

TARTU ÜLIKOOL  
LOODUS- JA TEHNOLOOGIATEADUSKOND  
Tehnoloogiainstituut

Raido Uudel

**IOONSETE TEHISLIHASTE DEMONSTRATSIOONSTEND**

Bakalaureusetöö (12 EAP)

Juhendaja: Indrek Must

Kaitsmisele lubatud .....

Juhendaja .....

*allkiri, kuupäev*

Tartu 2014

## Sisukord

1.	Sissejuhatus.....	4
2.	Ülevaade IEAP aktuaatoritest.....	5
2.1	IEAP alaliigid.....	5
2.1.1	Ioonpolümeer-metallkomposiit.....	5
2.1.2	Süsinik-polümeerkomposiit.....	5
2.1.3	Juhtivad polümeerid.....	6
2.2	IEAP elektriline ekvivalentskeem.....	6
2.3	Ioonsete tehislühaste kasutusala.....	7
2.3.1	Robotika.....	7
2.3.2	Kosmosetehnoloogia.....	7
2.3.3	Meditiin.....	7
3.	Töö eesmärk.....	8
4.	Demonstratsioonstendi ehituse kontseptsioon.....	9
5.	Demonstratsioonseadme elektroonikalahendus.....	11
5.1	Tehislühase juhtsignaali genereerimine.....	12
5.1.1	Pulsilaiusmodulatsioon (PWM).....	12
5.1.2	Draiver.....	12
5.2	Mikrokontroller.....	12
5.3	Lineaarkamera.....	13
5.4	Muud elektroonikakomponendid.....	14

5.5	Trükkplaadi disain .....	14
6.	Juhtprogrammi disain .....	16
6.1.1	Lihase liigutuse tuvastamine .....	17
6.2	Mehaaniline disain .....	19
7.	Tulemused.....	21
8.	Kokkuvõte.....	23
	Kasutatud kirjanduse loetelu .....	24
	Abstract .....	27
	Lisa 1. Programmi kood .....	28
	Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks .....	34

# 1. Sissejuhatus

Tehislihas on materjal, mis on võimeline enda kuju muutma – kas kokku tõmbuma, paisuma või painduma – välise mõjutuse tagajärjel. Tehislihasteks kutsutakse neid materjale sarnasuse tõttu bioloogilistele lihastele – ka bioloogilised lihased muudavad liigutuse tekitamisel oma kuju. Tehislihaseid saab tööpõhimõtte järgi jagada mitmesse alaliiki: näiteks on olemas pneumaatilised, keemiliselt, elektrotermiliselt või elektriliselt aktiveeritavad tehislihased. Eriti huvipakkuvad on aga elektrilise signaali toimel kuju muutvad tehislihased. Valdav osa elektriliselt aktiveeritavaid tehislihaseid on polümeersed materjalid; neid materjale nimetatakse sageli elektromehaaniliselt aktiivseteks polümeerideks (EAP). Üheks EAP-de alaliigiks on ioonsed elektromehaaniliselt aktiivsed polümeerid ehk IEAP-d, milles elektripinge rakendamine põhjustab vabade ionide ümberpaiknemise materjalis ning see omakorda avaldub materjali kuju muutusena. Üheks võimalikuks kujumuutuseks on paindumine. [1]

IEAP-st tehtud tehislihastega saab valmistada roboteid, mis on pehmed ning suudavad oma kuju muutes sooritada mitmesuguseid liigutusi. Tavapärased, jäiga karkassiga robotid suudavad analoogset ülesannet täita ainult kontrollitud tingimustes. Tehislihaste robotikas kasutamise üks peamisi eesmärke on imiteerida inimeste või loomade liikumist. Tehislihased on bioloogiliste lihastega kõige sarnasem materjal, mida tänapäeva robotikas kasutatakse. Tehislihaste laialdane kasutuselevõtt on samm, mis robotikat palju edasi arendaks. [2]

Käesoleva töö eesmärk on disainida ja valmistada demonstratsioonstend erinevate painduvate tehislihaste töö demonstreerimiseks. Stendi saaks eksponeerida erinevatel näitustel ning tutvustada külastajatele tehislihaseid. Lisaks tehislihaste tutvustamisele on antud seadme lisafunktsiooniks kestvuskatse läbiviimine – seadme abil on võimalik tuvastada tehislihase maksimaalset liigutuste arvu enne tehislihase degradeerumist.

## 2. Ülevaade IEAP aktuaatoritest

Käesoleva töö eesmärgiks on valmistada seade erinevate elektriliselt juhitavate painduvate IEAP-de demonstreerimiseks. IEAP-d on pehmed materjalid, mille kuju saab kontrollida välise elektrilise signaaliga. Lisaks eksisteerib IEAP-del ka vastupidine efekt – välise füüsilise mõjutuse tagajärjel tekib IEAP elektrootide vahel elektrilaeng; seega saab see materjal toimida nii täituri kui ka liikumisandurina. Enamus IEAP-sid on kolmekihilised laminaatmaterjalid, mis koosnevad membraanist ning kahest elektrootidist kummalgi pool membraani. Tüüpiline tööpinge vahemik on kuni 3 V. Nende eelisteks teiste aktuaatorite ees on materjali madal tihedus, paindumisvõime, madal tööpinge ja lisaks töötab materjal hääletult. IEAP-de puudusteks on küllaltki madal paindumissagedus ning mõned IEAP-de alaliigid ei suuda toimida pikaajaliselt õhu käes. [1] Selles peatükis tutvustatakse erinevaid IEAP-sid ning nende kasutusalasid.

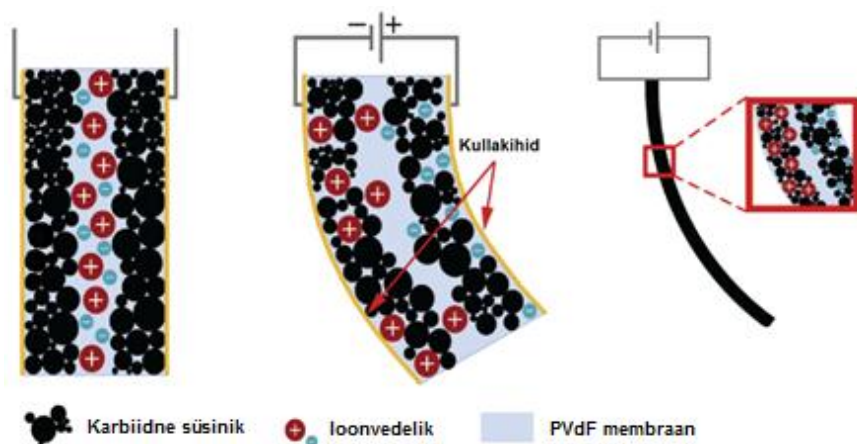
### 2.1 IEAP alaliigid

#### 2.1.1 Ioonpolümeer-metallkomposiit

Ioonpolümeer-metallkomposiidi (IPMK) moodustab ioonpolümeerist membraan, mis on kaetud kahelt poolt elektrootidega. IPMK sisaldab vabu ioone, mille liikumine materjalis elektrivälja toimel tekitab kujumuutuse. Elektrootidina kasutatakse enamasti kulla või plaatina kihti. [1]

#### 2.1.2 Süsinik-polümeerkomposiit

Süsinik-polümeerkomposiidi (CPC) elektrootidid on tehtud süsiniku ja polümeeri komposiidist. Membraan on valmistatud ioonset vedelikku sisaldavast, mitteioonsest polümeerist. CPC-d sisaldavad reeglina elektrolüüdina ioonvedelikku, seetõttu on nad võimelised töötama nii kuivas keskkonnas kui vaakumis. Erinevalt IPMK-st, on võimalik CPC-d valmistada ilma metallisisalduseta. CPC-de valmistamiseks kasutatakse peamiselt kaht meetodit. Esimese meetodi puhul valmistatakse esmalt kõik kihid eraldi ja seejärel kuumpressitakse kihid kokku üheks laminaadiks [3]. Teise meetodi puhul kantakse elektrootidid membraanile pihustamise teel [4].



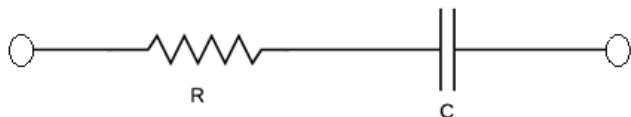
**Joonis 1. SPK ehitus. [5]**

### 2.1.3 Juhtivad polümeerid

Kolmandaks levinud IEAP-de liigiks on juhtivatest polümeeridest (CP - *Conducting polymer*) elektroodidega laminaadid. CP on polümeer, mille peahel on võimeline juhtima elektrivoolu. Erinevalt IPMK-st ja CPC-st toimuvad juhtivpolümeerides redoksreaktsioonid. [6]

## 2.2 IEAP elektriline ekvivalentskeem

IEAP aktuaator on oma ehituselt ja omadustelt sarnane superkondensaatorile ning tal on ülisuur elektriline mahtuvus - suurusjärgus 10 - 150 mF /cm<sup>2</sup>. Lisaks on IEAP aktuaatori oluliseks parameetrik tema sisetakistus. IEAP aktuaatori lihtsustatud elektriline ekvivalentskeem koosneb seega järjestikku ühendatud kondensaatorist (C) ja takistist (R). [7]



**Joonis 2. – IEAP aktuaatori elektriline ekvivalentskeem.**

## 2.3 Ioonsete tehislihaste kasutusala

### 2.3.1 Robotika

Kuna tehislihased muudavad elektripinge rakendamisel oma kuju, on võimalik neid kasutada täituritena robotite valmistamisel. IEAP aktuaatorite baasil liikumismehhanismide väljatöötamine on keerukas probleem. IEAP-d on küllaltki aeglase reaktsioonikiirusega. Iraanis SUT-s (*Sharif University of Technology*) uuriti IPMK kasutust ringikujulise roboti loomisel, mis võimaldas edukalt erineval pinnasel liikuda. Sellest projektist võib järeldada, et IPMK kasutamisel robotikas tuleb tähelepanu pöörata elektrilistele ühendustele, sest ioonvedelik, mida IPMK endas sisaldab, võib elektrokeemiliselt reageerida kontaktidega. [7] IEAP-d võimaldavad ka valmistada efektiivseid haaramismehhanisme, mis tänu oma pehmele struktuurile ja deformeerumisvõimele võimaldavad tõsta õrnu esemeid, kartmata neid vigastada. [9]

### 2.3.2 Kosmosetehnoloogia

IEAP-d võivad kosmosetehnoloogiale palju pakkuda. Esimeseks positiivseks küljeks on IEAP-de madal erikaal ( $\sim 1 \text{ g/cm}^3$ ), sest kosmosereisidel on väike mass väga tähtis, et hoida kütusekulusid madalal. Lisaks saab neid kasutada kosmosemissioonidel osalevate inimeste abistamiseks. Teatavasti on gravitatsiooni puudumise tõttu inimestel väga lihtne kiiresti kaotada lihastes jõudu. Selle vastu võitlemiseks saab kasutada tehislihastest valmistatud ülikonda, mis lisab kandja liigutustele koormust, et tema lihastel oleks vaja teha rohkem tööd. Seda saaks ka kasutada Maal, et aidata inimesi, kellel on lihaste eritreeningut vaja. ISS (*International Space Station*) kosmosejaamas tehakse palju töid, mis vajavad võimalikult suurt katseseadmete stabiilsust. Sellega saavad IEAP-del põhinevad masinad kaasa aidata näiteks tajudes vibratsioone ning seejärel vastassuunalise jõuga neid vibratsioone summutades. [8]

### 2.3.3 Meditsiin

Tehislihased on väga kergesti miniaturiseeritavad ning tänu sellele saab neid kasutada väga väikeste manipulaatorite valmistamiseks. Selliste manipulaatoritega oleks võimalik näiteks transportida rakke, liigutada pisikesi vedelikukoguseid jms. Lisaks sellele on valmistatud ka bioonilise silma jaoks lääts [9].

### 3. Töö eesmärk

Tartu Ülikooli Tehnoloogiainstituudis on ka varasemalt valmistatud seadmeid tehislihaste demonstreerimiseks, aga need on olnud üsna lihtsa ehitusega, mis lihase liigutamiseks saatsid ainult risküliksignaali ning ei võimaldanud tuvastada, kas tehislihas veel liigub. Risküliksignaali kasutamise puuduseks on kõrge voolupiigi teke pinge rakendamise alguses. Kõrge elektrivooluga aktuaatori juhtimine võib tema eluiga märgatavalt vähendada. Antud töö eesmärgiks on valmistada seade, mis võimaldab tehislihast liigutada signaaliga, mille ajas keskmistatud voolutugevus on piiratud. See pikendab kasutatavate tehislihaste eluiga ning võimaldab neil kauem toimida.

Tehislihase töötamine demonstratsiooniseadmes imiteerib ühtlasi olukorda, kus tehislihast kasutatakse reaalses rakenduses. Demonstratsiooniseadet kasutatakse eeldatavalt perioodiliselt ja ebaregulaarselt, lisaks võivad varieeruda ka keskkonna parameetrid nii liigutuse ajal kui ka vahepealse hoiustamise ajal. Seetõttu annab demoseade hea võimaluse tuvastada, kui pikk oleks tehislihase eluiga rakendustes, mida kasutatakse sarnastes tingimustes, näiteks robotis. Demoseadme lisafunktsionaalsuseks on seega võime sooritada kestvuskatset. Tehislihase sooritusvõimet jälgitakse kogu tema eluea jooksul; tulemuseks on maksimaalne liigutuste arv enne degradeerumist. Lisaks on võimalik seadmega katsetada erinevate juhtimissignaali mõju erinevate IEAP tehislihaste elueale.

Neid eesmärke silmas pidades, on loodaval seadmel väärtus nii demonstratsiooniseadmena kui ka tehislihaste eluea kohta informatsiooni koguva abivahendina.

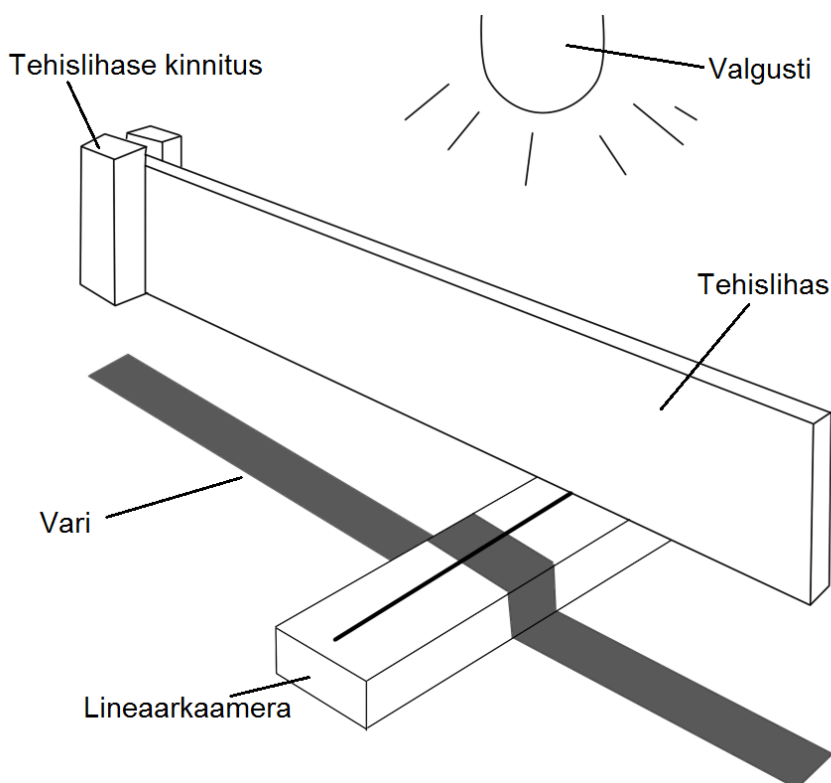
Seade peab olema võimeline:

- Liigutama tehislihast kasutajapoolse sisendi tulemusena;
- Rakendama tehislihasele erinevaid signaalikujusid;
- Reguleerima ajas keskmistatud elektrivoolu väärtust;
- Loendama ja kuvama tehislihase liigutustsükleid;
- Peatama loendamise, kui tehislihase liikumise ulatus langeb allapoole ette seatud piiri.

Kogu seade peab lõpptulemusena olema esindusliku väljanägemisega.

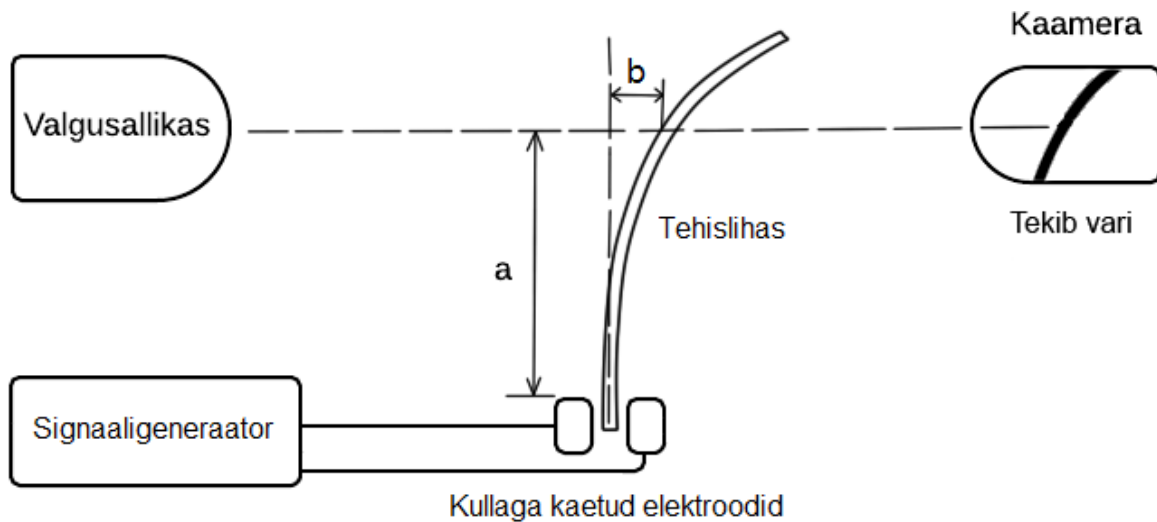
## 4. Demonstratsioonstendi ehituse kontseptsioon

Tehislihase liigutusulatuse registreerimiseks on valitud lineaarkaamera. Kui asetada painduv tehislihas valgusallika ja kaamera vahele, siis tehislihas paindub kaamera suhtes mööda temaga ristuvat telge (joonis 3). Tehislihas on paigutatud serviti vältimaks gravitatsiooni mõjul deformeerumist.



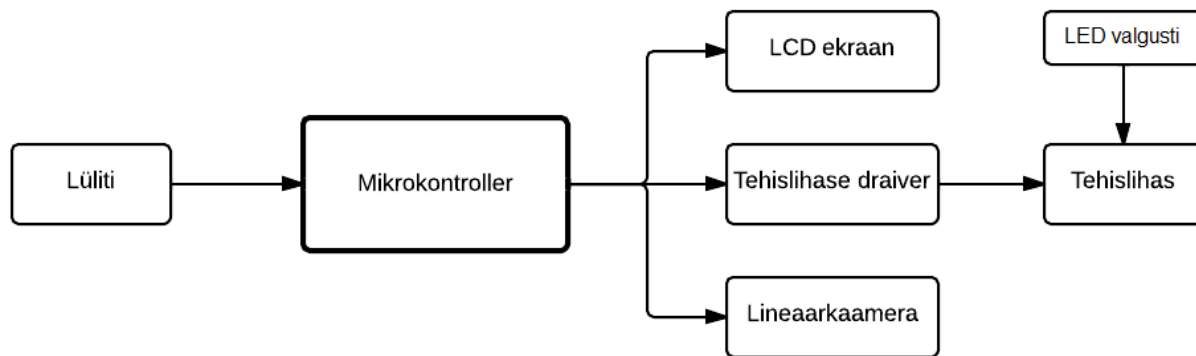
**Joonis 3. - Tehislihase paigutus kaamera suhtes.**

Kaamera tuvastab tehislihase poolt kaamerale heidetud varju asukohta. Seadme üldkontseptsioon on kujutatud joonisel 4. Seadmes sisaldub valgusallikas, et varju tekkimine ei oleks sõltuv ümbruskonna valgusoludest. Tehislihase hetkeasend on määratud tema poolt tekitatud varju asukohaga kaugusel  $a$  tehislihase kinnituspunktist (joonis 4). Tehislihase asukohta kindlakstegemiseks piisab ühedimensionaalsest lugemist, selle tõttu on seadme ehituses kasutatud lineaarset ehk üherealist kaamerat, millest on täpsemalt juttu peatükis 5. Liigutusulatuse  $b$  mõõtmiseks registreeritakse tehislihase asukoht maksimaalse deformatsiooni asendis (joonis 4).



**Joonis 4. - Demonstratsioonistendi kontseptsioon.**

Tehislihase liigutamiseks vajalik signaal genereeritakse mikrokontrolleri ja H-silla abil realiseeritud signaaligeneraatoriga, mida kirjeldatakse peatükis 5. Juhtsignaali kuju valitakse vastavalt konkreetset tüüpi tehislihasele.



**Joonis 5. - Seadme elektroonika plokkskeem.**

Seade väljastab sooritatud liigutuste arvu kasutajale LCD ekraanil.

Demonstratsioonistendi ainuke kasutajapoolne sisend on lüliti, mille vajutamiselega käivitatakse tehislihase liigutamise protsess. Läbi mikrokontrolleri kontrollitakse LCD ekraani, tehislihast juhtiva draiveri ning lineaarkaamera tööd.



## 5.1 Tehislihase juhtsignaali genereerimine

Tehislihase juhtimiseks vajaliku bipolaarse signaali genereerimiseks otsustati kasutada järgmist lahendust. Mikrokontroller väljastab pulsilaiusmoduleeritud juhtsignaali. Kuna mikrokontrolleri digitaalväljundi maksimaalne lubatud väljundvool on liiga madal, siis vool võimendatakse, kasutades H-sild-tüüpi draiverit.

### 5.1.1 Pulsilaiusmodulatsioon (PWM)

PWM (*Pulse-Width Modulation*) on meetod, kus muutes saadetava signaali täituvust, on võimalik mõjutada väljundisse jõudvat keskmistatud elektrivoolu. Täituvus määrab signaali ühe perioodi jooksul kõrges seisundis oldud aja. [10]

Loodavas seadmes on PWM signaali kasutatud selleks, et piirata tehislihast läbivat keskmist elektrivoolu ajas.

### 5.1.2 Draiver

Tehislihase liigutamiseks on seadmes H-sild-tüüpi draiver DRV8837. H-sild-tüüpi draiver on seade, mida saab läbi mikrokontrolleri juhtida, et tema külge ühendatud mootorit kasutada või muuta mootori liikumissuunda. Lisaks sellele on võimalik H-silla kaudu võimendada tehislihasele rakendatava elektrivoolu tugevust. Mikrokontrolleri maksimaalne lubatud voolutugevus on 25 mA [11]. Kõrgem voolutugevus võimaldab tehislihase paindumise kiirust kasvatada, mis on demonstratsiooniseadme korral tähtis tegur. Elektrivoolu tugevust saaks reguleerida ka operatsioonivõimenditega, kuid see nõuaks tunduvalt keerukamat elektroonikaskeemi. H-silda on lihtsam kasutada ning seetõttu on antud seadmes kasutatud seda varianti. [12]

## 5.2 Mikrokontroller

Mikrokontroller kontrollib kõiki seadme osasid. Käesolevas seadmes on kasutatud mikrokontrollerit ATmega32U4 [13]. See on 8-bitine mikrokontroller, millel on 32 väljaviiku ja vajab toiteks 2.7 - 5.5 V. Mikrokontrolleril on 1 kB suurune EEPROM mälu, kus hoitakse

tehislihase liigutustsükli arvu. Lineaarkaamera näidu lugemiseks kasutatakse mikrokontrolleri 10-bitist analoog-digitaalmuundurit. [11]

ADC on seade, mis mõõdab kahe punkti vahel pinget ning muundab mõõdetud analoogpinge väärtuse digitaalkujule. Selleks on vajalik määrata referentspinge, millega hakatakse valitud sisendpinget võrdlema. Antud seadmes on referentspingeks toitepinge ehk 5 V. ADC täpsuse määrab ära tema resolutsioon ehk bittide arv. Digitaalse näidu saamiseks vähendatakse alates maksimumist ühe biti haaval kontrollarvu ning tehakse võrdlus, kas sellele vastav väärtus on suurem või väiksem referentspingest. Referentspingega võrduse korral on ADC lugemi väärtus maksimaalne. [14]

Mikrokontrolleri toite ja maanduse vahel on 10  $\mu$ H induktor, et siluda ADC lugemi täpsust. Mikrokontroller on ühendatud välise 16 MHz kvartsresonaatoriga, et võimaldada suuremat täpsust. Programmeerimiseks on plaadiga ühendatud USB liides. [11]

Skeemil on RESET ja HWB lülitid programmerimiseks ning eraldi lüliti lihase liikumistsükli algatamiseks. Iga lüliti ning toite vahel on ka 10 k $\Omega$  *pull-up* takistid, et tagada kindel väärtus, kui lüliti vajutatud ei ole. [15]

### **5.3 Lineaarkaamera**

Liigutuse tuvastamise jaoks on kasutatud lineaarkaamerat – see on üherealine valgustundlik seade, millega saab tuvastada tehislihase poolt kaamerale heidetud varju asukohta. Lineaarkaamera kasutamise põhjuseks on võimalus mõõta mitte ainult seda, kas tehislihas liigub oma esialgsest asukohast, mida näiteks võiks palju lihtsamini teha kasutades näiteks infrapunasensorit, vaid ka täpsemalt liigutuse amplituudi. Selleks otstarbeks on üherealine kaamera sobilik, sest seda on lihtne mikrokontrolleri abil lugeda ja sellelt saadav informatsioon on piisav, et tuvastada liikumist. [16]

Selle töö käigus loodavas seadmes kasutatakse lineaarkaamerat LFL1402. See konkreetne kaamera koosneb 256-st 63.5  $\mu$ m-se vahedega ritta paigutatud fotodiodist, mis laevad endaga ühendatud kondensaatoreid vastavalt sellele, kui suure intensiivsusega valgus neile peale langeb. [16, 17] Lugesdes kondensaatoritelt pingeid, saab tuvastada, millise piirkonna peal kaameral on

vari ehk koht, kus tehislühakas kaamera suhtes asub. Piisab sellest, kui teha kaks pilti: üks tehislühase esialgsest positsioonist ja teine peale liikumistsükli lõppu, et piltidelt loetud informatsiooni abil järeldada, kas ja kui palju tehislühakas liikus.

## 5.4 Muud elektroonikakomponendid

Skeemi koostamisel valiti toiteks 5 V, kuna enamus kasutatavaid elektroonikakomponente vajab tööks 5 V. Toiteallikaks kasutatakse välist 5V adapterit.

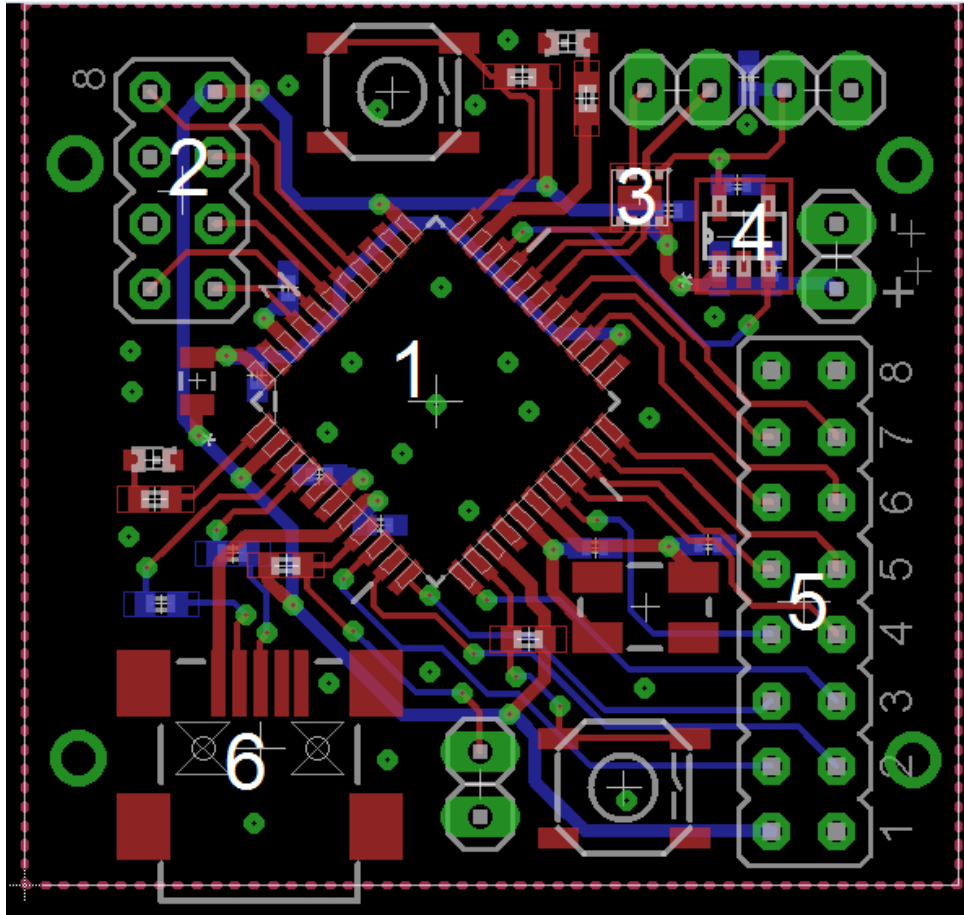
Tehislühase liikumiste arvu kuvab 8 \* 2 tähemärgiga LCD ekraan MC20805A6W-GPR. Ekraani valimise kriteeriumiteks oli võimalikult odav seade, millel on vähemalt kaks rida, et kuvada tehislühase poolt sooritatud liikumiste arvu ja informatiivset teksti. LCD ekraani ühendamiseks kasutan 8-bitist režiimi eraldi 8 jala peal, mis muudab LCD programmeerimise lihtsaks. [18]

LDO pingeregulaator LD6806TD/30H vähendab 5 V-se toitepinge 3 V-ni, mis toidab valgusallikat ja tehislühast. LDO (*Low-dropout*) pingeregulaator on komponent, mis muundab sisendpinge stabiilseks kindla väärtusega pingeks. Selle suuruse määrab ära konkreetse regulaatori *dropout voltage* ehk sisend- ja väljundpinge vahelise erinevuse minimaalne suurus. Näiteks 2 V-ne *dropout voltage* tähendaks pingeregulaatoril, et komponendi sisend peaks olema 2 V võrra suurem, kui tema poolt väljastatav pinge. [19, 20]

Plaadile on lisatud ka kaks valgusdiodi, millest üks annab märku, et plaadile jõuab toitepinge ja programm töötab. Teine valgusdiod põleb parajasti siis, kui tehislühasele saadetakse liikumise signaali. Valgusdiodide voolu piiratakse 180  $\Omega$  takistitega.

## 5.5 Trükkplaadi disain

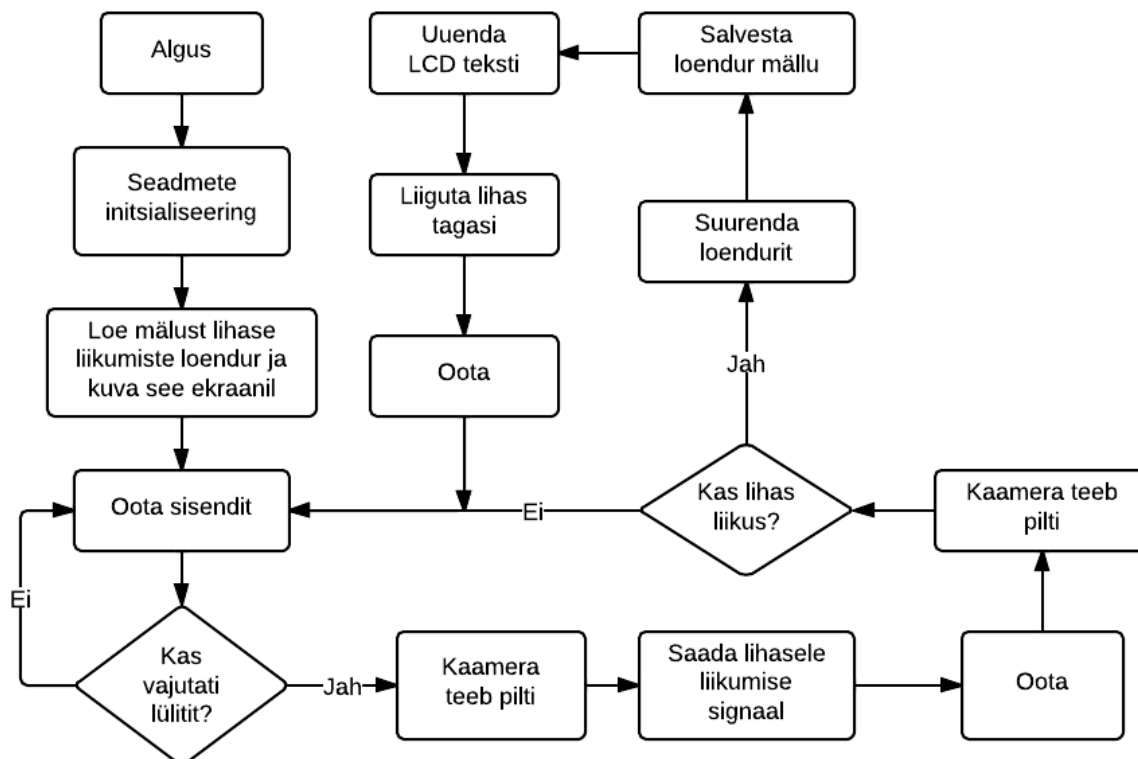
Joonisel 7 on plaadi disain, kus on märgitud ära tähtsamad komponendid. Plaadi disainimise juures on silmas peetud, et komponendid oleks võimalikult lähedastikku paigutatud ning üldised mõõtmed jääksid võimalikult väikeseks. Toiterajad on 0.5 mm laiad ning signaalirajad on 0.2 mm laiad. Lahtisidestuskondensaatorid on paigutatud võimalikult lähedale komponendile, mille toitepinget nad siluvad. Plaadi äärtesse on puuritud 4 auku 1.4 mm-se läbimõõduga, et oleks võimalik lihtsalt kinnitada soovitud pinna külge.



Joonis 7. - Seadme trükkplaadi disain. 1 – mikrokontroller; 2 – lineaarkamera pistik; 3 – H-sild draiver; 4 – LDO pingeregulaator; 5 – LCD ekraani pistik; 6 – USB liides.

## 6. Juhtprogrammi disain

Juhtprogramm on koostatud C keeles ning selle plokkskeem on kujutatud joonisel 8. Juhtprogrammi lähtekoodi olulised osad on antud töö lisas 1.



**Joonis 8. - Tarkvara plokkskeem.**

Loenduri väärtus on salvestatud mikrokontrolleri EEPROM mällu, et võimaldada eelneva loenduri väärtuse lugemist ka peale seda, kui seade välja lülitatakse. Loenduri andmetüübiks on valitud 32-bitine täisarv, et oleks võimalik kuvada vähemalt miljonitesse ulatuvat arvu. Programmi alguses loetakse mälust sisse loenduri väärtus. Kui see on maksimumväärtus, ehk seadet kasutatakse esimest korda või mälu on täis saanud, siis seatakse loendur nulliks ja salvestatakse selle väärtus mällu.

Lõpuks pannakse põlema valgusdiod, mis näitab, et seade töötab korrektselt, LCD ekraanile ilmub tervitav tekst, mis kestab 3 sekundit ja peale seda hakkab ekraan kuvama liigutuste

loenduri väärtust. Seejärel läheb seade ooterežiimi, kus oodatakse lüliti vajutust. Kindlustamaks, et iga lüliti vajutus registreeruks ainult üks kord, ootab programm peale esmase vajutuse tuvastust, seda kuni lüliti on ka lahti lastud, enne kui programmi töö jätkub. Lüliti vajutuse registreerimise korral teeb kaamera pildi ehk mõõdab 256 piksli väärtused, mis näitavad sel hetkel neile langenud valguse intensiivsust. Väärtused salvestatakse massiivi, et neid analüüsida. Analüüsi kirjeldatakse alapeatükis 6.1.1. Seejärel saadetakse tehislhasele liikumise käsklus, mis algab ühtlaselt kasvava PWM signaaliga ning seejärel jääb konstantselt 3 V peale. Liikumise lõpus teeb kaamera uuesti pildi ning tuvastatakse uus varjukoht, mille kaugust saab mõõta esialgse varjukoha suhtes. Selle informatsiooniga on võimalik kindlaks teha, kui kaugemale tehislhas liikunud on.

Tehislhase liikumistsükli lõpuks tuleb tuvastada, kas tehislhas liikus või mitte, et suurendada liigutuste loenduri väärtust. Juhul kui registreeritakse, et tehislhas ei liikunud, tuleb kuvada vastav teade LCD ekraanil ning liigutuste loendurit mitte suurendada.

### 6.1.1 Lihase liigutuse tuvastamine

Tehislhase liikumise tuvastamiseks tuleb teha vähemalt kaks mõõtmist. Esimene näit tuleb võtta alguspositsioonist, et teha kindlaks, kus vari alguses asus. See on tähtis, kuna ei saa alati kindel olla, et tehislhas programmi lõpus samasse kohta naaseb, sest erinevatel tehisihastel on erinev liikumiskiirus ning aja jooksul võib tehislhase liikumiskiirus samuti muutuda. Kaamerast loetud pikslite väärtused salvestatakse massiivi. Seejärel tuleb iga element massiivis üle vaadata ning tuvastada, kus asub langev front, mis tähistab varjukoha algust. Seda saab leida, kui võrrelda iga pikslit temale eelneva piksliga. Kui vaadeldava piksli väärtus on talle eelneva piksli omast vähemalt kaks korda väiksem, siis võib seda lugeda varjukoha alguseks. Praktilistest mõõtmistest ilmnes, et keskmine 0,3 mm-se paksusega tehislhase poolt tekitatud vari on vahemikus 15-35 pikslit lai ning üsnagi ühtlaselt väärtusega 100-400 vahel. Varjualas olevaks loetakse pikslit, mille ADC väärtus on alla 400. Liiga kitsas vari ei ole aga realistlik, seega on mõistlik lugeda varjuks vähemalt 10 piksli laiust tumedat ala.

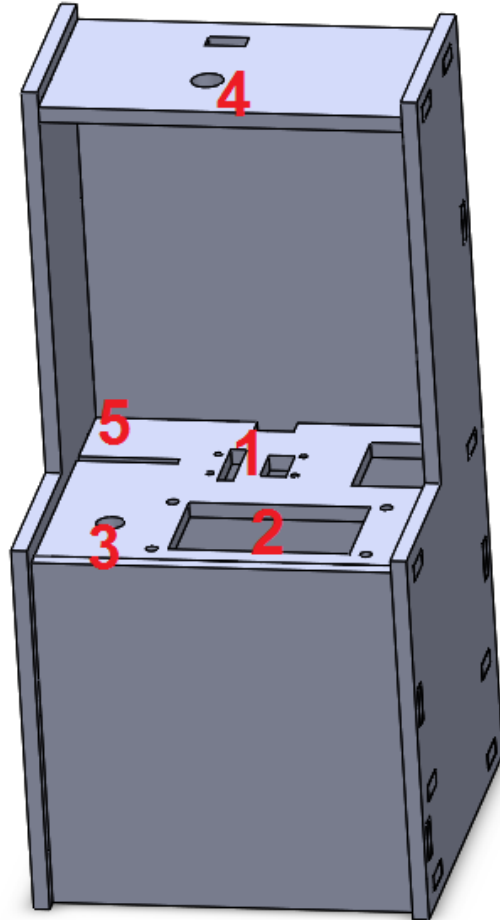
Selle jaoks tuleb märkida ära langeva frondi asukoht ning seejärel tuvastada tõusev front ehk esimene piksel, mille väärtus ületab 400. Kui need kaks asukohta on tuvastatud, siis tuleb mõõta

nendevaheline kaugus, et kindlaks teha, kas nende vahe on vähemalt 10 pikslit. Kui kõik elemendid on sedasi läbi vaadatud, siis peaks jääma alles üks piirkond, kus on kõikide pikslite väärtus alla 400 ning see tähistab varju asukohta.

Sellega on esimene mõõtmine tehtud ning varju asukoht leitud. Seejärel saadetakse tehislhasele liikumissignaali, mille järel tuleb mingi aeg oodata, et tehislhas reageerida jõuaks. Tehislhase liikumissignaali jooksul on ekraanil tekst „Liigutan“. Samuti hakkab ka üks valgusdiodid plaadil põlema kuni liikumistsükli lõpuni. Kui ootamisaeg on läbi, siis tehakse kaameraga uus mõõtmine ning see analüüsitakse samamoodi ühe elemendi kaupa läbi, et leida uus varjukoht. Lõpuks võrreldakse uue varju asukohta vanaga. Kui uue varju asukoht on eelmisest vähemalt 5 koha võrra eemal, siis registreerub see tehislhase liigutusena.

## 6.2 Mehaaniline disain

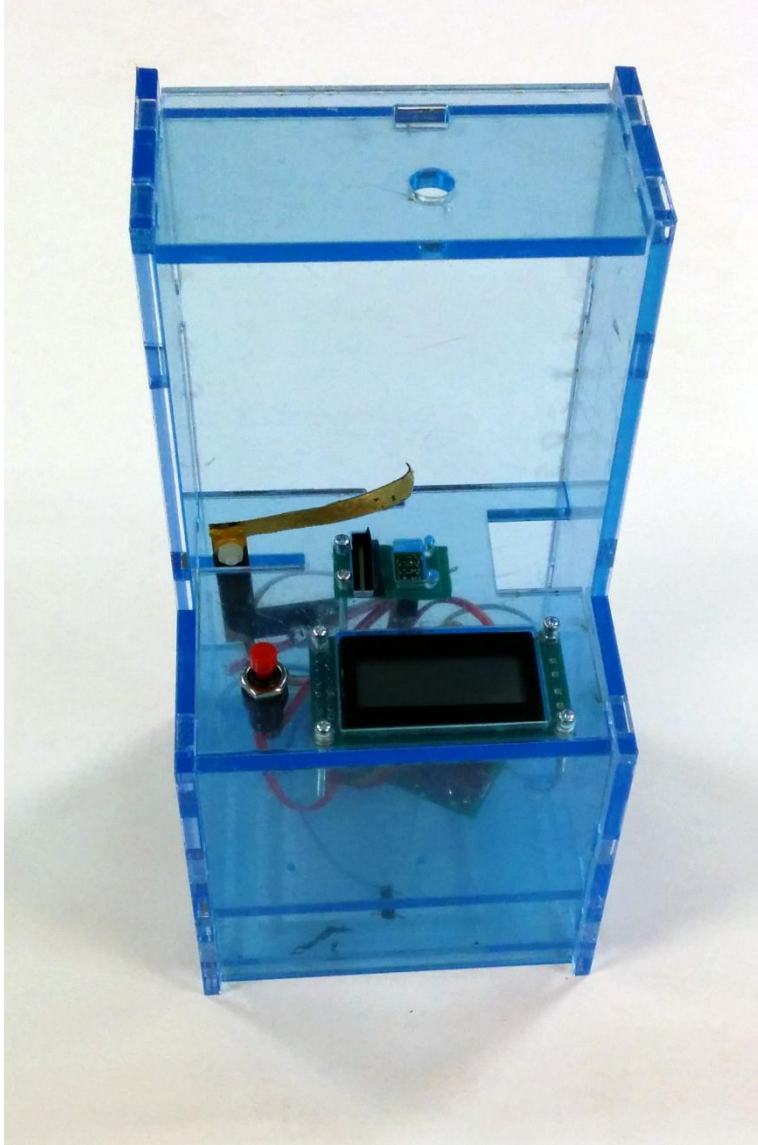
Esiialgu sai loodud seadme korpuse mudel SolidWorks tarkvara kasutades, see on kujutatud joonisel 9.



**Joonis 9. - Seadme korpuse joonis. 1 – lineaarkamera kinnituskoht; 2 – LCD ekraani ava; 3 – lüliti ava; 4 – LED valgusti kinnituskoht; 5 – ava tehislühase kontaktide kinnitamiseks.**

Seadme jaoks on valmistatud eraldi pleksiklaasist korpus, mille aluse mõõtmed on 10\*10 cm ja kõrgus on 20 cm. Esipaneelil on avad ekraani ning tehislühase liigutamise lüliti jaoks. Korpus on läbipaistev, et tehislühase liikumist oleks võimalik igast küljest vaadelda. Ülemises sektsioonis on kinnituskoht lineaarkamera jaoks ning 2.5 cm pikkune ja 5 mm laiune pilu tehislühase kinnitamise klambri jaoks. Seadme ülemise plaadi külge on võimalik paigaldada valgusallikas.

Seade võimaldab kasutada kuni 8 cm pikkust ja maksimaalselt 2 mm paksust tehislühast.

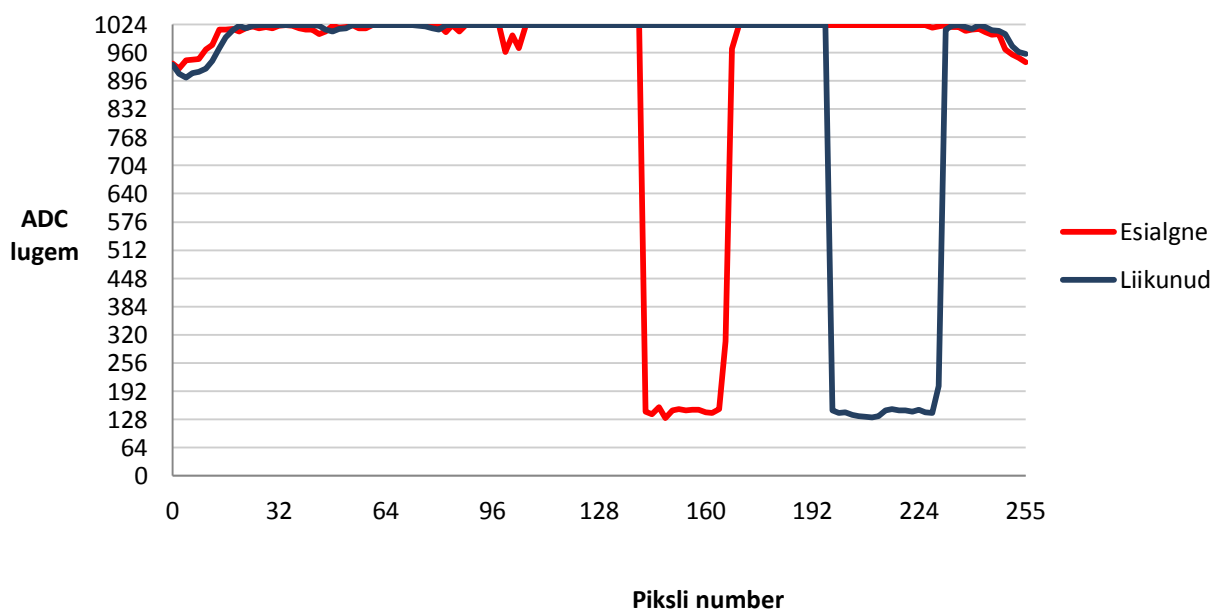


**Joonis 10. – Demonstratsioonstendi foto.**

## 7. Tulemused

Selles peatükis on kirjeldatud mõõtmistulemusi, mis saadi ühe katse käigus, kus mõõdeti kaamera lugemeid sõltuvalt tehislihase asukohast kaamera kohal. Tehislihas oli mõõtmetega 47 x 5 mm ja valmistatud 0,3 mm paksusest süsinik-polümeer-komposiidist (SPK). Antud tehislihase korral oli optimaalne tehislihase kinnituspunkti kaugus kaamerast 8 mm. Tehislihase kõrgus kaamerast oli 2 mm. Tehislihast valgustav LED lamp asus kaamera keskpunktist 10 cm kõrgusel.

Kaameralt enne liikumistsükli algust loetud signaal on esitatud joonisel 11, kus kaamera pikslitelt loetavad väärtused on läbi ADC muundatud digitaalkujule 10-bitilise resolutsiooniga. Jooniselt on näha, et lihase esialgse positsiooni (punane joon) korral tekkis kaamerale 24 piksli laiune vari pikslite vahemikus 142 – 166.

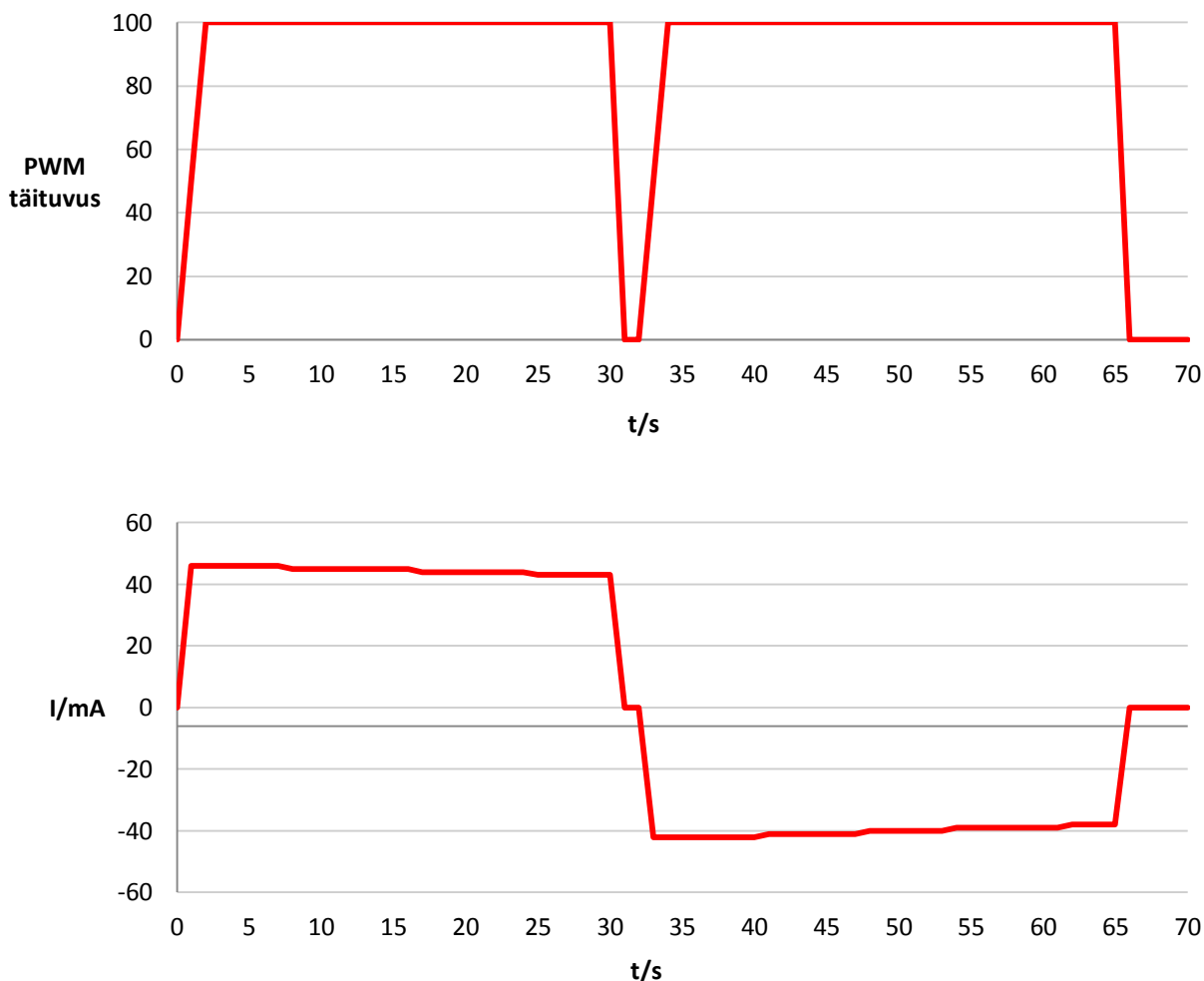


**Joonis 11. - Kaameralt loetud signaalid tehislihase esialgses ja liikunud asendis.**

Peale pildi tegemist saadeti tehislihasele liikumissignaal, mille tulemusel tehislihas hakkas painduma. Liikumistsükli lõpus tehti kaameraga uus mõõtmine, mille tulemus on kujutatud joonisel 11 sinise värviga. Seekord tekkis kaamerale 32-piksline vari vahemikus 198 – 230.

Varjukohtade tuvastamise järel võrreldakse, kui suur on esimese ja teise varju vahe. Selleks tuleb võtta mõlemast varjukohast keskmine ning leida nende vahe. Antud katses ilmnes, et esimese

varju keskmine on 151 ning teise varju keskmine on 214. Nende vahe on seega 63 pikslit ning see loeti liigutus edukaks ja liikumisloendur suurenes.



**Joonis 122.** – Tehislihasele ühe liikumistsükli jooksul saadetav liikumissignaali.

Selle testi käigus juhiti tehislihast 7.8 kHz sagedusega PWM signaaliga, mille pinget lülitati 0 ja 3 V vahel. PWM signaali ajaline käik ühe liikumistsükli jooksul ja sellele vastav elektrivoolu ajaline käik on kujutatud joonisel 12. Ühes suunas liikumise signaali saadeti 30 sekundit, mille jooksul tehislihase elektrivoolu tarve tõusis maksimaalselt 46 mA-ni.

Loodud seadmega on võimalik ka liigutada teist sorti EAP-sid, mis vajavad tööks vaid elektripinge rakendamist, mille liikumismehhanismiks on paindumine ning mis mahuvad antud seadme kontaktide vahele.

## 8. Kokkuvõte

Töö käigus loodud seadme näol on eeskätt tegu demonstratsioonistendiga, mida saab eksponeerida näiteks muuseumis või messidel, tutvustmaks inimestele, milline tehislihas välja näeb ja kuidas ta töötab. Kuna pehmete ionsete elektroaktiivsete aktuaatorite arendamine on veel alles varases arendusjärgus, siis loodud seade on hea abivahend, et pakkuda põgusat ülevaadet, et selline materjal üldse olemas on ja mida ta endast kujutab.

Antud töö jooksul valmis seade, mis on võimeline täitma kõiki talle esitatud nõudmisi. Seade saadab lüliti vajutuse korral tehislihasele signaali liikumiseks. Seepeale mõõdab seade, kas tehislihas liikus. Liikumise peale suureneb loendur, mis kuvab kogu tehislihase eluea jooksul tehtud liigutuste arvu. Kui tehislihase liikumist ei registreeritud, siis ekraanil teavitatakse, et tehislihas ei liigu enam, mille peale tuleks seda vahetada.

Tehislihaste ja IEAP-de tutvustamisele lisaks on võimalik seadme abil mõõta IEAP-st valmistatud tehislihaste paindumise ulatust ning maksimaalset liigutuste arvu, kuni tehislihas liikumisvõime kaotab. See aparaat on kasulik, et testida erinevaid tehislihaseid ning erinevate juhtsignaalikujude mõju tehislihaste elueale.

## Kasutatud kirjanduse loetelu

- [1] Y. Bar-Cohen, *Electroactive Polymer (EAP) Actuators as Artificial Muscles: Reality, Potential, and Challenges*, Bellingham, WA: SPIE press, 2004.
- [2] K. J. Kim ja S. Tadokoro, *Electroactive Polymers for Robotic Applications, Reno, Nevada: Artificial Muscles and Sensors*, 2007.
- [3] J. Torop, T. Sugino, K. Asaka, A. Jänes, E. Lust ja A. Aabloo, „Nanoporous carbide-derived carbon based actuators modified with gold foil: Prospect for fast response and low voltage applications,“ *Sensors and Actuators B: Chemical*, kd. 161, nr 1, p. 629–634, 2012.
- [4] K. Kruusamäe, F. Kaasik, A. Punning ja A. Aabloo, „Self-sensing ionic electromechanically active actuator with patterned carbon electrodes,“ *SPIE Smart Structures and Materials+ Nondestructive Evaluation and Health Monitoring*, San Diego, California, 2013.
- [5] E. Hamburg, „Süsinikelektroodidega ionopolümeer-metall komposiitmaterjali painde ja jõu vahelise sõltuvuse uurimine,“ Tartu Ülikool, Tartu, 2013.
- [6] G. Alici, A. Punning ja H. R. Shea, „Enhancement of actuation ability of ionic-type conducting polymer actuators using metal ion implantation,“ *Sensors and Actuators B: Chemical*, kd. 157, nr 1, pp. 72-84, 2011.
- [7] I. Must, F. Kaasik, I. Põldsalu, L. Mihkels, U. Johanson, A. Punning ja A. Aabloo, „Ionic and Capacitive Artificial Muscle for Biomimetic Soft Robotics, *Advanced Engineering Materials*,“ *Advanced Engineering Materials*, 2014 (avaldamiseks vastu võetud).
- [8] A. Firouzeh, O. M. Alasty ja A. Irajizad, „An IPMC-made deformable-ring-like robot,“ *Smart Materials and Structures*, kd. 21, nr 6, pp. 065011, 2012.

- [9] F. Ilievski, A. Mazzeo, R. Shepherd, X. Chen ja G. Whitesides, „Soft Robotics for Chemists,“ *Angewandte Chemie*, kd. 123, nr 8, pp. 1930-1935, 2011.
- [10] K. Krishen, „Space applications for ionic polymer-metal composite sensors, actuators, and artificial muscles,“ *Acta Astronautica*, kd. 64, nr 11, pp. 1160-1166, 2009.
- [11] V. Vunder, A. Punning ja A. Aabloo, „Variable-focal lens using electroactive polymer actuator,“ *SPIE Smart Structures and Materials+ Nondestructive Evaluation and Health Monitoring. International Society for Optics and Photonics*, San Diego, California, 2011.
- [12] National Instruments, „What is a Pulse Width Modulation (PWM) Signal and What is it Used For?,“ [Võrgumaterjal]. <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/294E67623752656686256DB800508989>. [Kasutatud aprill 2014].
- [13] Atmel Corporation, „ATmega32U4 datasheet,“ [Võrgumaterjal]. [http://www.atmel.com/Images/Atmel-7766-8-bit-AVR-ATmega16U4-32U4\\_%20Datasheet.pdf](http://www.atmel.com/Images/Atmel-7766-8-bit-AVR-ATmega16U4-32U4_%20Datasheet.pdf). [Kasutatud jaanuar 2014].
- [14] Texas Instruments, „DRV883x Low-Voltage H-Bridge Driver,“ [Võrgumaterjal]. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv8837.pdf>. [Kasutatud aprill 2014].
- [15] Atmel, „Microprocessor (MPU) or Microcontroller (MCU)?,“ [Võrgumaterjal]. [http://www.atmel.com/Images/MCU\\_vs\\_MPU\\_Article.pdf](http://www.atmel.com/Images/MCU_vs_MPU_Article.pdf). [Kasutatud aprill 2014].
- [16] S. Ball, „Analog-to-Digital Converters,“ 2001. [Võrgumaterjal]. [http://www.eetimes.com/document.asp?doc\\_id=1276974](http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1276974). [Kasutatud aprill 2014].
- [17] Sparkfun, „Pull-up Resistors,“ [Võrgumaterjal]. <https://learn.sparkfun.com/tutorials/pull->

up-resistors/all#what-is-a-pull-up-resistor. [Kasutatud Aprill 2014].

- [18] iC Haus, „LFL1402 datasheet,“ [Võrgumaterjal].  
[https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/tsIC-Haus\\_Zeilensensor-LF1402\\_EN.pdf](https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/tsIC-Haus_Zeilensensor-LF1402_EN.pdf). [Kasutatud märts 2014].
- [19] OSI Optoelectronics, „Photodiode Characteristics and Applications,“ [Võrgumaterjal].  
<http://www.osioptoelectronics.com/application-notes/AN-Photodiode-Parameters-Characteristics.pdf>. [Kasutatud aprill 2014].
- [20] Midas, „MC20805A6W-GPR datasheet,“ [Võrgumaterjal]. <http://datasheet.octopart.com/MC20805A6W-GPR-Midas-datasheet-10850654.pdf>. [Kasutatud märts 2014].
- [21] Texas Instruments „Understanding Low Drop Out (LDO) Regulators,“ [Võrgumaterjal].  
<http://direct.focus-webapps.ti.com/download/trng/docs/seminar/Topic%209%20-%20Understanding%20LDO%20dropout.pdf>. [Kasutatud mai 2014]
- [22] Texas Instruments, „LD6806TD/30H Datasheet,“ [Võrgumaterjal].  
<http://www.farnell.com/datasheets/1537429.pdf>. [Kasutatud veebruar 2014].

# **Abstract**

## **A demonstration device for ionic artificial muscles**

Raido Uudel

Artificial muscles are devices that try to replicate the motion and functionality of biological muscles. This means that they are able to contract, extend or bend. These devices could be used in many fields, such as robotics, space technology or medicine. Due to their light weight, noiseless actuation and the ability to be easily miniaturized, artificial muscles are an attractive field of study. Artificial muscles can be made using various materials, one of those being electroactive polymers. One subgroup of electroactive polymers are ionic electroactive polymers, in which actuation is caused by ions moving in the polymer. The purpose of this thesis is to design and build a device that is able to demonstrate the actuation of bending artificial muscles made from ionic electroactive polymers.

Another purpose for the device is to conduct a longevity test on the artificial muscles. The device has to be able to detect whether the artificial muscle moves or not and to keep track of the number of successful actuation cycles. The device must also have a method to modify the signal that is used to activate the artificial muscle. Lastly, the device must also be able to notify the user that the muscle is not functional.

In this work, a device was made to meet the requirements. A microcontroller was chosen to generate the signal through an H-bridge driver in order to regulate the output current. A linear camera takes a one-dimensional reading of the artificial muscle's position before and after the actuation signal is issued. The device displays information on the artificial muscle's actuation through an LCD display.

## Lisa 1. Programmi kood

```
#define F_CPU 2000000

#include <avr/io.h>
#include <avr/delay.h>
#include <inttypes.h>
#include <avr/eeprom.h>
#include <avr/pgmspace.h>
#include <util/delay.h>
#include <string.h>
#include "lcd.h"

uint16_t counter = 0;
uint16_t lightValue[256];
uint8_t keskmine = 0;

void initADC(){
    ADMUX = (1<<REFS0) | (1<<REFS1) | (1<<MUX2) | (1<<MUX0); //AVCC ref, kanal 5
    ADCSRA = (1<<ADEN) | (1<<ADSC) | (1<<ADPS1) | (1<<ADATE); //Enable, start
    ADCSRB = (1<<ADHSM);
}

void initTimer(){
    TCCR1A = (1<<COM1A1) | (1<<COM1B1);
    TCCR1B = (1<<CS12) | (1<<WGM12) | (1<<WGM11) | (1<<WGM10);

    TCNT1 = 0;
}

void initPorts(){
    DDRB = 0b11111110; //bit 0 on lylyti, teised on eri sorti kontrollijad
    DDRC = 0b11000000; //LED on 7 ja LDO enable 6 bit
    DDRD = 0b11111111; //LCD data kogu port
    DDRE = 0b01000000; //LED on bit 6
    DDRF = 0b01011111; //Kaamera port
}

uint8_t swap(uint8_t num, uint8_t pos1, uint8_t pos2){

    uint8_t i = num & (1<<pos1); //num vaartus positsioonil 1
    uint8_t j = num & (1<<pos2); //num vaartus positsioonil 2

    if ((i>>pos1)==(j>>pos2)){
        return num; //kui bitid on sama vaartusega siis vahet pole, tagasta
esialgne number
    }else{
        //kui ei ole, siis tuleb bitid inverteerida
        uint8_t mask=(1<<pos1)|(1<<pos2);
        num^=mask;
    }
    return num;
}
```

```
//Tuvastab tehislühase teise liigutuse ja tagastab kas liikus või ei
int detectMove(){
```

```
    uint16_t min = lightValue[125];
    uint16_t fall;
    uint16_t rise;
    uint8_t keskmineII;

    for (uint8_t i = 0; i < 255; i++){
        if (lightValue[i] < 400){

            fall = lightValue[i];
        }
        if(lightValue[i]>400){
            rise = lightValue[i];
        }
    }

    if((rise-fall) >= 10){
        keskmineII = (rise+fall)/2;
    }

```

```
_delay_ms(3000);
```

```
if(keskmineII > keskmine ){
    if((keskmineII - keskmine) > 10){
        return 1;
    }
}

else if(keskmineII < keskmine ){
    if((keskmine - keskmineII) > 10){
        return 1;
    }
}
return 0;
```

```
}
//tuvastab tehislühase esimese liigutuse
void detectFirst(){
```

```
    uint16_t min = lightValue[125];
    uint16_t fall;
    uint16_t rise;

    for (uint8_t i = 0; i < 255; i++){
        if (lightValue[i] < 400){

            fall = lightValue[i];
        }
        if(lightValue[i]>400){
            rise = lightValue[i];
        }
    }

    if((rise-fall) >= 10){
        keskmine = (rise+fall)/2;
```

```

    }

    _delay_ms(3000);

    LCD_clear();
    LCD_string("Liigutan");
}
//teeb pildi lineaarkaameraaga
void camera(){

    PORTF &= ~(1<<1);

    PORTF |= (1<<4);    //CLK 1
    _delay_us(1);
    PORTF |= (1<<0);    //SI 1
    _delay_us(1);
    PORTF &= ~(1<<4);    //CLK 0

    for(uint8_t i = 0; i<255; i++){
        PORTF |= (1<<4);    //CLK 1
        PORTF &= ~(1<<0);    //SI 0
        PORTF &= ~(1<<4);    //CLK 0
    }

    PORTF |= (1<<1);

    PORTF &= ~(1<<1);

    PORTF |= (1<<4);    //CLK 1
    _delay_us(1);
    PORTF |= (1<<0);    //SI 1
    _delay_us(1);
    PORTF &= ~(1<<4);    //CLK 0

    for(uint8_t i = 0; i<255; i++){
        PORTF |= (1<<4);    //CLK 1
        _delay_us(20);

        lightValue[i] = ADC;

        PORTF &= ~(1<<0);    //SI 0
        PORTF &= ~(1<<4);    //CLK 0
    }

    PORTF |= (1<<1);
}

//tagastab ekraanile kas lihas liikus või ei
void returnMove(){
    if (detectMove()){
        LCD_clear();
        LCD_string("Liikus");
        _delay_ms(3000);
        counter ++;
        eeprom_write_dword ((uint32_t *)46, counter);
    }
}

```

```

        LCD_clear();
        LCD_string("Liigutan");
    }

    else{
        LCD_clear();
        LCD_string("Ei liigu");
        _delay_ms(3000);
        LCD_clear();
        LCD_string("Liigutan");
    }
}

//liigutab lihast
void moveMuscle(){

    //5 = OCR1A
    //6 = OCR1B

    TCNT1 = 0;
    TCCR1A = (1<<COM1B1) | (1<<WGM11) | (1<<WGM10);
    TCCR1B = (1<<CS11) | (1<<WGM12) ;

    PORTB |= (1<<4);    //draiver sleepist yles
    PORTB &= ~(1<<5);

    PORTC |= (1<<7);

    for (uint16_t i = 1; i < 1023; i++){
        OCR1B = i;
        _delay_ms(5);
    }
    _delay_ms(30000);

    PORTC &= ~(1<<7);

    TCCR1A = 0;
    TCCR1B = 0;

    PORTB |= (1<<6) | (1<<5);
}

//viib lihase tagasi algolekusse
void returnMuscle(){

    //5 = OCR1A
    //6 = OCR1B

    TCNT1 = 0;
    TCCR1A = (1<<COM1A1) | (1<<WGM11) | (1<<WGM10);
    TCCR1B = (1<<CS11) | (1<<WGM12) ;

    PORTB |= (1<<4);    //draiver sleepist yles
    PORTB &= ~(1<<6);
}

```

```

PORTC |= (1<<7);

for (uint16_t i = 1; i < 1023; i++){
    OCR1A = i;
    _delay_ms(1);
}
_delay_ms(30000);

PORTC &= ~(1<<7);

TCCR1A = 0;
TCCR1B = 0;

PORTB |= (1<<6) | (1<<5);

LCD_update(counter);
}

//nupuvajutuse korral toimuvad funktsioonid
void onButtonRelease(){
    _delay_ms(200);
    if(~(PINB & (1<<0))){
        PORTC |= (1<<6); //LDO sisse
        camera(); //filmib algolekut
        detectFirst(); //registreerib algoleku
        moveMuscle(); //liigutab lihast
        camera(); //registreerib oleku peale lihase liikumist
        returnMove(); //tagastab ekraanil liikumise andmed
        returnMuscle(); //lihas tagasi
    }
}

//peaprogramm
int main(){

    MCUCR = (1<<JTD); //JTAG disable
    MCUCR = (1<<JTD); //Et port F kasutada

    initPorts();
    initTimer();
    initADC();
    initLCD();

    PORTC = (1<<6); //LDO enable sisse
    PORTE = (1<<6); //LED polema

    LCD_string("Tere");
    _delay_ms(3000);

    if(eeprom_read_dword((uint32_t*)46)==0xFFFFFFFF){
        counter = 0;
        eeprom_write_dword((uint32_t *)46, counter);
    }

    else{
        counter = eeprom_read_dword((uint32_t*)46);
    }
}

```

```

LCD_update(counter);

while(1){

    PORTB &= ~(1<<4);    //draiver sleep
    PORTC &= ~(1<<6);    //LDO sleep

    PORTF &= ~(1<<1);

    PORTF |= (1<<4);     //CLK 1
    _delay_us(1);
    PORTF |= (1<<0);     //SI 1
    _delay_us(1);
    PORTF &= ~(1<<4);    //CLK 0

    for(uint8_t i = 0; i<255; i++){
        PORTF |= (1<<4);    //CLK 1
        _delay_us(20);

        lightValue[i] = ADC;

        PORTF &= ~(1<<0);    //SI 0
        PORTF &= ~(1<<4);    //CLK 0
    }

    PORTF |= (1<<1);

    while(PINB & (1<<0)){
        onButtonRelease();
    }
}
return 0;
}

```

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina, Raido Uudel,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Ioonsete tehislühaste demonstratsioonstend,

mille juhendaja on Indrek Must,

- 1.1.reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
- 1.2.üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, **29.05.2014**