

Tallinna Ülikool
Informaatika Instituut

ELEKTROONILINE KÄIGUVAHETUS JALGRATTALE

Seminaritöö

Autor: Martin Ligema

Juhendaja: Jaagup Kippar

Autor:.....“.....“2014

Juhendaja:.....“.....“2014

Instituudi direktor:.....“.....“2014

Tallinn 2014

Autorideklaratsioon

Deklareerin, et käesolev seminaritöö on minu töö tulemus ja seda ei ole kellegi teise poolt varem kaitsmisele esitatud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

.....
(kuupäev)

.....
(autor)

Sisukord

Mõistete seletusi	4
Sissejuhatus	5
Olemasolevate elektrooniliste lisade tutvustus	6
1. Teostamine	9
1.1. Teostamise plaan.....	9
1.2. Komponentide hankimine	9
1.3. Kinnituste valmistamine	11
1.4. Käiguvahetaja monteerimine	13
1.5. Jalgratta külge kinnitamine ja käikude üles otsimine	13
1.6. Testimise koodi näide	15
1.7. Nuppude valmistamine ja koodi kirjutamine.....	16
1.8. Voolutarbimise probleemi lahendamine	17
1.9. Lõplik kood.....	19
2. Valminud käiguvahetaja katsetamine.....	22
2.1. Esimene proovisõit	22
2.2. Teine proovisõit	23
2.3. Käiguvahetuse filmimine	24
2.4. Lõpptulemuse võrdlemine N. Tewolde elektrooniliste käiguvahetajaga.....	24
3. Elektriskeemid	25
Kokkuvõte	26
Kasutatud kirjandus	27

Mõistete seletusi

1. Arduino uno - Mikrokontroller mis on avatud lähtekoodiga, ning mida on võimalik programmeerida kasutamaks erinevaid elektroonilisi seadmeid. Antud projekti käigus nupud ja servo.
2. Makettplaat - Elektriskeemide teostamiseks kasutatav tööriist.
3. Servo - Elektrimootor, mis liigub Arduino poolt määratud positsiooni ja jääb sinna kuni järgmise käskluseni püsima.
4. Käiguvahetaja SRAM X9 - Valisin antud käiguvahetaja, sest tal on väga head siledad pinnad kuhu on hea servo mootorit kinnitada.
5. Metallist kinnitamise raam servo hoidmiseks - Kinnitub käiguvahetaja külge nelja kruviga ja hoiab nelja poldiga paigas servot.
6. Metallist ülekannet servo ja käiguvahetaja vahele - Kannab servo edasi ja tagasi liikumise üle käiguvahetaja üles ja alla liikumiseks.
7. Kassett - Koonusekujuliselt reastatud hammasrataste kogum jalgratta tagumise ratta küljes, mida mööda kett kannab üle vântaja jõu esimeselt hammasrattalt tagumisele hammasrattale.

Sissejuhatus

Olen jalgrattaspordiga tegelenud kümme aastat, esindanud Kalevi Jalgrattakooli klubi. Jalgrattasport on tehnikasport, kus elektroonilised käiguvahetajad hakkavad populaarsust koguma. Seminaritöö juhendaja antavast robootika tunnist inspireerituna otsustasin teha ise elektroonilise käiguvahetaja, kasutades robootika laborist kättesaadavaid vahendeid. Seminaritöö eesmärk on valmistada töötav elektroonilise käiguvahetaja prototüüp ning dokumenteerida koostamiseks vajalikud sammud. Seminaritöö põhiosaks on loodud rakenduse koostamise juhend ja kirjeldus.

Elektroonilistel käiguvahetajatel on nii eeliseid kui miinuseid. Näiteks ei ole hetkel võimalust kuidas sõitja saaks käiku vahetada, kui aku peaks tühjaks saama. Mehhaanilise käiguvahetajaga saavad sõitjad vahetada ka kaks käiku ühe vajutusega, aga elektroonilise käiguvahetajaga tuleb kahe käigu vahetuseks nappu kaks korda vajutada. Töökindluse probleemid on kõigutanud avalikkuse usku elektroonilistesse käiguvahetajatesse, üks suurimaid läbikukkumisi oli Mavic Mektronic (Strack, 2010). Jalgrattasporti tehakse ka siis kui väljas sajab vihma, mehhaanilised käiguvahetajad ei pea selle pärast muretsema aga elektriga töötavad seadmed peavad olema veekindlad. Mehhaanilist käiguvahetajat on palju odavam toota kui elektroonilist. Mida vähem kaalub jalgratas, seda vähem energiat peab sõitja kasutama, et edasi liikuda, kahjuks elektroonilised käiguvahetajad on senimaani raskemad olnud võrreldes mehhaaniliselt töötavate käiguvahetajatega.

Positiivsetest külgedest vajab nupu vajutus vähem jõudu kui mehaanilise hoova liigutamine. Mehhaanilises süsteemis on kõige suuremaks probleemiks kaablid, mis kuluvad ja vajavad hooldust, servod on töökindlamad ja vajavad vähem hooldamist. Elektrooniline käiguvahetus loob lõputult võimalusi uute programmide loomisel millega saaks kontrollida näiteks käiguvahetuse toimumise kiirust, mis omakorda vähendaks stressi ketile ja hammasratastele. Võimalik, et varsti tulevad turule ka käiguvahetajad mis, võttes arvesse maapinna kallet, sõitja kaalu ja sõidukiirust, vahetavad käike ise.

Minu jaoks on jalgrattaga sõitmine kogemus, mis on lisaks spordile ka lihtsalt nauditav tegevus. Hästi ehitatud varustust on ilus vaadata ja nauditav kasutada. Hästi toimiv elektrooniline käiguvahetaja kindlasti pakub palju naudingut kasutajale, kuid kehvasti töötav

komponent tekitab frustratsiooni. Minu soov on, et käesoleva seminaritöö käigus valmis seade pakub rohkem rõõme, kui kurvastust.

Arduinoga ehitatud käiguvahetaja tegemise näidis on kõigile saadaval (Tewolde, 2012) veebilehel http://nabilt.github.io/diy_eshift/. Antud käiguvahetaja on mõeldud maanteerattale, kuid toimimise põhimõte on sama. Oma seminaritöö valmimisel ma antud juhendit ei järginud. N. Tewolde juhend on ebatäiuslik, sest ei hõlma endas koodi näidet ja kasutatavad komponendid erinevad mõnevõrra nendest, mida kasutada saaksin. Olen alati huvitatud olnud jalgratastel kasutatavast tehnoloogiast, sest erinevalt muudest tehnikaspordialadest on jalgrattaspordis proffide kasutatav tipp tehnoloogia ka harrastajatele kättesaadav, kuigi hind on faktor mis tipp tehnoloogia massidele kättesaamatuks teeb. Sellegipoolest on harrastavate jalgratturite seas väga populaarsed süsinikkuist komponendid, mida muudel tehnikaspordi aladel vaid sponsoreeritud profid endale lubada saavad.

Olemasolevate elektrooniliste lisade tutvustus

Täiesti tavaline nähtus jalgratta peal on rattakompuuter, mis mõõdab sõitja kiirust ja läbitud distantsi. Võimekamad kompuutrid suudavad isegi öelda jalgratturi kõrguse merepinnast, ühilduda pulsi lugejaga ja näidata kaarti. Professionaalsed jalgratturid kasutavad vahel oma väljapandava jõu mõõtmiseks jalgratturi võimsuse mõõtjaid. Ulrich Schoberer leiutas 1983 aastal viisi kuidas efektiivselt pedaalidest mõõta jalgratturi väljastatavat jõudu (Hood, 2006). Tõusev trend on ka elektriliste mootorite lisamine jalgratatele, kuid kindlalt võib väita, et nende kasutamine piirdub ainult lõbusõidu tegemise ning harrastussõitude lihtsustamisega, sest UCI (Union Cycliste Internationale), organisatsioon mis seab reeglid võistlusjalgratatele, on need ammu keelanud (UCI, 2014).

Üks kõige innovaatilisemaid jalgrattakomponentide tootjaid on Mavic. 1992 aastal tutvustas see prantsuse jalgrattakomponentide tootja Mavic Zap ZMS 800 käiguvahetuse süsteemi Tour de France jalgrattavõistlusel. Selle käiguvahetajaga võitis Chris Boardman 1997 aastal Tour de France temposõidu (Atkinson, 2014). 1999 tuli Mavic välja Mektronic (vt joonis 1.) käiguvahetajaga (Strack, 2010) . Antud süsteem oli väga innovaatiline. Esiteks käis käiguvahetajaga kaasas ekraan, kust sõitja sai näha mis käiku ta parasjagu kasutas. Teiseks oli see esimene juhtmevaba käiguvahetaja, kasutades madala sagedusega raadiolaineid käiguvahetajaga suhtlemiseks.



Joonis 1. Pildil on Mavic Mektronic. Strack, F. (24.02.2010). Mektronic and the electronic revolution. Kasutamise kuupäev 20.09.2014., allikas: <http://www.velominati.com/technology/mektronic-and-the-electronic-revolution/>.

Kahjuks oli see totaalne ebaõnnestumine, sest kuigi nupuvajutuse signaal oli krüpteeritud, juhtus kasutajatel väga tihti, et raadiomastide lähedal kippus käiguvahetaja isenesest ennast välja lülitama. Väga paljud ostjad tagastasid oma käiguvahetajad tootjale.

Selle aasta suvel tuli lõpuks turule ka esimene maastikukrossi elektrooniline käiguvahetaja Shimano XTR Di2 (Cunningham, 2014)(vt joonis 2.). Seda on kirjeldatud kui parimat käiguvahetajat, mis on hetkel saadaval. Shimano elektrooniliste käiguvahetajate hinnad algavad kahe tuhande kolmesajast eurost. Campagnolo, samuti üks suurimaid jalgratta komponentide tootjaid, pakub ka elektroonilist käiguvahetajat ja nende käiguvahetaja hind on algab kahe tuhande kahesajast eurost (Phillips, 2014). Kuna need seadmed on nii kallid, võib paljudel tekkida motivatsioon endale sarnane käiguvahetaja ise teha.



Joonis 2. Pildil on Shimano XTR Di2. Cunningham, R. (30.05.2014). First Look: Shimano XTR Di2 Electric Shifting. Kasutamise kuupäev 20.09.2014., allikas: <http://www.pinkbike.com/news/first-look-shimano-xtr-di2-electric-shifting.html>.

Magura on tootja, kes käesoleva aasta aluses tuli välja elektroonilise vedrustuse kontrollimise süsteemiga eLect (Levy, 2014)(vt joonis 3.). Süsteemi suurimaks eeliseks on suurem kontroll vedrustuse paika sättimisel vastavalt sõitja soovidele. Vedrustuse suurim trump on güroskoop, see annab sõitjale võimaluse programmeerida vedrustust kontrollivat juhtpaneeli nii, et juhul kui jalgrattur hakkab mäest üles sõitma lukustub vedrustus. Mis nurga all vedrustus lukustub või avab ennast on totaalselt sõitja enda kontrollitav.



Joonis 3. Pildil on Magura TS8 eLECT. Levy, M. (20.05.2014). Magura TS8 eLECT Fork - Review. Kasutamise kuupäev 20.09.2014., allikas: <http://www.pinkbike.com/news/magura-ts8-elect-fork-review-2014.html>.

1. Teostamine

1.1. Teostamise plaan

Enne töödega alustamist panin enese jaoks kokku alljärgneva plaani:

1. September kuni 15. oktoober.
 - 1.1. Teema registreerimine ja juhendaja leidmine
 - 1.2. Teemakohase kirjanduse lugemine
 - 1.3. Komponentide muretsemine
 - 1.4. Käiguvahetaja koostamine
 - 1.5. Tarkvara koostamine
 - 1.6. Tegevuse dokumenteerimine
2. 16. oktoober kuni jaanuari lõpp.
 - 2.1. Testimine ja optimeerimine
 - 2.2. Tegevuse dokumenteerimine
 - 2.3. Lõplike elektriskeemide dokumenteerimine
 - 2.4. Seminaritöö vormistamine ja esitamine
 - 2.5. Kaitsmine

1.2. Komponentide hankimine

Uurin varem valminud elektroonilisi käiguvahetajaid. Leian video (vt joonis 4.) kus on valmistatud samuti Arduinot kasutades käiguvahetaja, millele sarnast soovin ka ise valmistada (Kachan, 2013) .

Kooli robotika laboris leidub kahte tüüpi servosid. Ühed liiguvad ettekirjutatud kraadi peale ja jäävad seisma. Teist tüüpi servod on nõ sammumise servod, mida saab kasutada kõndimise imiteerimiseks. Käiguvahetajas saan kasutada servot, mis liigub kindla kraadi peale ja jääb sinna püsima.



Joonis 4. Pildil on Arduinoga töötav käiguvahetaja. Kachan, K. (3.11.2013). Electric rear derailleur. Kasutamise kuupäev 24.09.2014., allikas: https://www.youtube.com/watch?v=1af_iIFL_-Q.

Ühendan Arduino kahe nupu ja pisikese servoga kooli robotika laboris. Kirjutan esimese versiooni koodi, mis liigutab servot iga nupuvajutusega 10 kraadi. Antud katsetuse käigus mõistan, et vajan võimsamat servot. Käikude vahemikud ei ole alati sarnased, seega iga nupuvajutusega fikseeritud arvu kraade liikuv servo eesmärki ei saavuta.

Kontakteerun endise jalgrattaklubi kaaslasega, kes töötab jalgrattamehhaanikuna, sest otsin käiguvahetajat mida võin kasutada oma projektis. Õnneks leidub tal erinevaid käiguvahetajaid, mida tal pole kahju mulle kasutada anda. Valituks osutub käiguvahetaja SRAM X9. Poes maksaks selline komponent natuke alla kahe saja euro. Kuna klient, kellele see kuulus, ei soovinud seda enam, sain selle endale tasuta.

Külasthan Oomipoodi, kus nägin müügil Towerpro MG995 servot (vt joonis 5.). Ostan servo hinnaga kuusteist eurot. Tegemist on servoga mille võimsus on 4.8 voldi juures 10kg ühesentimeetrise servo käe pikkuse kohta. Võimsus on piisav aga proovimisel osutub servo väga ebakindlaks. Andnud käskluse liikuda kindlasse positsiooni servo ei liiguta ennast üldse või liigub näiliselt juhuslikku positsiooni. Liikumine toimub ainult päripäeva ja tagasi null positsiooni ehk vastupäeva enam liikumist ei toimu, peab käsitsi liigutama. Leian interneti leheküljelt www.rcmodelreviews.com (Simpson, 2012) väga negatiivseid hinnanguid antud tootele ja otsustan Towerpro servo tagasi poodi viia.

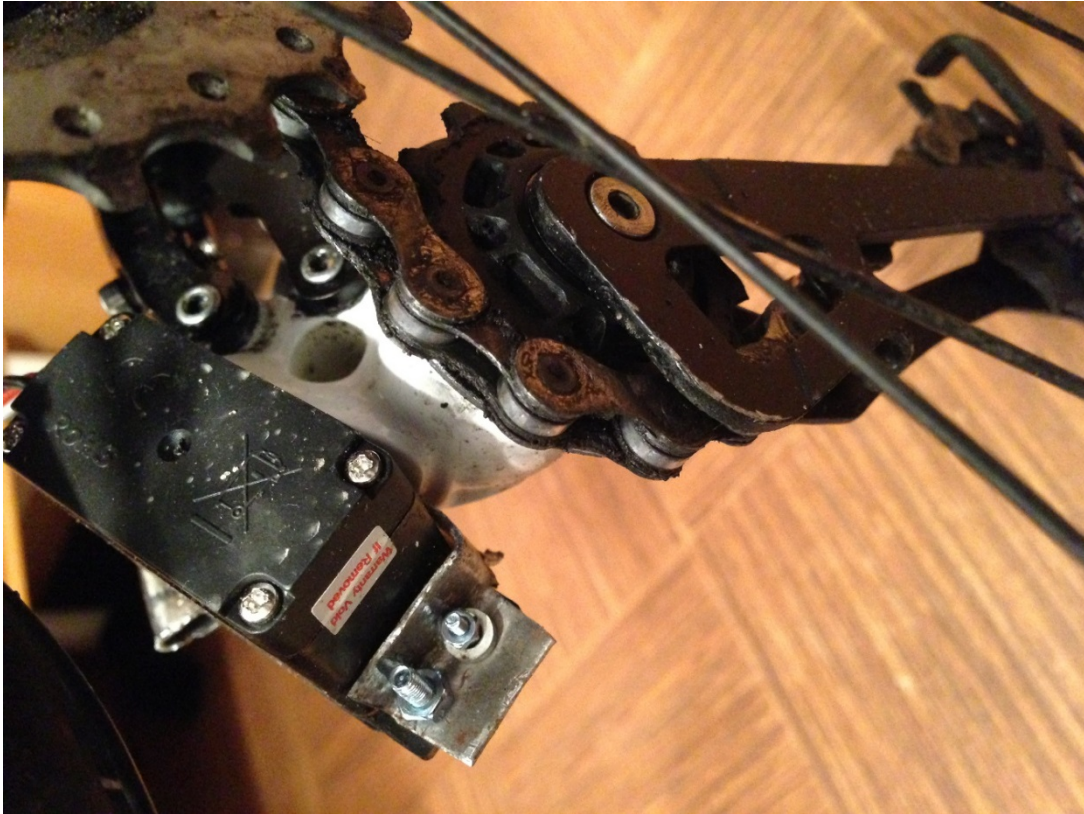


Joonis 5. Pildil on servo TowerPro/Hextronic MG995. Simpson, B. (20.09.2012). Review: TowerPro/Hextronic MG995 servo. Kasutamise kuupäev 30.09.14., allikas: <http://www.rcmodelreviews.com/mg995review.shtml>.

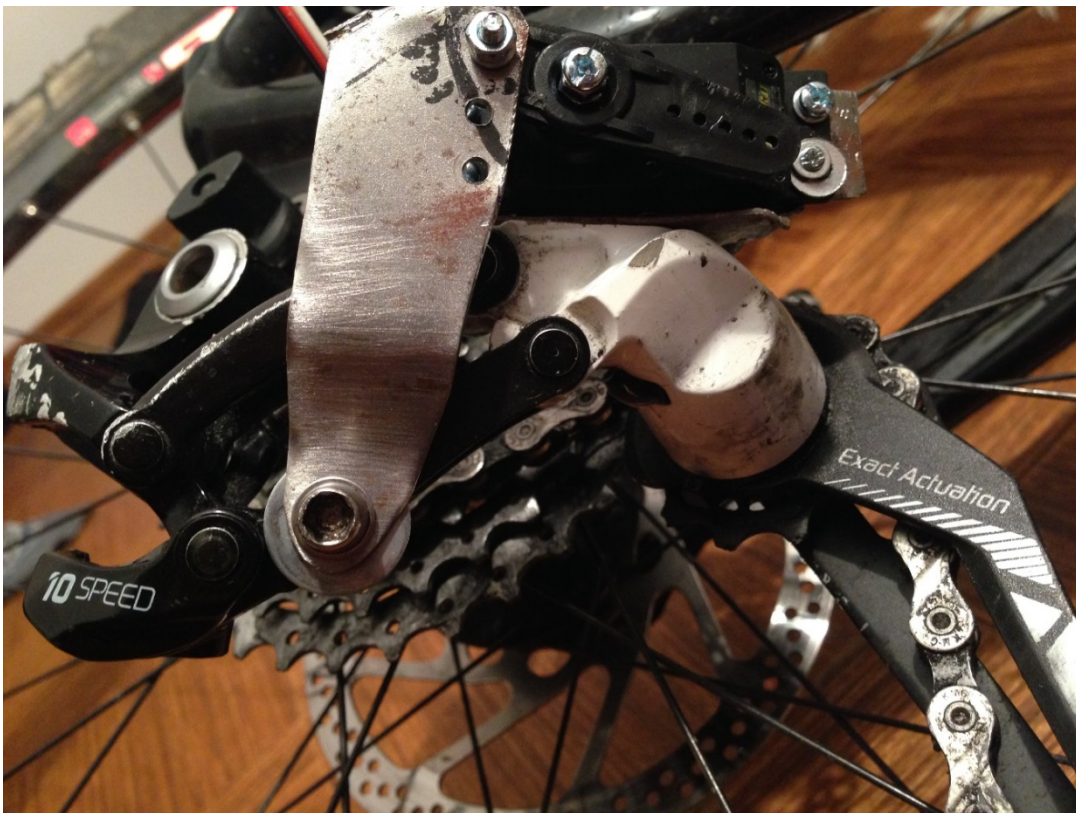
Külasthan poodi Hobimaailm ning leian sealt servo LRP R-7260, võimsusega 13kg 6 voldi juures, ühesentimeetrise servo käe pikkuse korral. Hind on sellel mootoril 40 eurot. Negatiivseid hinnanguid internetist ei leia selle servo kohta, seega otsustan ära osta. Hakkam proovima uue servo kasutamist. Uus mootor töötab väga hästi kui Arduino on arvutiga ühenduses ja mootoril on 4.5v patarei taga lisa voolu andmas. Millised probleemid praegu on? Esiteks kood mille kirjutanud olen on vigane, vahel hüppab servo kaks käiku. Teine probleem on see, et praegu samm on fikseeritud arv kraade, aga peaks olema igale käigule spetsiifiline. Muidu ei leia kett käike kasseti peal üles. Sean endale eesmärgiks servo tugevalt ära kinnitada ja siis suurem osa vaeva läheb koodi täiustamise peale, et õiged käigud kasseti peal üles leida.

1.3. Kinnituste valmistamine

Robotika laborist leian täpselt õige tugevusega terasest plaadi, millest lõikan välja raami, et kinnitada servo käiguvahetaja külge. Selleks kulub poolteist tundi, aga tulemus on minu vajaduste jaoks rahuldav (vt joonis 6.). Lõikan samast terasest välja tüki millesse puurin mõlematesse otsadesse augud, et kinnitada üks ots servo käe külge ja teine ots käiguvahetaja liigutatava osa külge. See hakkab servo liikumisi üle kandma käiguvahetaja üles-alla liikumiseks (vt joonis 7.).



Joonis 6. Siit on näha metallist raami millega servo käiguvahetaja külge kinnitub.



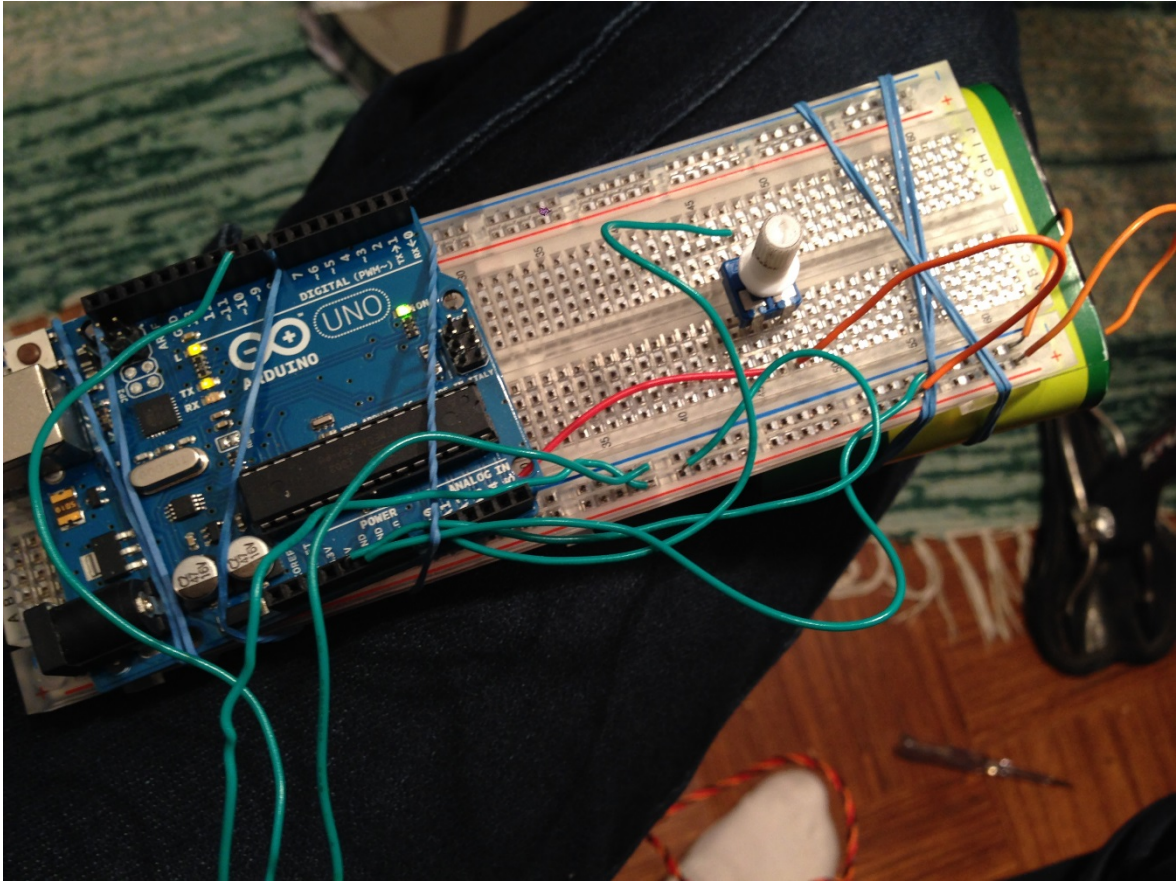
Joonis 7. Suur metallist haar kannab servo jõu käiguvahetaja liikumiseks.

1.4. Käiguvahetaja monteerimine

Metalli töötlemine käiguvahetaja monteerimise käigus on ajakulukas aga samas nauditav. Käiguvahetaja on ehitatud väga täpselt ja minu metallist meisterdatud osad ei ole võrreldavate tolerantsidega aga teevad oma töö ära. Kinnitan jõuülekanne haara servo völli. Mida lähemal servo völli haar kinnitada, seda kiiremini ja täpsemini käiguvahetaja liigub. Kõige paremini liigub käiguvahetaja siis, kui jõuülekanne haar astub servo völli 0,5 cm kaugusel. Mootori võimsuseks oli märgitud 13kg 6 voldi juures, ühesentimeetrise servo käe pikkuse korral. Loodan, et sellest jõust piisab, sest kett muudab servo liikumise veel raskemaks.

1.5. Jalgratta külge kinnitamine ja käikude üles otsimine

Hakkan käiguvahetajat testima ratta külge kinnitatuna. Esmalt kasutan Arduino enda avatud lähtekoodiga näidet nimega "knob" (Rinott, 2014) (vt joonis 8.). See programm loeb potentsiomeetri nurka, väljastab servole käsu antud kraadile liikumiseks ja väljastab servo kraadi nurga jadapordi monitoris. Üritan üles leida õigeid kraade, kus asuvad erinevad käigud. Käigud lülituvad sisse, kuid alati erineva servo nurga peal. Kiiresti saab selgeks, et nii ei ole mõistlik asju teha. Hakkan käsitsi proovima, sisestan koodi käsu liikuda servol kindlale kohale, vaatan mis käigu see mulle annab ja peagi leian kõikide käikude positsioonid. Huvitav on see, et käikude positsioonid, ehk servo nurga kraad erineb kui käiguvahetaja liigub üles või alla. Järelikult on vaja teha lõppkoodi kaks erinevat massiivi , vastavalt sellele , kas käik peab liikuma üles või alla. Märkan ka seda, et käigu üles liigutamiseks, peab käiguvahetaja liikuma kassetil üle soovitud käigu positsiooni ning siis tagasi tulema, et soovitud käik sisse vahetuks. Lahendan probleemi lisades iga üles vahetatava käigu ette kahesajaks millisekundiks 180 kraadi peale liikumise käsu. Seega servo annab korraks täisvõimsuse, et kett ülemise hammasratta peale haakuma hakkaks ning seejärel liigub tagasi õigele positsioonile, soovitud käigu hammasrattal. Teen proovisõidu kõiki käike korduvalt läbiva tsükliga. Kõik käigud lülituvad sisse täpselt nii nagu peaks.



Joonis 8. Proovin üles leida käikude asukohti potentsiomeetriga.

1.6. Testimise koodi näide

```
#include <Servo.h>
Servo myservo;
void setup()
{
  myservo.attach(9);
}

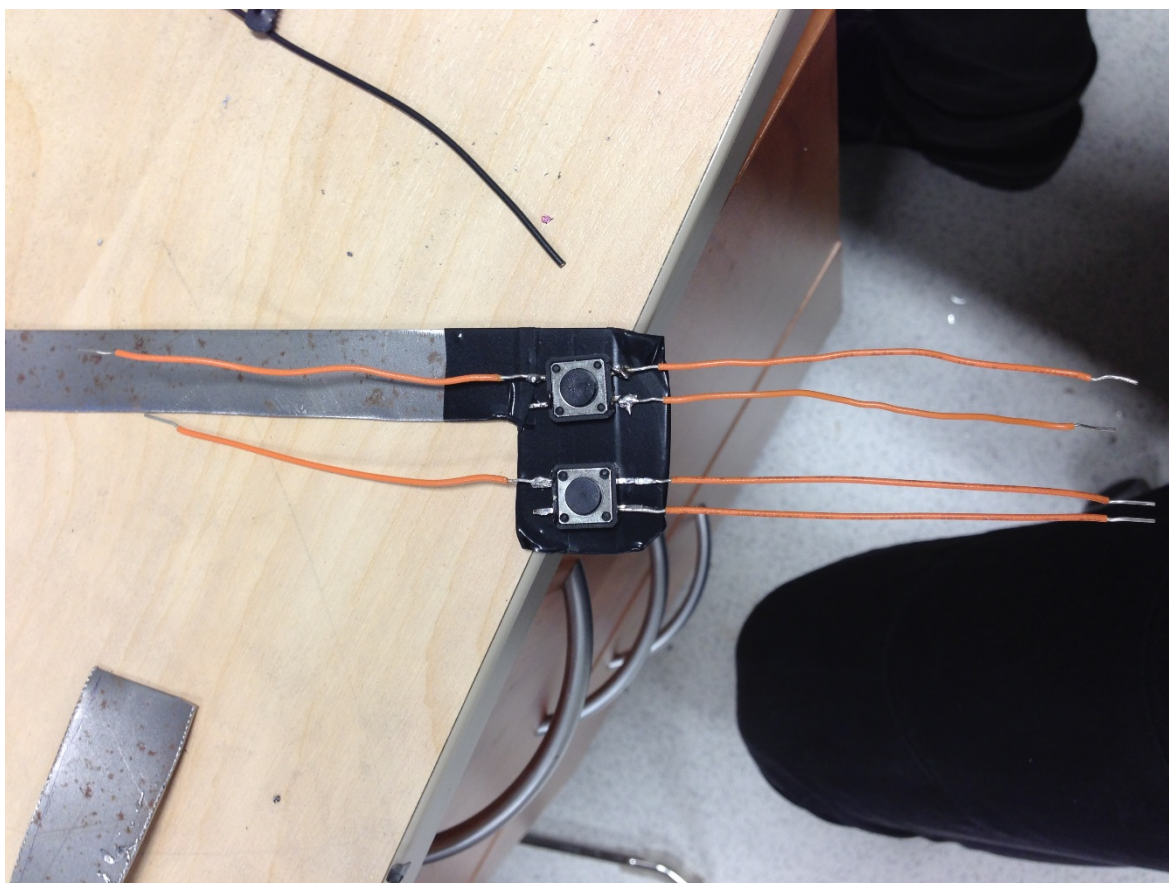
void loop()
{
  myservo.write(0);
  delay(6000);
  myservo.write(180);
  delay(200);
  myservo.write(80);
  delay(6000);
  myservo.write(180);
  delay(200);
  myservo.write(90);
  delay(6000);
  myservo.write(180);
  delay(200);
  myservo.write(99);
  delay(6000);
  myservo.write(180);
  delay(200);
  myservo.write(109);
  delay(6000);
  myservo.write(180);
  delay(200);
  myservo.write(120);

  delay(6000);
  myservo.write(180);
  delay(200);
  myservo.write(130);
  delay(6000);
  myservo.write(180);
  delay(200);
  myservo.write(140);
  delay(6000);
  myservo.write(180);
  delay(200);
  myservo.write(180);
  delay(6000);
  myservo.write(180);
  delay(6000);
  myservo.write(140);
  delay(6000);
  myservo.write(130);
  delay(6000);
  myservo.write(118);
  delay(6000);
  myservo.write(107);
  delay(6000);
  myservo.write(96);
  delay(6000);
  myservo.write(85);
  delay(6000);
  myservo.write(70);
  delay(6000);
  myservo.write(0);
  delay(6000);
}
```

Koodinäide 1. Käiguvahetaja eesmärk on liigutada ketti üles ja alla kasseti peal. Käigu alla vahetamine on lihtsam, sest koonusekujulisel kassetil kett tahabki alla liikuda. Üles liikumine on problemaatilisem. Selleks, et kett haakuks hammasrattaga üles liikumisel, peab käiguvahetaja keti viima üle ning siis tagasi soovitud käigu kohale. Üles vahetuse saavutamiseks käsin servol enne igat ülesvahetust liikuda kahesajaks millisekundiks 180 kraadi peale. See tähendab, et servo teeb ühe tugeva tõmbe üles, viies keti korraks üle soovitud käigu ja siis tagasi soovitud käigu peale. Ilma selle tõmbeta kett ei haakuks ülemise hammasrattaga ja käik ei vahetuks üles. Antud koodi eesmärk on lihtsalt käia läbi kõik kasseti käigud, et teada saada, mis servo nurga peal käigud asuvad.

1.7. Nuppude valmistamine ja koodi kirjutamine

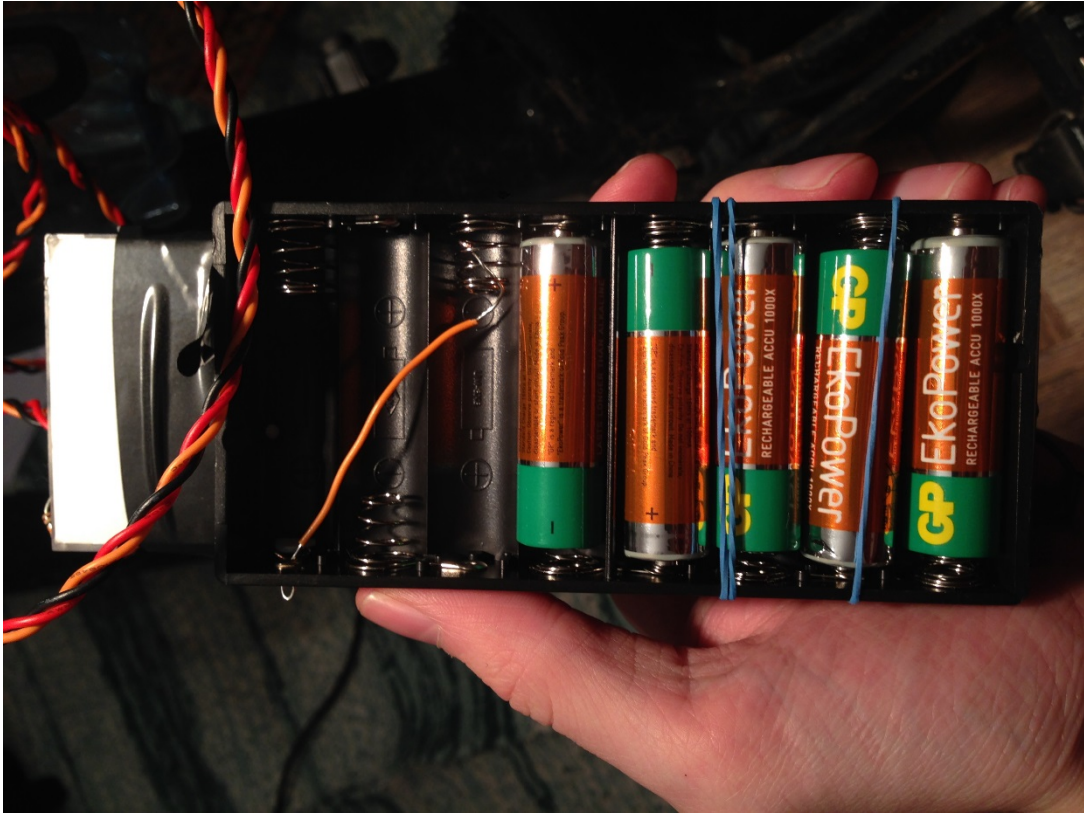
Käiguvahetaja kontrollimiseks soovin kasutada kahte nuppu. Üks üles liikumiseks, teine alla liikumiseks. Kirjutan koodi, mis liigutab servot nupuvajutse peale. Koodi teen näite baasil, mille leidsin Arduino avatud lähtekoodiga tarkvara andmebaasist (Igoe, DojoDave. 2011). Pean valmistama metallist aluse nuppude lenkstangi külge kinnitamiseks. Esialgu puurin sinna sisse kaheksa auku, millest tahan läbi torgata nuppude kinnitamiseks mõeldud elektrit juhtivad haarad. Mõistan, et nii seda teha ei saa, tekiks lühis. Selle asemel isoleerin metallist kinnituse isoleerteibiga, tinutan nuppude haarade külge pikemad juhtmed. Nupud kinnitan plaadi külge isoleeriva teibiga (vt joonis 9.). Kirjutan lõpuni koodi osa ja hakkan katsetama. Katsetamise käigus täiendan koodi osa, lisan maksimaalseks käigu arvuks 8 ja minimaalseks käiguks 0. Metallist nuppude hoidja kinnitan lenkstangi külge.



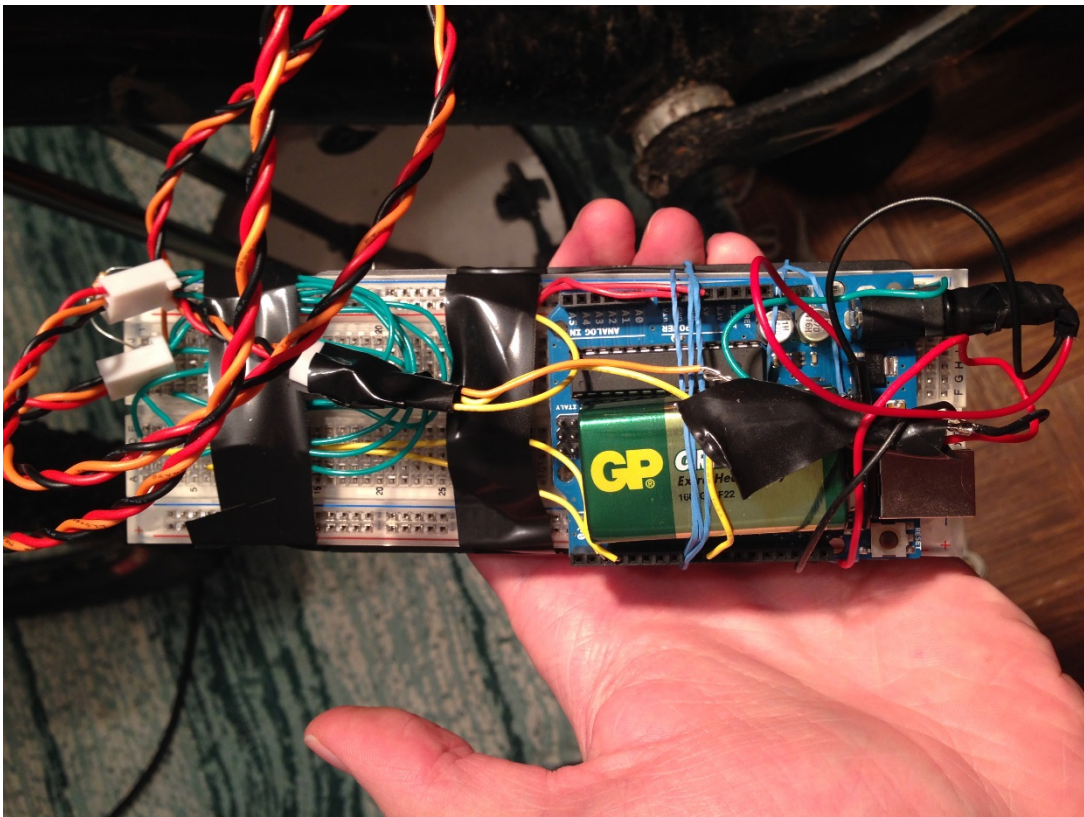
Joonis 9. Kinnitan nupud lenkstangi külge kinnituvale metallist alusele.

1.8. Voolutarbimise probleemi lahendamine

Siiamaani (30.10.14) olen alati hoidnud Arduino plaati ühenduses arvutiga, seega USB pesast tulnud elekter on andnud voolu Arduino tegevuseks. Servo opereerimiseks on vaja 6 volti elektrit ja Arduino väljastab 5 volti maksimaalselt. Sellepärast olen senimaani servole andnud juurde 4.5 voldise patarei. Projekti valmimiseks pean leidma õige kombinatsiooni voolu mõlema tarbija jaoks. Arduinole sobib vahemik 7-12 volti, kuid lubatud on ka 6-20 volti (<http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>). Ostin kolm 4.5 voldist patareid ja kombineerisin need nii, et Arduino saaks 9V ja servo 4.5. Kuna Arduino annab 5 volti servole oma jõust ära siis mõtlesin, et peaks sobima. Mis aga juhtus oli üllatav, sest iga kord kui käiguvahetuse välja kutsusin tegi Arduino restardi, sest servo hakkas tarbima 5V ning Arduinole jäi ainult 3V, millest jäi talle väheks. Seega selles kombinatsioonis mõlemale ei jätkunud. Avastan, et akutrelli aku annab välja 12 volti. Kui sellest 6 volti anda servole ja teine 6 jääks Arduinole siis peaks see ideaalselt sobima. Ühendasin 12V aku Arduino külge ja proovisin käiku vahetada. Korraks töötas kõik ideaalselt aga siis tundsin kerget kõrbemise lõhna ja Arduino plaat läks kuumaks. Kahjuks sellise kombinatsiooniga hävitasin ühe Arduino plaadi. Tuleb välja, et Arduino jaoks 12V pole palju, kui ühendada see plaadi pistikusse, aga kogematu tõttu ühendasin selle hoopis ühtsesse vooluvõrku, mis koormas üle viie voldi regulaatori, mille jaoks maksimaalne taluvus on 6 volti. Seejärel võtsin kasutusele uue Arduino, tema külge ühendasin 9 voldise patarei. Võtsin kasutusele viis 1.2 volist akut kooli robotika laborist servo jaoks, mis andsid kokku vajatud 6V. Selline kombinatsioon töötas laitmatult (vt joonis 10.). Pakendasin kogu elektroonika (vt joonis 11.) pooleks lõigatud pudelisse (vt joonis 13.) ja sain sooritada testisõidu, mis kestis natuke üle tunni ja ühtegi viga ei esinenud.



Joonis 10. Viis 1.2V akut annavad servole toidet.



Joonis 11. Töötav prototüüp enne esimest proovisõitu.

1.9. Lõplik kood

```
#include <Servo.h>
const int  buttonPin1 = 2;
const int  buttonPin2 = 3;
Servo myservo;
int buttonPushCounter = 0;
int buttonState1 = 0;
int buttonState2 = 0;
int lastButtonState1 = 0;
int lastButtonState2 = 0;
int positsioon;
int yles [8] = {80, 90, 99, 109, 120, 130, 140, 180};
int alla [8] = {0, 70, 85, 96, 107, 118, 130, 140};
```

Koodinäide 2. Erinevaid käike on 9, kuid massiivis on üles ja alla liikumiseks 8 positsiooni, sest kõige ülemist ja kõige alumist käiku ei ole mõtet dubleerida.

```
void setup() {
  pinMode(buttonPin1, INPUT);
  pinMode(buttonPin2, INPUT);
  myservo.attach(9);
  Serial.begin(9600);
}
```

Koodinäide 3. Pinmode()INPUT on nupuvajutuse märkimine kuulatavaks sisendiks. Kinnitan servo 9 pin'i külge. Serial tähendab, et saan jadapordi monitoriga jälgida mitu kraadi servo ennast keeranud on.

```
void loop() {
  buttonState1 = digitalRead(buttonPin1);
  buttonState2 = digitalRead(buttonPin2);
```

```

if (buttonState1 != lastButtonState1) {
  if (buttonState1 == HIGH) {
    if (buttonPushCounter<8) {
      buttonPushCounter++;
      positsioon=yles[buttonPushCounter];
      myservo.write(180);
      delay(200);
      myservo.write(positsioon);
      Serial.print("buttonPushCounterUP: ");
      Serial.println(buttonPushCounter);
      Serial.print("positsioon on: ");
      Serial.println(positsioon);
    }
  }
}
lastButtonState1 = buttonState1;
if (buttonState2 != lastButtonState2) {
  if (buttonState2 == HIGH) {
    if (buttonPushCounter>0){
      buttonPushCounter--;
      positsioon=alla[buttonPushCounter];
      myservo.write(positsioon);
      Serial.print("buttonPushCounterDOWN: ");
      Serial.println(buttonPushCounter);
      Serial.print("positsioon on: ");
      Serial.println(positsioon);
    }
  }
}
lastButtonState2 = buttonState2;
}

```

Koodinäide 4. Kui buttonState muutub siis nupuvajutus on toimunud. Ülesliikumise nupu vajutus liidab ja alla liikumise nupp vajutus lahutab buttonPushCounteri muutujat. Vastavalt buttonPushCounter muutujale loetakse massiivist servo

positsioon. Üles liikumise korral yles massiivist ja alla liikumise korral alla massiivis. Käigu positsioon salvestatakse lastButtonState muutujasse, et järgmine ring saaks võrrelda, kas käik liigub üles või alla.

2. Valminud käiguvahetaja katsetamine

2.1. Esimene proovisõit

Esimene proovisõit toimus 30.10.2014 ja kõik toimis laitmatult (vt joonis 13.). Käigu vahetused olid kiired ja nupu vajutamine (vt joonis 12.) palju mugavam kui trossiga mehhaanilise käiguvahetaja kasutamine. Tekkis tunne, et ei tahaks kunagi mehaanilise versiooni peale tagasi minna. Käiguvahetusel tekkiv servo liikumise elektrooniline hääl on nauditav. Testisõit kestis natuke üle tunni aja. Sõidu lõppedes märkasin, et servo kätt ülekande küljes hoidva poldi mutter oli sõidu ajal ära kadunud seega järgmine päev pidin jälle robotika laborit külastama, et kadunud mutter uuega asendada. Käikude vahetumist sõidu ajal kadunud mutter ei seganud aga pikematel sõitudel tuleb ettevaatlik olla.



Joonis 12. Nupud asuvad mugavalt pöidla all.



Joonis 13. Esimene proovisõit möödus vigadeta.

2.2. Teine proovisõit

Testisõit toimus 02.11.2014 kergelt vihmase ilmaga. Kuna pakendasin elektroonika pudeli sisse, siis vihm toimimist ei mõjutanud. Servo paistab ka olevat vähemalt niiskuse kindel. Sõitsin vanalinna tänavatel, munakiviteedel ning esmakordselt lakkas käiguvahetaja töötamast. Seiskumine tulenes sellest, et raputamine oli ühe 1.2 voldise aku oma kinnitusest lahti raputanud. Panin aku tagasi tema pesasse ja sõit võis jätkuda. Sõidu ajal tundsin, et mõnikord osad käigud ei lülitu sisse täpselt nii nagu peaks. Arvasin, et ilmselt on toimunud mõne komponendi kulumine. Sõidu lõppedes avastasin, et servo liikumise ülekande mutter oli mõlemast otsast jälle lahti põrunud ja ilmselt see tekitaski ebatäpse käiguvahetuse. Seega senimaani kõige suurem probleem antud elektroonilise käiguvahetajaga ongi sõidu käigus lahti põruvad servo käe mutrid ja poldid. Lahtipõrumise takistamiseks ma midagi teha ei saa. Tugevamini kinni keerates ma takistaksin liikumist. Teoreetiliselt ma peaksin liikuvate osade liitumise punktidesse panema kuullaagritega ühinemise kohad aga see tähendaks kogu käiguvahetaja ümber ehitamist ja see oleks liiga suur ettevõtmine.

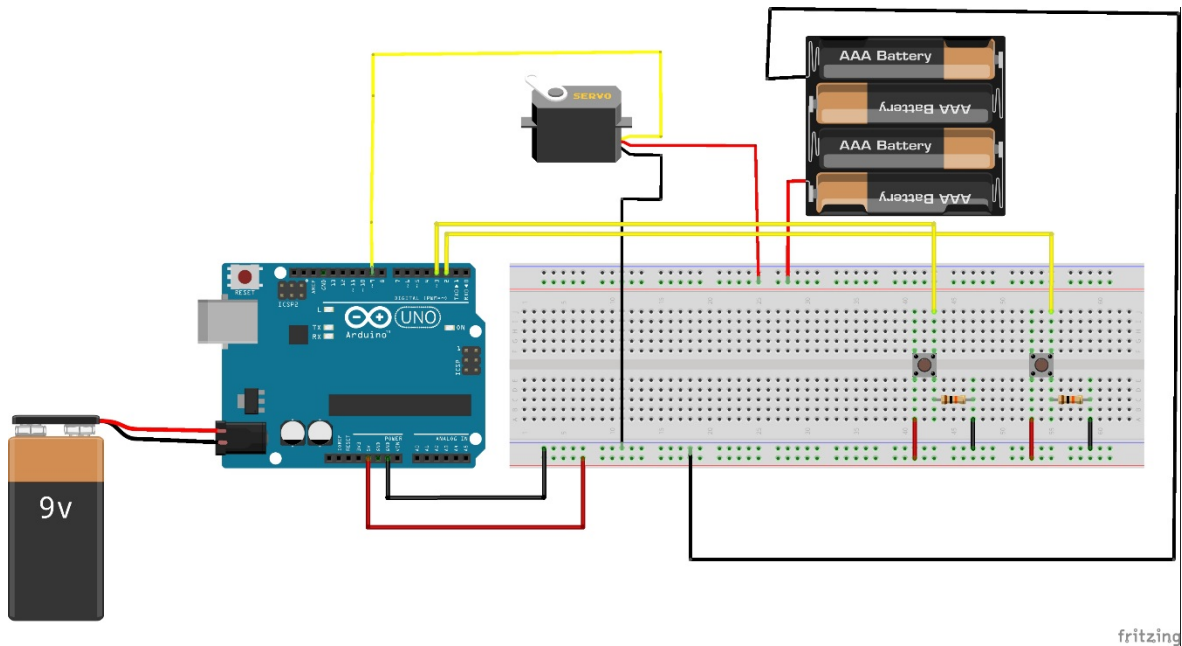
2.3. Käiguvahetuse filmimine

Hakkasin filmima käiguvahetust seminaritöö tarbeks 04.11.2014. Olin sättinud oma ratta üles, nii, et filmimine saaks mugavalt toimuda, isegi kaamera oli valmis seatud. Laadisin akud täis ja lülitasin käiguvahetaja sisse, et sooritada paar testi enne kui filmima hakkan. Ühtäkki helises telefon ja lahkusin ratta juurest järgmiseks kümneks minutiks. Tagasi tulles jätkasin sealt, kus olin pooleli jäänud. Minu üllatuseks oli servo mootor totaalselt kinni kiilunud ning ei liigutanud ennast millimeetritki. Käega katsudes oli mootor nii kuumaks läinud, et sõrme ei saanud kauem kui 1 sekundki peal hoida. Ükskõik mis pidi ma käiguvahetajat ei kangutanud, ei liigutanud ta ennast üldsegi. Enne seda juhtumit sain käiguvahetajat käega liigutada aga nüüd oli see totaalselt kinni kiilunud. Järgmine päev viisin servo tagasi kauplusesse ja väga viisakas klienditeenindaja, kellelt ma selle servo ostsin, vahetas mu mootori uue vastu välja. Sättisin uue servo käiguvahetajale ja veetsin mitu tundi jälle käike häälestades. Täpselt paika käike ei saanud, kuid tegin oma parima. Valminud videot saab näha siin: <http://youtu.be/4BbAhY4DLpc>.

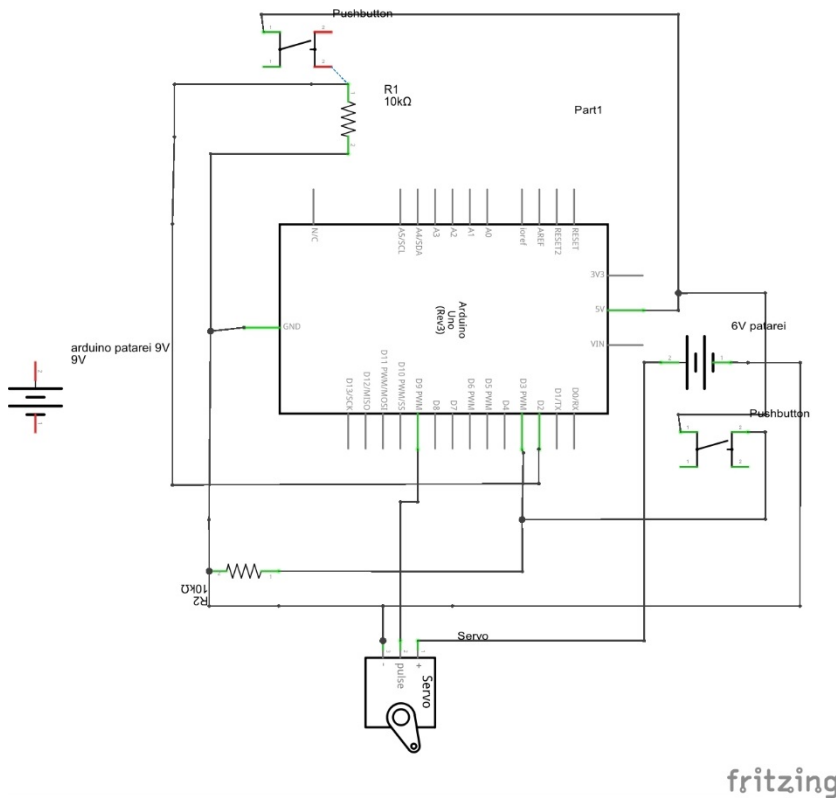
2.4. Lõpptulemuse võrdlemine N. Tewolde elektrooniliste käiguvahetajaga

Sissejuhatuses mainisin, et Arduinoga elektroonilise käiguvahetaja tegemise juhend on internetis saadaval siin: http://nabilt.github.io/diy_eshift (Tewolde, 2012). Seda juhendit ma ei kasutanud, kuid nüüd saan võrrelda kuidas need erinevad. Esiteks oli mul kooli poolt võimalus kasutada Arduino uno plaat kuid näites kasutati Arduino Pro Mini 3.3V. Teine erinevus on selles, et Tewolde käiguvahetaja süsteemi oli, lisaks nuppudele, integreeritud ka potentsiomeeter, millega sai reguleerida servo positsiooni. Kuna Tewolde ei avalda oma käiguvahetaja koodi siis on raske öelda, kas antud potentsiomeeter reguleerib käike eraldi või kõiki käike korraga. Sellest olenemata leian, et käike reguleeriv potentsiomeeter oleks kindlasti kasulik komponent, ning lisaksin selle enda käiguvahetajale, kui peaksin teise versiooniga kunagi välja tulema. Potentsiomeeter lihtsustaks käikude häälestamist. Siis saaks seda teha ka sõidu ajal, hetkel pean käikude positsioonide reguleerimiseks Arduinole arvuti külge ühendama.

3. Elektriskeemid



Joonis 14. Pildil on illustreeritud elektriskeem. Punane juhe on 5v, must juhe on maandus ja kollane on signaali juhe. Loomisel on kasutatud programmi Fritzing. (2014). Kasutamise kuupäev 30.11.2014., allikas: <http://fritzing.org/download/>.



Joonis 15. Pildil on elektriskeem. Loomisel on kasutatud programmi Fritzing. (2014). Kasutamise kuupäev 30.11.2014., allikas: <http://fritzing.org/download/>.

Kokkuvõte

Käesoleva töö eesmärgiks oli valmistada töötav elektrooniline käiguvahetaja ja selle koostamist etappide kaupa kirjendada. Elektroonilise käiguvahetaja koostamise eesmärgi loen mööndustega sooritatuks. Suurimaks probleemiks on töökindlus. Töökindluse tagamiseks tuleb käiguvahetaja mehhanism servomootori ümber ehitada ja jõu ülekande punktides kasutada kuullaagreid. Antud seminaritöö käigus selliste mehhaaniliste modifikatsioonide tegemiseni ei jõutud.

Dokumenteerisin ehitust etappide kaupa ja paljude illustratsioonidega, et tulevikus oleks lihtsam sarnast käiguvahetajat ehitada. Samas pean lisama hoiatuse, sest antud töö käigus saadud kogemuste baasil usun, et trossiga töötavat käiguvahetajat ei saa modifitseerida töökindlaks elektrooniliseks vahetajaks. Põhjuseid on mitmeid:

1. Antud prototüübis servomootor jõud liigutab käiguvahetajat läbi kahe kinnituspunkti. Need kinnituskohad ei ole stabiilsed ilma kuullaagriteta.
2. Töökindluse tagamiseks peab servo jääma käiguvahetaja staatilise ja liikuva osa vahele. Jõu ülekanne oleks siis efektiivsem, täpsem ja kinnituskohti oleks vähem.
3. Kulumine tuleb kompenseerida. Põrutused nihutavad käiguvahetajat ning servot paigast ära. Iga paari sõidu tagant tuleb poldid üle pingutada ja servo positsioone muuta. Servomootori algpositsioone peab saama muuta sõidu käigus.

Käesolevate tulemuste saavutamiseks läks kaua aega ning kahjuks jalgrattasporti harrastava sõitja jaoks töökindlat mehhanismi ei saavutatud. Valminud käiguvahetajast tehtud videot saab vaadata siit: <http://youtu.be/4BbAhY4DLpc>. Kogemus oli pingutust väärt ja loodan, et selle lugemisel on ka teistel harrastajatel ning robotika huvilistel kasu.

Kasutatud kirjandus

Tewelde, N. (2012). DIY electronic derailleur for Shimano parts. Kasutamise kuupäev 20.09.2014, allikas: http://nabilt.github.io/diy_eshift/.

Strack, F. (24.02.2010). Mektronic and the electronic revolution. Kasutamise kuupäev 20.09.2014, allikas: <http://www.velominati.com/technology/mektronic-and-the-electronic-revolution/>.

Cunningham, R. (30.05.2014). First Look: Shimano XTR Di2 Electric Shifting. Kasutamise kuupäev 20.09.2014, allikas: <http://www.pinkbike.com/news/first-look-shimano-xtr-di2-electric-shifting.html>.

Levy, M. (20.05.2014). Magura TS8 eLECT Fork - Review. Kasutamise kuupäev 20.09.2014, allikas: <http://www.pinkbike.com/news/magura-ts8-elect-fork-review-2014.html>.

Kachan, K. (3.11.2013). Electric rear derailleur. Kasutamise kuupäev 24.09.2014, allikas: https://www.youtube.com/watch?v=1af_iIFL_-Q.

Simpson, B. (20.09.2012). Review: TowerPro/Hextronic MG995 servo. Kasutamise kuupäev 30.09.14, allikas: <http://www.rcmodelreviews.com/mg995review.shtml>.

Rinott, M. (2014). Controlling a servo position using a potentiometer (variable resistor). Kasutamise kuupäev 14.10.14, allikas: <http://arduino.cc/en/Tutorial/Knob>.

Igoe, T. DojoDave. (30.08.2011). Button. Kasutamise kuupäev 28.10.14, allikas: <http://arduino.cc/en/tutorial/button>.

Atkinson, D. (14.05.2014). 125 years of Mavic: A ride through cycling history. Kasutamise kuupäev 30.11.2014, allikas: <http://road.cc/content/feature/118858-125-years-mavic-ride-through-cycling-history>.

Hood, E. (24.08.2006). PEZ Interviews: SRM Founder Uli Schoberer. Kasutamise kuupäev 13.12.2014, allikas: <http://www.pezcyclingnews.com/interviews/pez-interviews-srm-founder-uli-schoberer/#.VIxaDSvLdcQ>.

Fritzing. (2014). Fritzing programm. Kasutamise kuupäev 30.11.2014, allikas: <http://fritzing.org/download/>.

UCI (Union Cycliste Internationale) (2014). Approval Protocol. Kasutamise kuupäev 13.12.2014, allikas: http://www.uci.ch/mm/Document/News/Rulesandregulation/16/51/86/materielprotocole-ENG_English.PDF.

Phillips, M. (2014). Campagnolo's New Electronic Power Shift Groupset. Kasutamise kuupäev 15.12.14, allikas: <http://www.bicycling.com/bikes-gear/new-bike-gear-previews/campagnolos-new-electronic-power-shift-groupset>.