



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

# **OMRON KOOSTÖÖROBOTI (KOBOT) TM5-900 ÕPPESTENDI TÄIENDAMINE**

## **OMRON COLLABORATIVE ROBOT (COBOT) TM5-900 STUDY STAND DEVELOPMENT**

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Karl Mathias Kirss

Üliõpilaskood: 193748

Juhendaja: Kristjan Pütsep, lektor

Kaasjuhendaja: Maarjus Kirs, teadur

Tallinn 2022

# 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.

"....." ..... 20.....

Autor: .....

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." ..... 20.....

Juhendaja: .....

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....." .....20.....

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina \_\_\_\_\_ (autori nimi)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja on

\_\_\_\_\_

(juhendaja nimi)

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

\_\_\_\_\_ (kuupäev)

---

<sup>1</sup> Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

## LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

*Autor:* Karl Mathias Kirss

*Lõputöö liik:* Bakalaureusetöö

*Töö pealkiri:* Omron koostööroboti (KOBOT) TM5-900 õppestendi täiendamine

*Kuupäev:* 18.05.2022

60 lk

*Ülikool:* Tallinna Tehnikaülikool

*Teaduskond:* Inseneriteaduskond

*Instituut:* Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

*Töö juhendaja(d):* Lektor Kristjan Pütsep, Teadur Maarjus Kirs

*Töö konsultant (konsultandid):* Lektor Margus Müür

*Sisu kirjeldus:*

Töö eesmärk on arendada koostööroboti õppestendi funktsionaalsust, kasutusmugavust ning ohutust läbi töötarvikute (monitor, hiir, klaviatuur, ohulülitiga juhtpult) kinnituste kavandamise, elektrisüsteemi kaitseautomaatika koostamise ning elektroonikaseadmete testimismugavuse suurendamise. Põhiline töö koosneb erinevate lahenduste uurimisest, analüüsimisest ning nende võrdlemisest, sobiva lahenduse digitaalsest integreerimisest 3D mudelite näol ning elektrisüsteemide skeemide koostamisest. Tulemusena on 3D mudelid tarvikute kinnitustest, skeem kaitseautomaatikast ning 3D mudel ja skeem digitaalsete sisend- ja väljundpesade lahendusest testseadmete kasutusmugavuse tagamiseks.

*Märksõnad:* Koostöörobot, õppestend, kaitseautomaatika, monitori kinnitus, klaviatuuri alus, juhtpuldi hoidik, bakalaureusetöö.

## ABSTRACT

<i>Author:</i> Karl Mathias Kirss	<i>Type of the work:</i> Bachelor Thesis
<i>Title:</i> Omron collaborative robot (COBOT) TM5-900 study stand development	
<i>Date:</i> 18.05.2022	60 pages
<i>University:</i> Tallinn University of Technology	
<i>School:</i> School of Engineering	
<i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics	
<i>Supervisor(s) of the thesis:</i> Lecturer Kristjan Pütsep, Scientist Maarjus Kirs	
<i>Consultant(s):</i> Lecturer Margus Müür	
<i>Abstract:</i> <p>The aim of this work is to advance a collaborative robot's study stand functionality, ease of use and safety by designing holders for accessories (monitor, mouse, keyboard, remote with emergency button), creating an automatic circuit protection system and making it easier to test new external devices in the system. The main work consists of researching, analyzing and comparing different potential solutions, then creating 3D models of the best solutions and integrating them into the study stands digital environment and finally creation of schematics. As a result, there are 3D models of relevant fixtures for accessories, schematic of the automated circuit protection system and 3D model with a schematic of the digital input and output system for new test equipment use.</p>	
<i>Keywords:</i> Collaborative robot, automated circuit protection, monitor mount, keyboard tray, remote holder, bachelor's thesis.	

# LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema:	<b>Omron koostöörroboti (KOBOT) TM5-900 õppetendi täiendamine</b>
Lõputöö teema inglise keeles:	<b>Omron collaborative robot (COBOT) TM5-900 study stand development</b>
Üliõpilane:	<b>Karl Mathias Kirss, 193748</b>
Eriala:	<b>Elektroenergeetika ja mehhatroonika</b>
Lõputöö liik:	<b>Bakalaureusetöö</b>
Lõputöö juhendaja:	<b>Kristjan Pütsep</b>
Lõputöö kaasjuhendaja:	<b>Maarjus Kirs</b>
Lõputöö ülesande kehtivusaeg:	<b>2021/2022 2022/2023 Sügis</b>
Lõputöö esitamise tähtaeg:	<b>18.05.2022</b>

---

Üliõpilane (allkiri)

---

Juhendaja (allkiri)

---

Õppekava juht (allkiri)

---

Kaasjuhendaja (allkiri)

## **1. Teema põhjendus**

Hetkel olemasoleval koostööroboti demo õppestendil puudub operaatori tööjaam. Õppestendiga tööks vajaminevad tarvikud on stendi ümber juhuslikult laiali. Antud töö arendaks demo õppestendi operaatori tööjaama läbi hoidikkomponentide modelleerimise. Töösõbralikum operaatori tööjaam muudaks õppestendiga töötamise mugavamaks ja ohutumaks, ning kogu õppestendi välimust atraktiivsemaks. Õppestendi saaks siis ka kasutada mugavamalt õppeotstarvetel ning üritustel demonstreerimiseks.

## **2. Töö eesmärk**

Töö eesmärgiks on arendada demo õppestendi kasutajasõbralikkust, visuaalset atraktiivsust ning ohutust.

## **3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:**

1. Olemasolevate koostöörobotite stendide ning muude lahenduste uurimine ning analüüs.
2. Olemasolevale süsteemile sobivate osade parameetrite määramine.
3. Võimalike lahenduste väljamõtlemine ning nende komponentide disainimine.

## **4. Lähteandmed**

Lähteandmed õppestendi tööjaama ning sobivate komponentide kohta saan töö käigus läbi mõõtmiste, analüüsimise ja arvutuste.

## **5. Uurimismeetodid**

Kavatsen läbi viia mõõtmised ja arvutused õppestendile lisanduvate osade lubatud kaalude ja jõudude kindlaks tegemiseks, olemasolevate toodete ja patentide analüüsi ning uute komponentide modelleerimise. Eesmärgi saavutamiseks kasutan arvutusi ning modelleerimiseks Autodesk Inventorit.

## **6. Graafiline osa**

Lõputöö sisaldab graafikuid, tabelleid, tehnilisi jooniseid ja skeeme.

## **7. Töö struktuur**

1. Ülevaade antud õpestandist ja selle seisundist
  - 1.1. Ülevaade koostöörobotitest
  - 1.2. Omron TM5-900 ülevaade
2. Nõuded ja piirangud uutele lahendustele
3. Olemasolevad lahendused
  - 3.1. Turul pakutuavad lahendused operaatoristendi komponentidest
  - 3.2. Patendid
4. Võimalikud lahendused
  - 4.1. Olemasolevate lahenduste sobivus antud stendil
  - 4.2. Võimalikud uued lahendused
5. Lahenduse disain
  - 5.1. Arvutused ja simulatsioonid
  - 5.2. Kooste joonised
  - 5.3. Komponentide modelleerimine
6. Lõppväljund
7. Kokkuvõte

## **8. Kasutatud kirjanduse allikad**

Tööks vajaminevate allikate hulka kuuluvad Omroni ning teiste tootjate toodete andmelehed, kirjandus koostöörobotitest ning olemasolevad patendid.

*TM5 Regular Payload Series, Hardware Installation Manual*, Omron Corporation, Jaapan 2018. [Online]. Loetud aadressil: <https://assets.omron.eu/downloads/manual>

P. Matthews ja S. Greenspan, *Automation and Collaborative Robotics: A Guide to the Future of Work*. Apress, 2020.

CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, *Human-oriented design of collaborative robots*, 2016. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169814116302748>

Festo Corporation, *The Cyber-Physical Factory*, 2021, [Online]. Loetud aadressil: <https://www.festo-didactic.com/int-en/learning-systems/learning-factories>



## **9. Lõputöö konsultandid**

Margus Müür – stendile väljapakutavate lahenduste analüüsimine ning heakskiitmine.

## **10. Töö etapid ja ajakava**

01.11.21 – 15.11.21 Antud stendi ja koostöörobotite uurimine ning ülevaade.

16.11.21 – 15.12.21 Olemasolevate lahenduste ning patentide otsimine ja uurimine.

16.12.21 – 15.01.22 Mõõtmiste tegemine ning raskus- ja jõuarvutuste koostamine.

16.01.22 – 31.01.22 Kontsept lahenduste välja pakkumine ja võimaliku lahenduse valik.

01.02.22 – 28.02.22 Kooste jooniste koostamine.

01.03.22 – 30.04.22 Komponentide modelleerimine.

01.05.22 – 18.05.22 Lõputöö vormistamine

# SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE .....	4
ABSTRACT .....	5
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE .....	6
EESSÕNA .....	11
Lühendite ja tähiste loetelu .....	12
SISSEJUHATUS .....	13
1 ÜLEVAADE .....	15
1.1 Ülevaade antud õppestendi hetkeseisundist .....	15
1.2 Ülevaade koostöörobotitest .....	17
1.3 Ülevaade Omron TM5-900 koostöörobotist .....	18
2 NÕUDED JA PIIRANGUD UUTELE LAHENDUSTELE .....	20
2.1 Nõuded monitori käele .....	20
2.2 Nõuded klaviatuuri ja hiire alusele .....	22
2.3 Nõuded ohulülitiga juhtpuldi hoidikule .....	23
2.4 Nõuded kaitseautomaatikale ning sisend- ja väljundpesade lahendusele .....	24
3 VÕIMALIKE LAHENDUSTE VÕRDLUS .....	27
3.1 Võimalikud lahendused monitori käele .....	27
3.2 Võimalikud lahendused klaviatuuri ja hiire alusele .....	31
3.3 Võimalikud lahendused ohulüliti puldi hoidikule .....	34
4 LAHENDUSE DISAIN .....	37
4.1 Komponentide modelleerimine .....	37
4.1.1 Klaviatuuri ja hiire aluse modelleerimine .....	37
4.1.2 Ohulülitiga juhtpuldi hoidiku modelleerimine .....	39
4.1.3 Monitori käe modelleerimine .....	40
4.2 Arvutused ja simulatsioonid .....	43
4.2.1 Artikuleeriva käe ühenduspunkti vastupidavuse leidmine .....	43
4.2.2 Teleskooplati deformatsiooni leidmine .....	47
4.3 Kaitseautomaatika ja I/O laiendus .....	50
4.3.1 Kaitseautomaatika lahenduse koostamine .....	50
4.3.2 Sisend- ja väljundpesade lahenduse koostamine .....	54
KOKKUVÕTE .....	56
SUMMARY .....	57
LISAD .....	60
LISA 1 Õppestendi kaitseautomaatika skeem .....	60
LISA 2 Õppestendi uue I/O lahenduse skeem .....	60

## **EESSÕNA**

Antud lõputöö teema pakkus välja ning abistas ideede ja lahendustega Mehaanika ja tööstustehnika instituudi lektor Margus Mür. Kuna õppetend paikneb Tallinna Tehnikaülikooli Paindtootmissüsteemide ja robotika demokeskuses siis on ka suur osa tööst läbi viidud seal. Põhilised algandmed on saadud konkreetse õppeliini pealt, sellega kaasnevast dokumentatsioonist ning muudest avalikest andmelehtedest ja allikatest. Mehhaanilise poolega abistas ja juhendas Mehaanika ja tööstustehnika instituudi teadur Maarjus Kirs ning vormistamise, suunamise ja tagasisidega Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi lektor Kristjan Pütsep.

## Lühendite ja tähiste loetelu

KOBOT - Koostöörobot

PP - Pistikupesa

RVK - Rikkevoolukaitse

CAD - Computer aided design (Raalprojekteerimine)

ABS - Akrüülnitriil butadien stüreen

PLA - polüpiimhape

## SISSEJUHATUS

Hetkel asub Paindtootmissüsteemide ja robotika demokeskuses üks erinevatest jaamadest koosnev simuleeritud tootmisliin nagu see võiks olla mõnes tootmisettevõttes. Liini eesmärk on tutvustada ja õpetada tudengitele süsteeme, millega nad võivad oma tulevikus erinevates tehastes kokku puutuda. Üheks puudujäägiks aga süsteemi juures on koostööroboti liigendkäe tööjaamas. Nimelt puudub tööjaamaga opereerimiseks vajalikel seadmetel oma kindlad hoidikud. Seetõttu on antud tarvikud hetkel igal pool laiali kohtades, kus juhuslikult ruumi on. Nii ei ole mugav tööd teha ning kindlasti on suurem oht inimesel viga saada või riistvaral õnnetuse tagajärjel kahjustuda. Lisaks puudub stendi seadmetel kaitse liigvoolu vastu ning stendi käsitlemine on ebamugav juhtmestiku ebapraktilisuse tõttu.

Lõputöö eesmärk on arendada õppeliini, et edendada õppijate õppimisvõimalusi, tagada tööohutus ja mugavus. Selleks tuleb luua kontseptid 3D mudelite näol tööjaama monitori, klaviatuuri, hiire ning juhtpuldi kinnitusteks. Kõigile elementidele tuleb välja mõelda lahendused, uurida olemasolevad tooteid ning koostada lõplik mudel, mis oleks võimalikult kuluefektiivne, töökindel ning täidaks kõik nõuded ergonoomilisuse vaatepunktist. Lisaks tuleb luua tööstendile ka kaitseautomaatika lahendus, mis tagaks seadmete ohutu peatamise rikke esinemise korral ning toitekaablite ja testseadmete mugavama käsitlemise lahendus.

Tootmisettevõtted ning nende tehased on tänapäeva maailmas taaskord suurt tähelepanu tõmbama hakanud kuna oleme väga aktiivselt läbimas uut tööstusrevolutsiooni. Nimelt pürgivad enamus suure tootmisega ettevõtteid „Tööstus 4.0“ suunas. Kui esimese tööstusrevolutsiooni eesmärk 18. sajandi lõpus ja 19. sajandi alguses oli masinate kasutuselevõtt tehastes, teise tööstusrevolutsiooni eesmärk 19. sajandi lõpus kommunikatsiooni ja logistika arendamine ning kolmanda tööstusrevolutsiooni eesmärk 20. sajandi lõpus digitaalsete süsteemid kasutuselevõtt siis nüüd 21. sajandi alguses neljanda tööstusrevolutsiooni eesmärgiks võib pidada kõigi nende kombinatsiooni. Kasutades erinevaid tarkvarasid ning sidudes need sensorite, kaamerate, andurite ja muude füüsiliste seadmetega on võimalik masinad üksteisega suhtlema ning koos töötama panna muutes tehased automatiseerituks, tõstes töökiirust, efektiivsust, ohutust ja kvaliteeti ning vähendades inimeste poolt nõutavat füüsilist ja üksluist tööd. Selle eesmärgiga on ka antud õppeliin loodud, et välja koolitada tuleviku spetsialistid antud vallas arendades neist valdkonna juhid, kes tööstusrevolutsiooni lipulaeva edasi veaksid. Koostööroboti tööjaama arendamine on vaid üks osa suuremast pildist aga ilma selleta oleks kogu ülejäänud süsteemi töö

oluliselt raskendatud. Seega on selle arendamine ning täiendamine tähtis osa kogu süsteemi ning õppurite heaolust.

Ülesande täitmist tuleb alustada materjalide kogumisest ning ideede lahkamisest. Peab defineerima lõppväljundi nõuded ja ootused ning vastavalt neile hakkama kujundama plaani potentsiaalsetele lahendustele. Analüüsi käigus tuleb välja tuua iga lahenduse nõrkused ja tugevused ning selle põhjal uurida olemasolevate lahenduste sobivust süsteemis. Kui mingile komponendile on sobilik lahendus juba turul saadav siis ei ole mõtet ise nullist uue lahenduse väljamõtlemist ja disainimist alustada, vaid tuleb ainult sobitada see digitaalse kaksiku täiendamiseks virtuaalsesse õppeendi ning läbi viia vastavad arvutused tagamaks sobivust. Uute lahenduste korral tuleb ka välja selgitada ja kirjeldada erinevad nüansid füüsilise lõpp-produkti konstrueerimise protsessi kohta tagades, et selle valmistamine ja kokkupanek oleks võimalik ja reaalne. Kõikidele ergonoomika elementidele tuleb koostada 3D mudelid ning need sobitada kokku olemasoleva digitaalse kaksiku mudeliga. Lisaks tuleb tagada, et lõpplahendus oleks stabiilne ning ei häiriks muude protsesside tööd. Kaitseautomaatikale ning digitaalsete sisend- ja väljundpesadele tuleb välja valida sobilikud komponendid ning koostada skeemid nende rakendamiseks.

# 1 ÜLEVAADE

## 1.1 Ülevaade antud õpestandi hetkeseisundist

Omron TM5-900 koostööroboti tööjaam, nähtav jooniselt 1.1, on osa suuremast süsteemist, mis koosneb konveieritest, autonoomsetest transpordirobotitest, automatiseeritud hoiustamisriulitest ning muudest näidissüsteemidest. Kogu süsteemi eesmärk on erinevad protsessid ning masinad üksteisega ühendada ühtseks tööliiniks, et simuleerida võimalikke lahendusi päris tootmistehases. Tudengid saavad erinevaid protsesse ja masinaid, millega nad tulevikus võivad tööstustes kokku puutuda ise proovida ja katsetada ning neid ka ise arendada.



Joonis 1.1 Omron TM5-900 koostööroboti õpestand

Antud koostööroboti otsene ülesanne süsteemis on võtta autonoomse transpordiroboti kaubakastist ühelt ettemääratud positsioonilt tööobjekt ning see asetada kõrgemal asuvale konveierile või vastupidi. Koostöörobotile saab ka anda lisajuhiseid näiteks objekti tõstmisel see ka pool pööret keerata, et objekt asetataks järgmisele tööjaamale tagurpidi või visuaalse kontrolli läbiviimine kaamera abil.

Ülesannete defineerimiseks ning tööprotsessi ja erinevate statisticate jälgimiseks on robotjaamale juurde lisatud monitor, juhtmevaba hiir ja klaviatuur ning juhtimispuult.

Neil komponentidel aga enda kindlat alust või kohta tööpingil ei ole, vaid need tavaliselt jäätakse suvalisse kohta, kus juhuslikult ruumi nende jaoks on.

Monitoriks on Dell P2419H nagu nähtav joonisel 1.2. Selle koht hetkel on paratamatult tihtipeale põrandal, kuna ei ole sobivat tööpinda läheduses, kuhu seda asetada saaks. Seetõttu on sellega töötamine äärmiselt ebamugav ning tekib ka oht sellel viga saamises pideva liigutamise tagajärjel või, kui keegi kogemata sellele otsa kõnnib.



Joonis 1.2 Dell P2419H monitor [1]

Hiireks ja klaviatuuriks on Delli KM636 komplekt nagu nähtav joonisel 1.3. Selle komplekti hea eelis on nende juhtmevaba omadus lihtsustades lõpplahenduse nõudeid, muutes tööjaama kasutajasõbralikumaks ning vähendades segadust. Lisaks näeb seetõttu stend ilusam ja ametlikum välja. Kuna tegemist on ka mingil määral mobiilse tööjaamaga, kus operaator tahaks kindlasti aegajalt liigutada oma tööpositsiooni, et paremini näha roboti väiksemaid liigutusi või roboti tööpiirkonnast eest liikuda, siis tuleb juhtmevabadus kasuks.



Joonis 1.3 Dell KM636 hiire ja klaviatuuri komplekt [2]

Tööstuses robotitega töötamisel üks põhilisi nõudeid on ohutus. Samamoodi peavad ka antud liini juures olema ohutust tagavad elemendid iga tööjaama juures. Eriti, kuna liin ei ole võre või piirdega eraldatud inimestest vaid on avalikus liikumisruumis, kus tähelepanematuse tagajärjel võib inimene või masin viga saada. Antud koostööroboti üks mitmest ohutuse tagamise viisist on ohulüliti, mis on kombineeritud juhtpuldiga nagu näha joonisel 1.4. Ohulülitel peaks aga olema oma kindel koht stendil, kust ümbruses viibivad inimesed näevad ja saavad lihtsasti sellele ligi. Hetkel on ohulüliti



samamoodi lahtiselt ning asetatud juhuslikku kohta. Sellega võib kaasneda halbu tagajärgi, kus ohtliku olukorra tekkides ei pruugi läheduses viibiv inimene teada, kus ohulüliti antud hetkel juhuslikult asub.



Joonis 1.4 Omron TM5-900 koostööroboti ohulülitiga juhtimispuul [3]

Hetkel on stendis kasutuses olevad roboti kontrolleri, 24V toiteplokk, monitor ning pistikupesad toite saamiseks ühendatud otse seinapistikutesse. Selleks on vaja nelja vaba pistikupesa aga kuna stend on mõeldud mobiilseks kasutamiseks siis ei pruugi alati nelja pesa võimalik leida. Lisaks vajab stend oma komponentide kaitseks liigvoolu eest kaitseautomaatika süsteemi, mis rikkeolukorras võimsuse lahti ühendaks. Viimaks on hetkel roboti digitaalsed sisend- ja väljundpesad kontrolleri küljes laua alla peidetud aga kuna stendil tehakse pidevalt katsetusi ja proovitakse uusi ajutisi lahendusi siis oleks kasutajale mugavam need ühendused viia kättesaadavasse kohta tööpinnale roboti kõrvale.

## 1.2 Ülevaade koostöörobotitest

Koostöörobotite tööülesanded sarnanevad traditsiooniliste tööstusrobotite omadega. Nende põhimõtte on inimestele tüütud või füüsiliselt rasked tööd muuta, kas kergemaks või need täielikult ise ära teha. Koostöörobotite eelis tavaliste tööstusrobotite ees on aga võime teha tööd inimesega samas jagatud tööalas. Koostöörobot ei pea olema eraldatud inimestest turvaseina taga ega vaja ohu ala. See võimaldab inimesel ja robotil korraga lähestikku töötada ühtse eesmärgi nimel [4].

Ohutus inimese jaoks on tagatud läbi erinevate sensorite ning koostööroboti füüsilise konstruktsiooni kaudu. Koostöörobot on tavaliselt valmistatud kergetest materjalidest

nagu alumiinium ja plastik, mis tagab minimaalse kahju inimesele või takistusele kokkupõrke korral. Sensoritega saab kindlaks määrata, kui mõni objekt või inimene on sisenenud koostööroboti tööalasse ning seeläbi vähendada roboti töökiirust ning jõudu. Kokkupõrke korral on koostöörobot võimeline pöördemomendi anduri kaudu kindlaks tegema ohuolukorra ning seejärel, kas seiskama töö või läbi viima vastavad etteantud ohuprotseduurid.

Koostööroboteid saab ka rakendada uutesse keskkondadesse ja panna täitma uusi tööülesandeid, mida traditsioonilised tööstusrobotid ei ole sobilikud täitma. Nendeks on tavaliselt rahvarohked kohad, kus ohutus on esmatähtis. Koostöörobotid saavad rahvastatud keskkondades näiteks informatsiooni jagada, materjali transportida, sööki ja jooki valmistada ning väljastada või objekte ja kohti inspekteerida.

Koostöörobotite programmeerimine võib samamoodi erineda tavalisest tööstusrobotist. Kui traditsioonilisi tööstusroboteid on siiani suuresti programmeeritud kindlate etteantud koordinaatide ja muude väärtuste kaudu siis koostöörobotite programmeerimine võib näida rohkem nagu treenimine või ette näitamine. Inimene saab juhtimispuhli abil lihtsalt läbi teha roboti liikumistrajektoori ning muud operatiivsed ülesanded ja seeläbi roboti mällu salvestada selle informatsiooni või hoopiski ise füüsiliselt roboti õigesse asendisse paika panna ja salvestada vastavad koordinaadid. Selline programmeerimisviis suurendab programmeerimise kiirust, täpsust ja lihtsust.

### **1.3 Ülevaade Omron TM5-900 koostöörobotist**

Omron TM5-900 on üks mitmest Omroni ettevõtte koostöörobotitest ning keskmise võimekusega Omroni TM seeria robotitest. See on kuue liigendiga liigendkäsi, mille maksimaalne haardeulatus on 0,9 m ning tõstevõime kuni 4 kg. TM seeria robotite võimaimad mudelid ulatuvad kuni 1,3 meetri kaugusele suutes tõsta kuni 14 kg. TM5-900 on sisse ehitatud nägemissüsteem, mis võimaldab tuvastada tööobjekte ja läheduses olevaid takistusi.



Joonis 1.5 Omron TM5-900 koostöörobot [3]

Roboti juhtimiseks on juhtpult ohulülitiga, nähtav jooniselt 1.4, ning erinevate nuppudega töö režiimide valimiseks ning spetsiaalne juhtarvuti. Koostööroboti põhjalikumaks programmeerimiseks ning andmete lugemiseks aga juhtimispuldist ei piisa vaid on vaja kontrolleriga ühendada monitor, klaviatuur ning hiir. Need aga robotiga kaasa ei tule vaid on õpepeendile ise juurde lisatud.

Robotit saab üles seada täitmaks mitmeid erinevaid ülesandeid. Seda läbi roboti tööriista lihtsa vahetamise võimekuse. Joonisel 1.5 on näha antud robotit baaskujul ilma tööriistata seega TM5-900 on lihtne alusplatvorm, millele on võimalik üles rajada just kasutajale vajaliku funktsiooniga tööjaam. Tööriistaks võib olla peaaegu iga objekt, mida on võimeline ka inimene käsitlema ning mõningal juhul ka isegi suurema massiga või suuremat täpsust nõudvad tööriistad. Võimalike tööülesannete hulka kuuluvad keevitamine, objektide asetamine ühest punktist teise haaratsi või iminapa abil, joonistamine või markeerimine, masinate teenindamine, kruvimine jne. Potentsiaalseid tööülesandeid on palju nagu on ka näha jooniselt 1.6.



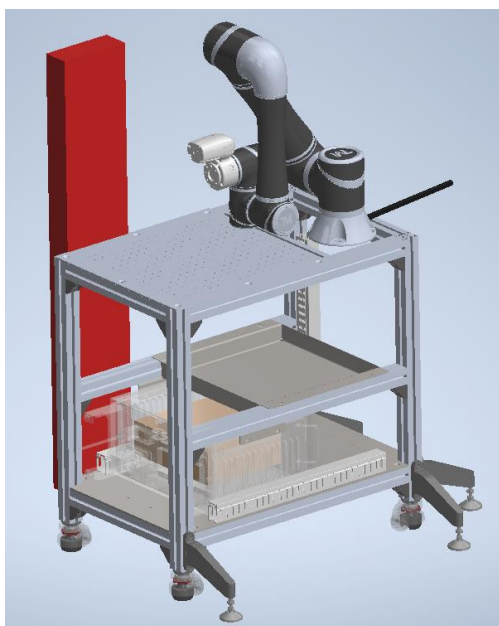
Joonis 1.6 Omron TM5-900 koostöörobot erinevate tööriistadega [5] [6]

## 2 NÕUDED JA PIIRANGUD UUTELE LAHENDUSTELE

### 2.1 Nõuded monitori käele

Kuvariks on Dell P2419H 24 tolline monitor, millel on standardne VESA 100x100 kinnituspunkt. See on turul üks levinumaid kinnitusviise ning seetõttu ei tohiks sellele lahenduse leidmine ning modelleerimine suureks takistuseks olla. Kuvar ise kaalub 3,26 kg seega peaks kuvari kinnituspunkt vähemalt sellist raskust suutma taluda [1]. Kindlasti tuleb kõik kinnitused ja muud elemendid disainida eelnevalt juba piisava varuga, et tagada ohutu ja stabiilne süsteem. Kui mobiilset monitori kätt peab liigutades stabiilsuse tagamiseks ise toetama, et see ei murduks või vigastuks siis ei ole sellel erilist mõtet.

Monitori käe asukoht stendil jääb risti robotist endast nagu kujutatud joonisel 2.1 punase kastiga. See suurendab stendi stabiilsust hajutades raskust ning tuues raskuse rohkem stendi keskpunkti poole. Juba praegu on stendile lisatud stabiilsuseks lisajalad kuna robot peab tihti kaugemale lauapiirist välja sirutama, et haarata transpordirobotilt tööobjekt. Kui see tööobjekt on liiga raske ning lisajalgu ei oleks võiks tekkida olukord, kus stendi raskuse nihkub raami seest välja ning kogu stend kukub ümber. Vajadusel saab ka teisele poole stendi raami külge kinnitada lisajalad, et tagada ohutus olukorras, kus robot ja monitor on sinna suunas välja sirutatud.



Joonis 2.1 Monitori käe koht stendil märgistatud punase kastiga

Roboti tööajaks peaks olema võimalik monitor töötsoonist eemale ohutusse kohta liigutada. Robotil on küll endal andurid, mis seiskavad töö kokkupõrkel takistusega aga see ei ole antud juhul piisav täieliku ohutuse tagamiseks. Kokkupõrke korral võib robot küll ennast peatada aga hoog kokkupõrke ajal võib olla piisavalt suur, et kahjustada monitori või robotit ennast. Seega peab olema võimalik monitori liigutada lauapiirist allapoole, kuhu robot füüsiliselt ei ulatu. Monitor peaks olema üles-alla liikudes fikseeritav vabalt valitud positsioonile. Kolm levinumat stsenaariumit, miks see vajalik on sisaldavad kõige alumises asendis monitori ohutut hoiustamist, keskmises asendis mugavat töökeskkonda istudes töötamise jaoks ning ülemises asendis mugavat töökeskkonda püsti seistes monitori kasutamiseks. Monitor ei pea käe küljes olema vabalt liigutatav ja ise fikseeruv vaid võib olla kinnitatav manuaalse kinnitusega. Käsikinnitus peaks olema aga piisavalt mugav, et seda saaks kiiruga rakendada ilma tööriistu kasutamata.

Kuna tööd roboti ümber peab saama teha kogu laua ümber siis peab ka monitori olema võimalik vaadata kogu laua ümbruses. See tähendab, et monitori käsi peab ülemises ja keskmises asendis olema võimalik keerata 180° mõlemas suunas. Kuna monitor on kontrolleri külge ühendatud juhtmetega siis ei ole nõutud ühesuunaline 360° pöörlemisulatus.

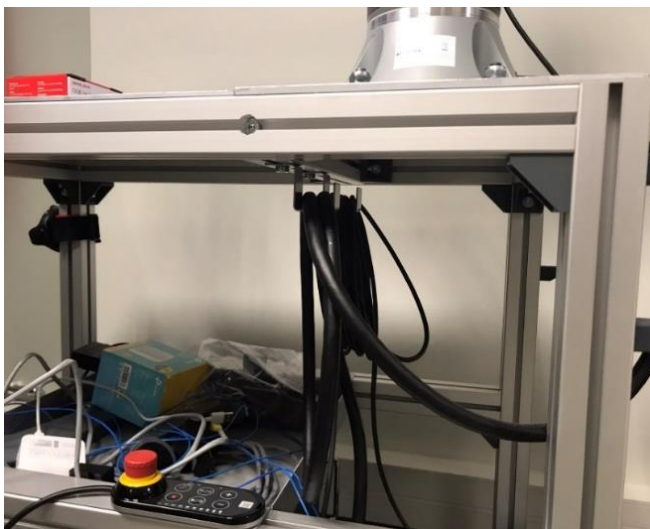
Korrasolu ja ohutuse tagamiseks peab olema monitori kaablite jaoks neile ettenähtud kanal või kinnitused, mida mööda nad laua alla roboti kontrollerrisse joosta saaksid. Selleks võivad olla, kas kinnitused monitori käe küljes, kaablite varrukas või mõni muu lahendus, mis tagaks visuaalse ja funktsionaalse heaolu.

Monitori käsi peab olema fikseeritud stendi raami külge piisavalt stabiilselt ja kõvasti, et stendi füüsilise transportimise korral ei peaks kätt koos monitoriga lahti võtma ja eraldi liigutama. Transportimisel ei tohi monitori käsi enda ja monitori raskuse all painduda ega murduda. Lisaks peavad juhtmed olema piisavalt hästi kinnitatud, et need transpordi käigus kuhugi ette ega kinni jääks ning seeläbi kahjustada saaks.

## 2.2 Nõuded klaviatuuri ja hiire alusele

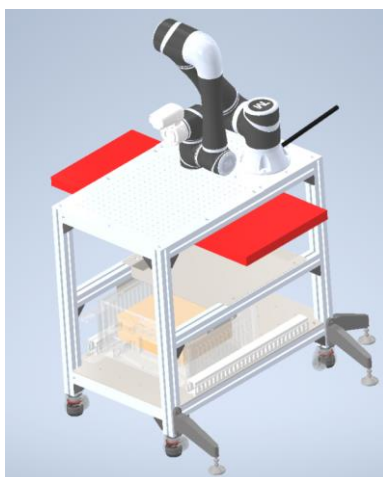
Klaviatuuri ja hiire alus peavad olema koos ning kinnitatud laua tööpinnale alla. See on nõutav selleks, et roboti töö ajaks oleks võimalik need eest liigutada ohutusse kohta. Klaviatuuri ja hiire alust ei tohi integreerida monitori käega, kuna see paneks liigselt koormust ja seeläbi pinget monitori käele ning stendi üldine raskuskeske võib nihkuda teatud olukordades liigselt monitori käe suunas põhjustades ebastabiilsust.

Tööd peab saama teha roboti ümber igast suunast. Seetõttu peab ka klaviatuuri ja hiire alus olema kättesaadav mõlemalt poolt laua laiemat serva. Alust peab saama laua alt välja tõmmata mõlemale küljele. Kuna hiirel ja klaviatuuril juhtmeid ei ole siis ei vaja need eraldi kinnitusi või juhtmekanaleid ning need saab käsitsi alusel ümber tõsta vastavalt vajadusele. Alus ei pea olema kättesaadav laua lühematest otstest. Alus peab samale küljele mahtuma juhtpuldi hoidikuga ning puldi asetamisel ning eemaldamisel ei tohi klaviatuuri ja hiire alus seda segada. Silmas peab pidama ka laua all rippuva kinnituse küljes olevaid kontrolleri ning pikendusjuhtme juhtmeid nähtav jooniselt 2.2. Võimalusel peaks nendega kokkupuudet vältima või vajadusel juhtmete konksudele leidma uus positsioon või uus lahendus.



Joonis 2.2 Roboti kontrolleri ja pikendusjuhtme juhtmete konksud

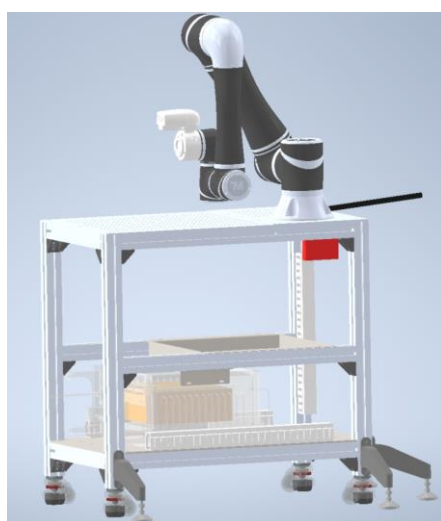
Hiire alus peaks olema materjalist, mis ei häiriks hiire optilise sensori tööd. Seetõttu ei sobi hiire ja klaviatuuri aluse pinnamaterjaliks näiteks erinevad metallid. Lisaks peaks olema mõeldud ka stendi transportile. Hiir ja klaviatuur ei tohiks kergesti maha libiseda ega kukkuda stendi transportimisel.



Joonis 2.3 Klaviatuuri ja hiire aluse koht stendil märgistatud punase kastiga

## 2.3 Nõuded ohulülitiga juhtpuldi hoidikule

Ohulülitiga juhtpuldi esmatähtis ülesanne on tagada inimesele töö peatamise võimalus võimalikult kiiresti. Ohutuse tagamiseks peab ohulüliti olema nähtavas kohas ning kergesti kättesaadav. Seega on puldi positsioon stendil paika pandud roboti lähedusse laua tööpinna alla.



Joonis 2.4 Ohulülitiga juhtpuldi hoidiku koht stendil märgistatud punase kastiga

Puldi hoidik peab olema valmistatud vähemalt osaliselt metallist, et puldi sees olevad magnetid saaks selle külge haakuda. Kuna ohulüliti võidakse vajutada hädaolukorras tugeva jõuga ning ebatäpselt siis peab selle hoidik olema disainitud sellisena, et selles ei oleks paindumist ega murdumist jõu rakendamisel ning, et ohulüliti ei tuleks selle küljest lahti, kui see ei peaks. Hoidikuga peab kaasnema lahendus puldi üleliigse juhtme korrapäraseks hoiustamiseks. Puldi juhtme pikkus ületab 1,5 m.

Hoidik ei tohi segada roboti tööd. Seega peab hoidik koos puldiga ning juhtme hoidikuga olema niimoodi paigutatud, et need ei ulatuks välja roboti tööalasse, kus võiks tekkida võimalus, et robot ise läheb puldile või ohulüliti peale. Lisaks peab tagama piisava vahe ohulüliti ja juhtpuldi hoidiku ning hiire ja klaviatuuri aluse vahel, et puldi juhe ei saaks pikapeale vigastada liigse hõõrdumise tõttu. Ohulüliti juhtpuldi juhe on puldi küljes kinni ning ei ole väljavahetatav seega, kui see peaks vigastada saama võib esiteks tekkida ohtlik olukord, kus ohulüliti ei ole funktsionaalne ning teiseks juhtme väljavahetamine nõuaks ka puldi väljavahetamist tõstes kulusid.

## **2.4 Nõuded kaitseautomaatikale ning sisend- ja väljundpesade lahendusele**

Välise 24 VDC toiteallika nominaal sisendvool on 0,66 A aga seadme enda sisse on juba disainitud 250 VAC 6,3 A automaatlülitav kaitse, mis ühendab toiteallika liigvoolu korral süsteemist lahti [7]. Küll aga on stendi modifitseerimise või hooldustööde ajaks vaja lüliti, millega oleks võimalik käsitsi antud toiteallikas pingelt alt lahti ühendada häirimata teiste süsteemide tööd. Seega saaks 24 VDC toiteallika ja välise toiteallika vahele panna automaatkaitseüliti, mis liigvoolu korral lülituks ise ümber ning samas oleks ka käsitsi võimalik ümber lülitada. Pole mõtet toiteallika sisesest kaitsmest kõrgema voolu lülituspiiriga kaitset valida vaid pigem veidi madalama. Väiksema lülitusvooluga kaitse lülituks enne toiteploki end ümber säästes sellega toiteploki kaitset ning potentsiaalselt suurendades selle eluiga. Lihtsam ja odavam on välja vahetada välist kaitset, kui kogu toiteallikast. Seega tuleks valida ühe poolusega 230 VAC automaatkaitseüliti lülitusvooluga 6 A.



Kindlasti vajab roboti kontrolleri, mille külge on ka ühendatud robot ise oma enda automaatkaitset. Kuna see on stendi põhiline komponent ning kõige kallim osa siis on mõistlik sellele oma eraldiseisev kaitse paigaldada, mis hoiaks ära seadme riknemise või hävinemise liigvoolu korral. Roboti andmelehel on välja toodud, et roboti nimivõimsus on küll vaid 200 W aga maksimaalne võimsus  $P_{robot\ max} = 1,5\ kW$ . Vastavalt valemile (2.1) tähendab see, et maksimaalse võimsuse rakendamisel ulatub vool kuni  $I_{robot\ max} = 6,52\ A$ .

$$I_{robot\ max} = \frac{P_{robot\ max}}{U} = \frac{1500}{230} = 6,52\ A \quad (2.1)$$

Kus

$I_{robot\ max}$  – roboti vool maksimaalse koormuse korral, A,

$P_{robot\ max}$  – roboti võimsus maksimaalse koormuse korral, W,

$U$  – tarbitav pinge, V.

Andmelehel on ka välja toodud, et maksimaalne väline kaitse võib olla kuni 8 A [3]. See väärtus on koosõlas arvatud vooluga maksimaalse töökoormuse korral. Sinna sobiks ühe pooluseline 230 VAC 8 A automaatkaitselüliti.

Kaitsmete poolest viimaseks oleks süsteemis vaja rikkevoolukaitset (RVK), mis oleks 230 VAC seinäühenduse ning pistikupesade (PP) vahel. See võimaldaks lihtsasti stendi testseadmeid kõik koos pinge alt lahti ühendada hooldustööde või uute lahenduste ühendamise ajaks nii, et ei peaks süsteemi füüsiliselt toiteallikast lahti ühendama ning samas kaitseks inimesi selle ümbruses rikkevoolu korral. RVK lülitusvool peaks olema sellises vahemikus, kus see ei lülituks liiga vara katkestades seadmete tööd normaalse talituse korral kuid samas ei laseks voolul liiga kõrgeks minna, kus süsteem võiks kahjustada saada. Kuna pikendusjuhtmehel on 5 pistikupesa siis võib vool normaaltingimustes kõikide pesade kasutamisel relatiivselt suureks minna. Kui võtta aluseks, et monitori nimivool on  $I_{monitor} = 1,5\ A$  ja ülejäänud katseseadmed on teadmata siis ei jää muud üle, kui arvestada, et ka ülejäänud katseseadmed jäävad sinna suurusklassi. Kui igas pistikupesas oleks 1,5 A voolu tarbiv seade siis tuleks kogu vool valemiga (2.2)  $I_{kogu} = 7,5\ A$ .

$$I_{kogu} = I_{monitor} * \text{pistikupesade arv} = 1,5 * 5 = 7,5\ A$$

Kus

$I_{kogu}$  – kõikide pistikupesade arvestatav vool kokku, A,

$I_{monitor}$  – monitori nimivool, A.

Jättes varu ka suuremate voolu tarbivate seadmete jaoks võib kasutada automaatkaitselülitiit lülitusväärtusega 10 A. Sellest suurema lülitusvoolu korral võib tekkida olukord, kus kaasaarvatud teiste stendi voolu tarbivate seadmetega võivad lülituda juba välised kaitselülitiid enne stendi enda omi. See oleks halb, kuna stendi seadmed ei tohiks mõjutada välist keskkonda.

Viimaks on vaja süsteemi ja välise toiteallika vahele ka tavalist lülitiit, mille abil saaks vajadusel kogu süsteemi ühe lülitiiga toitest lahti ühendada. See tuleks kasuks üldise stendi hoolduse korral või stendi modifitseerimisel, kus tuleb tagada, et ükski stendi süsteem ei oleks pingestatud.

Kõigile neile komponentidele tuleb ka leida sobilik hoiupaik, et õppestendi välimust hoida atraktiivsena ning eelkõige tagada ohutus ja mõistlik arusaam süsteemi ülesehitusest. Selleks vajavad lülitiid oma moodulkilpi, kus neid hoiustada. Kilp peaks olema võimalikult kompaktne kuna õppestendil ei ole vaba kasutuspinda lõputult. Kuna suuremaid muutuseid lähitulevikus õppestendi elektroonika ja kaitseautomaatika suhtes plaanitud ei ole siis ei pea ka moodulite kilp olema varuruumiga. Piisab lahendusest, mis rahuldab kõik antud hetke nõuded ja vajadused.

Viimaks, kuna stend on mõeldud pidevaks muutumiseks uute tööriistade, andurite ja muude seadmete katsetamise kaudu siis on tihtipeale vaja ajutiselt kasutusele võtta digitaalsed sisend- ja väljundpesad. Need on aga kontrolleri küljes laua all seega raskesti ligipääsetavad. Need pesad tuleks tuua õppestendi laua peale roboti kõrvale, kus oleks lihtsam ja mugavam erinevaid ajutisi ühendusi luua. Kontrolleriil endal on 16 digitaalsisendit ja 16 -väljundit võimalik ühendada aga reaalsuses ei kasutata kõiki neid ära. Seega tuleks välja tuua neist ainult pooled ehk 8 sisendpesa ja 8 väljundpesa. Seeläbi jääb ka kontrolleriil laua all vabaks 8 sisendit ja 8 väljundit. Kui mõni uus katsetatud lahendus osutub nii heaks, et võiks jätta stendile pikemaks siis saab selle ikkagi ühendada laua alla kontrolleriisse otse säilitades laual korrapärane töökeskkond.

## 3 VÕIMALIKE LAHENDUSTE VÕRDLUS

### 3.1 Võimalikud lahendused monitori käele

Üks nõue monitorile oli, et see peab olema roboti tööalast lihtsasti eest liigutatav töö ajaks. Ainus praktiline koht, kuhu selle saab ohutusse kohta peitu panna oleks roboti lauapiirist allapoole. Tavaliseks operatsiooniks ei tohiks robotil sinna liikumiseks põhjust olla ning isegi, kui oleks siis ei ulatuks ta piisavalt kaugele, et monitorile või ise endale kokkupõrke tagajärjel viga teha.

Üks lahendus üles-alla liikumise tagamiseks oleks monitor toru külge libiseva vahelülga kinnitada. Siis tekib aga probleem, et monitor on küll peidus roboti töötamise ajal aga toru, mille küljes see monitor on jääb ikkagi ohtlikult roboti tööalasse. Seda oleks võimalik lahendada mitmel viisil. Üheks viisiks oleks teha toru mitmeks osaks, mis on võimalik omavahel lihtsasti kokku ja lahti ühendada. Robotit seadistades saab torud omavahel kokku ühendada ning monitor libistada piisavale kõrgusele, kus oleks mugav istudes või seistes sellega tööd teha ning roboti tööajaks saab monitori libistada alumise toru külge ning ülemise toru alumise küljest lahti ühendada. Torusid sellise lahenduse juures peaks olema mitu aga silmas peab pidama kasutajasõbralikkust ning töömugavust. Sellisel juhul peaks torude ühendus olema lukustatav. Lukustusena saab kasutada, kas tavalist kruvikeeret torude otstes, aukudega torusid, kuhu sisse sisestada lukustusvarras nagu kasutatakse paljude jõusaali treeningmasinate kõrguste reguleerimiseks või siis näiteks pinge all olevat surunuppu mille sisse vajutamisel saab suurema toru üle nupu libistada ning torud omavahel lahti ühendada nagu kasutatakse paljude tolmuimejate torude ühendustel. Viimaks vajaks ka lahtine toru enda ajutist hoidikut roboti tööajaks, et see kuhugile suvalisse kohta laiali vedelema ei jääks.

Huanuo pakutav toode HNCM9 [8] rahuldab kõiki neid vajadusi. Maksimaalne kõrgus ulatub ühe meetrini aga, kui see kinnitada stendile alumise toetala külge siis on võimalik monitor tõsta kuni 1,2 meetri kõrgusele maapinnast. Tallinna Tehnikaülikooli töötervishoiu ja tööohutuse juhendis on sätestatud, et kuvari ülemine serv peaks jääma silmade kõrgusele töömugavuse tagamiseks [9]. Istudes on sellise kõrguse saavutamine võimalik küll aga seistes monitor nii kõrgele ei ulatuks. See ei oleks aga samas suur probleem kuna klaviatuuri ja hiirega ei ole ette nähtud püstises asendis tööd tegema seega kõrgeimas asendis kasutatakse monitori ainult demonstriivsetel eesmärkidel. Hoidikus olevat monitori oleks võimalik ka kallutamise üles-alla nagu näha joonisel 3.1.

Monitori maksimaalne lubatud raskus on määratud tootel kuni 10 kg. Kuna stendil kasutatava monitori kaal jääb 3 kg ümber siis on tagatud korralik puhver ning ilmselt tähendaks see ka stabiilset süsteemi. Vajadusel saaks veel juurde disainida lisa kinnituslülid, mida rakendada stendi raami külge vähendades kõikumisi ja paindumisi. Monitori käe vertikaalseid talasid saab keskest lahti ühendada tagamaks vaba tööala roboti töötamise ajal.



Joonis 3.1 Huanuo HNCM9 monitori käsi [8]

Tõenäoliselt muutub selle lahenduse torude kokku-lahti ühendamine tülikaks ning selle kasutamist hakatakse vältima. Seega teine viis toru liigutamiseks oleks kasutada teleskoobi taolist süsteemi, kus üks väiksema läbimõõduga toru läheks teise suurema sisse. Sellega kaoks vajadus torusid omavahel lahti ühendada. Innovative Design Works pakub sellist teleskooplahendust oma 9183 tootega nähtav joonisel 3.2 [10]. Antud disaini eelisteks on piisav liikumisulatus tagades mugava töökeskkonna nii istudes, kui ka informatsiooni kuvamiseks püsti seistes ning töö ajaks on võimalik monitor lauapiirist alla viia. Monitor oleks võimalik liigutada töötsoonist välja lihtsa käsilukustuse avamisega. Maksimaalne monitori kõrgus ulatub 1 m ning käsi on võimeline hoidma üle 11 kg raskust eset. Monitori nurka oleks küll võimalik reguleerida 180° ulatuses üles-alla ning keerata paremale-vasakule 180° mõlemas suunas aga operatori suhtes lähemale ja kaugemale ei ole võimalik monitori liigutada. See teeks küll disaini stabiilsemaks ning robustsemaks aga kuna monitori käsi paigaldataks ühele poole laua serva ning selle asukoha liigutamine ei kuulu tööülesannete hulka. Monitor võib jääda operaatrist üle meetri kaugusele. Tallinna Tehnikaülikooli töötervishoiu ja tööohutuse juhendis on välja toodud, et monitor peaks jääma kasutaja silmadest 0,5 kuni 0,8 m kaugusele seega võib sellega töö tegemine osutada ebamugavaks. Kuna stend on mõeldud õppe eesmärgil siis võib tihti tekkida ka vajadus monitoril olevat informatsiooni

teistega ruumis jagada ning ilma piisava mobiilsuseta võib esineda probleeme. Seega on tegu suure miinusega antud õppestendi jaoks ning ilma modifikatsioonideta ei sobiks antud disain lõpplahenduseks.



Joonis 3.2 Innovative Design Works toode 9183 [10]

Kui monitoriga töötamine püsti seistes ei oleks oluline siis oleks sobiva valmislahenduse leidmine lihtne. Enamus mobiilsed monitorikäed, mis on turul pakutavad ei ole mõeldud kuni meetriseks üles-alla liikumiseks ning lisaks ei ole need mõeldud ka selleks, et monitor peaks olema suuteline vabalt liikuma oma lauaga kinnituspunktist alla. Viimast saaks kompenseerida küll madalama kinnituspunktiga laua raami küljes aga sellega tekib ikkagi probleem, et kõige ülemises asendis ei pruugi olla monitor piisavalt kõrgel, et seda püsti seistes või isegi istudes kasutada.

Monitori üles-alla liikumine ning küljelt-küljele pööramine on eelmainitud lahenduste poolt tagatud aga viimane nõutav mobiilsuse aste operaatori suhtes sisse ja välja ei ole head lahendust saanud. Seda liikumisastet võiks olla võimalik muuta ilma kinnituse manipuleerimiseta. Seega ei saa uuesti kasutada teleskooplattide süsteemi. Populaarseim ning antud juhul ka kõige mõistlikum süsteem viimase nõutava liikuvusastme tagamiseks oleks artikuleerivate lülidega käsi nagu nähe joonisel 3.3 ning nagu on kasutusel Huanuo tootel.



Joonis 3.3 Artikuleeriv liigendkäsi [11]

Monitori kinnituspunkt peab eelkõige vastama VESA 100x100 standardile. Seda omakorda aga ühendada artikuleeriva liigendi külge on mitmeid võimalusi. Üks nendest võimalustest oleks kuulliigendiga kinnitus. See võimaldaks monitori kallutada ning asetada mugava nurga alla vastavalt tööpositsioonile ja vajadusele. Funktsioneeriva kuulliigendi valmistamine aga ise ei ole praktiline selle keerukuse tõttu. Kuna parim viis komponendi valmistamiseks on 3D printimine plastikust siis ei pruugi materjal pikaajalisele intensiivsele kasutusele vastu pidada. Antud lahenduse tooteid on küllal turul saadaval. Näiteks pakub Novus toodet *TSS Folding Arm III* [12], millel on kasutusel nõuetele vastav kuulliigend. Lisaks on selle toote eeliseks ka artikuleeriva liigendiga käsi.



Joonis 3.4 Kuulliigendiga monitori kinnitus ja artikuleeriv käsi Novus *TSS Folding Arm III* [12]

Negatiivseks omaduseks Novuse lahenduse juures antud õppestendi suhtes on selle kinnituspunktid, mis ei sobiks toru välispinnale ühendamiseks. Need kinnituspunktid saaksid haakuda ainult stendi toetalde külge. Monitori käe disainis aga sarnast toetala kasutada ei saaks kuna see ei võimaldaks 180° pöörlemist ümber oma telje. Seetõttu peaks valima ühe külje, kust poolt monitoriga enim tööd tehakse ning selle lahendusega leppima. Lisaks ei võimaldaks toetala kasutamine rakendada teleskoopsüsteemi, kuna need talad ei ole mõeldud üksteise sisse minema vaid saaks kasutada ainult mitme

eraldatava toe disaini. Jällegi, kuna talad ei ole üksteise sisse kinnitatavad siis tuleks sellele juurde disainida lisa väline kinnitus, mis ühendaks kaks tala otsapidi üksteisega. See lisaks lõpplahendusele liigseid samme kahjustades disaini kasutajasõbralikkust ning praktilisust.

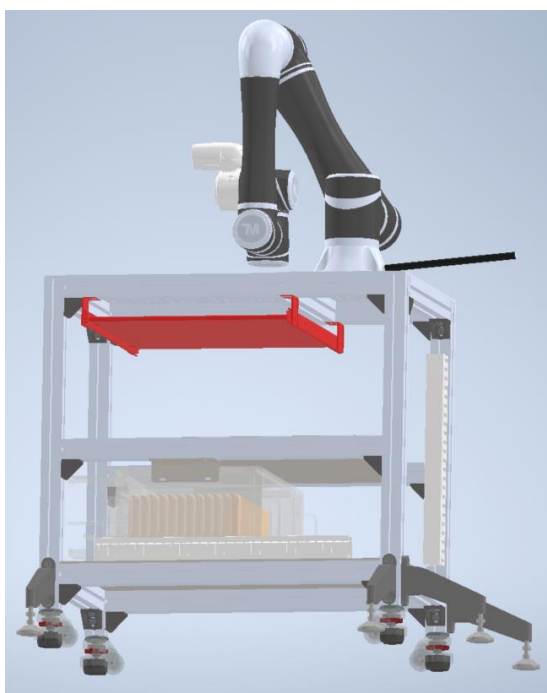
### **3.2 Võimalikud lahendused klaviatuuri ja hiire alusele**

Lahendus, mis on kasutusel paljudel arvutilaudadel on rullikutel libisev hiire ja klaviatuuri alus. Selle eelis tarvikute laual hoidmise ees on see, et nii saab tekitada lauale lisa ruumi. Enamasti on need alused välja tõmmatavad ainult ühes suunas, kuna tööjaam ei nõua olulist tööpositsiooni muutust. On aga olemas ka kahele poole välja tõmmatavaid lahendusi. Kuna sahtlisiinide disainimine nullist oleks ajanõudlik ning prototüüpide valmistamine kulukas siis parim viis probleemi lahendamiseks oleks leida sobilikud kahesuunalised sahtlisiinid ning neile disainida laua kinnitused ning sobilik tööpind klaviatuuri ja hiire jaoks.

Accuride 2002 seeria siinid sobiksid antud lahendusse. Need on kahes suunas liikuvad, nagu nõuetes kirjeldatud ning neil on kataloogis pakkuda eri mõõtmetes siine. Antud stendile sobiks kõige paremini 2002-20 mudel [13], kuna kinnitusaugud on õigete kohtade peal, et kasutada olemasolevaid raami vahesid. Vastasel juhul, kui valida lühem siin siis peaks laua alla juurde lisama raame, et saaks alust kinnitada laua külge või valmistama keerukad ühenduslülid. Siinide kandevõime on spetsifikatsioonide järgi 23 kg. Kuna tööalusel klaviatuuri ja hiirt kasutades tõenäoliselt toetab operaator oma käed sinna peale siis ongi sellist lisaruumi raskuse taluvuses vaja. Kuna tegu on komplektsema siiniga siis on ka hind ühe siini jaoks relatiivselt kallis. Nimelt jääb ühe 2002-20 mudeli siini hind 2022 aasta kevade seisuga 40 € ringi. Aluse koostamiseks oleks vaja kahte siini. Küll aga, kuna ülejäänud komponentide hind aluse koostamisel on relatiivselt madalad siis jääkski kogu aluse maksumus alla 100 €.

Miinuseid sellise lahenduse juures oleks aga paar. Näiteks juhul, kus on pidevalt vaja laua poolt vahetada klaviatuuri ja hiirega töö tegemisel, kuna kui alus tõmmata välja teisele poole siis oleksid ka hiir ja klaviatuur operaatori suhtes valet pidi. Nende ümber tõstmine ei ole aga suur probleem, kuna tarvikud on juhtmevabad. Lisaks oleks mugava

opereerimise jaoks vaja klaviatuurile ja hiirele laiuses ruumi vähemalt 0,6 m. Õppetend võimaldab küll maksimaalselt 0,71 m laiust lisandit laua alla aga osa sellest ruumist kulub ka ohulüliti puldi hoidikule ning nurgatugedele. Seega peaks arvestama, et maksimaalne klaviatuuri ja hiire pinna laius saaks olla klaviatuuri laius, ehk 0,442 m sest ohulülitiga juhtpuldi hoidiku laius on vähemalt 0,15 m ning kahe nurgatoe laius kokku on 0,08 m jättes klaviatuuri alusele maksimaalselt 0,48 m. Lisaks vajavad ka klaviatuuri aluse laua kinnitused väikest ruumi. Sügavusega probleemi aga ei teki, kuna liugalus on umbes sama sügav, kui roboti laud on lai. Tänu sellele saaks nii klaviatuuri, kui ka hiirt ikkagi kasutada samal alusel, lihtsalt mitte kõrvuti.



Joonis 3.5 Siinidel klaviatuuri alus laiusega 0,44 m märgistatud punasega

Klaviatuuri ja hiire aluse võimalik lahendus, mis elimineeriks osaliselt laiuse puuduse ning ka tarvikute manuaalse ümbertõstmise vajaduse sarnaneb siinidel väljatõmmatava tööpinnaga oma tööpõhimõttelt. Tööalus liigub mööda rööpaid edasi-tagasi. Erinevus esimese lahenduse suhtes antud õppetendis on rööbaste laius ning tööpinna võime keerata 360°. Laua külge kinnitatav osa laius on oluliselt väiksem ning tööpind on toodud madalamale. Seeläbi laheneb ohulüliti puldi mahtuvuse probleem, kuna tööpind ei ole ohulüliti puldiga samal tasemel vaid liigub selle alt mööda. Sarnaseid lahendusi pakuvad Eureka Ergonomic oma *Adjustable Keyboard Tray* tootega [14] ja Innovative Design Works oma *KT8-27* tootega [15].

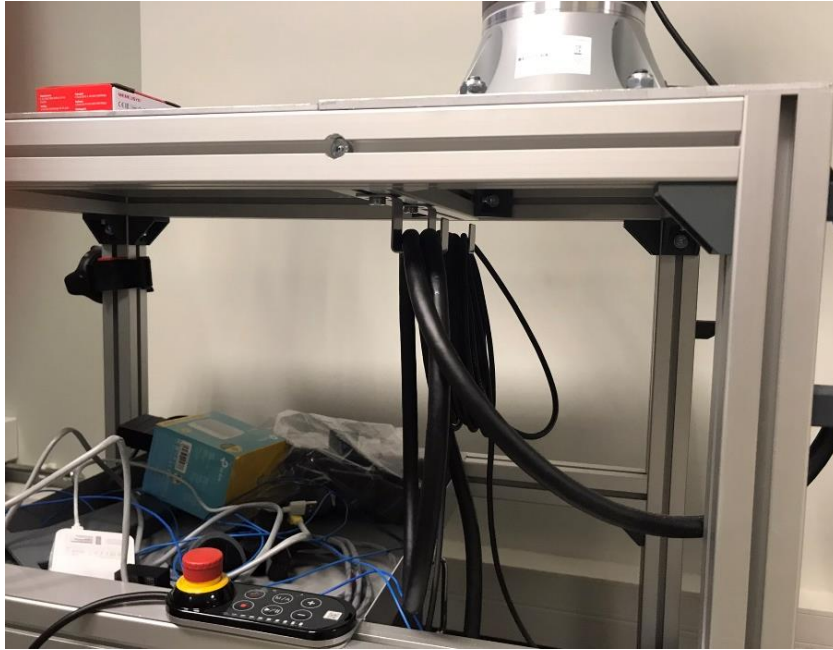




Joonis 3.6 Eureka Ergonomic *Adjustable Keyboard Tray* [14]; Innovative Design Works KT8-27 [15]

Eureka lahenduse eelis on kõrgendatud kinnituspunktid, mis võimaldavad klaviatuuril ja hiirel kergemini mööduda töölaua tugitaladest ja ohulülitiga juhtpuldist. Liugrööpad kinnitused laua külge kasutades kahte tugitala laua all rööbiti lühema küljega. Hetkel on üks tugitala laua all olemas aga see on mõeldud koostööröboti aluse toestamiseks. Lisades kaks tala veel saaks need paigutada vastavale kaugusele üksteisest, et need joonduksid klaviatuuri aluse liugrööbaste kinnitusvahedega. Negatiivne omadus Eureka toote puhul, mistõttu see lahendus tõenäoliselt ei ole sobilik antud stendile on tööpinna liigne laius selle keeramisel. Õppetendi pikima külje sisemine laius on 0,71 m aga Eureka tööpinna raadius keeramisel ületab selle. KT8-27 toode ulatub kuni 0,69 m laiusesse, seega mahtudes napilt laua alt välja eriti silmas pidades veel ohulüliti puldi hoidikut. KT8-27 talub ka rohkem koormust, kui Eureka klaviatuurialus – üle 11 kg. Lisaks on KT8-27 kasutajasõbralikum ja mugavam tööpinna nurga kerge reguleerimisvõimaluse tõttu. Pole vaja midagi lahti keerata, et tööpinna nurka vahetada, vaid on võimalik seda teha nupu all hoidmisega. Paraku ka KT8-27 negatiivseks omaduseks on selle liigne pööramisraadius tööpositsiooni muutmisel seega muutes lahenduse kõlbmatuks.

Kuna laua alla on viidud üleliigsed juhtmed ning need kinnitatud laua pinna alumisele küljele rippuvalt siis tuleks lahenduse koostamisel ka nendega arvestada. Juhtmete kinnitusteks on lihtsad konksud kinnitades laua külge ühe poldi ja mutriga seega vajadusel saaks need ümber paigutada teise kohta. Siinidel liugaluse kasutamisel ei ole juhtmed probleemiks, kuna need on kinnitatud laua all oleva keskmise tala külge ning siinid ei ulatu nendeni. KT8-27 või Eureka lahendust kasutades tuleks aga küll juhtmetega arvestada. Kõige lihtsam lahendus oleks juhtmed ümber paigutada laua külgmisele talale.



Joonis 3.7 Juhtmete kinnitused laua all

### 3.3 Võimalikud lahendused ohulüliti puldi hoidikule

Techman Robot pakub oma robotitele ka ohulülitiga juhtpuldi hoidiku lahendust nähtaval joonisel 3.8 [16] aga antud stendi jaoks ei rahulda see lahendus määratud nõudeid. Puldi kinnituspunkt peaks olema stendi lauapinnast allpool tugitala alumisel küljel. Antud valmislahendust saaks ainult paigaldada, kas laua peale või siis laua tala välimisele küljele nii, et see ulatuks laua piirist välja. Kuna roboti tööpiirkond hõlmab laua kõrval laua piirist madalamal olevat ala siis võib tekkida kokkupõrge roboti ja ohulüliti vahel. Kuna turul teisi lahendusi komponendi hoidikule ei esine siis tuleks luua ise vajadustele ja nõuetele vastav lahendus. Kuna detail on niivõrd väike, et seda on võimalik 3D printida siis saab ka lahendust kujundada võimalikult vajadustele spetsiifiliselt.



Joonis 3.8 TM roboti juhtpult hoidikus [16]

Disain peaks olema piisavalt vastupidav ja tugev, et ohulüliti hädaolukorras lüües see ei painduks ega murduks. Kui lahenduse valmistamiseks kasutada 3D printerit siis tuleks detail plastikust seega ohulüliti lüües on oht detaili murdumisel. Vastupidavuse tagamiseks tuleks eelkõige tagada hea disain ning seejärel ka hea plastik materjal, millest detail printida. Veel üks hea viis detaili tugevuse suurendamiseks on kasutada 100% täituvust 3D printimisel. See tagab maksimaalse tihedusega prindi tugevdades detaili struktuuri. Selle miinus on materjali kulu suurenemine ning printimise aeg, küll aga, kui on tegu detailiga, mis peab pingeid taluma siis on see igati mõistlik. Kaks levinumat 3D printimise materjali on akrüülnitriil butadien stüreen (ABS) ja polüpiimhape (PLA). Nendest aga ABS on eelistatud kasutuseladel, kus tugevus ning vastupidavus on olulised [17]. Kui välimus ning detailide visuaalne pool oleksid tähtsad siis kalduks materjali valik PLA poole aga, kuna tegu on lihtsa hoidikuga tööstusrobotil siis ei mängi visuaalne pool nii väikese detaili puhul olulist rolli antud. Kahest levinud 3D printimise plastikmaterjalist antud kasutusjuhtumi korral oleks parem valik ABS. Lisaks tähendab see veel ka seda, et ei pea otsima ning soetama uut 3D printimise materjali ühe komponendi valmistamiseks vaid see on lihtsasti kättesaadav.

Juhtpuldil on 4 magnetit tagumisel pinnal, millega see on võimeline kinnituma metallist konstruktsioonide külge. Kuna aga stendi talad on alumiiniumist siis ei saa seda ükskõik kuhu kinnitada. Seega peab hoidikul olema sisse integreeritud metallist pind, millele saaksid puldi magnetid haakuda. Hoidiku disaini saab sisse integreerida õigetes mõõtmetes tühimiku, kuhu peale välja printimist sisestada magnetiga reageerivast metallist plaat. Plaadi saab kinnitada plastikhoidiku külge süvistatud poldiga, et poldi pea ei jääks ette ohulüliti puldile.

Ohulüliti puldi hoidiku horisontaalse orientatsiooni nõue tuleneb puldi nuppude orientatsioonist, et oleks mugavam pulti oma hoidikus kasutada ja ei peaks seda sealt välja võtma iga muudatuse tegemiseks. See on klaviatuuri alust silmas pidades pigem

halb sest kindlasti tekib olukordi, kus puldi eemaldamisel hoidikust riivab see klaviatuuri alust põhjustades rohkem kulumist. Sellega seoses peavad siis ka puldi kinnitused olema disainitud nii, et need ei varjaks funktsiooninuppe ega nende märgistusi.

Ohulüliti pult on ühendatud laua all oleva roboti kontrolleri külge juhtmega. Juhtme pikkus ületab 1,5 m. Sujuva ning ohutu stendi transpordi tagamiseks vajab see üleliigne juhe oma hoidikut stendil. Roboti juhe, mis on ühendatud kontrolleri ja pikendusjuhe on rulli keeratud konksudele laua all nagu nähtav joonisel 3.7 ning teoorias saaks lisada sinna ühe konksu veel ohulülitiga juhtpuldi juhtme jaoks juurde aga need konksud on ise käsitsi valmistatud, mistõttu ei ole need kergesti saadavad. Seega, kuna ohulüliti puldi hoidik on mõeldud 3D printeriga valmistada siis saaks sellele komponendile juurde integreerida sarnase konksu. Konksu saaks lisada hoidiku tagumisele küljele, et see ei häiriks puldi kasutamist ning kättesaadavust. Lisaks jätaks see stendile ilusama mulje, kui juhe on laua piirist kaugemal ära peidetud.

## 4 LAHENDUSE DISAIN

### 4.1 Komponentide modelleerimine

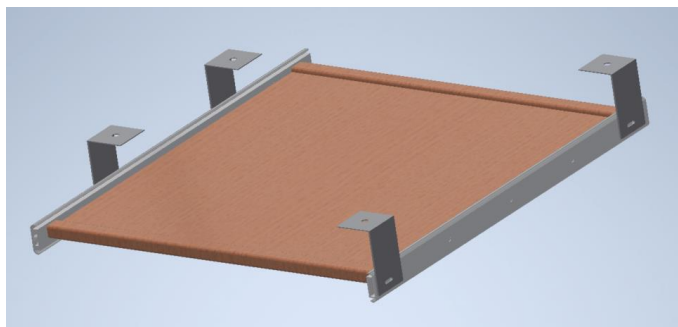
#### 4.1.1 Klaviatuuri ja hiire aluse modelleerimine

Kuna ainsaks sobivaks disainiks osutus siinide lahendus siis saab koostatud Accuride siinidel klaviatuuri liugalus ning sellele kinnitused, millega laua raami alumise küljega ühendada. Nii on ka hea näha, kuidas see õppestendi digitaalse kaksikuga kokku sobib ning tuvastada potentsiaalseid probleemseid kohti. Siinide 3D mudelid [13] on avalikult saadavad tootja kodulehel lisade all. Kuna siin on piisavalt universaalne ning kättesaadav komponent siis ei ole mõtet ise oma kahe-suunalist siini koostada vaid võtta valmistoode ning selle ümber luua vajalik disain.

Klaviatuuri alus on lihtsasti kinnitav siinide külge, kuna siinidel on juba spetsiifiliselt selleks mõeldud kinnituspinnad avadega sisse ehitatud. Klaviatuuri aluse laius on piiratud õppestendi laiuusest ning ohulülitiga juhtpuldi hoidiku suurusel. Kuna klaviatuuri alus ning juhtpuldi hoidik peavad mahtuma stendi laua alla kõrvuti siis ei ole võimalik klaviatuuri alust teha nii laia, et kõrvuti mahutada klaviatuur ja hiir. Küll aga on võimalik teha klaviatuuri alus piisavalt sügav, et kõik tarvikud mahuvad vähemalt alusele ära ning tööd on ikkagi mugav teha. Seega saab seada klaviatuuri aluse maksimaalseks laiuseks klaviatuuri enda laiuse ehk 0,442 m. Klaviatuuri aluse sügavuseks saab võtta kogu õppestendi sügavuse ning seeläbi ikkagi tagada ka koht hiire jaoks, milleks on klaviatuuri ees. See ei ole küll traditsiooniline ülesehitus aga antud olukorras on see piisav. Aluse otstesse on mõistlik lisada kuni 1 cm kõrgendused, et sellel olevad komponendid kogemata aluse ottest maha ei libiseks. Alus ise on kõige mõistlikum koostada puidust. Esmatähtis on see, et puitalus võimaldab hiire optilisel sensoril korrektselt toimida. Metallsel pinnal võib hiire sensor suure tõenäosusega tõrkuda, kuna juba praegu ei ole võimalik arvuti hiirt kasutada õppestendi laua pinnal. Puit on ka lihtsasti kättesaadav, relatiivselt odav võrreldes metallidega, kerge, lihtsasti töödeldav ning kasutajale kindlasti meeldivam kokkupuutel. Aluse disain on nähtaval joonisel 4.1.

Viimaks vajab alus kinnitusi, millega ühendada stendi külge. Mõistlik on kasutada nurgikut, mille augud saab asetada kohakuti siinide paigaldusavadega ning stendi raami

piludega. Ühel pool on nurgikud ühendatud siini keskmiste paigaldusavadega, et kinnitada need õpepsti lühema külje välise tala külge. Nii saab vältida stendi raami nurgatugesid ning võidab 40 mm ruumi laiuses. Kõrguse reguleerimine antud aluse puhul ei ole oluline seega piisab vaid, et alus klaviatuuri ja hiirega oleks nurgikutest madalamal.



Joonis 4.1 Siinidel klaviatuuri aluse 3D mudel

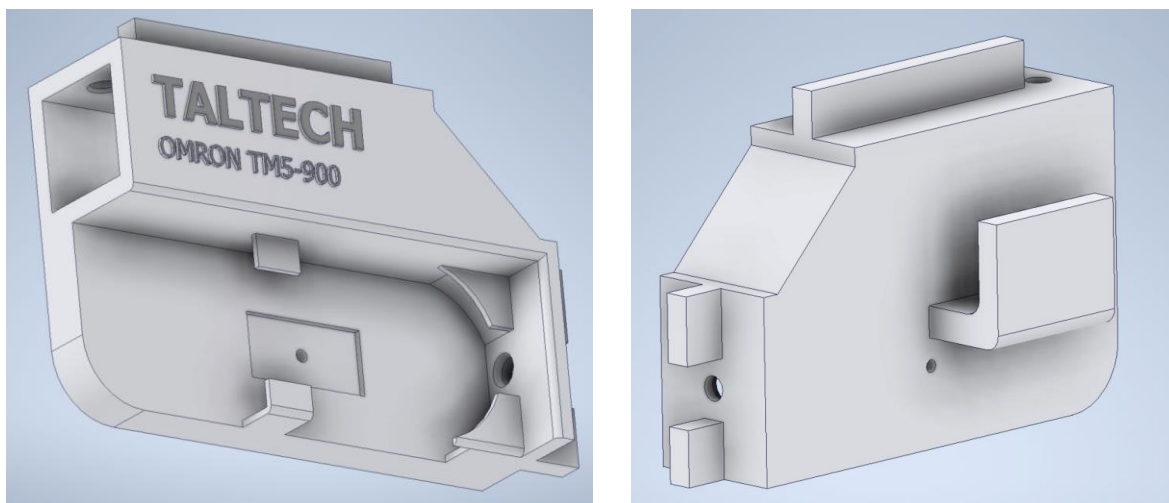
Innovative Design Works toote KT8-27 ergonoomilise klaviatuurialuse 3D mudel on saadaval tootja kodulehel [15] ning sellega on hea võrrelda lahenduse sobivust stendil nagu näha joonisel 4.2. Aluse tööpinna laius ulatub kuni 0,69 m ning on mugavalt võimalik hoiustada laua all aga kuna alust ning laua kinnituskohata ühendab veel vahelüli siis suurendab see klaviatuuri aluse 180° ümberpööramiseks vajaminevat diameetrit kuni 1,1 m ulatuseni. Seda diameetrit oleks võimalik vähendada vahelüli reguleerimisega ning allapoole suunamisega aga üldpildis ei oleks lahendus mugav või ei toimiks üldse antud õpepstil. Seetõttu on kasutuses lõppdisainis lihtsam ning töökindlam siinide versioon klaviatuuri ja hiire aluseks.



Joonis 4.2 Innovative Design Works KT8-27 mudel õpepsti mudelis

#### 4.1.2 Ohulülitiga juhtpuldi hoidiku modelleerimine

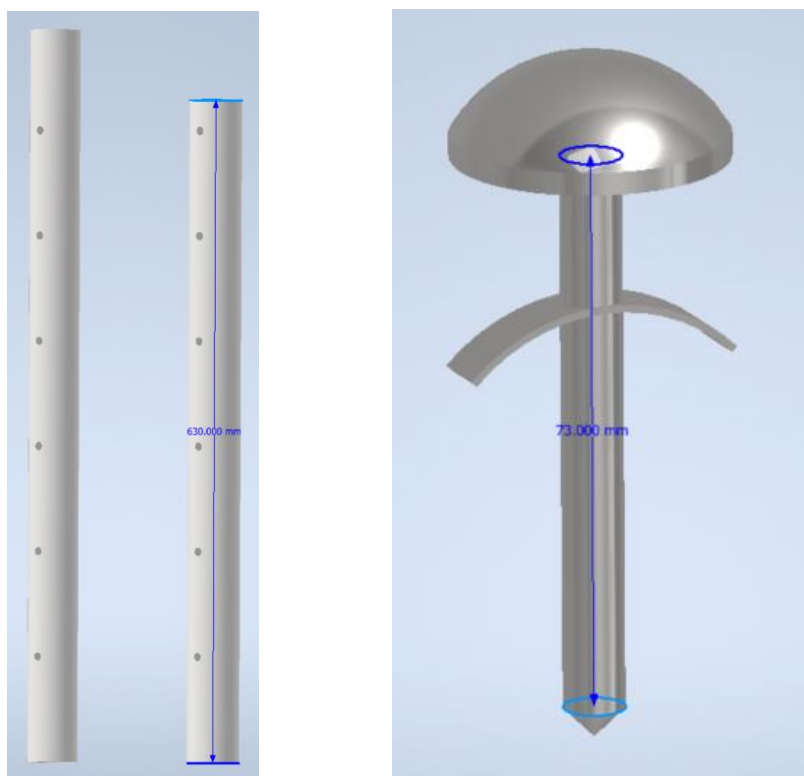
Koostada saab ohulülitiga juhtpuldi hoidik, et võrrelda selle sobivust ning mahtuvust stendis klaviatuurialuse kõrvale. Kuna hoidik on mõeldud 3D printida siis saab selle kuju valmistada spetsiifiliselt vajadusele. Ei pea arvestama standardsete komponentidega ega käsitsi valmistamise protsessiga. Praktiliselt ainus arvestus koostamisele peab olema komponendi suurus. Kuna juhtpuldi tagumisel poolel on 4 magnetit, mis võimaldavad puldil kinnituda metallist konstruktsioonide külge siis tuleks neid hoidiku disainis ära kasutada. Hoidik ise on ABS plastikust seega tuleb selle sisse integreerida metallist plaat, millega magnetid haakuksid. Selleks on vaja vaid ühte 1 mm sügavust väljalõiget, kuhu sisse saab kinnitada vastava suurusega metallplaadi. Selleks, et mitte kaotada horisontaalset ruumi stendi raami nurgatoele tuleb puldi hoidik nihutada sellest allapoole. Ainult ühel küljel olevast toestusest aga ei piisa seega on vajalik disainida ka toestusviis ülemise horisontaalse raamitala külge. Ruumi ning materjali mõistliku kasutamise eesmärgil on integreeritud puldi hoidikusse hoiustamistasku juhuslike väikeste objektide jaoks. Hoidik ise kinnitub stendi vertikaalse raamitala külge ühe poldiga ning ülemise horisontaalse raamitala külge teise poldiga. Lisaks on väljaulatuvad pilud, mis käivad raami vahesse ning tagavad hoidikul lisa jäikuse. Juhtpulti ennast hoiab hoidiku küljes neli naga ning eelnevalt mainitud magnetid. Viimaseks visuaalseks lisandiks on „TALTECH“ ja roboti nimi lisatud hoidikule. Lõplik ohulülitiga juhtpuldi hoidiku 3D disain on nähtaval joonisel 4.3.



Joonis 4.3 Ohulülitiga juhtpuldi hoidiku 3D mudel

### 4.1.3 Monitori käe modelleerimine

Monitori käe modelleerimisel esimesed elemendid on teleskoopsüsteemiga kõrguse reguleerimise torud. Nende ümber saab hakata koostama teisi komponente. Torude sisse on tehtud läbivad augud, mis jooksevad mööda toru pikemat telge ning korduvad iga 0,1 m tagant. Need on kõrguse fikseerimiseks nagu tihtipeale kasutatakse jõusaali tehnikas. Kõrguse fikseerimiseks on vaja metallvarrast, mis saab sisestada ühte valitud auku, kui mõlema toru augud on joonu üksteisega. Metallvarda pikkus peab minimaalselt olema suurema toru välimise läbimõõdu pikkune. Praktiliseks kasutamiseks on mõistlik teha see pikem. Lisaks on kinnitusel juurdes element, millest on võimalik mugavalt käega kinni haarata. Käepidemega saab vältida tööriistade vajadust monitori liigutamiseks, et kõike oleks võimalik käsitsi reguleerida.

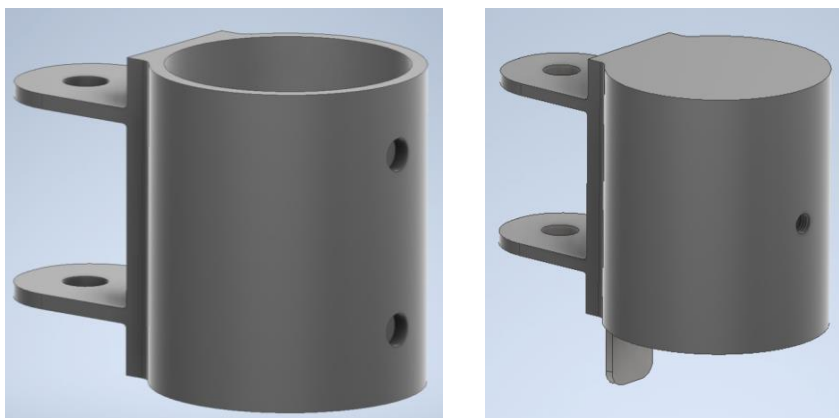


Joonis 4.4 Teleskooptorude ja fikseerimisvarda 3D mudelid

Artikuleeriva liigendi ning kõrgust reguleeriva toru ühenduse leiab avalikust 3D mudelite jagamise keskkonnast [18]. Saadud mudel on mõeldud toru küljes libisema kõrguse reguleerimiseks aga antud lahenduse juures peab see olema fikseeritud toru ülemisele otsale, kuna ülemine toru on juba reguleeritav alumise toru suhtes. Selleks on komponendi pealmise ava suletud nagu nähtav võrdlusena joonisel 4.5. Ühenduse küljel



olevad pingutusaugud on asendatud ühe auguga, kuna antud juhul piisab sellest komponendi kinnitamiseks. Viimaseks on pikendatud ühte profiili, et sellele juhtmete suunamise hoidik kinnitada.



Joonis 4.5 Algse ühenduse 3D mudel võrdluseks lõplikku ühenduse 3D mudeliga

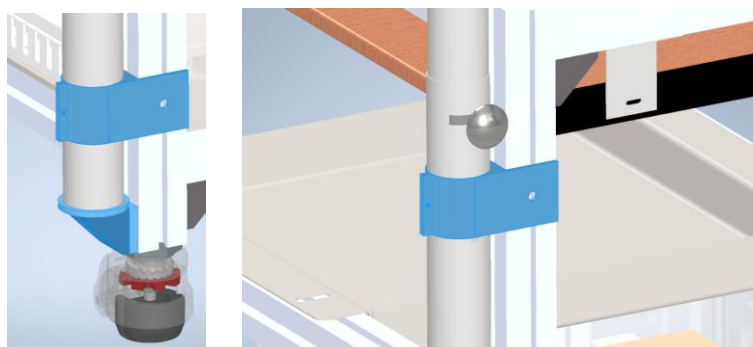
Ühenduse 3D mudeliga oli kaasas ka veel monitori välja ulatamiseks pikenduslüli [18]. Selle lüli hea omadus on, et neid saab ühendada üksteise otsa vajadusele vastav kordi muutes lihtsast pikenduslülist kahe või enam talaga artikuleeriv käsi. Mida rohkem talasid kasutada seda mobiilsem lõpplahendus tuleb. Arvestada tuleb aga sellega, et monitor lülide otsas kaalub üle 3 kg seega liiga paljude liigendite kasutamisel võivad ühenduskohad koormuse all murduda. Antud stendi puhul peaks monitor olema võimeline välja ulatuma vähemalt üle poole laua lühema serva. See tähendab vähemalt 0,25 m. Seega mobiilsuse tagamiseks on kasutusel monitori käe jaoks kaks tala muutes selle artikuleerivaks. Ühe tala pikkuseks on umbes 10 cm. Koos mõlema talaga ning juurde arvestada ühenduspunktid ja monitori kinnituspunkt tuleb monitori käe pikkuseks umbes 0,3 m. Monitori VESA 100x100 kinnitus on kinnitatud artikuleeriva käe külge detailiga, mis laseb seda kallutada nii küljelt-küljele kui ka üles-alla. Lisaks on VESA 100x100 kinnitust võimalik pöörata ümber oma keskpunkti võimaldades monitori pöörata horisontaalsest asendist vertikaalsesse.

Artikuleerival käel alumisele küljele on lisatud monitori juhtmete suunamiseks hoidikud. Nõuetekohaseid hoidikuid on vabalt saada ning tihti peale on need pinnasele kinnitatavad kleepiva liimi abil. Ainuke kriteerium nende kinnituse juures on, et aluspind oleks ühtlane ja lame. Viimase lisana artikuleeriva monitori käe küljes on käsipingutus element, millega on võimalik kogu kätt pöörata vastavasse asendisse ning siis see lukustada sellesse asendisse.



Joonis 4.6 Artikuleeriva monitori käe liigendi 3D mudel

Kogu monitori käe kinnituspunkti kõrgust saab reguleerida raami küljes olevat nurgalüli liigutades üles-alla nagu nähtav jooniselt 4.7. Nurgalüli ja stendi raami vahel on lihtne vahetükk, mis viib kogu konstruktsiooni lauast veidi eemale, et stend ja monitori käe elemendid ei riivuks. Kõrgemal toru küljes on kaks kinnituselementi, millega suurema läbimõõduga toru on fikseeritud stendi raami külge.



Joonis 4.7 Monitori käe fikseerivate elementide 3D mudelid märgistatud sinisega



Joonis 4.8 Õppestendi 3D mudel lisatarvikutega

## 4.2 Arvutused ja simulatsioonid

Ohutuse ja süsteemi stabiilsuse huvides tuleb koostada jõuarvutused potentsiaalselt kriitilistele elementidele ning suurima koormusega detailidele. Käsitsi arvutustele tuleb kontrollimise eesmärgil ka juurde koostada vastavad simulatsioonid Autodesk Inventori simulatsioonikeskkonnas.

Ohulülitiga juhtimispult ei vaja eraldi pingearvutusi kuna sellele rakenduvad jõud ei ole nii suured, et detailis märkimisväärseid stresse rakendada. Kõige suurem jõud, mis võib sellele detailile mõjuda tuleks inimeselt, kes hädaolukorras kiiruga suure jõuga ohunupule vajutab. Sellises olukorras kõige hullem asi, mis juhtuda võib on see, et ohulüliti puldi hoidik murdub ning muutub kasutuskõlbmatuks. Selline olukord on vähe tõenäoline ning isegi, kui see peaks juhtuma siis kuna hoidik on valmistatud 3D printeriga ei ole see suureks probleemiks. Uue identse hoidiku printimine võtab vaid mõned tunnid ning on materjalide hinna suhtes odav.

Klaviatuuri alus ei ole kriitiline element süsteemis ning ei pea taluma suuri koormusi. Maksimaalselt peab alus taluma klaviatuuri, hiire ja inimese toetava käe raskust. Accuride siin, mis on antud lahenduses kasutusel andmelehe järgi talub kuni 22,6 kg suurust koormust [13]. Praktiliselt ainus võimalus, kuidas klaviatuurialus viga võib saada on, kui keegi kogemata istub või toetab välja ulatunud alusele või asetab sellele mitte ettenähtud liialt suure raskuse. Ettenähtud kasutusel aga probleeme ei tohiks esineda.

### 4.2.1 Artikuleeriva käe ühenduspunkti vastupidavuse leidmine

Üheks monitori käe potentsiaalseks veapunktiks võib olla artikuleeriva käe ühenduspunkt teleskooplati küljes oleva hoidikuga. Monitor ning artikuleeriv käsi, mis kaaluvad kokku ligikaudu 5 kg on ühenduses teleskooplatiga kasutades kahte kinnituspunkti. Igaks juhuks võib arvestada, et see kogu mass 5 kg on punktmass artikuleeriva käe kaugeimais otspunktis. Kindlaks tuleb teha, kui palju jõudu

rakendavad antud objektid kinnituspunktile ning seeläbi teha järelalus, kas antud kinnitusviis ning materjalivalik on sobilikud vastava pingetaalumiseks.

Kuna alumisele kinnituspunktile mõjuvad nii artikuleeriva käe ja monitori mass ning nendest tulenev paindemoment ja seega saab tunduvalt suuremat koormust, kui ülemine siis piisab ainult alumise kinnituse pingete arvutustest sest ülemise kinnituse pinged ei saa sellest suuremad olla. 5 kg raskus rakendab alumisele kinnitusele  $F = 50$  N jõudu vertikaalselt alla suunas, jõu rakendumise keskpunkt asub  $L = 21$  mm kaugusel kinnituspunktist ning kinnituspunkti pindala laiuse ja kõrguse parameetrid on vastavalt  $a = 30$  mm ja  $b = 3$  mm. Seega on võimalik ristlõike paindepinge leidmiseks kasutada valemit (4.1), kus tuleb jagada ristlõikes mõjuva paindemomendi ristlõike vastupanumomendiga [19].

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{F \cdot L}{\frac{a \cdot b^2}{6}} = \frac{50 \cdot 21}{\frac{30 \cdot 3^2}{6}} = 23,3 \text{ MPa} \quad (4.1)$$

Kus

$\sigma$  – ristlõike paindepinge, MPa,

$M$  – ristlõikes mõjuv paindemoment, Nm,

$W$  – ristlõike vastupanumoment, Nm,

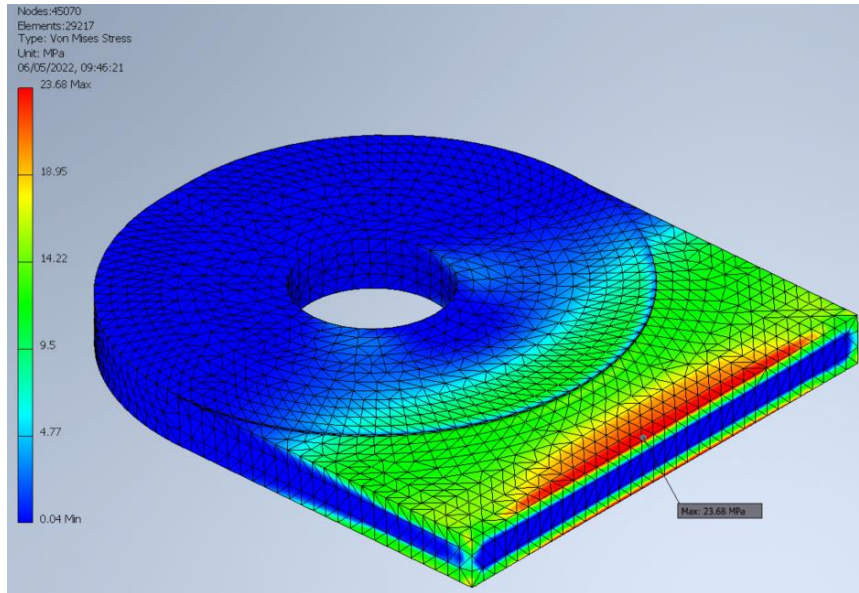
$F$  – kinnitusele mõjuv jõud tulenevat monitorist ja artikuleerivast käest, N,

$L$  – jõu rakendamise keskpunkti kaugus kinnituspunktist, mm,

$a$  – kinnitusala laius, mm,

$b$  – kinnitusala kõrgus, mm.

Rakendades sama 50 N jõudu antud kehale vertikaalselt alla ka Autodesk Inventori simulatsioonikeskkonnas on võimalik näha jooniselt 4.9, et maksimaalne pinge on 23,68 MPa. See on 1.6% erinevus võrreldes käsitsi arvutusega. Isegi 5-10% erinevus arvutuse ja simulatsiooni vahel on tavapärane ja normaalne kuna simulatsioonikeskkonna tulemus kõigub sõltuvana kasutatavast võrgustikust. Kui kasutada peenemat võrgustikku siis suureneks ka maksimaalne pinge kuna suurima pingega punkti panus ühes võrgustiku alas oleks suurema osakaaluga.



Joonis 4.9 Ühe kinnituse pinges simulatsioon 50 N jõu rakendamisel

Kinnituse kogupinge arvutamiseks tuleb ka välja arvutada kinnituspunktile rakenduv jõud tulenevat pöördemomendist. See jõud on antud kinnitusel suunaga kinnituspunkti poole. Teada on jõuõla pikkus  $L = 300$  mm, kinnituspunktide vaheline kaugus üksteisest  $h = 40$  mm ning jõuõla tipus rakenduv jõud  $F_{koormus} = 50$  N. Kinnituspunktile rakenduv jõud tulenevat pöördemomendist on arvutatav valemiga (4.2).

$$F_{PS} = \frac{F_{koormus} * L}{h} = \frac{50 * 300}{40} = 375 \text{ N} \quad (4.2)$$

Kus

$F_{PS}$  – kinnituspunktile rakenduv jõud tulenevat pöördemomendist, N,

$F_{koormus}$  – jõuõla tipus rakenduv jõud, N,

$h$  – kinnituspunktide vaheline kaugus üksteisest, mm.

Nüüd on võimalik arvutada survejõust tulenev pinges valemiga (4.3) kasutades eelnevalt saadud pöördemomendist tulenevat jõudu ning kinnituse pindala.

$$\sigma_{PS} = \frac{F_{PS}}{A} = \frac{F_{PS}}{a * b} = \frac{375}{30 * 3} = 4,2 \text{ MPa} \quad (4.3)$$

Kus

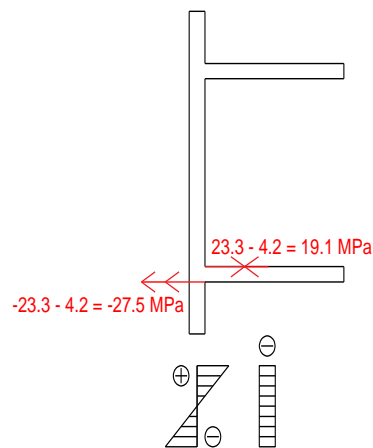
$\sigma_{PS}$  – survejõust tulenev pinges, MPa,

$A$  – kinnituse pindala, mm<sup>2</sup>.

Survejõust tuleneva pinge saab liita esimesena arvatud ristlõike paindepingele kasutades pingeepüüri ning seeläbi leida alumise kinnitusele ehk seega kogu kinnituskonstruktsioonile suurim mõjuv pinge. Selleks tuleb liita valemis (4.4) ristlõike paindepinge survejõust tuleneva pingega.

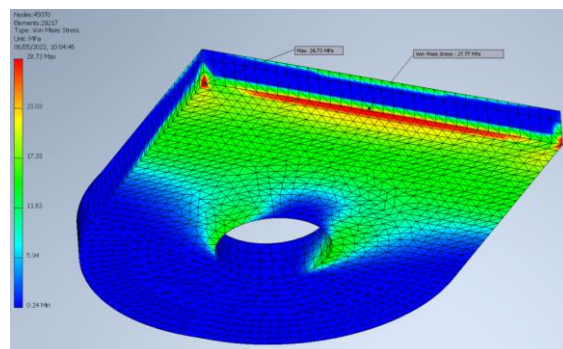
$$\sigma_{kogu} = \sigma + \sigma_{PS} = -23.3 + (-5.2) = -27,5 \text{ MPa} \quad (4.4)$$

Negatiivne suurus näitab, mis suunas jõud on rakendatud ja kus pool pinged liituvad ja kus lahutuvad.



Joonis 2.10 Artikuleeriva käe kinnitusele mõjuvad pinged koos pingeepüüri

Nüüd saab simulatsioonikeskkonda ka vastavad jõud õigete suundadega juurde lisada ning saada jooniselt 4.11 tulemuseks, et maksimaalne pinge artikuleeriva käe alumises kinnituses on 28,73 MPa. Jällegi esineb arvutuse ja simulatsiooni vahel 4.5% erinevus aga seekord tuleneb erinevus kinnituse nurka kontsentreeritud pinge tõttu. Kui vaadata aga alumist serva siis seal on maksimaalne pinge umbes 27,8 MPa ehk peaaegu täpselt sama käsitsi tehtud arvutustulemusega. Erinevus on alla 1%.



Joonis 4.11 Kogu kinnituse pinge simulatsioon kõikide jõudude rakendamisel

Seega kinnituspunkti materjalina saaks isegi kasutada näiteks alumiinium 6061, mille tõmbetugevus on 290 MPa. Tõenäolisem materjal, mida antud detaili valmistamisel kasutatakse on aga teras, mille tõmbetugevus on vähemalt 400 MPa. Järeldusena saab kindel olla, et detail peab probleemideta koormusele vastu.

#### 4.2.2 Teleskooplati deformatsiooni leidmine

Teiseks monitori käe potentsiaalseks veapunktiks võib olla liigne paindumine teleskooplati. Koormust latile avaldab artikuleeriv lüli monitoriga. Kuna antud koormus on paigutatud lati tippu ning on välja viidud umbes  $L = 300$  mm kaugusele lati keskpunktist siis võib see sama  $F = 50$  N jõud avaldada ohtliku koormust latile. Esiteks tuleb välja arvutada lati kinnituspunktile mõjuvad jõud. Vastavad väärtused on ka märgitud joonisele 4.12. Tuleb märkida, et simulatsioon on koostatud horisontaalselt mitte vertikaalselt nagu monitori käe latt on. See aga tulemusi ei muuda.

$$y: -R_A + R_B = 0$$

$$R_A * a - M = 0$$

$$M = L * F = 0,3 * 50 = 15 \text{ Nm} \quad (4.5)$$

$$R_A * a = M$$

$$0,44 * R_A = 15$$

$$R_A = 34,1 \text{ N}$$

Kus

$R_a$  – ülemisele kinnitusele mõjuv jõud, N,

$R_b$  – alumisele kinnitusele mõjuv jõud, N,

$a$  – kinnituste vaheline kaugus, mm,

$M$  – latis tekkiv maksimaalne moment, Nm,

$L$  – monitori ja artikuleeriva käe jõu rakendamise kaugus lati keskpunktist, mm,

$F$  – monitorist ja artikuleerivast käest tulenev jõud, N.

Seega ka  $R_B = 34,1$  N. Seda kinnitab ka Autodesk Robot Structural Analysis simulatsioon joonistel 4.12 ja 4.13. Lisaks nüüd momenti teades saab leida pinge teleskoopvardas. Varras koosneb küll kahest osast aga arvutuse lihtsustamiseks ning kindluse tagamiseks võib kasutada väiksema läbimõõduga varrast kogu varda pikkusena. Pinget saab taaskord arvutada algvalemiga, mis on välja toodud valemis (4.1). Nüüd aga ristlõike vastupanu momendi leidmiseks tuleb kasutada seest tühja silindri telgtugevusmomendi valemit (4.6) [19].

$$W = \frac{\pi*(D^4-d^4)}{32*D} = \frac{\pi*(48^4-46^4)}{32*48} = 1699,57 \text{ mm}^3 \quad (4.6)$$

Kus

$D$  – silindri seina välimine diameeter, mm,

$d$  – silindri seina sisemine diameeter, mm.

Nüüd on kõik vajalikud suurused olemas, et arvutada pinge vardas ning koostada selle epüür.

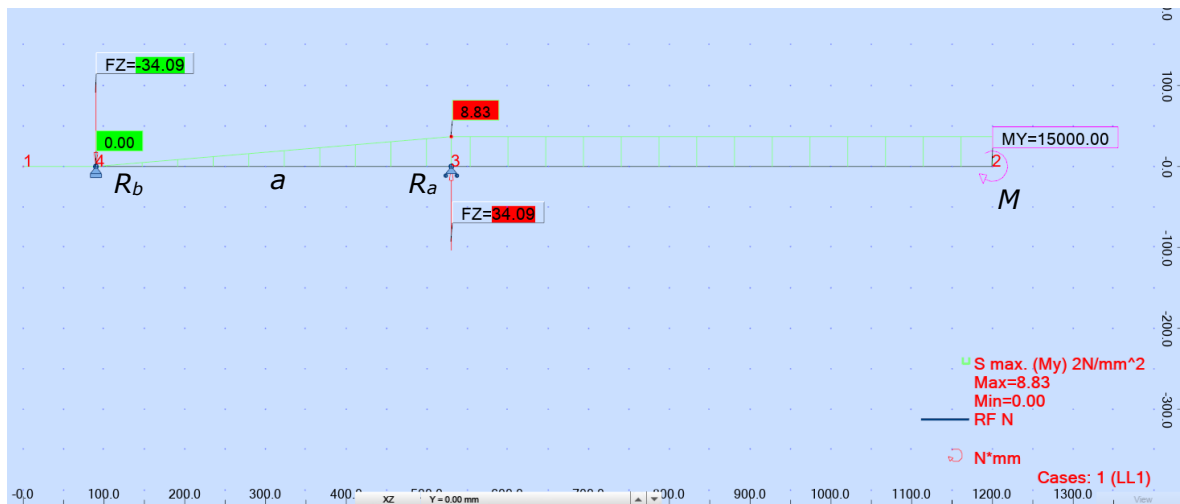
$$\sigma_{varras} = \frac{15000}{1699,57} = 8,83 \text{ MPa} \quad (4.7)$$

Kus

$\sigma_{varras}$  – Suurim pinge vardas, MPa.

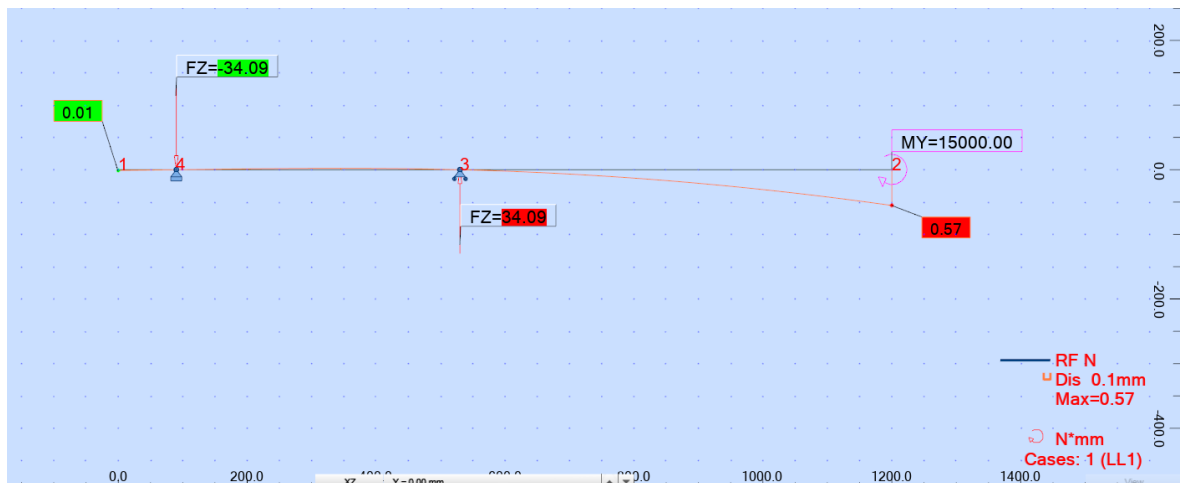
Võrreldes seda vastust joonisel 4.12 oleva simulatsiooni omaga on näha, et tulemused ühtivad. Simulatsioonist joonistub ka vastav pingeepüür (märgistatud rohelisega). Sellelt on näha, et suurim pinge on teleskooplati ülemises osas kuni ülemise kinnituseni. Peale ülemist kinnitust hakkab pinge taanduma ühtlaselt kuni teise kinnituseni, kus väärtus jõuab nullini ning sealt edasi on pinge vardale lõpuni välja null.





Joonis 4.12 Simulatsioonikeskkonna toereaktsioonid ja pingepüür

Simulatsioonikeskkonnas on ka võimalik välja tuua varda deformatsioon tekitatud monitorikäe raskuse tõttu. Painдумine keskpunktist varda tipus on 0,57 mm ehk reaalsuses tühine ning ei mõjuta süsteemi tööd.



Joonis 4.13 Simulatsioonikeskkonna toereaktsioonid ja deformatsioon

## 4.3 Kaitseautomaatika ja I/O laiendus

### 4.3.1 Kaitseautomaatika lahenduse koostamine

Elektrikilpide disainimisel on hea tava kasutada võimalusel ühe tootja tarvikuid. Seeläbi tuleb üldiselt visuaalselt parem lõpplahendus ning väheneb võimalus, et tarvikud mingil põhjusel ei sobitu üksteisega. Antud juhul on kasutuses ABB riistvara. ABB on piisavalt suur ettevõtte ning piisavalt mitmekülgse ja rohke tootevalikuga, et nende tootevaliku hulgast on lihtne leida kõik vajaminevad komponendid. Lisaks on nende komponentide kättesaadavus ja ettevõttega kontakti saamine lihtsustatud kuna ettevõttel on Eestis kohapeal tehased ja kontorid. Seega probleemide esinemise korras, kui miski muu ei aita saab kasvõi ise füüsiliselt ettevõttesse kohale minna ja abi paluda. Lisaks kuna mõistlik on kogu automaatika kompaktselt kokku seada ühte kohta siis peavad komponendid võimalised olema kinnituma DIN liistu külge. DIN liistu ise saab paigaldada vastava sobiliku suurusega elektrikilpi ning see hoiustada roboti stendi küljes, et tagada kogu lõpplahenduse kompaktne ja puhas lahendus.

RVK valik tuleneb ette määratud suuruste piirangutest ning seeläbi teeb sobiva mudeli leidmise sedavõrd lihtsamaks. Näiteks ABB S202-B10 [20] kaitselüliti vastab kõigile nõuetele ning jääb mõistlikusse hinnavahemikku makstes 2022 aasta kevadel alla 40 €. See on sobilik 230 VAC süsteemide jaoks. Antud kaitselüliti on mõeldud süsteemi vooluallikast lahti ühendamiseks kahel juhul – kui vool ületab 10 A või kui vooluringi satub väline ese sealhulgas inimene. 10 A on sobilik suurus, mis võimaldab mitu erinevat seadet töötama panna samaaegselt roboti kõrvale aga samas tagab mõistliku ohutuse. Selle seeria lüliteid on mitmes erinevas konfiguratsioonis aga antud lüliti on kahe pooluseline ja B-karakteristikuga. Tavaliselt majapidamistes kasutatakse B-karakteristikuga automaatkaitselüliteid, kuna need on mõeldud seadmetele, milles ei esine suurt induktiivsust. Antud automaatkaseadme eluiga andmelehe järgi on 20000 tsükli seega selle vahetamisele ei pea tõenäoliselt roboti eluea jooksul mõtlema. RVK elektriskeemis ise on paigaldatud pistikupesade ette [LISA 1] välise toiteallika ning pistikupesades olevate seadmete vahele. Komponenti on võimalik kinnitada DIN liistule.



Joonis 4.14 ABB S202-B10 RVK lüliti [20]

Automaatkaitseülilite valik tuleneb taaskord kaitstavatele komponentidele määratud parameetritest. Nimelt kuna DC toiteallikal on endal juba sisseehitatud 6,3 A kaitse siis seega sobib sinna väliseks kaitseks kõige paremini sellest veidi väiksem, ehk 6 A automaatkaitseülilite. Kriteeriumite ja parameetrite poolest sobiks selleks ABB S201-B6 [21]. Antud komponendi nimipinge on 230 VAC seega sobib meie süsteemi ning oma B-karakteristiku poolest sobib hästi väikeste kõikuvate pingete jaoks. Toote hind jääb 2022 aasta kevadel alla 10 € seega taaskord vaadates seda, et toode andmete järgi suudab läbi elada 20000 tsüklit siis ei pea süsteemi uuendamisele lähitulevikus mõtlema. Tegu on ühe pooluselise lülitiga ning see tuleb süsteemis ühendada 24 VDC toiteallika L1-liini sisendi ning 230 VAC toiteallika vahele [LISA 1]. Kusjuures on antud 24 VDC toiteallikas võimeline ka rohkemate faasidega töötama ning selleks oleks vaja uus kaitse ühendada uue L2-liinile ehk praegusele N-liinile aga kuna meie süsteem on ühefaasiline siis ei ole see vajalik. Komponenti on võimalik kinnitada DIN liistule.



Joonis 4.15 ABB S201-B6 automaatkaitseülilite [21]

Roboti ja kontrolleri kaitseks on samamoodi vaja tavalist automaatkaitseülilite aga antud lülite peaks olema C-karakteristikuga kuna robotit liigutavad elektrimootorid. 1 Pooluselise, 8 A, C-karakteristikuga, ABB automaatkaitseülilite on raskem leida, kui eelnevaid kaitseüliliteid just selle 8 A nõude tõttu. See ei ole nii levinud suurus kaitseülilitele ning seetõttu ei pruugi nii lihtne kättesaadavus olla. Küll aga ABB ise toodab

sellist automaatkaitseülilitit seega halvimal juhul, kui edasimüüjatel ei ole toodet laos olemas siis ABB enda käest on võimalik see ikka kätte saada. Nimelt on tegu ABB tootega S201-C8 [22]. Selle karakteristikud on sarnased 24 VDC toiteallika välise automaatkaitseüliliti omadega. Vahe tuleb ainult lülitusvoolu suuruses ning lülituskarakteristikus. Lülitustsüklite arv ühtib teiste eelnevate toodetega ning võimalik on ka seda paigaldada DIN liistule. Toote hind on 24 VDC toiteallika 6 A kaitsme omast veidi kallim aga on 2022 aasta kevadel võimalik ikkagi saada alla 10 €. Nii selle, kui ka eelnevate automaatkaitseülilitite keskkonnatemperatuur talitusel võib olla -25 °C kuni 55 °C. Stend ise paikneb siseruumis ning tõenäoliselt ei sattu mõnele väliüritusele, kus temperatuurid võiksid nii äärmuslikud olla. Robot ise on võimeline töötama temperatuurivahemikus 0 °C kuni 50 °C seega ei ole kaitseautomaatika stendi piiravaks faktoriks.



Joonis 4.16 ABB S201-C8 automaatkaitseüliliti [22]

Kõige esimeseks komponendiks stendi ja välise toiteallika vahel on lihtne kahe pooluseline pöördüliliti [LISA 1], millega on võimalik ühe lülitusega kogu stendilt pinge tagant lülitada. Seeläbi ei pea hooldustöödeks stendi toiteallikast lahti ühendamiseks füüsiliselt kaablit tagant tõmmates. Lülitina saab kasutada ABB kahe pooluselise kahe asendiga pöördülilitit nähtaval joonisel 4.17 [23], mis suudab taluda voolu kuni 25 A kuna selgudes arvutusest (4.8) saab maksimaalselt süsteemis olla vool  $I_{kogu} = 24$  A.

$$I_{kogu} = I_{24\text{ VDC toiteallikas max}} + I_{robot\ max} + I_{pistikupesad\ max} = 6 + 8 + 10 = 24\ \text{A} \quad (4.8)$$

Kus

$I_{kogu}$  – kogu vool maksimaalsetel koormustel, A,

$I_{24\ \text{VDC toiteallikas max}}$  – 24 VDC toiteallika vool maksimaalsel koormusel, A,

$I_{robot\ max}$  – roboti vool maksimaalsel koormusel, A,

$I_{pistikupesad\ max}$  – pistikupesade vool maksimaalsel koormusel, A.

Seega on lüliti vastavalt olukorrale sobilik. Lüliti paigaldus stendis endas tuleb moodulkilbi külge.



Joonis 4.17 ABB OC25G02PNBN00NB2 pöördlülit [23]

Kogu kaitseautomaatika tuleb kokku panna ühte kompaktsesse kasti kuna ruumiga ei ole stendil piisata. Selleks on 6 mooduline moodulkilp [24]. RVK lüliti võtab ära ainuüksi 2 kohta ning kaks automaatkaitselüliti võtavad mõlemad ühe koha nii, et kokku läheb kasutusse 4 kohta. Pealüliti jaoks on vaja kilbi küljel ava, kuhu sisse see mahutada nii, et lüliti ise jääks kilbi välise seinaga tasa ning oleks võimalik lülitada kilpi avamata. See vajaks kilbi sees lisaruumi ning kahe vaba mooduli tõttu on see ruum pealülitile tagatud. Kui tulevikus tekib vajadus kaitseautomaatikat täiendada siis tuleb valida uus suurem kilp. Stendil ei ole piisavalt vaba ruumi, et suuremat kasti tagavaraks kasutada. Lisaks ei ole selliste väikeste moodulkilpide hinnad kallid. Näiteks antudjuhul 6 moodulise karbi hind jääb 2022 aasta kevadel alla 5 €. Sellega tuleks kogu kaitseautomaatika maksumus 2022 aasta kevadel kokku alla 100 €. See lisaks süsteemile kindluse ning lisana muudaks stendi välimuse presenteeritavamaks kuna ei ole enam 3 erinevat juhet, mis vajavad välisest keskkonnast toidet vaid on vaja vaid ühte.



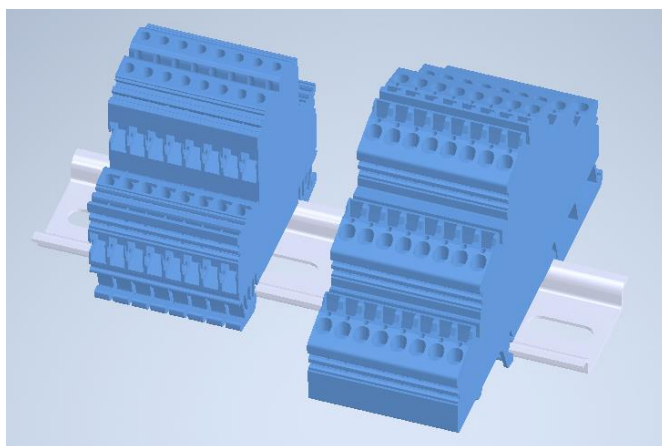
Joonis 4.18 6 mooduliga elektrikilp [24]

### 4.3.2 Sisend- ja väljundpesade lahenduse koostamine

Digitaalsete sisendite ja väljundite laual olevate pesade jaoks tulevad kasutusse vastavalt kolme [25] ja kahe [26] tasandilised riviklemmid. Neid on võimalik osta ükshaaval vastavalt vajadusele ning üksteisega ühendada moodustades just täpselt sobiva suurusega riviklemmide ploki. Antud rakenduseks on vaja kaks kaheksasest ploki ehk kokku 16 riviklemmi. Kuna tegu on mitme tasandiliste klemmidega siis ka paratamatult väljendab seda nende hind. Ühe klemmi hind 2022 aasta kevadel on umbes 2 kuni 3 €. Antud klemmid on mõeldud ühendama DIN liistule. Ühe klemmi laius on 5,2 mm ning kokku on 16 klemmi seega peab tegema ühe DIN liistu pikkuses vähemalt

$$DIN\ liistu\ pikkus = \text{ühe klemmi laius} * \text{klemmide arv} = 5,2 * 16 = 83,2\ mm \quad (4.9)$$

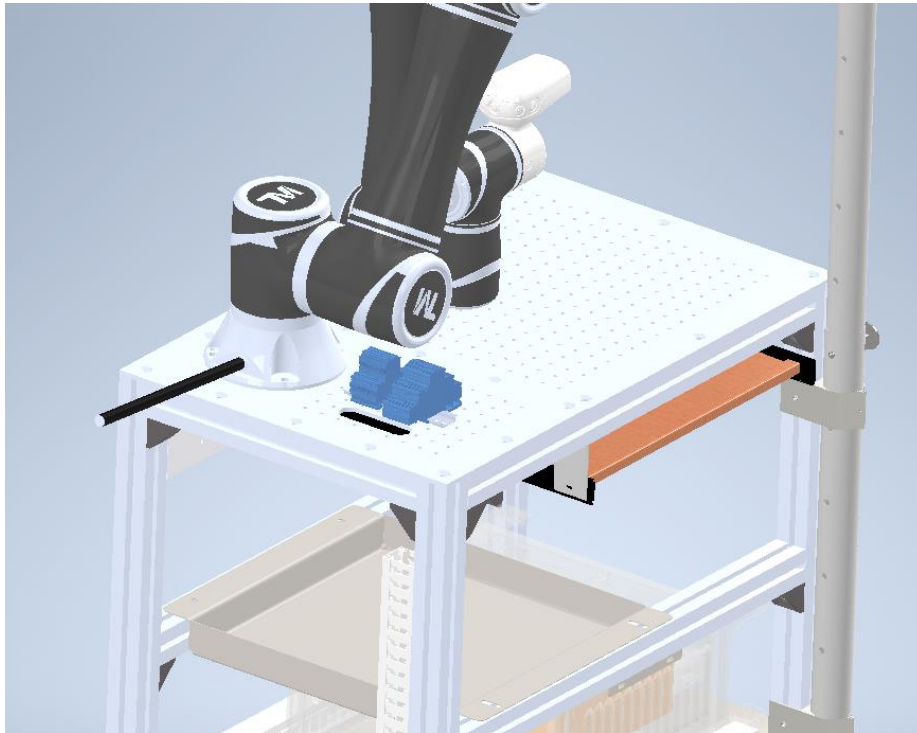
Juurde tuleb arvestada ka kinnitused ja vahe sisendploki ja väljundploki vahel. Stendi lauapinnal on augud, millega saab DIN liistu laua külge fikseerida. Laua sobilikud kinnitusaugud on üksteisest 125 mm kaugusel seega peaks ka DIN liist olema vähemalt nii pikk. Õppestendi digitaalse kaksiku täiendamiseks on tarvis ka selle lahenduse 3D mudel koostada. Riviklemmi 3D mudelid on saadaval tootja kodulehel ning DIN liistu 3D mudel, mida tuleb stendiga sobivuse eesmärgil modifitseerida, on saadaval avalikust 3D mudelite jagamise keskkonnast [27].



Joonis 4.19 Digitaalsete sisendite ja väljundite riviklemmide ja DIN liistu 3D mudel

Kontrolleri I/O pesad saab ühendada uute laual olevate pesadega [LISA 2] kasutades kahte Draka YY8G0,5 painduvat juhtkaablit, mida kutsutakse ka ÖPVC nime järgi [28].

Kaablite eesmärk on hoida üldist süsteemi vaatepilti puhtana ning arusaadavana. Kaabel ise koosneb kaheksast 0.5 mm<sup>2</sup> läbilõikega juhtmest – üks juhe iga I/O pesa kohta. Nii saab vedada kontrollerist laua riviklemmideni 16 juhet kasutades vaid kahte kaablit. Võimalik oleks ka ühe kaabliga kõik juhtmed ära vedada kasutades ühte 16 juhtmega juhtkaablit aga kahe eraldi kaabliga säilib parem arusaadavus ja selgus süsteemist. Kaabli andmelehest on leitav, et üks kaabel talub voolu kuni 2 A. Lisaks signaal- ehk juhtkaablitele vajavad ka väljundpesad oma miinus ühendust ning sisendpesad pluss ja miinus ühendusi. Sellepärast ongi vajalik kasutada kahe ja kolme tasandilisi riviklemme.



Joonis 3.20 Sisend- ja väljundpesade asetus stendi tööpinnal märgistatud sinisega

## KOKKUVÕTE

Töö raames said täidetud kõik algselt püstitatud ülesanded ja punktid. Töökeskkonna parendamiseks sai monitori, klaviatuuri, hiire ning ohulülitiga roboti juhtpuldi hoidikutele defineeritud nõuded ja piirangud ning nende kohaselt otsitud ning võrreldud potentsiaalseid lahendusi. Lõplikele sobivatele lahendustele sai koostatud 3D mudelid ning need stendi virtuaalse kaksikuga ühendatud nagu näha jooniselt 4.8. Komponentide valikul on lähtutud nende ergonoomikast, hinnast, kompaktsusest, transporditavusest, töökindlusest ning teistest antud stendile olulistest faktoritest. Vastavalt vajadusele sai välja selgitatud läbi pingearvutuste ning simulatsioonide uute komponentide füüsiliste parameetrite sobivused stendi. Selle olulisus seisnes ohutu ja kvaliteetse töökeskkonna tagamiseks ning, et tulevikus disainitud komponentide valmistamisel õiged materjalivalikud tehtaks.

Kuna stend on mobiilne ning seetõttu peab olema maksimaalselt sõltumatu välisest keskkonnast, see tähendab välisest kaitsest, siis sai stendi elektroonikale kujundatud kaitseautomaatika süsteem, mille tulemusena on stendi elektroonikakomponendid paremini kaitstud rikenemise eest avariilukorras. Selleks sai valitud seadmete spetsifikatsioonidele vastavad kaitsmed ning nende asetus ning ühendused skeemis [LISA 1] välja toodud. Lisaks tänu uuele elektrisüsteemi muudatusele tõusis ka stendi mobiilsus vajades varasema 3 välise toiteallika väljundi nüüd ainult ühte.

Viimaks sai suurendatud stendi testimis- ning arendamisvõimekust läbi uute testseadmete testimise mugavamaks muutmise. Seda läbi digitaalsete sisend- ja väljundpesade käepärasemaks muutmise. Nimelt said läbi skeemi [LISA 2] pooled kontrolleri sisend- ja väljundpesad toodud töölauale roboti kõrvale, kus on neid varasemast mugavam kasutada.

Kuna antud töö lahendused on puhtalt virtuaalsed ning planeeriv siis tulevikus on võimalik nende lahenduste mudelite ja skeemide põhjal vastavad uuendused ja muudatused stendis ellu viia. See kujutaks endas materjalide täpsemat valikut, komponentide valmistamist disainide põhjal ning nende sobitamist õppetendi. See võiks olla näiteks kellegi järgneva lõpetaja lõputöö teemaks.



## SUMMARY

Within the framework of the thesis, all initially set tasks and points were completed. In order to improve the work environment, the requirements and restrictions for the monitor, keyboard, mouse and robot pendant with emergency button holders were defined, and potential solutions were researched and compared. 3D models were created for the final suitable solutions and were integrated into the virtual twin of the stand as shown in figure 4.8. For the selection of components multiple factors were taken into account such as ergonomics, price, size, transportability, reliability and others important for the stand. According to need, suitability of the new components were determined through stress analysis calculations and simulations. The importance of this was to ensure a safe and suitable work environment and so in the future the right kind of materials will be chosen to create the parts.

As the stand is mobile and therefore must be as independent as possible from the external environment, ie external circuit protection, an automatic circuit protection system was designed for the stands electronics. As a result, the stand's electrical components are better protected against damage in case of a fault. For this suitable circuit breakers and a residual current device that fit the requirements of the components were chosen and their locations in the circuit were marked in a diagram with appropriate connections [LISA 1]. Due to the new changes in the electrical system, the mobility of the stand as a whole was increased. Instead of requiring 3 different connections to the power source as before, now the stand only needs one.

Finally, the testing and development capabilities of the stand was improved by making the testing of new equipment and tools more convenient. This was done by making the digital input and output sockets more accessible. Namely, half of the controller's input and output sockets were brought to the worktop next to the robot, where they are more accessible than before.

As the solutions of this work are purely virtual and as plans, in the future it will be possible to implement corresponding changes into the stand based on the models and diagrams created. This would involve a more precise analysis and selection of materials, the production of components based on designs and fitting them to the physical study stand. This could be, for example, the subject of a thesis for a future graduate.

## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] „Dell P2419H,” Dell, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.dell.com/en-uk/work/shop/cty/dell-24-monitor-p2419h/spd/dell-p2419h-monitor>. [Kasutatud 04 04 2022].
- [2] „Dell KM636,” Dell, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.dell.com/en-uk/shop/dell-wireless-keyboard-and-mouse-km636-uk-qwerty-white/apd/580-adfp/pc-accessories>. [Kasutatud 04 04 2022].
- [3] „TM collaborative robots hardware installation manual,” [Võrgumaterjal]. Available: [https://assets.omron.eu/downloads/manual/en/v2/i623\\_collaborative\\_robots\\_hardware\\_installation\\_manual\\_en.pdf](https://assets.omron.eu/downloads/manual/en/v2/i623_collaborative_robots_hardware_installation_manual_en.pdf). [Kasutatud 04 04 2022].
- [4] P. M. Steven Greenspan, Automation and Collaborative Robotics: A Guide to the Future of Work, Apress, 2020.
- [5] „TM5-900,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://unchainedrobotics.de/en/products/robot/cobot/omron-tm5-900/>. [Kasutatud 04 04 2022].
- [6] „TM collaborative robot tools,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://industrial.omron.eu/en/products/collaborative-robots>. [Kasutatud 04 04 2022].
- [7] Omron, „S8VK-S06024 24VDC toiteallika andmeleht,” [Võrgumaterjal]. Available: [https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v14/t205\\_s8vk-s\\_switch\\_mode\\_power\\_supply\\_datasheet\\_en.pdf](https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v14/t205_s8vk-s_switch_mode_power_supply_datasheet_en.pdf). [Kasutatud 28 04 2022].
- [8] Huanuo, „HNCM9 tooteleht,” Huanuo, [Võrgumaterjal]. Available: <https://huanuoav.com/products/hncm9-single-monitor-stand-desk-mount-for-13-32-inch>. [Kasutatud 18 04 2022].
- [9] TalTech, „kuvariga töötamise töötervishoiu ja tööohutuse juhend,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://oigusaktid.taltech.ee/kuvariga-tootamise-tootervishoiu-ja-toohutuse-juhend/>. [Kasutatud 05 05 2022].
- [10] Innovate Design Works, „9183 tooteleht,” Innovate Design Works, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.innovatedw.com/product/9183/>. [Kasutatud 18 04 2022].
- [11] Computer Comfort, Inc., „Artikuleeriv monitori hoidik,” Computer Comfort, Inc., [Võrgumaterjal]. Available: <https://computercomforts.com/products/7000-articulating-monitor-arm>. [Kasutatud 19 04 2022].
- [12] Novus, „TSS Folding Arm III tooteleht,” Novus, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.novusoffice.com/monitor-arm/item/965+0119+000>. [Kasutatud 20 04 2022].
- [13] „Accuride 2002-20 tooteleht,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www accuride.com/en-us/products/2002-two-way-travel-light-duty-and-non-disconnect-slide>. [Kasutatud 04 04 2022].
- [14] „Adjustable keyboard tray,” Eureka Ergonomic, [Võrgumaterjal]. Available: <https://eurekaergonomic.com/adjustable-keyboard-tray-black-1/>. [Kasutatud 04 04 2022].

- [15] „Innovative Design Works KT8-27,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.innovativedw.com/product/kt8-27/>. [Kasutatud 04 04 2022].
- [16] „TM robot stick stand,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.tm-robot.com/en/product/tm-robot-stick-stand/>. [Kasutatud 04 04 2022].
- [17] N. K. Liza Wallach Kloski, *Getting Started with 3D*, 2nd Edition, Santa Rosa, CA: Dale Dougherty, 2018.
- [18] Process\_This., „Artikuleeriva käe 3D mudel,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://grabcad.com/library/computer-monitor-arm-stand-1>. [Kasutatud 20 04 2022].
- [19] P. K. T. O. P. P. A. Hermaste, *Mehaanikainseneri käsiraamat*, Tallinn: Verlag Europa-Lehrmittel, 2021.
- [20] ABB, „S202-B10 rikkevoolukaitseüli andmeleht,” ABB, [Võrgumaterjal]. Available: <https://new.abb.com/products/2CDS252001R0105/s202-b10>. [Kasutatud 02 05 2022].
- [21] ABB, „S201-B6 automaatkaitseüli andmeleht,” ABB, [Võrgumaterjal]. Available: <https://new.abb.com/products/2CDS251001R0065/s201-b6>. [Kasutatud 03 05 2022].
- [22] ABB, „S201-C8 automaatkaitseüli andmeleht,” ABB, [Võrgumaterjal]. Available: <https://new.abb.com/products/2CDS251001R0084/s201-c8>. [Kasutatud 03 05 2022].
- [23] ABB, „OC25G02PNBN00NB2 pöördlüli andmeleht,” ABB. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.farnell.com/datasheets/2574782.pdf>. [Kasutatud 05 05 2022].
- [24] „6 Moodulikohaga moodulkilp,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.k-rauta.ee/p/paneel-elektroplast-2306-01-120-mm-ip30-6-mod/i4n8?mtd=search&pos=regular&src=searchnode>. [Kasutatud 03 05 2022].
- [25] Weidmüller Interface GmbH & Co. , „Kolme tasandiline riviklemm,” Weidmüller Interface GmbH & Co. , [Võrgumaterjal]. Available: [https://catalog.weidmueller.com/procat/Product.jsp;jsessionid=8A3DD550C15556E9447B28C6F4ABFBCF?productId=\(%5b1782310000%5d\)&groupId=\(%22group13236923310142%22\)&page=Product](https://catalog.weidmueller.com/procat/Product.jsp;jsessionid=8A3DD550C15556E9447B28C6F4ABFBCF?productId=(%5b1782310000%5d)&groupId=(%22group13236923310142%22)&page=Product). [Kasutatud 05 05 2022].
- [26] Weidmüller Interface GmbH & Co. , „Kahe tasandiline riviklemm,” Weidmüller Interface GmbH & Co. , [Võrgumaterjal]. Available: [https://catalog.weidmueller.com/procat/Product.jsp;jsessionid=EE4484C227AA2C74B10E948155DBE946?productId=\(%5b1041680000%5d\)&page=Product](https://catalog.weidmueller.com/procat/Product.jsp;jsessionid=EE4484C227AA2C74B10E948155DBE946?productId=(%5b1041680000%5d)&page=Product). [Kasutatud 05 05 2022].
- [27] R. Donovan, „DIN liistu 3D mudel,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://grabcad.com/library/din-rail>. [Kasutatud 03 05 2022].
- [28] Prysmian Group, „Draka YY 8G0.5 painduva juhtkaabli andmed,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://baltics-catalogue.prysmiangroup.com/s/#/product/20123314>. [Kasutatud 03 05 2022].

