



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

ELEKTRILIINIDELT JÄÄD EEMALDAV ROBOT
ROBOT FOR REMOVING ICE FROM ELECTRICAL LINES
BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Kaur Kungas

Üliõpilaskood: 164737MAHB

Juhendaja: Professor Mart Tamre, Mehhatroonika
programmijuht

Tallinn, 2018

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“.....” 201.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 201.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

Autor: Kaur Kungas

Lõputöö liik: Bakalaureusetöö

Töö pealkiri: elektriliinidelt jääd eemaldav robot

Kuupäev: 13.10.2015

47 lk (lõputöö lehekülgede arv koos lisadega)

Ülikool: Tallinna Tehnikaülikool

Teaduskond: Inseneriteaduskond

Instituut: Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Töö juhendaja(d): Professor Mart Tamre

Töö konsultant (konsultandid):

Sisu kirjeldus:

Töö ülesandeks on projekteerida robot, mis suudaks elektriliinidelt turvaliselt ja võimalikult iseseisvalt eemaldada sinna kogunenud jääd.

Selle tõttu, et töö koostamise ajal kasutatavad lähenemised probleemile on vägagi kulukad, aeganõudvad ja peale selle ka ohtlikud, leidis autor, et probleemi lahendamiseks võiks olla parem meetod.

Projekteeritud robot on teoreetiline ja valmistatud 3D mudelina raalprojekteerimise tarkvaras SolidWorks, kõik tähtsad osad on reaalselt olemas ning kättesaadavad. Tänu sellele oleks roboti koostamine täiesti võimalik, ilma, et oleks palju detaile spetsiaalselt vaja lasta valmistada või tellida. Roboti projekteerimisel kaalus autor mitmete erinevate lahenduste vahelt erinevate probleemide lahendamiseks.

Töö autor on töö tulemustega suures osas rahul ja leiab, et valminud lahendus võiks olla realiseeritav, ning toimida nagu autor arvab.

Märksõnad: Robot, Raalprojekteerimine, Lahendus, Materjal, Elektriliin, Jää, turvalisus, SolidWorks.

ABSTRACT

<i>Author:</i> Kaur Küngas	<i>Type of the work:</i> Bachelor
<i>Title:</i> Robot for removing ice from electrical lines	
<i>Date:</i> 13.02.2015	<i>47 pages (the number of thesis pages including appendices)</i>
<i>University:</i> Tallinn University of Technology	
<i>School:</i> School of Engineering	
<i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics	
<i>Supervisor(s) of the thesis:</i> Professor Mart Tamre	
<i>Consultant(s):</i>	
<i>Abstract:</i> <p>The aim of the thesis is to devise a robot that could safely and as independantly as possible remove ice buildup on power transmission lines.</p> <p>Due to the fact that at the time of making the thesis the current solutions for the problem are very expensive, time consuming and on top of that, dangerous. The author of the thesis found that there could be a better method to solve the problem.</p> <p>The design of the robot is theoretical and created as a 3D model in a 3D modelling software SolidWorks with many parts of the robot that already exist and are accessible which makes fabrication of the robot possible without the need to make or order special parts. During the process of devising the robot, the author chose between many different solutions for various problems.</p> <p>The author of the thesis is mostly satisfied with the results and finds that the developed solution can be realized and would function as intended.</p>	
<i>Keywords:</i> Robot, 3D modelling, Solution, Material, Power transmissioon line, Ice, Safety, SolidWorks	

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema:	Elektriliinidelt jääd eemaldav robot
Lõputöö teema inglise keeles:	Robot for removing ice from electrical lines
Üliõpilane:	Kaur Küngas, 164737MAHB
Eriala:	Mehhatroonika
Lõputöö liik:	bakalaureusetöö
Lõputöö juhendaja:	Mart Tamre
Lõputöö ülesande kehtivusaeg:	
Lõputöö esitamise tähtaeg:	21.05.2019

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppekava juht (allkiri)

1. Teema põhjendus

Seda teemat on vaja uurida, sest hetkel ei ole piisavalt turvalisi lahendusi probleemi lahendamiseks. Hetkel seavad end selle probleemi lahendamiseks ohtu inimesed, kes puhastavad elektriliine, kas käsitsi või helikopterite abil. Kasutades autori poolt välja pakutud lahendust oleks võimalik eemaldada inimesed ohust ja lasta robotil oht enda peale võtta.

2. Töö eesmärk

Töö eesmärgiks on välja töötada parim lahendus, kuidas elektriliine ohutult jääst puhastada.

3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

Milline peaks välja nägema, mõõtudelt ja materjali valiku poolt projekteeritud robot?

Kuidas turvaliselt jääd eemaldada, ilma elektriliine kahjustamata?

Millisel viisil saab transportida roboti elektriliinidele kõige odavamalt, kiiremalt ja turvalisemalt?

Kas ja kuidas möödub robot liinide kinnitustest?

4. Lähteandmed

Autor plaanib kasutada andmeid elektriliinide kohta, võttes arvesse kõiki piiranguid, mis nendega kaasnevad (mass, mõõtmed jms). Andmeid ja infot piirangute kohta loodab autor saada juhendajalt, kes on teadlik sellest alast ning kasutada avalikke andmeid elektri seadmestike kohta internetist.

5. Uurimismeetodid

Esmalt otsib autor infot elektriliinide ja nende ehituse kohta. Seejärel projekteerib autor roboti, mis suudaks mööda neid liine turvaliselt sõita ja neid puhastada. Lõpptulemuse saab modelleerimise järgselt, kasutades ülikoolist õpitud teadmisi ja võtteid (FEM analüüs), et veenduda roboti struktuurses tugevuses.

6. Töö etapid ja ajakava

Info kogumine elektriliinide kohta (10.03)

Roboti elektrooniliste ja mehhaaniliste osade valik (17.03)

Roboti üldine kuju lähtudes osadest ja transpordist tulenevatest piirangutest (24.03)

Konsulteerimine juhendajaga (31.03)

Vajadusel muudatuste tegemine (04.04)

Roboti modelleerimine (21.04)

Töö teoreetilise osa kirjutamine (10.05)

Juhendajale esitamine (14.05)

Paranduste tegemine (16.05)

Lõplik versioon (20.05)

SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE.....	3
ABSTRACT	4
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE	5
EESSÕNA.....	10
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	11
SISSEJUHATUS	12
1. PRAEGUSED KASUTUSEL OLEVAD LAHENDUSED	13
1.1 Manuaalne	13
1.1.1 Maast.....	13
1.1.2 Õhust.....	13
1.2 Automaatne	13
1.2.1 Elektriliinides lühise tekitamine	14
1.2.2 Kasutades valgust.....	14
2. TEOREETILISED LAHENDUSED	15
2.1 Jää eemaldamine	15
2.1.1 Jää eemaldamine soojendades	15
2.1.2 Jää eemaldamine teradega lõigates.....	15
2.1.3 Jää eemaldamine vibratsiooniga.....	17
2.1.4 jää eemaldamine harjastega	17
2.1.5 Jää eemaldamine impulss süsteemiga	16
2.2 Elektriliinil liikumine.....	18
2.2.1 Liugurid.....	18
2.2.2 Rullikud.....	18
3. Esmane versioon	19
3.1.1 Põhiraamistik.....	20

3.1.2 Jää eemaldamise süsteem.....	21
3.1.3 Veosüsteem.....	21
3.1.4 Pingutussüsteem.....	22
4. LÕPLIK LAHENDUS.....	24
4.1.1 Põhiraamistik.....	24
4.1.2 Jää eemaldamise süsteem.....	25
4.1.3 Rullikud.....	26
4.1.4 Veosüsteem.....	27
4.1.5 Pingutussüsteem.....	29
4.1.6 Analüüs.....	30
4.2 Elektroonika.....	32
4.2.1 Toide.....	33
4.2.2 Juhtimine.....	33
4.2.3 Jõuelektronika.....	34
4.2.4 Pingemuundurid.....	34
4.2.5 Tagasiside.....	35
4.2.6 Elektrikilp.....	35
5. TRANSPORT LIINIDELE.....	37
5.1 Automaatne.....	37
5.1.1 Drooniga.....	37
5.2 Käsitsi.....	37
5.2.1 Tõstuk.....	37
5.2.2 Helikopter.....	38
5.2.3 Vinna abil.....	38
6. EDASIARENDAMISE VÕIMALUSED.....	39
6.1 Möödumine takistustest.....	39

6.1.1 Elektriposti kinnitused.....	39
6.1.2 Kõrvutiste elektriliinide kinnitused	39
6.2 Edasised kaaluvähendused	39
6.2.1 Põhiraamistiku optimeerimine.....	39
6.2.2 Mootorite valik.....	40
6.2.3 Väiksema roboti projekteerimine	40
6.3 Elektriliinidele kinnituse hõlbustus.....	40
6.4 Kaugjuhtimise lisamine	40
6.5 Lisafunktsioonid	41
6.5.1 Kaamerad	41
KOKKUVÕTE	42
SUMMARY	43
7. Kasutatud kirjandus.....	Error! Bookmark not defined.
LISAD	47
Lisa 1 Lõpliku roboti mudel.....	47
Lisa 1.1 Roboti paremalt vaade.....	47
Lisa 1.2 Roboti vasakult vaade	47
Lisa 1.3 Roboti tagant vaade.....	48

EESSÕNA

Käesoleva lõputöö teema pakkus välja autor, ning kogus vajalikke andmed samuti ise. Algse lahenduse kohta andis tagasisidet lõputöö juhendaja Professor Mart Tamre.

Autor soovib tänada lõputöö juhendajat professor Mart Tamret suurepärase tagasiside ja soovitude eest roboti välja töötamisel. Peale selle soovib autor tänada Tallinna Tehnika Ülikooli tudengeid Nele Torm, Jüri Uha, Erki Meinberg ja Maarek Malm, kes samuti andsid roboti projekteerimise osas häid soovitusi.

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

CAD	Raalprojekteerimine (computer aided design)
CAN	Andmete edastuse standard (Control Area Network)
FEM	Lõplike elementide meetod (finite element method)
LiPo	Akumulaatori tüüp (Lithium Polymer)
PLC	Programmeeritav kontrolleri (Programmable logic controller)
<i>PTFE</i>	Plastikmaterjal teflon (Polütetrafluoroetüleen)
RPM	Pöörlemisageduse ühik pööret minutis (Revolutions per minute)

SISSEJUHATUS

Kõik, kes tarbivad elektrit, mis pole nende enda toodetud, kasutavad selleks ära elektriliinide võrgustikku, mis elektrit nendeni toob. Elektriliine on kahte erinevat tüüpi: maa-alused ja maapealsed. Kõik maapealsed elektriliinid on mõjutatud välistest teguritest nagu temperatuur, tuul ja sademed. Sooja kliimaga piirkondades ei pruugi mainitud tegurid probleemi tekkida, kuid külmemates kohtades nagu Põhja-Venemaal või Alaskal, kus temperatuurid on aastas suures osas alla vee külmumise temperatuuri, on antud probleem vägagi reaalne. Suurte tormidega jäätavatel temperatuuridel juhtub tihti see, et elektriliinidele hakkab kogunema kas vesi, või muud sademed, mis jäätudes tekitavad kaablite peale jääkihi. See ei pruugi tunduda suure probleemina, kuid pikkade vahemaade ja piisava paksusega jääkihi tekkimisel elektriliinidele, muutuvad kaablid piisavalt raskeks, et tekitada ohtlikuid olukordi. Võib esineda erinevaid õnnetusi, näiteks elektriliin katkeb, ühendus elektripostiga puruneb, või mis kõige hullem, elektripost variseb kokku. Olenemata sellest, mis juhtub, on vajalik katkised elektriliinid parandada, muidu võivad paljud inimesed jääda pikaks ajaks ilma elektrita. Parandused selliste õnnetuste aset leidmisel on väga kallid ja ajakulukad, mistõttu oleks mõistlik tegeleda õnnetust põhjustavate teguritega enne, kui need jõuavad probleeme üldse põhjustada.

Praegu puhastatakse elektriliine jääst vägagi kulukate, aeganõudvate ja ohtlike meetoditega, mis ei ole autori arvates probleemi lahendamiseks optimaalsed. Levinumad lahendused on teha seda maast (kui on tegemist madalate elektriliinidega), kasutada helikopterit või kasutada süsteemi, mis soojendaks kaableid piisavalt, et sulatada sinna tekkinud jää.

Ülesandeks lõputöö on töötada välja lahendus, mis eemaldaks elektriliinidele tekkiva jääkihi, ennem, kui see suudaks kahjustusi tekitada. Seda ülesannet peab lahendama nii, et välja töötatud lahendust oleks mõistlik kasutada ja lisaks sellele peaks see omama mingit eelist hetkel kasutatavate lahenduste ees.

Autor on kasutanud 3D modelleerimistarkvara SolidWorks, et projekteerida robot, mis liigub mööda elektriliine ja samaaegselt puhastab neid ohutul viisil jääst. Väljatöötatud robot on kompaktne ja võrdlemisi kerge, mis teeb, võrreldes hetkel kasutusel olevate meetoditega, sellest lahendusest optimaalseima lahenduse probleemiga võitlemiseks. Säärasele lahendusele analoogset varianti autor töö koostamise ajal ei leidnud.

Kuna projekteeritud robotit päriselt valmis ei tehta, tuleb välja töötatud roboti struktuurses tugevuses veendumiseks tähtsatele roboti osadele teha FEM analüüs. See näitab kuidas antud detailid reageerivad teatud simuleeritud tingimustele, kus detailile on rakendatud jõud ja piiratud liikumissuunad.

1. PRAEGUSED KASUTUSEL OLEVAD LAHENDUSED

Esmalt peaks tutvuma meetoditega, kuidas probleemile hetkel lähenetakse ja lahendatakse ning analüüsima, mis on nende tugevused ja puudused. Praegu on enamused kasutusel olevad lahendused väga ajakulukad ja vajavad tihti personaalset lähenemist, mis teeb operatsiooni väga kulukaks ja kohati ka ohtlikuks.

1.1 Manuaalne

Üks kallim ja ohtlikum lähenemine probleemi lahendamisele on tööliste kohale toimetamine liinide juurde, mis vajavad puhastamist või hooldust. Kõrgemate liinide puhul on see eriti ohtlik, sest hetkel pole täielikult turvalist viisi vajalikel kõrgustel töö sooritamiseks [1].

1.1.1 Maast

Madalamal asuvaid elektriliine on jääst võimalik puhastada ka maast, kasutades selleks spetsiifilisi võtteid, mis on võimalikult turvalised nii elektriliinidele, kui ka töölistele, kes seda ülesannet läbi viivad. Üheks võimaluseks on kasutada pikki vardaid, mille otsas on rullikud, mis maast mööda elektriliine edasi tõmmates, purustaks ja eemaldaks elektriliinidelt jää.

Selle protsessi puhul on eeliseks see, et teatud tingimustel ei pea operatsiooni läbi viimiseks isegi elektriliinidelt elektrit välja lülitama ja tarbijad ei jääks vahepeal ilm elektrita.

Suureks miinuseks on sellisel meetodil see, et see on väga ajakulukas ja nõuab suurt hulka töölisi, kes sell töö ära teeksid ning teeb selle meetodi ka väga kalliks [1].

1.1.2 Õhust

Kõrgeid elektriliine ei ole alati võimalik maast puhastada, seega on tihti vajalik õhust lähenemine. Seda tehakse tüüpiliselt helikopteritega, mis on varustatud erinevate tööriistadega, et tööülesanne võimalikult efektiivselt ja kiiresti sooritada.

Üheks võimaluseks on kasutada kõrgsurve pihustussüsteemi, mis puhastaks elektriliinid mitte ainult jääst, vaid ka kõigest muust, mis ei peaks neil olema [2].

1.2 Automaatne

Kõige mugavam on sooritada elektriliinide puhastus ilma suurema hulga töölisteta, mis teeks töö odavamaks ja ohutumaks neile töölistele, kes parajasti tööga tegelevad.

1.2.1 Elektriliinides lühise tekitamine

Üldjuhul üritatakse kõiki lühiseid enamustes süsteemides vältida. Tekitades aga täpselt kontrollitud lühiseid pikkades elektriliinide lõikudes on võimalik kasutada ära elektriliinidega ülekantavat elektrit ennast, et neid piisavalt soojendada. Sellise meetodiga on võimalik väga väikese hulga töölistega ja vähese ajaga puhastada pikad elektriliini lõigud (30-50 km).

Sellise meetodiga on kõige suuremaks eeliseks see, et see võtab väga vähe aega (umbes 3 tundi), et puhastada äärmiselt pikki lõike elektriliine.

Puuduseks lahendusel on, nagu nimi ütlebki, see et lühise tekitamine kulutab suures koguses energiat. Peale selle võivad operatsiooni läbiviimise käigus tarbijad jääda ilma elektrita [1].

1.2.2 Kasutades valgust

Massachusettsi tehnoloogiainstituudi (MIT) teadlased on välja töötanud uue meetodi, et hoida elektriliinid jääst puhtana. Kattes elektriliinid spetsiaalselt välja töötatud materjaliga, mis kogub valgusenergiat ja kasutab seda, et passiivselt hoida elektriliinid jääst puhtana. See tähendab, seda, et elektriliine ei pea pidevalt puhastama, vaid elektriliinid suudavad seda ise teha. Seda süsteemi on võimalik kasutada mitte ainult päikesevalgusega, vaid ka tehniliku valgusega, mis tähenda, et süsteem toimiks potentsiaalselt ka öösiti, kui kattmaterjalile piisavalt tehisvalgust langeks [3].

2. TEOREETILISED LAHENDUSED

Siin osas on välja toodud erinevaid lahendusi, mille vahelt autor on valinud tema arvates parima valiku antud probleemi lahendamiseks. Võttes arvesse lahenduste eeliseid ja puuduseid ja rakendanud selle projekteerimisel robotisse.

2.1 Jää eemaldamine

Üks tähtsaim ülesanne roboti projekteerimisel on leida optimaalseim lahendus, kuidas elektriliinidelt jää turvaliselt ja võimalikult kiiresti eemaldada. Selleks on välja toodud hulk lahendusi koos nende tugevate külgede ja puudustega.

2.1.1 Jää eemaldamine soojendades

Kuna jääd on võimalik muuta vedelasse olekusse võrdlemisi madalal temperatuuril, oleks üheks jää eemaldamise võimaluseks see elektriliinidelt ära sulatada. Jää sulatamiseks tuleks kasutada soojenduselementi, millega oleks võimalik jääd sulatada, kas otsekontaktiga või soojendades õhku ja seejärel soojendatud õhk elektriliinidele puhuda.

Sellel lahendusel on eeliseks see, et elektriliinidelt saaks suure enamuse jääst eemaldatud ja kuna kuumus, millega jääd sulatatakse, oleks palju väiksem, kui temperatuur, millega on võimalik kahjustada elektriliine, oleks see üks ohutuim viis jää eemaldamiseks.

Probleemiks selle lahenduse juures on see, et kuigi jää sulab võrdlemisi madalal temperatuuril, vajab sulatusprotsess igal meetodil tohutut koguses energiat. Seega peaks robot olema varustatud väga suure mahutavusega energiaallikaga, mis teeks roboti äärmiselt raskeks ja kalliks. Sellest probleemist oleks teoreetiliselt võimalik üle saada kasutades elektriliini poolt tekitatud magnetväljasid, sarnaselt telefonide juhtmevaba laadimismeetodile, et laadida akusid või toita otse soojenduselemente.

2.1.2 Jää eemaldamine teradega lõigates

Varustades roboti teradega, saaks elektriliinidelt jää eemaldada väga kiiresti ja ilma väga keerulise roboti välja töötamiseta. Lõiketerad peaksid paiknema elektriliinil igal küljel, et elektriliin tervenisti ära puhastataks.

Sellel lahendusel on suureks eeliseks eelmainitud fakt, et robot suudaks teha vajaliku ülesande, võrreldes teiste meetoditega, väga kiiresti. Kiirus oleks piiratud vaid kasutatud mootorite võimsuse ja energiaallika tootlikkusega. Lisaks sellele oleks jääd eemaldav süsteem suure tõenäosusega ilma

liikuvate osadeta, mis teeks ta oluliselt lihtsamaks ja töökindlamaks, selle tõttu, et oleks robotil vähem osi, mis saaksid katki minna.

Probleeme sellise lahenduse juures on oma olemuse tõttu siiski palju. Esiteks peavad olema lõiketerad projekteeritud ja paigutatud nii, et ei vigastaks elektriliine, ega midagi muud roboti teekonnal (näiteks elektriliini kinnitusi). Teiseks on sellisel meetodil vaja väga head haaret elektriliiniga, mis teeks kinnitusmehhanismi keerukaks ja tõenäoliselt ka raskemaks. Peale selle oleks vaja robotile, võrreldes muude jää eemaldusmeetodite, palju võimsamaid veomootoreid, mis suudaksid vedada robotit sellise jõuga, mis ületaks jää lõikamisel tuleneva takistava jõu. Sellised mootorid oleksid palju raskemad ja tarbiks rohkem energiat, võrreldes mootoritega, mis peaksid robotid vaid edasi liigutama.

Võimalik lahendus rasketele mootoritele oleks kasutada harjadeta alalisvoolu mootoreid, mis on oma suuruse ja massi kohta väga võimsad. See muudaks roboti keerukamaks mootorite juhtimise poolt, sest selliseid mootoreid on juhtida keerulisem, kui tavalisi vahelduvvoolu mootoreid.

2.1.3 Jää eemaldamine impulss süsteemiga

Kuna jää on üsnagi habras materjal, siis on seda võimalik eemaldada hõlpsasti kasutades tugevaid lööke iga teatud aja tagant. Löök ei puhastaks elektriliini mitte ainult sealt, kuhu on asetatud löögi asukoht, vaid teatud löögi ulatuses, kuni terve liini pikkuses elektriposti kinnituseni. Süsteemi poolt tekitatud impulss liiguks edasi mööda elektriliini. Suurema energiaga impulss mõjutaks pikemat maad elektriliini ja suudaks eemaldada rohkem jääd iga impulsi kohta.

Sellisel süsteemil on sarnaselt vibratsiooniga jää eemaldusmeetodile eeliseks see, et veomootorid ei pea olema väga võimsad, sest need ei tegele jää eemaldamisega vaid hoolitseb ainult roboti liigutamise eest mööda elektriliini. Tänu sellele saab hoida kokku veomootorite võimusest ja sellest tulenevalt ka mootorite massist.

Probleemiks sellisel lähenemisel on see, et impulsitekitaja vajab omakorda piisavalt võimsat mootorit, et vinnastada süsteem, mis produtseerib vajaliku energiaga löögi. Lisaks sellele peaks olema raskus, mida vinnastatakse piisava massiga, et suudaks üle kanda vajaliku energiahulga, mis lisanduks roboti kogumassile, mida oleks tarvis hoida võimalikult väikesena.

2.1.4 Jää eemaldamine vibratsiooniga

Sarnaselt impulss löökidele, oleks võimalik jääd eemaldada mõjutades otseselt elektriliini pikemas või terves ulatuses elektripostide vahel, mis omakorda mõjutaks seal olevat jääkihti. Selle lahenduse jaoks oleks vajalik vibratsiooni tekitaja süsteem, milleks võiks olla näiteks pöörlev ekstsentrisk või lineaarselt edasi-tagasi liikuv mass.

Mainitud lahenduse puhul oleks eeliseks see, et roboti veomootorid ei pea olema väga võimsad. Vaja on ainult nii palju jõudu, et robotit edasi liigutada.

Probleemseks aspektiks sellise lahenduse puhul oleks see, et pidev kasutamine võib kahjustada elektriliini ja nende kinnitusi. Kindlasti peab vältima olukorda, kus tekitatud vibratsioon ühtiks elektriliini harmoonilise vibratsiooniga. Sellisel olukorral vibratsiooni amplituudid ühtiksid ning hakkaksid suurenema, kuni elektriliini, selle kinnituse või elektriposti purunemiseni. Vältida saaks seda probleemi muutes tihti vibratsiooni sagedust. Peale selle oleks lahenduse miinuseks ka see, et mehhanism peaks olema võrdlemisi raske, muidu poleks selline meetod jää eemaldamiseks võrdlemisi rasketelt liinidelt väga efektiivne.

2.1.5 jää eemaldamine harjastega

Sarnaselt soojendamisele ja teradega löikamisele, on harjastega meetod suunatud füüsilisele kontaktile jääga, vastupidiselt lahendustele, kus robot mõjutab elektriliini ennast (näiteks impulsi või vibratsiooniga).

Säärasel lahendusel on suureks eeliseks see, et elektriliinid saab teha väga puhtaks, mitte ainult jääst vaid ka kõigest muust mitte soovitud prahist.

Suureks puuduseks harjaste kasutamisel on see, et harjaste süsteem vajaks üsnagi võimsaid mootoreid, mis teeks roboti kohmakaks ja raskeks. Harjased ise peaksid olema ka robotiga võrreldes suured ja valmistatud materjalist, mis suudaks jääd purustada ja eemaldada jättes elektriliini kahjustamata. Lisaks sellele, et harjased vajavad võimsaid mootoreid, vajaks robot ka võimsamaid veomootoreid. Seda sellepärast, et harjaste kasutamisel tuleks nad panna pöörlema robotist eemale, ehk liikumise vastupidises suunas, mis muudaks liikumise sellevõrra vaevarikamaks. Arvestades seda, et harjased sooritaksid tööülesannet üsnagi aeglaselt, muutub liinide puhastus võrreldes teiste meetoditega palju aeglasemaks.

2.2 Elektriliinil liikumine

Väga tähtis osa roboti kavandamisel on välja mõelda meetod, kuidas robot ennast elektriliinidele turvaliselt kinnitab ja mööda neid liigub. Tehes seda nii, et ei kahjustaks ei liine ega robotit ennast. Autor on mõelnud paarile erinevale viisile.

2.2.1 Liugurid

Elektriliinil saab hõlpsasti liikuda kasutades liugureid, et hoida robotit elektriliinil. Peale liugurite peab lisama elektriliini alla veorattad, mis robotit edasi veaksid.

Selle asemel, et kasutada veererattaid võiks kasutada liugureid, mis libiseksid mööda elektriliine. Rataste asemel on liuguritel eeliseks see, et neid on odavam ja lihtsam toota ning kasutada. Oma olemuse tõttu peaksid liugurid olema valmistatud materjalist, millel on võimalikult väike hõõrdetegur. Ideaalseks materjaliks oleks sellise osa valmistamisel teflon ehk PTFE, millel on väga väike hõõrdetegur. Kasutades liugureid oleks võimalik kokku hoida roboti massi, ning keerulisuse arvelt.

Probleemiks liugurite kasutamisel võib tulla, et mitte täielikult puhastatud elektriliin võib valmistada liikumisel vastupanu kuna liugurid ise ei ole elastsed, mis tõttu ei anna nad järgi konarustele.

2.2.2 Rullikud

Kasutades veerevaid elemente on võimalik elektriliinidel liikuda väga efektiivselt, sest võrreldes liuguritega on veerevatel elementidel palju väiksem veeretakistus, kui liugurite liikumisel tekkinud hõõrdejõud.

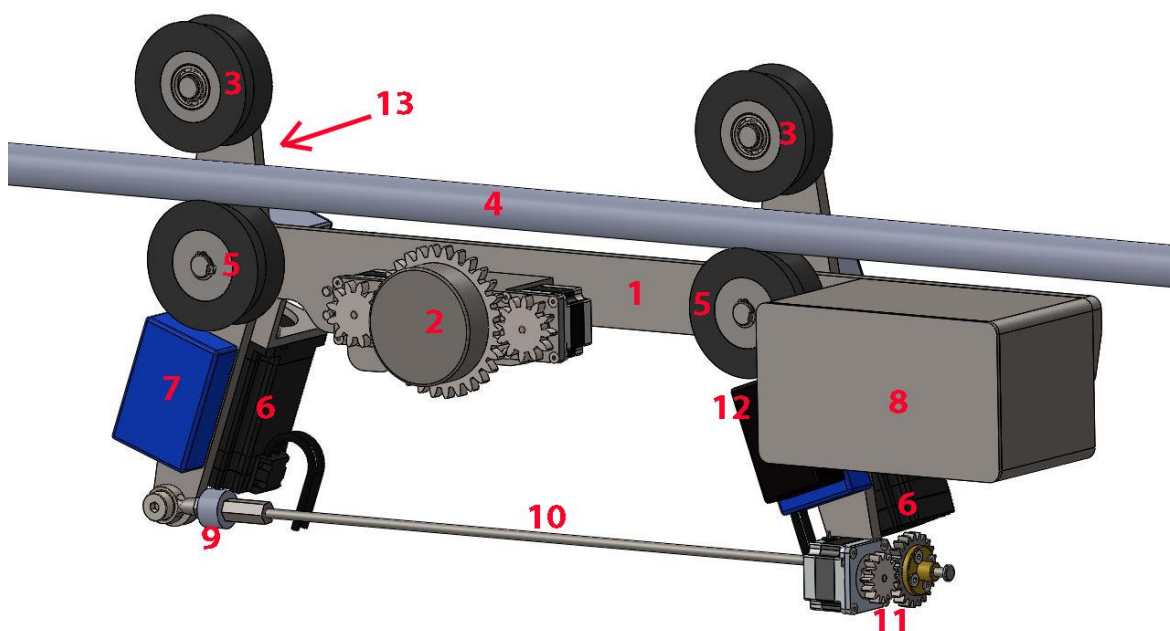
Suureks eeliseks sellisel lahendusel on lisaks nende efektiivsusele see, et elastsest materjalist valmistatud rullikud suudaksid üle sõita palju suurematest takistustest, kui võrrelda liuguritega.

Puuduseks rullikute kasutamisel on see, et nad on palju keerulisema ehitusega, mis tekitab robotile potentsiaalse riknemise koha. Lisaks sellele on rullikute kasutamine kallim ja võrreldes liuguritega on efektiivse läbimõõduga rullikud suurema kaaluga.

3. Esmane versioon

Roboti projekteerimisel on arvestatud erinevaid tööülesande läbiviimisest tulenevaid piiranguid, milleks on mass ja füüsilised mõõtmed. Neid ületades võib tekkida probleeme, nii transpordi, kui ka töö ülesande täitmisel. Vaatamata sellele, ei ole alati esimesel korral võimalik projekteerida optimaalseim robot.

Esmane projekteeritud robot osutus liiga suureks nii mõõtmete, kui ka massi poolelt. Kasutatud oli liiga massiivseid raamistiku osi ja ebavajalikult võimsaid ning vale tüüpi mootoreid (samm-mootoreid), mis tegid roboti kohmakaks ja elektriliinile kinnitades ebastabiilseks massikeskme asukoha tõttu. Robot oli kokkuvõttes meetri pikkune, veerand meetrit lai ja kaalus ligi 38 kg.



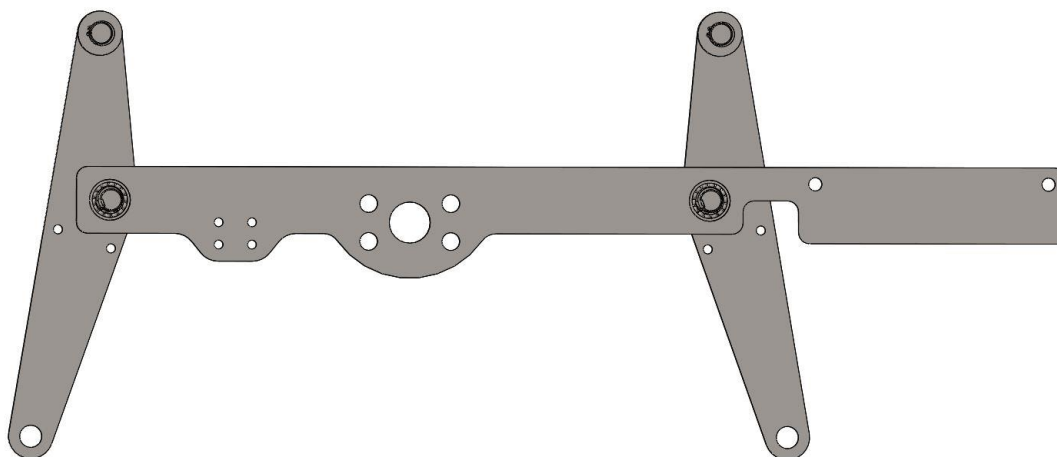
Joonis 3.1 Esmase projekteeritud roboti kõrvaltvaade, kus 1 – põhiraami horisontaalne kinnituslatt, 2 – impulsi mehhanismi koost, 3 – veereratas, 4 – elektriliin, 5 – veoratas, 6 – veomootor, 7 – veomootori draiver, 8 – elektrikilp, 9 – koormusandur, 10 – pinguti keermelatt, 11 – pingutussüsteemi koost, 12 – pinguti mootori draiver, 13 – rataste kinnituslatt.

Järgnevalt on välja toodud probleemsed roboti osad ja põhjused, miks projekteerimisel neid autor ei pooldanud.

3.1.1 Põhiraamistik

Põhiraam koosneb kolmest suuremast osast: horisontaalsest rattakinnituste vahelisest latist ning eesmisest ja tagumisest rataste kinnituslatist, mis pöörlevad horisontaalse lati suhtes. Raamistikku hoiavad koos kaks veovõlli, mida kasutatakse ka veorataste vedamiseks. Raamistik on ühendatud võllidega läbi laagrite, mis hoiavad turvaliselt koos raamistikku ning lasevad vajalikel osadel hõlpsasti pöörelda.

Raami horisontaalse lati sisse on tehtud erinevaid avasid ja ka pikendus tagaosasse. Avade eesmärk ei ole lati kaalu vähendada, vaid impulsi mehhanismi kinnitamiseks. Pikendus ja sellel asuvad avad on mõeldud elektrikilbi stabiilseks kinnituseks robotile.



Joonis 3.2 Esmase projekteeritud roboti põhiraam

Põhiraamistiku materjaliks on autor valinud terase(G25CrMo4) ja raamistikul puuduvad väljalõiked, mis teeb raami tugevaks, kuid raskeks. See on ka peamiseks põhjuseks, miks antud lahendus robotile ei sobi, sest robot peab olema nii kerge, kui võimalik.

Tabel 3.1 Põhiraami komponendid ja nende andmed

	Mass	Mõõtmed	Materjal	kogus
Horisontaalne rattakinnituste vaheline latt	5,2 kg	890 x 100 x 13 mm	G25CrMo4	1
Rattakinnituslatt	2,3 kg (4,6 kg)	427 x 80 x 13 mm	G25CrMo4	2

3.1.2 Jää eemaldamise süsteem

Jää eemaldamiseks on kasutatud impulsi mehhanismi, mis on kinnitatud põhiraami horisontaalsele vahelatile. Impulsi tekitaja koosneb kahest samm-mootorist, hoorattast, alasist, haamrist ja mehhanismist, mis kannab pöörlemise üle haamrile hoorattalt. Sellise mehhanismi analoogi on kasutatud paljudes elektrilistes ja pneumaatilistes mutrikeerajates. Vajalik on sellise süsteemi olemasolu, et pidevalt pöörlev mootori liikumine saaks muudetud perioodiliseks pöörlevaks liikumisteks. See tähendab seda, et mootorid võivad pidevalt pöörelda, vastandina sellele, et iga löök vajaks mootori pöörlemise suunavahetust.

Jää eemaldamine sellise süsteemiga toimub nii, et iga haamri löök kantakse läbi raami ja veoratta üle elektriliinile, kuhu üle kantud impulss purustab elektriliinilt jää, nii et see saaks sealt maha kukkuda. Üle antud impulss liiguks mööda elektriliini edasi ning puhastaks seda, mitte ainult roboti ratta vastast, vaid ka kaugemalt (ideaalsel juhul terve liini ulatuselt).

Tabel 3.2 Samm-mootorite tehnilised andmed [4]

Nimetus	Nema 23
Mudel	57BYGH627
Pöördemoment	190 N*cm
Pinge	3 V
Faaside arv	2
Sammu nurk	1,8 kraadi
Voolu tarve faasi kohta	3 A
Mõõtmed	76 x 56.4 x 56.4 mm
Võlli diameeter	6,35 mm
Kaal	1 kg

Probleemiks antud lahenduse puhul on see, et kogu süsteemi koost on liiga raske ning kohmakas. Peale selle on sellise probleemi lahenduse lähenemise puhul suurimaks probleemiks see, et impulss peaks liikuma läbi terve roboti raami ja veoratta. Roboti raske kaalu tõttu oleks veorattani jõudev impulss väga väikese energiaga. Lisaks sellele peaks impulss liikuma läbi veoratta, millel on kummist kontaktpind, mis summutaks impulssi enamgi, muutes elektriliinile jõudva impulsi liiga nõrgaks.

3.1.3 Veosüsteem

Roboti veomootoriteks on valitud kaks võimsat samm-mootorit. Mootorid on ühendatud veorastestega läbi nurkülekande ja võlli abil. Mootorid asetsevad rataste kinnituslatil ja on kinnitatud sinna läbi täisnurkse kinnitusplaadi abil.

Tabel 3.3 Veomootorite tehnilised andmed [5]

Nimetus	Leadshine
Mudel	ES-M23480
Pöördemoment	8.0 N*m
Pinge	48-68 VDC
Faaside arv	2
Sammu nurk	1,8 kraadi
Voolu tarve faasi kohta	6,A
Faasi takistus	0,44 Oomi
Faasi induktiivsus	3,73 mH
Mõõtmed	140 x 85 x 85 mm
Võlli diameeter	14 mm
Kaal	4 kg

Veomootorid on piisavalt võimsad, et liigutada robotit mööda elektriliine, kuid probleemseks aspektiks osutus nende suur mass. Autor ei arvestanud algselt sellega, et samm-mootorid on tüüpiliselt raskemad, kui sama võimsad alalisvoolumootorid. Seetõttu pidi veomootorid kaaluvähendamiseks välja vahetama alalisvoolu mootorite vastu.

3.1.4 Pingutussüsteem

Roboti kinnituse pingutamiseks elektriliinile on kasutatud kahte pöörlevat rataste kinnituslatti, mis roboti alt osast kokku liigutades pressivad veere- ja veoratta kõvasti ja turvaliselt elektriliinile. Kinnituslatte tõmbab kokku M8 keermelatt, mis on ühendatud kinnituslattidele ühelt poolt läbi kuulliigendi ja teiselt poolt läbi messingust valmistatud ploki, mille külge kinnitub pingutusmootori koost. Pingutusmootori koost koosneb pingutusmootorist, kahest hammasrattast, keermelati muttrist, mis on samuti valmistatud messingust ja laagrist, millele toetub keermelati mutter koos hammasrattaga. Pingutusmootoriks on valitud eelmainitud samm-mootor, mida on kasutatud ka jää eemaldamiseks mõeldud impulsi tekitajas (vt Tabel 3.2). Hammasrattasteks on valitud tavalised silinderhammasrattad, mille ülekande suhteks on 15:23. hammasrattaste laiuks on 15 mm ja hammaste mooduliks on 2.5. Valitud on sellise mõõduga hammasrattad, sest nad on ülesande täitmiseks piisavalt tugevad ja tagavad selle, et ettenägematute jõudude korral kumbki hammasratas mingil põhjusel ei puruneks. Arvestades seda, et antud süsteem ei tohiks mingil juhul, alt vedada, muidu jääks robot liinile kinni, on hammasrattad valitud palju tugevamad, kui ainult pingutamiseks vajaliku pöördemomendi ülekandmiseks tarvis oleks.

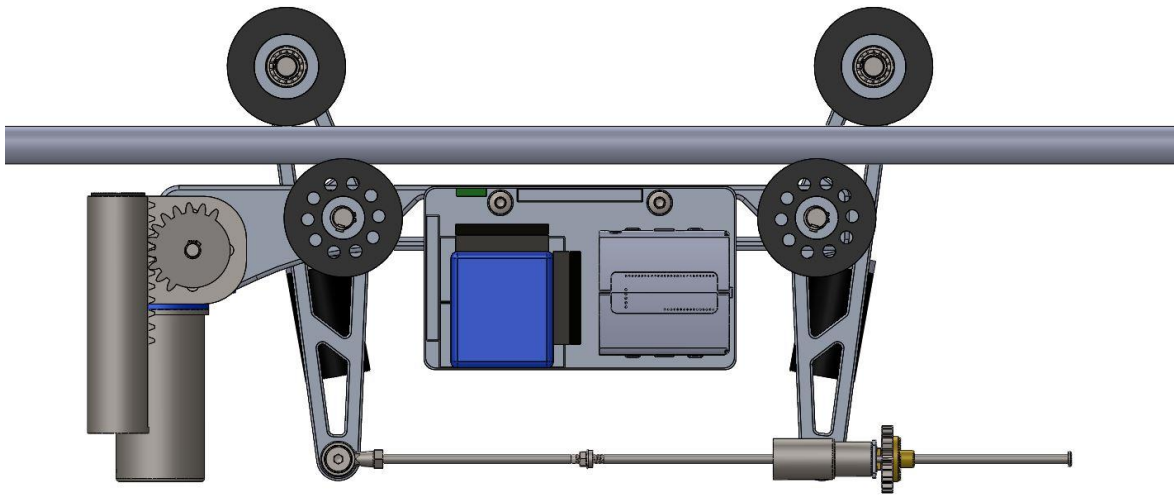
Jõudu, millega pingutus sooritatakse mõõdetakse koormusanduriga, mis on asetatud kuulliigendi ja keermelati vahele (Vt joonis 3.3 detail 2).

Välja töötatud mehhanism täidaks küll oma eesmärgi robotil, kuid sarnaselt veomootoritele on säärases koostus võimalik hoida kokku massist, vahetades välja raskema samm-mootori sama

4. LÕPLIK LAHENDUS

Lõplikus projekteeritud robotis on võrreldes algsega, viidud läbi palju muudatusi, et teha robot nii palju kergemaks ja tööülesande täitmine nii efektiivseks kui võimalik.

Robot kaalub, arvestades kõiki osasid, ligikaudu 20 kg ja on natuke alla meetri pikk (ca 965 mm). Robot tervikuna koosneb viiest põhi osast. Nendeks on Impulsi mehhanism, põhiraam, pinguti süsteem, elektrikilp (koos elektroonikaga) ja veosüsteem.



Joonis 4.1 Roboti kõrvaltvaade lahtise elektrikilbiga

4.1.1 Põhiraamistik

Põhiraamistik on valmistatud alumiiniumi sulamist (alumiinium 2014), millel on võrreldes terasega palju väiksem tihedus. Seda sulamit kasutatakse laialdaselt lennunduses, sest selle sulamil on väga head füüsilised omadused. See on kerge, võrreldes tihedusega on see vägagi tugev ja hõlpsasti töödeldav. Halb omadus sellel sulamil on aga see, et seda ei ole lihtne keevitada [6].



Joonis 4.2 Põhiraamistiku kõrvalt vaade

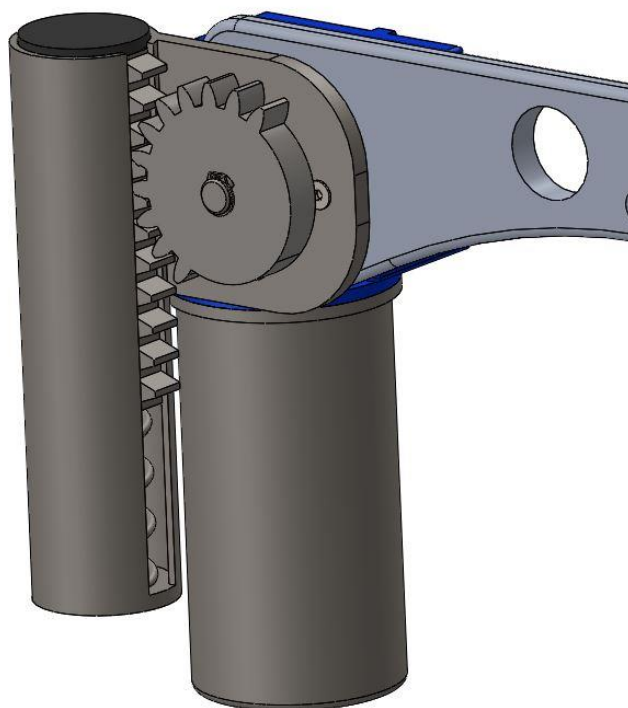
Autor on valinud roboti raamistiku materjaliks alumiiniumi, mitte ainult selle heade füüsikaliste omaduste, vaid ka selle kättesaadavuse ja maksumuse tõttu võrreldes teiste kergete ja tugevate materjalide, näiteks süsinikkiud komposiidi või titaani sulami. Mainitud materjalid oleksid ka suurepärased valikud, ning vähendaksid roboti kaalu enamgi, kuid suurendaksid roboti maksumust.

4.1.2 Jää eemaldamise süsteem

Jää eemaldamiseks on autor pooldanud impulsi süsteemi. Selle rakendamiseks on projekteeritud roboti eesotsa mehhanism, mis perioodiliselt lööb raskusega vastu elektriliini. Mehhanism töötab kasutades tiguülekandega mootorit, mis vinnastab raskuse silindris, mille sees on raskuse ja silindripõhja vahel vedru. Koheselt, kui hammasülekanne lõppeb ja viimasel hammasratta hambal katkeb kontakt massiga, sööstab raskus elektriliinipoole, millega kokkupõrkel eemaldatakse elektriliinilt jääd. Peale kokkupõrget elektriliiniga jõuab hammasrattas uuesti ühendusse raskusel olevate hammaslatini, ning protsess kordub nii kaua kuni töö ülesanne on sellega sooritatud. Süsteem on projekteeritud sellisel viisil, et ükski osa selle kasutamisel liiga kiirelt kuluma ei hakkaks.

Kuna süsteem on robotist iseseisev ja vahetatavate osadega, saab seda vajadusel muuta. Kui on vajalik, et süsteem edastaks väiksema energiaga impulsi, saab mehhanismil välja vahetada vedru, haamri või isegi mootori vastavalt vajadusele.

Raskusel on otsas kummist pehmendus, mis tagab selle, et raskus ei kahjustaks kokkupõrkel elektriliini ja lisaks sellele muudab elektriliiniga kokkupõrkel massi aeglustusteeikonna pikemaks. See on kasulik selle pärast, et terav hetkeline löök ei rända mööda elektriliini nii hästi, kui natuke pikemat aega mõjuv surve, mis ületaks paremini inertsit, mida elektriliin omab.



Joonis 4.3 Impulssmehhanismi koost

4.1.3 Rullikud

Robotil on kasutatud kahte erinevat tüüpi rattaid, millest üks paar on veererattad ja teine paar on veorattad. Rataste erinevus on see, et veoratastele on oma olemuse tõttu kinnitatud võll, mis on fikseeritud ratta enda külge, mitte laagritele. Seda on tehtud kiilu ja stopperrõngaste abil. Veererataste võllil puudub kiil ja selle asemel veereb ratas laagrite peal. Mõlemad rattad koosnevad metallist siseosast (alumiinium 2014) ja kummist välisosast. Metallist on siseosa tehtud selleks, et veoratastel oleks tugev kinnitus võlli külge ning veereratastel selle tõttu, et neile saaks laagrid turvaliselt kinnitatud. Tänu sellele, et veorattal puuduvad laagrid, on tehtud selle metallist siseosa märgatavalt väiksem kui veereratastel. Kummist välisosa on tehtud ratastele selle tõttu, et ratastel oleks hea haare elektriliinidega ja et liikumise ajal elektriliine ei kahjustataks. Lisaks sellele võimaldab kummist ratas oma elastsuse tõttu ületada elektriliinil olevaid konarusi.



Joonis 4.4 Mudel veererattast



Joonis 4.5 Mudel veorattast

4.1.4 Veosüsteem

Robot kasutab elektriliinidel liikumiseks kahte alalisvoolu mootorit, mis on varustatud, sarnaselt impulsi mehhanismis kasutuses olevale mootorile, tiguülekandega, mis suurendab mootoritelt väljuvat pöördemomenti ja samal ajal vähendab pöörlemissagedust. Mootorid on ühendatud veorastega võlli abil, mis läbib roboti põhiraamist horisontaalset rataste kinnituse vahelist latti ja rataste kinnituslatti ning seejärel kinnitub veoratta külge.

Tabel 4.1 Veomootori tehnilised andmed [7]

Pinge	12 V
Võimsus	50 W
Koormuseta voolutarve	2.0/2.5 A
Koormuseta pöörlemissagedus	45/65 ± 5 RPM
Koormusega voolutarve	6.5/7.5 A
Koormusega pöörlemissagedus	40/60 ± 5 RPM
Maksimaalne voolutarve mootori seiskumisel	31 A
Maksimaalne Pöördemoment enne seiskumist	29 N*m
Kaal	1.3 kg

Kasutades eelmainitud mootoreid, suudab robot arendada maksimaalseks kiiruseks, arvestades veoratta efektiivraadiust (50 mm), väga lihtsat valemit kasutades

$$V = RPM * C = 70 RPM * 0.3142 m \approx 22 m / \text{min} = 0.366 m / \text{sek}$$

Kus V – roboti kiirus

C – veoratta efektiivübermõõt

RPM – veovõlli pöörlemissagedus

Ja maksimaalse jõu ühe mootori kohta, millega robot ennast edasi suudab vedada, kui mitte arvestada libisemist veoratta ja elektriliini vahel

$$F = \frac{\tau}{r} = \frac{29 N * m}{0.05 m} = 580 N$$

Kus F – jõud mida robot suudab edasi liikumiseks arendada

τ – Pöördemoment, mida mootor arendab

r – veoratta efektiivläbimõõt

Seega arvestades, et robotil on kaks veomootorit, saab tegelikult maksimaalseks edasi vedamise jõuks umbes 1160 N. Mis on piisav, et robot saaks vajadusel üle elektriliinidel olevast jääst, mida jääd eemaldav mehhanism ei eemaldanud. Jõud on ka piisav, et järele jäänud jää purustada.

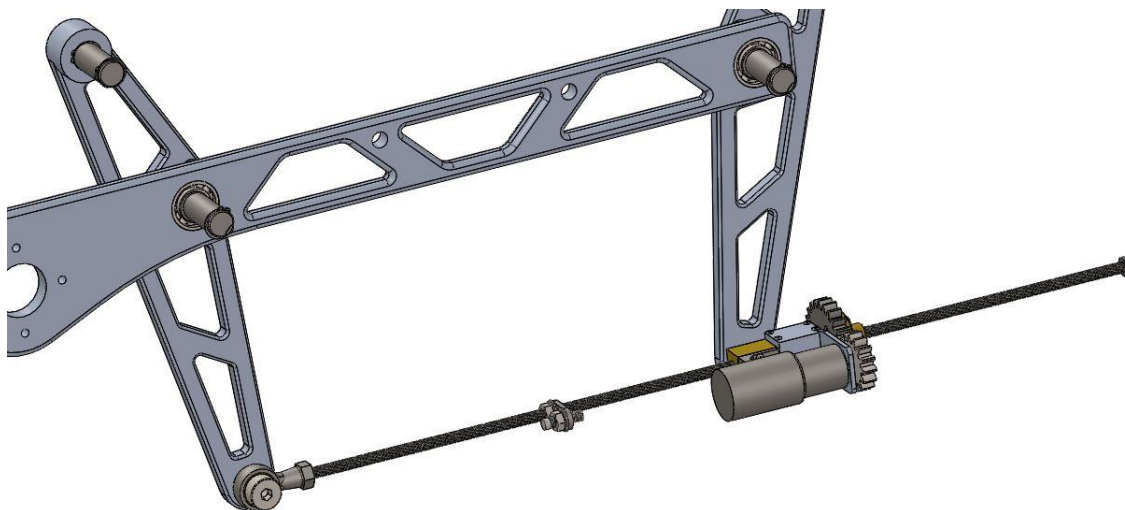
4.1.5 Pingutussüsteem

Massi vähendamiseks on esmasest projekteeritud robotist pingutusüsteemi samm-mootor välja vahetatud. Selle asemele on pandud alalisvoolu mootor, mis on varustatud planetaarülekanega, mis muudab mootori pöörlemissageduse palju väiksemaks, et saavutada vajalik pöördemoment, et kinnitada robot piisavalt tugevalt elektriliinile.

Tabel 4.2 Pingutusmootori tehnilised andmed [8]

Pinge	12 VDC
Pöördemoment (nominaalne)	7.3 kg*cm
Pöördemoment (maksimaalne)	49 kg*cm
Koormuseta pöörlemissagedus	165 RPM
Koormuseta voolutarve	0.53 A
Planetaarülekande kiiruse suhe	51:1
Kaal	360 g

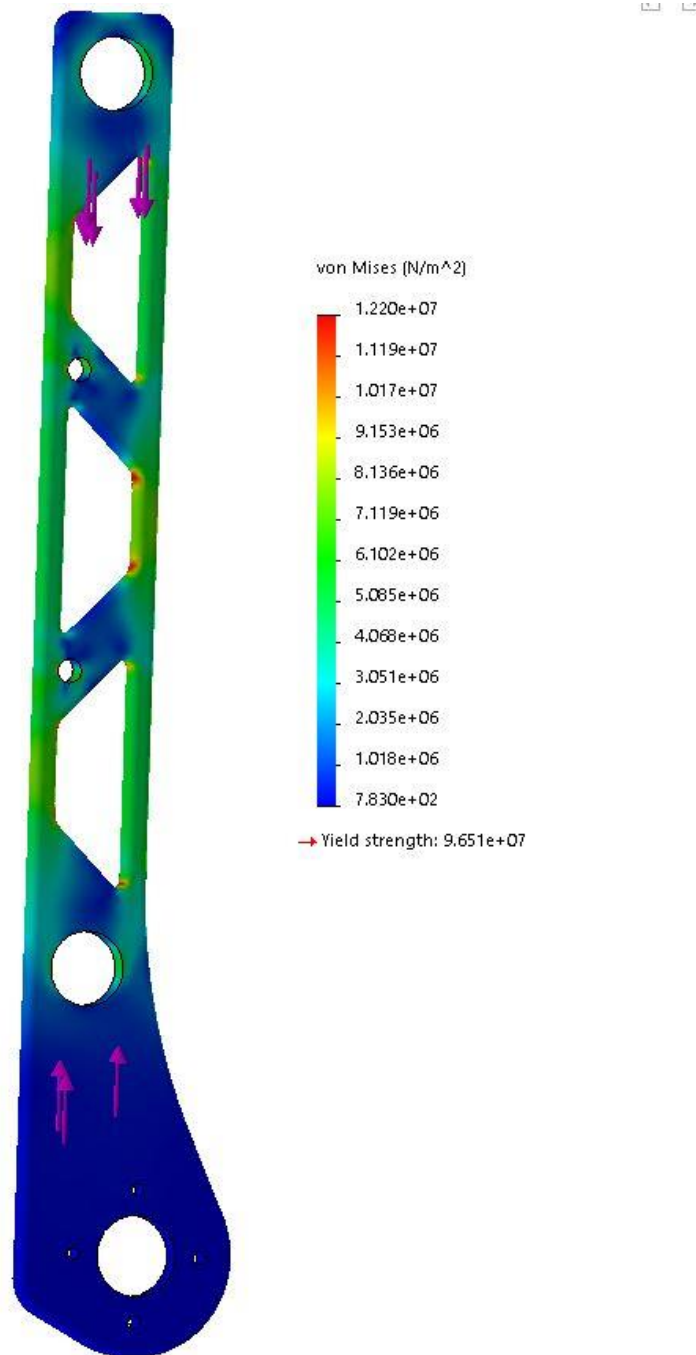
Pinguti liigutamise piiramiseks on keermelatile asetatud induktiivandur, millega saab süsteemi tagasisidestada juhtelektroonikaga, et roboti kinnitust mitte üle pingutada. Peale selle saab sellise süsteemi olemasolul koostada kasutajale anduri asukohtade loetelu, kus on näidatud ära anduri kaugused erinevate elektriliini diameetri või muude omaduste kohta.



Joonis 4.6 Roboti pingutusüsteemi illustratsioon

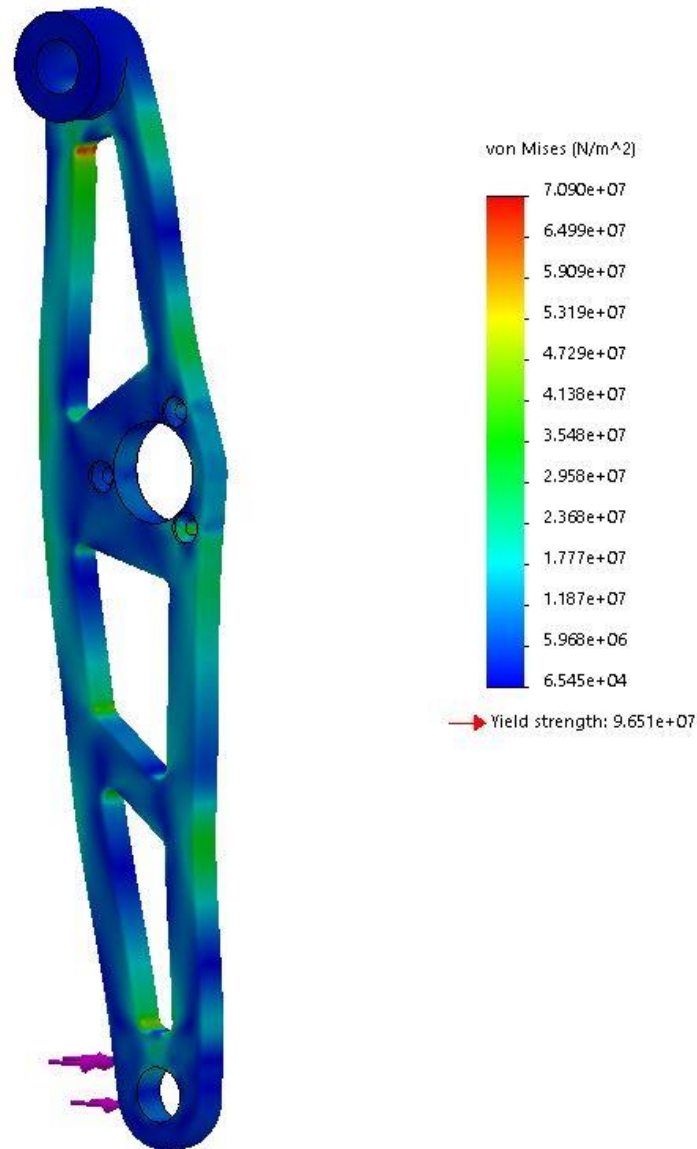
4.1.6 Analüüs

Roboti projekteerimisel peab autor veendumas, et robot on struktuurselt piisavalt tugev, et pidada vastu töö ülesande täitmisel tulenevatele koormustele. Selleks on autor kasutanud ära modelleerimisprogrammis SolidWorks olevat lisapaketti SolidWorks Simulation, millega on võimalik teha FEM analüüsi valmistatud mudelitele.



Joonis 4.7 Põhiraami horisontaalne lati FEM analüüs

FEM analüüsil on detailile mõlemasse laagriavasse rakendatud turvalisuse mõttes suurem jõud, kui robotile tekitada saab. Nimelt on jõuks 2000 N, ehk latti surub kokku 4000 N (ca 400 kg), ning detail säilitab struktuurse terviklikkuse jättes ruumi ka ettenägematutele jõudude esinemisele. Seega on autor veendunud, et uuritud detail on piisavalt tugev, et kasutada robotis.



Joonis 4.8 Põhiraami rattakinnituse FEM analüüs

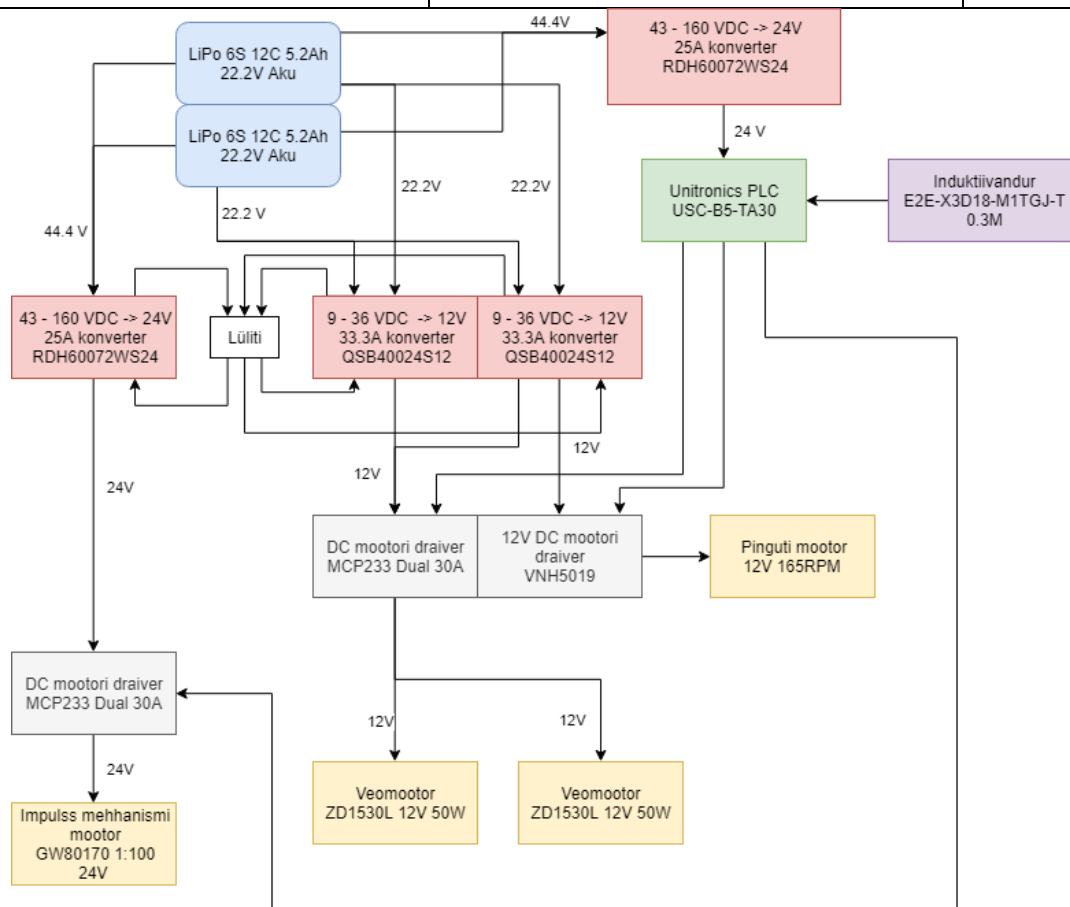
Rataste kinnituse detailile on samuti rakendatud turvalisuse mõttes suurem jõud, kui robotile realselt tekitataks. Latt on pingutatud kõige ekstreemsemas olukorras, kus rakendatud jõud avaldab detailile kõige rohkem struktuurset pinget. Lati alumises avas, kuhu kinnitub pingutussüsteem, on rakendatud jõud 1000N (umbes 100kg), ja jällegi säilitab detail struktuurse terviklikkuse piisava varuga.

Uuringutest selgus, et roboti raamistik on piisavalt tugev, et pidada vastu suurematelegi jõududele, kui roboti kasutusel tõenäoliselt ilmuvad, ning peale selle on veel varugi, seega on autor veendunud, et robot on struktuurselt piisavalt tugev.

4.2 Elektroonika

Tabel 4.3 Elektroonika komponentide loetelu ja kirjeldus

Komponent	Kirjeldus	Kasutatud
Unitronics USC-B5-TA30	Programmeeritav kontrolleri roboti juhtimiseks	1
Turnigy 5200mAh 6S 12C LiPo Pakk XT60	Roboti akumulaator	2
STMicroelectronics VNH5019	Alalisvoolu mootori draiver	1
Basicmicro MCP233	Alalisvoolu mootori draiver	2
XP Power QSB40024S12	Alalisvoolu konverter	2
XP Power RDH60072WS24	Alalisvoolu konverter	2
Omron E2E-X3D18-M1TGJ-T 0.3M	Induktiivandur pinguti tagasisidestamiseks	1
Tumblerlülit	DCDC konverterite sisse/välja lülitamise lüliti	1



Joonis 4.9 Elektroonika blokkdiagramm [9]

Elektriskeemist on näha, et akud on erinevatele komponentidele vastavalt vajadusele, erinevalt ühendatud. 24 voldise väljundiga pingemuundur vajab sisendiks vähemalt 43 volti, mis tõttu on vajalik akud ühendada sellega jadamisi. 12 voldise väljundiga pingemuundurid vajavad aga väiksemat pinget (9 - 36 V), mis tõttu on mõlemale pingemuundurile mõlemad akud ühendatud rööbiti. Mootorite draiverite pingemuundurid on võimalik välja lülitada kasutades tumblerlülitit. Lülitit ei ava ega sulge pingemuundurist väljuvat vooluahelat, vaid pingemuunduritel olevaid juht kontakte, mis muundureid sisse ja välja lülitavad. Draivereid on kahe erineva pinge tasemega: 12 V ja 24 V. 24 V draiver juhib impulsi mehhanismi mootorit ja 12 V draiverid juhivad veo-ja pingutimootoreid. Veomootoreid juhib kahe kanaliga MCP233 draiver, mis on ühendatud kahe 12 voldise väljundiga pingemuunduriga (rööbiti) ja pinguti mootorit juhib ühe kanaliga VNH5019 draiver, mis on ühendatud ühe 12 voldise pingemuunduriga. Kõiki mootorite draivereid juhib PLC, millel on lai valik draiverite juhtimismeetodeid. Võimalik on kasutada PWM signaali, analoogsignaali, CAN-siini ja ühendusmoodulite lisamisel enamgi, seega on võimalusi piisavalt, et ühendada ja programmeerida PLC vastavalt vajadustele.

4.2.1 Toide

Robot on varustatud kahe LiPo akupakiga, millel on võrreldes teiste akumulaatori tüüpidega, väga suur energiatihedus, seega on selline akumulaatori tüüp roboti toitmiseks kõige optimaalsem. Seda selle tõttu, et nii saab hoida kokku roboti massist, kuid mitte ohverdada selle kaudu robotil olevat energiat.

Tabel 4.4 LiPo akupaki tehnilised andmed [10]

Pinge	22,2 V
Mahutavus	5200 mAh
Akude arv pakis	6S
C näit	12C (pidev) / 24C (10 sek)
Mõõdud	108 x 35 x 95 mm
Ühendus	XT60
Kaal	682 g

4.2.2 Juhtimine

Robotile on valitud juhtimiseks Unitronics firma poolt valmistatud programmeeritav kontrolleri. Selline valik on tehtud sellepärast, et tööstuslikud programmeeritavad kontrolleriid on väga robustsed võrreldes tavaliste mikrokontrollerite või väikearvutitega. Kontrolleriiks on valitud mudel

USC-B5-TA30, millel on olemas piisavalt sisendeid ja väljundeid et robotit juhtida, ning väga suur laienduste valik, mille hulgas on ka sisendite ja väljundite arvu suurendamise võimalus. See on ideaalne robotile, sest lisafunktsioonide arendamine robotile ei tähendaks kogu juhtsüsteemi välja vahetamist, vaid võrdlemisi väikest laiendamist.

Tabel 4.5 PLC tehnilised andmed [11]

Tööpinge	24 VDC
Digitaalsisendeid	14
Analoogsisendeid	2
Digitaalväljundeid	10
analoogväljundeid	2

4.2.3 Jõuelektroonika

Kuna mootorid vajavad palju suuremat võimust töötamiseks, kui seda on võimeline välja andma PLC, siis on vaja mootorite juhtimiseks eraldi komponente. Robotite mootorite juhtimiseks on kasutatud kahte erinevat tüüpi draivereid.

Tabel 4.6 Mootorite draiverite tehnilised andmed [12] [13]

	Basicmicro MCP233	STMicroelectronics VNH5019
Kanaleid	2	1
Minimaalne tööpinge	10 V	5.5 V
Maksimaalne tööpinge	34 V	24 V
Pidev väljundvool	30 A	12 A
Maksimaalne väljundvool	30 A	30 A
Kaal	140 g	6.5 g (ühendusteta)

Basicmicro MCP233 mootori draivereid on robotis koguselt kaks ja on kasutatud, et juhtida nii veomootoreid, kui ka impulsi mehhanismi mootoreid. Veomootorid vajavad 12 V pinget ja impulsi mehhanismi mootor vajab 24 V seega on ühte MCP233 draiverit kasutatud kahe veomootori juhtimiseks ja teist kontrolleri impulsi mehhanismi mootorit.

STMicroelectronics VNH5019 mootori draiver on võrreldes MCP233 mootori draiveriga väiksema võimsusega, sest see juhib vaid ühte mootorit, mis on roboti koostus kõige väiksema võimsusega pingutussüsteemi mootorit.

4.2.4 Pingemuundurid

Kuna robot kasutab erinevate pingetega mootoreid on vajalik muuta akumulaatorist tulev pingele mootorile vastavaks.

Ükski energiamuundamiseprotsess ei ole täielikult efektiivne, seega pingemuundurid muudavad kaotsi läinud energia soojuseks. Seetõttu vajavad nad ka suurtel koormustel jahutust, mistõttu on kõik pingemuundurid kinnitatud roboti elektrikilbi külge, kuhu üle kandunud soojus saab kiirates või konvektsiooni teel levida õhku.

Tabel 4.7 Pingemuundurite tehnilised andmed [14] [15]

	XP Power QSB40024S12	XP Power RDH60072WS24
Kogus	2	2
Maksimaalne	9 V	43 V
Minimaalne	36 V	160 V
Väljundpinge	12 V	24 V
Maksimaalne	33.3 A	25 A
Võimsus	400 W	600 W
Efektiivsus	86%	88%
Kasutus	Veomootorite ja pingutusmootori draiverite toiteks	PLC ja impulsi mehhanismi mootori toiteks

4.2.5 Tagasiside

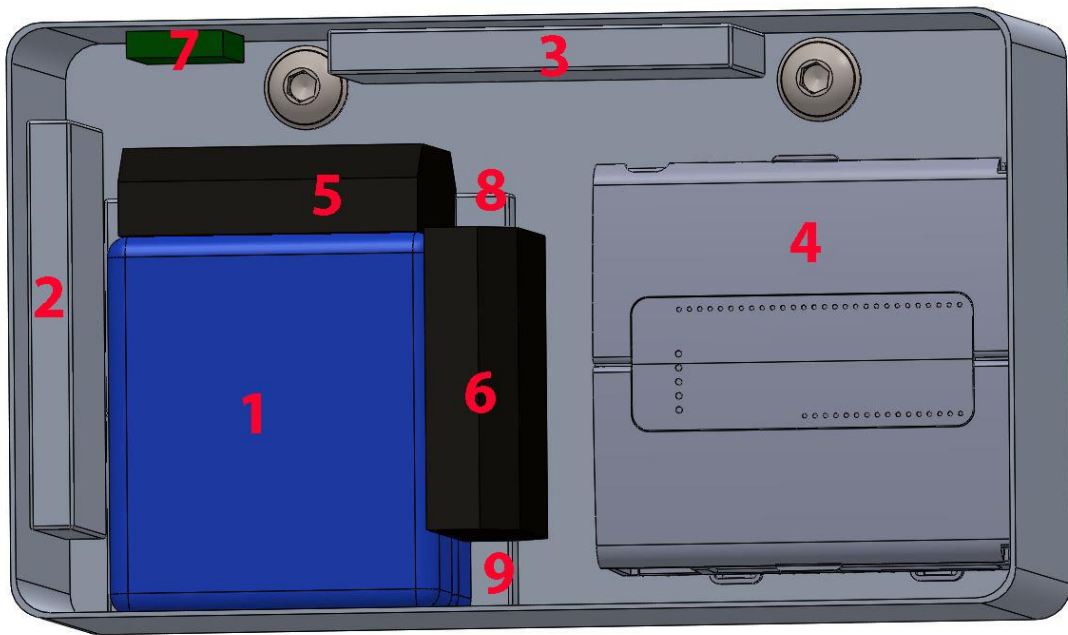
Robot on varustatud pingutusüsteemiga, mis kinnitab roboti turvaliselt elektriliinile, kuid ilma tagasisideta on väga keeruline teada, kui suures ulatuses ja missuguse jõuga pinguti elektriliinile kinnitub. Selleks on kasutatud pingutusüsteemis muudetava asendiga induktiivandurit, mis annab roboti kontrolleri teate, et pinguti on jõudnud soovitud asendisse. Induktiivandur mõõdab, nagu nimi ütleb, induktiivsust lähedal olevatel metallidel, mille järgi on võimalik leida anduri kaugus metalsest objektist.

Tabel 4.8 Induktiivanduri tehnilised andmed [16]

Tootja	Omron
Keerme mõõt	M8
Mõõtekaugus	3 mm
Toitepinge	10 – 30 VDC

4.2.6 Elektrikilp

Robot on varustatud elektrikilbiga, kuhu on paigutatud kogu juhtsüsteem ja jõuelektroonika. Elektrikilp asub roboti horisontaalse raami lati küljes ning on valmistatud samast materjalist, millest raam (alumiinium 2014)



Joonis 4.10 Elektrikilbi sisu kus 1 – LiPo aku, 2 – impulsi mehhanismi mootori DC-DC konverter, 3 – PLC DC-DC konverter, 4 – PLC, 5 – impulsi mehhanismi mootori draiver, 6 – veomootorite draiver, 7 – pinguti mootori draiver, 8 ja 9 – veomootorite ja pinguti mootori DC-DC konverter

5. TRANSPORT LIINIDELE

Peale roboti projekteerimisele on väga tähtis mõelda ka meetodile, kuidas oleks võimalik robot transportida elektriliinidele nii väikese vaevaga ja eelkõige nii ohutult, kui võimalik.

5.1 Automaatne

Kõige mugavam oleks saata robot mingi abivahendiga töökohale, ilma, et operaator või keegi teine peaks robotiga kaasa minema. Eeldusel, et automaatne kohaletoimetamine töötab edukalt iga kord, muudaks see töö palju kiiremaks ja ohutumaks, nii roboti operaatorile, kui ka teistele antud ülesandega seotud töölistele.

5.1.1 Drooniga

Kõige tõenäolisem variant oleks roboti transportiks elektriliinile kasutades selleks piisavalt võimast drooni, mis suudaks roboti massi kanda ja stabiilselt õhus püsida, et ilmastik ei tekitaks probleeme roboti asetamisega töökohale.

Elis selle variandi puhul on see, et roboti saaks võrdlemisi odavalt ja kiirelt toimetada töökohale ja tagasi. Takistuste ilmnemisel on võimalik kiiresti lennata roboti juurde ja transportida ta takistusest edasi.

Probleem drooni kasutamisel on see, et tema stabiilsus on väga ilmast sõltuv, mis teeb selle kasutamise äärmiselt ettearvamatuks. Seetõttu vajab droon vägagi osavat juhti, kes suudaks koheselt reageerida tuulest tekkinud mitte soovitud liikumistele. Peale selle peab drooni juht suutma piisavalt täpselt positioneerida roboti elektriliini juurde, et see sinna kinnitada.

5.2 Käsitsi

Kõige kindlam lahendus robot elektriliinile transportida ja kinnitada on teha seda käsitsi. Olles ise kohal, on tehnikul võimalik veenduda, et robot on turvaliselt kinnitatud ja tõrgete tekkel on võimalik need tõenäoliselt likvideerida kohapeal, ilma et peaks roboti uuesti maha toimetama.

5.2.1 Tõstuk

Tehnikute kohale toimetamine elektriliinideni on võimalik kasutades selleks näiteks käär- või teleskoopitõstukeid, millel on piisav ulatus, et turvaliselt jõuda erinevate vajalike kõrgusteni.

Sellise meetodi suureks eeliseks on see, et tehnikutel oleks võrdlemisi stabiilne jalgealune, mis hõlbustaks roboti elektriliinidele kinnitamise protsessi ning muudaks protsessi töölistele võimalikult turvaliseks.

Probleemiks sellise meetodiga on see, et roboti kohaletoimetamine ja kinnitamine võtaks võrdlemisi kaua aega ja vajaks mitme liikmelist meeskonda, et operatsioon läbi viia. Lisaks sellele on paljud elektriliinid maast nii kõrgel, et tõstukiga pole lihtsalt võimalik nendeni jõuda.

5.2.2 Helikopter

Mõned elektriliinid on nii kõrgel maast, et tõstukite ega muude lahendustega ei ole roboti kohale toimetamine kõige optimaalseim variant. Selle probleemi saaks lahendaks ära nii, et robot toimetada kohale ja eemaldada helikopteri abiga.

Suur eelis kasutades helikopteri on see, et praktiliselt on robot võimalik toimetada ükskõik millisele kõrgusele, ilma et see protsessi keerukust muudaks.

Probleemiks sellise lahenduse juures on see, et halva ilmaga muutub helikopter ka kogenuima piloodi käes ettearvamatult ebastabiilseks, mis teeb töö tegemise äärmiselt ohtlikuks. Kokkupõrkel elektriliinidega, võivad elektriliinid, elektrikast või halvimal juhul helikopter saada kriitilisi kahjustusi ja panna ohtu kõik pardal viibijad. Lisaks kõigele sellele on helikopteri kasutamine üks kalleim variant roboti transportimiseks.

5.2.3 Vinna abil

Roboti saaks toimetada töökohale kasutades selleks ettenähtud lifti süsteemi.

Kasutades vinna oleks robot võimalik toimetada täpselt õigesse kohta väga kiiresti ja odavalt.

Kuna lahendus vajab spetsiaalset tõmbesüsteemi, tuleks see eraldi välja töötada ja seejärel lisada elektrikastidele või elektriliinidele, et niimoodi robotit üldse transportida võimalik oleks. Lisaks sellele peab arvestama sellega, et panustades ainult vinnale roboti transportimisel ei pruugi probleemide ilmnemisel robotil või vinnasüsteemil olla võimalik tehnikul probleemi tekitavale kohale ligi pääseda.

6. EDASIARENDAMISE VÕIMALUSED

Kuigi robot on valmis projekteeritud ja täidab autori meelest vajalikku töö ülesannet, on siiski võimalik teha robotile edasiarendusi, mis annaksid robotile lisaväärtusi või teeksid roboti töö ülesande täitmise efektiivsemaks, lihtsamaks või kiiremaks.

6.1 Möödumine takistustest

Hetkel on robotil takistustest möödumiseks ainuke variant see, et ta võtta elektriliinilt lahti ja positsioneerida ta takistusest mööda, kas automaatselt (droomiga) või käsitsi. See muudab roboti kasutamise ja töö ülesande täitmise vägagi keeruliseks ja ajakulukaks, kui elektriliinil on piisavalt suured takistused, millest robot iseseisvalt üle ei saa.

6.1.1 Elektriposti kinnitused

Elektriliinid on iga teatud maa tagant kinnitatud elektripostidele, mis neid õhus hoiavad. Elektriposti ja elektriliini ühendavad kinnitused on hetkel robotile iseseisvalt mööda pääsematuks takistuseks. Et robot iseseisvalt kinnitustest mööda saaks, tuleks projekteeritud robotit muuta.

6.1.2 Kõrvutiste elektriliinide kinnitused

Paljud elektriliinid, mis on sama faasiga, on asetatud kõrvuti ja nende vahele on pandud ühendused, mis takistavad elektriliinide kokku põrkumist ja põimumist juhul, kui elektriliinid hakkavad liikuma, kas ilmastiku või muu põhjuse tõttu. Ka need kinnitused on robotile tõenäoliselt iseseisvalt mööda pääsematud.

6.2 Edasised kaaluvähendused

Kuigi esmasele projekteeritud robotile on tehtud hulgaliselt kaalu vähendamiseks mõeldud parandusi, et saada robot nii palju kergemaks, kui võimalik, on robotil veelgi potentsiaalseid kohti, mida saaks optimeerida. Kergemat robotit oleks võimalik elektriliinidele transportida lihtsam ja väiksem materjalikulu roboti valmistamisel teeks roboti tootmise odavamaks.

6.2.1 Põhiraamistiku optimeerimine

Põhiraamistiku kuju ja materjali vahetus esmase ja lõpliku projekteeritud roboti vahel vähendas roboti massi märgatavalt. Siiski autor leiab, et täpsemalt uurides oleks võimalik sealt veelgi kaalu võimalik maha võtta. Seda saaks teha valides alumiiniumist veelgi kergema materjali näiteks süsinikkiud komposiit plaadist või klaaskiuga tugevdatud plastikust või säärasest kergest, kuid tugevast materjalist.

Peale materjali valiku oleks võimalik raamistikul teha enamaid arendusi raamistiku kujus. Leides kõige optimaalsema kuju, mis säilitab oma struktuurse terviklikkuse vastava materjali valikul oleks võimalik kasutada nii vähe materjali, kui võimalik, mis omakorda vähendaks roboti massi ning materjali kulu enamgi.

6.2.2 Mootorite valik

Kui uurida täpsemalt erinevate mootorite valikut, siis tõenäoliselt oleks võimalik leida robotile enamgi sobilikumad mootorid. Mootorid peaksid olema võimalikult kerged, säilitades oma vajalikud parameetrid, millega saaks siiski töö ülesande sooritatud.

6.2.3 Väiksema roboti projekteerimine

Töötades välja väiksema roboti, mis oleks kaalult näiteks 10 kg ringis, oleks võimalik robotit kasutada väiksemate elektriliinide puhastamiseks. Selline robot oleks ideaalne kohtadesse, kus ligipääs muude meetoditega on keeruline. Väiksema roboti saaks toimetada elektriliinile ka väiksema drooniga, mis hõlpsustaks töö sooritamist võrreldes muude meetoditega. Metsas asetsevad elektriliinide ümber tehakse küll puhastust, et oleks võimalik vajadusel erinevaid töid elektriliinidel teha, kuid alati ei pruugi see olla võimalik, kuna metsa hooldus on kallis ja ajakulukas protsess. Seetõttu võib tekkida situatsioon, kus optimaalsemaks lahenduseks oleks viia robot elektriliinile drooniga.

6.3 Elektriliinidele kinnituse hõlbustus

Hetkel on robotil täiesti avatud elektriliini kinnituse vahel väga vähe ruumi, et robot elektriliinile soetada. See muudab roboti asetamise töökohale keeruliseks nii manuaalse, kui ka automaatsete kohale toimetamise viisidel. Lisades robotile süsteemi, mis liigutaks veererattad veorastade kohalt eemale, saaks hõlbustada roboti kinnitust elektriliinile.

Arvestama peab sellise süsteemiga, et see on järjekordne potentsiaalseks rikke esinemise kohaks, seega peab süsteemi välja töötamisel olema kindel, et see oleks nii vastupidav ja töökindel kui võimalik.

6.4 Kaugjuhtimise lisamine

Hetkel on robotil puudu võimalus seda kaugelt juhtida. Vaja oleks sellise süsteemi lisamine robotile sellepärast, et kui robot peaks jääma kuskile kinni või juhttarkvaras esineb tõrkeid. Süsteemi rakendamiseks on mitmeid erinevaid võimalusi. Kasutada saaks roboti juhtimiseks raadiolainete,

Bluetoothi või Wi-Fi andmete edastusviisi. Vajadusel saaks isegi kasutada juhtmega ühendatud meetodit.

6.5 Lisafunktsioonid

Kuigi robotil on vaid üks kindel ülesanne, mida täitma peab, oleks hea, kui saaks mitu probleemi lahendatud ühe robotiga. Seega võiks robotil olla peale jää eemaldusmehhanismi ka midagi muud, mida elektriliinidega toimetamisel vaja läheb.

6.5.1 Kaamerad

Lisades robotile kas mitu, või ühe juhitava kaamera, oleks robotil võime saata operaatorile lähivaate elektriliinidest ja kõigest muust elektriliinidega seonduvast näiteks elektripostidest või elektriliini kinnitustest. Antud lisafunktsiooniga saaks eemaldada ohtliku töö, mida muidu peaks tõenäoliselt tegema inimene elektriliinidele lähedale minnes tõstuki või helikopteri abil. Kaamera kinnitamine robotile oleks parem, kui selle kinnitamine droonile, sest robot suudaks olla füüsilise kontakti abil palju stabiilsem, kui droon, mis teeks pildi kvaliteedi paremaks ja operaatori töö lihtsamaks.

KOKKUVÕTE

Lõputöö ülesandeks oli leida parim meetod elektriliinidelt jää eemaldamiseks. Selleks otsustas autor projekteerida roboti, mis suudaks elektriliinidelt võimalikult mugavalt ja turvaliselt ülesannet lahendada. Lisaks sellele mõelda ka meetodile roboti transpordiks töö ülesande kohale.

Antud teema sai valitud, sest autori arvates ei olnud hetkel kasutusel olevad lahendused probleemiga tegelemiseks piisavalt turvalised, odavad ega mugavad. Seega leidis autor, et suudab välja mõelda parema lahenduse.

Lõputöö tulemuseks on autor probleemi lahendamiseks projekteerinud kompakitse ja kerge roboti, mis suudab liikuda mööda elektriliine ja puhastada neid jääst. Robot on valmistatud võrdlemisi kergest materjalist (alumiinium 2014) ning võimalikult kergetest teistest vajalikest komponentidest (mootorid, elektroonika jms), mis teeb roboti transpordi ja töö ülesande täitmise võimalikult mugavaks ja turvaliseks. Roboti projekteerimisel on hoolikalt kaalutud erinevate eesmärkide sooritamiseks mõeldud lahenduste vahel, et projekteeritud robot oleks nii optimaalne, kui võimalik. Lõppkokkuvõtteks kujunes roboti massiks ligikaudu 20 kg ja robot kasutab jää eemaldamiseks välja pakutud variantide vahelt autori arvates parimat lahendust, milleks on impulss löökide tekitamine liini vastu. Elektriliinidel liigub robot rullikute abil mida veavad kaks tiguülekanedega alalisvoolu mootorit.

Kokkuvõtteks on autor rahul valminud probleemi lahendusega ning on kindel, et projekteeritud roboti realiseerimisel, täidaks see oma töö ülesannet ja oleks heaks alternatiiviks probleemi lahendamisel.

Tulevikus annab robotit kindlasti mitmes osas edasi arendada. Robotil on hetkel puudu juhtimistarkvara ning täielik elektriskeem, mille välja töötamine ei mahtunud ära lõputöösse. Peale selle on robotil puudu ka hea meetod erinevatest takistustest möödumiseks, mis elektriliinidel asuvad, seega oleks ka see hea edasiarendamist vajav probleem. Töös on välja pakutud erinevad viisid roboti transportimiseks elektriliinidele, kuid täpne lahendus siiski välja töötatud pole. Lisaks sellele on võimalik robotile arendada erinevaid lisaväärtust andvaid süsteeme näiteks pildiedastussüsteemi, millega saaks peale põhiülesande, juurde võimaluse kasutada robotit, et viia läbi elektriliinide inspeksioone. Peale selle on robotile võimalik teha enamaid kaalu vähendavaid muudatusi, kui komponente täpsemalt valida või lausa spetsiaalselt teha lasta, mis muudaksid roboti kergemaks ja tänu sellele ka lihtsustaksid roboti transpordi ja töö ülesande läbi viimist.

SUMMARY

The aim of the thesis was to find the best way to remove ice from power transmission lines. To achieve this, the author decided to devise a robot which could tackle the problem as safely and as easily as possible. In addition to that it was needed to think of a method to transport the robot to the power line.

The given topic was chosen for the thesis because the author found that the current methods of dealing with the problem were not safe, cheap or easy enough. That's why the author was convinced that a better solution can be devised.

As a result of the thesis, the author has developed a compact and light robot which can move along the power lines and clean them of ice. The robot is made of a relatively light material [aluminium 2014) and other components such as the motors and electronics that are as light as possible. That makes the transportation and the job of the robot as easy and as safe as possible. In developing the robot, the author has carefully compared different solutions for different tasks so that the robot would be as optimal for the task as possible. The final iteration of the robot weighs around 20 kg and uses an impulse mechanism to remove the ice from the power lines which the author thought was the best solution to tackle the problem. The robot moves along the power lines using two direct current motors equipped with a worm gear drive.

In conclusion the author is pleased with the solution for the problem and is sure that a robot made according to the model would complete its task and would also be a good alternative to current methods used.

In the future the robot can be further developed. As it stands the robot is missing the software to control it and a detailed schematic of the electrical system which were not a part of the thesis. In addition to that the robot lacks a good way of getting over or around obstacles that are encountered on the power lines. The author has provided with a few methods of transport to the power lines for the robot but a specific solution has not been fully devised. Also it is possible to add some more features to the robot which would give it some more value. For example a camera system for transmitting pictures or video which could give the robot the ability to be used as an inspection robot. On top of all that the design of the robot can be further lightened if the components are chosen more carefully or even specifically made. A lighter robot can be transported and do its task more easily and safely.

Kasutatud kirjandus

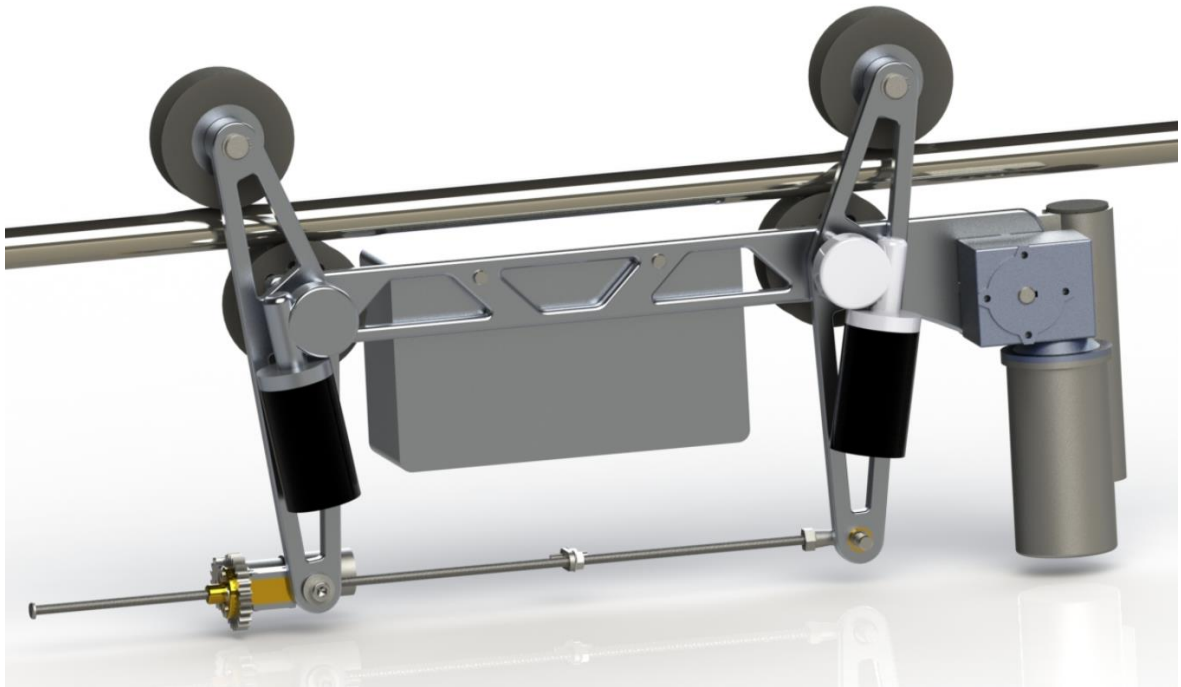
- [1] M. Hydro, „Manitoba Hydro,“ Manitoba Hydro, [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.hydro.mb.ca/outages/ice_on_power_lines/. [Kasutatud 16 06 2019].
- [2] S. Aerospace, „Simplex aerospace,“ Simplex Aerospace, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://simplex.aero/aerial-cleaning-bell-407/>. [Kasutatud 15 05 2019].
- [3] D. L. Chandler, „MIT News,“ MIT News, 31 August 2018. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://news.mit.edu/2018/remove-ice-buildup-airplanes-wind-turbines-solar-power-0831>. [Kasutatud 15 05 2019].
- [4] „Roboter Bausatz-Shop,“ anizado GmbH, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.roboterbausatz.de/en/diy-electronics/motors-servos/motors/1190/nema-23-stepping-motor-57bygh627>.
- [5] „mecheltron,“ NTS electronic and components GmbH, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://mecheltron.com/en/product/es-m23480>. [Kasutatud 03 05 2019].
- [6] A. Elements, „American Elements,“ American Elements, 2019. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.americanelements.com/aluminum-2014-alloy>. [Kasutatud 11 05 2019].
- [7] M. Dynamics, „Motion Dynamics,“ Motion Dynamics Australia Pty Ltd, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.motiondynamics.com.au/zd1530-worm-drive-motor-12v-50w-45-65-rpm-5-29nm-left.html>. [Kasutatud 03 05 2019].
- [8] R. inc., „RobotShop,“ RobotShop inc., [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.robotshop.com/en/12v-165rpm-6805oz-in-precision-planetary-gearmotor.html>. [Kasutatud 11 05 2019].
- [9] „Drawio,“ JGraph Ltd., [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.draw.io/>. [Kasutatud 15 05 2019].
- [10] HobbyKing, „HobbyKing,“ HobbyKing, [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://hobbyking.com/en_us/turnigy-high-capacity-5200mah-6s-12c-multi-rotor-lipo-pack-w-xt90.html. [Kasutatud 10 05 2019].

- [11] Unitronics, „Unitronics,“ Unitronics, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://unitronicsplc.com/unistream-series-plc/#1451658074249-d6f71763-59ae>. [Kasutatud 14 05 2019].
- [12] Pololu, „Pololu,“ Pololu Corporation, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.pololu.com/product/1451/specs#note2>. [Kasutatud 12 05 2019].
- [13] Pololu, „Pololu,“ Pololu Corporation, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.pololu.com/product/3585>. [Kasutatud 13 05 2019].
- [14] D.-K. Electronics, „Digi-Key Electronics,“ Digi-Key Electronics, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.digikey.com/product-detail/en/xp-power/QSB40024S12/1470-4178-ND/5638702>. [Kasutatud 16 05 2019].
- [15] D.-K. Electronics, „Digi-Key Electronics,“ Digi-Key Electronics, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.digikey.com/product-detail/en/xp-power/RDH60072WS24/1470-4588-ND/8535665>. [Kasutatud 16 05 2019].
- [16] R. C. Ltd, „RS Components,“ RS Components Ltd, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://ee.rsdelivers.com/product/omron/e2e-x3d18-m1tjg-t-03m/omron-m8-magnetic-proximity-sensor-378mm-length/1756879>. [Kasutatud 06 05 2019].
- [17] „SolidWorks,“ Dassault Systèmes SolidWorks Corporation, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.solidworks.com/>.
- [18] B. Kang, „Alibaba,“ Lunyee Industries Development Co., Ltd., [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.alibaba.com/product-detail/Electric-12v-24v-dc-worm_60686051083.html?spm=a2700.7724857.normalList.118.722c2eaf27ahD0. [Kasutatud 12 05 2019].
- [19] M. S. E&OE., „Maker Store,“ Maker Store E&OE., [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.makerstore.com.au/product/stepper-driver-dq542ma-4-2a-50v/>. [Kasutatud 04 05 2019].

LISAD

Lisa 1 Lõpliku roboti mudel

Lisa 1.1 Roboti paremalt vaade



Lisa 1.2 Roboti vasakult vaade

