



1918
TALLINNA
TEHNIKAÜLIKOOL

Mehhatroonikainstituut

Mehhatroonikasüsteemide õppetool

MHK40LT

Mart Ole

**MOTORISEERITUD MUUDETAVA RAADIUSEGA
KAAMERASLAIDER**

BSc Lõputöö

Autor taotleb
tehnikateaduste bakalaureuse
akadeemilist kraadi

Tallinn 2016

AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus.

Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Töös kasutatud kõik teiste autorite materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis..... juhendamisel

“.....”201...a.

Töö autor

..... allkiri

Töö vastab lõputööle esitatavatele nõuetele.

“.....”201...a.

Juhendaja

..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.

..... õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“.....”201... a.

..... allkiri

SISUKORD

EESSÕNA	6
1. SISSEJUHATUS	7
2. RÖÖBAS	9
2.1. Rööpa ülesanne	9
2.2. Rööpa ristlõike valimine	9
2.3. Rööpa painutamine	11
2.4. Rööpa materjali valik	12
2.5. Rööpa kinnitus	13
3. LIUGUR	19
3.1. Liuguri ülesanded	19
3.2. Liuguri kuju ja mõõtmed	20
3.3. Veerepinnad	21
4. ELEKTROONIKA	23
4.1. Mootori valik	23
4.2. Mikrokontrolleri valik	24
4.3. Kasutajaliides	25
4.4. Mootori draiveri valik	26
4.5. Sisend ja väljund	26
4.6. Toite valik	28
5. PROGRAMMEERIMINE	31
5.1. Programmeerimiskeel ja arenduskeskkond	31
5.2. Programmi ülesehitus	31
5.3. Kasutajaliides ja seadistamine	32
5.4. Seadme iseseisev töösükkel	36
6. MAJANDUSLIK ANALÜÜS	38
KOKKUVÕTE	39
SUMMARY	41

KASUTATUD KIRJANDUS	43
LISA 1	46
LISA 2	48
LISA 3	49

EESSÕNA

Teema valikul sai määravaks autori isiklik huvi. Teema lõpliku suuna määramisel oli abiks juhendaja Mairo Hiimaa.

1. SISSEJUHATUS

Antud bakalaureusetöö ülesanne on välja töötada motoriseeritud slaiderisüsteem, mis on mõeldud kasutamiseks *time lapse*-fotograafias. Kahjuks puudub vastav eestikeelne mõiste tähistamiseks siinkirjeldatud fotovaldkonda.

Time lapse-fotograafia kujutab endast aeglaste protsesside pildistamist sadu kordi pika aja jooksul ning tehtud fotodest video moodustamist. Antud fotograafiavaldkond võimaldab tavalisemale hoomamatutest nähtustest luua jälgitavaid ja ülevaatlikke, enamasti eelkõige kunstilisi, videoklippe.

Kuna *time lapse* on mõeldud aeglaste protsesside jäädvustamiseks, ei ole otstarbekas *time lapse* tüüpi videot teha alla 1-sekundilise intervalliga[1], sest sel juhul on mõistlikum jäädvustada sündmus videole ja seda kiirendada. Tavaline video koosneb kas 24 või 30-st kaadrist sekundis. Seega nõuab näiteks 5-sekundilise video tegemine *time lapse* tehnikas 120 kuni 150 fotokaadrit ja selle jaoks fotomaterjali saamine vähemalt 120 kuni 150 sekundit.

Time lapse tüüpi video jaoks võib pildistada fikseeritud punktist või kasutada motoriseeritud slaiderit. See on rööbas, mida mööda liigub kaamera kogu pildistamise aja jooksul, lisades videole dünaamikat või võimaldades näha vaadeldavat objekti või nähtust erinevate nurkade alt. Turul olevad tooted on enamasti sirged motoriseeritud slaiderid, kuid eksisteerivad ka kaarekujulised filmimisrööpad, mis on kas fikseeritud kujuga ja võtavad palju ruumi või on kokkupandavad ja nõuavad kas siledat aluspinda või paljusid toetuspunkte. Kaarekujulisi motoriseeritud terviklahendusi ei pakuta. Olemasolevate sirgete slaiderite hinnad algavad 800 dollarist ehk umbes 750 eurost, lisaks millele leidub mõningaid odavamaid üksiküritajate lahendusi [2][3].

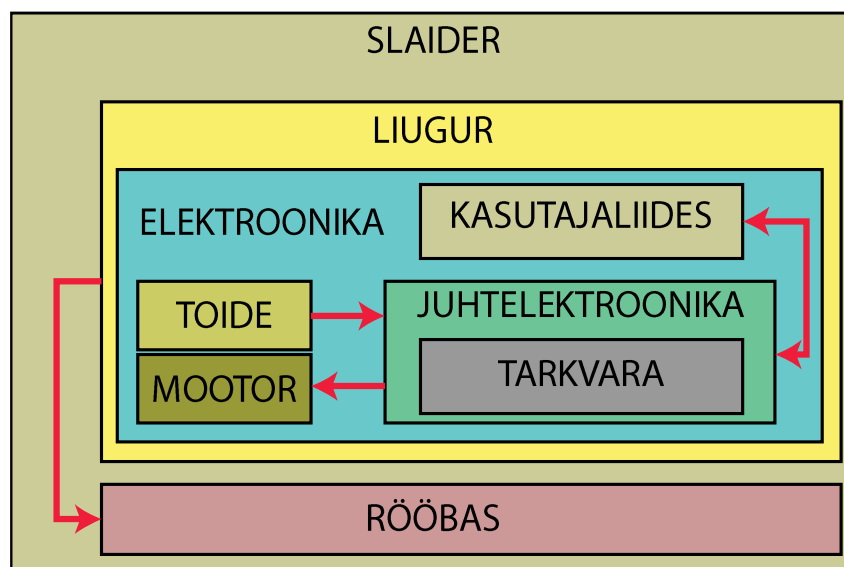
Antud bakalaureusetöö eesmärk on luua terviksüsteem, mis põhineb muudetava raadiusega rööpal, mis tavaolekus on sirge ja hõlpsalt transporditav. Rööpa juurde kuulub motoriseeritud liugur, mille saab sättida liikuma ja pildistama vastavalt olukorrale. Teine eesmärk on slaideri konstrueerimisel kasutada olemasolevaid detaile ning kättesaadavaid materjale, et pakkuda toodet võimalikult väikese hinnaga. Slaidet on seejuures ühildatav fotograafias kasutatavate toodetega, et vältida nende asjatut dubleerimist.

Siinse bakalaureusetöö seadme projekteerimise saab jagada neljaks: rööpa disain, liuguri mehhaanilise osa projekteerimine, liuguri elektrooniline osa projekteerimine, juhttarkvara projekteerimine. Slaideri ülesehitust kirjeldab sele 1.1.

Katsetusteks kasutati erinevaid makette. Projekteerimiseks kasutati SolidWorks 2013 3d-projekteerimisprogrammi. Elektroonikaprototüübi loomiseks kasutati Arduino platvormi.

Kuna kasutatava videotehnika juures on liikumiskiirused väga väikesed, saab tugevust ja stabiilsust puudutavaid probleeme lahendada pigem staatika kui dünaamika poolt lähenedes.

Projekteeritav seade peab olema kasutatav *time lapse* fotograafias pakkudes konkurentsivõimelise hinnaga konstantse raadiusega ühtlaselt liikuvat kaameraplatvormi, mida on lihtne transportida, üles seada, seadistada ja vajadusel edasi arendada.



Sele 1.1 Seadme plokk skeem

2. RÖÖBAS

2.1. Rööpa ülesanne

Seatud ülesanne nägi ette muutuva raadiusega rööpa projekteerimist. Kuna analoogseid tooteid ei eksisteeri, oli vaja lisaks parameetrite leidmisele ka üldine kontseptsioon välja mõelda.

Kuna soov on pakkuda toodet, mis on kasutatav erinevates keskkondades, fotograafiat silmas pidades ka looduses, siis on tähtis, et projekteeritavat rööbast on võimalik kasutada, toetades seda vaid kahest või suurema kaamera korral kolmest punktist. Sealjuures peab rööbas tagama kogu pikkuses piisava tugevuse ja jäikuse, mis lubab kaameral koos alusega teha vajalikke fotosid ilma kaadri mittesobiva nihkumise ja vibratsioonita mistahes rööpa punktis.

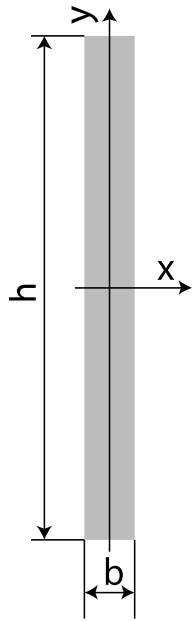
Kogu süsteem peab olema jalgsi kaasas kantav, mistõttu on rööpa kui kõige suurema komponendi mõõtmed piiratud. Olemasolevad sirge rööpaga tooted koosnevad kokkupandavatest osadest ja mahuvad seljakoti külge. Kuna valitud ülesanne on ainulaadne, peab mõõtmete valimisel lähtuma kasutusmugavusest ja võrdlema seda muude looduses kaasaskantavate pikkade esemetega nagu püssid, suusad, õngeridvad jne. Projekteerimiseks valiti kahemeetrine rööbas, mis moodustab painutades vähemalt veerand ringi ehk 90 kraadi, raadiusega umbes 127 cm. Selliste mõõtmetega rööbas on hõlpsalt kaasaskantav kaubanduses saadaolevate ridvakottidega [4]. Tulevikus peaks olema võimalik toodet pakkuda ka teistes mõõtmetes. Rööpa disain peab võimaldama loodavat süsteemi laiendada samasuguste rööbaste lisamisega, et oleks võimalik luua pikem mistahes kujuga slaidisüsteem.

2.2. Rööpa ristlõike valimine

Kõigepealt pidi välja mõtlema rööpa üldise kuju, mis oleks painutatav ja samas stabiilne.

Tasapinnaline kaar on vertikaalkoormuse paindele nõtkavam ja eeldab kahe paralleelse rööpa kasutamist, kuna ebavõrdse ristküliku kujulise läbilõikega homogeenne keha paindub kergemini lühema telje suunas. Kahe rööpa kauguse omavaheline fikseerimine eeldab paljude detailide kasutamist ja aeganõudvat ülesseadmisprotsessi. Horisontaalpinnaliste rööbaste korral muutub sisemise ja välimise rööpa pikkuste erinevus koos raadiuse muutumisega, mis ei võimalda rööpaid tulevikus kergesti jätkata.

Vertikaaltasapinnas lapik rööbas lubab mistahes piisavalt elastsest materjalist painutada soovitud kujuga rööpa. Valemist 2.3 on näha, et paindenurk sõltub konstantsete jõu, tala pikkuse ja elastsusmooduli juures vaid inertsimomendist. Eeldades, et materjal on nii vertikaalkui horisontaaltelje suhtes homogeenne, jääb määravaks inertsimoment, mis erineb kitsa ja kõrge lõikepinna korral (sele 2.1) väga suures ulatuses, näiteks 8x80mm rööpa korral lausa 100 korda (valem 2.1 ja 2.2).



$$I_x = \frac{bh^3}{12} = \frac{8 \times 80^3}{12} = 341\,333 \text{ (mm}^4\text{)} \quad (2.1)$$

$$I_y = \frac{b^3h}{12} = \frac{8^3 \times 80}{12} = 3413 \text{ (mm}^4\text{)} \quad (2.2)$$

I - inertsimoment

b - laius

h - kõrgus

Sele 2.1 Rööpa ristlõige

$$\varphi = \frac{FL^2}{2EI} \quad (2.3)$$

φ - paindenurk

F - jõud

L - pikkus

E - elastsusmoodul

I - inertsimoment

Vertikaaltasapinnas lapik rööbas ei deformeeru vertikaalkoormusel ning piisava jäikuse korral ei väändu see liigselt ka liuguri ja kaamera raskuse all. Ideaalis peaksid küll kaamera ja liugur moodustama terviku, mille raskuskese jääks rööpa teljele, kuid erinevate kaamerate ja

objektiivide korral on paratamatu selle ühele või teisele poolele nihkumine ning mõningane väändemoment. Vertikaalsel rööpal on vaja leida kompromiss jäikuse ja painutamiseks vajaliku jõu vahel, kus suurem jäikus nõuab suuremat jõudu, et saavutada soovitud raadius.

2.3. Rööpa painutamine

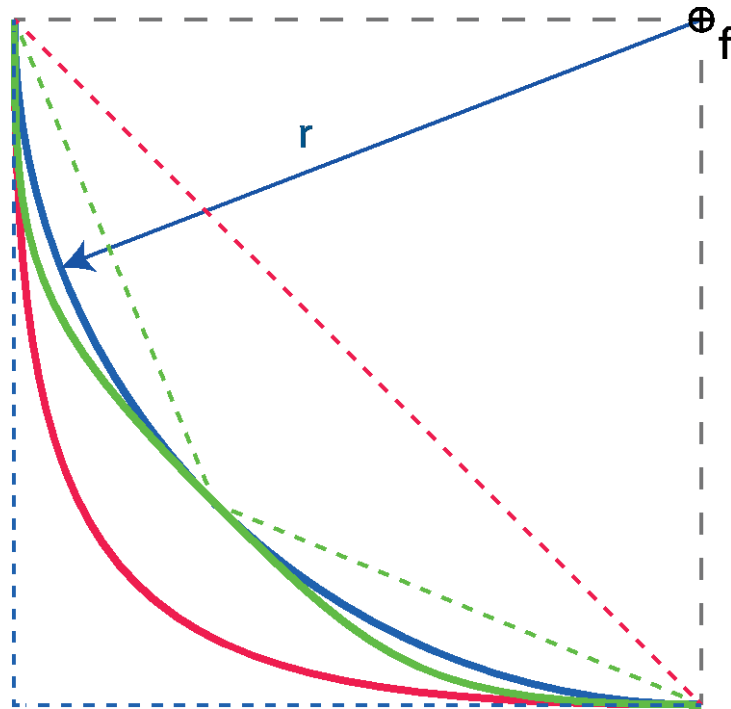
Esiplaan oli kasutada painutamiseks rööpa otstesse kinnituvat trossi või tamiili, mida saab pingutada analoogselt koormarihmale. See võimaldab väga lihtsa ja kerge lahendusega saavutada painutatud rööbas. Selline lahendus eeldab, et kaare otste vahelt jooksev tross jääb kas pildistatavast alast välja või ei ole enda väikese läbimõõdu tõttu kaamera fookusallas ja ei jää seetõttu fotodel nähtav.

Lisaks katsetati ka rööpa siseküljele lisakinnituste lisamist, mis võimaldavad trossi rööpale lähemale tuua. Seeläbi tekib ühe sirge trossi asemel võrdsete lõikudega murdjoone kujuline tross.

Trossiga lahenduse miinus on rööpa ebahütlane paindumine, mis sarnaneb pigem paraboolile kui ringjoone lõigule. Mitme kinnitusega trossi korral koosneb kaar mitmest paraboolist. Tekkinud kaare kuju on küll ühtlasem, kuid ei ole antud süsteemi loomiseks siiski sobiv, sest ideaalis peab rööbas olema ühtlase raadiusega, et kaare tsentris asuv objekt oleks alati kaamerast sama kaugel ja pidevalt fookuses, kuna *time lapse* fotograafias ei kasutata automaatset fokuseerimist ja seeläbi ei ole terava kujutise saamine tagatud.

Järgmise katsena kinnitati mõlemasse rööpa otsa kaare puutujana metallist U-profiil nii, et vabad otsad olid üksteise suunas. Nende profiilide kaudu rööbast painutades ja kinnitades neid omavahel eri punktidest, mis mõlemal latil asusid rööpa otstest samal kaugusel, õnnestus saavutada sobiva kujuga ja ühtlase raadiusega kaar.

Seel 2.2 on näha erinevate meetoditega painutatud kaared: sirge nööriiga painutatud punane, mitmes osas nööriiga painutatud roheline ja metallprofiiliga painutatud sinine. Vastavat värvi punktiirjoonega on näidatud kuju loomiseks kasutatud lisamaterjali paiknemine. Kuna on vaja saavutada rööpa konstantne raadius ehk pidev kaugus staatilisest fookuspunktist, sobib ainsana sinisega kujutatud kaar.



Sele 2.2 Rööpa painutatud kujud

Lisas 1 on näha eelpool kirjeldatud tulemused makettidena. Eri meetoditega loodud kaared on võrdluseks asetatud ühtlase raadiusega joonistatud kõverjoonele.

2.4. Rööpa materjali valik

Eesmärk oli rööbas valmistada laialtlevinud materjalist, mis võimaldab kasutajal vastavalt vajadusele väikese vaevaga uusi detaile valmistada. Sobiva materjali leidmiseks katsetati erinevaid saadaolevaid materjale eelpool kirjeldatud lahenduses.

Esimese materjalina katsetati 4 mm kihtplastikut, mida kasutatakse painutatud kujul näiteks kasvuhoonete ehituses. Kahjuks ei osutunud antud materjal sobivaks, sest kihtplastik pole väändeale piisavalt jäik ning väändub märgatavalt ka suhteliselt väikese koormuse mõjul. Materjalil puudub ka tugev serv, mida saaks kasutada veerepinnana. Lisaks on kihtplastik vastuvõtlik vigastustele ja ei sobi seetõttu rööpa valmistamiseks, mis peab tagama ühtlase veerepinna.

Järgmise materjalina katsetati 9 ja 12 mm paksust pruuni veekindlat filmivineeri, mida kasutatakse painutatud kujul ka rulaparkide ehitusel. Kuna mõlemad vineerid on piisava väändejäikusega, on väiksemast massist ja painutamiseks vajalikust jõust lähtudes 9 mm

paksune vineer antud projektis otstarbekam. Kasutatuna nii rulaparkides kui ka kaubikute kaubaruumi kattena, on veekindel filmivineer tõestanud ennast vastupidava materjalina mehaanilistele vigastustele, mis pole antud toote tavakasutuses küll esmatähtis, kuid vähendaks siiski looduses kasutamisel ja transpordil ette tulevat vigastusriski.

Kogu süsteem pole esialgu ette nähtud märjas kasutamiseks, kuid seadmete mõningane kokkupuude niiskusega on paratamatu. Rööbas, mida ei saa täispikkuses eraldi korpusega kaitsta, peab seega olema vastupidav ka vähesele niiskusele. Siin tuleb kasuks filmivineeri veekindel omadus.

Ühe 1250x2500 mm vineeritahvli hind on umbes 35 eurot[5]. Ühest sellisest tahvlist saab 3,5 mm saetera korral $\frac{1250}{80+3,5} = 14,97$ ehk neliteist 80-mm laiust rööbast. Ühe rööpa materjali hind on seega vaid $\frac{35}{14} = 2,5$ eurot.

2.5. Rööpa kinnitus

Rööpa mõlemas otsas on kinnitused painutuslattidele ja kinnituspinnad rööpa ühendamiseks fotostatiiviga. Kui rööpa kogupikkus on 200 cm ja kinnitustele kuluv osa on mõlemas otsas 5 cm, jääb painduva osa pikkuseks 190 cm. Katsetustega leiti, et selle pikkusega rööbas on painutades vajaliku kujuga ja otste erinevus ülejäänud rööpast ei ole sealjuures segav. Kaht rööbast omavahel otstest ühendades tekkis 400 cm pikkune poolkaar, mille keskele jäi 10 cm pikkune sirglõik, mis antud pikkusi arvestades loeti aktsepteeritavaks.

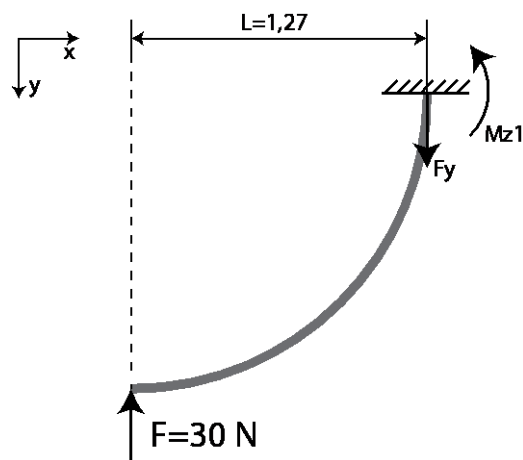
Valides vineerriba kõrguseks 80 mm, leiti katsete käigus, et selle painutamiseks 90° võrra on vaja jõudu $F=30$ N.

$$\sum M_z = 0 \quad (2.4)$$

M_z – paindemoment

$$\sum F_Y = 0 \quad (2.5)$$

F_Y – y-suunaline jõud



Sele 2.3 Painutusmomendi arvutamine

$$M_z = F \cdot L \quad (2.6)$$

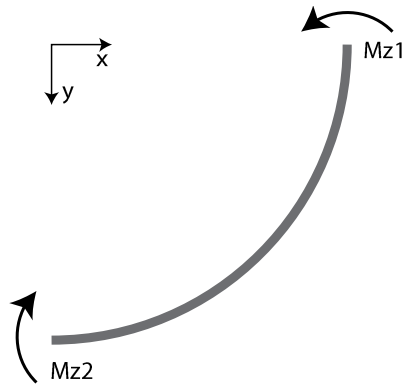
M_{z1} - reaktsioonimoment

F – jõud

L – jõuõlg

$$M_{z1} = 30 \times 1,27 = 38,1(N \cdot m)$$

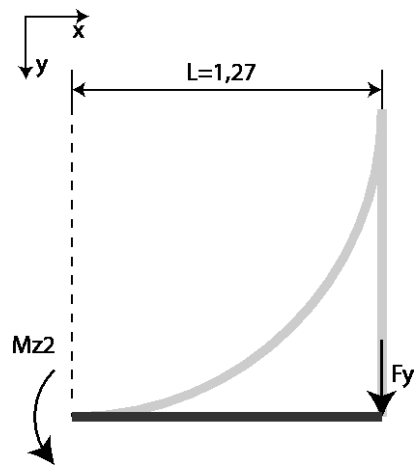
$$F_y = -F = -30 (N)$$



Sele 2.4 Rööpa painutusmoment

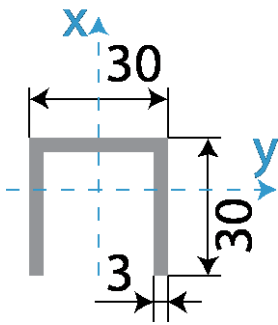
$$M_{z1} + M_{z2} = 0 \rightarrow M_{z2} = -M_{z1}$$

$$M_{z1} = -38,1(N \cdot m)$$



Sele 2.5 Painutusprofiilile mõjuvad jõud

Tabel 2.1 U-profiili andmed[6]

	U-profiil	Ix [mm ⁴]	W _{xmin} [mm ³]
	30x30x3	22926	1216

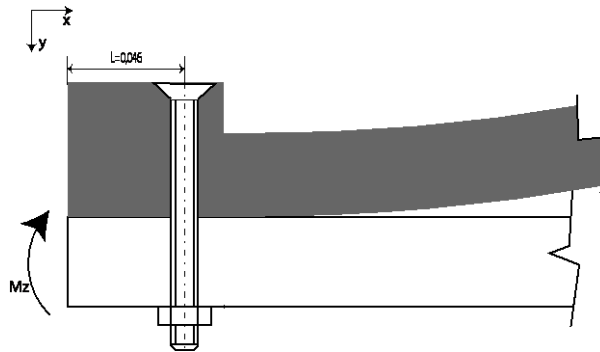
$$|\sigma|_{max} = \frac{M}{W} \quad (2.7.)$$

$|\sigma|_{max}$ – suurim pinge
 W - tugevusmoment

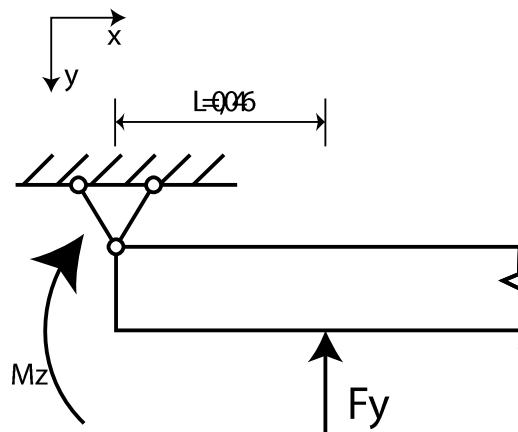
$$|\sigma|_{max} = \frac{38,1}{1216} = 31,1 \text{ (MPa)}$$

Alumiiniumsulami 6060 voolepiir $\sigma_y=70-180$ Mpa [7]. Minimaalne varutegur

$$s_{min} = \frac{70}{31,1} = 2,25$$



Sele 2.6 Rööpa poltliide



Sele 2.7 Rööpa poltliite lihtsustus

Poldile mõjuva tõmbekoormuse F_y leiab valemi 1.6 kaudu.

$$F_y = \frac{38,1}{0,046} = 828 \text{ (N)}$$

8.8 tugevusklassiga poldi korral vastab see lõikepinnale

$$A = \frac{F}{\sigma_y} \quad (2.8)$$

A – pindala

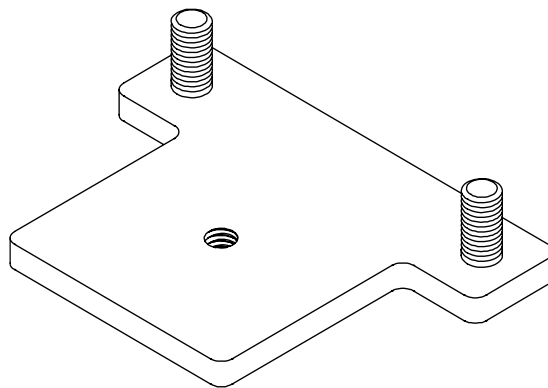
F – jõud

σ_y – voolepiir

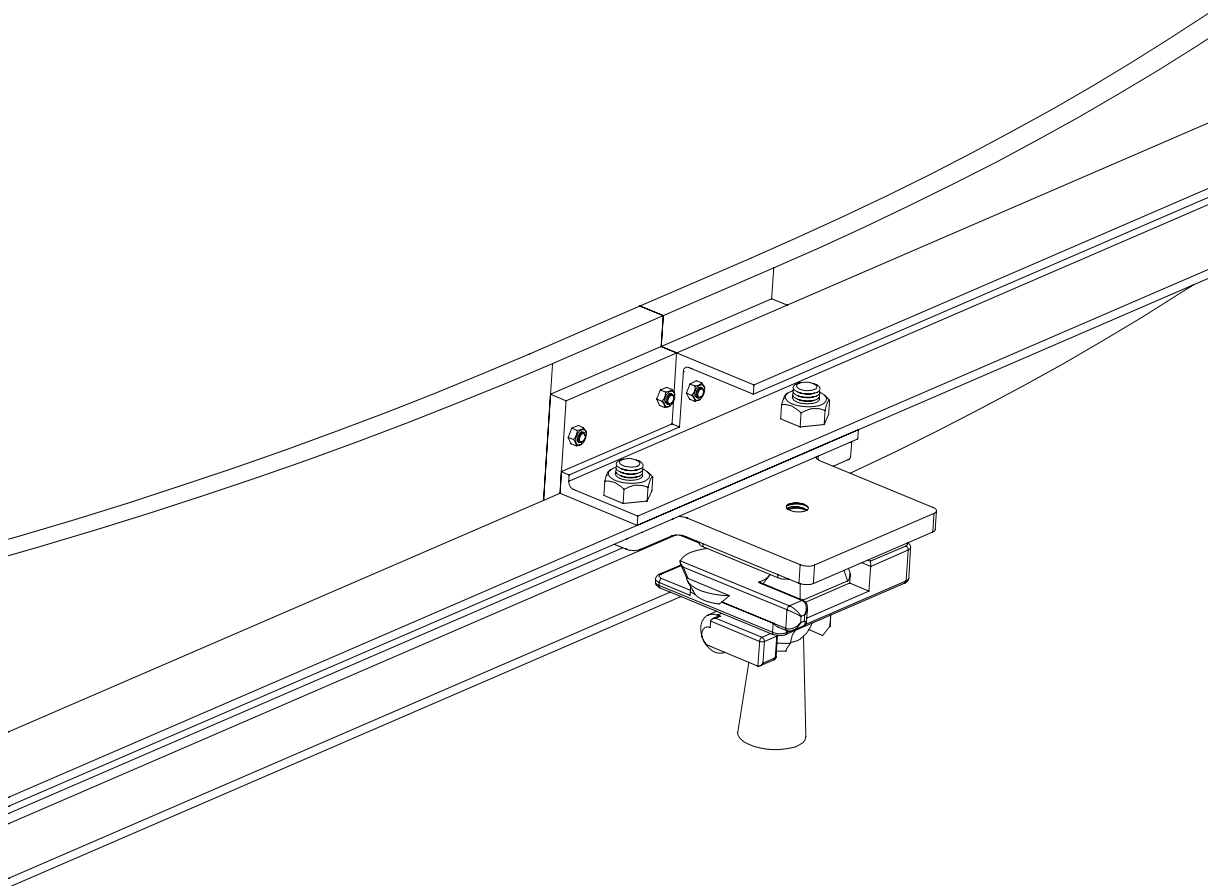
$$A = \frac{828}{640} = 1,29(\text{mm}^2)$$

Et antud liites oleks võimalik kasutada laialt levinud polte ning kasutada sealjuures ka laialt levinud tööriistu, valiti kasutamiseks M3 keermega polt, mille efektiivne lõikepindala on 5,03 mm²[8]. Varutegur $s = \frac{5,03}{1,29} = 3,90$ on rohkem kui piisav.

Võimaldamaks kinnitada rööpaid statiivide külge, kuulub iga rööpa juurde kaks kinnitusplaati (sele 2.8). Kinnitusplaate kasutatakse ka kahe rööpa omavaheliseks liitmiseks (sele 2.9). Iga kinnitusplaadi keskel on ¼ UNC tollkeermega ava, mis on üks kahest fototehnika kinnitamise standardkeermest ja on fotostatiividel kõige sagedamini kasutatav keere [9].



Sele 2.8 Rööpa ühendusdetail



Sele 2.9 Ühendatud rõõpad

Rööpa kinnituste juurde kuuluvad ka lülitusdetailid liuguri asendianduri lülitamiseks. Need on vajalikud, et vältida liuguril rõõpa lõpus sellelt maha sõitmist. Mitme rõõpa liitmisel on võimalik need vahekinnitustelt eemaldada.

3. LIUGUR

3.1. Liuguri ülesanded

Liuguri ülesanne on ühendada endas kaamera kinnitus, rullikud, pinguti, mootor, juhtelektroonika, sisend ja väljund, lõpplülitid ning vooluallikas või koht vooluallika ühendamiseks.

Kaamera ühendamiseks peab liuguril olema koht, kuhu saab kinnitada laialt levinud statiivide kaamerakinnitus/kuulpead. Need ühenduvad enamasti 3/8 UNC keermega.

Rullikute eesmärk on kanda liuguri kogumass rööpale ning fikseerida selle asend rööpa suhtes nii horisontaal- kui vertikaalsuunas. Mootori rulliku ülesanne on kanda üle mootori veojõudu.

Pinguti eesmärk on tagada vertikaalteljeliste rullikute pidev kokkupuude rööpaga muutuva raadiuse korral.

Mootori ülesanne on tagada kogu liuguri liikumine vastavalt ettenähtud kiirusele ja vahemaadele.

Juhtelektroonika ülesanne on juhtida liuguri ja kaamera tööd vastavalt ettenähtud parameetritele.

Sisendi ja väljundi ülesanne on võimaldada pildistusrežiimi parameetrite seadistamist. Väljund kaamerale kontrollib katiku tööd.

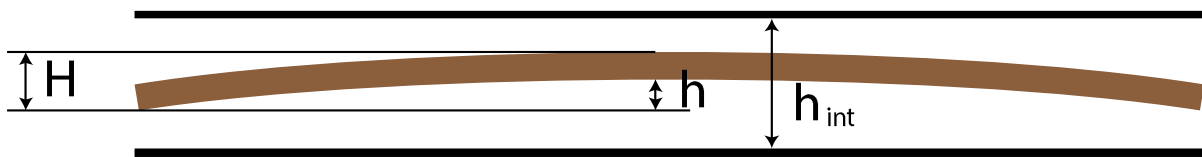
Lõpplülitite ülesanne on tagada liuguri peatumine enne rööpa lõppu.

Vooluallika ülesandeks on tagada nii juhtelektroonika kui mootori toide. Olenevalt soovitud kasutusajast võib vooluallika kinnitada kas otse liugurile või toitejuhtmega liuguri/selle külge.

Liuguri üldkuju on näha lisis 3.

3.2. Liuguri kuju ja mõõtmed

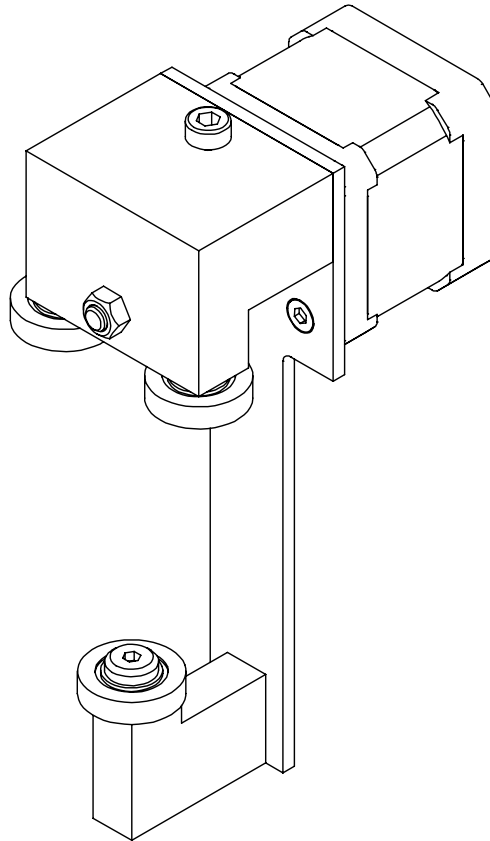
Liuguri sisemõõtmed peavad olema piisavalt suured, et mahutada sinna lisaks digitaalsele peegelkaamerale ka teised süsteemi tööks vajalikud komponendid. Mida lühem on liugur, seda suuremaks jääb selle liikumisulatus sama. Liiga lühikese liuguri korral on aga ülemiste rullikute telgede vahe liiga väike ja see võib põhjustada selle ebastabiilsust. Kaamerad on tavaliselt umbes 150 mm laiad, mistõttu valiti liuguri laiuseks 200 mm. Seeläbi jääb kaamera kinnitamisel liugurile mõningane varuruum, mis välistab kaamera korpuse ulatumise väljapoole liuguri mõõtmeid.



Sele 3.1 Liuguri ja kaare mõõtmed

Liuguri sisepaksuse h_{int} määrab kasutatava rööpa paksus ja kaare raadius (sele 3.1). 200 mm laiuse ja 1270 mm raadiusega kaare kõrgus h on umbes 4 mm. Kogu kaare kõrgus H koos materjaliga on seega 13 mm. Et süsteem oleks vastavalt vajadusele kohaldatav ja võimaldaks tulevikus ka muude mõõtudega valmistatud rööpaid kasutada, peab liugur olema paksem olema. Kui võtta liuguri sisepaksuseks 20 mm, võimaldab see kasutada näiteks 9 mm paksust rööbast, mis on 500 mm raadiusega.

Antud liugur on mõeldud kasutamiseks kaarekujulistel rööbastel. Seega peavad tugirullikud koos mootoriga asuma pöörlevatel alustel, mis võimaldavad neil ennast vastavalt rööpa kujule keerata (sele 3.2.). Seeläbi rakendavad nad ka väiksemate kadudega veojõudu.



Sele 3.2 Mootripoolne pöörlev alus

3.3. Veerepinnad

Liuguril on kaht tüüpi rullikuid: kõvad rullikud asendi seadmiseks ja kummikattega rullikud. Viimaste hulka kuuluvad veorullik mootorile ja analoogne rullik liuguri teisele horisontaalsele teljele.

Kõvadeks rullikuteks sobivad 8x22x7 mm kuullaagrid, mille välimise rõnga välispind sobib rulliku veerepinnaks. Antud rullikuid on mõlema pöörleva aluse rõõpa kaare välispoolsel küljel kolm tükki. Kõvad rullikud oleks antud kohas sobimatud, kui liuguri liikumiskiirus oleks suurem ja jäädvustataks pidevat videot. Tulenevalt rullikute materjalist tekib sel juhul märgatav vibratsioon. Antud seade on mõeldud fotograafiaks, mis tähendab, et rullikud liiguvad aeglaselt ja pildistamine toimub paigalt. Seega sobivad kõvad rullikud loodavasse süsteemi hästi, sest veeremisel nad ei deformeeru, mis väldib liigset energiakulu ning muudab nad ehituselt lihtsamaks.

Lisaks eelpool mainitud rullikutele on üks rullik rööpa siseküljele suruval vedruga käpal (LISA 2). Selline detail on vajalik, et tagada ülejäänud rullikute pidev kontakt rööpaga ka muutuva raadiuse korral, mis omakorda garanteerib liuguri ja seeläbi ka kaamera konstantse püstise asendi. Kuna antud rullikud on ise kuullaagrid, siis ei vaja nad eraldi laagreid veeremise parandamiseks.

Mootori rullik kinnitub mootori teljele ja toetub teisest otsast kuullaagrile. Rulliku südamik on valmistatud kõvast plastist, kuid rulliku pealispind on kummist, mis garanteerib piisava sidestusteguri rööpa ja liuguri vahel ning võimaldab üle kanda mootori veojõu. Teise kandetelje rullik on ehituselt analoogne mootori omale, kuid toetub mõlemast otsast kuullaagritele. Mootori- ja tugirulliku diameeter on 20 mm.

4. ELEKTROONIKA

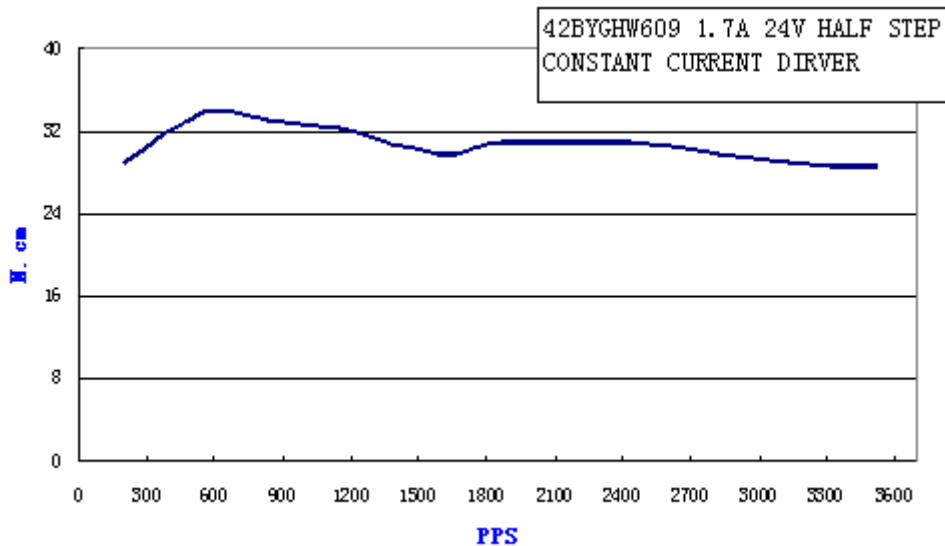
4.1. Mootori valik

Time lapse fotograafia kasutab väga aeglast liikumiskiirust ja nõuab korrapäraseid samme. Seetõttu on antud olukorras hea kasutada samm-mootorit.

Prototüübi ehitusel kasutati Wantai 42BYGHW609 [10] bipolaarset samm-mootorit. Selle mootori samm on $1,8^\circ$ ehk täispöörde moodustab 200 sammu, mis on tüüpiline hübriid samm-mootori resolutsioon. Ühe sammu pikkuseks 20 mm rulliku korral on $\frac{20\pi}{200} = 0,314$ (mm).

Eelnimetatud mootori korpus on NEMA 17 mõõtmetega. NEMA on mootorite kinnitusplaatide standardmõõtude süsteem. Mootori nimetuses olev arv tähistab ruudukujulise kinnitusplaadi kümnekordset küljepikkust tollmõõdustikus. Seega tähendab NEMA 17, et selle mootori küljepikkus on 1,7 tolli ehk 43,2 mm. Kõik sama tähisega mootorid on identse kinnitusplaadiga, kuid nii nende teljesuunaline pikkus kui ka jõu ja elektrilised näitajad võivad olla erinevad [11]. NEMA 17 on laialt levinud samm-mootori suurus, mistõttu valiti see kasutatavaks suuruseks liuguri projekteerimisel. See võimaldab kasutajal hiljem algse mootori mistahes NEMA 17 mootori vastu vahetada, vastavalt mistahes muule ilmnevale parameetrile.

Samm-mootori ehitusliku eripära tõttu võib ta võtta samapalju voolu nii liikudes kui ka paigal seistes, kui on vaja kasutada mootori hoidemomenti ka liikumiste vahel. See võib olla teatud olukordades vajalik, kuid loodava slaideri juures, mis on mõeldud kasutamiseks horisontaalsel tasandil ning mille liikumiste vahele võib jääda pikk paus, suurendab see tunduvalt keskmist energiakulu.



Sele 4.1 Mootori pöördemomendi graafik[9]

Tootjapoolne graafik (sele 4.1) näitab mootori momendi [N·cm] ja pulsisageduse [pps=Hz] seost kasutades poolsamme. Momendi maksimum on saadaval 600 Hz juures, mis tähendab antud juhul $\frac{600}{2 \times 200} = 1,5$ pööret sekundis või 90 pööret minutis.

Katsetega tehti kindlaks, et mootori hoidemoment 4000 g·cm ehk 0,4 N·m suudab hoida 2 kg raskust liugurit ka kuni 10° kalde juures. Antud slaider on küll projekteeritud kasutamiseks horisontaalsel tasapinnal, kuid katsetest võib järeldada, et seadet saab vajadusel kasutada ka kalde all.

Mootori momenti katsetati ka pingestamata olukorras. Leiti, et 220 g·cm ehk 0,022 N·m suudab liugurit koos lisaraskusega, kogumassiga 2,5 kg, hoida paigal ka kuni 7° kalde korral. See näitab, et mootorit saab kasutada ooteolekus pingestamata ka väiksemate kalletega.

4.2. Mikrokontrolleri valik

Prototüübi ehitamisel ja komponentide katsetamisel kasutati Arduino Leonardo arendusplaati. Arduino valiti hinna ja hea kättesaadavuse tõttu. Lisaks on sellel olemas hulgaliselt laiendusplaatide ja mooduleid. Arduinol on ka tugev kasutajabaas, kust saab leida vajalikku infot probleemide ja küsimuste ilmnemisel.

Mikrokontrolleri sisenditeks on nupustik või kooder ja asendi lõpplülid. Mikrokontrolleri väljunditeks on LCD ekraan, kaamera katiku pistik ja mootori draiveri ühendused.

Arduino-t kasutati vaid arendamisel ja prototüübi ehitamisel. Lõpptootes on kasutusel sarnane Atmel-i mikrokontrolleerit, nagu ka Arduino Leonardo arendusplaadil. Kuna Arduino on väga erinevate rakenduste loomiseks, on lõpplahenduses mikrokontrolleerile lisatud vaid komponendid, mis on vajalikud antud seadme töö jaoks.

Kuna Arduinol kasutatav Atmega 32U4 mikrokontrolleer on liiga võimas ja osa ressursist läheks raisku, kasutatakse lõplikus seadmes Atmega 16U4 mikrokontrolleerit.

4.3. Kasutajaliides

Kasutaja poolt andmete sisestamiseks on prototüübil kasutusel kolm surunuppu, mis on ühendatud Arduino sisenditesse läbi *pull-down* takistite. 10 k Ω takistid on ühendatud maanduse ja sisendite vahele, mis tagavad vajutamata NO nuppude korral sisendis pideva nullsignaali. Ilma takistiteta võib müra anda valesignaale[12]. Lõpplahenduses asendab eelpool mainitud kolme lüliti kombineeritud kooder-surunupp, mis võimaldab ühe komponendi abil mugavalt ja kiiresti läbi suures ulatuses muutuvate suuruste liikuda.

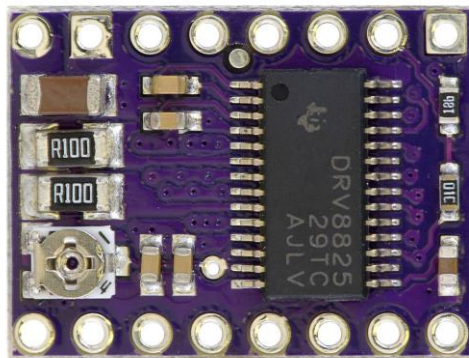
Sisestavate andmete visuaalseks kontrolliks oli prototüübil kasutusel 16x2 LED-taustvalgustusega vedelkristallekraan. Antud ekraan võimaldas kuvada eraldi ridadel muudetava suuruse nimetuse ja selle suuruse väärtust.

LCD-ekraan on ühendatud Arduino arendusplaadiga läbi I2C siini. See kujutab endast andmete kahe-suunalist edastamist läbi kahe juhtme[13]. See on kasulik, kuna hoiab kokku vajalike viikude arvu mikrokontrolleeril. I2C on võimalik ekraaniga ühendatud mooduli tõttu. Ilma I2C-ta kuluks kahe sisend/väljundi asemel 16.

Prototüübis kasutatud ekraan leiti katsetuste käigus olevat lihtne ja puudusteta, mistõttu kasutatakse ka lõpplahenduses analoogset ekraani.

4.4. Mootori draiveri valik

Prototüübi mootori juhtimiseks kasutati Texas Instruments-i DRV8825 kiibil põhinevat Pololu md20a moodulit, kujutatud seel 4.2. See draiver suudab juhtida üht bipolaarset samm-mootorit läbi kahe integreeritud H-silla ja võimaldab reguleerida mootori voolutugevust. Lisaks laseb see kasutada kuni 1/32 sammu suurust *microstep*-i ehk võimaldab mootori täpsemat juhtimist läbi kunstlikult tekitatud lisasammude[14] [15].



Sele 4.2 Pololu md20a draiveri moodul

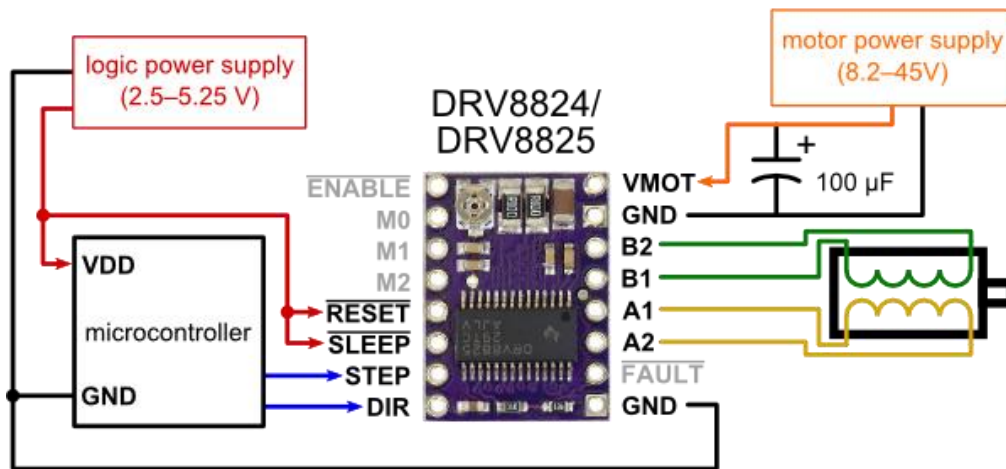
Samm-mootori töökindlaks funktsioneerimiseks on oluline vaid mootorit läbiv voolutugevus. Antud draiveriga saab vajaminevat voolutugevust reguleerida, kasutades integreeritud trimmerit. Voolu reguleerimine käib pinge PWM-i (pulsilaiuse modulatsiooni) kaudu.

Lõpptootes võib kasutatakse Wantai 42BYGHW609 või muud sarnaste näitajatega NEMA 17 samm-mootorit. Kuna drv8825 eraldi kiibina või vajalike komponentidega valmis moodulil pakub tunduvalt lihtsamat mootori juhtimist kui üksikud H-sillad ja võimaldab kasutada ka väiksemate sammude kasutamist ja seeläbi sujuvamat mootori juhtimist, ei ole otstarbekas hakata kasutama primitiivsemaid komponente ja kõike nullist üles ehitama.

4.5. Sisend ja väljund

Lisaks kasutaja poolt kasutatavatele sisenditele ja väljunditele on mikrokontrolleril või prototüübi korral Arduino arendusplaadil lisasisendid ja -väljundid nii mootori juhtimiseks, kaamera juhtimiseks kui ka liuguri asendi kontrolliks.

Mootori juhtimiseks on kasutusel eraldi moodul, mis vajab teatud sisendeid mikrokontrollerilt[16], minimaalne ühendusskeem on kujutatud seel 4.3:



Sele 4.3 Draiveri ühendusskeem

- Mootori sammu signaal *STEP*
- Mootori liikumissuuna signaal *DIR*
- Mooduli negatiivne *sleep* signaal $\neg SLEEP$
- Mooduli sammu suuruse signaalid *M0*, *M1*, *M2*

Samm mootori juhtmoodul vajab positiivset signaali iga mootori sammu jaoks. Samm toimub sisendi muutumisel positiivseks. Olenevalt valitud sammu suuruse järgi on vaja tihedamat sisendsignaali vastavalt valitud sammu suuruse pöördväärtusele. Näiteks veerandsammu korral on vaja nelja sammusignaali, et sooritada üks terve mootori samm.

Mootori liikumissuuna signaal on vastavalt suunale kas null või positiivne.

Negatiivne *sleep* kujutab endast mootori draiveri sisendit, mis nullsignaali korral viib draivi puhkeasendisse ja positiivse signaali korral võimaldab draiveril töötada. Lihtsuse mõttes võiks sisendi väärtus kogu liikumise aja positiivne olla, kuid energia säästmise eesmärgil lülitatakse sisend positiivseks vaid sammu sooritamiseks. Kui ilmneb olukord, kus mootorilt oodatakse suuremat hoidemomenti kui puhkeasendis, saab sisendi muuta pidevalt positiivseks.

Samm-mootorit on võimalik vastavalt draiveri kiibi omadustele kasutada ka väiksemate sammudega kui mootori nimiplaadi sammu suurus. See on vajalik, et saavutada täpsem asend või võimaldada koormatud mootoril sujuvamalt kiirendada[15]. Draiveril on selleks kuni kolm sisendit ja vähim sammu suurus on 1/32 mootori sammust. Veerandsammuks kasutatakse vaid üht sisendit. Mootorit on võimalik kasutada veerandsammule seadistatuna ja kasutada neli korda tihendamata sammusignaali, lülitades draiveri sisendi positiivseks, ilma et selleks peaks kasutama mikrokontrollerit. Teine võimalus on kasutada veerandsammu vaid kiirendades ja muutes mootori täis-sammuliseks pärast vajaliku kiiruse saavutamist. Sel juhul peab sammusuuruse sisend saama mikrokontrollerist signaali. Et tagada mootori ühtlane juhtimine valiti lõpplahendusse pidev veerandsammu kasutamine.

Digitaalse peegelkaamer ehk DSLR kaamerate külge on võimalik ühendada juhtmega päästik, millega saab kontrollida nii fookust kui katikut. Enamasti toimub see sama nupu alt, millele poole peale vajutades käivitub automaatne fokuseerimine ja mille lõpuni vajutamine lülitab katiku. Kuna *time lapse* pildistamise korral ei kasutata automaatset fokuseerimist, jääb kaamera fookuse sisend tühjaks. Katiku lülitamiseks on kaamera *shutter* ja *ground* kontaktide vahel kiire lülitusega transistor või opto-isolaator, mis kaitseb peegelkaamerat ootamatu suure pingega eest. Liuguri juhtelektroonika korpuses on 3,5 mm TRS kõrvaklapipesa, kuhu saab ühendada vastava kaameraga sobiva päästikujuhtme, näiteks 2,5 mm TRS kõrvaklapipistiku või N3 pistiku[17].

Liuguri asendi kontrolliks on vajalikud kaks rullikuga NC lülitit. Lülitid on vaja, et ennetada liuguri rööpa otsast maha sõitmist. Kasutusel on NC lülitid, mis väldivad purunenud ühenduse või puuduva lüliti korral seadme kasutamist. Lülitid on võimalik kasutada ka käsitsi seadme peatamiseks mistahes liikumise punktis.

4.6. Toite valik

Antud seadmes on kasutusel kahe pingega tarbijad. Arduino või mikrokontroller, mootori draiver ja muu juht- ning sensorelektroonika kasutavad 5 V pinget. Samm-mootor kasutab pinget vahemikus 8,2-50 V ja see ühendatakse draiverisse, kus pinget moduleeritakse vastavalt mootori lubatud voolugevusele sobivaks pingeks.

Et üks vooluallikas suudaks toita nii juhti kui ka jõuelektroonikat, peab pinge olema valitud kõrgemat pinget nõudva komponendi järgi. Kui pinge peab olema üle 8 V, sobib antud lahendusse 9,6 V NiMH 8-elementiline akuplokk. Seda saab kasutada ka Arduino toiteks, mis vajab pinget suurusega 7-12 V. Alternatiivina saab kasutada jadamisi kaht digitaalset peegelkaamera Li-ion akut, mis annaksid kokku 14,8 V, kuid see variant ei sobi Arduino toiteks. Kaamera akude kasutamise positiivne külg on see, et vajalikud akud ja laadimissüsteem on slaideri kasutajal juba olemas.

Eraldi mikrokontrolleri jaoks, mis vajab pinget $5 \pm 0,5$ V on vaja kasutada pingeregulaatorit. Lähtudes säästlikkusest ja energiatõhususest, on otstarbekas kasutada pinge-impulss stabilisaatorit, mis reguleerib pinget läbi PWM-i ja ei raiska ülejäänud pinget soojusena. Kuna mikrokontrolleri voolutarve on isegi suure koormusega suhteliselt väike, umbes 50 mA[18][19], võib kasutada ka lineaarset pingestabilisaatorit. Kaamera akusid kasutades on pinget vaja langetada umbes kolm korda, akupaki korral kaks korda.

Seade on mõeldud kasutamiseks ka looduses, kus elektrienergia ei ole alati saadaval. Seetõttu peab süsteemi looma võimalikult energiasäästlikuna. Sel eesmärgil valiti pingeregulaatoriks National Semiconductor-i LM1117 800mA lineaarne pingeregulaator[20]. 800 mA on valitud varuga, mis võimaldab süsteemi hiljem laiendada, ilma et peaks muretsema juhtelektroonika toite pärast.

$$t = \frac{U_b \cdot Q}{U \cdot I} \quad (4.1)$$

U_b – aku pinge

Q – elektrilaeng e. mahtuvus

U – pinge

I – voolutugevus

t – aeg

$$t = \frac{9,6 \times 1500}{3,4 \times 1,7} = 2491(\text{mh}) = 2,5 (\text{h})$$

9,6 V NiMH akupaki mahtuvus 1500mAh tagab kasutatava mootoriga (nimipinge 3,4 V ja nimivool 1,7 A) vähemalt 2,5 tunnise tööaja (valem 4.1), kuna antud tulemus kajastab tööaega mootori pideva pingestamise korral.

Akupaki kinnitamiseks on liuguri korpuse küljes plastikust karp. Kui on vajadus pikema kasutusaja järele, on võimalik kasutada eraldiseisvat suurema mahutavusega akupakki ning ühendada liuguriga vaid pikem toitejuhe.

5. PROGRAMMEERIMINE

5.1. Programmeerimiskeel ja arenduskeskkond

Prototüübi ehitamisel kasutati Arduino arendusplaati ja arenduskeskkonda. Arduino arenduskeskkond on Java-põhine programm koos integreeritud koodiredigeerijaga. Programmeerimine toimub C/C++ keeles[21].

Programmis on minimaalselt kaks funktsiooni: „setup()”, mis jookseb ühe korra programmi alguses ja „loop()”, mis jookseb korduvalt kuni seadme sulgemiseni.

I2C protokollide kasutamiseks on Arduino arenduskeskkonnas kaasas *Wire.h library* ehk teek. LCD ekraani jaoks on sellega kaasas oma teek. Kui lõpplahenduses kasutada 2-bitist pöördkooderit, on vaja lisada ka eraldi teek selle tarbeks.

Lõpplahenduses kasutatakse Arduino Leonardo asemel Atmega 16U4 mikrokontrollerit, mille programmeerimiseks kasutatakse kas AVR Studio või Atmel Studio arenduskeskkonda. Mõlemas on kasutusel ka C/C++ programmeerimiskeel, mis võimaldab kasutada prototüübile kirjutatud koodi mõningate muudatustega [22][23].

5.2. Programmi ülesehitus

Seadme programmi ja selle kasutamise saab jagada kaheks põhiliseks osaks: seadme parameetrite seadistamine kasutaja poolt ja seadme iseseisev töö pärast seadistamise lõppemist.

Seadistamise ajal on kasutajal võimalik sisestada erinevad slaideri tööd reguleerivad suurused. Parameetrite seadmine toimub kindlas järjekorras, kuna varem seatud suurused mõjutavad edasiste parameetrite miinimum- või maksimumväärtusi. Varasemate parameetrite muutmiseks on vaja alustada seadistamist algusest, kuna muidu võivad hilisemad suurused uue väärtusega vastuollu sattuda. Seadistamise lõppedes on võimalik seaded kinnitada, pärast mida alustab eelseatud aja möödudes slaideri tööd ja ekraan kustub. Seadistamise lõpetamise ja slaideri töö alguse vahele jääv aeg on vajalik, et kasutaja jõuaks seadme tööalast lahkuda.

5.3. Kasutajaliides ja seadistamine

Seadme parameetrite säätamiseks on kasutusel 16x2 LCD ekraani ja kolm surunuppu või analoogse funktsiooniga kombineeritud surunupp-kooder.

Vedelkristallekraan kuvab esimesel real muudetava parameetri nimetuse. Teisel real on kuvatud muudetav väärtus, mida saab muuta, kasutades „üles/alla“ nuppe või kooderit. Järgmise parameetri muutmiseks kasutatakse kas „edasi“ nuppu või kooderi surunuppu.

Kasutajaliides koosneb seitsmest menüüst(seled 5.1 – 5.7), mille läbimise järjekord on fikseeritud.

1. Säriaeg
2. Pildistusintervall
3. Kaadrite arv
4. Kaadrite tihedus
5. Suund
6. Töö alustamine/uus seadistus
7. Alustamise kinnitus

Menüü on ingliskeelne, et vältida eesti keeles esinevaid täpitähti ja kohmakalt tõlgitavaid tehnilisi märksõnu. Samuti võimaldab ingliskeelne menüü seadet kasutada ka mitte eestikeelse taustaga inimesel.

Säriaeg: säriaega saab seadistada vahemikus 0,5 s kuni 30 s ja lisaks 45 s ning 60 s. Kahe suurima väärtuse korral kasutatakse säritamiseks mikrokontrolleri väljundit ja kaamera *bulb* ehk lõputut säriaega, mis oleneb päästiku all hoidmise ajast. Olgugi et kaamera võimaldab iseenesest kasutada ka lühemaid säriaegu kui 0,5 sekundit, ei ole vaja tulenevalt *time lapse* fotograafia eripärast, kus pildid intervalliga vähem kui üks sekund ei ole otstarbekad, lühemat säriaega seadistada. 0,5 sekundit tähistab sel juhul pikimat säriaega, mida kaamera võib kasutada selliste slaideri parameetrite korral.



Sele 5.1 Säriaaja seadmine

Pildistusintervall: antud suurus tähistab kaadrite vahele jäävat aega sekundites. Pildistusintervalli vähim lubatav väärtus sõltub otseselt kasutatavast säriajast. Kui säriaeg on pikem kui pildistusintervall, hakkab liugur koos kaameraga liikuma enne, kui eelmise pildi säriaeg lõpeb. Kaameratel on puhveraeg, mis on vajalik vahemälu tühjendamiseks pärast paarikümne pildi tegemist. Kuna loodava süsteemiga tehakse järjest sadu fotosid, peab võimaldama kaameral oma mälu pärast iga pilti tühjendada. Selleks jääb piisavalt aega, kui sisestada säriajaks 60-80% pildistusintervallist[1]. Pärast esimeses menüüs sobiva säriaja valimist valitakse teises menüüs minimaalseks intervalliks $t_{int} = \frac{t_{exp}}{0,6}$ mis näiteks 0,5 sekundi puhul oleks $t_{int} = \frac{0,5}{0,6} = 0,83(s)$ ehk alla minimaalse võimaliku intervalli.

Selleks, et garanteerida piisavalt pikk intervall valitud säriaja kohta, on programmis funktsioon, mis otsib etteseadud intervallide jadast sobiva uue minimaalse intervalli.



Sele 5.2 Intervalli seadmine

Kaadrite arv: kaadrite arv sõltub soovitud video pikkusest ja valmiva video kaadrite arvust sekundis. Kaadrite arvule pole tehnilist piirangut.



Sele 5.1 Kaadrite arvu seadmine

Kaadrite tihedus: antud suurus d_f kirjeldab kaadrite arvu ühe meetri kohta, tähistatakse ühikuga $[m^{-1}]$. Sellest oleneb liuguri liikumiskiirus. Piiravaks suuruseks on mootori maksimaalne kiirus. Liuguri liikumiskiirus avaldub valemist 4.1.

$$v = \frac{1}{t_{int} \cdot d_f} \quad (4.1)$$

v - kiirus

t_{int} – intervall

d_f – kaadrite tihedus

Vähim võimalik kaadrite tihedus avaldub valemist 4.2.

$$d_{f_{min}} = \frac{1}{t_{int} \times v_{max}} \quad (4.2)$$

$d_{f_{min}}$ – vähim lubatud kaadritihedus

v_{max} – mootori suurim kiirus



Sele 5.4 Kaadrite tiheduse seadmine

Suund: suuna määramisel ei ole tehnilisi piiranguid.



Sele 5.2 Suuna seadmine

Töö alustamine/uus seadistus: see on programmi viimane menüü. Seal on kasutajal võimalik otsustada, kas ta on enda poolt seatud seadistustega rahul ja soovib käivitada slaideri töötsükli või naasta seadistamise esimesse menüüsse ja alustada kogu seadistamist otsast peale.



Sele 5.3 Töö alustamise/uue seadistuse valimine

Alustamise kinnitus: see annab kasutajale kinnituse seadme töö alustamise kohta ja loeb alla sekundeid kuni seadme töö alguseni. Aja lõppedes käivitub töötsükkel ja LCD ekraani taustvalgus lülitub välja.



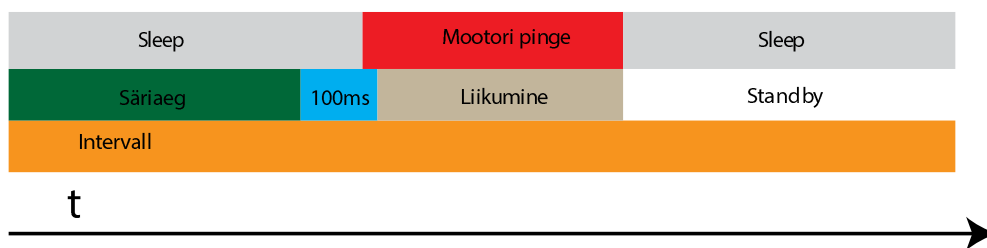
Sele 5.4 Töötsükli alustamise kinnitus

5.4. Seadme iseseisev töösükkel

Pärast seadistamise lõppu alustab slaider töösükli, mis kestab kas ettenähtud kaadrite arvu täitumiseni või lõpplüliti lülitumiseni, mis toimub automaatselt rööpa lõppu jõudes või kasutaja poolt käsitsi.

Seadme töösükkel:

1. Pildistamine
2. Viivitus
3. Kaamera liikumine järgmisesse punkti
4. *Stand by* ehk puhkeseisund järgmise pildini



Sele 5.5 Intervalli ajaline jaotumine

Pildistamisel annab mikrokontroller kaamera päästikusisendile positiivse signaali. Säriaegadeni kuni 30 sekundit k.a antakse kaamerale lühike impulss, mis eeldab kasutajalt, et ta valib kaamerale vastava säriaega. Säriaegadega 45 s ja 60 s annab mikrokontroller kaamerale sama pikkusega signaali. See eeldab kasutajalt säriaega seadmist *bulb* ehk manuaalse säritamise peale. Kuna vähim võimalik sammude arv meetri kohta on 100, on ühe sammu pikkus 10 mm. Vähim võimalik aeg säriaegade ja intervallide kombinatsioonis (sele 5.5) on 0,5 s säriaeg ja 1 s intervall, mis jätab liikumiseks 0,5 sekundit. Et kaamera kindlasti jõuaks pildi lõpuni teha, on pildistamise lõppu enne liikuma hakkamist jäetud viivitus 100 ms. Seega jääb liuguri liikumiseks 0,4 s.

$$v_{max} = \frac{0,01}{0,4} = 0,025 \left(\frac{m}{s} \right) = 25 \left(\frac{mm}{s} \right)$$

Kui täissammu pikkus $s=0,314$ mm, siis suurim pulsagedus f sellise kiiruse saavutamiseks on

$$f_{max} = \frac{v_{max}}{s} = \frac{25}{0,314} = 79,6 \approx 80 \text{ (Hz)}$$

Intervall ehk antud juhul ka *delay* ehk viivitus sammusignaalide vahel on vähemalt

$$t_{min} = \frac{1}{80} = 0,0125 \text{ (s)} = 12,5 \text{ (ms)}$$

Kui samm-mootori draiver kasutab liikumise ühtlustamiseks näiteks veerandsamme, siis on tähtis, et sooritatud sammude arv jaguks neljaga, ehk kuntsliku sammu pöörväärtusega. Kui sammude arvutamisel kasutada täisarve *int* siis täissammude arv on täisarv.

$$int \text{ step} = 1000 / (d_f \times 0,314)$$

Korrutades selle lisasammu suuruse pöörväärtusega saame kindlalt lisasammude arvuga jaguva kogusammude arvu.

6. MAJANDUSLIK ANALÜÜS

Antud lõputööna projekteeritud seade on ainulaadne, mistõttu puudub konkreetne võrdlusmoment analoogsete toodetega.

Tabel 6.1 põhikomponentide hind

KOMPONENT	HIND [€]
Rööpa vineer	2,50
Rööpa U-profiil[24] 5 m detailist saab 3 tk	6,86
Atmega 16U4[25]	2,84
Mootor[26]	10,99
Akupakk [27]	18,14
Draiver[16]	5,41
Kuullaagrid[28]	4,45
LCD[29]	12,00
KOKKU	63,19

Lisaks tabelis 6.1 välja toodud komponentidele on slaideril veel komponente. Jättes ülejäänud osade ja tellitavate tööde jaoks maksimaalselt 200 eurot, on toote lõpphind $63,19 + 200 = 263,19$ (€). Olemasolevate sirgete slaiderite hinnad algavad umbes 750 eurost[2][3], seega siin pakutud lahendus on kordades odavam turul olevatest toodetest.

KOKKUVÕTE

Slaideri loomine koosnes neljast suuremast sammust: rööpa, liuguri, elektroonika ja tarkvara projekteerimisest.

Rööpa materjali ja painutamiseks vajaliku tehnika leidmiseks katsetati variandid läbi makettidel. Lõpplahenduseks valiti 9 mm veekindlast vineerist rööbas, mille painutamiseks kasutatakse alumiiniumist U-profiile. Selline lahendus lubab luua madala hinnaga ühtlase raadiusega painutatava rööpa. Välja töötatud lahendus on tulevikus kasutatav ka muude mõõtmetega analoogsete rööbaste ehitamisel. Rööpal on kinnitused laialtlevinud fotostatiividele kinnitamiseks.

Liuguri ülesanne on ühendada kaamera, elektroonika ja rööbas. Liuguri küljes on vertikaalteljelised rullikud, et tagada selle pidev kontakt rööpaga ja garanteerida kaamera kontrollitud liikumine mööda rööbast. Muutuva raadiusega rööpa tõttu on kasutusel ka vedruga pinguti. Liugurit kannavad kaks rullikut. Neist üks on ühendatud mootoriga ja teine on vabalt veerev.

Eelmises lõigus kirjeldatud liugur on ühendavaks lüliks kogu elektroonikale, mis koosneb kolmest grupist: juhtelektroonika, mootor ja toide. Juhtelektroonika koosneb Atmega 16U4 mikrokontrollerist koos vajalike lisaelementidega ja Texas Instruments DRV8825 kiibil põhinevast samm-mootori draiverimoodulist. LCD ekraani ja kooder-surunupu abil seatakse läbi kasutajaliidese parameetrid slaideri tööks, pärast mida juhib elektroonika slaidarit ja kaamerat vastavalt seadetele. Mootoriks on hübriidsammumootor, mis võimaldab *time lapse*-iks vajalikku aeglast ja kontrollitud liikumist. Toiteks on slaideri küljes kaheksast elemendist koosnev 9,6-voldine NiMH akupakk.

Slaideri programmi arendamine toimus Arduino arenduskeskkonnas. Seal kirjutatud programmi laetakse vajalike muudatustega Atmega mikrokontrollerile selleks sobilikus Atmel Studio või AVR Studio arenduskeskkonnas. Seadme töö parameetrite sisestamine toimub läbi kindla järjekorraga menüüde. Seadme töösükkel arvestab kaamera tööst ja liuguri liikumisest tulenevaid parameetreid.

Siinset lõputööd saab lugeda edukaks, kuna suudeti arendada ainulaadne motoriseeritud muudetava raadiusega kaameraslaider praegu turul olevate motoriseeritud sirgete või konstantse raadiusega motoriseerimata slaidrite kõrvale. Töö tulemus on usaldusväärne, sest enamik samme on läbi proovitud makettide ja prototüüpidega ja lahendus ei ole vaid teoreetiline. Loodud süsteem on lihtsalt edasiarendatav, kuna kasutati laialt levinud ja kättesaadavaid materjale, ja taskukohane, kuna püüti kasutada võimalikult palju fotograafidel olemasolevaid komponente ja välditi nende asjatut dubleerimist.

SUMMARY

The developing process of the slider consisted of designing the rail, the slider carriage, the electronics and the programme.

Models were used to find the best suitable material and method for bending of the rail. The final design uses 9 mm waterproof film faced plywood. U-shaped aluminium profiles are used for bending the rail. This solution guarantees a curved rail with a constant radius and a low price. It enables to create rails of different dimensions using the same design. The rail features fixture points to be used with common camera tripods.

The slider carriage connects the rail with the camera and the electronics. The carriage has rollers with vertical axes to fix the position of the carriage to the rail and to guarantee a controlled movement of the camera along the rail. A tensioner is used to push the other rollers to the variable radius rail. Two horizontal rollers carry the weight of the carriage. One is driven by the motor, the other is free rolling.

The carriage is the connecting link for all of the electronics. The control unit consists of Atmega 16U4 MCU with its necessary extra components and Texas Instruments DRV8825 based stepper driver unit. A combination of a 16x2 LCD and an encoder-pushbutton is used to set the parameters of the motion. The electronics control the work of the motor and the camera during the work cycle. The project uses a hybrid stepper motor that provides the slow but controlled motion required for time lapse photography. A 9.6 volt NiMH battery pack is used for the power supply.

Arduino development environment was used for the creation of the programme for the slider. The created programme can be loaded to the Atmega microcontroller using minor adjustments to the code in Atmel Studio or ATR Studio development environment. Menus with a fixed sequence are used to set the parameters for the motion of the slider. Limitations of the camera and the movement of the slider are taken into account in the work cycle.

This thesis project can be considered successful. The result is a one of a kind variable radius motorised camera slider compared to existing straight motorised sliders or curved manual sliders with a fixed radius. The results are credible as most of the solutions are tested in real life

with models or prototypes and are not merely theoretical. The developed system can be easily modified as common and available materials were used. Common photographer's arsenal was taken into consideration when designing the slider, so it is compatible with usual photography equipment and designing unnecessary, one of a kind components was avoided. Using the pre-existing equipment results in a more affordable price.

KASUTATUD KIRJANDUS

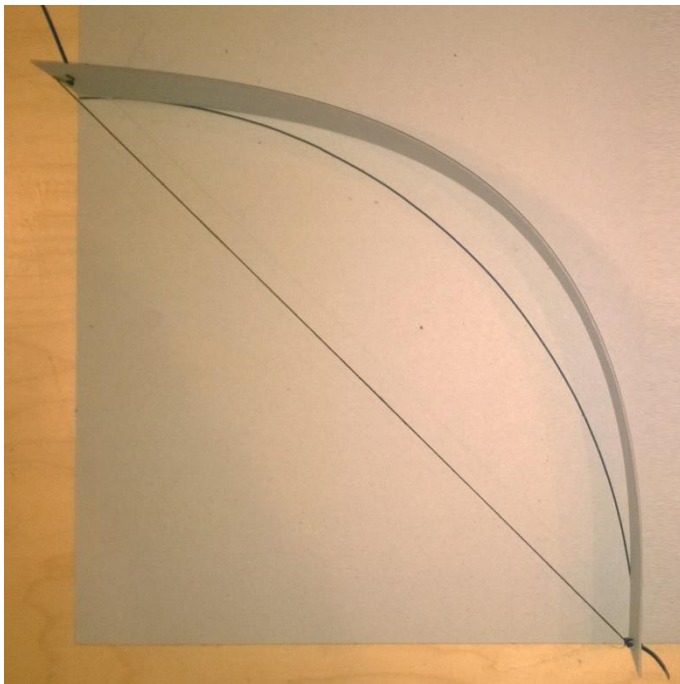
- [1] Learn Time Lapse: How to Choose a Time Lapse Interval
[WWW] <http://www.learntimelapse.com/how-to-select-a-time-lapse-interval/>
(27.12.2015)
- [2] Cinevate veebipood: Atlas 10 Moco
[WWW] <http://www.cinevate.com/store2/camera-movement/motion-control/atlas-10-moco.html#sthash.9O4gccf9.dpbs> (15.12.2015)
- [3] Bhphotovideo veebipood. Cinetics Axis360 Pro
[WWW] http://www.bhphotovideo.com/c/product/1046460-REG/cinetics_apr_axis360_pro_motorized_slider.html (15.12.2015)
- [4] Salmo veebipood: Salmo ridvakott
[WWW] <http://salmo.ee/et/product/ridvakott-215-cm> (27.12.2015)
- [5] Baumax veebipood: 9 mm veekindel vineer
[WWW] <https://www.baumax.ee/et/puit/puitplaadid/veekindel-filmkattedega-vineer-ff-1250x2500.html> (5.01.2016)
- [6] Civilengineer: kalkulaator
[WWW] <http://civilengineer.webinfo.com/str/micalcchn.php> (27.12.2015)
- [7] Make It From: alumiiniumsulami 6060 omadused
[WWW] <http://www.makeitfrom.com/material-properties/6060-ALMgSi-3.3206-A96060-Aluminum/> (27.12.2015)
- [8] Euler: keermete mõõtmed
<http://euler9.tripod.com/bolt-database/23.html> (27.12.2015)
- [9] Photokonnexion: fotograafia standardkeermed
[WWW] <http://www.photokonnexion.com/photography-thread-size/> (5.01.2016)
- [10] Wantai Motor: hübriid sammootor 42BYGHW
[WWW] <http://www.wantmotor.com/ProductsView.asp?id=155&pid=80>
(18.10.2015)
- [11] Piclist: NEMA standardmootori mõõtmed
[WWW] <http://www.piclist.com/techref/io/stepper/nemasizes.htm> (27.12.2015)
- [12] Arduino: *pull up* ja *pull down* takistid
[WWW] <http://playground.arduino.cc/CommonTopics/PullUpDownResistor>
(22.11.2015)

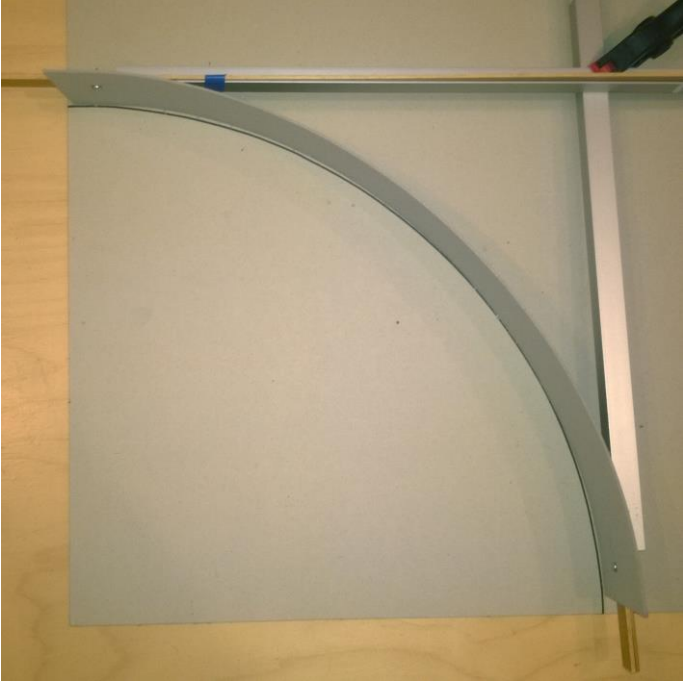
- [13] I2c-bus: I2C siin
[WWW] <http://www.i2c-bus.org/i2c-bus/> (20.12.2016)
- [14] Texas Instruments: drv8825 kiibi andmeleht
[WWW] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv8825.pdf> (12.11.2015)
- [15] NMB Technologies Corporation: sammootori sammusuurused
[WWW] <http://www.nmbtc.com/step-motors/engineering/full-half-and-microstepping/> (05.01.2016)
- [16] Pololu veebipood: sammootori draiver
[WWW] <https://www.pololu.com/product/2133> (12.11.2015)
- [17] Doc-DIY: kaamerate päästikupistikud
[WWW] http://www.doc-diy.net/photo/remote_pinout/ (22.10.2015)
- [18] Arduino foorum: Arduino arendusplaatide energiakulu
[WWW] <http://forum.arduino.cc/index.php?topic=118875.0> (22.11.2016)
- [19] Gammon: Atmega328P energiakulu
[WWW] <http://www.gammon.com.au/forum/?id=11497> (22.11.2016)
- [20] National Semiconductor: LM1117 andmeleht
[WWW] http://www.ece.usu.edu/ece_store/spec/LM1117T.pdf (20.12.2015)
- [21] Arduino: arenduskeskkond
[WWW] <https://www.arduino.cc/en/Main/Software> (20.12.2015)
- [22] Atmel: AVR Studio 5 arenduskeskkond
[WWW] http://www.atmel.com/microsite/avr_studio_5/ (20.12.2015)
- [23] Atmel: Atmel Studio arenduskeskkond
[WWW] <http://www.atmel.com/microsite/atmel-studio/> (20.12.2009)
- [24] Nael veebipood: alumiiniumprofiilide hinnad
[WWW] <http://nael.ee/?op=body&id=2&prod=870&sid=5904> (08.01.2016)
- [25] Atmega 16U4
[WWW] <http://www.atmel.com/devices/ATMEGA16U4.aspx> (08.01.2016)
- [26] E3d veebipood: Wantai sammootor
[WWW] <http://e3d-online.com/NEMA17-40Ncm> (08.01.2016)
- [27] Batteryspace veebipood: 9,6V akupakk
[WWW] <http://www.batteryspace.com/Custom-NiMH-Battery-9.6-V-2200mAh-with-Polyswitch-and-connector.aspx> (08.01.2016)

- [28] Thebigbearingshop veebipood: 8x22x7 kuullaager
[WWW] <http://www.thebigbearingstore.com/608-2rs-608-zz-radial-ball-bearing-8x22x7-skate-bearing/> (08.01.2016)
- [29] Oomipoe veebipood: 16x2 I2C LCD
[WWW] <http://www.oomipood.ee/product/lcd-disp-module/lcd-ekraan-sinine-1602-iic-i2c-mooduliga-5v&ac=1> (08.01.2016)

LISA 1

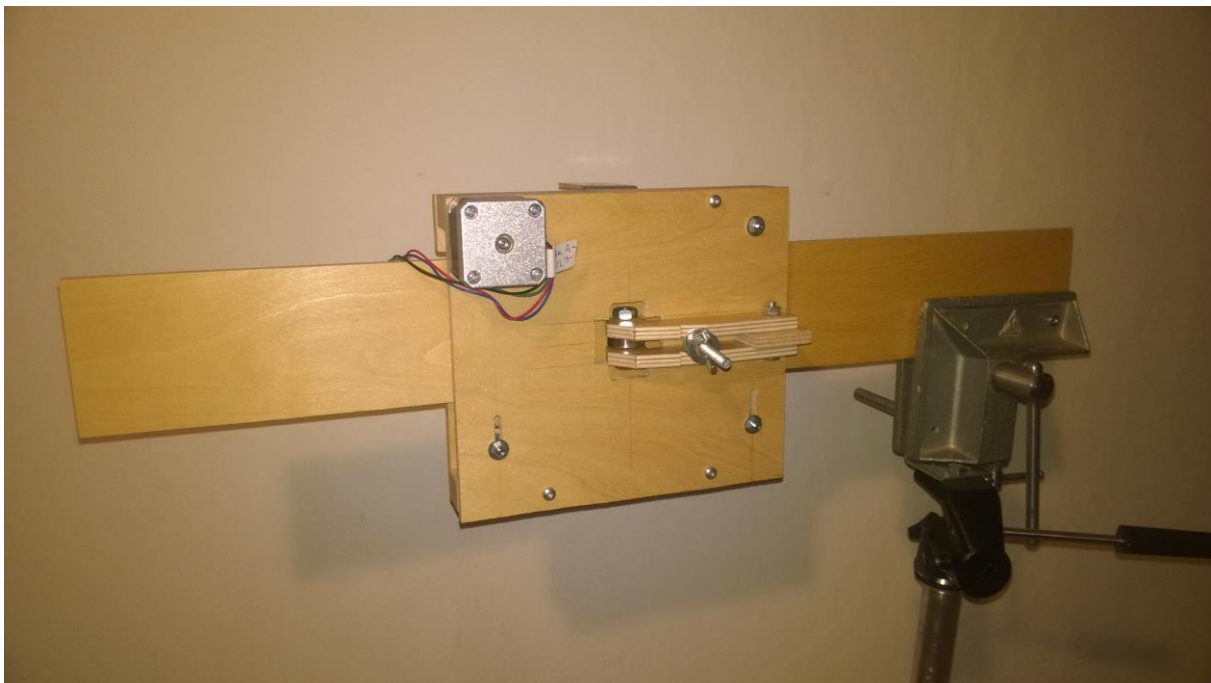
Rööpa painutamise maketid





LISA 2

Liuguri prototüüp koos mootoriga



LISA 3

Liuguri illustreerivad renderdused

