



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

ROBOTKÄE LIIGUTAMINE KOOS LIHASSENSORIGA

ROBOTIC HAND MOVEMENT WITH MUSCLE SENSOR

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Ege Berk Akgün

Üliõpilaskood: 194106EAAB

Juhendaja: Martin Jaanus, vanemlektor

Tallinn 2022

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“18” mai 2022

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 2022

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Ege Berk Akgün_____ (autori nimi)

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

_____ ,

(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja on

Martin Jaanus_____ ,

(juhendaja nimi)

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

_____ (kuupäev)

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

Autor: Ege Berk Akgün

Lõputöö liik: Bakalaureusetöö

Töö pealkiri: robotkäe liigutamine koos lihassensoriga

Kuupäev:
18.05.2022

67 lk (lõputöö lehekülgede arv koos lisadega)

Ülikool: Tallinna Tehnikaülikool

Teaduskond: Inseneriteaduskond

Instituut: Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Töö juhendaja(d): vanemlektor Martin Jaanus

Töö konsultant (konsultandid):

Sisu kirjeldus:

Töö eesmärk on robotkäe liigutamine kasutades elektromüograafi ehk lihassensorit. Elektromüograafi uuring - kuidas see töötab, kuidas sellega signaale loetakse ning loetud signaalide ära kasutamine. Lisaks määratakse terve süsteemi töövõimet viies läbi erinevaid katsetusi.

Robotkäsi on ette valmistatud ning ühenduses arduino mikrokontrolleriga, millel on ka bluetoothi ühendus. Robotkäsi bluetoothi ühendus on vastuvõtja rollis, mis tähendab, et elektromüograaf on saatja ning saadab signaale ja vastuvõtja reageerib vastavalt signaalile (liigutab sõrme).

Võtmesõnad: robotkäsi, elektromüograaf, bluetooth moodul, vastuvõtja, saatja, lihassensor, sensor, arduino mikrokontroller, arduino UNO

ABSTRACT

Author: Ege Berk Akgün

Type of the work: Bachelor Thesis

Title: robotic hand movement with muscle sensor

Date: 18.05.2022

67 pages (the number of thesis pages including appendices)

University: Tallinn University of Technology

School: School of Engineering

Department: Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics

Supervisor(s) of the thesis: Senior Lecturer Martin Jaanus

Consultant(s):

Abstract:

The aim of the work is to move the robotic hand using an electromyograph which is a muscle sensor. To study the electromyograph, how it works, how a signal is read and how the read signals are used. In addition, the performance of the entire system is determined by various tests.

The robotic hand is connected to an arduino microcontroller that also has a bluetooth connection. The robotic hand is in the role of the receiver, which means that the electromyograph is the transmitter and it sends the signals and the receiver responds accordingly (moves a finger).

Keywords: electromyograph, bluetooth module, arduino microcontroller, receiver, transmitter, muscle sensor, sensor, arduino UNO, robotic hand

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema: **Robotkäe liigutamine koos lihassensoriga.**
Lõputöö teema inglise keeles: **Robotic hand movement with muscle sensor.**
Üliõpilane: **Ege Berk Akgün, 194106**
Eriala: **Elektroenergeetika ja mehhatroonika**
Lõputöö liik: **Bakalaureusetöö**
Lõputöö juhendaja: **Martin Jaanus**
Lõputöö kaasjuhendaja:
(ettevõtte, amet ja kontakt)
Lõputöö ülesande
kehtivusaeg: **2021/2022 Kevad**
Lõputöö esitamise tähtaeg: **18.05.2022**

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppekava juht (allkiri)

_____ Kaasjuhendaja (allkiri)

1. Teema põhjendus

Teema on minu jaoks väga huvitav, võttes kätte nii proteese kui ka robotite kontrollimist ajusignaalidega. Teema aitab väga paljusid inimesi, kes on ilma jäänud mingist kehaosast, see on väga aktuaalne nii tänapäeval kui ka tulevikus. Ma soovin õppida kuidas signaale kehast kätte saada ning neid sobilikult tarvitada. Minu uurimistöö ei ole mingi leiutus, kuid arvan, et sellise asjaga ise hakkama saamine on väga kasulik minu ja mu tuleviku jaoks.

2. Töö eesmärk

Töö eesmärgiks on liigutada robotkäe sõrmi vastavalt oma käe sõrmede liigutamisel, kasutades lihassensoreid. Määrata mõlema süsteemi töövõimet ning uurida nii robotkäe kui ka lihassensori täpsust.

3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

1. Kõige olulisem küsimus on kuidas signaale lugeda oma kehast.
2. Loetud signaali õigsust (ehk mida ma loen).
3. Kui täpsed lihassensori signaalide mõõtmise on.
4. Kuidas loetud signaale edasi saata oma robotkäele, et seda liigutada.
5. Kui täpsed on robotkäe sõrmede liikuvus.
6. Kas on võimalik mingi meetodi viisil signaalide mõõtmise või robotkäe liikuvuse täpsemaks teha.

4. Lähteandmed

Internetis on minu meelest kõik vajalik info olemas, et jõuda oma eesmärgini.

5. Uurimismeetodid

Olen uurinud oma lõputöö teemat enne sügissemestri algusest ning olen tellinud ja kätte saanud lihassensori, millega üritan lugeda signaali oma käe pealt. Kui signaali õigesti lugemine õnnestub, siis lõputöö kõige raskem ülesanne on täidetud.

6. Graafiline osa

Töö sisaldab graafikuid, skeeme ja tabelleid nii töö põhiosas kui ka lisa.

7. Töö struktuur

Esimene peatükk – Elektromüograaf, mis asi see on, kuidas see töötab, kuidas sellega signaale loetakse,

Teine peatükk – robotkäsi, robotkäsi ülesehitus, kuidas see töötab

Kolmas peatükk – robotkäe liigutamine signaalidega

8. Kasutatud kirjanduse allikad

<http://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MyowareUserManualAT-04001.pdf>

https://learn.sparkfun.com/tutorials/myoware-muscle-sensorkit?_ga=2.117341838.901298923.1635446234-1247241926.1635446234

<https://www.pololu.com/product/2732>

https://github.com/AdvancerTechnologies/MyoWare_MuscleSensor

9. Lõputöö konsultandid

Vajadusel konsultantide nimed ja töö osad, mille juures abi saadakse.

10. Töö etapid ja ajakava

01.11.2021 Lõputöö ülesande esitamine kevadsemestril 2021/2022 kaitsmiseks

20.02.2022 Teoreetilise osa kirjutamise alustamine

01.03.2022 Lihassensori testimine tööle panek

15.03.2022 Tulemuste lugemine ja kirjeldamine

01.04.2022 Robotkäe testimine ja liigutamine

05.04.2022 Järelduste kirjutamine

08.04.2022 Kokkuvõtte koostamine

10.04.2022 Juhendajale läbilugemiseks saatmine
15.04.2022 Eelkaitsmise tähtaeg
23.04.2022 Paranduste sisseviimine
01.05.2022 Juhendajale teiseks läbilugemiseks saatmine
05.05.2022 Töö lõplik versioon valmis
09.05.2022 Kaitsmistaotluse esitamine
18.05.2022 Lõputöö esitamine
23.05.2022 Kaitsmistaotluse kinnitamine
02.06.2022 Juhendaja arvamus
03.06.2022 Kaitsmise esitluse faili esitamine
06.-09.06.2022 Bakalaureusetööde kaitsmine

SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE	4
ABSTRACT	5
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE	6
EESSÕNA	13
Lühendite ja tähiste loetelu	14
SISSEJUHATUS	15
1. ROBOTKÄSI	18
2. ELEKTROMÜOGRAAF	20
2.1 EMG kasutus	20
2.1.1 Diagnostika	20
2.1.2 Bioonika	20
2.2 Komplekti seadmed	21
2.2.1 MyoWare lihassensor	21
3. Robotkäe liigutamine	24
3.1 Elektromüograafi tegevuse kontroll	24
3.2 Lihassensori erinevate sõrmede tuvastus	26
3.3 Robotkäe tegevuse kontroll	27
3.3.1 Robotkäe näpu parandamine	28
3.4 Seadmete täpsused	31
3.4.1 Servomootorite liikuvus	31
3.4.2 Robotkäe sõrmede liikuvus	32
3.4.3 Robotkäe sõrmede liikuvuse täpsus	33
3.4.3.1 Robotkäe sõrmede liikuvuse täpsuse suurendamine	38
3.4.4 Lihassensori täpsus ja välismõjude mõju töövõimele	39
3.4.4.1 XYZ teljes signaali mõõtmine	44
3.4.4.2 Signaalide mõõtmine jalutamise ajal	45
3.4.4.3 Välise kliima mõju	46
3.5 Robotkäe liigutus lihassensoriga	48
3.5.1 Bluetooth moodul	48
3.5.2 Koodi lühikirjeldus, algoritm skeem ja terve süsteemi elektriskeem	49
4. Projekti arendus	54
4.1 Wi-Fi moodul	54
4.2 Uus robotkäsi	54
4.3 Uue süsteemi disainimine ning 3D-printimine	55
KOKKUVÕTE	56

Summary	57
Kasutatud kirjandus.....	58
LISAD	60

EESSÕNA

Lõputöö teema koostati õpilase isikliku huvi tõttu biotehnoloogiasse ja meditsiinitehnikasse. Tallinna Tehnika Ülikoolis puudu olev biomehhatroonika eriala ei tekitanud takistust, kuna on teemale lähedane eriala m

Eessõna pikkus on kuni üks A-4 formaadis lehekülge. Eessõnas näidatakse, kelle (asutuse, ettevõtte, isiku) algatusel sõnastati lõputöö teema, kus töö koostati ja/või koguti põhilised algandmed, kes (nimed, ametid) abistasid andmetega, konsultatsioonidega jms.

Ühtlasi võib üliõpilane eessõnas soovi korral avaldada tänu teda lõputöö koostamisel abistanud, toetanud või innustanud isikutele.

Lühendite ja tähiste loetelu

EMG – (elektromüograaf) lihaste liigutamisel tekkinud elektriliste impulside mõõtmise aparaat

EKG – südame elektrilise aktiivsuse mõõtmise aparaat

EEG – elektroentsefalograafia peaju bioelektrilisi võnkumisi mõõte aparaat

3D printer – Kolmemõõtmeline printimine

LED – light emitting diode, valgusdiod

AD-muundur – Analoog-digitaalmuundur

Standardhälve leidmiseks:

\bar{x} – aritmeetiline keskmine

σ – dispersioon

r – hajuvusulatus

h – intervalli samm

k – intervall

SISSEJUHATUS

Elekter on see, mis annab inimesele jõudu. Elekter on ka see, mis toidab masinaid. Nende kahe omavaheline kombinatsiooni tagajärjeks saame võtta teemaks bioonika [1]. Biomehhatroonika, biomeditsiini inseneeria või bioonika on väga aktuaalne teema. Selles lõputöös tegeletakse pigem bioonikaga, mis on teadus bioloogia asendamisest masinaga. Bioonikat kasutatakse mitmete erinevate probleemide lahendamiseks nagu näiteks amputeeritud jäsemete asendamine, kuulmislanguse all kannatavate inimeste jaoks kuuldeaparaatide kasutamine või nägemise häiringuga inimeste tarbeks tehissilma kasutamine [2]. Täpsemini sõnastades on uurimistöös tegu robotkäe liigutamiselega.

Töös kasutatav robotkäsi ning lõputööle vastavad komponendid ei ole üldsegi kallid, kuid rääkides reaalselt meditsiini põhiselt kasutatavast käest, siis hinnad algavad € 8,000. Iga järgneva aastaga üritatakse nende masinate kulu vähendada, kuna kõikidele vajavatele inimestele ei jätku seadmeid või on liiga kallis. 3D printeri laialdane kasutus on aitanud mitmeid erinevaid tööstuseid sealhulgas ka bioonikat. Tootmine on muutunud palju odavamaks, kiiremaks ja lihtsamaks ning materjali raiskamist on märkimisväärselt vähendatud [3]. Vaadates 3D-printimise turu suuruse statistikat kogu maailmas aastatel 2013 - 2021 oli turu suurus kasvanud 16,6 miljardi euro võrra, olles ainult 4,4 miljardit eurot aastal 2013 [4]. Sellest tulenevalt üks hea näide on *Open Bionics* firma poolt, kes väidab, et nende 3D prinditud täielikult funktsioneeriv bioonilised käed amputeeritutele on kuni 20 korda odavam kui traditsiooniliselt koostatud tehiskäed, milleks on materjali sulatamine vormidesse [5]. Ameerika Ühendriikides on uuemate müoelektrilise käte tehnoloogia hind vahemikus €20,000 kuni €100,000, kuid vaadates bioonilise käe hinnatabelit on enamikes uuemates firmades hinnapiir €10,000 kuni €30,000 [6], sealhulgas samuti *Open Bionics*'i *Hero Arm* €10,000 kuni €20,000 [7]. Teistes riikides ümber maailma võivad hinnad olla olulisel määral odavamad, kuna selles näites on tegu USA kindlustuse hüvitamise programmiga.



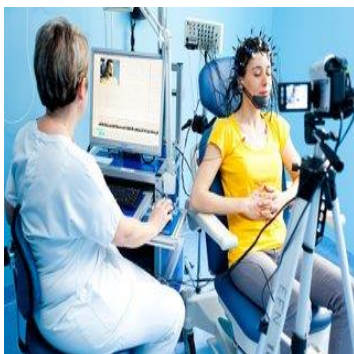
Joonis 1. Tüdruk hoiab tehiskäega tassi [8].



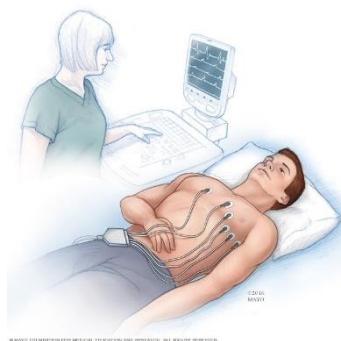
Joonis 2. Open Bionics'i Hero Arm biooniline käsi [9].

Lõputöö teema on koostaja jaoks väga huvitav ja kohane. Koostaja viib edasi oma robotkäe esialgse projekti, kus ta liigutas lõputöös kasutatavat robotkätt kontrolleri abil, mis saatis potentsiomeetrite abil signaale tehiskäele. Üliõpilane läbis selle projektiga Tooteloome projekti aine (ainekood ATV0091) ning nüüd, pannes iseenda lihaseid kontrolleri asemele, teostab ta elektromüograafi abil tehiskäel liigutust. Lõputöö projekt on koostajale kasulik tuleviku raames, kuna ta plaanib minna edasi õpingutega magistrikraadi õppima ja annab endale valiku võimaluse käesolevat projekti edasi arendamiseks. Selle tõttu valis üliõpilane lõputöö teemaks EMG kaudu robotkäe liigutamise, kuna see aitab tutvustada mingil määral teemadega, mis tuleb esile bioonikas.

Lõputöös kasutab koostaja varem Hiinast tellitud robotkätt ja USA-st tellitud elektromüograafi komplekti, lisaks kasutuses on 2 Arduino Uno mikrokontrollerid, kus on ühendused nii elektromüograafi kui ka tehiskäe jaoks eraldi. Kontrollerid suhtlevad omavahel bluetooth moodulitega ning nii ka saab käsi signaale EMG-st. Elektriskeemid on hiljem ka välja toodud mõlema seadme kohta.



Joonis 3. EEG aparatuur [10]



Joonis 4. EKG aparatuur [11]

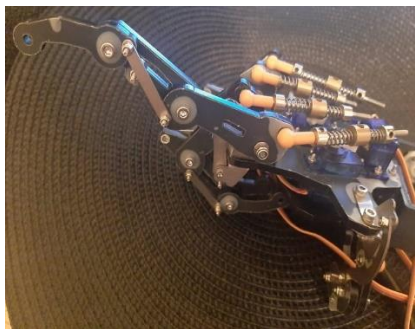


Joonis 5. EMG aparatuur [12]

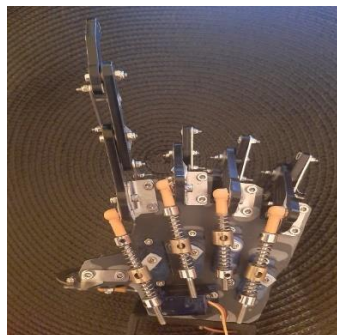
1. ROBOTKÄSI

Robotkäsi jõudis lõputöö koostajale elektroenergeetika ja mehhatroonika programmijuhi Lauri Kütilt. Robotkäsi komplekt koosneb nii robotkäest kui ka juhtmevaba mehaanilisest kindast, mida kasutati ka 2019. aastal koostatud lõputöös. Komplekti ei olnud enam kellegi kasutuses ega ei oldud edasi arendatud ning kogus oma kasti tolmu. Nüüd on see jõudnud 2022. aasta TTÜ lõpetajale, kes kasutab sama robotkätt, aga mitte tervet komplekti, asendades juhtmevaba kontrolleri kinda elektromüograafia.

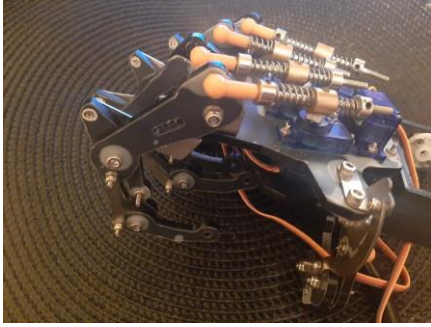
Lõputöös kasutatav robotkäe komplekt koosneb robotkäest ja selle kontrollerist, mida saab oma käe juhtimisega liigutada potentsiomeetrite väärtuseid muutes. Selles töös on võetud kontrolleri asemele elektromüograaf, et liigutada kätt lihastest kätte saadud signaalidega. See tähendab seda, et kasutuses ei ole enam käega juhitud kontrolleri potentsiomeetritega, vaid EMG-st otse saadud elektriliste potentsiaalide väärtustega. Roboti näpud koosnevad kolmest lülist, mille algülid on ühenduses servomootori liigendiga. Servomootori liikumisel, kindla pööramisnurga all, liigub ka liigend, mis lükkab lüli vastavalt nurgale edasi või tagasi. Käega rusikat tehes liigub mootor 0 kraadi suunas ja kätt sirgeks tehes vastupidi.



Joonis 6. Robotkäsi kui näpp on üleval.



Joonis 7. Robotkäsi ülevalt vaade, step mootori jupp all pool.



Joonis 8. Robotkäsi kui näpp on all.



Joonis 9. Robotkäsi ülevalt vaade, step mootori jupp üleval pool.

Robotkäe süsteemi komponente saab leida LISA-s.

2. ELEKTROMÜOGRAAF

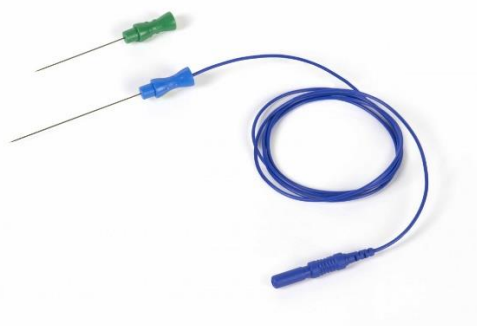
2.1 EMG kasutus

2.1.1 Diagnostika

Elektromüograafi kasutatakse diagonistilise protseduuril, et määrata lihaste ja neid kontrollivate närvirakkude tervist. EMG mõõdetud tulemused võivad paljastada närvihäireid, lihashäireid või nende vahel oleva kommunikatsiooni häireid. Närvirakud saavad elektrilisi signaale, mis põhjustavad lihastel kokku tõmbuda. EMG kasutab elektroode, mis on väikesed seadmed, signaalide kätte saamiseks, mida saab seejärel spetsialist tõlgendada. Elektroode on kahte tüüpi: nõelelektrood ja pinnaelektrood. Nõelelektroodid lähevad nõelade abil läbi naha lihastele lähedamale, mille tõttu on nad eelistatud pinnaelektroodide üle, kuna nõelelektroodiga mõõdetud signaalid on palju täpsemad. Pinnaelektroodid on seadmed, mis lähevad naha peale ja püüavad kätte saada signaale ilma naha läbistamata. Selles lõputöös on kasutuses pinnaelektroodid, kuna õpilane ei soovinud ennast süstida ning need olid MyoWare lihassensori komplekti osa. [13] [14]



Joonis 10. Pinnaelektrood. [15]



Joonis 11. Nõelelektrood. [16]

2.1.2 Bioonika

Elektromüograafide kasutus ei põhine ainult lihaste või närvirakkude tervise kontrollile. EMG-st saadud signaale saavad erinevad spetsialistid kasutada nii nagu soovivad. Siin tulebki mängu bioonika, millest on eelnevalt lõputöös räägitud. Mõõdetud signaale saab asjatundja edasi tõlgendada koodi kirjutamise teel nii, et mõni väärtus vastaks näiteks mingi füüsilise seadme liigutamisele. Selles lõputöös kirjutab koostaja koodi, mis tõlgendab EMG-st saadud signaale robotkäe sõrmede liigutamiseks.

2.2 Komplekti seadmed

MyoWare lihassensori komplekt on elektromüograafi sensori komplekt, mis töötab Arduinoga ning annab võimaluse mõõta lihase signaale. Terve komplekt maksab 75 € ja koos robotkäe komplekti hinnaga 160 € lisades on kokku 235 €.

Komplekti tootjate poolt on valmistatud ka juhend [17], millest on juttu erinevate plaatide ühendusest, mõõtmise korrektselt mõõtmisest ja elektroodide õigesse kohta paigutamisest. [18] [19]



Joonis 12. MyoWare lihassensori komplekt. [19]

2.2.1 MyoWare lihassensor

Komplektis olev lihassensor töötab elektrilise tegevuse mõõtmise teel väljastades $0 - V_s$ volti sõltuvalt lihase aktiivsusest, kus V_s tähistab toiteallika pinget. Komplekti on lihtne ühendada ja kinnitada kaasasolevate elektroodidega, lugeda pinget välja ja liigutada lihaseid. Sensorit on võimalik kasutada mitmete erinevate rakenduste jaoks: videomängudes, robotikas, meditsiini seadmetes, elektroonikas, proteeside kandmises.

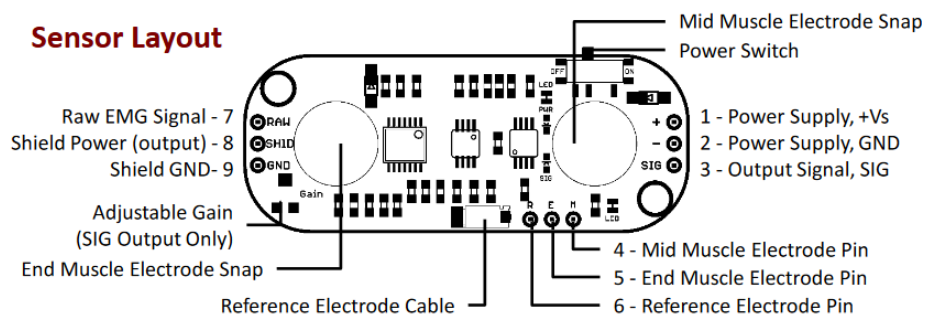
Võrreldes varasemate versioonidega on see lihassensor kantava disainiga, mis võimaldab kinnitada elektroode otse plaadi külge, mis on omakorda ühenduses mikrokontrolleriga, et vabaneda tüütutest kaablitest. Lisaks on palju uuemaid funktsioone, sealhulgas ühepolaarne operatsioonivõimendi toide +3.1V kuni +5.9V, kaks uut väljundrežiimi (RAW EMG ja töödeldud EMG), pöördpolaaruse kaitse, LED indikaatorid ja sisse/välja lüliti. [20]



Joonis 13. MyoWare lihassensori komplekt. [21]

2.2.1.1 Lihassensor trükkplaadi klemmid

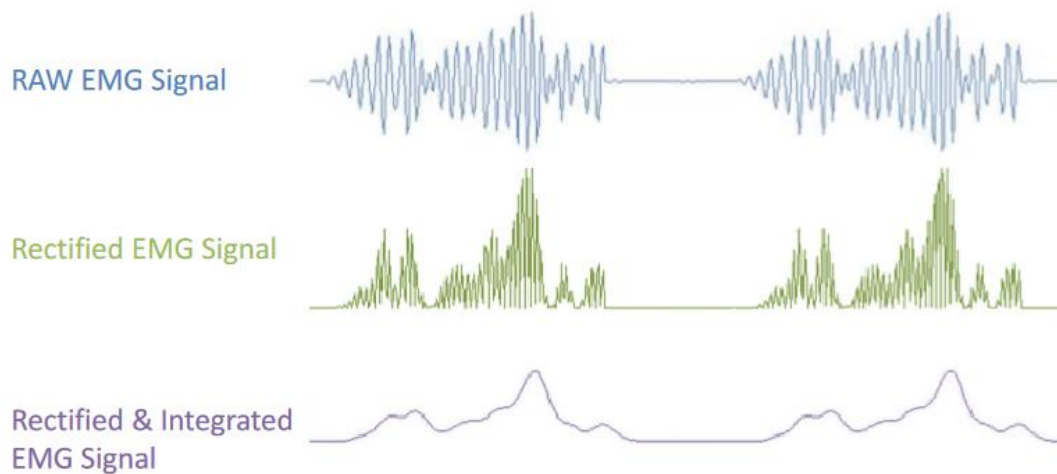
Klemmid 1 - 3 on märgitud järgmiselt: +Vs, GND ja SIG. +Vs tähistab toiteallikat, GND maandust ja SIG mõõdetud signaali väljundit. 4 - 6 M, E, R klemmid tähistavad elektrodide kaugühenduse jaoks, mille jaoks on komplektis eraldi trükkplaat. M klemm on lihaskeha keskele pandava elektroodi klemm, E on lihaskeha lõppu pandav klemm ja R on referents elektroodi klemm. Mõõdates otse lihassensori trükkplaadiga on keskel all referents elektroodi kaabel ning kaks suurt ringikujulist lihas elektroodi pesa, kuhu saab otse elektroode ühendada, parempoolne on tähisega M ja vasakpoolne E. 7 - 9 klemmid tähistavad Raw EMG signal ehk signaal, mis ei ole töödeldud ja saab mõõta otsilloskoobi abil. Shield Power (output) ehk toide teisest plaadist, mis toidab lihassensorit ja selle maandus GND. Lõpuks on ka vasakul all muudetav võimendus, millega saab signaali suurust muuta.



Joonis 14. Lihassensori skeem. [20]

2.2.1.2 RAW EMG ja töödeldud EMG

Lihassensorid on disainitud spetsiaalselt mikrokontrolleri kasutuseks, mis tähendab seda, et RAW EMG signaali väärtused väljundsignaalis ei ole esmane väljund, kuna tegemist on spetsiaalse sensoriga. RAW EMG vajab \pm väärtuseid ning seda saab mõõta ostsilloskoobiga. Arduino mikrokontrolleri alalisvoolu kasutuse tõttu on selles töös kasutuses töödeldud EMG (tähis SIG), mis kujutab endast ette võimendatud, parandatud ja integreeritud RAW EMG signaale. [22]



Joonis 15. Erinevad lihassensori signaalide väärtused. [22]

2.2.1.3 LED indikaatorid

Sensorile lisatud kaks LED indikaatorid näitavad toite olemasolu PWR ning teine läheb põlema siis kui saab signaali, et lihased on liikunud SIG.

2.2.1.4 Laiendatavus

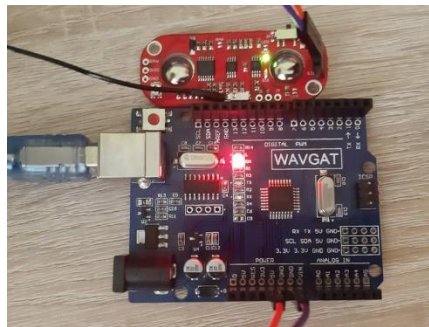
Lihassensori komplekti mõtte on selles, et suurendada lihasanduri mitmekülgset ja funktsionaalsust. Selle jaoks on välja töödeldud mõned abiseadmed, et laiendada sensori tööd, mida saab leida LISA-s.

3. Robotkäe liigutamine

Selles peatükis on kirjas koostaja samm-sammu haaval tehtud töö kirjeldus vastavalt lõputöö eesmärgile robotkäe liigutamiseks oma käe liigutamisel kasutades lihassensoreid. Lõputöö kirjutaja kontrollib olemasolevate seadmete tööd iseseisvalt ja hiljem nende koostööd, selgitab protsesside ja tegevuste edenemist ning tuleb järel dusteni. Kõik graafikud tulevad töös jooksvalt ette vastavates peatükkides.

3.1 Elektromüograafi tegevuse kontroll

Alguses on vaja kindlaks teha, kas lihassensoriga on kõik korras ning selle kontrollimiseks tuleb teha kiire test. Ühendades Arduino mikrokontroller arvutisse ja see omakorda lihasanduriga, kus Arduino 5V ja GND ühendada sensori toiteallika ja maandusega. Ühendus kontrollitud, on näha, et sensor läks tööle.



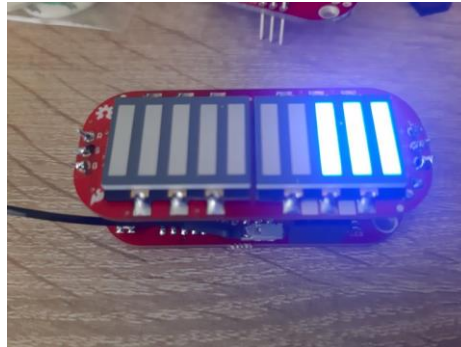
Joonis 16. Ühendus anduriga ja mikrokontrolleriga.

Järgmisena oleks vaja teada, kas sensor mõõdab ning saadab signaale. Selle kontrolli tegemiseks on kaks võimalust, millest esimene on see, et tuleb kasutada komplektis kaasaantud teisi trükkplaate või teine võimalus on Arduino-sensor ühendus ning otse naha peale elektrodide panemine. Tudeng võttis endale sobivama võimaluse, milleks oli komplektis eraldi olev LED plaat, mis tuli oma LiPo patareiga. Patarei peab natukeseks ajaks laadima panema, et see töötaks. Enne trükkplaatide kokku panemist peab jootma lihassensorile 3 laiendatav 3-korruseline pesa klemmid ning LiPo patareiga LED plaadile kaks 3-korruseline pistik klemmid, et ühendused oleksid lihtsamini loodavad. Patarei laetud tuleb järgmised ühendused teineteisega ühendada: $V_S - V_S$, GND – GND, SIG – SIG ja RAW – RAW, SHLD – SHLD, GND – GND.

Tähised:

- 1) V_S – toiteallikas
- 2) GND – maandus
- 3) SIG – töödeldud signaali väljund

- 4) RAW – töödeldamata emg signaalid
- 5) SHLD – toide teisest plaadist, et LED ribad läheksid põlema



Joonis 17. Sensor on võimeline lugema ja saatma signaale.

LED ribad põlemise õnnestumisel on aeg panna lihassensori oma keha peale. Lihtsa testi nimel pani koostaja oma biitsepsi peale. Elektroodide paigutamiseks on vaja järgida esiteks ala puhtust ning lihassensori parempoolne elektrod ehk M elektrod peab olema lihaskeha keskel ning vasakpoolne E elektrod selle kõrval ning referents elektrod ei tohi olla samas lihaskehas. Katsetus tehtud on näha, et kui käsi on puhke asendis, siis LED ribadest põleb ainult 1 ehk palju lihaspingutust ei ole, kuid biitsepsi korralikult kokku pigistades põlevad kõik ribad näidates lihase liigutust.



Joonis 18. Käsi puhke asendis.



Joonis 19. Käsi pinges asendis.

Katsetused läbi viidud on järgmiseks etapiks lihassensori ühendamine Arduino mikrokontrolleriga ning üritada lugeda signaale. Kasutades Arduino IDE tarkvaras olevat näidiskoodi, mida veidi muutes, on näha, et lihassensorist saadud töödeldud EMG signaalid täitsa kätte saadavad. Lihasanduril on Arduinoga analoog signaali ühendus, mille tõttu vastuvõetud signaalid on väärtuste 0 – 1023 vahel, kuna Arduinol on 10 bitine AD-muundur.

```

#include <SoftwareSerial.h>

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  int signaal = analogRead(A1);
  delay(400);
  Serial.println("Signaali suurus: ");
  Serial.println(signaal);
}

```

Joonis 20. Lihtne testimis kood.

```

983
Signaali suurus:
984
Signaali suurus:
984
Signaali suurus:
984
Signaali suurus:
572
Signaali suurus:
270
Signaali suurus:
146
Signaali suurus:
96
Signaali suurus:
78
Signaali suurus:
71
Signaali suurus:
68
Signaali suurus:

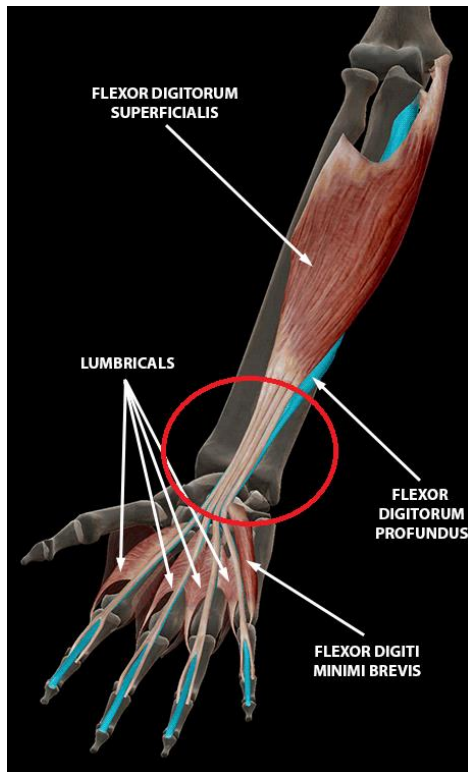
```

Joonis 21. Väljastatava signaali väärtus

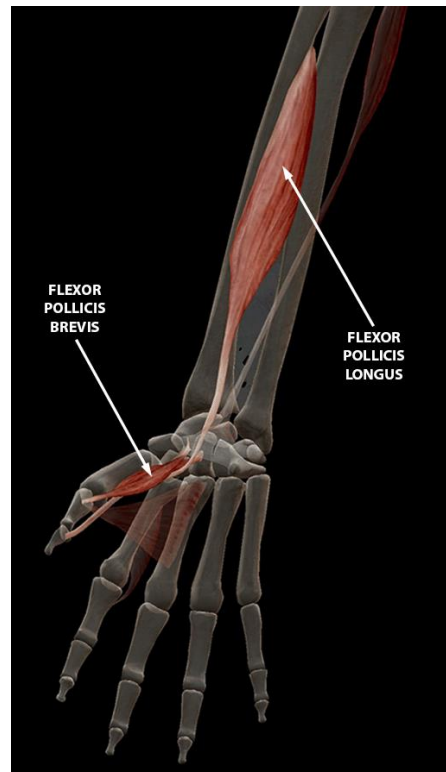
3.2 Lihassensori erinevate sõrmede tuvastus

Inimeste näppude lihased on küünarvarres randme kohal üksteisele väga lähedased, mille tõttu lihasingel saab EMG mõõta samaaegselt mitme näpu liigutust. Anatoomilises terminites kontrollib neli sõrme flexor digitorum profundus lihas ja pöidlat liigutab flexor pollicis longus lihas. Pöidla liigutamise ajal on ka näha, et teised sõrmed ei liigu, kuid liigutades teisi tulevad mõned kaasa.

Lihassensor on võimeline tuvastama erinevate sõrmede liikumist ning selle tõttu teen katse, et selgitada kindla sõrme liikumise määramiseks.

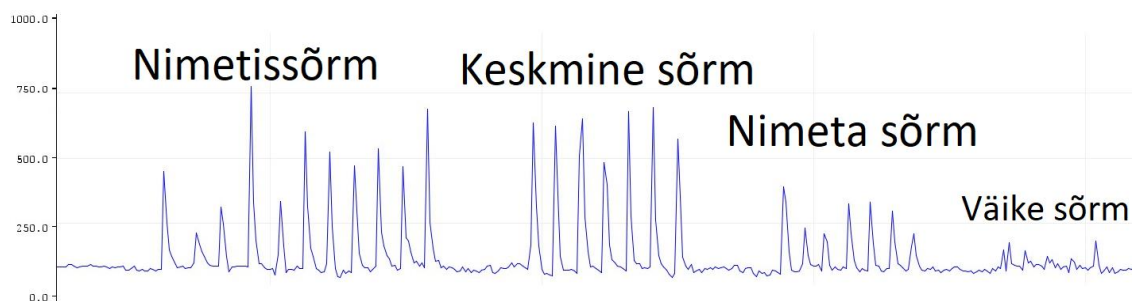


Joonis 22. Flexor digitorum profundus.



Joonis 23. Flexor pollicis longus.

Kuna pöidlat liigutab teine lihas, siis katse viiakse läbi flexor digitorum profundus lihase peal.



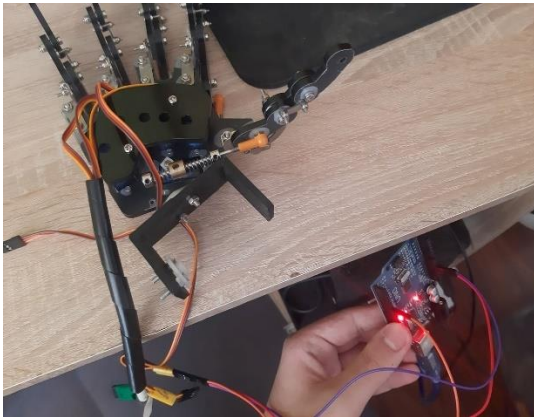
Joonis 24. Erinevate sõrmede tuvastus.

Mikrokontrolleri analoogsisend väljastab väärtuseid 1023-ni. EMG mõõdab katsetuse puhul keskmise sõrme ja nimetissõrme signaale kõrgemalt, nimeta sõrme umbes poole ulatuses vähem ja väikest sõrme kõige vähem.

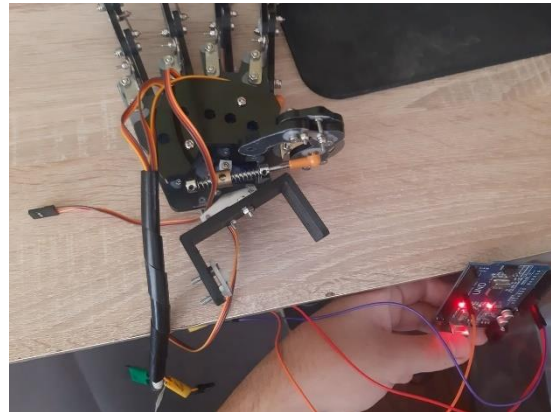
3.3 Robotkäe tegevuse kontroll

Elektromüograafi tegevus kontrollitud on vaja teha kindlaks, et robotkäsi on samuti töötamas. Selle jaoks teeb koostaja kiire katsetuse. Tudeng kontrollib iga sõrme liikumist eraldi. Vastavalt koodile viiakse kontroll läbi nii, et näpud liiguksid rusika

asendist täieliku sirutamiseni. Täiendavalt on igale servomootorile määratud oma kindel pööramisnurk.



Joonis 25. Pöial liigub kindla nurgani, sirge näpp.



Joonis 26. Pöial liigub kindla nurgani, rusika asendis.

Pärast esimese testi sooritamist, muutis koostaja igale järgnevale sõrme jaoks koodis pöörlemisnurkasid ning seljärel testis iga sõrme liikumist. Piltides on esile toodud ainult pöidla liikuvus. Sellest testimisest tuli järelduseks, et robotkäsi on töötamas, kuid keskmise sõrme alglüli ja servo mootori liigendi vahelises kinnitus kohas ei ole piisavalt ruumi, et mutriga polti kinnitada. Selle tõttu pidi näppu veidi jõudu kasutades kohapeal hoidma vastasel juhul läks mutter väga lihtsasti järjekordselt lahti.

```
void loop() {  
  // put your main code  
  //Pöial ja sõrmuse näpp  
  servol.write(70);  
  delay(1000);  
  servol.write(0);  
  delay(1000);  
}
```

Joonis 27. Kood pöidla liigutamiseks.

3.3.1 Robotkäe näpu parandamine

Robotkäe iga näpp liigub suhteliselt sujuvalt ning sobilikult, kuid keskmise sõrme alglüli pööramisel ümber Y-telje, kukub alglüli ja servomootori liigendi kinnituskoha mutter välja. Selle tõttu oli vaja seda asendada uue alglüliga, mille pöörlemine ei segaks sõrme liikuvust.

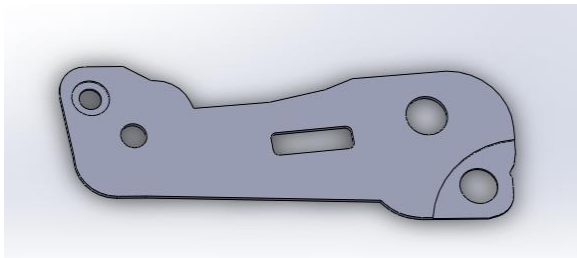


Joonis 28. Keskmise sõrme polt läheb läbi mutriava.

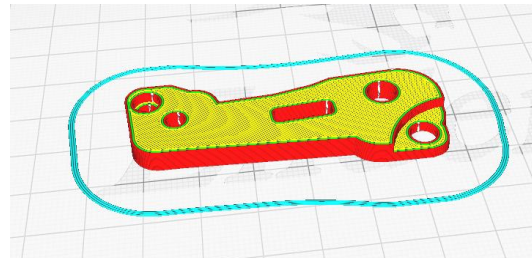


Joonis 29. Mutter tuleb välja pärast sõrme liikumist

Sõrme parandamiseks osutus kõige lihtsamaks viisiks 3D-printeri kasutus. Keskmise sõrme algülili detaili tuli modelleerida SolidWorks tarkvaras, mille teadmisi on koostaja eelnevalt ülikoolis raalprojekteerimise õppeaine raames omandanud ning tarkvara jaoks on olemas ka aastaajane tudengilitsents. Robotkäe skeemi puudumise tõttu tuli välja mõelda viis algülili asenduseks. 3D mudeli loomiseks tehti pilt algülilist, mille peale joonistati samasugused kontuurjooned ning hiljem võrreldi mõõtudega ja vajadusel suurendati/vähendati skaalat. Muudatus tehti mutri ava kohas, mille paksus muudeti kahekordselt väiksemaks.



Joonis 30. Alglüli mudel.



Joonis 31. Alglüli STL fail 3D printimis tarkvaras.

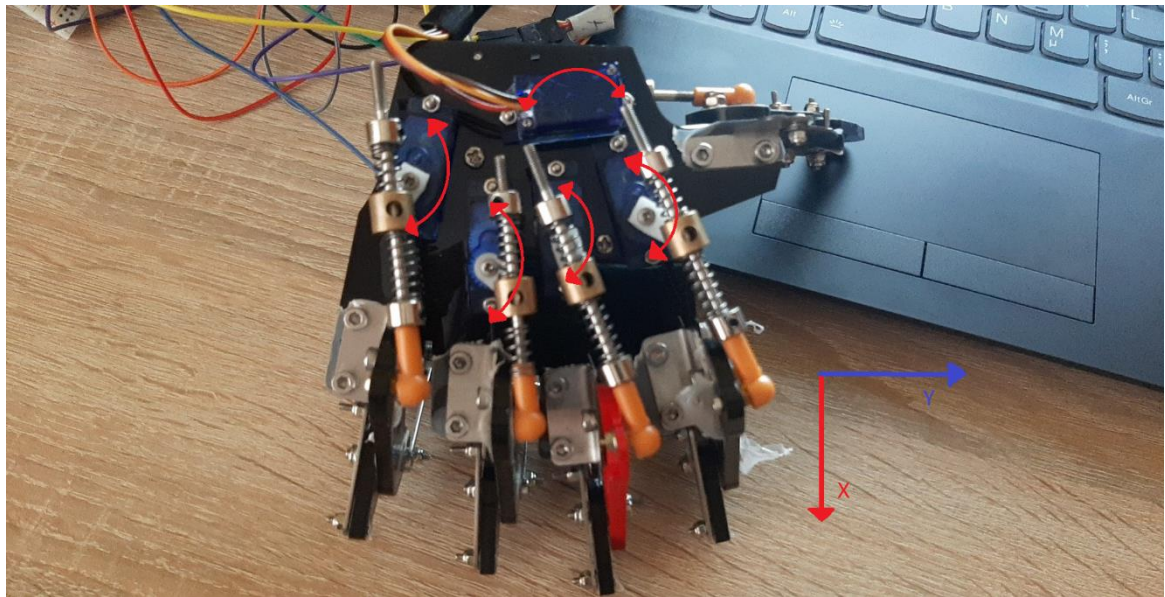
Pärast mudeli välja printimist tuli vahetada robotkäe algülili. Servo mootori liigendi kinnitamisel algüliliga ning uuesti testi läbiviimisel ei liikunud algülili pöörlemisel mutter kaasa ehk häire oli kõrvaldatud.



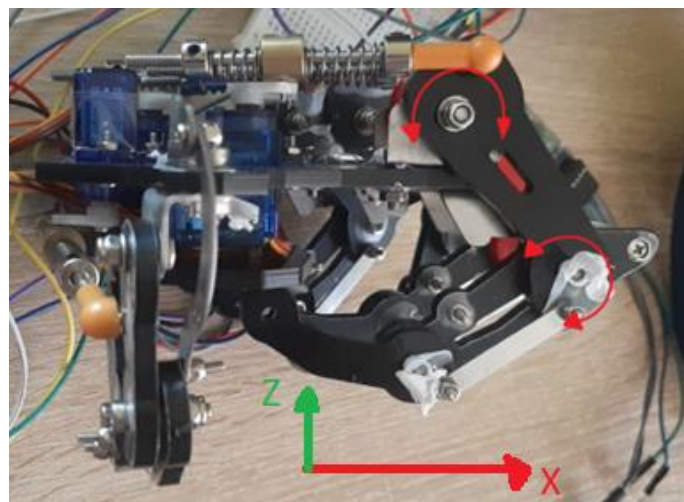
Joonis 32. Parandatud sõrm rusika asendis.



Joonis 33. Parandatud sõrm sirutuse asendis.



Joonis 34. Kinemaatika skeem servomootorite liikumissuund ümber Z-telje .



Joonis 35. Kinemaatika skeem algülili ja kesklüli liikumissuund ümber Y-telje.

3.4 Seadmete täpsused

3.4.1 Servomootorite liikuvus

Robotkäe sõrmede liigutamiseks tuleb leida mootorite optimaalse pöördenurga. Selle jaoks viiakse läbi testid iga servomootoriga eraldi, et uurida, kas need ühtivad või on erilised. Vastavalt robotkäe komplekti andmelehele on eelduseks, et kõik servomootorid liiguvad $0^\circ - 180^\circ$ [18]. Avades robotkäe detaile servomootorite paljastamiseks on kohe algusest näha, et kaks servomootorit on teistest erinev oma hammasrataste värvide ja sildi märgistuse poolt.



Joonis 36. Vahetatud mootorid.



Joonis 37. Vanad mootorid.

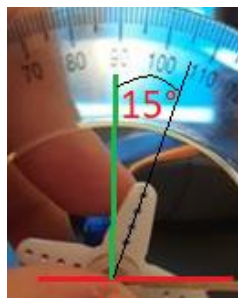
Selle tõttu saab eeldada, et robotkäe komplekti eelnev kasutaja on vahetanud mootoreid ära ja komplekti andmelehte ei saa hetkel tõeks pidada. Pöördenurkade identifitseerimiseks tuleb servomootoreid liigutada $0^\circ - 180^\circ$ ja $180^\circ - 360^\circ$ vahel ning respektiivselt välja kirjutada tabelisse.

Tabel 3.4.1 Servomootorite pööramisnurgad.

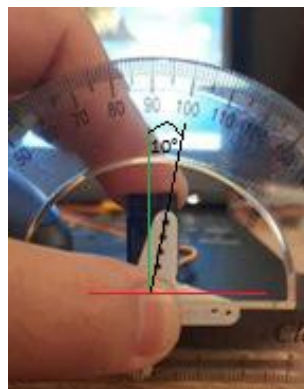
	Esimene mootor (Tume ratas)	Teine mootor (Hele ratas)	Kolmas mootor (Tume ratas)	Neljas mootor (Tume ratas)	Viies mootor (Hele ratas)
Mootori pöördenurk	$0^\circ - 180^\circ$	$0^\circ - 180^\circ$	$0^\circ - 180^\circ$	$0^\circ - 165^\circ$	$0^\circ - 170^\circ$

Testimise käigus pandi nelja otsaga liigendi hoob servo mootori külge ning uuriti selle liikuvust $0 - 180^\circ$ vahel. Pärast testimist oli näha, et enamus mootoritest olid silmaga vaadates $0^\circ - 177-179^\circ$, mida võib lugeda 180 kraadiks, kuid neljanda ja viienda mootoriga oli märkimisväärselt suurem kõrvalekalle. Testimise käigul tuli välja, et kahe

uuema välimusega servomootorid on samasugused ning kõik mootorid liiguvad 0° - 180° vahel.



Joonis 38. Neljanda mootori pööramisnurk.



Joonis 39. Viienda mootori pööramisnurk.

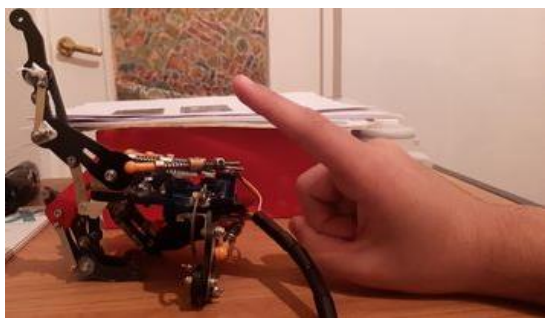
Tabelis olev numbriline järjekord on samuti mootorite peale märgistatud ja on mõeldud väikesest sõrmest pöidlani.

Tabel 3.4.1.1 Servomootorite pööramisnurgad ning vastavad sõrmed.

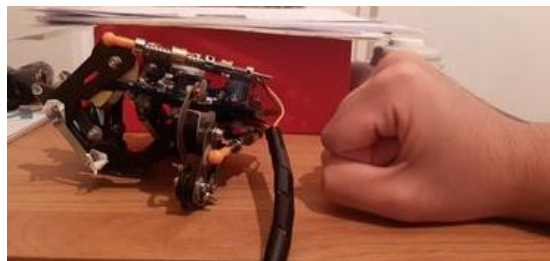
Mootor vastavalt sõrmele	Väike sõrm	Nimeta sõrm	Keskmine sõrm	Nimetis sõrm	Pöial
Pöördenurk	0° - 180°	0° - 180°	0° - 180°	0° - 165°	0° - 170°

3.4.2 Robotkäe sõrmede liikuvus

Robotkäe sõrmede liikuvus sõltub servomootoritest, sõrmede liigenditest ja lülidest. Liikuvuse määramiseks on servomootori pööramisnurk jagatud nii, et liikumine esineks 0° ja 180° vahel. Testi ajal selgus, et visuaalselt on sõrmede liikumist sirutusest rusika asendini näha täies mahuses eelnevalt määratud pööramisnurkade vahel.



Joonis 40. Lahtine asend.



Joonis 41. Kinnine asend.

3.4.3 Robotkäe sõrmede liikuvuse täpsus

Sõrmede liikumise täpsus sõltub mitmetest erinevatest osadest: liigendi hoobist, liigendist, liigendi kinnituskohast ning lülide poltidest ja mutritest. Servomootorite pöörlemine ümber Z-telje mõjutab lülide liikumist ümber Y-telje, kuid liigendi hoobi kinnituskohast mootoril, vedrude edasi-tagasi liikuvus, liigendi ning lülide kinnituskohade tõttu sõrmed loksuvad. Loksuvuse tõttu saab järeldada, et sõrmede liikumistrajektorid ei ole täpsed.

Selles peatükis tuleb määrata robotkäe sõrmede liikuvuse täpsust. Täpsuse määramiseks tuleb liigutada kontstantselt sõrme 0° ja 180° vahel. Iga katse järel saab mõõta kui kaugel kõrvalepõige on robotkäe peopesast, seejärel tuleb mõõtmised tabelisse lisada ja arvutada standardhälve ning uurida, mis on liikumise sagedus. Kuna nimetis sõrmest väikse sõrmeni on sarnane liikuvus, siis täpsust määratakse pöidlal ja ühel omavalikul sõrmel. Lihtsuse mõttes valib mõõtmiseks koostaja väikese sõrme, kuna sellisel viisil on kõige mugavam joonlauaga mõõta.



Joonis 42. Sõrme kauguse mõõtmine



Joonis 43. Pöidla kauguse mõõtmine

Tabel 3.4.3.1 Pöidla katsetuse mõõtetulemused.

Nr	Mõõde	Nr	Mõõde	Nr	Mõõde	Nr	Mõõde
1	5,5 mm	11	5 mm	21	4,7 mm	31	4,6 mm
2	5,2 mm	12	5 mm	22	4,9 mm	32	4,8 mm
3	5,2 mm	13	5 mm	23	4,9 mm		

4	5,6 mm	14	4,9 mm	24	4,7 mm		
5	5,3 mm	15	5 mm	25	4,9 mm		
6	5,2 mm	16	5 mm	26	4,8 mm		
7	5,2 mm	17	4,8 mm	27	4,8 mm		
8	4,9 mm	18	4,9 mm	28	4,5 mm		
9	5 mm	19	4,7 mm	29	4,5 mm		
10	5 mm	20	4,7 mm	30	4,6 mm		

Mõõtetulemused kätte saadud tuleb leida mõõtetulemuste keskmine ja keskmise standardhälve, kus:

σ^2 – dispersioon

\bar{x} – väärtuste keskmine

x_n, x_i – signaal katsetusel i

n – perioodide arv

Signaalide aritmeetilise keskmise saab leida valemiga:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + \dots + x_n}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{157.80}{32} = 4.93125 \text{ mm}$$

Dispersioon:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

$$\sigma^2 = 0.06590$$

Standardhälve:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{32-1} \sum_{i=1}^{32} (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{0.06590} = 0.2567 \text{ mm}$$

Mõõtetulemuste alusel tuleb koostada sagedustabel. Arvutuste lihtsustamiseks jaotatakse mõõtetulemuste hajuvusulatus k intervalliks, $k = 8$. Intervallid peavad olema konstantse sammuga h . Hajuvusulatus on leitav valemiga:

$$r = x_{max} - x_{min} = 5.6 - 4.5 = 1.1$$

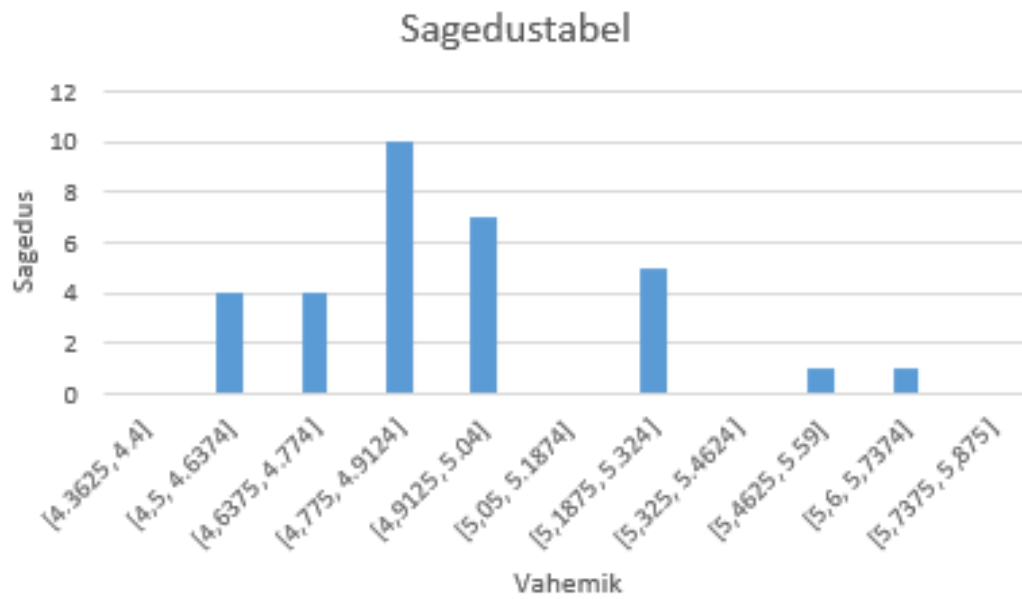
kus on x_{max} suurim ja x_{min} väikseim mõõtmisel saadud väärtus.

Intervalli samm leitakse valemiga:

$$h = \frac{r}{k} = \frac{1.1}{8} = 0.1375$$

Tabel 3.4.1.2 Intervalli tabel

Intervall		Esinemissagedus intervallis
Algus	Lõpp	
4.3625	4.4	0
4,5	4.6374	4
4,6375	4.774	4
4,775	4.9124	10
4,9125	5.04	7
5,05	5.1874	0
5,1875	5.324	5
5,325	5.4624	0
5,4625	5.59	1
5,6	5,7374	1
5,7375	5.875	0



Joonis 44. Pöidla liikumise positsioonide vahe peopesast.

Tabel 3.4.1.3 Väikse sõrme katsetuse mõõtetulemused

Nr	Mõõde	Nr	Mõõde	Nr	Mõõde	Nr	Mõõde
1	4 mm	11	4 mm	21	3,5 mm	31	4,1 mm
2	3,7 mm	12	4 mm	22	3 mm	32	4,2 mm
3	5 mm	13	4 mm	23	3,5 mm		
4	4,5 mm	14	3,9 mm	24	3,4 mm		
5	3,8 mm	15	4 mm	25	3 mm		
6	4 mm	16	5,5 mm	26	3 mm		
7	4,9 mm	17	6,5 mm	27	3 mm		
8	4 mm	18	5,2 mm	28	3,5 mm		
9	3,9 mm	19	8 mm	29	4 mm		
10	4,1 mm	20	6 mm	30	5,1 mm		

Signaalide aritmeetilise keskmise saab leida valemiga:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + \dots + x_n}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{136,3}{32} = 4,2594 \text{ V}$$

Dispersioon:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

$$\sigma^2 = 1.1368$$

Standardhälve:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{32-1} \sum_{i=1}^{32} (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{1.1368} = 1.0662$$

Hajuvusulatus on leitav valemiga:

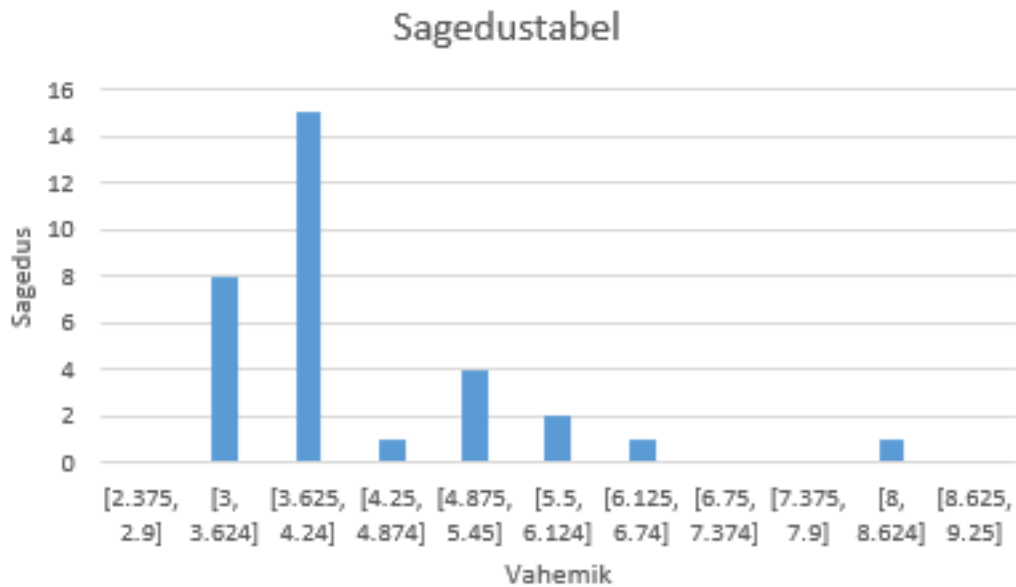
$$r = x_{max} - x_{min} = 8 - 3 = 5$$

Intervalli samm leitakse valemiga (Intervall $k = 8$):

$$h = \frac{r}{k} = \frac{5}{8} = 0.625$$

Tabel 3.4.1.4 Intervalli tabel

Intervall		Esinemissagedus intervallis
Algus	Lõpp	
2.375	2.9	0
3	3,624	8
3,625	4,24	15
4,25	4,874	1
4,875	5,45	4
5,5	6,124	2
6,125	6,74	1
6,75	7,374	0
7,375	7.9	0
8	8,624	1
8,625	9.25	0



Joonis 45. Väikse sõrme liikumise positsioonide vahe peopesast

Pöidla liigutamise katse puhul on näha, et näpp peatub üsna täpselt samas kohas 1,1 mm vahega ning mõõtehälveks on $4.93125 \pm 0.2567 \text{ mm}$. Vaadates teist katsetust oli väikse sõrme liigutamine suuremal määral ebatäpsem, juhtus ka seda, et sõrm liikus peopesast ligi 5 mm kaugusele esialgsetest kaugustest. Sellise liikuvuse põhjuseks on loksuvad sõrmelülid, mida ei saa lõputöös kasutatava robotkäes parandada. Robotkäe puudustest on järgmises peatükis kirjeldatud.

3.4.3.1 Robotkäe sõrmede liikuvuse täpsuse suurendamine

Sissejuhatuses mainitud robotkäte hindade tõttu saab juba eelnevalt eeldada, et see robotkäsi, mida kasutatakse selles lõputöös, on võrreldes kallimate robotkätega palju kehvem, ligikaudu "50" korda odavam.

Robotkäel on kolm põhi puudust/probleemi: mootorid, sõrmelülid ja nendevaheline liigend. SG90 servomootorid ei ole üldse võimsad mootorid, väikse takistuse tõttu ei suuda mootorid edasi liikuda ja jäävad kohapeal kinni. Selle tõttu peavad sõrmelülide ja liigendi kinnituspaidad olema nõrgalt kinnitatud. Nõrk kinnitus tekitab lülidel loksuvust, mis omakorda tekitab ebatäpsust.

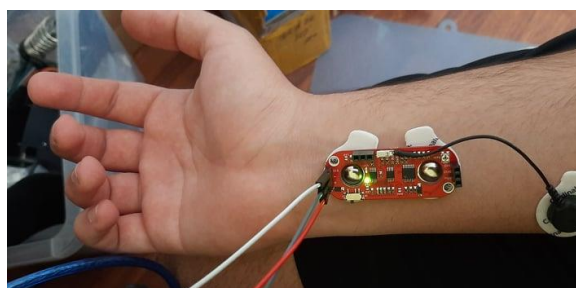
Nende põhjuste tõttu ei ole võimalik olemasolevat robotkätt mainimisväärselt täpsemaks teha, kuna antud süsteemi servomootorid ei ole piisavalt võimsad ning käsi on täpsuse määramiseks halva disainiga. Uute mootorite välja vahetuse korral peab muutma terve süsteemi disaini. Kõige parem võimalus on osta uus robotkäe, millel on firma poolt täpsus määratud või ise disainida robotkäsi, mille täpsust saab ise määrata.

3.4.4 Lihassensori täpsus ja välismõjude mõju töövõimele

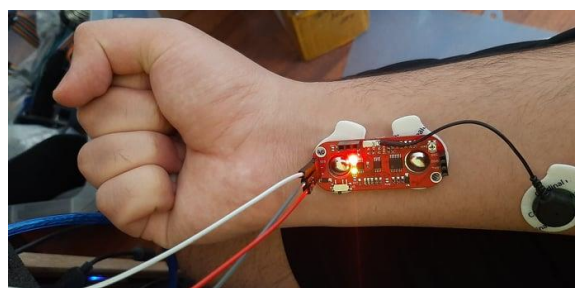
Lihassensori täpsuse määramiseks tuleb läbi viia kahte katsetust, mis kujutab endast ette ühe sõrme samasuguse liigutuse tagajärjel mõõdetud signaalide kontrollimine. Sellel meetodil mõõdetakse signaale 32 korda ja leitakse nende keskväärtust, standardhälvet ja koostatakse sagedustabelit. Katseid tehakse kaks korda ja võrreldakse tulemusi.

Pärast lühikese testimise tagajärjel esines nähtusi signaali mõõtmisega, kus ühe sõrme mõõtmine sõltub suurelt EMG asukoha paigutamisest ja sama sõrm võib väljastada väga kõrget tulemust, kuna kõik oleneb kui tugevasti lihast pingestada. Lisaks individuaalse sõrme liigutamisel ei saanud vältida teise sõrme samaaegset liikumist, mis võis mõjutada lõpptulemust. Nimetatud põhjuste tõttu tuli kasutada katsetustes ühe sõrme asemel kõike sõrmi. Rusika asendil olid samasugused sõltuvused kui esimesel katsel, aga eeliseks oli see, et lõpptulemust ei mõjutanud see kui ühe sõrme liikumisel liikusid teised sõrmed kaasa. Eksperimendil mõõdetakse käe tippnetke ja mõlemal juhul tehakse 32 katset ja tulemused kantakse tabelitesse.

Katsete meetodiks on rusika asendisse panekul suurima väljundsignaali mõõtmine. Katsetuse ajal on käsi rahulikult põlve peal ja sirges asendis küünarnukist sõrmedeni ning liiguvad ainult sõrmed.



Joonis 46. Lahtine asend.



Joonis 47. Rusika asend.

Pidades meeles seda, et analüüsimisel mängib suurt rolli EMG paigutus on lisaks testimise käigul tähelepanev passiivne signaal, mida EMG väljastab, ehk käsi lõdvestusasendis. Selles katses on passiivne signaali suurus 0.67 V – 0.70 V vahel ehk tegeliku signaali suurus käe liigutamisel on:

$$2.41 V - 0.70 V = 1.71 V$$

Tabel 3.4.4.1. Esimese katse mõõtetulemused

Nr	Väljundsignaal	Nr	Väljundsignaal	Nr	Väljundsignaal	Nr	Väljundsignaal
1	2.41	11	2.07	21	2.71	31	2.48

2	2.62	12	2.29	22	2.28	32	2.79
3	2.53	13	2.78	23	2.33		
4	2.33	14	2.49	24	2.42		
5	2.47	15	3.75	25	2.39		
6	2.78	16	2.21	26	2.42		
7	2.51	17	2.18	27	2.15		
8	2.39	18	2.29	28	2.37		
9	2.09	19	2.19	29	2.17		
10	2.22	20	2.19	30	2.81		

Signaalide aritmeetilise keskmise saab leida valemiga:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + \dots + x_n}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{78.11}{32} = 2.441 \text{ V}$$

Dispersioon:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

$$\sigma^2 = 0.0983$$

Standardhälve:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{32-1} \sum_{i=1}^{32} (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{0.0983} = 0.3136$$

Hajuvusulatus on leitava valemiga (intervall $k = 8$):

$$r = x_{max} - x_{min} = 3.75 - 2.07 = 1.68$$

Intervalli samm leitakse valemiga:

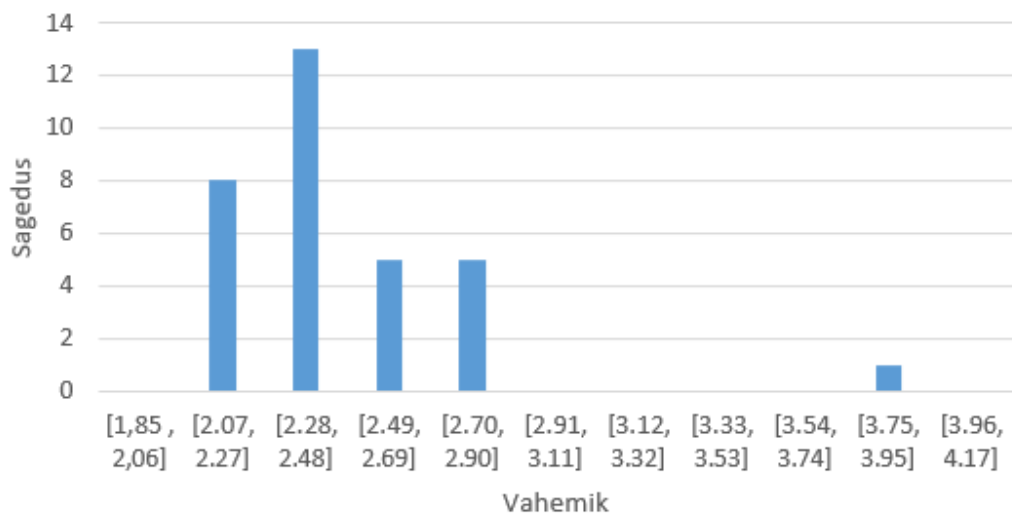
$$h = \frac{r}{k} = \frac{1.68}{8} = 0,21$$

Tabel 3.4.4.2 Intervalli tabel

Intervall		Esinemissagedus intervallis
Algus	Lõpp	

1.85	2.06	0
2.07	2.27	8
2.28	2.48	13
2.49	2.69	5
2.70	2.90	5
2.91	3.11	0
3.12	3.32	0
3.33	3.53	0
3.54	3.74	0
3.75	3.95	1
3.96	4.17	0

Sagedustabel



Järgmisena tuleb teha järeldesteks ja võrdluseks teine katse. Teise katse teostatakse paigutades EMG uuesti asendisse, mis erineb eelmisest asendist natukene. Teise katsetuse passiivne väljundsignaal on 0,42 V.

Tabel 3.4.4.3. Teise katse mõõtetulemused

Nr	Väljundsignaal	Nr	Väljundsignaal	Nr	Väljundsignaal	Nr	Väljundsignaal
1	2,30	11	2,24	21	2,41	31	2,07
2	2,49	12	2,30	22	2,93	32	3,07
3	2,20	13	2,29	23	2,20		

4	2,11	14	2,26	24	2,36		
5	2,41	15	2,23	25	2,10		
6	2,73	16	2,32	26	2,08		
7	2,87	17	2,33	27	2,50		
8	2,65	18	3,51	28	2,47		
9	2,49	19	2,65	29	2,55		
10	2,39	20	2,07	30	2,46		

Mõõtetulemused kätte saadud tuleb leida mõõtetulemuste keskmine ja keskmise standardhälve.

Signaalide aritmeetilise keskmise saab leida valemiga:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + \dots + x_n}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{78,04}{32} = 2,43875 \text{ V}$$

Dispersioon:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

$$\sigma^2 = 0.097486$$

Standardhälve:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{32-1} \sum_{i=1}^{32} (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{0.097486} = 0.3122$$

Hajuvusulatus on leitava valemiga:

$$r = x_{max} - x_{min} = 3.51 - 2.07 = 1.44$$

Intervalli samm leitakse valemiga (Intervalli samm $k = 8$):

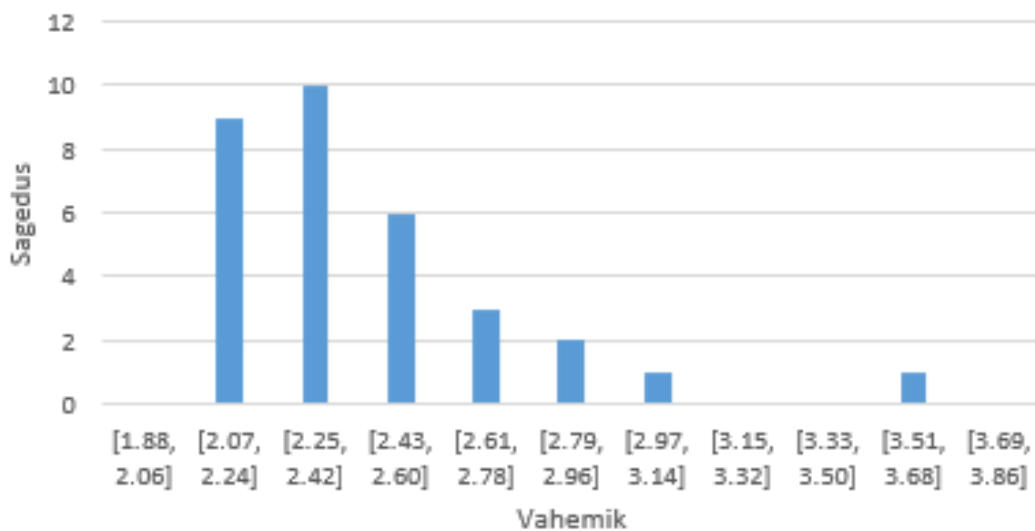
$$h = \frac{r}{k} = \frac{1.44}{8} = 0.18$$

Tabel 3.4.4.4 Intervallil tabel.

Intervall		Esinemissagedus intervallis
Algus	Lõpp	

1.88	2.06	0
2.07	2.24	9
2.25	2.42	10
2.43	2.60	6
2.61	2.78	3
2.79	2.96	2
2.97	3.14	1
3.15	3.32	0
3.33	3.50	0
3.51	3.68	1
3.69	3.86	0

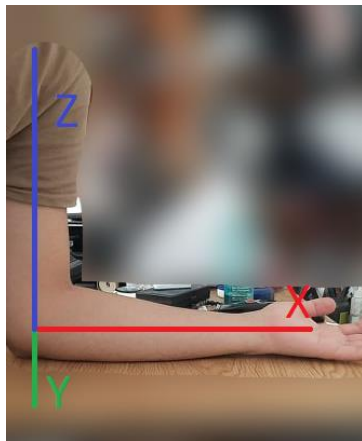
Sagedustabel



Esimese katse puhul oli väljundsignaali suurus $2.441 \pm 0.3136 V$ ja teise katse puhul $2,43875 \pm 0.3122 V$. Nendest katsetest saab järeldada, et lihassensori uuesti paigutamisel täpsus ei muutunud suurel määral ehk sensor on üsna täpne oma mõõteveaga. Enamasti tuli katsete ajal 2 – 3 V ulatuses väljundsignaal, kuid juhtus ka seda kui väljundsignaal hüppas liiga kõrgele, mille põhjuseks oli liigne koormus käe liigutamise ajal. Väljundsignaalid ei olnud tihti kõrgemad kui 3 V, mis tähendab, et lihas pingutused olid samas vahemikes.

3.4.4.1 XYZ teljes signaali mõõtmine

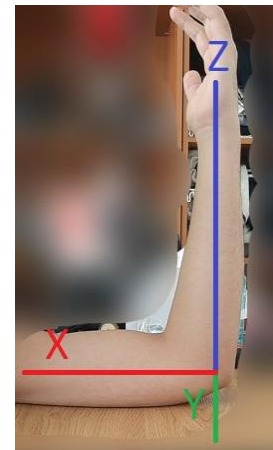
Eelmises peatükis tuli välja, et erinevate katsete tulemustel olid mõõdetud signaalid suhteliselt täpselt. Katsetustes oli käsi sirgelt sirutatud vastu põlve, mis tekitas küsimuse, et kas erinevatel positsioonidel on mõju lihassensori mõõtmise võimekusele. Selle katsetuse sooritamiseks tuleb kasutada sirget lauda, kuhu pannakse käsi. Esimeses katsetuses on käsi X-telje suunas, teises Y-telje suunas ja viimane Z-telje suunas. Mõõdetakse täpselt samamoodi, kuid seekord ainult ühe sõrme liigutust ja numbrid pannakse tabelitesse.



Joonis 48. Positsioon X-telg.



Joonis 49. Positsioon Y-telg.



Joonis 50. Positsioon Z-telg.

Suurimad väärtused keskmise sõrme liigutamisel:

1.52	1.53	1.36	1.79	1.47	1.23	1.34	1.46	1.19	1.48
1.25	1.59	1.25	1.34	1.30	1.39	1.57	1.38	1.28	1.44

Esimene katse, X-telg.

1.22	1.00	1.00	1.07	0.99	1.03	0.93	1.18	1.10	1.19
1.17	1.17	1.05	1.07	1.17	1.05	1.00	1.12	1.17	1.03

Teine katse, Y-telg

1.17	1.33	1.05	1.37	1.26	1.31	1.08	1.08	1.37	1.24
1.15	1.25	1.12	1.08	1.09	1.25	1.21	0.98	1.20	1.32

Kolmas katse, Z-telg

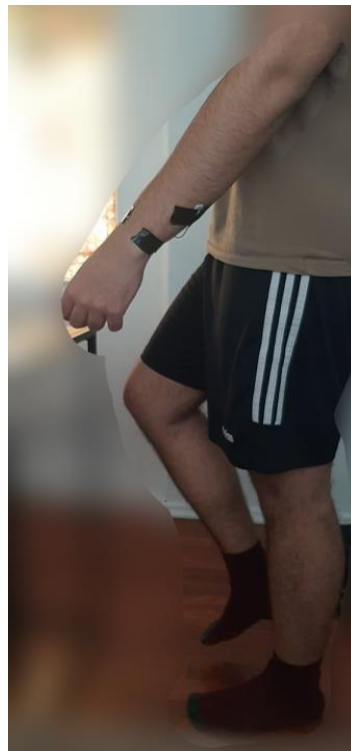
Iga positsiooni keskmine väljundsuurus on X-teljel 1.41 V, Y-teljel 1.09 V ja Z-teljel 1.20 V, kontrollides iga positsiooni passiivset signaali, mis oli samas vahemikus, saab järeldada katsetest, et käe positsioon mõjutab mingil määral lihase pingutuse suurust.

3.4.4.2 Signaalide mõõtmine jalutamise ajal

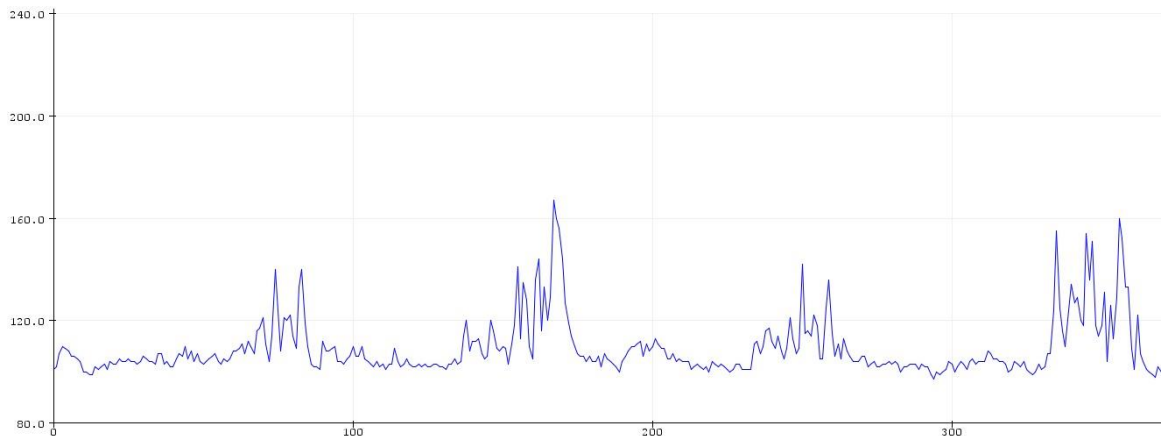
Jalutamise käigus tekib kehas vibratsioonid, mida võib EMG lugeda lihasingutuseks. Selle jaoks teen katse, mis mõõdab passiivset signaali ehk ilma sõrmede pingutusega ning uurin, kas jalade trampimine muudab väljundsignaali väärtuseid või mitte.



Joonis 51. Jalutamine parem jalg maas.



Joonis 52. Jalutamine vasak jalg maas.

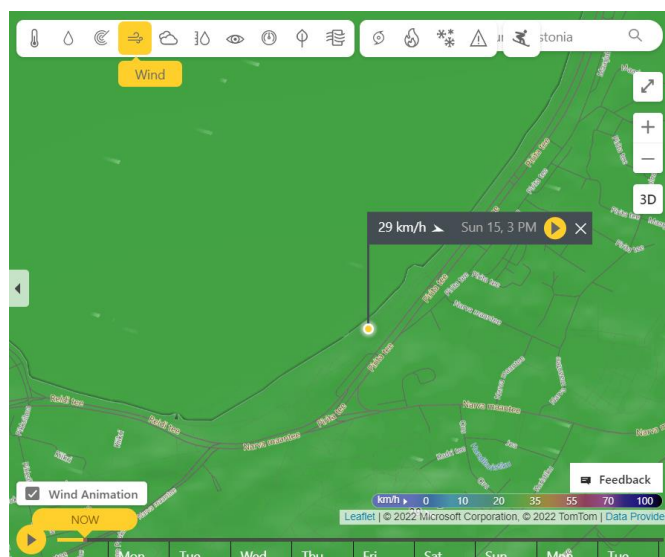


Joonis 53. Graafik signaalidest seismise ja jalutamise ajal.

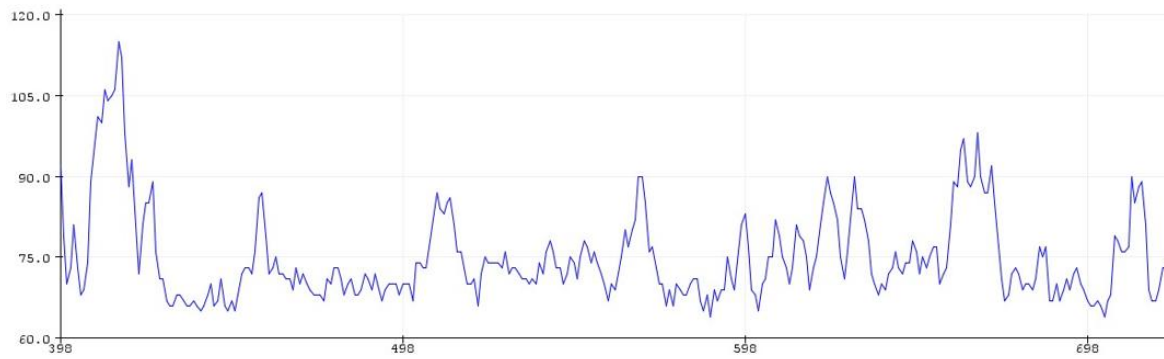
Graafikust on näha kuidas jalutamise ajal kerkivad signaali suurused ning lõpetamise ajal läheb tagasi algolekusse. Sellest saab järeldada, et jalutamine mõjutab lihassensori tulemusi, mida saab välja arvestada kui leida lahenduse lihassensorile jalutamise režiimi, mis jalutamise ajal ei loeks häiret.

3.4.4.3 Välise kliima mõju

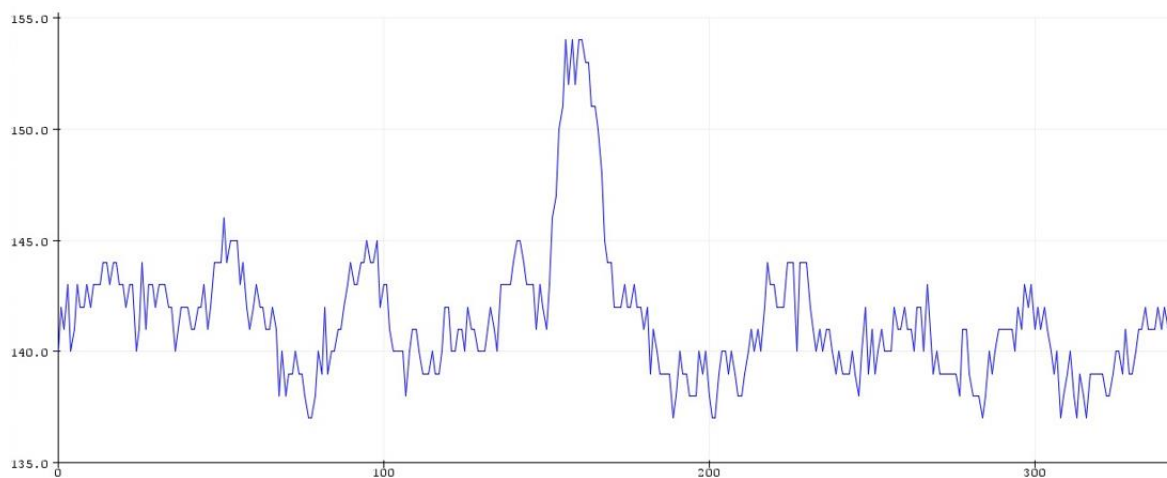
Välismõjuriteks mõtlesin välja, et kas tuul saaks kuidagi mõjutada lihassensori tööd. Selle jaoks läksin mere äärde tuulisel päeval, kus tuul puhus 29 km/h. Leidsin istme koha ning pöörasin vastu tuult. Mõõtsin passiivset signaali, mille kaudu on võimalik määrata tuule mõju EMG väärtustele. Passiivsete signaalide mõõtmiseks tuli käsi hoida rahulikult kohapeal ilma sõrmede liigutamiseta.



Joonis 54. Ilmastik tuule kiirusest. [23]



Joonis 55. Passiivne signaal tuule mõjul.



Joonis 56. Passiivne signaal ilma tuuleta.

Vaadates tulemusi tuule mõju all olev lihassensor väljastas 0 – 1023 väärtuse ulatuses väärtuseid keskmiselt 65 – 90, mis tähendab, et nende vahel oli $90 - 65 = 25$ laiuses vahe. Uurides siseruumis signaale, siis keskmiselt oli 137 – 145 vahel, ehk $145 - 137 = 8$ laiuses. Isegi kui mõlema katse puhul on lõdvestusasendi signaalide suurused erinevad, on passiivsed signaalid väikese vahemikuga iga katse puhul. Sellest saab järeldada, et tuulel on mõju lihassensorile, mille saab välja arvestada kui panna lihassensori süsteemi režiimi, mis tuulisel päeval lahutaks maha selle vahe väärtusest.

3.5 Robotkäe liigutus lihassensoriga

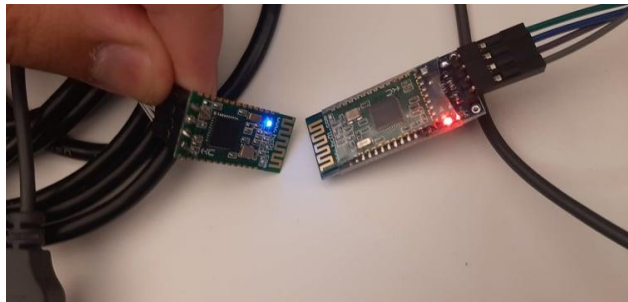
Seadmed uuritud tuleb täita viimast ülesannet, et lõputöö eesmärk oleks lõplikult täidetud. Koostaja teeb viimase ülevaatusena robotkäe ja lihassensori vahelise koostöö kokku sobivusest. Selles peatükis liigutatakse robotkäsi elektromüograafia kasutades kahte Arduino mikrokontrollerit, mille andmevahetus toimub bluetooth moodulite kaudu. Lihassensoril on ainult üks väljundsignaal, mille tõttu peab igat sõrme liigutama eraldi järjekorras, et uurida nende liikuvust. Analoo sisendi klemmiga on ühenduses elektromüograaf ja digitaalse sisendi klemmiga on ühenduses robotkäe servomootor. Mõlemad seadmed on omavahelises ühenduses leivalauaga. Nagu varasemalt mainitud kuna AD-muunduri väärtused on 0 – 1023 vahemikes tuleb neid arvutustes arusaadavamaks väärtusteks muuta. Selle jaoks on valitud kõige arusaadavamaks väärtuseks pinget, mida jagatakse mõõdetud signaali 1023-ga ja korrutatakse 5-ga, et vastused oleksid 0 – 5 V väärtuse vahemikus.

3.5.1 Bluetooth moodul

Koostaja isikliku soovi tõttu võetakse käsile robotkäe ja lihassensori kaugkommunikatsiooniks Bluetooth moodulid, mille tõttu enne robotkäe liigutamist tuleb sidestada omavahel kaks HC-08 bluetooth moodulit. Tuli määrata moodulite kommunikatsiooni järjekorda. Lihassensor määrati ülemaks ja robotkäsi alluvaks.

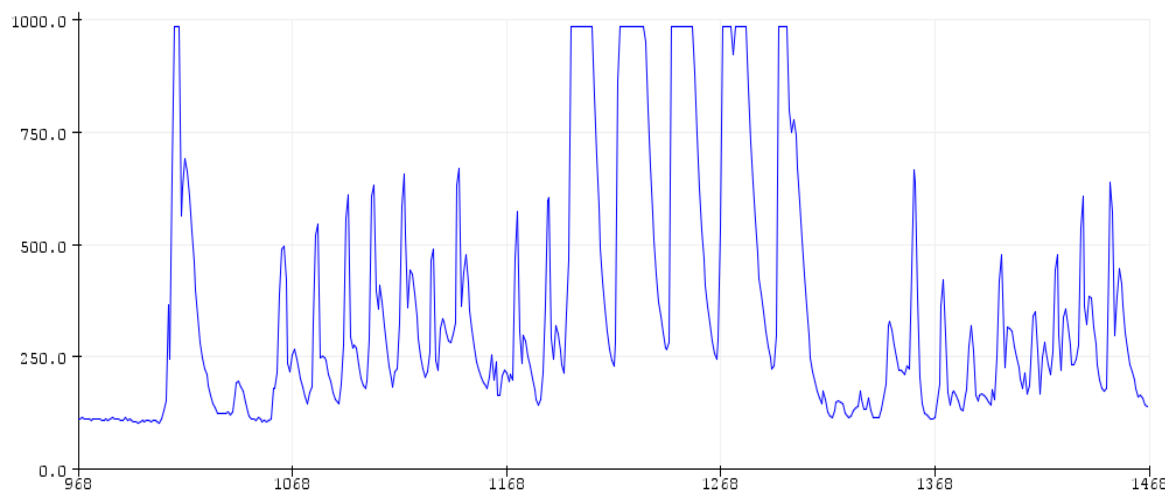
```
AT+RX|
-----
Name:HC-08
Role:Slave
Baud:9600,NONE
Addr:B0,7E,11,E8,9D,D6
PIN :000000
www.hc01.com
```

Joonis 57. Ühendus läbi AT command-i, M või S määramine ja aadressi kinnitamine.



Joonis 58. Ühendus loodud, LED enam ei vilgu.

Ühendus olemas tuleb kirjutada selline kood, mis saadaks korrektseid väärtuseid ühest moodulist (ÜLEM) teisele (ALLUV). Õigete väärtuste kindlaks tegemiseks liigutatakse ühte sõrme ja kõike sõrmi üksteise järel. Ühe sõrme liigutus on väiksema lihase pingutusega võrreldes kõikide sõrmede liigutamisega, mis tuleb ka graafikus välja.



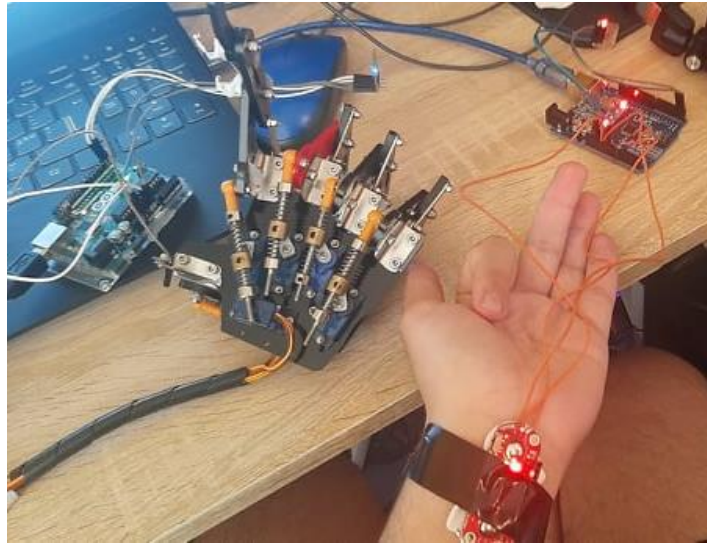
Joonis 59. Sõrme liigutamise ja terve käe liigutamise graafik 0 – 1023 vahel.

Graafikus on näha, et ühe sõrme liigutamisel jõuab signaal 400 – 650 vahele ning rusika asendil läheb maksimumi välja. Sõrme liikumisel on näha, et on kõikumisi, mis sõltub inimesest, et kui tugevalt lihast pingutatakse. Samuti paistab graafikus silmale, kuidas lihassensori passiivse signaali tõttu ei alga väärtused nullist.

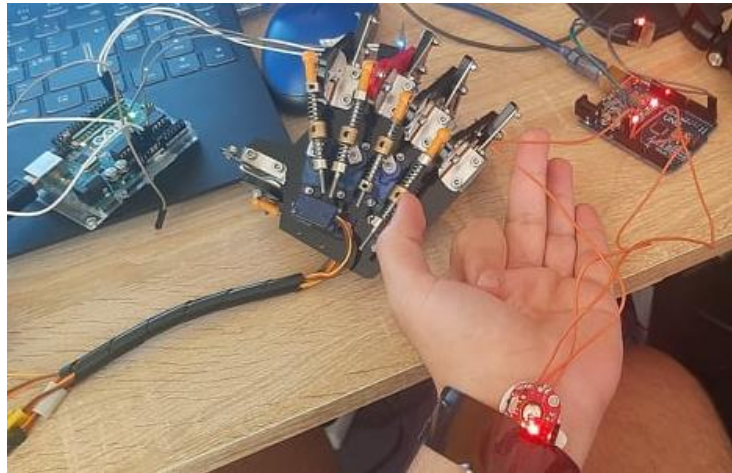
3.5.2 Koodi lühikirjeldus, algoritm skeem ja terve süsteemi elektriskeem

Ülema Arduinoga on ühenduses lihassensor ning alluvaga on robotkäsi. Bluetoothi ühendusel ülema töö on lugeda oma mikrokontrolleri analoog sisendist väärtuseid ja saata neid edasi alluvale mikrokontrollerile. Alluv vaatab palju andmeid tuleb ja salvestab kui need on suurema väärtusega kui null. Seljärel muudab saadud väärtused arusaadavamaks ehk 0 – 5 V pinge ulatuses ning väljastab need ekraanile. Robotkäe liigutamise puhul algavad kõik servomootorid 0° juures, mis tähendab kinnist asendit ning saades üle 1.5 V ulatuses väärtuse liigutab 180°-ni lahtise asendini. Servomootorite algne positsiooni sätestamise tõttu mängib koodis olulist rolli ka nende pöördenugad, mis vaatab, et servomotoor ei liiguks sinna asendisse, kus ta juba on. Sama põhimõte on ka kõikide teiste näppude liigutamisel.

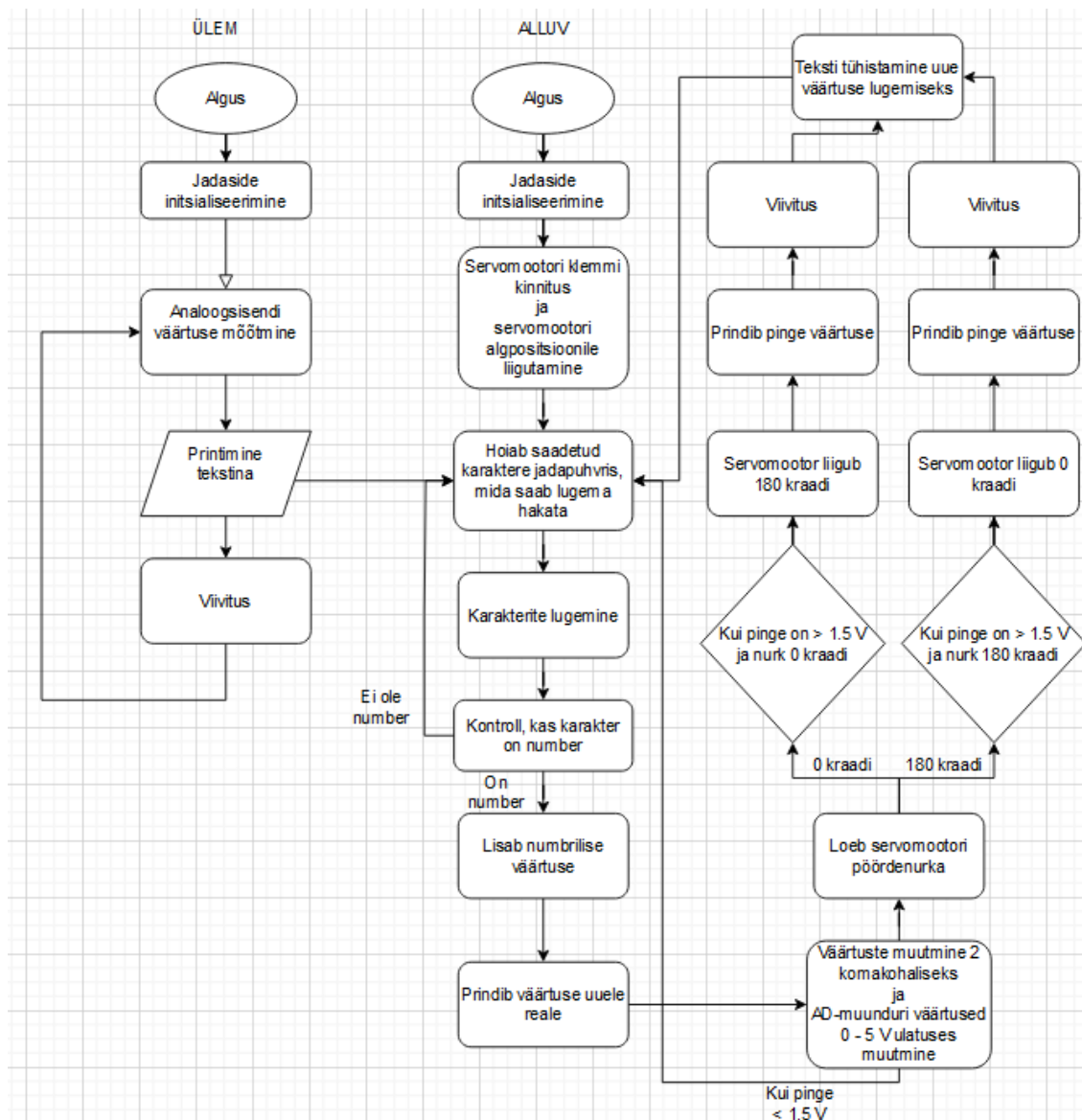
Robotkäe liigutamiseks on vaja väljundsignaalis tuvastada 1.5 V ulatuses väärtust, mis tähendab, et nii sõrme sirutamiseks kui ka kinnitamiseks tuleb pingutada lihaseid topelt.



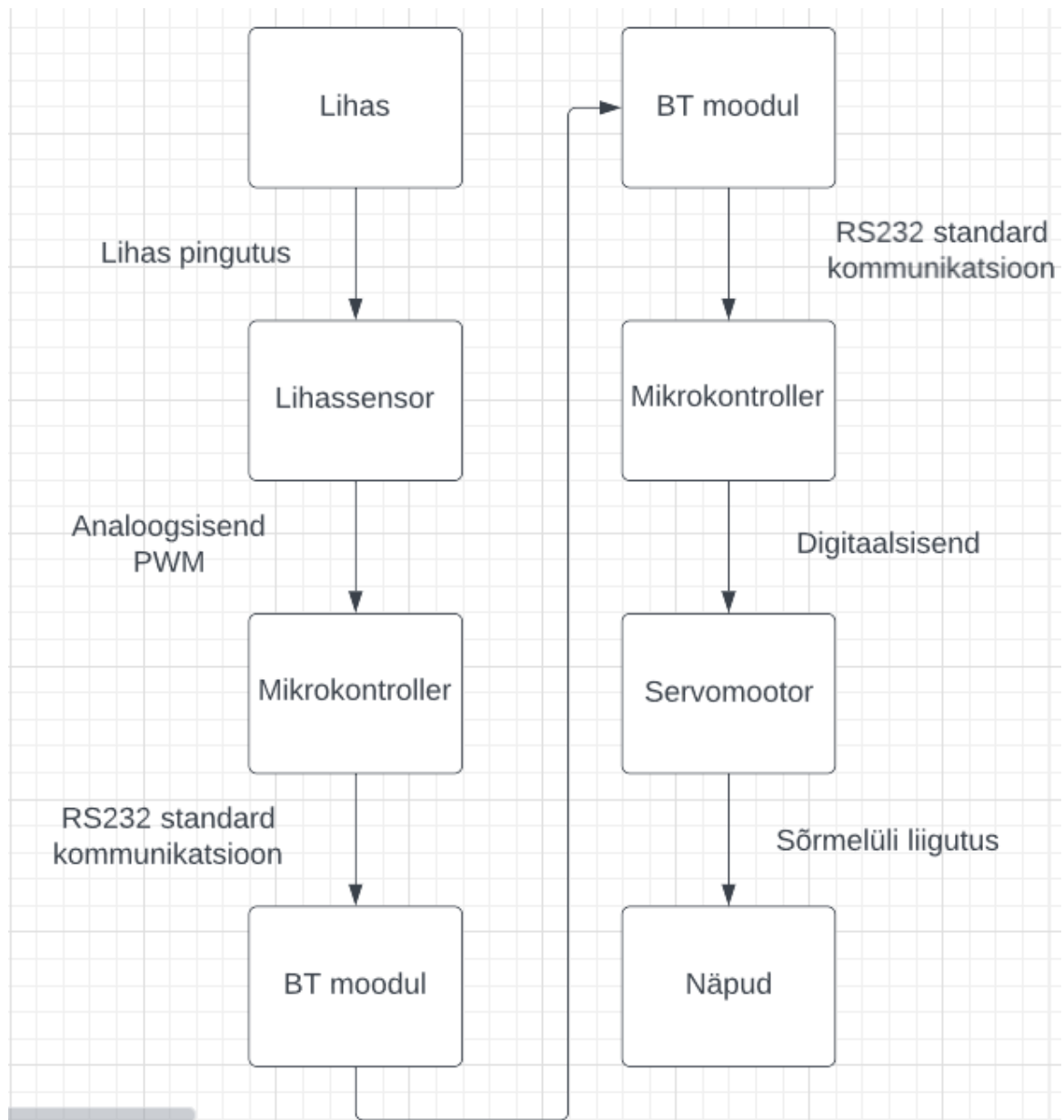
Joonis 60. Pingutus sõrme sirutamiseks.



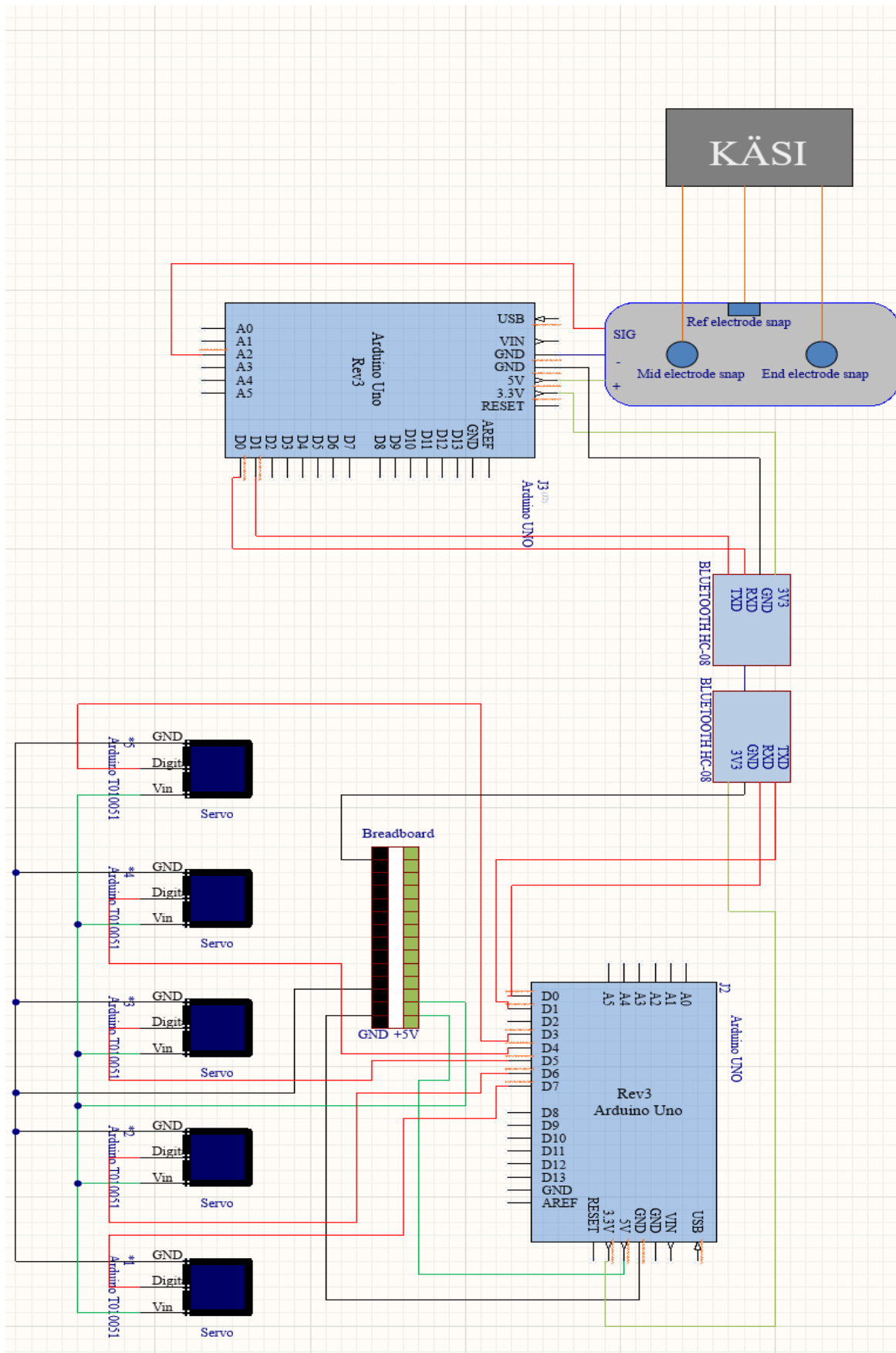
Joonis 61. Sama pingutus sõrme kinnitamiseks.



Joonis 63. Koodi algoritmskeem.



Joonis 64. Plokkskeem tervest süsteemist.



Joonis 65. Terve süsteemi elektriskeem kaugandmesidega.

4. Projekti arendus

Projekt on kõlblik edasi arenduseks, mis tähendab seda, et on võimalik muuta või asendada igat seadet, andmevahetus moodulit, robotkätt, lihassensorit.

4.1 Wi-Fi moodul

Bluetooth mooduli välja vahetus Wi-Fi mooduli vastu toob eelise andmevahetus kiiruse ja andmeedastus kauguse suhtes. Toon esile tabeli, kus võrdlen ESP8266 ESP-01 Wi-Fi transiiverit ja HC-08 bluetooth moodulit. [24] [25]



Joonis 66. Wi-Fi moodul.



Joonis 67. Bluetooth moodul.

Tabel 4.1.1 Wi-Fi ja Bluetoothi võrdlus tabel

	Andmevahetus kiirus	Andmeedastus kaugus
Wi-Fi	Ulatub 72.2 Mbps	Mitu sada meetrit
Bluetooth	1 Mbps	80 meetrit

Kõik oleneb sellest, kuidas projekti edasi arendatakse, minu meelest on Bluetooth moodulid väga rahuldavad seoses projekti suurusega, kuid kui arendada teemat väga kaugele, kus soovitakse robotkätt kasutada koduväliselt, siis Wi-Fi on parem valik.

4.2 Uus robotkäsi

Lõputöös kasutatav robotkäsi ei ole kõige töökindlam käsi. See on ebatäpne oma liikumise poolest, lüüsid kontrollivad servomootorid on vähe võimsad ning robotkäsi saab tõsta andmelehe järgi ainult 300 grammi ulatuses raskuseid. Veebivõrgustiku andmebaasis tuleb esile palju erinevaid allikaid, kus müüakse robotkätt. Paljud odavamad on sarnase ülesehitusega, mida kasutati ka selles lõputöös, kuid on ka erilaadseid, mis on kallimad. Valik tuleb teha omal valikul, mis oleneb projekti arengusuunast.

4.3 Uue süsteemi disainimine ning 3D-printimine

Alati on võimalik disainida oma süsteem kui ei ole soovi osta teise inimese disaini. Selle puhul on kõige suuremaks abiks 3D-printer, mis prindib kolmemõõtmelise modelleeritud eseme välja. 3D printerit saab mitu korda kasutada ehk pärast esimest printi on võimalik prototüüpi edasi arendada. Tänapäeval ei ole 3D-printerid üldse kallid, näiteks Ender-3 V2 komplekt maksab €300. [26] Printeri kasutus on väga algajasõbralik ning filamendid tulevad mitmetes erinevates värvides.



Joonis 68. 3D-printer Creality Ender-3 V2. [26]

KOKKUVÕTE

Lõputöö teema oli väga huvitav algusest lõpuni. Arvan, et olen ennast hästi tutvustanud lihassensori teemaga, kuidas signaale mõõdetakse, kuidas sensorit kasutada, väljundsignaalide ära kasutus jäseme liigutamiseks. Kõige olulisem on isiklikult see, et huvi ei kadunud ära, mis tähendab seda, et magistriõppe plaanid ei ole muutunud, vaid tekkis isegi innukus.

Töö eesmärgiks oli liigutada robotkäe sõrmi vastavalt oma käe sõrmede liigutamisel, kasutades lihassensorit. Määrata mõlema süsteemi töövõimet ning uurida nii robotkäe kui ka lihassensori täpsust.

Robotkäe süsteemi määramisel tuli välja, et sõrmede liikumised on väga ebatäpsed, mis on seotud lülide ja liigendi loksuvusega ning samuti servomootorite nõrga võimsuse tõttu. Testidest tuli ka välja, et antud süsteemi ei ole võimalik täpsemaks teha, kuna liikumise eelduseks on nõrgad kinnituskohad, et mootor saaks korralikult liikuda, mis tekitas omakorda loksuvust.

Lihassensori süsteemi määramisel tuli välja, et sensor on väga täpne. EMG oli mõjutatud mitmete erinevate välisteguritest: tuulest, jalutamisest, positsioonist XYZ-teljel. Lisaks on lihassensor võimeline tuvastama erinevate sõrmede liikumist ühesugusest kohast, kuhu sensor on paigutatud, kuna kõik sõrmed, peale pöidla, on samas lihasgrupis. Olulist rolli mängis ka sensoril pidev signaal, mida nimetasin passiivseks signaaliks. Enamasti lõdvestuse ajal olid signaalid korrigeerinud ennast väiksesse vahemikku ning ükski katse ei alanud nullipiirist.

Robotkäe liigutamine lihassensoriga tuli heal meelel välja. Sõrme liigutamiseks oli vaja väljundsignaalis tuvastada 1.5 V ulatuses väärtust, mis tähendas, et nii sõrme sirutamiseks kui ka kinnitamiseks tuli pingutada lihaseid topelt.

Ma olen väga rahul lõputöö tulemustega, sain teada erinevatest mõjuteguritest, mis mõjutavad lihassensori tööd. Sain teada kuidas täpsus ja ebatäpsus mõjutab süsteeme ning olen samm lähedamal teemaga, mis mind huvitab. Projekti edasiarendamisel on ees veel palju ruumi nagu ka projekti arenduse peatükis on mainitud.

Summary

The topic of this thesis was very interesting from start to finish. I think I am more acquainted within the topic of muscle sensors, how signals are measured, how to use a sensor, the usage of output signals to move a limb. The most important thing personally is that I did not lose any interest in this field, which means that my plans for master's studies have not changed, but a little more enthusiasm has arisen.

The aim of the work was to move fingers of the robotic hand accordingly when moving the fingers of my own using a muscle sensor. To determine the performance of both systems and examine the accuracies of both the robotic hand and the muscle sensor.

While determining the robotic hand's system, it turned out that the movements of the fingers are very inaccurate, which is related to the shakiness of the joints and as well as the low power of the servomotors. The tests also showed that it was not possible to make the system more accurate, as weak anchorages were required for the motor to move properly, which in turn cause it to become shaky.

While determining the muscle sensor's system, it turned out that the sensor is very accurate. The EMG was affected by several different external factors: wind, walking, positioning the hand on the XYZ axes. In addition, the muscle sensor is able to detect the movement of different fingers from the same place where the sensor is placed, because all of the fingers, except for the thumb, are in the same muscle group. The continuous signal on the sensor, which I named passive signal, also played an important role. In most cases during the relaxation the signals had corrected itself to a small range and no experiment started from zero.

Moving the robot hand with the muscle sensor was successful. To move the finger it was necessary to detect a value of 1.5 V in the output signal, which meant that the muscles had to be tightened twice to stretch and shut the finger.

I am very satisfied with the results of the thesis, I learned about various influencing factors that affect the work of the muscle sensor. I learned how accuracy and inaccuracy affect systems and I'm one step closer to the field, which interests me. There is still a lot of room for further development of this project, as mentioned in the project development chapter.

Kasutatud kirjandus

- [1] <https://blablawriting.net/bionics-and-prosthetics-the-future-possibilities-essay>.
- [2] <https://www.thecoolist.com/bionic-technologies/>.
- [3] <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-3d-printing/pros-and-cons>.
- [4] <https://www.statista.com/statistics/796237/worldwide-forecast-growth-3d-printing-market/>.
- [5] <https://www.nesta.org.uk/feature/inclusive-technology-prize-finalists/affordable-bionic-hand-from-open-bionics/>.
- [6] <https://bionicsforeveryone.com/bionic-hand-price-list/>.
- [7] <https://bionicsforeveryone.com/open-bionics-hero-arm/>.
- [8] <https://cordis.europa.eu/article/id/125506-braincontrolled-prosthetic-hand-to-become-reality>.
- [9] <https://openbionics.com/en/hero-arm/>.
- [10] <https://www.nhs.uk/conditions/electroencephalogram/>.
- [11] <https://www.mayoclinic.org/tests-procedures/ekg/about/pac-20384983>.
- [12] <https://depositphotos.com/model/176773548.html>.
- [13] <https://www.sciencedirect.com/topics/medicine-and-dentistry/needle-electrode>.
- [14] <https://www.mayoclinic.org/tests-procedures/emg/about/pac-20393913>.
- [15] <https://www.pololu.com/product/2733>.
- [16] <https://www.technomed.nl/product/disposable-monopolar-emg-needle-electrode-pencil-point>.
- [17] <https://learn.sparkfun.com/tutorials/myoware-muscle-sensor-kit>.
- [18] https://www.aliexpress.com/item/32738664616.html?isOrigTitle=true&item_id=32738664616&sku_id=61455447980&spm=a2g0v.10010108.1000016.1.778118dbigaOhg.
- [19] <https://www.sparkfun.com/products/14409>.
- [20] <https://cdn.sparkfun.com/assets/a/3/a/f/a/AT-04-001.pdf>.
- [21] <https://www.sparkfun.com/products/13723>.
- [22] <https://cdn.sparkfun.com/assets/a/3/a/f/a/AT-04-001.pdf>.
- [23] H. <https://www.msn.com/en-us/weather/maps/wind/in-City-Centre>. [Vörgumaterjal].
- [24] https://espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf. [Vörgumaterjal].
- [25] <https://www.smart-prototyping.com/HC-08-4-0-BLE-Serial-Bluetooth-Module-CC2540>.
- [26] <https://www.byroomaailm.ee/arvutustehnika/3d-printerid/3d-printer-creality-ender-3-v2?sku=K0080616>. [Vörgumaterjal].
- [27] <https://ardubotics.eu/en/motors-actuators/1789-towerpro-micro-servo-motor-360-degree-sg90.html>.
- [28] <https://www.jsumo.com/arduino-uno-r3-clone-with-usb-cable-usb-chip-ch340>.
- [29] <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3/>.
- [30] <https://www.pcboard.ca/arduino-uno-r3-wavgat-setup>.
- [31] <https://www.sparkfun.com/products/13684>.
- [32] <https://www.sparkfun.com/products/14109>.
- [33] <https://www.sparkfun.com/products/12970>.

[34] <https://www.sparkfun.com/products/13688>.

[35] <https://www.sparkfun.com/products/13709>.

LISAD

Seadmed

Servomootorid

Robotkäele on sisseehitatud 5 Tower Pro SG90 servomootorit, mis igaüks liigutab oma vastava sõrme lülisid. Igal mootoril on oma kõige sobilikum pööramisnurk näppude liigutamiseks, mida tuvastati läbi testimiste. Mehaaniline käsi on võimeline tõstma objekte alla 300 grammi. [18]



Joonis 69. Tower Pro SG90 servomootor [27]

Olulised omadused: [18]

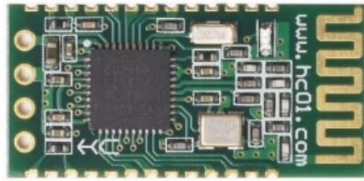
- 1) Suurus: 31.5 mm x 27.5 mm x 12 mm
- 2) Kaal: 9 g
- 3) Tööpinge: 5 - 6 V
- 4) Pöörlemisnurk: 0 – 180 kraadi

Juhtmete tähistus: [18]

- 1) Pruun: GND
- 2) Punane: VCC 5 V
- 3) Oranž: SIGNAL

Bluetooth moodul

Robotkäe ja elektromüograafi omavahelise suhte jaoks ühelt mikrokontrollerilt teise on vaja traadita andmevahetust kontrollerite vahel läbi võrgu. Selles lõputöös kasutatakse mikrokontrollerite omavahelise suhtlemise jaoks Bluetooth moodulit. Mooduli kasutuse põhjuseks on selle olemasolu ja varajasem kogemus moodulite omavahelise suhte loomisega. HC-08 moodul on madala energiatarbega moodul, mille suhtluskaugus ulatub kuni 80 meetrini. [25]



Joonis 70. Bluetooth moodul ülaltvaade. [25]



Joonis 71. Bluetooth moodul altvaade (ühendused). [25]

Olulised omadused: [25]

- 1) Suurus: 26.9 mm x 13 mm x 2.2 mm
- 2) Kaal: 5 g
- 3) Tööpinge: 3.3 V
- 4) Andmeedastus kiirus: 1 Mbps
- 5) Suhtlus kaugus: 80 m

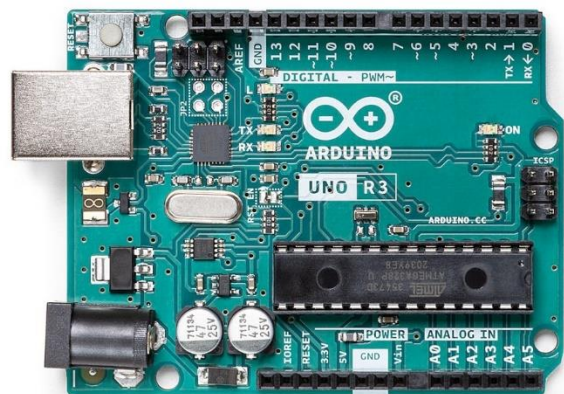
Arduino mikrokontrollerid

Lõputöös on kasutuses kahte sorti ATmega328P mikrokontrollereid, Arduino Uno R3 SMD CH340 ja originaalne Arduino Uno R3, millest esimene on originaalse Uno koopia. Originaalne Uno ning SMD CH340 on oma tehniliste andmete poolest täpselt sama ning ainuke erinevus on nende hinnad. Urides hinnavahet tuli välja, et mõned kohad müüvad koopiaid palju odavamalt, kuid vähesed müüvad neid isegi kallimana kui originaalne tootja, mille tõttu usaldatavat hinnavahet ei ole võimalik luua. Olenevalt sellest on näite kohaselt SMD CH340-e ja originaalse vahel ligikaudu 4-kordne hinnavahe. [28] [29]



Joonis 72. Arduino Uno R3 SMD CH340.

[28]



Joonis 73. WAVGAT Arduino Uno R3. [29]

Arduino tarkvara

Arduino mikrokontrollerite kodeerimiseks on neil olemas oma tarkvara Arduino IDE, millega saab väga lihtsalt kirjutada ja üleslaadida oma koodi. WAVGAT mikrokontrolleri koodi kirjutamiseks oli vaja eraldi Wavgat Arduino draiver allalaadida, et seda oleks võimalik tarkvaras kasutada. [30]

MyoWare lihasensori komplekti lisaseadmed

MyoWare patarei toiteplaat

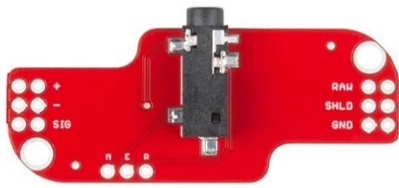
MyoWare toiteplaat on disainitud kahe standard CR2032 mündipatarei hoidmiseks, et toita lihassensorit. Lihassensori ühendamine patareidega tagab puhtama signaali, välistades samal ajal ohtliku voolutee tekkimist vooluvõrku. [31]



Joonis 74. Patarei toiteplaat. [31]

MyoWare kaabliplaat

Lihassensor on kantav andur, mille külge on võimalik panna biomeditsiinilisi elektroode kui võib esineda juhtum, kus tahetakse paigaldada elektroode muust riistvarast eemal. Selle tõttu on kaasa antud kaabliplaat, mida ühendades lihassensoriga ei pea enam sensori kellegi keha peale panema. Kaabliplaat tuleb 3.5mm pesaga, kuhu saab kinnitada kolme otsaga elektroodi kaabli.



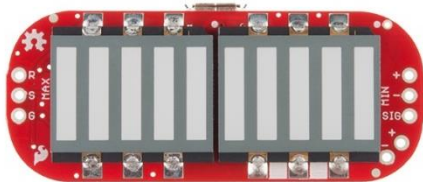
Joonis 75. Kaabliplaat. [32]



Joonis 76. Kolme otsaga elektrood. [33]

MyoWare LED plaat

LED plaat on mõeldud sidumiseks lihassensoriga. Plaadil on 10 sinist LED riba, mis näitavad mõõdetud signaali suurust, mida kõrgemad signaali väärtused on, seda rohkem LED tulesid põleb. Selle plaadiga on võimalik visuaalselt esitleda lihassanduri signaale. LED plaadi toiteallikaks on liitiumpolümeer (LiPo) patareid. Plaadi tööle panemiseks on vaja patareid laadida, laadimiseks on tarvis kasutada Micro USB otsaga kaabel.



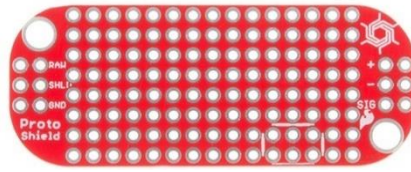
Joonis 77. LED plaat. [34]



Joonis 78. LiPo patareid. [34]

MyoWare lisa trükkplaat

Lisa trükkplaat on komplektis selle tõttu, et ostja saaks ettenähtud 8x15 jootmisala kasutada mistahes oma elektriahela loomiseks. Igale lisa seadmele on LISA-sse lisatud hinnatabel, mis kajastab komplektis olevate seadmete, juhtmete ja elektroodide hindu.



Joonis 79. Lisa tühi trükkplaat. [35]

ÜLEMA KOOD

```
void setup() {  
  Serial.begin(9600);           // Andmekiiruse bit sekundis sätestamine andme  
  jagamiseks  
}  
  
void loop() {  
  int signaal = analogRead(A0); // väärtus analoog sisendist signaalide lugemiseks  
  Serial.println(signaal);      // prindib välja loetud signaalid  
  delay(1000);                 // viivitus, et kood töötaks normaalselt  
}
```

ALLUVA KOOD

```
#include <Servo.h>                // servomootorite raamatukogu  
  
Servo servo1;                    // Servomootori nimetuse deklareerimine  
Servo servo2;  
Servo servo3;  
Servo servo4;  
Servo servo5;  
int nurk = 0;  
int nurk2 = 0;  
String vaartus = "";            // Teksti hoidmiseks  
  
void setup() {  
  Serial.begin(9600);           // Andmekiiruse bit sekundis  
  sätestamine andme jagamiseks  
  servo1.attach(8);             // Servomootori klemm  
  servo1.write(0);             // Servomootori algasend 0 kraadi  
}
```



```

/* servo2.attach(7);
servo2.write(0);
servo3.attach(6);
servo3.write(0);
servo4.attach(5);
servo4.write(0);
servo5.attach(4);
servo5.write(0);*/
}

void loop() {
  while (Serial.available() > 0)           // Loeb saadud baite ja saadab edasi
  {
    int karakter = Serial.read();          // uus väärtus loeb saadetud baiti
    if (isDigit(karakter))                 // analüüsib, kas karakter on number, kui
on siis muudab numbriks
    {
      vaartus += (char)karakter;           // lisab numbrilise väärtuse
"vaartuse"-le
    }
    if (karakter == '\n')                  // Kui saab uue rea ülemast prindib
samamoodi uuele reale
    {
      float pinge = vaartus.toInt()*(5.0/1023.0); // laseb String ehk tekstil
numbri kujul printida
                                                    // kui string ei leia numbrit, siis ei trüki
                                                    // Lisaks AD muunduri väärtuse muutmine 0 -
1023st 0 - 5Vks
      int nurk = servo1.read();            // Loeb servomootori pöördenurka
      int nurk2 = servo2.read();
      if(pinge > 1.5 && nurk == 0)         // Liigutab sõrme kui pinge suurem
kui 1.5 ja nurk 0 kraadi
      {
        servo1.write(180);
        Serial.println(pinge);
        Serial.print(" lahti");
        delay(1000);
      }
}

```

```
    if(pinge > 1.5 && nurk == 180)                // Liigutab sõrme kui pinge on
    suurem kui 1.5 ja nurk 180 kraadi
    {
        servo1.write(0);
        Serial.println(pinge);
        Serial.print(" kinni");
        delay(1000);
    }
    vaartus = "";                                // Teksti tühistamine uue väärtuse
    lugemiseks
    }
    }
}
```

GRAAFILINE OSA

Graafiline osa esineb lõputões jooksvalt.