



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
MEHAANIKATEADUSKOND

Mehhatroonikainstituut
Mehhatroonikasüsteemide õppetool

MHK 40LT

Kaspar Kriisk

KIVISAE LIIGUTAMISSÜSTEEMI OPTIMEERIMINE
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

“.....”2016a.

Töö autor

..... allkiri

Töö vastab lõputööle esitatavatele nõuetele.

“.....”2016a.

Juhendaja

..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.

..... õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“.....”2016 a.

..... allkiri

SISUKORD

AUTORIDEKLARATSIOON	2
EESSÕNA	5
SISSEJUHATUS	6
1. Olemasoleva süsteemi analüüs	7
1.1 Süsteemi toimimise loogika	7
1.2 Vajaminevate suuruste mõõtmine	8
2. Võimalike lahenduste uurimine	10
2.1 Elektromagnetiga kiilude liigutamine	10
2.2 Teised kiilude liigutamise viisid	10
2.2.1 Ülekande valik.....	11
2.2.1.1 Siinuskulissmehhanism	11
2.2.1.2 Hammaslattuülekanne	12
2.2.1.3 Kruviülekanne	12
3. Komponentide valik	13
3.1 Mootor ning ülekanne	13
3.2 Draiver ning mikrokontroller	14
3.3 Toiteallikas	16
4. Valmislahenduse projekteerimine	18
4.1 Elektriskeemi koostamine	18
4.2 Mehaanikakomponentide projekteerimine	19
4.2.1 Mootori ning kelgu kinnitus	20
4.2.2 Detail kiilude liigutamiseks	22
4.2.3 Nurgad kiilude liigutamiseks	22
4.3 Mehaanikakomponentide omavahelised ühendused	23
4.4 Juhtimise funktsionaalne skeem	24
4.5 Projekti hind	26
KOKKUVÕTE.....	27
SUMMARY	28
KIRJANDUSE LOETELU	29
LISAD	31
Lisa 1	31
Lisa 2	32
Lisa 3	33

BAKALAUREUSETÖÖ ÜLESANNE

2016 aasta kevadsemester

Üliõpilane: Kaspar Kriisk, 134359MAHB
Õppekava: MAHB 01/13
Eriala: Mehhatroonika
Juhendaja: prof Mart Tamre

BAKALAUREUSETÖÖ TEEMA:

(eesti keeles) **Kivisae liigutamissüsteemi optimeerimine**
(inglise keeles) **Optimizing stone saw movement logic**

Töös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1.	Olemasoleva liigutamissüsteemi analüüs	01.04.2016
2.	Võimalike optimeerimislahenduste uurimine ning lahenduse valik	10.04.2016
3.	Vajalike elektroonikakomponentide valik ning elektriskeemi koostamine	25.04.2016
4.	Vajalike mehaanikakomponentide valik ning vajadusel nende disainimine ning dimensioneerimine	05.05.2016
5.	Juhtprogrammi koostamine	15.05.2016
6.	Töö lõppvormistus, trükkimine ja köitmine	20.05.2016

Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid:

Töö eesmärgiks on analüüsida hetkel toimivat sae liigutussüsteemi ning leida sobiv lahendus antud süsteemi optimeerimiseks töötamaks kiiremini ning efektiivsemalt. Töös koostatakse tehnilised joonised antud lahenduse realiseerimiseks.

Töö keel: **eesti**

Kaitsmistaotlus esitada hiljemalt: 16.05.2016

Töö esitamise tähtaeg: 20.05.2016

Üliõpilane..... /allkiri/..... kuupäev.....
Juhendaja..... /allkiri/..... kuupäev.....

EESSÕNA

Töö eesmärk tulenes ettevõtte OÜ Jõhvikivi vajadusest kivisae parendusele. Töö raames konstrueeritakse olemasolevale seadmele lisafunktsioon, mille abiga lüheneb kivide lõikamiseks kuluv aeg. Selle tulemusena säästab antud ettevõtte nii aega kui ka raha.

Antud ülesande jaoks on vaja kõigepealt analüüsida olemasolevat süsteemi ning seejärel leida sobiv lahendus probleemi lahendamiseks. Lahenduse leidmisel tuleb arvestada raskete töötingimuste (tolm, vesi ning vibratsioon) ja süsteemi maksumusega.

SISSEJUHATUS

Töö eesmärgiks on analüüsida hetkel toimivat sae liigutussüsteemi ning leida sobiv lahendus antud süsteemi optimeerimiseks töötamaks kiiremini ning efektiivsemalt. Tegu on suure kivisaega, mis langetab sae ketast iga kord suunda muutes. Sae liikumise suunda muudetakse ainult telje lõppu jõudes ning sellest tuleneb ka probleem. Väiksemate detailide lõikamiseks kulub sama palju aega kui suurte detailide lõikamiseks, sest saag ei ole suuteline suunda muutma telje suvalises asukohas.

Sae liikumise suunda ning langetamist teostatakse nii elektriliste – kui ka mehaaniliste lülitite abiga. Täiesti uue sae liigutussüsteemi välja töötamine nõuab liialt palju ressursi, aega ning raha, sellest tulenevalt oleks ülesandeks täiustada antud süsteemi nii, et väiksemaid detaile oleks võimalik saagida kiiremini. Esmalt tuleb olemasolevat süsteemi analüüsida ning seejärel välja pakkuda erinevad lahendused antud probleemile. Pakutuid lahendusi tuleb analüüsida ning nende seast valida sobiv lahendus.

Valitud lahendusega kaasneb vajadus uutele komponentidele. Mehaanika komponentide valikul tuleb arvestada nende mõjuvaid jõude (koos tolerantsidega) ning nende töökeskkonda, mida raskendavad vesi, tolm ning vibratsioon. Neid samu raskeid töötingimusi tuleb ka elektroonikakomponentide valikus arvestada kuid lisaks eelmainitud ohuteguritele, häirib elektroonikakomponente ka elektrooniline müra.

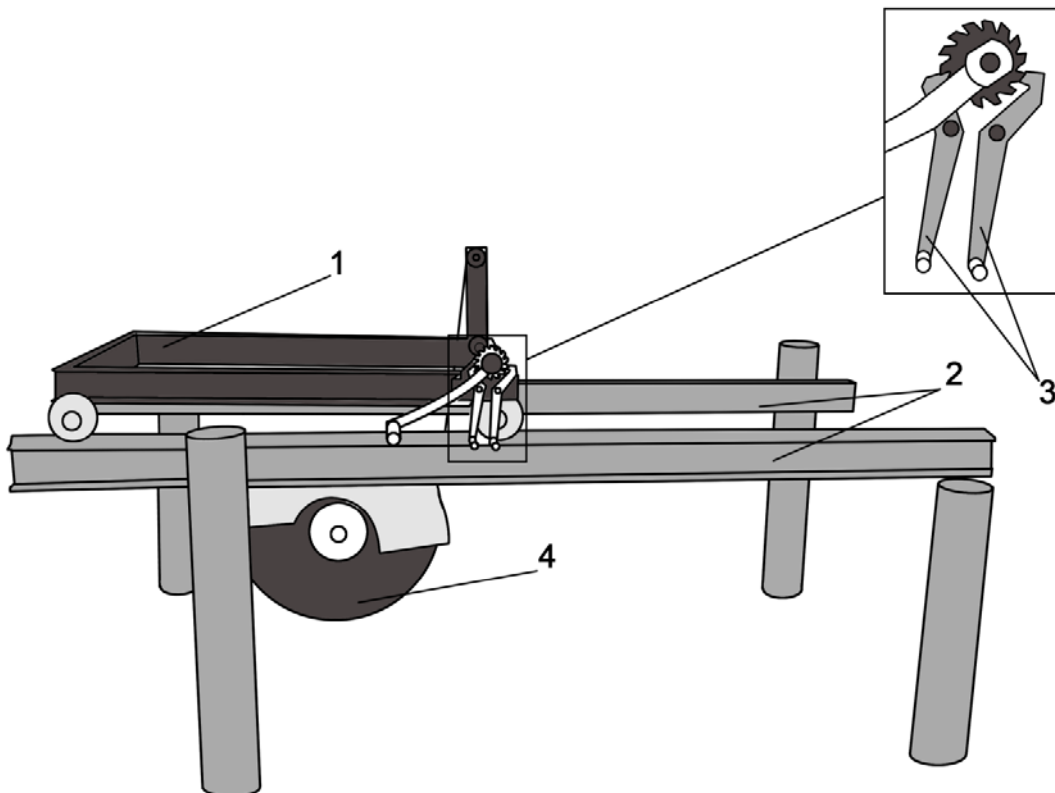
Bakalaureusetöö erinevatel etappidel kasutatakse erinevaid arvutitarkvarasid. Vajalike mehaanikakomponentide disainimisel ning dimensioneerimisel kasutatakse Dassault Systèmes tarkvara SolidWorks-i. Elektriskeemi koostamisel kasutatakse programmi KiCad. Juhul kui selgub, et lahenduses on tarvis kasutada kontrolleri, siis selle programmeerimine toimub kontrolleriiga ühilduvas programmis ning -keeles.

1. Olemasoleva süsteemi analüüs

1.1 Süsteemi toimimise loogika

Üldjuhul ei ole nii suurtes mõõtmetes kivisaage müügis valmistootena, vaid on kõik tellitud eritöödena – nii on ka antud süsteem. Probleem on aga selles, et lahendus on aegunud ning vajaks uuendamist.

Kivisaag liigub kahel relsil, ühes teljes, mis on kinnitatud terastorudele keevisliite abil. Kelk, millele saag on kinnitatud, liigub mööda telge edasi-tagasi, kusjuures sae tera pöörleb vaid ühes suunas. Kelgu jõudmisel telje lõppu, muutub liikumine vastasuunaliseks ning saetera langetatakse 2 mm allapoole. Kelgu liikumist telje lõppu tuvastatakse elektroonilise lülitiga, mis aktiveerib relee, mis vahetab mootori poolused - nii saavutatakse edasi-tagasi liikumine. Sae langetamiseks kasutatakse joonisel 1.0 väljatoodud mehaanilist lülitust. Kelgu jõudmisel relsi lõppu liigub hammasratta kiil vastu otsplaati, mis liigutab kiilu hammasrattast välja. Hammasrattas pöörleb seega vastupäeva kuni vastaspoolel olev kiil kukub hammasrattasse. Selle pöörlemise tulemusena langeb koos hammasratta liikumisega ka saag 2 mm madalamale.



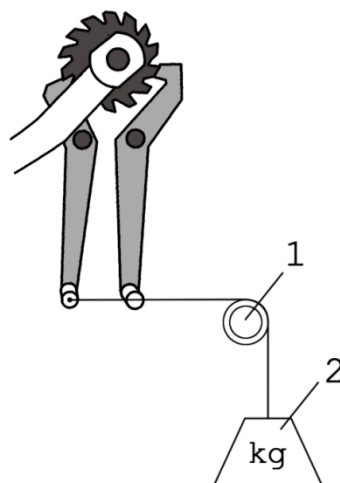
Joonis 1.0 Sae üldskeem: 1.Kelk, 2.Relssid, 3. Kiilud, 5.Saetera

Tundub, et probleemi lahenduseks oleks kõige mõistlikum kasutada olemasolevaid elektroonilisi lüliteid, mis lisaks olemasolevale ülesandele, hakkaksid täitma ka uut ülesannet. Selleks ülesandeks oleks olemasolevate mehaaniliste kiilude liigutamine. Teisisõnu, lülitid hakkavad olema teisaldatavad (kinnituvad relssidele magnetiga) ning kelgu jõudmisel lülitini hakkab kelk vastassuunas liikuma ning lisaks saadetakse signaal elektroonikale, mis liigutab hammasratta kiilusid.

1.2 Vajaminevate suuruste mõõtmine

Selleks, et valida erinevaid elektroonilisi lahendusi antud kiilude liigutamiseks tuleb neid veidi lähemalt uurida. Nimelt, lahenduse valikuks peab teadma kiilude liikumise amplituudi ning vajaminevat jõudu. Liikumise amplituud mõõdeti otse süsteemil. Vajamineva jõu leidmiseks aga ehitati rakis jõu mõõtmiseks, mis on ka näidatud joonisel 1.1.

Kiil ning raskus on omavahel ühendatud koormarihmaga, mis jookseb üle veerelaagri. Kuna tegu on käsitsi tehtud hammasratta ning kiiludega, siis ei saa kindel olla, et ühe lülituse puhul kehtib sama jõud mõlemale poolele ning igale hammasratta hambale. Seega tehti eraldi mõõtmised nii mõlemale poolele kui ka igale hammasratta vahele, mida on kokku 14. Massi suurendati 1 kg-Ste sammudega kuni kiilu lülituseni. Seejärel teisendati mõõdetud tulemus ümber njuutoniteks. Mõõtmistulemused on kajastatud tabelis 1.0.



Joonis 1.1 Testrakis vasaku kiilu lülitamiseks vajamineva jõu leidmiseks: 1.Veerelaager, 2.

Raskus

Tabel 1.0. Mõõtmistulemused hammasratta kiiludele

Hammasratta vahe nr	Vasak hammasratta kiil		Parem hammasratta kiil	
	Lülitav mass [kg]	Lülitav jõud [N]	Lülitav mass [kg]	Lülitav jõud [N]
1	39	382,2	31	303,8
2	39	382,2	30	294
3	42	411,6	29	284,2
4	39	382,2	30	294
5	40	392	30	294
6	40	392	28	274,4
7	39	382,2	31	303,8
8	41	401,8	30	294
9	39	382,2	30	294
10	40	392	30	294
11	39	382,2	29	284,2
12	39	382,2	29	284,2
13	38	372,4	30	294
14	39	382,2	28	274,4
	Liikumise amplituud = 65 mm		Liikumise amplituud = 55 mm	

Arvutamisel tehtud lihtsustus: 1 kg ~ 9,8 N

Mõõtmistulemustest on näha, et vajalikud jõud kiilude liigutamiseks on üsnagi suured – 411,6 N ühes suunas ning 303,8 N teises suunas.

2. Võimalike lahenduste uurimine

2.1 Elektromagnetiga kiilude liigutamine

Erinevate lahenduste uurimisel lähtun eelmises peatükis leitud suurustest, milleks on vajaminev jõud ning liikumise amplituud. Lisaks on tähtis lahenduse juures selle töökindlus antud keskkonnas ning kogumaksumus.

Esmapilgul näib, et elektromagnetiga kiilude liigutamine oleks lihtne ning töökindel. Selleks ei ole vaja lisada mingeid liikuvaid osi ning seetõttu elektromagnetite kinnitamine kiilude juurde oleks selle võrra ka lihtsam. Samuti üheks positiivseks küljeks oleks elektromagnetite madal hind ning suurte jõudude juures on voolutarve üsna väike.

Siiski on üks parameeter, mille tõttu elektromagnet selle ülesande lahenduseks ei sobi – vajaliku liikumise amplituud. Tüüpkasutatav elektromagnet ei suuda tekitada piisavalt tugevat magnetvälja 65 mm kaugusele, et saavutada ülesandes vajalikku jõudu. Kui aga vaadata elektromagnetit, mis suudaks sellist jõudu tekitada, siis kaotab see lahendus kõik eelmainitud elektromagneti eelised. Antud lahendus muutub liiga kalliks ning suure elektromagneti kinnitamine muutub ka probleemsemaks.

2.2 Teised kiilude liigutamise viisid

Hüdrosilindri eeliseks on suured saavutatavad jõud ning töökindlus. Kuna kivisae läheduses ei ole hüdroüsteemi, millele saaks hüdrosilindri juurde lisada, siis on antud lahendus liiga kulukas antud ülesande jaoks.

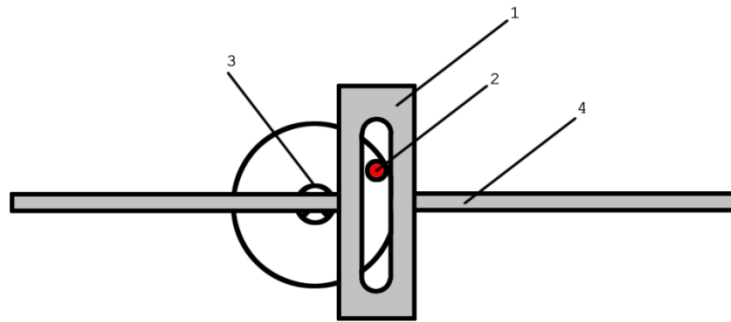
Mootoriga kiilude juhtimine on töökindel lahendus, millega on võimalik saavutada probleemile vastav jõud ning liikumise amplituud. Enne aga, kui saab liikuda erinevate mootorite plusside ning miinuste kaalumise juurde tuleb kindlaks määrata mootori jõu ülekandeviis ehk tuleb valida ülekanne. Alles pärast ülekande valikut saab asuda mootori valimise juurde – ülekande valik lubab määratleda kindlad piirangud mootorile.

2.2.1 Ülekande valik

Ülekande valiku puhul on olulisteks parameetriteks saavutatav jõud, töökindlus ning hind. Samuti tuleb arvestada, et kiilude lülitamine toimub ühel tasandil, seega on vaja leida ülekanne mis muudab mootori pöörliikumise lineaarliikumiseks.

Lahendusi on palju, kuid varasemalt seatud parameetritele vastavad kõige paremini 3 lahendust, milleks on järgnevad: Siinuskulissmehhanism, hammaslattuülekanne või kruviülekanne.

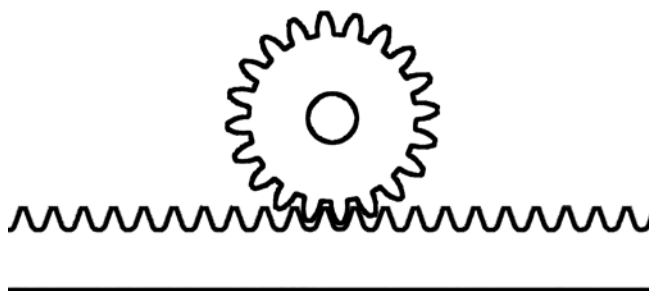
2.2.1.1 Siinuskulissmehhanism



Joonis 2.0 Siinuskulissmehhanism: 1.Rakend, 2.Juhtvõll, 3.Mootor, 4.Liigutatav võll

Siinuskulissmehhanismiga on võimalik üle kanda suuri jõude lihtsate ning odavate komponentidega. Sellest sõltumata ei sobi antud ülekanne probleemi lahenduseks, kuna kivisaag töötab väga rasketes töötingimustes. Vesi ning tolmu kiirendaksid rakendi kulumist. Lahendusena võiks ülekandele vee- ning tolmu kindla korpuse projekteerida, kuid selle ehitamine osutuks liiga kulukaks ning samuti võtaks üleliia ruumi. Lisaks, vajab siinuskulissmehhanism toetamist liigutatavale võllile.

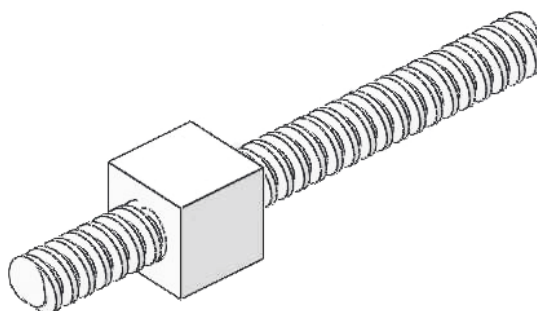
2.2.1.2 Hammaslattuülekanne



Joonis 2.1 Hammaslattuülekanne

Hammaslattuülekanne on omaduste poolest üsnagi sarnane siinuskulissmehhanismiga. Hammaslattuülekannde üheks suureks eeliseks on selle lihtsus ning ka sellest tulenevalt selle maksumus. Võimalik ülekantav jõud on piisav ülesande püstituse jaoks. Sellest sõltumata omab hammaslattuülekanne samu probleeme, mis siinuskulissmehhanismgi. Nimelt saeruumis töötamiseks vajaks selline ülekanne tolmukindlat korpust ning hammaslattu vajaks toetust.

2.2.1.3 Kruviülekanne



Joonis 2.2 Kruviülekanne

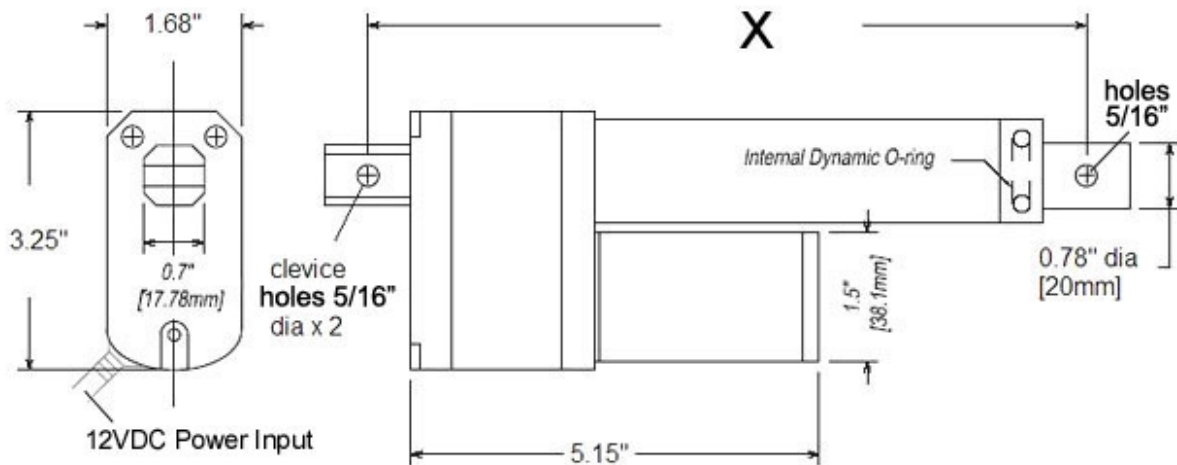
Kruviülekanne nagu ka kaks eelmist ülekannet on võimeline edasi kandma piisavalt suuri jõude ülesande lahenduseks. Kruviülekannde eeliseks aga eelnevate ülekannete ees on tema kompaktsus. Just kompaktsuse tõttu müüakse kruviülekannde valmislahendusi eraldi tootena, millele on mootor juba külge ühendatud. Seetõttu on valmisprodukt nii vee- kui ka tolmukindel ning võtab minimaalselt ruumi. Selline valmisprodukt rahuldab etteseatud tingimusi.

Erinevatest analüüsitud lahendustest osutus parimaks kruviülekannde kasutamine koos mootoriga.

3. Komponentide valik

3.1 Mootor ning ülekanne

Valitud mootoriks koos ülekandega osutus Servocity HDA8-30. Mootor osutus valituks tema edasikantava jõu, potentsiomeetri olemasolu ning madala maksumuse tõttu.



Joonis 3.1 Mootori mõõtmed [10]

Mootori parameetrid:

Tabel 3.1 Mootori parameetrid [10]

Parameeter	Väärtus
Tööpinge (V)	6,0 – 12,0
Töötemperatuur (°C)	-26 kuni +65
Kiirus ilma koormuseta (mm/s)	7,62
Kiirus maksimaalse koormusega (mm/s)	5,08
Maksimaalne koormus (kg)	81
Voolutarve maksimaalse koormusega (A)	3,8
Mootori tüüp	3 poolusega ferriitmootor, DC
Potentsiomeetri tüüp	10kOhm, lineaarne
Ülekande suhe	40:1
Hammasrataste arv	4
IP klass	IP65
Korpuse materjal	Tsingi sulam

Antud mootor sobib lahenduseks suurepäraselt, kuna see on suuteline avaldama piisavalt jõudu lineaarsihis, varustatud potentsiomeetriga, et tagada positioneerimistäpsus ning vastab ette seatud töökeskkonna nõuetele. IP65 klass tähendab korpuse täielikku tolmukindlust ning veekindlust veejuga suhtes. Tööpingeks on mootoril 12 volti ning maksimaalne voolutarve 3,8 amprit – nende parameetrite järgi on võimalik valida DC mootorile draiverit.

3.2 Draiver ning mikrokontroller

Kõige optimaalsem DC mootori kiiruse juhtimise viis on kasutada pulsilaiusmodulatsiooni (PWM)[6]. See on modulatsiooni liik, millega reguleeritakse saadetava signaali pulsi pikkust, millega lülitatakse mootorit sisse-välja. Mida pikem pulsi pikkus, seda kiirem mootori liikumine. PWM-i eeliseks on tema efektiivsus ning lihtsus. Pulsilaiusmodulatsiooni efektiivsus tuleneb võimsuse valemist:

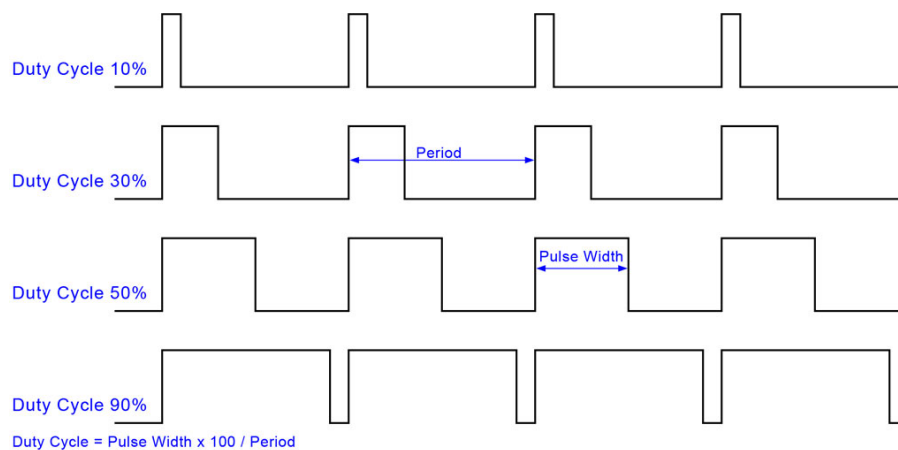
$$P = U \cdot I \text{ (W)}, \quad (3.2)$$

kus U - pinge (V);

I - voolutugevus (A).

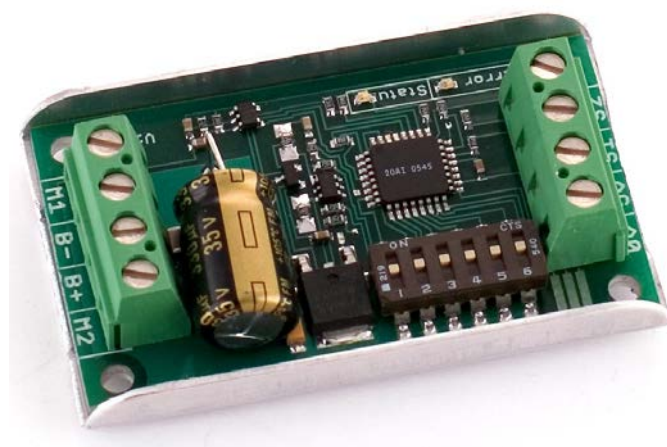
Valemist on näha, et pinge või voolutugevuse lähenemine nullile tähendab ka võimsuse lähenemist nullile, mis teebki pulsilaiusmodulatsiooni sellisel viisil efektiivseks. Pulss saab olla vaid kahes olekus – nominaalpinge või 0 V, ehk digitaalne 1 või 0. PWM-i iseloomustatakse tihti peale töösükli protsendiga, mis näitab mitu protsenti ajast on signaal nominaalpinge juures. Protsent arvutatakse järgneva valemi kohaselt:

$$\text{Töösükkel} = \text{Pulsi laius} \cdot 100 / \text{Periood} \quad (3.3)$$



Joonis 3.1.2 PWM [7]

Valitud mootori draiveriks osutus Dimension Engineering SyRen 10 [12]. SyRen 10 osutus valituks selle mitmekülgsuse tõttu. Selle draiveri abiga on võimalik juhtida mootoreid pingega kuni 24 volti, kusjuures mootori voolutugevus võib küündida kuni 10 amprini. Draiveri ning mikrokontrolleri vaheliseks suhtluseks saab kasutada erinevaid protokolle - analoogsignaali, R/C signaali ning TTL RS-232. Võrreldes teiste draiveritega on SyRen 10 eelistatud tema kasutajasõbralikkuse, korrektse dokumentatsiooni olemasolu ning madala hinna tõttu.

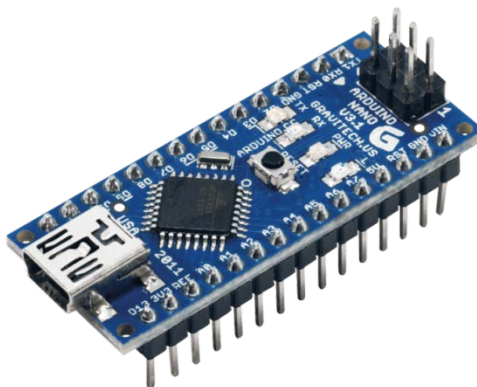


Joonis 3.2 Mootori draiver [11]

Tabel 3.2 Mootori draiveri parameetrid [11]

Parameeter	Väärtus
Tööpinge (V)	Kuni 24
Maksimaalne pikaajaline voolutarve (A)	10
Maksimaalne lühiajaline voolutarve (A)	15

Valitud mikrokontrolleriks osutus Arduino Nano V3 [12]



Joonis 3.3 Arduino Nano V3 [12]

Tabel 3.3 Mikrokontrolleri parameetrid [12]

Parameeter	Väärtus
Protsessor	Atmel Atmega328
Tööpinge (V)	5
Sisendpinge (V)	6 – 20
Digitaalsete sisendite/väljundite arv	14
PWM sisendite/väljundite arv	6
Analoogsisendite arv	8
Maksimaalne voolutugevus I/O pin-i kohta (mA)	40
Programmi mälu (KB)	32
Taktigeneraatori kiirus (MHz)	16
SRAM mälu maht (KB)	2
EEPROM mälu maht (KB)	1

Valitud mikrokontroller osutus antud olukorras valituks, kuna sellel on piisavalt programmeeritavaid I/O pin-e, analoogsisendeid ning PWM võimalus. Lisaks on võimalik kasutada ühist toiteallikat nii mikrokontrolleri kui ka draiveri jaoks, sest mõlemad on võimelised töötama 12 V pinge juures.

3.3 Toiteallikas

Valitud toiteallikaks osutus MeanWell GSM60B12-P1J [13]



Joonis 3.4 Toiteallikas [13]

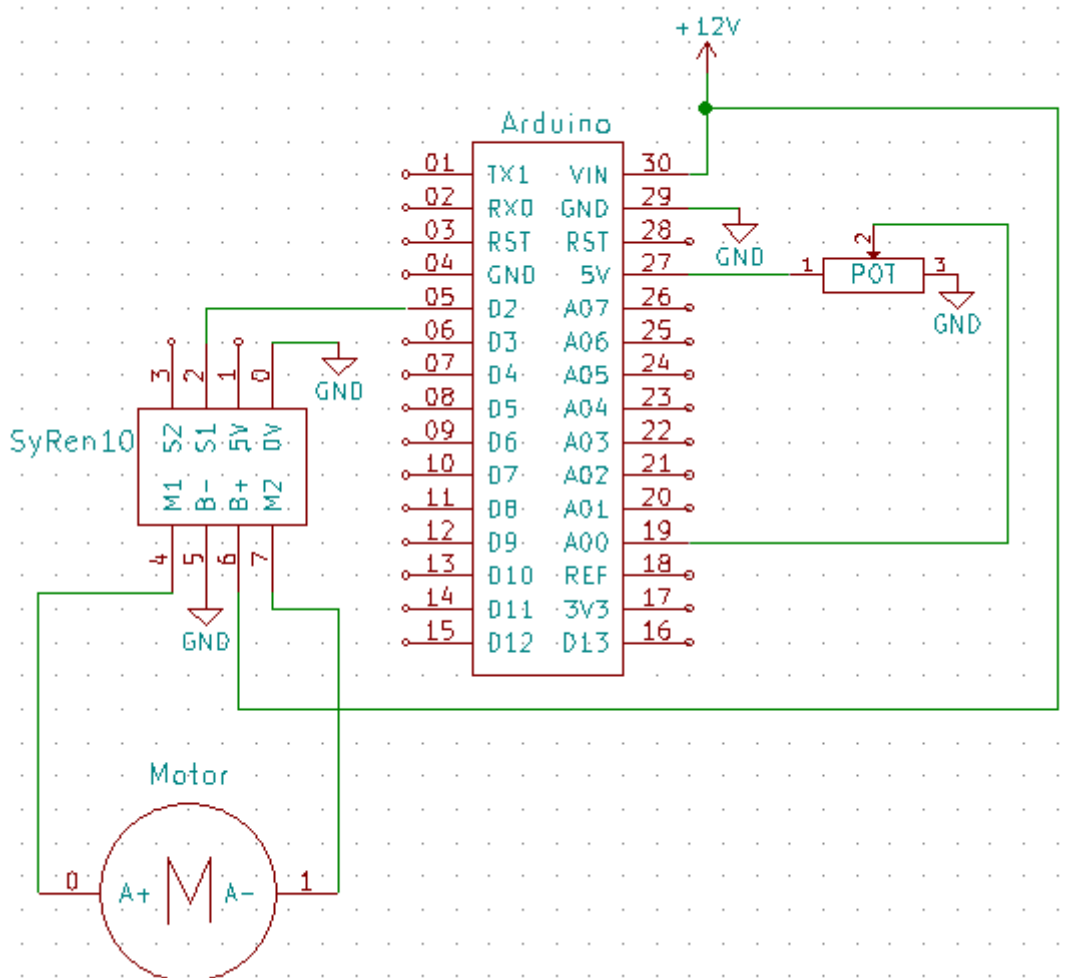
Tabel 3.4 Toiteallika parameetrid [13]

Parameeter	Väärtus
Võimsus (W)	60
Sisendpinge (V)	80 - 264
Maksimaalne väljundvoolutugevus (A)	5
Kasutegur (%)	Kuni 91,5

4. Valmislahenduse projekteerimine

4.1 Elektriskeemi koostamine

Elektriskeemi koostamiseks kasutati programmi KiCad, mis on avatud lähtekoodiga tasuta programm, mis on mõeldud nii elektroonikaskeemide kui ka trükkplaatide projekteerimiseks.

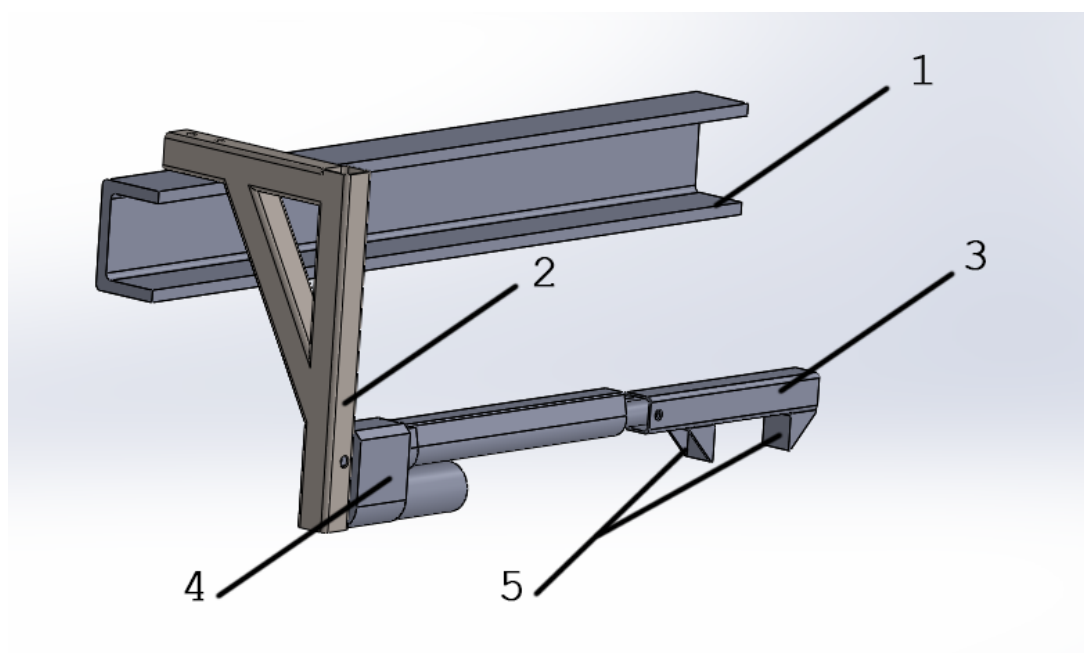


Joonis 4.0 Elektroonikaskeem

Antud skeemile jõuab 12 V toiteplohist, ning skeemilt märgitud potentsiomeeter tähistab potentsiomeetrit, mis on valmistootena valitud mootori küljes. Potentsiomeetri olemasolu lineaarajamis on väga tähtis, eriti kui tegu on DC mootoriga. Tänu potentsiomeetrile on võimalik fikseerida mootori täpne asukoht.

4.2 Mehaanikakomponentide projekteerimine

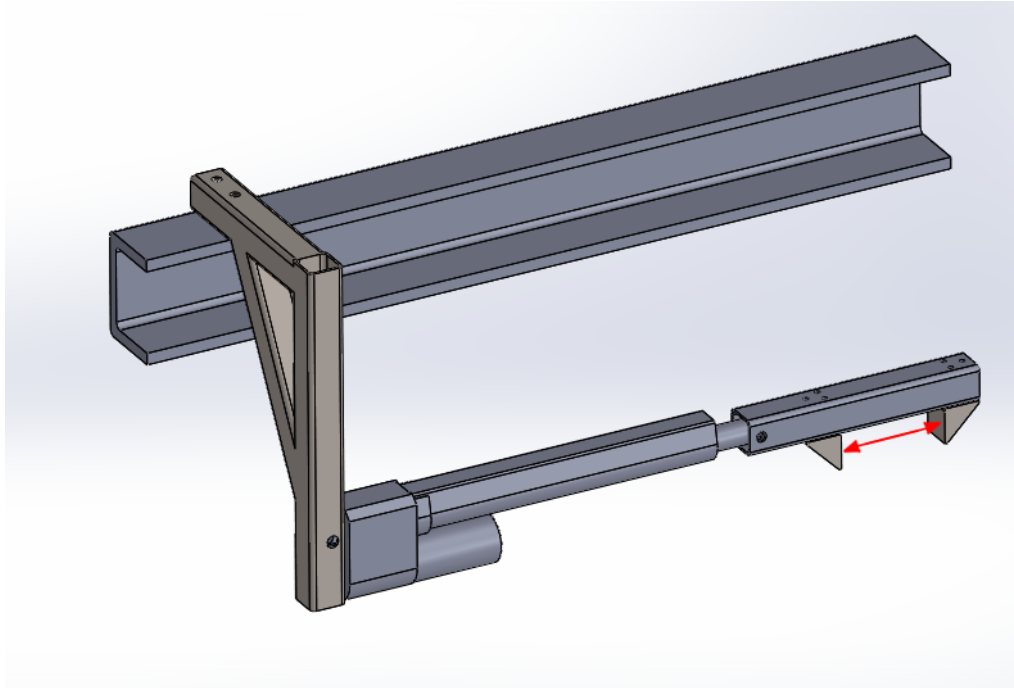
Mehaanikakomponentide põhieesmärgiks on kinnitada mootor kelgu külge nii, et see oleks võimeline liigutama kahte kiilu. Detailide projekteerimisel on arvesse võetud struktuuri tugevust ning detailide võimalikke tootmistehnoloogiat. Ettevõtte eelistatuimaks tootmistehnoloogiaks on keevitamine, mida on võimalik ettevõttes kohapeal teostada. Mehaanikakomponentide projekteerimiseks ning dimensioneerimiseks kasutati programmi SolidWorks.



Joonis 4.1 Mehaanikakomponendid

Joonisel 4.1 on toodud pilt terviklikust lahendusest, kus on nummerdatud erinevad detailid. Kelgu liikumisel relsil, liigub terve projekteeritud lahendus koos kelguga kaasa, kuna lahendus on kinnitatud kelgule. Kelgu liikumisel otsalülitini saab mootor signaali liigutada detaili nr 3. Detailil nr 3 on kinnitatud kaks nurka vastamisi, joonisel märgitud numbriga 5, mille vahel asuvad liigutatavad kiilud.

- 1 – Osa kelgust, mille külge toimub lahenduse kinnitamine
- 2 – Mootori ning kelgu kinnitus
- 3 – Detail kiilude liigutamiseks
- 4 – Mootor koos ülekandega
- 5 – Nurgad kiilude liigutamiseks

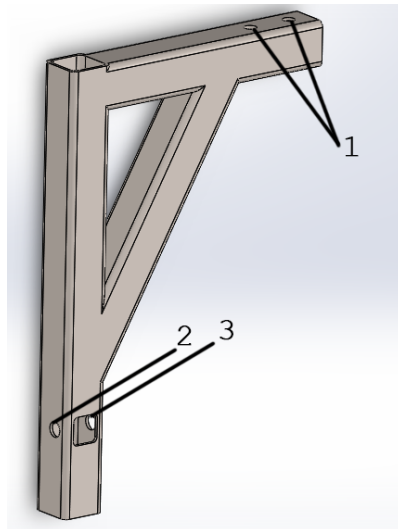


Joonis 4.2 Jõudude mõjumise suund

Joonisel 4.2 on punase värviga märgitud jõudude mõjumise asukoht ning suund. Antud kohast kanduvad jõud üle ka teistele komponentide kinnituskohadele, kuid jõu suund jääb samaks.

4.2.1 Mootori ning kelgu kinnitus

Kinnituse projekteerimisel otsustati teha antud detail nelikanttorust, et minimeerida painet mitmes suunas. Materjal ning toru mõõtmed valiti saadavuse järgi tootekataloogidest[16]. Materjaliks osutus teras S355J2H ning toru mõõtmeteks 30 mm x 30 mm, seinapaksusega 2 mm. Detail koosneb kolmest nelikanttorust mis on omavahel liidetud keevisliitega. Kaks toru on omavahel ühendatud 90° kraadise nurga all, ning kolmas 30° ning 60° kraadise nurga all. Poltidele mõeldud avad detaili on puuritud puurpingis ning ava mootori ühendamiseks on freesitud freespingis.

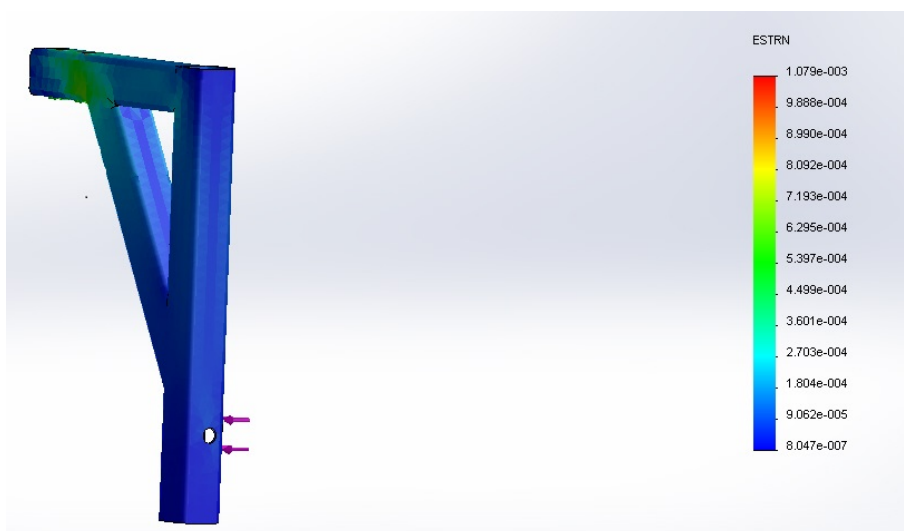


Joonis 4.3 Mootori ning kelgu kinnitus

Joonisel 4.3 on näidatud kinnitusavad kelgule ning mootorile.

- 1 – Kaks kinnitusava kinnitamaks detaili kelgule poltliite abil
- 2 – Üks kinnitusava kinnitamaks mootorit detailile
- 3 – Ava mille abil tagatakse mootori jäik ühendus detailile

Detailile tehti ka tugevusanalüüs programmis SolidWorks, kus määrati jõu suuruseks 800N, et tagada detaili töökindlus.

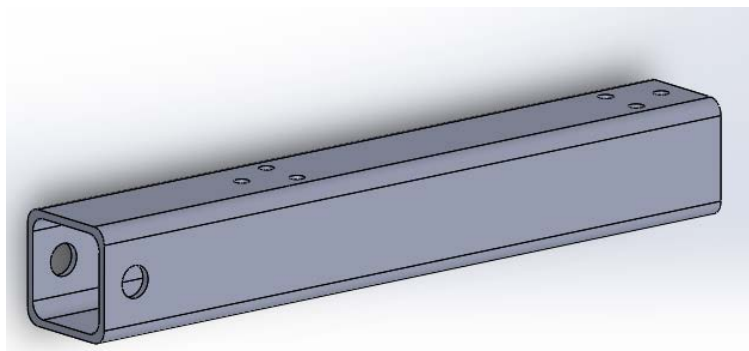


Joonis 4.4 Mootori ning kelgu kinnituse tugevusanalüüs

Joonisel 4.4 on näha, et suurimad sise pinged tekivad detaili ning kelgu kinnituskohas, milleks on 1,9 MPa, mis on tunduvalt alla voolavuspiiri, mis terase S355J2H puhul on 355 MPa.

4.2.2 Detail kiilude liigutamiseks

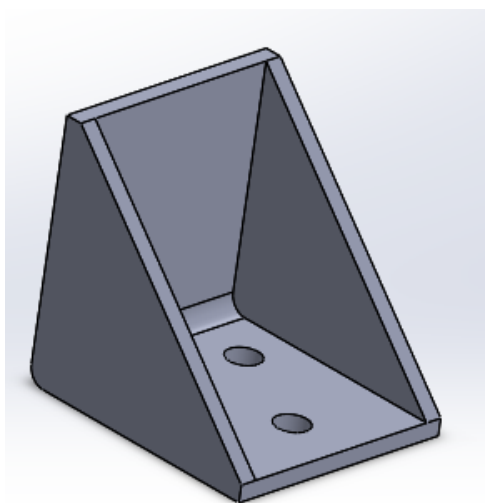
Ka kiilude liigutamiseks ettenähtud detail on projekteeritud nelikanttorust, et nurkade kinnitamine kiilude liigutamiseks oleks lihtsam. Jõud mõjuvad sellel detailil pikki toru, seega ei pea antud detail olema suure seinapaksusega. Sellest sõltumata on kasutatud sama nelikanttoru mõõtmeid, mis on kasutatud ka kelgu ning mootori kinnituseks. Ehk 30 mm x 30 mm, seinapaksusega 2 mm. Detailil on 6 ava nurkade kinnitamiseks ning vasakul ääres mootoriga ühendamiseks. Avad detailis on puuritud puurpingis.



Joonis 4.5 Detail kiilude liigutamiseks

4.2.3 Nurgad kiilude liigutamiseks

Nurgad kiilude liigutamiseks on projekteeritud 2 mm paksusest terasest, mis on omavahel kinnitatud keevisliite abil. Detaili põhjas on 3 ava kinnitamaks seda alumisele nelikanttorule poltliite abil, mis on puuritud puurpingis. Materjal on lõigatud metall-latist.



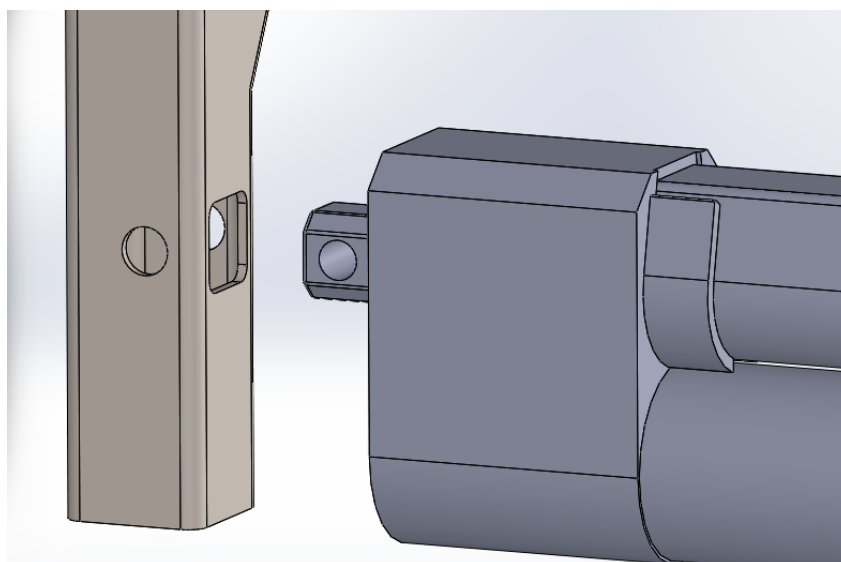
Joonis 4.6 Nurk kiilu liigutamiseks

4.3 Mehaanikakomponentide omavahelised ühendused

Kõik kinnitusvahendid, milleks on poldid ning mutrid, on tsingitud, et tagada kinnitusvahendite korrosioonikindlus. Kõik kasutatavad poldid ning mutrid on mõõtmega 8 mm (v.a nurkade kinnitus, mis on mõõtmega 4 mm) ning avad on projekteeritud vastavalt nende suurusele.

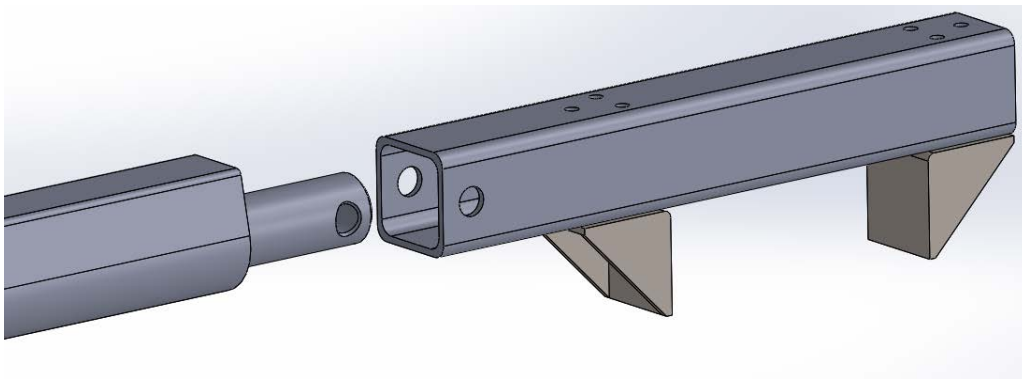
Mootori ning kelgu kinnituse ühendamine kelgule toimub jäigalt poltliite abil. Avad poltide jaoks on 8 mm suurused ning avasid on kaks. Kinnitamine toimub läbi terve nelikanttoru, et tagada kinnitamise lihtsus.

Mootori ning kelgu kinnituse ühendamine mootoriga toimub samuti jäikliitega, kuid see on saavutatud ühe poldi ning tasapindade kokkupuutel. Joonisel 4.6 on näidatud kandiline ava, mille sisse liigub mootori kinnitamiseks mõeldud väljaulatuv osa ning seejärel on nad kinnitatud poltliitega, mis liigub läbi terve nelikanttoru. Seega mootori lame tagumine pind ning nelikanttoru pind toetuvad üksteisele. Nii on tagatud stabiilne jäikliide, vaid ühe kinnitusava kasutamisega. Võimalik on ka kasutada distantspukse kahe pinna vahel, kui peaks selleks vajadus tekkima.



Joonis 4.7 Mootori ning kelgu kinnituse kinnitamine

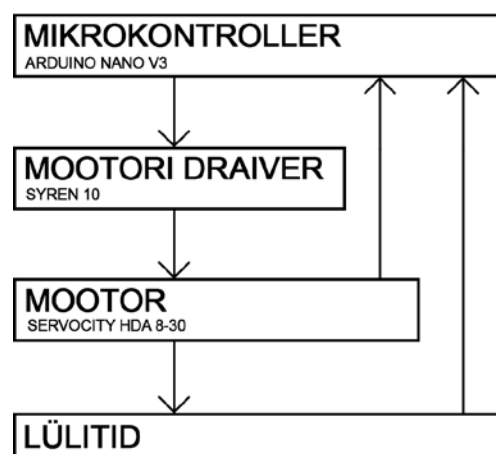
Mootori ning kiilude liigutamiseks mõeldud detaili kinnitamine toimub ühe poldi abil, et tagada detaili liikuvus. Antud kohta ei ole võimalik projekteerida jäika liidet, sest liigutatavad kiilud liiguvad lülitamisel mitte ainult horisontaalselt vaid ka mingil määral vertikaalselt. Suurte jõudude tõttu on hõõrdejõud kiilude ning kiilude liigutamiseks mõeldud detaili olevate nurkade vahel suur, seega igasugune vertikaalne liikumine tähendaks suurt pinget mootoris olevale kruviülekandele, mis takistaks ülekande korrektset toimimist. Seetõttu on projekteeritud kinnitus liikuv vertikaalses suunas kuid samas kannab üle horisontaalset arendatavat jõudu. Detail ise toetub kiiludele ning detaili maha libisemist kiiludelt takistavad detailil paiknevad nurgad.



Joonis 4.8 Mootori ning kiilude liigutamise detaili kinnitus

Kiilude liigutamiseks mõeldud detail ning sellel paiknevad nurgad on kinnitatud jäigalt poltliitega, mis ulatub läbi terve nelikanttoru, et tagada kinnitamise lihtsus.

4.4 Juhtimise funktsionaalne skeem



Joonis 5.0 Juhtimise funktsionaalne skeem

Süsteemi juhtimiseks on eelnevalt valitud mikrokontroller, mis suhtleb mootori draiveriga kasutades jadaandmesidet. Jadaandmeside osutus valituks oma lihtsuse tõttu - kasutades ühte signaalijuhet on võimalik panna mikrokontroller ning mootori draiver omavahel suhtlema.

Draiver juhib mootorit vastavalt mikrokontrolleri käskudele. Draiver vahetab nominaalpinget ehk 12 V ning 0 V mootori poolustel, millega saavutatakse mootori liikumissuuna vahetus ja kiiruse reguleerimiseks kasutatakse pulsilaiusmodulatsiooni.

Mootori küljes olev potentsiomeeter on ühendatud mikrokontrolleriga, millele saadab ta infot mootori asukoha kohta. Potentsiomeetri nominaalpingeks seatakse mikrokontrolleri tööpinge, mis antud juhul on 5 V, vastu liigub potentsiomeetrist mikrokontrollerisse väärtus 0 V ning 5 V vahemikus olenevalt mootori asukohast. Seda pingete vahemikku loeb mikrokontroller ning olenevalt mikrokontrolleri täpsusest jaotab selle osadeks. Arduino Nano V3 suudab jagada 5 volti 1024-ks erinevaks väärtuseks – 0-st 1023-ni. Valitud mootori käigupikkus on 203,2 mm, seega:

$$203,2 / 1024 = 0,198 \text{ mm}$$

$$5 / 1024 = 0,004882 \text{ V} = 4.883 \text{ mV}$$

Võib järeldada, et antud mikrokontrolleriga on teoreetiliselt võimalik mootori positsiooni määrata ligikaudu 0,20 mm täpsusega. Reaalselt on aga mõõtmise täpsus madalam, sest saadetakse signaal on kergesti mõjutatav erinevate häirivate faktorite poolt. Kiilude liigutamiseks on tähtis positioneerimine täpsusega 5 mm, ehk:

$$203,2 / 5 \approx 40 \text{ sammu}$$

$$5 / 40 = 0,125 \text{ V}$$

Sellise täpsusega signaal on piisavalt kõrge pingete vahemikuga, et tagada signaali mürakindlus.

Mikrokontrolleri külge on ühendatud ka mitu erinevat lülitit, millel on erinevad otstarbed. Näiteks teisaldatavad lülitid, millega reguleeritakse sae liikumise amplituudi on ühendatud mikrokontrolleriga, et teavitada seda sae langetamise vajadusest. Teistsugused lülitid asuvad sae kontrollpaneelil, mille abiga on samuti võimalik saagi langetada. Selline olukord võib tekkida madalama kivi saagimisel, mille puhul on madalam saagimise startpositsioon.

Kogu juhtimise elektroonika paikneb saest eemal paiknevas elektrikapis, kus on garanteeritud elektroonika kaitsmine vee, müra ning tolmu eest. Seetõttu on ka mootori draiver ning mikrokontroller kaitstud mootorite poolt genereeritud elektromagnetvälja eest.

Mikrokontrolleri programm on kirjutatud C programmeerimiskeeles (Lisa 1), kasutades Arduino Libraries for SyRen/Sabertooth Serial v1.5 teeki [18]. Programmeerimise keel valiti lähtudes mikrokontrolleri valikust. Programmi kirjutamiseks, kompileerimiseks ning mikrokontrollerisse laadimiseks kasutati programmi Arduino 1.6.7 [19].

4.5 Projekti hind

Lahenduse valikul oli üks otsustavaks faktoriks ka projekti maksumus, seega on kohane välja tuua ka kõikide komponentide maksumus.

Tabel 4.5 Projekti hind

Komponent	Kogus	Hind (EUR)	Allikas
Mootor & ülekanne	1	115	Servo City
Mootori draiver	1	44	Dimension Engineering
Mikrokontroller	1	35	Gravitech
Toiteallikas	1	27	Elfa
Nelikanttoru 30x30x2 mm	1 m	4	Sanistal
Latt 40x2 mm	1 m	4	Metall24
Polt 8x50 mm	4	0,6	Baltic Bolt
Polt 4x50 mm	6	0,5	Baltic Bolt
Mutter 8 mm	4	0,1	Baltic Bolt
Mutter 4 mm	6	0,1	Baltic Bolt
Projekti arvutuslik maksumus		230,3	

KOKKUVÕTE

Bakalaureusetöö teema tulenes koostöös ettevõtte OÜ Jõhvikivi-ga. Ettevõtte töötajad nägid võimalust minimeerida kivist detailide saagimiseks kuluvat aega ning tehes seda optimeerides sae liigutamissüsteemi. Töö viidi läbi professor Mart Tamre juhendamisel.

Kivisae analüüsimise käigus selgus, et kõige optimaalsem oleks kasutada võimalikult palju olemasolevaid lahendusi, et säilitada sae töökindlus ning minimeerida uue lahenduse maksumust. Seetõttu otsustati kasutada olemasolevaid teisaldatavaid otsalüliteid signaaliks, mille tulemusena liigutatakse kiilusid, mis omakorda langetaksid saetera. Kiilude liigutamiseks vajamineva jõu leidmiseks ehitati testrakis, mille abiga suunati kiilule mõjuv jõud raskusjõuks. Selle tulemusena leiti kiilude lülituseks vajaminev jõud, milleks on ligikaudu 412 N.

Leitud jõu ning olemasoleva lahenduse põhjal hakati analüüsima erinevaid võimalusi, mis võiksid sobida lahenduseks. Valituks lahenduseks osutus kruviülekande kasutamine koos DC mootoriga. Seejärel toimus konkreetse mootori valik, millele valiti ka draiver ning draiveriga suhtluseks mikrokontroller. Kõikide komponentide tööpingeks osutus 12 V, seega valiti kõikidele komponentidele ühtne toiteallikas. Lähtudes komponentide valikust koostati ka lahendusele elektriskeem.

Mehaanika komponendid projekteeriti, lähtudes ettevõttele eelistatud tootmistehnoloogiast ning dimensioneeriti vastavalt eelnevalt leitud jõududele. Projekteerimiseks ning dimensioneerimiseks kasutati programmi SolidWorks.

Viimaseks etapiks oli juhtimise funktsionaalse skeemi koostamine ning vastavalt sellele mikrokontrollerile juhtprogrammi kirjutamine.

Töö tulemust võib lugeda õnnestunuks, sest kõik püstitatud tingimused ning eesmärgid on edukalt täidetud, samal ajal on jäänud projekti kogumaksumus madalaks. Seetõttu on ettevõtte seisukohast kasumlik läbi viia projekteeritud lahenduse realiseerimine, et minimeerida saagimiseks kuluvat aega ning ressursi.

SUMMARY

The topic for the Bachelor's thesis was presented by OÜ Jõhvikivi. The stone saw operators saw an opportunity to minimize the time that is spent on cutting stones by optimizing the stone saw's movement logic. The work was carried out under the guidance of Professor Mart Tamre.

Stone saw's analysis revealed that the most optimum solution would be to use as many existing solutions as possible in order to maintain the reliability of the saw and to minimize the cost of the new solution. Thus, it was decided to use existing removable switches which would trigger the movement of the wedges which would lower the saw blade. To determine the necessary force to move the wedges, a test bench was built. Using the test bench, necessary force required to move the wedges was determined – approximately 412 N.

Next step was analyzation of different possible solutions according to the determined force found. Best solution turned out to be a screw transmission with a DC motor. According to that, a suitable motor was found. Corresponding to it, suitable driver and a microcontroller was found. Since all of these components have 12 V as their operating voltage, a single power supply could be used to power these components. Then, an electrical scheme was designed using all of these components.

Mechanical components were designed according to the company's preferences about the technology of production. All mechanical components were designed and dimensioned according to the forces found earlier and were done by SolidWorks software.

Lastly, a functional diagram was designed for the system. Corresponding to that, a program was written for the microcontroller.

Work results can be considered a success, since all of the conditions and objectives have been met successfully, while cost of the total project remained low. It is profitable for the company to carry out the changes to the system to achieve more optimized saw movement logic.

KIRJANDUSE LOETELU

1. Thomaszewski, B., Gumann, A., Pabst, S., Straßer, W. (2008). Magnets in Motion. - *ACM SIGGRAPH conference proceedings*. 1-9. [Online] Magnets in Motion (14.05.2016)
2. [WWW] http://www.mh.ttu.ee/priitp/Masinaelemendid/Loeng/12_Hammasulekanded_2011.pdf (14.05.2016)
3. [WWW] https://en.wikipedia.org/wiki/Scotch_yoke (14.05.2016)
4. [WWW] https://en.wikipedia.org/wiki/Rack_and_pinion (14.05.2016)
5. [WWW] <https://en.wikipedia.org/wiki/Leadscrew> (14.05.2016)
6. [WWW] <http://www.allaboutcircuits.com/textbook/semiconductors/chpt-11/pulse-width-modulation/> (14.05.2016)
7. [WWW] <http://www.protostack.com/blog/2011/06/atmega168a-pulse-width-modulation-pwm/> (14.05.2016)
8. Moore, M. T., (2002). The advantages and disadvantages of serial links in communication system design - *Lightwave*. [Online] Lightwave Online (14.05.2016)
9. [WWW] https://en.wikipedia.org/wiki/Serial_communication (14.05.2016)
10. [WWW] https://www.servocity.com/html/180_lbs_thrust_linear_actuato.html (14.05.2016)
11. [WWW] <https://www.dimensionengineering.com/datasheets/SyRen10-20.pdf> (14.05.2016)
12. [WWW] <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano> (14.05.2016)
13. [WWW] https://www.elfadistrelec.ee/Web/Downloads/_t/ds/GSM60B_eng_tds.pdf?mime=application%2Fpdf (14.05.2016)
14. [WWW] <http://docs.kicad-pcb.org/en/eeschema.html> (14.05.2016)
15. [WWW] <http://www.balticbolt.ee/toode.php?show=products&parentID=1> (14.05.2016)
16. [WWW] <http://www.metall24.ee/> (14.05.2016)
17. [WWW] <http://www.nyccnc.com/wednesday-widget/control-large-motor-with-arduino> (14.05.2016)
18. [WWW] <https://www.dimensionengineering.com/info/arduino> (14.05.2016)
19. [WWW] <https://www.arduino.cc/en/Main/Software> (14.05.2016)

20. [WWW] http://www.sanistal.ee/fileadmin/baltics/EE/Sanistal_OUE_kataloog.pdf
(14.05.2016)

LISAD

Lisa 1

Mikrokontroleri juhtprogramm:

```
/*
Autor: Kaspar Kriisk
Kuupäev: 13.05.2016

Potentsiomeeter ühendada kontakti A0
Vasakpoolne lüliti ühendada kontakti D2
Parempoolne lüliti ühendada kontakti D3
START nupp ühendada kontakti D4 (ON-OFF lüliti)
Manuaal-langetamise nupp ühendada kontakti D5
*/
#include <SyRenSimplified.h>
SyRenSimplified ST; // Lihtsustatud jadaühendus

void setup(){
  SyRenTXPinSerial.begin(9600); // Mikrokontroleri ning draiveri vaheline
  kiirus
  SR.motor(0); //Seiskan mootori
  int pot_value;

  const int wedge_switched_left = 500; //Muuda seda v22rtust, et
  kalibreerida potentsiomeetrit - vasak kiil lylyitub
  const int wedge_switched_right = 548; //Muuda seda v22rtust, et
  kalibreerida potentsiomeetrit - parem kiil lylyitub
  const int motor_speed = 65; // Mootori kiirus, 0-127
}

void loop(){
  if (digitalRead(4)==LOW){
    pot_value = analogRead(A0); //Mootori asukoha lugemine

    if (digitalRead(2)=LOW){ //Kas kelk on jõudnud vasakpoolse lülitini
      if (pot_value < wedge_switched_left + 13) && (pot_value >
wedge_switched_left - 13){ //Mootori hetke asukoha võrdlemine kalibreeritud
väärtustega, vasak

        SR.motor(0); //Seiskan mootori
      }
      else{
        SR.motor(motor_speed);
      }
    }
    if (digitalRead(3) == LOW{ //Kas kelk on jõudnud parempoolse lülitini
      if(pot_value < wedge_switched_left + 13) && (pot_value >
wedge_switched_left - 13){ //Mootori hetke asukoha võrdlemine kalibreeritud
väärtustega, parem
        SR.motor(0); //Seiskan mootori
      }
      else{
        SR.motor(-motor_speed);
      }
    }
  }
}
```

Lisa 2

Algse süsteemi pilt, eestvaade



Lisa 3

Algse süsteemi pilt, pealtvaade

