



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

TTÜ elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

SISERUUMIDES LIKUV TÖÖSTUSROBOT

INDOOR MOVING INDUSTRIAL ROBOT

BAKALAUREUSETÖÖ

Õpilane: Tanel Turro

Üliõpilaskood: 163867MAHB

Juhendaja: Mart Tamre, Professor

AUTORI DEKLARATSIOON

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 pärinenud andmed on viidatud.

“.....” 201.....

Autor:

/allkiri/

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 201....

Juhendaja:

/allkiri/

Kaitsmisele lubatud

“.....”201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees:

/Nimi ja allkiri/

TTÜ elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Tanel Turro, 163867 (nimi, üliõpilaskood)
Õppekava, peeriala: MAHB Mehhatroonika (kood ja nimetus)
Juhendaja(d): Professor, Mart Tamre, 6203202 (amet, nimi, telefon)

Lõputöö teema:

(eesti keeles) - "Siseruumides liikuv tööstusrobot"

(inglise keeles) "Indoor moving industrial robot"

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Disainida ja planeerida vajalike komponentide paigutus
2. Roboti juhtimine läpaka abil
3. Tehtud töö dokumenteerimine

Lõputöö etapid ja ajakava:

NR	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Info otsimine olemas olevate komponentidele	01.05.2019
2.	Jooniste tegemine kinnitus kohtade jaoks	07.05.2019
3.	Aku mahtuvuse arvutamine ja valimine	10.05.2019
4.	Komponentide kinnitamine robotile	15.05.2019
5.	Töö lõplik vormistamine, köitmine ja esitamine	21.05.2019

Töö keel: Eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: "21., mai 2019a

Üliõpilane: Tanel Turro "....." 2019a
/allkiri/

Juhendaja: Mart Tamre "....." 2019a
/allkiri/

Sisukord

EESSÕNA.....	5
SISSEJUHATUS	6
1.ROBOTPLATVORMIL KASUTATAVAD SEADMED.....	7
1.1 Eksisteerivad lahendused ja erinevus	7
1.2 Robotkäsi UR5 ja kontrolleri	9
1.3 Sidewinder mootori kiiruse kontrolleri	11
1.4 NVIDIA Jetson Nano	12
2. TÖÖSTUSROBOTI PLATVORMI ARENDUS.....	13
2.1 Roboti mõõtmed	15
2.2 Üldine konstruktsioon	17
2.2.1 Akude kinnitamine	19
2.2.2 UR5 kontrolleri ja ekraani kinnitus.....	19
2.2.3 Lülitite paneeli ja NVIDIA Jetson Nano kinnitus	20
2.3 Aku valimine	22
3. ELEKTROONIKA JA JUHTIMINE	25
3.1 Elektriline plokskeem	25
3.2 Roboti juhtsüsteemi kirjeldus	25
4. EDASI ARENDAMIS VÕIMALUSED	27
KOKKUVÕTE	28
SUMMARY	29
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	31
LISA 1. Kasutatud alumiinium profiil	32

EESSÕNA

Lõputöö teema on saadud Tallinna Tehnikaülikooli Mehhatroonika ja autonoomsete süsteemide keskuse poolt, kus sooviti välja töötada siseruumides liikuv tööstusrobot, mis utiliseerib juba varasemalt alustatud projekti.

Võtmesõnad: tööstusrobot, robotika, akumahtuvus, bakalaureusetöö

SISSEJUHATUS

Antud bakalaureusetöö eesmärgiks on edasi arendada Tallinna Tehnikaülikooli poolt ehitatud tööstusrobotit, mida kasutatakse kindla robotkäega.

Kuna robotit soovitakse automatiseerida, siis tuleb akud positsioneerida võimalikult hästi, et laadima panek olek lihtne ja ei võtaks aega. Lisaks tuleb sobitada kokku mitme erineva firma kontrollid ja suuta nad koostööd tegema panna.

Selle töö raames projekteerisin Tallinna Tehnikaülikooli ehitatud tööstusrobotile akude kinnituse, erinevad kontrollid paigutuse robotil ning aku mahtuvuse valiku. Esmalt tuleb selleks analüüsida olemas olevaid seadmeid ning sellest võtta nõuded süsteemi töötamiseks aku pealt. Töö käigus kirjeldan erinevates etappides tehtud töö ideesid ning põhjendan tehtud valikuid ja otsuseid. Töö eesmärgiks oli võimalikult hea paigutusega panna kõik komponendid tööstusroboti külge ning seejärel ühendada robotkäsi ja mootorid ühtse kontrolliga selle juhtimiseks.

1.ROBOTPLATVORMIL KASUTATAVAD SEADMED

1.1 Eksisteerivad lahendused ja erinevus

Tööstus maailmas ei ole robotkäe süsteemi kasutus enam kuigi uudne lahendus. Juba pikemat aega on kasutatud tööstuste automatiseerimiseks, produktiivsuse tõstmiseks ja ohutumaks muutmiseks erinevaid tüüpe roboteid. Kõige tüüpilisemad lahendused on ühe kindla kohapeale kinnitatud robotid olgu neid siis kas sinult üks või mitu tükki järjest, mis täidavad kas paralleelselt sama tööd või täiendavad järjest ühte detaili neile ettenähtud komponentidega. (Joonis 1.1.1) Tööstustes on lisaks erinevatele paigal seisvatele robotitele utiliseeritud ka siinidel või rööbastel liikuvaid robot käsi, mis võimaldab neil robotitel sooritada oma tööülesandeid juba suuremal alal. (Joonis 1.1.2)



Joonis 1.1.1. Kohapeale paigutatud robotkäed [1]



Joonis 1.1.2 Siinidel liikuv tööstusrobot [2]

Viimaks kõige uuenduslikumad ja automaatsemad lahendused on pandud ratastele, mis võimaldab sellel robotil teostada töösid kogu tööstuse piirides, kui selleks on võimalused loodud. Selliseid roboteid enamasti kasutatakse koostöös kas suurte kahekäeliste robotitega suuremates ladudes raskemate esemete liigutamisel. Teine variant sellistest robotitest on väiksemad ja omavad vaid ühte kätt, mis on väiksemate detailide liigutamiseks töötajate ja laos vaheliselt. (Joonis 1.1.3)

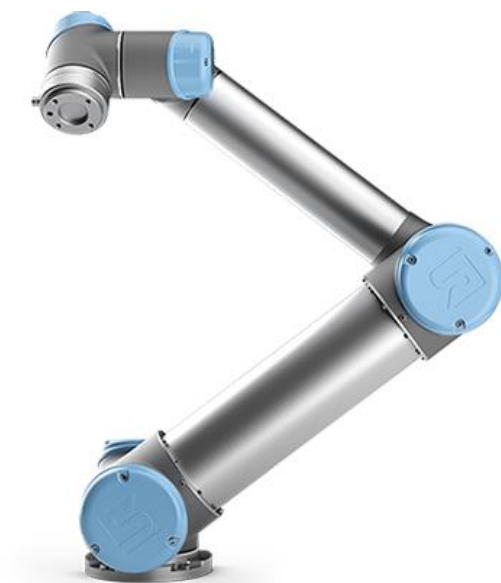


Joonis 1.1.3 Ratastel tööstusrobotid [3]

Kuigi liikuvaid tööstusroboteid on mitmetes tööstustest kasutusele võetud ja arendatakse neid edasi, siis roomikutel ei ole tööstusrobotit kasutusele võetud. Kuna roomikutel ei ole sellist tööstusrobotit tehtud, siis oligi eesmärk teostada tööstusroboti kontseptsioon sellisel kujul. Roomikute eeliseks on nende võime liigelda erinevatel maastikel ning seepärast on neid võimalik kasutusele võtta vajadusel välistingimustes. Lisaks veel on võimalik roomikute peal sõitval robotil minna üles väiksematest astetest, mida ratastel robotid ei ole võimelised ilma sujuva rambi olemasoluta ületama.

1.2 Robotkäsi UR5 ja kontrollid

Robotkäsi UR5 (Joonis 1.2.1) on Universal Robots tootevalikus keskmise suurusega robotkäsi, mille kandevõime on 5 kg ja selle haarderaadiuseks on 0,85 meetrit. Universal Robots tooteid on väga lihtne programmeerida, selleks on vaja ainult inimkätt, kuna robot on loodud imiteerima inimese käe liikumist. Tänu sellele on väga lihtne panna robotkäsi uut ülesannet täitma.[4]



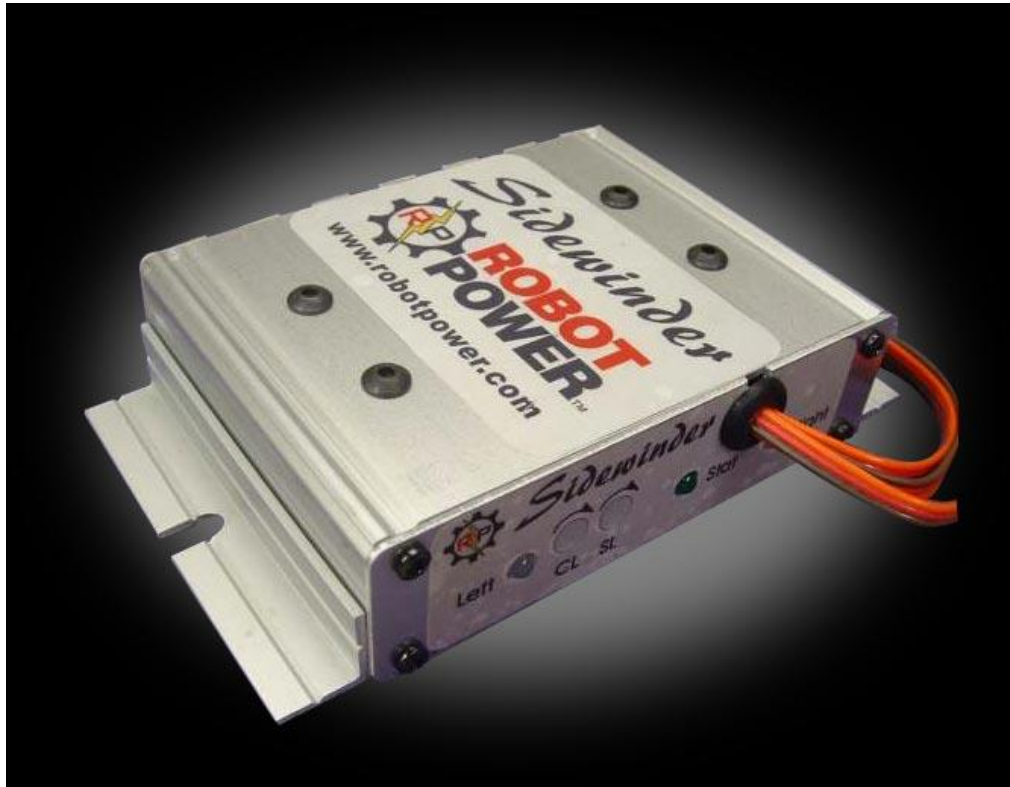
Joonis 1.2.1 Universal Robots UR5[5]



Joonis 1.2.2 UR5 kontrolleri kast ja juhtpaneel [6]

1.3 Sidewinder mootori kiiruse kontrolleri

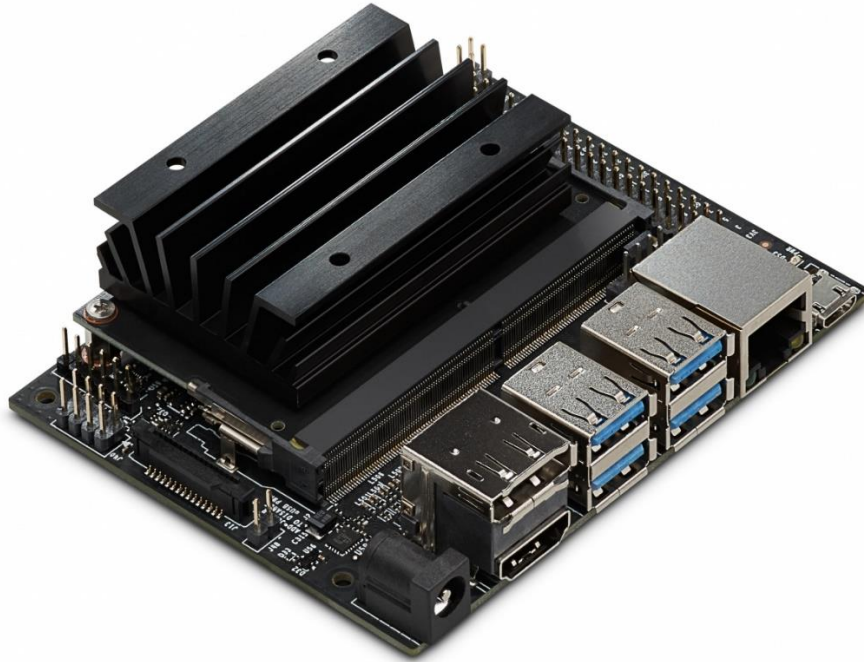
Robot Power Sidewinder (joonis 1.3.1) on kompaktne suure jõudlusega harjastega mootori kiiruse kontrolleri, mis omab kahte kanalit. Mõlemad kanalid on võimelised juhtima mootorit jõudlusega kuni 2 kW 24 voldise pinge juures. Mootorid, mida kasutame roboti liigutamiseks on 500 W 24 voldise pinge juures, seega on sellest kontrolleri rohkem kui piisavalt, et juhtida kahte sellist mootorit. [7]



Joonis 1.3.1 Mootori kiiruse kontrolleri Robot Power Sidewinder [8]

1.4 NVIDIA Jetson Nano

Jetson Nano on NVIDIA poolt välja töötatud väike, kuid väga võimas miniarvuti. See võimaldab jooksutada paralleelselt mitmeid erinevaid programme ja tegevusi ning just täpselt seda ongi vaja utiliseerida selle tööstusroboti puhul. Nimelt on vaja kontrollida roomikute liikumist, UR5 robotkätt ning hiljem on vaja suuta kontrollida 3D kaamerate abil roboti ümbruskonda. Jetson Nano on mõõdetult väike, nimelt 100 mm x 80 mm x 28 mm, ning töötab ainult 5 vatti pealt. [9]



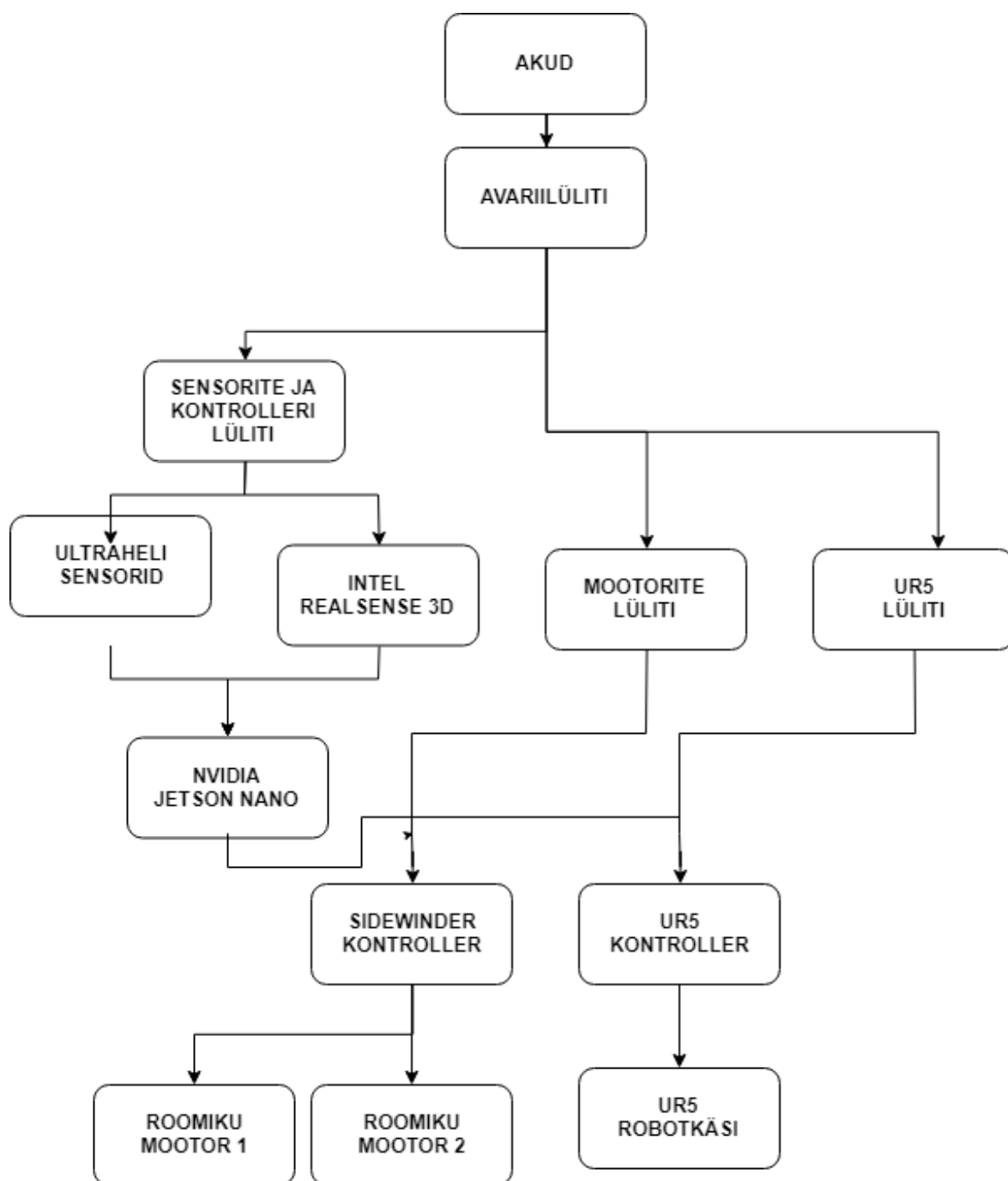
Joonis 1.4.1 Nvidia Jetson Nano [9]

2. TÖÖSTUSROBOTI PLATVORMI ARENDUS

Liikuva tööstusroboti platvormi eesmärk on olla võimeline täita erinevaid tööülesandeid, ilma et inimene peaks robotiga pidevas kontaktis olema.

Tööstusrobot oli osaliselt juba välja arendatud ja ehitatud. Robot oli võimeline liikuma roomikutel ning omas robotkäe jaoks kinnitus platvormi välja valitud kõrgusel ja positsioonil. Edasiseks arendamiseks oli vaja teha robotikäe tugiraami CAD joonised. Tugiraamile oli vaja edasi välja mõelda akude, kontrolleri ja sülearvuti paigutus. Akude jaoks oli aja leida positsioon, kust oleks võimalikult kerge neile ligi pääseda ja laadima panna, ilma et akusid tuleks maha võtta. UR5 kontrolleri tuli paigutada sedasi, et sellega koos käiv puutetundlik konsool oleks nähtava koha peal, kuid samuti ei jääks roboti liikumisel kuhugile kinni ega takistuseks. Lisaks sellel pidi välja robotile leidma koha NVIDIA Jetson Nano jaoks, millel tuli esmalt teha ka kaitsev ümbris ja sellel lisaks ka jahutus. Jetson Nano miniarvutiga soovitakse juhtida kogu roboti tööd ning seega peab olema see paigutatud suhteliselt tsentraalsesse kohta. Tsentraalne positsioon on vajalik selleks, et oleks võimalik hiljem 3D kaameraid ja sensoreid lisada võimalikult kergelt.

Plokkskeemil (Joonis 2.1) on välja toodud kõik vajalikud komponendid, mida on vaja ühendada roboti külge. Siin on lisaks välja toodud 3D nägemise ja sensorite utiliseerimine. Need on toodud välja selleks, et ära näidata plaanist neid kasutada, kuid neid hetkel ei paigaldata lõputöö teemaks oleva roboti külge. Neid ei arendata selle lõputöö raames edasi ega rõhutata, kuna see ei kuulunud selle töö eesmärkide alla. NVIDIA Jetson Nano kontrolleri pealt hakatakse juhtima mootorite kiiruse kontrolleri kui ka UR5 robotikäe kontrolleri.



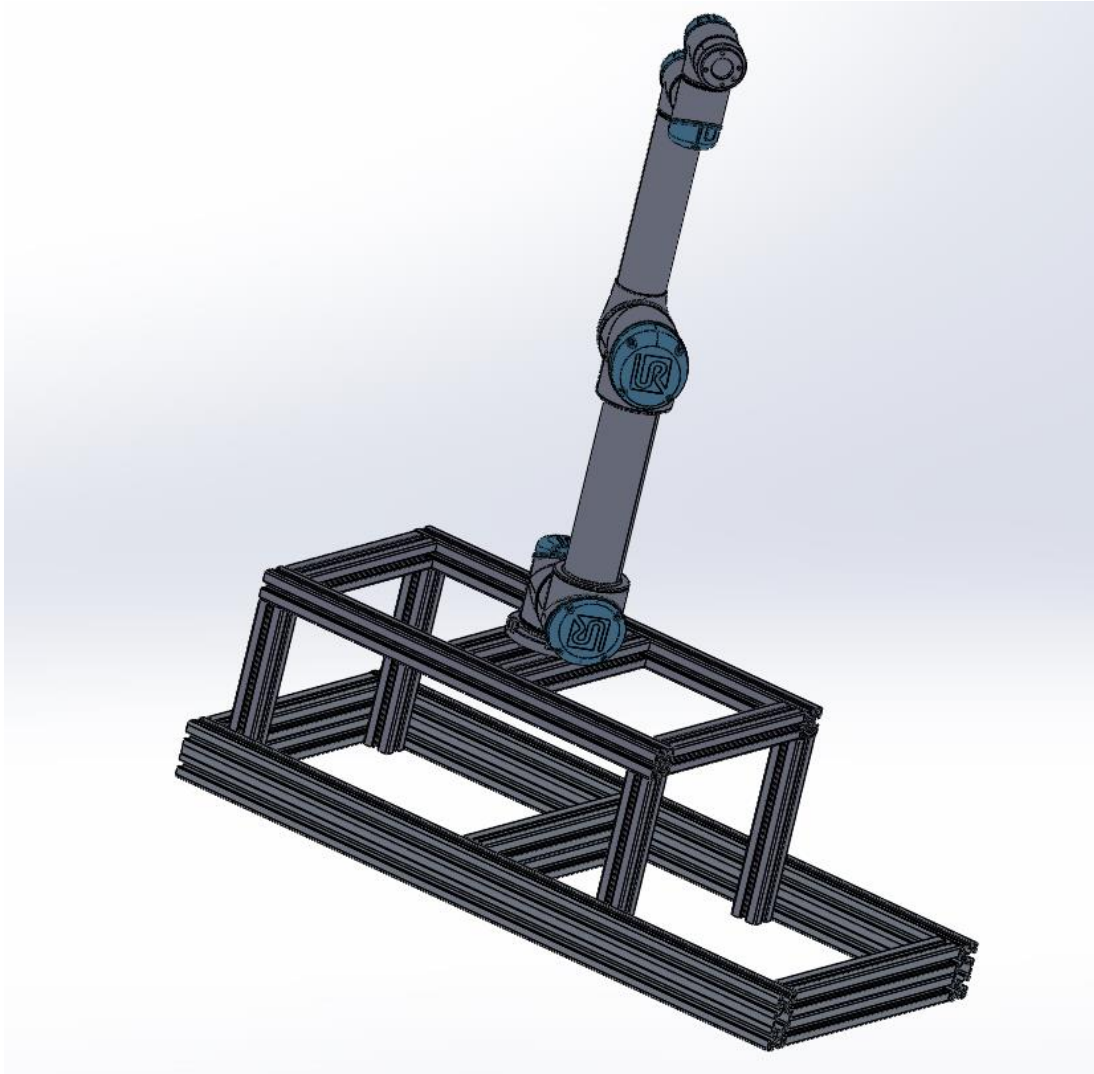
Joonis 2.1 Kõikide komponentide plokskeem

2.1 Roboti mõõtmed

Kuna seda tööstus robotit oli juba varajasemalt projekteeritud ja pandud roomikutel sõitma, siis olid mõõtmed ja ehitus ettemääratud, mida muuta väga ei olnud võimalik. Roboti mõõtmeteks jääb 1110 mm x 515 mm ning kõrguseks maast kuni raami ülemise ääreni, ilma roboti kätt arvestamata on 350 mm.



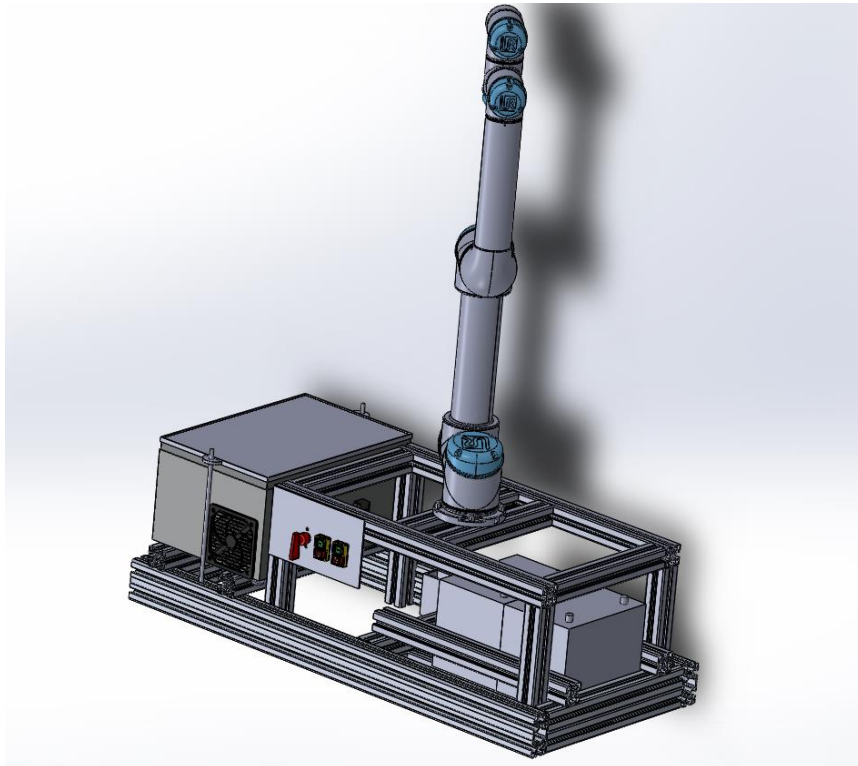
Joonis 2.1.1 Tööstusrobot alguses



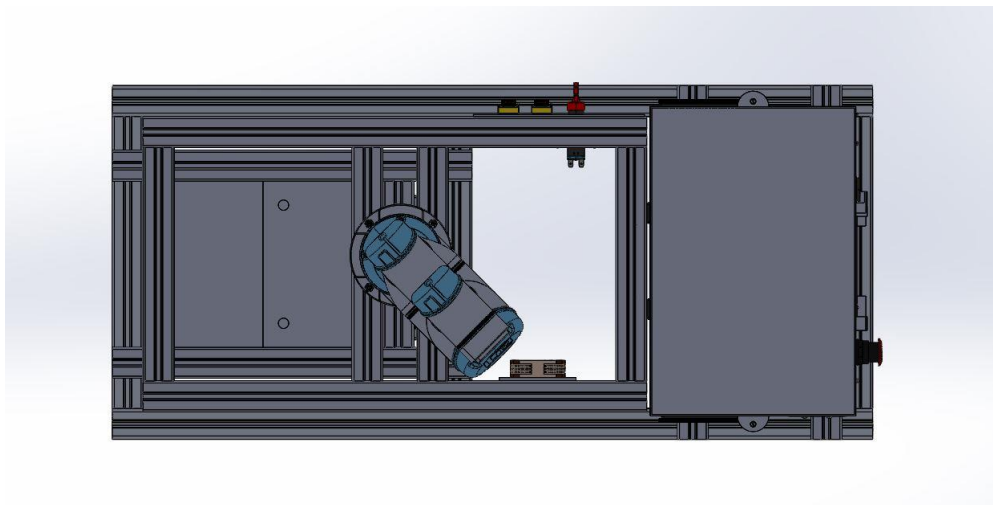
Joonis 2.1.2 Robotikäe raam

2.2 Üldine konstruktsioon

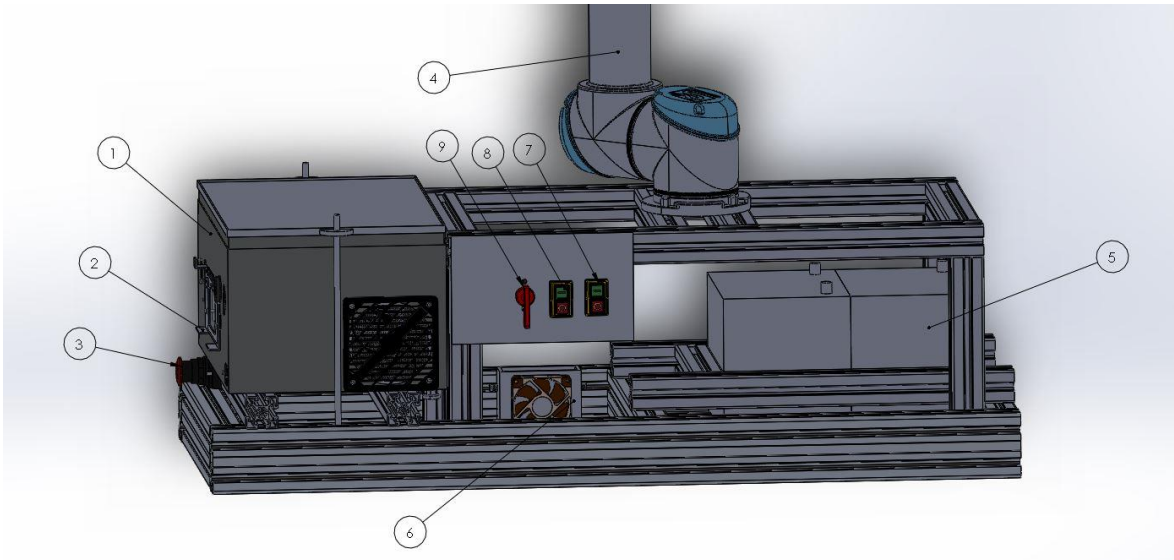
Üldine konstruktsioon sai tehtud algse olemas oleva raami täpsete mõõtmete põhjal Solidworks tarkvaraga, kuid kuna varasem CAD puudus tuli alustuseks projekteerida olemas olev raam. Kuhu peale edasi sai paigutatud akud, UR5 robotkäe kontrolleri, NVIDIA Jetson Nano, lülitite paneel ning ka avariilüliti. Raami konstruktsioon koosneb 45 mm x 45 mm (Lisa 1) alumiiniumprofiilidest, mis on omavahel kinnitatud nurkkinnitustega, mis tagavad raamile piisava tugevusse ning annavad vastavalt vajadusele muuta raami kuju ja suurust.



Joonis 2.2.1 Komponentide paigutus



Joonis 2.2.2 Roboti pealtvaade



Joonis 2.2.3 Tööstusroboti külgvaade

Komponendid tähistusega:

- 1) UR5 robotkäe kontrolleri
- 2) UR5 kontrollpaneeli kinnitus
- 3) Avariilüliti
- 4) UR5 robotkäsi
- 5) Akud
- 6) NVIDIA Jetson Nano koos ümbrise ja jahutusega
- 7) UR5 sisselülitamis nupp
- 8) Roomikute sisselülitamis nupp
- 9) Akude massilüliti

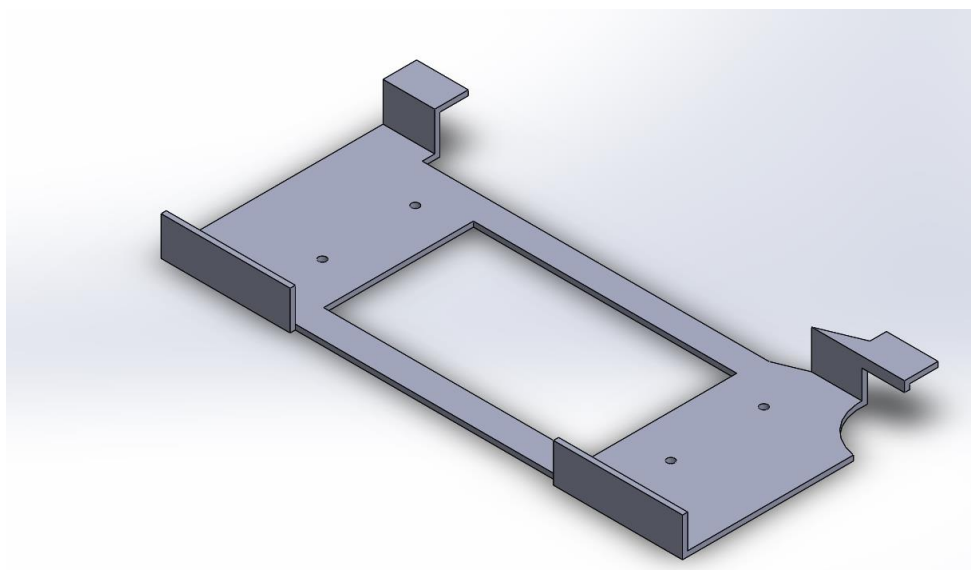
2.2.1 Akude kinnitamine

Akude kinnitamiseks tuli leida esmalt selline koht, kuhu oleks võimalik hiljem akude laadijaga võimalikult kerge ligi pääseda, ilma et tuleks akusid eemaldada robotist. Selleks kohaks osutus roboti ees osa, kus oli juba mõõtmete poolest väga hea positsioon, kuna alla äärde sai panna kaks 445 mm pikkust alumiinium profiili, mis toetavad akusid alt poolt. Algselt sai mõeldud ainult pealt poolt peale suruv kinnitus, kuid see ei osutunud kõige praktilisemaks ega parimaks lahenduseks. Seega sai olemas olevale raami osale lisatud kolm alumiinium profiili, mis ümbritsevad akusid tihedalt ning ei lase neil paigast liikuda. Kahele poole akut said 525 mm pikkused alumiinium profiilid ning kolmas külg sai piiratud 242 mm pikkuse profiiliga.

2.2.2 UR5 kontrolleri ja ekraani kinnitus

Kuna UR5 robotkäe kontrolleri kast on 475 mm x 268 mm x 423 mm, mis on suhteliselt suured mõõtmed. Selleks et saaks kontrolleri kasti hästi mahutada ära olemas olevale raamile, oli vaja keerata see külili ning eemaldada olemas olev ekraani kinnitus ja kasutuses olev jalg. Seejärel sai paigutada kontrolleri roboti taga osas olevale tühjale alale, kuid enne seda pidi kahe alumiinium profiiliga tõstma seda kõrgemale ning seejärel sai projekteerida ülevalt poolt peale suruva kinnituse, mis kahelt poolt kinnitatakse alumiste profiilide külge. (joonis 2.2.1)

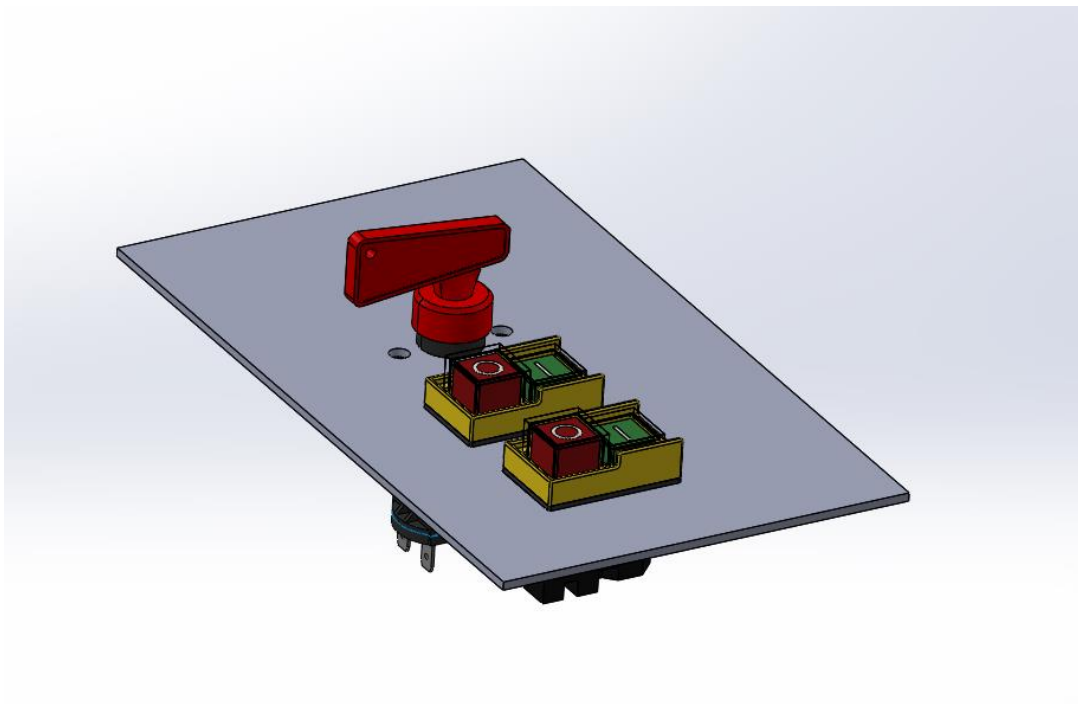
Kuna kontrolleriga kaasa olev ekraani kinnitus uue kohapeale ei sobinud, siis oli vaja projekteerida uus kinnitus, kuid kuna kinnitamis viis ekraanil oli väga spetsiifiline, siis ei saanud see väga palju erineda esialgsest kinnitusest. Kuid nii palju oli vaja muuta, et paremasse äärde oli vaja teha ümarlõige. Seda on vaja selleks, et vältida kontrolleri küljes olevat interneti pordi ava. (joonis 2.2.2.1)



Joonis 2.2.2.1 Ekraani kinnitus

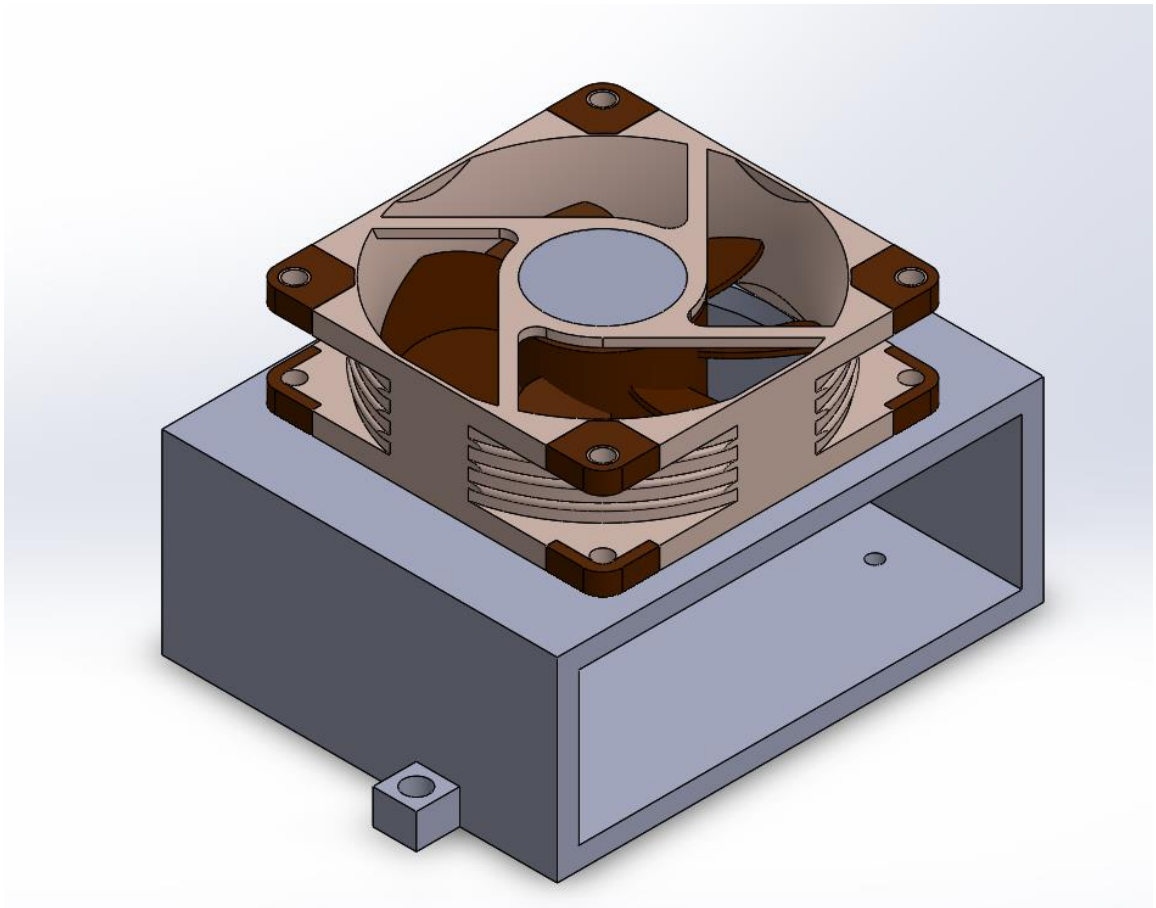
2.2.3 Lülitite paneeli ja NVIDIA Jetson Nano kinnitus

Kõigile töötavatele osadele on vaja teha ka oma turvalülitid, mida oleks võimalik iseseisvalt ükshaaval välja või sisse lülitada, seega sai projekteeritud eraldi lülitite paneel. Paneeli saab kinnitada roboti paremale küljele, (Joonis 2.2.3.1) kus on akude välja lülitamiseks keeratav massilüliti, ning roomikute ja UR5 robotkäe jaoks on lisatud uputatud tüüpi nupud. Lisaks veel on roboti tagaosas avariilüliti, millest saab välja lülitada terve roboti.



Joonis 2.2.3.1 Lülitite paneel

Kuna NVIDIA Jetson Nano on lihtsalt trükkplaadi peale pandud komponendid ning ühtegi kaitsvat osa ei ole tal, siis on mõistlik teha selle ümber karp, mille saab printida 3D printeriga. Lisaks oleks kasulik jahutada seda, kuna karp läheks niisama kinnisena väga kuumaks ning see tekitaks ohu kahjustada kontrolleri. Selleks sai valitud 80 mm x 80 mm x 25 mm Noctua jahuti, mis on väga vaikne ning hea jõudlusega jahuti, mis on suuteline hoidma antud kontrolleri normaaltemperatuurides. (Joonis 2.2.3.2) [10]



Joonis 2.2.3.2 NVIDIA Jetsoni karp koos jahutiga

2.3 Aku valimine

Autonoomse tööstusroboti puhul on kõige tähtsam teha tööaeg laadimiste vahel, ning see tõttu anti esmalt soovitaks tööajaks umbes pool päeva. Kuna robot vajab töötamiseks 24 volti ja akud on enamasti 12 voldised, siis tuleb selle probleemi lahendamiseks ühendada kaks akut jadamisi, et oleks võimalik antud süsteemi jooksutada. Seega tuli arvutada välja kui palju ampertunde on vaja akude pealt kokku saada. Selleks tuli leida vastav valem, millega saaks teada võimalikult täpse vastuse. Seega leidsin valemi, millega saab arvutada mahtuvust.[11]

$$C = x * T, \quad (2.3.1)$$

Kus C – aku mahtuvus, Ah

x – voolutarbimise hulk, A

T – ettenähtud töö aeg, h

Sellest valemist tulenevalt otsisin välja kõikide olemas olevate komponentide olemasoleva tehnilised andmed.

Robotkäe UR5 kontrolleri vajab töötamiseks 24 volti ja 6 amprit ning käsi ise vajab 12 või 24 volti ja 0.6 amprit töötamiseks. Mootori kohta oli antud, et vajavad 24 volti ja 500 vatti, millest tekkis vajadus järgmise valemi jaoks, kuna mootoril ei olnud ampreid antud. Selleks on olemas valem:

$$I = \frac{P}{U} \quad (2.3.2)$$

Kus I – voolugevus, A

P – Võimsus, W

U – Pinge, V

Vastavalt valemile (2.3.2) sain kätte mootoritele vaja mineva voolugevuse amprites.

$$I = \frac{500 \text{ W}}{24 \text{ V}} = 20,8(3) \text{ A} \approx 21 \text{ A}$$

Seega liites kokku kõikide komponentide voolutugevused sain, et kokku peaks voolutarbimise hulk olema 27.6 ampri. Seega vastavalt valemile (2.3.1) saab nüüd arvutada kui suure mahtuvus peaks olema.

$$C = 27,6 A * 12 h = 331,2 Ah$$

Edasi tuleks arvutada väikene varu lisaks sellele ampertundide arvule, kuna kui lasta aku täiesti nulli, siis see rikub akut ning lühendab tema eluiga märgatavalt. Seega tuleks leida mahtuvus selliselt, et eelnev arv 331,2 Ah oleks kuskil 80% aku mahtuvusest ning 20% jääks varuks iga töö tsükli lõppemisel. Selleks kasutan valemit:

$$C' = \frac{C}{0.8} \quad (2.3.3)$$

Kus C' – on aku mahtuvus lisa 20 protsendiga, Ah

C – aku mahtuvus, Ah

0.8 – varuks jäetav protsent

Seega valemi (2.3.3) järgi saan

$$C' = \frac{331,2}{0.8} = 414 Ah$$

Kuna akud ei anna täpselt välja oma lubatud ampertunde, siis tuleb välja arvutada osaline voolu kadu, kuigi see kadu väike, siis sellegi poolest arvestame veel juurde aku mahtuvusele 10 protsenti. Selleks kasutan järgnevat valemit:

$$C'' = \frac{C'}{0.9} \quad (2.3.4)$$

Kus C'' – on aku lõplik mahtuvus, Ah

C' – aku mahtuvus lisa 20 protsendiga, Ah

0.9 – lisatav protsent

Sellest valemist (2.3.4) tulenevalt saame aku mahtuvuseks

$$C'' = \frac{414}{0.9} = 460 Ah$$

Seega tuleb leida kaks akut, mis tekitavad 24 volti ning omavad ka minimaalselt 460 ampertunnist mahtu. Sellisteks akudeks osutus Varta C40, millest üks aku mahutab 240 ampertundi ning kahe aku peale kokku tuleks mahutavuseks 480 ampertundi. Kuid nende akude mõõtmed osutusid mõõtmetelt liiga suureks ning neid ei olnud võimalik roboti raami sisse ühelgi viisil paigutada. Seepärast anti aku valimiseks uus parameeter. Nimelt pidin leidma tavalised auto akud, mille pealt oleks võimalik robotit toita. Seega valisin välja Varta D15 akud, mille mahutavus on ühel 63 ampertundi ja kahe peale kokku 126 ampertundi. Uute akude tõttu tuleb välja arvutada, kui kaua selline mahutavus on võimeline seda tööstusrobotit töös hoidma. Selleks tuletasin valemist (2.3.1) järgneva valemi. [12][13]

$$T = \frac{C}{x} \quad (2.3.5)$$

Kus C – aku mahtuvus, Ah

x – voolutarbimise hulk, A

T – tööaeg, h

Seega arvutan akude tööaja.

$$T = \frac{126}{27,6} \approx 4,6 \text{ h}$$

Lisaks tuleb veel arvestada aku osalist vool kadu, seega peab valemist (2.3.4) arvutama välja kasutatav mahutavuse, mis on 90 protsenti.

$$C' = C \times 0,9 = 126 \times 0,9 = 113,4 \text{ Ah} \quad (2.3.6)$$

Sellest saab arvutada tegeliku akude oodatava tööaja, seega kasutan uuesti valemit (2.3.5)

$$T = \frac{113,4}{27,6} \approx 4,1 \text{ h}$$

Kõikide nende arvutuste järel saab arvestada, et antud tööstusrobot peab iga laadimis tsükliga vastu ligikaudu 4 tundi, millest on hetkel rohkem kui piisavalt, et edasi arendada ning hilisemas staadiumis saab juba võtta kasutusele spetsiaalsed akud, mille mahtuvus on suurem ja efektiivsem.

3. ELEKTROONIKA JA JUHTIMINE

3.1 Elektroonika

Roboti elektrilises süsteemis on ühendatud kaks akut jadamis, et võimaldada 24 voldi tekkimine. Sealt edasi on ühendatud avariilüliti, et saaks lülitada välja kogusüsteemi juhul kui läheb midagi valesti või tekib ohtlik olukord. Edasi ühendatakse aku, roomikute mootorite ja UR5 robotkäe sisse ja välja lülitamise nupud. Aku lüliti võimaldab sisse lülitada kogu süsteemi vool ning sealt edasi on võimalik sisse lülitada roomikute ja robotkäe elekter. Ennem roomiku mootorid saavad oma elektri läbi Sidewinder kontrolleri, mis muudab vastavalt vajadusel mootorite kiirust ja suunda. UR5 robotkäsi ühendatakse tema kontrolleri ja selle kaudu jagatakse vajaminevat toidet ja käsklusi tööülesannete täitmiseks. Lisaks sellele on ühendatud süsteemi Jetson Nano miniarvuti, mis kontrollib kõiki teisi süsteeme ja edastab neile edasisi tööülesandeid.

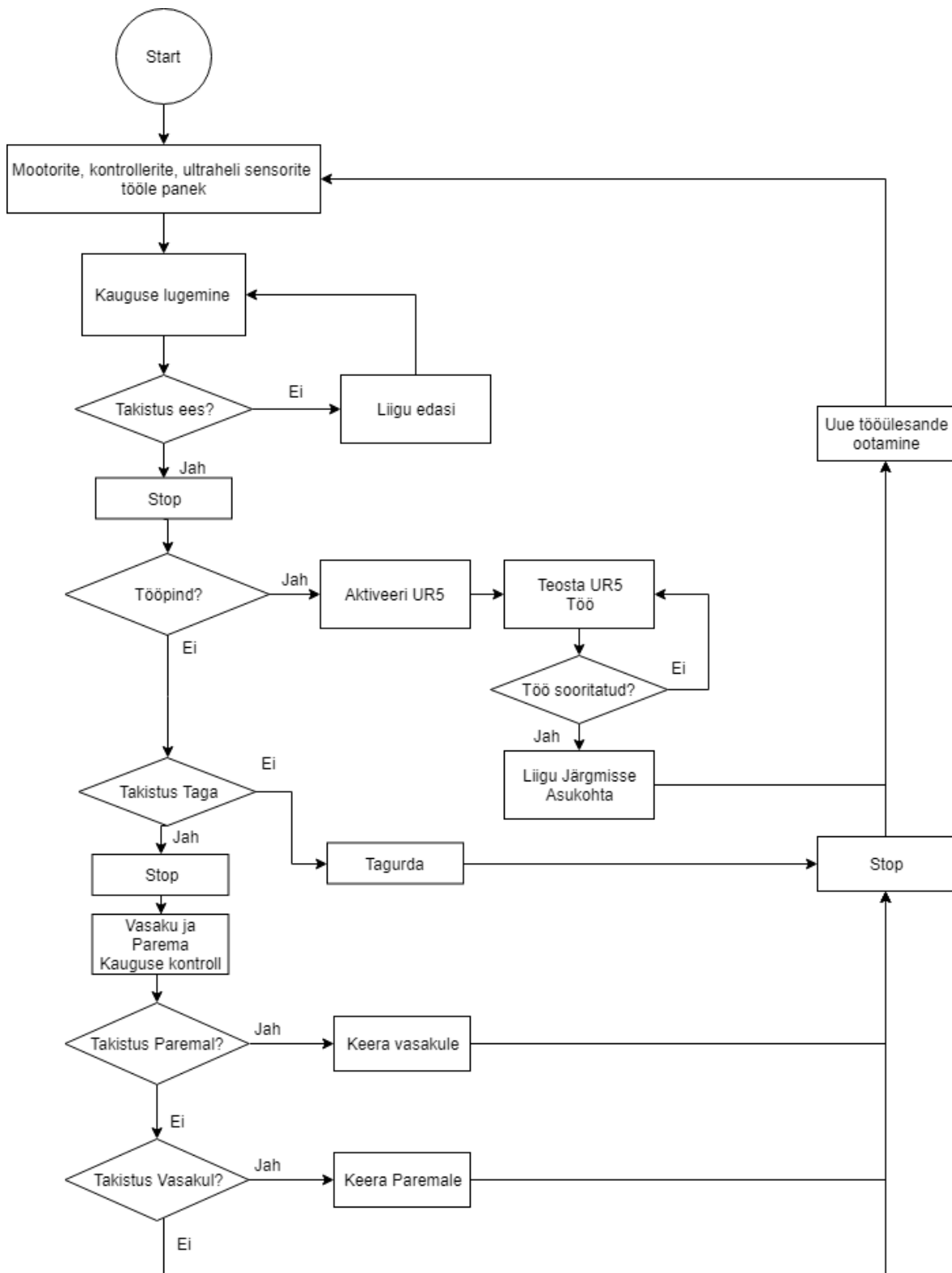
3.2 Roboti juhtsüsteemi kirjeldus

Kuna antud lõputöö ülesanne ei olnud töötada välja antud tööstusroboti juhtimissüsteemi, kuid et oleks võimalik arvestada komponentide paigutusel võimalikke probleemidega, siis oli vaja välja töötada osaline algoritm. Sellise liikuva tööstusroboti puhul on oluline, et ta oma teele jäävale objektile või inimesele otsa ei sõidaks. Seega tuleb enne igat liigutust kontrollida kas on piisavalt vaba ruumi, et sooritada manööver. Ideaalis toimuvad kõikide suundade kontrollid samaaegselt ning seejärel otsustatakse, mis on kõige parem suund liikumise alustamiseks.

Kui kontrolleri saadab välja start käskluse, siis aktiveeritakse kõik sensorid ja mootorid. Seejärel hakatakse kontrollima, kas soovitus liikumise suunas on piisavalt vaba ruumi liikumise jätkamiseks, juhul kui vajalik ruum on puudu, siis jääb robot seisma ning kontrollib teisi suundasi ning arvutab välja uue teekonna soovitud kohta jõudmiseks. Seda on kujutatud roboti juhtimissüsteemi plokkskeemil. (Joonis 3.2.1)

Kuna hetkel on arvestatud ultraheli sensorite juhtimissüsteemi töö tingimustega, siis on nende töö väga robustne ja robot ei ole võimeline kõige kiiremini leidma õiget liikumissuunda. Kuna sensoritega teostatud süsteem ei ole kõige efektiivsem ja tal on piirangud selle pealt, et kui kaugele tema andurid on võimelised tuvastama, siis on see operatsioon suhteliselt aeglane. Kui

kasutada aga 3D nägemist, nii nagu on tulevikuks selle roboti peale plaanitud, siis on robot juba kaugemalt võimeline nägema ära takistusi ja muutma aegsasti juba oma trajektoori.



Joonis 3.2.1 Roboti juhtimissüsteemi algoritm

4. EDASIARENDAMIS VÕIMALUSED

Lõputöö raames projekteeritud kinnitused ja detailide paigutused on kasutatavad sellise tööstusroboti lõplikus versioonis, kuid kui muuta mõnda komponenti, siis võib tekkida vajadus muuta kinnituste asukohta ning disaini. Siin kohal toon välja võimalikud muudatused, mida teha ja edasi arendada.

Edasiseks automatiseerimiseks oleks vaja robotile lisada 3D nägemine, et ta saaks aru mis tema ümbruses on ning oskaks arvestada oma liikumis trajektoori. Seda oleks vaja selleks, et saaks panna roboti liikuma ilma maha tõmmatud jooni kasutades, mis on tavapärasel hetkel kasutuses olevatele robotitele. 3D nägemisega oleks võimalik joontest loobuda ning realiseerida ohutu liikumine robotile ning sellel kasutaval robotkäel. Selleks on juba plaanid olemas ning soovitakse kasutusele võtta Intel RealSense 3D kaamera, mis kontrolliks kogu roboti ümbrust ja aitaks tuvastada võimalikke ohte robotile või tema läheduses olevaid takistusi. Kaamerate edasi protsessiks kogu infot NVIDIA Jetson Nano miniarvuti. Sellega on plaanitud ühendada kõik roboti kontrollid ning selle pealt jooksutada kogu süsteemi. Seega oleks võimalik tänu 3D nägemisele korrigeerida roboti liikumis suunda või see peatada, lisaks võimaldaks see liigutada robotkätt ohutusse positsiooni, kui peaks teepeal ette jääma mõni takistus.

Hetkel on akude mahtuvus 126 ampertundi ja peatükis 2.3 sooritatud arvutused näitavad, et selline mahtuvus võimaldab robotil töötada iseseisvalt ligikaudu 4 tundi, mis ei ole tööstuses kõige pikem aeg. Seepärast tuleks peale kõikide teiste süsteemide ja tehnika välja aretamist leida akud, mis on võimalised minimaalselt 12 tundi järjest töötama tööstus tingimustel. Sellised akud, aga on palju kallimad ja arendamis faasis ei ole mõistlik selliseid suure mahulisi akusid soetada, kuna komponendid võivad muutuda või lisanduda, mis muudab terve roboti energia tarbimise kogust ja sellest võib jääda puudu soovitud tööajast.

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärk oli projekteerida Tallinna Tehnikaülikooli olemas olevale tööstusrobotile kõik vajaminevad detailid, et oleks võimalik automatiseerida selle roboti töö.

Bakalaureusetöö esimene samm oli uurida, millised lahendused on hetkel juba tööstustest kasutusel ja seejärel analüüsida lähteandmeid. Selle uurimise järel tuli välja, et roomikute peal tööstusroboteid ei leidu.

Teise sammuna tuli alustada projekteerimisega nullist, kuna antud tööstusrobotil oli reaalselt valmis ehitatud raam, kuid puudus igasugune arvutigraafiline disain. Selle käigus tuli leida head ja optimaalsed positsioonid akudele, kuna nendele ligipääs on tähtis laadimis protsessi juures ning kui neid tuleks igakord eemaldada robotist oleks tegemist halva disainiga. Edasi tuli teha ka kinnitus akudele ning algselt sai see lahendatud alt kahe alumiinium profiili ja ülevalt peale suruva kinnituse näol. Väikese analüüsimise käigus aga selgus, et selline lahendus ei pruugi hoida neid akusid paigal ning seega ümbritseti akud alumiinium profiilidega mis on täpselt nende akude mõõtmetega.

Kuna robotkäe kontrolleri orientatsiooni tuli muuta, siis oli vaja sinna konstrueerida ka uus ekraani kinnitus, mis on tehtud küll originaalse disaini alusel, kuid veidi lihtsustatud painutus nurkadega kiiremaks tootmiseks. Selle lisaks vajas UR5 kontrolleri kinnitamist ning see lahendati lihtsa peale suruva välja freesitud detailiga.

Kõige aega nõudvam osa oli akude välja valimine, kuna arvutusi tuli sooritada kahel korral, sest saadud ampertundide arv ostus väga suureks ning selliseid akusid ei olnud võimalik kuidagi kõne all olevasse robotisse paigutada. Seega tuli üle küsida algsed nõuded ning seejärel neid täpsustati.

Kuna kõik seadmed oli vaja ühendada omavahel ning ka toimima saada, siis oli vaja koostada elektriskeem, et mõista mis seade peab minema millisesse lülitisse ja lõpp punkti. Lisaks sellele tuli läbi mõelda ka roboti liikumis algoritm.

Tulevikuks on võimalik edasi arendada robotil kontrolleri juhtimist ja lisada juurde 3D nägemine, et roboti töö efektiivsust tõsta. Lisaks veel oleks kasulik investeerida kallimatesse akudesse, mis võimaldavad sellel robotil töötada pikemaajaliselt.

Hetkel ei ole antud robot veel kokku moneeritud, kuid see on kinni ainult detailide saabumise, freesimise ja printimise taga. Kui vajalikud detailid saabuvad, siis on võimalik alustada roboti kokku panekuga. Kõige sellega on nähtud palju vaeva ning püstitatud eesmärgid võib suuremas osas lugeda täidetuks.

SUMMARY

The aim of this thesis was to develop all of the needed components for the automation of the industrial robot built in Tallinn University of Technology.

The first step of this Bachelor's thesis was to examine what solutions are currently in use in industries and afterwards to analyse the given source data. After examining, it turned out that there were no industrial robots to be found.

The second step was to start the designing process from the scratch, because this industrial robot was built, but did not have any kind of CAD files. During that, we had to find good and optimal location for the batteries, which had an easy access for charging said batteries, if they would need to be removed for charging the location would not be optimal design. Furthermore, there was a need to fix those batteries, and initially this was solved by putting two aluminium profiles on the bottom for the batteries to sit on and a top-mounted fixing. However, after a while the top-mounted solution seemed like it would not be able to hold the batteries. So, because of that the batteries were surrounded with aluminium profiles that left only the exact amount of room for the batteries.

Since the robot arm controller boxes orientation had to be changed, it was also necessary to design a new screen mount, which was inspired by the original mount, but was slightly simplified for faster and easier production. In addition, the UR5 controller box needed to be fixed, so it was solved with a simple milled top-mounted plate.

The most time-consuming part was finding the batteries, because the calculations had to be done twice. That happened, because of the calculated amper hours was very large and batteries, which had such a large capacity did not fit into our industrial robot. Thus, the original requirements had to be clarified and slightly changed.

Since all the devices had to be connected and working, it was necessary to make an electrical diagram to understand which components need to be connected to each other. In addition to that the robot moving algorithm had to be considered.

In the futures it is possible to develop the controller unit of the robot and add 3D vision to increase the efficiency in robots moving patterns and work. In addition, it would be useful to invest into more expensive batteries, so the working time would be higher.

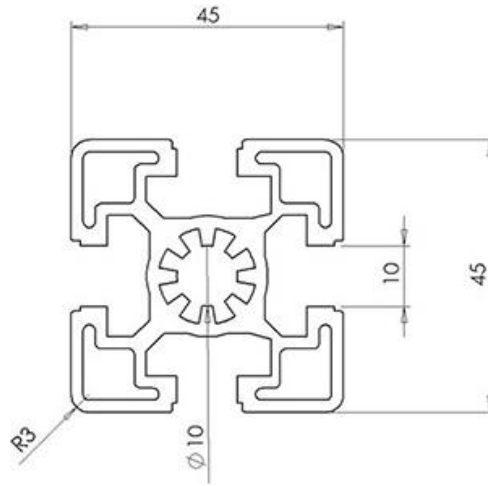
At the moment, this robot is not yet assembled, but that is due to the arrival, milling and printing of components. When the necessary details, the robot can be assembled. In all points there has been a lot of work involved and the goals set in the beginning can be considered fulfilled.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

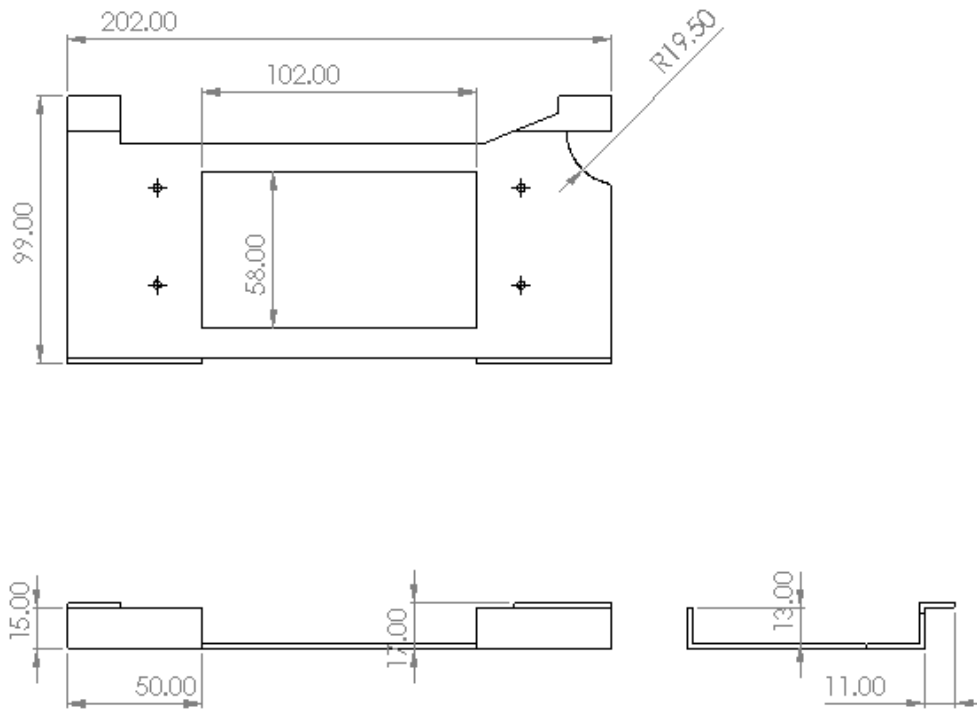
- [1] Kohapeale kinnitatud robotkäed [WWW] <https://geekyfaust.info/hardware/6-types-industrial-robot-arms-uses/>
- [2] Siinidel tööstusrobot [WWW] <http://www.trantekautomation.com/>
- [3] Ratastel tööstusrobot[WWW] https://www.robotics.org/content-detail.cfm/Industrial-Robotics-Industry-Insights/Industrial-Mobile-Robot-Safety-Standards-on-the-Forefront/content_id/6710
- [4] UR5 info [WWW] <https://www.universal-robots.com/media/1802432/e-series-brochure.pdf>
- [5] UR5 pilt [WWW] <https://www.universal-robots.com/products/ur5-robot/>
- [6] UR5 kontrolleri [WWW] <https://atngmbh.com/en/universal-robots/>
- [7] Robot Power Sidewinder [WWW] http://www.robotpower.com/products/sidewinder_info.html
- [8] Sidewinder robotpower [WWW] <http://www.robotcombat.com/products/RP-SWDR.html>
- [9] NVIDIA Jetson Nano [WWW] <https://developer.nvidia.com/embedded/buy/jetson-nano-devkit>
- [10] Noctua 80mm fan [WWW] <https://noctua.at/en/nf-r8>
- [11] Aku mahtuvuse valem [WWW] <https://www.powerstream.com/battery-capacity-calculations.htm>
- [12] Varta C40 aku [WWW] <https://patareid.ee/est/varta-c40-240ah-1200a-efb-promotive-silver-513x276x243>
- [13] Varta D15 aku [WWW] <https://patareid.ee/est/varta-d15-12v-63ah-610cca-silver-dynamic-kaivitusaku>

LISAD

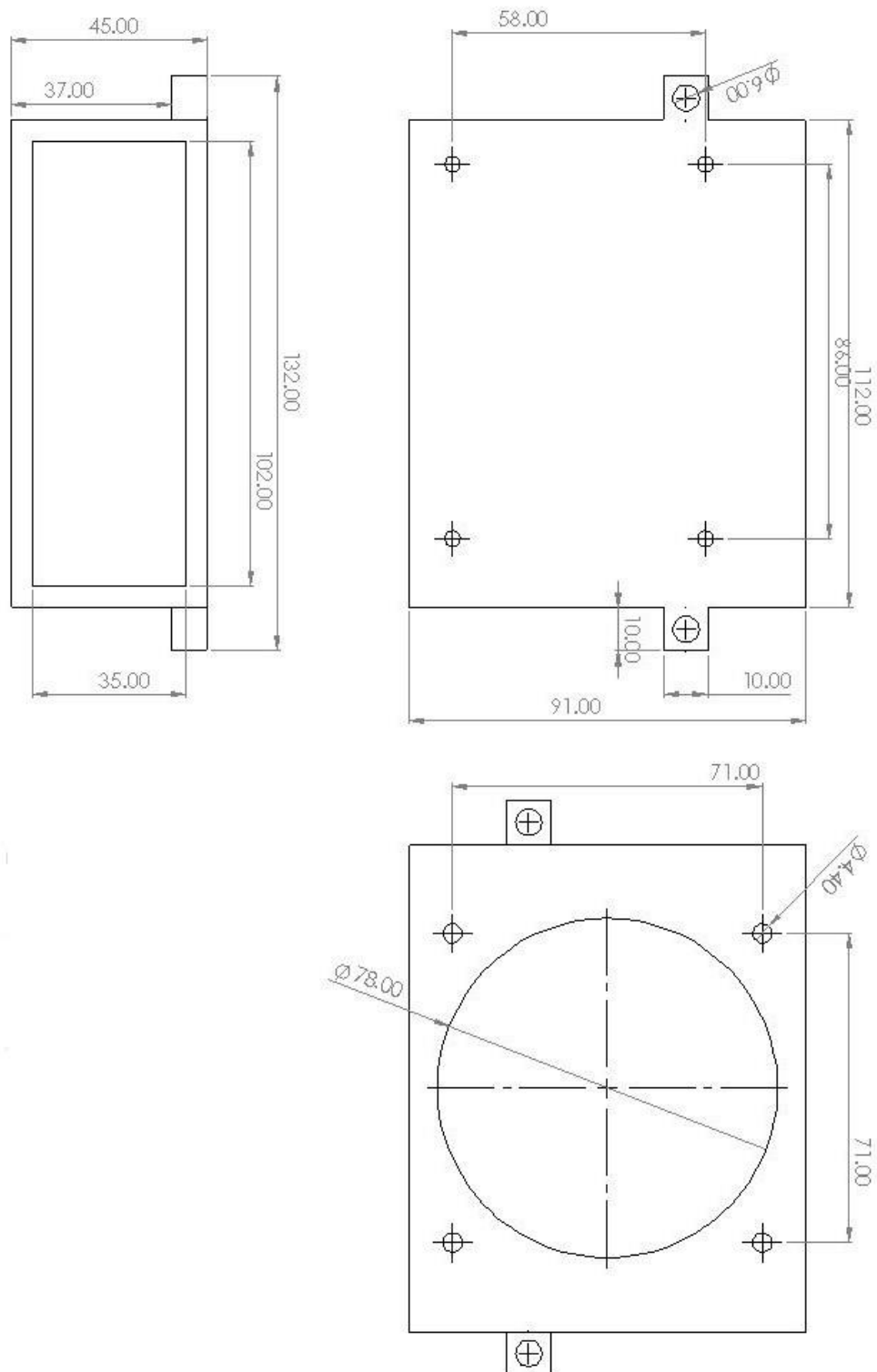
Lisa 1. Kasutatud alumiinium profiil



Lisa 2. Ekraani kinnituse mõõtmed



Lisa 3. Jetson Nano kinnitus karbi mõõtmed



Lisa 4. Lülitite paneeli mõõtmed

