



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Elektroenergeetika ja mehhatroonikainstituut

**EE40LT**

*Jaan Moos*

**Robotivõistluse Micromouse jaoks pool-automatse  
ajamõõtesüsteemi ideelahendus**

**BSc Lõputöö**

Tallinn

2017

# BSc LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

2017 aasta kevadsemester

**Üliõpilane:** Jaan Moos, 134428MAHB  
**Õppekava:** MAHB02/013  
**Eriala:** Mehhatroonika  
**Juhendaja:** Professor, Toomas Kübarsepp  
**Konsultandid:** Raimond Vaba, TTÜ Robotiklubi MTÜ  
Kaupo Raid, TTÜ Robotiklubi MTÜ

## LÕPUTÖÖ TEEMA:

(eesti keeles) Robotivõistluse Micromouse jaoks poolautomaatse  
ajamõõtesüsteemi ideelahendus

(inglise keeles) Conceptual design of a semi-automatic timing system for the  
robotics competition Micromouse

## Töös Lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1.	Taustauuring ja järgitavate kriteeriumite leidmine.	14.04.2017
2.	Ajamõõtesüsteemi kontseptuaalne lahendus.	28.04.2017
3.	Sobivate komponentide valik.	05.05.2017
4.	Labürindi seinte kujundamine.	12.05.2017
5.	Ühtse süsteemi loomine.	19.05.2017
6.	Töö viimistlemine ja vormistamine.	24.05.2017

**Lahendatavad insenertehnilised ja majandusliku probleemid:** Luua ajamõõtesüsteemi ideeline lahendus robotivõistluse Micromouse jaoks, kasutades infrapunakiire katkestuspõhimõttel töötavaid sensoreid ning süsteemi osadevaheliseks suhtluseks raadiosidet. Disainida uued labürindi seinad, millele tuleb paigutada ajamõõtesüsteem.

**Täiendav info ja nõuded:** Ei ole.

**Töö keel:** eesti keel

Kaitsmistootlus esitada hiljemalt 13.05.2017 **Töö esitamise tähtaeg:** 25.05.2017

**Üliõpilane:** Jaan Moos ..... kuupäev ..... ..

**Juhendaja:** Toomas Kübarsepp ..... kuupäev ..... ..

## AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus.

Esiatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Lõputöös kasutatud kõik teiste autorite tööd ja seisukohad ning materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis..... juhendamisel

“.....”.....201....a.

Töö autor: .....

/allkiri/

Töö vastab lõputööle esitatavatele nõuetele.

“.....”.....201....a.

Juhendaja: .....

/allkiri/

Lubatud kaitsmisele.

“.....”.....201... a.

..... õppekava kaitsmiskomisjoni esimees: .....

/allkiri/

# SISUKORD

EESSÕNA.....	6
1. SISSEJUHATUS .....	7
2. TAUSTAURING .....	8
2.1 Järgitavad kriteeriumid .....	9
2.1.1 Robotexi Micromouse'i reeglitest tulenevad kriteeriumid .....	10
2.1.2 Labürindi disainist tulenevad kriteeriumid .....	11
3. KONTSEPTUAALNE LAHENDUS .....	12
3.1 Sensorite valik.....	13
3.2 Mikrokontrolleri valik.....	14
3.2.1 Mikrokontrollerite võrdlus.....	14
3.2.2 Mikrokontrolleri lõplik valik .....	15
3.3 Toiteallikas.....	16
3.3.1 Erinevate patareide võrdlus.....	17
3.3.2 Ajamõõtesüsteemi tarbitav vooluhulk. ....	18
3.3.3 Lõplik vooluallika valik.....	19
3.4 Raadioside moodulid .....	21
3.4.1 Raadioside moodul mikrokontrolleritele .....	21
3.4.2 Raadioside moodul arvutile .....	21
3.5 Lineaarregulaator .....	22
4. ÜHTSE SÜSTEEMI LOOMINE.....	25
4.1 Labürindi seinast ja postist koosneva korpuse mehaanilised osad .....	26
4.2 Infrapunakiirt vastuvõttev moodul.....	26
4.3 Infrapunakiirt kiirgav moodul.....	27
4.4 Kogu süsteemi paiknemine .....	29
4.5 Süsteemi elektriskeemi koostamine .....	30
4.5.1. Infrapunakiirt kiirgav moodul.....	30
4.5.2. Infrapunakiirt vastuvõttev moodul.....	31
4.6. Ajamõõtesüsteemi põhimõtteskeem .....	32
4.7. Ajamõõtesüsteemi tarkvara.....	32
4.7.1. Mikrokontroller 1 tarkvara.....	33
4.7.2. Mikrokontroller 2 tarkvara.....	35

4.7.3. Arvuti tarkvara .....	36
5. AJAMÕÕTESÜSTEEMI MÄÄRAMATUSE HINDAMINE .....	37
6. OHUTUS .....	39
7. AJAMÕÕTESÜSTEEMI MAJANDUSLIK HINNANG .....	40
KOKKUVÕTE .....	42
SUMMARY .....	44
KASUTATUD KIRJANDUS .....	46
LISAD .....	48
Lisa 1 .....	48
Lisa 2 .....	49
Lisa 3 .....	51
Lisa 4 .....	52

## EESSÖNA

Lõputöö teema välja pakkujaks oli TTÜ Robotiklubi MTÜ soovist luua robotivõistluse Micromouse jaoks automaatne ajamõõtesüsteem. Töö teema ajendiks on sellelaadse süsteemi puudumine ning ka tegelik vajadus selle järele. Selle lõputöö käigus saadavat informatsiooni saab Robotiklubi kasutada omahuvides. Antud bakalaureuse lõputöö on juhendatud Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi professori Toomas Kübarsepa poolt.

# 1. SISSEJUHATUS

Selle bakalaureuse lõputöö eesmärgiks on luua ideeline lahendus robotivõistluse Micromouse jaoks infrapunakiire katkestamise põhimõttel töötav ajamõõtesüsteem. Süsteemi ülesandeks saab olema robothiire läbisõiduaja arvestama hakkamine hetkest, mil hiire esiosa ületab stardijoone ja ajavõtmise lõpetamine siis, kui hiire esiosa ületab finišijoone. Ajamõõtesüsteemi kvaliteedi hindamiseks tuleb lisada üks lisa-eesmärk, mis seisneb teatud täpsuse saavutamises, milleks on 10 millisekundit. Lisaks veel tuleb hiire sõiduaeg saata raadioside abil arvutisse ning seejärel see salvestada. Lõputöö koosneb kolmest põhilisest etapist ning ühest lisa-etapist.

Esimese etapina tuleb uurida ja analüüsida rahvusvahelistel robotikavõistlustel, nagu näiteks Robotex, Robogames ja teistel, juba kasutusesolevaid ajamõõtesüsteeme ning hinnata nende positiivseid ja negatiivseid külgi. Lisaks tuleb veel ka tutvuda reeglitega, mis on seatud Micromouse'i väljakule, neid analüüsida ning koostada nimekiri kriteeriumitest, mida on vaja järgida ajamõõtmisüsteemi kontseptuaalsel lahendamisel.

Töö teiseks etapiks on, arvestades erinevaid piiranguid ja reegleid, koostada kontseptuaalne lahendus projekteeritavale ajamõõtesüsteemile. Lisaks tuleb veel selle etapi käigus tuleb uurida erinevaid komponente, ning nende seast välja valida parimate omadustega, süsteemi sobivad, komponendid.





Kolmandas etapis on vaja kõikidest komponentidest luua ühtne süsteem. Lisaks, tuleb süsteemi kõik elemendid paigutada nii, et need ei segaks võistlusel osalevaid roboteid. Selleks tuleb disainida Micromouse'i väljaku sein element, kuhu saab kõik komponendid stabiilselt ja mugavalt sisse panna ja ka vajadusel vahetada. Pärast seda peab koostama ajamõõtesüsteemile elektriskeemid, põhimõtteskeemi ja ka programmid.

Töö lisa-etapis tuleb leida võimalus, kuidas oleks reaalselt võimalik saavutada ajamõõtesüsteemi nõutud täpsus 10 ms.

## 2. TAUSTAUURING

Taustauuringust selgus, et siiani Robotexi võistlusel Micromouse on robotiire sõiduaega mõõdetud stopperiga, seega mõõdetud sõiduajad ei pruugi olla igakord täpsed. Täpsus sõltub mitmetest faktoritest, nagu näiteks inimese reaktsioonikiirusest ja ka inimese enda keskendumis- ja tähelepanuvõimest. Samuti võivad segada igasugused ümbruskonnast tulenevad häired, mis takistavad kohtunikul stopperi käima- või seismapanekut. Kuigi Robotexi Micromouse'i reeglistikus on kirjas, et roboti kere peab täielikult katkestama 3 cm kõrguselt 3 millimeetrise diameetriga ajavõtusüsteemi valguskiire, ei ole taolist ajavõtusüsteemi varasemalt veel rakendatud [1].

Jaapanis New Technology Foundationi võistlusel Micromouse aga on ajamõõtesüsteemis rakendatud infrapunakiire katkestusmeetodil töötavad sensorid [2]. Tegu on *through beam* sensoriga ehk objekt tuvastatakse, kui valguskiirel takistatakse emitterist vastuvõtjasse jõudmast. Sellel võistlusel kasutatakse optilist sensorit E32T14L [3]. Selel 1 on välja toodud Jaapani Micromouse võistlusel kasutatav optiline sensor E32T14L.

3 dia.		210		460
	E32-T14LR		E32-T14L	
1 dia.		50		130
	E32-T24R		E32-T24	

Sele 1 – Jaapanis kasutatava sensori E32T14L ülevaade

Selle sensori eelisteks on väga kõrge usaldusväärsus. Sensor on väga pisike, diameeter kõigest 3 mm, seega saab seda kasutada hästi kitsastes töötingimustes, kus suurus on määrav. Lisaks sellele on sensoril hästi paindub ja veniv optiline kaabel, mistõttu saab sensorit väikestes tööruumides ilusti paigutada ilma, et peaks muretsema selle purunemise pärast. Negatiivse poole pealt peab kindlasti välja tooma kõrge tükihinna – 110,7 €.

Küll aga leidub hulgaliselt projekte, kus mõõdetakse kahe infrapunakiire katkestuse põhimõttel töötavate sensorite abil kas katseobjekti kiirust või aega. Taolise projekti



näiteks võib tuua *Hot Wheels* mudelautode kiiruse leidmise [4]. Selles süsteemis on sensorid paigutatud mudelautode poolt läbitava raja alast väljaspoole, kus sensorid ei ole autodele takistuseks ega mõjuta nende liikumist mitte mingil viisil. Süsteemil on ainult üks mikrokontroller, mis vastutab mõlema sensori tegevuse eest ning süsteemi eri osadevaheline andmeside käib juhtmete abil.

Pärast taustauuringu läbiviimist võib öelda, et kuigi leidis üks Micromouse'i võistlus, kus kasutatakse automaatset ajamõõtesüsteemi, pole seda süsteemi võimalik väga põhjalikult analüüsida, kuna Internetis puudus süsteemist detailsem ülevaade. Teiste Micromouse robotivõistluste puhul ei ole aga välja toodud mingitki informatsiooni sellest, kuidas robothiirte sõiduaega mõõdetakse.

Kuigi leidub teistel eesmärkidel loodud projekte, kus kasutatakse samuti infrapunakiire katkestamise põhimõtet, ei ole need võrreldavad teostatava töö eesmärgiga ja kriteeriumitega, kuna nende puhul ei kasutata erinevate süsteemi osadevaheliseks suhtluseks raadiolaineid ning süsteem ise ei ole integreeritud katseobjektide poolt läbitava raja sisse. Lisaks veel, ei ole taoliste süsteemide puhul vaja muuta raja asetust, millega kaasneks ka ajamõõtesüsteemi ümber paigutamine.

## **2.1 Järgitavad kriteeriumid**

Selleks, et jõuda automaatse ajamõõtmisüsteemi kontseptuaalse lahenduseni, tuleb kirja panna kõik kriteeriumid, mida peab jälgima, et ei läheks võistluse reeglitega vastuollu. Samuti selle käigus saavutab ka parema arusaamise süsteemi parameetritest ning mõõtmetest mille piiridesse on vaja jääda. Parameetritest kõige tähtsamaks on kindlasti mõõtmed, mille sisse süsteem on vaja ära mahutada. Kindlasti tuleb ka tähelepanu pöörata võimalikele energiaallikatele, mida saaks süsteemis kasutada.

### 2.1.1 Robotexi Micromouse'i reeglitest tulenevad kriteeriumid

Robotexi Micromouse'i reeglitest saab arusaamise labürindi seinte nõuetest. Seinad peavad olema 5 cm kõrgused ja 1,2 cm paksused ning lubatud on 5%-line hälve. Lisaks sellele on Robotexi Micromouse'i väljakul seinasid ühendavad vaheelemendid – postid. Postid on nelinurksed ja nende igale küljele saab kinnitada labürindi seina. Seda tehes saab muuta labürindi raja paigutust eesmärgiga, et läbitav rada oleks igakord erinev ning et võistleja ei teaks võistlusraja trajektoori ette.

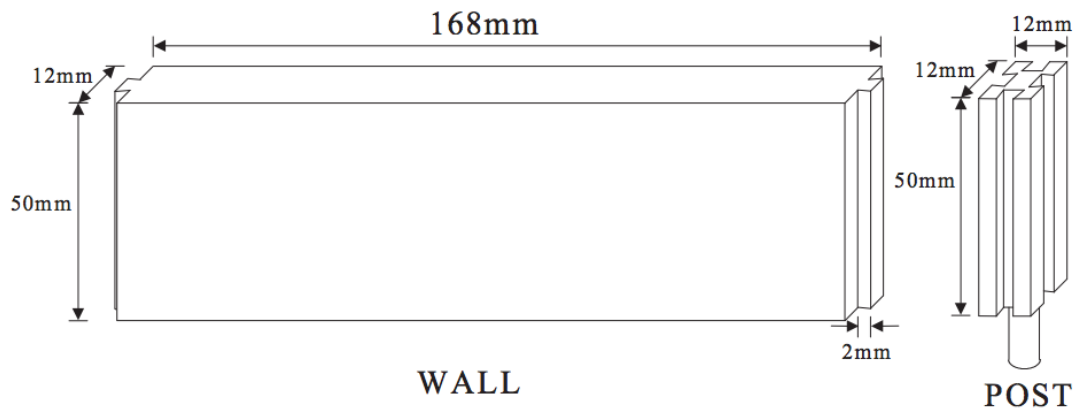
Oluliseks kirja pandud reegliks peab veel pidama ka seda, et labürindi stardipunkt asub ühes nurgas neljast. Stardiruut on kolmest küljest piiratud seinaga. Stardijoon asub stardiruudu ja järgmise ruudu vahel. Eesmärk on jõuda labürindi keskel asuvale neljast ruudust koosnevale alale ehk sihtruutu, mis koosneb neljast 18 cm x 18 cm ruudust. Finišijoon asub keskel asuva suure ruudu sissepääsul. Siit saab välja lugeda, et stardiruudu asukohta muudetakse võistluse käigus – seega peab olema võimalik ümber tõsta ajamõõtesüsteemi stardijoon juures olevat moodulit. Kuigi finišijoon asub alati labürindi keskel, peab olema võimalik muuta sihtruutu sissepääsu, mis peab iga kord olema piiratud erineva seinade kombinatsiooniga.

Kuigi Robotexi reeglites on ka kirjas, et roboti kere peab täielikult katkestama 3 cm kõrguselt 3 mm diameetriga ajavõtusüsteemi valguskiire, on paljud robotid liiga madalad, et kiirt nii kõrgelt katkestada, mistõttu tuleb viia kiir madalamale ehk kiire keskpunkt saab olema 7 mm kõrgusel labürindi põhjast.

Igal võistleval robothiirel on määratud sihtpunkti jõudmiseks aega 5 minutit. Võistluse ajal lisatakse hiire seadistamisele kuluv aeg nimetatud 5 minuti hulka. Iga läbisõidu puhul, kus robothiir jõuab sihtruuduni, arvestatakse läbisõiduaega. Hiirel on lubatud 5 minuti jooksul teostada nii palju katseid kui võimalik ning väikseimast läbisõiduajast kujuneb hiire ametlik aeg. Lisaks sellele, võib võistleja enda robothiire alati pärast sõidu alustust, kuid enne finišisse jõudmist, labürindist eemaldada ning uuesti stardiruutu asetada, et teha algust uue katsega.

## 2.1.2 Labürindi disainist tulenevad kriteeriumid

Micromouse'i labürindi postidel on sisse lõigatud 4 sätku, mille abil kinnitatakse labürindi seinad postide külge [5]. Arvestades, et stardijoon asub stardiruudu ja järgmise ruudu vahel ning et finišijoon asub keskel asuva ruudu sissepääsul, siis saab järeldada, et ajamõõtesüsteemi asukoht peab olema samuti kahe ruudu vahel ehk asetsema täpselt postide asukohas. Selel 2 on toodud vajalike mõõtmetega joonis labürindi seinast ja postist.



Sele 2 – labürindi sein (WALL) ja post (POST)

### 3. KONTSEPTUAALNE LAHENDUS

Kuna Micromouse'i labürindi seinte paigutust muudetakse igakord sellepärast, et läbitav rada oleks igakord erinev, ning et roboothiiri mitte segada, tuleb paigutada kõik süsteemi osad labürindi seinte sisse. Ajamõõtesüsteem ise koosneb kahest moodulist - infrapunakiirt kiirgavast moodulist ja infrapunakiirt vastuvõtvast moodulist. Mõlemat moodulit on vaja kahes eksemplaris - esimesest moodulite eksemplarist koostatud alamsüsteem asub Micromouse'i labürindi stardijoone juures ning teisest moodulite eksemplarist koostatud alamsüsteem asub finišijoone juures. Selleks on vaja paigutada labürindi stardiruudu seina sisse infrapunakiire emitter ja selle vastasseina sisse infrapuna vastuvõtja. Stardiruudu juures oleva infrapuna kiire katkestamise edastab vastuvõtja signaali mikrokontrollerisse, ning seejärel paneb mikrokontroller käima stardiaja.

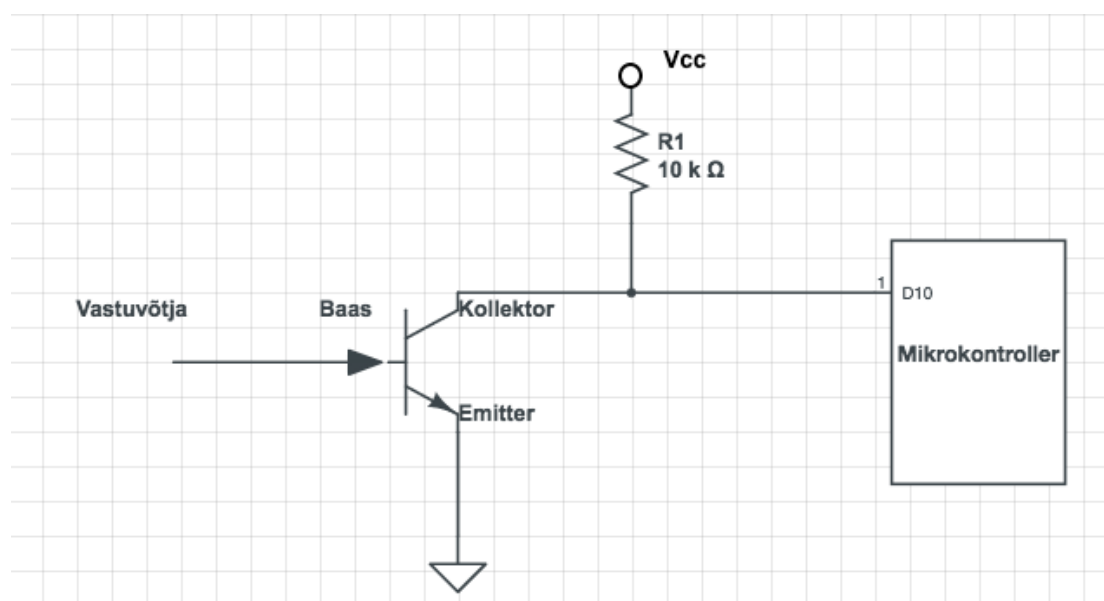
Finišijoone juures olev alamsüsteem koosneb samuti infrapunakiire emitterist ja vastuvõtjast. Kui robothiir on finišijoone juures oleva infrapunakiire katkestanud, saadab raadiomoodul esimesse mikrokontrollerisse signaali, mille järel pannakse sõidu aeg seisma. Seejärel stardijoone juures olev mikrokontroller saadab raadimooduli abil roboothiire sõiduaja arvutisse, kus see salvestatakse faili ning sinna lisaks lisatakse ka selle katse lõpetamise kuupäev ja kellaaeg.

Kuna ajamõõtesüsteemi kõik osad tuleb paigutada Micromouse'i labürindi seinte sisse, tuleb disainida uued seinaelemendid, kuhu mahuksid kõik komponendid sisse. Micromouse'i võistlustel on määratud, et labürindi postid ja seinad peavad olema 12 mm paksusega. Seega tuleks arvestada vähima võimaliku seinapaksusega, et oleks võimalik kõik jupid sisse paigutada, mistõttu tuleb disainida ajamõõtesüsteemile korpus, mille ühe seina paksus oleks 1mm. See jätab 10 mm paksusega ala kogu ajamõõtesüsteemi paigutuseks. Labürindi stardijoon ja finišijoon on täpselt kahe ruudu vahel, mistõttu peavad sensorid olema sisestatud labürindi seinte vaheelementide ehk postide sisse. Sellepärast on kõige targem disainida ühes tükis olev labürindi post ja sein.

### 3.1 Sensorite valik

Robothiire sõidu alustamise ja lõpetamise tuvastamiseks sai valitud infrapunakiire katkestusmeetodil põhinevad sensorid, mis peab paigutama labürindi postide sisse, mistõttu ei tohi olla sensorid paksemad kui 10 mm. Labürint ise aga koosneb 18 cm \* 18 cm suurustest ruutudest, seega peab sensori maksimaalne tajumiskaugus olema 18 cm.

Kõige sobivamaks osutus Adafruit'i pakutud infrapunakiire katkestusmeetodil põhinev sensor, mille komplektis on infrapuna emitter ning vastuvõtja. Infrapunakiire läbimõõduks on 3 mm ning tajumiskaugus on kuni 25 cm [6]. Sensori tööpõhimõte töötab järgmiselt: emitterist saadetakse infrapunakiir vastuvõtjasse, mis on ühendatud NPN transistori baasiga ning avatud kollektor mikrokontrolleri sisendiga. Kui infrapunakiir jõuab vastuvõtjasse (ehk kiir ei ole katkestatud), saab signaali transistori baas, mis lülitab transistori välja ning vooluallikast läheb vool läbi *pull-up* takisti mikrokontrolleri sisendisse D10 ning viimane omandab kõrge väärtuse. Kui aga infrapunakiir katkestatakse, siis signaal ei jõua vastuvõtjasse ja seeläbi ka transistori baasi, mistõttu lülitub transistor sisse ning vool läheb läbi *pull-up* takisti otse maandusse ning mikrokontrolleri sisend D10 omandab madala väärtuse. Selel 3 on näidatud avatud kollektoriga transistori põhimõtteskeem.



Selel 3 – avatud kollektoriga transistori põhimõtteskeem

Nii emitter kui ka vastuvõtja on mõlemad 20 mm x 10 mm x 8 mm (kõrgus x laius x paksus) mõõtmetega, seega saab need paigutada labürindi postide sisse. Emitter tuleb ühendada kas 5 V vooluallikaga parema tajumiskauguse saavutamiseks, kuid on võimalik ühendada ka 3.3 V-ga. 3.3 V pingel korral on emitteri voolutarve 9 mA ning 5 V korral 20 mA. Taolisi sensore on vaja kasutada 2 tükki.



Sele 4 – Infrapuna vastuvõtja (ülemine) ja emitter (alumine)

## 3.2 Mikrokontrolleri valik

Mikrokontrolleri valiku teostamisel kõige tähtsamaks parameetrik, mille alusel valida, on mikrokontrolleri suurus. Samuti teeks projekti mugavamaks micro USB pordi olemasolu. Määravaks on kindlasti ka toitepinge väärtus ning taktsagedus, mis määrab ära, mitu impulssi sekundis on tekitatud taktgeneraatori poolt. Kuigi ajamõõtesüsteem ise on üsnagi lihtne ja ei vaja võimast mikrokontrollerit, tasub aga arvestada edasiarenduste võimalustega.

### 3.2.1 Mikrokontrollerite võrdlus.

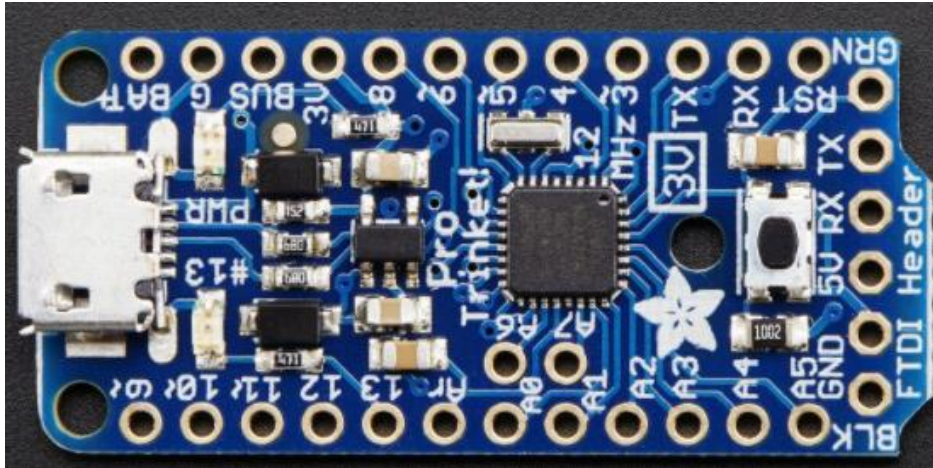
Võrdlusele tuleb võtta tootjate Arduino ja Adafruit mikrokontrollerid ja neid võrreldakse mõõtmete, toitepinge väärtuse, taktsageduse ning microUSB pordi olemasolu põhjal. Tulemusi kajastatakse tabelis 3.1.

Tabel 3.1. Mikrokontrollerite võrdlus.

Mikro-kontroller	Mõõtmed (D x W x H) / mm	Toitepinge V	taktsagedus MHz	microUSB olemasolu
Arduino Pro Mini – 5V/16MHz [7]	33 x 18 x 2	5	16	Ei
Arduino Pro Mini – 3.3V/8MHz [8]	33 x 18 x 2	3.3	8	Ei
Adafruit Pro Trinket – 3V/12MHz [9]	38 x 18 x 4	3V	12	Jah
Adafruit Pro Trinket – 5V/16MHz [10]	38 x 18 x 4	5	16	Jah

### 3.2.2 Mikrokontrolleri lõplik valik

Võrdlusest osutub parimaks Adafruit Pro Trinket – 3V/12MHz, kuna sellel eeliseks on microUSB olemasolu Arduino mikrokontrollerite ees. Kuigi selle protsessori töökiirus, Adafruit pro Trinket – 5V/16MHz-ga võrreldes on madalam, osutub Adafruit Pro Trinket – 3V/12MHz ikkagi paremaks, kuna sellele toiteks läheb vaja vaid ühte 3.7 V-st liitiumpolümeerakut. Adafruit pro Trinket – 5V/16MHz-I tarvis on aga kahte akut, mille süsteemi paigutamine võib osutada võimatuks akude suurte mõõtmete pärast.



Sele 5 – mikrokontroller Adafruit Pro Trinket – 3V/12MHz

### 3.3 Toiteallikas

Selleks, et roboothiire sõitu mitte segada, peab süsteemil olema väline toiteallikas. Toiteallikaid peab süsteemis olema neli tükki – kaks tükki infrapunakiirt saatvatele moodulitele ning kaks tükki infrapunakiirt vastuvõtivatele moodulitele. Samuti olulist rolli mängib ka, et toiteallikat saaks kasutada järjepidevalt. Eeldustest veel väga tähtsaks tuleb pidada ka toiteallika mõõtmeid, et see Micromouse'i labürindi seinasse ära mahuks. Patareid peaksid kindlasti olema ka taaskasutatavad ning olema võimelised ära toitma ajamõõtesüsteemi, mille väikseim võimalik tööpinge on 3.3 V. Arvestades ajamõõtesüsteemi toiteallikale seatud nõudeid, sobiksid süsteemi energiaallikaks kõige paremini patareid.



### 3.3.1 Erinevate patareide võrdlus.

Võrdluse tuleb võtta tavaline alkaline AAA patarei, mille toitepinge on 1.5 V; nõöpelement ehk nõöppatarei; liitiumpolümeerakud ning neid patareid võrreldakse mõõtmete, taaslaetavuse alusel. Samuti tuleb vaadelda, mitu ühesugust patareid tuleb järjestikku ühendada, et saavutada pinge miinimum 3.3V. Tulemusi kajastatakse tabelis 3.2.

Tabel 3.2. Patareide võrdlus.

Patarei	Mõõtmed (D x W x H) / mm	Taaslaetavus	3.3V saavutamine X patareiga
Nõöppatarei – CR2477 3V 1000mAh [11]	dia. 24.5 x 7.7 H	Ei	2
alkaline AAA patarei – R3 1.5V Greencell GP [12]	dia. 10.5 x 44.5 H	Ei	3
Liitium- polümeeraku – 3.7V 500mAh [13]	29 x 36 x 4.75	Jah	1

Tabelis välja toodud andmete põhjal võib järeldada, et süsteemi toiteks ei sobiks tavaline alkaline AAA patarei, kuna diameetriga 10.5 mm ning 44.5 mm kõrget patareid on väga keeruline paigutada Micromouse'i labürindi seina sisse, mille paksus oli eelnevalt määratud – 10 mm. Samuti selle patarei negatiivseks pooleks on see, et neid ei saa taaslaadida, vaid peab iga kord uusi kasutama ja peale selle, et mikrokontrollerit ja ka infrapuna LED-i toita, läheks vaja kolme taolist patareid.

Liitiumpolümeeraku ning nõöppatarei sobiksid mõlemad mõõtmete poolest ajamõõtesüsteemi toiteallikaks, kuid nõöppatarei miinusteks võib nimetada fakte, et neid ei saa taaslaadida ja 3.3 V toitepinge saavutamiseks läheks vaja kahte patareid. Seega kõige targem viis ajamõõtesüsteemi toitmiseks oleks kasutada taaslaetavaid liitiumpolümeerakusid, kuna need on vägagi lapiku kujuga, mis sobivad

labürindi seina sisse hästi, neid saab taaslaadida ja toitepingega 3.7 V saab toita kõiki süsteemi osi, kasutades ainult ühte patareid.

### 3.3.2 Ajamõõtesüsteemi tarbitav vooluhulk.

Kuna tegu on robotivõistlusega, siis eeldatavasti ei tohiks võistlus kesta pikemalt kui varahommikust hilisõhtuni, mistõttu võib arvestada 16-tunnise võistluspäevaga. See tähendab, et süsteem peaks olema suuteline vastu pidama vähemalt ühe ööpäeva ehk 24 tundi, ilma vahepealse aku laadimiseta. Süsteemi ööpäevase voolutarbe arvutamiseks tuleb kokku liita iga voolu tarbiva komponendi ühetunnine tarbitav voolutugevus ning seejärel korrutada eeldatavate süsteemi töötundide arvuga. Disainitav ajamõõtesüsteem koosneb neljast üksteisest lahutatud osast, siis igaühel neist peab olema oma, teistest sõltumatu toiteallikas ehk kokku läheb vaja nelja toiteallikat.

Infrapunakiirt kiirgavas moodulis ainukeseks voolutarbijaks on infrapuna LED, mille voolutarbeks on 9 mA 3.3 V pinge korral ning 20 mA 5 V pinge korral. Minimaalse vajaliku aku mahutavuse leidmiseks tuleb arvestada süsteemi 24-se tööajaga. Kuigi LED-ile plaanitav antav toide on 3.3V, tuleks arvestada liitiumpolümeeraku eripäraga, et aku mahutavuse langemisel ehk aku tühjenemisel aku antav pinge langeb ja lisaks sellele, ei tohi aku pakutav pinge langeda allapoole teatud piiri, mis juhul võib aku kahjustada saada või isegi kasutuskõlbmatuks muutuda. Rusikareegliks 3.7 V liitiumpolümeerakude korral arvestatakse, et pinge langeb 3.6 V-ni kui aku mahutavusest on ära kasutatud 80%. Seega tuleb võtta arvutuste jaoks varuteguriks 2, et vältida kõiki eelpool nimetatud ohtusid. Aku vajalikku mahutavust saab arvutada valemiga 3.1.

$$C = h * A * S, \tag{3.1}$$

kus  $C$  – aku mahutavus, mAh,

$h$  – töötundide arv,

$A$  – voolutugevus, mA,

$S$  – varutegur.

$$C = 24 * 9 * 2 = 432 \text{ mAh}$$

Infrapunakiirt vastuvõtva mooduli voolutarveks võib võtta etaloni analoogsest süsteemist, kus kasutatakse Arduino Pro Mini V2 mikrokontrolleriga ühendatud infrapuna sensorit, kus süsteemi voolutarve täisvõimsusel töötamisel on 6.7 mA [14]. Kasutades samuti valemit 3.1 ja arvestades 6.7 mA-se voolutarbega, varuteguriga 2 ning 24 tunnise tööajaga, saab leida minimaalse vajaliku aku mahutavuse.

$$C = 24 * 6.7 * 2 = 321.6 \text{ mAh} \approx 322 \text{ mAh}$$

### 3.3.3 Lõplik vooluallika valik.

Arvestades, et infrapunakiirt kiirgaval moodulil voolutarve on peaaegu poolteist korda suurem kui infrapunakiirt vastuvõtval moodulil, võib akut valides põhineda esimesena nimetatul. Et ajamõõtesüsteem töötaks lakkamatult vähemalt ühe võistluspäeva, piisaks liitiumpolümeerakust, mille mahutavus ületab 432-t milliampertundi. Seega võib vooluallika valida kõikide liitiumpolümeerakude seast, mille pinge jääb vahemikku 3.3 V kuni 5 V ning mahutavus ületab 432 mAh-i 3.3 V pinge korral ning peab olema isegi suurem veel kõrgema pingega vooluallika korral. Liitiumpolümeerakusid võrreldes tuleb vaadelda aku mõtmeid, mahutavust ning tööpinget. Tulemusi kajastatakse tabelis 3.3.

Tabel 3.3. Liitiumpolümeerakude lõplik võrdlus.

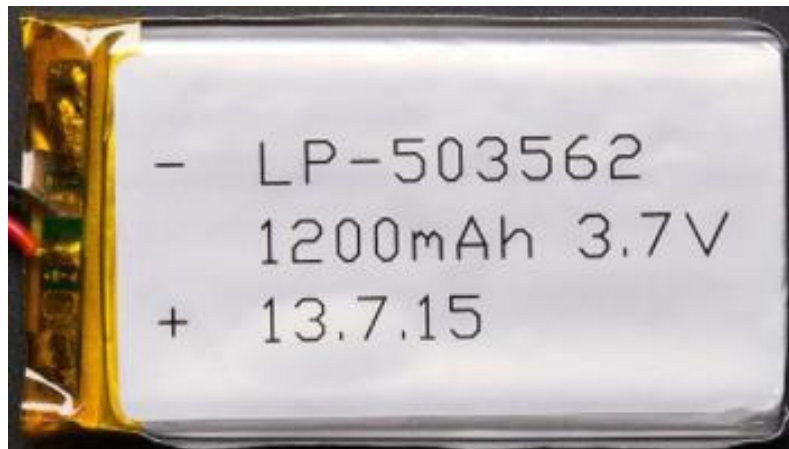
Liitium-polümeeraku	Mõõtmed (D x W x H) / mm	Pinge V	Mahutavus mAh
Adafruit 3.7 V 1200 mAh [15]	62 x 34 x 5	3.7	1200
Adafruit 3.7 V 500 mAh	29 x 36 x 4.75	3.7	500
Adafruit 3.7V 2000 mAh [16]	60 x 36 x 7	3.7	2000

Nendest akudest sobiksid kõik ajamõõtmisüsteemi toiteks nii mõõtmete kui ka mahutavuse poolest. Targem on aga kasutusele võtta mahutavusega 1200 mAh aku, kuna võrreldes mahutavusega 2000 mAh akuga, on selle mõõtmed väiksemad, mistõttu aku paksusest tulenevate probleemide esinemine süsteemi disainimisel on vähem tõenäolisem. Samas aga on selle mahutavus on rohkem kui kaks korda suurem kui mahutavusega 500 mAh akul, mis vähendab probleemide tekkimist kui unustatakse aku laadima panna näiteks ühe võistluspäeva lõppedes, kuna aku võib vastu pidada mitu päeva. Valemi 3.1 abil saab välja arvutada, kaua selle akuga peaks süsteem vastu kui kasutada infrapuna LED-i 3.3 V pingega, mille korral voolutugevus on 9 mA.

$$C = h * A * S$$

$$h = \frac{C}{A * S}$$

$$h = \frac{1200}{9 * 2} = 66,66 \text{ h} \approx 67 \text{ h}$$



Sele 6 – Liitiumpolümeeraku Adafruit 3.7V 1200 mAh

## 3.4 Raadioside moodulid

### 3.4.1 Raadioside moodul mikrokontrolleritele

Kahte raadioside moodulit läheb vaja, et suhelda ajamõõtesüsteemi stardijoone juures oleva alamsüsteemi ning finišijoone juures oleva alamsüsteemi vahel. Süsteemi sobib kõige paremini Ciseco poolt müüdav raadiomoodul ERF, milles on sisse ehitatud nii raadiosaatja kui ka -vastuvõtja [17]. Selle toitepinge jääb soovitud vahemikku, milleks on 3 kuni 5 V ning mõõtmeteks (D x W x H) on 35 x 19 x 3 mm.



Sele 7 – ERF raadiomoodul

### 3.4.2 Raadioside moodul arvutile

Selleks, et arvutil oleks võimalik andmevahetus mikrokontrolleritega, tuleb valida moodul, mis võimaldab ilma juhtmeteta ühendust nende kahe vahel. Selleks on kõige sobilikum valida samuti Ciseco poolt toodetav URF raadiomoodul, millel on olemas nii raadiosaatja kui ka -vastuvõtja. URF raadiomoodul tuleb lihtsalt ühendada arvuti USB porti, mille kaudu saab raadiomoodul toite ning mille abil toimub andmevahetus.



Sele 8 – URF raadimoodul

### 3.5 Lineaarregulaator

Selleks, et infrapuna LED töötaks ühtlaselt ning, et ei oleks suuri intensiivsuse muutusi, peab süsteemi lisama lineaarregulaatori, mis toidab süsteemi konstantse pingega. Kuna akust saadav toitepinge on 3.7 V ning infrapuna LED-i toitmiseks läheb vaja vähemalt 3.3 V, tuleb leida lineaarregulaator, mille sisendpingeks võib olla 3.7 V; väljundpingeks 3.3 V ning väljundvool peab ületama 9 mA. Lisaks sellele ei tohi lineaarregulaatori enda poolt tarbitav pinge olla väga kõrge, sest lineaarregulaatorisse sisseminev pinge peab ületama väljundpinge. Samuti, lineaarregulaatori enda poolt tarbitav vool ei tohiks olla nii suur, et peaks suurema mahutavusega akut kasutama.

Antud parameetritega otsingu teostamisel osutus kõige sobivamaks Texas Instrumentsi toodetud lineaarregulaator TPS706 [18]. Komponenti mõõtmed; sisendpinge; väljundpinge; regulaatori enda poolt tarbitav vool ning pinge on välja toodud tabelis 3.4.

Tabel 3.4. Lineaarregulaator TPS706.

Mõõtmed (D x W x H) / mm	Sisendpinge V	Väljundpinge V	Tarbitav vool mA	Tarbitav pinge V
2.9 x 1.6 x 1	2.7 – 6.5	3.3	0.15	0.245

Tabelist on näha, et kuigi lineaarregulaatori TPS706 tarbitav vool on suhteliselt väike, tuleks uuesti valemi 3.1. abil üle arvutada liitiumpolümeeraku töötundide arv.

$$h = \frac{C}{A \cdot S}$$

$$h = \frac{1200}{9,15 \cdot 2} = 65,57 \text{ h} \approx 66 \text{ h}$$

Tuleb välja, et lineaarregulaatorit kasutades, langeb süsteemi tööaeg ühe tunni võrra. Samuti peab kontrollima, kas aku poolt toodetud pingest piisab lineaarregulaatori ning infrapuna LED-i toitmiseks, mida saab arvutada valemiga 3.2.

$$U_{in} = U_{out} + U_D, \quad (3.2)$$

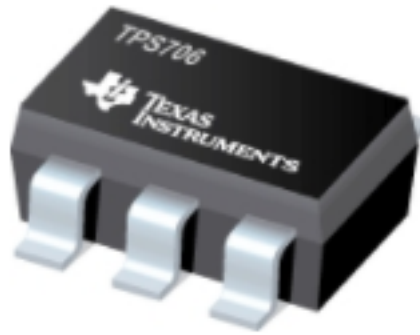
kus  $U_{in}$  – lineaarregulaatori minimaalne sisendpinge, V,

$U_{out}$  – lineaarregulaatori väljundpinge, V,

$U_D$  – lineaarregulaatori poolt tarbitav pinge, V.

$$U_{in} = 3.3 + 0.245 = 3.545 \text{ V}$$

Lineaarregulaator lakkab töötamast, kui liitiumpolümeeraku poolt toodetav pinge langeb alla 3.545 V. Võib järeldada, et antud lineaarregulaatorit võib kasutada infrapuna LED-i toitepinge regulaatorina, sest nagu punktis 3.3.2. mainiti - aku mahutavusest võib ära kasutada vähemalt 80%, sest sellisel juhul aku toodetav pinge langeb 3.6 V-ni.

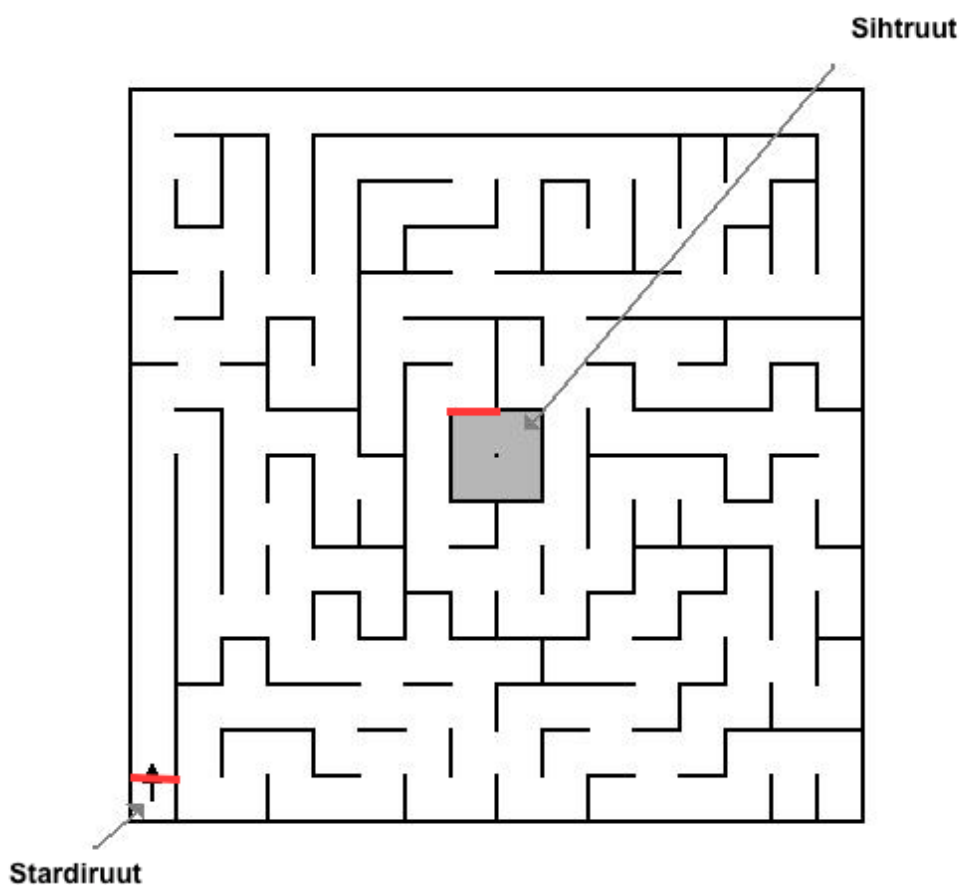


Sele 9 – Lineaarregulaator TPS706



## 4. ÜHTSE SÜSTEEMI LOOMINE

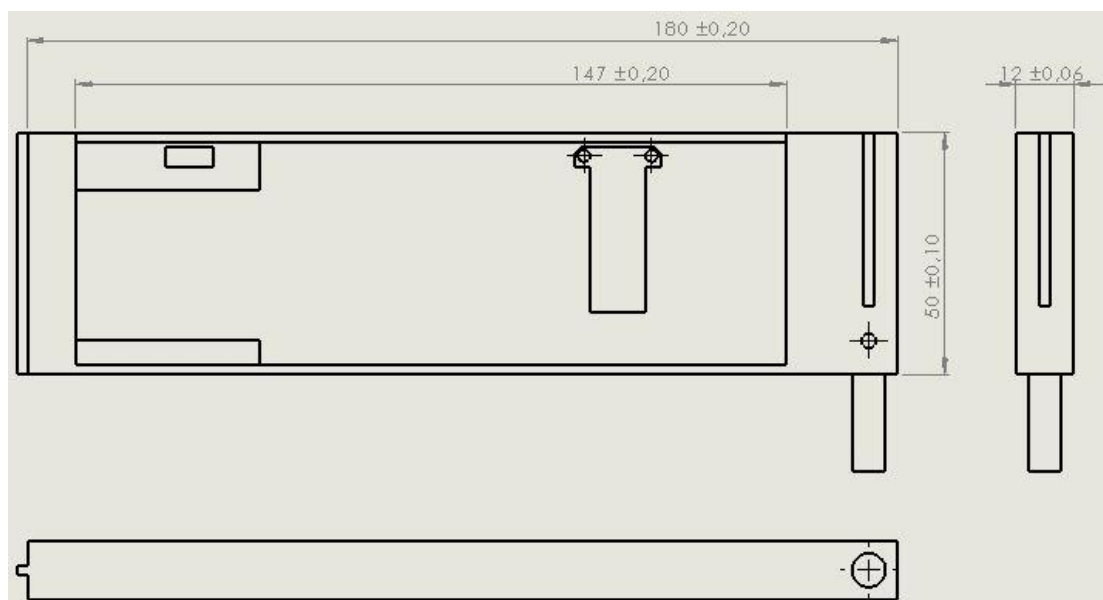
Micromouse'i labürindi elemendid tuleb disainida taoliselt, et infrapunakiir paikneks täpselt kahe ruudu vahel ehk infrapunakiir peab väljuma labürindi posti keskosast ning vastuvõtja peab samuti olema ruudu vastaskülje posti keskosas. Stardijooone ruut on alati kolmest küljest seintega piiratud, mistõttu peavad ajamõõtesüsteemis kasutatavad seinad olema asetatud alati risti stardijooonega, seega infrapunakiire saatja ja vastuvõtja suunad peavad olema seintega risti. Finiširuudu juures olevas ajamõõtesüsteemis kasutatavatest seintest üks asetseb piki finišijooone telge ning teine rist finišijooone teljega, mistõttu ühes seinas paiknev komponent – kas infrapunakiire saatja või vastuvõtja peab olema piki labürindi seina telge ning selle vastas oleva seina sees infrapunakiire saatja või vastuvõtja risti labürindi seina teljega. Kokku tuleb disainida viis elementi, mis on kõik teineteisest erinevad, selleks et saaks ära lahendada kõik labürindi võimalikud asetused. Selel 10 on punase triibuga välja toodud infrapunakiire paiknevus nii stardiruudu korral kui ka sihtruudu korral.



Sele 10 – Micromouse'i labürindi üks võimalikest näidisasetustest [19]

## 4.1 Labürindi seinast ja postist koosneva korpuse mehaanilised osad

Kuna ajamõõtesüsteemi infrapunakiir peab paiknema labürindi posti keskosas, siis selleks, et kogu elektroonika koos liitiumpolümeerakuga süsteemi sisse ära mahuks, tuleb disainida labürindi seinast ja postist koosnev ühtne korpus, kuhu sisse saab paigutada kõik ajamõõtesüsteemi komponendid. Korpusel on ka ühe seina eemaldamise võimalus akude vahetamiseks või hooldustööde teostamiseks. Korpuste disainimisel kasutasin programmi SolidWorks. Tootmistehnoloogiaks on 3D printimine materjalist PLA. Selel 11 on välja toodud labürindi seinast ja postist koosneva korpuse vajalikud mõõtmed.

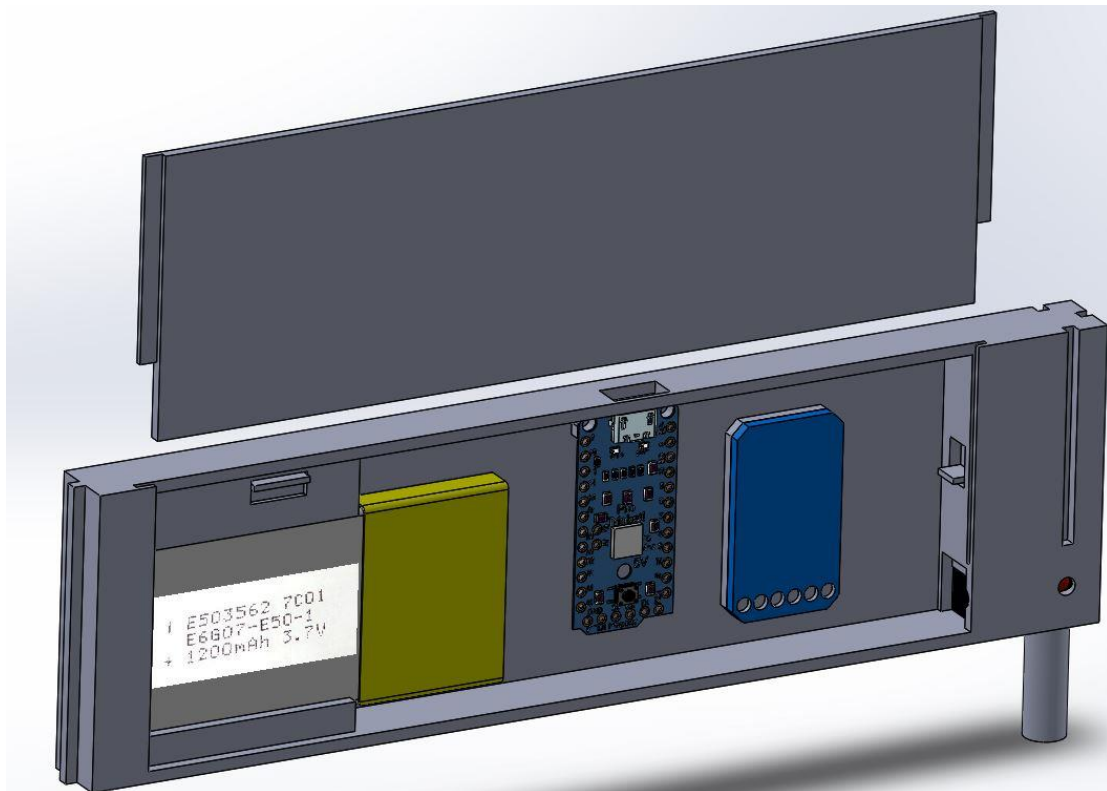


Sele 11 – Labürindi seinast ja postist koosneva korpuse vajalikud mõõtmed

## 4.2 Infrapunakiirt vastuvõttev moodul

Infrapunakiirt vastuvõtva moodulid disainides pidasin silmas, et nii stardiruudu kui ka finiširuudu juures paiknevad need moodulid risti stardi- ja finišijoonega. Et kõiki labürindi erinevaid asetusi oleks võimalik teostada, tuleb disainida kaks erinevat

infrapunakiirt vastuvõtavat moodulit, mis erinevad teineteisest vaid infrapunakiire vastuvõtja erinevast asetusest – kas vastuvõtja asetseb eemaldatava seina pool (paremal) või selle vastasseina pool (vasakul). Mõlemat neist on võimalik kasutada stardijooone juures asuvas ajamõõtesüsteemi osas. Samas aga, sõltuvalt Micromouse'i labürindi asetusest, saab ainult ühte neist kasutada finišijooone juures, mistõttu tuleb kasutada teist stardijooone juures. Selel 12 on välja toodud infrapunakiirt vastuvõttev moodul, mille vastuvõtja asetseb eemaldatava seina pool ehk paremal.

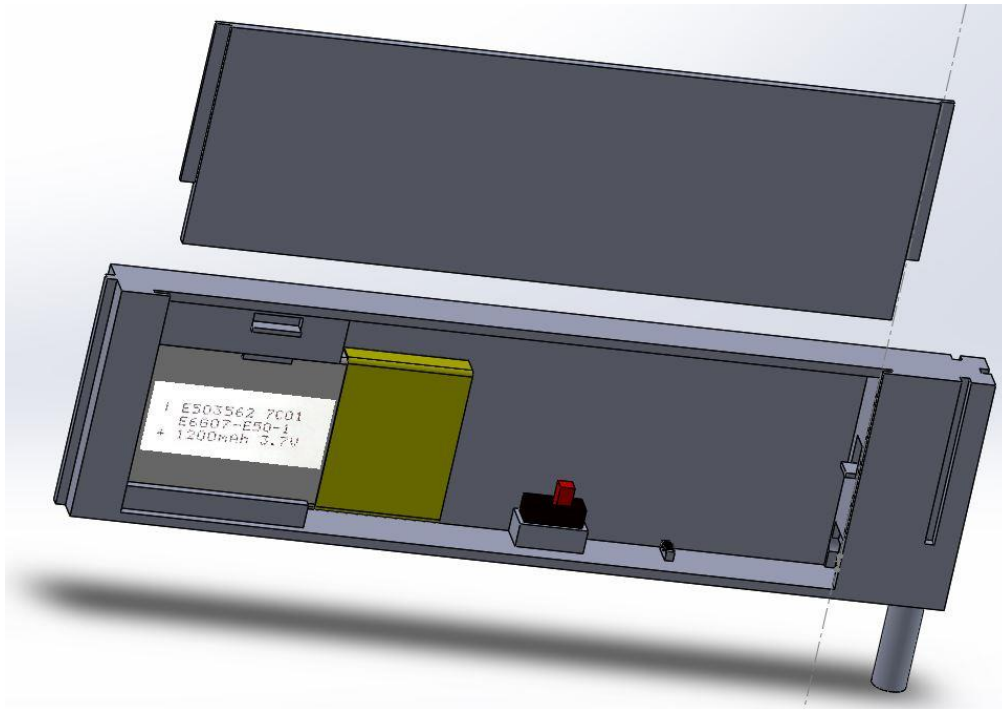


Sele 12 – Infrapunakiirt vastuvõttev moodul – infrapunakiire vastuvõtja paremal

### 4.3 Infrapunakiirt kiirgav moodul

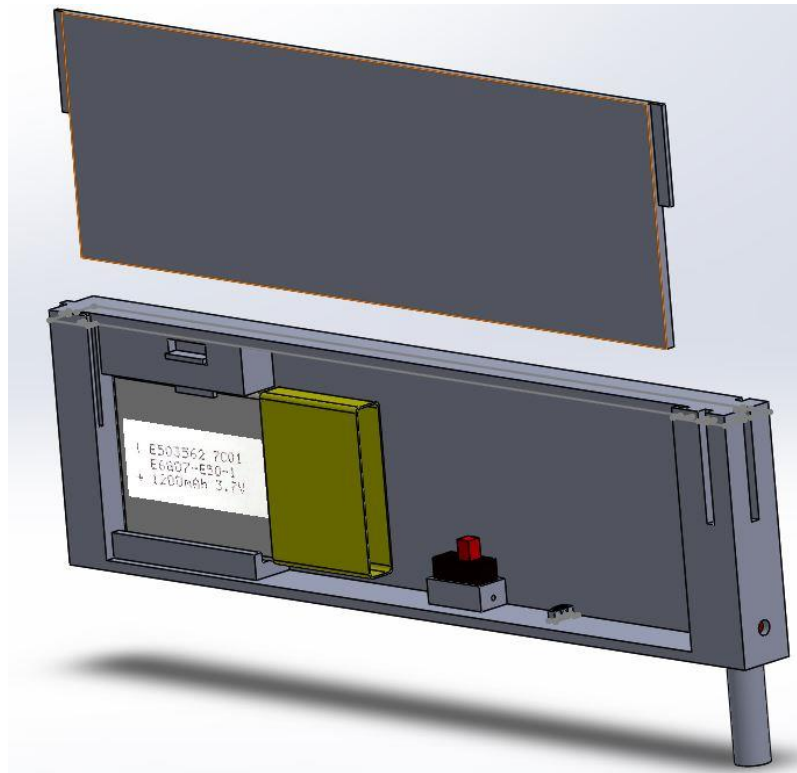
Infrapunakiirt kiirgavaid module läheb vaja disainida kolm erinevat. Kaks tükki neist on mõeldud stardijooone juures asetseva süsteemi osa jaoks, kus mõlemad moodulid paiknevad risti stardijooonega. Sarnaselt infrapunakiirt vastuvõtva mooduliga, erinevad mõlemad moodulid teineteisest vaid infrapuna LED-i asetusest – kas LED asetseb

eemaldatava seina pool (paremal) või selle vastasseina pool (vasakul). Valik nende vahel, et kumba kasutada, sõltub Micromouse'i labürindi asetusest ehk millist infrapunakiirt vastuvõtvat moodulit on kasutatud ning vastavalt sellele tuleb kasutada vastupidist kiirgavat moodulit – ehk kui stardiruudu juures on kasutatud infrapunakiirt vastuvõtvat moodulit, kus vastuvõtja asub paremal, siis on vaja kasutada infrapunakiirt kiirgavat moodulit, kus saatja asub vasakul. Selel 13 on näidatud infrapunakiirt kiirgava mooduli komponentide paigutus korpuse sees.



Sele 13 – Infrapunakiirt kiirgava mooduli komponentide paigutus

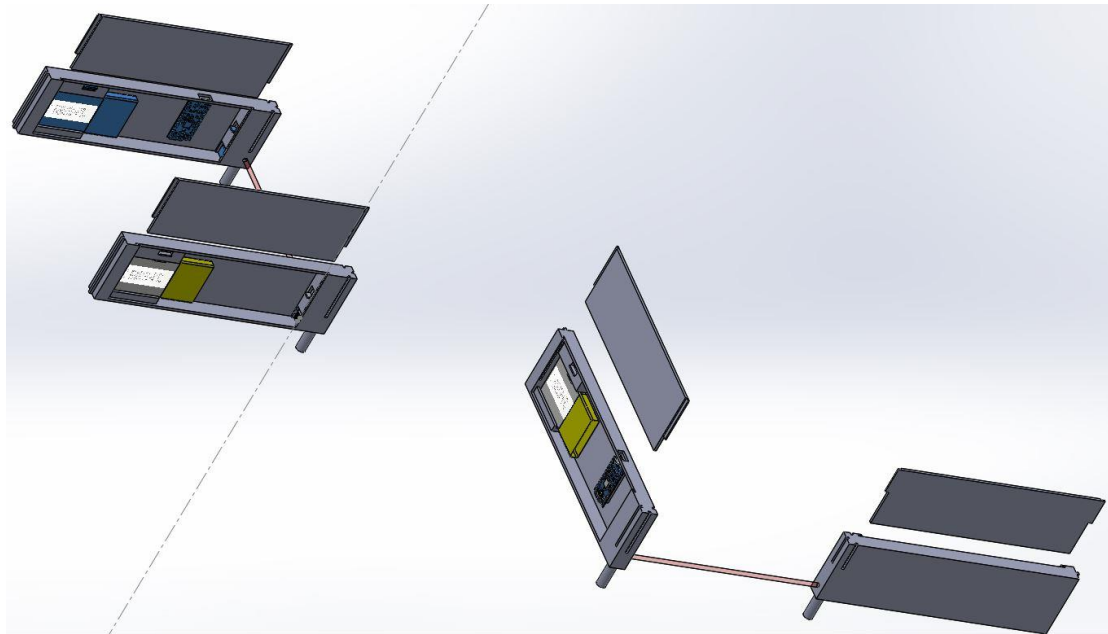
Finišijooone juures asuv infrapunakiirt kiirgaval moodulil paikneb infrapuna LED alati aga piki finišijooone telge.



Sele 14 – Infrapunakiirt kiirgav moodul finišijoone juures

#### 4.4 Kogu süsteemi paiknemine

Selleks, et kogu ajamõõtesüsteem labürinti ära paigutada, tuleb esmalt labürindi paigutuse põhjal selgeks teha, missugust infrapunakiirt vastuvõtvat moodulit (kas vasakut või paremat) finišijoone juures vaja läheb. Seejärel tuleb stardijoone juurde paigutada järele jäänud infrapunakiire vastuvõtja, millele järgneb mõlemale süsteemi osale infrapunakiirt saatva mooduli juurde lisamine. Stardijoone juurde sobiva infrapunakiirt saatva mooduli valimisel tuleb lähtuda sellest, milline infrapunakiirt vastuvõttev moodul paigutati stardijoone juurde. Seel 15 on välja toodud lihtsustatud näide, kus stardijoone juures kasutati vasakut infrapunakiirt saatvat moodulit ning paremat vastuvõtvat moodulit ja finišijoone juures kasutati vasakut infrapunakiirt vastuvõtvat moodulit.

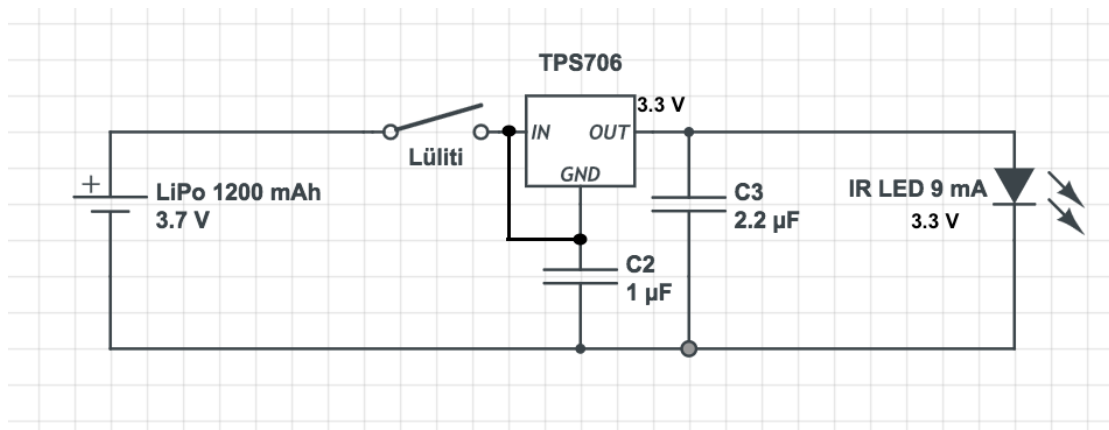


Sele 15 – Kogu ajamõõtesüsteemi paiknevuse lihtsustatud näide

## 4.5 Süsteemi elektriskeemi koostamine

### 4.5.1. Infrapunakiirt kiirgav moodul

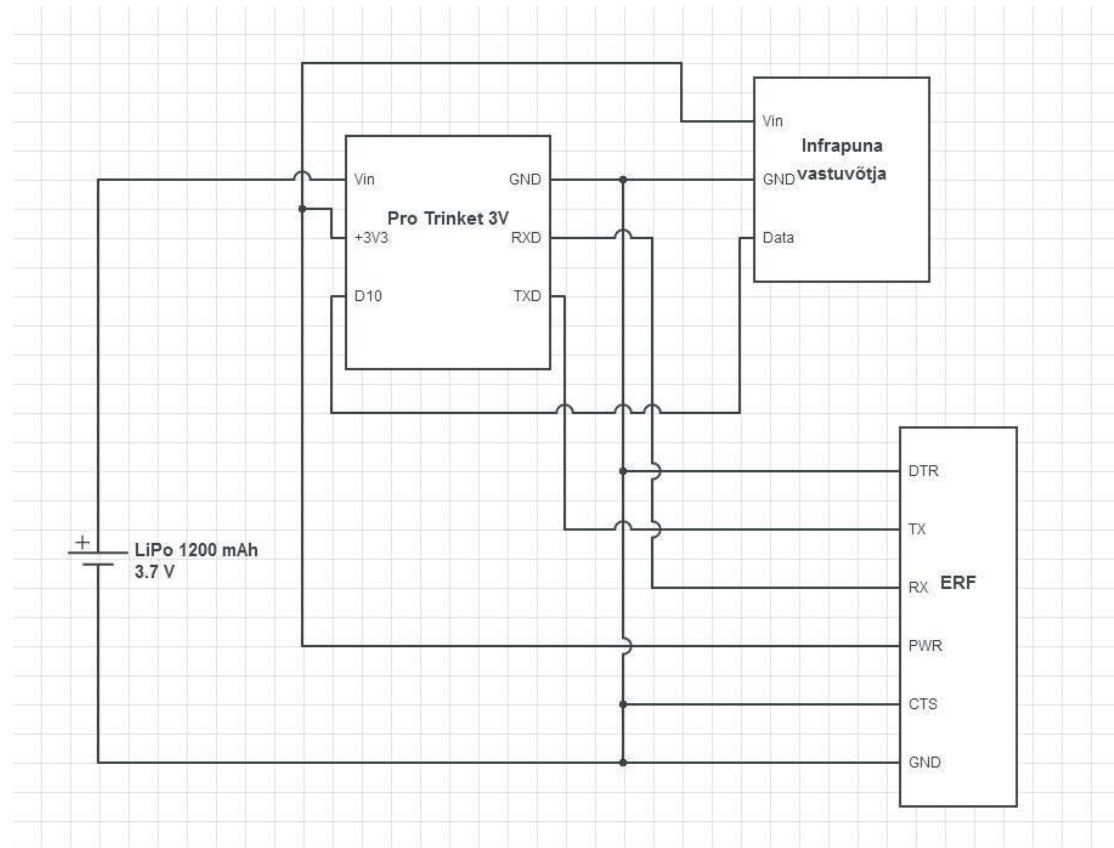
Selel 16 on välja toodud infrapunakiirt kiirgava mooduli elektriskeem, millele tuleb lisada veel ka üks tavaline kahepositsiooniline lüliti voluringi sisse ja välja lülitamiseks.



Sele 16 – Infrapunakiirt kiirgava mooduli elektriskeem

## 4.5.2. Infrapunakiirt vastuvõttev moodul

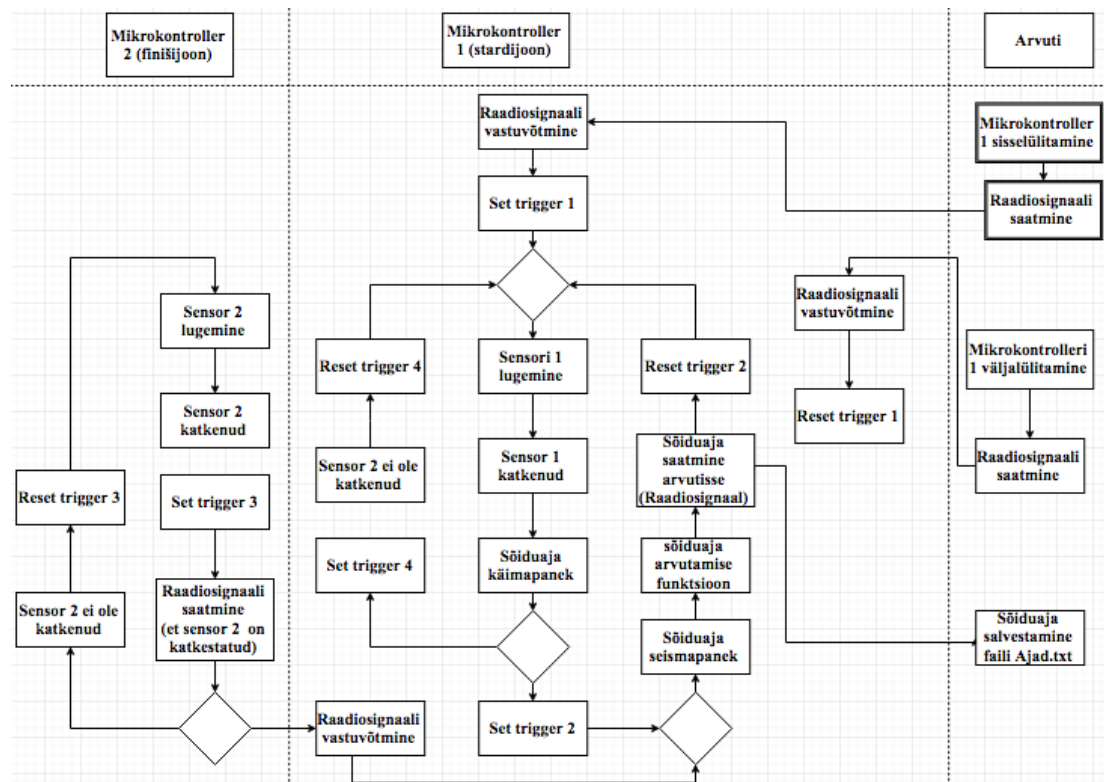
Selel 17 on välja toodud infrapunakiirt vastuvõtva mooduli elektriskeem, kus on tehtud üks lihtsustus – mikrokontrolleril on näha ainult vajaminevad PIN-id.



Sele 17 – Infrapunakiirt vastuvõtva mooduli elektriskeem

## 4.6. Ajamõõtesüsteemi põhimõtteskeem

Selel 18 on välja toodud ajamõõtesüsteemi põhimõtteskeem, kus kirjeldatakse ajamõõtesüsteemi tööprotsessi.



Sele 18 – Ajamõõtesüsteemi põhimõtteskeem

## 4.7. Ajamõõtesüsteemi tarkvara

Kaks mikrokontrollerit ning üks arvuti kontrollivad kogu süsteemi tegevust, nende programmeerimiseks ja kompileerimiseks on kasutatud Arduino IDE programmeerimiskeskonda [20]. Programmeerimine käib C keeles.

Kokku tuli koostada kolm erinevat programmi: esimene neist kontrollib mikrokontroller 1 tegevust, mis asub stardijoone juures; teine kontrollib mikrokontroller 2 tegevust, mis asub finišijoone juures ning kolmas vastutab arvuti



tegevuse eest. Mikrokontrollerite programmide katsetamise võimalus puudus, kuid arvutis kasutatava programmi katsetamiseks sai loodud programm, mida on võimalik kompileerida ja käivitada läbi terminali. Selle programmi kasutamiseks Arduino IDE programmeerimiskeskkonnas tuleb, programmi muutes, viia see kooskõlla viimases kasutatava süntaksiga.

#### 4.7.1. Mikrokontroller 1 tarkvara

Mikrokontroller 1 ülesanneteks on robothiire sõiduaja alustamine, selle lõpetamine ning sõiduaja arvutisse saatmine. Samuti võtab mikrokontroller 1 vastu informatsiooni mikrokontroller kahest, kust tuleb informatsioon sõiduaja lõpetamisest ning ka arvutist, kust saab mikrokontroller 1 informatsiooni selle kohta, millal tuleb ajamõõtesüsteem sisse või välja lülitada. Järgnevalt on lisatud mikrokontroller 1 kood.

```
#include <SPI.h>
#include <Wire.h>
#define SENSORPIN 10 // Mitmendasse PIN-i on sensor ühendatud

long stardi_aeg; // Aeg, mil sensor 1 katkestati
long lõpu_aeg; // Aeg, mil sensor 2 katkestati
long kulunud_aeg; // lõpu_aeg - stardi_aeg = kulunud_aeg
int SensorStart_olek; // Stardijoone sensori olek
int trigger1 = 0; // Arvutist tulnud käsklus (kas süsteem töötab või mitte)
int trigger2 = 0; // Stardiaja käivitamine
int trigger3 = 0; // Finišijoone sensori olek
int trigger4 = 0; // Robothiire katse alustamine
int incomingByte = 0; // Sissetulev signaal

void setup()
{
    pinMode (SENSORPIN, INPUT); // Sensor määramine sisendiks
```

```

digitalWrite (SENSORPIN, HIGH); // Pullup takisti sisselülitamine
Serial.begin(9600); // Andmevahetuse alustamine
}

void aeg_saamine()
{
    kulunud_aeg = l6pu_aeg - stardi_aeg;
    Serial.write (kulunud_aeg); // Kulunud aja saatmine arvutisse
}

void loop()
{
    if(Serial.available() > 0) // Andmete vastuvõtmine
    {
        // Sissetulevate andmete lugemine
        incomingByte = Serial.Read();
        if (incomingByte == '1') // Trigger 1 sisselülitamine
        {
            trigger1 = 1; // Süsteemi sisselülitamine (tuleb arvutist)
        }
        if (incomingByte == '2') // Trigger 1 väljalülitamine
        {
            trigger 1 = 0; // Süsteemi väljalülitamine (tuleb arvutist)
        }
        if (incomingByte == '3') // Trigger 3 sisselülitamine
        {
            // Finišijoone kiire katkestamine(tuleb mikrokontroller 2-st)
            trigger3 = 1;
        }
    }
    // Sensori oleku lugemine
    SensorStart_olek = digitalRead(SENSORPIN);
    // Kas IR kiir on katkestatud
    if (SensorStart_olek == LOW || trigger4 == 0)

```

```

{
    trigger4 = 1; // Robothiir alustas uut katset
    // Kas tohib sõiduaega mõõtma hakata
    if (trigger1 == 1 && trigger3 == 0 && trigger4 == 1)
    {
        stardi_aeg = millis(); // Stardiaja hetke salvestamine
        trigger2 = 1; // Stardiaeg käima pandud
    }
}
if (SensorStart_olek == HIGH)
{
    trigger4 = 0; // trigger 4 Reset
}
// Kas tohib sõiduaaja seisma panna
if (trigger1 == 1 && trigger2 == 1 && trigger3 == 1)
{
    lõpu_aeg = millis();
    aeg_saatmine(); // Aja saatmise funktsiooni käivitamine
    trigger 2 = 0; // Reset mõlemale triggerile
    trigger 3 = 0;
}
}

```

#### 4.7.2. Mikrokontroller 2 tarkvara

Mikrokontroller 2 ülesandeks on raadiosignaali saatmine mikrokontroller ühte, kui roboothiir on katkestanud finišijoone juures oleva infrapuna kiire. Programmi näide on toodud lisas 1.

### 4.7.3. Arvuti tarkvara

Arvutis kasutatava programmi ülesandeks on ajamõõtesüsteemi sisse- või väljalülitamine saates vastava signaali esimesse mikrokontrollerisse. Samuti peab see vastu võtma mikrokontroller ühest saadetud robothiire sõiduaja, selle teisendama millisekunditest minutiteks sekunditeks ning millisekunditeks ja salvestama selle tekstifaili Ajad.txt koos robothiire katse lõpetamise ajaga. Selleks, et seda programmi saaks testida, on programmi muudetud taoliselt, et simuleerida programmi töötamist, kus kasutaja saab sisestada robothiire stardiaja ja lõpuaja ning seejärel programm teisendab aja vastavale kujule ja salvestab selle andmebaasi koos sõidu lõpuajaga. Simuleeritav programmi näide on toodud lisas 2; selle simuleerimine lisas 3 ning tekstifaili näide lisas 4.

## 5. AJAMÕÖTESÜSTEEMI MÄÄRAMATUSE HINDAMINE

Arendatava ajamõõtesüsteemi mõõdetavaks suuruseks on ajavahemik  $\Delta T$ :

$$\Delta T = T_2 - T_1 \quad (5.1)$$

kus  $\Delta T$  – ajavahemik, s,

$T_1$  – ajavõtu sisselülitamise hetk, s,

$T_2$  – ajavõtu väljalülitamise hetk, s.

Kahe hetke vahelise kestvuse loendamine põhineb mikrokontrolleri sisemisel sagedusgeneraatoril.

Mõõdetava ajaintervalli  $\Delta T$  lihtsustatud mõõtemudeliks [21] on antud töös võetud:

$$\Delta T = (T_2 - T_1) + \sum_{i=1}^n \delta T_i, \quad (5.2)$$

kus  $\delta T_i$  – mõõtmiste mõjuritest tingitud parandid, s.

Peamistest mõjuritest võib üles lugeda järgmisi:

$\delta T_{KAL}$  – mõõtesüsteemi kalibreerimine, s,

$\delta T_{KOR}$  – sisse- ja väljalülitushetke korratavus, s,

$\delta T_{KUJU}$  – robothiire kuju, s,

$\delta T_{KIIRUS}$  – robothiire liikumise kiirus, s.

Ajamõõtesüsteemi kalibreerimist võib läbi viia etalongeneraatorist väljastavate impulsside loendamise teel, mis annab võimaliku parandi ajamõõtesüsteemi mõõdetud ajaintervallile ja sellega seotud määramatuse komponendi  $u_{KAL}$ .

Sisse- ja väljalülitushetkekorratavust ja sellest tuleneva määramatuse komponendi  $u_{KOR}$  saab hinnata samades tingimustes katsete kordamise teel.

Robothiire kuju võimaliku mõju mõõtetulemusele ja sellega seotud määramatust  $u_{KUJU}$  on võimalik hinnata erinevate geomeetriliste kujundite kasutamisega infrapunakiire katkestamisel.

Katseid tuleks sooritada ka robothiire liikumise kiiruse ja mõju sellega seonduva määramatuse komponendi  $\mu_{\text{KIIRUS}}$  uurimiseks ajaintervalli mõõtetulemusele.

Kiirguri, vastuvõtja ja robothiire materjali spektraalseid omadusi ei ole antud töös lihtsustatud mõõtemudelisse arvesse võetud. Samuti on eeldatud, et võistlusruumi taustavalgusest põhjustatud signaal vastuvõtjas ja vastuvõtja pimesignaal on tühised võrreldes avatud kiire poolt tekitatud signaaliga vastuvõtjas.

Kogu ajamõõtesüsteem tuleb ülesande lisa-eesmärgist lähtuvalt üles ehitada ja katsetused sooritada nii, et sooritavate ajaintervalli mõõtmiste laiendatud liitmääramatus katteteguriga  $k = 2$  oleks väiksem kui 10 ms.

## 6. OHUTUS

Süsteemi puhul kõige suuremaks ohuks võib pidada liitiumpolümeerakut, mille ebakorrektse laadimisel ning kaitsesüsteemi puudumisel võib akupõlema süttida ning isegi plahvatada [22]. Lisaks sellele võib süttimine tekkida suurema mehaanilise vigastuse korral, klemmide vahel lühise tekkimisel või aku laadimisel liiga kõrge temperatuuriga ümbritsevas keskkonnas.

Nende ohtude vältimiseks peab liitiumpolümeerakude käsitlemisel järgima järgnevaid nõuandeid [23].

- Akude laadimisel peab järgima iga aku laadimisnõudeid ja kasutama ettenähtud laadijaid.
- Akude täielikul täis laadimisel on aku maksimaalseks pingeks 4.2 V ning aku pinge tühjaks laadimisel ei tohi langeda alla 3.0 V.
- Akusid laadida temperatuurivahemikus 0 – 50 °C.
- Akude laadimist teostada ainult järelvalve all.
- Akusid, mis on paisunud või mehaaniliselt viga saanud, ei tohi laadida.
- Kui aku hakkab laadimisel paisuma, siis tuleb laadimine peatada ning akut jälgida 15 minutit.

Kuna ajamõõtesüsteemi tööpingeks on kõigest kuni 4.2 V alalispinge, siis elektriouhtusseaduse järgi langeb taoline elektritöö lihtsa elektritöö kategooriasse ning selletõttu võib seda teostada iga isik [24].

Väiksematest ohtudest aga, võib välja tuua mõne komponendi läbipõlemise, mis toob endaga kaasa ainult majanduslikku kahju.

## 7. AJAMÕÖTESÜSTEEMI MAJANDUSLIK HINNANG

Tabelis 7.1. on välja toodud seinaelementide komponentide mass, nende vajalik kogus ning 3D printimise hind, arvestades, et prinditakse materjalist PLA roosa, mille hinnaks on 0.5 €/g [25]. Prinditava detaili massi leidmiseks kasutati SolidWorksi massi hindamise võimalust, kus PLA tiheduseks sisestati 1,25 g/cm<sup>3</sup> [26]. Komponentide nimetused on võetud detailide CAD failinimede järgi.

Tabel 7.1. 3D printimise hind.

Komponent	Mass g	Kogus	Hind €
Finiši saatja sein	18,87	1	9,435
Finiši saatja korpus	37,95	1	18,975
Klapp - Sensor	0,13	5	0,325
Klapp - Aku	0,13	5	0,325
Saatja korpus	44,53	2	44,53
Sein	17,78	4	35,56
Vastuvõtja korpus	46,32	2	46,32
		Hind kokku €	155,47

Tabelis 7.2. on välja toodud ajamõõtesüsteemi komponentide vajalik kogus ning nende hinnad dollarites. Kuigi ajamõõtesüsteemi jaoks tuleb ehitada 5 erinevat osa, on akud siiski süsteemis lihtsasti vahetatavad osad, mistõttu läheb neid vaja 4 tükki.



Tabel 7.2. Ajamõõtesüsteemi komponentide hinnad.

Komponent	Kogus	Tükihind \$	Hind \$
Adafruit Pro Trinket Mini – 3V/12MHz	2	9,95	19,9
Adafruit IR break beam sensor – 3mm	3	195	5,85
Adafruit 3.7 V 1200 mAh	4	9.95	39,8
NI TPS 706	3	0,92	2,76
Ciseco ERF [27]	2	32,79	65,58
Ciseco URF [28]	1	36,88	36,88
		Hind kokku \$	170,77

Ajamõõtesüsteemi komponentide hind eurodes tuleb 152.78€ ning kokku tuleb kogu süsteemi kogusummaks 308,25 €. Hinnad on võetud Ineternetikauplustest ning nende sisse ei arvestata transpordikulu ega süsteemi arendamiseks ning kokku panemiseks vajaminevat tööjõu kulu.

Kuigi ajamõõtesüsteem tundub olevat üpriski kallis, võib öelda, et enamus komponente on targalt valitud. Hinna ajavad kõrgeks 3D printimine ning ka raadiomoodulid. Võrreldes taustauuringus mainitud Jaapanis kasutatavate sensoritega, mille tükihinnaks oli 110,7 €, olid antud lõputöös valitud sensorid hinnaga 1,95 \$ üle 50-ne korra odavamad. Teisi komponente ei ole võimalik võrrelda, kuna puudub ülevaade Jaapani robotivõistluse ajamõõtesüsteemi ülejäänud osadest.

## KOKKUVÕTE

Selle bakalaureuse lõputöö eesmärgiks oli luua ajamõõtesüsteemi ideeline lahendus robotivõistluse Micromouse jaoks, kus kasutatakse infrapunakiire katkestamise põhimõttel töötavaid sensoreid. Lisa-eesmärgiks sai püstitatud ajamõõtesüsteemi teatud täpsuse saavutamine, milleks valiti 10 millisekundit.

Töö esimeses etapis uuriti juba olemasolevaid ajamõõtesüsteeme, mida kasutatakse robotivõistluses Micromouse. Uuringu käigus selgus, et leidub päris palju erinevaid projekte, mis sarnanevad selle lõputööga ainult infrapunakiire katkestamise põhimõttel töötavate sensorite poolest, kuid nende omavaheline suhtlus käib läbi juhtmete, mitte ei tööta raadioside põhjal, nagu on selles lõputöös nõutud. Samuti pole need integreeritud katseobjektide poolt läbitava raja sisse ega pea ajamõõtesüsteemi asetust pidevalt muutma. Lisaks veel selle etapi käigus uuriti Robotexi reegleid kui ka Micromouse'i väljakut ning toodi välja kõik kriteeriumid, mida peab järgima ajamõõtesüsteemi koostamisel.

Töö teises etapis koostati ajamõõtesüsteemi kontseptuaalne lahendus, kus võeti arvesse kõiki etapis 1 mainitud kriteeriumid ja piiranguid. Tuli koostada kaks alamsüsteemi, mille kõik elemendid asetsevad labürindi seinte sees. Esimene alamsüsteem asub stardijoone juures, mis paneb käima robothiire sõiduaja ning teine finišijoone juures, mis paneb sõiduaja seisma. Sellele järgnevalt tuli välja valida süsteemi komponendid, mis on tarvilikud kogu süsteemi valmis ehitamiseks, nende puuduseid ja eeliseid analüüsides.

Kolmandaks etapiks oli ühtse süsteemi loomine, kus tuli koostada labürindi seinast ja postist koosnev element ehk korpus, mille sisse saab kõik ajamõõtesüsteemi komponendid paigutada. Selleks, et oleks võimalik kõiki labürindi asetusi teostada, pidi disainima 5 korpust, mis erinesid teineteisest mingite aspektide poolest. Järgmiseks koostati elektriskeem, mille abil on võimalik kõik süsteemi komponendid ühendada. Süsteemi tarkvara loomisel oli abi ajamõõtesüsteemi töö põhimõtteskeemi koostamisest, millele tuginedes oli võimalik kirjutada programme kahele mikrokontrollerite ja arvutile.

Töö lisaeesmärgi saavutamiseks sai ehitatud lihtsustatud mõõtemudel. Erinevate testide läbiviimisel mudeli jaoks parameetrite leidmiseks, on võimalik leida ajamõõtesüsteemi väljundi jaoks laiendatud liitmääramatus katteteguriga  $k = 2$ , mis oleks väiksem kui 10 ms.

Ajamõõtesüsteemi realselt kokku pannes võib kindlasti kerkida esile probleeme, mida ei ole arvesse võetud käesoleva lõputöö kirjutamisel. Sellegipoolest leian, et tehtud ideelahendus on sobiv alus reaalsele, eesmärkidele vastava, ajamõõtesüsteemi loomisele, mida on võimalik kasutada tulevastel robotivõistlustel.

## SUMMARY

The aim of this thesis was to create a conceptual design of a time-measuring system for the robotics competition Micromouse, which is based on infrared break-beam sensors. Moreover, the additional goal was to theoretically find a way to achieve a certain level of accuracy, which was selected to be 10 milliseconds.

The first stage of this thesis was to conduct research on previously created time-measuring systems, which are used in the robotics competition Micromouse. During the research, it was found that there are quite many prior systems that use infrared break-beam sensors. However, the data communication in those projects was done by the use of wires, not by radio waves as it is required in this thesis. In addition, the prior systems are not integrated into the path of the test objects as well as there is no need to change the layout of the system. Furthermore, during this stage, thorough analysis of the Robotex Micromouse rules and the maze of Micromouse was done to find out and compile all the criteria that are needed to follow when constructing the time-measuring system.

In the second stage of the thesis the conceptual design for the time-measuring system was created, where all the criteria and restrictions mentioned in stage 1 were taken into account. It was necessary to create two subsystems where all the components are placed inside the walls of the maze. The first subsystem is located at the starting line and designed to start the lap time of the robot mouse. The second subsystem is located at the finish line and its assignment is to stop the lap time. The subsequent task was to choose components needed for the time-measuring system by analysing their advantages and disadvantages.

The aim of the third stage was creating a unified system, where a combined element, consisting of a maze wall and a post, had to be designed to place all the components of the time-measuring system. In order to realize all possible layouts of the maze, it was necessary to design five elements, which all differ between each other by some aspects. Following that, an electrical circuit had to be composed, by help of which, all of the components could be connected. When creating software for the system,

drawing up a circuit diagram was helpful, based on which it was possible to write programs for two microcontrollers and one computer.

To fulfill the additional goal, a simplified model for competition time measurement was developed. By performing tests in order to find parameters for the aforementioned model, it is plausible to identify the expanded uncertainty for the output of the time-measuring system with the coverage factor of  $k = 2$ , which would be lesser than 10 ms.

Even though when constructing the time-measuring system in reality, a number of problems might occur which could not be foreseen during compilation of this thesis. Despite of that, I think that with this conceptual design, a suitable foundation has been laid for creating a real time-measuring system, which corresponds to the aim set out in this thesis and it might find use in the upcoming robotics competitions.

## KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Robotex 2016 Labürint Reeglid [WWW]  
<http://www.robotex.ee/docs/file/2016/Reeglid/Robotex%202016%20Lab%C3%BCrint%20reeglid.pdf> (24.04.2017)
- [2] New Technology Foundation Micromouse Rules [WWW]  
[http://www.ntf.or.jp/mouse/micromouse2017/index\\_EN.html](http://www.ntf.or.jp/mouse/micromouse2017/index_EN.html) (24.04.2017)
- [3] Fiber Optic Sensor E32T14L [WWW]  
<http://ee.farnell.com/omron-industrial-automation/e32t14l/lead-fibre-optic-separate/dp/1603028> (24.04.2017)
- [4] IR Break Beam Hot Wheels Car Speed Track [WWW]  
<https://www.hackster.io/falafelsoftware/ir-break-beam-hot-wheels-car-speed-track-361455> (23.05.2017)
- [5] Micromouse Labürint [WWW]  
<http://www.robotstorehk.com/micromouse/doc/Maze5.pdf> (24.04.2017)
- [6] IR Break Beam Sensor 3 mm [WWW]  
<https://www.adafruit.com/product/2167> (26.04.2017)
- [7] Arduino Pro Mini – 5V/17MHz [WWW]  
<https://www.sparkfun.com/products/11113> (27.04.2017)
- [8] Arduino Pro Mini – 3.3V/8MHz [WWW]  
<https://www.sparkfun.com/products/11114> (27.04.2017)
- [9] Adafruit Pro Trinket – 3V/12MHz [WWW]  
<https://www.adafruit.com/product/2010> (27.04.2017)
- [10] Adafruit Pro Trinket – 5V/16MHz [WWW]  
<https://www.adafruit.com/product/2000> (27.04.2017)
- [11] CR2477 Battery, 3V, Lithium, 1000 mAh [WWW]  
<http://ee.farnell.com/multicomp/cr2477/coin-cell-lithium-3v-1000mah-cr2477/dp/2065175> (28.04.2017)
- [12] Alkaline patarei AAA R3 1.5V Greencell GP [WWW]  
[https://www.oomipood.ee/product/24g\\_nl4\\_1tk\\_patarei\\_aaa\\_r3\\_1\\_5v\\_greencell\\_gp](https://www.oomipood.ee/product/24g_nl4_1tk_patarei_aaa_r3_1_5v_greencell_gp) (28.04.2017)
- [13] Adafruit Lithium Ion Polymer Battery – 3.7V 500mAh [WWW]  
<https://www.adafruit.com/product/1578> (28.04.2017)

- [14] Arduino Pro Mini V2 Power Consumption [WWW]  
<https://www.whizzy.org/2015/06/howto-very-low-power-usage-on-pro-mini-v2-arduino-clone/> (28.04.2017)
- [15] Adafruit Lithium Polymer Battery – 3.7V 1200 mAh [WWW]  
<https://www.adafruit.com/product/258> (28.04.2017)
- [16] Adafruit Lithium Ion Polymer Battery – 3.7V 2000mAh [WWW]  
<https://www.adafruit.com/product/2011> (28.04.2017)
- [17] ERF and URF Wireless Radio Module [WWW]  
<http://www.picaxe.com/docs/rfa020.pdf> (05.05.2017)
- [18] Linear Regulator TPS706 [WWW]  
<http://www.ti.com/product/TPS706?dcmp=dsproject&hqs=pf> (10.05.2017)
- [19] Micromouse Maze Example Setup [WWW]  
<http://www-ee.eng.hawaii.edu/~mmouse/about.html> (10.05.2017)
- [20] Arduino IDE [WWW]  
<https://www.arduino.cc/en/Main/Software> (21.05.2017)
- [21] R. Laaneots, O. Mathiesen, J. Riim, Metroloogia : õpik kõrgkoolidele, TTÜ Kirjastus, 2012, lk 116
- [22] Dangers of LiPo Batteries [WWW]  
<https://electronics.stackexchange.com/questions/230155/why-is-there-so-much-fear-surrounding-lipo-batteries> (22.05.2017)
- [23] LiPo Battery Safety Guide [WWW]  
<http://www.icharger.co.nz/buying/resources-faq/lipo-lithium-battery-safety-guide/> (22.05.2017)
- [24] Elektriõhutusseadus [WWW]  
<https://www.riigiteataja.ee/akt/12894666> (22.05.2017)
- [25] Robotiklubi 3D printimine [WWW]  
<https://www.robotiklubi.ee/teenused/printimine> (24.05.2017)
- [26] PLA tihedus [WWW]  
<https://3duniverse.org/2014/06/12/an-experiment-using-dual-extrusion-to-3d-print-a-plastic-object-with-a-bronze-shell/> (24.05.2017)
- [27] Ciseco ERF hind [WWW] <https://core-electronics.com.au/erf-0-1inch-pin-spaced-radio-module.html> (24.05.2017)
- [28] Ciseco URF hind [WWW] <https://core-electronics.com.au/urf-radio-module-and-serial-inteface-via-usb.html> (24.05.2017)

# LISAD

## Lisa 1

```
#include <SPI.h>
#include <Wire.h>
#define SENSORPIN 10 // mitmendasse PIN-i on sensor ühendatud
int SensorFinis_olek; // Finišioone sensori olek
int trigger3; // Finišijooone sensori olek

void setup()
{
    pinMode (SENSORPIN, INPUT); // Sensor määramine sisendiks
    digitalWrite (SENSORPIN, HIGH); // Pullup resistori sisselülitamine
    Serial.begin(9600); // Andmevahetuse alustamine
}

void loop()
{
    SensorFinis_olek = digitalRead(SENSORPIN); // Sensori oleku lugemine
    if (SensorFinis_olek == LOW) // Kas IR kiir on katkestatud
    {
        if (trigger3 == 0) // Kas tohib saata signaali Mikrokontroller 1-te
        {
            trigger3 = 1; // Trigger 3 set
            Serial.write(3); // Andmete saatmine mikrokontroller 1-te
        }
    }
    if (SensorFinis_olek == HIGH)
    {
        trigger3 = 0; // Trigger 3 reset
    }
}
```



## Lisa 2

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <time.h>

int main(void)
{
    long stardi_aeg;
    long lõpu_aeg;
    long kulunud_aeg;
    int minutid;
    int sekundid;
    int i;

    printf ("Sisestage stardiaeg millisekundites:\n"); // Stardiaja küsimine
    scanf ("%ld", &stardi_aeg); // Stardiaja salvestamine
    printf ("Sisestage lõpuaeg millisekundites:\n"); // Lõpuaja küsimine
    scanf ("%ld", &lõpu_aeg); // Lõpuaja salvestamine

    kulunud_aeg = lõpu_aeg - stardi_aeg;
    if (kulunud_aeg < 300000)
    {
        minutid = kulunud_aeg / (60*1000); // Täisminutite arvutamine
        kulunud_aeg = kulunud_aeg - minutid*(60*1000); // Jääk läheb
        sekundite arvutamiseks
        sekundid = kulunud_aeg / 1000; // Täissekundite arvutamine
        kulunud_aeg = (kulunud_aeg - sekundid*1000); // Jääk jääb
        järelejäänud millisekunditeks
    }
    else
    {
        kulunud_aeg = 0;
```

```

        sekundid = 0;
        minutid = 5;
    }
    time_t rawtime; // Kellaaja saamine
    struct tm *info;
    char buffer[80];
    time( &rawtime );
    info = localtime( &rawtime );
    FILE *f = fopen("Ajad.txt", "a"); // Andmete salvestamiseks faili avamine
    (kirjutamine faili lõppu)
    if (f == NULL)
    {
        printf("Error opening file!\n"); // Faili ei õnnestunud avada
        exit(1);
    }
    fprintf(f, "%s Sõiduaeg: %02d min %02d s %03ld ms\n\n",
    asctime(info), minutid, sekundid, kulunud_aeg); // Kellaaja ja sõiduaja
    salvestamine faili lõppu
    fclose(f);
    return 0;
}

```

## Lisa 3

Sisestage stardiaeg millisekundites:  
125  
Sisestage lõpuaeg millisekundites:  
90625  
Tue May 23 10:48:15 2017  
Sõiduaeg: 01 min 30 s 500 ms

Sisestage stardiaeg millisekundites:  
123456  
Sisestage lõpuaeg millisekundites:  
654321  
Tue May 23 10:48:22 2017  
Sõiduaeg: 05 min 00 s 000 ms

Sisestage stardiaeg millisekundites:  
7777  
Sisestage lõpuaeg millisekundites:  
77777  
Tue May 23 10:48:33 2017  
Sõiduaeg: 01 min 10 s 000 ms

Sisestage stardiaeg millisekundites:  
15  
Sisestage lõpuaeg millisekundites:  
6531  
Tue May 23 10:48:48 2017  
Sõiduaeg: 00 min 06 s 516 ms

Sisestage stardiaeg millisekundites:  
8000  
Sisestage lõpuaeg millisekundites:  
50000  
Tue May 23 10:49:00 2017  
Sõiduaeg: 00 min 42 s 000 ms

## Lisa 4

```
151 Tue May 23 10:42:46 2017
152     Sõiduaeg: 01 min 30 s 000 ms
153
154 Tue May 23 10:42:58 2017
155     Sõiduaeg: 01 min 30 s 000 ms
156
157 Tue May 23 10:43:07 2017
158     Sõiduaeg: 00 min 00 s 576 ms
159
160 Tue May 23 10:48:15 2017
161     Sõiduaeg: 01 min 30 s 500 ms
162
163 Tue May 23 10:48:22 2017
164     Sõiduaeg: 05 min 00 s 000 ms
165
166 Tue May 23 10:48:33 2017
167     Sõiduaeg: 01 min 10 s 000 ms
168
169 Tue May 23 10:48:48 2017
170     Sõiduaeg: 00 min 06 s 516 ms
171
172 Tue May 23 10:49:00 2017
173     Sõiduaeg: 00 min 42 s 000 ms
```