

Tartu Ülikool  
Loodus- ja täppisteaduste valdkond  
Tehnoloogiainstituut

Karl Sander Vinkel

**Laadimisjaama ja transportkesta väljatöötamine õpperobotile Robotont**

Bakalaureusetöö (12 EAP)

Arvutitehnika eriala

Juhendajad:  
Renno Raudmäe, Msc  
Veiko Vunder, PhD

Tartu 2024

## Resümee / Abstract

### **Laadimisjaama ja transportkesta väljatöötlemine õpperobotile Robotont**

Mobiilse robotika areng võimaldab aina rohkem autonoomsete robotite rakendamist erinevates valdkondades. Üheks autonoomia saavutamise tingimuseks on vajadus luua olukord, kus masin on võimeline katkematult täitma tööülesandeid. Selleks on akutoitel töötavate robotite jaoks vaja arendada autonoomsed laadimisjaamad. Robotondi puhul on varasemalt väljatöötatud lahendus, mis nõuab kasutamiseks täiendavat monteerimist, töötava aku demonteerimist ning eraldseisva lahenduse tootmist. Käesolev töö jätkab arendamist Robotondi autonoomse laadimisjaamaga, mille tulemusel on laadimisjaam arenduskomplekti osa. Töö tulemusena valmis transpordikast Robotondile, mis integreeris laadimisjaama arenduskomplekti komponendiks. Tulemus sisaldab veel vajalike tootmisfaile lahenduse replikeerimiseks.

**CERCS:** T125 Automatiseerimine, robotika, juhtimistehnika

**Märksõnad:** robotika, mehaanika, automatiseerimine

### **Development of charging dock and transport case for Robotont**

The advancement in mobile robotics is increasingly enabling the application of autonomous robots in various fields. One of the conditions for achieving autonomy is the need to create a situation where the machine is capable to continuously perform its tasks. For battery-powered robots, this requires the development of autonomus charging stations. In the case of Robotont, a previous development of this solution required additional assembly for each use, disassembly of a working battery and production of a separate solution. This work contiues the development of Robotont's autonomus charging station, resulting in the charging station becoming a part of the development kit. As a result, a transport case was created for Robotont, integrating the charging station as a component of the development kit. The outcome also includes necessary production files for replicating the solution.

**CERCS:** T125 Automation, robotics, control engineering

**Keywords:** robotics, mechanics, automation

# Sisukord

Resüme / Abstract .....	2
Sisukord .....	3
Jooniste ja tabelite loetelu .....	4
Lühendid ja mõisted.....	6
1. Sissejuhatus .....	7
2. Kirjanduse ülevaade .....	8
2.1. Laadimisjaamad .....	8
2.2. Transpordikastid.....	12
2.3. ATA Kast.....	13
3. Robotont .....	15
3.1. Robotondi 3. generatsioon .....	15
3.2. Esimene laadimisjaama prototüüp .....	15
4. Töö eesmärk ja nõuded lahendusele .....	19
5. Lahendus laadimisjaamale.....	20
5.1. Ühendus laadijaga.....	20
5.2. Ühendus Robotondiga.....	21
5.3. Elektrilised ühendused .....	24
6. Lahendus transpordikastile .....	26
7. Tulemuste analüüs ja järeldused .....	28
7.1. Lahenduse testimine.....	28
7.2. Täidetud nõuded.....	30
7.3. Edasiarendused .....	31
8. Kokkuvõte .....	32
Viited.....	33
Lisad.....	36
Lihtlitsents.....	41

## Jooniste ja tabelite loetelu

Joonis 1. Boston Dynamics Spot roboti laadimisjaam .....	9
Joonis 2. Boston Dynamics Spot robot laadimisjaamaga ühildumas .....	9
Joonis 3. Husqvarna laadimisjaam edastamas raadiosignaali robotniidukile .....	10
Joonis 4. Husqvarna 450X robotmuruniiduk .....	10
Joonis 5. iRobot Combo j7+ AR märgisega laadimisjaam ja robot .....	11
Joonis 6. (a) iRobot Roomba robottolmuimeja põhjavaatest rõhutatud kontaktiasetusega, (b) iRobot laadimisjaam rõhutatud kontaktiasetusega .....	11
Joonis 7. Esimese Pelican Protector esmaabi komplekti 2020a. eriväljaanne .....	12
Joonis 8. P. Roodeni lahenduse prototüüp Robotondi laadimisjaamale. ....	16
Joonis 9. P. Roodeni Prototüüp lahenduse suunaja ja vastus. ....	16
Joonis 10. P. Roodeni pardaarvuti toite ümberlülitamise elektriskeemi ettepanek.....	17
Joonis 11. P. Roodeni laadimisjaama transportkast koos põrandaplaatidega .....	17
Joonis 12. Dokkimispistik (kollane), dokkimispesa (roheline), laadija adapter (must) ja suunamiskanaliid (punane) paigutus mudelil eestvaates. ....	20
Joonis 13. (a) Makita laadija adapteri lahendus, (b) adapteri kontaktide vaade ilma põhjata .	21
Joonis 14. (a) Robotont sisenemas laadimisjaama, kus seintel olevad suunajad korrigeerivad asendi. (b) Robotont jõudnud ühenduskontaktini kus toimub viimane asendi korrigeerimine seinal paikneva suunaja abil. ....	21
Joonis 15. Ristlõike vaade Robotondist laadimisjaamas .....	22
Joonis 16. Suunamiskanaliid kasti paigutatuna.....	23
Joonis 17. Roboti küljes olev pesa läbinähtava kaanega. ....	23
Joonis 18. Kasti seinal paiknev pistik. ....	24
Joonis 19. MILL-MAX tihvtkontakt pistik klemmide numeratsiooniga .....	25
Joonis 20. (a) Transpordikasti avatud vaade koos Robotondiga, (b) transpordikasti suletud vaade .....	26
Joonis 21. (a) Transpordikasti ristlõige küljelt suletud asendis, (b) Transpordikasti tuulutusasendis. ....	27
Joonis 22. Robotondi trükkplaadil paiknevad laadimisjaama kontaktpistikud.....	38
Joonis 23. Akulaadija adapteri ja seinapistiku vahelise ühenduse visuaalne diagramm.....	38

Joonis 24. (a) Transpordikest koos akulaadijaga, (b) Transpordikasti küljeprofiil, (c) Robotont laadimisjaamas, (d) Suletud asend, (e) Transpordikast tuulutusasendis. ....	<b>39</b>
Joonis 25. Robotondi arenduskomplekt. (1) Robotont, (2) Makita DC18RC akulaadija, (3) Makita Li-ion 18V akud, (4) juhtpult, (5) torbikud, (6) AR märgisega tahvel, (7) hetkel kasutusel olev transpordikast .....	<b>40</b>
Tabel 1. I ja II kategooria kasti väli kestaks sobilikud materjalid .....	<b>14</b>
Tabel 2. Võrdlus prototüübi ja uue lahenduse pesa üldmõõtmetega. ....	<b>24</b>
Tabel 3. Võrdlus prototüübi ja uue lahenduse pistiku üldmõõtmetega.....	<b>24</b>
Tabel 4. Ühenduste vastavus MILL MAX pistiku ja laadija adapteri vahel. ....	<b>25</b>
Tabel 5. Üldine kasutatud komponentide ülevaade .....	<b>36</b>
Tabel 6. Lõigatavate vineerdetailide mõõtmed ja kogused.....	<b>36</b>
Tabel 7 ja 8. Lõigatavate alumiiniumprofiilide pikkused ja kogused.....	<b>37</b>
Tabel 9. 3D prinditud detailide ülevaade .....	<b>37</b>

## Lühendid ja mõisted

<b>AGS</b>	<i>American Gear Manufacturers Association Standard</i> .....	<b>13</b>
<b>AN</b>	<i>Army/Navy</i> .....	<b>13</b>
<b>ATA</b>	<i>Air Transport Association</i> .....	<b>12</b>
<b>BMS</b>	<i>Battery Management System</i> ehk akuhaldus süsteem.....	<b>7</b>
<b>GPS</b>	<i>Global Positioning System</i> ehk globaalne positsioneerimissüsteem .....	<b>8</b>
<b>JAN</b>	<i>Joint Army-Navy</i> .....	<b>13</b>
<b>MS</b>	<i>Military Standard</i> .....	<b>13</b>
<b>NAS</b>	<i>National Aerospace Standard</i> .....	<b>13</b>
<b>PLA</b>	<i>Polylactic acid</i> ehk polüpiimhape.....	<b>13</b>

# 1. Sissejuhatus

Üheks mobiilse robotika eesmärgiks on luua masinad, mis suudavad iseseisvalt täita ülesandeid ilma inimese sekkumiseta. Ehitades masina, mis suudab oma töö raames analüüsida olukorda ning toimetada reaalajas, sarnaselt inimesele, on võimalik saavutada täielikult autonoomne robot. Tööülesannetel, mis ei nõua kriitilist mõtlemist ega loovust oleksid ühed esimestest, mis autonoomsete robotite kasu tunda saaksid. Koristus, turvamine, logistika jms. ülesandeid saaksid robotid efektiivselt juba praegu üle võtta kui piisavalt soovi oleks. [1]

Robotont [2] on vabavaral põhinev omniliikuv mobiilne robot, mille eesmärgiks on õpetada ROS [3] tarkvara kasutamist ühe mugava platvormi abil. ROS ehk *Robot Operating System* on avatud arendusplatvorm, mis sisaldab standardiseeritud teke robotite programmeerimiseks ja rakendamiseks erinevates valdkondades. Tarkvara tutvustamiseks on Tartu Ülikoolis loodud mitmeid koolitusi, kus Robotonti kasutades viiakse läbi töötubasid erinevates õppeasutustes.

Töötubade läbiviimiseks on tihtipeale vajadust Robotonte transportida ühest kohast teise. Lisaks hoiustamise käigus või eelneva kasutamise tulemusena võivad akud vajada laadimist või vahetust. See on aga ajaliselt kulukas, kui soov on luua mugav ning kasutajasõbralik *out-of-box* kogemus.

Selleks, et tagada parem ning kasutajasõbralikum kogemus Robotondi kasutamiseks on käesoleva töö eesmärk arendada kombineeritud alusplatvorm robotite efektiivsemaks hoiustamiseks ning laadimiseks. Varasemalt on Robotondi hoiustamiseks kasutatud poroloon täitematerjaliga plastmass konteinereid ning akude laadimine toimunud aku eemaldamisega. Eelmainitud lahenduse rakendamine Robotondi platvormile võimaldaks tulevikus robotite mugavamat hoiustamist ning akude efektiivsuse säilimist pikemas perspektiivis. Seda saavutades uue transpordi- ja hoiustuskasti näol ning tarkade akulaadimistsükli abil.

Töö tulemusena valmib esimene proovikest autonoomse laadimisjaama võimekusega ning teostatakse testid lahenduse kasutuselevõtuks arendusplatvormi osana.

## 2. Kirjanduse ülevaade

Alljärgnev peatükk esitab ülevaate robotikas enimlevinud laadimisjaama lahendustest. Edasi uuritakse enimlevinud elektroonikakaupade pakendamismeetodeid, mis selgitavad sobiliku kasti tootmis põhimõtteid ja tehnilisi tingimusi ohutult tehnika transportimiseks.

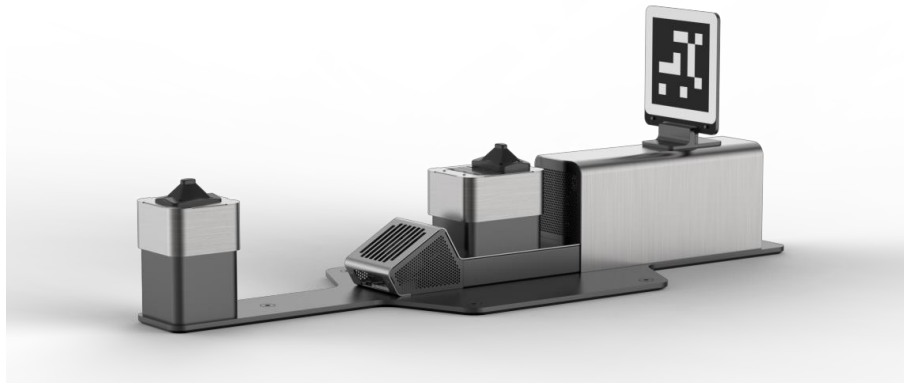
### 2.1. Laadimisjaamad

Laadimisjaama lahendusi on tänapäeval näha nii avalikus ruumis kui kodudes. Elektriautode jaoks mõeldud laadimispunkte paigaldatakse linnaruumi aina rohkem. Hetkel kasutusel olevad lahendused nõuavad veel inimese sekkumist, kuid tasapisi liigume olukorda, kus elektriauto laadimine on täielikult autonoomne ja juhtmevaba. Koduses kasutuses näeme robotmuruniidukeid ja robottolmuimejaid, mis suudavad minimaalse kasutaja sekkumisega, iseseisvalt end töös hoida laadimisjaama abil. [4]

Autonoomsete akutoitel toimivate robotite juures on üheks oluliseks punktiks võimekus akut laadida ilma inimese sekkumiseta. Enim populaarsemad lahendused, mida näeme igapäeva elus, on leitavad robotmuruniidukitel ja robottolmuimejatel. Sellised lahendused koosnevad laadimisjaamast, mis edastab kahe kontakti abil toitevoolu robotile ning roboti pardal olev BMS ehk *Battery Management System* (akuhaldus süsteem) [5] tagab korrektse aku(de) laadimise. Autonoomne laadimislahendus tagab roboti võimekuse toimida iseseisvalt, jälgides oma energiatarbimist ning korraldades laadimistsükleid vastavalt.

Navigeerimine laadimisjaama on lahendatud vastavalt kasutuskeskkonnale. Ettevõtte Boston Dynamics on aastal 2021 välja tulnud laadimisjaamaga nende robotkoerale Spot, mis on nähtaval 1. ja 2. joonisel. Laadimisjaama jõudmiseks kasutab Spot jaama peal paiknevat AR-märgist. Märhist nähes suudab Spot end liigutada jaamaga kohakuti ning teab, et tegemist on laadimisjaamaga. Peale korrektset positsioneerimist, langetab robot end kahele amortiseeritud kontaktile, mis alustab laadimistsükli. Spot suudab laadija leida kasutaja poolt sisestatud käsu abil või täiesti iseseisvalt vastavalt kasutusotstarbele. [6]





*Joonis 1. Boston Dynamics Spot roboti laadimisjaam*



*Joonis 2. Boston Dynamics Spot robot laadimisjaamaga ühildumas*

Robotmuruniidukid, mis on kasutuses valdavalt väli tingimustes, kasutavad navigeerimiseks tüüpiliselt GPS moodulit ning abistavaid juhtmeid maa sees. Mõned lahendused toimivad ka ainult ühe eelmainitud variandiga. Kaamerate, infrapuna ja muude sarnaste andurite kasutamine võib osutuda keeruliseks muutuvate keskkonnatingimuste tõttu. Mistõttu robotniidukid kasutavad navigeerimiseks raadioside lahendusi. Maa-alused juhtmed, mis on ühendatud laadimisjaamaga, edastavad raadiosignaali. Juhtmed toimivad kui abistavate antennidena, mis määravad ala piirde ning suunavad roboti õigele trajektoorile tagasi. Jõudes laadimisjaamale piisavalt lähedale, toimub suhtlus laadija ja roboti vahel otse. Teine variant on lisaks kasutada GPS navigeerimist, et laadimisjaam kiiremini leida. Jõudes laadimisjaamani, sõidab robot ettenähtud pesasse ning loob kahe ribakontakti abil ühenduse jaamaga. [7]



*Joonis 3. Husqvarna laadimisjaam edastamas raadiosignaali robotniidukile.*

Et seade suudaks kindlamalt luua jaamaga kontakt, on näiteks Husqvarna 400 ja 300 seeria robotniidukite kontaktribad tehtud umbes 5.5 cm pikkuseks. Ribakontakt ühendusi on näha punases ringis 4. joonisel roboti eesotsas Husqvarna logo kohal. Jaamas olevad kontaktid on suhteliselt sama vastega. See peaks tagama ka kontakti loomise isegi ebatäpse sisenemise korral.



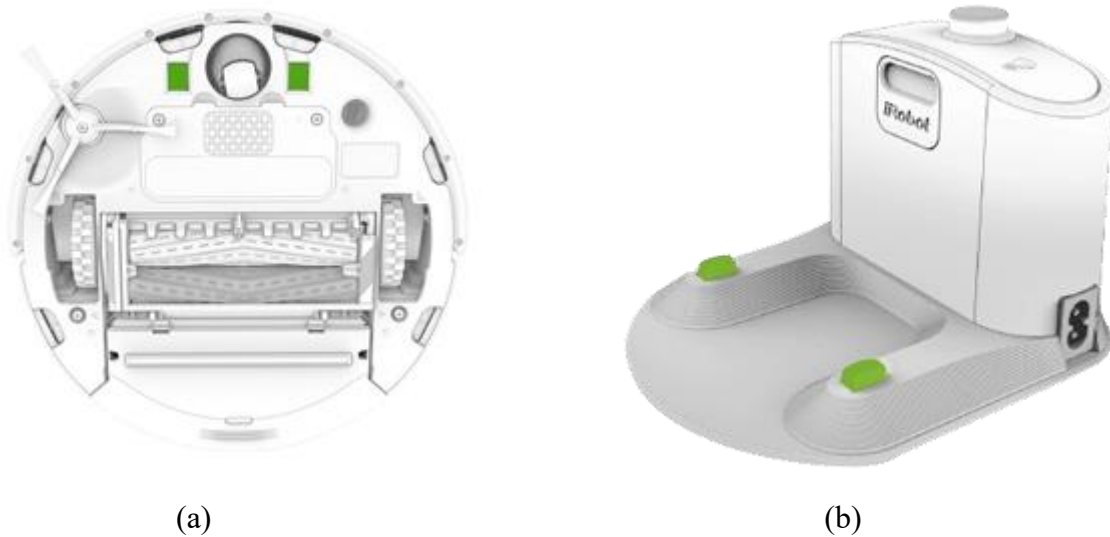
*Joonis 4. Husqvarna 450X robotmuruniiduk*

Siseruumides kasutatavad robottolmuimejad saavad kasutada rohkem visuaalseid andureid nagu näiteks infrapuna-, ultraheli-, laserandureid ja kaameraid. Uhkemad mudelid suudavad ruumi kaardistada ning hiljem salvestatud teekonna järgi jõuda tagasi algpunkti [8]. iRobot Roomba Combo j7+ kasutab jaama leidmiseks AR-märgiseid (vt joonis 5). [9]



*Joonis 5. iRobot Combo j7+ AR märgisega laadimisjaam ja robot*

Kontakti loomine laadimisjaamaga on iRobot kataloogi põhjal kõigil tolmuimeja mudelitel lahendatud kahe klemmi ühendusega [10]. Joonisel 6 on näha kuidas selline ühendus robotil ja jaamal tüüpiliselt paigutatud on.



*Joonis 6. (a) iRobot Roomba robottolmuimeja põhjavaatest rõhutatud kontaktiasetusega, (b) iRobot laadimisjaam rõhutatud kontaktiasetusega.*

Kõik eelmainitud lahendused on võimalikud läbi kahe kontakti tänu robotite pardal paikneva BMS akuhaldussüsteemi. BMS sisaldab andureid, mis jälgivad aku temperatuuri, laadimiskiirust, mahtuvust ning palju muud. Sisuliselt juhtides kogu laadimist pardal oleva

süsteemiga, on robotile vaja ühendada vaid toiteliin . Väiksem arv füüsilisi ühendusi võimaldab kasutada suuremaid kontaktühendusi ja seeläbi vähendada kontakti loomisel tekkivad vigu. [11]

## 2.2. Transpordikastid

Tehnika, elektroonika ning üleüldiselt delikaatse kauba transpordiks on tänapäeval mitmeid erinevaid lahendusi, millest levinumad on näiteks Peli kastid (väljaspool Euroopat tuntud kui Pelican) ja ATA kastid.

Peli kastid said alguse Ameerikas 1978 aastal hobisukelduja Dave Parkeri soovist luua vee ja tolmukindel esmaabikohver (vt joonis 7). Kohvri korpus valmistati plastmassi survevalu meetodil ning kummitihenditega tagati veekindlus. Koosnedes ühest tükist tagati ka suurem põrutuskindlus, mis kutsus inimesi kasutama kohvrit muude väärisesemete hoiustamiseks. Kuigi kohver oli algselt mõeldud sukeldujatele, kogus disain populaarsust ning inimesed soovisid saada kohvrit ilma esmaabi komplektita. Populaarsuse tulemusena hakkas ettevõtte tootma ja müüma vee, tolmu ja põrutuskindlaid kohvreid igale vajadusele. [12]



*Joonis 7. Esimese Pelican Protector esmaabi komplekti 2020a. eriväljaanne*

Tänaseks on ettevõtte tootevalik laienenud sellisena, et pea igale otstarbele on võimalik leida vastav kast. Kastide sisemine pehmendus koosneb peamiselt poroloonist, kuid vastavalt vajadusele on võimalik ka tellida või ise luua sobilik sisu. [13]

Kuigi Peli kastid on saadaval mitmes eri mõõdus ja konfiguratsioonis, on tootevalik siiski piiratud enamasti sellega mida tootja pakub. Pakkudes peamiselt lahendusi, mis võimaldavad esemete hoiustamist ja transportimist.

## 2.3. ATA Kast

Aastal 1936 asustati Ameerika Ühendriikides organisatsioon ATA ehk *Air Transport Association*. Organisatsioon asutati Chicago linnas 14 lennuliini teenuspakkuja poolt ning toimib tänaseni A4A ehk *Airlines for America* nime alt. Eesmärgiks oli luua ühtsed regulatsioonid, nõuded ja maksustamised seoses lennusektori arenemisega. [14]

Standard mis loodi lennunduses kasutusel olevate transpordikastide jaoks kutsutakse ATA 300 spetsifikatsiooniks ning on üldnõuete poolt muutumata olnud viimased 70 aastat. ATA 300 võeti kasutusele 1. august 1960 ning viimane täiendus toimus aastal 2020 [15]. Regulatsioonid määravad transpordikastid kolme kategooriasse. Need kategooriad määravad ära mitu kasutuskorda kast peaks vastu pidama. ATA 300 nõuetele vastavaid kaste kasutatakse mitmes valdkonnas – lennundus, meelelahutus, laevandus, meditsiin, militaar ning paljud teised. [16]

ATA 300 nõuete peamised eesmärgid on järgnevad:

- Kaitsta transporditavat eset võimalikult kompaktselt.
- Vähendada transpordi käigus tekkivaid kahjustusi.
- Vähendada transpordikulusid.
- Soosida taastuvvarade kasutamist transpordisektoris.

Kastid on jaotatud kolme kategooriasse. Kategooriad määravad ära mitu kasutuskorda kast peaks üle elama enne parandust või hävingut.

- I Kategooria peab vastu pidama vähemalt 100 kasutuskorda.
- II Kategooria peab vastu pidama vähemalt 10 kasutuskorda.
- III Kategooria peab vastu pidama vähemalt 1 kasutuskorra.

Kategooria määramine tuleneb kasti ehitusest ning vastavate testide läbimisest. Ehituselt on I ja II kategooria kastid sarnased, kuid testimistingimused on II kategooria puhul natuke leebemad. III kategooria on eraldi väljatoodud nõuetega ning selle töö raames seda ei käsitleta. Järgnevad nõuded pärinevad 2008 aasta ATA 300 spetsifikatsiooni väljaandest.

Materjalivalikul on kehtestatud nõue, et lisaks kasti sisule, peab väliskest olema ka vastavuses kasutusvaldkonna standardiga. Nagu näiteks SAE, AN, MS, NAS, AGS, JAN jms. Kuna

tegemist on spetsifikatsiooniga mis on kasutuses mitmes valdkonnas, siis igal valdkonnal on omad tingimused toote vastavusse viimisega. [16]

Kasti üldine materjalivalik on I ja II kategooria puhul suhteliselt lai. Väliskesta jaoks võib kasutada järgnevaid materjale:

<b>I kategooria</b>	<b>II kategooria</b>
Metall	Saepuruplaat
Plastmass	Papp
Klaaskiud	Puit
Vineer	Kõik I kategooria materjalid

*Tabel 1. I ja II kategooria kasti väli kestaks sobilikud materjalid*

Punktid mis kirjeldavad kasti ülldisaini on järgmised:

- Kastil ei tohi olla detaile mis võivad transpordi käigus kasti küljest iseseisvalt eemalduda. Kõik detailid peavad olema fikseeritud.
- Kast peab täielikult mahutama transporditavat eset ning vajadusel omama tuulutusavasid.
- Kastil ei tohi olla teravaid servi mis saaksid põhjustada vigastusi kasutajale või kahjustada välist keskkonda.
- Suurus peaks peegeldama transporditavat detaili. Üleliigselt suure kasti tegemine on välistatud piirates transporditava detaili ja välisseina vahelist kaugust 20 cm peale.
- Sisemine toetus peaks tagama detaili suhtes löögi ja vibratsioonikindluse. Selleks et seda tagada on ATA 300 spetsifikatsioonis välja toodud testimistingimused vastavalt kasti kaalule.

Nõuetes on kirjeldatud ka erinevaid testimistingimusi, et saavutada vastava kategooria sertifikaat. Mõne näitena löögitaluvustest, deformatsiooni test, vibratsioonitest jpm millega on võimalik lähemalt tutvuda spetsifikatsiooni dokumendis. [16]

## 3. Robotont

Robotont on Tartu Ülikoolis arendatud haridusrobotika platvorm. Põhinedes Robotexi jalgpallirobotil, sai Robotont alguse 2017. aastal Robotexi võistlusel. Võistluse ülesanne oli luua avatud platvorm robotika arenduse edendamiseks. Esimese ja teise põlvkonna arendusega tegeles magistr töö raames Renno Raudmäe [17]. Robotont kasutab arendamiseks ROS tarkvara. ROS on vabavaraline arendustarkvara, mis sisaldab mugavaks platvormi arendamiseks erinevaid standardteeke. Tarkvara kasutamiseks on loodud mitmeid koolitusprogramme, mille abil on võimalik saada baastadmised erinevate projektide loomiseks. ROS kasutamise üheks eeliseks on võimalus luua ressursisäästlikud programmid, mis sisaldavad ainult projekti jaoks vajalike teeke. Sedasi on võimalik säästa riistvaralist kulu ning luua puhtalt sihtotstarbelisi roboteid. [3]

### 3.1. Robotondi 3. generatsioon

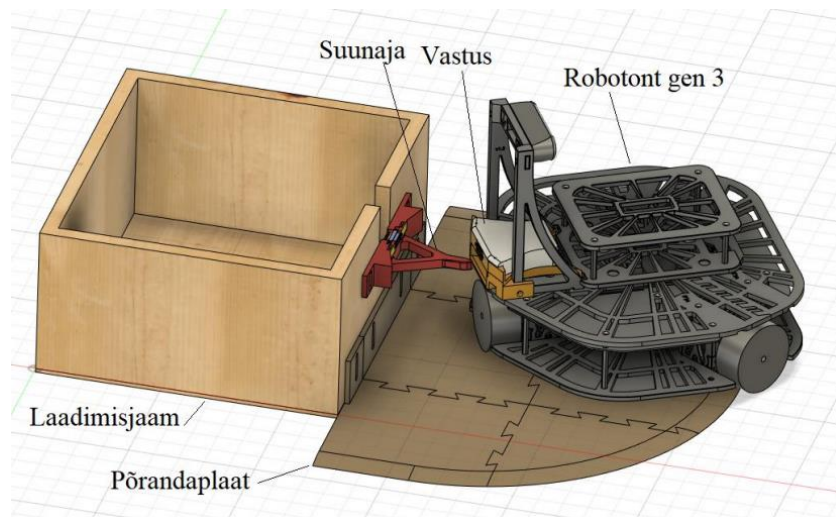
Robotondi 3. generatsioon sai muudatuse uue täielikult 3D printitud kere näol. Selle muudatuse tegemisel on platvorm laiemale kasutajaskonnale kättesaadavam ning kergesti täiendatav [18]. Uue kere loomine toimus paralleelselt uue elektroonikasüsteemi, uue aku ja esimese prototüüp dokkimislahendusega, mida on järgmises peatükis lühidalt kirjeldatud.

Uue generatsiooni jaoks on kogu elektroonika paigutatud ühe suure struktuurse plaadi peale. Nii on kaotatud võimalus luua vale ühendus roboti komponentide ja juhtelektroonika vahel ning tagada suurem töökindlus. [2]

Muutuseta on pardaarvuti, kaamera ja mootorid. Pardaarvutiks on jätkuvalt kasutusel Intel NUC seeria arvuti, kaameraks Intel RealSense™ D435i ning ajamiteks Pololu 37Dx68L harjadega 12V mootorid.

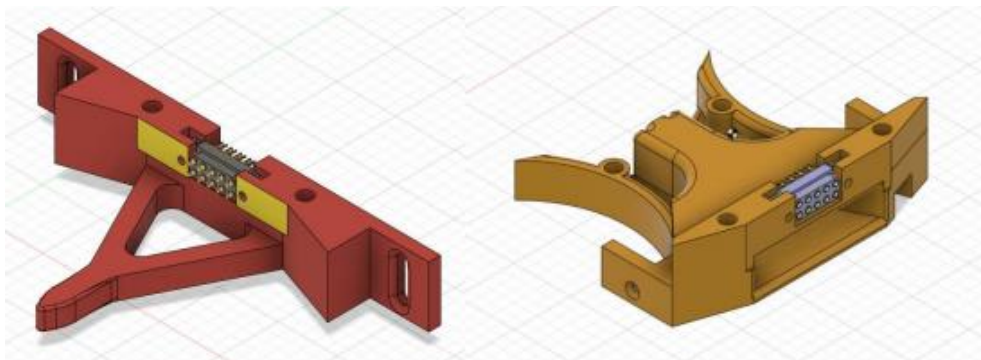
### 3.2. Esimene laadimisjaama prototüüp

Aastal 2023 arendati Robotondile uus akulahendus, mis kasutab toiteallikana Makita 18 V LXT akusid [19]. Koos uue akulahendusega töötas Priit Rooden oma bakalaureusetöö raames välja esimese autonoomse laadimisjaama prototüüp lahenduse. Töö raames loodi elektriskeem, mis võimaldaks jaama kasutamist, suunaja ja vastus mille abil robot loob kontakti laadijaga ning transpordikast kuhu on võimalik laadimisjaam kokku pakkida (vt joonis 8). [20]



*Joonis 8. P. Roodeni lahenduse prototüüp Robotondi laadimisjaamale.*

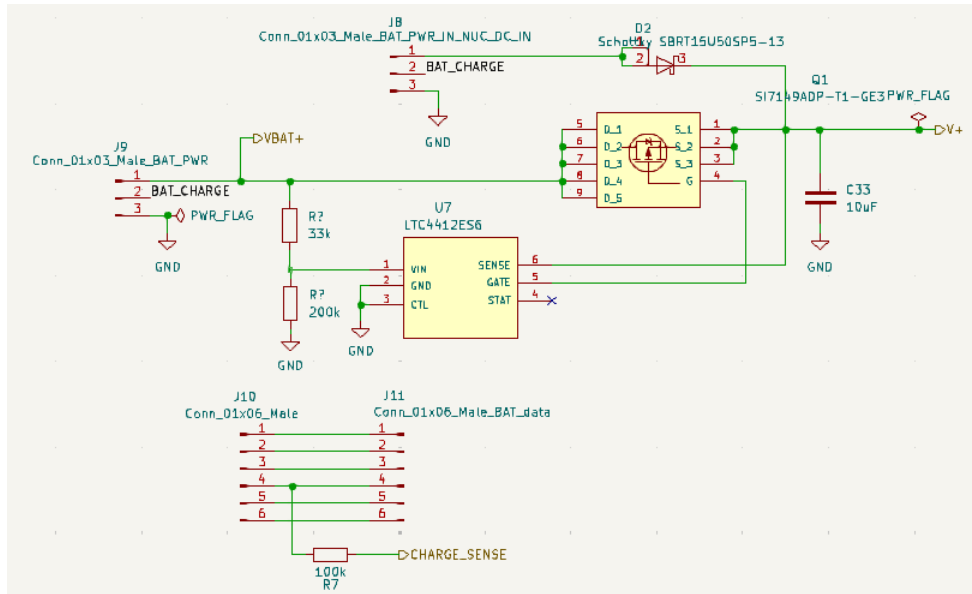
Laadimisjaama suunaja on disainitud põhimõttega, et robotil on võimalik jaamaga kontakt luua 20 kraadise nurga alt. See muutis roboti positsioneerimise jaama suhtes võrdlemisi lihtsaks (vt joonis 9). Tõhusamaks kontakti loomiseks jaamaga kasutati neodüümmagneteid, mis olid paigutatud detailide printimise käigus suunaja ja vastuse sisse. [20]



*Joonis 9. P. Roodeni Prototüüp lahenduse suunaja ja vastus.*

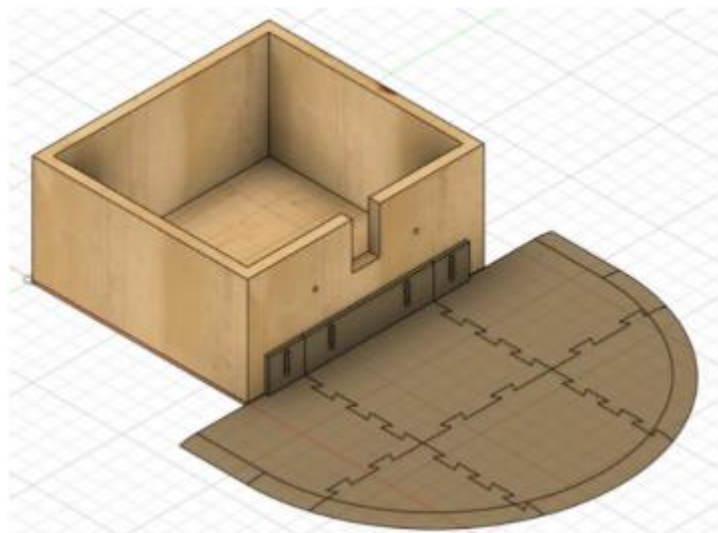
Laadimisjaama kasutamiseks implementeeriti pardaarvuti toite ümberlülitus ja aku laetuse kontrollsüsteem. Süsteemi ülesanne oli kontrollida kahe sisendi (seinatoite ja aku) olemasolu ning võrrelda pinget. Valides kõrgema pingeväärtusega sisendi, lülitab kogu ahel sellele ümber (vt joonis 10). [20]





Joonis 10. P. Roodeni pardaaruvi toite ümberlülitamise elektriskeemi ettepanek

Transpordikasti kasutati suunaja ja pörandplaadi fikseerimiseks. Pörandplaadi otstarve oli kompenseerida pöranda ebatasasusi ning vältida olukorda, kus robot dokkimise käigus võis jaama eest ära lükata. Lisades plaadi jaama suunaja ette ning fikseerides mõlemad ühe seina külge, ei ole võimalik robotil jaama kogemata edasi lükata. Jaama teisaldamiseks loodud kasti eesmärk oli hoiustada pörandaplaate, Makita laadijat, pardaaruvi toiteadapterit ja pikendusjuhet. See aga tähendas, et enne jaama kasutamist pidi komplekti lahti pakkima ning pörandaplaadi komplekteerima (vt joonis 11). [20]



Joonis 11. P. Roodeni laadimisjaama transportkast koos pörandaplaatidega

Loodud lahendus suutis sooritada roboti dokkimise laadijasse ning luua ühenduse kontaktpistikuga. Vooluallika ümberlülitus füüsiliselt plaadile ei jõudnud ning märgiti kui mitte testitud lahenduseks. Lisaks eelmainitule märkis autor veel testimata nõuete alla järgnevad punktid:

- 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.

Edasiarenduste alla märgiti järgnevad punktid:

- Makita laadijas kasutatud ühendus ei ole korduvkasutuseks sobilik ning vajaks eraldi trükkplaati sobilike ühenduspistikutega.
- Tihvtkontakt, mida kasutati laadijas ja suunajas on saadaval ka trükkplaadile joodetava versioonina. Mis tulevikus võib olla parem variant ühenduse loomiseks kui juhtmete jootmine.
- Aku laetuse tuvastamine toimub mikrokontrolleri ADC kanalil, mis ei pruugi olla kõige efektiivsem lahendus.
- Laadimisjaama transpordikastil puudub kaas.

## 4. Töö eesmärk ja nõuded lahendusele

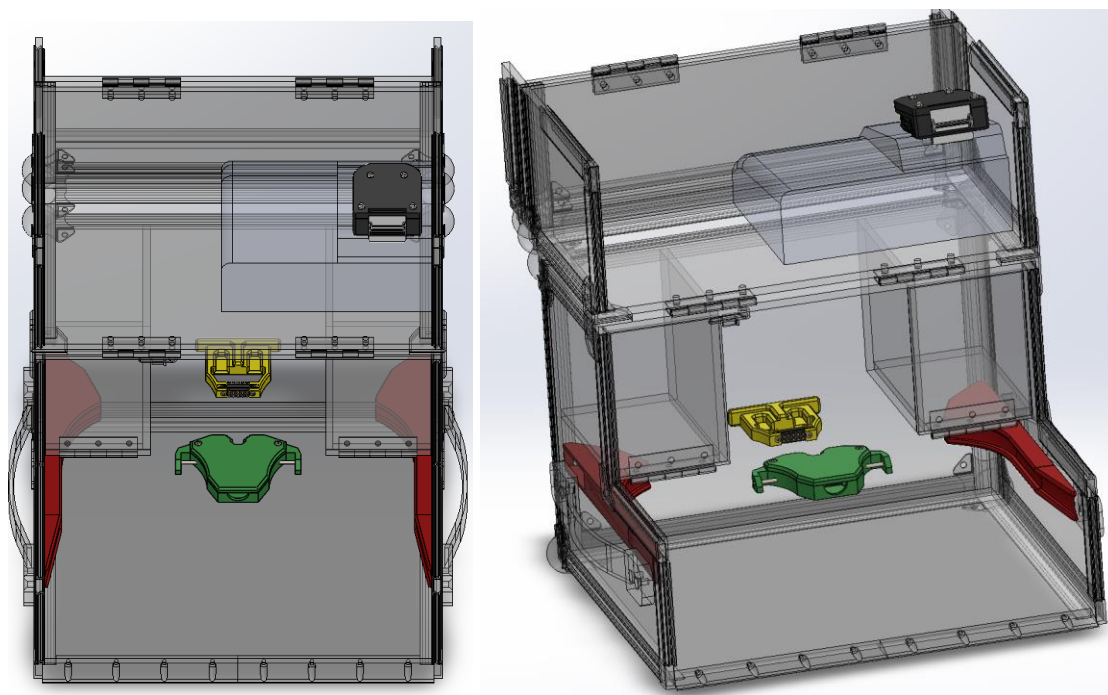
Käesoleva töö eesmärk on jätkata arendust Robotondi laadimisjaama lahendusega. Võttes aluseks Priit Roodeni loodud prototüübi, analüüsitakse töö käigus mis prototüübil toimis ning mis mitte. Saadud info põhjal valmib uus versioon laadimisjaamast.

Üldnõuded:

- Laadimisjaam suudab laadida pardal olevat Makita Li-ion 18 V akut ilma akut robotist eemaldamata.
- Laadijaks peab kasutama olemasolevat Makita DC18RC laadijat. Lisaks peab laadijat olema võimalik kasutada laadimisjaama kasutusvälisel ajal.
- Kast peab mahutama tervikuna robotit koos lisaseadmetega (sh. laadija, lisa aku, juhtpult, koonused) Täpsustav pilt komplektist on leitav Lisa 9 alt.
- Kõik kasutatud komponendid peavad olema avalikust kaubandusvõrgust kättesaadavad ning alternatiivsete valikutega.
- Komponendid, mis ei ole avalikust kaubandusvõrgust kättesaadavad, on võimalik toota 3D printeri abil.
- Robotondile lisatavad komponendid peavad olema vajadusel kergesti eemaldatavad.
- Kogu lahenduse kaal koos robotiga jääb alla 10 kg.
- Lahendus on toodetav < 2 päevaga.

## 5. Lahendus laadimisjaamale

Laadimisjaamale loodud lahendus koosneb 4 põhikomponendist: dokkimispistik, dokkimispesa, laadija adapter, ning suunamiskanalid (vt joonis 12). Kogu laadimisjaama lahendus paikneb Robotondi jaoks disainitud transpordi kasti sees, millest räägitakse lähemalt järgmises peatükis. Alljärgnevatel alapeatükkides on kirjeldatud millised muudatused ning uuendused toimusid laadimisdoki disainis võrreldes varasema prototüübiga. Valminud lahenduse tootmis- ja mudelifailid on leitavad GitHub repositooriumist Lisa 1 alt.

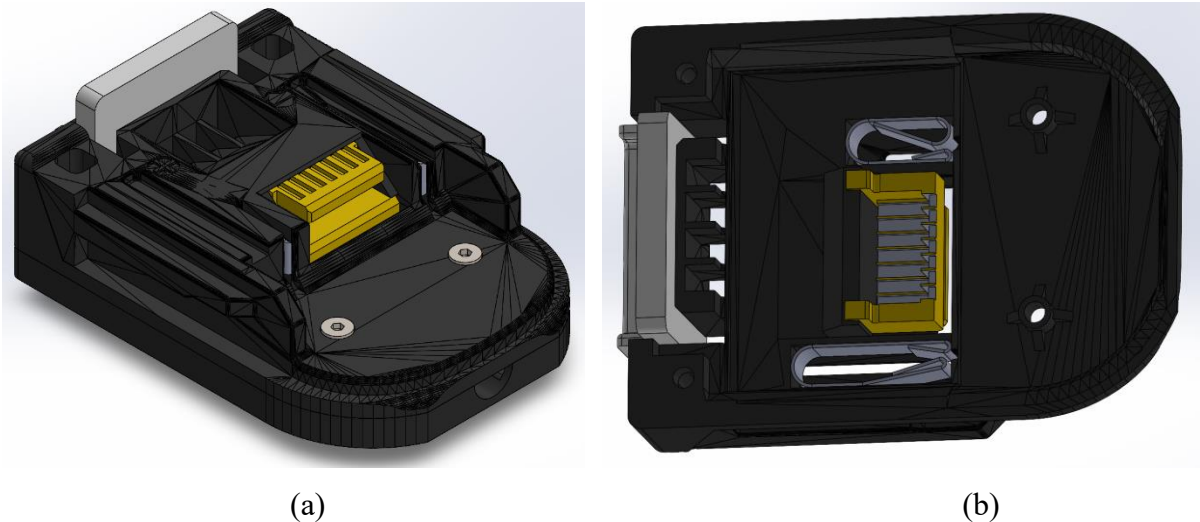


*Joonis 12. Dokkimispistik (kollane), dokkimispesa (roheline), laadija adapter (must) ja suunamiskanalid (punane) paigutus mudelil eestvaates.*

### 5.1. Ühendus laadijaga

Varasemal lahendusel kasutati akulaadija ühenduseks demonteeritud Makita Li-ion 18 V akut. Selleks, et lahendus oleks replikeeritav mitme Robotondi laadimisjaama jaoks, on vajadus disainida toodetav ühendusadapter. Selleks disainiti Makita Li-ion 18 V aku järgi adapterpistik (vt joonis 13a). Adapter on 3D prinditav lahendus, mis koosneb põhjast, kaanest ning lukustusmehhanismist. Printimismaterjaliks valiti PLA [21] filament ning andmekanalitega ühenduse loomiseks kasutati originaal Makita pistikut. VCC ja GND ühenduste loomiseks on painutatud 4.75 mm laiune 0.5 mm paksune plekiriba kahepoolseks vedrukontaktiks (vt joonis 13b). Andmeühenduste loomiseks on kasutusel 7 kontaktiga pistikus 6 ühendust. Ühenduste loomiseks kasutati Cat5a UTP [22] kaablit ning andmekanalid ühendati vastavalt T568b [23]

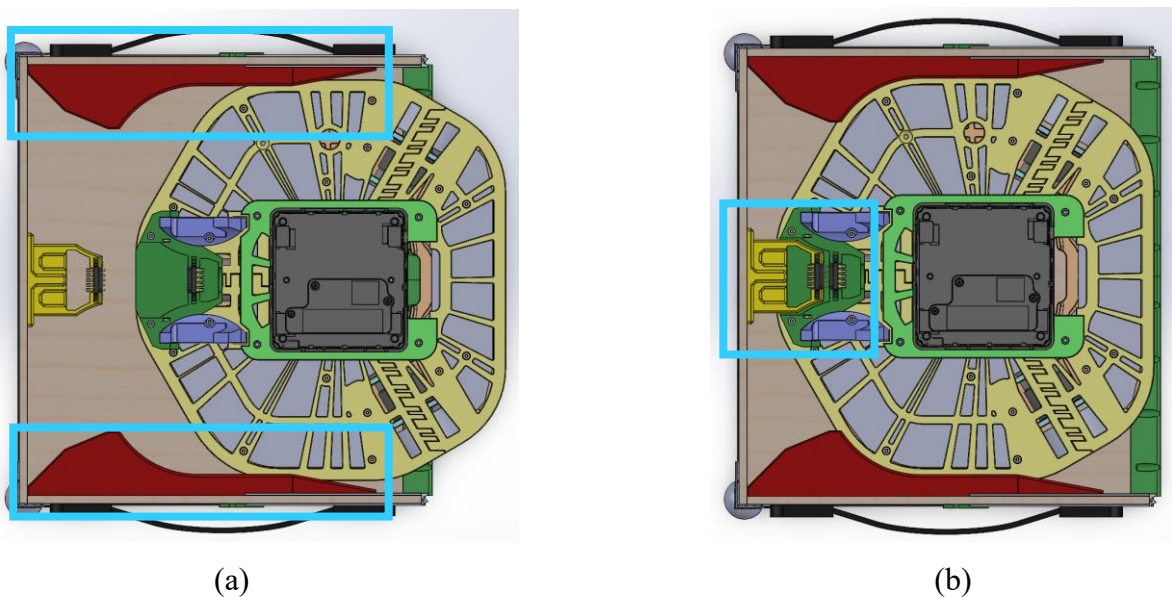
(loodud ühendused leitavad Lisa 8) ühendusstandardi järgi, jättes viimased kaks juhet ühendamata vajaduse puudumise tõttu. Cat5a UTP kaabel on ehituselt pehme, mis sobib kasutamiseks liikuva kaane ja põhja vahel. Toiteühenduste jaoks kasutati 1,5mm<sup>2</sup> ristlõikega vaskaablit.



Joonis 13. (a) Makita laadija adapteri lahendus, (b) adapteri kontaktide vaade ilma põhjata

## 5.2. Ühendus Robotondiga

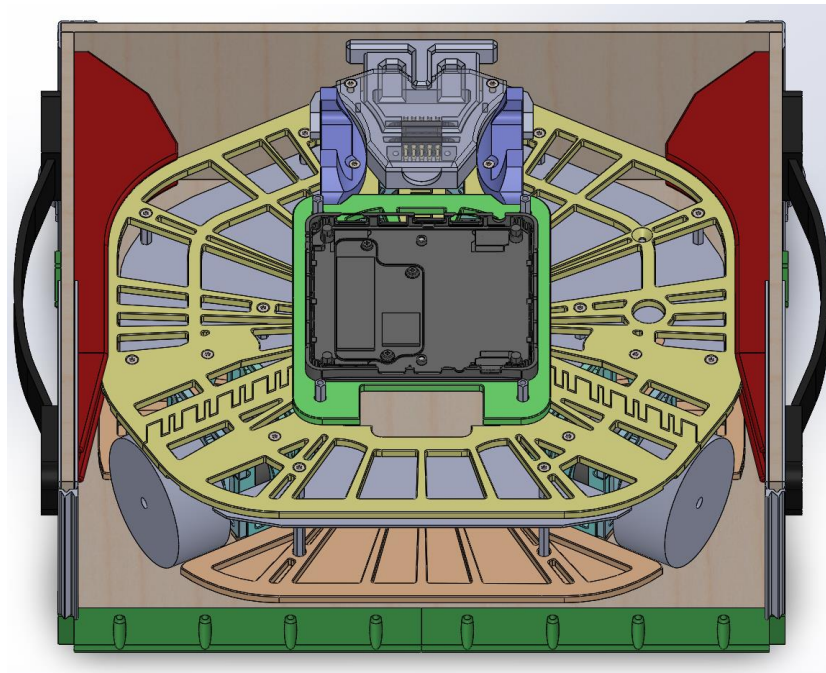
Varasema prototüübi disainimisel lähtuti olukorrast, kus jaama ühenduspunkt on üksik seinast väljaulatuv detail ning seetõttu täidab kahte otstarvet: roboti suunamine korrektsesse asendisse ning kontakti loomine laadijaga. Uuel versioonil on enamus suunamine ja asetuse korrigeerimine üle viidud iseseisvatele detailidele (vt joonis 14a) ning kontaktipistik teeb ainult viimase paika nihutamise (vt joonis 14b).



*Joonis 14. (a) Robotont sisenemas laadimisjaama, kus seintel olevad suunajad korrigeerivad asendi. (b) Robotont jõudnud ühenduskontaktini kus toimub viimane asendi korrigeerimine seinal paikneva suunaja abil.*

Varasemal prototüübil oli suunaja ja kontaktpistik paigutatud eritasanditele. Selline otsus tulenes 20 kraadisest sisenemisnurga võimalusest ning võimaldas suunajal roboti asetust korrigeerida enne pistikuga kontakti loomist (vt joonis 9).

Uus disain on ehitatud roboti transpordikasti sisse. See tähendab, et roboti asetuse korrigeerimiseks on kasutusele võetud siseintele fikseeritud suunamiskanalid. Suunamiskanalid (kujutatud joonisel 15 ja 16 punases) on 3D printitud PLA materjalist U-kujulised kanalid, mille sisemine profiil jookseb paralleelselt Robotondi ülemise plaadi servaga. Kanalid on sisenemise hetkel 16.9 mm kõrguse avaga, mis on loodud arvestusega, et robot peab kasti sisenemiseks kasutama rampi. See tähendab, et roboti sisenemisel on roboti raam pööranda suhtes 3 kraadise nurga all ning kui esirattad on järgi jõudnud, on robot jälle tasasel pinnal. Kui robot on jõudnud kasti siseneda umbes 13 cm, muutub kanal vertikaalselt kitsamaks, taandades kõrguse 14 mm peale. Kui robot jõuab tagaseinast umbes 20 mm kaugusele, püüavad suunajad roboti kinni ning ei luba kaugemale sõitu jätkata. Selleks hetkeks on saavutatud kontakt laadimisjaama pesaga ning toimub viimane asendi korrigeerimine.



*Joonis 15. Ristlõike vaade Robotondist laadimisjaamas*

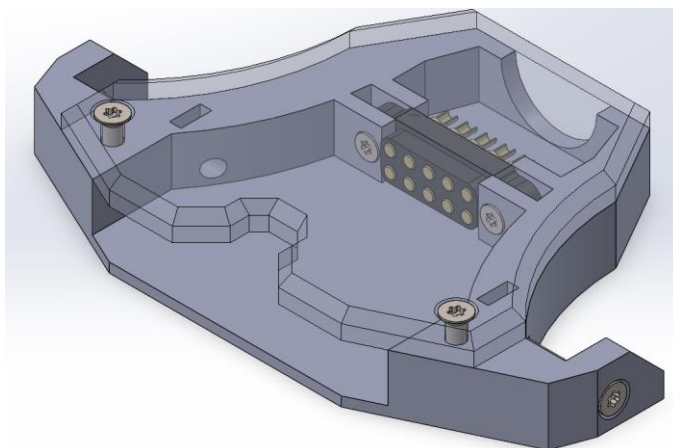


*Joonis 16. Suunamiskanal kasti paigutatuna*

Kasti külge fikseeritud kontakt (edaspidi pistik) ning robotile lisatud sisestuspesa (edaspidi pesa) on, võrreldes varasema prototüübiga, kompaktsema ehitusega. Võrdluseks uue ja varasema lahenduse vahel on toodud üldmõõdud tabelis 2 roboti küljes olevale pesale ja tabelis 3 seina küljes olevale pistikule.

Roboti küljes oleva pesa jaoks on kaotatud vajadus neodüümmagnetite kasutamiseks. Kuna varasemal prototüübil puudus toetus külgedelt, olid magnetid lisatud kontakti hoidmiseks peale mootorite väljalülitamist. Lisaks pidi prototüübil magnetid sisestama detaili printimise ajal, mis muutis tootmisprotsessi keerulisemaks.

Üldmõõtmete vähendamine toob kaasa kergema ligipääsu roboti pardaarvuti taga paiknevatele pesadele ning vähendab tootmiskulusid. Paigutades kontaktpesa sügavamale kaetud kohta, on pesa kaitstud ka tahtmatu kontakti loomise eest (vt joonis 17). Uus lahendus on prinditav kahe tükina ning komplekteeritav M3 poltide ja mutrite abil (võimalus on ka kasutada pressmutreid (ingl. *Threaded inserts*), et saavutada puhtam välimus). Kontaktpesa on kinnitatud M2.5 poltidega. Monteerimine roboti külge toimub kahe M3 poldiga kasutades olemasolevaid avasid kaamera hoidikul.

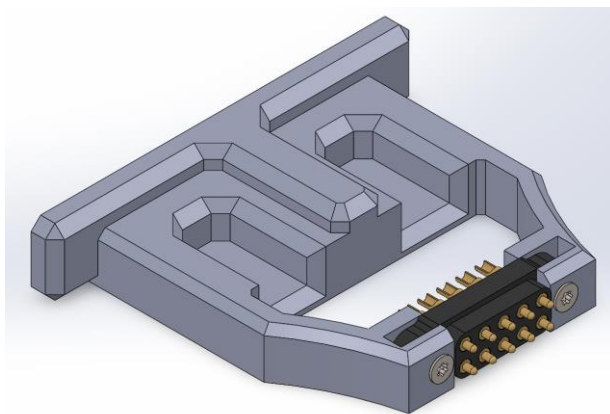


*Joonis 17. Roboti küljes olev pesa läbinähtava kaanega.*

Mõõtetelg	Prototüüp (mm)	Uus lahendus (mm)
Kõrgus	34.70	17.00
Laius	122.20	122.20
Sügavus	91.71	70.23

Tabel 2. Võrdlus prototüübi ja uue lahenduse pesa üldmõõdmetega.

Varasemal prototüübil paiknes suunaja ja pistik lisaks erinevatele kõrgustele ka erinevatel sügavustel. Uus pistiku lahendus (vt joonis 18) toob kontakti samale kõrgusele suunajaga, moodustades pesasse sisestatava pistiku. Nagu eelnevalt mainitud, teeb enamus korrigeerimistööd ära kasti seintel paiknevad suunamiskanalid, kuid viimase paigutuse kontaktide kohakuti saamiseks teostab siiski pistik. Viimaseks korrigeerimiseks on arvestatud nihkumine  $\pm 3$  mm pistiku ja pesa vahel. Selline nihkumine lisandub otsa suunamiskanalite tolerantsiruumile, milleks on  $\pm 3$  mm.



Joonis 18. Kasti seinal paiknev pistik.

Mõõtetelg	Prototüüp (mm)	Uus lahendus (mm)
Kõrgus	37.50	13.95
Laius	166.00	76.00
Sügavus	85.29	60.55

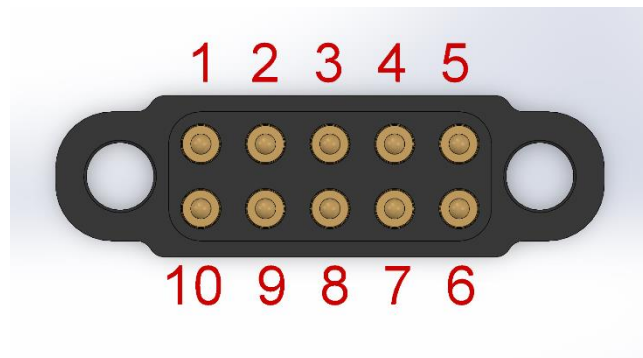
Tabel 3. Võrdlus prototüübi ja uue lahenduse pistiku üldmõõdmetega

### 5.3. Elektrilised ühendused

Uuendatud laadimisjaama kontakt kasutab samasid MILL-MAX Mfg. 10 vedru-tihvtkontaktiga pistikut [24] ja pesa [25] mis olid ka leitavad P. Roodeni lahenduses. Kontakti maksimaalseks lubatud voolutugevuseks on märgitud 12 A. Meie kasutusotstarbeks Makita laadijale on märgitud nimipinge 18 V (laadimistsükli ajal mõõdetud 21.4 V) ja voolutugevuseks 9 A ning pardaarvuti toiteadapterile 19 V ja 4.7 A. Seetõttu leitud kontaktilahendus on sobilik ka



edaspidi kasutamiseks. Ühendused adapteri ja vedru-tihvtkontakt pistiku vahel on kirjeldatud joonisel 19 ja täpsustatud tabelis 4:



Joonis 19. MILL-MAX tihvtkontakt pistik klemmide numeratsiooniga

Tihvtkontakti klemmi number	Ühenduse kirjeldus
1	Pardaarvuti VCC
2	Aku andmekontakt nr 1
3	Aku andmekontakt nr 3
4	Aku andmekontakt nr 5
5	Akulaadija VCC
6	Akulaadija GND
7	Aku andmekontakt nr 6
8	Aku andmekontakt nr 4
9	Aku andmekontakt nr 2
10	Pardaarvuti GND

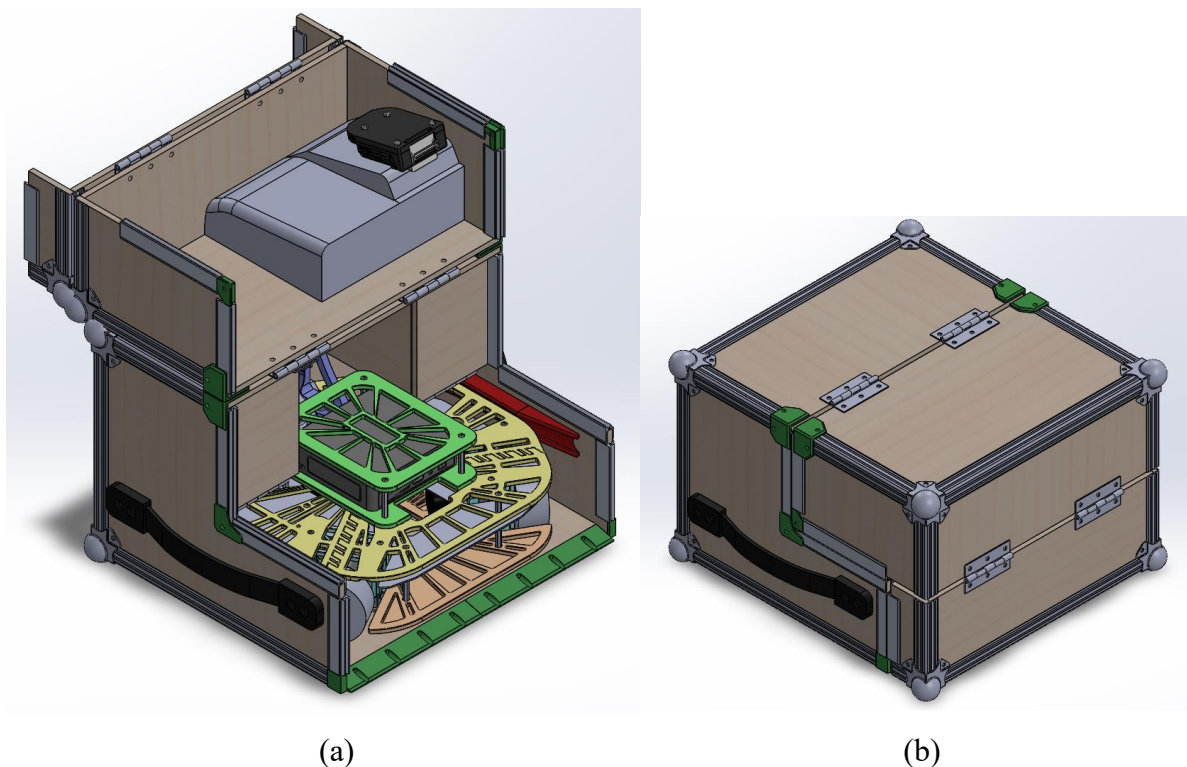
Tabel 4. Ühenduste vastavus MILL MAX pistiku ja laadija adapteri vahel.

Robotondile laadimisjaama ühendamiseks on trükkplaadil loodud valmidus kahe kontaktpesa näol. Nendest akulaadimiseks, arvuti toite ühendamiseks ja maanduse jaoks on kasutatud Amass MR30-FB trükkplaadile joodetavad 3 klemmiga kontakti ning aku andmeedastuskanalite jaoks JST-PH-6 2 mm pesa. Lisa 6 all on võimalik leida asetus eelmainitud pesadest Robotondi trükkplaadil. [26]

Töö vormistamise hetkel kõige värskema versiooni (vaatlemishetkel 21 märts 2024) põhjal on võimalik Robotondi trükkplaadile sisendvooluks kasutada kahte toiteallikat. Kuid puudub toiteallika vahetuse jaoks vajalik lülitusloogika. Ehk laadimisjaama kasutamiseks peaks lisama lülitusloogika, mis seina toite olemasolul lülitab välja aku toite plaadile ning alustab aku laadimisprotsessi. See on vajalik, et tagada aku pikem eluiga ning turvalisem laadimisprotsess. Aku enda laadimist juhib olemasolev Makita laadija, mistõttu eraldi kontroll-loogikat pole vajadust luua. Käesoleva töö käigus piirduakse laadimissüsteemi valmiduse arendamisega ning loogikalülituse ahela testimiseni ei jõuta.

## 6. Lahendus transpordikastile

Käesoleva töö raames disainiti Robotondile uus transpordi- ja hoiustuslahendus. Kasti eesmärk on hoiustada uut laadimisjaama ning muuta selle kasutamine arendusplatvormi komplekti osaks. Valminud lahenduse tootmis ja mudelifailid on leitavad GitHub repositooriumist Lisa 1 alt.

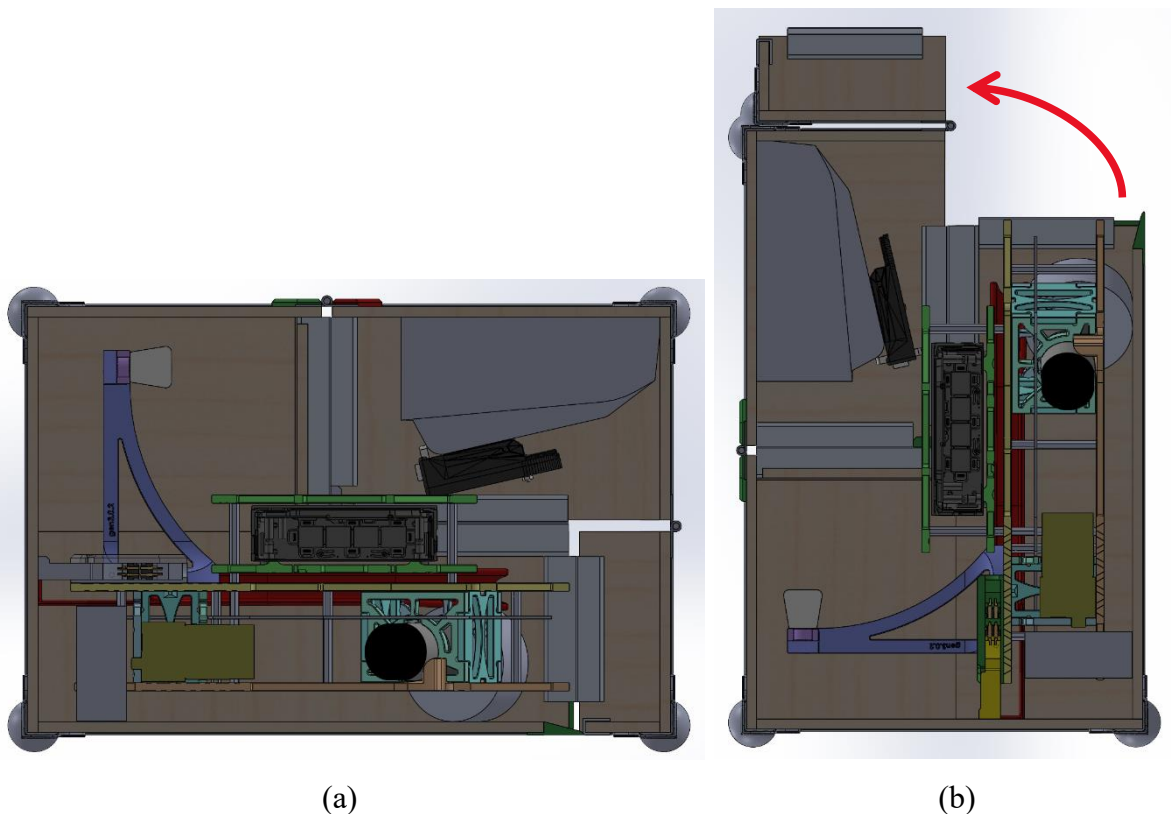


Joonis 20. (a) Transpordikasti avatud vaade koos Robotondiga, (b) transpordikasti suletud vaade

Kast on koostatud 6.5 mm paksusest kasevineerist, Adam Hall tootja kataloogist leitavatest alumiinium profiillistudest ning 3D prinditud kattedetailidest. Suletud asendis on kõrgus 256.5 mm, sügavus 388 mm ja laius 363 mm. Avatud asendis on kõrgus 391.5 mm, sügavus 427 mm ja laius 363 mm. Seinte omavaheliseks fikseerimiseks on servades paiknevad liistud needitud vineerplaatide külge. Hinged ja käepidemed on fikseeritud M4 poltide ja mutritega ning suunamiskanaliid ja kontaktpistik on fikseeritud puidukruvidega. Täpsem nimekiri kasutatud komponentidest leitav Lisa 2 ning lõikamist vajavad detailid on mõõtudega kirjeldatud Lisa 3 ja 4.

Kui varasema prototüübi puhul oli laadimisjaam kui iseseisev seade, siis uus lahendus näeks välja, et laadimisjaam oleks osa Robotondi komplektist. Kogu lahendus on disainitud eesmärgiga mahutada kõik hetkel kasutusolevad lisad, mis kuuluvad Robotondi komplekti (vt

Lisa 9). hoiustamiseks on ettenähtud kaks sahtlit, mis paiknevad roboti kaamerapüstaku külgedel. Sahtlid on pehmendatud porolooniga, et tagada sisu turvalisus transpordi käigus. Erandiks on akulaadija, mis paikneb suurema kaane (vt joonis 21a) sees. Kinnituses takjarahimaga kaane külge, on võimalik laadija ka kergesti eemaldada. Kui kast on avatud asendis ning laadimisjaama ei kasutata, on võimalik laadida teist akut ilma laadijat eemaldamata.



Joonis 21. (a) Transpordikasti ristlõige küljelt suletud asendis, (b) Transpordikasti tuulutusasendis.

Lahendus koosneb alumisest korpusest ning kahest kokkuklapitavast kaanest. Disain on koostatud selliselt, et laadimisjaama on võimalik kasutada ka hoiustamise olekus (sh. suletud olekus). Roboti liigse liikumise vähendamiseks on kasti siseseintele paigaldatud poroloon pehmendus.

Laadimise hetkel tekkiva soojuseralduse leevendamiseks on kastile jäetud tuulutusavad. Akulaadija sisseehitatud ventilaator tekitab tõmbetuule, mis võimaldab laadimise ajal jahutada laetavat akut ning laadijat ennast. Lisaks on võimalus avada alumine kaas tuulutusasendisse (vt joonis 19b).

## 7. Tulemuste analüüs ja järeldused

Bakalaureuse töö raames valminud laadimisjaama ja transpordikasti toimimise kontrolliks viidi läbi testkatsed. Alljärgnevad alapeatükid kirjeldavad läbiviidud katseid, uurivad täidetud nõudeid ning pakuvad variante võimalikuks edasiarenguks. Valminud transpordikasti ja laadimisjaama lahenduse pildid on leitavad Lisa 8 alt töö lõpus.

### 7.1. Lahenduse testimine

Laadimisjaama kasutamiseks loodud programm koosneb kolmest alamosast:

1. Laadimisjaama leidmine kahe AR märgise abil ning jaama ette liikumine.
2. 180 kraadise pöörde sooritamine.
3. Jaama tagurdamine.

Tulemuse kontrollimiseks analüüsiti igat koodi alamosa kui eraldi testina.

**Test 1:** Laadimisjaama leidmine

**Kirjeldus:** Robotont paigutatakse kuni 1 m kaugusele kasti eesmisest servast. Programmi käivitades alustab robot keerlemist ning peatub, kui kaks AR-märgist on vaateväljas tuvastatud. Seejärel alustab robot kasti poole liikumist, hoides terve aja kahe märgise vahelist punkti sihtpunktiks.

**Tulemus:** 20 testi tulemusena leiti maksimaalseks efektiivseks märgise tuvastus kauguseks umbes 50 cm. Üle selle muutus märgise tuvastus ebahütlaseks, umbes 1/5st katsest õnnestus robotil jõuda sihtpunktini. Robot tuvastas märgid hetkeks ning liikus paar cm lähemale iga tuvastusega, kuid mitte vajaliku positsioonini. Roboti algne asukoht 50 cm kaugusel kastist võis olla kasti keskteljest nihkes umbes 8 cm. Üle selle muutus õige positsiooni leidmise võimekus märgatavalt, umbes 1/7st katsest õnnestus. Optimaalse kauguse tuvastamisel sooritati 5 lisa katset. Esimesest 20st katsest oli edukaid sooritusi 12/20st. Lisa katsete puhul lisandus tulemusele 4 õnnestumist. Lõpptulemusena õnnestus 16/25st katsest.

**Test 2:** 180 kraadise pöörde sooritamine

**Kirjeldus:** Kui Robotont paikneb optimaalses positsioonis kasti kesktelje suhtes (nihkega  $\pm 3$  cm), peab robot olema võimeline sooritama kohapeal 180 kraadise pöörde. Test loetakse sooritatuks kui robot paikneb tagaseina suhtes  $\pm 5$  kraadise nurga all 15/20st.

**Tulemus:** 20 testi tulemusena suutis robot sooritada 18/20st katsest pöörde sooritamisel edukalt, jäädes 5 kraadise nihke sisse. Kahe ebaõnnestunud katse põhjuseks järelitati rataste libisemine puitparkett tasapinnal.

### **Test 3:** Jaama tagurdamine

**Kirjeldus:** Kui Robotont on sooritanud pöörde, et suunata ühenduspesa pistikuga enamvähem (-/+ 5 kraadi) kohakuti, alustab robot tagurdamist. Suunajad peaksid roboti asendit kohendama, et saavutada kontakti loomiseks vajalik asetus. Test loetakse sooritatuks kui robot suudab tagurdades kontakti luua vähemalt 15/20st.

**Tulemus:** Kontakti loomiseks laadimisjaamaga määrati robotile tagurduskiiruseks konstantne 0.5 m/s kiirus ning tagurdusmanöövri sooritusajaks määrati 1.4 sekundit. Katse käigus prooviti lisaks veel kiiruseid 0.35 m/s, 0.40 m/s, 0.45 m/s sooritusaegadega vahemikus 1-2 sekundit. Madalamate kiirustega olid tulemused ebaühtlasemad. 4 katse puhul kasutades kiirust 0.35, ei suutnud robot rambist üles tagurdada. 0.40 ja 0.45 olid tulemused ühtlasemad ning kahe katse puhul ebaõnnestus laadimisjaamaga ühildumine. 0.5 m/s puhul olid tulemused konstantsed ning kontakt loodi 20/20st katse puhul.

### **Test 4:** Kontakti kontroll akulaadija adapteri ja roboti pesa ühenduste vahel

**Kirjeldus:** Akulaadija adapteri ja laadimisjaama pistiku vahel loodud 8 kontakti peavad dokkimisprotsessi lõppedes saavutama ühtlase kontakti. Lisaks peab kontrollima adapteri ja laadija vahelist kontakti adapteri sisestamisel.

**Tulemus:** Kontakti kontrollimiseks kasutati multimeetri *Continuity* režiimi, mis tuvastas piiksuga kõigi kontaktide vahelise ühenduse olemasolu. Ühenduse kontroll alates adapterist kuni roboti kontaktpesani teostati peale iga eduka dokkimistesti tulemust ning osutus edukaks iga katse puhul. Akulaadija ja adapteri vahelise kontrolli teostamiseks kasutati demonteeritud laadijat, et multimeetriga oleks võimalik laadija juhtplaadilt ühendusi testida. Kõik kontaktid osutusid adapteri 5 taasisestamise katse korral ühendatuks ning test loeti sooritatuks.

Testid 1-3 on sooritatud kasutades ühte programmikoodi nimega `docking_demo.py`. Koodiga on võimalik tutvuda Lisa 1 all olevast Github repositooriumist.

## 7.2. Täidetud nõuded

Töö üks peamisi eesmärke oli luua Robotondile võimekus laadida pardal olevaid akusid neid raamist eemaldamata. See saavutati läbi uuendatud pistiku ja pesa lahenduse ning adapteriga, mis Makita DC18RC laadija robotiga ühendab.

Käesoleva laadimisjaama versiooni arenduse raames pidi säilima Makita DC18RC akulaadija ilma modifikatsioonideta, et seda oleks võimalik edaspidi kasutada lisaaku laadimiseks. Uues jaamas on akulaadija kergesti kättesaadav ning kasutatav teise aku laadimiseks ilma laadijat kastist eemaldamata.

Lisaseadmete mahutamiseks on transpordikastis olemas eraldi sahtlid, mis mahutaksid vajadusel lisaks juhtpuldile, torbikutele ja lisaakule veel ühe aku või mõne väiksemas mõõdus seadme.

Kõik kasutatud alumiinium profiilid, nurgatükid, hinged, lukud, seinaplaadid ja kinnitusvahendid on kättesaadavad avalikest kaubandusvõrkudest. Lisa 2 all on leitud ka tootlingid kasutatud komponentidele. Kõik muud mitte ostetavad komponendid on printitavad enamuse 3D printeritel ning ei vaja hilisemat töötlemist lahendusele sobitamiseks. Ainus erand oleks plekist vedrukontaktid, mida peab käsitsi painutama, et saavutada ettenähtud tulemus.

Lahenduse loomisel ei ole kasutatud ühtegi lisa trükkplaati. Kõik ühendused pistikutega on käsitsi joodetavad kasutades kergesti kättesaadavaid vaskjuhtmeid.

Pesa lahendus kinnitub Robotondi külge kasutades kahte M3x25 polti, mis on sisestatud olemasolevatesse avadesse. Pesa on vajadusel kergesti eemaldatav ning ei sega teisi pardal olevaid komponente.

Transpordikasti kaal koos jaamaga on kokku ~4.2 kg ning koos Robotondi ja lisaseadmetega 8.1 kg. Ettenähtud nõudest jääda kogukaaluga alla 10 kg on saavutatud 1.9 kg jäägiga.

Kogu transpordikasti ehitus võtab aega ~9 h. Kõigi 3D printitavate failide tootmiseks kulub ~19 h. Ehk kogu lahenduse loomiseks kuluv aeg on ~19 h. Siia sisse pole arvestatud detailide

värvimiseks (ja vajadusel lakkimiseks) kuluvat aega, mis tooks ajakulu lähemale 2 ööpäeva juurde.

### **7.3. Edasiarendused**

Lisamata jäi tööle toitejuhtme pesa koos kasti sisese pistikuga, et oleks võimalik ühendada laadija ja arvuti toiteadapter kasti siseselt. Selleks on vaja lõigata ava ning luua kate IEC C14 pistiku 220V kontaktide jaoks. Sellega kaasnevalt oleks eraldi rihmaga fikseeritud ka arvuti toiteadapter ning akulaadija juhtmed. Ajutise lahendusena on võimalik kasutajal fikseerida transpordi ajaks akulaadija juhe laadijat hoidva takjariba vahele. Suletud asendis on hetkel võimalik ühendada akulaadija toitekaabel vedades juhtme tuulutusava vahelt.

Puudu on juhtmeühendus ja konkreetne paigalduskoht pardaarvuti toiteadapteri jaoks. Toiteadapteri ühendamiseks peaks lisama arvutipoolse toitepesa näiteks akulaadija kõrvale ning sealt ühendama juhtmed roboti laadimispistikuga.

Hetkel arendatava Robotondi trükkplaadil puudub aku väljalülitamise elektriskeem laadimistsükli ajaks. Kui laadimisjaama lahendus kasutusele võetakse, oleks see oluline osa aku eluea pikendamiseks.

## 8. Kokkuvõte

Käesoleva Bakalaureusetöö eesmärgiks oli jätkata arendamist Robotondi autonoomse laadimisjaamaga. Töö aluseks võeti eelnevalt P. Roodeni poolt valmistatud prototüüp ning analüüsiti, mis lahenduses toimis ning mis mitte. Töö tulemusena valmis uuendatud laadimisjaama lahendus ning transpordikast.

Disaini valmides loodi esimene integreeritud laadimisjaamaga transpordikasti prototüüp. Lahenduse valideerimiseks autonoomse laadimisjaama lahendusena, loodi Robotondile laadimisjaama kasutamiseks demokood, mis kasutab laadimisjaama leidmiseks kahte AR-märgist ning suudab end iseseisvalt ühendada laadijaga.

Uus transpordikast on väiksemate mõõtmetega ning funktsionaalselt kasulikum kui hetkel kasutuses olev plastmass konteiner.

Testid tõestasid, et loodud lahendus on jätkusuutlik, et kasutada arenduskomplekti osana tuleviku Robotondi mudelitel.



## Viited

- [1] Sharma N., Pandey J. K., Mondal S. (01.09.2023). *A Review of Mobile Robots: Applications and Future Prospect*, doi: 10.1007/s12541-023-00876-7
- [2] Robotont (2024), Vaadatud 08.05.2024 <https://robotont.ut.ee/>
- [3] ROS – Robot Operating System koduleht (2024), Vaadatud 08.05.2024 <https://www.ros.org/>
- [4] Amjad M., Farooq-i-Azam M., Ni Q., Dong M., Ansari E. (01.10.2022). *Wireless charging systems for electric vehicles*. Doi: 10.1016/j.rser.2022.112730
- [5] „What is a Battery Management System?“. Vaadatud 08.04.2024 <https://www.synopsys.com/glossary/what-is-a-battery-management-system.html>
- [6] „Spot Dock“. Vaadatud 10.04.2024 <https://www.intuitive-robots.com/wp-content/uploads/2021/01/spot-dock-1.pdf>
- [7] Harrison, C. (17.11.2018). *Does a Robotic Lawnmower find its way back to the charging station?* Vaadatud 12.04.2024 <https://www.mrobot.co.uk/how-does-a-robotic-lawnmower-find-its-way-back-to-the-charging-station/>
- [8] Dreametech. *How Do Robot Vacuums Navigate?* Vaadatud 10.04.2024 <https://global.dreametech.com/blogs/blog/how-do-robot-vacuums-navigate>
- [9] iRobot Roomba combo j7+ tootelehekülg (2024), Vaadatud 20.05.2024 [https://www.irobot.com/en\\_US/roomba-combo-j7plus-robot-vacuum-and-mop/C755020.html](https://www.irobot.com/en_US/roomba-combo-j7plus-robot-vacuum-and-mop/C755020.html)
- [10] iRobot tootevalik (2024), Vaadatud 13.04.2024 [https://www.irobot.com/en\\_US/products.html](https://www.irobot.com/en_US/products.html)
- [11] Clancy, R. (06.07.2023). *Mis on BMS-süsteem?* Vaadatud 07.05.2024 <https://www.roypowtech.com/et/blog/what-is-bms-system/>
- [12] Pelican Products, Inc. (29.07.2020). *The Pelican™ First Aid Kit: The Case That Started It All*. Vaadatud 07.05.2024 <https://www.pelican.com/us/en/professional/blog/post/the-pelican----first-aid-kit--the-case-that-started-it-all/>
- [13] Pelican Products, Inc. reklaamlehekülg (2024), Vaadatud 07.05.2024 <https://www.pelican.com/us/en/shop/deals/discover/put-it-in-a-pelican>
- [14] A4A kodulehekülg (2024), Vaadatud 10.04.2024 <https://www.airlines.org/>

- [15] A4A (2020). *Spec 300: Specification for Packaging of Airline Supplies*. Vaadatud 02.04.2024  
<https://publications.airlines.org/CommerceProductDetail.aspx?Product=298>
- [16] A4A (2008). *ATA Specification 300: Specification for Packaging of Airline Supplies*. Vaadatud 02.04.2024  
[https://web.archive.org/web/20140308045616if\\_/http://www.anvilcase.com:80/pdfs/ATA300SPECRev2008.pdf](https://web.archive.org/web/20140308045616if_/http://www.anvilcase.com:80/pdfs/ATA300SPECRev2008.pdf)
- [17] Raudmäe R. (2019). *Avatud robotplatvorm Robotont*.  
<https://dspace.ut.ee/handle/10062/64341> Magistritöö, Tartu Ülikool.  
<http://hdl.handle.net/10062/64341>
- [18] Mõtshärg E. (2023). *3D-prinditava kere disain ja analüüs vabavaralisele haridusrobotile Robotont*. Magistritöö, Tartu Ülikool.  
<https://hdl.handle.net/10062/93818>
- [19] Muro M. (2023). *Robotondi akulahenduse ning 12 V pingeregulaatori prototüüpimine*. Bakalaureusetöö, Tartu Ülikool. <https://hdl.handle.net/10062/93429>
- [20] Rooden P. (2023). *Autonoomse laadimislahenduse väljatöötamine õpperobotile Robotont*. Bakalaureusetöö, Tartu Ülikool. <https://hdl.handle.net/10062/93432>
- [21] TWI Global. *What is PLA? (Everything you need to know)*. Vaadatud 20.05.2024  
<https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-pla>
- [22] Tripp Lite. *Ethernet Cables Explained*. Vaadatud 10.05.2024  
<https://triplite.eaton.com/products/ethernet-cable-types>
- [23] CableOrganizer. *What's the Difference Between T568A & T568B?* Vaadatud 10.05.2024  
<https://www.cableorganizer.com/learning-center/articles/t568a-vs-t568b.php>
- [24] MILL MAX Mfg. pistik (2024), Vaadatud 05.05.2024 <https://www.mill-max.com/products/spring-loaded/pogo-pin-header-strip/869/00-001101>
- [25] MILL MAX Mfg. pesa (2024), Vaadatud 05.05.2024 <https://www.mill-max.com/products/mating-target/pad-connector-with-flat-face/869/00-001000>
- [26] Robotont (2024). *Robotont Electronics Mainboard*. Vaadatud 15.05.2024  
<https://github.com/robotont/robotont-electronics-mainboard>
- [27] Adam Hall, 6102 tootelehekülj (2024), Vaadatud 04.04.2024  
<https://www.adamhall.com/shop/flightcase-material/profile/schliessprofile/890/6102>

- [28] Adam Hall, 6200 tootelehekülg (2024) , Vaadatud 04.04.2024  
<https://www.adamhall.com/shop/flightcase-material/profile/kappen-trennwandprofile/951/6200>
- [29] Adam Hall, 4113 tootelehekülg (2024) , Vaadatud 04.04.2024  
<https://www.adamhall.com/shop/flightcase-material/ecken-l-ecken/kugelecken/626/4113>
- [30] Adam Hall, 6209 tootelehekülg (2024) , Vaadatud 04.04.2024  
<https://www.adamhall.com/shop/flightcase-material/profile/kantenschutz/960/6209>
- [31] Adam Hall, 3427 tootelehekülg (2024) , Vaadatud 04.04.2024  
<https://www.adamhall.com/shop/flightcase-material/griffe/koffer-riemengriffe/470/3427>
- [32] Adam Hall, 1604 tootelehekülg (2024) , Vaadatud 04.04.2024  
<https://www.adamhall.com/shop/flight-case-material/latches/drawbolt-latches/282/1604>
- [33] Open-TeaLeaf koduleht (2024), Vaadatud 22.05.2024  
<https://www.open-tealeaf.eu/docs/>

# Lisad

**Lisa 1.** Valminud mudelid ja 3D printimiseks kasutatud stl failid:

<https://github.com/ut-ims-robotics/vinkel-thesis-2024-robotont-dock>

**Lisa 2.** Kasutatud komponentide nimekiri:

Detail	Kogus	Tootelink (kontrollitud 20.05.2024)
6.5mm vineer 1500mm x 1500mm	1 tk	-
Adam Hall 6102	1354 mm	[27]
Adam Hall 6200	350mm	[28]
Adam Hall 4113	8 tk	[29]
Adam Hall 6209	3580 mm	[30]
Adam Hall 3427	2 tk	[31]
Adam Hall 1604TP	2 tk	[32]
Makita Kontaktpistik	1 tk	-
Mill Max pistik	1 tk	[24]
Mill Max pesa	1 tk	[25]
0.5mm plekk	9.5mm x 130mm	-

*Tabel 5. Üldine kasutatud komponentide ülevaade*

**Lisa 3.** Vineerdetailide mõõtmed:

Tähis	Mõõt (mm)	Kogus	Kommentaar
A1	363 x 204	1	täpsus +/- 2mm
A2	204 x 122	2	täpsus +/- 2mm
A3	350 x 122	1	täpsus +/- 2mm
B1	350 x 121	1	täpsus +/- 2mm
B2	121 x 55	2	täpsus +/- 2mm
B3	350 x 45	1	täpsus +/- 2mm
C1	350 x 305	1	täpsus +/- 2mm
C2	125 x 94	2	täpsus +/- 2mm
C3	155 x 129	2	täpsus +/- 2mm
C4	155 x 90	2	täpsus +/- 2mm
C5	363 x 250	1	täpsus +/- 2mm
C6	363 x 177.5	1	täpsus +/- 2mm
C7	320 x 250	2	L lõige (mudel leitav Githubist), täpsus +/- 2mm

*Tabel 6. Lõigatavate vineerdetailide mõõtmed ja kogused*

**Lisa 4.** Kasutatud alumiiniumprofiilide lõigatavad pikkused ja kogused:

<b>Adam Hall 6209</b>	<b>Pikkus (mm)</b>	<b>Kogus</b>
D1	121	4
D2	144	2
D3	33	2
D4	170	2
D5	256	2
D6	293	2
D7	326	4

<b>Adam Hall 6109</b>	<b>Pikkus (mm)</b>	<b>Kogus</b>
E1	143	2
E2	129	4
E3	87	4
E4	101.5	2

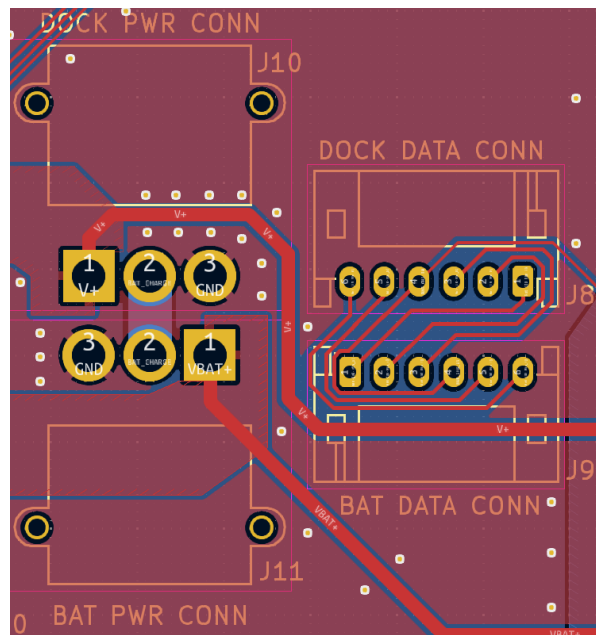
*Tabel 7 ja 8. Lõigatavate alumiiniumprofiilide pikkused ja kogused*

**Lisa 5.** 3D prinditavate detailide printimistingimused ja materjalikulu

<b>Detaili nimi</b>	<b>Resolutsioon</b>	<b>Materjali kulu</b>	<b>Infill</b>	<b>Kogus</b>	<b>Kommentaar</b>
P1	0.28	19g	10%	1	
P1M	0.28	19g	10%	1	
P2	0.28	38g + 38g	10%	2	Vajab toetus materjali
P3	0.28	8g	10%	1	
P3M	0.28	8g	10%	1	
P4	0.20	2g	20%	1	
P4M	0.20	2g	20%	1	
P5	0.20	5g + 5g	20%	2	Vajab toetus materjali
P5M	0.20	5g + 5g	20%	2	Vajab toetus materjali
P6	0.20	2g	20%	1	Vajab toetus materjali
P6M	0.20	2g	20%	1	Vajab toetus materjali
P7	0.20	18g	20%	1	
P8	0.20	32g	20%	1	Vajab toetus materjali
P9	0.20	4g	20%	1	
P10	0.20	13g	20%	1	
P11	0.20	20g	20%	1	
P12	0.20	14g	20%	1	
P13	0.20	5g	%	1	Vajab toetus materjali
P13M	0.20	5g	%	1	Vajab toetus materjali

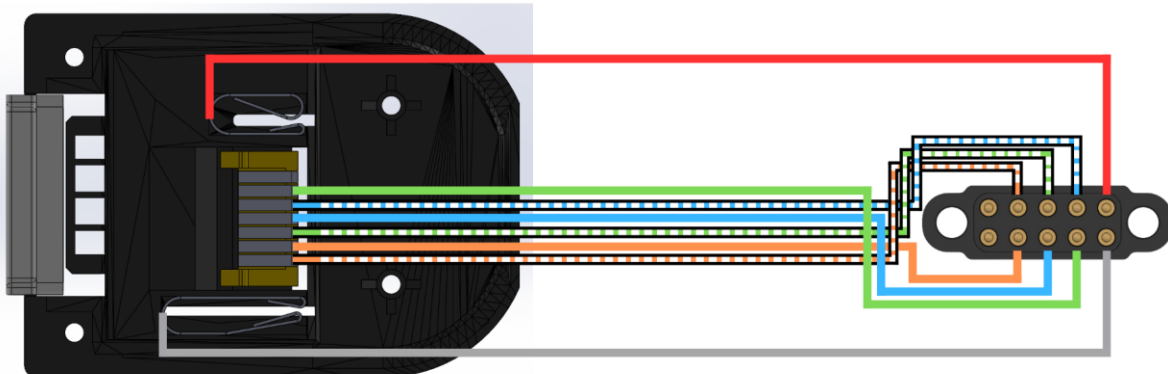
*Tabel 9. 3D prinditud detailide ülevaade*

**Lisa 6.** Laadimisjaama ja aku ühendus Robotondi trükkplaadil



*Joonis 22. Robotondi trükkplaadil paiknevad laadimisjaama kontaktpistikud*

**Lisa 7.** Adapteri ühendus Cat5a kaabliga t568b ühendusstandardi järgi



*Joonis 23. Akulaadija adapteri ja seinapistiku vahelise ühenduse visuaalne diagramm*

**Lisa 8. Valminud lahenduse pildid**



(a)



(b)



(c)



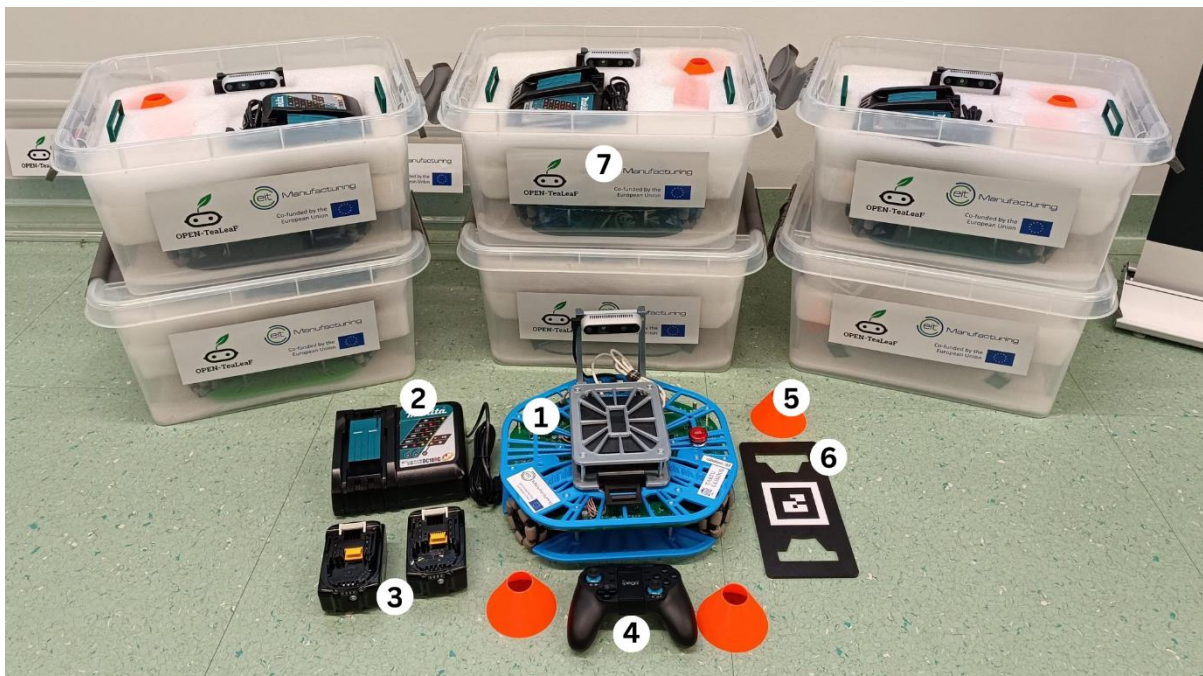
(d)



(e)

Joonis 24. (a) Transpordikest koos akulaadijaga, (b) Transpordikasti küljeprofiil, (c) Robotont laadimisjaamas, (d) Suletud asend, (e) Transpordikast tuulutusasendis.

### Lisa 9. Robotondi arenduskomplekt [33]



Joonis 25. Robotondi arenduskomplekt. (1) Robotont, (2) Makita DC18RC akulaadija, (3) Makita Li-ion 18V akud, (4) juhtpult, (5) torbikud, (6) AR märgisega tahvel, (7) hetkel kasutusel olev transpordikast



# Lihtlitsents

Mina, Karl Sander Vinkel,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose

## **„Laadimisjaama ja transportkesta väljatöötamine õpperobotile Robotont“**

mille juhendajad on Renno Raudmäe 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 lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Karl Sander Vinkel

**20.05.2024**