



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

TTÜ Tartu kolledž

AUTONOOMSE LUMEKORISTUSROBOTI ARENDUS

DEVELOPMENT OF AUTONOMOUS SNOW ROBOT

RAKENDUSKÕRGHARIDUSETÖÖ

Üliõpilane: Kelly Kangur

Üliõpilaskood: 154598NDFR

Juhendaja: Ago Rootsi, lektor

Tartu 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 rakenduskõrgharidusetöös esitatud nõuetele

“.....” 201.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

TTÜ Inseneriteaduskond
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Kelly Kangur 154598NDFR

Õppekava, peeriala: Küberfüüsikaline süsteemitehnika, NDFR

Juhendaja(d): Lektor, Ago Rootsi, 56629821

Lõputöö teema:

Autonoomse lumekoristusroboti arendus
Development of autonomous snow robot

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Sobiva konstruktsiooni valimine
2. Sobivate mootorite valimine
3. Sobiva kontrollsüsteemi valimine
4. Sobivate elektroonika komponentide valimine
5. Valida sobiv liikumistrajektoor lumekoristamiseks
6. Sõlmede testimine

Lõputöö etapid ja ajakava:

| Nr | Ülesande kirjeldus | Tähtaeg |
|----|-----------------------|---------|
| 1. | Teema valimine. | 20.12 |
| 2. | Lõputöö eelkaitsmine. | 8.05 |
| 3. | Lõputöö esitamine. | 27.05 |
| 4. | Lõputöö kaitsmine. | 05.06 |

Töö keel: Eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "27." mai 2019.a

Üliõpilane: Kelly Kangur "....."201....a
/allkiri/

Juhendaja: Ago Rootsi "....."201....a
/allkiri

SISUKORD

| | |
|--|----|
| JOONISTE JA TABELITE LOETELU | 5 |
| 1 SISSEJUHATUS | 6 |
| 2 TÖÖ VAJALIKKUS | 7 |
| 3 ANALOOGILISED ARENDUSED | 9 |
| 4 KONSTRUKTSIOON | 11 |
| 4.1 Korpus | 11 |
| 4.2 Sähk..... | 12 |
| 5 VEOSKEEMI VALIK..... | 14 |
| 5.1 Rattad..... | 15 |
| 5.2 Mootorid | 15 |
| 5.3 Rataste ja mootori ühendamine | 18 |
| 5.4 Saha tõstemootor | 18 |
| 6 JUHTSEADME VALIK | 20 |
| 6.1 Raspberry pi 3 B+ | 20 |
| 6.2 Arduino ATmega2560 | 21 |
| 6.3 Raspberry pi 3 B+ ja Arduinio mega vaheline kommunikatsioon..... | 24 |
| 7 ELEKTROONIKAKOMPONENTIDE VALIK | 25 |
| 7.1 Inertsiaalandur (IMU)..... | 25 |
| 7.2 Infrapunaandur | 25 |
| 8 TOITESÜSTEEM..... | 27 |
| 9 ROBOTI LIIKUMISE TRAJEKTOORI JA KIIRUSTE VALIK..... | 29 |
| 10 PROGRAMMEERIMINE | 31 |
| 11 TULEMUSED | 32 |
| 12 KULU ARVESTUS | 33 |
| 13 EDASISED TEGEVUSED..... | 34 |
| 14 KOKKUVÕTE..... | 35 |
| SUMMARY | 36 |
| KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU | 37 |

JOONISTE JA TABELITE LOETELU

| | |
|--|----|
| Tabel 1. Lume struktuurid | 7 |
| Tabel 2. Lumelükkamise tööriistade võrdlus..... | 13 |
| Tabel 3. Roomikute ja rataste eelised ja puudused | 14 |
| Tabel 4. Mootorite võrdlus | 16 |
| Tabel 5. Kuluarvestus | 33 |
| | |
| Joonis 1. Mootori kinnituse detail..... | 11 |
| Joonis 2. Roboti korpus | 12 |
| Joonis 3. Valitud ratas | 15 |
| Joonis 4. Valitud mootor | 17 |
| Joonis 5. Mootorid roboti korpuses | 17 |
| Joonis 6. Servomootor..... | 18 |
| Joonis 7. Raspberry Pi 3 B+..... | 21 |
| Joonis 8. PWM..... | 22 |
| Joonis 9. Arduino ATmega2560..... | 23 |
| Joonis 10. PCA9685, inertsiaalandur, Arduino ATmega2560 ja servomootor | 23 |
| Joonis 11. Infrapunaandur | 26 |
| Joonis 12. Raspberry Pi ja infrapuna andurite ühendamiseskeem | 26 |
| Joonis 13. Mootorite toiteskeem | 27 |
| Joonis 14. Akude paiknemine robotis | 28 |
| Joonis 15. Liikumistrajektor | 29 |
| Joonis 16. Plokkskeem..... | 31 |
| Joonis 17. Robot | 32 |

1 SISSEJUHATUS

Lumekoristamine on talvel üsnagi tüütu tegevus. Inimeste elutempo on läinud ajaga palju kiiremaks, mis tähenda, et lumekoristustööde jaoks enam oma niigi vähest vaba aega kulutada ei taheta. Lumekoristamine on ka füüsiliselt kurnav tegevus põhjustades vahel terviserikkeid.

Autonoomse lumekoristusroboti ehitamine on küll projekti lõppeesmärk, kuid antud lõputöö mahus on lahendatud osa sellest tööst. Seda seetõttu, et tegemist on üsnagi suure ja keerulise ülesandega, mis ei mahu lõputöö ajaraami.

Selle lõputöö eesmärk on luua autonoomse lumekoristusroboti prototüüp, mis suudab ilma kõrvalise abita puhtaks teha väiksema platsi. Robot peab hakkama saama ka ette juhtivate takistuste avastamisega peamiselt ohutuse tagamiseks. Lõputöös arendatakse robot täiesti nullist kuni selleni, et robot suudab lihtsama algoritmi järgi autonoomselt liikuda, kasutades selleks erinevaid elektroonika komponente.

Lõputöös püstitatud ülesanded on:

- Sobiva konstruktsiooni valimine
- Sobivate mootorite valimine
- Sobiva kontrollsüsteemi valimine
- Sobivate elektroonika komponentide valimine
- Valida sobiv liikumistrajektor lumekoristamiseks
- Sõlmede testimine

2 TÖÖ VAJALIKKUS

Ühiskond liigub aina enam selle poole, et kõik võimalikud tööülesanded oleks automatiseeritud. Selle peamiseks põhjuseks on inimese kiire elutempo ning oskus rohkem oma vaba aega väärtustada. Seetõttu antakse aina enam tüütud ülesanded masinate lahendada. Paljudes Eestimaa kodudeski on olemas autonoomne tolmuimeja kui ka muruniiduk. Miks mitte siis ka autonoomne lumekoristusrobot. Ülekasvanud muru sees liikumist saab vältida, kuid lumi satub igale poole nii kõnniteedele, kui ka parkimiskohtadele.

Lisaks vähesele ajale on lumelükkamine inimese jaoks füüsiline ja kurnav töö. Veel vähem suudavad seda teha liikumisraskusega inimesed ning pole ka haruldane, kui vähetreenitud inimesed endale selle tööga liiga teevad. Lumelükkamisega kaasneb äkiline vererõhu tõus ja pulsi sagenemine. Lisaks külm tuul põhjustab veresoonte ahenemist, mistõttu jõuab südamesse vähem hapnikku, mis võib omakorda põhjustada infarkti. Kõigele sellele lisaks võib lumelükkamisega viga teha seljale, mis on üsna sageli esinev vigastus [1].

Eestis on talved üsna pikad ning pole haruldane, kui hommikul lumest puhastatud õu näeb mõne tunni pärast välja samasugune nagu see oli enne lumekoristust. Kui lumi on liiga paksuks sadanud või tuisanud ei saa seda enam labidaga kokku lükata vaid tuleb kühveldada, mis tähendab tõstmise tööd. Ilmastik on Eestis üsnagi muutlik, mistõttu võib mõne tunni jooksul lumi sulada ja kokku vajuda ning võib ka veel jõuda ära külmuda. Järgnevas tabelis on näidatud lume tihedused erinevate lume struktuuride korral [2].

Tabel 1. Lume struktuurid

| Type of snow or ice | (kg/m ³) |
|---------------------|----------------------|
| New snow | 50-70 |
| Damp new snow | 100-200 |
| Settled snow | 200-300 |
| Depth hoar | 100-300 |
| Wind packed snow | 350-400 |
| Firn (granular) | 400-830 |
| Very wet | 700-800 |
| Glacier ice | 830-917 |

Tabelist on näha, et märja lume kaal kümme korda suurem võrreldes värskelt sadanud lumega. Lumelabidate suurus aga lähtub värskelt lumet kühveldamiseks sobivast labida suuruselt. Kui arvestada, et lumelabidas on suurusega 300x500x200 mahub sinna umbes 0,03 m³ lund, ning

vaadates tabelit, siis võib labidatäis lund kaaluda 1,5 kg kuni 27,5 kg. Ning enamasti tuleb neid labidatäisi tõsta mitukümmend. Näiteks kui inimesel on vaja lumest puhas hoida maaala, mille suurus on 3 m x 3 m ja lume kõrgus on 0,1 m, siis puhastatava ala lumi võib kaaluda olenevalt lume tüübist 54 kg kuni 781,2 kg [2]. 3 m x 3 m on üsna väike maaala, kuid selle ala lumekoristus on juba hea füüsiline väljakutse. Seda tööd kiirustades tehes on kerged tulema vigastused.

Eestis ei ole võimalik veel poest osta autonoomset lumekoristusrobotit. Nende väljatöötamisega on tegelenud mõned ettevõtted kui ka üksikisikud. Lumekoristusroboteid ei ole autori andmete järgi veel seeriatootmises, kuid kui on mõni üksik eksemplar müüki pandud, siis need on ka kohe väljamüüdnud või saab end nii-öelda ootejärjekorda panna, et kui vabaneb siis saab endale osta/rentida. Seda kõike enamasti katsetamise eesmärgil, kuna arendustööd veel käivad. Enamasti leiab turult raadioteel juhitavaid lumekoristusroboteid. Raadioteel juhitud lumekoristusrobot, küll vähendab inimese füüsilist koormust, kuid inimene peab ikkagi oma aja kulutama lumekoristustöödele.

3 ANALOOGILISED ARENDUSED

Eelmises punktis sai mainitud, et Eestis veel seeriatootmises autonoomseid lumekoristusroboteid ei leidu. Kuid on olemas mõned valmis lahendused, mida inimestel on võimalik endale soetada, et arendusettevõtte saaks oma toodangut testida ning seda vastavalt vajadusele paremaks muuta.

Peamine probleem nende töötavate olemasolevate autonoomsete lumekoristusrobotitega on see, et neid on keerukas hankida Eestis elaval inimesel. Põhjuseks, kuna need ei asu Eestis ning robotid on hetke seisuga välja müüdnud. Osad arendajad pakkuvad võimalust end ootejärjekorda panna, mis võib üsna pikale venida. Seetõttu võivad tarneajad venida pikale ja ka transpordikulu võib osutuda väga suureks.

Autor valis välja kolm lumekoristusrobotit, mida analüüsida:

- 1) Kobi
- 2) SnowBot Pro
- 3) ATR-Orbiter

| Parameeter | Kobi [3] | Snowbot Pro [4] | ATR-Orbiter [5] |
|---------------------------|---|---|--|
| Mootor | Harjadeta mootor | Sisepõlemismootor | Elektrimootor, suure pöördemomendiga |
| Ülekandemehhanism | Elektromehhaaniline | Hüdrauliline | Elektromehhaaniline |
| Käiguosa | Roomikud | Rattad | Roomikud |
| Juhtimine | Autonoomne, kuid ka võimalik läbi app'i juhtida | Autonoomne | Raadioteel juhitud |
| Lume eemaldamise tööriist | Lumefrees | Lumefrees | Sahk lume kokkulükkamiseks või kopp. |
| Eelised | Positsioneerib ennast, juhtmevaba kommunikatsioon, kontrollitav läbi appi. Saab kasutada nii lumekoristuseks, | Suur ja võimas. Sobilik suuremate alade puhastamiseks. Peale lumekoristamist viskab ka soola peale. | Elektriline vints, mis suudab tõmmata kuni 690 kg. Võimas robot väikestes mõõtmetes. |

| | | | |
|-------------------|--|------------------------------|---------------------------|
| | lehtede kokkuajamiseks kui ka muru niitmiseks. | | |
| Puudused | Kallis | Kallis Raske transportida | Kallis Pole autonoomne |
| Ettevõtte asukoht | USA ja Belgia | USA | Itaalia |
| Hind | al. 3 999 \$ | 50 315 \$ | 30 999 € |

Kobi on kolm ühes robot. Vastavalt vajadusele suudab Kobi lükata lund, korjata lehti kokku ning niita muru. Selleks muidugi tuleb vahetada Kobi küljes olevat lisaseadet. Eelisteks on, et ei vaja perimeetri traati, suutlikkus end positsioneerid. Positsioneerib Kobi end kasutades GPS ja mitmeid teisi andureid, et saavutada ühe tolli täpsusega positsioneerimine. Esialgelt tuleb Kobi treenida ehk näidata ette, kuhu lükata lumi või kuhu viia lehed. Miinuseks on kallis hind ning kehv kättesaadavus kuna toodet on võimalik saada USA's ja Belgias [3].

Snowbot Pro puhul on tegemist üsna võimsa ja suure robotiga. Juhtimine toimub läbi juhtimiskeskuse, kus antakse käsk, kui vaja tööle hakata. Sõidab mööda ette programmeeritud rada, mis on ettevõtte poolt enne hooaega läbi kõnnitud vastava vahendiga, mis kogub GPS'i andmeid. Sisepõlemismootoriga käitab ta hüdraulilist pumpa, mis ülejäänud liikuvat süsteemi toidab. Snowbot Pro sobib suurepäraselt suuremate pindade puhastamiseks, kuid eramaja hooviesise puhastamiseks jääb ta liiga kohmakaks [4].

ATR Orbiter on raadioteel juhitud robot. Tegemist on väikestes mõõtmetes võimsa robotiga. Saha tõstmiseks kasutab ta hüdroelektrilist tõstemehhanismi. Lumelükkamise tööriistaks saab valida nii saha kui ka kopa. Kopp suudab kanda kuni 100 kg, mistõttu saab seda kasutada ka liiva laiali vedamisel. Miinusteks on, et teda tuleb ise puldiga juhtida [5].

4 KONSTRUKTSIOON

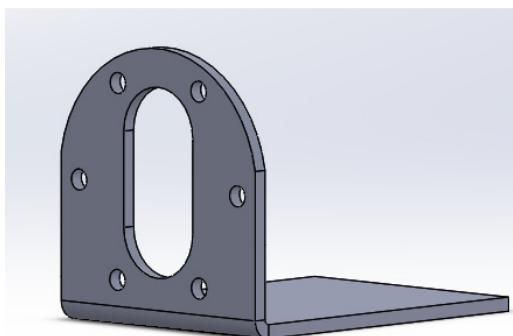
Kere disain on tehtud võimalikult lihtne antud prototüübi puhul. Kere komponendid on valmistatud lehtmetailist. Konstruksiooni valikul oli põhiliseks kriteeriumiks, et see peaks vastu roboti kaalule ning oleks kergesti lahtivõetav, kuna prototüübi puhul tuleb palju ette kinni ja lahti monteerimist. Esimene detail, mis sai tellitud oligi roboti põhikorpuse, kuhu peale tuli kogu süsteem arendada.

4.1 Korpus

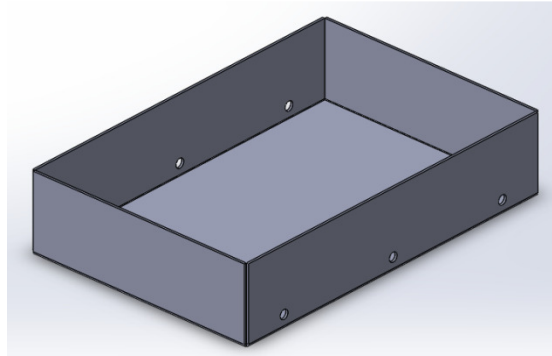
Korpus on roboti põhiosa, kuhu külge kinnituvad kõik muud detailid. Kuna oli olemas võimalus tellida detailid jooniste järgi, siis seda võimalust ka kasutati. Konstruksioon on valmistatud 3 mm painutatud lehtmetailist. Selleks, et tellida tuli kõigepealt SolidWorksis joonised teha. Kuna autor polnud SolidWorksi varasemalt kasutanud, siis joonistas ta oma soovitud detailid nende esmasel kujul SolidWorksi sisse ning andis need joonised tööstuses olevale insenerile, kes need õigesse formaati joonestas. SolidWorksi keskkonnas 3D mudeli valmistamisel sai osad avad sisse joonestatud, mis tagab suurema täpsuse detailide monteerimisel. Kõik konstruksiooni detailid on tellitud laserlõikusest. CNC laserlõikuspingi täpsusklass on 0,1 mm [6]. Kuna tegu on arendustööga, siis tuli avasid hiljem ise juurde puurida.

Korpusesse põhja külge on kinnitatud mootorid. Mootorite kinnitused on valmistatud 2 mm painutatud lehtmetailist. Neid detaile on ka müügil, kuid ostes tuli tükki hind umbes 10 €. Ise sisse joonitades ja laserlõikusest tellides tuli tüki hind umbes 4 €. Kuna niikuinii olid mitmed detailid laserlõikusest tellitud, siis tuli odavam ka mootori kinnitused sealt tellida.

Joonis 1. Mootori kinnituse detail



Joonis 2. Roboti korpus



Korpuse pikkuse ja laiuse määrasid ära nii mootorite valik kui ka valitud veoskeem. Korpuse mõõtmed on 420*300*200 (pikkus * laius * kõrgus). Kuna korpusesse ei saa paigaldada tundlike mikrokontrollerid ning ei olekski mõtet kere sellepärast suuremaks ajada, kavandati korpusesse eraldi korrus peeneelektroonika tarbeks. Selleks sai tellitud lisa korruseplaat, mis on ka valmistatud 2 mm painutatud lehtmestallist. Sinna peale sai paigalda elektroonika komponendid. Korpuse alaossa on paigutatud suuremad ja keskkonnatingimuste suhtes vähemtundlikumad komponendid, milleks on mootorid ja akumulaatorid.

4.2 Sahn

Sahn on lumelükkamise juures üks olulisemaid sõlmi. Selle prototüübi juures on sahn ehitatud põhimõttel, et servomootorite abil saab sahn tõsta ja langetada. Sahn on tellitud lehtmestallist, kuna valmislahendused olid liiga kallid või ei olnud sobivas mõõdus. Nimelt peab sahn olema natukene laiem kui on robot ise koos oma ratastega ning samuti olema kõrgem veidi roboti enda kõrgusest, et saada võimalikult palju lund lükatud ühe tõukamisega. Sahn peab olema robotist veidi laiem, et sahn servadest tagasivajuv lumi ei satuks roboti rataste alla. Valikus olid tavaline sahn, sahn kopaga ja lumefrees puhuriga.

Tabel 2. Lumelükkamise tööriistade võrdlus

| Saha tüüp | EELISED | PUUDUSED |
|--------------------|--|--|
| Klassikaline sahk | Lihtne ja odav. | Takistuseks jääne lumi ja ebatasane aluspind. |
| Sahk kopaga | Suudab tõsta lund Parem lumekoristus, kuna tõstab lume ühte hunnikusse. | Takistuseks jääne lumi ja ebatasane aluspind, väikeste mõõtmetega masina puhul väike efekt. |
| Lumefrees puhuriga | Saab hakkama ka jäisema lumega. | Sobilik ainult teeraja puhastamiseks. Väikesed kivid satuvad puhurisse ja võivad tiivikut vigastada. |

5 VEOSKEEMI VALIK

Enne roboti ehitama hakkamist tuli ära otsustada, millist veoskeemi kasutada. Eelkõige, kas kasutada rattaid või roomikuid. Järgnevas tabelis on toodud nende võrdlus [7].

Tabel 3. Roomikute ja rataste eelised ja puudused

| | Eelised | Puudused |
|----------|---|--|
| Roomikud | <ul style="list-style-type: none">• Väiksem surve maapinnale• Suurem veojõud isegi lumel ja märgadel pindadel sõites | <ul style="list-style-type: none">• Madal kiirus• Kergesti purunevad• Lühike eluiga• Raske asendada/vahetada• Kallis |
| Rattad | <ul style="list-style-type: none">• Odavamad• Suurem kiirus• Kaalult kergemad• Vähem liikuvaid detaile | <ul style="list-style-type: none">• Rasketes teeoludes võivad kinni jääda |

Roomikud on sobilikud eelkõige suurematele ja raskematele liikuritele, mis peavad sõitma ebatasastel ja pehmetel pinnastel. Väiksemate liikurite puhul on ka roomikud väiksemad ning seetõttu on need veel rohkem haavatavamad. Näiteks kui satub kivi või puuks veoratta hammaste ja roomiku vahele võib see põhjustada roomiku maha tuleku rattalt või hoopis veoratta hammaste purunemise. Sama olukord võib juhtuda ka paksus lumes keeramisel. Lumi on enamasti üsnagi libe ning, kuna roomikul on väiksem surve maapinnale, siis see ka ei haaku maaga ning võib kergesti libisema minna.

Valik osutus rattaveole, kuna arendatav robot on üsna väikeste mõõtmetega, mistõttu sobivad rattad paremini ja rattad on ka kordades odavamad kui roomikud.

Järgmiseks tuli ära otsustada, mitme rattaveoline robot peaks olema. Valikus oli nii 2WD kui ka 6WD. 2WD lahendus oleks välja näinud nii, et mõlemat poolt juhib üks mootor ja mootorilt tehakse ülekanne sama poole ratastele kasutades hammasrattaid ja hammasrihma või ketti. Valituks osutus 6WD veoskeem, kus igal rattal on oma mootor.

Põhjused, miks osutus valituks 6WD veoskeem:

- 1) Vähem liikuvaid osi, mis tähendab ka, et vähem kulumise detaile.
- 2) Üks mootor ei ole nii üle koormatud
- 3) Kaalujaotus on nii parem

5.1 Rattad

Käesoleva töö faasis ei tegeleta detailselt rataste haakumist mõjutavate parameetritega, mis lumekoristusroboti puhul on omaette mahukas ja komplitseeritud teema, kuna keskkond on muutlik. Seega on teema lihtsustatud sellele, et talv on lumine ja aluspind on libe.

Rataste valiku põhikriteeriumiks osutus keskkond, kus robot peab sõitma hakkama. Kuna keskkond on enamasti libe tuli valida võimalikult sügava rehvimustriga rattad. Valiku tegemise määras rattarehvi võimalikult sügav muster ja soodne hind. Mistõttu valituks osutusidki *Monster truck'i* rattad, mille läbimõõduks on 150mm ja laiuks 70mm [8]. *Monster truck'i* rattad on mõeldud liikuma rasketes tingimustes ning ka lumine keskkond liigitub raskete keskkonna tingimuste alla.

Joonis 3. Valitud ratas



5.2 Mootorid

Mootorid on roboti ehitamisel üks olulisemaid sõlmi kuna määravad roboti liikuvuse ja veojõu. Mootorite valik turul on üsna lai ning seega pidi panema paika kriteeriumid, mille alusel mootoreid valida.

Valiku kriteeriumid:

- Elektrimootor
- Suur pöördemoment võllil
- Võimalikult väikeste mõõtmetega (kuna neid oli vaja kuus tükki ära mahutada)
- Kergesti juhitav

Mootori valikut piirasid nii eeldatav roboti kaal kui ka lume kaal, mida robot peaks suutma lükata. Eeldatav roboti kaal oli 15 kg. Arvestades, et saha suurusega on lumekogus sahal 0,5m x 0,2m.

Kuna kindel plaan oli kasutada elektrimootoreid, siis tuli valik teha saadaolevate elektrimootorite vahel. Elektrimootor oli kohene valik seetõttu, et elektrimootoreid on saadaval ka väga väikestes mõõtmetes ja suure erivõimsusega.

Valikus olid samm-mootor ja reduktoriga alalisvoolumootor. Samm-mootori eeliseks on sammu täpsusega kontrollitav liikumine, kuid miinuseks, et nad on üsna suure läbimõõduga ning nendega on keeruline sujuvalt kohapealt ära minna. Reduktoriga alalisvoolumootori eelisteks on sujuv kohapealt ära minek ja suurem pöördemoment. Redukti aeglustav ülekandeline suurendab ühtlasi jõumomenti reduktori võllil. Puuduseks on aga see, et neid mootoreid on keeruline ühesuguse kiirusega liikuma panna. Valikus oli kaks mootorit harjadeta reduktoriga alalisvoolumootor JGB37-3650 ja harjadega reduktoriga alalisvoolumootor JBG37-555.

Tabel 4. Mootorite võrdlus

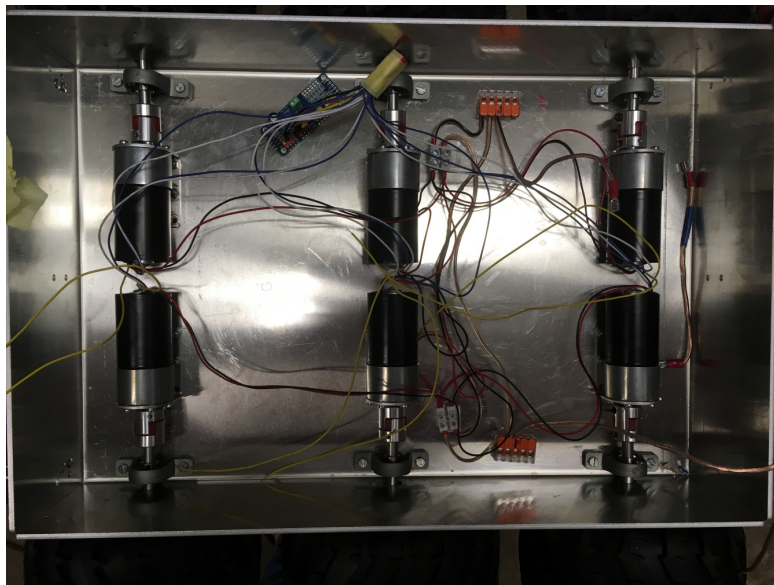
| Parameeter | JGB37-3650 [9] | JGB37-555 [10] |
|--|-----------------------------|-----------------------------|
| Mootori tüüp | Harjadeta alalisvoolumootor | Harjadega alalisvoolumootor |
| Tööpinge | 24 V | 24 V |
| Koormuseta kiirus | 142 p/min | 143 p/min |
| Pöörlemisagedus töökoormusel | 100 p/min | 107 p/min |
| Redukti ülekandearv | 1:56 | 1:56 |
| Maksimaalne jõumoment reduktori võllil | 3,4 N·m | 1,5 N·m |
| Hind | 28 € | 15 € |

Joonis 4. Valitud mootor



Otsustatavaks sai mootorite suurem pöördemoment ning mootoriteks valis autor JGB37-3650 harjadeta reduktoriga alalisvoolumootorid [9]. Valituks ostutus see seetõttu, et lumelükkamise juures on vaja mootoritel võimalikult suurt veojõudu, et robot jõuaks lund lükata. Lisaks on seda mootorit lihtsam juhtida, kuna mootorile on sissehitatud kontrolleri. Seega ei vaja lisa kontrollplaati. Mootoril on TTL pingeniivodele vastavad juhtsisendid mootori pöörlemissageduse PWM juhtimiseks, suuna muutmiseks ja väljund mootori pöörlemissageduse andurilt.

Joonis 5. Mootorid roboti korpuses



5.3 Rataste ja mootori ühendamine

Mootori võlli läbimõõt on 6 mm ja see on ainult 12 mm pikk ning ratta kinnituse läbimõõt on 8 mm. Seetõttu tuli teha üleminek mootori reduktori võllilt 8 mm läbimõõduga võllile, milleks kasutas autor $\varnothing 6 \times \varnothing 8$ mm leevendimuhvi.

Rataste võllid toetuvad korpuse põhja külge kinnitatud kuullaagritele ja mootoripoolsest otsast leevendimuhvi vahendusel mootori võllile. Kuullaagri ülesandeks on toetada võlli ja fikseerida see kindlasse asendisse. Leevendimuhvi ülesandeks on ühendada omavahel mootori võll ja ratta võll. Kuid see aitab ka vähendada koormust, mida võib põhjustada mootori võlli telje ja ratta telje vaheline nurk.

5.4 Saha tõstemootor

Saha mootori ülesandeks on saha üles tõstmine ja langetamine. Selle tegevuse juures ei ole vaja mootoril käia 360 kraadi ning parem ongi kui ei käiks. Ning mootoril peaks olema tagasiside saha asendi kohta, mis asendis olles on sahk üleval ja mis asendis olles sahk maas. Seega tuleb valida mootor, mis suudaks lugeda asendi tagasisidet. Selliseks mootoriks on servomootor. Servomootorite ehituses on enkooder, mis aitab määrata servomootori hoova asendit [10]. Täpsemalt sai valitud digitaalne servomootor FT5335M. See servomootor suudab tõsta kuni 15 kg. Töötab see sammuti PWM signaalidel ning tema töö vahemik on kuni 120° [11].

Joonis 6. Servomootor



Hetkeseisus servomootor tõstab saha üles, kuid alla langeb see raskusjõu mõjul ise, kuna saha ja servomootori hoova ühendab pael.

Parem lahendus saha tõstmiseks ja langetamiseks oleks kasutada vedruamortisaatorit, mis ühendada servomootori hoova ja saha vahele, kuna saha tõstes väheneb servomootori hoova ja saha vahel väheneb ja langetades suureneb. Nii saaks paremini kontrollida saha liikumist ja sammuti tõsta saha kõrgemale.

6 JUHTSEADME VALIK

Juhtseade peab hakkama saama kuue mootori juhtimisega ning suutma koguda andmeid keskkonnast. Kuna roboti arendus ei lõpe käesoleva lõputööga on mõistlik arvestada ka hiljem lisanduvaid andureid, eelkõige navigatsioonisüsteemi omi.

Valituteks osutusid Arduino Mega ja Raspberry Pi. Kuna Raspberry Pi miinuseks on tema halb töötamine reaalaaja protsessides, siis sai välistatud Raspberry Pi kasutamine mootorite kontrollimiseks. Mootoritelt on ka vaja lugeda tagasisidet (pöörlemissagedust), mis peaks toimuma reaalajas. Rangelt reaalajas toimuvate protsesside juhtimiseks otsustas autor kasutada Arduino Mega. Arduino Mega saaks praeguses arendusjärgus hakkama nii mootorite juhtimise kui ka keskkonnast info hankimisega, kuid hiljem oleks vaja niikuinii lisa arvutusvõimust. Seega on mõistlik valida kohe selline lahendus nagu tulevikus peaks see olema. Nii saab vähendada hiljem ümbertegemisega kaasnevat lisatööd.

Seega saigi valitud roboti pea juhtseadmeks Raspberry Pi 3 B+ ja mootorite kontrollimiseks Arduino Mega2560. Raspberry Pi ülesandeks on tegeleda navigeerimisega ja keskkonnast tuleva info hankimisega ehk tegeleda orienteerumise ja lumelükkamise algoritmiga. Arduino Mega2560 ülesandeks on genereerida sobiv PWM signaal mootoritele ning IMU-lt tuleva asendit puututava tagasiside ja mootorilt tuleva tagasiside järgi mootorite töörežiimi hoidmine.

6.1 Raspberry pi 3 B+

Raspberry Pi 3 mudel B+ on mikroarvuti kuhu peale tuli kõigepealt installeerida operatsioonisüsteem. Valituks osutus Linux'il põhinev Raspberian operatsioonisüsteem. Valituks osutus seetõttu, et see on lihtsalt käsitledav algajale Linux'i kasutajale. Raspberry Pi 3 B+ sai valitud seetõttu on tegemist on kõige uuema mudeliga praegusel hetkel. Raspberry Pi sisendisse on ühendatud kaks infrapunaandurit, mis registreerivad takistusi.

Joonis 7. Raspberry Pi 3 B+



Tehnilised andmed [13]:

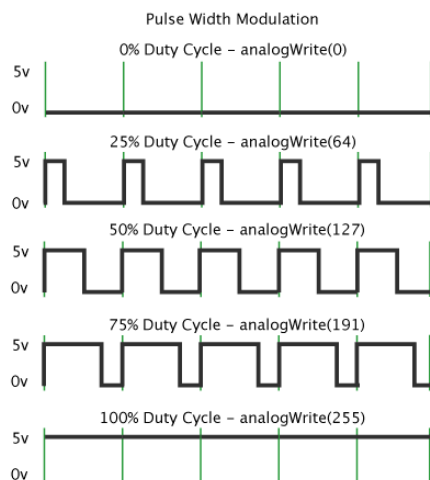
- Protsessor: BroadCom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC @ 1.4 GHz
- Mälu: 1 GB
- Toide: 5V, 2,5 A
- Laiendusvõimalus 40 GPIO (füüsilised sisendid ja väljundid) viiku

6.2 Arduino ATmega2560

Arduino mega ülesandeks on tegeleda mootorite juhtimisega. Kuna tegemist on mootoritega, kuhu on sisse-ehitatud kontrollid saab need otse ühendada Arduino sisenditesse/väljunditesse. Plaadil on olemas PWM väljundid, millest antud projektis on kasutusel kaks.

PWM on impulslaiusmodulatsioon, millega saab reguleerida mootori pöörlemissagedust. Tegemist on signaaliga, millel on konstante pinget ja sagedust, kuid muutuv impulsi laius. Seega on ainsad variandid kas on impulsi pinget on 1 ehk 5 V või on 0 ehk 0 V. 1 puhul on mootori toitepinget sisse lülitatud ja 0 puhul on välja lülitatud. Ning kui neid lülitamisi teha kiiremini kui mootor jõuab reageerida, saabki kontrollida mootori pöörlemissagedust [14].

Joonis 8. PWM



Pildilt on näha viis erinevat varianti PWM signaalist [15]. Esimesel on sisendisse antud 0 ehk mootorid seisavad. Teisel variandil on impulsi pikkuste ja impulsside perioodide suhe 25%. Viimasel on see 100% ehk mootorid töötavad siis täisvõimsusel [14].

Roboti kummagi külje kõigile kolmele mootorile antakse sama PWM signaal, millega antakse ette mootorite pöörlemissagedus. Veel tuleb Arduinol tegeleda mootorite pöörlemissuuna ja mootorite tagasiside kontrolliga. Pöörlemissuuna juhtimiseks tuleb anda sisendisse `digitalWrite(Pin_nr,0)` või `digitalWrite(Pin_nr,1)`. Väärtuse 0 korral käib päripäeva ja 1 korral vastupäeva.

Arduino külge on ühendatud ka lisaplaat, PCA9685. Tegemist on PWM plaadiga, mis on mõeldud servomootorite juhtimiseks [16]. See plaat kontrollibki ühte servomootorit, mis liigutab sahka üles või alla.

Lisaks on Arduino samasse I2C liidesesse ühendatud inertsaalandur, mis registreerib kiirendusi ning arvutab nende põhjal välja roboti pöördenurga kolme omavahel ristuva telje suhtes. Seda informatsiooni kasutatakse roboti juhtimiseks ja soovitud nurga võrra pööramiseks.

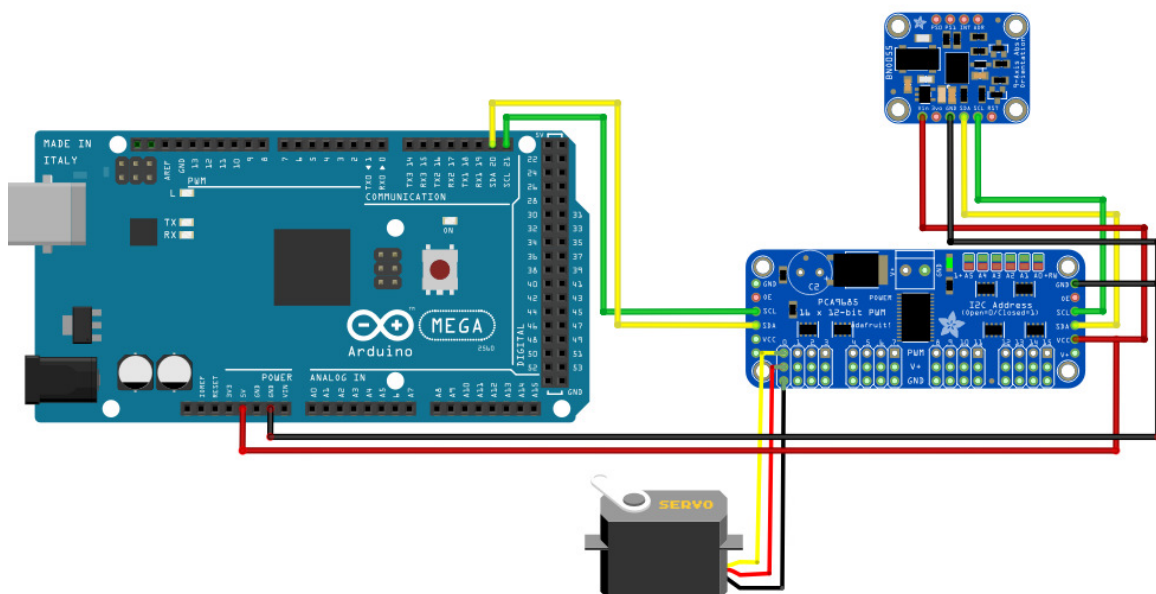
Joonis 9. Arduino ATmega2560



Tehnilised andmed [17]:

- Protsessor ATmega2560
- 15 PWM väljundit
- Toide: 7- 12V
- Välmälu: 256 kB
- SPRAM: 8 kB
- EEPROM: 4 kB
- Protsessori taktsagedus: 16 MHz

Joonis 10. PCA9685, inertsiaalundur, Arduino ATmega2560 ja servomootor



6.3 Raspberry pi 3 B+ ja Arduino mega vaheline kommunikatsioon

Raspberry pi 3 B+ ja Arduino mega vaheline kommunikatsioon toimub mõlema arendusplaadi USB portide kaudu. Nagu eespool sai mainitud, siis Raspberry Pi tegeleb orienteerumise ja keskkonnast info hankimisega. Arduino aga annab mootorile vastava PWM signaali. Raspberry Pi saadab Arduinole vastavaid käsklusi, kas tuleks pöörata, tagurdada või on takistus ette tulnud, et peaks seisma jääma.

7 ELEKTROONIKAKOMPONENTIDE VALIK

7.1 Inertsiaalandur (IMU)

Reaalses maailmas ei ole ideaalset olukorda, kus kõik kuus mootorit pöörlevad täpselt samal kiirusel ning teepind on täiesti sile. Seetõttu on vaja lisaseadet, mis aitaks hoida lumekoristusrobotil liikumissuunda või pöörata soovitud nurga võrra. Selleks ongi vaja inertsiaalandurit.

Valituks osutus Adafruit BNO055 inertsiaalandur [18]. Tegemist on kompakitse kiibiga, mis sisaldab endas gürokompassi, kiirendusmõõturit ja magnetomeetrit. Selles töös läheb kõige enam vaja gürokompassi. Praeguses arendusetapis kasutatakse inertsiaalandurit pööramiseks õige nurga võrra.

Inertsiaalandur on ühendatud PCA9865 plaadi SDA ja SCL viiku, kuna Arduino SDA ja SCL on hõivatud juba PCA9865 plaadi poolt nagu see on näha joonisel 10.

7.2 Infrapunaandur

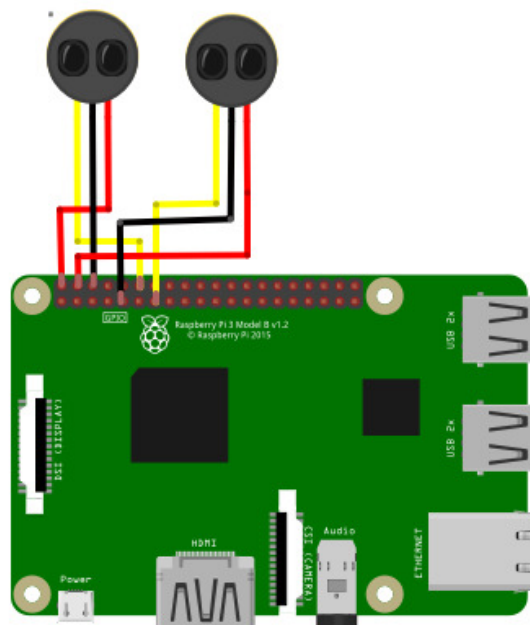
Lumekoristus robot ei ole mõeldud liikuma kitsastes tingimustes ja takistusi täis alal. Kuid ikkagi võib ootamatult ette astuda inimene, kellele tuleks otsa sõitmist vältida või puhastatavale alale sattuda takistus, millest üle minna pole võimalik. Selleks tuleks kasutada andurit, mis avastab takistusi/objekte, mis jäävad roboti sõiduteele. Selliseks anduriks on näiteks infrapunaandur Infrapunaandurid, mis osutusid valituks on E18-D80NK [19]. Takistusi avastab valitud andur 3 – 80 cm kauguselt. Reageerimiskaugus on selles vahemikus reguleeritav.

Joonis 11. Infrapunaandur



Lõputöös lahendatavas arendusetapis on kasutatud kahte infrapunaandurit, mis paiknevad roboti tagaosas. Nende ülesandeks on roboti gabariitide määramine ning ootamatute takistuste avastamine. Tagurdamine toimub kõige suurema kiirusega, sest sel hetkel pole vaja tegeleda lumelükkamisega, seetõttu on oluline jälgida, et miskit ette ei jääks. Esiosa jälgimisega hakkab arvatavasti tegelema TF mini LIDAR, mida antud töös ei käsitleta.

Joonis 12. Raspberry Pi ja infrapuna andurite ühendamiseskeem



8 TOITESÜSTEEM

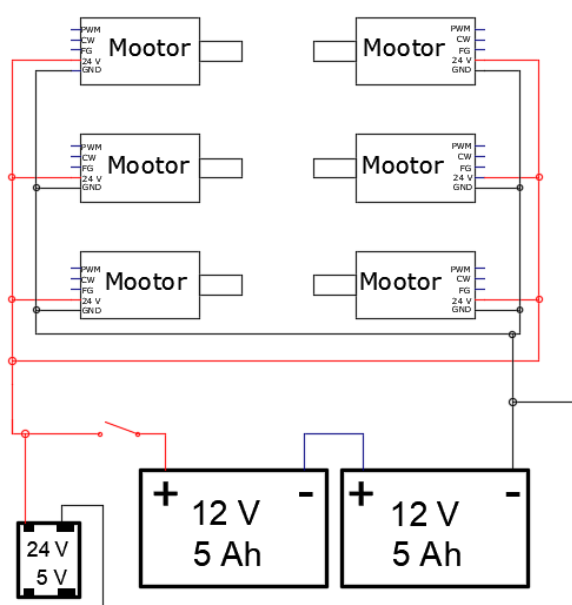
Toiteallika valikul tuli lähtuda sellest kui suurt toitepinget ja akumulaatorite mahtuvust on tarvis. Arvestades, et mootorid töötavad toitepingel 24 V, mistõttu peab ka toiteallikas olema võimeline tootma pinget 24 V. Mootorid on ka kõige suuremad energiatarbijad robotis. Mootorite tootelehe järgi ei võta ükski mootor üle 1 A voolu [9]. Kuna kokku on 6 mootorit, siis maksimaalne voolutarve on 6 A. Katsetades aga selgus, et tegelikkuses on voolutarve kaks korda väiksem. Lumekoristusroboti prototüübi puhul on eeldatav tööaeg maksimaalselt 30 minutit. Siis on vaja toitepingega 24 V ja mahtuvusega minimaalselt 3 Ah akupatareid.

Toiteallika valikul tuli veel arvestada sellega, et need sobiksid tundlike elektroonikakomponentide lähedusse. Lisaks sellele tuli arvestada, et robot on mõeldud liikuma talvel, kus temperatuurid võivad üsna madalad olla. Seega peab toiteallikas töötama ka madalate temperatuuride juures.

Toiteallikaks sai valitud kaks 12 V pliiakut mahtuvusega 5 Ah [20], mis on omavahel ühendatud jadamisi. Jadamisi ühendades liidetakse akude pinged ning tulemuseks on 24 V toiteallikas, kuid mahtuvus jääb samaks.

Akude laadimine toimub hetkel toiteplokiiga. Akud tuleb välja võtta ning neid tuleb eraldi laadida. Järgmises arendusetapis on aga planeeritud lahendada akude mugavam laadimisviis, mis ei eelda akude korpusest väljavõtmist.

Joonis 13. Mootorite toiteskeem



Juuresolevalt skeemilt on näha, kuidas akud on omavahel ühendatud. Ning kuidas toide on jagatud mootoritele. Lihtsustamaks toite katkestamist on kasutatud lüliti, et ei peaks katkestamiseks akuklemme lahti võtma. Elektronika komponendid töötavad toitepingel 5 V seega tuli kasutada DC/DC pingemuundurit, et 24 V muundada 5 V. Skeemilt on näha, et akudelt tuleb pingemuundurisse 24 V. Sealt edasi antakse toitepinge 5 V ülemisele korrusele, kus tuleb toita mikrokontrollereid.

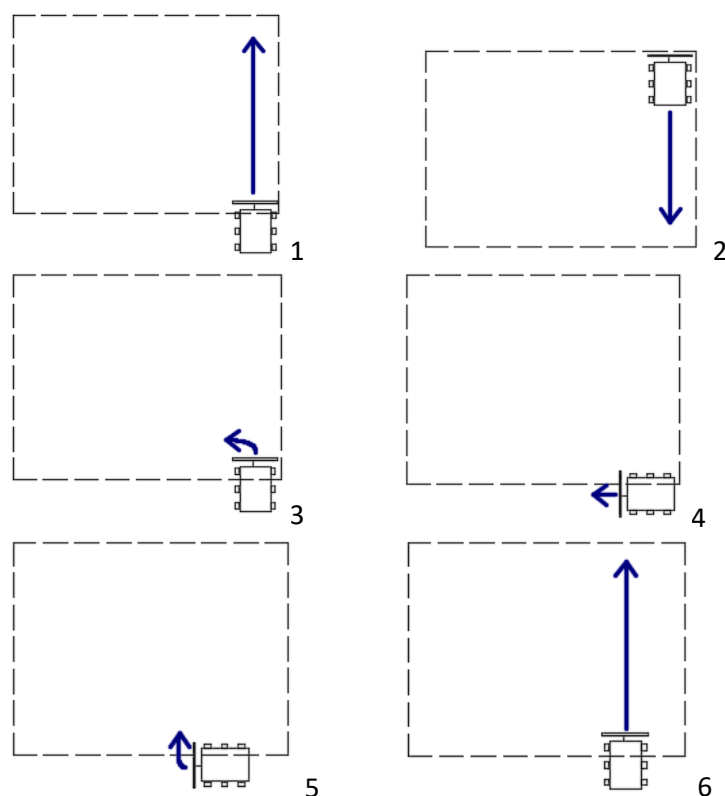
Joonis 14. Akude paiknemine robotis



9 ROBOTI LIIKUMISE TRAJEKTOORI JA KIIRUSTE VALIK

Robot on planeeritud lõputöö staadiumis liikuma nii, et lükkab lume platsi ühte serva. Kõigepealt alustab robot liikumist platsi servast, kust alustab lumelükkamist liikudes otse edasi kuni kohani kuhu lumi lükata. Seejärel sõidab tagurpidi tagasi. Siis keerab end 90 kraadi vasakule ning sõidab natuke maad (roboti korpuse laiuse võrra) edasi ja pöörab 90 kraadi paremale ning alustab uuesti samasugust tsüklit.

Joonis 15. Liikumistrajektor



See variant ei ole kõige parem seetõttu tulebki hilisemas arenduses juurde positsioneerimine, et juhtimine oleks täpsem.

Lumekoristusroboti käiguosa andmed:

Rataste maksimaalne pöördesagedus : 1,7 p/s

Ratta raadius: 0,075 m

Seega saab siit välja arvutada lumekoristusroboti maksimaalse kiiruse.

Kuna ratta diameeter on 0,15 m, siis liigub ratta ühe pöördega edasi 0,47 m.

Maksimaalne kiirus = $0,47 \text{ m} * 1,7 \text{ p/s} = 0,8 \text{ m/s}$

Esiolgselt on valitud neli erinevat kiirust, millega robot liigub.

Esimeseks kiiruseks on kiirus 0 m/s ehk paigalseis, mis antakse Raspberry Pi poolt ette süsteemi algseadistamise ajaks toite sisselülitamise järel, takistuse sattumisel liikumisteele ja üleminekul ühelt liikumissuunalt teisele, sealhulgas pööramisel.

Otsesõidu kiirus on siin tähendusega, et robot lükkab lund sel ajal, seega ei ole mõistlik seda väga kiireks tõsta. Kuid samas peab robot ka suutma lükata lund ehk väga aeglaseks ei saa kiirust lasta.

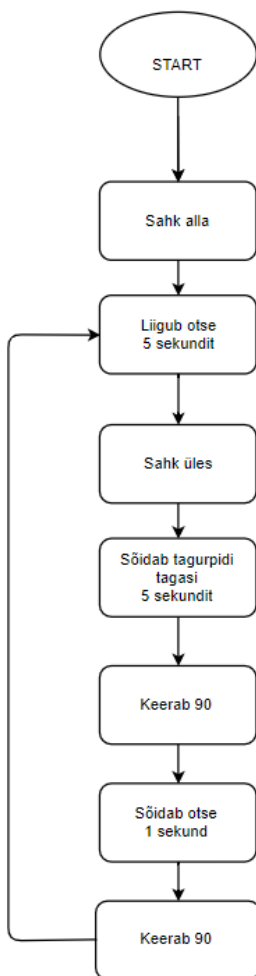
Tagurdamise kiirus võib olla maksimaalse lähedal, kuna sel hetkel robot tööd ei tee vaid suundub tagasi algpunkti.

Pööramise kiirus peab valima vastavalt IMU võimekusele. Vastasel juhul jääb robot ühe kohapeal ringe tegema, sest IMU-lt ei saa piisavalt kiiresti kätte pöördenurga väärtust, kus parasjagu ollakse. Katsete tulemusena selgitati välja, et valitud inertsiaalanduri ja kontrolleri puhul ei tohi see kiirus ületada 0,3 m/s. Praktiliselt kasutatav kiirus talvistel tingimustel peaks olema veel väiksem, et vältida positsioneerimisviga.

10 PROGRAMMEERIMINE

Selles peatükis toodud taustaks on inertsiaalanduri ja Arduino koostoimimise testimine. Seega on kirjutatud lihtne algoritm Arduinole ja jäetud Raspberry Pi koos tema sisendites olevate anduritega hetkel käsitlesest välja. Robot töötab esialgu programmeeritud trajektoori järgi stardipunkti suhtes, mistõttu tuleb robot tõsta algpunkti, kust peaks alustama koristustööd.

Joonis 16. Plokkskeem



Kõigepealt laseb robot saha alla (ehk sahk kukub ise alla kui servomootori hoob liigub ette) ja sõidab otse viis sekundit, seejärel tõstab saha üles, siis sõidab sama teed tagasi tagurpidi. Seejärel keerab ennast inertsiaalandurilt tuleva info abil 90 kraadi, sõidab ühe sekundit ja keerab uuesti 90 kraadi ning jätkab sama tsükli.

Koodi kirjutamisel sai ära kontrollitud ka infrapunaandurite töö nii, et kui takistus ette tuleb saadab Raspberry pi Arduinole peatumissignaali, mille tulemusena mootorid seisma jäävad.

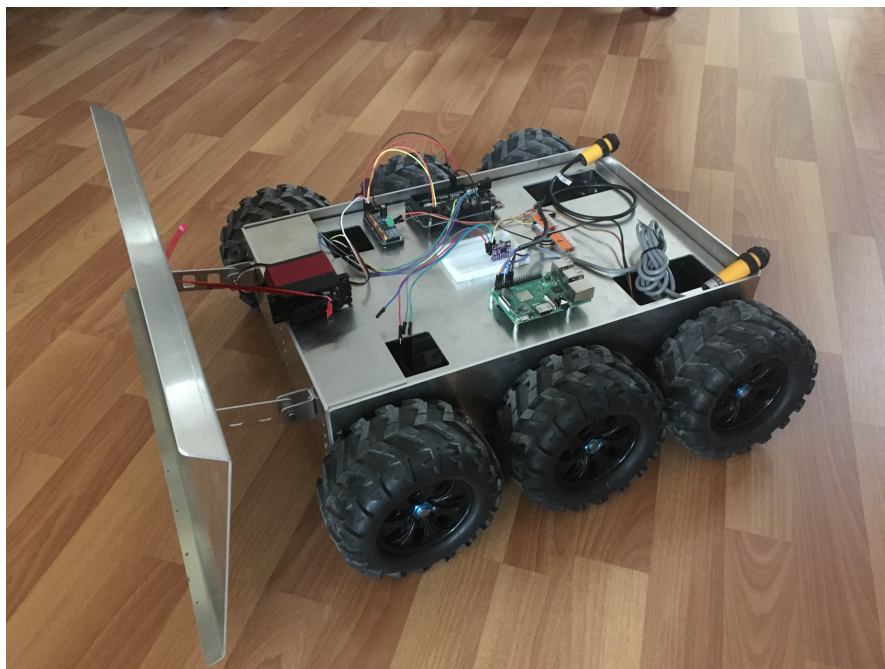
11 TULEMUSED

Lõputöö algul püstitatud ülesanded said täidetud. Kuna konstruktsioon on valmis ehitatud praegusele arendusfaasile sobivana. Mootorid on valitud ning ka korpusesse monteeritud ning nende tööd testitud. Kontrollsüsteem selles faasis on lahendatud ning ka sinna kuuluvad elektroonikakomponendid on valitud. Esialgne liikumistrajektoor on ka paika pandud.

Esialgse algoritmi järgi on robotit testitud õues kiviparketil, et näha kas vastavad valikud on end õigustanud. Tulemusena on mootorid üllatavalt hea kvaliteediga ning liiguvad ümbriski väledalt edasi. Valitud rehvide kvaliteet ei ole kõige parem, kuna keeramise ajal tahavad rehvid velje pealt maha tulla. Lumel liikumisel on hõõrdejõud oluliselt väiksem kui kuival kivipinnasel ja seal on koormus rehvidele väiksem.

Toite sisselülitamisel reageerivad mootorite sees olevad kontrollid kiiremini kui lõpeb Arduino algseadistus. Tulemuseks on mootorite lühiajaline päripäeva pööramine. See tähendab seda, et roboti mootorit töötavad need mõned sekundid täisvõimusel ning robot käib ühe koha peal ringi. Edasise arenduse käigus täiustatakse roboti elektriskeemi, et seda vältida. Arvatavasti tuleb kasutada releed, mis ei lase toidet enne mootoritesse, kui Arduino ennast üles laeb.

Joonis 17. Robot



12 KULU ARVESTUS

Tabel 5. Kuluarvestus

| Detail/Komponent | Hind (€) |
|-------------------------|--------------|
| Rattad | 55,12 |
| Ratta kinnitused | 12,39 |
| Mootorid | 149,09 |
| Sahk | 136 |
| Konstruksiooni detailid | 85 |
| Akud | 28 |
| Juhtmed | 15 |
| Poldid, seibid, mutrid | 20 |
| Puksid | 8 |
| 6x muhv | 7 |
| 6x laager | 10 |
| Raspberry PI 3 B+ | ~40 |
| Arduino Mega | ~5 |
| PCA9685 | ~1,4 |
| 2x IR andur | ~16 |
| Servo mootor | ~35 |
| Kokku | 623 € |

Sarnase prototüübi ehitamine sellesse seisusse läheb maksma umbes 623 eurot. Reaalsuses lisanduvad sinna veel mõned ootamatud kulutused nagu näiteks, kui miskit läbi põleb. Antud lõputöö käigus, lisandus sellele summale veel umbes 208 eurot, kuna enamus komponente sai tellitud Hiinast läbi Aliexpressi, siis juhtus sinna hulka üks praak mootor, mis selgus alles siis, kui see suutis oma sisendite kaudu läbi Arduino sülearvuti USB pordi läbi põletada. Lisandus siis mootori kulu kui ka arvuti remondi kulu. Kuna tegemist on siiski prototüübiga ning vaja pidevalt muuta ja kohendada tuli sahk kolm korda välja vahetada, mille tõttu ka lõpp summa suurenes.

Vaadates turul olevate lumekoristus robotite hindu, siis võib öelda, et antud robot sai üsna soodsalt antud staadiumisse ehitatud. Siia on muidugi arvestatud ainult komponentide hinnad.

13 EDASISED TEGEVUSED

Tegemist on üsnagi keerulise ja suure mahulise projektiga, mille tõttu projekti kogumahtu lõputöös ei ole ajalise limiidi tõttu võimalik käsitleda. Lõputöös lahendati roboti käiguosa, kuid jäeti arvestamata rasked keskkonna tingimused. Ees seisab rida ülesandeid, mis vajavad lahendamist. Esimene tegevus, millega edasipidi tuleb tegeleda on lahendada ära roboti navigatsiooni ülesanne. Positsioneerides end muutub robot nutikamaks, teda ei ole vaja tõsta platsi alguspunkti vaid ta suudab sinna ise minna jälgides koordinaate ja kaarti, sammuti ei pea roboti liikuma kohmaka algoritmi järgi vaid koordinaatide järgi.

Sammuti tuleb ära lahendada probleem, kuidas robot teeb vahet takistusel ja lumehunnikul, mida ta lükkama peab. Roboti akumulaatorid tuleb hetkel robotist välja võtta ja neid toiteploki laadida. See ei ole kasutajasõbralik, seetõttu on üks edasistest tegevustest automaatse laadimisdoki ja roboti akumulaatorite laadimisalgoritmi väljatöötamine. Viimasena tuleb arendada kasutajaliides, et robot oleks paremini hallatav. Lõputöö raames arendati roboti käiguosa ning fikseeriti põhilised suunad edasiseks arendustööks.

14 KOKKUVÕTE

Lõputöös lahendati ära osa suuremast projektist, milleks on autonoomse lumekoristusroboti arendus. Selleks püstitati eesmärgid, mida peaks antud lõputöös ära lahendama. Selleks olid konstruktsiooni valimine, sobivate mootorite valimine, elektroonika komponentide valimine, juhtseadme valimine ning paika panna roboti liikumistrajektor. Töö autor täitis püstitatud eesmärgid.

Autonoomne lumekoristusrobot on mõeldud liikuma talvises keskkonnas. Antud lõputöös ei mindud süvitsi keskkonna uurimisse vaid lihtsustati keskkonda öeldes, et talv on lumine ja libe. Sellest sõltuvalt valis autor ka lumekoristusroboti juurde kuuluvad komponendid. Kõige esimene ülesanne, mis tuli lahendada oli valida sobiv konstruktsioon, mis peaks vastu eeldatavale roboti kaalule. Järgmiseks tuli valida sobiv veoskeem. Valik osutus kuuetele rattale ning igale rattale on oma mootor. Mootoriteks kasutati käesolevas lõputöös reduktoritega harjadeta alalisvoolumootoreid.

Kuna robot peab suutma liikuda autonoomselt vajab ta ka juhtseadet. Juhtseadmeks valis autor Raspberry Pi 3 B+ ning tema abiliseks Arduino ATmega2560. Raspberry Pi tegeleb orienteerumise ja lumekoristuse algoritmiga. Arduino aga annab PWM signaali mootoritesse. Seejärel tuli valida sinna sobivad elektroonikakomponendid. Kuna robot peaks suutma avastada takistusi tuli paigalda kaks infrapunaandurit. Robot peab suutma sõita ka sirgelt ning keerama soovitud nurga võrra, selleks oli vaja kasutada inertsiaalandurit.

Lõputöö tulemusena valmis autonoomne lumekoristusrobot, kes on suuteline lihtsama algoritmi järgi liikuma. Edasised tegevused hõlmavad endas navigatsioonisüsteemi lahendamist, et robot suudaks iseseisvalt liikuda alguspunkti ning ei peaks liikuma kohmaka algoritmi järgi.

SUMMARY

This course project is part of one big project which is development of autonomous snow robot. For that, author set goals in order to fulfill it step by step – design proper construction with materials, pick out right motors and choose proper electronic devices to get it moving as planned.

Autonomous snow robot is meant to move in winter conditions. This course project does not analyze depthwise about environment, just saying that winter is snowy and slippery, furthermore materials and components are chosen to handle the conditions. First task was to develop proper construction which can handle robot's weight. Next step was to choose how many wheels robot needs. Author chose six-wheel drive. Every wheel has its own brushless DC motor with reducer.

The snow robot should move autonomously so it needs a control unit. Control devices for the project was Raspberry Pi 3 B+ and Arduino ATmega2560. Raspberry Pi task is to orientate in environment and deal with snow plowing algorithm. Arduino sends out PWM signal to motors in order to move the robot physically.

Third task was to find out proper electronic components. Since the robot has to detect obstacles, two infra-red sensors were installed and connected with Raspberry Pi. In order to get the robot moving straight and make the turns it needed IMU (Inertial Measurement Unit).

After author had fulfilled all tasks, autonomous snow robot were made. Robot is capable of moving through simple algorithm. Next stages of the project is to develop navigation system for that the robot would be fully autonomous.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. Lumelükkamisega kaasnevad võimalikud tervisekahjustused
[WWW]<https://living.medicareful.com/why-snow-removal-is-so-dangerous> (26.05.2019)
2. Lumestruktuur ja kalkulaator lume raskuse arvutamiseks
[WWW]<https://www.vcalc.com/wiki/KurtHeckman/Snow+Weight+-+Area> (26.05.2019)
3. Kobi [WWW] <https://thekobi.com/> (26.05.2019)
4. Snowbot Pro [WWW] <https://lefthandrobotics.com/snowbot-pro/> (26.05.2019)
5. ATR- orbiter [WWW] <https://www.atr-orbiter.net/> (26.05.2019)
6. CNC laserlõikuspingi täpsus [WWW] <http://torm.ee/service/laser-cutting/> (26.05.2019)
7. Rataste ja roomikute võrdlus [WWW]<https://www.intorobotics.com/wheels-vs-continuous-tracks-advantages-disadvantages/> (26.05.2019)
8. Valitud rattad [WWW]<https://www.aliexpress.com/item/4-Pieces-3-2-150mm-RC-Rubber-Tires-Plastic-Wheel-Rims-17mm-Hex-Hub-Mount-For/32760462936.html?spm=a2g0s.9042311.0.0.11dd4c4dW946ZT> (26.05.2019)
9. Harjadeta alalisvoolumootor reduktoriga
[WWW]<https://www.aliexpress.com/item/JGB37-3650-DC-Brushless-Geared-Motor-Automatic-Curtain-Deceleration-Motor-Large-Torque-Motor-CW-CCW-All/32842259866.html?spm=a2g0s.9042311.0.0.4b514c4dJtiE04> (26.05.2019)
10. Harjadega alalisvoolumootor reduktoriga
[WWW]https://www.aliexpress.com/item/JGB37-550-Gear-Motor-6-30V-speed-6-1600Rpm-low-speed-high-torque-electric-DC-Motor/32702459788.html?spm=2114.search0104.3.52.43d0555bY6by7k&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_5_10065_10068_319_10059_10884_317_10887_10696_321_322_10084_453_10083_454_10103_10618_10307_10820_10821_10303_537_10302_536,searchweb201603_52,ppcSwitch_0&algo_expid=143799ae-b5c4-4f2c-9ef5-d29682452901-8&algo_pvid=143799ae-b5c4-4f2c-9ef5-d29682452901&transAbTest=ae803_4 (26.05.2019)
11. Täituriid tööstusautomaatikas – E.Brindfeldt, E. Pettai, H.Hõimoja, V.Beldjajev (2011)
12. Servomootor [WWW] <https://www.pololu.com/product/3429> (26.05.2019)

13. Raspberry Pi 3 B+ [WWW] <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/> (26.05.2019)
14. Exploring Arduino: Tools and Techniques for Engineering Wizardry – Jeremy Blum (2013)
15. PWM skeem [WWW] <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/PWM> (26.05.2019)
16. PCA9685 [WWW] <https://cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/16-channel-pwm-servo-driver.pdf> (26.05.2019)
17. Arduino ATmega2560 [WWW] <https://store.arduino.cc/mega-2560-r3> (26.05.2019)
18. IMU Adafruit bno055 [WWW] <https://cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/adafruit-bno055-absolute-orientation-sensor.pdf> (26.05.2019)
19. Infrapunaandur E18-D80NK
[WWW] https://www.oomipood.ee/product/e18_d80nk_infrapunaandur_3_80cm_5v_100ma_17x45mm_45cm_juhe?q=E18-D80NK (26.05.2019)
20. 12 V pliiaku
[WWW] https://www.oomipood.ee/product/ps5_12_pliiaku_12v_5_0ah_90_70_101mm_klemm_4_75mm_power_kingdom?q=aku%2012v&page=2 (26.05.2019)