

ELEKTRILISE TÕUKERATTA KOOSTAMISE RAKISE MEHHAANISEERIMINE

MECHANIZATION OF THE ASSEMBLY RACK FOR ELECTRIC SCOOTERS

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane:
/Mart Erik Kermes/

Üliõpilaskood 179172

Juhendaja:
/Leo Teder, lektor/

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.

"....." 202.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 202.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."202... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Mart Erik Kermes

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Elektrilise tõukeratta koostamise rakise mehhaniseerimine, mille juhendaja on Leo Teder,

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)

¹ 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: Mart Erik Kermes

Lõputöö liik: Bakalaureusetöö

Töö pealkiri: Elektrilise tõukeratta koostamise rakise mehhaniseerimine

Kuupäev:
18.05.2021

38 lk

Ülikool: Tallinna Tehnikaülikool

Teaduskond: Inseneriteaduskond

Instituut: Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Töö juhendaja(d): lektor Leo Teder

Töö konsultant (konsultandid): Martin Saar

Sisu kirjeldus:

Elektrilise tõukeratta tootmisel peab tõukeratta koostaja tõstma ligi 20 kg kaaluvat tõukeratast. Pidev raskuse käsitsi teisaldamine on koostajale kurnav ning viib tootmise efektiivsust alla. Lõputöö raames projekteeriti ja valmistati elektrilise tõukeratta koostamise elektromehaaniline rakis, mida hakatakse kasutama ettevõttes Comodule OÜ ning mille eesmärk on tõsta Comodule OÜ konkurentsivõimet läbi efektiivsema ja kiirema tootmise. Töö käigus projekteeriti erinevaid võimalike lahendusi koostamiskrahisest, valiti sobivad elektroonika komponendid ning valmistati rakis

Märksõnad: rakis, kruviülekanne, mehhaniseerimine, elektriajam, lineaarliikumine

ABSTRACT

Author: Mart Erik Kermes

Type of the work: Bachelor Thesis

Title: Mechanization of the assembly rack for electric scooters

Date: 18.05.2021

38 pages

University: Tallinn University of Technology

School: School of Engineering

Department: Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics

Supervisor(s) of the thesis: lecturer Leo Teder

Consultant(s): Martin Saar

Abstract:

In the process of manufacturing an electric scooter, the worker has to lift a scooter that weighs around 20 kg. Continuous manual lifting is strenuous to the worker and that will impact the efficiency of the whole manufacturing process. An electromechanical assembly rack was modeled and manufactured in the scope of this bachelor thesis. This assembly rack will go to use in a company called Comodule OÜ. The aim of this thesis is to better Comodule OÜ competitiveness on the market by more efficient and faster manufacturing. Different concepts were modeled, specific electrical components were chosen and an assembly rack was manufactured all in the framework of this bachelor thesis

Keywords: rack, lead screw, mechanization, electric actuator, linear movement

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema:	Elektrilise tõukeratta koostamise rakise mehhaniseerimine
Lõputöö teema inglise keeles:	Mechanization of the assembly rack for electric scooters
Üliõpilane:	Mart Erik Kermes, 179172EAAB
Eriala:	Elektroenergeetika ja mehhatroonika
Lõputöö liik:	Bakalaureusetöö
Lõputöö juhendaja:	Leo Teder
Lõputöö kaasjuhendaja: (ettevõtte, amet ja kontakt)	Tarmo Korõtko
Lõputöö ülesande kehtivusaeg:	29.06.21
Lõputöö esitamise tähtaeg:	18.05.21

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppekava juht (allkiri)

Kaasjuhendaja (allkiri)

1. Teema põhjendus

Comodule on firma, mille toodangusse kuulub peamiselt elektrisõidukite internetiga ühendamise riist- ja tarkvara lahendused. Kuid 2019. aastast saati toodab firma ka isearendatud elektrilisi tõukerattaid, mis on avalikkusele tuttavad brändina Tuul. Tõukerataste tootmine on jagatud erinevateks etappideks ning viimases etapis tuleb koostajal tõsta ligi 20kg tõukeratast, mis pole koostaja tervisele ning tootmise efektiivsusele mõistlik tegevus. Seega otstarbekas on luua lahendus, kus koostaja ei tõsta füüsiliselt raskust vaid mehhaniseeritud rakis tõstab tõukeratta koostajale sobivale kõrgusele.

2. Töö eesmärk

Töö eesmärgiks on Comodule OÜ konkurentsivõime parendamine läbi efektiivsema ning kiirema tootmise, mis saavutatakse elektromehaanilise koostamise rakise projekteerimise ning valmistamisega.

3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

Eesmärgi saavutamiseks on tarvis lahendada järgmised küsimused ning sooritada järgnevad tegevused:

1. Millised on koostamirakisele seatud nõuded?
2. Nõuetele vastava koostamirakise mehhaanilise konstruktsiooni projekteerimine.
3. Nõuetele vastava koostamirakise elektri ja juhtautomaatika projekteerimine ning seadmete valik.
4. Milline on koostamirakise kasutusele võtmise hinnanguline maksumus ning millist mõju avaldab see tootmisele?

4. Lähteandmed

Lähteandmeteks on:

1. Elektrimootorite ja käigukruvi spetsifikatsioonid
2. Analoogete rakiste tööpõhimõte

5. Uurimismeetodid

Töö tulemuseni jõudmiseks modelleerin rakise mehaanilise konstruktsiooni ning lahenduse valideerimiseks konsulteerin vilunud inseneridega. Tehase personali töövaatlusega kaardistan rakise kasutamismugavuse. Elektriliste seadmete valikul konsulteerin teenusepakkujatega ning analüüsin elektriajamitega seotud kirjandust.

6. Graafiline osa

Töö graafilised osad esitatakse ülevaatlike tabelite, jooniste ning skeemidena töö põhiosas. Lisadena kaasatakse tehnoloogilised joonised ning programmi lähtekoodi väljatrükid.

7. Töö struktuur

1. Koostamirakisele seatud nõuded

2. Koostamisrakise lahenduse projekteerimine
3. Koostamisrakise lahenduse valmistamine
4. Koostamisrakise lahenduse katsetamine ning käiku andmine
5. Kokkuvõte

8. Kasutatud kirjanduse allikad

Edward G. Hoffman. (2019). Jig and fixture design. Clifton Park, N.Y.

Kuznetsov, Viktor. (1959). Kokkupandavate universaalrakiste süsteemi kasutamine masinaehituses. Tallinn

9. Lõputöö konsultandid

Martin Saar, Comodule OÜ.

10. Töö etapid ja ajakava

Jaanuar 2021 - lähteandmete kogumine

Veebruar 2021 – praktiline töö lõpetatud

Veebruar 2021 - töö tulemuste kirjeldamine

Jaanuar 2021 - järelduste kirjutamine

Märts 2021 - kokkuvõtte koostamine

Aprill 2021 - töö esimene versioon valmis

Aprill 2021 - juhendajale läbilugemiseks saatmine

Aprill 2021 - paranduste sisseviimine

Mai 2021 - juhendajale teiseks läbilugemiseks saatmine

Mai 2021 – töö lõplik versioon valmis.

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pööorde

SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE	4
ABSTRACT	5
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE	6
EESSÕNA	10
SISSEJUHATUS	11
1 KASUTUSEL OLEVA RAKISE ANALÜÜS	12
2 NÕUDED	14
2.1 Üldised nõuded	14
2.2 Spetsiifilised nõuded	14
3 MEHAANILISE OSA PROJEKTEERIMINE	15
3.1 Koostamise rakise projekteerimise vajadus	15
3.2 Jõu ülekande mehhanismi valik	15
3.3 Ajami valik	16
3.4 Esimene kontseptsioon	18
3.5 Teine kontseptsioon	20
3.6 Kinnituskäpa disainimine	21
4 ELEKTROONILISE OSA PROJEKTEERIMINE	23
4.1 Elektrilise ajami valiku arvutused	23
4.2 Festo elektroonika valik	24
4.3 Juhtnuppude ja elektrikilbi valik	25
5 LÕPLIKU LAHENDUSE PROJEKTEERIMINE	28
6 KOOSTAMISRAKISE VALMISTAMINE	33
6.1 Mootori seadistamine	34
KOKKUVÕTE	36
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	37

EESSÕNA

Käesolev lõputöö teema valik selgus kui töö autor töötas firmas Comodule OÜ tööstusinseneri ametikohal. Firmas töötades projekteeris ja valmistas töö autor elektriliste tõukeratast koostamise kiiremaks ja efektiivsemaks valmistamiseks koostamisrakiseid. Nähes igapäevaselt kuidas tehase personal väsitab ennast tõukeratta koostamise viimases tööjaamas, et kasutusel olevat koostamisrakisega opereerida, otsustas töö autor, et otstarbekas on luua uus koostamise rakis, mis ei nõuaks tehase personalilt suurt füüsilist pingutust. Koostöös inseneridega Kalle Novikov - tootearenduse insener, Martin Saar - tööstusinseneride meeskonna juht ja Lennart Harju - sõidukite arenduse meeskonna juht, pandi paika uue koostamise rakise esimene kontseptsioon ning seejärel hakkas töö autor tegelema põhjalikuma projekteerimisega. Projekteerimisprotsessi käigus pidas töö autor konsultatsioone eelmainitud inseneridega, kes tõid esile seni loodud lahenduste puudujäägid ning võimalikud nõrgad kohad.

Soovin avaldada tänu Comodule OÜ tehase personalile ning inseneridele, eriti Johan Arusele, kelle nõu ja abiga valmis koostamise rakise elektrooniline lahendus.

SISSEJUHATUS

Comodule OÜ on 2014. aastal asutatud firma, mille toodangusse kuuluvad peamiselt elektrisõidukite internetiga ühendamise riist- ja tarkvara lahendused. Kuid 2020. aasta mais lansseeris firma Tallinna tänavatele elektriliste tõukerataste renditeenuse Tuule kaubamärgi all. Tuule tõukerattaid toodetakse 50% ulatuses taaskasutatud materjalidest ning toodetakse Tallinna kesklinnas asuvas tehases. Tuule tõukerataste keskkonnasäästlikus avaldub ka tõukeratta elueas. Nimelt on Tuule tõukeratta eluiga vähemalt 5 aastat, mis on konkurentide tõukeratastega võrreldes 2-20 korda pikem ning oma elukaare lõpus on 90% tõukeratta komponentidest uuesti taaskasutusse võetavad.

Tõukerataste koostamine toimub erinevates tööjaamades. Viimases tööjaamas peab koostaja tõstma rakisele ligi 20 kg kaaluvat tõukeratast. Korduvalt raskuse tõstmine on koostajale koormav ning langetab tootmise efektiivsust. Seetõttu on lõputöö eesmärgiks luua elektrilise tõukeratta koostamiseks elektromehaaniline rakis, mille abil väheneb koostaja füüsiline pingutus ning seeläbi suurendatakse Comodule OÜ konkurentsivõimet läbi efektiivsema tõukeratta tootmise.

Elektromehaanilise koostamise rakise projekteerimisel kasutati 3D modelleerimistarkvara, mille abil on võimalik visualiseerida projekteeritavat lahendust, teha tugevusanalüüse ning ette valmistada tootmiseks vajaliku dokumentatsiooni. Antud töö raames kasutati Inventor 2021 CAD tarkvara. Lisaks kasutati rakise projekteerimisel Festo ning IGUS komponente, kuna need on erinevates tehase seadmetes kasutuses ning seega on tehase personalil lihtne välja vahetada purunenud komponente või vajadusel muuta olemasolevat disaini.

1 KASUTUSEL OLEVA RAKISE ANALÜÜS

Esimese etapina tuleb koostamise rakise projekteerimisel analüüsida olemasolevat lahendust ning määrata ära uuele rakisele vajalik funktsionaalsus. Esiteks tuleb sõnastada probleem, millele lahendust looma hakatakse. Juba kasutuses oleval koostamisrakisel oli peamiselt kaks suuremat probleemi. Esiteks oli koostajal füüsiliselt raske tõsta tõukeratast maast endale sobivale kõrgusele, mis peale pikka tööpäeva suurendab ohtu kasutaja tervisele ning kurnab koostajat, mis tähendab tööpäeva lõpu poole madalamat tootlikust. Teiseks ei püsinud tõukeratas alati stabiilselt rakise küljes, kinnituskäpp tekitas raamile värvikahjustusi ning mõningatel juhtudel kukkus tõukeratas lausa rakise küljest lahti. Koostajal oli raske tõukeratast sobivale kõrgusele tõsta, sest tugipostil libisev raam poos ennast teatud asendis kinni ning seega pidi koostaja leidma täpselt õige asendi, et tõukeratast üles tõsta. Lisaks pidi koostaja tõstmata umbes 20kg kaaluvat tõukeratta raami koos kinnituskäpa süsteemiga maast üles, proovides samal ajal leida õiget asendit, kus rakis ennast kinni ei pooks. Sellise raskuse tõstmise nõudis teatavat füüsilist võimekust, mistõttu ei sobinud kõik koostajad selle rakisega tööd tegema. Tõukeratas ei püsinud stabiilselt rakise küljes kuna kinnituskäpp haaras raami küljest kinni ainult ühest kohast ning kinnituskäpa kuju ei vastanud täpselt raami kujule. Seetõttu hakkas raam kinnituskäpa vahelt ära libisema ning teatud olukordades tekitas raamile värvikahjustusi, mille parandamine pikendas ühe tõukeratta koostamise tsükli aega. Kuna käpp kriimustas raami siis lisati käpale peale pehmendavaid materjale ja teipe, mis lahendasid värvikahjustuse probleemi kuid olid kehva nakkumisega, mistõttu ei püsinud tõukeratas alati fikseeritult käpa küljes.

Kasutusel oleval rakisel olid aga ka õnnestunud osad. Rakis oli lihtsa konstruktsiooniga, mis tähendas, et rakis oli madala hinnaga, koostajale intuiitivne kasutada ning lihtsasti transporditav. Kasutusel oleva rakis on kujutatud alloleval joonisel (Joonis 1.1).



Joonis 1.1 Kasutusel olev koostamise rakis

2 NÕUDED

2.1 Üldised nõuded

Enne lahenduse projekteerimist tuleb paika panna lahendusele mõjuvad nõuded. Esiteks peab rakisel olema võimalikult lihtne konstruktsioon, et tuua alla rakise hinda ning projekteerimisele kuluvat aega. Teiseks peab olema rakist lihtne ning mugav kasutada. Kasutusmugavuse tähtsus seisneb selles, et rakise kasutajal oleks mugav rakisega tööd teha ning, et detaili fikseerimise jaoks peaks tegema võimalikult vähe liigutusi. Kolmandaks peab rakis suutma vastu pidada ka normist suurematele jõududele ja kulutustele. Rakise disainimisel peab meeles pidama, et rakise kasutaja ei ole reeglina rakisega nõnda ettevaatlik ning hoolikas kui projekteerija on seda plaaninud. Seega peab rakise konstruktsioon olema piisavalt jäik ja tugev, et rakis töö käigus ei puruneks. Neljandaks peab rakis olema projekteeritud nõnda, et kiiresti kuluvad komponendid oleks võimalik rakiselt lihtsalt välja vahetada.

2.2 Spetsiifilised nõuded

Antud rakise spetsiifilisemate nõuete kaardistamiseks suheldi tehase personaliga, misjärel kaardistati projekteeritavale koostamise rakisele mõjuvad nõuded. Tõukeratas peaks tõusma maast maksimaalselt 1700 mm kõrgusele, sest sellel kõrgusel saab ka kõige pikem tõukeratta koostaja rakisega mugavalt ümber käia. Tõukeratast peab saama koostamisel keerata ümber kinnituskäpa telje vähemalt 180 kraadi ulatuses, et tagada tõukeratta koostamiseks mugav ligipääs tõukeratta mõlemale küljele. Rakis peab suutma tõukeratast fikseeritud asendis hoida ka siis kui tõukeratast puuritakse, needitakse või lüüakse haamriga. Rakis peab suutma tõsta tõukeratast, mis kaalub umbes 20 kg. Sealjuures peab rakise kasutamine nõudma operaatorilt võimalikult väikest füüsilist pingutust, et ära hoida töötaja roidumust tööpäeva jooksul. Rakis peab olema mobiilne ning lihtsalt transporditav, et tagada koostamise rakise võimalikku kasutust erinevates tootmisjaamades.

3 MEHAANILISE OSA PROJEKTEERIMINE

3.1 Koostamise rakise projekteerimise vajadus

Enne uue rakise projekteerimisega alustamist tuli välja selgitada, kas antud rakise jaoks on üldsegi vajadust. Comodule OÜ tootis 2020. aasta suveks tänavatel olnud Tuul tõukerattad kasutades juba kasutusel olevat koostamise rakist. Küll aga kaasnesid kasutusel oleva rakisega ebamugavused, mis tõttu ei olnud tehase personal seadmega rahul. Olukorra parandamiseks oleks võinud ka ümber disainida kinnituskäpa süsteemi, mis oleks parandanud kasutusel oleva rakise mitmed puudujäägid. See lahendus oleks vähendanud probleeme, nagu tõukerattale värvikahjustuste tegemist või kinnituskäpa vahelt libisemist. Küll aga ei lahendaks see probleemi, mis puudutab tõukeratta töökõrgusele tõstmist. Just eelmainitud probleem on juurpõhjus, miks rakise kasutaja väsib ning seetõttu põhjustab tootmise efektiivsuse langust. Peale selle on Eesti vabariigis jõus töötervishoiu ja tööohutuse seadus, mille määruses „Raskuste käsitsi teisaldamise töötervishoiu ja tööohutuse nõuded“ on nõutud, et tööandja peab võtma tarvitusele töökorralduslikud ja tehnilised abinõud, et vältida töökohas sellist teisaldustööd, millega võib kaasneda terviserisk [1]. Kasutusel oleva rakisega töötamine võib tuua kaasa erinevaid terviseriske, kuna raskuse tõstmine toimub ebamugavas kõrguses, täpsemalt allpool põlvede kõrgust. Ning tööandja peab terviseriski vähendamiseks varustama töötaja sobivate tehniliste abivahenditega. Lisaks puudub turul ostutoode, mis täidaks soovitud koostamise rakise funktsionaalsuse. Küll aga pakutakse lineaartelgesid, mida oleks võimalik lihtsalt integreerida projekteeritavasse lahendusse. Kuid ostutootena pakutavate lineaartelgede maksumus on suurem kui isearendatava süsteemi maksumus, eriti kui soovitakse luua töökindel süsteem, mis peab vastu pidama ka projekteeritust suurematele jõududele. Eeltoodud põhjustest selgus ka vajadus projekteerida ja valmistada ise uus elektrilise tõukeratta koostamise rakis.

3.2 Jõu ülekande mehhanismi valik

Selleks, et tõukeratas saaks koostajale sobivale kõrgusele liikuda on mõistlik kasutada jõu ülekande mehhanismi ja ajami. Jõu ülekande mehhanismi valimisel lähtusin järgmistest teguritest:

Konstruksioon – kui keeruline on ülekanne konstruksioon, kui palju elemente on vaja süsteemi paigaldamiseks. Paigaldamise keerukus.

Hooldus – kui palju vajab ülekanne regulaarset hooldust ja süsteemi osad vahetamist.

Hind – kogu ülekanne jaoks vajalike osade maksumus.

Positsiooni hoidmine – kuidas on teostatav ühe positsiooni pikaajaline hoidmine.

Tabel 3.1 Jõu ülekanne mehhanismide võrdlustabel [2]

	Kruviülekanne	Rihmülekanne	Kettülekanne
Konstruksioon	Lihtne konstruksioon. Nõuab vähe ruumi ja lisaelemente	Keeruline konstruksioon. Nõuab pingutusrulli. Suured gabariidid	Keeruline konstruksioon. Nõuab pingutusratast. Suured gabariidid
Hooldus	Vähene hooldusvajadus. Plastmutter ei vaja määret. Küll aga võib mutter vajada regulaarset vahetust	Vähene hooldusvajadus. Vahel vajab pingutamist	Vajab määrimist ja regulaarset keti pingutamist. Keti venimise tõttu vajab kett regulaarset vahetamist
Hind	Odav	Kallis	Kallis
Positsiooni hoidmine	Iselukustuv	Vajab pidurit	Vajab pidurit

Ülaltoodud tabelist (Tabel 3.1) selgub, et kõige mõistlikum on kasutada kruviülekanne koos plastmutriga, kuna kruviülekanne vajab paigaldamiseks vähe elemente, peale mutri vahetuse puudub hooldusvajadus, paigaldamiseks vajalike elementide hind on madal ja plastmutriga ülekanne on iselukustuv.

3.3 Ajami valik

Tõukeratast tõstva lineaarajami valikul on peamiselt kolm ajami võimalust: elektriline, pneumaatiline ja hüdrauliline.

Pneumaatiline ajam koosneb kolvist ja silindrist. Kompressorist või pumbast tulev suruõhk liigutab kolbi silindris. Kolvi liikumine silindris muutub lineaarseks jõuks. Kolb liigub algasendisse tagasi kas vedru jõul või teisele silindri poolele suruõhu laskmisel.

Hüdrauliline ajami tööpõhimõte sarnaneb pneumaatilise ajamiga, kuid erinevus seisneb selles, et suruõhu asemel kasutatakse töövedlikku.

Elektriline ajam töötab käigukruvi abiga kus mootor paneb käigukruvi keerlema ning kruvil olev mutter saab seega lineaarselt mööda kruvi liikuda.

Allolevas tabelis (Tabel 3.2) on toodud välja erinevate ajamite võrdlus, lähtudes paigalduse keerukusest, erinevate positsioonide valimise võimekusest, koormuse all positsiooni hoidmise võimekusest ja kogu süsteemi maksumusest.

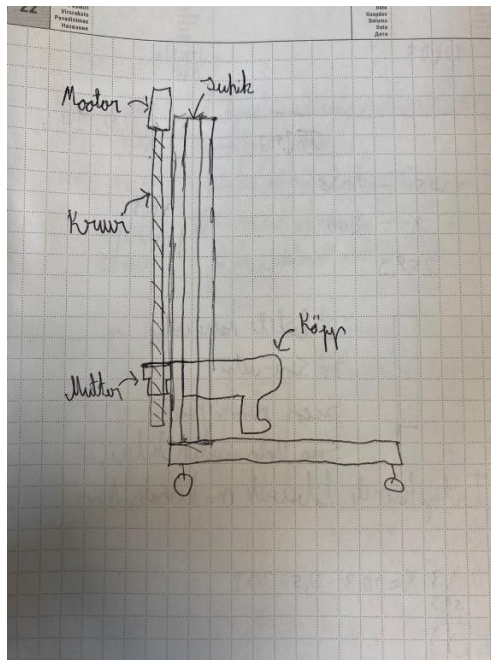
Tabel 3.2 Lineaarsete ajamite võrdlus [3]

	Pneumaatiline ajam	Hüdrauliline ajam	Elektriline ajam
Paigaldus	Keerukas paigaldus nõuab lisatorustiku paigaldust, filtreerimissüsteeme, pum pasid jne	Keerukas paigaldus nõuab lisatorustiku paigaldust, filtreerimissüsteeme, pum pasid jne	Lihtne paigaldus nõuab reeglina ainult toitejuhet ja masina juhtmestust.
Eri positsioonide valimine	Vaja lisaseadmeid ja ventiile, mis lisavad süsteemile maksumust ja keerukust	Vaja lisaseadmeid ja sensoreid, mis lisavad süsteemile maksumust ja keerukust	Kontrolleri programmeerimisega on lihtsalt võimalik saavutada väga palju erinevaid asendeid
Positsiooni hoidmine	Asendi hoidmiseks peab kogu süsteem olema pidevalt survestatud	Ventiilide abiga suudab hoida ühte positsiooni kuna vedelik on kokkusurumatu	Kruviülekanne on ise lukustuv ning lisaks on mootoris pidur.
Maksumus	Komponendid pole kulukad kuid lisaseadmed ja hoolduskulud tõstavad süsteemi maksumust	Komponendid pole kulukad kuid lisaseadmed ja hoolduskulud tõstavad süsteemi maksumust	Komponendid on kulukad kuid edaspidised hoolduskulud väga madalad

Võttes arvesse eeltoodud tabelis välja toodud punkte osutub antud koostamise rakise puhul kõige sobilikumaks lahenduseks elektriline ajam koos kruviülekandegaga.

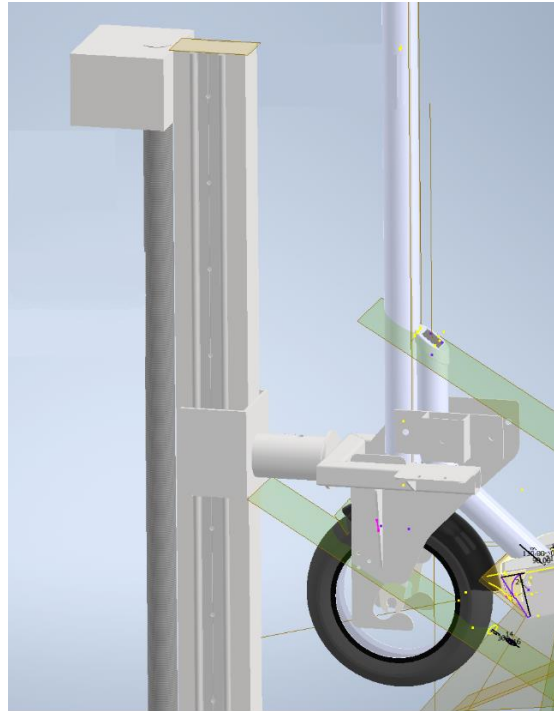
3.4 Esimene kontseptsioon

Kui oli selge, et kasutatakse kruviülekanne koos elektrilise ajamisega, koostati esimene eskiis (Joonis 3.1), mille eesmärk oli luua parem arusaam süsteemi toimimisest. Esimese kontseptsiooni eskiisil on kujutatud rakise raam, mille tugipostile on kinnitatud juhikud. Juhikute peal libiseb kinnituskäpp, mida omakorda liigutab käigukruvi koos mutriga. Esimese lahenduse disainimisel valiti IGUS-e drylin W süsteemi juhikud ja liuglaagrid, kuna need olid ka varasemalt tehases kasutuses ning see andis hea ettekujutuse, kuidas neid saaks koostamise rakisel ära kasutada. IGUS on maailma juhtiv tehnoplastidest tööstustarvikuid tootev ettevõtte. Kuna IGUS-e lineaarsüsteemid on isemäärivad ja isepuhastuvad siis sobivad need antud projektile väga hästi kuna soov oli hooldusele kuluvat aega võimalikult minimeerida [4].



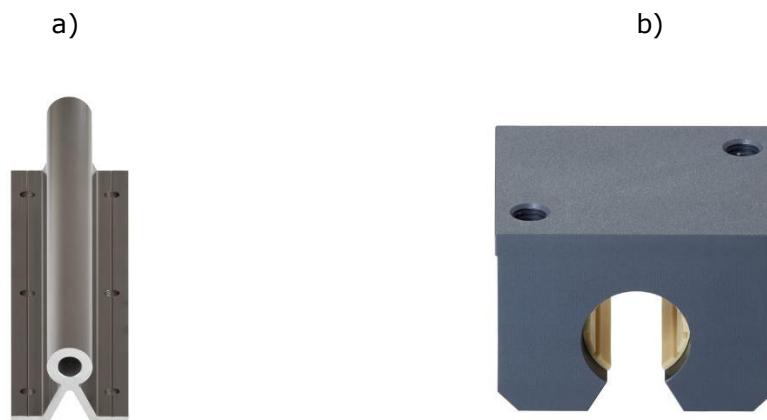
Joonis 3.1 Esimese kontseptsiooni eskiis

Kontakteeruti IGUS-e Balti regiooni müügijuhiga, kellele esitati järgnevad nõuded: kruviülekanne peab suutma tõsta 30 kg 1,5 m kõrgusele, tõstmise kiirus peaks olema umbes 0,3 m/s, süsteem peab suutma jääda fikseeritud asendisse ka 1,5 m kõrgusel, süsteem peab olema robustne ning vastu pidama löökidele ning hooletule kasutamisele. Paremaks arusaamiseks saadeti ka seletustega pilt planeeritud süsteemist (Joonis 3.2).



Joonis 3.2 Esimese kontseptsiooni mudel

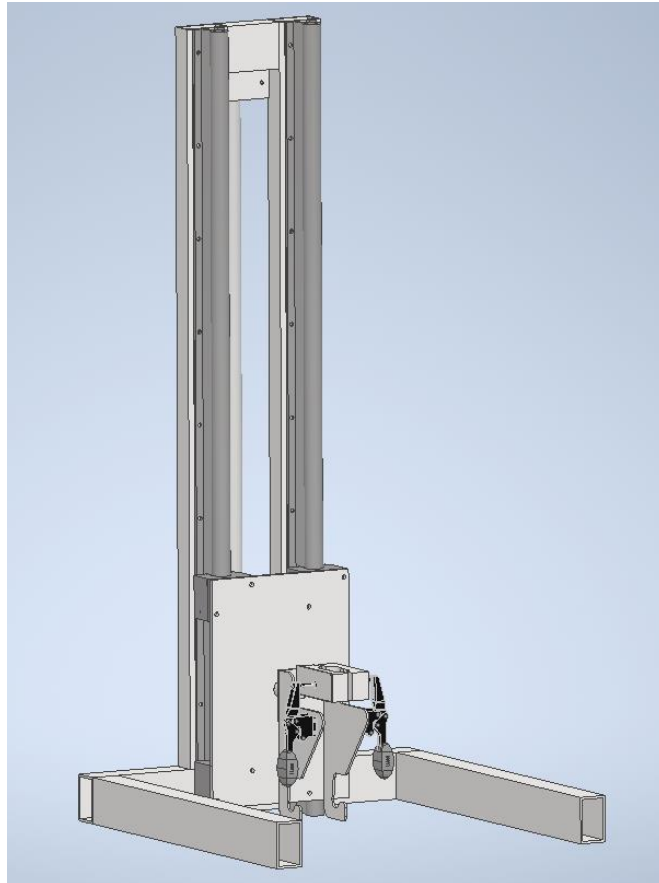
IGUS-e Balti regiooni müügijuhiga koostöös kasutati IGUS-e toodete konfiguraatorit, mille abil on võimalik leida nõutud parameetritele sobiv lineaarlaagri ning käigukruvi süsteem. Konfiguraatorist selgus, et esialgse kontseptsiooni drylin W juhikud ei pea sisestatud parameetritele vastu ning põhjuseks oli juhikute omavaheline distants, mis pidi olema vähemalt 0,16 m suurune. Seetõttu ei olnud enam mõistlik kinnitada juhikuid ühele tugipostile vaid otstarbekas oli kasutada kahte tugiposti ja drylin R süsteemi, mis peab vastu suurematele koormustele. Konfiguraatori abiga valiti koostamise rakisele järgnevad tooted: juhikud AWMU-40, liuglaagrid OJUM-06-40.



Joonis 3.3 IGUSE tooted a) Juhik AWMU-40 b) Liuglaagrid OJUM-06-40

3.5 Teine konseptsioon

IGUS-e lineaarsüsteemi konfiguraatorist selgus, et koostamise rakisel peavad olema kaks juhikut, mis on teineteisest 0,225 m kaugusel. Ühel juhikul libiseb kaks liuglaagrit, mille omavaheline kaugus peab olema 0,4 m. Võttes eelmainitud arvesse loodi teine konseptsioon (Joonis 3.4), mis hõlmas endas kahe tugitalaga raami, millele on kinnitatud juhikud ning juhikutel libisevad neli liuglaagrit, mis on omavahel ühendatud terasplaadiga, et tagada liuglaagrite vahelised distantsid.



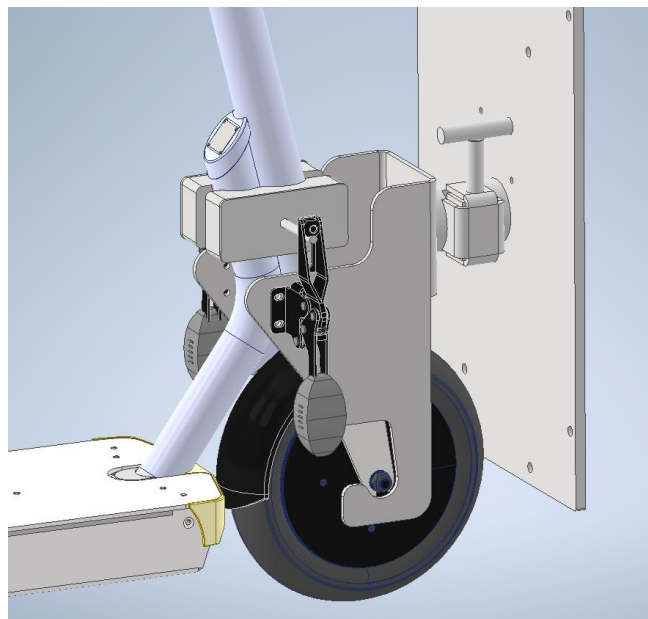
Joonis 3.4 Teise kontseptsiooni mudel

Teise konseptsiooni probleem selgus aga hoopis peale raami tootmis protsessi analüüsimist. Antud lahenduse puhul plaaniti tugistruktuuri nelikanttorud omavahel kokku keevitada, et tagada tugev ja stabiilne stuktuur. Küll aga oli varasemast kogemusest teada, et keevitustöö täpsus ei pruugi üksiku prototüübi valmistamisel olla piisavalt täpne. Teise konseptsiooni korrapäraseks toimimiseks peavad juhikud olema teineteisega täpselt paralleelselt ning juhikute keskteljed peavad olema täpselt samal tasandil, vastasel juhul ei liigu liuglaagrit juhikutel sujuvalt ning seeläbi tekib koostamise rakise komponentidele ebavajalik kulumine, mis tähendab rohkem koostamise rakisele kuluvat hooldusele vajaliku aega. Aeg, mil koostamise rakis on

hooldamises viib tootmisliini efektiivsust alla. Teise konseptsiooni keevitamisel arvestati olukorraga, kus tugistruktuuri tugitalad ei ole teineteisega täpselt paralleelsed seega otsustati luua kolmas konseptsioon.

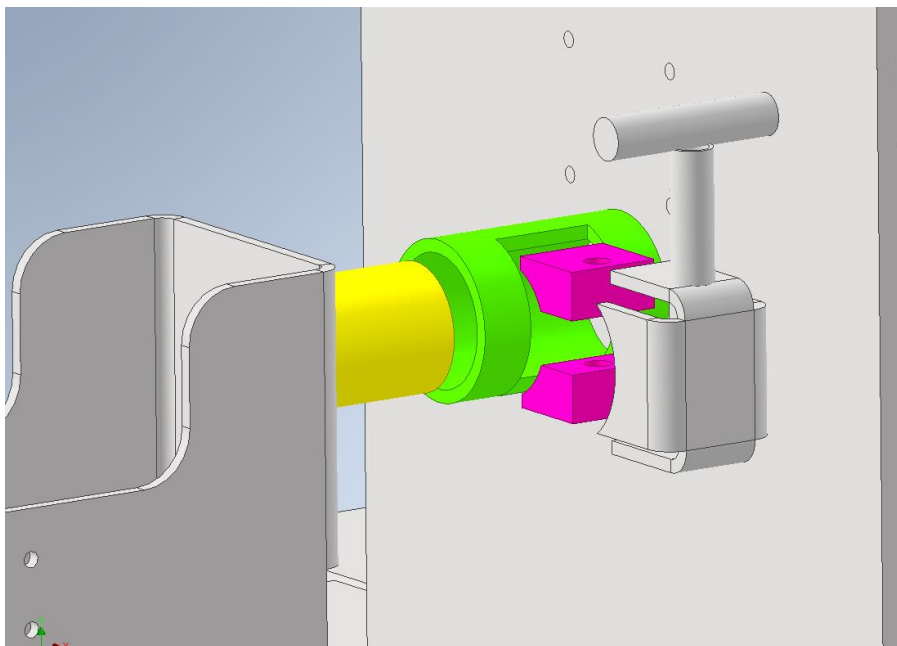
3.6 Kinnituskäpa disainimine

Teist konseptsiooni luues keskenduti ka põhjalikumalt kinnituskäpa disainile. Nõuetest selgus, et kinnituskäpp peab tõukerattaga kontaktis olema vähemalt kahest erinevast kohast, et ära hoida tõukeratta libisemist käpa vahelt. Sobilikuks kinnituskohadeks osutusid tõukeratta raami kaelatorud ning esiratta kinnituvõlli mutrid (Joonis 3.5). Eelmainitud kinnituskohad hoiavad ära tõukeratta libisemise kinnituskäpa vahelt ning olles üksteisest 0,255 m kaugusel oli võimalik disainida kompaktne kinnituskäpa lahendus. Kinnituskäpa raam on valmistatud 5 mm paksusest terasest, mis on painutatud sobiva kuju järgi. Mõlemal pool kinnituskäpa raami on kaks kinnitusklambrit, mis suruvad kahvlikaela kuju järgi välja freesitud neopreenist kummielemendid vastu kahvlikaela. Neopreeni kasutamine tagab hea nakkumise metalliga ning hoiab ära värvikahjustuste tekke. Kinnitusklamber tagab neopreen elementide kindla positsiooni vastu kahvlikaela ilma, et peaks muretsema klambri lahti minemise pärast kuna selle jaoks peaks klambri otsa rakenduma 2000 N jõud ning antud lahenduse puhul ei esine nii suuri jõudusid.



Joonis 3.5 Kinnituskäpa süsteem

Kinnituskäppa peab olema võimalik 180 kraadi ulatuses keerata. Kasutatud on lihtsat kahe kotsentrilise toruprofiiliga lahendust, kus kinnituskäpa külge keevitatud toru, mille välisläbimõõt on 48.3 mm, joonisel 3.5 kujutatud kollasega. See toru keerleb paigalseisva toruprofiili sees, mille siseläbimõõt on 50.3 mm ning on alloleval joonisel kujutatud rohelisega. Soovitud asendi fikseerimiseks on vaja T-kujuline käepide käsitsi kinni keerata. Käepideme teises otsas on M8 suurusega polt, mis läbib kahte metalldetaili, mis on alloleval joonisel kujutatud roosaga. Kusjuures alumine detail on keermestatud avaga, mis tähendab, et käepideme keeramisel liigub detail üles, vastu sisemist toruprofiili. Käepidet keerates surub metalldetail ennast vastu sisemist toru, misjärel ei saa viimane enam keerelda, fikseerides seega kinnituskäpa asendi.



Joonis 3.6 Kinnituskäpa keeramise mehhanism koos fikseerimissüsteemiga

4 ELEKTROONILISE OSA PROJEKTEERIMINE

Käigukruvi ja mutri lineaarliikumise tekitamiseks peab elektrimootor suutma käigukruvi pöörlema panna. IGUS-e konfiguraatorist selgus, et antud koostamise rakise jaoks on sobilik käigukruvi PTGSG-40X7-01-R, mis on ühekäiguline, trapetskeermega terasest käigukruvi. Käigukruvi parameetrid on välja toodud tabelis 4.1. Käigukruvile oli sobiv plastmutter JFRM-6770TR40X7, mille hõõrdetegur terase vastu on 0,06-0,18.

Tabel 4.1 Käigukruvi parameetrid [5]

	Kruvi pikkus, m	Välisdiameeter, m	Keskdiameeter, m	Keerme samm, mm	Keerme tõusunurk, °
Käigukruvi parameetrite numbrilised väärtused	1,5	0,04	0,036	7	3,19

4.1 Elektrilise ajami valiku arvutused

Selleks, et sobiv mootor leida tuleb välja arvutada kruvi liikuma panekuks vajalik pöördemoment. Pöördemomendi leidmiseks kasutati allolevat valemit [2]:

$$T = F \frac{d_2}{2} \tan(\psi + \varphi') = 343,35 \frac{0,036}{2} \tan(3,19 + 10,56) = 1,56 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (4.1)$$

kus F – kruvile mõjuv lineaarjõud, N,

d_2 – keskdiameter, m,

ψ – keerme tõusunurk, °,

φ' – redutseeritud hõõrdenurk, °.

$$F = m * g = 35 * 9,81 = 343,35 \text{ N} \quad (4.2)$$

kus m – tõstetav mass, kg,

g – raskuskiirendus, m/s².

$$\varphi' = \arctan \frac{f}{\cos \frac{\alpha}{2}} = \arctan \frac{0,18}{\cos \frac{30}{2}} = 10,56^\circ \quad (4.3)$$

kus f – hõõrdetegur,

α – trapetskeerme profiilinurk, °.

Suheldes tehase personaliga selgus, et tõukeratas võiks maast töökõrgusele liikuda umbes viie sekundiga. Alloleva arvutuse abil leian selleks vajaliku mootori pöörlemiskiiruse:

$$v = \frac{l}{p \cdot s} = \frac{1,5}{0,007 \cdot 5} \approx 43 \frac{1}{s} = 2580 \text{ 1/min} \quad (4.4)$$

kus l – käigukruvi pikkus, m,

p – keerme samm, m.

Eelpool teostatud arvutustest (4.1 ja 4.4) selgub, et otsitav mootor peab suutma tekitada vähemalt 1,56 Nm pöördemomenti ja pöörlema vähemalt 2580 p/min. Need väärtused võeti sisendiks, kui asuti otsima koostamise rakisele sobivat mootorit.

4.2 Festo elektroonika valik

Selleks, et leida koostamise rakisele sobiv elektroonika lahendus võeti ühendust Festo Eesti filiaali müügiinseneriga. Müügiinsenerile edastati info projekteeritava lahenduse konseptsioonist ning ajamilt nõutavad pöördemoment ja pöörlemiskiirus. Peale täpsustavate küsimuste selgitamist pakkus müügiinsener välja kõik vajalikud elektroonika komponendid, et soovitud funktsionaalsus tagada. Lõplikud komponendid on välja toodud allolevas tabelis.

Tabel 4.2 Festo poolt valitud elektroonika tooted

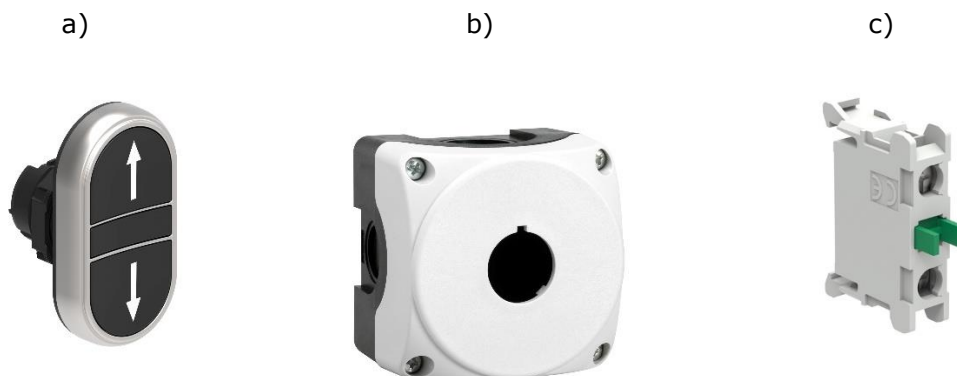
	Ajam, servomootor	Mootori kaabel	Servokontroll	Pistikud	Juhtüksus	Sidur	Lähestumisandur
Toote nimi	EMMT-AS-80-M-LS-RSB	NEBM-M23G15-EH-2.5-Q7N-R3	CMMT-AS-C4-3A-PN-S1	NEKM-C6-C16-S	CDSB-A1	EAMC-56-58-19-25	SIEN-M8B-PS-K-L

Valitud mootori nominaal pöördemoment on 2.2 Nm ning nominaalne pöörlemiskiirus on 3000 p/min, mis piisava varuteguriga, et tagada süsteemi vastupidavus ning nõuetele vastav toimimine.

4.3 Juhtnuppude ja elektrikilbi valik

Kui rakisel kasutatavad elektroonikakomponendid olid valitud oli vaja hakata mõtlema juhtmete vedamise peale. Juhtmestuse tegemisel pidi meeles pidama, et kaablid ei satuks pöörlevate osade vahele ning kogu süsteemi juhtmestus näeks esinduslik välja. Koostamisrakisele oli vaja kahte juhtnuppu, mille eesmärk oleks liigutada kinnituskäppa üles ja alla. On vaja ühte avariinuppu mis katkestaks vajadusel mootori töö. Elektrikilpi, kuhu sisse paigutada mootorikontroller, 24 V toiteplokk, kaitselüliti ja pealüliti. Kõik eelmainitud elektrikaubad valiti ja osteti kas Viru ElektriKaubanduse või Effex e-poest. Peamiselt eelistati komponentide valikul Lovato tooteid, kuna need olid juba ka teistes tehase seadmetes kasutusel ning seega saadi kindel olla toodete kvaliteedis ning funktsionaalsuses. Lisaks on tehase seadmetes mõistlik kasutada võimalikult sarnaseid tooteid, et hoolduse teostamine oleks hõlpus ning peale masina ehitanud inseneri lahkumist firmast oleks firma töötajatel teada masinas kasutatud komponendid.

Juhtnuppudeks osutus valituks kahefunktsionaalne surunupp, mis paigaldati karbi sisse, kus asusid kontaktplokkid.



Joonis 4.1 Juhtnupusüsteem a) Kahefunktsionaalne surunupp [6] b) Surunupu karp [7] c) Kontaktplokk [8]

Juhtnupud paiknesid koostamise rakise külje peal, operaatorile mugaval kõrgusel. Kohe juhtnupu all paiknes ka avariilüliti [9], mille eesmärk on aktiveerimisel katkestada mootori toide, misjärel lakkab süsteem töötamast.



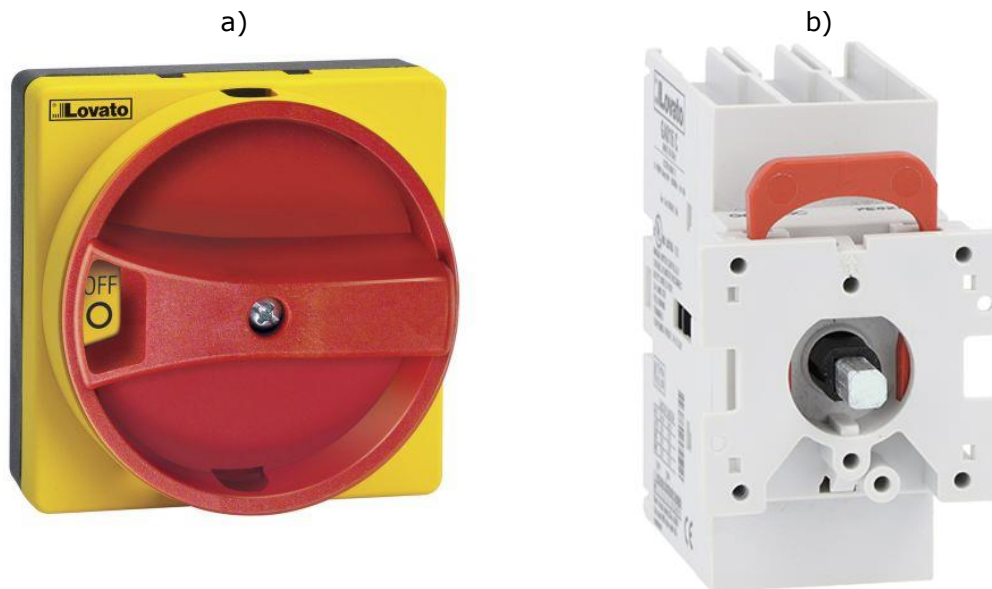
Joonis 4.2 Avariilüliti

Koostamisrakise toimimise jaoks jooksid kõik juhtmed elektrikilpi, kus paiknesid 24 V toiteplokk [10], kaitselüliti [11], pealüliti [12] ning mootorikontroller. Elektrikilbi valimisel lähtusin eelmainitud toodete kabariitmõõtmetest. Elektrikilp projekteeriti rakise taha võimalikult madalale positsioonile ning selles kohas oli piisavalt ruumi, et kõik komponendid elektrikilbi sisse teineteise kõrvale paigutada, kuna toiteploki, kaitselüliti ja mootorikontrolleri laiuste summa oli pelgalt 110 mm. Otsustavaks faktoriks osutus hoopis mootorikontroller, mis oli kilbis asetsevatest komponentidest kõige suuremate kabariitmõõtmetega. Nimelt oli leiti kontrolleri andmelehest [13], et kontrolleri laius oli 50mm, kõrgus 212mm ning sügavus 183mm. Elektrikilbi kõrguses ja laiuses ei olnud takistavaid tegureid, küll aga oli oluline elektrikilbi sügavus, kuna ei tahtud, et rakise tagaküljest eenduks suur element, mis muudaks rakise kohmakaks ning viiks rakise massikeskme taha poole. Seega juhitud kiilbi valikul mootorikontrolleri sügavusest ning sellest johtuvalt osutus valituks 400x400x250 mm metallist elektrikilp, mis on kujutatud ka joonisel 4.3.



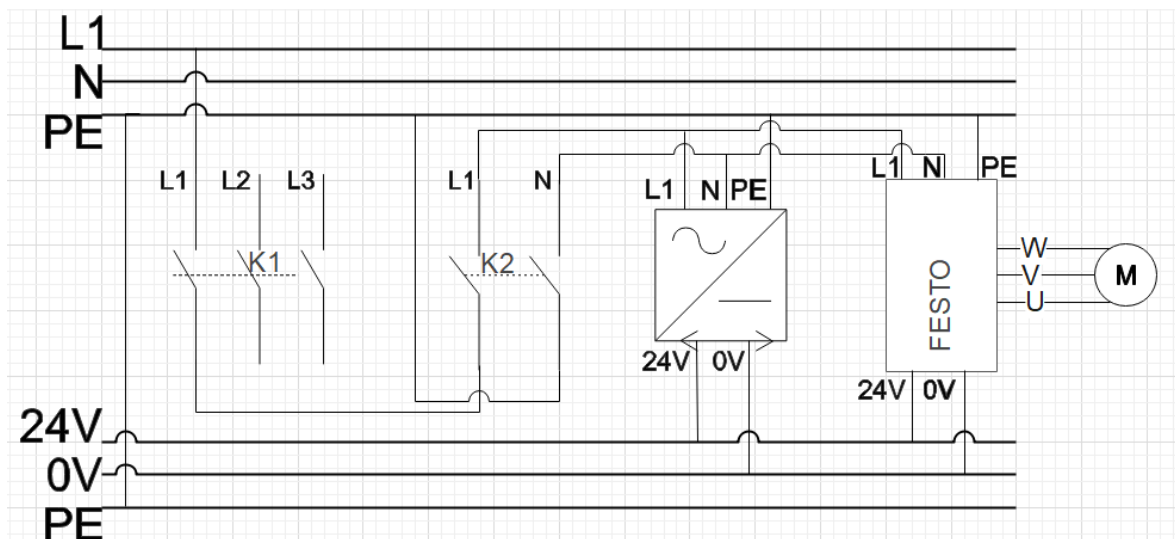
Joonis 4.3 Elektrikilp [14]

Elektrikilbi küljel asub keeratav pealüliti koos käepidemega [15], mille eesmärk on võimaldada lülitada koostamisrakise elektroonikakomponente sisse, ilma et peaks toitekaablit seinakontaktist eemaldama.



Joonis 4.4 a) Elektrikilbi käepide b) Pealüliti

Elektrikilbis olevate komponentide ühendamiseks ja elektrisüsteemi paremaks mõistmiseks joonistati lihtne juhtmestamise skeem, mille abil oleks hiljem võimalik koostamise rakise elektroonikakomponente omavahel ühendada (Joonis 4.5). Elektriskeemi joonistamiseks kasutati vabavaralist tarkvara Edraw Max.

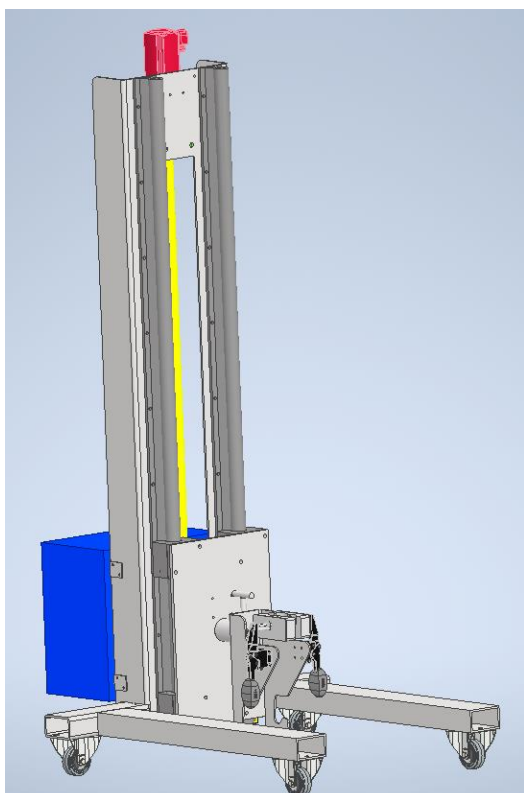


Joonis 4.5 Lihtsustatud juhtmestamise skeem. Seadmed vasakult paremale: K1 - pealüliti, K2 - kaitselüliti, 230V/24VDC toiteplokk, Festo mootorikontroller, mootor

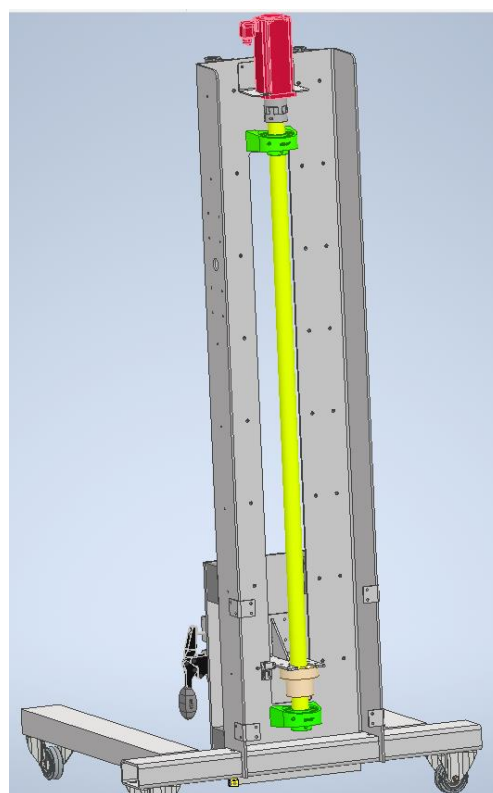
5 LÕPLIKU LAHENDUSE PROJEKTEERIMINE

Kolmandaks konseptsiooniks otsustati tugistruktuuri tugitalad asendada 5 mm paksuse terasest painutatud profiiliga. See lahendus sobis kõige paremini, sest laserlõigatud lehtmetsa lõiketolerants on +/-0,1 mm, mis on käesoleva koostamise rakise jaoks piisav, lisaks saab kindel olla, et juhikud on teineteise suhtes paralleelsed ning seega välistada liuglaagrite kinnipoomist. Lehtmetsalist profiil on keevitatud nelikanttorude külge, mis moodustavad omavahel rakise alusstruktuuri. Kogu rakis toetub laialdaselt kasutusel olevatele polüamiid polüuretaankattega 80mm ratastele. Need rattad osutusid valituks oma kandevõime tõttu. Nimelt on ühe ratta kandevõime 100 kg ning rakis kasutab nelja ratast, ehk kokku on rataste kandevõime 400kg. Kogu rakis koos töökerataga kaalub ligi 140 kg. Ehk valitud ratastega on tagatud ligi kolme kordne varutegur. Rakise tagumised rattad on pöörlevad ning piduriga [16] ning tagumised rattad pidevalt ühte asendisse fikseeritud [17], mis tähendab et tagumiste rataste lukustamisel ei ole võimalik rakist enam paigalt liigutada.

a)

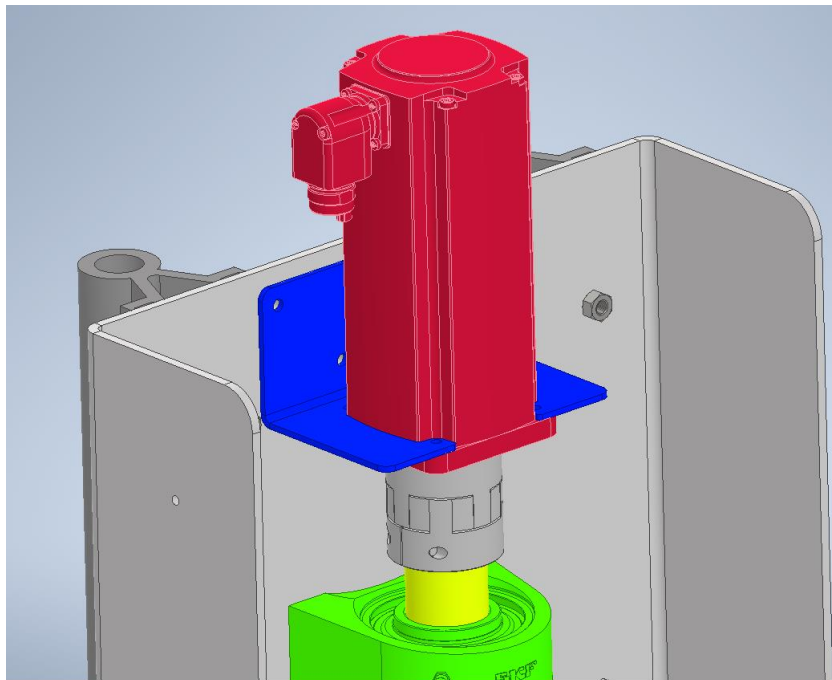


b)



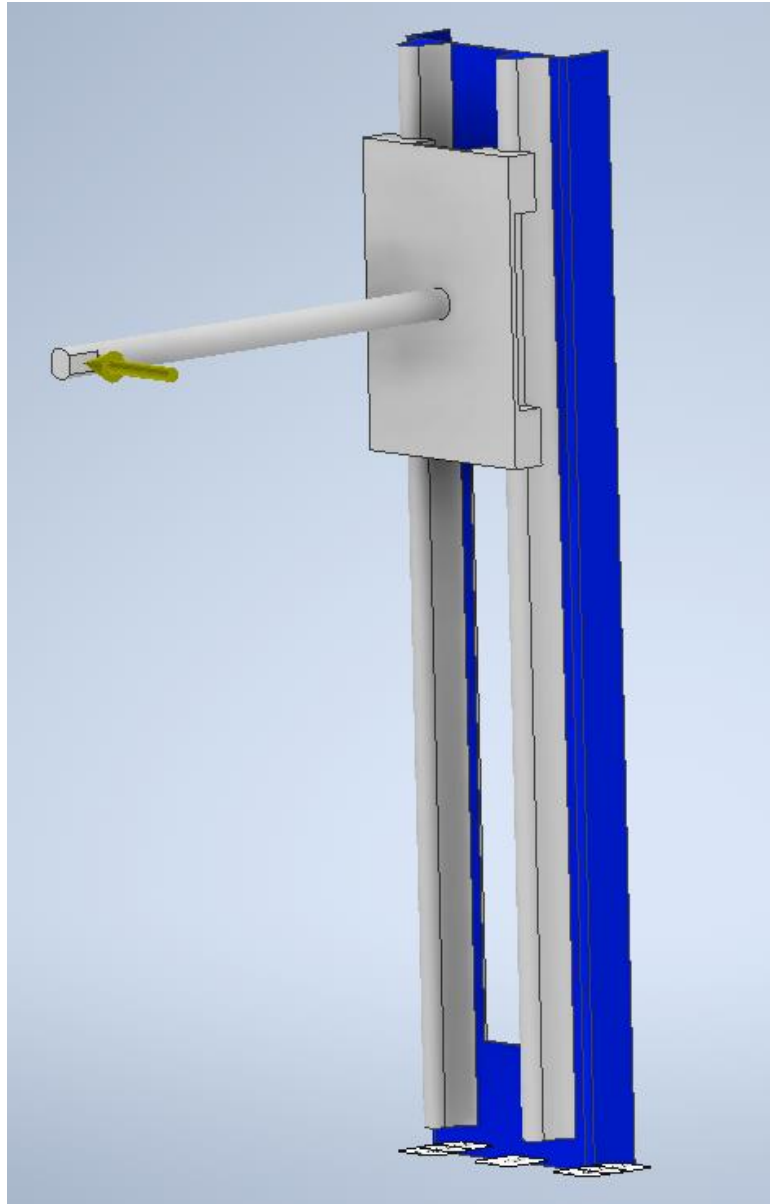
Joonis 5.1 Lõpliku lahenduse mudel a) Rakise esikülg b) Rakise tagakülg peidetud elektrikilbiga

Käigukruvi kinnitamiseks kasutati kahte SKF-i pukklaagrit SYF 40 TF, mis on alloleval joonisel kujutatud rohelise värviga. Antud laagrid on kompaktsed, vastupidavad ning kvaliteetsed, lisaks on laagri suurim lubatud pöörlemiskiirus 4800 p/min, mistõttu sobivad need käesolevale koostamise rakisele [18]. Ruumipuuduse tõttu paigutati servomootor käigukruvi peale, mida on joonisel 5.2 kujutatud punase värviga. Servomootori kinnitamiseks kasutati ära mootori kinnituspunkte, ning 3 mm paksusest lehtmetailist painutatud kinnitusnurkasid, mis on alloleval joonisel kujutatud sinise värviga.



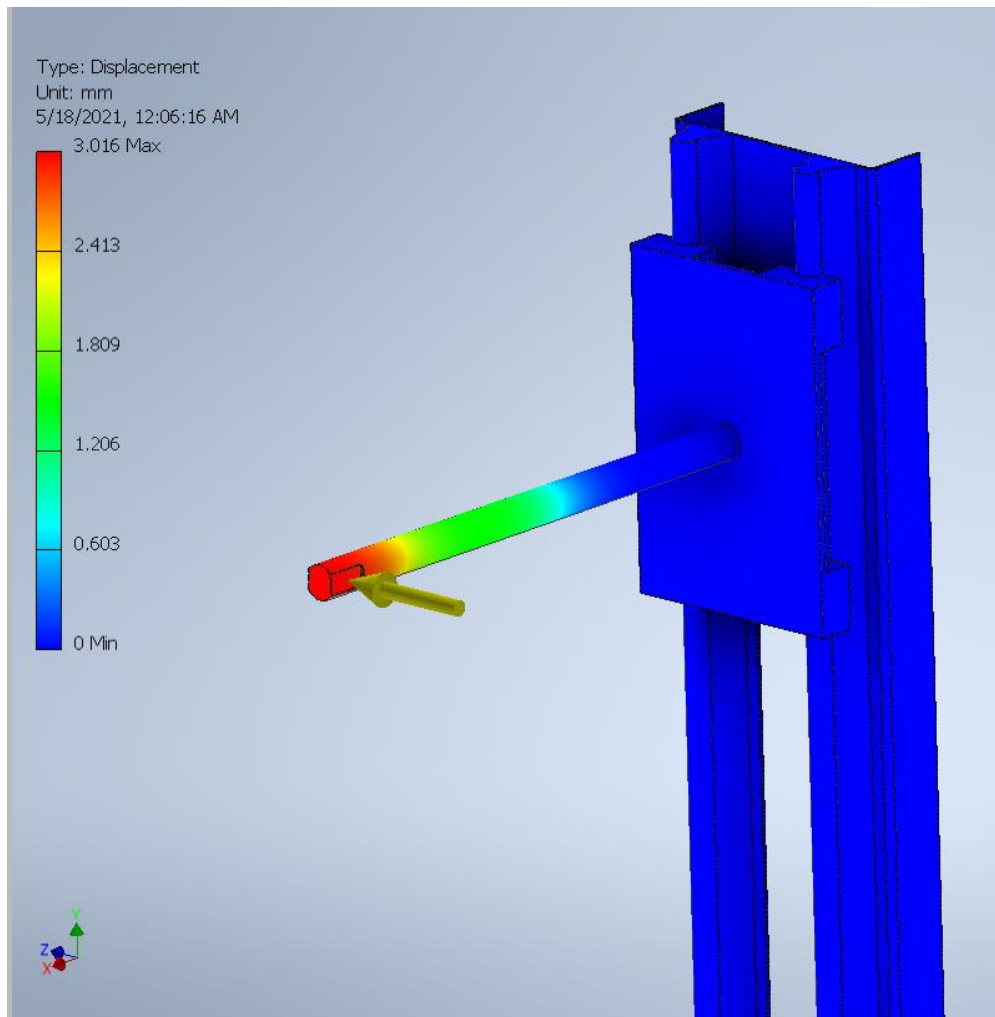
Joonis 5.2 Mootori kinnitus

Selleks, et olla kindel projekteeritava rakise jäikuses tehti rakisele tugevusanalüüs, kasutades projekteerimistarkvara Inventor 2021 sisseehitatud tugevusanalüüsi võimekust. Analüüsi eesmärk oli valideerida, kas ka asendis, kus tõukeratas on kõige kõrgemas positsioonis ning tõukerattale rakendatakse külgsuunaline jõud, on rakise tugistruktuur piisavalt jäik ja ei paindu läbi. Esiteks loodi rakisest lihtsustatud mudel, kus analüüsi fookuses olev tugistruktuur on alloleval joonisel kujutatud sinise värviga.



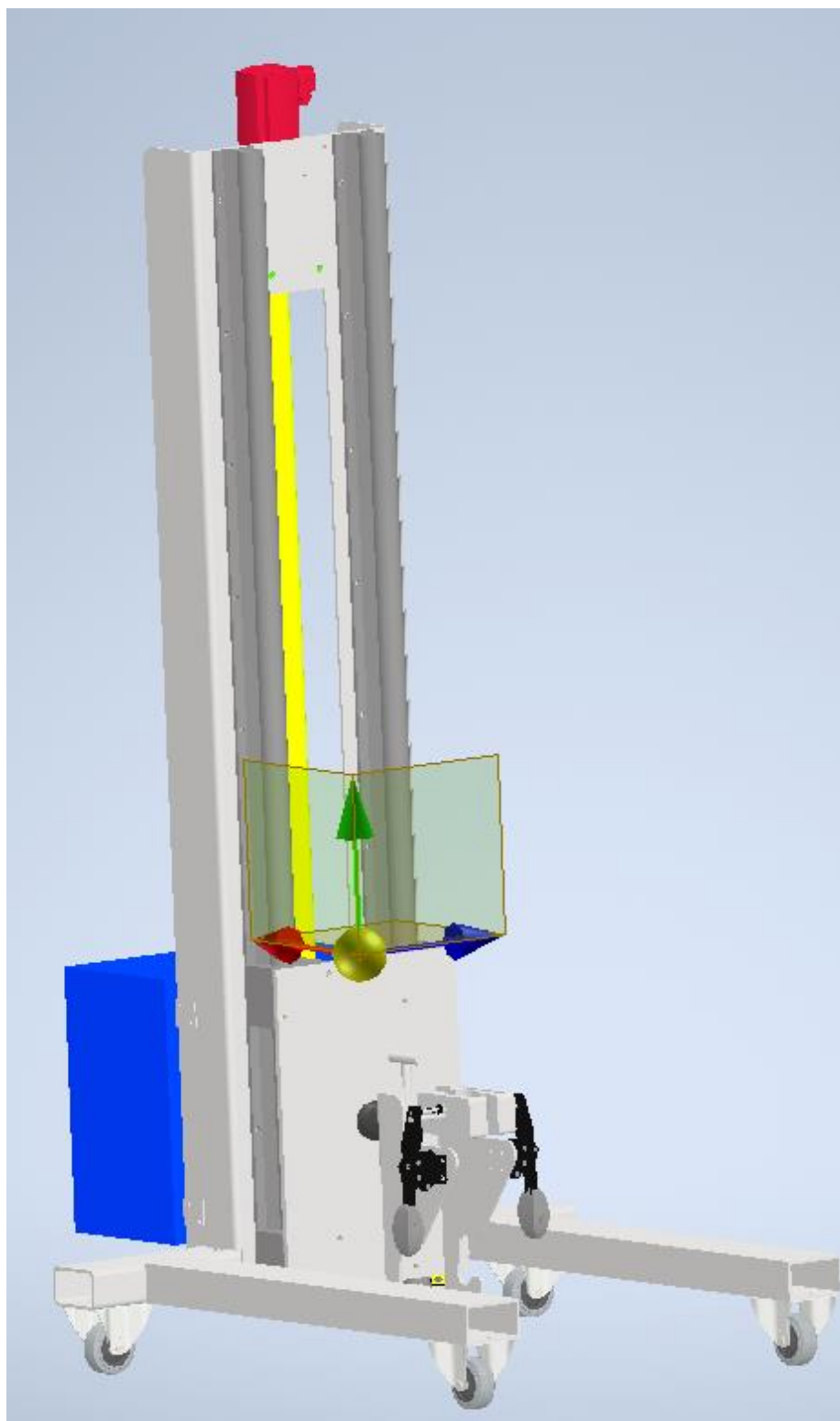
Joonis 5.3 Koostamise rakise lihtsustatud mudel tugevusanalüüsiks

Rakise tugiplaadist eendub 0.8 m pikkune profiil, mille otsale määrati 300 N suurune külgsuunaline jõud. Rakisele määrati materjaliks teras, mille voolepiir on 235 MPa. Tugistruktuuri alumised pinnad fikseeriti, et takistada nende liikumine kõikides vabadusastmetes. Analüüsi tulemusena selgus, et projekteeritud koostamise rakise tugistruktuur on piisavalt jäik ning läbipaine ka suurematel jõududel oli minimaalne ning kinnitas eeldust, et projekteeritud lahendus on sobiv. Alloleval joonisel on kujutatud analüüsitud rakise läbipaine. Joonisel 5.4 on näha kuidas rakise tugistruktuur ei paindu rakendatud jõuga praktiliselt üldse, mis oli analüüsi tehes ka soovitud tulemus.



Joonis 5.4 Koostamise rakise läbipainde kujutamine

Enne lõpliku lahenduse kinnitamist kontrolliti üle ka kogu rakise massikeskme asukoht, et veenduda, et rakis ei hakkaks taha poole kalduma. Joonisel 5.5 on näha kogu rakise massikeskme asukoht. Võttes arvesse, et töökeratas ja sellele rakendatav jõud hakkab olema rakise esiküljel jäädi lahendusega rahule ning otsustati rakise metallkomponendid tootmisesse saata ning tellida ära kõik vajalikud ostukomponendid.



Joonis 5.5 Koostamise rakise massikeskme asukoht

6 KOOSTAMISRAKISE VALMISTAMINE

Koostamisrakise terasdetailide saabumisel keevitati kokku tugistruktuur, kinnituskäpa süsteem ning liuglaagrite tugiplaat firmas MFG Nordic. Koostamise rakise lihtsa struktuuri tõttu ei nõudnud mehaanilise osa koostamine eriti palju aega, sest vajalik oli ainult ostutooted keevitatud detailide külge poltliidestega kinnitada. Peale mehaanilise lahenduse koostamist siirduti elektrilise lahenduse koostamise juurde. Selle jaoks oli vaja juhtmestada elektrikilbis olevad seadmed, lisada koostamise rakisele juhtnupud ja hädalüliti, ühendada induktiivandur ja mootori kaablid Festo mootorikontrolleriga. Alloleval joonistel on kujutatud valmis rakis koos ühendatud elektroonikalahendusega.



Joonis 6.1 Koostamise rakise esikülg



Joonis 6.2 Koostamise rakise tagakülg

6.1 Mootori seadistamine

Kogu süsteemi tööle panekuks kasutati Festo Automation Suite tarkvara, mille abil on ilma keerulise protsessita võimalik seadistada Festo mootoreid. Mootorile määrati pöörlemiskiiruseks 2600 p/min. Mootori juhtimine käib tugistruktuuril olevate nuppude abil, millega saab mootori pöörlemissuunda muuta. Registreerimaks kinnituskäpa jõudmist alumisse asendisse oli tugistruktuuri alla äärde paigaldatud induktiivandur. Anduri eesmärk on anda mootorikontrollerisse signaal, kui kinnituskäpp on jõudnud oma

algasendisse, kus paigaldatakse tõukeratas rakisele. Induktiivandur on seade, mille pingestamisel tekib tunnistuspea ümber elektromagnetväli. Igasugune metallist objekt, mis satub sellesse välja nõrgestab seda. Kõige rohkem nõrgeneb väli ferromagnetilise objekti puhul, nagu rakises kasutatud terasprofiil. Andurisse integreeritud elektroonika kontrollib anduri poolt tekitatud välja tugevust ja selle nõrgenemine muundatakse väljundsignaaliks [19]. Antud olukorras saadab induktiivandur signaali siis, kui plastmutrit ja liuglaagrite tugiplaati ühendav terasprofiil jõuab anduri ette.

Mootori seadistamiseks tuli esiteks valida tarkvaras kõik süsteemis olevad seadmed. Kuna antud töös olid Festo toodeteks mootorikontroller ja mootor siis tuli sai need sisestada juba eelseadistatud valikutena. Lineaartelg ja mootori kinnitussüsteem oli vaja eraldi seadistada. Seejärel sisestati tõstetava elemendi mass, mis oli 30 kg. Peale seda oli vaja seadistada, kas süsteemis on mõni lõpulüliti. Antud töö raames kasutati ühte induktiivandurit, mille ülesanne on registreerida tõukeratta jõudmist nullpunkti, ehk alumisse asendisse. Peale seda tuli valida meetod, kuidas tuvastatakse nullpunkti asend. Valituks osutus induktiivanduri sisendist mõõdetav lahendus. Viimase sammuna pidi seadistama ära tarkvaralised piirangud, mis antud juhul tähendas soovitud maksimaalse liikumiskõrguse sisestamist. Enne kogu süsteemi tööle panekut pandi mootor laua peal keerlema, et valideerida kas süsteem töötab nii nagu soovitud. Kui mootori tööparameetrid olid seadistatud tuli koostada tabel, mis kajastaks juhtnuppude ülesandeid. Peale seda oli mootor seadistatud ning koostamisrakis oli valmis kasutamiseks.

KOKKUVÕTE

Käesoleva töö eesmärgiks oli luua elektrilise tõukeratta mehhaniseeritud koostamise rakis, mille abil tõsta Comodule OÜ konkurentsivõimet läbi efektiivsema tootmise.

Lahenduse projekteerimisele eelnes kasutuses oleva koostamisrakise analüüs, millest selgusid projekteeritavale rakisele nõuded ning suurimad kitsaskohad, mida peaks kindlasti arendatavasse lahendusse integreerima.

Nõuete kaardistamisele järgnes esimeste kontseptsioonide projekteerimine, millele järgnes konsultatsioon kogenud inseneridega, kellega koostöös selgusid projekteeritud kontseptsiooni puudujäägid. Seejärel arendustsükkel kordus, kuni leiti sobilik kontseptsioon, mis täitis kõiki eelnevalt määratud nõudeid. Paralleelselt projekteerimisega pidas töö autor kõnelusi Festo ning IGUSE müügiinseneridega, et leida koostamise rakisele sobilikud müügitooted, mis rahuldaks soovitud funktsionaalsust. Jõudes sobiliku lahenduseni saadeti koostamise rakise mehaanilised osad tootmisesse ja tutvuti elektroonikakomponentide andmelehtedega. Kõikide komponentide kohale jõudmisel valmistati koostamise rakise mehhaaniline pool, kinnitati rakisele elektroonikakomponendid ning toimus juhtmestamine. Viimase sammuna seadistati süsteemi mootor ning seejärel oligi elektrilise tõukeratta koostamise rakis valmis.

Lõputöö tulemusena valmis elektromehaaniline koostamise rakis, mille abil ei pea operaator ennast füüsiliselt koormama, et elektriline tõukeratas koostamiseks endale sobivale kõrgusele tõsta. Suure füüsilise pingutuse vältimine tähendab, et koostaja jõuab ühe päeva jooksul rohkem tõukerattaid valmistada, ning pole töönädala lõpuks kurnatud. Kõik eelmainitud tõstab tehase personali võimet valmistada rohkem ning kiiremini tooteid ning see on otseselt seostud firma tootlikkuse ning efektiivsuse tõusuga. Seetõttu võib lugeda lõputöö eesmärgi täidetuks.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

[1] Raskuste käsitsi teisaldamise töötervishoiu ja tööohutuse nõuded [Võrgumaterjal].
Saadaval: <https://www.riigiteataja.ee/akt/117072018002> [Kasutatud 17.05.2021].

[2] I. Penkov, MHE0061 MASINATEHNIKA: Loengukonspekt. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, 2007. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.tlu.ee/~saarsulo/masinaopetus/MHE0061-Loengukonspekt.pdf> [Kasutatud 17.05.2021].

[3] „Electro-Mechanical vs. Hydraulic & Pneumatic Actuators,” INTELLIGENT 61 MOTION CONTROL LIMITED, [Võrgumaterjal]. Saadaval: http://www.inmoco.co.uk/electro-mechanical_vs_pneumatic_actuators [Kasutatud 17.03.2021].

[4] Igus lineaarsüsteemid [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.igus.com/info/drylin-linear-guides-overview> [Kasutatud 10.04.2021].

[5] Igus „PTGSG-40X7-01-R käigukruvi” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.igus.ee/product/?artnr=PTGSG-40X7-01-R> [Kasutatud 10.04.2021].

[6] Viru Elektrikaubandus. „Surunupp, 2 funkts. LPC, MUST/MUST (↑ - ↓), IP66, ilma adapterita, Lovato.” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.ve.ee/surunupp-2-funkts-lpc-mustmust-ip66-ilma-adapterita-lovato> [Kasutatud 17.05.2021].

[7] Viru Elektrikaubandus. „Surunupu karp LPZ, 1 ava, HALL, põhjakinnitus, IP66, 1xM16 ja 2xM20/M25, Lovato.” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.ve.ee/surunupu-karp-lpz-1-ava-hall-p%C3%B5hjakinnitus-ip66-1xm16-ja-2xm20m25-lovato> [Kasutatud 17.05.2021].

[8] Viru Elektrikaubandus. „Kontaktiplokk LPX, 1NO, põhjakinnitus, Lovato.” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.ve.ee/kontaktiplokk-lpx-1no-p%C3%B5hjakinnitus-lovato> [Kasutatud 17.05.2021].

[9] Viru Elektrikaubandus. „Karbist (KOLLANE) AVARII-STOP, PUNANE, 1NC, IP66, 1xM16 ja 1xM20/M25, Lovato.” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.ve.ee/karbist-kollane-avarii-stop-punane-1nc-ip66-1xm16-ja-1xm20m25-lovato> [Kasutatud 17.05.2021].

[10] Effex. „EDR150-24 Stabiliseeritud toiteplokk DIN-latile 230V/24VDC-6,5A MeanWell” [Võrgumaterjal]. Saadaval:

<https://www.effex.ee/?pg=1&id=2468&pgr=2&sgr=314&wid=d27f8189-fee4-4724-9349-7bd9fefb8385> [Kasutatud 17.05.2021].

[11] Effex. „PL7-C16/1N Kaitselüliti+N 1F 16A C 10kA Eaton“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.effex.ee/?pg=1&id=1238&pgr=2&sgr=50&wid=d2693bdf-495f-4580-a2c4-bdc94e844d7c> [Kasutatud 17.05.2021].

[12] Viru Elektribandus. „Koormusüliti GA, 3P, 25A, uksele (lisada GAX61), Lovato“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.ve.ee/koormusl%C3%BCliti-ga-3p-25a-uksele-lisada-gax61-lovato> [Kasutatud 17.05.2021].

[13] FESTO, „Servo drives CMMT-AS,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_ENGB/PDF/EN/CMMT-AS_EN.PDF [Kasutatud 17.05.2021].

[14] Viru Elektribandus. „Metallkilp 400x400x250 IP66 mont. plaadiga. Adapterplaat 140x300“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.ve.ee/metallkilp-400x400x250-ip66-mont-plaadiga-adapterplaat-140x300> [Kasutatud 17.05.2021].

[15] Viru Elektribandus. „Käepide uksele 0-1 P/K IP65, 5mm, GA...A/GA...C , Lovato“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.ve.ee/k%C3%A4epide-uksele-0-1-pk-ip65-5mm-gaagac-lovato> [Kasutatud 17.05.2021].

[16] Tööriistamarket. „Ratas pöörlev piduriga 80mm“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.xn--triistamarket-imba.ee/et/ratas-p%C3%B6%C3%B6rlev-piduriga-80mm#tab1-tab> [Kasutatud 17.05.2021].

[17] Tööriistamarket. „Riuli ratas 80mm oranz.“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.xn--triistamarket-imba.ee/et/riuli-ratas-80mm-oranz> [Kasutatud 17.05.2021].

[18] SKF „SYF 40 TF pukklaager“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.skf.com/my/products/rolling-bearings/ball-bearings/angular-contact-ball-bearings/single-row-angular-contact-ball-bearings/productid-SYF%2040%20TF> [Kasutatud 10.04.2021].

[19] Standel, „Induktiivandurid“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: http://www.standel.ee/tooted?category_id=22 [Kasutatud 02.05.2021].