

Tartu Ülikool

Loodus- ja täppisteaduste valdkond

Tehnoloogiainstituut

Mattias Kõrv

Nutilüli

Bakalaureusetöö (12 EAP)

Arvutitehnika eriala

Juhendajad: elektroonika spetsialist Teet Tilk

vanemteadur Heiki Kasemägi

Tartu 2019

Resümees/Abstract

Nutilüiti

Prægusel nutiajastul on inimestel kasvav huvi oma kodu aina targemaks muuta. Kuid nutikodu loomine ei ole sugugi kõigile kergesti kättesaadav või lihtne. Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks on luua seade, millega on võimalik standardseid kangid põhimõttel töötavate nuppudega seinalüliteid juhtida juhtmevabalt mobiilse rakendusega. Töös antakse ülevaade turul olevatest sarnastest seadmetest ning ka huviprojektide lahendustest. Töö tulemusel disainitakse prototüüp ning sellega kaasnev serveri- ning mobiilirakenduse tarkvara.

CERCS: T125 Automatiseerimine, robotika, T191 Kõrgsagedustehnoloogia, mikrolained,

Märksõnad: elektroonika, mehaanika, automatsioon

Smart switch

Nowadays, interest in turning one's home smart is increasing. However, creating a smart home is not easily attainable. The aim of this thesis is to create a device which is capable of controlling previously installed standard lever action switches through a mobile application. The current thesis gives an overview of similar devices on the market and home-made hobby projects. As a result of the thesis a prototype is designed along with server scripts and a mobile application.

CERCS: T125 Automation, robotics, T191 High frequency technology, microwaves,

Keywords: electronics, mechanics, automation

Sisukord

Resümees/Abstract.....	1
Lühendid, konstandid, tähised.....	4
1 Sissejuhatus	5
1.1 Probleemi tutvustus	5
1.2 Töö eesmärk	5
1.3 Nõuded lahendusele.....	6
2 Olemasolevad lahendused	6
2.1 Kommertstooted	6
2.2 Hobiprojektid.....	8
4 Süsteemi struktuur.....	9
4.1 Süsteemi ülevaade	9
5 Lüliti ehitus	9
5.1 Seadme struktuur	9
5.2 Disainimisel kasutatud tarkvara.....	9
5.3 Lüliti spetsifikatsioon	10
5.4 Kasutatud riistvara.....	10
5.4.1 nRF52832 mikrokontroller	10
5.4.2 DC- mootor	10
5.4.3 Mootorijuht L9110.....	10
5.4.4 Akulaadimise kontroller MCP73831	11
5.4.5 Temperatuurisensor MAX6608	11
5.4.6 Fototransistor TEMT6000	11
5.5 Trükkplaat.....	11
5.6 Lüliti korpus	13
6. Tarkvara	14
6.1 Serveritarkvara.....	15
6.2 Androidi rakenduse tarkvara (joonis 10)	17
6.3 Mikrokontrolleri tarkvara (joonis 12).....	18

7. Seadme töö ja mõõtmised	20
8. Turvalisus	20
9. Kokkuvõte	21
Tänuavaldused.....	22
10. Kasutatud kirjandus.....	23
Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks	26

Lühendid, konstandid, tähised

USB (*Universal Serial Bus*) – universaalne järjestiksiin, universaal-jadasiin [1]

Server – programm, mis pakub teenuseid teistele programmidele (klientidele). Ühendus kliendi ja serveri vahel toimub tavaliselt sõnumite edastamise teel (enamasti üle võrgu) ning kasutab mingit protokollit kliendi päringute ja serveri vastuste kodeerimiseks [1].

SSH – (*Secure Socket Shell*) turvaline kest, UNIX-i põhine kasutajaliides ja protokoll, mis võimaldab sisselogimist kaugarvutisse [1].

NFC – (*Near field communication*) lähiväljaside, töötab sagedusel 13,56 MHz ja võimaldab seadmetevahelist sidet maksimaalselt kuni 20 cm kauguselt [1].

1. Sissejuhatus

1.1 Probleemi tutvustus

Tänapäeval koguvad üha enam populaarsust n-ö nutikodud, kus koduseid elektroonika- ja ka muid seadmeid juhitakse nutitelefonide ning kaugjuhtimispuultide abil [2]. Kaubandusvõrgust on võimalik leida erinevaid tooteid, mis on võimelised andma kasutajale tagasisidet ning on kaugjuhitavad [3]. Nutivõimekuseta seadmete hilisem nutivõimekaks muutmine on tavaliselt piiratud. Näiteks kasutatakse valgustuse juhtimisel tavaliselt standardseid, nutivõimekuseta lahendusi. Sellisesse süsteemi nutivõimekuse lisamine on potentsiaalselt kulukas ja võib vajada suuremaid ümberkorraldusi. Lahendusi, kus olemasolevale süsteemile saab kiiresti üles seada nutifunktsiooni ning seda kergesti kasutada, ei ole palju [4, 5]. Need tooted on kas liiga kõrge hinnaga või vähese funktsionaalsusega.

1.2 Töö eesmärk

Bakalaureusetöö eesmärgiks on luua prototüüp nutilülitist, mis annab kasutajale võimaluse kaugjuhtimise teel valgustust juhtida. Lisaks on tal temperatuuri- ja valgustugevuseandur. Seadme põhifunktsioon on veksellülitite lülitamine, millest on mõningad näited joonisel 1. Tegemist on lahendusega, mis võimaldab olemasoleva valgustussüsteemi muuta kaugjuhitavaks.



Joonis 1. Pildid lülititest.

1.3 Nõuded lahendusele

1. Kaugjuhitavus: seadmega suhtlus peab olema võimalik nii kodus kui ka kodust eemal.
2. Ühendus serveri ja lüliti vahel toimub Bluetooth Low Energy (BLE) vahendusel [6]. Serveri ja nutitelefone ühendus on sisevõrgul.
3. Lülitile peab olema tagatud ligipääs ka juhul, kui seadme aku on tühi ning laadida pole võimalik. Valgustite käsitsi juhtimise võimalus peab olema alati tagatud ning kergesti läbi viidav. Lüliti mehhanism liigub tagasi nullasendisse, mis ei sega käsitsi lülitust.
4. Energiaallikas peab olema aku, sest patareide vahetamine on tülikas ning ei ole keskkonnasäästlik. Laadimiseks ei pea seadet lahti ühendama, vaid toide tuleb tuua kaabliga seadmeni. Aku laadimine peab toimuma läbi mikro-USB.
5. Integreeritav: seade peab olema lihtsasti paigaldatav ning seda peab saama kinnitada veksellülitite külge.
6. Funktsionaalsus: lisaks lüliti sisse-väljalülitamisele on seadmel ka temperatuurisensor ning valgussensor ruumitemperatuuri ja valgustatuse registreerimiseks. Seade salvestab vahemällu viimased mõõtmistulemused. Mõõtmisi viiakse läbi iga viie minuti tagant. Seade saadab päringu peale mõõtmistulemused üle BLE serverisse.
7. Seadme kasutamiseks ei pea olemas olema nutikodusüsteemi.
8. Seade kasutab Nordic UART Service Bluetooth teenust [7].

2. Olemasolevad lahendused

2.1 Kommertstooted

MicroBot push [4] on lineaarselt liikuv lülitaja, mis saab liikuda üles või alla. Seda on võimalik ühendada MicroBot Hub-iga üle BLE ühenduse [8] ning selle abil nutikodu lahendus kokku ühendada (joonis 2). Hub-i abil on ka võimalik üle interneti juhtimine. MicroBot push maksab 45 eurot [9]. MicroBot push-i puudusteks on vajadus Microbot Hub-i järele ning ainult ühes suunas liikuvate lülitite kasutamise võimalus.



Joonis 2. Microbot push [4]

SwitchBot [5] on lülitaja, mida on võimalik häälega juhtida, kuid lülitusmehhanism võimaldab väga väheseid nuppe ja lüliteid kontrollida (joonis 3). Hind oli bakalaureusetöö kirjutamise hetkel allahindlusega 25 eurot [10]. SwitchBot-i paigaldamine on lihtne, kuid valgustuse juhtimisel on selle funktsionaalsus piiratud, kuna lüliti mehhanism liigub ainult ühes suunas. Suuremate lülititega jääb seade tõenäoliselt hätta, sest liikumise raadius on väiksem kui veksellülitile vaja on.

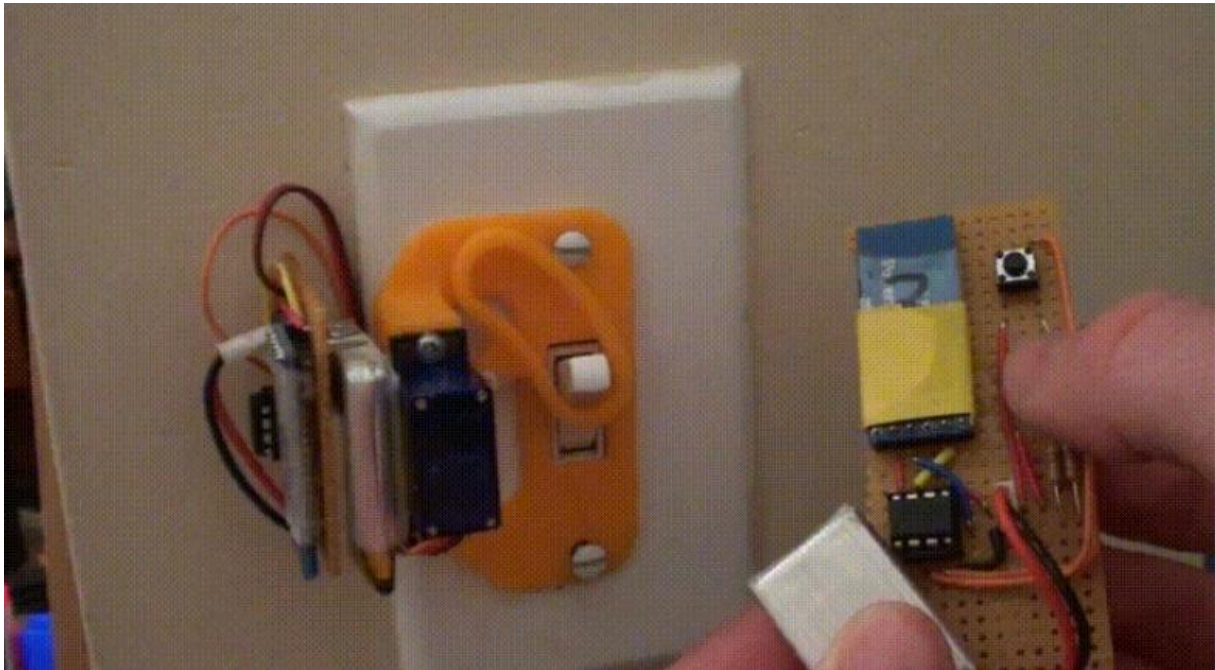


Joonis 3. SwitchBot [5]

2.2 Hobiprojektid

Isiklikuks tarbeks on selliseid seadmeid loodud mitmeid. Enamasti on tegemist ühel ja samal põhimõttel tehtud seadmetega – servomootor, mis kasutab kas Wi-Fi või *Bluetooth* moodulit, et suhelda. Arduino [11] mooduleid kasutades saavutatakse soodne ning kergesti tehtav kodune lahendus valgustite juhtimiseks. See lahendus ei sobi aga tavakasutajatele, kellel ei ole programmeerimise oskusi.

Servomootoriga lülitaja [12] on loodud ATiny85 [13] põhjal, kasutades HC-05 [14] Bluetooth mooduleid (joonis 4). Kaugjuhtivust kasutatakse isetehtud puldiga, võimalust targa koduga ühendamiseks ei ole autori poolt juurde lisatud. Käesoleva töö eesmärkide saavutamiseks ei ole see lahendus sobilik, kuna seadme juhtimine toimub läbi puldi, mitte targa kodu lahenduse raames.



Joonis 4. Servomootoriga lüliti [12]

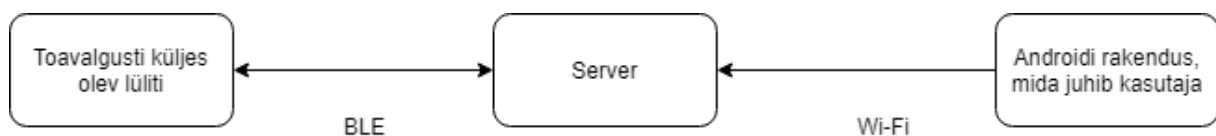
3. Süsteemi struktuur

3.1 Süsteemi ülevaade

Süsteem koosneb kolmest osast:

- 1) lüliti;
- 2) server;
- 3) Androidi rakendus.

Töös loodud lüliti on ühendatud füüsiliselt seina küljes asetseva lülitiga. Lüliti suhtleb BLE vahendusel serveriga. Androidi rakendus võtab ühendust serveriga üle sisevõrgu (joonis 5).



Joonis 5. Süsteemi skeem

4. Lüliti ehitus

4.1 Seadme struktuur

Seade koosneb kolmest osast:

- 1) trükkplaat;
- 2) korpus;
- 3) tarkvara lülitiga suhtlemiseks ning selle juhtimiseks.

4.2 Disainimisel kasutatud tarkvara

Korpus on disainitud Fusion 360 [15] tarkvaraga. Trükkplaat on disainitud Autodesk Eagle [16] trükkplaadi disainimise tarkvara abil. Mikrokontrolleri tarkvara on kirjutatud SEGGER

Embedded Studios [17] tarkvara abil. Mikrokontrolleri tarkvara on kirjutatud programmeerimiskeeles C, kasutades nRF52_SDK-d [18].

4.3 Lüliti spetsifikatsioon

Trükkplaat, mis juhib mootorit ning suhtleb valguse ning temperatuuri anduritega, on toidetav 3,3-voldise pingega. Mikrokontroller suhtleb ühendatud lüliti või nutikodu süsteemiga. Saates mikrokontrollerile päringuid, saadab mikrokontroller vastu temperatuuri ning valgustuse andmeid. Vastava käsu korral toimub lülitus, võimalik on lülitada kahes suunas.

Korpus koosneb neljast osast: trükkplaati hoidev kere ning sellele peale kinnitatav kaas, lüliti käsi, mis viib läbi lüliti lülitamist ning kinnitusalus, mis paigaldatakse seinalüliti alla.

4.4 Kasutatud riistvara

4.4.1 nRF52832 mikrokontroller

nRF52832 mikrokontroller [19] põhineb ARM Cortex M4 arhitektuuril. Mikrokontrolleri taktsagedus on 64MHz, vahemälu on 64 KB, välmälu on 512 KB. nRF52832 pakub Bluetooth ning NFC suhtlusvõimalusi ning seetõttu on see sobiv mikrokontroller nutikodu seadmete juhtimiseks. Ühendusteks on sellel kontrolleril NFC ning Bluetooth 5. Kontrolleril on madal toitepinge, 1,7-3,6 volti, ja voolutarve, samuti sisseehitatud Bluetooth. Mikrokontrolleril on ka sisseehitatud temperatuuriandur, kuid seda käesolevas töös ei kasutatud, sest selle täpsus pole piisav. Mikrokontrolleri anduri väärtuste kõikumised 25 kraadi juures on $\pm 2,5$ kraadi, soovitatav kõikumine on alla ühe kraadi.

4.4.2 DC- mootor

Seadmes on kasutusel 3-voldine reduktoriga DC-mootor [20], mille pöörlemiskiirus on 30 pööret minutis. Mootori mõõtmed on 33,0 x 12,0 x 10,0 mm, seega on tegemist väikese mootoriga. Mass on 10 grammi.

4.4.3 Mootorijuht L9110

L9110 mootorijuht [21] töötab 2,5 – 12-voldisel pingel. Tegemist on H-sillaga, mis tähendab, et vastavalt sisendvoolu suunale liigub ühendatud mootor kas edaspidi või tagurpidi [22]. Mootorijuhi lubatud töötemperatuur on vahemikus 0 – 80 kraadi, mis on lüliti juures eriti

oluline, sest see on mõeldud ainult toatingimustes kasutamiseks, kus madalaid temperatuure ei tohiks ette tulla.

4.4.4 Akulaadimise kontrolleri MCP73831

MCP73831 [23] on mitme reguleeritava pingevalikuga liitiumakude laadimise kontrolleri. Antud kontrolleri on mõeldud üheelemendiliste akude laadimiseks. Laadimispinge vahemik on 1,7 – 7 volti. Temperatuurivahemik on -40...+ 85 kraadi.

4.4.5 Temperatuurisensori MAX6608

MAX6608 sensor on madalapingeline analoogtemperatuurisensor, mille tööpinge on 1,8 – 3,6 volti [24]. Sensori väljundpinge sõltub temperatuurist lineaarselt:

$$V_{out} = 500\text{mV} + (T \cdot 10\text{mV}/^{\circ}\text{C})$$

kus T on mõõdetav temperatuur. Sensor on töövõimeline temperatuurivahemikus -55...+125 kraadi.

4.4.6 Fototransistori TEMENT6000

TEMENT6000 on sobilik taustvalgustuse registreerimiseks [25]. Selle tööpinge maksimum on 6 volti, kuid töötab ka madalamatel pingetel. Transistor on NPN-tüüpi.

4.5 Trükkplaat

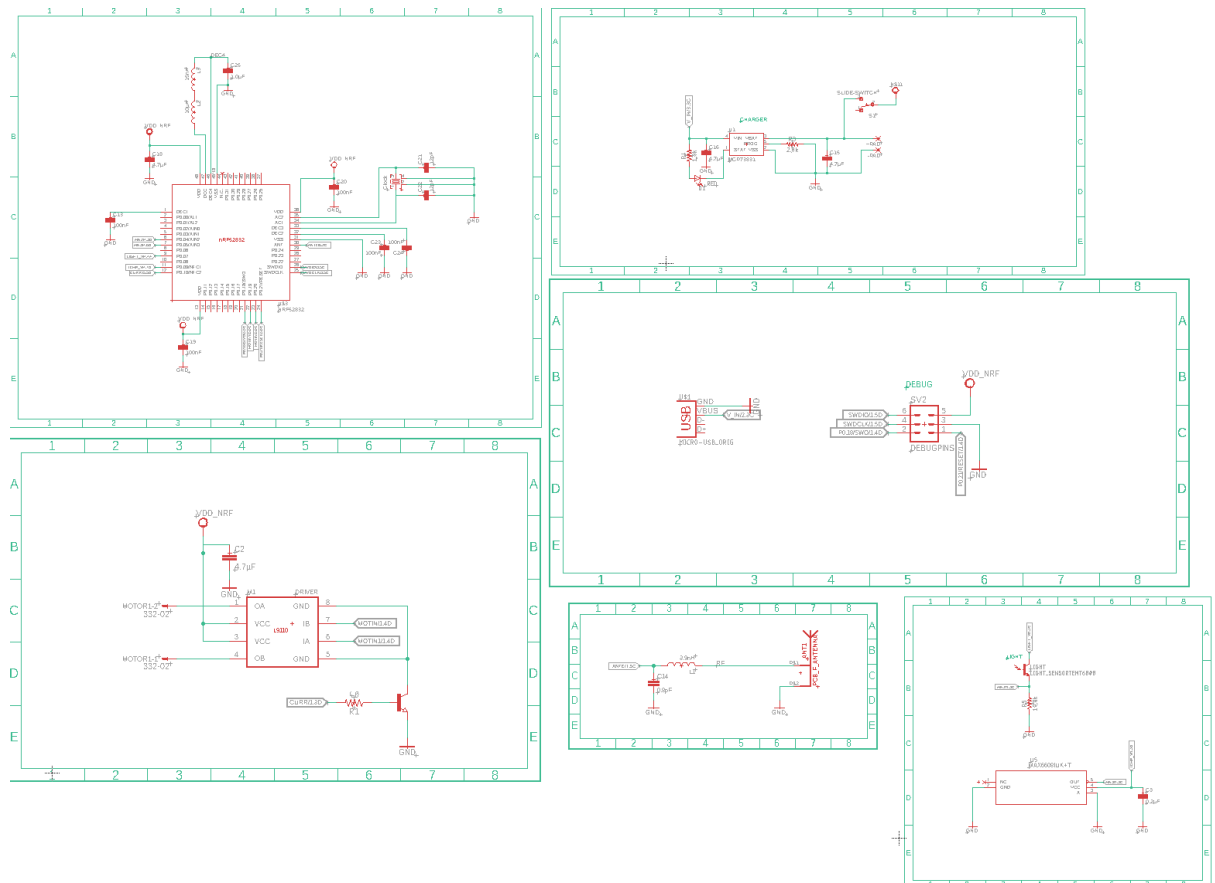
Trükkplaadil (joonis 6, 7) olevaid sensoreid ja mootorit juhib mikrokontroller nRF52832. Plaadile annab toite aku, mis on ühendatud kahe juhtme abil. Akut laetakse läbi mikro-USB pesa, mida kasutatakse ainult akulaadimise eesmärgil. Plaadil on üks punane indikaatorLED, mis annab märku, kui toimub aku laadimine. Laaditakse 5-voldise pingega. Plaadi programmeerimine toimub läbi nRF52DK [26], mis on Nordic Semiconductor-i poolt välja töötatud arendusplaat, millel on sama mikrokontroller nagu lülitel. Trükkplaadi mõõtmed on 42,5x 28,0x1,6 mm.

Plaadi väljundid :

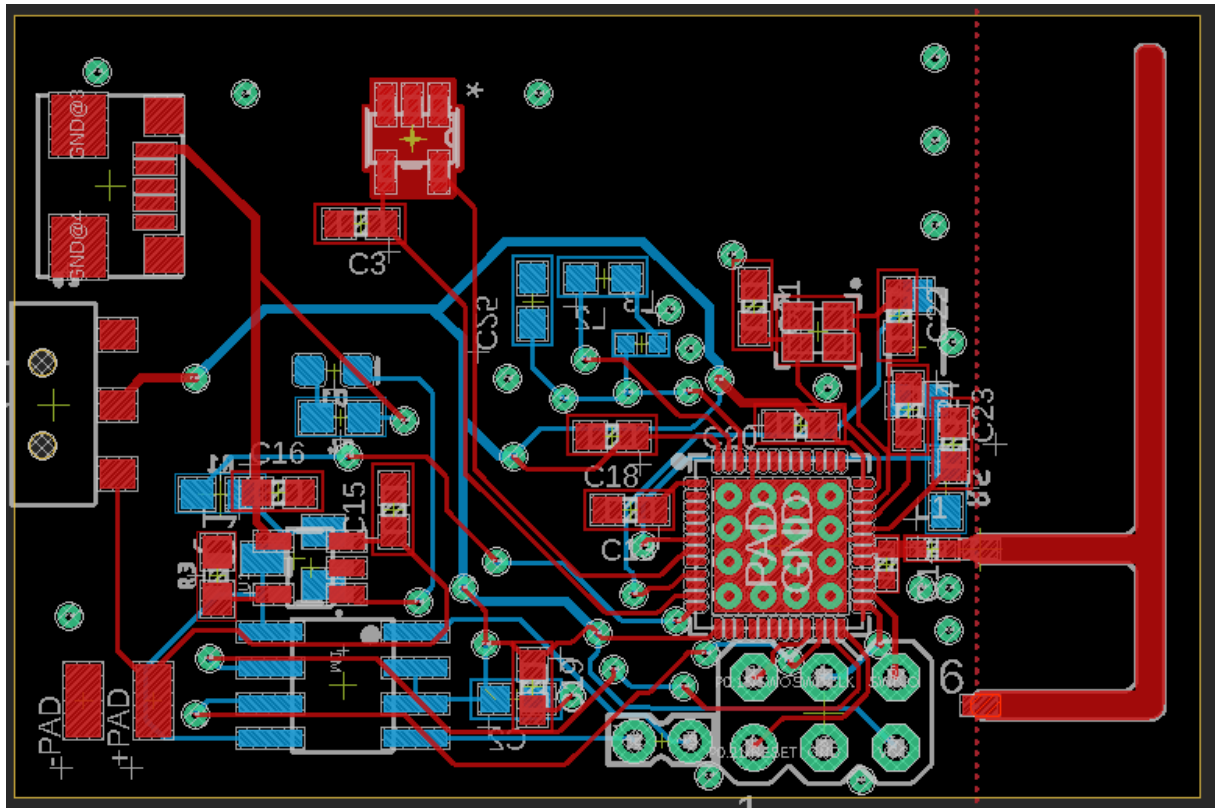
- 1) kaks mootorit juhtmetega plaadi külge ühendamiseks mõeldud väljundviiku. Väljundviigud on ühenduses L9110 mootorijuhiga, mis on omakorda ühenduses mikrokontrolleriga.

Plaadis sisendid :

- 1) kuus sisendviiku plaadi programmeerimiseks nRF52DK-arendusplaadiga;
- 2) antenn, mis on plaadil vasekihina, antenni ümber ega plaadi teisel küljel maanduspolügooni ei ole, et antennil oleks vaba suhtlus Bluetooth-seadmetega. Antenni ühendus on disainitud tootja enda näidiste ning spetsifikatsioonide järgi [27].



Joonis 6. Trükkplaadi skeem



Joonis 7. Trükkplaadi joonis.

4.6 Lüliti korpus

Seadme korpuse mõõtmed on 60 x 30 x 37 mm. Korpus valmistatakse 3D-printeriga plastmassist.

Seadme kinnitamiseks tuleb lüliti pealmine iluraam veidi välja tõmmata ning seina ja raami vahele asetada seadme kinnitus (joonis 8).



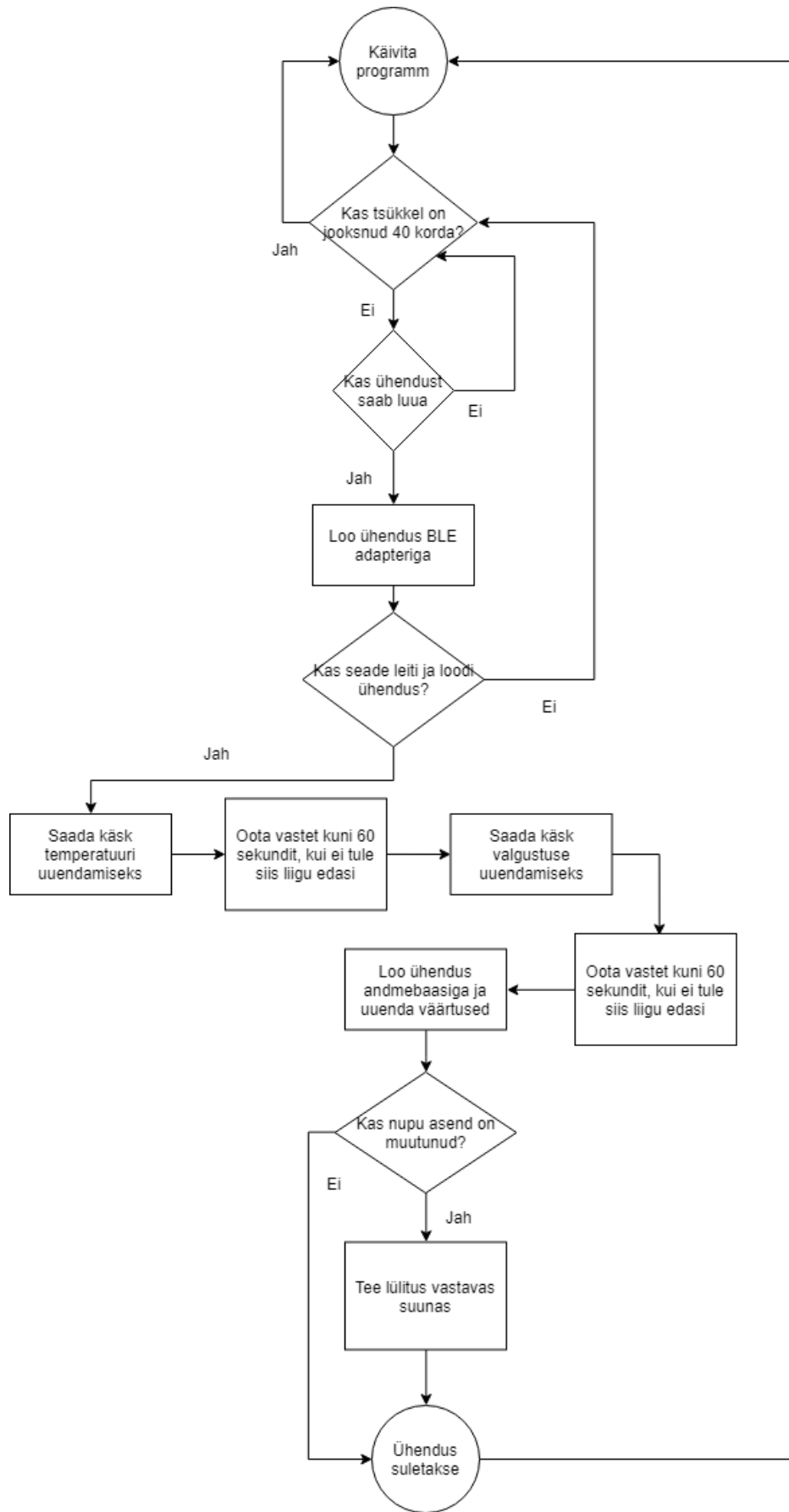
Joonis 8. Lüliti.

5. Tarkvara

Loodud tarkvara jaguneb kolme ossa: Androidi rakendus, mis on programmeerimiskeeles Java, Raspberry Pi [28] jaoks Pythoni kood, mis suhtleb MySQL-andmebaasiga, mis on samuti Raspberry Pi-l ja lüliti juhtiv tarkvara, mis on kirjutatud programmeerimiskeeles C.

5.1 Serveritarkvara

Raspberry Pi-l olev Pythoni skript loob perioodiliselt ühenduse andmebaasiga ning ka mikrokontrolleriga (joonis 9). Skript kontrollib andmebaasist, kas Androidi rakenduse poolt on tehtud päring, et liigutada lüliti. Juhul, kui andmebaasist saadud vaste eelmisest salvestatud väärtusest erineb, tehakse lülitus. Mikrokontrollerile saadetakse iga loodud ühenduse korral käsk uuendada temperatuuri ning valgustatuse lugemeid, mis salvestatakse andmebaasi. Iga uue ühenduse soovi korral loob tarkvara uue lõime, milles toimub võimalike seadmete otsing. Kui leitakse sobiv seade, mis kasutab otsitavat teenust, siis luuakse ühendus mikrokontrolleriga ning saadetakse päringud, mille järel lõim suletakse. Skript teeb iga neljakümne tsükli järel taaskäivituse, et kustutada salvestatud väärtused. Hetkel on süsteem mõeldud kasutamiseks sisevõrgus, kuid on võimalik lisada ka ühendus välisvõrguga.



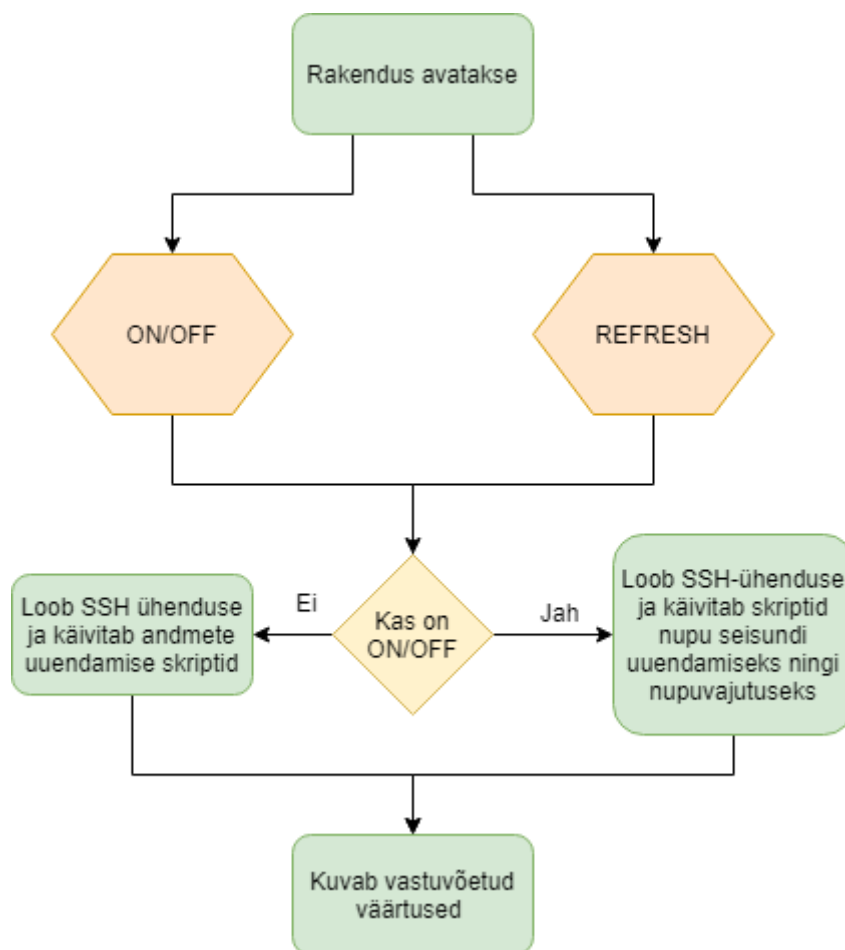
Joonis 9. Serveri algoritm

5.2 Androidi rakenduse tarkvara (joonis 10)

Rakendus suhtleb Raspberry Pi-ga läbi SSH-ühenduse, mille loomiseks on vaja Raspberry Pi IP-aadressi, kasutajatunnust ning parooli, mis on rakendusse sisse kirjutatud. Vajutades ühele kahest nupust, luuakse ühendus ja käivitatakse Pythoni skriptid Raspberry Pi-l, mis teevad päringud andmebaasi ning saadavad SSH vahendusel tagasi nutiseadmesse.

Rakenduses on võimaik vajutada kahele nupule (joonis11):

- 1) ON/OFF, mis juhib lülitit ning värskendab rakenduses lüliti seisu;
- 2) REFRESH, mis teeb päringud ning kuvab saadud andmed.



Joonis 10 Androidi rakenduse algoritm



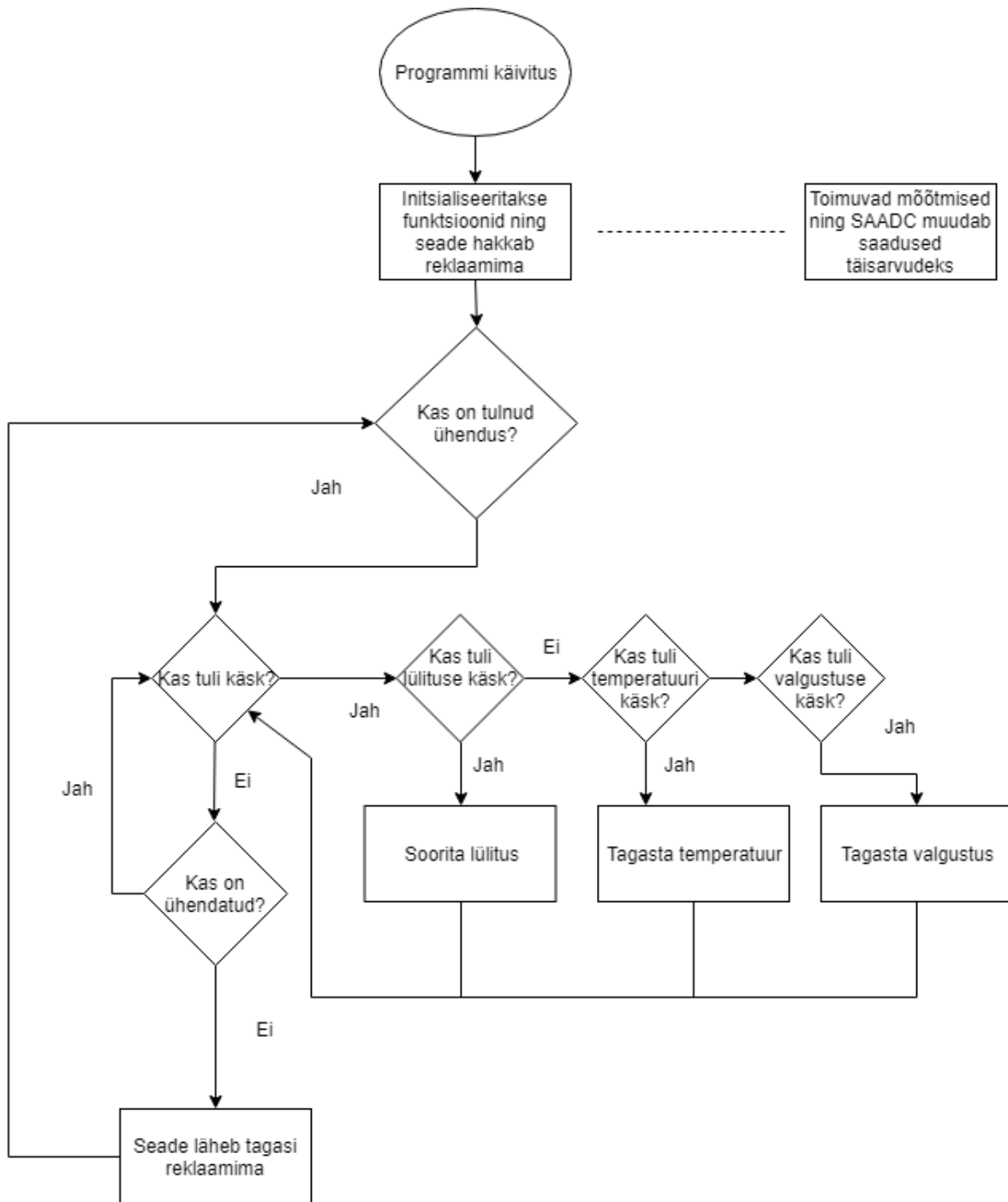
Joonis 11. Androidi rakenduse kuva

5.3 Mikrokontrolleri tarkvara (joonis 12)

Kuna tegemist on BLE peal töötava süsteemiga, siis mikrokontrolleril pole vaja serveriga pidevat ühendust. Seade on pidevalt *advertising mode*-is ning ootab ühendust [29].

Advertising mode-is olev seade saadab välja pakette ning vastuvõttev seade saab ühenduda ning saada rohkem andmeid. Ühenduse loomise korral kasutab ta NUS-funktsiooni [5], mis kasutab nRF BLE GATT protokollit [30], et andmeid edastada ning neid vastu võtta. Mikrokontroller kasutab temperatuuri- ning valgusanduriga suhtlemiseks SAADC-funktsiooni, mis muudab anduritelt loetud analoogsignaali digitaalsignaalsiks [31]. Digitaalsed andmed salvestatakse ning igal anduri lugemisel kirjutatakse väärtused üle. Mootori juhtimiseks suhtleb mikrokontroller L9110 mootorijuhiga, mille sisendiks on digitaalväärtused. Mootor tagasisidet ei anna. Juhul, kui NUS-ühenduse läbi tuleb käsk lülituseks, annab mikrokontroller saadud käsule vastava

juhise mootori liikumiseks ühes või teises suunas. Peale lülitamist liigub mootor nullasendisse tagasi. Kui serverilt tuleb käsk temperatuuri või valgustuse saatmiseks, siis mikrokontroller saadab viimase lugemi üle NUS-ühenduse serverile. Peale ühenduse lõppemist läheb mikrokontroller tagasi *advertising mode*-i.



Joonis 12. Mikrokontrolleri programmi algoritm

6. Seadme töö ja mõõtmised

Mootori pööramiseks kõige suuremal koormusel tarbitakse mõõtmiste tulemusel keskmiselt 100 mA, seega 100 mAh mahuga aku kasutamisel on võimalik teha umbes 1300 vajutust enne kui aku tühjeneb [32]. Ühe lülituse pikkuseks on kaks sekundit.

Voolutarbimiste mõõtmised viidi läbi nRF52DK-ga, millel on sama mikrokontroller kui käesolevas bakalaureusetöös loodud seadmel. Mõõtevahendiks kasutati UNI-T UT61E multimeetrit [33]. Seadme voolutarve, mida mõõdeti arendusplaadilt, on keskmiselt 0,5 mA kui seade on serveriga ühendatud. Kui lüliti otsib ühendust siis reklaamimise hetkel tõuseb pingeline 0,2 mA-ni 0,003 mA-lt, mis on lüliti voolutarve ooteasendis. Seadme tööaeg sõltub lülituste arvust.

Lüliti autor valmis ei saanud, kuna vead olid anteni disainis, mida on töö kaitsmise ajaks muudetud.

7. Turvalisus

Suurimad BLE seadmete turvariskid on passiivne pealtkuulamine, *man-in-the-middle* rünnakud ning identiteedi jälgimine [34]. Ka lüliti on suurimaks riskiks *man-in-the-middle* rünnakud, kus pahatahtlik seade petab ühe seadmetest, kas siis serveri või loodud lüliti endaga ühenduma. Sel juhul jätkub süsteemi tavapärase töö, mitte teades, et vahele on tekkinud lüli, mis saadab andmeid võõrale seadmele [35]. Mikrokontrolleri tarkvarasse turvalisust juurde lisatud ei ole. Lülitiga suhtlemiseks on vaja teada käske, mida saata ja ühenduse tüüp peab olema samuti BLE UART. Raspberry Pi-d turvab seadme kasutajatunnus ja parool. Selles töös ei ole tegemist tundliku informatsiooniga, seega süsteemi põhilise turvalisuse tagab sisevõrgu tulemüür.

8. Kokkuvõte

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks oli disainida nutilüliti prototüüp, mida saaks juhtida ja jälgida läbi nutiseadme. Bakalaureusetöö käigus kirjeldati sarnaseid seadmeid, toodi välja nende puudused ja eelised. Analüüsiiti loodud seadme efektiivsust ning eluiga.

Töö käigus valmis prototüüp, mis koosneb serverist ning andmebaasist, mis võimaldab suhtlust nutiseadme ning nutilüliti vahel, mida juhitakse mobiilirakenduse abil ning disainiti ka seade, mida juhitakse eelnimetatud võimaluste abil.

Valminud lahendus vastab igati talle seatud nõuetele:

- 1) lüliti on kaugjuhitav üle BLE ja sisevõrgu juurdepääsetavuse korral ka välisvõrgust;
- 2) seade ei muuda standardlüliti ehitust, võimaldab valgustuse käsitsilülitust;
- 3) seade on paigaldatav standardsetele veksellülititele;
- 4) seade edastab peale lülitamise ka ruumi temperatuuri ja valgustuse infot;
- 5) seadme kasutamine ei eelda nutikodu lahendust.

Tänuavaldused

Autor tänab bakalaureusetöö juhendajaid Heiki Kasemetsa ja Teet Tilka rohkete paranduste, märkuste ja pühendatud aja eest.

9. Kasutatud kirjandus

- [1] Vallaste e-teatmik [Võrgumaterjal] [Vaadatud 30.04.2019] <http://www.vallaste.ee>
- [2] Nutikodude populaarsus [Võrgumaterjal] [Vaadatud 16.05.2019] <https://iotbusinessnews.com/2018/11/07/85751-smart-home-market-to-grow-to-640-million-devices-in-2018/>
- [3] Nutiseadmete valik Amazoni veebipoes [Võrgumaterjal] [Vaadatud 16.05.2019] <https://www.amazon.com/smart-home-devices/b?ie=UTF8&node=6563140011>
- [4] Microbot Push [Võrgumaterjal] [Vaadatud 30.04.2019] <https://microbot.is/push/>
- [5] SwitchBot [Võrgumaterjal] [Vaadatud 30.04.2019] <https://www.switch-bot.com/bot>
- [6] BLE “Bluetooth Vs. Bluetooth Low Energy: What’s The Difference [võrgumaterjal vaadatud 13.05] <https://www.link-labs.com/blog/bluetooth-vs-bluetooth-low-energy>
- [7] Nordic UART Service [Võrgumaterjal] [Vaadatud 14.05.2019] http://developer.nordicsemi.com/nRF_Connect_SDK/doc/latest/nrf/include/bluetooth/services/nus.html
- [8] Microbot Hub M [Võrgumaterjal] [Vaadatud 30.04.2019] <https://shop.microbot.is/collections/frontpage/products/microbot-hub>
- [9] MicroBot Push poehind [Võrgumaterjal] [Vaadatud 30.04.2019] <https://shop.microbot.is/collections/frontpage/products/microbot-push-2nd-gen>
- [10] Switchbot hind [Võrgumaterjal] [Vaadatud 30.04.2019] <https://www.switch-bot.com/product-page/copy-of-switchbot>
- [11] Arduino kirjeldus [Võrgumaterjal] [Vaadatud 14.05.2019] <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- [12] Hackaday isevalmistatud lülitaja [Võrgumaterjal] [Vaadatud 03.05.2019] <https://hackaday.com/2017/12/10/light-switch-for-the-lazy/>

- [13] ATiny85 [Võrgumaterjal] [Vaadatud 14.05.2019]
<https://www.microchip.com/wwwproducts/en/ATtiny85>
- [14] HC-05 Bluetooth moodul <https://components101.com/wireless/hc-05-bluetooth-module>
- [15] Fusion 360 Integrated CAD, CAM and CAE software [Võrgumaterjal] [Vaadatud 14.05.2019] <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview>
- [16] Autodesk Eagle [Võrgumaterjal] [Vaadatud 14.05.2019]
<https://www.autodesk.com/products/eagle/overview>
- [17] SEGGER Embedded Studio for ARM [Võrgumaterjal] [Vaadatud 14.05.2019]
<https://www.segger.com/products/development-tools/embedded-studio/>
- [18] Software development kit [Võrgumaterjal] [Vaadatud 14.05.2019]
<https://www.techopedia.com/definition/3878/software-development-kit-sdk>
- [19] nRF52832 microcontroller with Bluetooth capabilities [Võrgumaterjal] [Vaadatud 14.05.2019]
<https://www.nordicsemi.com/Products/Low-power-short-range-wireless/nRF52832>
- [20] DC-mootor [Võrgumaterjal] [Vaadatud 16.05.2019]
https://www.amazon.com/gp/product/B00GYRSDSE/ref=ppx_yo_dt_b_asin_title_o01_s00?ie=UTF8&psc=1
- [21] L9110 datasheet [Võrgumaterjal] [Vaadatud 14.05.2019]
<https://www.elecrow.com/download/datasheet-l9110.pdf>
- [22] H-Bridges the Basics [Võrgumaterjal] [Vaadatud 14.05.2019]
<http://www.modularcircuits.com/blog/articles/h-bridge-secrets/h-bridges-the-basics/>
- [23] MCP73831/2 Miniature Single-Cell Fully Integrated Li-Ion, Li-Polymer Charge Management Controllers [Võrgumaterjal] [Vaadatud 14.05.2019]
https://cdn.sparkfun.com/assets/learn_tutorials/6/9/5/MCP738312.pdf
- [24] Low-Voltage Analog Temperature Sensors [Võrgumaterjal] [Vaadatud 14.05.2019]
<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX6607-MAX6608.pdf>

- [25] TEMT6000 Ambient light sensor [Võrgumaterjal] [Vaadatud 14.05.2019]
<https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Imaging/TEMT6000.pdf>
- [26] nRF52 Development kit [Võrgumaterjal] [Vaadatud 14.05.2019]
<https://www.nordicsemi.com/Software-and-Tools/Development-Kits/nRF52-DK>
- [27] nRF52 Reference design [Võrgumaterjal] [Vaadatud 15.05.2019]
<https://github.com/NordicPlayground/nrf5-eagle-reference-design>
- [28] Raspberry Pi 3 B+ spetsifikatsioon [Võrgumaterjal] [Vaadatud 14.05.2019]
<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>
- [29] Advertising mode on Bluetooth devices [Võrgumaterjal] [Vaadatud 14.05.2019]
<https://www.bluetooth.com/blog/bluetooth-low-energy-it-starts-with-advertising/>
- [30] The Generic Attributes [Võrgumaterjal] [Vaadatud 14.05.2019]
<https://www.bluetooth.com/specifications/gatt/generic-attributes-overview/>
- [31] Successive approximation analog-to-digital converter [Võrgumaterjal] [Vaadatud 14.05.2019]
<https://www.bluetooth.com/specifications/gatt/generic-attributes-overview/>
- [32] Battery life calculator [Võrgumaterjal] [Vaadatud 14.05.2019]
<https://www.digikey.com/en/resources/conversion-calculators/conversion-calculator-battery-life>
- [33] UNI-T UT61E Multimeter review [Võrgumaterjal] [Vaadatud 14.05.2019]
https://sigrok.org/wiki/UNI-T_UT61E
- [34] BLE turvaprobleemid [Võrgumaterjal] [Vaadatud 14.05.2019]
<https://www.digikey.com/eewiki/display/Wireless/A+Basic+Introduction+to+BLE+Security>
- [35] Man in the middle attack [Võrgumaterjal] [Vaadatud 14.05.2019]
<https://us.norton.com/internetsecurity-wifi-what-is-a-man-in-the-middle-attack.html>

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Mattias Kõrv

1. Annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose „Nutilüliti“ mille juhendajad on Heiki Kasemägi ja Teet Tilk,
 - 1.1. reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
 - 1.2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons litsentsiga CC BY NC ND 3.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
2. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Tartus, 18.05.2019

