

Tartu Ülikool

Loodus- ja Tehnoloogiateaduskond

Tehnoloogiainstituut

Tõnis Prants

**Robotmannekeeni lineaartäiturite eluea uurimine**

Bakalaureusetöö (12 EAP)

Juhendaja:

elektroonikaspetsialist Teet Tilk

Kaitsmisele lubatud .....

Juhendaja .....

Tartu 2015

## **Resümee**

Käesoleva bakalaureusetöö teemaks on uurida Tartu Ülikooli Tehnoloogiainstituudi robotmaneekeni täiturite eluiga. Selle raames valmis jõumõõtja, millega korraldati mõõtmisi kolmele erinevale täiturile AC69SB. Mõõtmistest selgus, et kasutatud täiturid suudavad tekitada jõudu vahemikus 125 kuni 170 N. Veel tähendati, et täiturite sisemine mehaanika on habras seadme tekitatud jõu suuruse juures.

# Sisukord

Resümee .....	2
Jooniste ja tabelite loetelu .....	5
Lühendid, konstandid, mõisted .....	6
1. Sissejuhatus .....	7
2. Valdkonna ülevaade .....	8
2.1. Robotmannekeen .....	8
2.2. Täiturid .....	8
2.3. Jõud ja selle mõõtmine .....	10
3. Jõumõõtja .....	11
3.1. Riistvara.....	13
3.2. Skeem .....	14
3.3. Tarkvara.....	16
3.3.1. Mikrokontrolleri C programm .....	16
3.3.2. Arvutis paiknev LabVIEW programm.....	16
3.4. Kalibreerimine .....	17
4. Mõõtmine .....	18
4.1. Mõõtmisprogramm .....	18
4.2. Mõõtmiste läbiviimine.....	18
5. Tulemused .....	20
5.1. Testmõõtmised.....	20
5.2. Esimene põhimõõtmine .....	21
5.3. Hooldamata täitur vs hooldatud.....	22
5.4. Hooldamata täitur vs hooldatud, hilisem .....	23
6. Tulemuste analüüs .....	24
6.1. Testmõõtmised.....	24
6.2. Põhimõõtmised .....	24
6.3. Esimene hooldamata vs hooldatud täituritega mõõtmine.....	24
6.4. Teine hooldamata vs hooldatud täituritega mõõtmine .....	25
6.5. Järeldused analüüsist .....	25
Kokkuvõte .....	26

Researching robotmannequins actuators lifespan .....	27
Tänuavaldused.....	28
Viited.....	29
Lisad .....	30
Lisa 1. Jõumõõtja C kood .....	30
Lisa 2. jõuanduri pinge talle mõjuva jõu korral.....	31
Lisa 3. Mõõtmine 1, suurimad voolutarbed.....	32
Lisa 4. Mõõtmine 2, suurimad voolutarbed.....	33
Lisa 5. Mõõtmine 3, suurimad voolutarbed.....	34
Lisa 6. Mõõtmine 4, suurimad voolutarbed.....	35
Lihtlitsent lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks .....	36

## Jooniste ja tabelite loetelu

Joonis 3.1. Jõumõõtja tööpõhimõte.....	11
Joonis 3.2. Jõumõõtja trükkplaat.....	12
Joonis 3.3. Jõuandur koos täituriga.....	12
Tabel 3.1. Jõumõõtja komponendid .....	13
Joonis 3.4. Elektriskeem.....	14
Joonis 3.5. Trükkplaadi skeem.....	15
Joonis 3.6. LabVIEW programm.....	16
Joonis 3.7. LabVIEW kasutajaliides.....	17
Joonis 5.1. Jõu mõõtmine 1.....	20
Joonis 5.2. Jõu mõõtmine 2.....	21
Joonis 5.3. Jõu mõõtmine 3.....	22
Joonis 5.4. Jõu mõõtmine 4.....	23

## **Lühendid, konstandid, mõisted**

Analoog-digitaalmuundur(ADC) – Seade, mis muudab analoogisignaali digitaalsignaaliks.

Broadcast – Viis saata sõnum kõikidele vastuvõtjatele.

Jõuanduri aktiivala – Osa jõuandurist, millele mõjuvat jõudu mõõdetakse.

Kristallostsillaator – Seade, mis annab mikroprotsessorile stabiilse taktsageduse.

LabVIEW – Firma National Instruments poolt väljatöötatud graafiline programmeerimiskeskond.

Lineaartäitur – Lineaarset liikumist tekitav täitur.

Mikrokontroller – Mikrokiip millel on peale keskprotsessori veel mälu ja programmeeritavad sisend väljund liidesed.

Nr – Number.

Piikriba – Nõeltega elektriline ühendus pesa.

Pinge referentsi mikroskeem – Elektroonika seade mis ideaalis hoiab konstantset pinget.

Port – Andmeühenduse lõpp-punkt.

SI süsteem – Rahvusvaheline mõõteühikute süsteem.

Tensoandur – Rõhuandur, mis kasutab mõõtmiseks mehaanilise deformatsiooniga kaasnevat elektrilist polarisatsiooni.

Täitur – Seade, mis suudab signaali peale muuta energiat mehaaniliseks liikumiseks.

USB – Universaal jadasiin (Universal Serial Bus).

Valgusdiod – Diiod, mis muundab elektrienergia nähtavaks valguseks.

Vs – Versus (vastu).

## 1. Sissejuhatus

Tartu Ülikooli Tehnoloogiainstituudis arendatud robotmannekeen on unikaalne robot. See on üks näidetest, kuidas Eestis on võimalik tegeleda tipptehnoloogia arendamisega. Hetkel on maneekeen kogumas aina rohkem tuntust. Saab eeldada, et äriideena muutub masin aina tulusamaks. Tipptasemel püsimiseks peab tegelema pideva arendustööga. Katsed praeguste mannekeeni lahenduste peal võimaldavad tulevikus töötada välja paremaid roboti mudeleid.

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks on robotmannekeeni jaoks välja töötatud täiturite eluea uurimine. Siiani on robotmannekeeni täiturite testimisel puudunud võimalus mõõta arendatud jõudu. Probleemi lahendamiseks valmistati käesoleva töö raames jõumõõtja, millega oleks võimalik mõõta mannekeeni täiturite tekitatud jõudu ja uurida jõu muutumist mootori kuludes.

Töö on jagatud kolmeks osaks. Kõigepealt antakse ülevaade robotmannekeenist ja täituritest. Teises osas kirjeldatakse mõõtmiste jaoks valminud jõumõõtjat. Viimases osas kirjeldatakse mõõtmisi ja analüüsitakse saadud tulemusi.

## 2. Valdkonna ülevaade

### 2.1. Robotmannekeen

Fits me mannekeeni ülesanne on jäljendada erinevate inimeste kehakuju. Sellel eesmärgil on olemas nii mees- kui ka naismannekeen. Keha kuju muutmiseks on mannekeenidel lineaarsed täiturid. Meesmannekeenil on täitureid kokku 53 ja naisvariandil 54.<sup>[1]</sup>

Fits me kasutab mannekeene nii öelda virtuaalse proovikabiini loomiseks. „Proovikabiin“ ise on veebileht kus on võimalik valida riideese, sisestada enda kehamõõdud ja seejärel näidatakse, kuidas näeb riideese välja sellise kehakujuga inimese seljas. Pildid on varem studios ette tehtud, kõikvõimalike kehakujude kohta. Selle saavutamiseks peab studios näiteks ühest meeste riideesemest tegema ligikaudu 700 pilti. Naiste rõivaste puhul tehakse isegi 5 korda rohkem pilte. Töö lihtsustamise eesmärgil on roboti kehakujude vahetumine ja pildistamine automatiseeritud. Väheneb küll inimtöö aeg aga roboti täiturid kuluvad ikka sama palju ja vananedes jäävad nad aeglasemaks ja hakkavad rohkem voolu tarbima.<sup>[1]</sup>

### 2.2. Täiturid

Täiturid on seadmed, mis suudavad kindla käsu peale muuta energiat mehaaniliseks liikumiseks. Täiturite töömehhanisme on erinevaid. Hüdraulilised täiturid kasutavad hüdraulilist vedelikku mehaanilise töö tegemiseks. Neid kasutatakse olukordades, kus on vaja suurt kiirust ja jõudu. Kuna täituris kasutatavat vedelikku pole võimalik kokku suruda, kandub süsteemi ühes otsas antud jõud kiirelt teise otsa. Sellised täiturid töötavad Pascali seaduse alusel, mis väidab, et vedelikus või gaasis levib rõhk igas suunas ühtviisi.<sup>[2]</sup> Sama seaduse alusel töötavad ka pneumaatilised täiturid, mis kasutavad vedeliku asemel gaasi. Robotmannekeenil on aga kasutusel lineaartäiturid, mille elektrimootorid kasutavad mehaanilise töö tegemiseks voolu.

Elektrimootoritega täitureid on tihti lihtsam kasutada, kuna elekter on laialdaselt kasutusel ja seda on lihtsam töödelda kui gaasi või vedelikku. Elektrit on lihtsam kontrollida ja seda kasutavate seadmete probleeme on lihtsam tuvastada. Tänu elektrimootorite laialdasele kasutusel on need tihti odavamad kui teised täiturid. Elektritäituritel on aga aeglastel kiirustel halb jõumoment, ehk nad ei suuda väikestel kiirustel väga suurt jõudu

genereerida. Samuti on nende tekitatava jõu suhe masina raskusesse halvem kui hüdraulilistel või pneumaatilistel täituritel. <sup>[3]</sup>

On olemas otsesed ja kaudsed lineaarsed täiturid. Kaudsed täiturid kasutavad elektrimootorit, mille tekitatud ringliikumine muudetakse mehaanilise süsteemi abil sirgliikumiseks. Otsesed täiturid aga tekitavad kohe lineaarset liikumist. <sup>[4]</sup>

Kaudsete täiturite mehaaniline süsteem põhineb hammasrattal ja kruvil. Hammasratas on kinnitatud mootori külge ja paneb kruvi kas edasi või tagasi liikuma. Juhul, kui kasutusel ei ole kuulkruvi siis on selliste mehaaniliste üleminekul väga väike efektiivsus. Sellest tuleneb ka aeglasem kiirendus ja ka väiksem kiirus. Samuti nõuab mehaanilise süsteemi kasutamine lisaruumi. Sellegipoolest on kaudsed mehaanilised täiturid odavamad, kuna nendes kasutatavad elektrimootorid on laialt levinud. <sup>[4]</sup>

Elektrimootorid töötavad voolu ja magnetvälja abil. Elektrimootor koosneb kahest tähtsast osast: staatorist, mis püsib paigal, ja rootorist, mis pannakse pöörlema. Alalisvoolumootoris asub rootor kahe magnetpooluse vahel. Magnetpoolused tekitavad rootori ümber magnetvälja ja juhul, kui rootorit läbib alalisvool hakkab teda mõjutama jõud, mis paneb rootori pöörlema. Kuna pöörlemissuunda mõjutab rootori asend magnetpooluste suhtes siis on jätkuvaks pöörlemiseks vaja kommutaatorit, mis iga poole pöörde järel vahetab rootorit läbiva voolu suunda. Vahelduvoolu mootorid on lihtsamad, kuna neil ei ole vaja kommutaatorit, voolust tingitud sisendpinge muutus tekitab ise pöörlemiseks vajaliku magnetvälja. On olemas veel sünkroonsed mootorid. Neil on staatori küljes kolm paari magneteid, mida sünkroonselt sisse ja välja lülitades on võimalik tekitada pöörlev magnetväli. Kui rootor lukustub liikuvasse magnetvälja hakkab ta ise samuti pöörlema. <sup>[5]</sup>

Kasutades elektromagneteid on võimalik valmistada otsene lineaarne täitur, mille liikumiskaugus võib olla mõnest millimeetrist paari sentimeetrit. Sellised seadmed on ehituselt lihtsamad ja kiiremad kui kuulkruvi kasutavad kaudsed täiturid. Mehaanilise vahesüsteemi puudumise tõttu on nad tihti ka täpsemad kui kaudsed täiturid. Suuremate või pikemate liikumiste tekitamiseks kasutakse elektromagneteid, mis tekitavad ringliikumist. Ringelema pandav osa süsteemis rullib ennast lahti, võimaldades seega pikemat liikumist. <sup>[4]</sup>

### 2.3. Jõud ja selle mõõtmine

Kindla täituri eluea hindamisel on vaja mõõta tema genereeritavat jõudu. Jõud näitab, kui tugevalt üks keha mõjutab teist ja selle mõned vormid on näiteks atomaarne-, elektromagneetile- ja gravitatsioonijõud. Jõudu iseloomustab suund ja suurus. Kui kaks võrdset kuid vastassuunalist jõudu mõjutavad ühte keha siis sellele kehale mõjub summeeritult nulljõud. Juhul, kui vastasjõud puudub, pannakse keha liikuma nii, et tema kiirus on sõltuvuses temale mõjuva jõuga. Kui aga mõjutatavat keha hoitakse mingil viisil paigal, siis teda mõjutavale kehale hakkab mõjuma vastasuunaline jõud. <sup>[6]</sup>

Jõu ühik on SI süsteemis tuletatud ühik njuuton, mille lühend on N. Üks njuuton on jõud, mis paneb ühe kilogrammise objekti liikuma kiirusega üks meeter sekundis. Reaalselt on aga ebapraktiline panna ühe kilogrammiseid objekte liikuma kiirusega üks meeter sekundis. Selle asemel kasutatakse kindla massiga objekte ja mõõdetakse kui palju jõudu avaldab neile Maa gravitatsioon. <sup>[6]</sup>

Jõu mõõtmiseks mõeldud süsteem koosneb andurist ja anduri tööks vajaminevast süsteemist. Andur ise peab suutma muuta temale avaldatava jõu mõneks muuks mõõdetavaks omaduseks (näiteks pingeks). Anduri toetusüsteemi ülesannete seas võib olla anduri varustamine vooluga või andurist saadud mõõtmete töötlemine. Andurid ise koosnevad elastilisest jõudu kandvast elemendist, mis avaldatava surve mõjul paindub. Seda paindumist mõõdab süsteem, mis tekitab muutusele vastava väljundi. On olemas ka piesoelektrilised andurid, mille kristalliline pind tekitab voolu juhul, kui sellele mõjub jõud. Piesoelektrilise anduri tekitatud voolu suurus on sõltuvuses pinnale mõjuva jõust, on võimalik tekitatud voolu mõõtes arvutada välja pinnale mõjuv jõud. <sup>[6]</sup>

Tänapäeval üks levinumaid ja odavamaid jõuanduri tüüpe on elektritakistuse tensoandurid. Need võimaldavad arvutada neile mõjuva jõu läbi vooluringi takistuse. Anduri ehituses on elektrit juhtiv komponent, näiteks traat. Kui sellisele traadile avaldub jõud siis tema pikkus suureneb ja tema läbimõõt väheneb. Sellega kaasneb takistuse suurenemine vastavalt sellele kui suur jõud mõjub andurile. Mõõtes siis traati läbivat voolu on võimalik arvutada andurile mõjuv jõud. <sup>[6]</sup>

### 3. Jõumõõtja

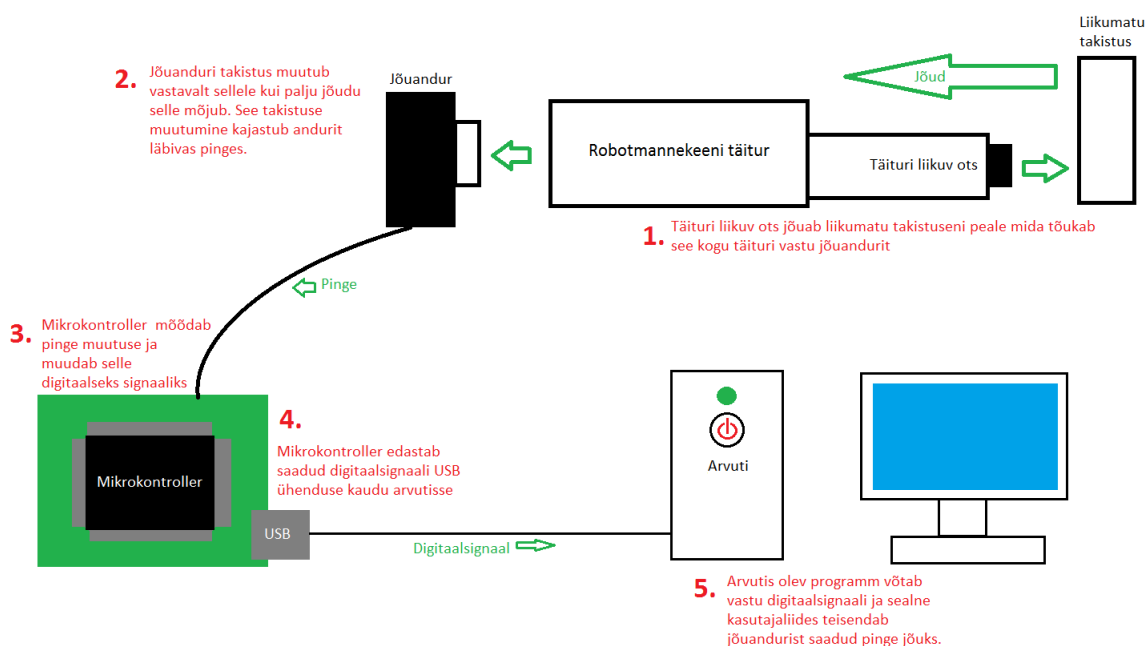
Käesoleva bakalaureusetöö raames valmistati robotmannekeeni täiturite mõõtmiseks jõumõõtja.

Valminud seadme põhiliseks osaks on TE Connectivity Measurement Specialities jõuandur FC22, mis võimaldab mõõta kuni 220 N suurust jõudu. Tegu on takistusliku anduriga, mille takistus muutub vastavalt seadmele mõjuvale jõule.

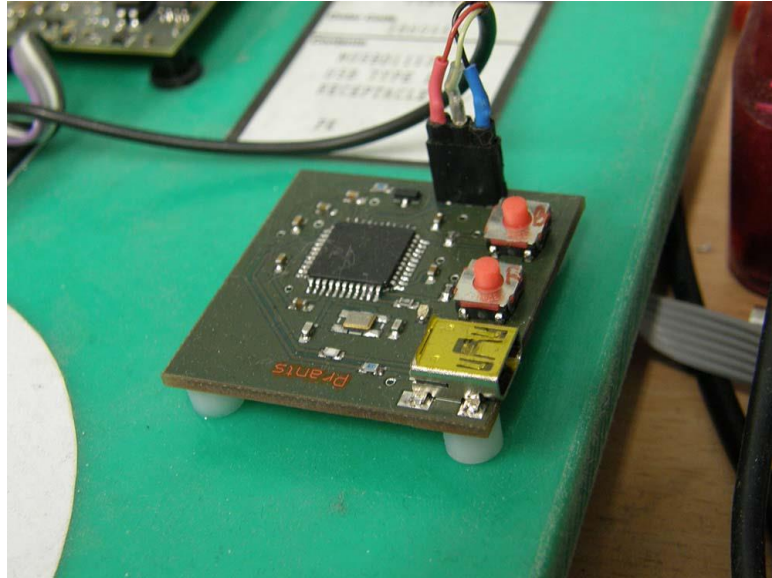
Jõuandur on kinnitatud täituri taha nii, et kui lineaartäitur jõuab takistuseni, hakkab ta suruma ennast vastu jõuanduri aktiivala.

Takistuse mõõtmiseks ja digitaalsignaalsiks muutmiseks kasutatakse mikrokontrollerit ATMEGA32U4.

Andmed edastatakse arvutisse läbi USB kaabli. Edasi töödeldakse andmeid selleks loodud LabVIEW programmiga. Jõumõõtja tööpõhimõte on kujutatud joonisel 3.1. Pildid valminud jõumõõtjast on joonisel 3.2 ja joonisel 3.3.



Joonis 3.1. Jõumõõtja tööpõhimõte



Joonis 3.2. Jõumõõtja trükkplaat



Joonis 3.3. Jõuandur koos täituriga

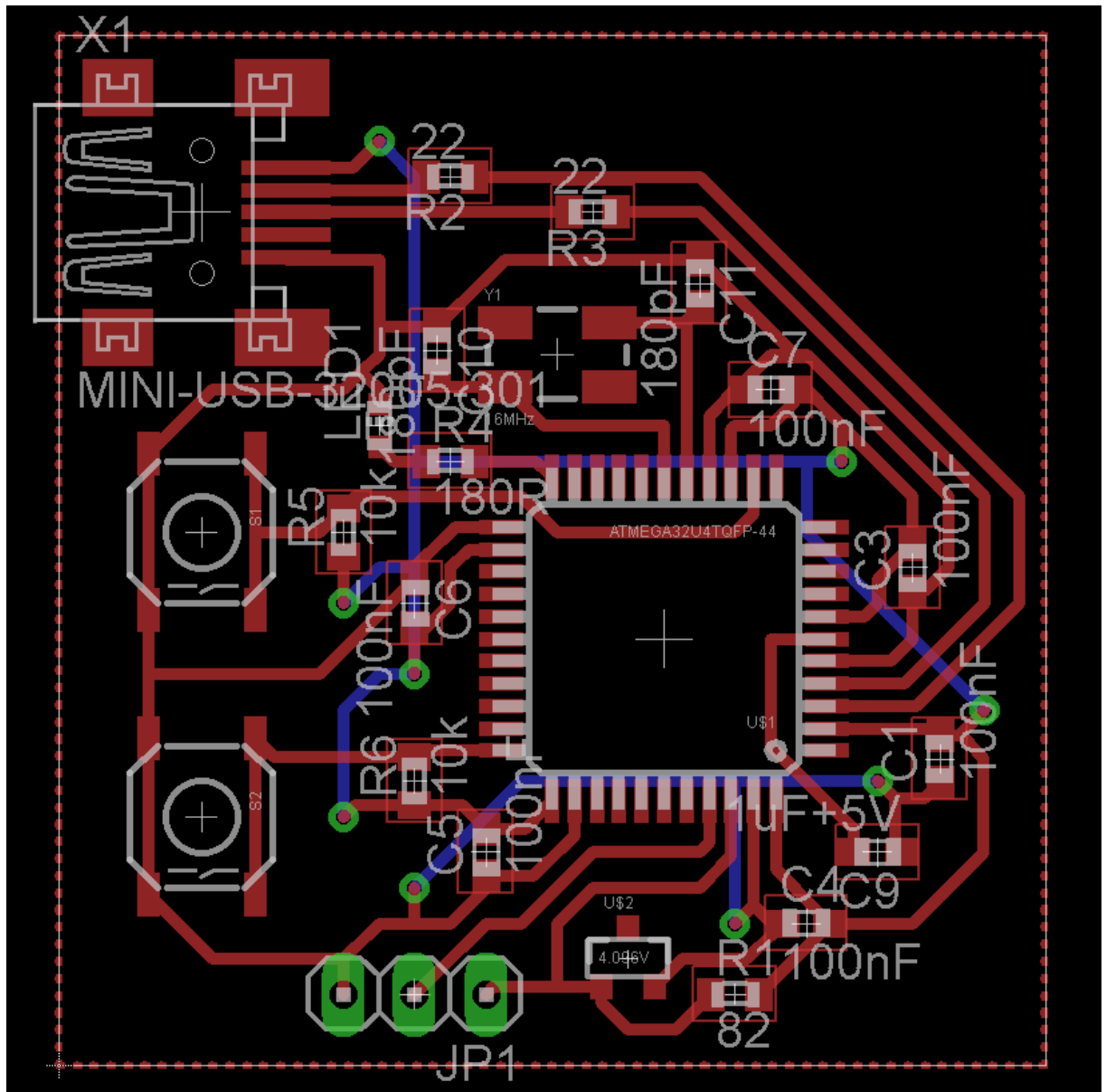
### 3.1. Riistvara

Jõumõõtja valmistamiseks kasutatud komponendid on välja toodud tabelis 3.1.

Komponent	Pakend	Kogus
ATMEGA32U4	TQFP44	1
Jõuandur FC22		1
Pinge referentsi mikroskeem 4.096V	SOT23-3	1
16MHz Kristallostsillaator	SMD 5x3.2	1
Lüliti	SMD 6.2x6.2	2
1 $\mu$ F	C0603	1
100nF	C0603	6
180pF	C0603	2
82 $\Omega$	R0603	1
22 $\Omega$	R0603	2
180 $\Omega$	R0603	1
10k $\Omega$	R0603	2
Valgusdiod	0603	1
Piikriba 1x03		1
Mini USB pesa	32005-301	1

Tabel 3.1. Jõumõõtja komponendid





Joonis 3.5. Trükkplaadi skeem

### 3.3. Tarkvara

Jõu mõõtja kasutab töötamiseks kahte programmi. Esimene on mikrokontrollerile paigaldatud programm C keeles, mis loeb analoog-digitaalmuundurist pinget ja saadab tulemuse üle USB kaabli. Teine on arvutis jooksev LabVIEW programm, mis loob ühenduse mikrokontrolleriga üle USB ja töötleb saadud tulemusi.

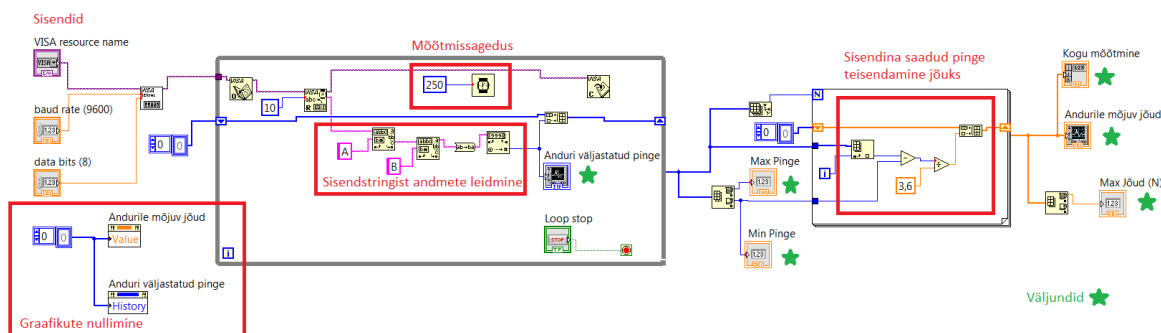
#### 3.3.1. Mikrokontrolleri C programm

Programm alustab tööd siis, kui mikrokontroller ühendatakse vooluvõrku. Esimesena seadistatakse analoog-digitaalmuundur ja jäädakse ootama andmeid. Andmed salvestatakse eraldi muutujasse ja saadetakse märkhaaval üle USB, üksiku mõõtetulemuse eristamiseks eelneb ja järgneb sellele eristatav algus- ja lõppsümbol. Pärast ühe väärtuse saatmist jääb programm järgmist ADC tulemust ootama ja nii lõpmatult.

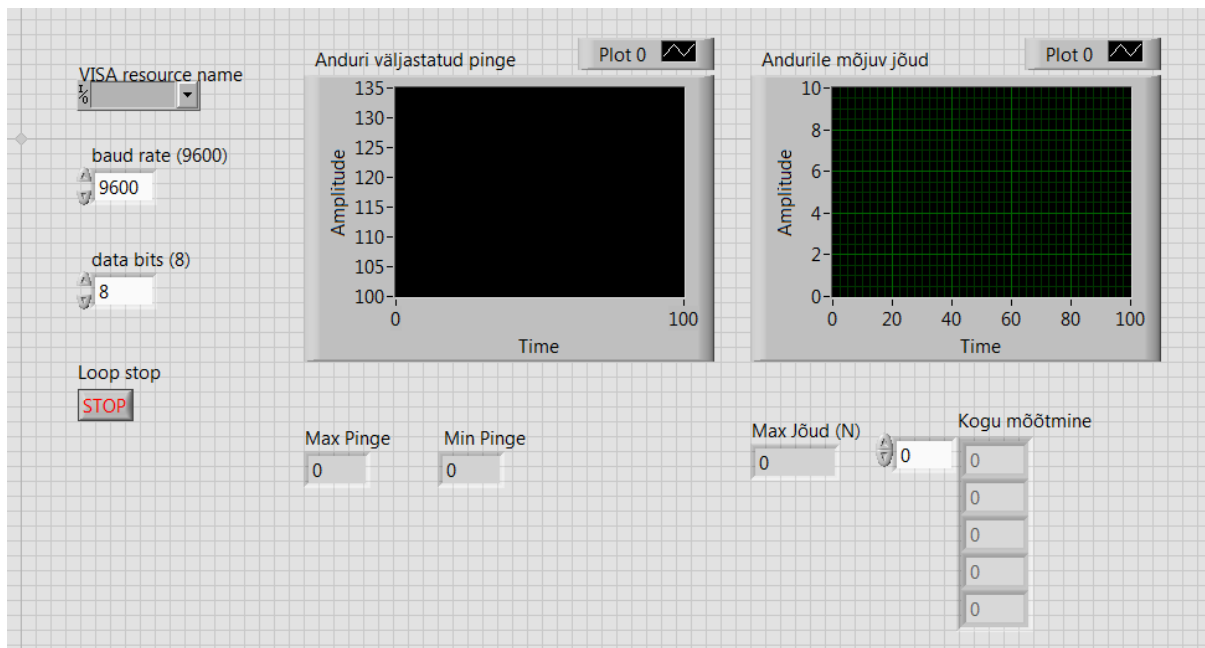
Kood on käesoleva lõputöö lisa 1.

#### 3.3.2. Arvutis paiknev LabVIEW programm

Andurilt andmeid vastu võttev osa programmist loob kõigepealt ühenduse USB-ga ühendatud seadmega. Programmi käivitamisel minnakse lugemistsükklisse, mis muudab USB kaudu saadud märgid numbriteks ja loob neist järjendi. Kui on saadud soovitud hulk mõõtmistulemusi siis mõõtmistükkel lõpetatakse ja liigutakse uude tsükklisse, kus järjest teisendatakse kõik saadud tulemused voltidest njuutoniteks. Kirjeldatud programm on kujutatud joonisel 3.6 ja selle programmi kasutajaliides on joonisel 3.7.



Joonis 3.6. LabVIEW programm



Joonis 3.7. LabVIEW kasutajaliides

### 3.4. Kalibreerimine

Selleks, et jõuandurist mõõdetud pinge jõuks teisendada, oli vajadus leida kui suur jõud vastab millisele pingele. Kalibreerimiseks oli vaja kasutada erinevaid masse. Kui on teada, kui suure massiga on objekt, saab välja arvutada, kui suure jõuga mõjutab seda objekti gravitatsioon. Asetades kaalutud objekt jõumõõtjale saab teada, milline pinge vastab objektile mõjuvale gravitatsioonijõule.

Kõigepealt võeti neli erinevat metallkeha, mis kaaluti tavalisel kaalul. Kehade massid olid kasvavalt: 1,70 kg, 2,02 kg, 3,36 kg ja 4,50 kg. Järgmisena arvutati, mitme njuutoniline gravitatsioonijõud mõjub igale objektile. Jõud on järgnevad: 16,67 N, 19,81 N, 32,95N ja 44,13 N. Järgmisena mõõdeti kaalutud raskusi jõuanduril nii üksi kui ka kombineerides. Pärast korduvaid mõõtmisi sai tulemusi uurides välja arvatud lineaarne kalibreerimistegur, milleks oli 1,2. Kui jõuandurist saadud pingest lahutada nulljõule vastav pinge ja saadud vahe jagada arvatud teguriga 1,2 siis saadakse kätte jõuandurile mõjuv jõud njuutonites.

Lisaks sai hiljem määratud igale üksikule mõõtmiskorrale range viivitus, mille eesmärk oli tagada mõõtmistele ühtlane sagedus. Selleks viivituseks sai 390 millisekundit, mis on ligikaudu 2,5 mõõtmist sekundis.

Joonis jõuanduri pingest talle mõjuva jõu korral on käesoleva lõputöö lisa 2.

## **4. Mõõtmine**

Mõõtmised korraldati Tartu Ülikooli Tehnoloogiainstituudis. Katsete läbiviimiseks kasutati katsestendi, millele integreeriti mõõtmiste jaoks valmistatud jõumõõtja. Juba varem oli sellel stendil olemas riistvara mannekeeni täiturite juhtimiseks ja nende voolutarbe mõõtmiseks.

Mõõtmise läbiviimiseks kasutati selleks loodud LabVIEW programmi. Programm sisaldab lisaks jõumõõtja osale ka alamprogramme täituriga suhtlemiseks ja täituri voolu tarvet mõõtvat elektroonikaga suhtlemiseks. Lisatud on ka alamprogramm, mis tagab tulemuste automaatse .txt formaati salvestamise.

### **4.1. Mõõtmisprogramm**

Programmi esimesteks sisenditeks on pordid, mille taha on ühendatud jõumõõtja ja voolumõõtja. Teiseks tuleb sisestada nende kahe mõõtja jadaühenduse parameetrid. Edasi määratakse, kui kaugele peab täitur liikuma ja millistele täituritele käsk edastatakse. Järgmisena tuleb paika panna mitu mõõtmist korraldada ning mitme millisekundi tagant antakse täiturile käsk tagasi liikuda. Seejärel saab määrata, kuhu salvestada saadud tulemused ja mis märke neile lisada. Viimasena tuleb sisestada mitu mõõtmist korraldatakse ja mitu millisekundit peab programm ootama enne uue mõõtmise alustamist.

Väljundina salvestab programm tekstifaili mõõtmise käigus saadud suurima jõu njuutonites ja voolutarbe milliamprites. Lisaks arvutab programm, üle mitme mõõtmise toimus jõu kasv ja mitu mõõtmist jõuti teha enne, kui jõuandur registreeris esimese muudatuse. Lõplik programm arvutab ka täituri takistamata liikumise keskmise voolutarbe.

### **4.2. Mõõtmiste läbiviimine**

Mõõtmiseks kasutati kolme Tartu Ülikooli Tehnoloogiainstituudi poolt välja arendatud täiturite AC69SB. Edasises analüüsis eristatakse neid täitureid kui täitur nr 1,2 ja 3.

Mõõtmiste läbiviimiseks tuleb ühendada arvuti kolme seadmega. Esimene neist on Kvaser Leaf SemiPro HS CAN analüsaator, mis võimaldab luua ühenduse täituriga. Teine on voolumõõtmisplaat ja kolmas on lõputöö raames valmistatud jõumõõtja plaat. Edasi tuleb

programmile anda õiged sisendid ja programmi käivitamisel toimub automaatne mõõtmine. Kõikide mõõtmiste käigus on arvuti ühendatud vaid ühe täituriga, seega sisenditena sai antud liikumiskäsk *broadcastina* ehk see suunati kõikidele täituritele. Samuti sai testimiseks valitud kõige lühema liikumisega täituriid ja testimise käigus kujunes optimaalseks liikumiskauguseks 12 mm.

Kõigepealt sai läbiviidud kaks testmõõtmist, mille käigus sai paika panna programmi optimaalse ajalise käitumise. Need mõõtmised sooritati täitur nr 1-ga. Esimese testi pikkus oli 250 mõõtmist, riistvaralt loeti andmeid iga 390 millisekundi tagant ja täituril lasti edasi liikuda 4,5 sekundit. Teise testmõõtmise käigus pikendati edasilikumisaega 5 sekundini ja selle käigus korraldati 200 järjestikust mõõtmist. Suuremaid ajalisi pikkusi enam ei valitud kuna täituril võib rakenduda ülekoormuskaitse.

Peamised mõõtmised korraldati tingimustel, kus andmeid mõõdeti 390 millisekundi tagant ja edasilikumise aeg oli 5 sekundit. Mõõtmised jäid pooleli 382 sissekande juures kuna vahepeal oli täitur purunenud ja tulemused osutusid kasutuks. Mõõtmised viidi läbi täituriga nr 1.

Järgmiste mõõtmiste jaoks vähendati täituri liikumise aega 4,5 sekundile. Uut mõõdetavat täiturit otsides leiti kaks kaua hooldamata täiturit (sisemisele mehaanikale ei olnud lisatud määret), nendest said täituriid nr 2 ja 3. Mõlema määrimata täituri hindmiseks tehti 100 mõõtmiskatset.

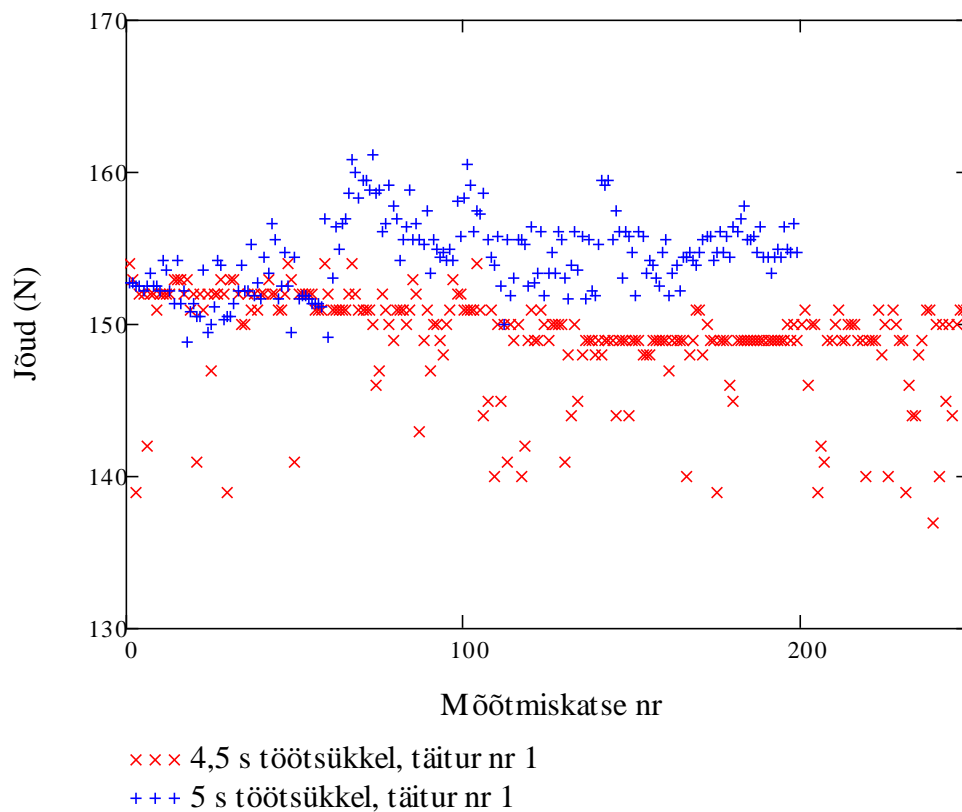
Järgmisena tehti täitur nr 2 lahti. Täituri liikuvatele osadele lisati määret. Samuti vahetati üks vale mõõduga toru ära, mis ei mõjuta oluliselt tulemust. Pärast täituri kokkupanemist korraldati sellele täiturile 100 tsükliline mõõtmine samade tingimustega, mis enne hooldust.

Viimane mõõtmisseeria viidi läbi neli päeva pärast eelmisi mõõtmisi. Mõõtmised viidi läbi täituritega nr 2 ja 3. Katse tingimused jäid samaks, mis eelmistel mõõtmistel: täiturite liikumise aeg oli 4,5 sekundit ja töötüklite arv 100. Katse käigus läks täitur nr 3 katki.

## 5. Tulemused

### 5.1. Testmõõtmised

Testmõõtmiste eesmärgiks oli katsetada jõumõõtja programmi järjestikuste mõõtmistega. Selle jaoks korraldati kaks erinevat mõõtmis seeriat. Esimesel seerial lasti täituril pool sekundit vähem edasi liikuda enne tagasi käsu andmist. Mõlemal korral mõõdeti täiturit nr 1.



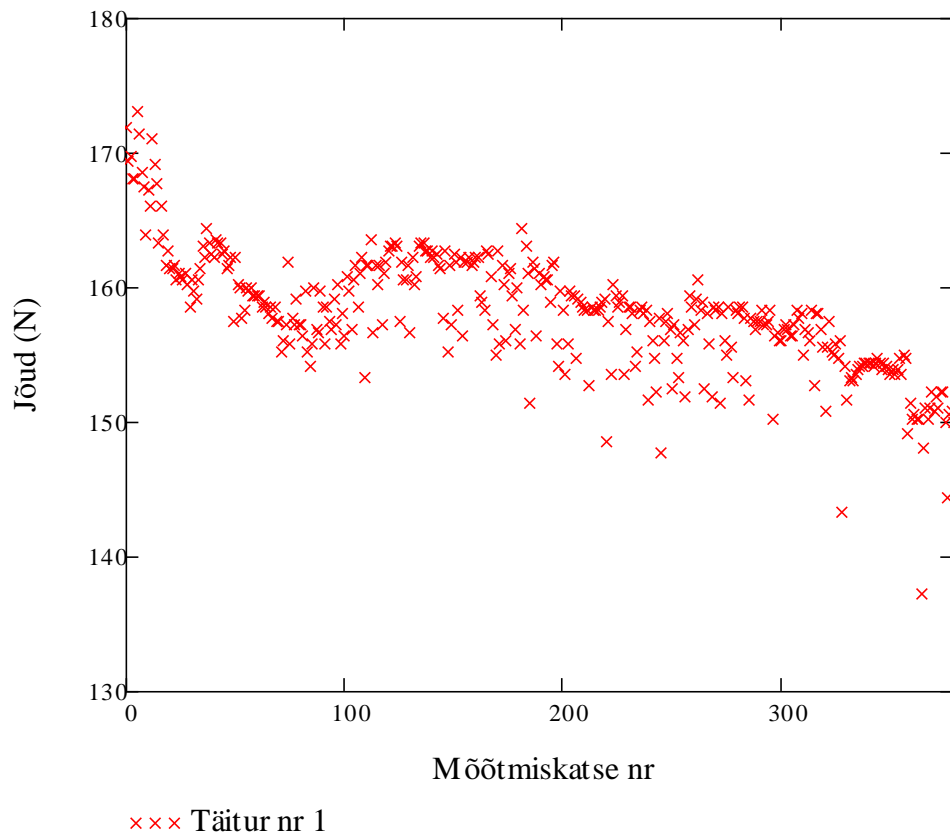
Joonis 5.1. Jõu mõõtmine 1

Lisaks mõõdeti pikema töötsükli katsel aega, millal jõuandur tuvastas esimesed muudatused temale mõjuvas jõus. See täituri takistuseni jõudmise aeg oli keskmiselt 4,4 sekundit.

Mõõtmiskatsete suurimad voolutarbed on välja toodud käesoleva lõputöö lisas 3.

## 5.2. Esimene põhimõõtmine

Eesmärk kulutada täiturit pideva töötamise kaudu, et näha kuidas kahaneb täiturite tekitatud jõud.



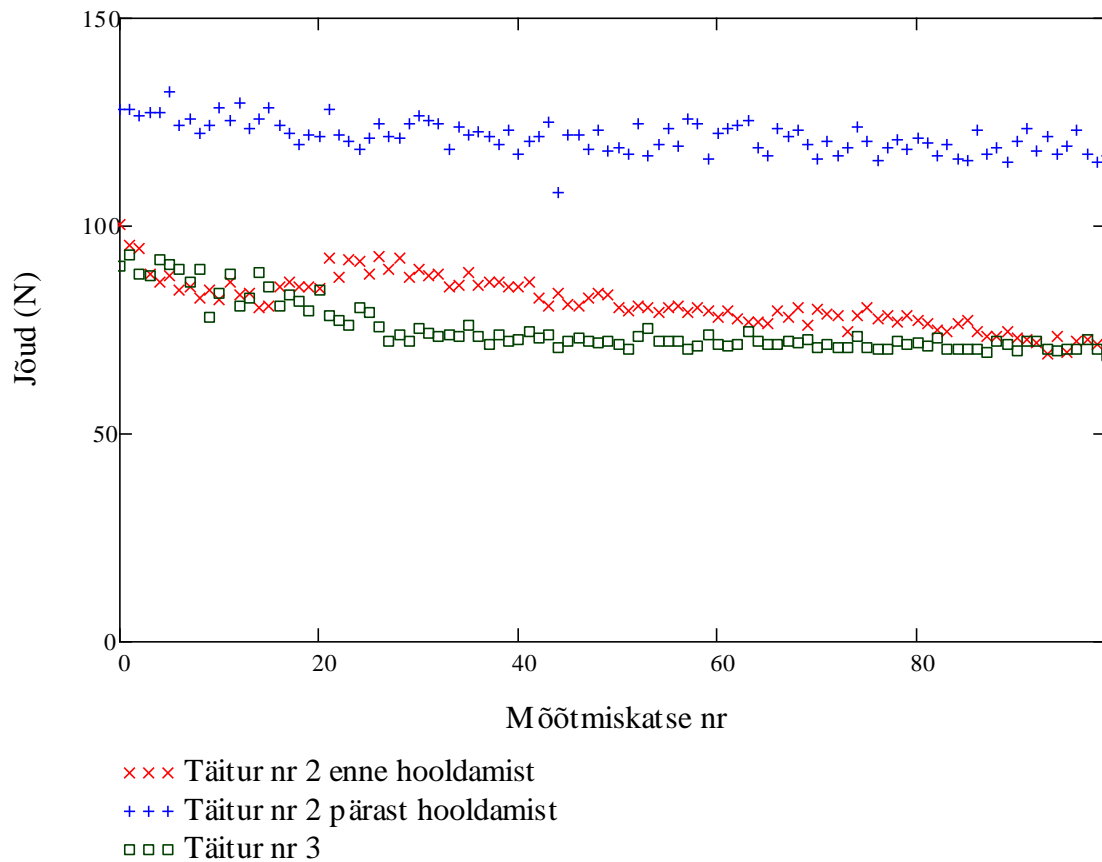
Joonis 5.2. Jõu mõõtmine 2

Keskmine takistuseni jõudmise aeg oli 2,8 sekundi.

Mõõtmiskatsete suurimad voolutarbed on välja toodud käesoleva lõputöö lisa 4.

### 5.3. Hooldatud vs hooldamata täitur

Eesmärk hinnata, kuidas kajastub määride kasutamine täituri töö võimekuses.



Joonis 5.3. Jõu mõõtmine 3

Täitur nr 2 keskmine takistuseni jõudmise aeg enne hooldamist oli 3,2 sekundit.

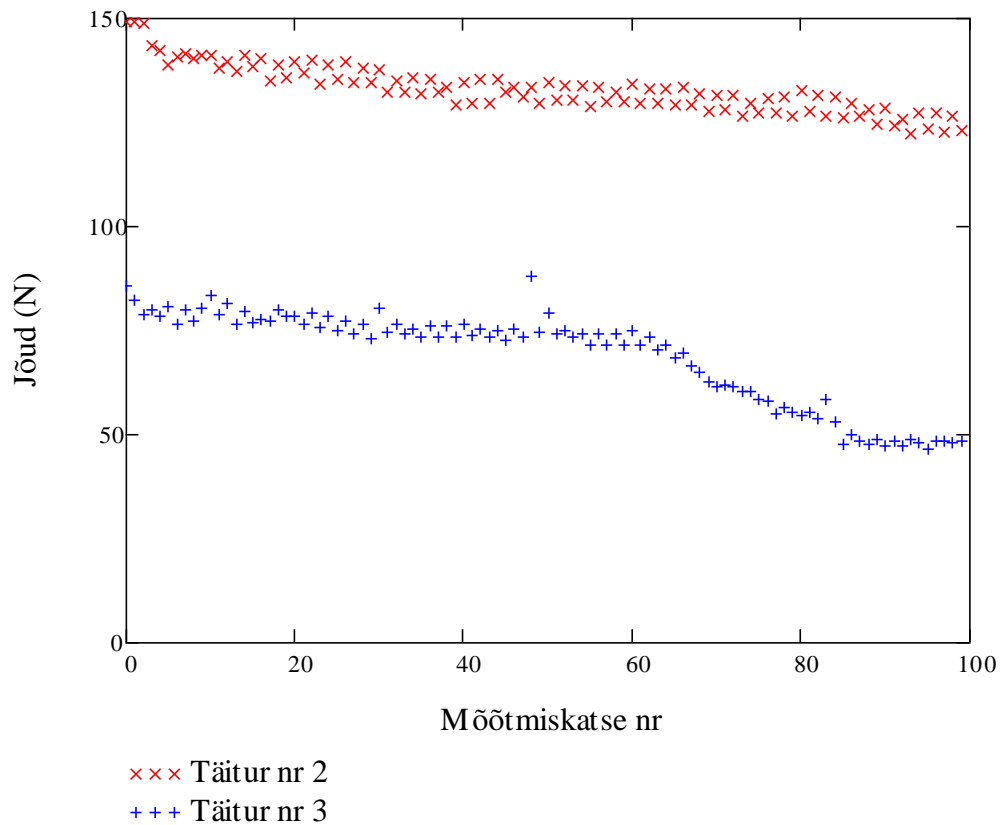
Täitur nr 2 keskmine takistuseni jõudmise aeg pärast hooldamist oli 3,1 sekundit.

Täitur nr 3 keskmine takistuseni jõudmise aeg oli 3,3 sekundit.

Mõõtmiskatsete suurimad voolutarbed on välja toodud käesoleva lõputöö lisas 5.

## 5.4. Hooldatud vs hooldamata täitur, hilisem

Eesmärgiks on näha, kuidas käituvad hooldatud ja hooldamata täitur pärast mahajahtumist. Eesmärgi saavutamiseks korraldati mõõtmised neli päeva pärast eelmist testi.



Joonis 5.4. Jõu mõõtmine 4

Täitur nr 2 keskmine takistuseni jõudmise aeg oli 2,3 sekundit.

Täitur nr 3 keskmine takistuseni jõudmise aeg oli 2,8 sekundit. Esimeste katsete puhul oli keskmine aeg hoopis umbes 2,7 sekundit ja kuskil 70 katse juures hakkas see kasvama kuni lõpuks jõudis 3,5 sekundi peale.

Mõõtmiskatsete suurimad voolutarbed on välja toodud käesoleva lõputöö lisa 6.

## **6. Tulemuste analüüs**

### **6.1. Testmõõtmised**

Joonisel 5.1 kujutatud esimestel testmõõtmistel kasutati üht täiturit aga muudeti täituri liikumisaja pikkust. Lühema liikumisajaga täituri tulemustes esinevad äkilised langused. Kuna aeg sai määratud nii, et täitur jõuaks vaid veidi aega vastu takistust liikuda, siis ilmselt ei tabanud 2,5 Hz mõõtmisagedus iga kord hetke, millal täitur oli saavutanud oma maksimaalse jõu. Seda tõestab asjaolu, et kui täituril lasti veel lisaks pool sekundit vastu takistust liikuda, siis mõõdetud maksimaalne jõud oli üle mõõtmiskatsete ühtlasem. Järgmistes katsetes ühtlasemate tulemuste saamiseks jälgiti hoolikamalt, et täitur liiguks vähemalt pool sekundit vastu takistust, mis vähemalt teise katse puhul oli piisav, et andur registreeriks jõu ja ei rakenduks täituri ülekoormuse kaitse.

### **6.2. Põhimõõtmised**

Joonisel 5.2 kujutatud mõõtmisel läks täitur töö käigus katki. Kuna mõõtmiste käigus ei märgatud täpset hetke, millal täituri liikuri ots lahti tuli ja mõõtmistulemustes ei kajastu selget see hetk, siis ei saa tulemustest midagi kindlalt järeldada. Hiljem arvutatud keskmise takistuseni jõudmise aja järgi võib väita et see 2,2 sekundiline takistuse vastu koormamine võis mängida rolli täituri otsiku lahti tulemisel.

### **6.3. Esimene hooldamata vs hooldatud täituritega mõõtmine**

Joonisel 5.3 on näha, et esimeste mõõtmiste ajal jääb mõlema täituri genereeritud jõud umbes 90 ja 100 N vahele ja pärast 100 töötüklit on täituri suurim jõud langenud 68 ja 73 N vahele ehk toimus ligikaudu 22–27 N langus. Pärast hooldamist paranes koheselt täitur nr 2 töö. Esimeste katsete juures püsis genereeritud jõud umbes 128 N kandis ja suurim saavutatud jõud oli 132,5 N. Väikseim saavutatud jõud oli üksikmõõtmine, mille käigus saavutati vaid 108 N. Kui välja arvata üksik minimaalne tulemus siis saab väita, et kogu mõõtmine jäi stabiilselt vahemikku 114–130 N, mis on selgelt väiksem erinevus kui hooldamata täituritel.

#### **6.4. Teine hooldamata vs hooldatud täituritega mõõtmine**

Mõõtmine korraldati neli päeva hiljem, andes täiturile võimaluse maha jahtuda. Joonisel 5.4 kujutatud mõõtmiste esimesed tulemused on paremad kui varem läbiviidud katsetes. Hooldatud täituri esimesed mõõtmistulemused olid ~150 N suurused ja hooldamata täituri jõud ~83 N, mis on ikkagi madalam kui varem tehtud mõõtmise esimestel katsetel. Täitur 2 annab pärast algset jõu vähenemist ühtlasi tulemusi, mis katse jooksul kergelt kahanevad ja viimaste mõõtmiskatsete ajaks on jõud langenud 123 ja 127 N vahele. Täitur 3 purunes mõõtmiste käigus. See hetk on umbes 70 mõõtmise juures, kus hakkab suurim genereeritud jõud langema järsema nurga all.

#### **6.5. Järeldused analüüsist**

Joonistel 5.2, 5.3 ja 5.4 on näha, kuidas mõõtmiste käigus lineaartäiturite jõud väheneb. Eriti selgelt kajastub muutus joonistel 5.3 ja 5.4 kujutatud täitur nr 3 tulemustes. täitur nr 3 pärast paari päeva suudab jälle tekitada suuremat jõudu aga suurim tulemus on ~5 N väiksem, kui see oli sada töötsükli varem. Katsete kirjelduses on ka välja toodud, et kaks kolmest kasutatud täiturist läksid mõõtmiste käigus katki. Saab järeldada, et täituri sisemised komponendid ei suuda pikajaliselt taluda seadme poolt tekitatud jõu vastumõju. See tähendab, et katsestendil, kus täituri liikumist piirab liikumatu takistus, lõhub täiturit palju rohkem kui manekeeni peal, kus täiturile mõjuv vastujõud on minimaalne. Järelikult ei iseloomusta stendil simuleeritud katse tulemusena saadud kulumiskõverad manekeeni peal töötavaid täitureid väga täpselt.

## Kokkuvõte

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks on TÜTI poolt välja arendatud robotmannekeeni täiturite eluea uurimine. Täiturite analüüsimiseks sai valmistatud jõumõõtja. Jõumõõtja kasutamiseks arendati välja vajalikud programmid. Esimene programm oli mikrokontrollerit juhtiv C programm ja teine LabVIEW-s töötav graafiline kasutajaliides.

Täiturite mõõtmise jaoks täiendati LabVIEW programmi nii, et sama programm suudaks mõõta ka täituri voolutarvet ja jälgida selle liikumist. Korraldatud katsed jagunesid neljaks ja nende käigus mõõdeti kolme erinevat täiturit. Saadud tulemused annavad ülevaate täiturite genereeritavast jõust ja selle kahanemisest pideva töö käigus. Viimased kaks katset võrdlesid hooldatud ja hooldamata täiturite võimeid. Tulemustest on näha kui palju efektiivsem on hoolikalt kokku pandud täitur.

Katsete käigus purunesid kaks kolmest kasutatud täiturist. See näitas, et testide läbiviimisel avaldati täiturite sisemisele mehaanikale liiga palju jõudu.

## **Researching robotmannequin's actuators' lifespan**

Tõnis Prants

### English summary

The goal of this thesis is to study the actuators developed by University of Tartu Institute of Technology for their robotmannequin. To achieve this goal a force sensor was built. Necessary software for the sensor was also developed. The first program is a C script to control the microcontroller and the second is a LabVIEW graphical user interface.

To carry out test with the actuators, the LabVIEW VI was further improved to measure actuators' electrical current and to monitor the actuators' movement. In total 4 tests were carried out on three different actuators. The gathered data gives an overview of how much force the actuators generate and how much their performance degrades during constant work. Last of the two tests also compared a well-maintained actuator and a poorly-maintained actuator. The results show how much more effective the properly maintained actuator performs.

During the tests, two of the three actuators broke. This indicated that the actuators' inner mechanics were exposed to too much force during the testing.

## **Tänuavaldused**

Töö autor tahab tänada järgnevaid inimesi.

Teet Tilk

Helina Kitsing

Renno Rehtla

Koit Kulper

Roman Leinus

Artur Abels

Alvo Aabloo

## Viited

1. Margus Luik, *Robotmannekeeni käsitsijuhtimise tarkvara – Mannequin Manager*, bakalaureusetöö (Tartu, 2012)
2. India Tehnoloogiainstituudi (*Indian Institute of Technology*) Elektrotehnika osakond (*Department of Electrical Engineering*), õppematerjal: „Module 7: Electrical Machine Drives“ <http://nptel.ac.in/courses/108105063/pdf/L-26%28SM%29%20%28IA&C%29%20%28%28EE%29NPTEL%29.pdf> viimati vaadatud 06.12.2014
3. D. J. Dunn „Instrumentation and control, Tutorial 2- Electric Actuators,“ <http://www.freestudy.co.uk/control/t2.pdf> viimati vaadatud 31.10.2014
4. Hamid Ben Ahmed, Laurent Prevond, Bernard Multon, Benoit Salamand, Jean Lucidarme, „Special Synchronous Linear Actuators. Structures and Performances,“ [https://hal.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/674074/filename/LinearActuators\\_Electromotion\\_1998-1.pdf](https://hal.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/674074/filename/LinearActuators_Electromotion_1998-1.pdf) viimati vaadatud 31.10.2014
5. Electrical4u, „Working on electrical motor,“ <http://www.electrical4u.com/working-of-electric-motor/> viimati vaadatud 31.10.2014
6. Institute of Measurement and Control, „Guide to the Measurement of Force“ <http://www.npl.co.uk/upload/pdf/forceguide.pdf> viimati vaadatud 06.12.2014

## Lisad

### Lisa 1. Jõumõõtja C kood

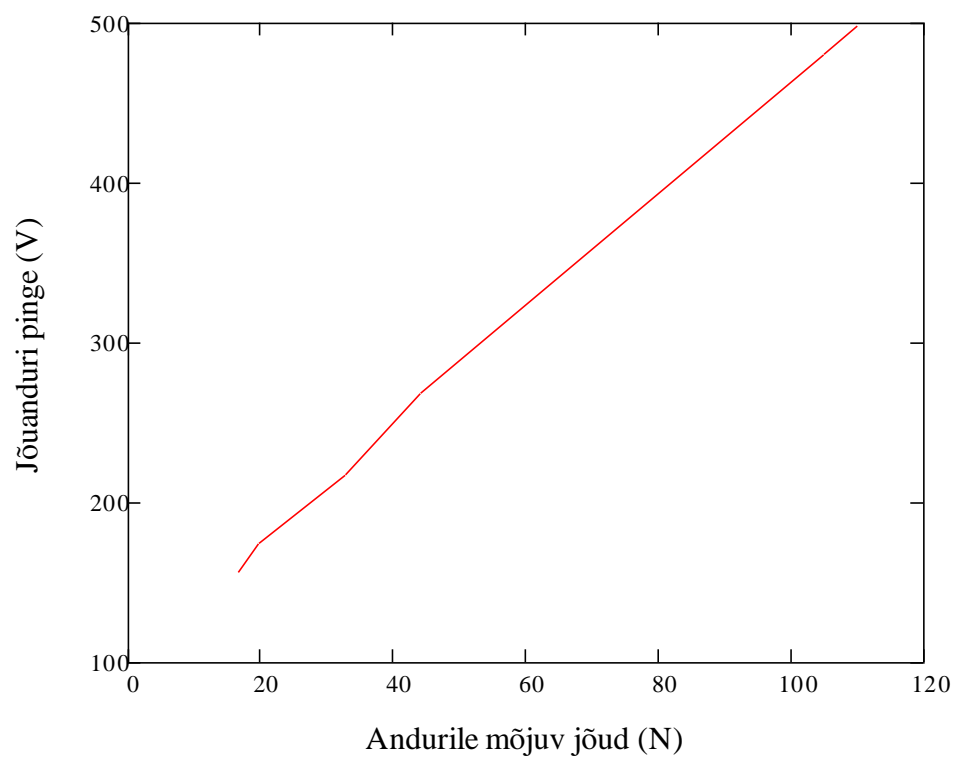
NB! programm kasutab Teensy USB Serial teeki.

[[https://www.pjrc.com/teensy/usb\\_serial.html](https://www.pjrc.com/teensy/usb_serial.html)]

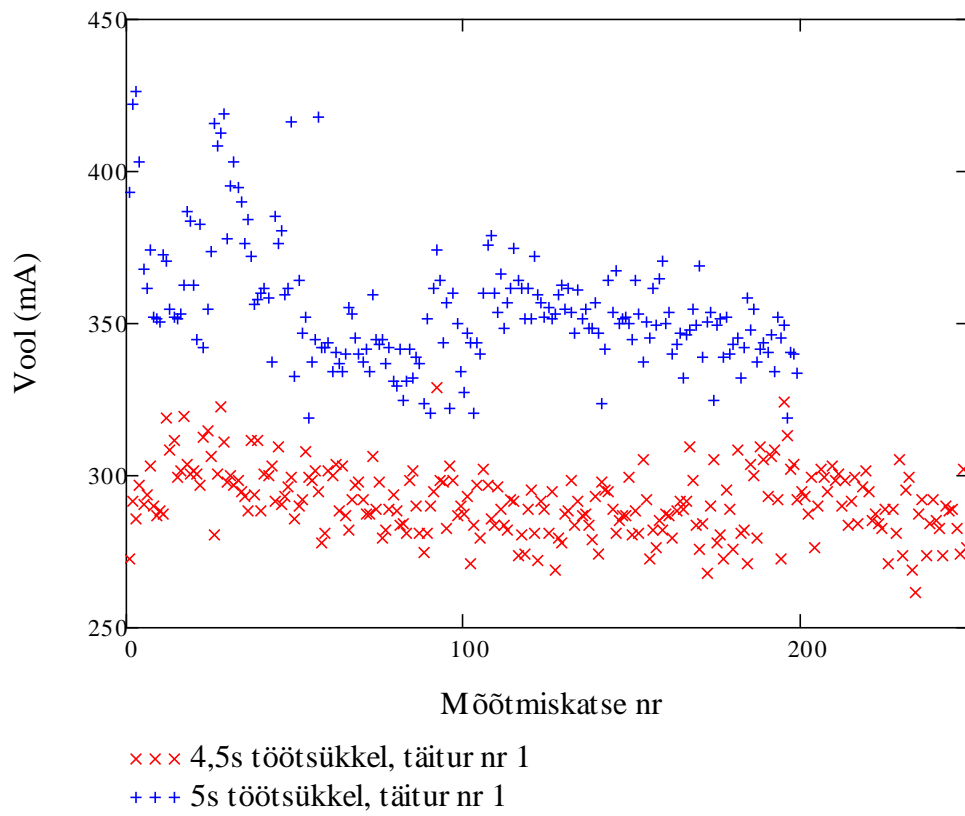
```
#include <avr/io.h>
#include <avr/pgmspace.h>
#include "usb_serial.h"
int main(void)
{
    //Eelsätted
    ADCSRA=(1 << ADEN);
    usb_init();
    while(usb_configured()==0){
        asm("nop");
    }
    DDRD = (1<<DDD5);
    PORTD = (1<<PD5);
    char dig;
    uint16_t tulemus;

    while(1)
    {
        //ADC pealt jõumõõtja pingelugemine
        ADCSRA= (1 << ADEN) | (1 << ADSC) | (1 << ADPS2) |
            (1 << ADPS1) | (1 << ADPS0));
        while((ADCSRA&(1 << ADIF))==0){
            asm("nop");
        }
        usb_serial_putchar('A');
        tulemus =ADC;
        while(tulemus!=0){
            dig= (char)(((int)'0')+(tulemus%10));
            usb_serial_putchar(dig);
            tulemus=tulemus/10;
        }
        usb_serial_putchar('B');
    }
}
```

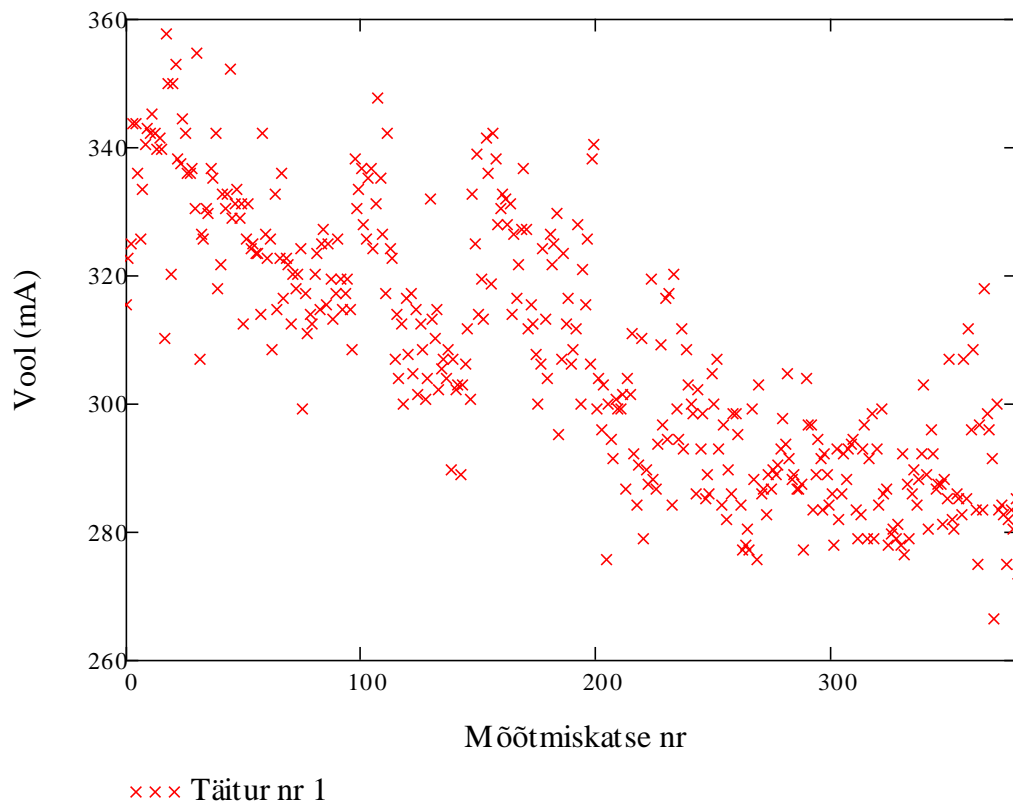
## Lisa 2. jõuanduri pinge talle mõjuva jõu korral



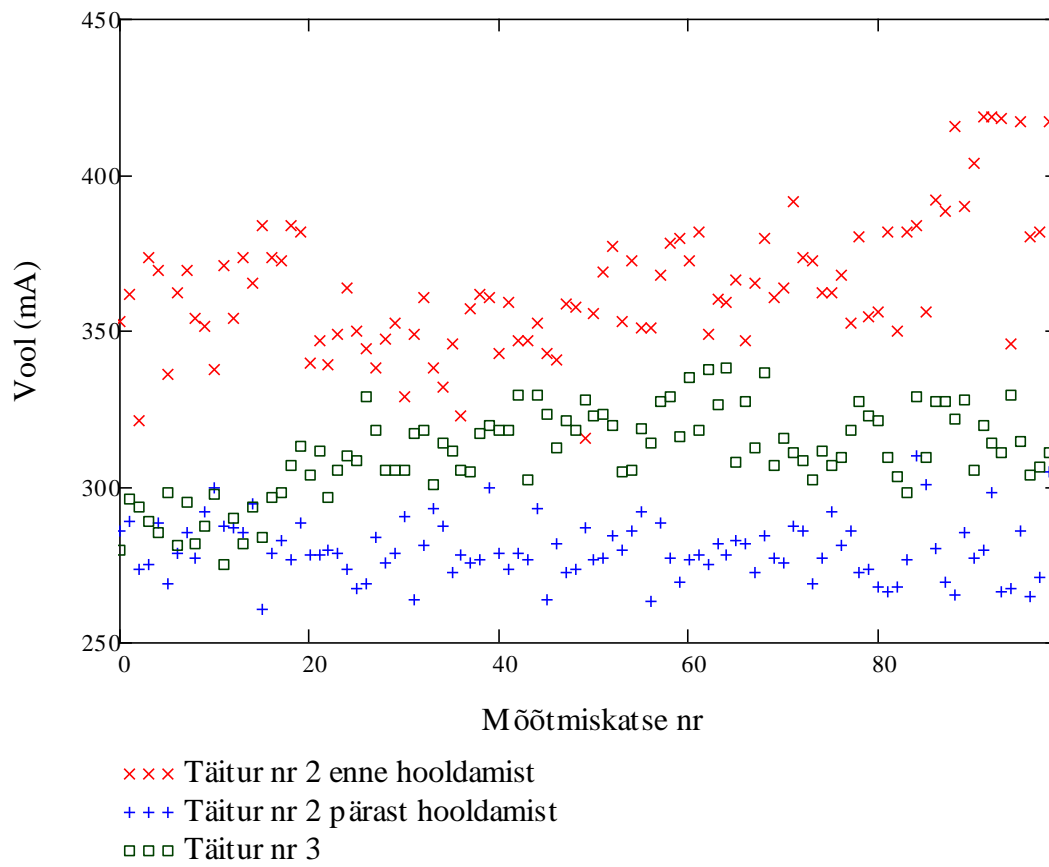
### Lisa 3. Mõõtmine 1, suurimad voolutarbed.



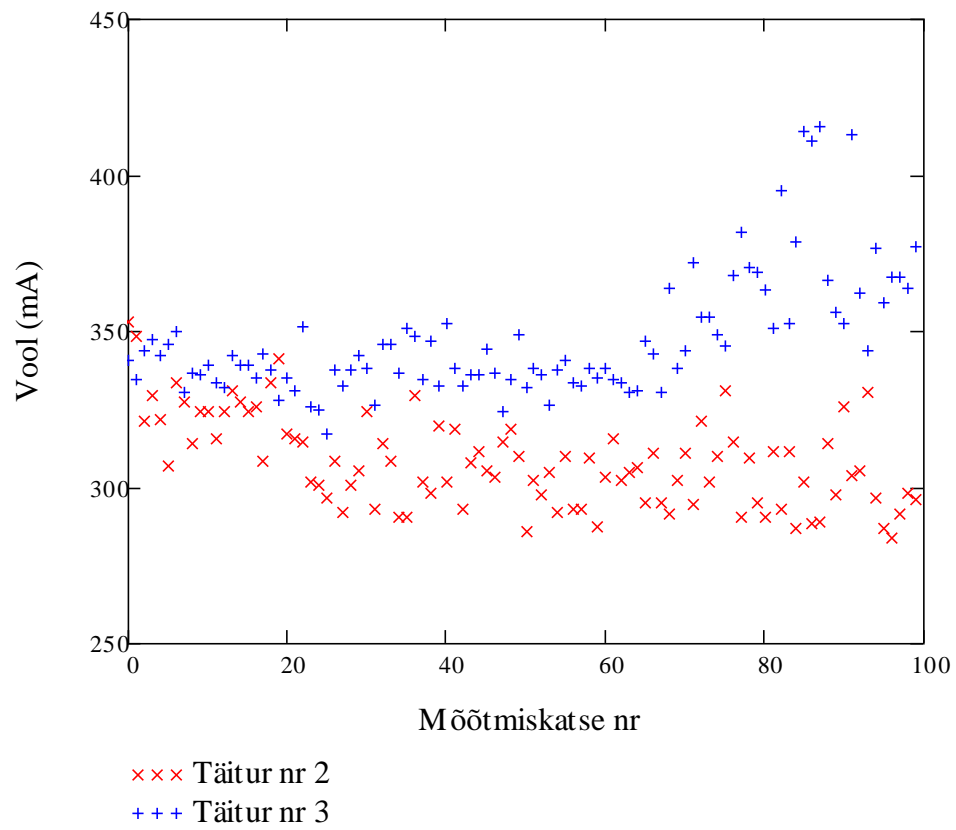
#### Lisa 4. Mõõtmine 2, suurimad voolutarbed.



### Lisa 5. Mõõtmine 3, suurimad voolutarbed.



## Lisa 6. Mõõtmine 4, suurimad voolutarbed.



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

Mina, Tõnis Prants

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Robotmannekeeni lineaartäiturite elua uurimine“ mille juhendaja on Teet Tilk
  - a. reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi Dspace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
  - b. 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.

Tartu, 22.05.2015