

Tartu Ülikool
Loodus- ja täppisteaduste valdkond
Tehnoloogiainstituut

Priit Rooden

Autonoomse laadimislahenduse väljatöötamine õpperobotile Robotont

Bakalaureusetöö (12 EAP)

Arvutitehnika eriala

Juhendajad:

Robotitehnoloogia lektor Veiko Vunder

kaasprofessor Heiki Kasemägi

Tartu 2023

Resümee

Autonoomse laadimislahenduse väljatöötamine õpperobotile Robotont

Robotplatvormi Robotont uue generatsiooni loomisel, koostatakse uus 3D prinditud kere, vahetatakse senine toiteallikas liitiumpolümeeraku tööriistatootja Makita standardse 18V liitiumioonaku vastu. Bakalaureuse töö eesmärgiks on luua autonoomne laadimissüsteem uuele Robotont generatsioonile. Töö käigus luuakse mehhaaniline disain laadimisjaamale roboti dokkimiseks laadimisjaamaga, roboti poolne vastus laadimisjaamale, elektroonika kontroll juhtarvuti toite ümberlülitamiseks laadimise ajaks.

CERCS: T125 Automatiseerimine, robotika, control engineering, T170 Elektroonika.

Märksõnad: Automatiseerimine, robotika.

Abstract

Development of an autonomous charging solution for the robot platform Robotont

Robot platform Robotont is renewing and during it lot of changes will be included change in supply battery, new 3D printed body, add - on for modules. The aim of the bachelor thesis is to find a solution for an autonomous charging system for the new Robotont generation.

CERCS: T125 Automatiseerimine, robotika, control engineering, T170 Elektroonika.

Keywords: Automation, robotics.

Sisukord

RESÜMEE	2
ABSTRACT	2
SISUKORD	3
JOONISTE LOETELU	4
TABELITE LOETELU	4
LÜHENDID, KONSTANDID, MÕISTED	5
1. SISSEJUHATUS	6
2. ÜLEVAADE	7
2.1. AUTONOOMSED LAADIMISLAHENDUSED	7
2.2. TOITEALLIKA ÜMBERLÜLITAMINE	10
2.3. LI-ION AKUDE LAADIMINE	10
3. ROBOTONDI UUS DISAIN - GENERATSIOON 3	11
4. TÖÖ EESMÄRK JA NÕUDED LAHENDUSELE	12
5. ARENDATAVA AUTONOOMSE LAADIMISLAHENDUSE ÜLESEHITUS	13
5.1. LAADIMISDOKK	13
5.1.1. LAADIMISDOKI MEHAANILINE DISAIN	13
5.1.2. ELEKTRILISED ÜHENDUSED	16
5.2. PARDAARVUTI TOITE ÜMBERLÜLITAMINE JA AKU LAETUSE KONTROLL	19
5.3. LAADIMISJAAM	22
6. TULEMUSTE ANALÜÜS	24
6.1. DOKKIMISE TESTIMINE	24
6.2. NÕUETELE VASTAVUS	25
TÄIDETUD NÕUDED	25
MITTE TESTITUD NÕUDED	25
6.3. EDASIARENDUSED	26
KOKKUVÕTE	27
TÄNUAVALDUSED	28
VIITED	29
LISAD	32
LIHTLITSENTS	34

Jooniste loetelu

Joonis 1. Laadimiskontaktide asetused (a) iRobot Roomba laadimisjaam , (b) IRobot Roomba robottolmuimeja alt vaates.

Joonis 2. (a) Husqvarna robotmuruniitja laadimisjaama laadimiskontaktid, (b) Husqvarna robotmuruniitja Automower 415x eestvaade laadimiskontaktidele

Joonis 3.: Kolmanda generatsiooni Robotont laadimisjaamas dokkimas.

Joonis 4. Laadimisjaama (a) ja Robotondi (b) teljed .

Joonis 5. Joonestus programmis Fusion 360 koostatud suunaja ja Robotont mudelite lõige koos suunaja ja vastuse olulisemate mõõtudega.

Joonis 6. Robotont gen 3 laadimisdoki suunaja a ja vastus b.

Joonis 7.: Ühenduskontakti pistiku mudel ja kontaktide numeratsioon

Joonis 8. Robotondi üldine toite lahendus

Joonis 9. Pardaarvuti toite ümberlülitamise elektriskeem

Joonis 10. Makita BL1850B BMS koos laadimis kontaktide ja andmesuhtluspistikuga.

Joonis 11. Makita aku BL1850B andmekanali nr 4 laadimisaegne pinge graafik.

Joonis 12. Laadimisjaam (kast ja põrandaplaat)

Tabelite loetelu

Tabel 1. Laadimisdokile seatavad elektrilised karakteristikud

Tabel 2. Ühenduskontakti pistiku kontaktide numeratsiooni vasted

Lühendid, konstandid, mõisted

PLA	<i>polylactic acid</i> – polüpiimhpe plastfilamentmaterjal 3D printimiseks
LiPo	liitiumpolümeeraku
Li-ion	liitiumioonaku
gen	generatsioon
CC-CV	<i>constant current constant voltage</i> - konstantse voolu ja konstantse pinge faasidega Li-ion akude laadimisalgoritm
GPS	<i>global positioning system</i> – globaalne positsioneerimissüsteem
BMS	<i>battery management system</i> – aku laadimise haldussüsteem

1. Sissejuhatus

Järjest enam abistavad inimest igapäevaelus kodumasinaid, mis on suutelised ilma sekkumiseta täitma neile seatud ülesandeid. Nii näiteks täidavad robottolmuimejad ja robotmuruniidukid ajamahukaid ülesandeid, mida on vaja sooritada teatud regulaarsusega. Robotid aitavad vähendada inimese ajakulu rutiinsetele töödele, mida nad ise teha ei taha [1]. Pakutavate robottolmuimejate valik on avardunud sedavõrd, et tarbeelektronika arvustusi koostav RTINGS.com soovides valida välja viit paremat robottolmuimejat kevadel 2023 tegi seda 50 eri mudeli vahel valides [2]. Globaalne robottolmuimejate jaemüügi käive aastal 2021 oli 4,48 miljardit USD [3].

Robotont [4] on robotika-alase õppe ja teadustööks mõeldud platvorm, millel on Robot Operating System - ROS [5] tarkvara tugi. Robotont robotitega viiakse läbi praktikume erinevatele sihtrühmadele [4]. Praktikumide läbiviimiseks on vaja robotid eelnevalt töökorda seada sh. kontrollida nende akude laetust ja vajadusel need eelnevalt või ka praktikumi ajal täis laadida. Robotont kasutab toiteallikana liitiumpolümeer akut - LiPo, millel puudub aku laadimise haldussüsteem - BMS. LiPo laadimiseks tuleb kasutada selleks ettenähtud laadijat, mille kasutamiseks tuleb läbida vastav koolitus, et laadimist õigesti teha. Mitte kõikidel praktikumides või koolitustel osalejatel ei pruugi olla teadmisi LiPo akude laadimise kohta ja nii peab praktikumi juhendaja tegelema ka akude laadima panemisega. Seda protsessi saaks robottolmuimejate ja robotmuruniidukite lahendustele tuginedes muuta autonoomseks.

Robotondi platvormile töötatakse välja uut generatsiooni. Sellega asendatakse senine polükarbonaadist toodetud kere lihtsamini toodetava ja uuendatava 3D prinditud kerega. Robotondi modulaarselt asetsenud juhtplaadid asendatakse ühe trükkplaadi vastu ning seda täiendatakse lisaseadmete võimalusega. Senine toiteallikas LiPo vahetatakse tööriistatootja Makita standardse 18V liitiumioonaku - Li-ion vastu. Lisatakse 12 voldi pingeregulaator.

Uue autonoomse laadimislahendusega Robotont säästaks aega, mis kulus seni LiPo laadima panemisele ja laadimisest võtmisele ning transpordile, väheneb aeg millal roboti aku on laadimata olekus.

Töö eesmärgiks on luua Robotondi 3. versioonile autonoomne laadimissüsteem, mille abil oleks võimalik roboti katkematu tegutsemine ilma inimese sekkumiseta tema laadimiseks. Töös kirjeldatakse olemasolevaid lahendusi ja valminud lahendust.

2. Ülevaade

2.1. Autonoomsed laadimislahendused

Autonoomsetel laadimislahendustel põhinevad kodumasinad on igapäevases kasutuses ning suund autonoomsete mobiilsete majapidamisrobotite kasutamisele võtmine on näidanud kiire kasvu [6,7]. Kodumajapidamistesse on võimalik paigaldada peamiselt autonoomseid robotmuruniitjaid ja robottolmuimejaid. Robottolmuimejate kasutus on ajas kasvanud, robottolmuimejate tootja The iRobot Corporation müüs 6 miljonit tolmuimejat ajavahemikus 2002 kuni 2010 [8].

Autonoomsed robottolmuimejad ja robotmuruniitjad vajavad oma asukoha määramiseks laadimisjaama suhtes andureid, mis aitaksid tuvastada laadimisjaama asukohta ja navigeerida laadimisjaama. Enam levinud andurid kodumajapidamises kasutatavates autonoomsetes robotites on: globaalne positsioneerimissüsteem – GPS, laserkaugusmõõtjad, navigatsiooni kaamera, ultraheliandurid, infrapunaandurid, puutetundlikud andurid takistuste vältimiseks. Neid andureid kasutavad autonoomsed muruniitmis- ja tolmuimemisrobotid asukoha määramiseks, kokkupõrke vältimiseks, laadimisdoki asukoha tuvastamiseks [9].

Autonoomsete robotkodumasinade töö kestvuse määrab ära aku mahtuvus ja energiatarve. Ülesandeid täites aku tühjeneb, st. roboti tööaeg on piiratud ja akut tuleb korrapäraselt laadida [10].

Cortes ja Kim on andnud [11] andnud ülevaate robotite autonoomsete laadimissüsteemide kohta. Võrreldakse juhtmega laadimissüsteemi juhtmevaba laadimissüsteemiga. Artikkel kirjeldab robotite autonoomse laadimissüsteemi erinevaid aspekte nagu näiteks anduritega laadimiskoha tuvastamine ja roboti positsioneerimine laadimiskohale. Uurimuses kasutav juhtmevaba laadimistehnoloogia põhineb induktsioonil ja on välja töötatud mobiiltelefonide juhtmevabaks laadimiseks. Juhtmevabade laadimissüsteemide puhul on oluline, et laadimisplaadi pool ja roboti vastuvõtu pool asuksid võimalikult täpselt üksteise kohal, et induktsiooni vool saaks üle kanduda [11].

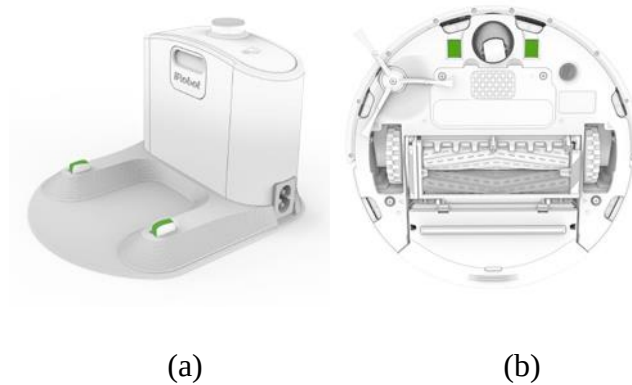
Nii juhtmevabade kui ka kontaktsete laadimissüsteemide puhul on oluline saavutada roboti täpne asukoht laadimisdoki suhtes. Kontaktivaba laadimissüsteem on disainilt vähem robustne, kuid nõuab siiski täpset roboti asukoha saavutamist laadimisdoki suhtes. Kontaktne laadimine nõuab lisaks täpse asukoha saavutamisele ka õige nurga all laadimisdokile lähenemist.

Su et al. [12] näitavad, et tööülesandeid täitvate mobiilsete robotite akude laetuse taseme langemisel teatud piirist madalamale, on olulised kontrolli kaotamisest ja käskude mitte täitmisest tulenevad tagajärjed. Liikuvatele robotitele mõeldud automaatset laadimist võimaldav laadimisdokk suurendab tavapärast robotite dokkimiskiirust ja võimaldab lisaks mõõta laadimisvoolu. Laadimisdoki disain ja roboti ning laadimisdoki vaheline suhtlus tagab ühenduse laadimiseks. Roboti ja laadimisdoki vaheline ühendus on saavutatud kui laadimisdokist väljaulatuvad laadimistihvtid on robotiga kontakti saanud. Robot suhtleb laadimisdokiga raadiosaatja kaudu, laadimisdoki asukoha tuvastuseks kasutab robot laserskännerit. Laadimisdoki robotisse sisestuspea on ühendatud doki külge läbi liikuva ühenduse, millel on kaks passiivset vabadusastet ja üks aktiivne vabadusaste [12].

Su, Liao, Lin ja Lin poolt loodud lähenemiseks ja täpse asukoha saavutamiseks on robotile välja töötatud lähenemise algoritm, mis tuvastab jaama asukoha ja võimaliku nihke jaama keskjoonest, kasutades laservahemiku leidjat ja dokkimisjaama maamärki. Saadud tulemustest lähtuvalt korrigeerib robot jooksvalt oma asukohta laadimisdoki keskjoone suhtes [12].

Ivan Cortes and Won-jong Kim uurimus keskenduski täpse meetodi ja algoritmi välja töötamisele, et saavutada soovitud asend laadimispooli ja roboti pooli vahel. Robot juhitakse laadimisjaama töödeldes roboti kaamerast saadud pildiinfot ning rakendades tagasisidena rataste koodrite infot, millega korrigeeritakse pildi müra tingitud viga [11].

Kontaktlaadimisega kodumajapidamise robotite puhul võib välja tuua lahendusi, kus saavutamaks ja säilitamaks kontakti roboti ja laadija laadimiskontaktide vahel on need omavahel fikseeritud. Jooniselt 1 on näha Robottolmuimeja iRobot Roomba laadimiskontaktide asukohad robotil ja laadimisjaamas. iRobot Roomba sõidab laadimisjaama ja vajutab oma raskusega kontaktid ülevalt alla laadimisjaama kontaktide vastu [13]. Jooniselt 2 on näha Husqvarna robotmuruniitja laadimisjaama ja robotmuruniitjat Automower 415x laadimiskontakte ja asetust. Husqvarna 300, 400 ja 500 seeria muruniitjate laadimisjaama kontaktid on vastassuunas vedruga survestatud, niiduk kiilub oma kontaktidega laadimisjaama kontaktide vahele [14,15].



Joonis 1. Laadimiskontaktide asetused (a) iRobot Roomba laadimisjaam , (b) IRobot Roomba robot tolmuimeja alt vaates.



Joonis 2. (a) Husqvarna robotmuruniitja laadimisjaama laadimiskontaktid, (b) Husqvarna robotmuruniitja Automower 415x eestvaade laadimiskontaktidele.

Lähenediselt võibki eristada kontaktlaadimise puhul robottolmuimejate lahendus, kus laadimiskontaktid jäävad roboti alla ning robot juhitakse laadimisjaama põrandal asuvate suunajate abil täpsele laadimiskohale. Levinud on ka robotmuruniitjate eri variatsioonides lahendus, kus niiduki eesotsas üleval asuvate kontaktidega niiduk sõidab laadimisjaama kontaktide vahele.

Tehnoloogiaettevõtte Apple on tootnud magnetiliste sülearvuti laadija kontakti *MagSafe* mis hõlbustab toitekaabli Macbook sülearvutisse ühendamist [16]. Sülearvuti korpuses olev magnet tõmbab kontakti metallkesta enda suunas, kontaktis on kasutatud koormatud-vedru kontakti (*spring-loaded*) [17]. Apple *MagSafe* on kasutusel ka mobiiltelefonide juhtmevabal laadimisel, kus magnet aitab suunata telefoni juhtmevaba laadija kohal õigele positsioonile [18].

2.2. Toiteallika ümberlülitamine

Tänapäevaste kaasaskantavate elektroonikaseadmete puhul leiab sagedast rakendust toiteallika vahetamine selle kasutuse ajal. Toiteallika vahetuse korrektset toimimist on vaja, et lülituda ühelt toiteallikalt teisele ja tagada katkematu töö. Levinumateks kasutuskohtadeks on näiteks tagavaraakud, toiteadapterid, USB toitega seadmed ja mobiiltelefonid [19,20]. Toiteallika ümberlülitamise puhul on levinud rakendused kus süsteemi toide lülitatakse suuremale toiteallikale, koormuse jagamisel akude vahel, mitme aku samaaegne laadimine ühest laadijast. Kasutatakse lahendusi kus aku ja lisatoide diodidega kokku ühendades teostatakse loogiline või-tehe [19, 21]. Spetsiaalselt toiteallika valikute teostamiseks toodetud komponentide puhul on elektriskeemi peamiseks komponentideks lisaks veel ümberlülitust teostav komponendile selle poolt juhitud MOSFET [20].

2.3. Li-ion akude laadimine

Li-ion akude levinum laadimisalgoritm on *CC-CV - constant current – constant voltage*, mis algab konstantse voolutugevuse ja kasvava pingega faasiga ja läheb üle konstantse pingega ja langeva voolutugevuse faasiks. See algoritm on laialt levinud, sest seda on lihtne disainida ja kasutada [22].

3. Robotondi uus disain - generatsioon 3

Robotont platvormi esimene ja teine generatsioon töötati välja Renno Raudmäe poolt magistritöö raames ja baseerus algselt robotika võistluseks koostatud Robotex osalenud robotile. Robotont on ROS tarkvara toega tasapinnaliselt liikuv omniratstega robot, mis on võimeline kaardistama ümbritsevat keskkonda 2-ja 3-mõõtmeliselt. Robotondi teisele generatsioonile seati esimese generatsiooni puuduste eemaldamisel mitmeid lisa nõudeid nagu näiteks keredetailide tööstusliku tootmise nõue, modulaarse laienemise võimaluse lisamine ja kaalu piirnõue 3 kg. Roboti toiteallikale seati nõudeks kasutada liitiumpolümerakut, mis võimaldaks aktiivselt liikuda vähemalt 60 minutit [23].

Robotondi kolmanda generatsiooniga säilitatakse teise generatsiooni välised visuaalsed ja füüsilised omadused, st Robotont jääb oma mõõtmetelt sama suureks.

Robotondi kolmanda generatsiooni loomisel asendatakse senine polükarbonaadist toodetud kere 3D prinditud kerega. 3D prinditud keret on lihtsam toota, kui freesida kere detaile polükarbonaadist, sest freesimine vajab eri oskust. 3D prinditud kerele on lihtsam teha muudatusi ning protsess on kiirem. 3D printimine on kättesaadav ja odavam, lisaks on võimalik keerukamaid detaile koostada.

Robotondi kogu modulaarselt asetsenud elektroonika sh. mootorite juhtplaadid, mikrokontroller ja pingeregulaator, mis vajasid omavahel ühendamiseks juhtmestiku viiakse kokku ühtsele trükkplaadile, mis hakkab asetsema pealmise plaadi all. Lisatakse 3.3 ja 5 V toitepingega lisaseadmete lisamise võimekus.

Robotont generatsioon 2 kasutas toiteallikana LiPo akut, mis uuel generatsioonil asendatakse Li-ion aku vastu, millel on kaasas aku laadimise kontrollsüsteem. Akuna kasutatakse tööriistatootja Makita 18 V akut. Aku kinnitamiseks Robotonti töötatakse välja lahendus. Lisatakse 12 volid pingeregulaator.

Lisaks töötatakse välja automaatne laadimissüsteem Robotondi aku autonoomseks laadimiseks.

4. Töö eesmärk ja nõuded lahendusele

Töö eesmärgiks on välja töötada lahendus Robotont gen 3 autonoomseks laadimiseks.

Üldnõuded:

- laadimislahendus peab saama kasutada Makita Li-ion 18V akut ja selle laadijat;
- pindjootmisega elektroonikakomponendid peavad olema saadaval trükkplaadi tootja ja komponentide paigaldaja JLCPCB veebilehel komponentide nimekirjas;
- komponendid peavad olema saadaval ja neile peavad olemas alternatiivsed valikud.

Tehnilised nõuded:

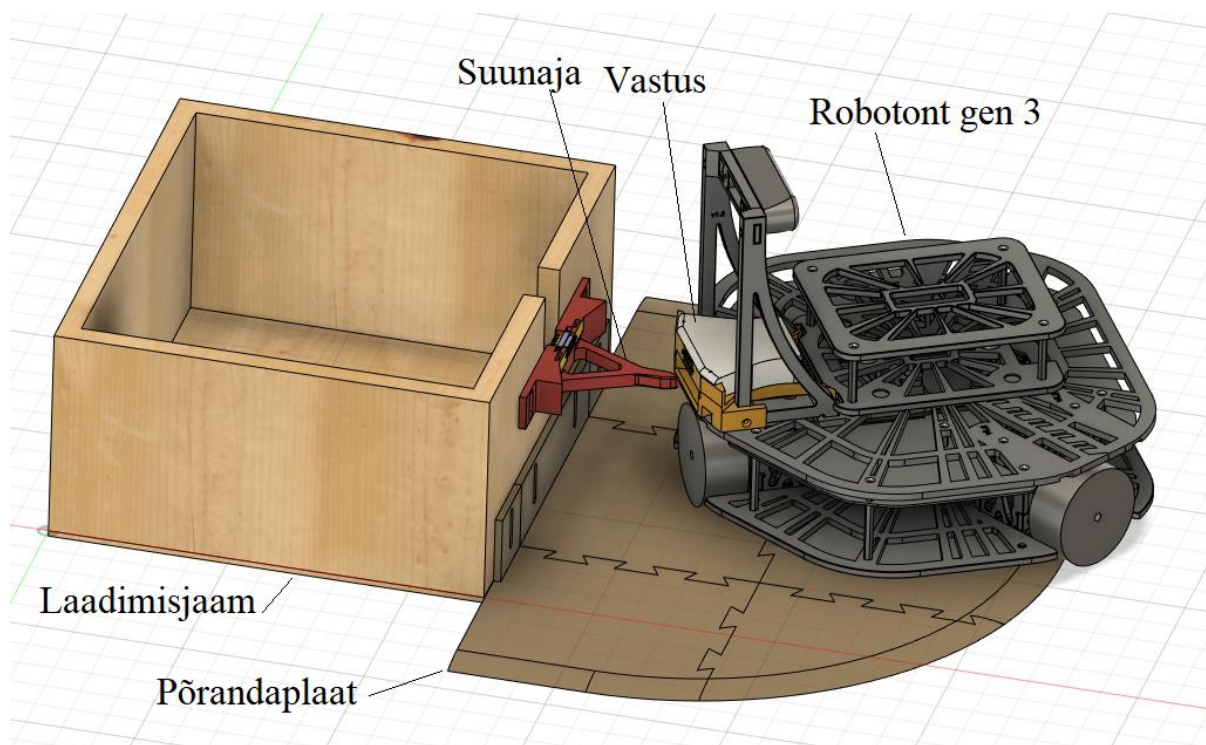
- dokkimine peab olema võimalik olema ± 20 kraadise nurga alt;
- dokk peab võimaldama külgsuunalist eksimist 2cm;
- roboti dokkimisel ei tohi laadimisjaam eest liikuda ja seda peab olema võimalik paigaldada ruumi keskele;
- Makita akulaadijat peab saama mugavalt kasutada tagavara aku laadimiseks;
- doki ühenduskontaktid peavad vastama laadija voolutugevuse nõuetele;
- lahendus peab pakkuma võimaluse tuvastada laadimise algust ja lõppu;
- mehhaanilised detailid peavad olema lihtsasti taastoodetavad;
- võrgupinge lahendused peavad kasutama ohutuse mõttes standardseid lahendusi;
- aku pinget peab saama mõõta;
- aku täislaetust peab olema võimalik tuvastada;
- aku peab laadimisel läbi doki ühenduma laadijasse;
- pardaarvuti peab ümberlülituma adapteri toitele aku laadimisel;
- pardaarvuti peab laadimisel ühenduma akust lahti;
- pardaarvuti toidet peab olema võimalik ühendada eraldi pistikust, kui Robotont ei ole dokis.

Funktsionaalsed nõuded laadimisjaamale:

- kogu lahendus peab olema lihtsalt toodetav;
- laadimisjaam peab olema kompaktne ja kaasaskantav.

5. Arendatava autonoomse laadimislahenduse ülesehitus

Robotondi laadimislahendus koosneb laadimisdokist, laadimisjaamast, Robotondi trükkplaadil pardaarvuti toite ümberlülituse osast, Makita akulaadijast ja pardaarvuti toiteadapterist ning pikendusjuhtmetest.



Joonis 3. Kolmanda generatsiooni Robotont laadimisjaamas dokkimas

5.1. Laadimisdokk

Laadimisdokk koosneb laadimisjaama külge kinnitatavast suunajast, Robotondile kinnitatavast vastusest, elektrilisest pistikust ja pesast ning juhtmeühendusest.

Dokkimise all peetakse silmas roboti manöövrit laadimisjaama elektrilise ühenduse saavutamiseks.

5.1.1. Laadimisdoki mehaaniline disain

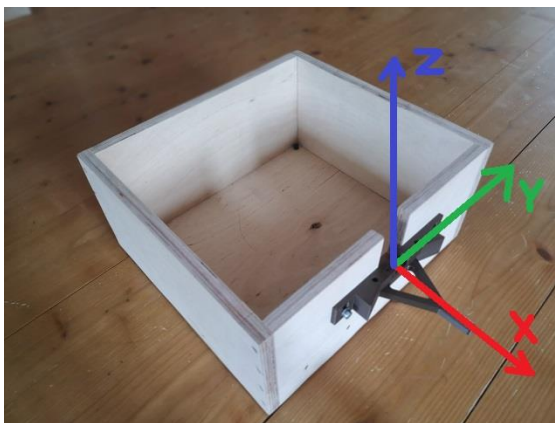
Laadimisdoki disainimisel on lähtud Robotondi uue generatsiooni võimaluste loomise vajadusest lisa moodulite lisamiseks ja on jäetud roboti esiosa vabaks. Laadimisdoki

robotipoolne vastus on planeeritud roboti tagumisele osale kaamerapostide vahele. Seega saab roboti dokkimine toimuda tagurdades ja saab toimuda järgmise algoritmi alusel: Robot tuvastab kaamera abil laadimisjaama AR markeri [24] ja läheneb sellele ning jääb selle ette teatud kaugusele dokist seisma. Robot sooritab 180 kraadise pöörde ja tagurdab dokki.

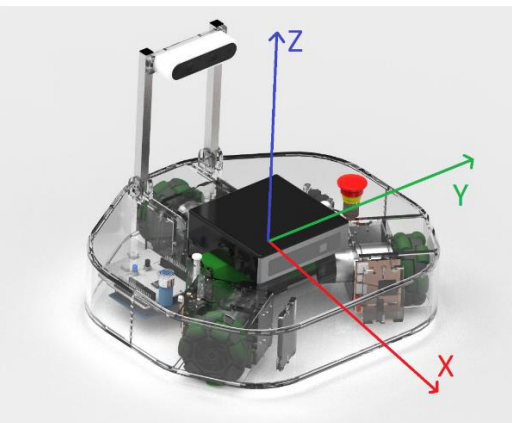
Laadimisdoki loomisel on lähtutud ka faktist, et Robotondi asend ruumis saab muutuda ainult horisontaalses tasapinnas. Joonisel 4.b on kujutatud Robotondi teljed mille argumente Robotont liikumiseks kasutab [25], joonisel 4.a on laadimisjaama teljed mille kaudu saab kirjeldada Robotondi võimalike asendid laadimisjaama suhtes [12]:

- Robotont on laadimiskontaktidega laadimisjaama suhtes risti (laadimisjaama ja Robotondi y-teljed on paralleelsed) ja laadimisjaama kontaktidega samal teljel (laadimisjaama ja Robotondi x-teljed ühtivad);
- Robotont on laadimiskontaktidega laadimisjaama suhtes risti (laadimisjaama ja Robotondi y-teljed on paralleelsed) ja laadimisjaama kontaktide telg on paralleelne (laadimisjaama ja Robotondi x-teljed on paralleelsed) Robotondi kontaktide teljega;
- Robotont on laadimiskontaktidega laadimisjaama suhtes pööratud asendis (pööratud asend ümber z-telje).

Teise asendi puhul peab dokk nihutama Robotonti y-teljes kuni laadimisjaama ja Robotondi x-teljed ühtivad. Kolmanda asendi puhul peab doki mehaanika muutma nii Robotondi y-teljes suhtes asendit kui ka pöörama ümber z-telje.



(a)

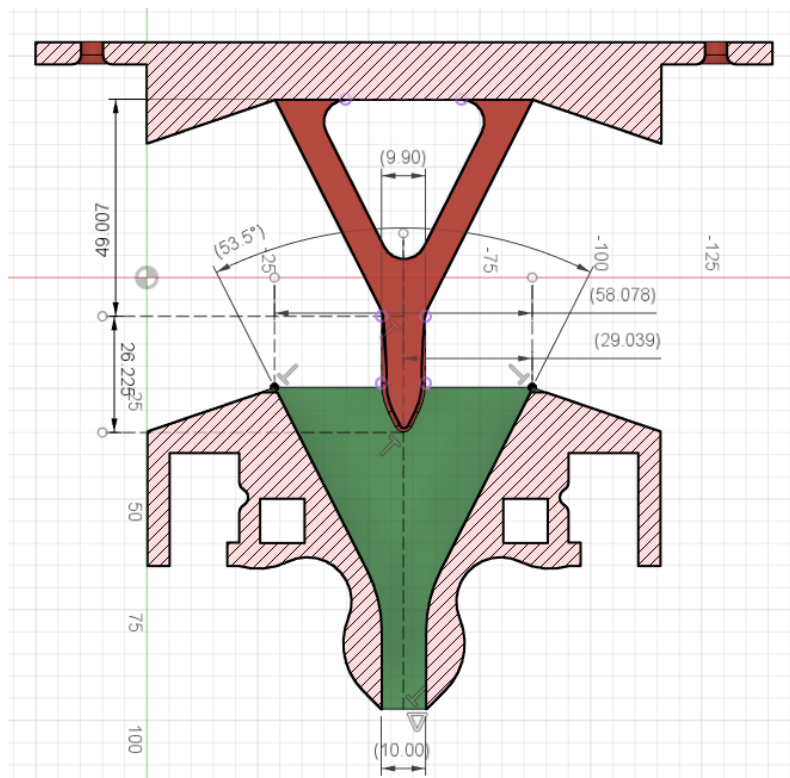


(b)

Joonis 4. Laadimisjaama (a) ja Robotondi (b) teljed.

Edasi arendatavaks lahenduseks valiti Su et al. [12] poolt pakutud lahendus kus laadimisjaamas on väljaulatuv suunaja mis roboti koonuse kujulisesse vastusesse püütakse ja mille abil roboti nihe laadimisjaama suhtes korrigeeritakse. See lahendus sai valitud, sest see pakub võimaluse parandada Robotondi pööratud asendist, ehk pöörata ümber z-telje.

Lahenduse testimiseks disainiti laadimisjaama poolne koonuse kujuline suunaja ja roboti poolne vastus. 3D printitud mudeleid katsetati robotiga Robotont gen 2.0. 3D printimiseks kasutati PLA [26] filamenti. Katse tulemustest saadud tagasiside järgi parandati mudelite disaini ja prinditi uued mudelit katsetusteks. Katsetusi ja disaini täiendusi tehti kuni soovitud tulemuse saavutamiseni. Joonisel 5. on kujutatud mudelite löige analüüsimaaks saavutatud tulemuste mõõte. Olulisemana saab välja tuua suunajat „püüdva“ ava laiuse 58 mm, mis annab maksimaalseks külgsuunaliseks eksimuseks kuni 29 mm.

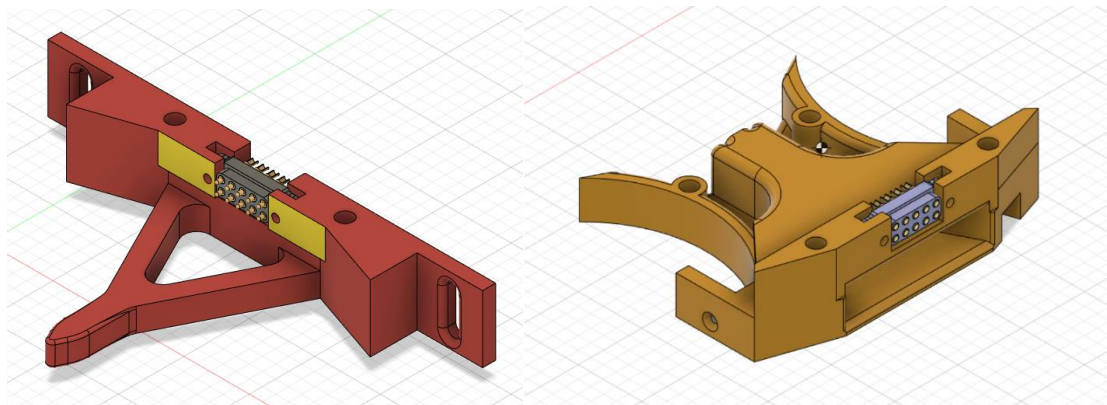


Joonis 5. Joonestus programmi Fusion 360 koostatud mudelite löige koos suunaja ja vastuse olulisemate mõõtudega.

Laadimisdokki ja Robotondi vahelise kontakti tõhusamaks loomiseks ning paremaks säilitamiseks laadimisprotsessi ajal, on suunajasse ja selle vastusesse 3D printimise käigus paigutatud vastakuti neli püsिमagnetit. Püsिमagnetite jõu suund on x-telje sihis. Püsिमagnetid

moodustavad paarid mis asuvad suunaja ja vastuse y-teljel. Püsimagnetitena on kasutusel neodüümium magnetid NdFeB N45 silindrid mõõtmetega $d = 10 \text{ mm}$, $h = 2.5 \text{ mm}$. Neodüümium magnetite Curie temperatuuri alumine piir on $310 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ja eritöötluseta magnetite maksimaalne töötemperatuur on $80 \text{ }^{\circ}\text{C}$ [27]. Mudelite printimisel kasutati PLA filamenti *Prusament PLA Recycled*, mille printimise temperatuur on $215 \text{ }^{\circ}\text{C}$ [28], printeri plaadil asuva mudeli temperatuur jääb sellest madalamaks ja magnetite omadused oluliselt temperatuurist mõjutada ei saa. Seda kinnitasid katsetulemused valminud mudelite kasutades.

Katsetuste tulemusena valminud suunaja ja vastuse mudelid on joonisel 6. Mõlemale modelile on valminud ka kate juhtmestiku kaitseks.



(a)

(b)

Joonis 6. Laadimisdoki suunaja a ja vastus b.

5.1.2. Elektrilised ühendused

Makita akulaadija ja aku laadimisprotsessi tehnilist informatsiooni toote soetamisega ei kaasne ja seda ei väljastanud ka tootja müügiesindus. Et tagada aku tõrgeteta laadimine tuleb laadimislahenduse väljatöötamisel tagada aku laadimiseks läbi laadimisjaama samad tingimused, mis tavapärasel laadimisel. Ühendatud peavad olema kõik aku klemmid, samas pingelang läbi laadimisühenduse peab olema minimaalne. Laadimisdoki elektriühenduse jaoks

sobiva pistiku ja pesa valikul tuleb arvestada ühenduse karakteristikutega. Läbi laadimisdoki on vaja luua tabelis 1. toodu ühendused.

Tabel 1. Laadimisdoki ühendused ja nendele seatavad elektrilised karakteristikud.

	kontakte	nimipinge V	voolutugevus A	mõõdetud pinge V
Aku toite ja maaühendus	2	18	9	21,5
Aku haldussüsteemi andmeühendus	7 ¹	-	-	-1 ... 5
Pardaarvuti toite ja maaühendus	2	19	4,7	19,5

¹- Makita laadija poolses otsas on ühendatud ainult kuus andmeühenduse kontakti.

Makita laadija DC18RC nimipinge on 18 V, katses mõõdetud maksimaalne pinge laadimise ajal oli 21,5 V, täis laetud aku mõõdetud pinge oli 20,6 V. Voolutugevust laadimise ajal ei mõõdetud. Makita laadijale DC18RC märgitud voolutugevus 9A. Aku laadimisel laadijas ühendatakse aku toite ja maaühenduse kontaktid ning seitsme kontaktiga andmeühenduse pistik, millest laadijas on ühendatud kuus kontakti.

Pardaarvuti toiteadapteri väljundi nimipinge on 19 V ja voolutugevus 4,7 A [29], mõõdetud väljundpinge 19,5 V.

Juhtmevaba laadimise kaalumise välistas asjaolu, et valitud aku laadija andmeühenduse tõttu peaks laadimise panema Robotondi sisse, et andmeühendus oleks aku ja laadija vahel tagatud. Sobivate kontaktide valikul tuli lähtuda tabelis 2 toodud kontaktide elektrilistest karakteristikutest ja kontaktitüübi omadusest säilitada kontakt ka Robotondi paiknemise vea korral. Lisa parameetrina pidi arvestama sellega, et kõik 10 kontakti paikneksid nii, et valeühendus oleks välistatud.

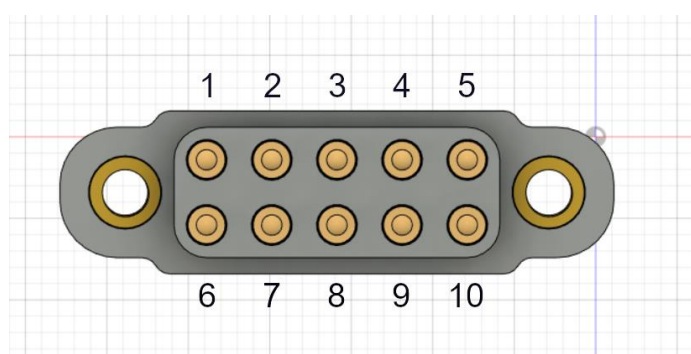
Välja valitud kontakti tüübiks sai vedruga täidetud tihvtkontakt, mis koosneb silindrist, vedrust silindri sees ja liikuvast kontakttihvtist vedru otsas [30]. Soovitud elektrilistele parameetritele vastas ja oli saadaval tootja MILL-MAX Mfg. Corp kümne tihvtkontaktiga pistik koos koonusekujuliste vastusetega. Olulisemad ühe tihvtkontaktiga parameetrid on [31]:

- maksimaalne voolutugevus 12A;
- soovitatav 20% maksimumist vähendatud voolutugevuse piir 9,6A;

- tihvti liikuvus $2,29 \pm 0,13$ mm;
- vedru tõuke jõud tihvti poolel liikuvus ulatusel 120g.

Valitud pistiku tihvtkontaktide vahe on 4 mm ja tihvtid asuvad kahes reas. Ühendusjuhtmed joodetakse otse tihvtkontaktidele. Aku toite, maa ühenduse, andmeühenduse ja pardaarvuti toite ja maaühenduse jaotuse numeratsioon on toodud joonisel 7 [30] ja numeratsiooni vasted tabelis 2. Vedrutihvtidega pistik on paigutatud suunajasse ja vastus Robotondi vastusesse.

Pardaaravuti toite käsitsi ühendamise lisakontaktiks on paigaldatud 5,5/2,1 mm pistik suunaja vastusesse. Seda on võimalik kasutada ainult siis kui Robotont ei ole laadimisjaamas laadimas.



Joonis 7 Ühenduskontakti pistiku mudel ja kontaktide numeratsioon

Robotondi vastuse ja trükkplaadi ühendused on tehtud juhtmeühendustega. Trükkplaadile ühendamiseks on kasutatud toite ühenduseks AMASS MR30 pistikuid ja andmeühenduseks JST pistikuid. Enne trükkplaadi ühendust on kokku ühendatud akulaadija maaühendus, pardaarvuti maaühendus ja pardaarvuti käsitsi ühenduse maaühendused ning eraldi veel pardarvuti toitejuhe käsitsi ühenduspistikust ja suunaja vastusest tulev pardaravuti toitejuhe.

Tabel 2. Ühenduskontakti pistiku kontaktide numeratsiooni vasted

Kontakti number	Kontakti nimetus
1	Andmekontakt 1
2	Andmekontakt 2
3	Andmekontakt 3
4	Aku laadija maaühendus
5	Aku laadija toide 21V
6	Andmekontakt 4 Laadimise kontroll
7	Andmekontakt 5
8	Andmekontakt 6
9	Pardarvuti laadija maaühendus
10	Pardaarvuti toide 19V

Akulaadijalt on ühendus teostatud riknenud aku komponente kasutades. Kasutuses on trükkplaat koos kontaktidega ja aku korpus. Aku elemente ei ole vaja kasutada. Trükkplaadil on eelnevalt kontaktide edasi ühendused katkestatud. Selline lahendus ei ole sobiv uue roboti tootmiseks, kuid annab võimaluse ülejäänud osa kasutada.

Pardaarvuti toite edasi ühendus laadijast suunaja kontakti on teostatud läbi 5,5/2,1mm kruviterminaali ühenduse 5,5/2,1mm.

Toitejuhtmetena on kasutatud 1,5 mm² ristlõikega ja andmeühenduses 0,75 mm² ristlõikega juhtmeid.

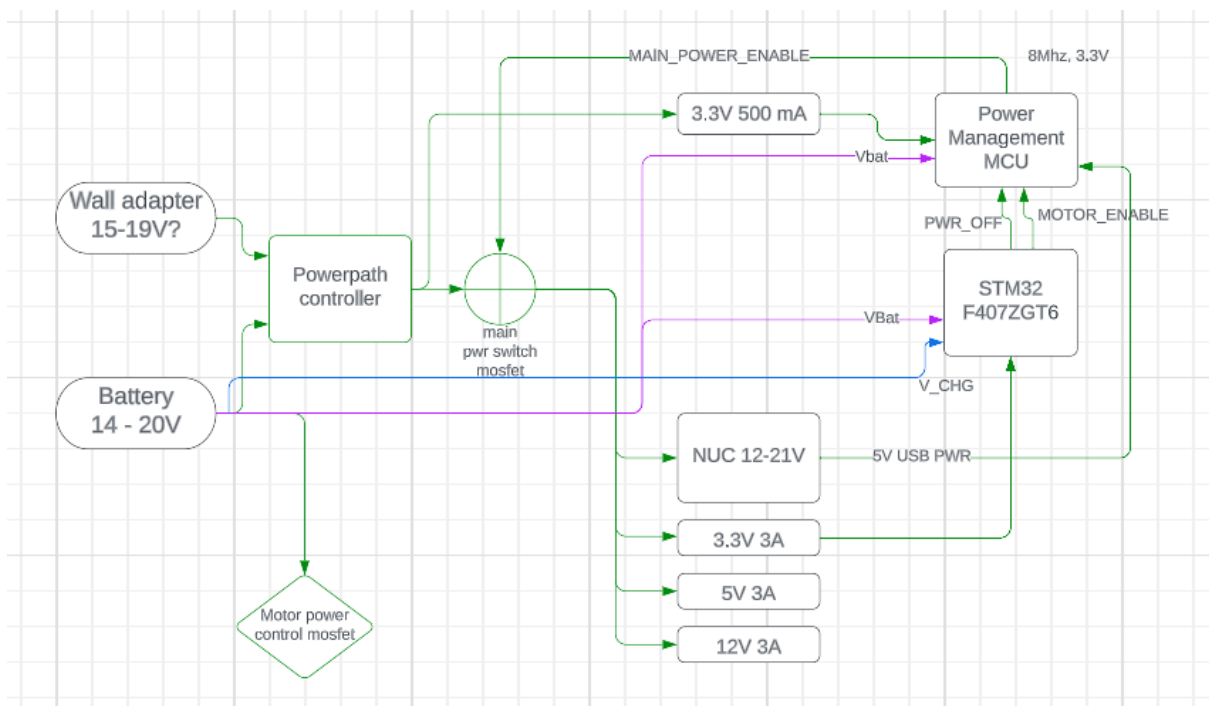
5.2. Pardaarvuti toite ümberlülitamine ja aku laetuse kontroll

Ettenähtud tingimistel toimuva aku laadimise tagab Robotondi pardaarvuti toite ümberlülitamine akutoitelt adapteri toitele.. Laadimisega samaaegne tarbimine pikendaks aku laadimiseks kuluvat aega. Pardaarvuti toite ümberlülitamine toimub Robotondi trükkplaadil, mille külge on ühendatud kõik toite ühendused. Lisaks pardaarvutile lülitatakse ka ülejäänud elektroonika pardaarvutoitele, välja arvatud mootorid, mida laadimisprotsessi ajal ei saa kasutada. Sellega säilib roboti teiste seadmete kasutamise võimalus: robotit on võimalik programmeerida, saada infot anduritelt jms. Joonisel 8. on kujutatud Robotont gen 3 elektriskeemi olulisemate loogiliste plokkidega ja nende vahelised toiteühendused.

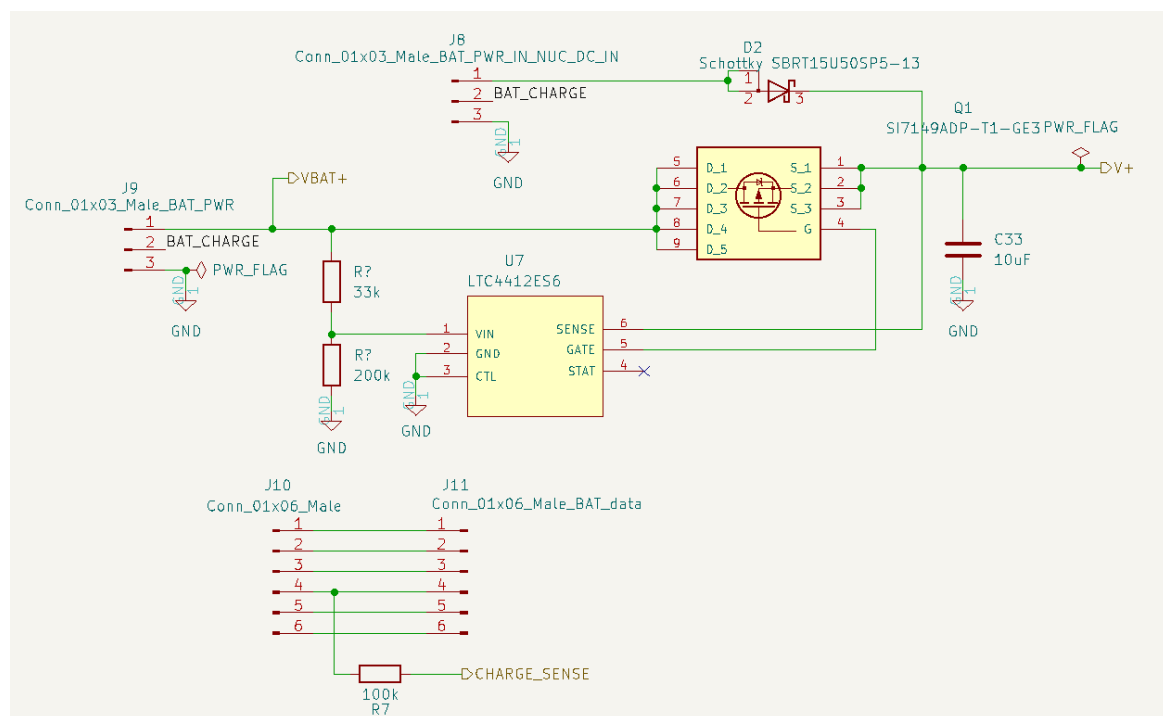
Komponentide valikul lähtuti süsteemi elektrilistele parameetrite vastavusest pingest ja voolutugevuse osas. Kuna Robotont generatsioonil kolm on palju komponente, siis on planeeritud komponentide jootmine trükkplaadi tootja JLCPCB poolt. Pindjootmisega komponendid peavad olema trükkplaadi tootja veebilehel komponentide nimekirjas.

Valitud toitetee ümberlülituseks on valitud juhtkomponent LTC4412, mis juhib P-MOSFET-i tööd sõltuvalt peamise toiteallika ja lisatoite allika olemasolust ja nende pingest, valides välja kõrgeima [19]. Joonisel 9. on kujutatud toite ümberlülitamise elektriskeem, mis on alamosa Robotondi kogu elektriskeemist, mille trükkplaadi laotust on Lisa 3 joonisel 1. ja ümberlülituse

osa sellest Lisa 3 joonisel 2. Elektriskeemi töötamist vastavalt soovitule ei ole töö esitamiseks veel testitud.



Joonis 8. Robotondi üldine toite lahendus.



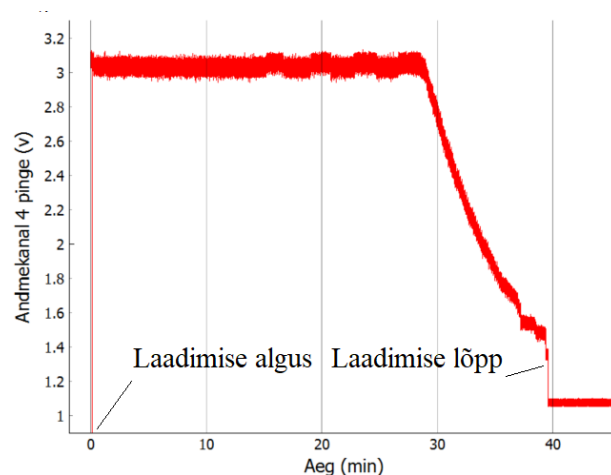
Joonis 9. Pardaarvuti toite ümberlülitamise elektriskeem

Tuvastamaks aku laetust teostati aku laadimispinge ja andmesuhtluskanalite pingete mõõtmine. Joonisel 11 on pilt Makita aku BL1850B BMS-i trükkplaadist koos kontaktide ja andmesuhtluspistikuga. Laadija poolel on andmesuhtlus kanalitest ühendatud kuus esimest kanalit vastavalt joonisele 10. Mõõtmine teostati täis laadimistsükli jooksul. Tulemustest võib välja tuua andmekanal neli mõõtegraafiku joonisel 11. Kui graafikut võrrelda CC-CV [22] laadimisgraafikuga siis äratuntavalt sarnane on andmekanal 4. pinge graafik konstantse voolu graafikule, millest võib järeldada, et andmekanal 4 pinge on laadimisvoolu väljendus. Graafiku 39. minutil on näha väärtuste kiire vähenemine ja edasine konstantne näit 1,1 voldi juures. Samal ajal oli laadija indikaator näitamas aku laetust.

Aku andmekanal 4 on ühendatud mikrokontrolleri STM32F407VGTx ADC sisendile, millelt toimub väärtuste lugemine.



Joonis 10. Makita BL1850B BMS koos laadimiskontaktide ja andmesuhtluspistikuga.

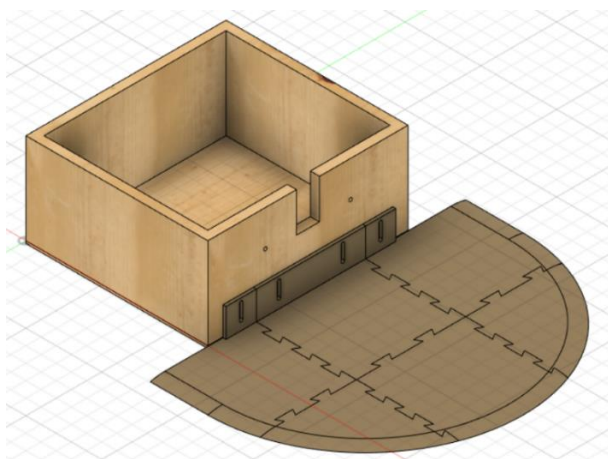


Joonis 11. Makita aku BL1850B andmekanal nr 4 laadimisaegne pinge graafik.

5.3. Laadimisjaam

Laadimisjaam koosneb kastist, põrandaplaadist 5 mm poltide, seibidest ja liblikmutritest. Laadimisjaama üks funktsioonidest on tagada kindel vertikaalne pind, mille külge kinnitada suunaja, et oleks võimalik tagada suunaja ja robotil asetseva vastuse korrektne sobitumine. Konstruktsioon peab tagama esiseina jäikuse, see ei tohi Robotondi dokkimise survele ära painduda. Laadimisjaama sisse peavad mahtuma Makita laadija, pardaarvuti toiteadapter, pikendusjuhe. Pärast Robotondiga töö lõpetamist peab laadimisjaam täitma ka transpordikasti funktsiooni, kuhu saab panna küljest võetud suunaja ja põrandaplaat.

Laadimisjaama külge kinnitatud põrandaplaadi funktsioon on tagada, et laadimisjaama oleks võimalik paigutada kasutatavas ruumi vabalt valitud kohale, ilma selleks eraldi kinnitamise vajaduseta. Peamine vajadus laadimisjaama kinnitamiseks on põhjus, et Robotondi dokkimisel liigub laadimisjaam eest ära. Robotondi lahkumisel laadimisjaamast hoiavad magnetid jaama Robotondi küljes kinni ja see ei vabane jaamast kergelt. Põrandaplaadiga jaama korral dokkimisel jaam ei liigu eest ja väljumisel eemaldub kergelt jaamast. Lisaks aitab laadimisjaama külge kinnitatud plaat siluda põranda ebatasasusest tingitud viga roboti dokkimisel.



Joonis 12 Laadimisjaam (kast ja põrandaplaat)

Laadimisjaama kasti valmistamiseks kasutati 15 mm paksust vineeri laadimisjaama vertikaalsete seinte tegemiseks ja 4 mm paksust vineeri põhjaks. Valmis mõõtmetega 330 mm x 300 mm x 154 mm kast kuhu puuriti kinnitused avad suunajale ja põrandaplaadile ning juhtmete suunaja juhtmetele ligipääs laadijale. Paremaks põrandale sobitumiseks paigutati neli 8 mm

läbimõõduga Makita laadija põhja aluskummi kasti alla. Põrandaplaat on koostatud mõõtmetelt 520 mm x 355 mm nii, et Robotondi rattad oleksid kõik plaadi peal, kui suunaja alustab sisenemist vastusesse. Kuna nii suurt mudelit ei ole tavapäraste 3D printeritega võimalik printida, on põrandaplaat prinditud osadena. Jooniselt 12 on näha põrandaplaadi laadimisjaama kasti ja põrandplaati ning selle osade jaotust.

6. Tulemuste analüüs

6.1. Dokkimise testimine

Dokkimise testimiseks ja nõuete täitmise kontrolliks teostati järgmised testid. Nõue: Dokkimine peab olema võimalik olema ± 20 kraadise nurga alt. Testiks seati markeerimiseks teibid põrandale mõlemale poole laadimisjaama kesk joont 20 kraadise nurgaga. Testimiseks asetati Robotondi tagumine ratas laadimisjaama põrandaplaadile 30 cm kaugusele laadimiskontaktist suunajas. Testis kasutati ainult tagurpidi liikumist, eelnevaid manöövreid ei sooritatud. Makita aku oli kinnitatud Robotondi pealmise plaadi peale ja juhtmed ühendatud vastuse kontaktidesse. Suunaja poolelt oli akulaamine võimaldatud. Kahekümne testikorra ilmnes, et ühele poole sooritas robot dokkimised 19 dokkimist korrektselt nii, et akut hakati laadima aga teiselt poolelt ei saanud robot dokkimisega hästi hakkama. Kuna suunaja ja vastus on mõlemalt sümmeetrilise kujuga kesk telje suhtes siis tekkis kahtlus, et mootorid rakendavad erineva tugevusega jõudu ratastele. Selle kontrollimiseks sai mootorite asetust muuta. Kui vahetati ära vasakpoolse ja parempoolse mootori asukohad siis vahetus ka see kummalt poolelt toimus dokkimine hästi ja kus oli ebaõnnestumisi. Vahetades nõrgema mootori tagumise mootori vastu tasakaalustus dokkimiste tulemused. Dokkimine sooritati mõlemalt poolt kuid siiski oli aru saada et mootorite arendatava võimsused on erinevad ja dokkimiseks kuluv aeg oli suuremat võimsust näitava mootori poole väiksem. Võimsust ei mõõdetud vaid hinnati mootorite tööd visuaalselt.

Nõue: Dokk peab võimaldama külgsuunalist eksimist 2 cm.

Robot asetati 10 cm kaugusel suunaja välimisest otsast ja külj suunas nihkes maksimaalselt nii kaugemale kui vastuse ava ja suunaja ost võimaldasid. Vastuse ava laius on 5,8 cm, mis teeb maksimaalseks võimalikuks asetuse kauguseks mõlemale poole Robotondi x-telje 2,9 cm. Testiti 10 korda külgnihkega dokkimist mõlemalt poolt, kõik testid õnnestusid.

6.2. Nõuetele vastavus

Täidetud nõuded

Põrandaplaadi lisamisega laadimisjaamale välistatakse laadimisjaama eest liikumine dokkimisel ja see võimaldab laadimisjaama paigutada ruumi keskele.

Laadimisjaama saab kasutada pärast Robotondiga töö lõpetamist põrandaplaadi ja toiteadapteri ning pikendusjuhtme hoiukastina. Oma mõõtmetelt on laadimiskast 330x300x154 mm piisvalt kompaktne, et seda riidest kotis saaks kaasas kanda.

Makita laadijat ei ole ümber ehitatud, selle laadimispesasse saab ühendada laadimiseks nii aku kui laadimiskontakti, mis on lahendatud selle töö raames nn. doonor aku kasutamisega.

Laadimisdoki ühenduskontaktide lubatud maksimaalne lubatud voolutugevus on 12 A ja tööpiirkond on kuni 9,6 A, mis on suurem kui akulaadija poolt võimaldatav voolutugevus.

Laadimise andmeühenduse neljandat kanalit lugedes on võimalik tuvastada, millal on selles pinge ja millal ei ole ning tuvastada selle pinge väärtus, eelnevalt on selgeks tehtud laadimise lõpu märkiv pinge mis on $\sim 1,1$ V.

3D printitud detaile on lihtne taas printida. Laadimiskasti tootmine nõuab puutöö oskust, vineeri saagimist ja aukude puurimist.

Võrgupinge lahendusi ei ole pakutud, sest sobivad pikendusjuhtmete pikkused võivad sõltuvalt kasutuskohast olla erinevad, sest Robotondi laadimisjaama saab paigutada ruumis vabalt valitud kohta.

Mitte testitud nõuded

Robotondi trükkplaadi disain juhendaja ja mitme tudengi koostöös sündinud ning on võtnud aega, kuid tänaseks on trükkplaat valminud ja esimesed testid läbinud kui töö esitamiseks vajalike teste Robotont gen 3 elektroonikaga pole läbi viidud. Seoses sellega ei ole järgnevatele nõuete täitmiseks loodud lahendusi testitud, mis jääb edasiseks tegevuseks.

Aku peab laadimisel läbi doki ühenduma laadijasse.

Pardaarvuti peab ümberlülituma adapteri toitele aku laadimisel.

Pardaarvuti peab laadimisel ühenduma akust lahti.

Pardaarvuti toidet peab olema võimalik ühendada eraldi pistikust, kui Robotont ei ole dokis.

6.3. Edasiarendused

Makita laadija kontaktis kasutatud lahendus ei ole korduvateks tootmiseks sobilik ja vajab eraldi trükkplaati millel on Maita laadijale sobilikud toodetud ühendused.

Väljavalitud tihvtkontaktiga pistiku eksisteerib ka trükkplaadile mõeldud variant, seda saaks kasutada mõlemas pooles nii suunajas. Praeguses variandis on juhtmed otse tihvtidele joodetud, lisaks saaks samal trükkplaadil ühendada ära mõlema toiteallika maaühendused ja pardaarvuti käsitsi ühendatava pistiku toite ja läbi tihvtkontakti tulev pardaarvuti toite.

Valminud lahenduses toimub aku laetuse tuvastamine mikrokontrolleri ADC kanali peal seda koguaeg lugedes ja võrreldes referents näiduga, mis ei pruugi olla kõige efektiivsemaks viisiks.

Laadimisjaamale ei ole transpordi ja hoiustamise ajaks disainitud kaant, kuna käesolev laadimiskast on koostatud 15 mm paksusest vineerist siis on selle külge on võimalik teostada kinnitused kaanele. Kaanega laadimiskaste saaks üksteiste peale ladustada.

Kokkuvõte

Bakalaureusetöö eesmärgiks oli välja töötada lahendus Robotont gen 3 autonoomseks laadimiseks. Töö tulemusena valmis Robotondi kolmandale generatsioonile laadimisjaamast laadimisdokist ja elektroonikast Robotondi trükkplaadil lahendus, mis annab võimaluse kasutada Robotondil autonoomset laadimist. Testitud sai olulisema osa, laadimisdoki funktsionaalsust luua Robotondi ja laadimisjaama vahel kontakt laadimiseks see töötas Robotont gen 2.0 roboti Clearbot 14 -ga ja aku autonoomne laadimine läbi laadimisdoki on saavutatud.

Suurem osa tööle esitatud nõetest sai täietud ja ülejäänute nõuete täitmist on vaja veel testida. Kogu koostatud mehaanika ja elektroonika lahendus vajab testimist Robotont gen 3 kerega, uue aku lahenduse ja ühtse trükkplaadiga koostöös.

Tänuavaldused

Täna lõputööjuhendajaid Veiko Vunder ja Heiki Kasemägi suunamise ja juhendamise eest !

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Heiki".

Viited

- [1] Trung Tran, „6 Typical Examples of Robots in Everyday Life“, 7. jaanuar 2022. [Võrgumaterjal] <https://www.orientsoftware.com/blog/robots-in-everyday-life/> (vaadatud 17.05.2023)
- [2] Evan Jakab, „The 5 Best Robot Vacuums - Spring 2023 Reviews“, 27. aprill 2023. [Võrgumaterjal] <https://www.rtings.com/vacuum/reviews/best/robot> (vaadatud 17.05.2023)
- [3] Bergur Thormundsson, „Retail revenue of robotic vacuum cleaner market worldwide from 2014 to 2021“, 25. november 2022. [Võrgumaterjal] <https://www.statista.com/statistics/1068290/worldwide-robotic-vacuum-cleaner-market-revenue/> (vaadatud 19.05.2023)
- [4] „Robotont“. [Võrgumaterjal] <http://robotont.ut.ee/> (vaadatud 17.01.2023)
- [5] „ROS - Robot Operating System“. [Võrgumaterjal]. Available at: <https://www.ros.org/> (vaadatud 16.05.2023)
- [6] „Robotic Lawn Mower Market to Unveil a Notable Growth of USD 2376.75 Million by 2030, Size, Share, Trends, Key Growth Drivers, Challenges and Opportunity Analysis“. [Võrgumaterjal] <https://www.globenewswire.com/en/news-release/2023/01/26/2596166/0/en/Robotic-Lawn-Mower-Market-to-Unveil-a-Notable-Growth-of-USD-2376-75-Million-by-2030-Size-Share-Trends-Key-Growth-Drivers-Challenges-and-Opportunity-Analysis.html> (vaadatud 20.05.2023)
- [7] „Robotic Vacuum Cleaner Market Size, Share & Trends Report Robotic Vacuum Cleaner Market Size, Share & Trends Analysis Report By Type (Floor Vacuum Cleaner, Pool Vacuum Cleaner), By Application (Residential, Commercial, Industrial), By Distribution Channel, By Region, And Segment Forecasts, 2022 - 2030“. [Võrgumaterjal] <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/robotic-vacuum-cleaner-market> (vaadatud 20.05.2023)
- [8] „iRobot CEO Discusses Q4 2010 Results. (2010)“. [Võrgumaterjal] <https://seekingalpha.com/article/252090-irobot-ceo-discusses-q4-2010-results-earnings-call-transcript> (vaadatud 15.11.2022)
- [9] „Household robotics: autonomous devices for vacuuming and lawn mowing [Applications of control]“, *IEEE Control Syst.*, kd 27, nr 2, lk 20–96, apr 2007, doi: 10.1109/MCS.2007.338262.
- [10] M. Tomy, B. Lacerda, N. Hawes, ja J. L. Wyatt, „Battery charge scheduling in long-life autonomous mobile robots via multi-objective decision making under uncertainty“, *Robotics and Autonomous Systems*, kd 133, lk 103629, nov 2020, doi: 10.1016/j.robot.2020.103629.

- [11] I. Cortes ja W. Kim, „Autonomous Positioning of a Mobile Robot for Wireless Charging Using Computer Vision and Misalignment-Sensing Coils“, *2018 Annual American Control Conference (ACC)*, Milwaukee, WI: IEEE, juuni 2018, lk 4324–4329. doi: 10.23919/ACC.2018.8431723.
- [12] K.-L. Su, Y.-L. Liao, S.-P. Lin, ja S.-F. Lin, „An Interactive Auto-recharging System for Mobile Robots“, *AUSMT*, kd 4, nr 1, lk 43–53, märts 2014, doi: 10.5875/ausmt.v4i1.197.
- [13] „Tips on Where and How you should place your Roomba® Home Base® in your home.“ [Võrgumaterjal] <https://homesupport.irobot.com/s/article/10224> (vaadatud 14.05.2023)
- [14] *Automower Charging Station Components, Disassembly, & Other Info (300, 400, & 500 Series)*. [Võrgumaterjal] <https://www.youtube.com/watch?v=sA6sfRJ65Uw&t=638s> (vaadatud 14.05.2023)
- [15] „HUSQVARNA AUTOMOWER 415X robotniiduk“. [Võrgumaterjal] <https://www.husqvarna.com/ee/robotmuruniidukid/automower-415x/> (vaadatud 16.05.2023)
- [16] „Apple 60W MagSafe Power Adapter (for MacBook and 13-inch MacBook Pro)“. [Võrgumaterjal] <https://www.apple.com/uk/shop/product/MC461B/B/apple-60w-magsafe-power-adapter-for-macbook-and-13-inch-macbook-pro> (vaadatud 16.05.2023)
- [17] „Teardown and exploration of Apple’s Magsafe connector“, *Ken Shirriff’s blog*. [Võrgumaterjal] <http://www.righto.com/2013/06/teardown-and-exploration-of-magsafe.html> (vaadatud 16.05.2023)
- [18] „How to use MagSafe Duo Charger with your iPhone and Apple Watch“. [Võrgumaterjal] <https://support.apple.com/en-us/HT211925> (vaadatud 16.05.2023)
- [19] Masoud Beheshti, „Discover the techniques, tradeoffs of power-path management for portables“, 3. oktoober 2005. [Võrgumaterjal] <https://www.edn.com/discover-the-techniques-tradeoffs-of-power-path-management-for-portables/> (vaadatud 17.05.2023)
- [20] Linear Technology Corporation, „LTC4412 Low Loss PowerPath™ Controller in ThinSOT“. [Võrgumaterjal] <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ltc4412.pdf> (vaadatud 19.12.2022)
- [21] Tim Regan, „A Low Loss Replacement for an ORing Diode“. [Võrgumaterjal] <https://www.analog.com/en/technical-articles/a-low-loss-replacement-for-an-oring-diode.html> (vaadatud 15.05.2023)
- [22] Q. Lin, J. Wang, R. Xiong, W. Shen, ja H. He, „Towards a smarter battery management system: A critical review on optimal charging methods of lithium ion batteries“, *Energy*, kd 183, lk 220–234, sept 2019, doi: 10.1016/j.energy.2019.06.128.
- [23] R. Raudmäe, „AVATUD ROBOTPLATVORM ROBOTONT“, 2019. <https://dspace.ut.ee/handle/10062/64341>

- [24] „ROS Koolitus“. [Võrgumaterjal] https://ut-ims-robotics.github.io/ros_koolitus/html/day3/AR_markerid.html (vaadatud 21.03.2023)
- [25] Madis Kaspar Nigol, Veiko Vunder, Renno Raudmäe, Karl Kruusamäe, „Clearbot“. [Võrgumaterjal] <https://ut-ims-robotics.github.io/robotont/html/index.html#> (vaadatud 12.05.2023)
- [26] „What is PLA? (Everything You Need To Know)“. [Võrgumaterjal] <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-pla#HowisitMade> (vaadatud 18.05.2023)
- [27] „Rare Earth NdFeB Magnet“. [Võrgumaterjal] <https://www.cndailymag.com/rare-earth-ndfeb-magnet.html> (vaadatud 05.05.2023)
- [28] „Prusament PLA Recycled 2kg“. [Võrgumaterjal] <https://www.prusa3d.com/product/prusament-pla-recycled-2kg/> (vaadatud 18.05.2023)
- [29] „HKA09019047-8U, HKA09019047-6U“. [Võrgumaterjal] <https://en.huntkey.com/erp-information/hka09019047-8u-hka09019047-6u/> (vaadatud 19.05.2023)
- [30] „Introduction to Spring Loaded Pogo Pins & Connectors“. [Võrgumaterjal] <https://www.mill-max.com/engineering-notebooks/introduction-to-spring-loaded-pogo-pins-connectors> (vaadatud 03.03.2023)
- [31] MILL-MAX Mfg. Corp, „869 Spring-Loaded SLC Pin Header Strip“. [Võrgumaterjal] <https://www.mill-max.com/products/spring-loaded/slc-pin-header-strip/869-xx-xxx-00-001101> (vaadatud 03.03.2023)

Lisad

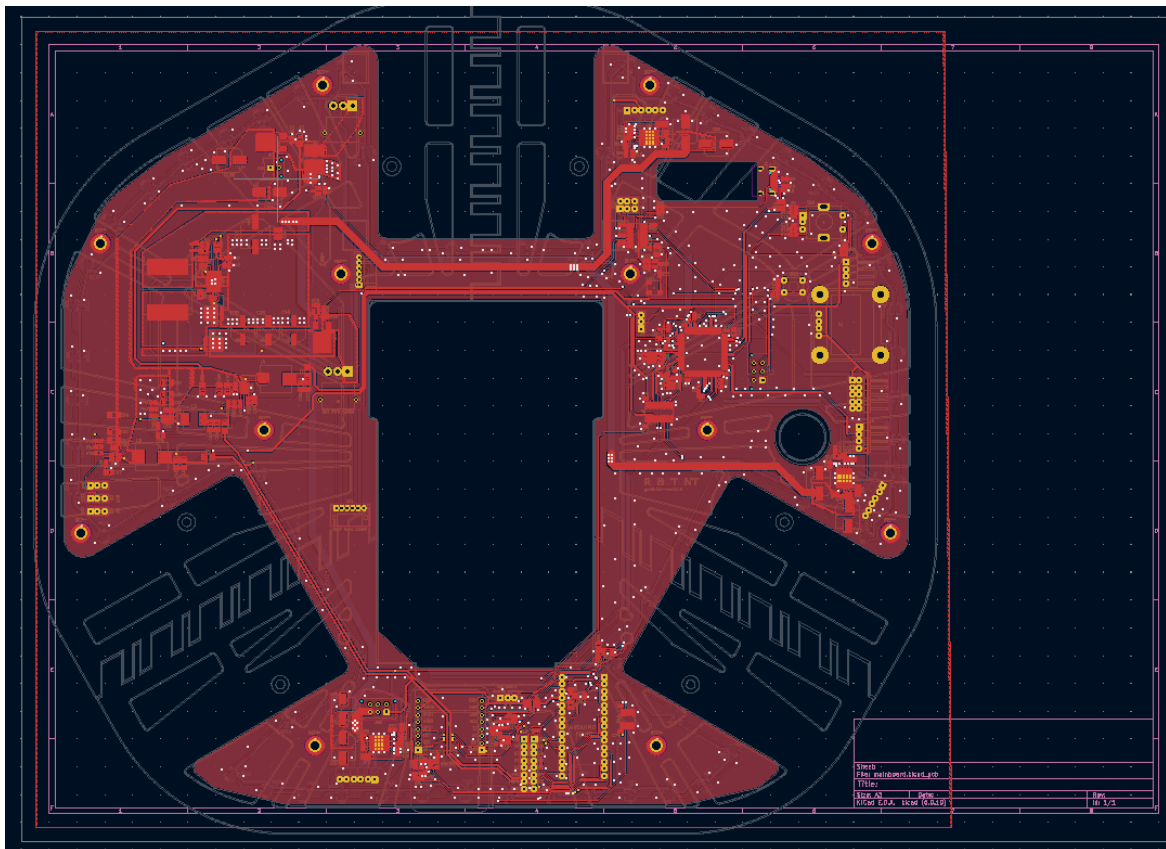
Lisa 1. Platvormi Robotont gen 3 elektriskeem ja trükkplaadi disain:

<https://github.com/ut-ims-robotics/rooden-thesis-2023-robotont-dock/tree/main/electronics>

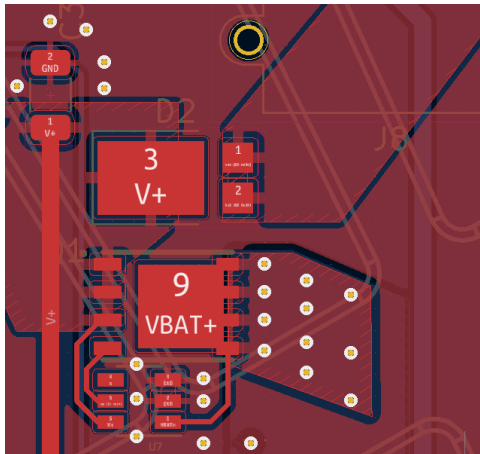
Lisa 2. Valminud 3D mudelid ja tootmisfailid(step ja stl):

<https://github.com/ut-ims-robotics/rooden-thesis-2023-robotont-dock/tree/main/mechanics>

Lisa 3.



Joonis 1. Robotondi trükkplaadi disain KiCad editor



Joonis 2 Toiteümberlülituse osa Robotondi trükkplaadi disainis KiCad editor

Lisa 4.

Tabel 1. Mehhaanilise disaini ja ühenduste komponentide nimekiri

<u>3D prinditud detailid</u>	<u>Mõõdud</u>	<u>kogus</u>
Suunaja		1
Suunaja kate		1
Vastus		1
Vastuse kate		1
Põrandaplaat		1
<u>Laadimiskast</u>		
Vineer tahvlid	300 x150 x15 mm	4
Vineer	330 X 300 x 4 mm	1
Polt	M5 x 40	6
Liblikmutter	M5	6
Seib	M5	12
Kruvi	M4 x 30	32
Magnet NdFeB N45	d/h 10/2.5 mm	4
Vedrukontakt 10 tihvtiga 869-22-010-00-011101		1
Vedrukontakti vastust 869-10-010-00-012000		1
Alalisvoolu pistikupeas 5.5/2.1mm FC681492		1
Ülemineku adapter, kruvi terminal 5.5/2.1mm		1
Vedrukontaktide kinnitus poldid	M2,5 x 6	4
Vastuse kinnitus poldid	M3 x 8	2
Silikoon juhe punane	1,5 mm ²	2 m
Silikoon juhe must	1,5 mm ²	2 m
Silikoon juhe sinine	0,75 mm ²	5 m
Maktia aku BL1830		1

Lihlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Priit Rooden,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihlitsentsi) minu loodud teose „Autonoomse laadimislahenduse väljatöötamine õpperobotile Robotont“, mille juhendajad on Heiki Kasemägi ja Veiko Vunder, reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 4.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Priit Rooden

23.05.2023