



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
MEHAANIKATEADUSKOND

Mehhatroonikainstituut

Mehhanosüsteemide komponentide õppetool

MHE40LT

Kristjan Joost

JALGPALLIROBOTI SANGPOMM
LÖÖGIMEHHANISM
Bakalaureusetöö

Autor taotleb
tehnikateaduste bakalaureuse
akadeemilist kraadi

Tallinn
2015

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 bakalaureusetööle esitatavatele nõuetele.

“.....”.....201...a.

Juhendaja

..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.

..... õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“.....”.....201... a.

..... allkiri

TTÜ mehhatroonikainstituut
Mehhanosüsteemide komponentide õppetool
BAKALAUREUSETÖÖ ÜLESANNE

2015. aasta kevadsemester

Üliõpilane: Kristjan Joost, 123757MAHB

Õppekava: MAHB02/09

Juhendaja: dotsent Igor Penkov

Konsultandid:

LÕPUTÖÖ TEEMA (eesti ja inglise keeles):

Jalgpalliroboti Sangpomm löögimehhanism

Football robot Sangpomm shooting mechanism

Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1	Löögimehhanismi üldkontseptsiooni välja ehitamine	23.03.2015
2.	Kasutatavaid materjalid ja mehaanika komponentide arvutus	06.04.2015
3.	Palli löömiseks vajalik jõud, palli trajektoor, liikumiskaugus ja takistused	02.05.2015
4.	Solenoidi arvutus	20.04.2015
5.	Juhtimis algoritmide välja töötamine	04.05.2015
6.	Löögimehhanismi modelleerimine, tehnilised joonised ja spetsifikatsioonid	15.05.2015
7.	Lõputöö vormistamine	20.05.2015

Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid:

Kasutatavate materjalide analüüs, palli liikumine ja takistused, solenoid, juhtimissüsteem.

Esitav graafiline materjal:

Kaitsmistaotlus esitada dekanaati hiljemalt 18.05.2015
22.05.2015

Lõputöö esitamise tähtaeg

Üliõpilane Kristjan Joost /allkiri/ kuupäev 18.03.2015

Kontakttelefon 55500144

E-mail: kjoost93@gmail.com

Juhendaja Igor Penkov

/allkiri/ kuupäev 18.03.2015

Konfidentsiaalsusnõuded ja muud ettevõttepoolsed tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÕNA	6
1. SISSEJUHATUS	7
2. ROBOT	9
3. LÖÖGIMEHCHANISMI NÕUDED JA ÜLDKONSEPTSIOON	11
3.1. Nõuded löögimehhanismile	11
3.2. Löögimehhanismi üldkonseptsioon	12
4. SOLENOID	13
4.1. Induktiivsus	13
4.2. Takistus.....	14
4.3. Jõud.....	15
4.4. Energia ja palli ligikaudne kiirus	16
4.5. Solenoidi parameetrite valik	17
5. PALLI TRAJEKTOOR JA LIIKUMISKAUGUS	23
6. PALLIDE TUVASTAMINE	28
6.1. Andur	28
6.2. Infrapuna diod.....	29
6.3. Anduri ja diodi ühendamine	30
7. VEDRUD	31
7.1. Vedru konstruktsioon	31
7.2. Vedru valik löögimehhanismile.....	31
8. LAAGRID	34
8.1. Laagri valik löögimehhanismile	35
9. DETAILIDE MATERJALID	36
10. PROJEKTI HIND	37
11. TARKVARA	38

12. LÖÖGIMEHCHANISMI DISAIN	40
12.1. Vana löögimehhanism	40
12.2. Uus löögimehhanism	40
12.2.1. Linearlaagri karp ja tugi.....	41
12.2.2. Anduri ja valgusdiodi karp	42
12.2.3. Löögisahk	42
12.2.4. Solenoid	42
KOKKUVÕTE	44
SUMMARY	45
KASUTATUD KIRJANDUS	46
LISAD	48
LISA 1	49
LISA 2	50

EESSÕNA

Töö teema arenes välja 2014 aastal Tallinna Tehnikaülikooli Robotiklubis alustatud projektist, nimelt kursuse käigus sai ehitatud jalgpallirobot nimega Sangpomm Robotex 2014 võistluseks. Saavutasime 20 meeskonna seast 7. - 8. koha. Juba võistlusel oli näha, et järgmine aasta tuleb teha märgatavalt palju muudatusi nii programmeerimise, kui ka teatud mehaanika lahendustes. Põhieesmärk oli välja töötada ja arendada uus löögimehhaism, mis oleks tunduvalt efektiivsem ning suudaks lüüa pallid kiiremini väravasse. Uue löögimehhanismi loomise võtsin enda ülesandeks ja kuna oli vaja leida ka endale lõputöö teema, siis otsustasin kaks asja omavahel siduda. Antud bakalauruse lõputöö oli kirjutatud Tallinna Tehnikaülikooli mehhatroonika instituudi dotsendi Igor Penkovi juhendamisel. Avaldan tänu TTÜ Füüsikainstituudi õppejõule Veljo Siniveele, kes oli nõuga abiks solenoidi arvutuste tegemisel ning Igor Penkovile lõputöö juhendamise eest.

1. SISSEJUHATUS

Selle lõputöö ülesandeks on projekteerida TTÜ Robotiklubis ehitatud jalgpallirobotile uus löögimehhanism. Uue löögimehhanismi vajadus tekkis, sellest et vana mehhanism ei olnud küllalt efektiivne ning ei täitnud oma ootusi Robotex 2014 võistlusel. Vanal süsteemil oli mitmeid erinevaid puudusi. Rull, mis hoidis palli löögimehhanismi ees töötas tihtipeale liiga suurel kiirusel ja selletõttu palli löömise kiirus vähenes tunduvalt, hiljem otsustati rullik üldse ära jätta ning toimus ainult palli tuvastamine ja löömine. Süsteemis tekkis ka rulliku, võllide ning löögisaha kinnikiilumisi.

Ideed uue löögimehhanismisi loomisel on ära kaotada rullik, teha uus pallide tuvastamise süsteem, kasutada löömisel nurga all löögisaha ning disainida uus solenoid. Uue solenoidi idee tekkis sellest, et põhiliseks probleemiks vanal süsteemil oli liiga nõrk löök, tihtipeale ei jõudnud pall isegi väravasse. Löögi nõrkuse üheks põhjuseks oli see, et kasutati ostu toodet, kus mähise takistus oli ligikaudu 20Ω ning selletõtt vool, mis mähisest läbi läks oli küllaltki väike. Löögi jõu määrab ära vool, mis läbib mähist, seega mida nõrgem vool, seda nõrgem on ka löögitugevus.

Lõputöö raames kirjeldatakse olulisi parameetreid, mida on vaja uue löögimehhanismi loomisel jälgida ja milliseid komponente sellele süsteemile peaks valima. Välja on toodud üks võimalikest palli tuvastamise süsteemist ning kirjeldatakse ka üldist jalgpalliroboti ning löögimehhanismi põhimõtet. Löögimehhanismi mehaaniline disain on loodud SolidWorks tarkvaraga, millest on võimalik luua lihtsasti ja kiiresti vajaminevaid mudeleid 3D printeriga printimiseks. Erinevad arvutused on tehtud Microsoft Exceliga.

Lõputöös loodud löögimehhanismi lahendus on mehhatrooniline süsteem. Mehaanika osa kirjeldab vedru ja laagri valikut. Lisaks pallitrajektoori ära arvamist ning kogu süsteemi CAD mudeli loomist ja materjalide valikut. Mehaanika osa on kirjeldatud peatükkides 5, 7, 8 ja 9.

Elektroonika osa lõputöös võtab enda alla suuremas mahus solenoidi arvutused. Solenoidi eesmärk on löögimehhanismile tekitada löök, et pall väravasse lüüa. Lisaks on keskendatud süsteemi anduri ja valgus diodi valikule ning ühendamisele. Elektroonika osa on kirjeldatud peatükkides 4 ja 6.

Tarkvara osa löögimehhanismi süsteemis võtab enda alla tarkvara kirjeldamise laadimisest kuni löögitekitamiseni. Tarkvaras on kirjeldatud kaua peaks toimuma kondensaatori laadimine, mis saab kui pall on tuvastatud ning millal võib sooritada löögi. Tarkvara osa on kirjeldatud peatükis 11.

2. ROBOT

Robot, mille löögimehhanismi arendust tehakse on Tallinna Tehnikaülikooli Robotiklubis jalgpalliroboti kursuse raames projekteeritud ja ehitatud robot.

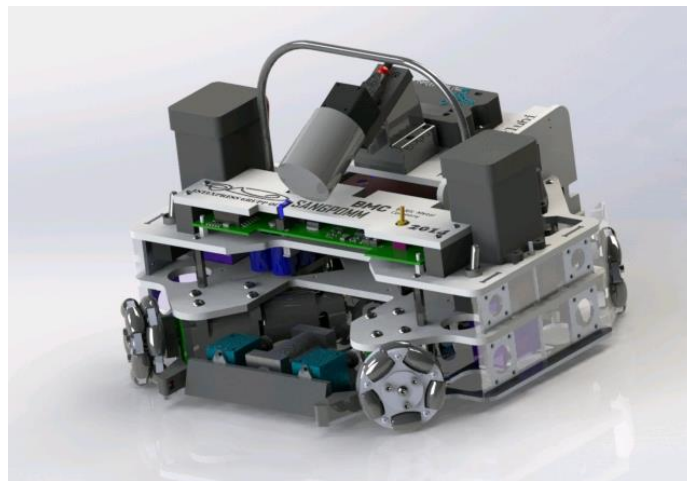
Nimi: Sangpomm

Aasta: 2014

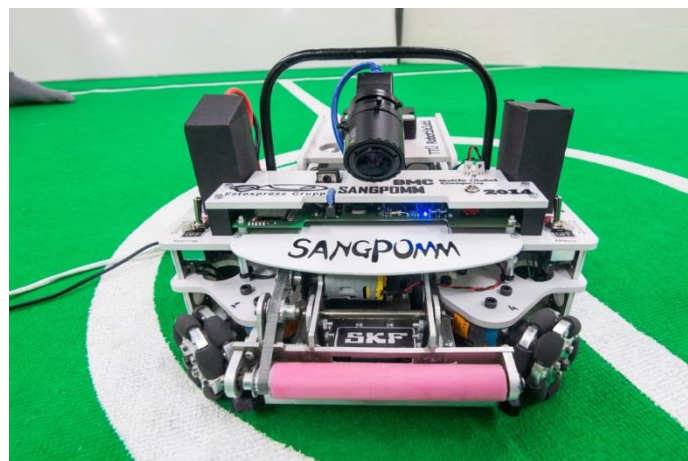
Mass: 6 kg

Rataste arv: 4 *omniwheel* ratast

Kaamerad : ette vaatav kaamera + taha vaatav Robotex 2015-ks



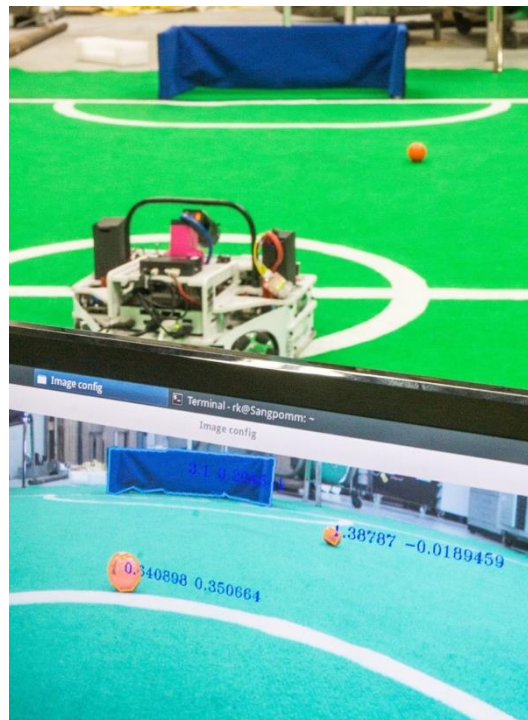
Joonis 2.1. Sangpommi 3D mudel



Joonis 2.2. Robot Sangpomm

Pallide ja värava tuvastus väljakul tehakse roboti poolt ära pilditötlusega. Nimelt on roboti peal kaamera, mis on suunatud ette vaatama ning robot tuvastab värvi pikslitega järgi ära, kus on sinine ja kollane värav ning oranžid pallid. Värav, kuhu rünnatakse määratakse ära mängu

algul ning antud roboti puhul piisab ühe nupu vajutusest, et rünnak teisele väravale suunata. Joonisel 2.3 on kujutatud roboti pilditöötlus, kus on näha et tuvastatud on kahe palli ning sinise värava asukoht. Vasakpoolne number näitab objekti kaugust meetrites ning parempoolne selle kauguse vaatevälja keskkpunktist radiaanides. Kaamera on varasemalt ära kalibreeritud ning vastavalt igale nurgale koostatud valemid, mis arvutavad välja palli ligikaudse väärtuse. Robot sõidab pallini ning edasine palliga toimetamine löögimehhanismi teha.



Joonis 2.3. Roboti pilditöötlus – pallide ja värava tuvastamine

3. LÖÖGIMEHCHANISMI NÕUDED JA ÜLDKONSEPTSIOON

Löögimehhanismi põhimõte on toimetada roboti poolt väljakult leitud pallid väravasse. Mängu ajal tuvastatakse roboti poolt kõigepealt palli asukoht väljakul, seejärel sõidab ta pallini. Pallini jõudes peab robot arusaama, et pall on tema ees. Enne löögi sooritamist peab robot nägema veel väravat, kui värav on vaate ulatuses sooritab ta löögi väravale. Palli tuvastamist tehakse tavaliselt, kas mingi anduri või pilditöötluse abiga.

3.1. Nõuded löögimehhanismile

Robotexi korraldajate poolt on Robot ei tohi mängu jooksul katta pallist rohkem kui on palli raadius 21,5 mm ning teda üles tõstes ei tohi ükski pall roboti külge jääda. Võistluse korraldajate poolt on välja töötatud lubatud ja mittelubatud palliga manipuleerimise olukorrad (joonis 3.2, 3.3) [1].



Joonis 3.2. Palliga lubatud manipuleerimise olukorrad



Joonis 3.3. Palliga mittelubatud manipuleerimise olukorrad

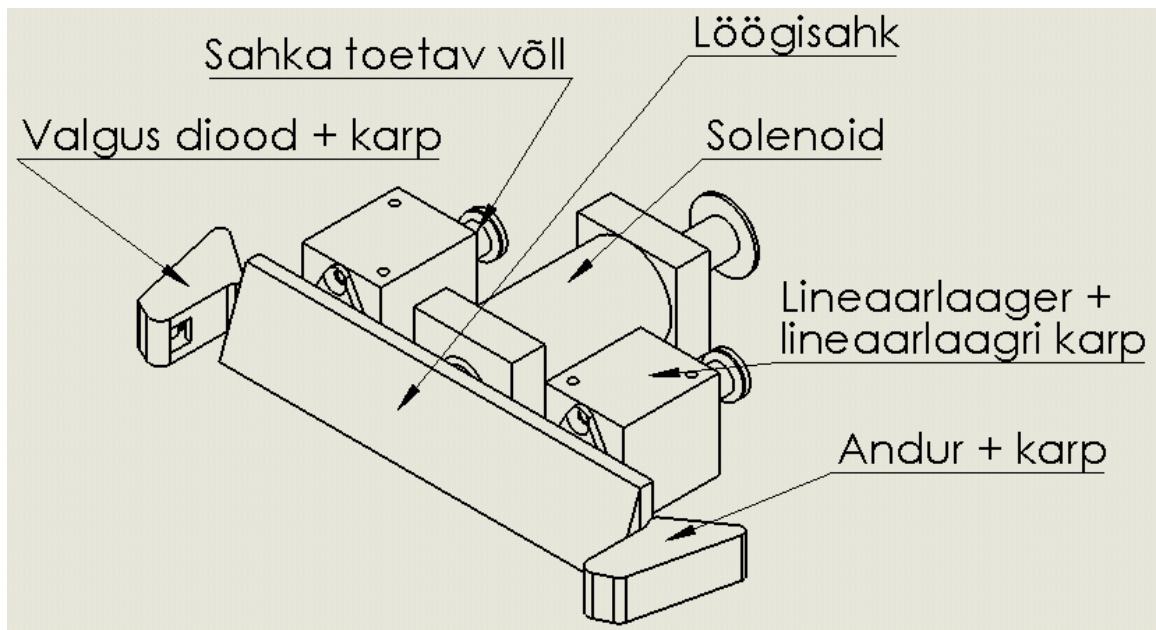
Palli käsitlemisel roboti poolt otseseid piiranguid ei ole, ainuke olukord, mille korral väravat ei loeta, on järgmine: robot on haaranud võistlusalast täielikult väljunud ehk audis palli, triblanud sellega ning löönud selle siis väravasse [1].

Järgnevalt on toodud nõuded palliga, mille vastu mängu ajal eksimise korral eemaldatakse robot väljakult antud vooru lõpuni [1]:

- robot ei tohi korraga opereerida rohkem kui ühe palliga;
- robot ei tohi palle väravast välja võtta

3.2. Löögimehhanismi üldkonseptsioon

Sangpommile on välja töötatud löögimehhanismi uus konseptsioon (joonis 3.1). Joonisel on kujutatud mehhanismi komponendid ning nende paigutus.

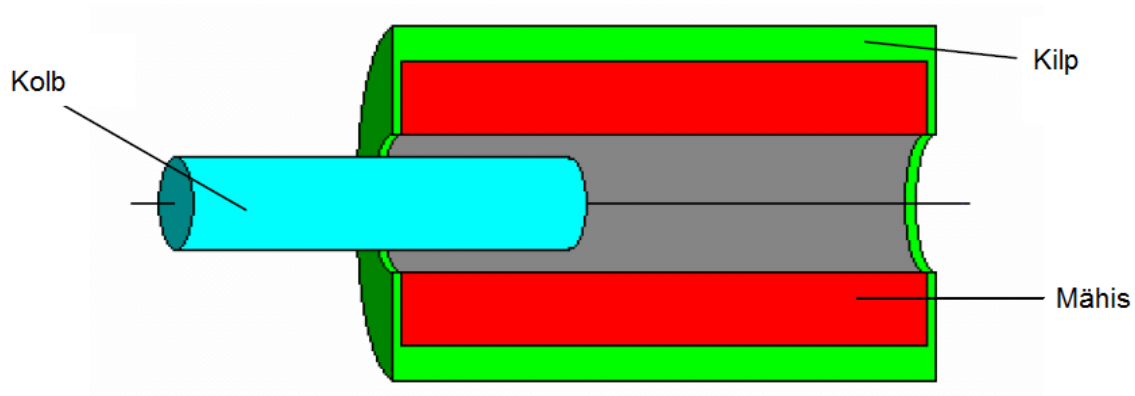


Joonis 3.1. Löögimehhanismi üldkonseptsioon

Üldkonseptsioon koosneb solenoidist, kahest lineaarlaagrist, löögisahast, saha juhikutest, andurist ja diodist ning lisaks on süsteemis komponentide fikseerimiseks niinimetatud karbid. Anduri ja valgus dioodi eesmärk on palli tuvastamine, solenodi eesmärk on süsteemis löögi tekitamine, sahk annab löögi edasi pallile ning saha toetavad linearsel liikumisel kaks võlli/juhikut. Kogu süsteem kinnitatakse poltliidetega roboti alusplaadi külge.

4. SOLENOID

Solenoid on seade, kus muundatakse elektrienergia mehaaniliseks energiaks. Liikumise järgi liigitatakse solenoide lineaarliikumisega ja pöörliikumisega solenoidideks. Solenoid koosneb peamiselt mähisest, kolbist ja kilbist (joonis 4.1) [3].



Joonis 4.1. Solenoidi ehitus

4.1. Induktiivsus

Solenoidi induktiivsus sõltub solenoidi mähisest, mis omakorda sõltub pooli pikkusest ja läbimõõdust. Induktiivsust on võimalik välja arvutada Wheeleri valemiga (4.1) [2].

$$L = \frac{0.0315 \cdot N^2 \cdot \left(\frac{R_1 + R_2}{2}\right)^2}{6 \cdot \frac{R_1 + R_2}{2} + 9 \cdot l_{mähis} + 10 \cdot (R_2 - R_1)}, \quad (4.1)$$

kus

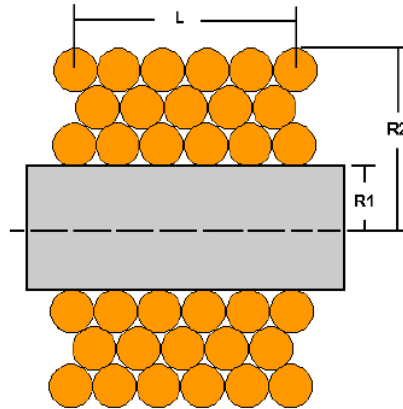
N - juhtme keerdude arv [-];

R_1 - sisemine raadius [m];

R_2 - välimine raadius [m];

$l_{mähis}$ - mähise pikkus [m];

L - induktiivsus [mH].



Joonis 4.2. Mitmekihilise solenoidi läbilõige

Mähises olevate juhtme keerdude arv on arvutatav valemiga (4.2) [2].

$$N = \frac{R_2 - R_1}{d} \cdot \frac{l_{mähis}}{d}, \quad (4.2)$$

kus

N - juhtme keerdude arv [-];

R_1 = sisemine raadius [m];

R_2 - välimine raadius [m];

$l_{mähis}$ - mähise pikkus [m];

d - juhtme paksus [mm].

4.2. Takistus

Solenoidi takistus sõltub traadi materjalist, diameetrist ja juhtme pikkusest. Juhtme pikkus on arvutatav valemiga (4.3) [2].

$$l_{juhe} = 2\pi \cdot \left(R_1 + \frac{(R_2 - R_1)}{2} \right) \cdot N, \quad (4.3)$$

kus

R_1 - sisemine raadius [m];

R_2 - välimine raadius [m];

N - juhtme keerdude arv [-];

l_{juhe} - juhtme pikkus [m].

Solenoid sisaldab tavaliselt vasktraati, kuna see on väga hea elektrijuht, ei magnetiseeru ja samuti ka hea kättesaadavusega. Kui on teada traadi takistuse ühe ühiku kohta, on tänu sellele võimalik välja arvutada mähise takistus valemiga (4.4) [2].

$$R = \rho \cdot l_{juhe}, \quad (4.4)$$

kus

R - takistus [Ω];

ρ - takistus ühe ühiku kohta [Ω/m];

l_{juhe} - juhtme pikkus [m];

Traadi takistused ühe ühiku kohta on antud mähisetraadi andmelehel [17].

4.3. Jõud

Solenoidi jõudu on võimalik välja arvutada Lorentzi valemiga (4.5) [2].

$$F = B \cdot I \cdot l_{juhe}, \quad (4.5)$$

kus

B - magnetiline induktsioon [T];

I - voolutugevus [A];

l_{juhe} - juhtme pikkus [m].

Kui on teada, et kondensaatorisse laetakse pinge 200 V-ni ning oleme välja arvutanud mähise takistuse, siis voolutugevus on võimalik välja arvutada Ohmi seadusega (4.6).

$$I = \frac{U}{R}, \quad (4.6)$$

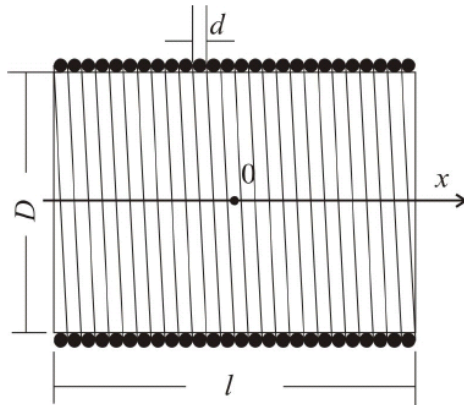
kus

I - voolutugevus [A];

U - kondensaatorisse laetud pinge [V];

R - mähise takistus [Ω].

Solenoidiks nimetatakse ühtlase sammuga keritud traatspiraali, mida läbib elektrivool. Kui traadi ristlõike diameeter $d \ll l$, kus l on pooli pikkus ja keerud on tihedasti üksteise kõrval, siis võib solenoidi vaadelda ühesuguse raadiuse ja ühise teljega ringvoolude süsteemina (joonis 4.3). Solenoidi magnetvälja magnetiline induksioon on siis kõikide ringvoolude magnetiliste induksioonide summa [4].



Joonis 4.3. Solenoidi läbilõige

Kui lisaks ülaltoodule on solenoidi valmistamisel järgitud nõuet, et $d \ll D$ ja $l \gg D$, kus D on solenoidi ristlõike diameeter, siis on magnetilise induksiooni B suurus solenoidi õõnsuses (eemalsolenoidi otstest) kõikjal ühesugune ning arvutatav valemiga (4.7) [4].

$$B = \mu_0 \cdot N \cdot I, \quad (4.7)$$

kus

μ_0 - magnetiline konstant [H/m];

N - juhtme keerdude arv [-];

I - voolutugevus [A].

Magnetiline konstant ehk vaakumi magnetiline läbitavus on füüsikakonstant, mis seob mõõtühikute süsteemi elektrilised ja magnetilised ühikud selle süsteemi mehaaniliste ühikutega. Magnetilise konstandi põhiline ühik on henri meetri kohta [6].

$$\mu_0 = 1,25663706144 \cdot 10^{-6} \text{ H/m}$$

4.4. Energia ja palli ligikaudne kiirus

Kineetiline energia on energia, mis on tingitud keha liikumisest teiste kehade suhtes. Klassikalises mehaanikas näidatakse, et kui keha massiga m liigub kulgevast kiirusega v , siis omab ta kineetilist energiat. Kineetiline energia on leitav valemiga (4.8) [9].

$$E_K = \frac{m \cdot v^2}{2}, \quad (4.8)$$

kus

E_K - kineetiline energia [J];

m - palli mass [kg];

v - palli kiirus [m/s].

Teades palli massi, milleks on 48 g ja kui me leiame magnetvälja salvestatud energia valemiga (4.9) ja oletame, et süsteem on ehitatud nii, et 50 % energiast ei jõua pallini välja siis saame välja arvutada ligikaudse palli kiiruse avaldades kiiruse valemist (4.8), mis muidugi ei pruugi vastatada tegelikkusele, kuna kadusid hinnata on väga raske.

$$E = \frac{L \cdot I^2}{2}, \quad (4.9)$$

kus

E - magnetvälja salvestatud energia [J];

L - induktiivsus [mH];

I - voolutugevus [A].

4.5. Solenoidi parameetrite valik

Solenoidi disainimisel tuleb arvesse võtta mitmeid erinevaid näitajaid. Hea solenoidi loomine on küllalt keeruline tegevus, kuna arvesse tuleb võtta mitmeid erinevaid parameetreid, mis üksteist ka omavahel mõjutavad. Näitajad, mis määravad ära solenoidi käitumise ja töö efektiivsuse on näiteks induktiivsus, jõud, materjalid, juhtme paksus sellest tulenevalt ka solenoidi keerdude arv, solenoidi pikkus jne.

Löögitugevuse määrab ära vool, mis mähisest läbi läheb. Mähise poolt tekitatud magnetvälja omakorda määrab ära see, kui suur induktiivsus sellel poolil on, selle pooli induktiivsuse määrab ära, mitu keerdu seal sees on ja mitu keeret seal see on määrab ära kui suur takistus selle mähisel on ja see omakorda määrab ära kui suur vool seal sees olla saab. Mida paksemat traati kasutada seda väiksem on takistus ja seda suurem vool võib sealt läbi minna, aga samas seda madalam on ka induktiivsus.

Arvutamise juures tuleks aluseks võtta mingid parameetrid, mida ei ole võimalik muuta. Antud löögimehhanismi solenoidi juures on selleks: mähise sisemine raadius, mis on 12,5 mm; maksimum välimine raadius, mis on 22 mm ning mähise pikkus, mis on 50 mm. Need mõõtmed on võetud selle järgi, kuidas süsteem robotisse kõige paremini mahub. Kuna sisemine raadius oli fikseeritud ja maksimum välimine raadius teada, on teostatud erinevad arvutused muutes mähise välimist raadiust (tabel 4.1 - 4.6). Välimist raadiust muutes tuli järgida parameetreid, mille alusel head solenoidi tuvastada. Selleks sai aluseks võetud soovitusel, et hea solenoidi induktiivsus mahub piiridesse 9 - 11 mH, takistus 2 - 5 Ω ning vool võiks olla kuni 50 A, samal ajal sai jälgitud ka jõudu ning ligikaudset pallikiirust [5]. Tabelites 4.1 - 4.6 on jälgitavad parameetrid väljatoodud rohelise taustavärviga ja kõige paremad tulemused antud R_2 juures punases bold kirjas.

Tabel 4.1. Solenoidi arvutused, R2 = 17 mm

Ninetus		Traadi paksumus :		d		0.4		0.5		0.6		0.71		0.8		1	
Juhitne keerutude arv:		m		N		1563		1000		692		493		394		250	
Ninetus		tähtis		m		48		kg									
Sisemine raadius	R1	12,50	12,50	0,0125	=12,5												
Väliline raadius	R2	17	17	0,017	<22												
Mähse pikkus	Icoil	50	50	0,05	<50												
Ninetus		tähtis		m		48		kg									
Palli mass																	
Induktiivsus	L	7,416	7,416	28,674	mH												
Juhitne pikkus	ljuh	73,645	73,645	144,808	m												
Takistus ühiku kohta	p	0,0694	0,0694	0,136	ohm/m												
Mähse takistus	R	5,111	5,111	19,694	ohm												
Pinge	U	200	200	200	V												
Vool	I	39,132	39,132	10,155	A												
Magnetiline konstant	μ	0,000001256	0,000001256	0,000001256	H/m												
Magnetiline induktsoon	T	0,039	0,039	0,020	T												
Jõud	F	112,553	112,553	29,309	N												
Magnetvälja salvestatud energia	J	2,839	2,839	0,739	J												
Palli kiirus	v	10,877	10,877	5,550	m/s												
Kasutegur	η	0,5	0,5	0,5	-												

Tabel 4.2. Solenoidi arvutused, R2 = 18 mm

Ninetus		Traadi paksumus :		d		0.4		0.5		0.6		0.71		0.8		1	
Juhitne keerutude arv:		m		N		1875		1200		830		592		473		300	
Ninetus		tähtis		m		48		kg									
Sisemine raadius	R1	12,50	12,50	0,0125	=12,5												
Väliline raadius	R2	18	18	0,018	<22												
Mähse pikkus	Icoil	50	50	0,05	<50												
Ninetus		tähtis		m		48		kg <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td>									
Palli mass																	
Induktiivsus	L	8,460	8,460	43,176	mH												
Juhitne pikkus	ljuh	79,529	79,529	179,660	m												
Takistus ühiku kohta	p	0,053	0,053	0,136	ohm/m												
Mähse takistus	R	4,215	4,215	24,434	ohm												
Pinge	U	200	200	200	V												
Vool	I	47,449	47,449	8,185	A												
Magnetiline konstant	μ	0,000001256	0,000001256	0,000001256	H/m												
Magnetiline induktsoon	T	0,049	0,049	0,019	T												
Jõud	F	186,659	186,659	28,348	N												
Magnetvälja salvestatud energia	J	4,762	4,762	0,723	J												
Palli kiirus	v	14,086	14,086	5,489	m/s												
Kasutegur	η	0,5	0,5	0,5	-												

Tabel 4.3. Solenoidi arvutused, R2 = 19 mm

		Traadi paksus :		d		0,4		0,5		0,56		0,6		0,71		0,8		1		
		Juhtne keertlute arv:		N		2188		1400		1113		968		690		551		350		
Ninetus	tähis	mm	m	pirang	m	0,0125	=12,5	0,019	<22	0,05	<50	ühik	tähis	g	kg					
Sisemine raadius	R1	12,50	0,0125	pirang	m	0,0125	=12,5	0,019	<22	0,05	<50	ühik	tähis	g	kg					
Väliline raadius	R2	19	0,019	<22																
Mähse pikkus	Icoil	50	0,05	<50																
		Ninetus		ühik	tähis															
		Palli mass		g	m	48	0,048													
		Induktiivsus		mH	L	61,347	25,128	15,867	12,021	6,106	3,896	1,570	9-11 mH							
		Juhtne pikkus		m	lühie	216,475	138,544	110,093	95,826	68,296	54,552	34,636								
		Takisus ühiku kohta		ohm/m	p	0,136	0,0876	0,0694	0,053	0,04318	0,03401	0,01276								
		Mähis takistus		ohm	R	29,441	12,136	7,640	5,079	2,949	1,855	0,442	2-5 ohm							
		Pinge		V	U	200	200	200	200	200	200	200	200							
		Vool		A	I	6,793	16,479	26,176	39,379	67,819	107,799	452,534	I<50							
		Magnetiline konstant		H/m	μ	0,000001256	0,000001256	0,000001256	0,000001256	0,000001256	0,000001256	0,000001256	0,000001256							
		Magnetiline induktsoon		T	B	0,019	0,029	0,037	0,048	0,059	0,075	0,199								
		Jõud		N	F	27,448	66,158	105,407	180,733	272,285	438,910	3118,084								
		Magnetvälja salvestatud energia		J	E	0,708	1,706	2,718	4,660	7,021	11,318	80,404								
		Palli kiirus		m/s	v	5,431	8,431	10,642	13,935	17,104	10,858	57,880								
		Kasutegur		-	η	0,5														

Tabel 4.4. Solenoidi arvutused, R2 = 20 mm

		Traadi paksus :		d		0,4		0,5		0,56		0,6		0,71		0,8		1		
		Juhtne keertlute arv:		N		2500		1600		1271		1107		789		630		400		
Ninetus	tähis	mm	m	pirang	m	0,0125	=12,5	0,02	<22	0,05	<50	ühik	tähis	g	kg					
Sisemine raadius	R1	12,50	0,0125	pirang	m	0,0125	=12,5	0,02	<22	0,05	<50	ühik <td>tähis <td>g <td>kg</td> <td colspan="4"></td> </td></td>	tähis <td>g <td>kg</td> <td colspan="4"></td> </td>	g <td>kg</td> <td colspan="4"></td>	kg					
Väliline raadius	R2	20	0,02	<22																
Mähse pikkus	Icoil	50	0,05	<50																
		Ninetus		ühik <td>tähis <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="4"></td> </td>	tähis <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="4"></td>															
		Palli mass		g	m	48	0,048													
		Induktiivsus		mH	L	83,514	34,207	21,600	16,365	8,313	5,303	2,138	9-11 mH							
		Juhtne pikkus		m	lühie	255,254	163,363	129,815	112,993	80,531	64,324	40,841								
		Takisus ühiku kohta		ohm/m	p	0,136	0,0876	0,0694	0,053	0,04318	0,03401	0,01276								
		Mähis takistus		ohm	R	34,715	14,311	9,009	5,989	3,477	2,188	0,521	2-5 ohm							
		Pinge		V	U	200	200	200	200	200	200	200	200							
		Vool		A	I	5,761	13,976	22,200	33,397	57,515	91,422	383,783	I<50							
		Magnetiline konstant		H/m	μ	0,000001256	0,000001256	0,000001256	0,000001256	0,000001256	0,000001256	0,000001256	0,000001256							
		Magnetiline induktsoon		T	B	0,018	0,028	0,035	0,046	0,057	0,072	0,193								
		Jõud		N	F	26,603	64,122	102,164	175,172	263,907	425,406	3022,143								
		Magnetvälja salvestatud energia		J	E	0,693	1,670	2,661	4,563	6,875	11,081	78,725								
		Palli kiirus		m/s	v	5,374	8,342	10,530	13,789	16,925	10,744	57,273								
		Kasutegur		-	η	0,5														

Tabel 4.6. Solenoidi arvutused, R2 = 22 mm

		Traadi paksus :										1
		Juhtne keertlute arv:										500
	tähis	m	N	0,4	0,5	0,6	0,71	0,8	0,8	0,8	0,8	1
Ninetus	tähis	m	N	3125	2000	1589	986	788	788	788	788	500
Sisemine raadius	R1	12,50	piraang = 12,5									
Väliline raadius	R2	22	<22									
Mähse pikkus	Icoil	50	<50									
Ninetus		ühik	tähis	g	kg							
Palli mass		48	m	0,048								
Induktiivsus	L	141,149	mH	57,815	36,508	27,659	14,049	8,964	8,964	8,964	3,613	9-11 mH
Juhtne pikkus	ljuhe	338,703	m	216,770	172,255	149,933	106,858	85,353	85,353	85,353	54,192	
Takistus ühiku kohta	p	ohm/m		0,136	0,0694	0,053	0,04318	0,03401	0,03401	0,03401	0,01276	
Mähise takistus	R	ohm		46,064	11,954	7,946	4,614	2,903	2,903	2,903	0,691	2-5 ohm
Pinge	U	V		200	200	200	200	200	200	200	200	
Vool	A			4,342	16,730	25,169	43,345	68,898	68,898	68,898	289,228	I<50
Magnetiline konstant	μ	H/m		0,000001256	0,000001256	0,000001256	0,000001256	0,000001256	0,000001256	0,000001256	0,000001256	
Magnetiline induktsoon	T	T		0,017	0,026	0,033	0,044	0,054	0,054	0,054	0,182	
Jõud	N	F		25,061	60,405	96,241	165,017	248,608	400,744	400,744	2846,947	
Magnetvälja salvestatud energia	J	E		0,665	1,603	2,555	4,380	6,599	10,637	10,637	75,568	
Palli kiirus	v	m/s		5,265	8,174	10,317	16,582	16,582	10,526	10,526	56,113	
Kasutegur	η	-		0,5								

Tabel 4.5. Solenoidi arvutused, R2 = 21 mm

		Traadi paksus :										1
		Juhtne keertlute arv:										450
	tähis	m	N	0,4	0,5	0,6	0,71	0,8	0,8	0,8	0,8	1
Ninetus	tähis	m	N	2813	1800	1430	887	709	709	709	450	
Sisemine raadius	R1	12,50	piraang = 12,5									
Väliline raadius	R2	21	<22									
Mähse pikkus	Icoil	50	<50									
Ninetus		ühik	tähis	g	kg							
Palli mass		48	m	0,048								
Induktiivsus	L	110,004	mH	45,058	28,452	21,556	10,949	6,986	6,986	6,986	2,816	9-11 mH
Juhtne pikkus	ljuhe	295,997	m	189,438	150,536	131,028	93,385	74,591	74,591	74,591	47,360	
Takistus ühiku kohta	p	ohm/m		0,136	0,0694	0,053	0,04318	0,03401	0,03401	0,03401	0,01276	
Mähise takistus	R	ohm		40,256	10,447	6,944	4,032	2,537	2,537	2,537	0,604	2-5 ohm
Pinge	U	V		200	200	200	200	200	200	200	200	
Vool	A			4,968	19,144	28,800	49,599	78,838	78,838	78,838	330,957	I<50
Magnetiline konstant	μ	H/m		0,000001256	0,000001256	0,000001256	0,000001256	0,000001256	0,000001256	0,000001256	0,000001256	
Magnetiline induktsoon	T	T		0,018	0,027	0,034	0,045	0,055	0,055	0,055	0,187	
Jõud	N	F		25,809	62,208	99,114	169,943	256,029	412,707	412,707	2931,930	
Magnetvälja salvestatud energia	J	E		0,679	1,636	2,607	4,470	6,734	10,855	10,855	77,114	
Palli kiirus	v	m/s		5,318	8,257	10,422	13,647	16,751	16,751	16,751	56,684	
Kasutegur	η	-		0,5								

Antud arvutused annavad hinnangulise tulemuse ning lõplik konfiguratsioon tuleb määrata katseliselt, sest tegemist on küllaltki keerulise süsteemiga. Nende arvutuste juures tekivad kõige mõistlikumad voolud 0,6 mm traadi läbimõõdu juures. Valime välja näitajad mähise välimise diameeteriga $R_2 = 18$ mm, kuna seal pole takistus väga suur ning ülejäänud näitajad on ka piirides (tabel 4.2). Selleks, et saada samalaadsed tulemused tuleb solenoidi mähise kerimisel regulaarselt kontrollida, kas nende kihitide arvu ja antud traadi paksuse juures tuleb takistus samalaadne või mitte.

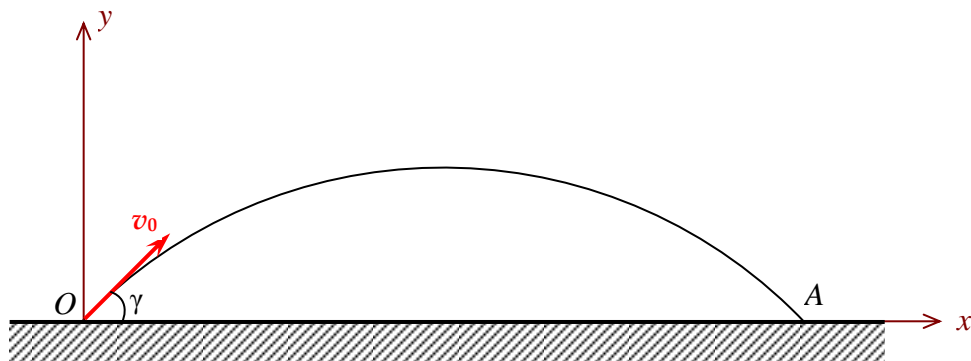
5. PALLI TRAJEKTOOR JA LIIKUMISKAUGUS

Teades, et süsteemil on kadusid: Oletame, et pall lüüakse algkiirusega 10 m/s horisontaalist nurga 20° võrra ülespoole. Raskuskiirenduseks võtame $9,8 \text{ m/s}^2$. Õhutakistust ei arvestata. Leiame: 1) palli lennu trajektoori, 2) lennuaeg, 3) löögikaugus, 4) löögikõrgus trajektoori kõrgeimas punktis.

Antud: $v_0 = 10 \text{ m/s}$, $\gamma = 20^\circ$, $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

Lahendus:

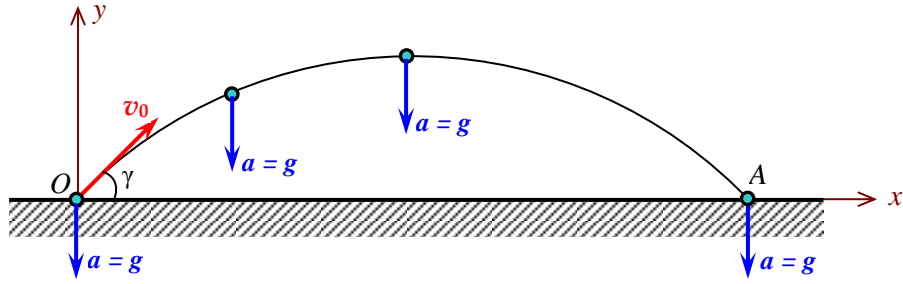
1. Pall lüüakse üles maapinna mingist punktist. Võtame just sinna punkti koordinaatide alguspunkti O . Suuname x -telje horisontaalselt palli lendamise sihis, y -telje aga vertikaalselt üles.



Joonis 5.1

Pall lüüakse üles punktist O ja see läbib mingisuguse trajektoori ning kukub maha punktis A . Trajektoori täpne kuju ei ole meile veel teada, joonisel on kujutatud esialgu lihtsalt mingi kõver. Samuti on joonisele kantud algkiirusvektor \vec{v}_0 . Selle suurus on 10 m/s ja see mõjub nurga $\gamma = 20^\circ$ all.

Kõigi tekstis toodud suuruste arvutamiseks tuleb kõigepealt leida palli liikumise võrrandid. Õhutakistust siin ei arvesta. Ainukeseks mõjuvaks jõuks raskusjõud. Järelikult on siin ainukeseks kiirenduseks raskuskiirendus seega kogukiirendus $a = g$ ja see on suunatud igas trajektoori punktis alati otse alla (joonis 5.2).



Joonis 5.2

Sellest tulenevalt on:

$$\text{Kohavektor : } r(t) = \begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

$$\text{Kiirusvektor: } v(t) = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

$$\text{Kiirendus vektor: } a = \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -g \end{bmatrix} \quad (5.3)$$

$$\text{Kiirendus: } \begin{bmatrix} 0 \\ -g \end{bmatrix}$$

$$\text{Algkiirus: } \begin{bmatrix} v_0 \cdot \cos \gamma \\ v_0 \cdot \sin \gamma \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

Integreerimine:

$$v(t) = v(0) + \int_0^t a dt = \begin{bmatrix} v_0 \cdot \cos \gamma \\ v_0 \cdot \sin \gamma \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -g \end{bmatrix} \quad (5.5)$$

Kiirus ajahetkel t :

$$v(t) = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_0 \cdot \cos \gamma \\ v_0 \cdot \sin \gamma - g \cdot t \end{bmatrix} \quad (5.6)$$

Algne asukoht:

$$r(0) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5.7)$$

Integreerimine:

$$r(t) = r(0) + \int_0^t v(t) dt = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_0 \cdot t \cdot \cos \gamma \\ v_0 \cdot t \cdot \sin \gamma - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \end{bmatrix} \quad (5.8)$$

Asukoht ajahetkel:

$$r(t) = \begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_0 \cdot t \cdot \cos \gamma \\ v_0 \cdot t \cdot \sin \gamma - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \end{bmatrix} \quad (5.9)$$

Palli liikumise võrrandid on leitud. Need kehtivad juhul, kui koordinaatide alguspunkt asetseb selles punktis, kust keha üles visatakse, ning seejuures juhul, kui õhutakistust ei arvestata. Nende võrrandite alusel saab leida ka kõik ülejäänud tundmatud.

Nende alusel on kerge leida palli liikumise trajektoori võrrandi. Saadud võrrandid kujutavad endast juba trajektoori võrrandit, seda küll parameetrilisel kujul, kus parameetriks on aeg t . Trajektoori ilmutatud võrrandi leidmiseks tuleb siit süsteemist aeg t elimineerida. Avaldame esimesest võrrandist (5.9) aja t , see on

$$t = \frac{x}{v_0 \cdot \cos \gamma}, \quad (5.10)$$

asendame selle (5.9) alumisse võrrandisse, saame

$$y = v_0 \cdot \frac{x}{v_0 \cdot \cos \gamma} \cdot \sin \gamma - \frac{1}{2} \cdot g \cdot \left(\frac{x}{v_0 \cdot \cos \gamma} \right)^2, \quad (5.11)$$

ehk

$$y = x \cdot \tan \gamma - \frac{g}{2 \cdot v_0^2} \cdot (1 + \tan^2 \gamma) \cdot x^2, \quad (5.12)$$

Keha liikumise trajektoori võrrand on leitud. Selleks osutus tavaline parabool. Kui õhutakistust ei arvestata, siis liigub horisondi suhtes kaldu visatud keha alati mööda parabooli. Seda parabooli nimetatakse viskeparabooliks.

2. Löögiaja leidmine. Tähistame löögiaja t_2 -ga. Kui keha kukub maaapinnale punktis A (joonis 5.2), siis asub ta täpselt x -teljel. x -teljel on y võrdne nulliga, seega on $y(t_2) = 0$. Võrrandist (5.9) saame seega

$$y = v_0 \cdot t \cdot \sin \gamma - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 = 0, \quad (5.13)$$

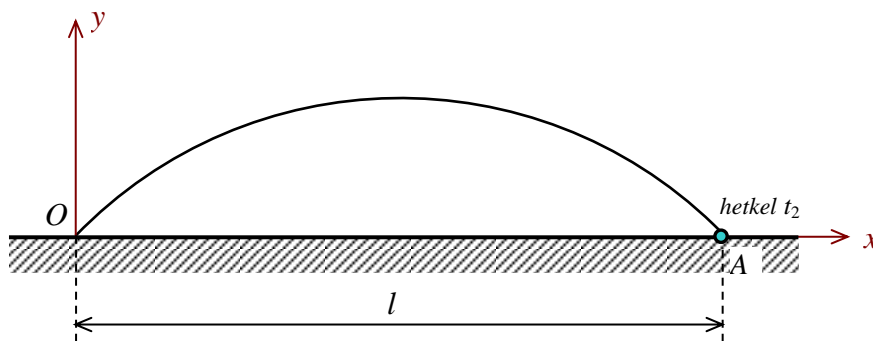
Tegelikult on siin kaks lahendit, millest üks lahend on $t = 0$, sest alghetkel on pall punktis O ja ta asub siis x -teljel. See alghetk meid siin ei huvita ning eemaldame selle võrrandist (5.13), siis

$$v_0 \cdot \sin \gamma - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t_2 = 0, \quad (5.14)$$

kus on juba tõesti tegemist lõppajaga t_2 . Siit lõppaja üldavaldis ja lõppaeg arvutatav valemiga (5.15)

$$t_2 = \frac{2 \cdot v_0 \cdot \sin \gamma}{g} = \frac{2 \cdot 10 \cdot \sin 20^\circ}{9,8} = 0,7 \text{ s}, \quad (5.15)$$

3 Löögikauguse leidmine. Kui kaugel on palli mahakukkumise punkt A löögikohast O?



Joonis 5.3

Löögikaugus on võrdne l -ga. Jooniselt 5.3 on näha, et löögikaugus l on palli x -koordinaadi väärtus punktis A, ehk

$$l = x(t_2), \quad (5.16)$$

Pannes ajahetke t_2 valemist (5.15) asemele avaldisse (5.9), saame

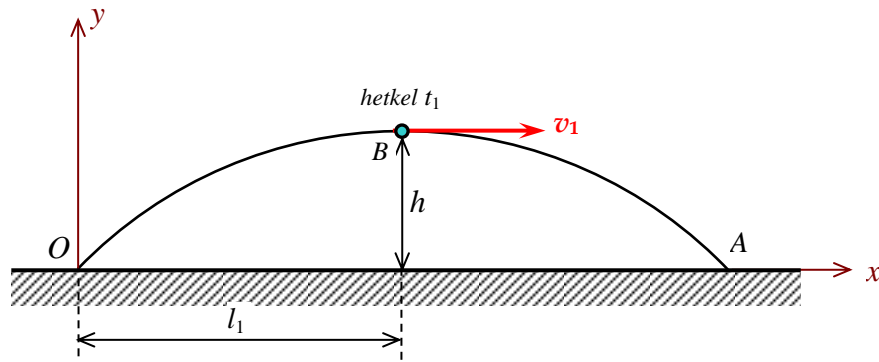
$$l = \frac{v_0^2 \cdot \sin 2\gamma}{g}, \quad (5.17)$$

pannes arvud asemele, saame löögikauguse

$$l = \frac{10^2 \cdot \sin 40^\circ}{9,8} = 6,56 \text{ m}$$

Löögikaugus on ligikaudne, kuna arvutused on teostatud mingil määral ideaal tingimustel arvestamata, et kogu süsteem ei ole püsivalt jäik ning arvestamata, et pall on elastne. Lisaks ei ole arvestatud ka õhutakistust ja kasutegur 0,5 tundub hetkel liiga hästi võetud.

4. Leiame ajahetke t_1 , mil pall on trajektoori kõrgeimas punktis ning samuti lennukõrguse h trajektoori kõrgeimas punktis.



Joonis 5.4

Leiame kõigepealt, millisel ajahetkel on pall trajektoori kõrgeimas punktis B ning seejärel kui suur on seal t_1 ? Joonisel 5.4 on kujutatud trajektoori kõrgeimas punktis B kiirusvektor \vec{v}_1 , mis on paralleelne x -teljega. Vektor \vec{v}_1 ei anna seal mingit projektsiooni y -teljele! Teiste sõnadega, projektsioon v_y on hetkel t_1 võrdne nulliga.

$$v_y = v_0 \cdot \sin \gamma - g \cdot t = 0, \quad (5.18)$$

võrrand t_1 leidmiseks:

$$t_1 = \frac{v_0}{g} \cdot \sin \gamma = \frac{t_2}{2}, \quad (5.19)$$

seega saame t_1 valemi (5.19) põhjal

$$t_1 = \frac{0,7}{2} = 0,35 \text{ s}$$

Asendades t_1 võrrandi (5.19) avaldises (5.9), saame arvutada palli koordinaadid valemitega (5.20, 5.21).

$$x_1 = \frac{v_0^2}{g} \cdot \sin \gamma \cdot \cos \gamma; \quad y_1 = \frac{v_0^2}{2 \cdot g} \cdot \sin^2 \gamma, \quad (5.20, 5.21)$$

Seega x_1 ja y_1 kõrgeimas punktis on

$$x_1 = 3,28 \text{ m}$$

$$y_1 = 0,60 \text{ m}$$

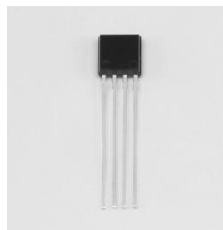
Ülesanne baseerub Jüri Kirsi kinemaatika ülesandel [10] ja Merle Randrüüti masinamehaanika konspektil.

6. PALLIDE TUVASTAMINE

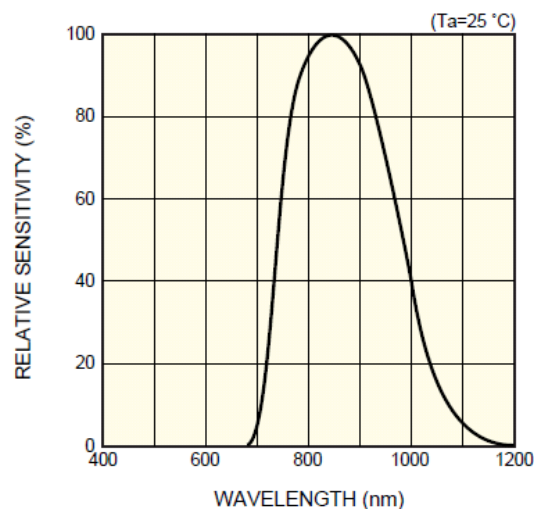
Selleks, et tuvastada kas pall on löögiulatuses roboti ees, on mitmeid erinevaid mooduseid. Antud löögimehhanismi baseerub valguskiire katkestamise süsteemiga, mis koosneb andurist ja valgus dioodist.

6.1. Andur

Pallide tuvastamiseks sai välja valitud Hamamatsu anduri S6846 (joonis 6.1). Hamamatsu anduri tööpiirkond on kujutatud (joonis 6.2) [15].



Joonis 6.1. Hamatsu S6846 andur



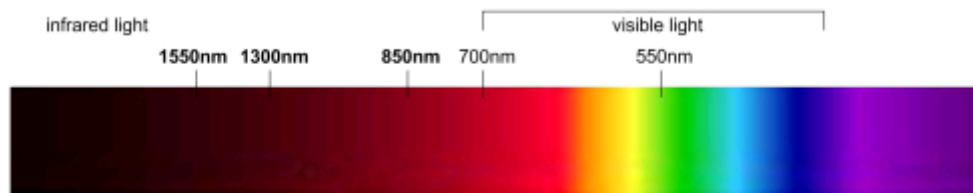
Joonis 6.2. Hamatsu S6846 anduri tööpiirkond

6.2. Infrapuna diood

Valgusdiod muundab elektrienergiat nähtavaks valguseks, samuti optiliseks kiirguseks spektri infrapunases või ultravioletses osas. Valgusdiodi kohta kasutatakse rahvusvahelist lühendit LED (*Light-Emitting Diode* – valgust kiirgav diood) [7].

Õige suurusega päripinge rakendamisel elektrodidele hakkab valgusdiod kiirgama kindla lainepikkusega valgust, mis sõltub kestad ja teistest koostiselementidest, mida diood sisaldab. Valgusdiodil on nagu tavalisel diodilgi kaks kontakti – anood ja katood. Valgusdiodi joonistel on anood tähistatud "+" ja katood "-" sümboliga. Päripingestamisel rakendatakse LED-i anoodile positiivne ja katoodile negatiivne pinge. Vastupidisel juhul valgusdiod ei sütti. LED-i päripinge sõltub selle värvusest – pikema lainepikkusega LED-ide (punased) puhul on see suurusjärgus 2 V, lühema lainepikkusega (sinised) on see ~ 3 V [7].

Hamatsu anduri S6846 tundlikus on kõige parem lainepikkuste 800-900 nm vahel, nagu näha (joonis 6.3), siis on tegemist infrapuna tööpiirkonnaga.



Joonis 6.3. Valguste lainepikkused

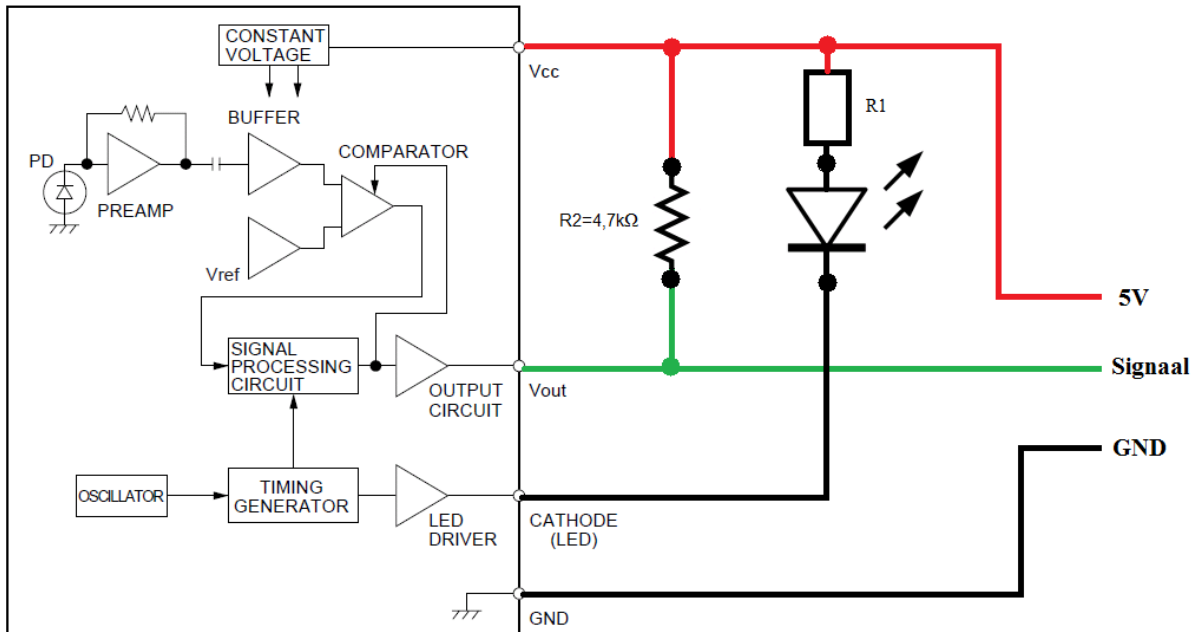
Selleks on välja valitud infrapuna diood OP240 (joonis 6.4), mille valguse lainepikkus jääb 800 - 900 nm vahele, täpsemalt 890 nm [14].



Joonis 6.4. Infrapuna diood OP240

6.3. Anduri ja diodi ühendamine

Kasutades anduri ja diodi andmelehti saab koostada nende ühendamise skeemi (joonis 6.5)[14,15].



Joonis 6.5. Anduri ja diodi ühendamine

Anduri toitepinge on 5 V ja diodi oma 2 V ning vool 50 mA, selleks tuleb skeemi lisada takisti R1.

Takisti väärtuse saab arvutada valemiga (6.1).

$$R1 = \frac{U_A - U_D}{I_D} = \frac{5 - 2}{50 \cdot 10^{-3}} = 60 \Omega \approx 68 \Omega, \quad (6.1)$$

kus

U_A - anduri toitepinge [V];

U_D - diodi toitepinge [V];

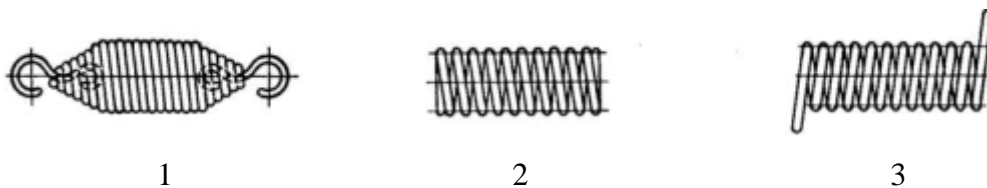
I_D - diodi vool [A].

7. VEDRUD

Elastseteks elementideks masinais ja aparaatides on mitmesugused vedrud ja puhvrid. Nende võimalikeks ülesandeiks on: - jõuelemendina tagada püsiv detailidevaheline jõud (näit. hõõrdsiduris, ventiilis, nukkmehhanismis); - amortisaatorina võtta vastu löök, seda summutades (näit. vagunipuhvris, auto esi- ja tagasillas); - käivitada mehhanismi (näit. kellavedru, käsirelva lukuvedru). Vedru materjaliks on enamasti karastatud vedruteras (DIN 17221 järgi teras margiga 46Si7, 65Si7, 60SiMn5, 50CrV4 jt.), aparaatides ka ettekalestatud nn. klaveritraat ning puhvreis kummi. Eritingimuses (kõrge temperatuur, töö vees jms.) kasutatakse veel ka eriteraseid, vasesulameid ja plastikuid [11].

7.1. Vedru konstruktsioon

Universaalsed ja levinud on tõmbele või survele töötavad keerdvedrud (joonis 7.1, 7.2), ent neid on võimalik tööle panna ka väände (joonis 7.3). Keerdvedrusid moodustav traat kulgeb mööda krurvijoont [11].

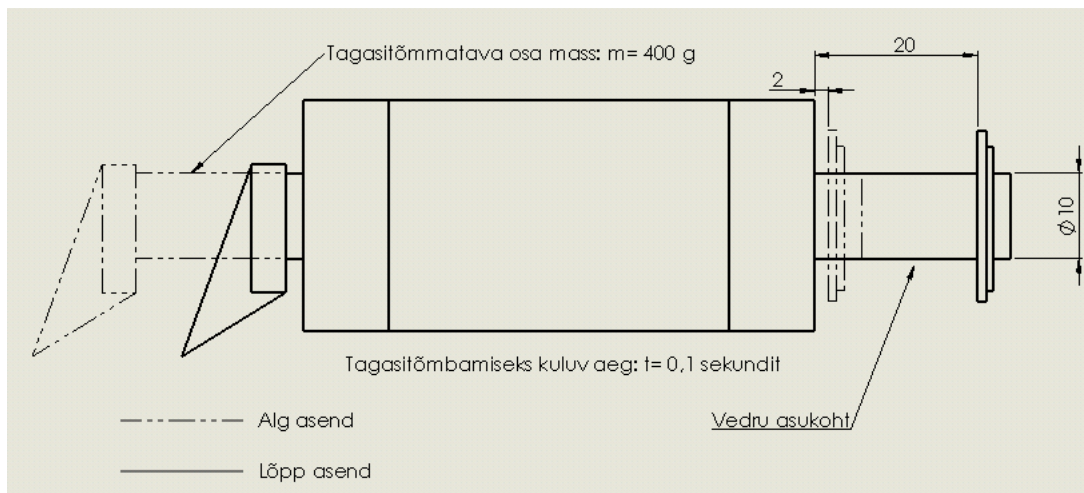


Joonis 7. Silindrilised keerdvedrud: 1 – tõmbevedru, 2 – survevedru, 3 – väändevedru.

7.2. Vedru valik löögimehhanismile

Löögimehhanismis on vajalik vedru selleks, et löögi sooritanud kolbi algasendisse tagasi viia, selleks oleks võimalik kasutada kas siis tõmbe- või survevedru. Antud roboti puhul on tõmbevedru paigaldamiseks ruumi puudus, siis on võimalik kasutada ainult survevedru, mis paigaldatakse solenoidi kolbi peale (joonis 7.4).

Süsteemi mass, mis sooritab löögi ja mille vedru peab tagasi tõmbama on ≈ 400 g. Tagasitõmbe teepikkus süsteemil on 18 mm ning aeg võiks olla ligikaudu 0,1 sekundit. (joonis 7.4)



Joonis 7.4. Solenoidi andmed ja mõõdud

Antud väärtustega saame välja arvutada vajaliku jõu valemiga (7.1).

$$F = m \cdot a, \quad (7.1)$$

Kiirendus on arvutatav valemiga (7.2).

$$a = \frac{2 \cdot s}{t^2} = \frac{2 \cdot 0,018}{0,1^2} = 3,6 \text{ m/s}^2, \quad (7.2)$$

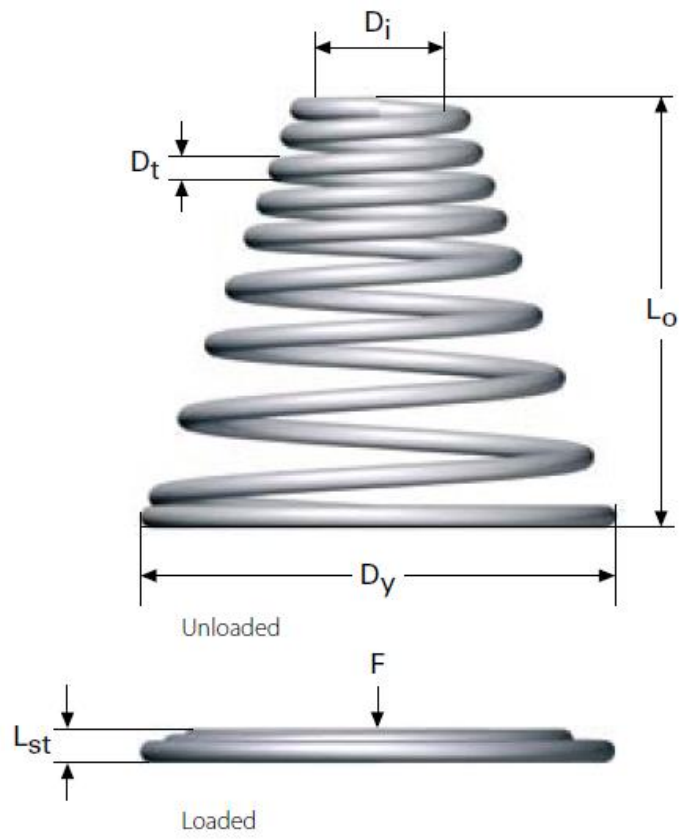
Jõu arvutamine valemiga (7.1).

$$F = 0,4 \cdot 3,6 = 1,44 \text{ N}$$

Saadud jõud on väga väike ning selletõttu saab sinna paigaldada põhimõtteliselt iga vedru. Kuna kolbi läbimõõt ning osa pikkus, kuhu vahele vedru paigaldadakse on teada, siis saame teostada valiku. Vedru valikut on teostatud kasutades *Alas-Kuul AS* poolt pakutavat tootevalikut. Mõõtude järgi osutub sobilikus vedru toote numbriga 6699 (tabel 7.1) [18]. Koonuse kujuline vedru sai valitud selleks, et tema mõõtmed kokkusurutud asendis on väiksemad kui silindrilisel survevedrul.

Tabel 7.1. Vedru andmed

Dt	Di	Dy	Lo	n _t	F _{st}	L _{st}	Toote nr
1,2 mm	11 mm	25 mm	25 mm	4,0 mm	36 N	1,2 mm	6699



Joonis 7.5. Vedru tähistused

8. LAAGRID

Laagerdus on masinaelement (või nende kogum või sõlm), mille ülesandeks on masinaelementidele mõjuvate koormuste ülekandmine võimaldades samaaegselt nende suhtelist liikumist [12].

Laagerduste elementideks on [12]:

1. LAAGRID

- veerelaagrid;
- liugelaagrid;
- magnetlaagrid jne.;

2. KORPUSED;

3. VÕLLID ja JUHIKUD;

4. LAAGRITE KINNITUSELEMENDID:

- laagrikaaned;
- vedrurõngad;
- koonusliited jne.

5. TIHENDID:

- kontakt-tihendid;
- kontaktivabad tihendid;

6. MÄÄRIMISSEADMED:

- määrdeniplid;
- õlikanalid jne.

Laagerdusi võib liigitada erinevatest tunnustest lähtuvalt [12]:

1. koormuse ülekandmise viisi järgi: kontaktilaagerdused, magnetlaagerdused, viskoosse eralduskihiga laagerdused, elastsed laagerdused;
2. koormuse lubatud sihi järgi: radiaallagerdused, tugilaagerdused, radiaaltugilaagerdused;
3. kontakti tüübi järgi: liugelaagerdused, veerelaagerdused;
4. suhtelise liikumise tüübi järgi: pöördlaagerdused, lineaarlaagerdused;

8.1. Laagri valik löögimehhanismile

Löögimehhanism on mehhaaniliselt suhteliselt lihtne süsteem. Löömist teostab solenoid koos sahaga ning kuna sahk on suhteliselt pikk, siis on vaja talle tuge, et see läbi ei painduks. Toetamist on teostatud kahe võlliga, mis läbivad lineaarlaagreid (joonis 3.1). Kuna antud süsteemil on laagrite põhiline roll löögisaha juhikute lineaarse liikumise toetamine, siis pole väga oluline laagrite täpsus ja muud parameetrid. Tänu sellele saab laagri välja valida puhtalt võllide läbimõõdu järgi, milleks on 8 mm.

Laagrite valik oli teostatud kasutades SKF laagrite tootja katalooge. Kuna võllid on läbimõõduga 8 mm, siis SKF pakub selle jaoks lineaar kuullaagrit LBBR8 (joonis 8.1).



Joonis 8.1. SKF lineaar kuullaager LBBR8

LBBR on patenteeritud SKF lineaarne kuullaager, mida ühendab plastikust puur koos karastatud terasest ringrajaga, mis suunab pallide komplekti. Laager vastab mõõdu seeriale 1 - vastavalt ISO 10285. LBBR ringraja segmendid on loodud selleks, et täielikult ära kasutada kogupikkuse laadimistsooni ning suurendada kandevõimet ja laiendada laagri kasutusiga.[19]

9. DETAILIDE MATERJALID

Löögimehhanismis kasutatavate detailide materjalid ning põhjendus on ära toodud tabelis 9.1.

Tabel 9.1. Löögimehhanismis kasutatavate detailide materjalid

Detail	Materjal	Põhjendus
Anduri ja valgus diodi karp	Must PLA	Lihtsasti prinditav 3D printeriga; kättesaadavus väga hea
Lineaarlaagri karp	Must PLA	Jäikus katsetatud, tulemus piisav; kättesaadavus väga hea
Lineaarlaagri tugi kinnitused	Must PLA	Lihtsasti prinditav 3D printeriga; kättesaadavus väga hea
Löögisaha nurk	Must PLA	Tugevus katsetatud, tulemus piisav; kaalub vähe; kättesaadavus väga hea
Löögisahk	Alumiinium sulam	Jäikus ning tugevus väga olulised- võib läbi painduda, kaalub vähem kui teras
Solenoidi klotsid	Alumiinium sulam	Jäikus oluline
Mähise rull	POM	Peab olema mittejuhtiv materjal näiteks plastik, muidu tekivad ringvoolud, mis süsteemi efektiivsust väiksemaks teevad; jäikus, tugevus väga olulised, peab vastu pidama keritud mähisele ja tekitatud löögile; suurepärased töötlemisomad usd, hea jäikus, tugevus ning kõvadus [25].
Sahka toetavad võllid	1020 Teras/ Alumiinium sulam	Hea kättesaadavus, jäikus oluline
Löögi kolb	1020 Teras	Peab olema ferromagnetiline materjal; hea kättesaadavus
Kolbi pikendus	Alumiinium sulam	Tavaliselt mitteferromagnetilisest ainek, hea kättesaadavus
Kilp	Alumiinium sulam	Tavaliselt mitteferromagnetilisest ainek, hea kättesaadavus

10. PROJEKTI HIND

Löögimehhanismi projekteerimises on arvestatud ka eelarvega. Kogu süsteemi maksumuseks eraldati 100 € ning selles peatükis esitan komponentide hinnad ja allikad (tabel 10.1).

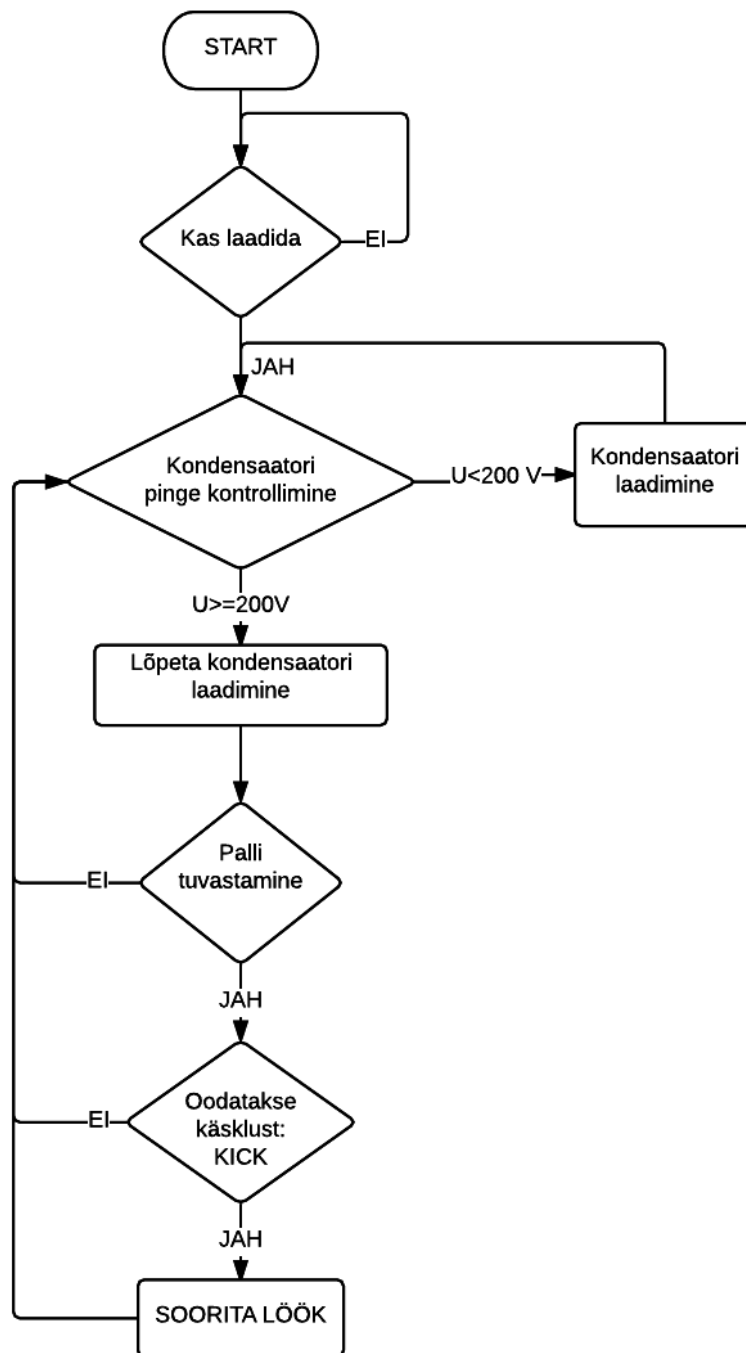
Tabel 10.1. Orienteeruvad projekti kulud

Komponent	Kogus	Hind (€)	Hind kokku (€)	Allikas
SKF lineaar kuullaager LBBR8	2	15,76	31,52	SKF
Koonuseline survevedru nr. LES NO.6699	1	8,64	8,64	Alas-Kuul
Infrapuna diood OP240	1	1,28	1,28	Farnell
Hamatsu S6846 andur	1	5,39	5,39	Elfa
70 m mähise traati, Ø 0,6 mm	1	21,43	21,43	Farnell
O-ring Ø 8mm	2	0,02	0,04	PM Kaubamaja
Stopperseib DIN 6799 Ø 8mm	1	0,24	0,24	PM Kaubamaja
Takisti 68 Ω	1	-	-	Robotiklubi
Pull-up takisti 4,7 kΩ	1	-	-	Robotiklubi
M6 seib: DIN 125 ZN, HOT	2	-	-	Robotiklubi
M10 seib: DIN 125 ZN, HOT	1	-	-	Robotiklubi
M4x10:ISO 7380 10.9 ST	2	-	-	Robotiklubi
M4x12: DIN 7991 8.8 ZN	3	-	-	Robotiklubi
M3x8 DIN 7991 8.8 ZN	4	-	-	Robotiklubi
M3x6 DIN 912 8.8 ZN	4	-	-	Robotiklubi
Muud tooted: latid, klotsid, torud	-	-	-	Sponsorlus
Hind kokku			68,54	
Jääk			+31,46	

Hind mahub piiridesse. Sponsorluse mitte leidmisel jätkub raha ka solenodi materjali ostmiseks.

11. TARKVARA

Löögimehhanismi juhtimis osa tehtud kondensaatori laadimisest kuni löögi sooritamiseni. Üks võimalikest lahendustest on toodud algoritmis joonis 11.1.



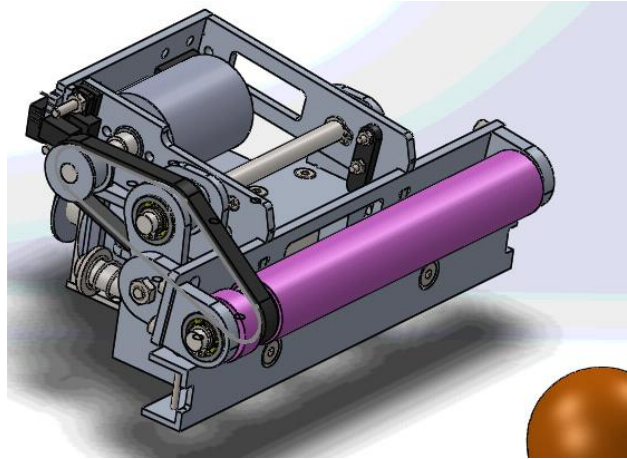
Joonis 11.1. Tarkvara lahendus löögimehhanismile

Juhtimis tsükkel kirjeldab elektroonika osa, kus esimeseks punktis oodatakse käsku arvutilt, et millal tohib kondensaatorit laadima hakata, et ei tekiks probleeme sellega, et keegi paneb robotile aku taha ja kondensaator laetakse koheselt 200 V-ni. Edasi kontrollitakse kondensaatoris olevat pinget, laetakse niikaua kui $U \geq 200$ V-ga, kuniks vastav pinge pole saavutatud korratakse tsüklit. Kondensaatori täitumisel saabub informatsioon ning siis lõpetatakse laadimis tsükkel ja hakatakse ootama järgmist informatsiooni. Järgmiseks kujuneb palli tuvastamine, kui pall on tuvastatud anduri ja IR doodi abiga kiire katkestamise teel saadakse signaal mööda CANi, et väärtus on nüüd *true* ning edasi edastatakse informatsioon mööda CANi arvutile., mis ütleb et pall on löögimehhanismi ees. Järgmiseks ootab löögimehhanismi juhtimissüsteem käsku arvutilt, et *kick* (soorita löök). Kogu palli tuvastamis ning käsu ootamise ajal kontrollitakse samuti kondensaatoris olevat pinget ning pinge langemisel laetakse kondensaatorit uuesti ja uuesti kuniks saab löök sooritatud Arvuti ei edasta käsku enne, kuniks värav ei ole tema vaateulatuses. Käsu *kick* (soorita löök) saabumisel lastakse kondensaatoris olev 200 V läbi mähise (kondensaator laetakse tühjaks) ning solenodis tekitatakse magnetväli, ning tänu magnetväljale solenoidi südamik sooritab lineaarse liikumise ja pall suunatakse sahaga värava poole. Peale löögi sooritamist minnakse tsükli algusesse tagasi ning kogu protsessi alustatakse uuesti.

12. LÖÖGIMEHCHANISMI DISAIN

12.1. Vana löögimehhanism

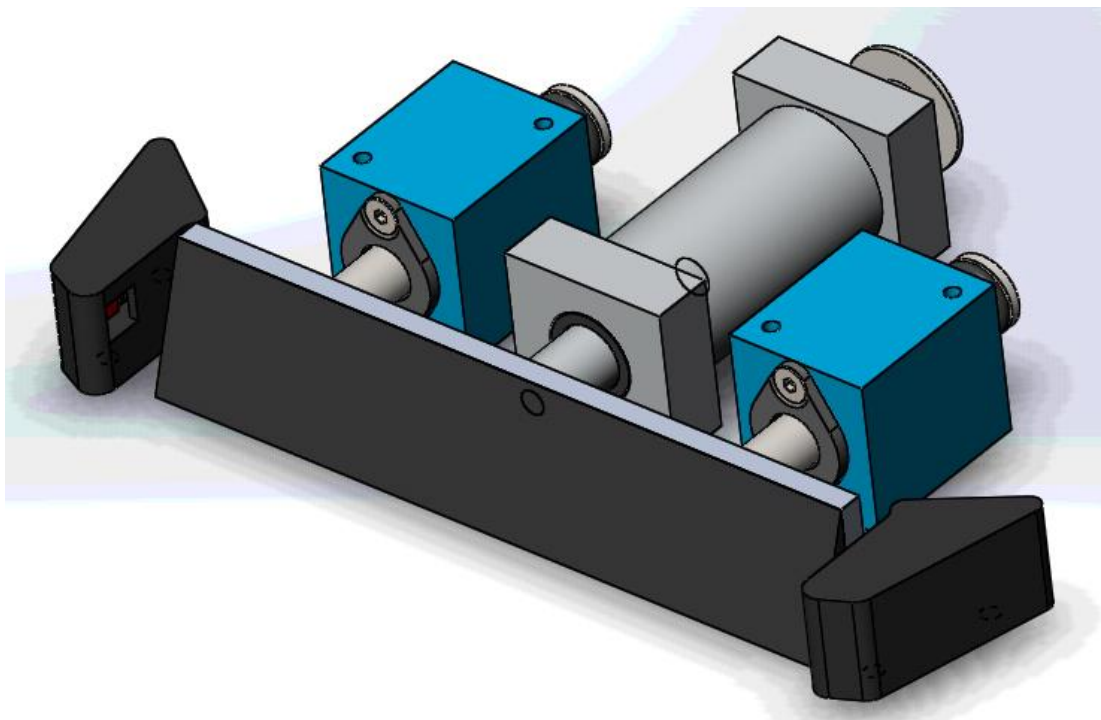
Vana löögimehhanismi 3D mudel on kujutatud joonisel 12.1.



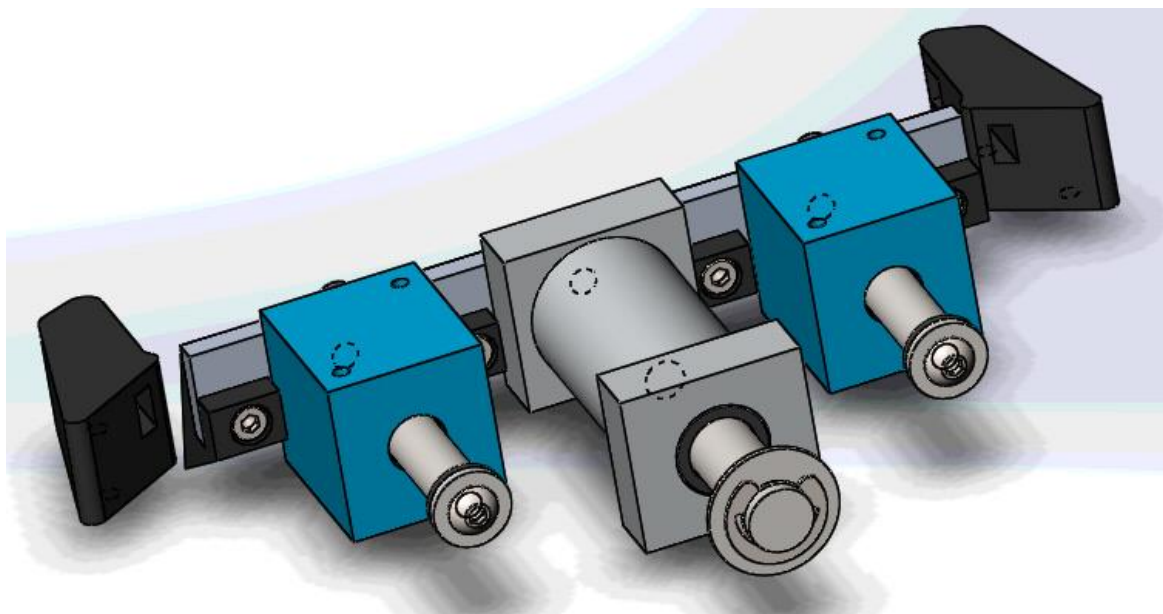
Joonis 12.1. Vana löögimehhanismi 3D mudel

12.2. Uus löögimehhanism

Löögimehhanismi lõplik 3D mudel on ära toodud joonisel 12.2 ja 12.3



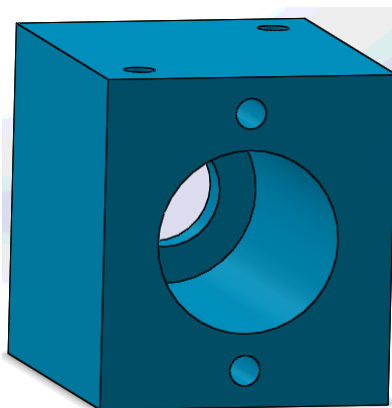
Joonis 12.2. Löögimehhanismi 3D mudel eest vaates



Joonis 12.3. Löögimehhanismi 3D mudel tagant vaates

12.2.1. Lineaarlaagri karp ja tugi

Lineaarlaagri karp (joonis 12.4) on mõeldud lineaarlaagri hoidmiseks ning tugi (joonis 12.5) on mõeldud selleks, et laager karbis püsiks.



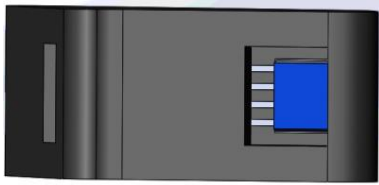
Joonis 12.4. Lineaarlaagri karp



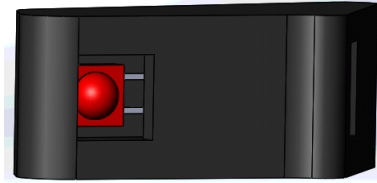
Joonis 12.5. Lineaarlaagri tugi

12.2.2. Anduri ja valgusdioodi karp

Anduri ja dioodi karp on kujutatud joonisel 12.6 ja 12.7.



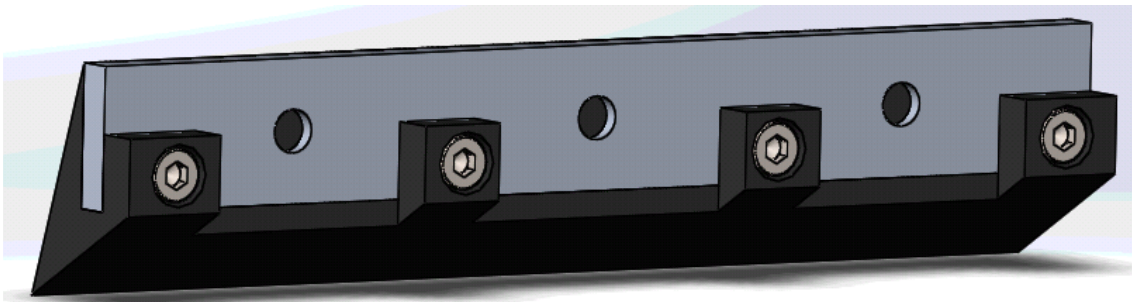
Joonis 12.6. Andur ja karp



Joonis 12.7. Diod ja karp

12.2.3. Löögisahk

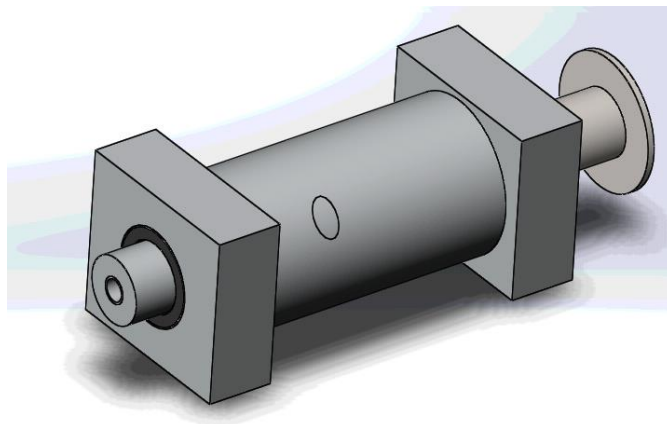
Löögisahk koosneb kahest osast: tagumine osa on alumiiniumist, et ära hoida saha läbipaindumist ning löögisaha nurk, mis on tehtud PLA-st (joonis 12.8).



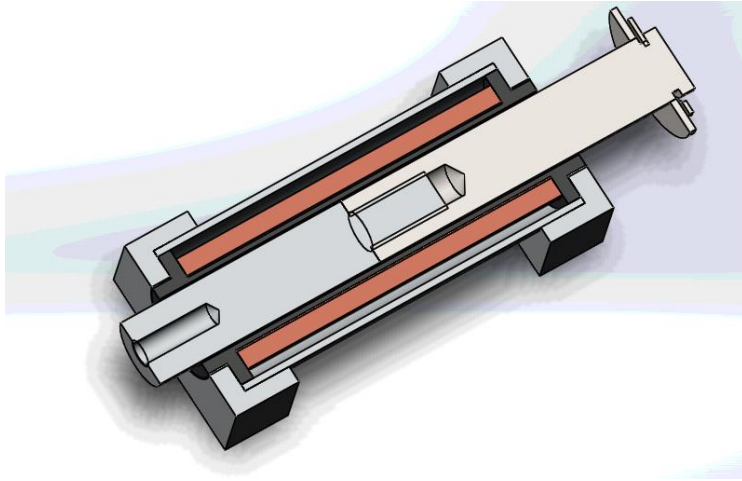
Joonis 12.8. Löögisahk

12.2.4. Solenoid

Solenoidi 3D mudel on kujutatud joonisel 12.9 ja solenoidi läbilõige 12.10.



Joonis 12.9. Solenoidi 3D mudel



Joonis 12.10. Solenoidi läbilõige

KOKKUVÕTE

Töö eesmärk oli projekteerida TTÜ Robotiklubi jalgpallirobotile Sangpomm uus löögimehhanism, mis oleks varasemast võimekam, töökindlam ning lihtsama ehitusega. Uue löögimehhanismi disainimisel arvestasin vana löögimehhanismi plusside ja miinustega ning ning tegin mõningad järeldused, mida tuleks muuta ning mis võiks samaks jääda antud süsteemi puhul.

Löögimehhanismi disaini valikut mõjutasid suuresti roboti mõõtmete piirangud ning Robotexi enda reeglid palliga orienteerumisele väljakul. Üldiselt lähtusin põhimõttest teha lihtne ja töökindel süsteem.

Elektroonika seisukohast tähendas see ostu solenoidi asemel täiesti uue solenoidi projekteerimist ja uue palli tuvastuse süsteemi kasutusele võtmist. Palli tuvastamis süsteemi loomisel, mis baseerus kiire katkestamisel tuli välja valida andur ning IR diood, mis omavahel sobiks. Mehaanika kohapealt sai teha nii mõningaid muudatusi, kaotasin ära rulliku ja mootori ning ümber sai disainitud ka löögiosa. Lisak tuli teha ka vedru ning lineaarlaagri valik ning arvutasin välja ka ligikaudse palli trajektoori. Roboti juhtimise seisukohalt sai seletatud löögimehhanismi töösüklit kondensaatori laadimisest kuni löögi sooritamise välja. Üldiselt tuli kogu löögimehhanismi konseptsioon tunduvalt lihtsam esialgsesest ning loodetavasti ka töökindlam.

Uue löögimehhanismi töökindlust saab kindlasti näha tuleval Robotex 2015 võistlusel, kus me taaskord võistlustulle astume.

SUMMARY

The aim of this thesis was to design a shooting mechanism to Tallinn University of Technology Robotics Club football robot *Sangpomm* that would outperform its older mechanism. In order to get better performance out of the new design, the development was based on the pros and cons of preexisting design. What is more, I make my own choices, what I have to change and may remain unchanged for this system.

Design of the new shooting mechanism is largely influenced by the dimensions of robot *Sangpomm* and the rules of *Robotex* competition. In general, the idea was to make a simple and reliable mechanism.

Considering electronics, it meant to create a new solenoid and also a new design of ball detection system. Previously, we use a purchase solenoid that was not sufficiently effective. In addition, I had to choose the sensor and diode. Considering mechanical design, have to make changes such as losing the spinner and its motor. What is more, I choose the linear bearing and the conical spring. In the point of view of controlling the robot, had explained duty cycle of the shooting mechanism: from charging a capacitor to a stroke. In general, I hope that the entire mechanism is much easier and hopefully more reliable.

The new concepts of football robot *Sangpomm* shooting mechanism and chosen components will probably see in the next *Robotex* competition.

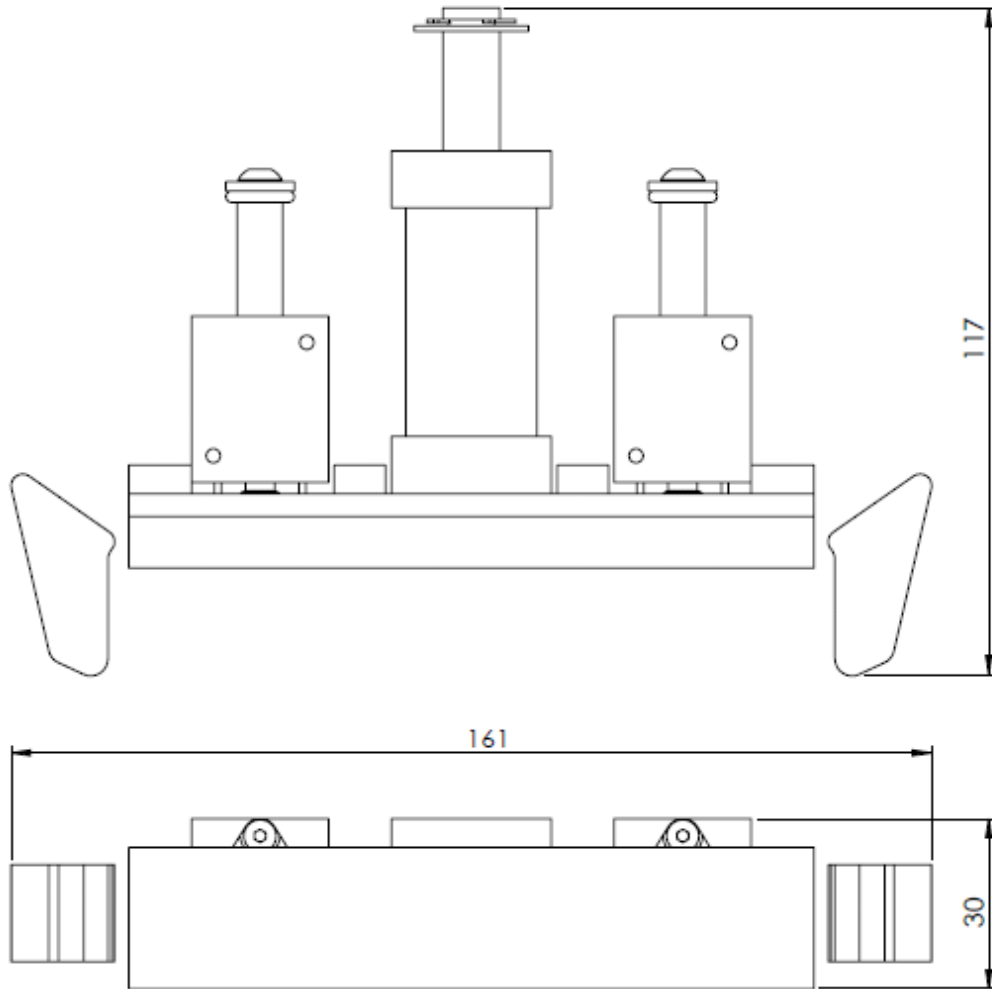
KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] „Robotexi jalgpallivõistluse reeglid,“ [WWW]
<http://www.robotex.ee/sites/default/files/upload/2014/Reeglid/Robotex%202014%20Jalgpalli%20reeglid.pdf> (18.05.2015)
- [2] „Solenoidi arvutused,“ [WWW] <http://alexandria.tue.nl/repository/books/612497.pdf>
(18.05.15)
- [3] „Solenoidi aruanne,“ [WWW] <http://www.mate.tue.nl/mate/pdfs/6971.pdf> (18.05.15)
- [4] „Solenoidi magnetväli,“ [WWW]
http://www.ttu.ee/public/m/Marek_Vilipuu/FI_doks/FII/JUHENDID/7._SOLENOIDI_MAGNETVALI.pdf (18.05.15)
- [5] „Elektrilise löögihammri videoloeng“, [WWW]
<https://www.youtube.com/watch?v=Q9CXS5nSgFE&feature=youtu.be> (18.05.15)
- [6] „Magnetiline konstant,“ [WWW] http://et.wikipedia.org/wiki/Magnetiline_konstant
(18.05.15)
- [7] „Valgusdiod,“ [WWW] <http://et.wikipedia.org/wiki/Valgusdiod> (18.05.15)
- [8] „Täiturmehhanismid,“ [WWW] http://www.tthk.ee/MEH/Taiturid_10.html (18.05.15)
- [9] „Kineetiline energia,“ [WWW] http://et.wikipedia.org/wiki/Kineetiline_energia
(18.05.15)
- [10] „Kinemaatika ülesanded,“ [WWW]
<http://data.vk.edu.ee/RDER/RDER21/Mehaanika/Kinemaatika%2021..doc> (18.05.15)
- [11] „Masinaelemendid konspekt,“ [WWW]
http://www.mh.ttu.ee/priitp/Masinaelemendid/Kirjandus/Kleis_Masinaelemendid_Konspekt.pdf (18.05.15)
- [12] „Veerelaagerdused,“ [WWW]
http://www.mh.ttu.ee/priitp/Masinaelemendid/Loeng/10_Veerelaagerdused_2011.pdf
(18.05.15)
- [13] „Pilt Sangpommist,“ [WWW] <http://www.ohtuleht.ee/605897/kuidas-robot-sangpomm-jalgpalli-mangima-opib> (18.05.15)
- [14] „Hamatsu S6846 anduri andmeleht,“ [WWW]
<http://web.comhem.se/mulle4/S6846.pdf> (18.05.15)
- [15] „IR valgusdiodi andmeleht,“ [WWW] <http://optekinc.com/datasheets/op240-245.pdf>
(18.05.15)

- [16] „Farnelli kataloog,“ [WWW] <http://www.farnell.com/> (18.05.15)
- [17] „Mähisetraadi andmeleht,“ [WWW] <http://www.farnell.com/datasheets/1683415.pdf> (18.05.15)
- [18] „Alas-Kuul AS vedrude tootekataloog,“ [WWW] http://catalog.lesjoforsab.com/catalog/pdf/en/chapters/51-52_EN.pdf (18.05.15)
- [19] „SKFi laagrite tootekataloog,“ [WWW] http://www.skf.com/binary/30-149566/4182_2-EN_linear-ball-bearings-and-units.pdf (18.05.15)
- [20] „Robot Sangpomm koduleht,“ [WWW] <http://www.robotiklubi.ee/projektid/robotex/2014/sangpomm> (18.05.15)
- [21] „TÜ Robotiklubi juhendite koduleht,“ <http://digi.physic.ut.ee/mw/index.php/Esileht> (18.05.15)
- [22] „Lõputöö näidis 1,“ [WWW] http://www.ttu.ee/public/m/Mehaanikateaduskond/Instituudid/mehhatroonika/Tudengile/Loputoo_1b.pdf (18.05.15)
- [23] „Lõputöö näidis 2,“ [WWW] http://www.ttu.ee/public/m/Mehaanikateaduskond/Instituudid/mehhatroonika/Tudengile/Loputoo_2b.pdf (18.05.15)
- [24] „Lõputöö juhend,“ [WWW] http://www.ttu.ee/public/m/Mehaanikateaduskond/Tudengile/Bakalaureusetoo_juhend_2013-1_1.pdf (18.05.15)
- [25] „POM materjali omadused,“ [WWW] <http://www.kumex.ee/toostuslikud-plastid/> (18.05.15)
- [26] „Baltic Bolt OÜ tootekataloog,“ [WWW] <http://www.balticbolt.ee/toode.php?show=products&parentID=1> (19.05.15)
- [27] „Anduri S6846,“ [WWW] https://www.elfa.se/elfa3~ee_et/elfa/init.do?item=75-222-38&toc=0 (19.05.15)
- [28] „PM Kaubamaja tootekataloog,“ [WWW] <http://www.pmkaubamaja.ee/> (20.05.15)
- [29] Mehaanikainseneri käsiraamat, Tallinn, TTÜ Kirjastus, 2013

LISAD

Löögimehhanismi kabariitmõõtmed



LISA 2

Eskiisid

