



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

SNOBOT LUMEKORISTUSROBOTI EDASIARENDUS

DEVELOPMENT OF SNOBOT THE SNOW PLOWING ROBOT

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Nele Torm

Üliõpilaskood: 163865

Juhendaja: Mart Tamre, professor ja programmijuht

Tallinn, 2019

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: Nele Torm

Lõputöö liik: Bakalaureusetöö

Töö pealkiri: Snobot lumekoristusroboti edasiarendus

Kuupäev: 21.05.2019

59 lk

Ülikool: Tallinna Tehnikaülikool

Teaduskond: Inseneriteaduskond

Instituut: Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Töö juhendaja: Professor Mart Tamre

Töö eesmärgiks oli 2018 aastal toimunud Cleveron Challenge võistluse raames ehitatud lumelükkamise roboti edasiarendus.

Töö aluseks olnud roboti lumekoristamise lahendus oli autori arvates küllaltki keeruline, kallis, aeganõudev ja mittefunktsionaalne. Linearmootorite abil sahalt lume eemaldamiseks kulus katsetamise käigus umbes 20 sekundit, mis on autori arvates liiga pikk aeg. Lisaks oli sahk võrreldes maapinnaga liiga suure nurga all ning lumi ei kogunenud mitte mööda saha, vaid suurem osa liikus saha kõrvale.

Töö lahenduseks oli ideed, et lund ei ole mõistlik vedada, vaid seda peaks lükkama ning mehaanika on võrreldes elektroonika ja tarkvaraga kõige usaldusväärsem. Sahk laiusega 900 mm paigutati roboti ette ja sahalt eemaldati tõstmise ning kallutamise funktsioonid. Tulemusena odavnes roboti hind ning lahendus oli lihtsam, vastupidavam ning lihtsamini hooldatav.

Töö autor on tulemustega rahul ning usub, et läbiviidud tootearendus täitis eesmärgi, milleks oli suurema koguse lume koristamine ühe liikumisega.

Märksõnad: lume koristamine, robot, disain, raalprojekteerimine, elektriskeem, kood, lumesahk.

ABSTRACT

Author: Nele Torm

Type of the work: Bachelor Thesis

Title: Development of Snobot the Snow Plowing Robot

Date: 21.05.2019

59 pages

University: Tallinn University of Technology

School: School of Engineering

Department: Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics

Supervisor(s) of the thesis: Professor Mart Tamre

The aim of this thesis is further development of a snow plowing robot that was built in 2018 during a competition called Cleveron Challenge.

The robot's solution was quite complicated, expensive, time consuming and non-functional according to the author. It took about 20 seconds to remove the collected snow from the plow using linear motors and in authors opinion it took too long for snow plowing. In addition, the plow's angle compared to the ground was too high and the snow did not gather on the plow but rather on the sides.

The solutions for the problem were that snow should be pushed away not carried and mechanical solutions compared to electronics and software are more reliable. 900 mm wide plow was placed in front of the robot and functions for raising and tilting the plow were removed. The result accomplished was that robots' price was decreased, solution got more simple, reliable and easier to maintain.

Author is pleased with the result and believes that the aim of this thesis which was cleaning maximum possible area with one motion was fulfilled.

Keywords: snow removing, robot, design, computer aided design, circuit diagram, code, snow plow

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema:	Snobot lumekoristusroboti edasiarendus
Lõputöö teema inglise keeles:	Development of Snobot the Snow Plowing Robot
Üliõpilane:	Nele Torm 163865
Eriala:	Mehhatroonika
Lõputöö liik:	bakalaureusetöö
Lõputöö juhendaja:	Mart Tamre
Lõputöö ülesande kehtivusaeg:	03.03.2019
Lõputöö esitamise tähtaeg:	21.05.2019

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppekava juht (allkiri)

1. Teema põhjendus

Tootearendusvõistluse Cleveron Challenge raames ehitatud roboti Snobot planeeritud mehaanilist lahendust ei olnud võimalik läbi viia. Probleemiks oli roboti raami ja saha konstruktsioon, mille tõttu ei oleks lumi kogunenud terve saha pinnale, et koristada korruga maksimaalne kogus lund. Võistluse kiire ajakava tõttu ei jõutud disaini muuta ja edasi tuli liikuda alternatiivse lahendusega. Antud lõputöös leitakse lahendus raami ja saha disainile, et ühe liikumisega koristada ära maksimaalne kogus lund. Selliseid lumesahkasid ei toodeta hetkel kuskil ja võib arvata, et sellise toote turule toomine on kasumlik.

2. Töö eesmärk

Töö eesmärgiks on disainida optimaalse lahendusega lumesahk, mis on väike, kuid samas koristab korruga maksimaalse koguse lund.

3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

1. Milline peab olema roboti raami ja saha materjal?
2. Kuidas optimeerida materjali kulu, kuid samas säilitada roboti tugevus?
3. Kuidas tagada roboti efektiivsus?
4. Kuidas tagada roboti poolne ühendus, et seda puldiga juhtida?
5. Kuidas koostada elektriskeem?

4. Lähteandmed

Püstitatud eesmärkide lahendamiseks kasutan Cleveron Challenge raames ehitatud robotit ja koostatud dokumentatsiooni.

5. Uurimismeetodid

Roboti analüüsiks ja edasiarenduseks kasutatakse Snoboti 3D mudelit. Töö valmib kasutades CAD (Computer Aided Design) programme SolidWorks ja Inventor. Programmides tuleb katsetamise käigus leida sobiv disain, mis on kasutajasõbralik, kuid samas piisavalt tugev ja vastupidav külmade ilmade ning lume jaoks. Roboti osade tugevust testitakse antud programmides FEM (Finite Element Method) analüüsiga. Elektriskeemi koostamiseks tuleb analüüsida roboti elektritoitevajadust, täiturmehhanismide ja andurite tööd ning selle põhjal koostada skeem. Puldiga juhitava seadme tagamine roboti poolt toimub tark- ja riistvara arendamise käigus.

6. Töö etapid ja ajakava

1. Ülesandelehe esitamise tähtaeg (04.03.2019)
2. Lähteandmete kogumine (04.03 – 10.03.2019)
3. Teoreetilise osa kirjutamine (11.03 – 24.03.2019)
4. Modelleerimise teostamine (25.03 – 21.04.2019)
5. Uuringu tulemuste kirjeldamine (22.04 – 28.04.2019)
6. Järelduste kirjutamine (29.04 – 03.05.2019)
7. Kokkuvõtte koostamine (03.05 – 05.05.2019)
8. Juhendajale läbilugemiseks saatmine (06.05.2019)
9. Paranduste sisseviimine (09.05 – 12.05.2019)
10. Juhendajale teiseks lugemiseks saatmine (13.05.2019)
11. Lõputöö teema deklaratsiooni esitamine (13.05.2019)
12. Töö lõplik versioon on valmis (16.05.2019)
13. Köidetud ja allkirjastatud lõputöö esitamine (21.05.2019)
14. Lõputöö elektroonilise versiooni ja lisade esitamine (30.05.2019)
15. Lõputöö kaitsmine (10.06 – 12.06.2019)

SISUKORD

EESSÕNA.....	10
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU.....	11
SISSEJUHATUS	12
1. OLEMASOLEVA PROTOTÜÜBI ANALÜÜS.....	15
1.1 Mehaanika	16
1.1.1 Roboti sahk ja rattad	16
1.1.2 Roboti raamistik	17
1.1.3 Roboti tõstmine ja kallutamine	17
1.2 Elektroonika	18
1.2.1 Jõuelektroonika	19
1.3 Tarkvara	21
2. VALITUD PROGRAMMID JA MEETODID	23
2.1 CAD ehk arvutipõhine projekteerimine	23
2.2 FEM analüüs.....	23
2.3 Arduino kood	24
3. TÖÖ KÄIK JA ANALÜÜS.....	25
3.1 Lahenduste otsimine.....	25
3.1.1 Katsetatud saha disainid	25
3.1.2 Linearmootorite kinnitamine	26
4. Snobot mudel 2 – väljapakutud konstruktsioon	29
4.1 Mehaanika tulemused	29
4.1.1 Saha disain.....	29
4.1.2 Raami disain	31
4.1.3 Roboti mass	32

4.1.4	Elektronika katte disain.....	33
4.1.5	Kinnitusvahendid.....	34
4.2	Ajamid ja energiavarustus.....	34
4.2.1	Roomikud	35
4.2.2	Jõuelektronika	38
4.2.3	Elektriskeemi koostamine	40
4.3	Tarkvaralised tulemused.....	40
4.4	Snobot mudel 2 üldandmed	41
5.	EDASISED VÕIMALUSED	43
	KOKKUVÕTE	45
	SUMMARY	46
	LISAD	47
	KASUTATUD KIRJANDUS.....	58

EESSÕNA

Käesoleva lõputöö teema kujunes välja Cleveron AS-i poolt korraldatud tootearendusvõistluse raames, mille käigus ehitas töö autor koos teiste Tallinna Tehnikaülikooli tudengitega lumekoristusroboti „Snobot“. Planeeritud saha disaini ei suudetud teostada ilma, et toote produktiivsus langeks. Lõputöö „Snobot lumekoristusroboti edasiarendus“ eesmärgiks on muuta roboti kere ja saha disaini, et saavutada maksimaalne tootlikkus.

Autor soovib tänada Tallinna Tehnikaülikooli üliõpilasorganisatsiooni TTÜ Robotiklubi ning tudengeid Hans Johan Erikson, Kaur Küngas, Margo Sall, Mati Raadik ja Tambet Eelmeret, kellega koostöös valmis lumekoristusrobot „Snobot“ ja ka professor Mart Tamret lõputöö juhendamise ning kasulike nõuannete eest.

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

3D	kolmemõõtmeline (<i>3 Dimension</i>)
CAD	arvutipõhine projekteerimine (<i>Computer Aided Design</i>)
FEM	lõplike elementide meetod (<i>Finite Element Mehtod</i>)
IDE	integreeritud programmeerimiskeskond (<i>Integrated Development Environment</i>)
USB	universaalne järjestik siin (<i>Universal Serial Bus</i>)

SISSEJUHATUS

Lume koristamine on mitmel pool maailmas aktuaalne teema, aga seni pole lumekoristusrobotite tootmine massideni jõudnud ning töö autor leiab, et seda tüüpi robotite projekteerimine ja turule toomine on kasumlik. Idee tulenes 2018 aastal Cleveron AS poolt korraldatud tootearendusvõistluselt, mille eesmärk oli lumekoristusroboti arendamine. Töö autor võttis võistlusest osa koos tiimikaaslastega ja ehitati valmis robot nimega Snobot. Antud lõputöö eesmärgiks on võistlusel osalenud roboti edasiarendus.

Võistluse käigus leiti, et maksimaalse koguse lume koristamiseks on lahenduseks võimalikult suur sahk, mis disainiti üle kogu roboti kere (joonis 1; joonis 2). Kuna oli tegemist tiimi esimese suurema projektiga, siis ei osatud arvestada kõiki nüansse ning tulemuseks oli, et sellise disainiga jõudis vaid väike osa lund sahale. Võistluse kiire ajakava tõttu ei olnud võimalust enam roboti kere disaini ümber teha ning edasi liiguti saha alternatiivse lahendusega (joonis 3), mis mahutab oluliselt väiksema koguse lund. Lõputöö käigus on plaan luua funktsionaalne robotsaha disain, mis koristaks korraga võimalikult suure koguse lund.



Joonis 1 Planeeritud saha prototüüp. Tööasend [1]



Joonis 2 Planeeritud saha prototüüp. Kallutamise asend [1]



Joonis 3 Võistlusel esitatud roboti prototüüp [1]

Võistlusrobotil esines ka teisi vigu, mis antud lõputöös lahenduse saavad. Kere konstruktsiooni tuleb optimeerida kasutades võimalikult vähe materjali, kuid tagades roboti tugevus ja funktsionaalsus. Roboti tasakaalupunkt tuleb viia roboti tagumisse osasse, et saha raskusega tagumised rattad õhku ei tõuseks. Roboti tööd tuleb kiirendada. Vajalik on koostada elektriskeem, mida võistluse jooksul ei tehtud. Tuleb välja mõelda teoreetiline lahendus, millega robot oleks juhitud läbi sinihamba ühenduse.

Töö teostamiseks kasutatakse CAD programme SolidWorks ja Inventor, kus luuakse kasutajasõbralik, kuid piisavalt tugev ja vastupidav 3D disain roboti osadele. Roboti testimine toimub FEM analüüsiga, mille käigus ennustatakse, kuidas materjal reageerib jõududele.

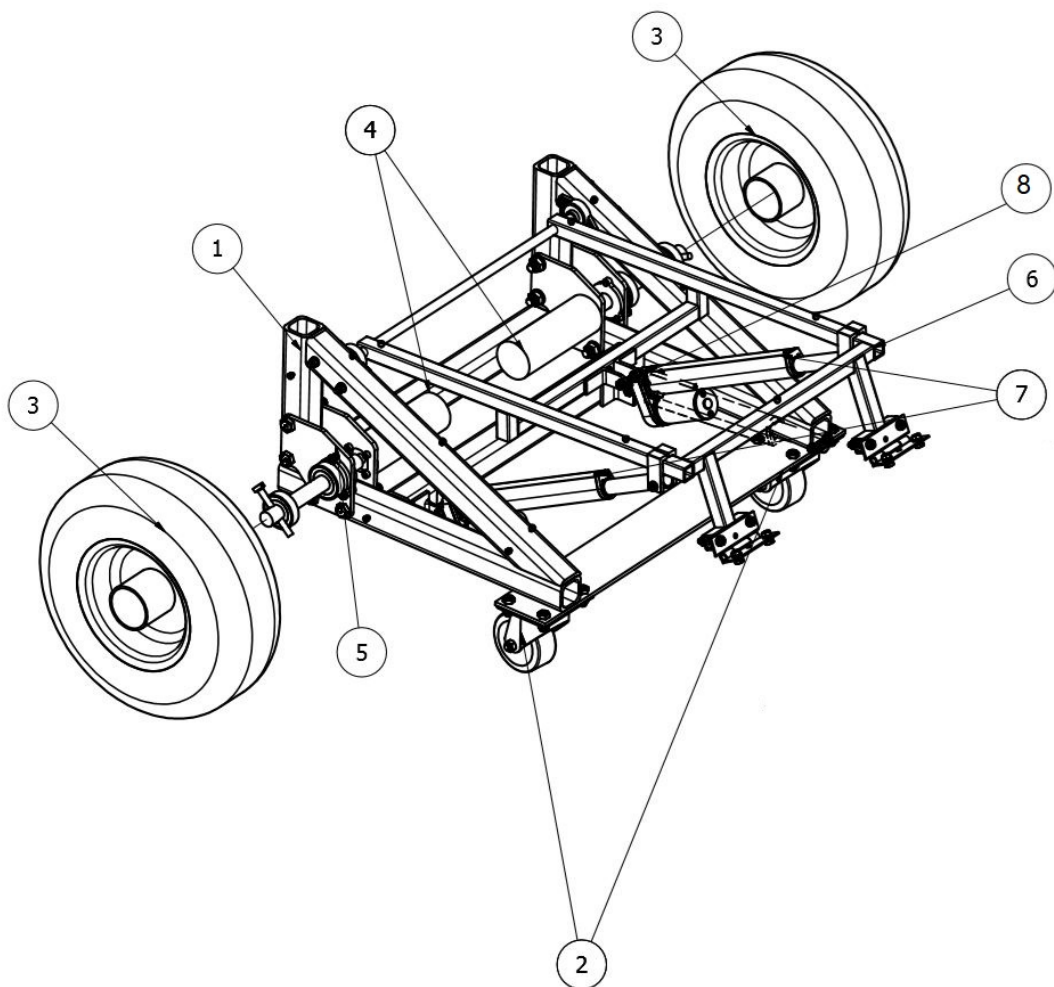
Puldiga juhitavaks saab masin tarkvara arendamise käigus. Käskude edastamine toimub ATmega 2560 mikrokontrolleri abil ja kood kirjutatakse C++ programmeerimiskeeles. Elektriskeemi koostamiseks tuleb analüüsida roboti elektritoitevadjadust, täiturmehhanismide ja andurite tööd ning selle põhjal koostada skeem.

Võistlusel osalenud roboti prototüüp on Tallinna Tehnikaülikooli Robotiklubis üliõpilastele testimiseks. Tarkvarast on olemas roboti kood, mille järgi peaks robot sõitma autonoomselt, kuid mis siiski projekti käigus ei õnnestunud. CAD failidest on olemas roboti esialgse disaini kavand ja täielikult valminud väiksema sahaga roboti 3D mudel. Lisaks on olemas nimekiri roboti osadest ja detailidest koos parameetritega.

1. OLEMASOLEVA PROTOTÜÜBI ANALÜÜS

Esiatselt projekti käigus ehitatud roboti (joonis 1.) lahendus oli autori arvates küllaltki keeruline, kallis ja mittefunktsionaalne. Vigu esines nii mehaanikas, elektroonikas kui ka tarkvaras. Koostatud roboti põhilisemad komponendid on toodud joonis 1.1.

Projekti jooksul osales töö autor kõigis roboti arendamise ja ehitamisega seotud valdkondades, kuid suurem rõhk oli mehaaniliste lahenduste väljatöötamisel nagu raami ja saha konstruktsioon ning tõstemehanismi lahendus.



Joonis 1.1 Snoboti 3D plahvatusjoonis [1]. 1 – raam, 2 – esiratas, 3 – tagaratas, 4 – veomootorid, 5 – rataste ja mootorite kinnitus, 6 – tõstekonstruktsioon, 7 – 300 mm lineaarmootor, 8 – 200 mm lineaarmootor

1.1 Mehaanika

Roboti ehituse koha pealt tuleb muudatusi teha saha ning raami konstruktsioonis.

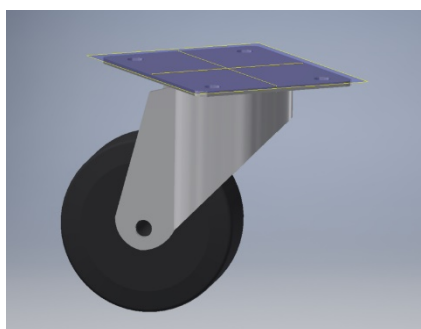
1.1.1 Roboti sahk ja rattad

Projekti käigus planeeritud roboti saha peamine eesmärk oli koristada ühe lükkega võimalikult suur kogus lund. Selleks disainiti mahukas sahk, mis kattis kogu roboti pinna. Lumesaha katsetamise käigus aga selgus, et sellise lahendusega ei liigu lumi mööda sahka üles ning robot ei täida oma eesmärki. Autor leiab, et probleemiks ei ole ainult suur nurk, mis tekib maa ja saha vahele, vaid ka saha disain.

Roboti tööd takistas ka asjaolu, et töö tegemise ajal on esimesed rattad õhus, mitte vastu maad. See tähendab, et saha esimene äär oli kogu aeg vastu pinnast ning iga lükkega kraabiti saha pinda. Massiga peale surudes kulub saha pind kiiremini ja robot ei ole selliselt vastupidav.

Esimeste ratastega oli probleemiks nende väiksus. Roboti sahka on võimalik tõsta üles, et takistustest üle saada. Samas ei ole aga esimesed rattad võimelised tõketest mööduma just oma suuruse tõttu. Tõketeks võivad olla väiksemad kivid või ebatasane pind.

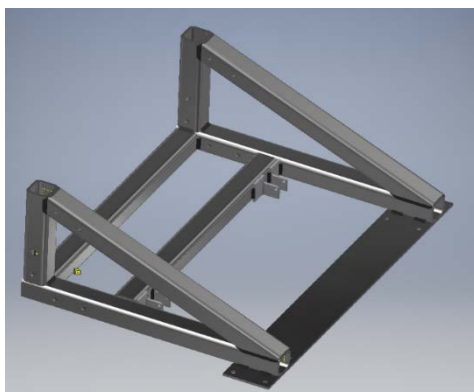
Robotil kasutatud väiksemad rattad (joonis 1.2) töötavad sarnaselt poekäru pöörlevatele ratastele. Kuigi nad ise on väiksed, siis kinnitusviisi tõttu tõstis nende paigaldamine roboti esiotsa oluliselt kõrgemale, mis omakorda tegi saha ja maa vahelise nurga suuremaks. Töö autor arvab, et funktsionaalsem lahendus oleks kasutada rataste süsteemi asemel roomikuid, mille abil on robot stabiilsem, lihtsam takistustest mööduda ning läbilibisemise oht on väiksem



Joonis 1.2 Roboti tugirattad [1]

1.1.2 Roboti raamistik

Roboti alusraam (joonis 1.3) oli peamiselt valmistatud 40x40x4 nelikanttorust. Tegelikuses piisaks ka väiksemate mõõtudega raami materjalist, mis selgitati välja FEM analüüsiga. Selle tulemusena oleks roboti kaal väiksem, mis teeb lumesaha kasutajasõbralikumaks ning tootmishinna odavamaks.



Joonis 1.3 Roboti alusraam [1]

Tabel 1.1 Roboti raami osad

Raam			
1	40x40x4 S235JRH	2	S235JR
2	40x40x4 S235JRH	2	S235JR
3	40x40x4 S235JRH	2	S235JR
4	40x40x4 S235JRH	2	S235JR Hüpotenuus
5	Latt 80x5 S235	1	S235JR
6	Nurkraud 35x35	4	Nurgad, mis lineaarmootoreid kinnitavad
7	Kinnitusplaat 1	2	S235JR, vesilõikusega toodetud
8	Kinnitusplaat 2	2	S235JR, vesilõikusega toodetud

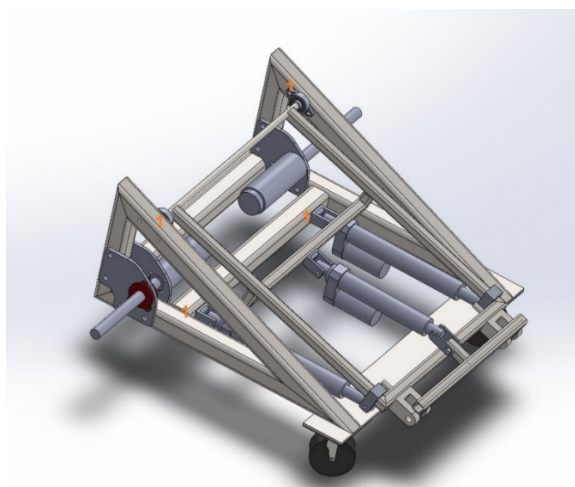
Vahetades 40x40x4 nelikanttoru 20x20x2 vastu väheneb roboti mass ühe meetri nelikanttoru kohta 3.17 kg ning roboti hind 9,82 € [2].

1.1.3 Roboti tõstmine ja kallutamine

Roboti tõsteraami lahendus oli autori arvates küllaltki optimaalne, kuid lume koristamiseks aeglane. Katsetamise käigus selgus, et saha lumest tühjendamine võttis keskmiselt aega 20 sekundit. Tõsteraam oli alusraami külge kinnitatud neljast kohast (Joonis 1.4). Roboti tagumisest äärest kahe laagri ja ühe võlli abil ning roboti põhjast kahe lineaarmootoriga, mis aitavad saha üles tõsta.

Saha tõstmiseks kasutati kokku kolme lineaarmootorit. Kahe äärmise mootori võlli välja lükkamise abil tõsteti sahk maast üles. Mootorid olid mõlemast otsast kinnitatud hingede süsteemile sarnaselt ning lineaarmootori pikkus muutudes hakkas tõsteraam üles liikuma. Kallutamiseks kasutati keskmist lineaarmootorit. Keskmise lineaarmootori algasend oli mootori pikem asend ehk võll oli

pesast väljas ning võlli ots oli kinnitatud sahale pigem ettepoole. Kallutamise teostamiseks hakkas lineaarmootor liikuma pesa sisse ning sellega koos tõmmati saha esimest otsa roboti poole ning süsteem liikus vertikaalsesse asendisse.



Joonis 1.4 Roboti raamistik ja mootorid [1]. 1 – kahe raami omavaheline kinnituskoht

1.2 Elektroonika

Elektroonika valdkonnast kasutati tabelis 1.2 toodud komponente.

Tabel 1.2 Elektroonika komponentide tabel

Nr	Detail	Kogus	Kommentaar
1	Arduino Mega 2560	1	Arendusplaat
2	MPU-6050	1	IMU (gyro+accel) andur
3	Releemoodul	1	Lineaarmootorite juhtimiseks
4	BT HC-05	1	Bluetooth kommunikatsioon
5	Enkooder	2	3D prinditud enkoodri ketas. Saatja ja vastuvõtja
6	HC-SR04	8	Sonarid
7	BTS7960	2	Mootori draiverid
8	Multistar 8Ah 4S 12C WTX90	1	Aku

Kuna võistluse eesmärgiks oli ehitada isesõitev robot, siis esineb tabelis (Tabel 1.2) autonoomsuse saavutamiseks vajaminevaid komponente, mis antud lõputöö käigus kasutusse ei lähe. Nendeks on MPU-6050 güroskoop andur, ise ehitatud enkooder ja HC-SR04 sonarid.

Cleveron AS-i poolt korraldatud võistlusel oli vaja autonoomselt lumest puhtaks lükata plats mõõtmetega 3x3 m². Töö autor koos tiimiga leidis lahenduseks, et isesõitva masina saavutamiseks tuleb mõõta roboti poolt läbitud vahemaad, et teada, millal on läbitud kolm meetrit ning jõutud platsi teise otsa.

Autonoomsuse tagamise idee oli, et sonarid on kinnitatud robotile ümberringi ning kontrollivad, kas teel on takistusi. Probleemi korral saadetakse info roboti ajju ning liikumine peatatakse.

Enkoodrit ja güroandurit oli vaja roboti liikumise mõõtmiseks. Enkoodri ketas asetati kummalegi veorattale ning kui ratas ringi käis, lugesid saatja ja vastuvõtja enkoodri kettalt saadud pulse. Güroandur mõõtis, kas robot mingil hetkel ka tegelikult liigub. Näiteks kui esineb olukord, kus sahk jääb kinni ning veorattad käivad kohapeal ringi, siis güroanduri abiga saab robot aru, et tegelikku liikumist ei toimu ning seda vahemaa lugemisel ei arvestata.

Võistluse käigus autonoomsuse süsteem ei töötanud. Põhjuseks oli asjaolu, et tegemist oli tiimi esimese projektiga ning masina isejuhtivuse saavutamiseks on vaja suuremat täpsust ja rohkem teadmisi. Näiteks oli halvasti disainitud enkoodrite mürakindlus ja toite jaoks oli sonarite hulk liiga suur.

Kuigi antud lõputöö käigus ei ole oluline roboti autonoomsus, tuleb siiski arvestada, et robot oleks töövalmis ka kuni -30°C külmaga ja lumesajuga. Selleks tuleb täiendada roboti korpust ning leida lahendus, mis kaitseks elektroonika komponente kõigi ilmastikuolude eest. Puldiga juhitava masina kõige külmakartlikum osa on aku.

Projekti käigus roboti kohta elektriskeemi ei koostatud tiheda ajagraafiku tõttu. Antud lõputöö tulemusena valmiva roboti elektroonika töötab sarnaselt projekti käigus arendatud robotile. Välja jäetakse vaid autonoomsuse saavutamiseks vaja minevad komponendid.

1.2.1 Jõuelektroonika

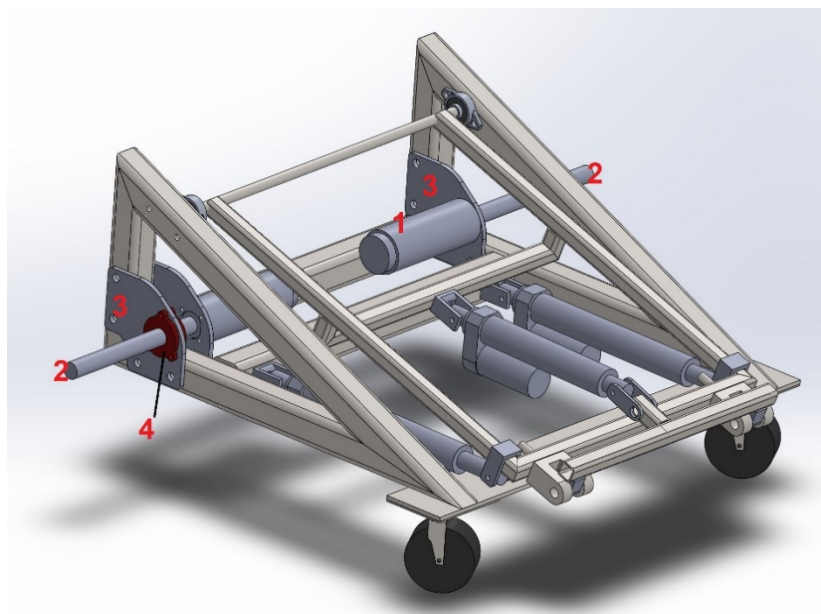
Roboti ja saha liigutamiseks kasutati kokku viite mootorit (tabel 1.3). Kaks nendest on veomootorid, mis asuvad tagumise raami küljes. Mootorite otsa on kinnitatud võllid, mis on otseühendusega kinnitatud veorattale. Võlli ja veoratta omavahelise ühenduse fikseerimiseks on kasutatud splinti. Võllide toestamiseks on lisatud raami sise- ja välisnurka kinnitusplaadid. Nimetatud komponentidega pilt on toodud joonisel 1.5.

Kasutatud mootoritega oli robot võimeline liikuma jalakäija kiirusega kuni 6 km/h. Töö autor leiab, et antud kiirus on robotile lumelükkamiseks piisav, sest robot on mõeldud töötama eelkõige koduhoovides ja oluline on tagada kasutaja turvalisus. Mootori tehniline info on toodud tabelis 1.4.

Mootorite toiteks kasutati Liitiumpolümeer akusid (tabel 1.2). Robotiga pidevalt sõites pidasid akud vastu 20-30 minutit.

Tabel 1.3 Projekti käigus kasutatud mootorid

jr nr	Mootor	Kogus	Kommentaar	Võlli pikkus
1	Veomootor GR-EP-52	2	Tagarataste mootorid	
2	Linearmootor GLA750	1	Lineaar(keskmise)	200mm
3	Linearmootor GLA750	2	Lineaarid(äärmised)	300mm



Joonis 1.5 Veomootorite kinnitus ja ülekanne vedava rattani [1]. 1 – veomootor, 2 – veovõll, 3 – mootori kinnitusplaat, 4 – laager ja laagrikorpus

Tabel 1.4 Veomootori tehnilised andmed [3]

Mootori omadused	12 V juures
Pöörlemissagedus pärast käigukasti (koormuseta)	42.1 rpm
Voolutarve koormuseta	0.4 A
Pidev pöördemoment, kiirus	75 kg-cm at 36rpm
Pidev voolutarve	4.9 A
Pidev väljundvõimsus	28 W
Maksimaalse võimsuse pöördemoment, kiirus	182 kg-cm at 21 rpm
Voolutugevus maksimaalsel võimsusel	11.2 A
Maksimaalne väljundvõimsus	39 W
Maksimaalne pöördemoment	350 kg-cm (34 Nm)
Voolutugevus maksimaalsel pöördemomendil	20.1 A

Roboti kallutamiseks kasutatakse kolme linearmootorit (tabel 1.3). Kahe äärmise linearmootori võll on pikkusega 300 mm ning keskmisel on 200 mm. Projekti käigus testiti kahe äärmise

linearmootori vastupidavust raskusele. 55 kg kaaluv üliõpilane pandi tõsteraamile istuma ning lülitati sisse mootorid, mille tulemusena hakkas võll välja liikuma ja raam üles tõusma. Antud massi tõstmisega said mootorid probleemideta hakkama. Selle põhjal võis järeldada, et kui sahk on lund täis, siis jaksab robot sahka maast siiski tõsta. Linearmootorite tehniline info on toodud tabelis 1.5.

Tabel 1.5 Linearmootori tehnilised andmed [4]

Mootori omadused	Andmed
Mootor	12 V DC, kuni 35 W
Koormuseta kiirus	10 mm/s
Koormuseta voolutugevus	0.8 A
Täiskoormusel kiirus	8 mm/s
Maksimaalne koormus	750 N
Voolutugevus maksimaalsel koormusel	3.2 A
Maksimaalne staatiline koormus	1800 N
Müratase	< 50 dB koormuseta
	< 53 db koormusel
Arvatav eluaeg	40 000 tsükli

Linearmootorite liikumine on lumesaha töö jaoks üsna aeglane. Katsetamise käigus selgus, et saha kallutamine ja tagasi algasendisse fikseerimine võttis aega kuskil 20 sekundit. Projekti hinnanud žürii, mis koosnes tiipsemel spetsialistidest küsis tiimi liikmetelt, kas selline kopa süsteem on lumesaha puhul kindlasti vajalik. Antud lõputöö autor on arvamusel, et kopasüsteemi kasutamine ei ole lumesaha puhul vajalik. Suure koguse lume koristamiseks ei ole otstarbekas lund vedada vaid seda peaks lükkama, sest robot on oma disainilt väikese-mööduline ning seetõttu ei mahu piisavalt suur kogus saha peale. Rohkem lund saab koristatud roboti ees lükates.

1.3 Tarkvara

Robotile tarkvara pealelaadimiseks kasutati Arduino arendusplaati ATmega 2560. Arduino tooteid kasutatakse üldjuhul haridusasutustes esmaseks mikrokontrollerite õppimiseks, kuid kuna tiimi liikmed ei ole õppetöö jooksul kokku puutunud alternatiivsete variantidega ning robotsaha ehitamiseks oli aeg piiratud, siis valiti arenduseks Arduino arendusplaat.

Võistluse eesmärgiks oli autonoomne lumesahk. Seetõttu kirjutati roboti kood autonoomsusest lähtudes. Roboti juhtimise loogika on toodud peatükis 1.2. Autonoomsuse idee oli suhteliselt algeline ja seetõttu oli koodi kirjutamise loogika küllaltki lihtne.

Tarkvara töö õnnestumine sõltub aga suuresti mehaanika ja elektroonika töötamisest. Projekti jooksul juhtus mitmeid äpardusi robotit kokku pannes ning lõpptulemusena tekkis mehaanika osas mitmeid vigu, mis hakkasid ka tarkvara tööd segama. Näiteks käis üks veoratastest lihtsamini ringi kui teine ning see põhjustas olukorra, et robot hakkas otse liikumisel kalduma ühele poole viltu. Autonoomsust katsetades viis see selleni, et robot ei suutnud 3 m sirgelt läbida, vaid sõitis piiretest välja.

Lõputöö ülesandeks tarkvara kohapealt on koodi kirjutamine, mille abil oleks teoreetiliselt võimalik sinihamba ühenduse kaudu puldiga juhtida roboti liikumist. Arendusplaadiks jääb Arduino toode, sest töö autoril puuduvad teadmised ja oskused, et teistsuguse lahendusega jätkata. Valitud arendusplaadi puhul kasutatakse Arduino koodi, mille täpsema kirjelduse leiab peatükist 2.3.

2. VALITUD PROGRAMMID JA MEETODID

Robotlumesahale sobiva disaini loomiseks kasutatakse kahte arvutipõhist projekteerimise programmi SolidWorks ja Inventor. Roboti vastupidavust ja tugevust uuritakse FEM analüüsiga samuti SolidWorks'i tarkvaras. Roboti juhtimiseks kasutatakse Arduino arendusplaati, millele käskude edastamiseks kirjutatakse Arduino IDE keskkonnas kood.

2.1 CAD ehk arvutipõhine projekteerimine

Lõputöö põhiliseks osaks on luua produktiivse ja kasutajasõbraliku robot-lumesaha kolmemõõtmeline disain. Töö teostamiseks kasutatakse arvutipõhist projekteerimist programmides SolidWorks ja Inventor.

Nimetatud programmid valiti seetõttu, et SolidWorks keskkonnaga on töö autor haridustee jooksul mitmeid kodutöid ja projekte sooritanud ning nii SolidWorks kui ka Inventor programmid olid kasutuses esialgse robotlumesaha disainide loomisel. Projekti jooksul valminud roboti kere, saha ja kinnitusvahendite analüüsimiseks ei oleks olnud otstarbekas kasutada mõnda teist tarkvara.

CAD projekteerimine on arvutitehnoloogia, mille abil saab disainida toote ning mis salvestab disainimise protsessi. CAD projekteerimise abil saab hõlbustada tootmisprotsessi, sest loodud 2D või 3D failist saab kanda info nagu materjalid, protsessid, tolerantsid ja mõõdud koos täpsete konventsioonidega tootmisesse. Nimetatud tehnoloogia abil saab programmis kuvada mudelit iga nurga alt. [5]

2.2 FEM analüüs

Antud lõputöös mõõdetakse roboti raamistiku ja kinnitusvahendite tugevust ning vastupidavust kasutades FEM analüüsi SolidWorks modelleerimiskeskkonnas.

FEM analüüs näitab ükskõik millise füüsilise keha käitumise simulatsiooni kasutades numbrilist tehnikat *Finite Element Method*. Insenerid kasutavad nimetatud tehnikat, et vähendada füüsiliste prototüüpide ehitamist ja nendega eksperimenteerimist ning samuti ka selleks, et optimeerida komponentide kasutamist ja disaini, et tooted oleksid paremad ja saaksid valmis kiiremini. [6]

Nimetatud meetodi abil simulatsiooni tekitamiseks tuleb valitud struktuur jaotada miljoniteks väikesteks elementideks ehk toimub diskreetimine. Nimetatud tegevus on vajalik, sest arvutid ei ole võimelised lõpmatute osakeste puhul arvutusi tegema. Diferentsiaalvõrrandid koostatakse iga

väikese elemendi kohta eraldi ning samuti teostatakse arvutused. Kõik leitud tulemused kombineeritakse ja saadakse vastus struktuuri kohta. [6]

SolidWorks modelleerimiskeskonnas FEM analüüsi teostamiseks tuleb defineerida detail või koost, mida analüüsima hakatakse. Märgitakse ära millistest punktidest on detail või koost kinnitatud ning seejärel lisatakse millistesse kohtadesse hakkavad mõjuma valitud suurusega jõud. Analüüsi tulemus näitab, milline on defineeritud detaili või koostu nõrgim koht ning kui valitud jõu suurus on liialt suur, siis on skaala põhjal näha ka detaili purunemist.

FEM analüüs SolidWorks modelleerimiskeskonnas valiti lumelükkamise roboti tugevuse ja vastupidavuse määramiseks, sest SolidWorks programmiga on lõputöö autor tegelenud õppetöö jooksul mitmel korral ning selles programmis FEM analüüsi tegemise kohta on internetis saadaval palju infot. Alternatiivne lahendus oleks olnud käsitsi tugevusarvutuste tegemine, mis oleks olnud ajamahukas ja vähem täpne.

2.3 Arduino kood

Kood kirjutatakse Arduino IDE keskkonnas, mille kaudu on lihtne arendusplaadile koodi peale laadida. Arduino kood kirjutatakse C++ keeles, millele on lisatud mõned meetodid ja funktsioonid. C++ programmeerimiskeel on inimloetav ning kompileerides töödeldakse see ümber masinkeelde. [7]

Arduino koodi kasutamine koos sama tootja arendusplaadiga on küllaltki lihtne. Kasutatavad arendusplaadi pesad (inglise k *pins*) tuleb koodis ära defineerida ja määrata nende funktsionaalsus. Seda saab teha kasutades näiteks koodirida: „#define pinName pinNumber“. Arendusplaadile koodi peale laadimiseks kasutatakse USB kaablit. [7]

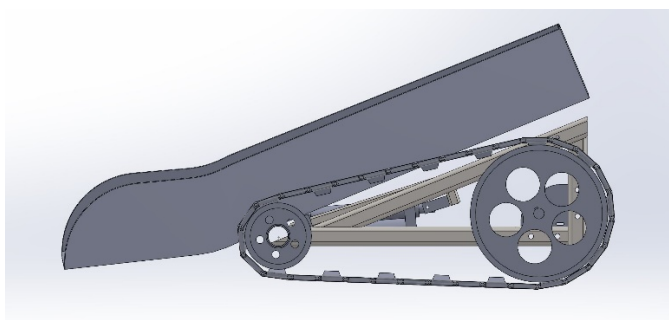
3. TÖÖ KÄIK JA ANALÜÜS

3.1 Lahenduste otsimine

Antud lumekoristusroboti disainis mängivad kõige suuremat rolli saha konstruktsioon ja kinnitamine ning lume koristamise meetod. Seetõttu valmistas töö käigus kõige suuremaid raskusi saha funktsionaalse konstruktsiooni leidmine ja kinnitamine, lineaarmootorite tööasendid ja kinnitamine ning optimaalseima lumekoristusviisi leidmine. Oluline oli leida kõigepealt sobiv kinnitusviis saha, lineaarmootorite ja raami vahele, mis tööasendis lund koguks ning kallutades lumi sahalt eemalduks. Nimetatud lahenduse leidmisel tuleb selle ümber disainida roboti raam, edasilükumissüsteem ning välja valida sobivad jõuelektronika komponendid.

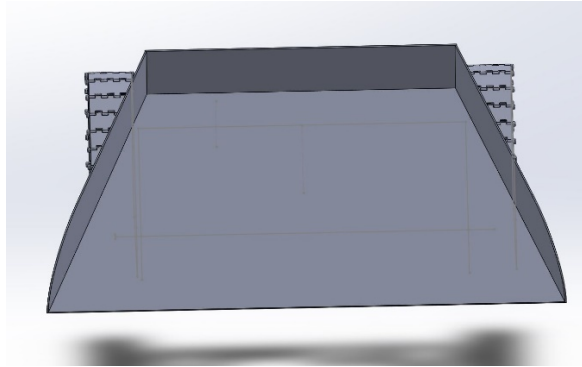
3.1.1 Katsetatud saha disainid

Projektist inspireerituna kavandati algselt piklik ja kitsam sahk, mis ulatus üle kogu roboti kere (joonis 3.1). Saha esimene osa tehti veelgi laugemaks ja laiemaks. Autor planeeris saha eestpoolt kinnitada pöörleva võlliga ning tagumisest otsast lineaarmootoritega. Kuna sellise saha disainiga asetseb saha pöördetelg saha ääres, mis toetab vastu maad, siis sinna ei ole võimalik kinnitada võlli, mille ümber sahk kallutada saaks. Nimetatud probleemi tõttu ei sobi antud disain. Lahenduseks oleks olnud kolme lineaarmootori kasutamine, et sahka oleks võimalik nii tõsta kui ka kallutada, kuid see oleks omakorda teinud lume koristamise aeglasemaks ja roboti kallimaks.

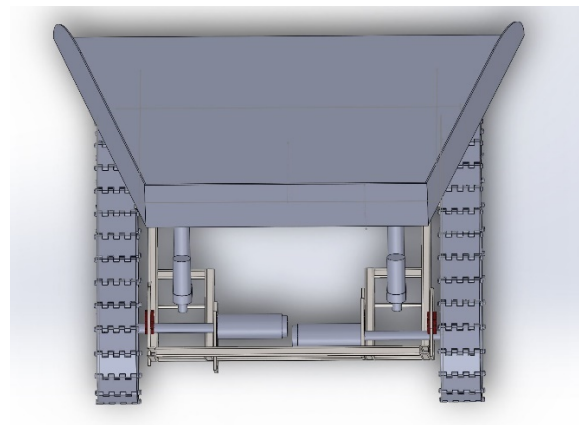


Joonis 3.1 Saha disaini katsetamine 1

Autor leidis lisaks, et kitsa sahaga lume vedamine ei ole optimaalne, vaid kasulikum oleks võimalikult laia sahka kasutada. Seetõttu oli järgmiseks disainiks laiem ja lühem sahk ilma lauge esiosata (joonis 3.2, joonis 3.3) ning hakati otsima lahendust selle kinnitamiseks roboti külge.



Joonis 3.2 Saha disaini katsetamine 2, eestvaade

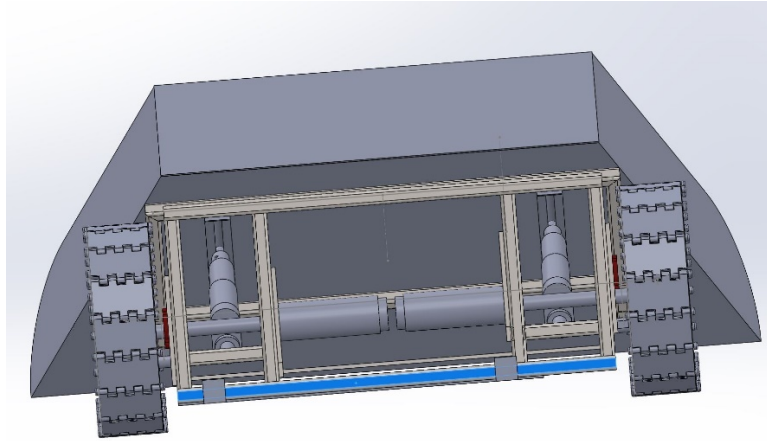


Joonis 3.3 Saha disaini katsetamine 2, pealtvaade

3.1.2 Lineaarmootorite kinnitamine

Lineaarmootorite kinnitamiseks robotile prooviti mitmeid lahendusi. Autor proovis nii 300 mm kui ka 200 mm pikkuse võlliga lineaarmootoreid. Pikema võlli puhul oli probleemiks tööasendis suur nurk saha ja maapinna vahel ning lühema võlli puhul kallutusasendi väike nurk võrreldes maapinnaga.

Planeeritud oli lineaarmootorid kinnitada raami külge pöörleva võlli abil roboti keskmise ossa (joonis 3.3) või tagumisse äärde mootorite alla (joonis 3.4). Esimese asendi puhul oli probleemiks lineaarmootorite pikkus ja need ei mahtunud raamistikku ära. Teise asendi puhul oli takistuseks, et saha vertikaalsesse asendisse liigutamisel hakkasid lineaarmootorid veomootoritele vastu liikuma ning kallutamine ei olnud teostatav. Seetõttu asendati võlliga kinnitus raami küljes jäiga kinnitusega ja selliselt olid lineaarmootorid kindla nurga all fikseeritud ja ei seganud veomootorite tööd. Liikuv kinnitus disainiti saha ja lineaarmootorite vahele ning lahenduseks oli siinisüsteem (joonis 3.4). Siini sees oli kerakujuline pall (joonis 3.5), mis võimaldas siini sees liikuda iga nurga all.

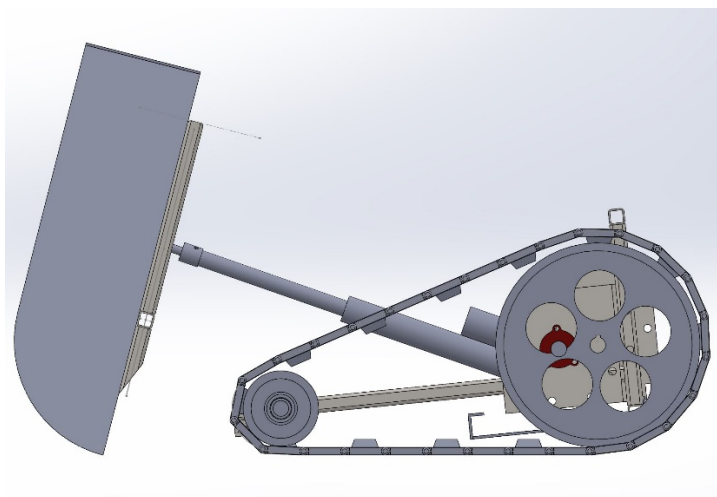


Joonis 3.4 Siinisüsteem saha all

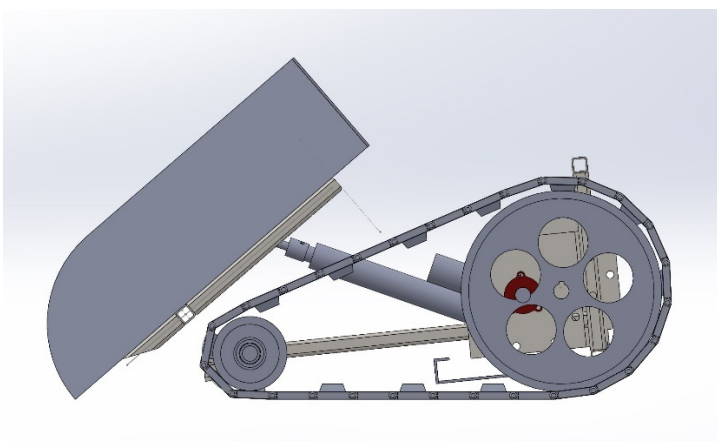


Joonis 3.5 Siinisüsteemi liugur

Kirjeldatud süsteemiga on võimalik sahk liigutada kallutusasendis peaaegu 90 kraadise nurga alla võrreldes maapinnaga (joonis 3.6), kuid lumelükkamise asend oli kõrgem võrreldes võistluse käigus disainitud robotiga (joonis 3.7), mis tähendab, et lumi ei oleks mööda saha edasi läinud vaid saha külgedele liikunud. Nimetatud kahel joonisel puudub saha ja raami vaheline kinnitus. Idee oli, et ka saha külje peale disainida siinisüsteem, mis laseb sahal soovitud suunas liikuda, kuid on siiski mingil määral fikseeritud. Idee ei jõudnud teostamiseni.



Joonis 3.6 Saha disaini katsetamine 2, maksimaalne kallutusasend

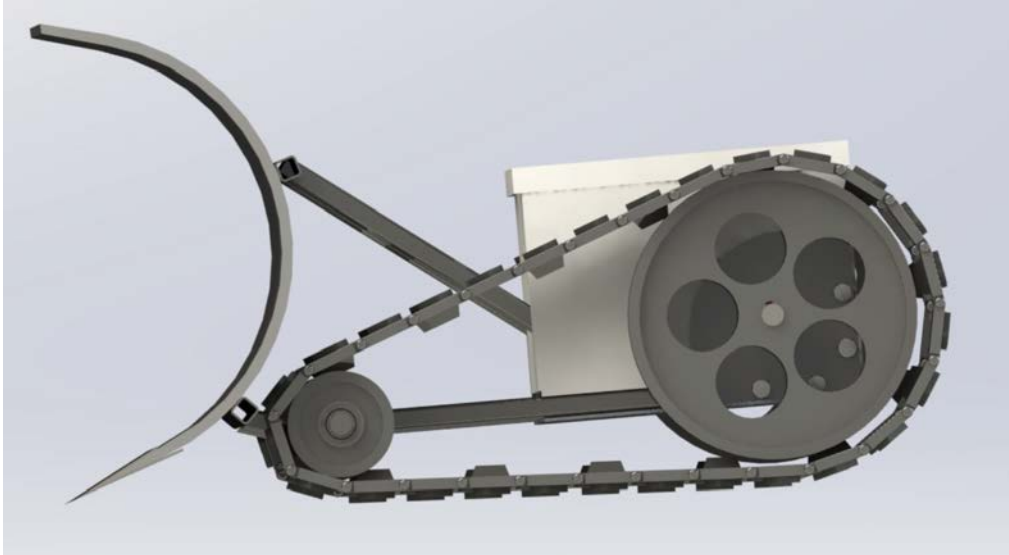


Joonis 3.7 Saha disaini katsetamine 2, tööasend

Joonis 3.6 inspireeris autorit mõttele, et lund pole mõistlik tassida, vaid palju lihtsam lahendus on lume lükkamine, sest saha ette mahub suurem kogus lund kui saha peale. Nimetatud lahendusega on sahk juba püstises asendis ning sellisel juhul ei pea seda kallutama, et lund sahalt eemaldada. Võib järeldada, et lume koristamiseks lineaarmootorite kasutamine ei ole nõutud. Lahenduse kasutuselevõtmine muudab lumesaha hinna oluliselt odavamaks ning roboti vastupidavamaks, töökindlamaks ja vähem hooldust nõudvamaks. Autorit innustas nimetatud lahenduse kasutamine ka seetõttu, et Cleveron Challenge võistluse raames rõhutas žürii mitmeid kordi, et usaldada tuleb mehaanikat. Nende sõnul võrreldes elektroonikat, tarkvara ja mehaanikat on viimane nimetatute kõige usaldusväärsem ja vastupidavam.

4. Snobot mudel 2 – väljapakutud konstruktsioon

Järgnevalt on esitatud töö tulemusena valminud mehaaniliste osade disain ja analüüs. Pildid lõplikust mudelist on toodud joonis 4.1 ja lisa 7.



Joonis 4.1 Snobot mudel 2 külgvaade.

4.1 Mehaanika tulemused

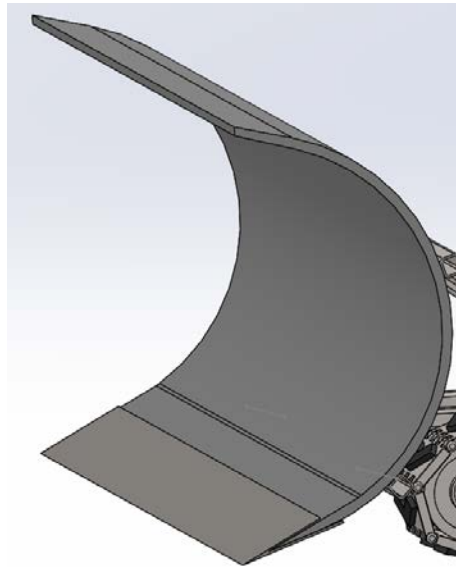
Järgnevalt on toodud detailne ülevaade ja analüüs mehaanika osadele leitud lahendustest.

4.1.1 Saha disain

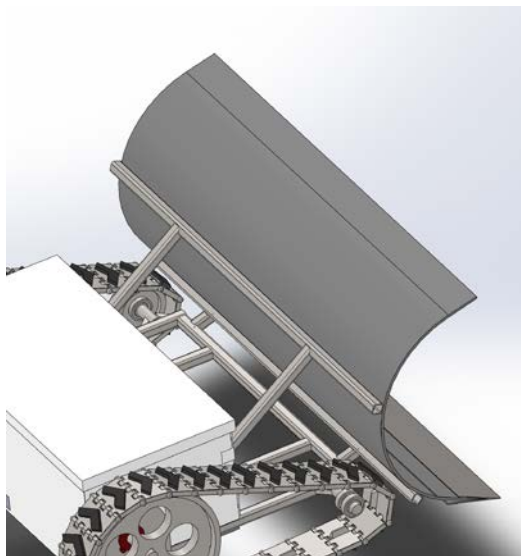
Lõpplahenduseks valiti poolringi kujuline sahk PA6 plastikust (joonis 4.2), mis on vastupidav ka kuni -40 kraadise külmaga [8]. Kaitseks on saha otsa lisatud roostevabast terasest liist, mis kokkupuutel maaga kulub vähem kui plastik. Saha on kinnitatud kahest kohast jäiga kinnitusega roboti raami külge (joonis 4.3). Liistu, saha ja raami omavaheliseks kinnituseks on kasutatud neetliidet. Sahal puudub kallutus või tõstmissüsteem, mis teeb lume koristamise oluliselt kiiremaks ja roboti hinna odavamaks.

Kinnituseks on kasutatud 20*20*2 nelikanttoru ja kinnituskohad asuvad teineteisest võimalikult kaugel, et tagada lai toetuspind. Nelikanttorud on omavahel kinnitatud keevisliitega. Kasutatud nelikanttorude vastupidavus on testitud ja tulemuse põhjal on need piisavalt tugevad ning läbipainde ohtu ei esine.

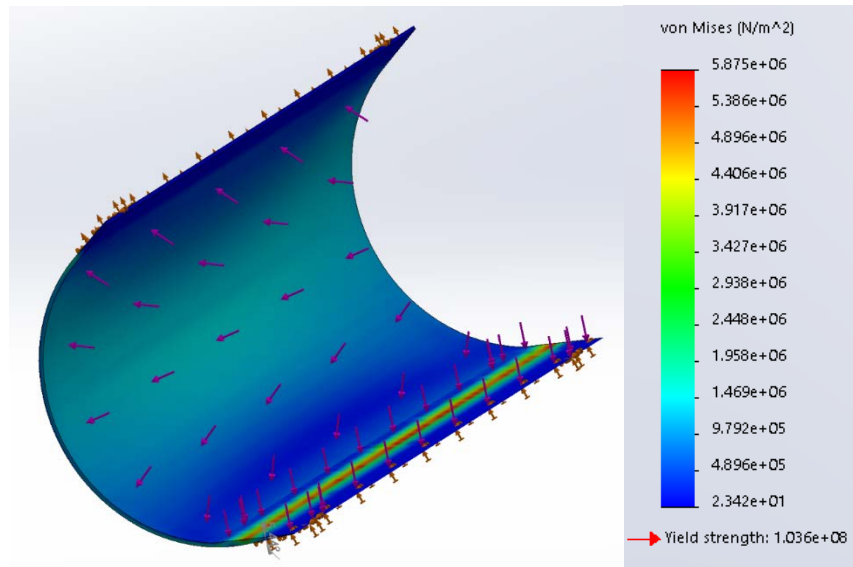
Vastupidavuse katsetused nii sahale kui saha raamile viidi läbi FEM simulatsiooniga (joonis 4.4; joonis 4.5). Katse viidi läbi rakendades 100 kg staatilist jõudu nii saha pinnale kui ka raami osadele kuhu sahk toetub. Jooniselt on näha, et sahale maksimaalne mõjuv jõud on $5,875 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$, kuid saha materjal on võimeline taluma kuni $1,036 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$ kohta. Analüüsi tulemuse järgi jääb ka varu ja sahk on vastupidav ka ekstreemsetele oludele. Raami vastupidavuseks on $2,350 \cdot 10^8$ ning 100 kg puhul raamile maksimaalne mõjuv jõud on $2,059 \cdot 10^8$. Tulemus on üsna piiripealne. Kuna roboti enda mass on umbes 70 kg, siis ei ole robot võimeline 100 kg lund lükkama ning raami purunemist tõenäoliselt ei esine.



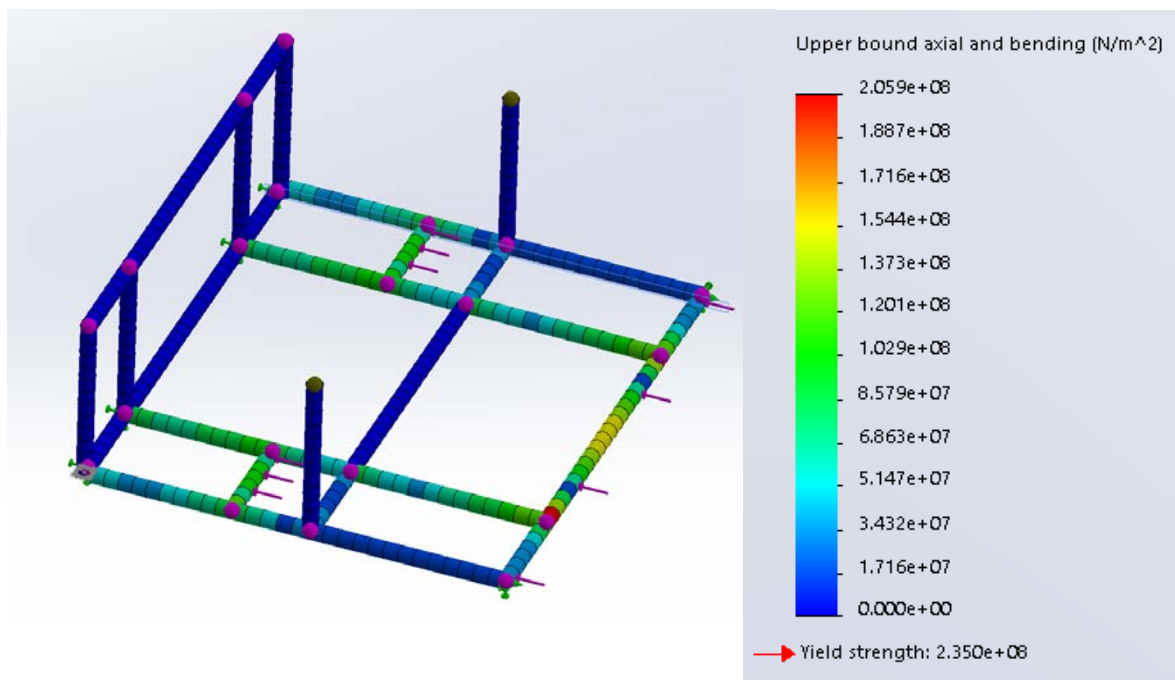
Joonis 4.2 Saha lahendus



Joonis 4.3 Saha kinnitus raamile



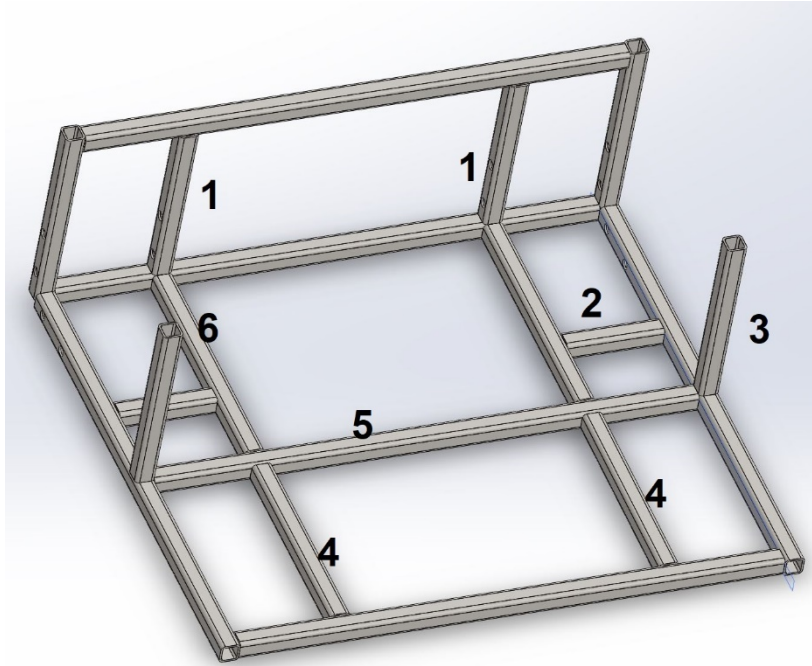
Joonis 4.4 FEM analüüs sahale



Joonis 4.5 Saha poolt mõjuva jõu FEM analüüs raamile

4.1.2 Raami disain

Roboti raami lahendus on toodud joonisel 4.6. Raami materjal on teras S235 mõõtmetega 20*20*2 ja suurimad gabariidid raamil on 500*580*200. Raami sisse on paigaldatud toetuseks lisa nelikanttorud.



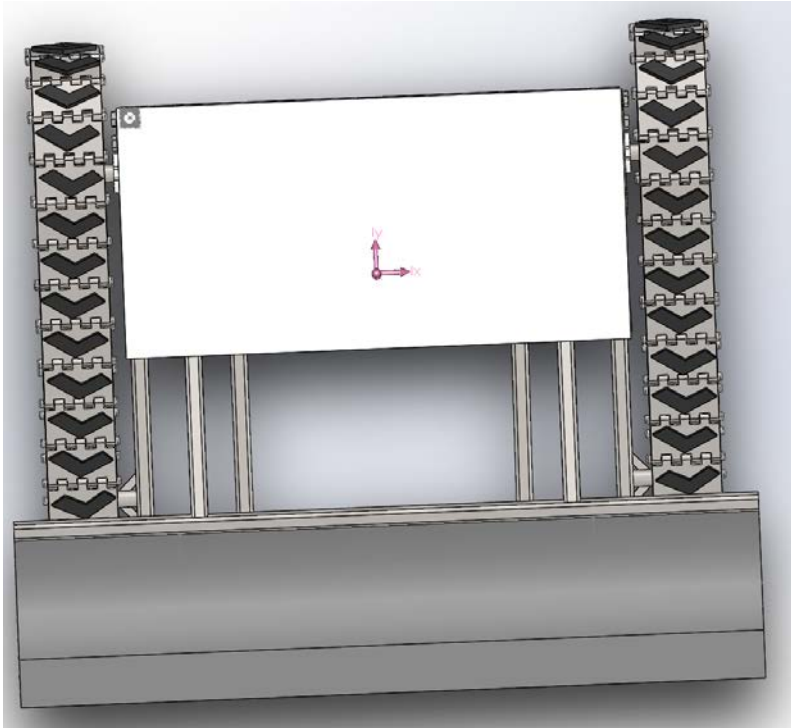
Joonis 4.6 Roboti raam. 1 – mootorikinnitusplaadi tugi, 2 – aluskatte kinnituskoht, 3- elektroonika kaitse katte tugipost, 4 – lisatugi saha raskuse kandmiseks, 5 – horisontaalne tugi kogu raamile, 6 – mootorikinnitusplaadi tugi.

4.1.3 Roboti mass

Valminud prototüübi mass on umbes 70 kg. Autori arvates saab kindlasti oluliselt kergema roboti disainida optimeerides materjalide kasutust, kuid antud mudeli juures on oluline roboti suur mass. Roboti transportimise ja hoiustamise teeb nii suur mass keeruliseks, kuid arvutusi läbi viies selgus, et lumi, eriti sulalumi, on samuti väga raske ning kui on vaja suuremat kogust lund koristada, siis ei tohi roboti mass jääda alla lume massile.

Sahale mõjuva koormuse leidmiseks võeti lume massiks vee mass, et leida kõige äärmuslikum tulemus ja leiti, et 5 cm kõrguse lume lükkamiseks ühe meetri võrra 0.9 meetrit laia sahaga on lume mass kuni 45 kg.

Väljapakutud konstruktsiooni tulemusena asub roboti masskese roboti tagumises osas (joonis 4.7), mis tagab roboti tasakaalu ja veovõimekuse.

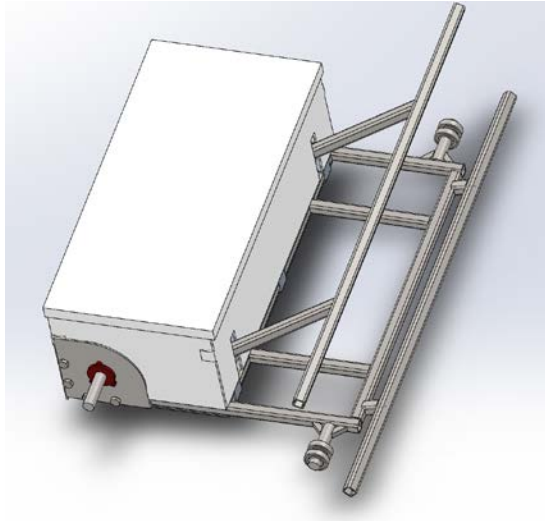


Joonis 4.7 Roboti masskeskme asukoht

4.1.4 Elektroonika kate disain

Roboti elektroonika on kaitstud ABS plastikust katetega (joonis 4.8). ABS plastik kannatab kuni -40 kraadist külmatemperatuuri rabadaks muutumata ning on ka löögikindel. Antud materjali kasutatakse veel näiteks laevatööstuses ja autotööstuses [9]. Katete sees asuvad roboti kaks veomootorit, aku ja elektroonikakarp juhtmestikuga. Aku ja elektroonikakarp on kinnitatud põhjaplaadile krõpsudega. Lahendus on väga odav ning autori arvates piisavalt stabiilne. Kuna aku ja elektrikarp kokku kaaluvad kuskil 6-8 kg siis põhjaplaadiks ei ole pandud mitte ABS plastik vaid alumiiniumisulam. Karp on raami külge kinnitatud väga lihtsalt haakide abil. Selliselt on hooldamiseks või remontimiseks lihtne katteid eemaldada.

Pealmine kate on asetatud roboti peale nagu karbi kaas, mis tõstes lihtsalt eemaldub. See teeb roboti aku laadimise lihtsaks.



Joonis 4.8 Elektroonika katte disain

4.1.5 Kinnitusvahendid

Kinnitusvahenditena on kasutusel M10, M8 ja M6 poldid ja mutrid, mille mudelid on võetud ISO standardi järgi SolidWorksi tööriistade kataloogist.

M10 poltidega kinnitatakse mootorikinnitusplaadid roboti raami külge. M8 poltidega kinnitatakse veomootorid sisemiste mootorikinnitusplaatide külge ning M6 poltidega on kinnitatud veovõlli laagrid välimiste mootorikinnitusplaatide külge.

M8 poltide valik oli tingitud mootori korpuses olevate aukude suurusest ning M6 poltide valik laagri korpuse sees olevatest aukudest. M10 poldid valis töö autor ise. Valiku põhjuseks on väga võimsad mootorid ja suured jõud, mis kinnitusplaatidele mõjuvad ning autori arvamusel on M10 tugevusega poldid ja mutrid piisavad.

4.2 Ajamid ja energiavarustus

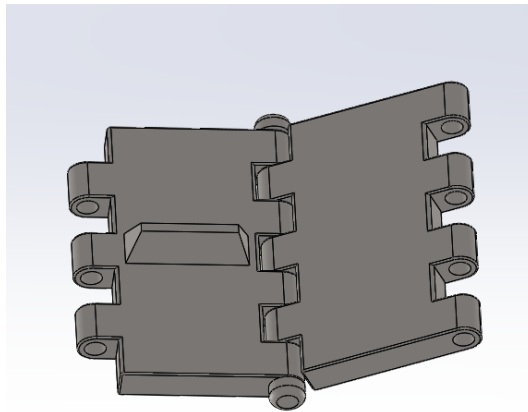
Pärast mitmeid katsetusi lineaarmootoritega otsustas töö autor nendest loobuda. Põhjusteks olid lineaarmootorite aeglane töörežiim ja disaini keerukus. Töö autor arvamusel, et oluliselt mõistlikum lund vedamise asemel lükata, sest saha ette mahub rohkem lund kui saha peale ning tõste- ja kallutusmehhanismi rakendamine on ajamahukas.

Lineaarmootoritele oli keeruline välja mõelda lahendust, et neid ilmastiku eest kaitsta. Samuti olid nad väga suured ja töö autor ei leidnud sobivat disaini, et lineaarmootorid ära mahuksid ning et sahk liiga suure nurga all ei oleks. Sahk on disainitud selliselt, et lumi eemaldub sahalt ka ilma kallutamata. Kui robot on etteantud vahemaa läbinud, siis tuleb tagurdada ja lumi libiseb maha.

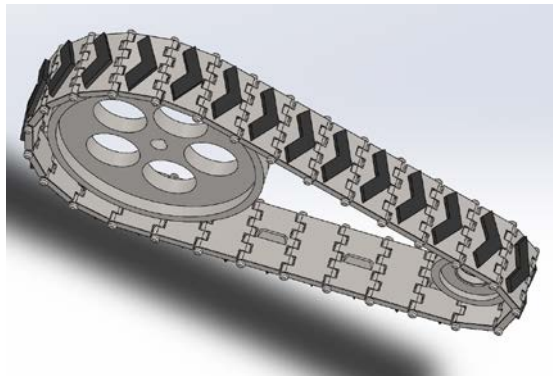
Väga märja ja pakkiva lume korral võib juhtuda, et mingi osa lund jääb ka saha peale, kuid töö autor leiab, et selliselt juhul ei aitaks ka kallutamine.

4.2.1 Roomikud

Roboti stabiilsuse ning vastupidavuse tagamiseks tuleb kasutada rataste süsteemi asemel roomikuid, mis suurendavad lumesaha kokkupuute pinda maaga ning läbilisemine toimub väiksema tõenäosusega. Roomikute kohta infot vähe ja seetõttu ei leitud konkreetset standardkomponenti, mida lumesaha puhul kasutada. Autor disainis roomikud ise (joonis 4.9, joonis 4.10) ja tootmise korral saab lasta roomikud valmistada eritellimusena.



Joonis 4.9 Roomiku detailid



Joonis 4.10 Roomik ja rattad

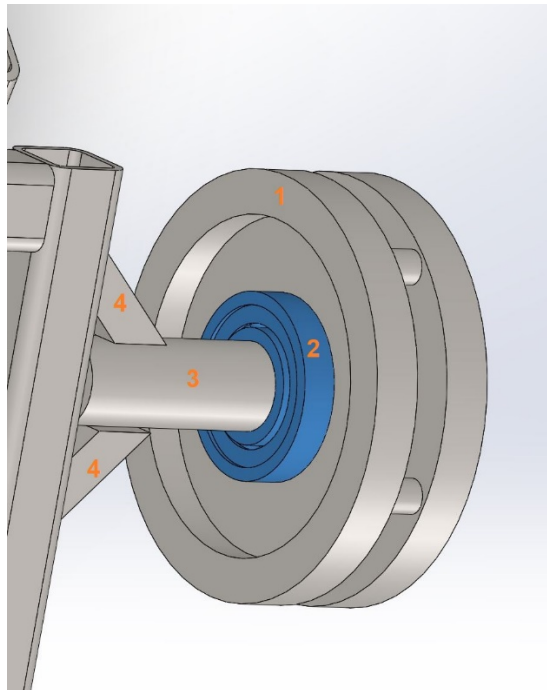
Roomiku keti disain koosneb kolmest osast, milleks on vahelüli, lüli veolingiga ja neet, mis lülisid ühendab. Mustrit on kopeeritud soovitud pikkuse ulatuses ümber veoratta ja tugiratta. Roomikute materjaliks on S235 teras, mis on väga tugev ja vastupidav. Ühe roomikusüsteemi mass koos veoratta ja tugirattaga on 17 kg, mis teeb roomikud saha raskeimateks osadeks.

Roboti kiiruse v leidmiseks on vaja veoratta ümbermõõtu C , mis saadakse ratta diameetri D kaudu (tabel 4.2) ja mootori pöörlemissagedust (pärast käigukasti), mis saadakse mootori tehnilistest andmetest (tabel 4.1).

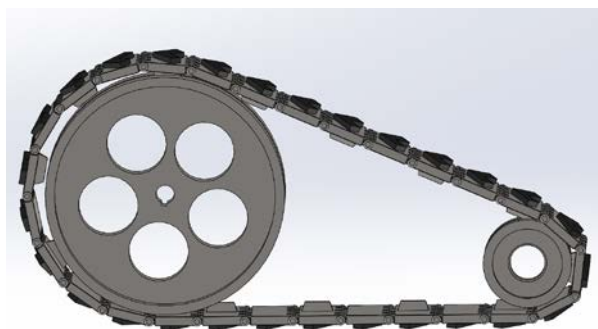
$$C = D * \pi = 270 * 3,14 \approx 848 \text{ mm} = 0,848 \text{ m}$$

$$v = \frac{0,848 * 64}{60} \approx 0,9 \text{ m/s}$$

Roboti veoratta massi vähendamiseks on plaadi sisse tehtud augud. Veoratta ja veovõlli fikseerimiseks kasutatakse kiilu. Tugiratta keskel olev auk on laagri pesa, kuhu laager kinnitub pinguga. Pesa sisse kinnitatakse omakorda tugivõll. Tugivõll on fikseeritud lukustus-seibi abil (joonis 4.11). Veoratas ja tugiratas on toodud joonisel 4.12.



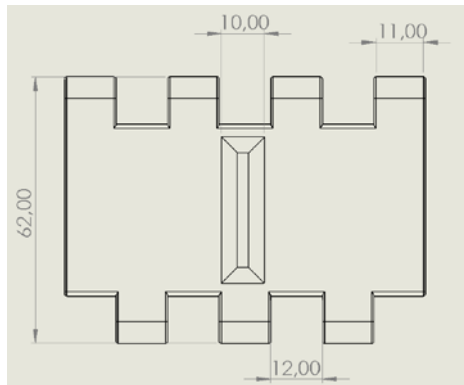
Joonis 4.11 Tugiratta kinnitus. 1 – tugiratas, 2 – laager, 3 – võll, 4 – võlli tugi



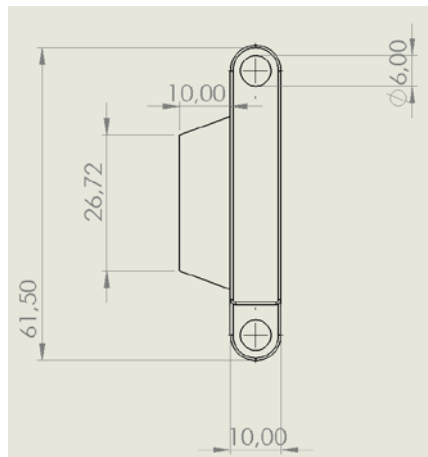
Joonis 4.12 Veoratas ja tugiratas

Roomiku keti detailide joonised koos mõõtmetega on toodud joonis 4.13, joonis 4.14 ja joonis 4.15. Detaili kõrguseks on 10 mm, mis teras s235 materjalist tehtuna on autori arvates liigagi tugev antud lõputöö jaoks, kuid samas tuleb arvestada, et neet, mis ühendab lülisid on sellise disaini juures läbimõõduga 6 mm ning autori arvates seda enam vähendada ei tohiks.

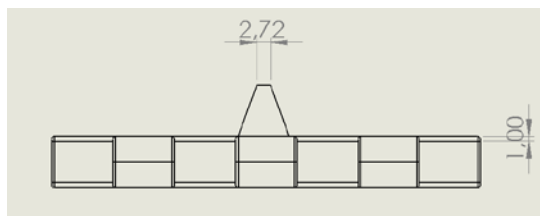
Autori leiab, et alternatiivina kindlasti kasutada näiteks kummist roomikuid, kuid sellisel juhul jääks roboti mass väiksemaks, mis teeks suurema koguse lume lükkamise probleemseks.



Joonis 4.13 Roomiku detaili joonis 1



Joonis 4.14 Roomiku detaili joonis 2

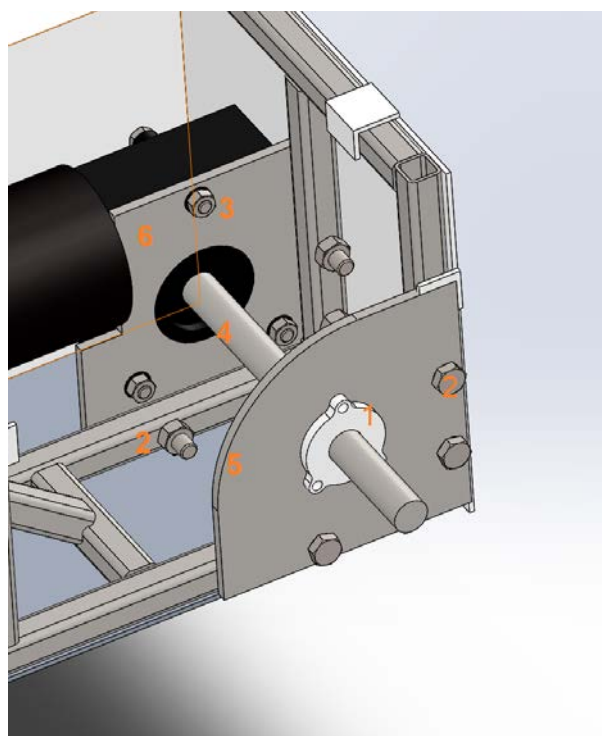


Joonis 4.15 Roomiku detaili joonis 3

Roboti veo parandamiseks ja metallist tuleneva müra summutamiseks lisati roomikutele kuni -35 kraadi külma kannatav Neoprene kummist muster [10], mis tagab parema haardumise maapinnaga ning läbilibisemise oht on väiksem.

4.2.2 Jõuelektroonika

Veovõll on kinnitatud kahe 6 mm jämeduse kinnitusplaadi külge, mis asuvad teineteisest 14 cm kaugusel. Kinnitusplaatide fikseerimiseks on kasutatud M10 tugevusega polte ja mutreid. Mootorid kinnitusplaatide külge on kinnitatud M8 poltide ja mutritega (joonis 4.16).



Joonis 4.16 Veovõlli kinnitus. 1 – laager ja korpus, 2 – M8 poldid ja mutrid, 3 – M6 poldid ja mutrid, 4 – veovõll, 5 – välimine mootorikinnitusplaat, 6 – sisemine mootorikinnitusplaat

Kuna lume lükkamine nõuab oluliselt rohkem jõudu kui lume tassimine, siis tuli mootorid vahetada võimsamate vastu välja. Võistluse käigus disainitud robotil oli kasutatud mootoreid võimsusega 50 W ning antud töö käigus valminud mudelil on kasutusel 200 W mootori kohta. Nimetatud võimsusega ei teki robotil probleeme ka suurema hulga lume koristamisega. Valitud mootori andmed on toodud tabelis 4.1.

Mootori võimsuse tugevnedes tuli analüüsida ka draiverite sobivust. Draiver BTS7960 töötab kuni 24 V, pidev voolutarne kuni 43 A [11] [12], mille põhjal saab järeldada, et antud draiverid sobivad ka 200 W võimsusega mootoritele.

Võimsamate mootorite kasutamine nõuab ka võimsamat akut. Valituks osutus mootorratta aku EB14-B2, mis töötab 12 V pingel ja mahutavus on 14 Ah. Valitud aku töötab ka kuni – 40 kraadise külmutega [13] [14].

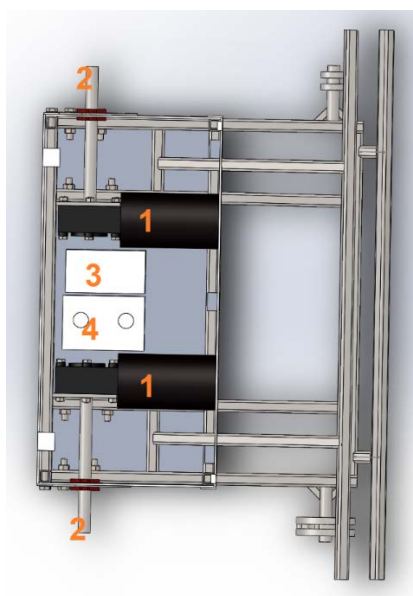
Tehes ligikaudse kalkulatsiooni, et 200 W võimsusega mootor kulutab umbes 15 amprit tunnis, siis kaks mootorit kokku võtavad 30 amprit.

$$\frac{14 \text{ Ah}}{30 \text{ A}} \approx 0.5 \text{ h}$$

Tehtud arvutuse põhjal saab järeldada, et mootorite maksimaalsel võimsusel töötamise korral peab aku vastu 30 minutit, mis on autori arvates piisav ühe keskmise majaesise puhastamiseks. Mootorid töötavad maksimaalsel võimsusel vaid eriolukordades. Näiteks kui on ees väga suur ja raske koorem ning maapind on libe. Mitte ekstreemsetes oludes peab valitud aku vastu kauem. Elektroonika paigutus on toodud joonisel 4.17.

Tabel 4.1 Veomootorite parameetrid [15]

Mootori omadused	12 V juures
Pöörlemissagedus pärast käigukasti	64 rpm
Voolutarve	23 A
Pöördemoment	30 N*m
Pöörlemissagedus mootoris	3200 rpm
Käigukast	50/1



Joonis 4.17 Elektroonika paigutus. 1 – mootor, 2 – veovõll, 3 – elektroonikakarp, 4 - aku

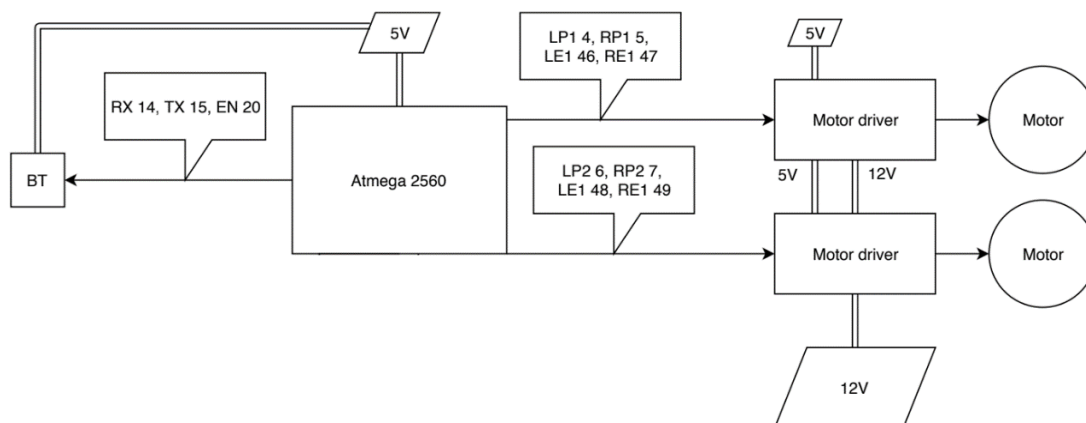
4.2.3 Elektriskeemi koostamine

Elektriskeem antud töös on toodud osadena. Elektroonika komponentide tööst arusaamiseks on olemas iga komponendi elektriskeem, mis on toodud lisades 2 kuni 5 ning üldine plokkskeem (joonis 4.18). Skeemi täpsed ühendused on toodud mikrokontrolleri Atmega2560 joonisel (lisa 1).

Elektriskeemis kasutatud osad on kaks veomootorit [15], ATmega 2560 mikrokiip [16], USB [17] ja sinihamba [18] ühenduse komponendid, kaks draiverit [19], 5 V ja 14,8 V toide. Roboti toite skeemid on koostatud töö autori poolt.

Sinihamba ühendust on vaja robotile puldiga juhtimise saavutamiseks. Lõputöö käigus ei arendatud välja pulti, mille robotit juhtida, kuid roboti poolt on olemas kõik eeldused, et sinihamba ühenduse kaudu seda juhtida saaks. Lisas 6 on toodud ka töö autori poolt kirjutatud kood, mille saaks robotile peale laadida ühenduse saavutamiseks.

Töös koostatud elektriskeem on oluliselt lihtsam ja odavam kui projekti käigus valminu. Praegusel lahendusel puuduvad kolm lineaarmootorit, lõpulüliti ja rele.



Joonis 4.18 Elektroonika plokkskeem

4.3 Tarkvaralised tulemused

Töö tulemusena valmib teoreetiline lahendus, milline võiks olla lumelükkamise robot, seega saab hüpoteetilise tulemuse esitada koodist, mis sobiks roboti juhtimiseks. Töö autori poolt kirjutatud ja kommenteeritud kood on toodud lisas 6.

Roboti juhtimine on ette nähtud sinihamba ühenduse kaudu. Pult tuleks ehitada ise ning sellele on vaja kirjutada eraldi tarkvara, mis ühilduks roboti tarkvaraga ning edastaks infot ATmega 2560 mikrokiibile. Puldil oleks peal kaks juhtkangi, et suunata robotit edasi, tagasi ja paremale, vasakule. Lisaks peaks olema üks nupp, mille abil ühendada pult robotiga ning võiks olla ka hädaabinupp, mille vajutamisel robot peatab tegevuse koheselt.

Suhtlus roboti ja puldi vahel peab olema krüpteeritud, et vältida olukorda, kus robot allub mõne teise puldi signaalidele. Roboti tööraadius peaks olema samuti piiritletud ohutuse kaalutustel.

4.4 Snotbot mudel 2 üldandmed

Töö tulemusena valminud roboti üldandmed on toodud tabelis 4.1. Roboti komponentide loetelu on toodud tabel 4.2.

Tabel 4.2 Roboti üldandmed

Tehniline info	
Mõõtmed	800*810*410 mm
Mass	70 kg
Maksimaalne kiirus	0,9 m/s
Töötemperatuur	kuni -35C
Võimsus	2*200 W
Järjestikune tööaeg kuni	2 h

Tabel 4.3 Roboti komponendid ja tehniline info

Detail	Mõõtmed mm	Materjal	Viide	Kogus	Kaal kg
Sahk	410*200*900 d= 5	PA6		1	3
Saha raam	900*300*200	S235		1	2,7
Saha ots	107*13*900	X6Cr13		1	2,6
Raam	500*580*200	s235		1	5,8
Veoratas	d= 260, laius 50	s235		2	13,3
Tugiratas	d= 96, laius 30	s235		2	1,5
Veovõll	d = 20, pikkus 275	s275		2	1,4
Veovõlli laager + kate	d1= 20, d2=42, laius 10	ABS	[20] [9]	2	0,2
Tugivõll	d = 20, pikkus 90	s235		2	0,4
Tugivõlli laager	d1= 20, d2=42, laius 10	-	[20] [9]	2	0,1
Tugivõlli nurk	10*10*30	s235		4	0,06
Mootorikinnitusplaat välimine	150*150*6	s235		2	1,8
Mootorikinnitusplaat sisemine	150*150*6	s235		2	1,5
Mootor	102*122*44, d= 90, pikkus 161	-	[15]	2	4,5
Aku	134*89*166	-	[13]	1	4,6
Elektroonika karp	220*130*70	ABS		1	0,3
Põhjakaitse	287*600*3	EN-AW 2024		1	1,5

Elektronika kaitse katted	290*600*210	ABS		1	0,9
M10 polt ja mutter	pikkus 45	DIN931		16	1
M8 polt ja mutter	pikkus 45	DIN931		6	0,3
M6 polt ja mutter	pikkus 25	DIN931		6	0,25
Roomikud:	600*290			2	19,4
Veolink	62*84*10	s235		Kokku	67,11
Vahelink	62*84*10	s235			
Neet	d= 6, pikkus 85	s235			
Kummikate	78*32*6	Neoprene			

5. EDASISED VÕIMALUSED

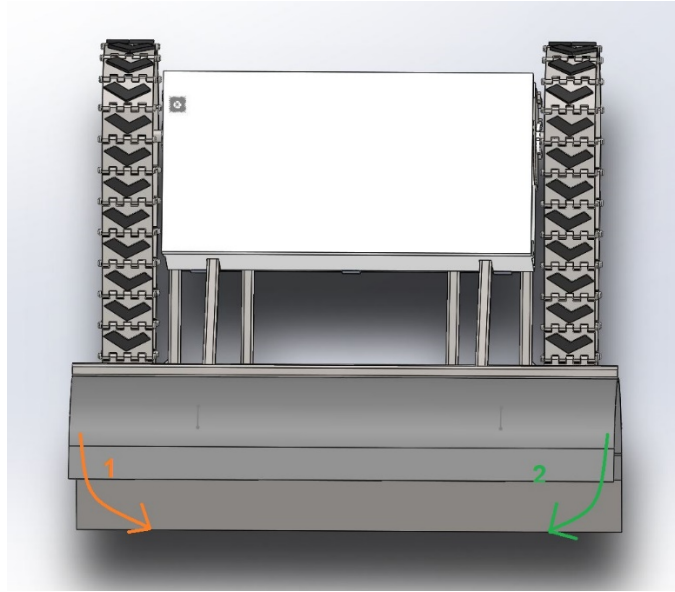
Töö käigus arendatud robotit on autori arvates kindlasti võimalik veel täiendada. Pakutavateks lahendusteks on roboti automatiseerimine, laadimissüsteemi arendamine ning saha asendi reguleerimise võimaldamine.

Roboti automatiseerimine tähendab seda, et roboti puldiga juhtimine ei ole enam vajalik ning robot teab täpselt, millised piirkonnad puhtaks lükata tuleb. Selle jaoks võib kasutusele võtta näiteks peatükis 1.2 välja toodud autonoomsuse tagamise komponendid. Kuna töö autor on autonoomsusega vähesel määral kokku puutunud, siis puudub kindel visioon, kuidas nimetatud lahendus saavutada.

Laiadele massidele roboti müümiseks tuleb kindlasti tagada kasutusmugavus. Selle alla käib ka näiteks laadimise lihtsustamine. Hetkel on lahenduseks manuaalne laadimine, mis tähendab, et kasutaja peab ise robotilt kaane eemaldama ja laadimiseks klemmid ühendama. Arendus tulemusena võiks robotil olla laadimispunkt, kuhu sõites laadimine algab automaatselt. Lahenduse juures tuleb arvestada, et õues lume käes olles on aku klemmid kaitstud, kuid samas peab olema mingisugune ava või lähenemisviis, mille kaudu pääseb laadimispunkti ühendus klemmideni ilma lisaabita. Autor pakub lahenduseks mehaaniliselt avanevat luuki, mis toimib sarnaselt välisuste alumises osas olevatele lemmiklooma sissepääsudele. Luuk on kinnitatud ülemisest servast hingede süsteemiga ning alumisest äärest on lahti. Robot sõidab garaažis asuva laadimispunkti välja ulatuvate klemmide poole ning need klemmid lükkavad roboti küljes oleva luugi lahti ning jõuavad roboti sisemuses asuva laadimispistikuni.

Suurema funktsionaalsuse tagamiseks tuleks tagada saha asendi reguleerimise võimaldamine. Sellise lahendusega oleks sahka võimalik hoida roomikutega paralleelses asendis ning lisaks hoida nurga all nii vasakule kui ka paremale poole (joonis 5.1). Lahendus võimaldab suunata lume liikumist näiteks platsi äärtesse ning väldib lume liikumist suunda, kust plats on juba puhastatud.

Lihtsaima lahendusena pakub töö autor lineaarmootorite kasutamist, kuid sellisel juhul tuleb disainida lineaarmootoritele ka kate ilmastiku eest. Horisontaalses asendis lineaarmootorite paigutamine on antud roboti mudeli juures lihtsam. Saha suunamiseks kõrvale ei ole vaja väga pikka lineaarmootorit, sest piisab väiksemast liigutusest. Autor usub, et sobilik oleks näiteks 100 mm võlliga lineaarmootor.



Joonis 5.1 Saha asendi reguleerimine. 1 – saha ja lume suunamine paremale, 2 – saha ja lume suunamine vasakule.

KOKKUVÕTE

Töö eesmärgiks oli 2018 aastal toimunud Cleveron Challenge võistluse raames ehitatud lumelükkamise roboti edasiarendus.

Töö aluseks olnud roboti lumekoristamise lahendus oli autori arvates küllaltki keeruline, kallis, aeganõudev ja mittefunktsionaalne. Roboti töös oli kasutatud viite mootorit, millest kaks olid veomootorid ja kolm lineaarmootorid, millega tõsteti ja kallutati saha. Sahalt lume eemaldamiseks kulus katsetamise käigus umbes 20 sekundit, mis on autori arvates liiga pikk aeg. Lisaks oli sahk võrreldes maapinnaga liiga suure nurga all ning lumi ei kogunenud mitte mööda saha, vaid suurem osa liikus saha kõrvale.

Töö lahenduseks oli idee, et lund ei ole mõistlik vedada, vaid seda peaks lükkama, sest saha ette mahub suurem kogus lund kui saha pinnale ning selline lahendus on kiirem, sest ei pea kasutama lineaarmootoreid ja kallutussüsteemi. Lisaks on mehaanika võrreldes elektroonika ja tarkvaraga kõige usaldusväärsem.

Sahk laiusega 900 mm paigutati roboti ette ja sahalt eemaldati tõstmise ning kallutamise funktsioonid, mille tulemusel jäi robotile viiest mootorist alles kaks veomootorit. Tulemusena odavnes roboti hind ning lahendus oli lihtsam, vastupidavam ning lihtsamini hooldatav. Kuna lume lükkamisel tuleb rakendada suuremat jõudu kui vedamisel, siis asendati projektis kasutatud 50 W mootorid 200 W vastu ning kasutusele võeti mootorratta aku, mis on samuti võimsam, kui projektis kasutatud ja kannatab kuni -40°C külma.

Lõppkokkuvõttes roboti mass suurenes umbes 20 kg ja lõppmass oli 70 kg. Suurima massiga on roboti roomikusüsteem. Kaalu tõus oli vajalik, sest suurem kogus lund on samuti raske ning roboti mass ei tohi alla jääda lume massile.

Töö autor on tulemustega rahul ning usub, et läbiviidud tootearendus täitis eesmärgi, milleks oli suurema koguse lume koristamine ühe liikumisega.

SUMMARY

The aim of this thesis was further development of a snow plowing robot that was built during Cleveron Challenge competition in 2018.

The robot's snow plowing solution was quite complicated, expensive, time consuming and non-functional according to the author of this thesis. Five motors were used in this robot. Two of them were drive motors and three of them were linear motors for lifting and tilting the plow. It took about 20 seconds to remove the collected snow from the plow using linear motors and in author's opinion it took too long for snow plowing. In addition, the plow's angle compared to the ground was too high and the snow did not gather on the plow but rather on the sides.

The solutions for the problem were that snow should be pushed away not carried because more snow can be collected to the front of the plow compared to the amount that would fit on the plow. Also work would be done faster because linear motors would not be needed. In addition, mechanical solutions compared to electronics and software are more reliable.

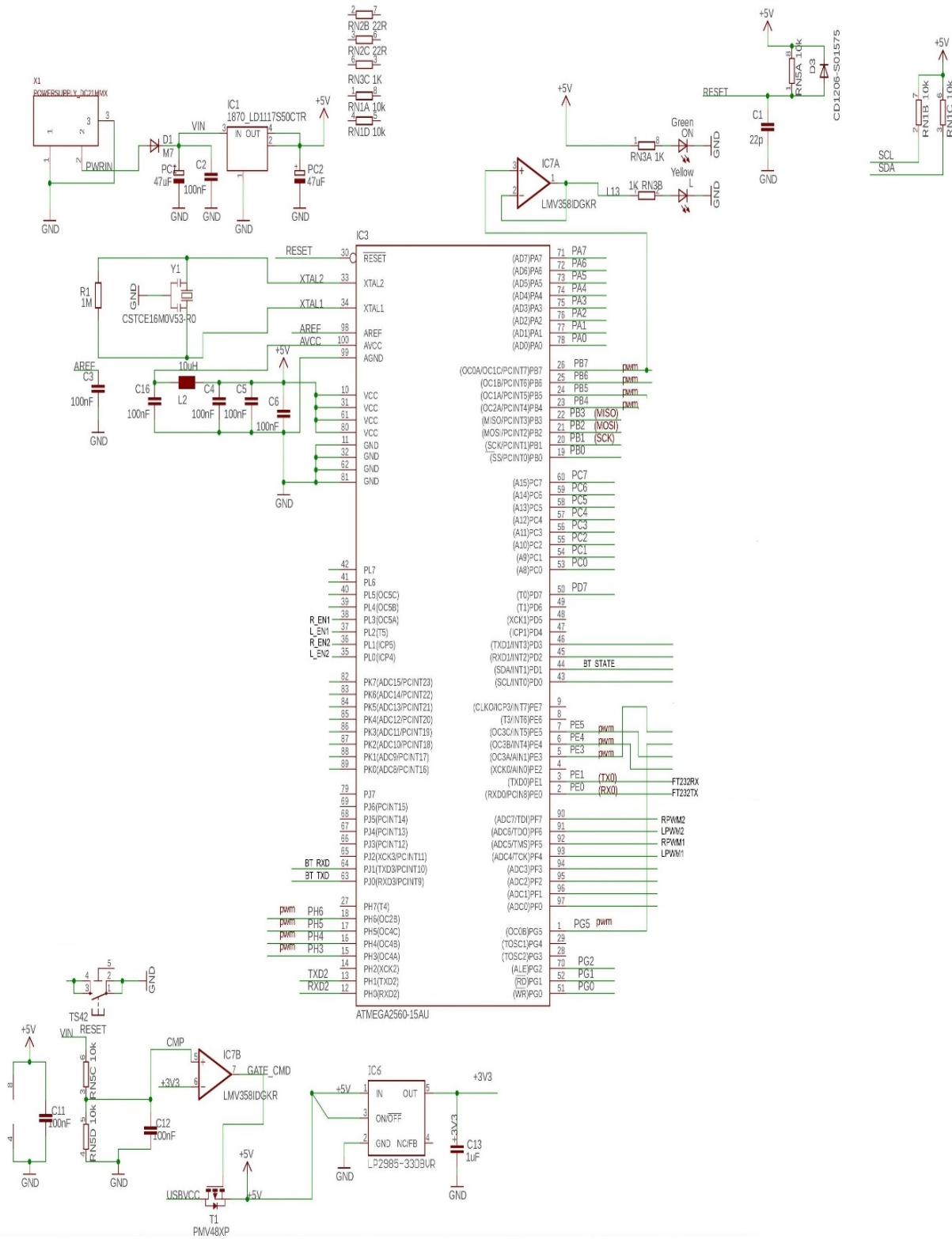
900 mm wide plow was placed in front of the robot and functions for raising and tilting the plow were removed. Only two drive motors out of five mentioned before were used in the new robot. The result accomplished was that robots' price was decreased, solution got more simple, reliable and easier to maintain. Pushing the snow requires more power so 50 W drive motors were replaced with 200 W motors. Motorcycle batteries with higher capacity and better cold tolerance were taken into use as well.

During the development robots' mass increased about 20 kg and the final mass of the robot was approximately 70 kg. Components with highest mass are tracks. The weight gain was important because snow is also heavy and its' mass cannot exceed robots' mass.

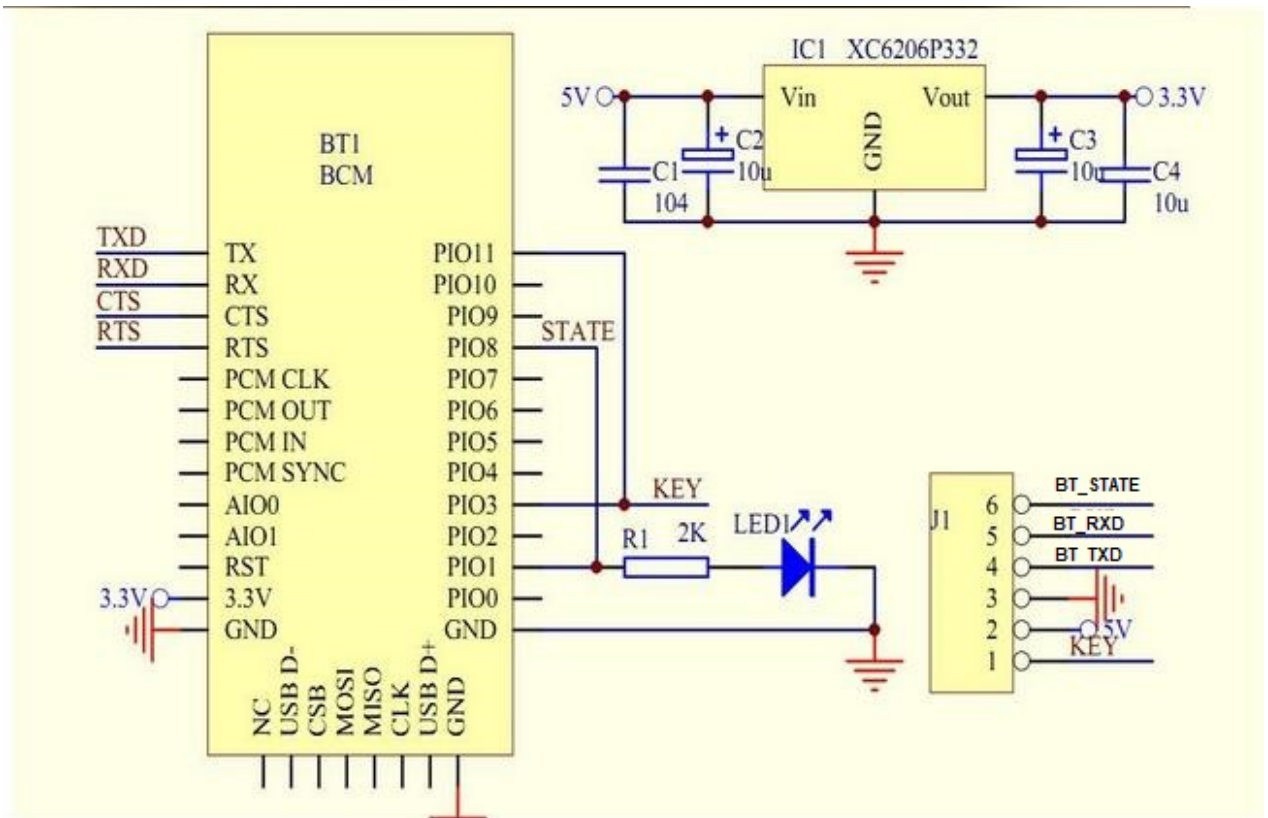
Author is pleased with the result and believes that the aim of this thesis which was cleaning maximum possible area with one motion was fulfilled.

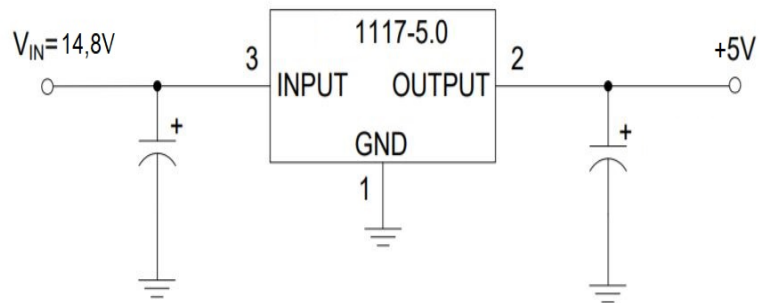
LISAD

Lisa 1 ATmega 2560 ühendusskeem [16]

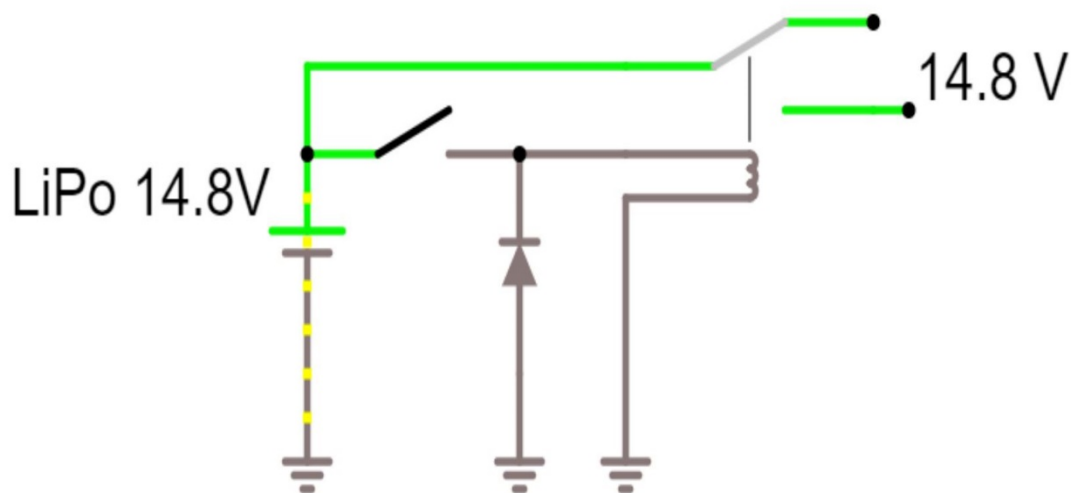


Lisa 3 Sinihamba ühenduse elektriskeem [18]





Lisa 5.2 Pinge 14.8 V



```

1. #define LPWM1 4 // Left pulse with modulation
2. #define RPWM1 5 // Right pulse with modulation
3.
4. #define LPWM2 6
5. #define RPWM2 7
6.
7. #define L_EN1 46 // Left enable
8. #define R_EN1 47 // Right enable
9.
10. #define L_EN2 48
11. #define R_EN2 49
12.
13. int8_t x,y,w1,w2; // Coordinates and PWM singal values
14. float speedCoefficient;
15.
16. #define BT_STATE_PIN 20 // Bluetooth connection status
17.
18. void btDisconnect() { // In case bluetooth connection is lost,
    motors will stop working
19.     if(!digitalRead(BT_STATE_PIN)) {
20.         analogWrite(LPWM1,0);
21.         analogWrite(RPWM1,0);
22.         analogWrite(LPWM2,0);
23.         analogWrite(RPWM2,0);
24.     }
25. }
26.
27. void setup() { // Setting initial values
28.     analogWrite(LPWM1,0);
29.     analogWrite(RPWM1,0);
30.     analogWrite(LPWM2,0);
31.     analogWrite(RPWM2,0);
32.
33.     digitalWrite(L_EN1,HIGH);
34.     digitalWrite(R_EN1,HIGH);
35.     digitalWrite(L_EN2,HIGH);
36.     digitalWrite(R_EN2,HIGH);
37.
38.     pinMode(L_EN1,OUTPUT);
39.     pinMode(R_EN1,OUTPUT);
40.     pinMode(L_EN2,OUTPUT);
41.     pinMode(R_EN2,OUTPUT);
42.
43.     pinMode(LPWM1,OUTPUT);
44.     pinMode(RPWM1,OUTPUT);
45.     pinMode(LPWM2,OUTPUT);
46.     pinMode(RPWM2,OUTPUT);
47.
48.     pinMode(BT_STATE_PIN, INPUT);
49.
50.     attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(BT_STATE_PIN),
    btDisconnect, FALLING);
51.     speedCoefficient = 1 ;
52.     linearEnd = digitalRead(LINEAR_STOP);
53.

```

```

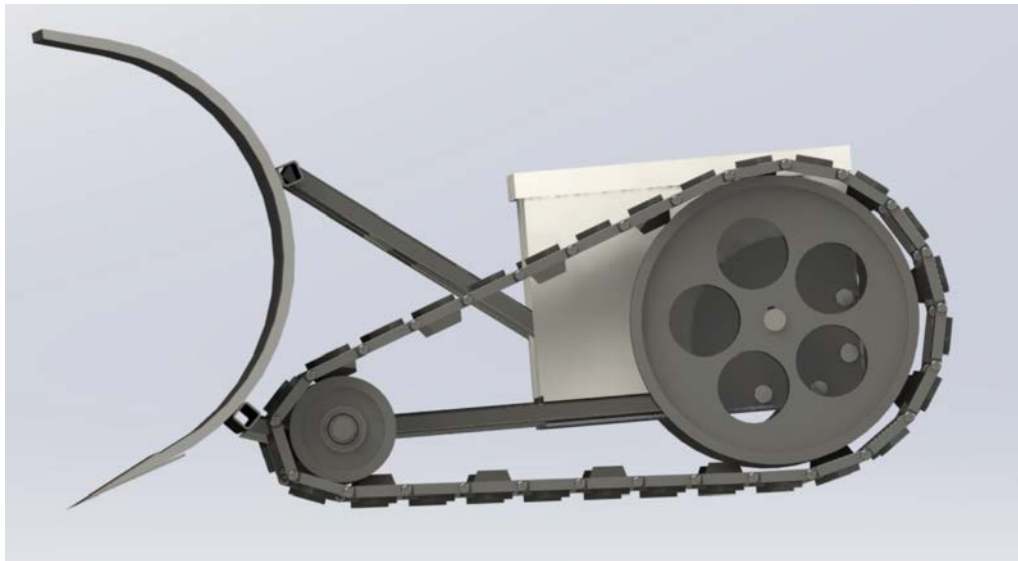
54.     Serial3.begin(9600); // Starting serial. 9600 bit/sec
55. }
56.
57. void loop() { // Reading values
58.     if (Serial.available() > 0) {
59.         incomingByte = Serial.read();
60.         int cmd = (incomingByte & 0b11110000) >> 4; // Command
61.         int prm = incomingByte & 0b00001111; // Parameter
62.         switch (cmd) {
63.             case 0x01:
64.                 x = cmd;
65.                 stateChange();
66.                 break;
67.             case 0x02:
68.                 y = cmd;
69.                 stateChange();
70.                 break;
71.             case 0x03:
72.                 x = 0;
73.                 y = 0;
74.                 stateChange();
75.                 break;
76.             default:
77.                 continue;
78.         }
79.     }
80. }
81.
82. void stateChange() { //In case of change new PWM values are
    calculated
83.     if(y >0) {
84.         if(x > 0) {
85.             w1=abs(y);
86.             w2=abs(y)-abs(x);
87.         }
88.         else if(x < 0) {
89.             w1=abs(y)-abs(x);
90.             w2=abs(y);
91.         }
92.         if(w1 < 0) {
93.             w1 = 0;
94.         }
95.         if(w2 < 0) {
96.             w2 = 0;
97.         }
98.         analogWrite(RPWM1,(w1*speedCoefficient));
99.         analogWrite(LPWM2,(w2*speedCoefficient));
100.
101.         analogWrite(LPWM1,0);
102.         analogWrite(RPWM2,0);
103.     }
104.     else if(y==0) {
105.         analogWrite(LPWM1,0);
106.         analogWrite(RPWM1,0);
107.         analogWrite(LPWM2,0);
108.         analogWrite(RPWM2,0);
109.     }
110.     else if(y<0) {
111.         if(x > 0) {
112.             w1=abs(y)-abs(x);

```

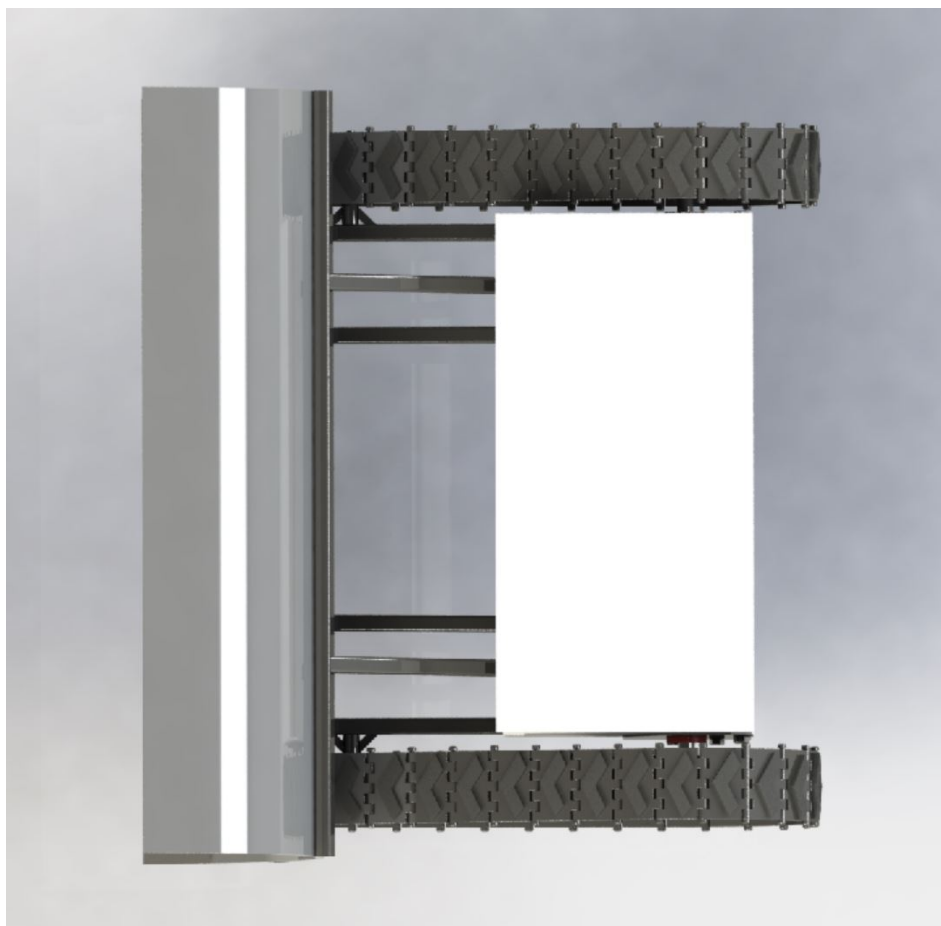
```
113.         w2=abs(y);
114.     }
115.     else if(x < 0) {
116.         w1=abs(y);
117.         w2=abs(y)-abs(x);
118.     }
119.     if(w1 < 0) {
120.         w1 = 0;
121.     }
122.     if(w2 < 0) {
123.         w2 = 0;
124.     }
125.     analogWrite(RPWM1,0);
126.     analogWrite(LPWM2,0);
127.
128.     analogWrite(LPWM1,(w1*speedCoefficient));
129.     analogWrite(RPWM2,(w2*speedCoefficient));
130. }
131. }
```

Lisa 7 Roboti disain

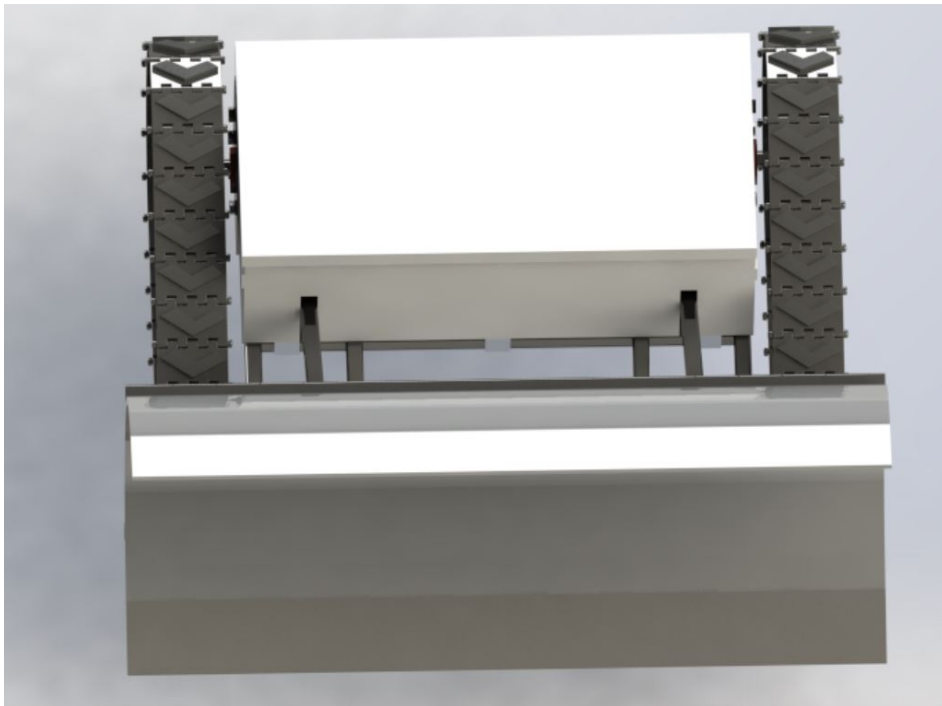
L7.1 Külgvaade



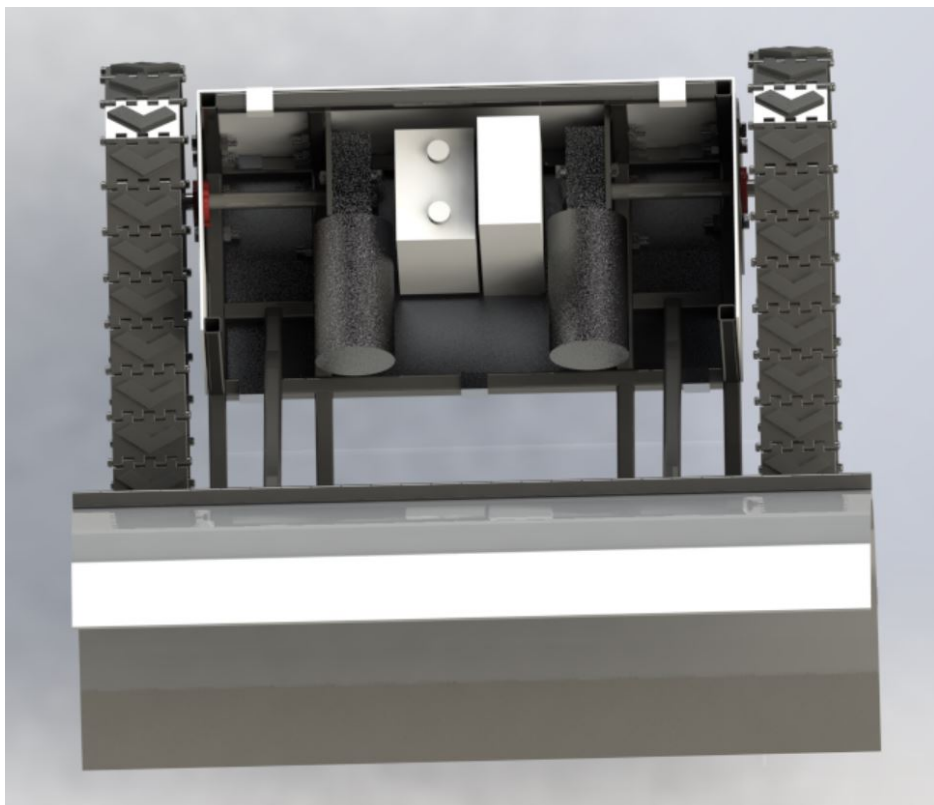
L7.2 Pealtvaade 1

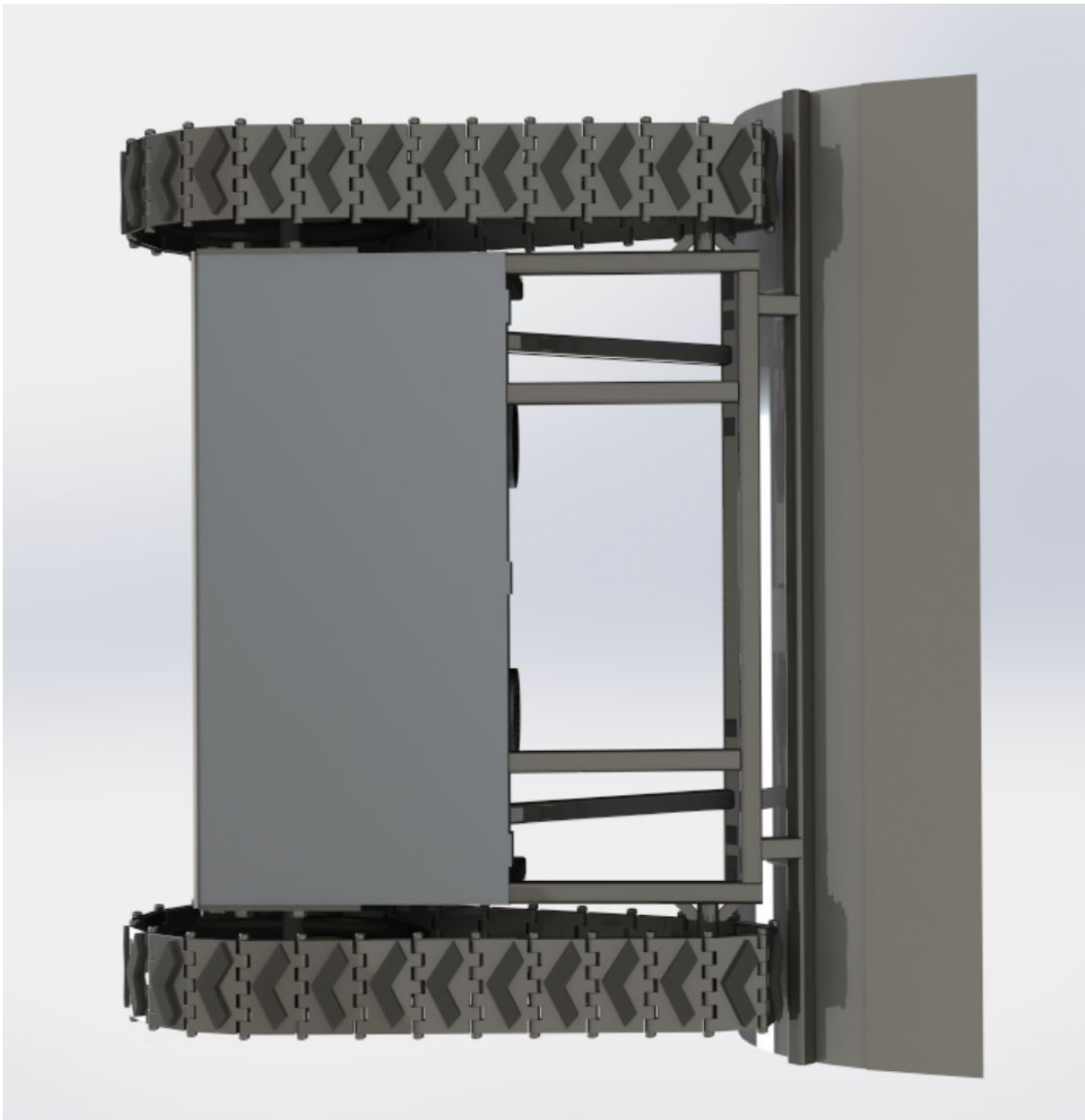


L7.3 Pealtvaade 2



L7.4 Elektronika paigutus





KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] H. J. E. T. E. M. S. N. T. M. R. K. Kungas, *Snobot lumekoristusroboti dokumentatsioon*, 2018.
- [2] „Metall24 koduleht - nelikanttorud,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.metall24.ee/tooted/nelikanttoru>. [Kasutatud 01 05 2019].
- [3] „Gimson Robotics - veomootorid,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://gimsonrobotics.co.uk/categories/dc-electric-motors/products/gr-ep-52-high-torque-planetary-gearmotor-12v-and-24v-versions>. [Kasutatud 02 05 2019].
- [4] „Gimson Robotics - lineaarmootorid,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://gimsonrobotics.co.uk/categories/linear-actuators/products/gla750-12v-dc-small-linear-actuator>. [Kasutatud 02 05 2019].
- [5] t. team, „Computer-Aided Design (CAD),“ Techopedia, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.techopedia.com/definition/2063/computer-aided-design-cad>. [Kasutatud 02 05 2019].
- [6] „Finite Element Analysis,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.simscale.com/docs/content/simwiki/fea/whatisfea.html>. [Kasutatud 02 05 2019].
- [7] C. team, „Everything you need to know about arduino code,“ CIRCUITO.IO, 11 03 2018. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.circuito.io/blog/arduino-code/>. [Kasutatud 02 05 2019].
- [8] Proplastik, „Polüamiid,“ Proplastik, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://proplastik.ee/toostusplast/poluamiid/>. [Kasutatud 12 05 2019].
- [9] Proplastic, „ABS,“ Proplastic, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://proplastik.ee/toostusplast/polutetrafluoreteen/>. [Kasutatud 12 05 2019].
- [10] C.B.FROST, „Neoprene rubber sheeting,“ C.B.FROST, [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://cbfrost-rubber.com/products/sheeting/neoprene-rubber-sheeting/?fbclid=IwAR1rymG1i32XMfRIGPK0_sWmAwHLV0qYFhyfYyHpwLUo5LsjHR5oRwIn0_Y. [Kasutatud 12 05 2019].

- [11] Elecrow, „BTS7960 Large Current Motor Driver Module 43A,“ Elecrow, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.elecrow.com/large-current-motor-driver-module-bts7960-43a-p-1548.html>. [Kasutatud 12 05 2019].
- [12] M. Rawashdeh, „Motor Driver BTS7960 43A,“ Instructables circuits, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.instructables.com/id/Motor-Driver-BTS7960-43A/>. [Kasutatud 12 05 2019].
- [13] T. B. Shop, „Exide EB14-B2 Motorcycle Battery 12v 14Ah 125A,“ The Battery Shop, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.thebatteryshop.co.uk/exide-eb14-b2-motorcycle-battery-12v-14ah-145a-yb14-b2-1950-p.asp>. [Kasutatud 12 05 2019].
- [14] O. Battery, „FAQ: Benefits and Care of an AGM Battery in Winter,“ Odyssey Battery, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://blog.odysseybattery.com/2018/01/faq-benefits-and-care-of-an-agm-battery-in-winter/>. [Kasutatud 12 05 2019].
- [15] M. Dynamics, „200W 12V/24V Worm Frive Form 21 to 256 RPM and 15 to 45nM,“ Motion Dynamics, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.motiondynamics.com.au/12v-or-24v-dc-worm-drive-geared-motor-200w-21-256-rpm-7.5-45nm.html>. [Kasutatud 12 05 2019].
- [16] Arduino, „Arduino Mega 2560 REV3,“ Arduino, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://store.arduino.cc/mega-2560-r3>. [Kasutatud 11 04 2019].
- [17] Arduino, „Arduino Nano,“ Arduino, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://store.arduino.cc/arduino-nano>. [Kasutatud 11 04 2019].
- [18] D. Zone, „HC-05 HC-06 Adapter Board,“ DDWM Zone, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://dwmzone.com/en/bluetooth-module/150-hc-05-hc-06-adapter-board.html>. [Kasutatud 11 04 2019].
- [19] I. Group, „Mootori draiver BTS7960-43A,“ ITT Group, [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.ittgroup.ee/et/draiverid/731-mootori-draiver-bts7960-43a.html?search_query=BTS7960&results=2. [Kasutatud 11 04 2019].
- [20] V. b. bearings, „600-2RS Bearing Deep Groove,“ VXB ball bearings, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.vxb.com/6004-2RS-Bearing-Deep-Groove-6004-2RS-p/6004-2rsbearing.htm>. [Kasutatud 11 04 2019].

