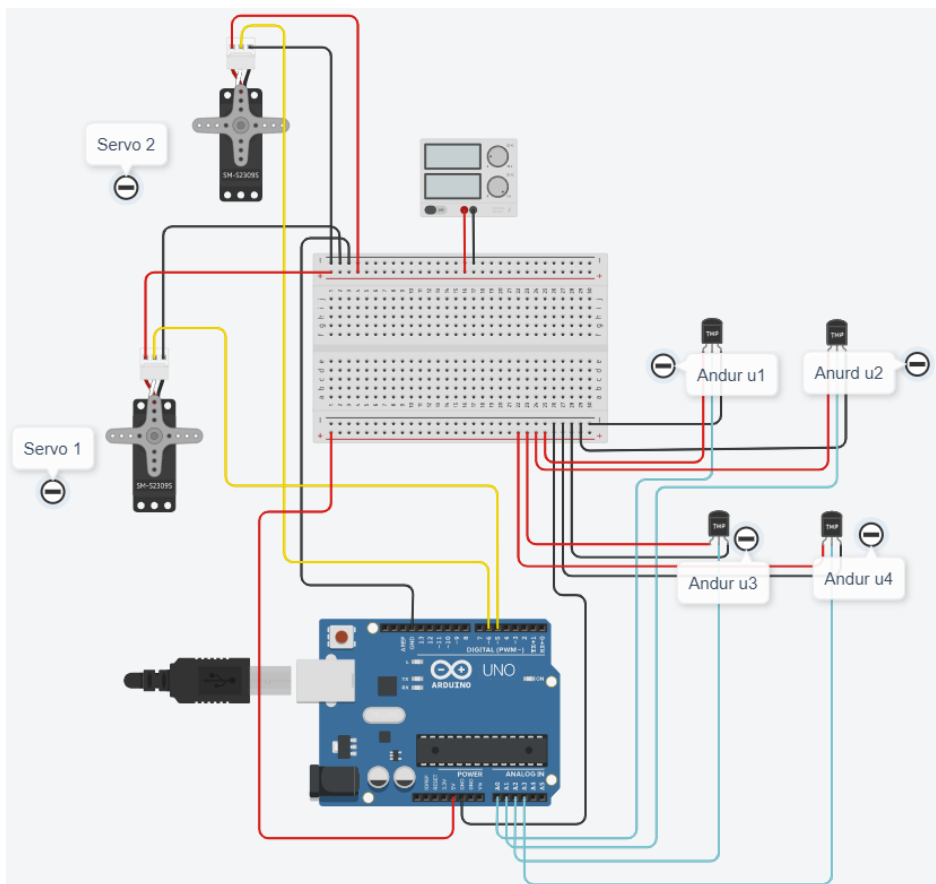
Tsükkel algab peale andurite väljundite lugemisega ning nende salvestamisega nimetatud u väärtustele. Peale seda võrreldakse $u1$ ja $u2$ väärtusi omavahel ning sama tehakse ka $u3$ ja $u4$ -ga. Servo.write käsklus saadab servo mootorile signaali, kus 90 tähistab mootori seiskumist, 0 tähistab vastupäeva pöörlemist ning 180 tähistab päripäeva pöörlemist. Peale igat servomootri signaali saatmist on lisatud delay(10), mis peatab koodi 10 ms, et vältida mootori üle koormamist.

3 Simulatsioonid

Projekti rahastuse puudumise tõttu pole võimalik projekti realiseerida. Sellest lähtuvalt teostatakse süsteemi simulatsioonid virtuaalselt Autodesk Tinkercad tarkvaras. Tinkercad on avatud veebipõhine JavaScripti peale ülesehitatud platform. Tarkvaras on võimalik simuleerida ArduinoUno kontrolleri, kasutada limiteeritud hulgal andureid, juhtida mootoreid jne. Sellepärast sobib see ka töös projekteeritud elektroonika juhtimise simuleerimiseks.

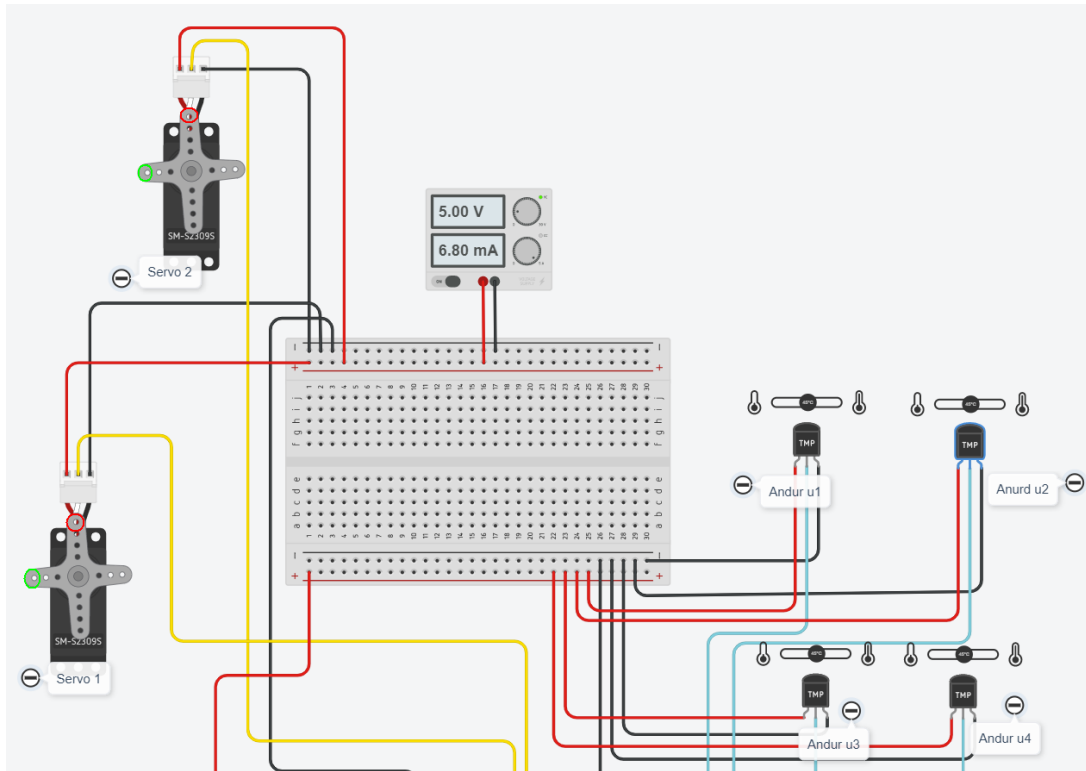
3.1 Tinkercad simulatsioonid

Tarkvarasse loodi elektroonika skeem vastavalt joonisele 2.23. Kuna Tinkercadi tarvaras pole magnetvälja sensoreid, asendati need temperatuuri anduritega, millel on samuti analoogväljund. Samuti pole tarkvaras pidevapöörlemisega servomootoreid, seega asendati need tavaliste servomootoritega. Viimaseks asendati toitemuundur 5V toiteallikaga. Katsetusskeem on kuvatud joonisel 3.1.



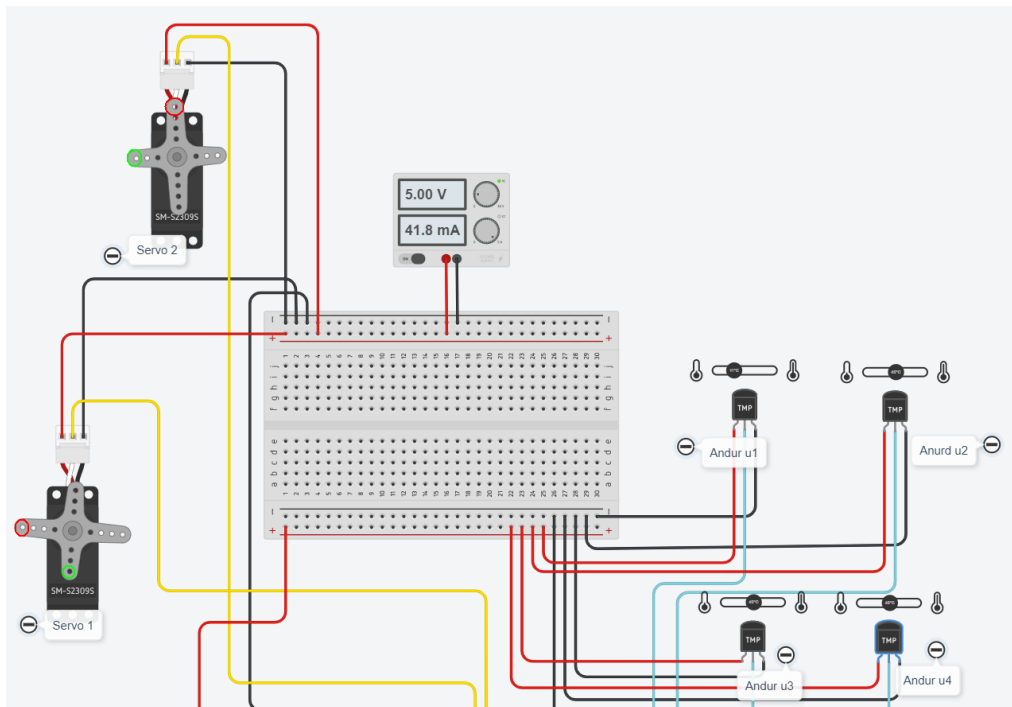
Joonis 3.1 Simulatsiooni skeem

Simulatsiooni algul on antud kõikidele anduritele sisendiks 45 °C. Selle tulemusena on mootorid võtnud sisse algasendi. Punaste ja roheliste ringidega on lisatud juurde indikaatorid, mis aitab jälgida servode pöörlemist. Kirjeldatud olukord on kuvatud joonisel 3.2



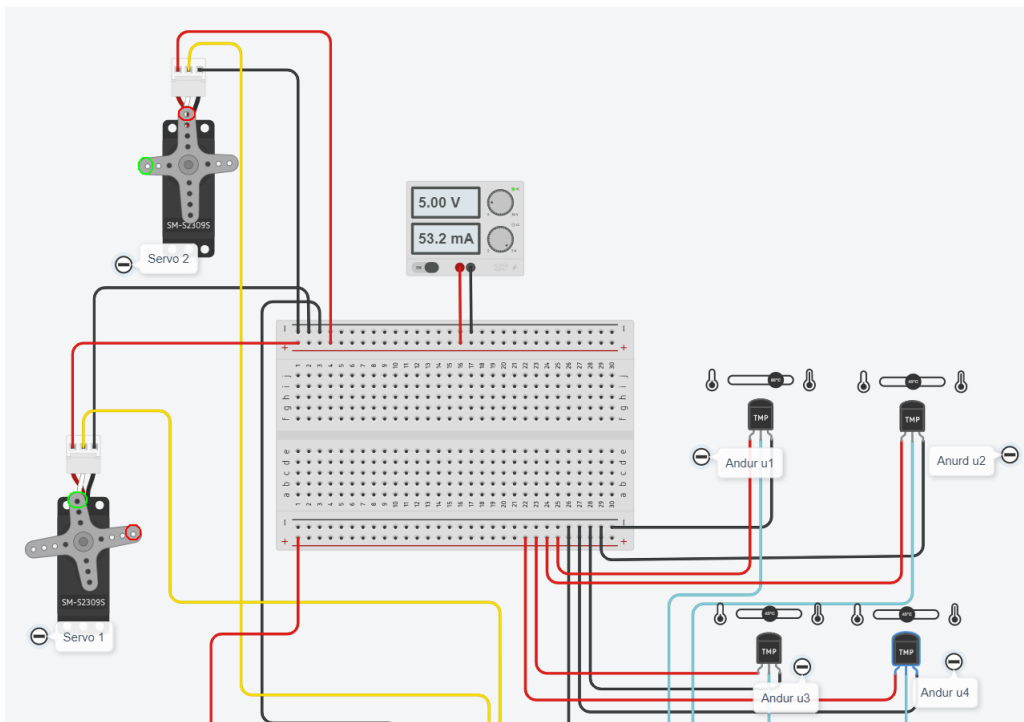
Joonis 3.2 Andurid koos algväärtustega

Seejärel vaadeldi olukorda, kus muudeti esimese anduri väljundit, mis kontrollib esimese servomootori tööd. Anduri sisend muudeti negatiivses suunas +45 °C pealt +11 °C peale. Teiste andurite väljundid jäid hetkel muutmata. Selline olukord tekib, kui mähised on ühe telje sihis paigas, kuid teine telg vajab veel korrigeerimist. Kirjeldatud olukorra tulemusena pöörles esimene servomootor vastupäeva ning teine mootor ei pöörelnud üldse. Olukord on kuvatud joonisel 3.3.



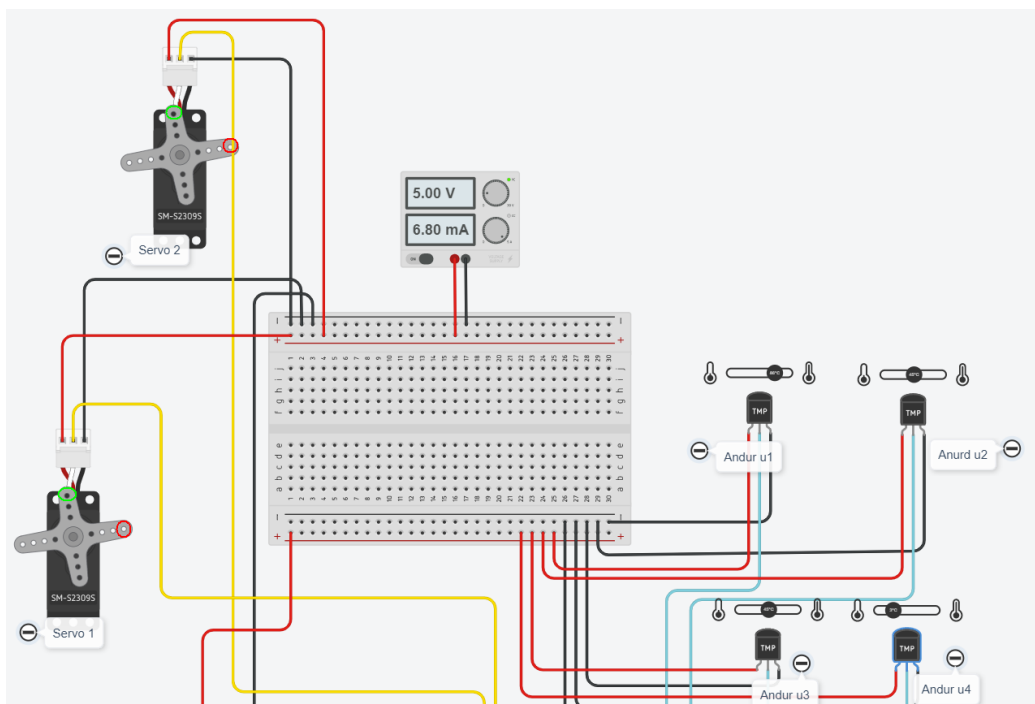
Joonis 3.3 Anduri u1 väljundi muutmisel tekkinud olukord

Järgmiseks vaadeldi samat põhimõttelist olukorda, erinevus seisnes mootori suunas. Seekord muudeti andur u1 väljundit $+11\text{ }^{\circ}\text{C}$ pealt $+86\text{ }^{\circ}\text{C}$ peale. Selle tulemusena pöörles mootor 180° päripäevas, mis tähistab mootori pöörlemissuuna muutust. Kirjeldatud olukord on kuvatud joonisel 3.4.



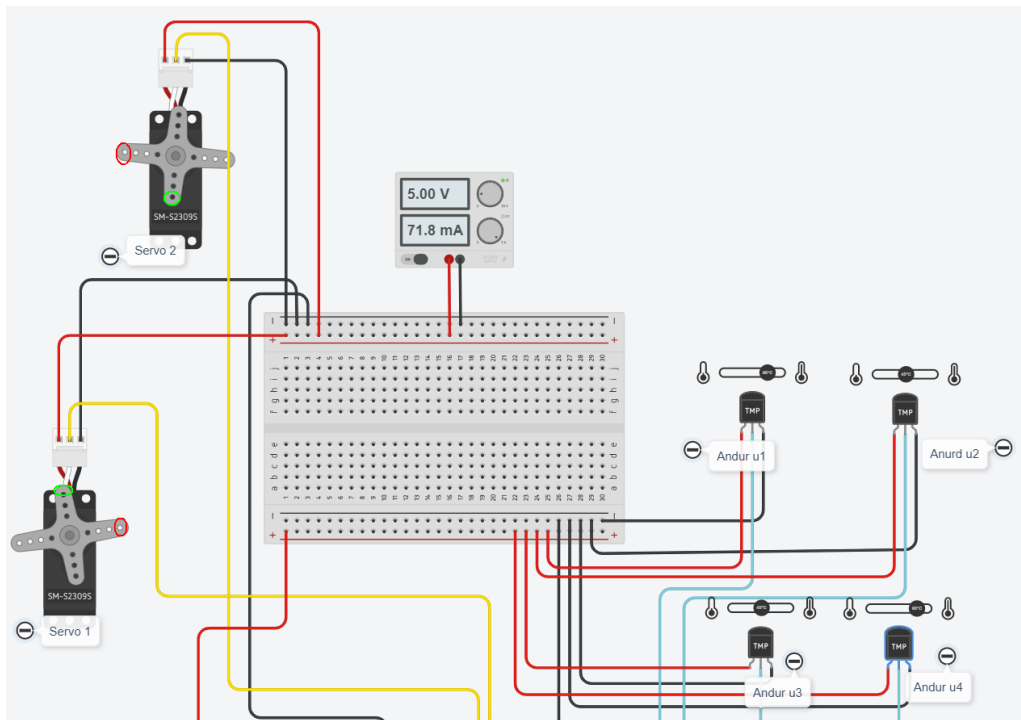
Joonis 3.4 Esimese servomootori pöörlemine päripäevas.

Kuna teise servomootori juhtimine töötab täpselt samadel alustel ja ehitatud sama loogika peale ülesse, ei hakata seda eraldi vaatlema. Selle asemel liigutakse kohe olukorrani, kus esimese anduri väljundid jäetakse nii nagu nad jäid viimases olukorras, ehk esimese anduri väljund $+86\text{ }^{\circ}\text{C}$, teise anduri väljundiks jäi $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$. Teisest andur komplektist muudeti andur $u4$ väärtust $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$ pealt $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tulemusena jäi esimene servomootor pöörlema päripäeva ning teine mootor hakkas samuti pöörlema päripäeva. Kirjeldatud olukord on kuvatud joonisel 3.5.



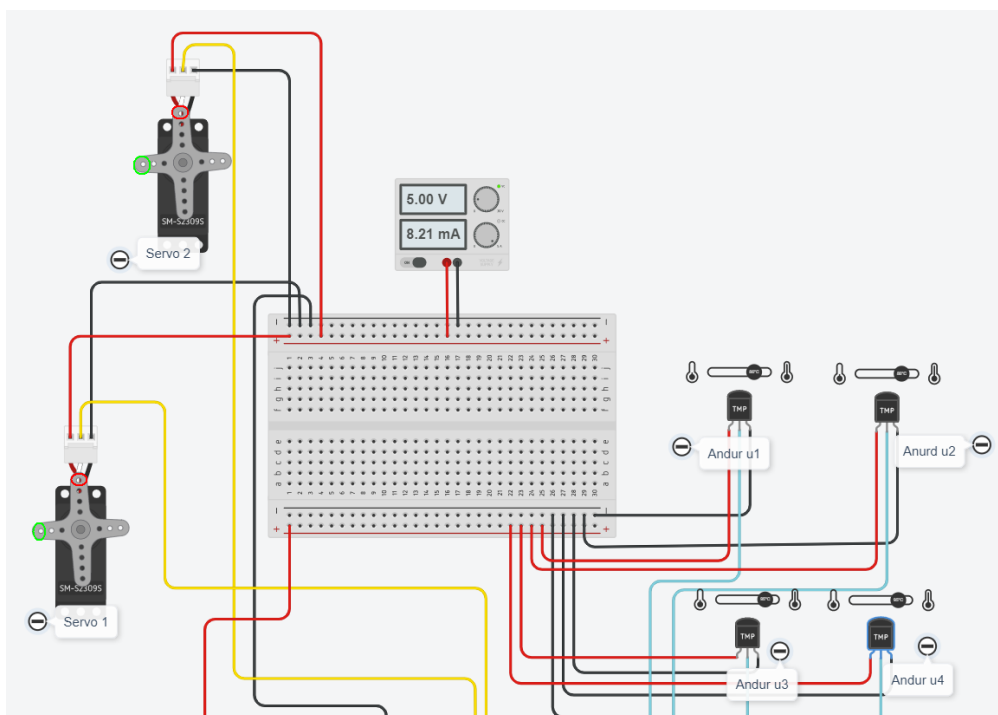
Joonis 3.5 Kahe mootori juhtimine samaaegselt sama suunaliselt

Sarnane olukord saavutati kui muudeti neljanda anduri väljund $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$ pealt $+95\text{ }^{\circ}\text{C}$. Selle tulemusena hakkas mootor hoopis vastupäeva pöörlema. Olukord on kuvatud joonisel 3.6.



Joonis 3.6 Kahe mootori juhtimine samaaegselt erisuundades

Viimaseks vaadeldi olukorda, mis simuleerib andurite joondamist. Selleks viidi mõlemate andurite näidud sarnaseks (sarnane olukord baasolukorrale). Tulemusena võtsid andurid algasendi sisse, mis tähistab mootorite peatumist. Olukord on välja toodud joonisel 3.7



Joonis 3.7 Mähiste joondamise saavutanud olukord.

Teostatud simulatsioonides on kastutusele võetud mõningaid lihtsustusi, ning need töötavad eeldusel, et komponentide valimisel on leitud sobilikud tooted. Sellegi poolest on tehtud simulatsioonid piisavaks tõestuseks juhtimisalgoritmi toimimisest.

KOKKUVÕTE

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks oli teostada turuülevaade juhtmevabadest akulaadimistehnoloogiatest, mille tulemusena tuli välja valida sobiv akulaadija, mis kohandub robotpaat Nymot laadima. Valitud laadijale tuli lisaks projekteerida akulaadimissüsteem, mis tagaks paadi laadimise ilma kõrvalise abita. Akulaadimissüsteemi väljatöötamine koosnes kolmest põhilisest etapist, milleks olid mehaanika, elektroonika ja juhtimisalgoritmi arendamine.

Töös keskenduti juhtmevabadele laadijatele, mille võimsusklass on kuni 5 kW. Vaadeldi kuue kõige paremini internetis turundatud firma toodangut, milleks olid Skycharge, Wibotic, jjPlus, Delta electronics ja Daihen. Vaatluse alla võeti laadijate sobivus Nymo paadi akuga, toodete ühilduvus sadamate toitega ja sobivus töötamiseks vee tingimustes. Analüüsi tulemusena osutus kõige sobilikumaks Delta 1 kW juhtmevaba laadija.

Peale laadija valikut projekteeriti süsteem, mille ülesanne oli tagada automaatne ja pidev laadimine. Selleks esmalt leiti sobilik paigutus antud tootele, seda nii paadi kui ka ujuvkai suhtes. Järgmisena loodi valitud laadijale mehaaniline süsteem, mille ülesandeks oli hoida mähiseid omavahel kohakuti. Peale mehaanilise osa projekteerimist loodi laadimissüsteemile juhtimisalgoritm.

Projekti rahastuse puudumise tõttu polnud võimalik akulaadimissüsteemi realiseerida. Seetõttu teostati süsteemi töökindluse testimine simulatsioonidega. Simulatsioonides kasutati mõningaid lihtsustusi, kuid sellegi poolest olid need piisavad tõestamiseks loodud juhtimisalgoritmi toimimist.

Autori hinnangul said kõik püstitatud eesmärgid täidetud. Tulevikus võiks süsteemile lisada veel ühe teljelise liikumise kompenseerimise, mis tagaks veelgi parema toimimise. Kindlasti vajaks loodud süsteem valideerimist füüsilise testimise näol.

SUMMARY

The objective of this bachelor's thesis was to give a market overview of the existing battery loading systems. The purpose for the market overview was to find the most suitable battery charger, that is suitable to load robotic boat Nymo's battery. For the selected charger it was necessary to design a battery loading system that provides charging without outside help. Battery loading system design consisted of three stages - which were mechanics, electronics and control algorithm development.

The focus of the thesis was on the wireless chargers - with a power class up to 5 kW. Six companies with the best online marketing were examined. These were Skycharge, Wibotic, jjPlus, Delta electronics and Daihen. Three factors were taken into account: the compatibility of Nymo battery, the compatibility of the power supply that ports provide and their suitability for working in water conditions. As a result of the analysis the most suitable product turned out to be Delta 1 kW wireless charger.

After choosing the charger, a system was designed to provide automatic and continuous charging. Therefore, first a suitable placement was found for the given product, in relation both to the boat and the floating dock. The next step was to design a mechanical system for the charger to keep the coils aligned. The final step was to create a control algorithm for the charging system.

Due to the lack of funding for the project, it was not possible to implement the battery charging system in reality. For this reason the reliability of the system was tested by simulations. Some simplifications were used in the simulations, however they were sufficient enough to provide the operation of the established control algorithm.

Based on the author's evaluation all the set objectives were achieved. In the future, another axial motion compensation could be added to the system to ensure even better performance. The established system would certainly need to be validated in the form of physical testing.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Yanmar Co, „Yanmar Develops Basic Technology with JAMSTEC for Auto-navigation Robotic Boat and Auto-docking System,” 2019. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.yanmar.com/en_th/news/2019/02/07/50938.html. [Kasutatud 02. 05. 2021].
- [2] J. Amos, „Robot boat completes three-week Atlantic mission,” 2020. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.bbc.com/news/science-environment-53787546>. [Kasutatud 02. 05. 2021].
- [3] A. Alvela, „Robotlaev Nymo künnab laineid,” 2019. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://tehnikamaailm.ee/artikkel/robotlaev-nymo-kunnab-laineid>. [Kasutatud 02. 05. 2021].
- [4] Solise, „Batterie lithium 48V 40Ah,” 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.masolise.com/batterie-lithium-12v-150ah-camping-car-solaire-eolien-c2x26459262>. [Kasutatud 18. 02. 2021].
- [5] The Enclosure Company, „IP Rated Enclosures Explained,” 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.enclosurecompany.com/ip-ratings-explained.php>. [Kasutatud 14. 03. 2021].
- [6] T. RAWPower, „The History and Future of Wireless Charging Technology,” 2017. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://blog.ravpower.com/2017/09/wireless-charging-technology-history-future/>. [Kasutatud 09. 02. 2021].
- [7] sygamesblog, „Wireless Charging,” 2018. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://sygamesblog.wordpress.com/2018/03/16/wireless-charging/>. [Kasutatud 10. 02. 2021].
- [8] H. Kadam, „What Does the Future of Wireless Charging Technology Look Like?,” 2020. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.electronic-cooling.com/2020/02/what-does-the-future-of-wireless-charging-technology-look-like/>. [Kasutatud 10. 02. 2021].
- [9] Rutronik, „Infineon cuts the cables,” 2020. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.rutronik.com/suppliers/infineon/wireless-charging/>. [Kasutatud 10. 02. 2021].
- [10] Skycharge, „Rugged And Automatic Battery Charging,” 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://skycharge.de/charging-pad-outdoor>. [Kasutatud 17. 02. 2021].
- [11] Skycharge, „About us,” 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://skycharge.de/about-us>. [Kasutatud 14. 03. 2021].

- [12] Wibotic, „Standard High Power System,” 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.wibotic.com/products/high-power-dev-kit/>. [Kasutatud 21. 02. 2021].
- [13] A. Boyle, „WiBotic joins Astrobotic’s team to build wireless charging system for moon rovers,” 2020. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.geekwire.com/2020/wibotic-joins-astrobotics-team-build-wireless-charging-system-moon-rovers/>. [Kasutatud 14. 03. 2021].
- [14] Wibotic, „Programmable Wireless Charging and Uptime Optimization for Aerial Drones,” 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.wibotic.com/wp-content/uploads/2020/09/Wibotic-Aerial-DS-EMAIL.pdf>. [Kasutatud 14. 03. 2021].
- [15] JJPlus, „Wireless Power Module,” 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.jjplus.com/wp-content/uploads/2020/07/jjPlus_200W_wireless_power_transceiver_module_48Vout_20200615_Rev.04.pdf?x67290. [Kasutatud 22. 02. 2021].
- [16] JJPlus, „About us,” 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.jjplus.com/>. [Kasutatud 28.02.2021].
- [17] Wiferion, „ETALINK 3000 – CONTACTLESS, INDUCTIVE CHARGING WITH 3 KW,” 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.wiferion.com/en/products/etalink-3000-inductive-charging-with-3-kw/#specs>. [Kasutatud 23. 02. 2021].
- [18] Wiferion, „Company,” 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.wiferion.com/en/company/>. [Kasutatud 14. 03. 2021].
- [19] Wiferion, „etaLINK 3000 Data sheet,” 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.ifoy.org/bewerbungen/2013/883/KD0002_DB_etaLINK3000_EN_v3-0.pdf. [Kasutatud 14. 03. 2021].
- [20] Delta Thailand, „Delta Overview,” 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.deltathailand.com/en/delta-overview>. [Kasutatud 14. 03. 2021].
- [21] Delta Thailand, „Wireless Charging System 1kW,” 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.deltathailand.com/imgadmins/source/Delta%20Renewable%20Energy%20Solutions/1kW%20Wireless%20Charging%20System_Leaflet_EN_V01_20201012.pdf. [Kasutatud 10. 03. 2021].
- [22] Daihen, „Company History,” 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.daihen.co.jp/en/company/history/>. [Kasutatud 10. 03. 2021].

- [23] Daihen, „Wireless Power Transfer System for AGV,“ 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.daihen.co.jp/en/products/wireless/agv/>. [Kasutatud 14.03.2021].
- [24] Arduino, „What is Arduino?,“ 2018. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. [Kasutatud 21. 04. 2021].
- [25] Arduino, „Introduction to the Arduino Board,“ 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.arduino.cc/en/reference/board>. [Kasutatud 01. 05. 2021].
- [26] A. K. Y. Z. O. M. N. S. L. S. Ali Bin Junaid, „Autonomous Wireless Self-Charging for Multi-Rotor Unmanned Aerial Vehicles,“ 2017. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.mdpi.com/1996-1073/10/6/803>. [Kasutatud 24. 03. 2021].
- [27] Sparkfun, „DISTANCE SENSING OVERVIEW,“ 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.sparkfun.com/distance_sensing#:~:text=How%20do%20distance%20sensors%20work,the%20signal%20to%20return%2C%20etc.. [Kasutatud 24. 03. 2021].
- [28] AKM, „What's a Magnetic Sensor?,“ 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.akm.com/eu/en/technology/technical-tutorial/basic-knowledge-magnetic-sensor/magnetic-sensor/#:~:text=A%20magnetic%20sensor%20is%20a,by%20a%20magnet%20or%20current..> [Kasutatud 24. 03. 2021].
- [29] Honeywell, „SS39ET/SS49E/SS59ET Series,“ 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://sensing.honeywell.com/honeywell-sensing-ss39et-ss49e-ss59et-product-sheet-005850-3-en.pdf>. [Kasutatud 24. 04. 2021].
- [30] amagnet, „Neodüümmagnet - Plokk 50x10x2 mm [N45],“ 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.amagnet.eu/et/component/virtuemart/?page=shop.product_details&flypage=flypage.tpl&product_id=194. [Kasutatud 09. 05. 2021].
- [31] K&J Magnetics, Inc, „The Original K&J Magnet Calculator,“ 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.kjmagnetics.com/calculator.asp?calcType=block>. [Kasutatud 09. 05. 2021].
- [32] The Engineering ToolBox, „Friction and Friction Coefficients,“ 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.engineeringtoolbox.com/friction-coefficients-d_778.html. [Kasutatud 11. 05. 2021].
- [33] Roymech, „Gear Efficiency,“ 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://roymech.org/Useful_Tables/Drive/Gear_Efficiency.html. [Kasutatud 13. 05. 2021].

- [34] PBC Linear, „What is Lead Screw Efficiency?,” 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.pbclinear.com/Blog/2018/February/What-is-Lead-Screw-Efficiency-in-Linear-Motion>. [Kasutatud 13. 05. 2021].
- [35] Autobot, „3kg.Cm 360 Degree Continuous Rotation Servo (FS5103R),” 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.autobotic.com.my/servo/3kg-cm-360-Degree-Continuous-Rotation-Servo>. [Kasutatud 25. 04. 2021].
- [36] Calcutta Electronics, „5V 2 Amp Power Supply Board 220V AC to 5V DC,” 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://calcuttaelectronics.com/product/5v-2-amp-power-supply-board-220v-ac-to-5v-dc/>. [Kasutatud 11. 05. 2021].
- [37] Kaizer Power Electronics, „Wire size table,” 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://kaizerpowerelectronics.dk/theory/wire-size-table/>. [Kasutatud 11. 05. 2021].

LISAD

Lisa 1 Juhtimiskood

```
#include <Servo.h>

Servo servo1;
Servo servo2;

int u1;
int u2;
int u3;
int u4;

void setup() {
  servo1.attach(5);
  servo2.attach(6);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  // loetakse analoog klemmidelt sensorite väärtused
  u1 = analogRead(A0);
  u2 = analogRead(A1);
  u3 = analogRead(A2);
  u4 = analogRead(A3);

  if (u1 - 30 <= u2 && u1 + 30 >= u2)
  {
    servo1.write(90);
    delay(10);
  }
  else if (u1 -30> u2)
  {
    servo1.write(180);
    delay(10);
  }
  else if (u1 + 30< u2)
```

```
{
  servo1.write(0);
  delay(10);
}

if (u3 - 30 <= u4 && u3 + 30 >= u4)
{
  servo2.write(90);
  delay(10);
}
else if (u3 -30 > u4)
{
  servo2.write(180);
  delay(10);
}
else if (u3 + 30< u4)
{
  servo2.write(0);
  delay(10);
}

}
```