



TALLINNA TEHNICAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Mehaanika ja tööstustehnika instituut

**Endoskoopide käsirataste momendimõõtmise
seadme väljatöötamine Karl Storz Video
Endoscopy Estonia OÜ-le**

**Development of torque testing device for endoscope
handwheels for Karl Storz Video Endoscopy Estonia OÜ**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Mihkel Nuut
/nimi/

Üliõpilaskood 183374MATM

Juhendaja: Martinš Sarkans, vanemteadur
/nimi, amet/

Tallinn 2020

(Tiitellehe pöördel)

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.

"....." 2020

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 2020

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."2020 .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Mihkel Nuut (*autori nimi*) (sünnikuupäev:29.08.1996.)

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

Endoskoopide käsirataste momendimõõtmise seadme väljatöötamine Karl Stroz Video Endoscopy Estonia OÜ-le

(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja on Martinš Sarkans

(*juhendaja nimi*)

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

1.1.1 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.

¹*Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.*

_____ (*allkiri*)

_____ (*kuupäev*)

Mehaanika ja tööstustehnika instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Mihkel Nuut 183374 MATM (nimi, üliõpilaskood)
Õppekava, peeriala: MATM02/18 Tootearendus (kood ja nimetus)
Juhendaja(d): vanemteadur, Martinš Sarkans (amet, nimi, telefon)
Konsultant:(nimi, amet)
..... (ettevõtte, telefon, e-post)

Lõputöö teema:

(eesti keeles) ENDOSKOOPIDE KÄSIRATASTE MOMENDIMÕÕTMISE SEADME VÄLJATÖÖTAMINE KARL STORZ VIDEO ENDOSCOPY ESTONIA OÜ-LE

(inglise keeles) DEVELOPMENT OF TORQUE TESTING DEVICE FOR ENDOSCOPE HANDWHEELS FOR KARL STORZ VIDEO ENDOSCOPY ESTONIA OÜ

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Testseadme lahendi väljatöötamine
2. Väljatöötatud CAD mudeli projekteerimine
3. Lõpliku lahendi koostamine

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Probleemi kirjeldus, lähteülesande püstitus, tehniline spetsifikatsioon	31.01.2020
2.	Kontseptsioonide teostamine, CAD mudel, mehaanikaosa projekteerimine, tugevusarvutused	01.03.2020
3.	Testseadme elektroonika ja juhtimine	01.04.2020
4.	Testseadme lõpp lahendi projekteerimine	01.05.2020
5.	Lõputöö vormistamine, hinnakalkulatsiooni teostamine	15.05.2020

Töö keel: eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "25" Mai 2020a

Üliõpilane: Mihkel Nuut "25" Mai 2020a
/allkiri/

Juhendaja: Martinš Sarkans. "25" Mai 2020a
/allkiri/

Konsultant: "25" Mai 2020a
/allkiri/

Programmijuht: Martin Eerme "25" Mai 2020a
/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

Mehaanika ja tööstustehnika instituut	4
EESSÕNA	7
1 SISSEJUHATUS	8
2 SEADMETE ANALÜÜS JA LÄHTEÜLESANNE	9
2.1 Endoskoopide käsitlemise analüüs	9
2.1.1 Kolonoskoop.....	10
2.1.2 Gastro – ja duodenoskoop	11
2.1.3 Veterinaarendoskoop	11
2.2 Olemasolevate testseadmete analüüs.....	13
2.2.1 Ettevõttes varasemalt tehtud lõputööd.....	13
2.2.2 Olemasolev testseade.....	15
2.3 Testimine olemasoleva testseadmega.....	20
2.3.1 Testseadme ülesehitusega seotud probleemid	22
2.3.2 Nõuded konstrueeritavale testseadmele	23
2.4 Konstrueeritava testseadme tööpõhimõte	24
3 LAHENDUSTE VÕRDLUS	25
3.1 Testseadme kontseptsioon 1	25
3.2 Testseadme kontseptsioon 2	28
3.3 Testseadme kontseptsioon 3	32
3.4 Välja pakutud tehniliste lahenduste võrdlus	34
4 TESTSEADME PROJEKTEERIMINE	35
4.1 Käsirataste pööramise koost	35
4.1.1 Mootori ja anduri valik	35
4.1.2 Arvutus võllile	39
4.1.3 Positsiooniandur	42
4.1.4 Käepideme koost	46
4.2 Elektroonikaseadmete korpus ja kasutajaliides	48
4.3 Raami koost	53
4.4 Seadme kasutamine	55
5 MAJANDUSLIKUD ARVUTUSED.....	57
KOKKUVÕTE	59
SUMMARY	61

KASUTATUD KIRJANDUS	63
LISAD	67
Lisa 1. Laagri tehnilised andmed	68
Lisa 2. 3D prinditud detailide materjali andmed	69
GRAAFILINE OSA	71

EESSÕNA

Lõputöö teema on pakutud ettevõtte Karl Storz Video Endoscopy Estonia OÜ poolt, kus toimus testseadme valmistamine ja lõputöös väljapakutud disaini tegemine. Töö autor töötab ettevõttes arendusosakonnas ning seeläbi leiti ühiselt vajalik lõputöö teema. Algandmed on saadud ettevõttes olemasolevalt testseadmelt, vaneminseneridelt, kes on ettevõttes pikalt töötanud. Seadme arendus on valminud lõputöö autori poolt. Magistritöö on kirjutatud dotsent Martinš Sarkansi juhendamisel.

Lõputöö autor soovib tänada ettevõtet võimaluse eest kirjutada ja koostada lõputöö firmasiseselt, kolleege nõustamise ja abi eest ning lõputöö juhendajat Martinš Sarkansit.

Käesoleva lõputöö sisuks oli endoskoopide testseadme arendus. Seadme arenduse vajalikkus tulenes sellest, et olemasoleva seadmega on mõõtmiste teostamine probleemne ning seadme kasutamine on tülikas. Arendusprotsessi aluseks olid artiklid ja ettevõtte instrumentide infolehed, eksisteeriv testseade. Analüüsitava osa lõpetuseks teostati erinevate kontseptsioonide variandid. Järgmisena toimus olemasoleva testseadme edasiarendus ja optimeerimine, mille peamine eesmärk oli testseadme kasutamise lihtsustamine ja andmete kättesaadavuse parandamine. Seadmele valiti välja või konstrueeriti vajalikud komponendid. Test seadmel kasutati peale mehaanikakomponentide ka elektroonikat sisaldavaid kooste ning kasutajaliidest. Lõputöö tulemuseks valmis testseadme prototüüp ettevõttele.

Märksõnad: Karl Storz Arendus Testseade Magistritöö

1 SISSEJUHATUS

Endoskoopia on mittekirurgiline protseduur, mida kasutatakse inimese seedetrakti uurimiseks. Endoskoop on painduv toru, mille küljes on valgusallikas ja kaamera, mille abil doktor näeb, mis inimese sees toimub. Endoskoobid võib jagada peamiselt kahte rühma, fiiberoptilised painduvad ja jäigad endoskoobid.

Antud lõputöö sisuks on olemasoleva suurte veterinaarendoskoopide ja gastroenteroloogia endoskoopide juhtmehaanika momendimõõtmise testseadme edasiarendus. Seadme eesmärgiks on koguda konkreetset infot momendianduri abil, mis annab sisendi arendusinseneridele edasiarenduse jaoks.

Testseadme arenduse vajalikkus seisneb selles, et olemasoleva testseadmega mõõtmine on ebatäpne ja seega tulemused erinevad tegelikkusest. Testimise valimis on peamiselt suured gastroenteroloogia endoskoobid, sest neile instrumentidele on see testimine kõige suurema olulisusega. Lõputöös uuritakse tänapäevaseid endoskoopidega tehtavaid meditsiinilise protseduure ning leitakse optimaalsem konstruktiivne lahendus testseadmele. See tagab täpsemad mõõtmised ja lihtsustab üldist seadme kasutamist. Sellest lähtuvalt on käesolev lõputöö ülesehitus järgnev:

1. Testimise jaoks valitud endoskoopide konstruktsiooni uurimine, nendega meditsiiniliste protseduuride tegemise analüüs, kirjeldatakse erinevate endoskoopide kasutusvälja.
2. Olemasoleva testseadme analüüs, kus leitakse üles probleemsed kohad olemasoleval seadmel, mis on otseseks sisendiks uue testseadme arendusel. Ettevõttes varasemalt teostatud testseadmete kirjeldus, mis annab ülevaate ning mõtteid ka käesoleva magistritöö jaoks.
3. Üldise disaini ja struktuuri väljatöötamine, mille eesmärgiks on välja pakkuda erinevaid kontseptsioone, mida võrrelda omavahel.
4. Parima lahenduse edasiarendus, mille põhiliseks eesmärgiks on seadme konstrueerimine, komponentide valik ning testseadme üheks koostuks sidumine.
5. Hinnakalkulatsioon, milles tuleb välja seadme ligikaudne maksumus.

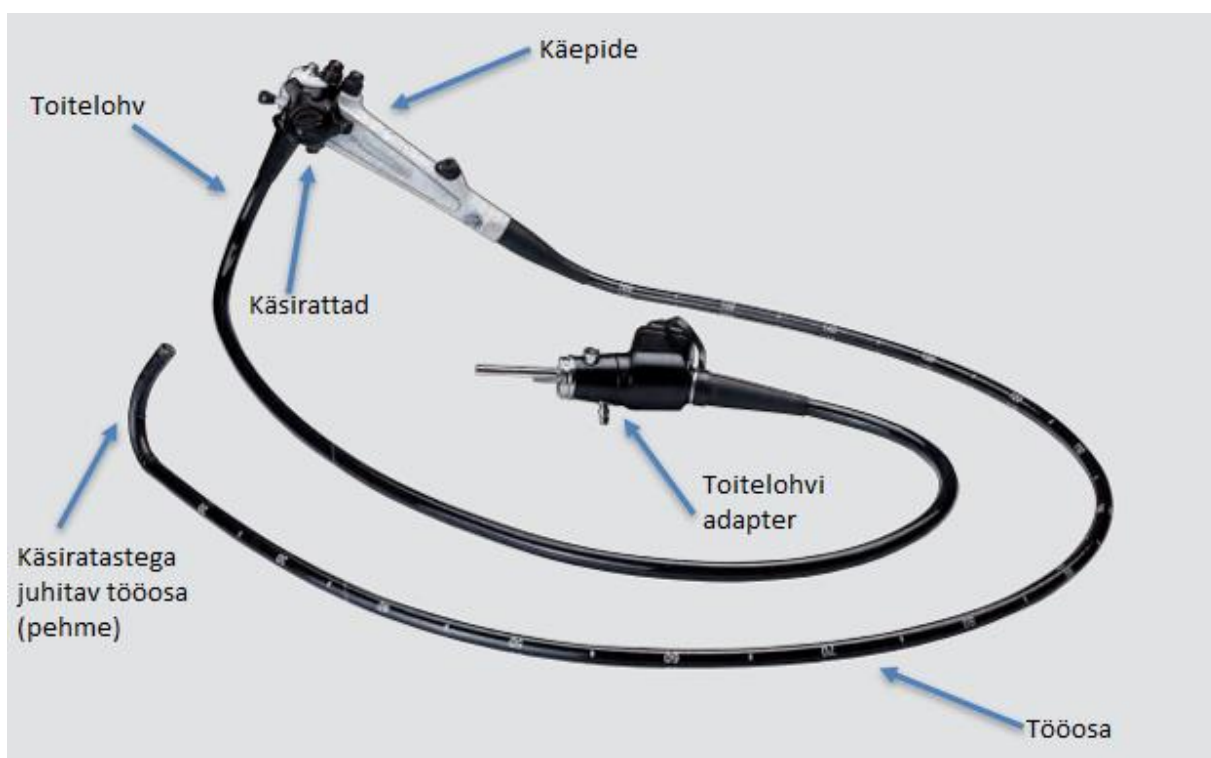
Lõputöö valmimise käigus peaks valmima ka esialgne lahenduse ettevõttele, mille sobivuse korral on võimalik valmis ehitada esimene prototüüp testseade.

2 SEADMETE ANALÜÜS JA LÄHTEÜLESANNE

Antud peatükis kirjeldatakse, kuidas toimub testseadme arendus. Esmalt tuleb analüüsida protseduure, mille tulemusena saadakse järgenvateks protsessideks vajalikud sisendid. Seejärel analüüsitakse ettevõttes olevat testseadet ning varasemalt lõputööde raames tehtud testseadmeid. Uuriva osa lõpetuseks pakutakse välja lahendused erinevate kontseptsioonide näol ning seejärel toimub edasine arendus testseadme parenduste jaoks.

2.1 Endoskoopide käsitlemise analüüs

Selles peatükis on eesmärgiks kirjeldada seadmes kasutatavate instrumentide tööprotsesse ning selle põhjal teada saada vajalikud sisendid seadme arenduseks. Samuti lühike ülevaade, mis on instrumentide pöördenurgad ja tööosade läbimõõdud.



Joonis 1 Instrumendi osad [7]

Instrumendid, mida kasutatakse lõputöös on mehaaniliste tööpõhimõtete poolest sarnased. Iga instrumendi käepideme küljes on käsirattad, mille abil on võimalik tööosa pöörata neljas erinevas suunas: üles, alla, vasakule ja paremale. Suur käsiratas liigutab tööosa üles-alla suunaliselt ning vasaku-parema suunalist liikumist teostatakse väikese käsirattaga. Kõik GI-instrumendid koosnevad käepidemest, toitelohvist ning tööosast

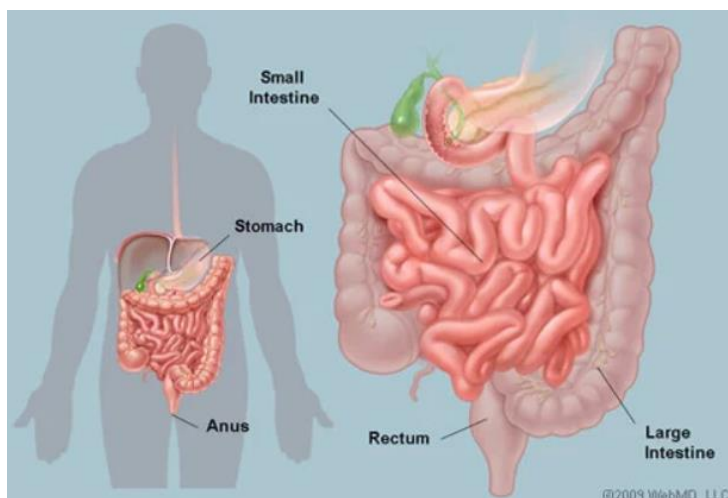
[3, 4]. Peamised erinevused on instrumentidel tööosa läbimõõdus, selle pikkuses ning pööratava tööosa pöördeulatuses. Igal instrumendil, mida testseadmes rakendatakse on käepide ning toitelohev.

Gastroentroloogia instrumendid, mida testida soovitakse jagunevad järgnevalt:

- Kolonoskoobid [5, 11] – Kolonoskoobid on optilised instrumendid meditsiiniliste, diagnostiliste ja endoskoopiliste protseduuride tarbeks inimese alumise seedetrakti, peamiselt jämesoole uurimiseks.
- Gastroskoobid [5, 11] – Gastroskoobid on optilised instrumendid meditsiiniliste, diagnostiliste ja endoskoopiliste protseduuride tarbeks inimese mao, kaksteistsõrmiksoole ja söögitoru uuringuteks.
- Veterinaarskoobid [5, 12] – Optilised instrumendid, mida kasutatakse peamiselt suurte ja väikeste loomade uuringuteks. Lai töökanal võimaldab võtta suuremaid proove ning seejärel määrata suurematäpsusega diagnoose.
- Duodenoskoobid [5, 11] – Instrument, millega uuritakse peamiselt kaksteistsõrmiksoole ja kõhunäärme piirkonda ning teatud haiguste raviks. Duodenoskoobid sisestatakse suu kaudu.

2.1.1 Kolonoskoop

Kolonoskoopia protseduuri ajal liigutakse patsiendi sees instrumendiga mööda jämesoolt kuni peensooleni. Peamine põhjus miks kolonoskoopiat tehakse ning kolonoskoobe kasutatakse on selleks, et diagnoosida kas inimesel on käärsoole vähk või mitte, samuti ka muude soole haiguste diagnoosimiseks. Joonisel 2.1.1.1 on näha pilti soolestikust, jämesool on kirjeldatud *Large Intestine* kirjega. [6]

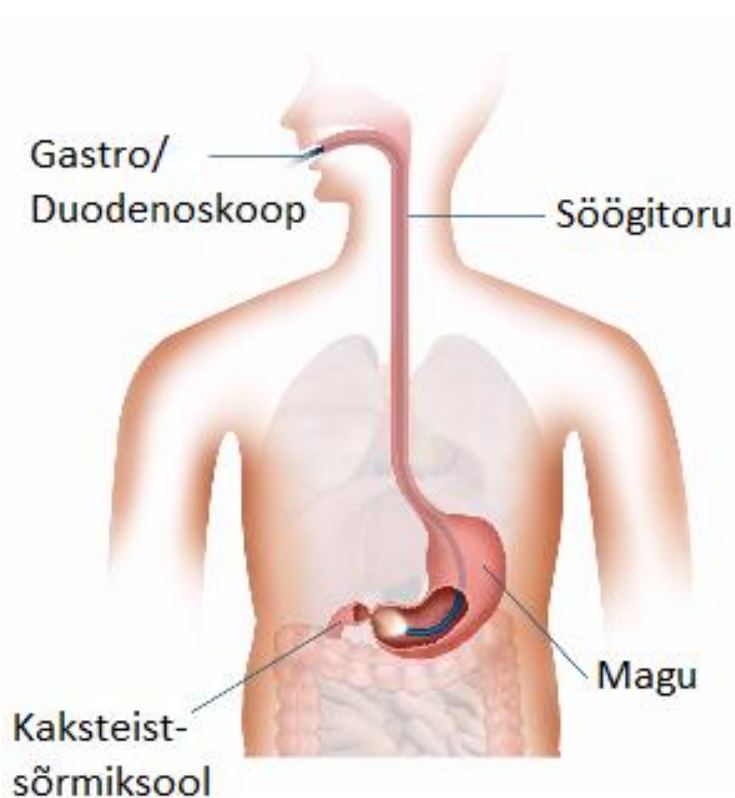


Joonis 2.1.1.1 Pilt soolestikust, jämesool [7]

2.1.2 Gastro – ja duodenoskoop

Gastroskoobe ja duodenoskoobe kasutatakse ülemise seedetrakti uurimiseks. Gastroskoop sisestatakse suu kaudu läbi söögitoru makku, duodenoskoobiga liigutakse kaksteistsõrmiksoolde. Protseduuri käigus võidakse inimeselt võtta ülemise seedetrakti analüüsimise jaoks koeproove. [9,10]

Patsient asetseb põhiliselt kas vasaku, parema külje peal või selili. Instrumenti kasutab üldjuhul doktor üksinda. Joonisel 2.1.2.2 on näidatud, gastro – ja duodenoskoopide kasutus piirkond.



Joonis 2.1.2.2 Gastro- ja duodenoskoobi kasutusala. [8]

2.1.3 Veterinaarendoskoop

Veterinaarendoskoopias kasutatakse kõiki eelnimetatud endoskoobe. Tähtis on, et instrument mida kasutatakse toimiks erinevate loomade jaoks. Suuremate töökanalite abil on võimalik doktoritel saada suuremad proovid ning seeläbi paremini analüüsida tulemust. Kuna instrumendid on samad, siis ei ole tarvis eraldi rakiseid või muutusi testseadme juurde projekteerida.

Järgmisena toon välja tabeli (Tabel 1), kus on instrumentide peamised parameetrid välja toodud. See annab hea ülevaate erinevate instrumentide võimekusest ning samuti sellest, millised võiksid olla simulatsioonitorude läbimõõdud. Kui instrumentide läbimõõte võimalikult väikeseks proovida teha, mida tegelikult sooviksid patsiendid siis võime leida murekohtasi. Instrumendi sees juhtivad detailid ei mahu ära või on niivõrd väikesed, et purunevad kergesti. Momendimõõtmise seadme vajalikkus väljendub ka just sellepärast, et kui insenerid teevad endoskoopides parendusi siis tuleb testimise käigus välja kas antud lahendus toimib või mitte [12].

Tabel 1 Instrumentide parameetrid

Instrumendid	Tööosa otsa pöördeulatus (Üles/Alla; Vasakule/Paremale)	Tööosa pikkus	Tööosa diameeter
Gastroskoobid [11]	210°/100°; 120°/120°	1100 mm	5,9 - 9,3 mm
Duodenoskoobid [11]	120°/90°; 90°/110°	1260 mm	12,6 mm
Kolonoskoob pikk [11]	180°/180°; 160°/160°	1600 mm	12,9 mm
Kolonoskoop lühike [11]	180°/180°; 160°/160°	1400 mm	12,9 mm
Veterinaarskoobid[12]	210° / 100°; 120°/120°	1100 – 1400 mm	5,9 – 7,9 mm

2.2 Olemasolevate testseadmete analüüs

Esmalt kirjeldab autor varasemalt tehtud lõputöid, mis aitab tulevast testseadme arendust lihtsamalt teostada. Olemasoleva testseadme analüüs toob välja kitsaskohad, mis võivad olla seotud nii disainiga kui ka üldise lahendusega ning vajadus on välja selgitada, kuidas seadmeid on võimalik edasi arendada.

2.2.1 Ettevõttes varasemalt tehtud lõputööd

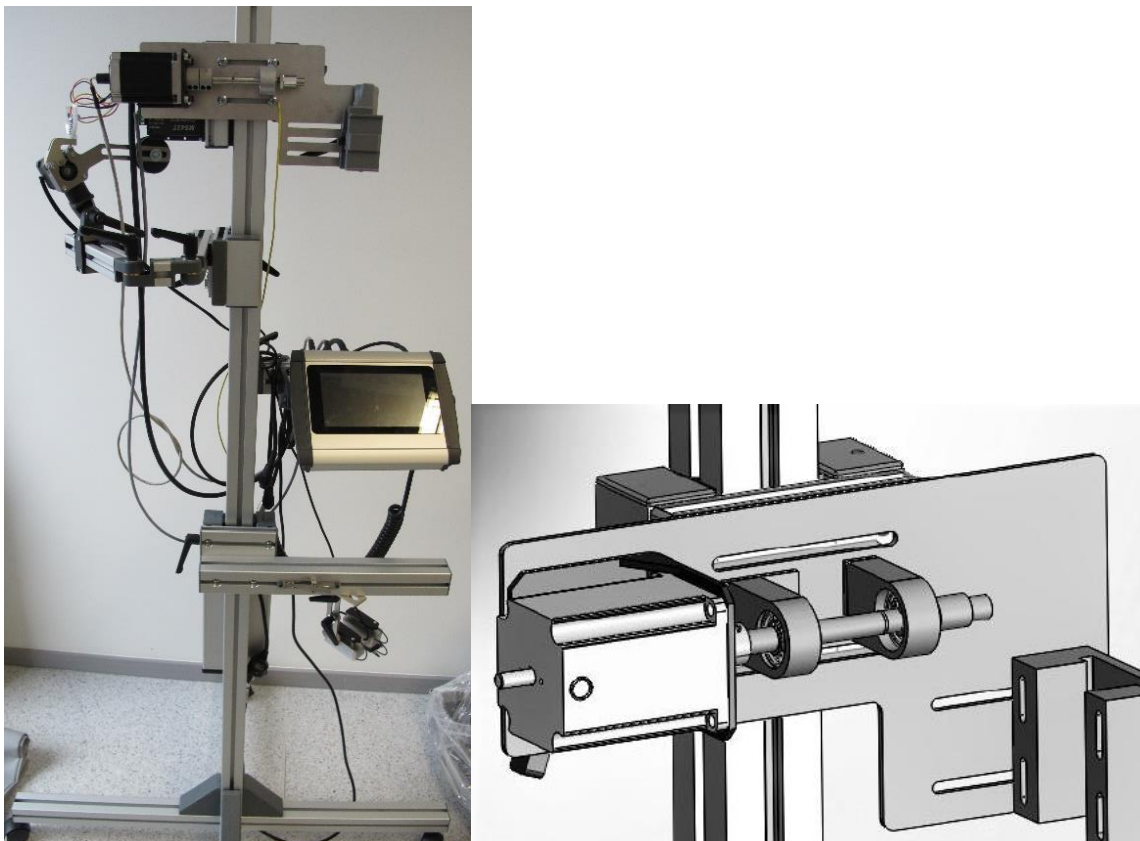
Katseseadme eesmärgiks oli firma poolt võimalikult vastupidava ja kvaliteetse toote loomine, samas peab seade instrumenti piisavalt karmilt testima, et murekohad välja tuleksid. Esimeses osas kirjeldati seadme spetsifikatsioon ning juhtimisloogika. Anti üldised nõuded, mis seadmele on pandud ning kuidas seade peab toimima. Seadme nõuded jagati neljaks peamiseks grupiks, milleks on mehaanilised ja konstruktsioonilised, juhtimisega seotud, kasutajaliidese valik ning nurga tuvastamine-masinnägemise grupp.

Põhiosas kirjeldati, erinevate masina komponentide valikut. Eelnevalt kirjeldatud nõuetele leiti vastavad masinaehituslikud komponendid. Seadme tööülesandeks on testida väikeseid videoinstrumente ning nende vastupidavust. Disainilt on testseade lihtsa konstruktsiooniga, kus on kasutatud Minitec profiile. Minitec profiilide külge on kinnitatud koost, mille küljes on mootor, laagrid ning võll, mis hakkavad instrumendi hoova võlli pöörama. Instrument kinnitatakse vertikaalses asendis testseadmesse.

Testseadme juurde kuulub kasutajaliides, mille abil toimub vastavalt testplaanile instrumendi nurkade seadistamine ning seejärel tsüklite tegemine. Pöördenurkade mõõtmiseks kasutatakse absoluutset andurit. Lisaks oli soov kasutada ka masinnägemist, mis jälgiks pööratavaid nurkasid. Reaalselt masinnägemist testseadmel juures ei ole, kuid see võib veel tulevikus teoks saada.

Testitavateks seadmeteks on peamiselt bronhoskoobid. Bronhoskoobe kasutatakse hingamisteede uurimiseks, proovide võtmiseks, vähi diagnoosimiseks ning kopsuhaiguste diagnostikaks. Endoskoobil eemaldatakse kõigepealt juhthoob, millega saab tööosa liikuvat osa pöörata. Joonis 2.2.1.1 on näha sõlme, kus kinnitatakse instrument käepideme hoidjasse ning seejärel liigutatakse vastu võlli, mis hakkab instrumenti tööosa pöörama. Vastavalt testplaanile sisestatakse instrumendi nurgad ja seejärel masin hakkab sisestatud nurkasid pöörama.

Testseade on ettevõttes kasutuses sagedasti, kuna testida saab ainult kindlaid instrumente siis sõltub see testplaanist, kui tihti testimist vaja on. Seade annab head tagasisidet pööratava tööosa eluea kohta ning samuti töökanali ja valguse kohta [1].



Joonis 2.2.1.1 Bakalaureuse töö raames valminud testseade [1]

Teine testseade on valminud magistritöö raames. Testseade on tehtud sama autori poolt ning taaskord on tarvidus testida instrumente arenduse eesmärgil, samuti testida võimalikult reaalse protseduurile sarnaselt. Varasemalt olemasoleva testseadmega testides ei väljendu saadavad tulemused tegelikkust ning seade seiskub teadmata põhjustel. Peamine põhjus varasema testseadme uuema vastu vahetamine oli selles, et käepideme pöörämist ei toimunud, mida reaalse protseduuri ajal tehakse, lisaks puudus ka korralik simulatsioonitoru, mis väljendaks seda, mis toimub tegelikult.

Esmalt kirjeldatakse, milliseid instrumente testima hakatakse ning mille jaoks neid päris elus kasutatakse. See on ka osa instrumentide analüüsist, mis annab sisendi edasiseks seadme projekteerimiseks. Samuti määratakse ära, mis nõuded on testseadmele esitatud nii ettevõtte kui ka autori poolt. Järgmisena analüüsib autor ettevõttes olemasolevat testseadet, kus toob välja selle puudused ning leiab ka enda seadme jaoks

kasutatavaid komponente. Peamised instrumendid, mida seadmega testitakse on kolonoskoobid ning gastroskoobid.

Järgmisena töötab autor välja seadme üldise tööpõhimõtte ning kirjeldab erinevate koostude lahendusideid, mis pärast omavahel hindamismatriksi abil võrreldakse ja leitakse parim lahendus. Seejärel leiab autor sobivad komponendid näiteks: mootor, sidur, positsiooniandur ning põhjendab nende valikut. Edaspidi leitakse lahendused, kuidas kinnitada endoskoobi käepide ning toitelohev masina külge nii, et need kuskile vahele ei jääks ega puruks ei läheks. Autor teostab võllidele tugevusarvutused, et saada teada, mis jõud rakenduvad ning kas need on piisavad, et seada saaks korralikult töötada.

Autori üks eesmärgi oli projekteerida simulatsioonitoru, et tulemused oleksid võimalikult realistlikud. Selles peatükis kirjeldab, kuidas sellise lahenduseni jõuti ning kirjeldab taaskord komponentide valiku. Lisaks toob autor välja ka kõik elektrikomponendid, mis läheb tarvis, et seade töötaks ning lisab kasutajaliidese, mille abil seadistatakse endoskoop testimise jaoks.

Lõpetuseks teostab autor hinnakalkulatsiooni, milles annab ülevaate, kui palju erinevad komponendid maksid ning mis on toote omahind. Taaskord on testseade ettevõttes igapäevases kasutuses ning suurte videoinstrumentide testimine toimub varasemast oluliselt tõhusamalt ja annab adekvaatsemalt tagasisidet.

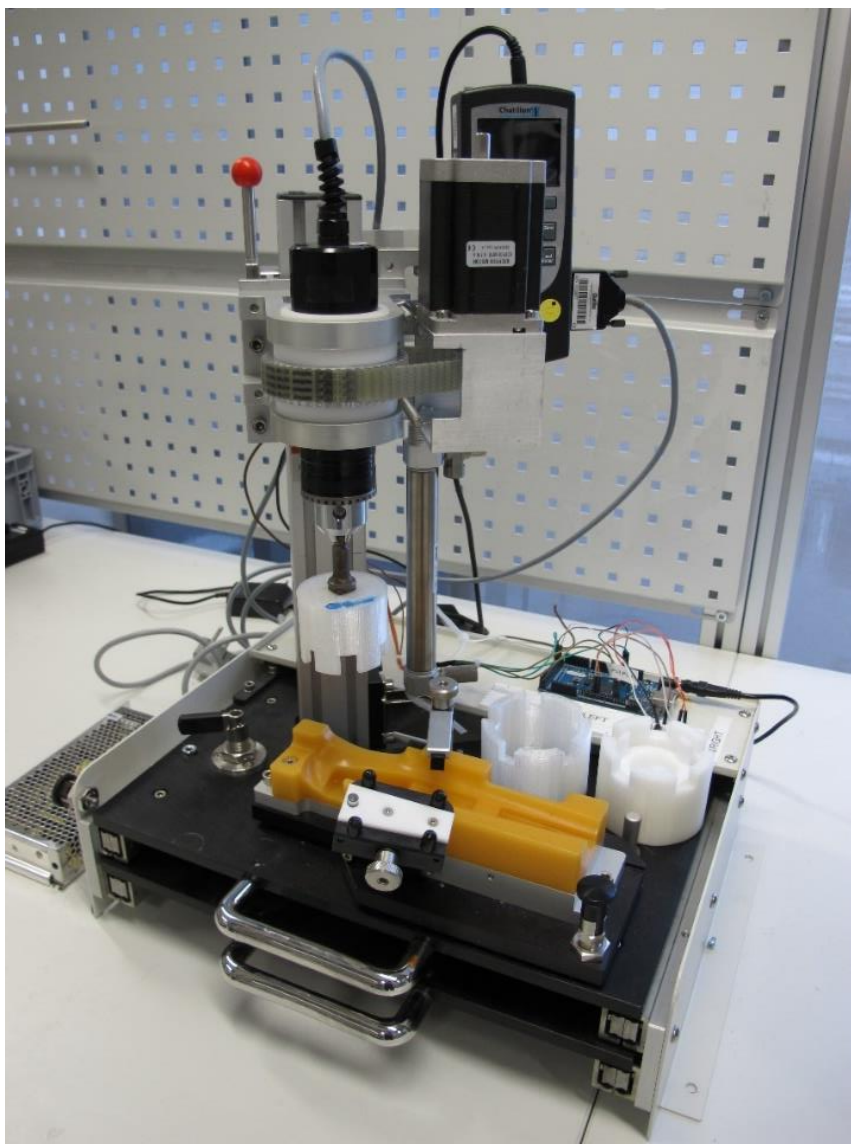
Antud väljatöötatud testseade on ettevõttes kasutusel igapäevaselt. Testitavate instrumentide kohta on väga palju saadud infot, mida võtavad arvesse insenerid. Informatsiooni põhjal on toimunud instrumendi edasiarendus. Samuti on testseadmele pidevalt tehtud väiksemaid või suuremaid uuendusi, et testseade paremini töötaks kui see esmalt loodud sai. [2]

2.2.2 Olemasolev testseade

Olemasolev testseade pöörab käsirattaid, kui vajutada vastavale signaal nupule. Pööramine toimub ajal millal nuppu hoitakse all. Instrumendi erinevate käsirattaste pööramiseks tuleb vahetada käsiratta pööramise jaoks kasutatavat detaili. Instrument paikneb horisontaalselt käepidemes ning tööosa on suunatud läbi simulatsioonitoru. Joonisel 2.2.2.1 on näha tervet testseadet. Tööpõhimõtte sellel seadmel on järgmine: testitav instrument kinnitatakse Joonisel 2.2.2.1 näha oleva oranži hoidja külge. Järgmisena tuleb liigutada sensor koos käsirattast pöörava detailiga käsirattaste peale.

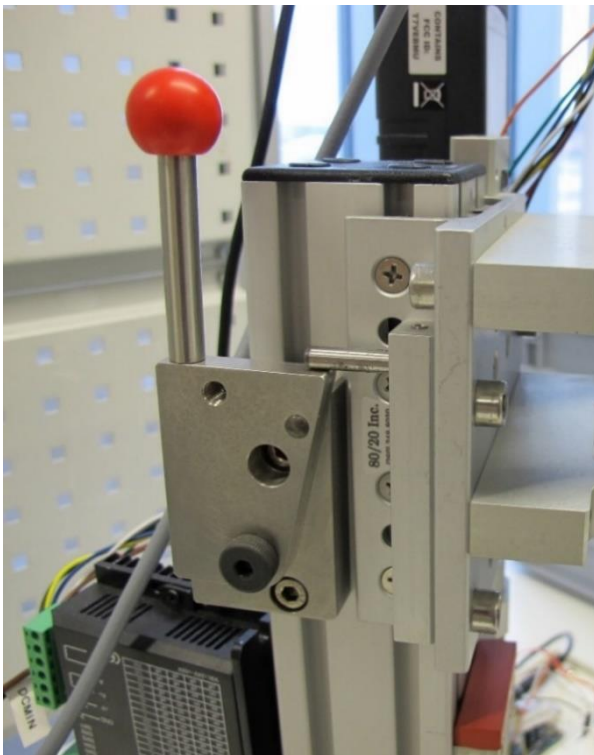
Seejärel saab alustada mõõtmistega. Lisaks tuleb testimise käigus jälgida, mis nurgani pööratakse tööosa liikuvat osa. Selle jaoks on olemas paberi peale prinditud mall, mille täpsus sõltub sellest, kuidas operaator vastavat nurka tõlgendab. Mõõtmiste käigus võib esineda anomaaliaid, kuna seadmel puudub rihma pinguti.

Maksimaalsete nurkade pööramisel liigub rihm rihmarattal hammaste võrra tagasi ning see mõõtmine tuleb uuesti teha. Endoskoopide juhtmehaanika sees on piirajad, mis ei lase käsiratast rohkem keerata kui see on seadistatud. Lisaks veel maksimaalsete nurkade pööramise korral tuvastab andur liiga suuri jõude, mis tegelikult ei esine. Selle põhjuseks võib pidada operaatori täpsust käsirataste pööramisel ja samaaegselt malli jälgimisel.

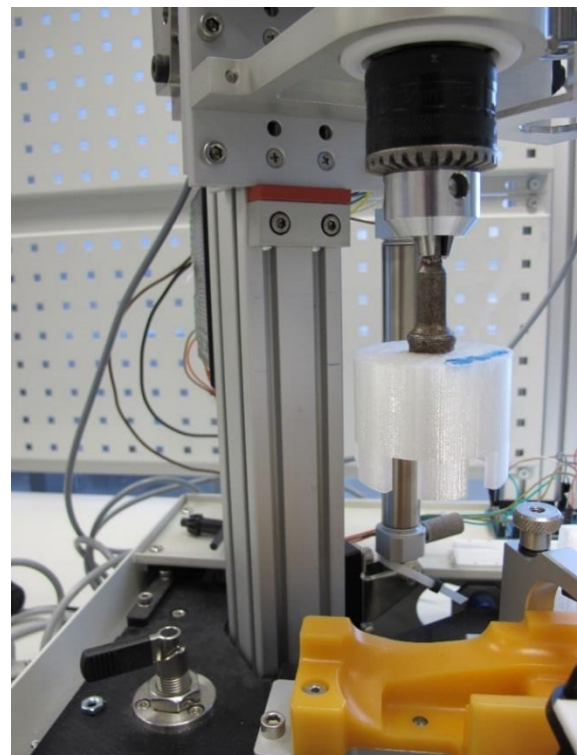


Joonis 2.2.2.1 Olemasolev momenti mõõtev testseade

Joonistel 2.2.2.2 ja 2.2.2.3 on näha mehhanismi, mille abil on võimalik manuaalselt käsirataste pööramiseks kasutatavat detaili liigutada mööda vertikaalset Minitec profiili. Joonisel 2.2.2.2 punase nupuga kangist on võimalik avada liikumine alla poole mööda profiili ning samuti üles liikudes on võimalik lukustada liikumine kui tihvt liigub kõrgemale piirajast. Piiraja on punase nupu küljes olev plaan. Joonisel 2.2.2.3 on näha stopperit, mille abil saab vajaliku kõrguse paika sättida, vastavalt sellele kumba käsiratta mõõtmist teostama hakatakse. Endoskoobi küljes olevad käsirattad on üksteise peal olevad detailid ning seega on suur käsiratas madalamal kui väike käsiratas. Stopperit on võimalik liigutada keerates poldid lahti. Probleemiks on see, et kui vaja on teostada suure käsiratta pöörämist, siis tuleb stopper liigutada kõrgemale ja kui on vaja teostada mõõtmisi väikesele käsirattale siis on taaskord vaja tuua stopper madalamale. Kuna vertikaalse Minitec profiili peal puuduvad ka märgised, millisel kõrgusel tuleb vastava käsiratta jaoks stopper paika sättida siis on stopperi õigele kõrgusele saamine tülikas tegevus. Lisaks tuleb vahetada adaptereid suure ja väikese käsiratta vahel edasi tagasi mõõtmiste käigus. Siinkohal tuleb leida lahendus, mis väldiks selliseid üleliigseid liikumisi ja adapterite vahetusi.

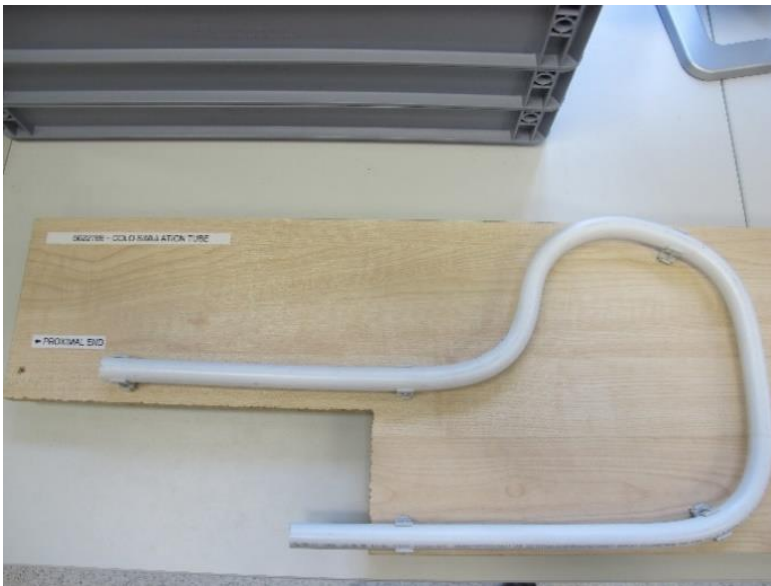


Joonis 2.2.2.2 Liikumist avav kang

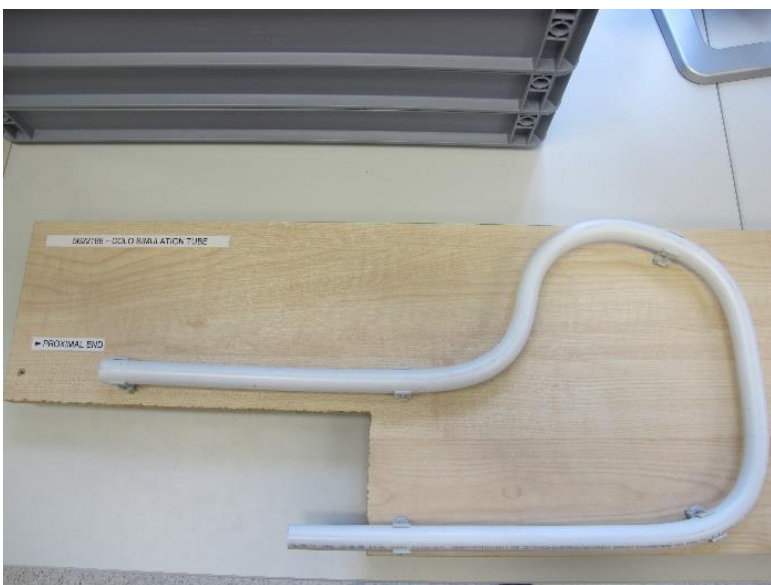


Joonis 2.2.2.3 Stopper

Kui instrument on käepidemesse paika pandud ning vastava käsiratta mõõtmisele varem käsitletud detailid seadistatud siis tuleb tööosa sisestada simulatsiooni torusse. Simulatsiooni torude eesmärk on imiteerida seda kui instrument sisestatakse päris inimesele ning ka seda, millise kujuga on see teekond instrumendil inimese kehasse. Joonistel 2.2.2.4 ja 2.2.2.5 on näha erinevaid simulatsiooni torusid, mis imiteerivad soolestiku kuju, kus instrumente kasutatakse. Joonisel 2.2.2.4 on simulatsiooni toru kolonoskoopide jaoks ning Joonisel 2.2.2.5 olevat simulatsiooni toru kasutatakse gastrooskoopide jaoks. Simulatsiooni toru on vajalik ka sellepärast, et instrumendi sees olevad detailid oleksid nii öelda tööasendis.



Joonis 2.2.2.4 Kolonoskoobi simulatsioonitoru

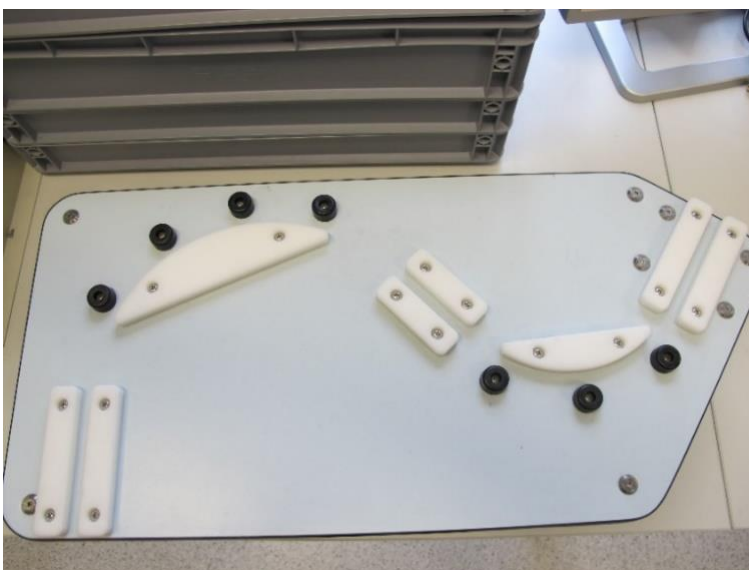


Joonis 2.2.2.5 Gastrooskoobi simulatsioonitoru

Joonisel 2.2.1.6 on näha varasemalt ettevõttes magistritöö raames valminud suurte videoinstrumentide testseadme simulatsiooni toru, mis imiteerib suurel määral päris soolestikku. Joonisel 2.2.1.7 on üks esimesi simuleerimiseks kasutatavat rakist, mis oli algsest kasutusel olemasoleva momendimõõtmise seadme juures. Selle miinuseks on see, et tööosa tuleb sinna vahele suruda, mis võib vigastada tööosa. Testimise käigus, kui tööosa pole kindlalt kinnitatud siis võib see nende kinnituste vahelt välja tulla ning testimine tuleb lõpetada.



Joonis 2.2.2.6 Magistritöö raames valminud simulatsioonitoru



Joonis 2.2.2.7 Esimene simulatsioonitoru rakis seadme tarvis

2.3 Testimine olemasoleva testseadmega

Olemasoleva seadmega on tehtud varasemalt tehtud mõõtmisi. Peamised instrumendid, mida testiti olid kolonoskoobid ja gastroskoobid. Järgnevad tabelid (Tabel 2 ja Tabel 3) annavad ülevaate olemasoleva seadmega tehtud testimisest. Testimisel olid erinevad kolonoskoopid, mis tähendab seda, et instrument oli vana disainiga ja oli vaja testida ning testimisel oli ka juba arendusprotsessi läbinud instrumente. Mõõtmised on tehtud toatemperatuuril. Lisaks on näha, et mõõtmisi on tehtud nii ilma pidurita kui piduriga, mis muudab mõõtmistulemusi märgatavalt. Piduri kasutamine on oluline kirurgidele, kui neil on vaja tegutseda nii, et pööratav tööosa jääks stabiilseks ning ei muudaks inimese sees nurka. Peamine eesmärk testida nii piduriga, kui ilma pidurita on vajalik ettevõtte arendusosakonna inseneride jaoks, kes tegelevad piduri ja käsirataste süsteemi arendusega. Samuti tehakse koostööd haiglates töötavate kirurgidega, kes annavad tagasisidet, mis nende jaoks on instrumendi puudused just selles osas, mis puudutab käsirataste pööramist ning kuidas toimib käsirataste pööramine kui instrument on inimese sees operatsiooni tehes.

Tabel 2 Testimise tulemused

1 Düüsiga HD kolonoskoop simulatsioonitoru sees (Pidur on rakendatud)			
ALLA		ÜLES	
Pööramise nurk, kraadides	Moment, N*cm	Pööramise nurk, kraadides	Moment, N*cm
30	20,85	30	
60	26,93	60	
90	35,72	90	
120	38,90	120	
150	49,55	150	
160	50,95	160	
PAREMALE		VASAKULE	
Pööramise nurk, kraadides	Moment, N*cm	Pööramise nurk, kraadides	Moment, N*cm
30	19,71	30	
60	25,11	60	
90	33,62	90	
120	38,91	120	
140	44,33	140	

Tabel 3 Testimise tulemused

1 Düüsiga HD kolonoskoop simulatsioonitoru sees (pidurita)			
ALLA		ÜLES	
Pööramise nurk, kraadides	Moment, N*cm	Pööramise nurk, kraadides	Moment, N*cm
30	21,21	30	
60	30,18	60	
90	34,81	90	
120	40,17	120	
150	48,88	150	
160	51,79	160	
PAREMALE		VASAKULE	
Pööramise nurk, kraadides	Moment, N*cm	Pööramise nurk, kraadides	Moment, N*cm
30	23,41	30	
60	32,01	60	
90	43,62	90	
120	50,28	120	
140	54,29	140	

Esimese probleemina on näha, et testimisel pole tulemusi liikuva tööosa ülespoole ja vasakusuunaliste pööramiste kohta. See tuleneb sellest, et mõõtmisseade ei fikseeri vastupäeva pööramise tulemust. Siinkohal tuleb tõdeda, et on võimalik fikseerida jooksev tulemus, kuid operaator peab samal ajal jälgima ka pööramisnurka ning seega pole võimalik adekvaatselt tulemust kirja panna.

Nendes tabelites on tulemused juba arvatud keskmisteks väärtusteks. Algselt on tehtud 3 mõõtmist iga nurga kohta ning seejärel arvatud aritmeetiline keskmine. Teise probleemina tuligi välja, et iga mõõtmistulemus erines eelmisest või järgmisest ning ühtlaseid tulemusi esines harva ehk katsete korratavus oli halb. See annab sisendi, et mõõtmisseade tulemused sõltuvad tugevalt sellest, kuidas operaator tegutseb seadmega ning tulemuste usaldusväärsus on madal. Samuti ei saa kindel olla mõõtmisseadme usaldusväärsuses ja selle tulemuste mõõtmisvea suuruse osas.

Järgmisena leiame tabelitest samuti sisendi uue momendimõõtmise anduri jaoks. Kõige kõrgem tulemus on 123,26 N/cm, mis on teisendatuna natuke üle 1 Nm.

Momendimõõtmise andureid on ka 1 Nm nimiväärtusega olemas, kuid vajalik on võtta varuga ja sellest tulenevalt on otsustatud võtta 2 Nm väändemõõtmis andur. Variant on ka kasutada suurema nimiväärtusega andurit, mis annaks võimaluse testida instrumente ning detaile, mille jaoks läheb vaja suuremat väänet.

2.3.1 Testseadme ülesehitusega seotud probleemid

Varasemalt tehtud analüüsi käigus leitud vead tuleb fikseerida, et uue seadme konstrueerimisel samu vigu vältida. Ning samuti probleemidele tuleb leida lahendus.

Olemasolevad seadmel esineb järgmisi probleeme:

- Testimine toimub operaatori abiga, nii et tuleb vajutada käsirattaid pööravat nuppu ning samal ajal malliga silma järgi nurka määrata.

Operaatori ajakulu seadistamise ja muude vajalike tegevuste tegemiseks seadme juures tuleks viia võimalikult minimaalsele tasemele.

- Korruga saab testimise jaoks keerata ühte käsiratast.

Leida lahendus, kuidas oleks võimalik keerata mõlemat käsiratast ilma, et peaks vahetama vahepeal adaptereid. Varasemalt tehtud tööd aitavad leida lahenduse.

- Seadistada iga kord ümber vastava käsiratta pööramise jaoks.

Vajalik on lisaliigutuste minimeerimine, seadme automaatsemaks tegemine. Käsirataste pööramise sõlme lahendus.

- Rihmapinguti puudub

Vajadus rihmapinguti järele, et elimineerida seadme töötamisel lõtk.

- Käepideme hoidja vajab parendusi, et endoskoop kindlamini kinnitada.

Disainida parem kinnitamise süsteem, kui seda on olemasoleval seadmel.

- Elektrilised seadmed on lahtiselt seadme ümber ning seetõttu ohtlikud inimesele.

Projekteerida elektroonika jaoks kast või karp, kuhu võimalikult palju komponendid paigutada.

- Toitelohvi pole kuskile kinnitada seega see on lahtiselt laua peal

Toitelohvile disainida kinnitused, kas siis kiirkinnituste näol või leida lahendus, kus toitelohv on peidus.

2.3.2 Nõuded konstrueeritavale testseadmele

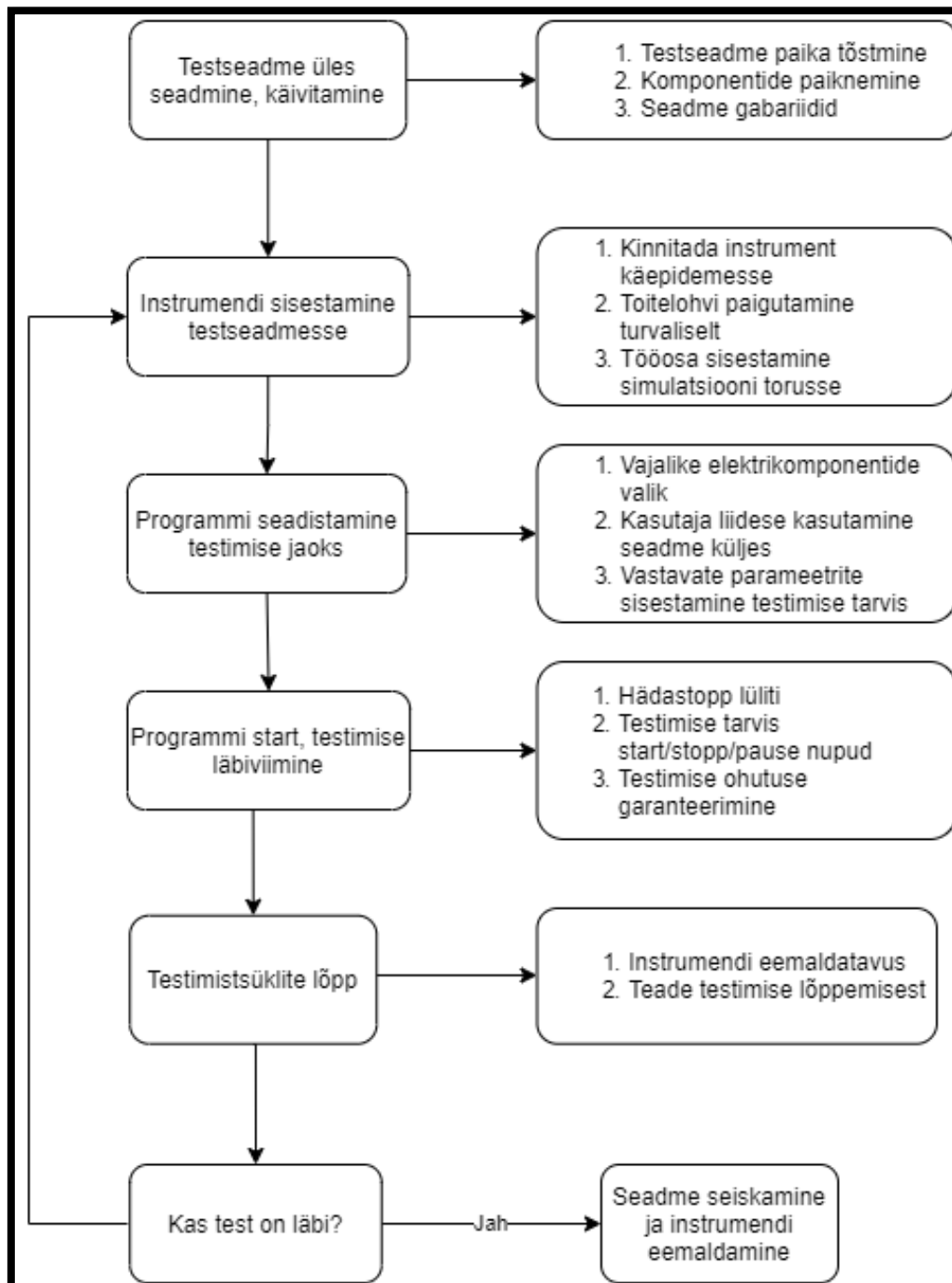
Testseadme uue konstruktsiooni aluseks tuleb võtta tingimused ja nõuded, mis määravad suuna, kuidas testseade projekteerida ja mida jälgida. Testseadmele esitatud nõuded on paika pandud koostöös ettevõtte arendusosakonna inseneridega.

Ettevõtte poolt testseadmele pandud nõuded ning piirangud, mis võib jagada kaheks peamiseks valdkonnaks:

- Mehaanilised ja konstruktsiooniga seotud nõuded
 - Gabariidid – seade peab olema teisaldatav ja ei tohi võtta liigselt palju ruumi
 - Võimalikult paljude ostutoodete kasutamine
 - Mobiilsus
 - Turvameetmed – ohutusega seotud nõuded, hädaabi jaoks kasutatavad stopplülid ja vajadusel piirata ligipääsu liikuvate osade lähedale
 - Erinevate skoopide testimise võimekus
 - Kasutusmugavus – seadme kasutamine võimalikult lihtne
 - Testseade suuremad koostud või alam koostud peaksid olema teisaldatavad
- Seadme testimisega seotud nõuded
 - Vea tekkimisel ohutuse tagamiseks seadme seiskamine
 - Testimise tarvis tsükli ja teiste testimisparameetrite muutmise võimalus
 - Andurite kasutamine, mis annab infot pööratavate nurkade kohta

2.4 Konstrueeritava testseadme tööpõhimõte

Antud peatükis toimub konstrueeritava testseadme üldise tööpõhimõtte välja töötamine ja peamiste ülesannete kirjeldamine. Selline sisend aitab lihtsamini projekteerida ja konstrueerida tulevast testseadet. Testseadme tööpõhimõtte on autori poolt väljatöötatud sellisel kujul, et selle põhjal oleks võimalik testseade projekteerida. Selle alusel toimub testseadme arendus ning projekteerimine.



Joonis 2.4.1 Konstrueeritava testseadme tööpõhimõte

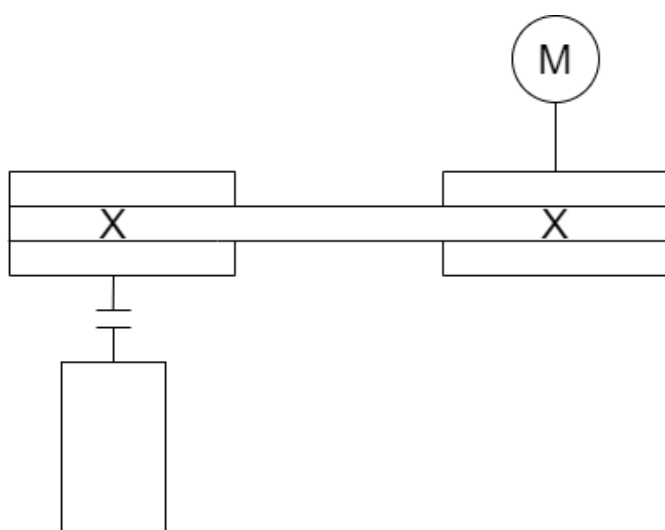
3 LAHENDUSTE VÕRDLUS

Antud peatükk käsitleb erinevate lahenduste kirjeldusi ja parima lahenduse leidmist. Selleks, et leida parim lahendus võrdleb autor erinevaid kontseptsioone. Järgmisena pakub autor välja erinevaid võimalikke lahendusi seadme disainist ja terviklikuks saamiseks. Tuleb ära jagada terve masin alamkoostuseks nii on lihtsam võrrelda ning leida ka parimad variandid. Autor võrdleb järgnevalt kolme testimisseadme kontseptsiooni. Iga kontseptsioon on omaette lahendus ning tuuakse välja plussid ja miinused iga toodud variandi kohta.

3.1 Testseadme kontseptsioon 1

Esimene kontseptsioon on sarnane olemasolevale seadmele. Kuna olemasolev seadmel esineb puudusi, peamiselt mõõtmise täpsuses ning see kuidas mõõtmine teostatakse. Sellest tulenevalt tuleks teha täiustusi, mis aitavad seadmel paremini mõõtmisi teostada.

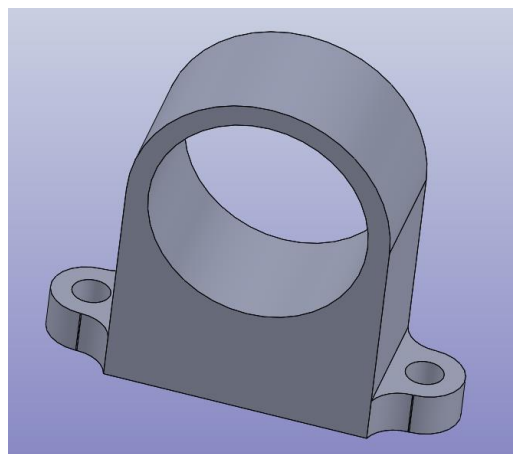
Testseadme raam tuleks valmistada Minitec profiilidest sarnaselt nagu olemasolev seade. Seade on planeeritud torni kujuga ja uus mõõtmisandur, mis mõõdab tulemusi täpsemalt ning edastab ka tulemused graafiliselt, tuleks paigaldada suure hammasratta alla vertikaalselt ja selle külge omakorda käsirattaid pöörav detail. Järgneval Joonisel 3.1.1 on näha kinemaatiline skeem, kuidas võiks selline sõlm välja näha masina küljes. Samuti on juurde lisatud andur ning selle asukoht. Kinemaatiline skeem on vertikaalselt tehtud nii et mootor on üleval ja järjest allapoole on detailid välja toodud.



Joonis 3.1.1 Planeeritav pööramise koost [13]

Anduri paigaldamine muudab lihtsamaks tulemuste kättesaamist ning nende täpsust tulenevalt anduri täpsusest. Tulemused kuvatakse anduriga kaasas olevale tarkvara graafikule ja lisaks on kõik tulemused võimalik salvestada väärtusena, mis on võimalik teisaldada Excelisse tabelina. Järgmisena tuleb paigutada instrumendi toitelohv koos adapteriga. Kuna hetke kontseptsioon näeb ette olemasoleva edasiarendust ning seega tuleb leida sobib koht olemasoleva seadme küljes. Hetkel asetseb toitelohv laua peale vabalt nii, et maha ei kukuks. Kuna selline hoidmine on ohtlik eeskätt just toitelohvi adapterile siis tuleb see kindlamalt kinnitada.

Probleemi lahendaks kui teha masina külge mõned kiirkinnitused, mille külge on võimalik toitelohv kiiresti paigaldada ja samuti eemaldada. Toitelohvi adapterile eraldi on mõeldud suurema avaga kinnitus, kuhu see pinguga sisse sobiks. Sellise lahenduse probleemiks on see, et toitelohv on taaskord kaitseta ning seda on võimalik vigastada kui selle pihta minna. Klambrid on võimalik kiiresti 3D-printida, mis on selle lahenduse eeliseks. Lisaks on toitelohv võimalik painutada ja seega kompaktselt masina külge kinnitada.



Joonis 3.1.2 Toitelohvi kinnitus klambrid [15] Joonis 3.1.3 Toiteadapteri hoidja

Järgmise sobib toitelohvi paigutuseks selline lahendus, kus toitelohv on millegi sees, mis toitelohvi kaitseks väliste vigastuste eest. Lahenduseks on valmistada kast või sahtel, kuhu toitelohv sisse panna. Probleemiks olemasoleval seadmel on see, et seal pole piisavalt ruumi sahtli paigutamise jaoks. Seega tuleks projekteerida uus konstruktsioon, kus masinal on kõrgemad tugijalad, et sahtel sinna jalgade vahele paigutada. Sahtel kinnituks teleskoop liugurite külge, mille abil on võimalik sahtlile tekitada liikumine nii välja tõmbamine kui sa tagasi sisse lükkamine. Sahtli sisemusse on võimalik paigutada klamberkinnitused ja seega ei oleks toitelohv lahtiselt kastis.

Kuna hetkel on masina juhtimis- ja elektrikomponendid masina küljes nii, et juhtmed on laiali ja ühendust on võimalik kergelt vigastada, siis tuleks elektrikomponendid paigutada ühte kohta ja võimalusel nendele karp ümber ehitada, et mitte vigastada. Samas peavad käsirattaid juhtivad nupud olema nähtavalt, et operaatoril on võimalus seadet juhtida. Seadme elektrikomponentide karpi paigutus on lihtne ja odav variant, kuna leidub spetsiaalseid karpe tootvaid ettevõtteid. Teisalt on kontseptsioonil vähene hulk elektrikomponente ja karbi projekteerimine autori poolt ei ole ka halb lahendus.

Välja pakutud seadme eelised

- Korralik mõõtmisandur
- Korrekselt paigutatud elektrikomponendid
- Toitelohv kaitstult

Puudused

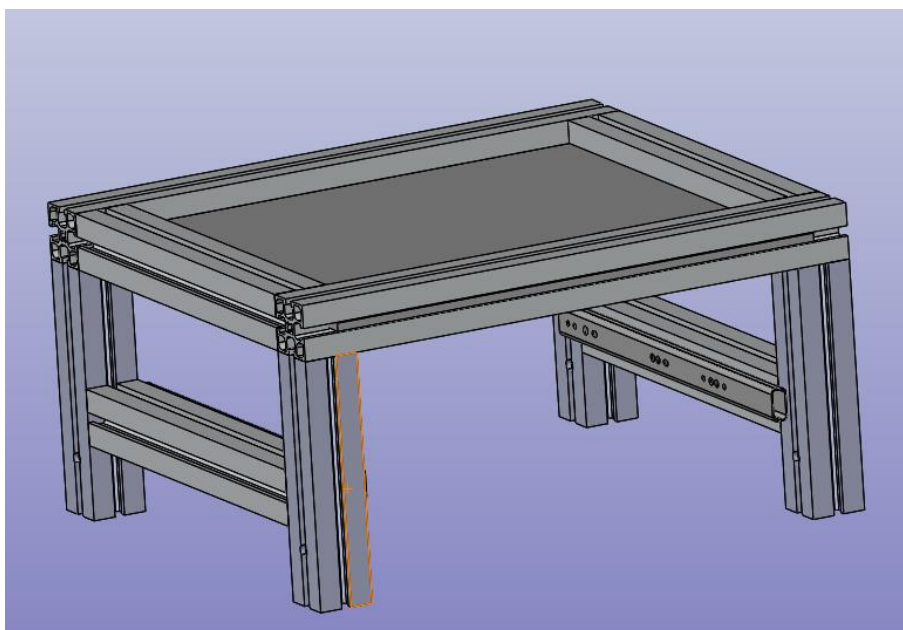
- Ühe käsiratta mõõtmine korraga
- Kasutajaliidese puudumine
- Nurka tuleb operaatoril malliga jälgida

Seadme eelised ja puudused võetakse arvesse järgmise kontseptsiooni loomisel. Uus kontseptsioon lähtub nii olemasolevast seadmest kui autori enda poolsetest ideedest, mis võiks masina paremaks teha ning kuidas oleks lihtsam mõõtmisi teostada.

3.2 Testseadme kontseptsioon 2

Järgnev kontseptsioon arvestab puuduseid, mis on esimesel lahendusel esinenud. Samuti on juurde konstrueeritud uusi lahendusi ja võimalusi, kuidas seade oleks optimaalsem ja parem testimise tarvis.

Võttes arvesse varasemal kontseptsioonil esinenud puudustest tuleb disainida uus raam. Raami valmistamiseks kasutatakse Minitec profiile. Minitec profiilide kasutamisel on mitmeid häid eeliseid. Profiile on võimalik erinevates asendites kasutada ja peamine eelis on nende kinnitamine. Minitec pakub kinnitamisel väga palju erinevaid võimalusi ja visuaalselt pole enamik kinnitusi näha. Raami uue disainimise eesmärk on mahutada ära toitelohv koos adapteriga. Samuti tuleb mõelda ka koheselt, kui kasutusele võetakse rohkem elektroonikakomponente, millest tuleb järgnevalt juttu. Selle lahendab ära esimeses kontseptsioonis mainitud sahtli või karbi lahendus. Raam peab olema piisavalt suur ning samas ka selline, et oleks võimalik liigutada, kui seda on tarvis.



Joonis 3.2.1 Raam

Raami kuju peaks välja nägema nii nagu Joonisel 3.2.1. See on esimene prototüüp raami kujust, samuti on näha, et raamil külge on võimalik paigaldada sahtel. Profiilide sees on paigaldatud plaat, mis suudab kanda enda peal nii käsirataste pööramise koostu kui ka käepideme koostu. Lisaks tuleb plaadi sisse ava töödelda ja seega tekitatakse võimalus viia juhtmed turvaliselt liikuvatest osadest eemale.

Esimese kontseptsiooni kõige suurem probleem oli see, et korruga saab pöörata ühte käsiratast. Lähtudes töö alguse poole välja toodud infos, kus kirjeldatakse ettevõttes varasemalt tehtud töid, leiab lahenduse. Leheküljel 13 magistritöös kirjeldatud käsirataste pööramise süsteem võimaldab kahe mootoriga juhtida mõlemat käsiratast kas kordamööda või korruga. See lahendus sobib siia kontseptsiooni arvestades, mis eesmärk seadmel on. See annab võimaluse juhtida mõlemat käsiratast ilma, et peaks vahetama vahepeal adaptereid, mis olemasoleva seadme küljes seda hetkel tegid. Kuna kasutusele tuleb võtta ka korralikud momendimõõtmise andurid, siis tuleb ka need mahutada sinna mootorite ja käsirattaid pööravate detailide vahele. Võimalik on ka juhtida ühe mootoriga mõlemat käsiratast, kuid see süsteem on keeruline ja seadme külge rakendamine on samuti keerukas.

Järgmise edasiarendusena võetakse masina juurde elektroonika. Elektroonikakomponendid teevad seadme juhtimise lihtsamaks. Seadme testimist saab sellega automatiseerida nii, et operaatoril on tarvis ainult sisestada vastavad parameetrid ja käivitada programm. Taaskord lähtudes varasemalt ettevõttes tehtud töödest ja konsulteerides ettevõtte inseneridega, leiti lahendus, et sobilik on kasutada väikest ekraani. Ekraanile on võimalik kuvada programm, mida saab juhtida *Raspberry Pi* abil. *Raspberry Pi* puhul on tegemist miniarvutiga, mida on võimalik programmeerida vastavalt sellele millist programmi tahetakse rakendada. Ekraanile saab kuvada programmeeritud lahendust, mille abil masina seadistamine ning juhtimine toimub.

Seejärel saab kasutusele võtta kasutajaliidese, mille abil toimub reaalne masina juhtimine ning programmi info. Kasutajaliidese kasutamine muudab seadme kasutamise lihtsamaks ja rohkem automaatseks. Ekraane ning ekraanikorpuseid, mis sobiks kasutamiseks on erinevaid ja seega tuleb leida kõige sobilikum lahendus. Ekraan peaks olema piisavalt suur, et seda oleks mugav kasutada ja kuvatav programmi info peab mahtuma samuti ekraanile. Kuna masin peab olema mobiilne, siis ei tohi plaanitav ekraanikoost olla eraldi masinakõrval lahtiselt, vaid juba masina külge pandud. Sellisel juhul saab juhtmed ning pistikud vedada ilma, et need peaksid seadme kõrval lahtiselt olema. Joonisel 3.2.2 on välja toodud valmis lahendused ekraanikarpide jaoks. Tooted on kompaktsed ja kergesti koostatavad. Samuti on võimalik neid töödelda nii, et ekraan sinna külge sobitada ja pistiku avad sisse lõigata.



Joonis 3.2.2 Elektroonika karbi lahendused

Kuna kasutusele plaanitakse võtta kasutajaliides ning käsirataste pööramine hakkab toimuma kahe mootori abil, mille juhtimiseks läheb tarvis kahte mootori draiverit. Sellest tulenevalt tuleb mõelda ka elektroonikakasti valmistamise või valmislahenduse leidmise peale. Seda sellepärast, et komponendid oleksid ühes kohas koos ja juhtmed ei oleks lahtiselt seadme ümber.

Elektroonikakasti saab paigutada kõik elektroonikakomponente juhtivad detailid ning see hoiab kokku ruumi ning välditakse juhtmete vigastusi ja välditakse võimalike inimesi vigastavaid ohte. Lisaks on ohutum kui elektroonika komponendid on ühes karbis koos. Joonisel 3.2.3 on väljatoodud võimalik valmis lahendus elektroonika komponentide jaoks. Valmis lahenduse boonus on selle suurus on võimalik juba tootja kodulehelt valida vastavalt elektroonika komponentide hulgale. Lisaks on võimalik selle karbi sisse ise projekteerida vastavad kinnitused. Peamiselt on need kastid valmistatud alumiinium- ja plastikdetailidest ning samuti on need kergesti koostatavad.



Joonis 3.2.3 Võimalik elektroonikakast [15]

Välja pakutud seadme eelised

- Mõlema käsiratta pööramine
- Kasutajaliides
- Kompakte disain

Puudused

- Piduri kasutamine testimise käigus
- Nurgad tuleb eelnevalt seadistada malli järgi
- Simulatsioonitoru ei peegelda reaalsust

Seadme edasiarenduses on kasutusse võetud uusi komponente ja tehtud mõõtmise lihtsamaks. Kontseptsioon näeb ette instrumendi testimist kasutajaliidese abiga. Instrumendi testimistsükli toimumise ajal ei pea operaator kõrval seisma.

3.3 Testseadme kontseptsioon 3

Järgnev kontseptsioon on testseadme edasiarendus nii disaini kui komponentide poolest. Uus lahendus kõrvaldab kahe eelmise kontseptsiooni murekohad ja rakendab uuemaid lahendusi.

Peamine puudus eelmise testseadme kontseptsiooniga võrreldes on see, et testimise käigus ei saa kasutada piduri mehhanismi. Piduri mehhanismi kasutamine testimise käigus on oluline, et saada teada kuidas instrumendi pidur toimib. Selles kontseptsioonis näeb ette piduri rakendamine siis kui ilma pidurita on testimis tsüklid tehtud. Seejärel tuleb suurekäsiratta pidurihoob peale panna ja väikese käsiratta pidurinupp keerata asendisse, mis näitab et pidur on peal. Selline lahendus nõuab väga tehnilist lahendust. Suureks probleemiks kujuneb väikese käsiratta piduri rakendamine, sest kui käsirattaid pöörav detail on käsiratta kohal siis pidurile ligipääs on väga keeruline. Suure käsiratta puhul on võimalik kasutada käppa, mis tsüklite lõpus lükkab piduri peale ja kui tarvis tõmbab uuesti tagasi.

Järgmise lahenduse pakub kontseptsioon tööosa pööratava osa jaoks. Nimelt ei peaks seeläbi operaator ise nurka malliga seadistama vaid teostab kontrollmõõtmisi, mis tagaks masina täpsuse. Masinnägemise võimaluse testseadmele lisamise näol on kõrgtehnoloogiline. Eelkõige on selle masinale külge seadistamine väga keerukas protsess. Kasutades masinnägemist nurga mõõtmiseks, esineb probleem, mis ei sõltu operaatorist ega masinast. Kuna suurte instrumentide pööratav tööosa ei pöördu alati telje sihis. See tähendab, et kui keerata pööratav osa üles maksimaalse nurga juurde ning seejärel vaadata instrumendi käepideme poolt mööda tööosa, siis võib näha et see on pöördunud ka mõned kraadid ühele või teisele poole. See oleneb, kuidas instrument on koostatud ja kas see on õigesti koostatud ning materjalid võivad erinevalt käituda.

Veel üks lahendus, mis aitab instrumendi testimise lõppedes mõeldud protseduure koheselt rakendada on idee, kus momendimõõtmise seade ühildataks valguse torniga. Selleks variandiks on valguse mõõtmine instrumendi momendimõõtmise testtsükli lõpus. Kuna valgust siia maani saab mõõta nii, instrumendi toiteadapter tuleb sisestada valgusallika masina külge, mis on näidatud Joonisel 3.3.1 ja lisaks tuleb instrumendi hoida käes, et oleks mugavam mõõta. Selle lahenduse kasutamiseks peab instrumendi ühendama enne testimist valgusallikaga. Valguse mõõtmiseks kasutatakse *lux*-meetrit, mis mõõdab valgust *lux*-des. Valguse mõõtmine toimuks testtsükli lõpus kui instrumendi pööratav tööosa on algasendis ja seejärel saab tuua *lux*-meetri mõõtmiseks tööosa juurde.



Joonisel 3.3.1 Valgusallikaga ühendamine

Välja pakutud seadme eelised

- Operaatori minimaalne juuresolek
- Masinnägemine

Puudused

- Mobiilsus
- Seadme keerukas konstruktsioon
- Erinevate osade koostöö saavutamine

3.4 Välja pakutud tehniliste lahenduste võrdlus

Lahendusvariantide sõelumine on tegelikkuses alternatiivsete lahendite hindamist probleemilahenduse meetodikaid kasutades. Sellele järgneb mõistlike kompromisside tegemine ja optimaalse lahenduse leidmine. Parima lahenduse leidmiseks, koostab autor hindamismatriksi. Hindamismatriks annab ülevaate, milline tegur mõjutab seadme omadusi kõige enam. Lisaks tuleb igale omadusele või hinnangule anda ka kaaluv väärtus. Hindamismatriksi lõpptulemusena selgub parim lahendus ja sellest saab valmis seade. Lisaks tuleb seadmele ka vastavad nõuded, mille järgi seade projekteerida.

Tabel 4 Hindamismatriks

Parameeter	Osakaal	Kontseptsioon 1		Kontseptsioon 2		Kontseptsioon 3	
		Hinne	Kokku	Hinne	Kokku	Hinne	Kokku
Mobiilsus	4	3	12	4	16	3	12
Kasutuslihtsus	3	2	6	4	12	2	6
Ergonoomika töötamisel	2	1	2	4	8	3	6
Seadme keerukus	2	4	8	3	6	2	4
Hind	5	4	20	3	15	2	10
Kokku			48		59		38

Hindamismatriksi järgi sai parima tulemuse kontseptsioon 2. Seda järgnevatel põhjustel:

- Mõlema käsiratta pööramine, üpris lihtsal viisil
- Masinal on plaanitud kasutajaliides
- Kompaktsus erinevate detailide paigutamisel

Järgnev peatükk kirjeldab detailsemalt lahti, kuidas testseade projekteeritakse.

4 TESTSEADME PROJEKTEERIMINE

Antud peatükis käsitletakse testseadme projekteerimist ning erinevate lahendusteni jõudmist. Hindamismaatriksi järgi on kontseptsiooni valmis projekteerimiseks leitud parim lahendus. Autor konstrueerib algusest lõpuni kontseptsiooni lahenduse. Seadme võib jagada sõlmedeks, et oleks lihtsam tervik lahendust kirjeldada ja pärast seda ka valmis ehitada.

Autor on jaganud seadme viieks peamiseks sõlmeks/koostuks, mis on järgnevad:

1. Raami koost
2. Käsirataste pööramise koost
3. Käepideme kinnitus
4. Elektroonikakarp
5. Ekraanikoost

4.1 Käsirataste pööramise koost

Kuna testseadme kõige tähtsam ülesanne on pöörata käsirattaid ja mõõta momenti instrumentide käsiratastel siis kirjeldab autor esimesena just selle koostu valmimist. Varasemalt tehtud analüüsist võib leida, et käsirataste pööramise koost, mis suudab mõlemat käsirattast pöörata ilma, et tuleb vahetada adaptereid on juba olemas ja see lahendus sobib ka momendimõõtmise seadme külge. Teades, et sellist lahendust on võimalik kasutada tuleb leida sinna vastavad mootorid, kinnitused ja teised komponendid, et see koost toimiks.

4.1.1 Mootori ja anduri valik

Mootor on testseadme töö jaoks väga oluline komponent, sest see hakkab juhtima seadme käsirattaid pööravaid detaile. Mootori peamised parameetrid, mida tuleb jälgida on mootori mass ning pöördemoment, mille suudab mootor edasi anda.

Varasemalt seadmega tehtud mõõtmistes on näha, et maksimaalne moment, mis rakendati ületas 120 N/cm piiri. Sellest tulenevalt on võimalik valida momendiandur seadme jaoks. Momendiandureid, mis turul on saadaval on väga erinevaid ja erinevad

on ka ülesehitused anduritel. Momendiandur on valitud testimistulemuste põhjal väikese varuga. Üks võimalus on lähtuda maksimaalsest seadmele rakendatud momendist, kuid see pole piisav andmaks täpset infot. Seega tuleb mootori valiku puhul teostada arvutus, mille kaudu on võimalik valida sobiv mootor.

Arvutuse aluseks võtan endoskoobi sees oleva juhtmehaanika ning seal asetsevad trossid. Trosside katkemisjõu abil arvutatakse mootorile sobiv väändemoment. Autor teostab trosside arvutused kahele peamisele instrumendile, milleks on gastroskoop ja kolonoskoop. Mõlema arvutuse korral on jõud hinnatud 50% elastsuspiirist.

Gastroskoobi trossi läbimõõt on 0.54 mm ja trossi minimaalne katkemisjõud on 293 N [16].

$$F_e = 293 \text{ N} * 0.5 = 146.5 \text{ N} \quad (4.1)$$

Järgmisena tuleb trossi keskkohat leida. Tross asub 11.6 mm juhtrulliku peal.

$$d_k = 11.6 \text{ mm} + 0.54 \text{ mm} = 12.14 \text{ mm} = 0.0121 \text{ m} \quad (4.2)$$

Seejärel saab välja arvutada maksimaalse väändemomendi, mis antud trossile võib rakenduda.

$$M_{max} = F * l = F_e * d_k = 146.5 \text{ N} * 0.0121 \text{ m} = 1.77 \text{ Nm} \quad (4.3)$$

Kolonoskoobi trossi läbimõõt on 0.68 mm ja trossi minimaalne katkemisjõud on 371 N [16].

$$F_e = 371 \text{ N} * 0.5 = 185.5 \text{ N} \quad (4.4)$$

Järgmisena tuleb trossi keskkohat leida. Tross asub sama juhtrulliku peal ning seega 11.6 mm peal.

$$d_k = 11.6 \text{ mm} + 0.68 \text{ mm} = 12.28 \text{ mm} = 0.0123 \text{ m} \quad (4.5)$$

Eelnevate tulemuste põhjal saab välja arvutada maksimaalse väändemomendi, mis trossile võib rakenduda.

$$M_{max} = F * l = F_e * d_k = 185.5 \text{ N} * 0.0123 \text{ m} = 2.28 \text{ Nm} \quad [17] \quad (4.6)$$

Samm-mootor sobib tehnoloogiliste parameetrite poolest, milleks on kõrge täpsus töötamisel, madal hind, parem moment võrreldes servo mootoriga ning lihtne

juhitavus. Samuti on eeliseks see, et mootor teeb täpselt seda, mida on programmeeritud.

Tabel 5 Mootori parameetrid

Mootor	Pöördemoment	Kaal	Gabariidid
23HS33-4008D [18]	2.83 Nm	1.3 kg	57x57x84 mm

Andurite valikusse jäi pärast otsingute teostust kolm ettevõtet, milleks olid: FUTEK, Lorenz messtechnik gmbh ja Burster. Kõigi nende tootjatega on autor olnud meilivahetuses ja uurinud, mis on andurite võimekus vastavalt testseadme nõudmistele. Ameerika firma FUTEK andur oli esialgu kõige parem lahendus, põhjus miks selle firma toode valikusse ei jäänud oli momendianduri hind. Burster ettevõtte oli oma toote info jagamisega väga nõudlik ja nende tarneaeg oli samuti liiga pikk, mistõttu langes ka nende toode valikust välja. Lorenzi teenindus ja suhtlus oli kõige ladusam ja samuti pakkusid nad igakülgset abi autorile vajaliku anduri leidmisel ja seepärast otsustas autor, et parim lahendus on Lorenzi momendimõõtmise andur ja jätkab sellega testseadme ehitamist. Joonisel 4.1.1 on väljatoodud lõppvalikusse jäänud andurid.



Joonis 3.1.1 Andurid: vasakult Burster, FUTEK, Lorenz messtechnik [21,19,20]

Pärast mootori ja momendianduri valikut on mootori ülekande edasi andmiseks valitud rihmülekanne. Selline lahendus hoiab autori testseadmele ning samuti on võimalik seadme müratase hoida madalal. Rihmarattad on valitud AT5 profiillist Mäedleri tootevalikust. Kuna kasutusele võetakse 2 mootorit ning ülekanne on 1:1 siis on rihmarattaid ka 2 ühesuguse läbimõõduga.

Tabel 6 Hammasrihmarattad [22]

Profiil	Hammaste arv	Läbimõõt	Materjal
16624800	48	75,15 mm	EN AW2017A

Rihmaratastele on valitud 500 mm standardse pikkusega hammasrihm 16661100 [23] Mäedleri tootevalikust. Telgedevahe kahe hammasrihmaratta vahel on 119.44 mm. Rihma maksimaalne lubatud tõmbejõud on 700 N [24]. Seega on võimalik teostada arvutus rihmarattale, mille käigus on kasutatud mootori pöördemomenti ja rihma tsentri raadiust.

$$F_{mootor} = \frac{M_{ajam}}{r_{rihmaratas} + r_{rihm}} = \frac{2,83 \text{ Nm} \cdot 1000}{37,58 \text{ mm} + 0,75 \text{ mm}} = 73,6 \text{ N} \approx 74 \text{ N} \quad [17] \quad (4.7)$$

kus: F_{mootor} – mootori poolt tekitatud koormus rihmale

M_{ajam} – mootori poolt antud pöördemoment

$r_{rihmaratas}$ – rihmaratta raadius

r_{rihm} – rihma raadius

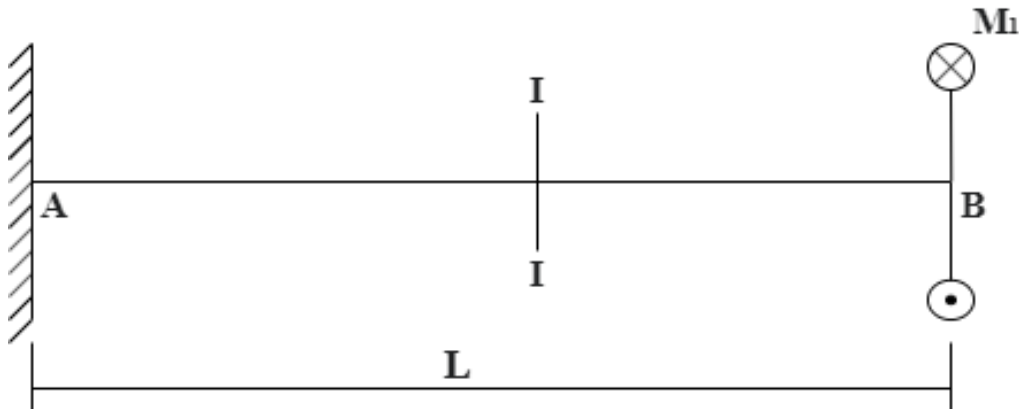
Siit saab teha järelduse, et rihm on piisavalt tugev koormuse ülekandmiseks. Hammasrihmülekanne kasutegur jääb vahemikku 0.93...0.98. Sellest tulenevalt saab arvutada maksimaalse pöördemomendi.

$$T_{max} = T_{mootor} \cdot n = 2,83 \cdot 0,98 = 2,78 \text{ Nm} \quad (4.8)$$

4.1.2 Arvutus võllile

Mootorist tuleva jõu kannab edasi hammasratta sees olev võll. Järgnevalt teostab autor võllile väändearvutuse ja pakub välja ka alternatiivseid lahendusi võlli materjali osas. Arvutus on teostatud lihtsustatud kujul, kus võll on ühest servast jäigalt kinni ning teiselt poolt väänatakse võlli 2 Nm jõuga. Rooma numbriga on tähtistatud lõige.

$$M_1 = 2 \text{ Nm}, L = 160 \text{ mm} = 0,16 \text{ m} \quad (4.9)$$



Väändemomendi leidmine lõikes I-I.

$$T_1 = M_1 = 2 \text{ Nm} \quad (4.10)$$

Autor on käsitletud kolme erinevat materjali võllide arvutamise puhul, milleks on:

teras C45E – Voolepiir 370 MPa [17]

alumiinium AW-6061 T4 – 110 MPa [17]

Plast PEEK (polüeteereeterketoon) – 97 MPa [17]

Tugevustingimus väändearvutuse juures:

$$\tau = \frac{T}{W_0} \leq [\tau] \quad (4.11)$$

τ – väändepinge

T – väändemoment

W_0 – polaarvastupanumoment

Kus lubatud väändepinge on

$$[\tau] = (0.5 \dots 0.6) * [\delta] \quad (4.12)$$

Lubatud tõmbepinge on

$$[\delta] = \frac{R_{p0,2}}{[S]} \quad (4.13)$$

$R_{p0,2}$ – Materjali voolepiir

$[S]$ – varutegur

Varutegur valitakse vahemikus 1.5 ... 3, arvutuste käigus on valitud varutegur 1.5.

Järgnevalt arvutatakse välja erinevate materjalide tõmbepinge

$$\text{Teras } [\sigma] = \frac{370}{1.5} \approx 247 \text{ MPa} \quad (4.14)$$

$$\text{Aluminium } [\sigma] = \frac{110}{1.5} \approx 73 \text{ MPa} \quad (4.15)$$

$$\text{Plast PEEK } [\sigma] = \frac{97}{1.5} \approx 65 \text{ MPa} \quad (4.16)$$

Seega saab arvutada lubatud väändepinge

$$\text{Teras } [\tau] = (0.5 \dots 0.6) * 247 \text{ MPa} = (123 \dots 148) \text{ MPa} \rightarrow [\tau] = 140 \text{ MPa} \quad (4.17)$$

$$\text{Aluminium } [\tau] = (0.5 \dots 0.6) * 73 \text{ MPa} = (36 \dots 44) \text{ MPa} \rightarrow [\tau] = 40 \text{ MPa} \quad (4.18)$$

$$\text{PEEK } [\tau] = (0.5 \dots 0.6) * 65 \text{ MPa} = (33 \dots 39) \text{ MPa} \rightarrow [\tau] = 36 \text{ MPa} \quad (4.19)$$

Kuna silindrilise ristlõikega võlli polaarvastupanumoment on järgmine:

$$W_0 = \frac{\pi * d^3}{16} \quad (4.20)$$

Siis saab välja arvutada iga võlli minimaalse läbimõõdu järgmisest valemist:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16 * T}{\pi * [\tau]}} \quad (4.21)$$

Võllide minimaalsed läbimõõdud:

$$Teras - d \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T}{\pi \cdot [\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 2}{3,14 \cdot 140 \cdot 10^6}} \approx 0,0042 \text{ m} \approx 4,5 \text{ mm} \quad (4.22)$$

$$Alumiinium - d \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T}{\pi \cdot [\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 2}{3,14 \cdot 40 \cdot 10^6}} \approx 0,0063 \text{ m} \approx 6,5 \text{ mm} \quad (4.23)$$

$$PEEK - d \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T}{\pi \cdot [\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 2}{3,14 \cdot 36 \cdot 10^6}} \approx 0,0066 \text{ m} \approx 7 \text{ mm} \quad (4.24)$$

Järgmisena arvutatakse välja polaarvastupanumomendid iga võlli jaoks:

$$W_{teras} = \frac{\pi \cdot d^3}{16} = \frac{\pi \cdot 0,0045^3}{16} \approx 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3 \quad (4.25)$$

$$W_{alumiinium} = \frac{\pi \cdot d^3}{16} = \frac{\pi \cdot 0,0065^3}{16} \approx 5,4 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3 \quad (4.26)$$

$$W_{PEEK} = \frac{\pi \cdot d^3}{16} = \frac{\pi \cdot 0,007^3}{16} \approx 6,7 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3 \quad (4.27)$$

Nendest tulemustest lähtuvalt saab välja arvutada pinged:

$$[\tau]_{teras} = \frac{T}{W_{teras}} = \frac{2}{1,7 \cdot 10^{-8}} \approx 117 \text{ MPa} \quad (4.28)$$

$$[\tau]_{alumiinium} = \frac{T}{W_{alumiinium}} = \frac{2}{5,4 \cdot 10^{-8}} \approx 37 \text{ MPa} \quad (4.29)$$

$$[\tau]_{PEEK} = \frac{T}{W_{PEEK}} = \frac{2}{6,7 \cdot 10^{-8}} \approx 30 \text{ MPa} \quad (4.30)$$

Nüüd saab kontrollida kas tugevustingimus on täidetud

$$\tau_{teras} = \frac{T}{W_0} \leq [\tau] \rightarrow 117 \text{ MPa} \leq 140 \text{ MPa} \quad (4.31)$$

$$\tau_{alumiinium} = \frac{T}{W_0} \leq [\tau] \rightarrow 37 \text{ MPa} \leq 40 \text{ MPa} \quad (4.32)$$

$$\tau_{PEEK} = \frac{T}{W_0} \leq [\tau] \rightarrow 30 \text{ MPa} \leq 36 \text{ MPa} \quad (4.33)$$

Tugevustingimus on täidetud kõikide võllide puhul. Sellest tulenevalt saab öelda, et võllide materjaliks sobiksid lisaks terasele ka alumiinium ja PEEK.

Võlli materjalide toorikute ligikaudne maksumus. Tooriku läbimõõt on valitud töötlusvaruga 16 mm ja tooriku pikkus on 70 mm.

PEEK – 3.70 €/kg [25]

Teras – 0.86 € (tükihind 0.18 €), hind koos tooriku lõikuse ja käibemaksuga [26]

Alumiinium – 0.86 € (tükihind 0.53 €), hind koos tooriku lõikuse ja käibemaksuga [27]

Võlli lõpphinnale lisandub veel töötluste hind ning transport jms kulud.

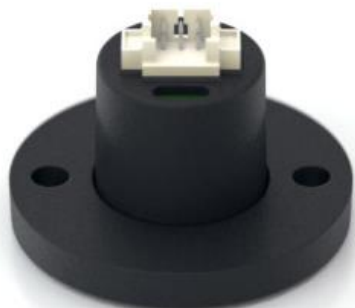
4.1.3 Positsiooniandur

Järgmisena tuleb käsirataste mitte puruks pööramiseks leida lahendus. Kuna instrumendi käsirataste pööramine on piiratud ja kui käsirattad on piirasenditesse pööratud tuleb vältida nende edasi pööramist. Instrumendi sees olev võll on see, mille abil käsirataste pööramine toimub. Liigse väändemomendi kaitsmiseks on vaja leida lahendus, kuidas kaitsta käsirataste puruks pööramist. Seega tuleb kindlustada, et mootor liigutab ainult seadistatud nurkadeni.

Kasutusele võetavatel mootoritel on olemas eesmine võll, mille abil toimub käsirataste pööramine ja on teatud mootoritel on olemas tagumine võll, mille külge on võimalik kinnitada positsiooniandur (enkooder). Positsiooniandur abil on saab kindlustada seda, et nurgad, mis on algselt seadistatud pööratakse ka realselt välja. Kui mootori võll aga seadistatud asendisse ei jõua siis seiskub tööprogramm. See saab juhtuda, kui mootori pöördemomenti ületatakse instrumendi käsirataste pööramise käigus. Sellisel juhul hakkab mootor ühes asendis sammuma. Kui seadistatud tsükli käigus mootor peaks jääma sammuma ning seega jätab ükskõik, mis arvu samme vahele ja võll ei pöördu algasendisse tagasi. Positsiooniandur tuvastab sellise olukorra ning seade seiskub selle tõttu. Peamine põhjus positsioonianduri kasutamiseks on eelpool kirjeldatud häirete tuvastamine ning seeläbi takistada seadme lõhkumist.

Positsiooniandureid võib jagada kaheks, inkrementaalsed ja absoluutsed andurid [28]. Inkrementaalsete saab infot siis kui vool on seadmel aktiivne ja igakord kui seade sisse lülitada hakkab inkrementaalne enkooder nullist asukohta määrama, olenemata võlli varasemast positsioonist. Absoluutsete andurite abil saab infot iga pööratud nurga kohta ning selle anduri puhul ei sõltu sellest, kui seade on vahepeal välja lülitatud. Sellist

väärtust on lihtsam salvestada. Seetõttu on võimalik rakendada projekteeritavale testseadmele absoluutne enkooder. Absoluutne enkooder, mis testseadme mootorite külge kinnitamiseks sobib on MAE-3 [29]. Testseadme prototüübi puhul enkooderi kasutamine selgub reaalse testseadme töö käigus.



Joonis 4.1.2 MAE-3 enkooder

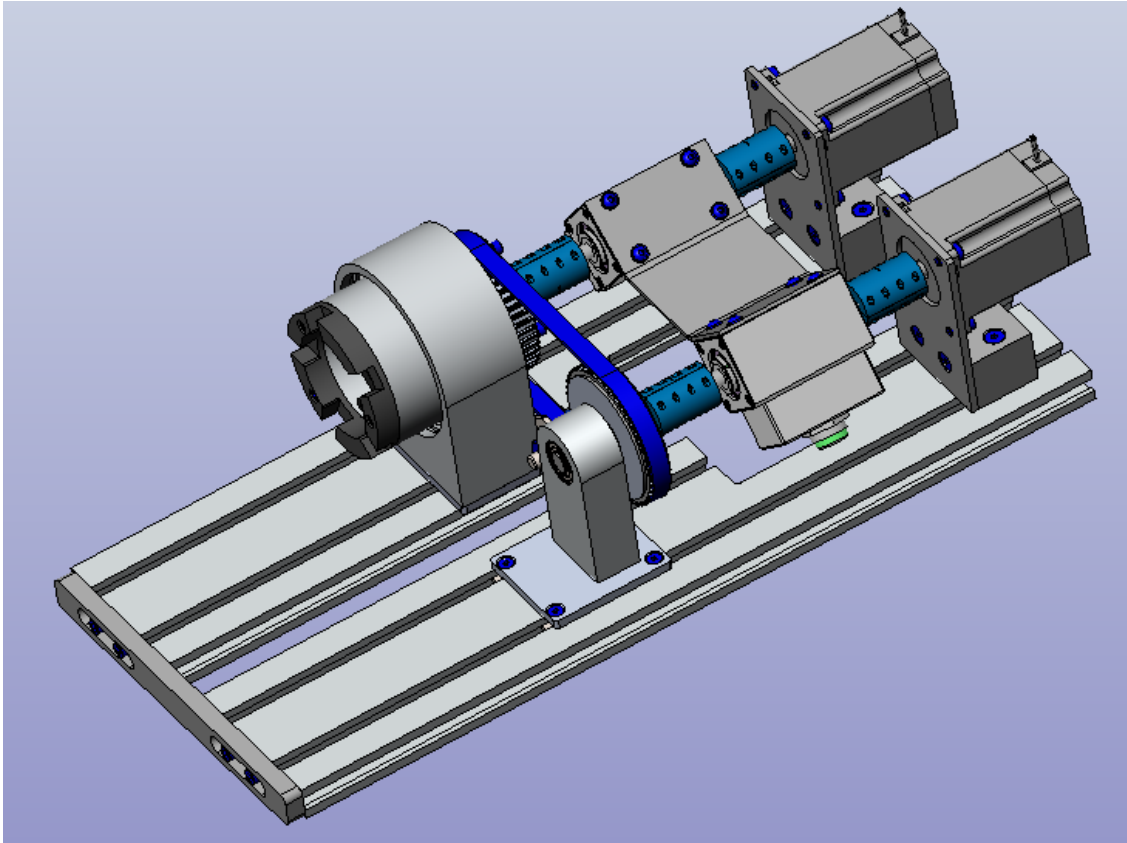
Järgmisena on vajalik leida kinnitused, mis võimaldaksid momendianduri ühendada nii mootoriga, kui ka käsirataste pöörämist teostava detailiga. Kuna mootori väljundvõll ja momendianduri võllid on ümmargused, siis on lihtsam leida sobivat kinnitust vastavale ühendusele. Algselt anduri valikul ja hinnapakkumiste küsimisel, pakkusid ettevõtteid ka tootjapoolseid kinnitusi kaasa, kuid need ei erine kuidagi sellest, mis on olemas turul odavama hinnaga ning tööpõhimõte on samuti sama. Ettevõtteid, mis selliseid kinnitusi müüvad on mitmeid ning seadmele sai valitud kinnitused Mäedler ettevõtte tootevalikust.

Mäedler tootevalik on väga lai ning peamised komponendid, mis müüakse on masinaehitus komponendid ning seega valitigi tooted Mäedlerist. Kuna momendianduri võlli läbimõõt on 8 mm siis tuleb kinnitus otsida lähtudes anduri võlli läbimõõdust. Samuti puudub nii mootori võllil kui anduri võllil kiilusoon seega ei valita neid kinnitusi, millel on kiilusoon olemas. Mäedleri valikust valib autor sellise klambri, mis koosneb kahest otsast ja millel on kruvidega võimalik pingutada, kui tugevasti võlli külge pressitakse kinnitus. Alljärgneval Joonisel 4.1.3 on näha, milline kinnitus välja näeb.



Joonis 4.1.3 Mäedlerist leitud sobiv kinnitus [30]

Kuna käsirattaid pööravad detailid on 3D mudelina olemas ning need tuleb freesida ja autori ettevõtte freesimisega ei tegele, seega tuleb tellida detailid väljastpoolt maja. Järgmisena tuleb leida profiil kuhu need detailid kõik kinnitada. Eespool on väljatoodud, et varasema testseadmed on palju kasutanud Minitec profiile, siis on ka selle koostu kinnitamiseks sobilik Minitec profiil. Profiiliks on valitud 19x90 mm ristlõikega profiil. Kuna pikkus sõltub sellest, et mahuks ära mootorid, momendiandur, käsirattaid pööravad detailid ning järgmisena kirjeldatav käepideme hoidja, siis õige pikkus selgub alles, kui need on paika saadud. Järgneval Joonisel 4.1.4 on näidatud, milline näeb välja projekteeritud lahendus. Juurde on disainitud samm-mootori hoidja ning momendiandurite vaheline plaat, mis fikseerib nende asendi. Plaat on vajalik selleks, et andurite pistikud ei oleks suunaga alla. Plaat valmistatakse 1 mm 1.4301 roostevabast terasest. Kuna andurite ühendus toimub läbi micro - USB pistiku siis tuleb suunata need nurga all külgede peale, et pistik ära mahuks.



Joonis 4.1.4 Käsirataste pööramise koost koos anduritega

Lisaks on muudatused tehtud käsirataste pööramise koostus, kus suur käsiratta hoidmise detailil on tehtud lisatöötlust, et laager välja ei libiseks. Lisatöötluste käigus on tehtud stopperõnga soon suurele laagripukile.

Siinkohal on autor teostanud ka laagri elutsükli arvutuse, hindamaks valitud laagrite sobivust seadme külge. Väikese laagri puki sisse on valitud laagriks SKF RNA 6901 [31] nõel-rull laager ja suure laagripuki sees olev laager on SKF NK 73/35 [32].

Kõigepealt teostan väikese laagri elutsükli arvutuse. Laagri elutsükli arvutuse valem on järgmine :

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^p = \left(\frac{16100}{5}\right)^3 = 33 * 10^{12} \text{ pööret} \quad (4.34)$$

Valem on arvutamiseks mitu miljonit pööret peab laager vastu.

$$L = \frac{10^6}{60 * n} * \left(\frac{C}{P}\right)^p = \frac{10^6}{60 * 30} * \left(\frac{16100}{5}\right)^3 = 2 * 10^{12} \text{ h} \quad (4.35)$$

Valem hindamaks mitu tundi on laagri elutsükkel.

Selle tulemuse järgi võib hinnata, et laager peab vastu väga kaua. Seda ka seetõttu, et laager töötab väikestel kiirustel ja koormused on samuti väikesed.

Kus:

n – pöörlemiskiirus

C – SKF kodulehelt laagriale määratud dünaamiline kandvõime [31]

P – Taandatud koormus

p – astmenäitaja

Taandatud koormuse näitaja on võrdustatud radiaalkoormusega, seda seetõttu, et telgkoormus on väike. Pöörlemiskiirus on valitud teoreetiliselt varasemalt ettevõttes olevate seadmete põhjal.

Väiksema laagri elutsükli põhjal ei hakka autor siinkohal suurema laagri elutsükli hindama, kuna väikese laagrieluiga on piisavalt pikk ning suuremal laagril on samad parameetrid töötamisel.

4.1.4 Käepideme koost

Järgmisena tuleb kinnitada käepideme hoidja käepideme hoidja tuleb sama profiili külge nagu kinnituvad varasemalt nimetatud detailid. Joonisel 4.1.3 vasakul on näha, kuhu tuleb käepideme hoidja paigutada. Kuna kõik testimise jaoks tarvis minevad instrumendid on samasuguse käepidemega, siis hoidja on disainitud just käepideme välise kontuuri järgi. Antud juhul on käepide plaanis 3D-printida, seda sellepärast, et ettevõttes on valmistustehnoloogia olemas. 3D printimiseks kasutatav seade on Ultimaker S5. Materjalid, millest printida on Tough PLA (polüpiimhape) ja tugimaterjal on PVA (polüvinüülalkohol).

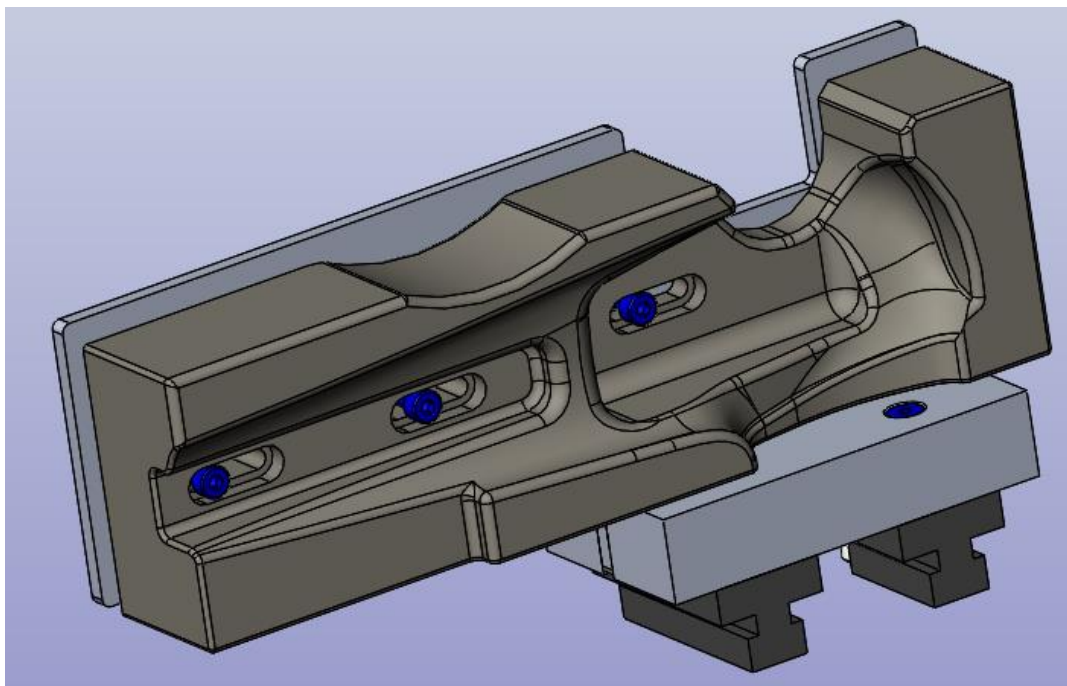
Käepide kinnitatakse omakorda veel alumiiniumist plaadi külge. Alumiiniumist plaat omakorda kinnitub kahe alumiiniumist klotsi vahele, mis on kinnitatud Minitec liugurite külge. Liugurite abil on võimalik liigutada käepidet käsirattaid pöörava detaili juurde ja ka sealt eemale.

Instrumendi fikseerimiseks käepideme sisse ainult käepideme hoidjast ei piisa, seega tuleb disainida kinnitus ka teispoole. Selleks pakun järgmisi variante:

- Esimene variant on elastne kummist ringi kujuline detail, mis on piisavalt jäik, et tõmmata instrument käepideme külge kinni. Selle puuduseks on see, et seda

tuleb igakord ära võtta ja pingutamine võib olla keeruline, kui instrument on käepidemes.

- Teine variant on teha väikse puuriga süvised prinditud detaili sisse, kuhu on võimalik asetada väikesed magnetid. Teine detail, mis imiteeriks käepideme teist poolt on samuti 3D-prinditud ja sinna sisse on samasugused avad tehtud kuhu paigutada magnetid ning need omavahel kokku panna. Magnetid peaksid olema piisavalt tugevad ja tuleb kindlaks teha, kas magnetid mõjutavad kuidagi instrumendi tegevust.
- Kolmas variant on kasutada laialt levinud takjapaela, mis on võimalik lihtsalt käepideme ümber panna ja krõpsuga kinnitada. Selline kinnitus viis on väga kiire ning samuti pole vajadust erilise disaini ning kuju peale. Takjapaela kasutamise puudus on samuti selle ära kadumise oht ning lisaliigutuste tegemine instrumendi kinnitamisel.
- Neljas variant on kasutada ära alumiiniumist plaati, millele juurde tekitada kõrgendatud koht, kuhu on võimalik kinnitada käepidet kinni hoidev detail. Teha plaadi kuju natuke ümber, kuhu disainida avaga koht. Kui kruvi keerata siis tõmbab kinnitus käepidemele lähemale ja pigistav instrumendi kinni. Samuti on sama variandi puhul võimalik kasutada tihvti, mille ümber kasutada vedrut, mis pingestab iseseisvalt käepideme hoidjat instrumendi külge.



Joonis 4.1.5 Käepideme hoidja

4.2 Elektroonikaseadmete korpus ja kasutajaliides

Peamine elektroonikakarbi vajadus tuleneb sellest, et testseadme juurde kaasatakse oluliselt rohkem komponente, kui seda on olemasoleva masina küljes. Kuna kasutusele võetakse kahe mootoriga juhitud käsirataste pööramise süsteem siis sellest tulenevalt juba on nõudlus elektroonika komponentide järgi suurem. Kasutusele tuleb seega võtta 2 samm-mootorit, 2 positsiooniandurit. Nende komponentide üheks süsteemiks ühendamist ja töötamiseks on vajadus järgmiste komponentide järgi: Samm-mootoritele on tarvis draiverid. Kuna autor kasutab kahte samasugust mootorit siis tuleb leida sobiv draiver.

Tabel 7 Samm-mootori draiver

Mootor	Draiver	Draiveri parameetrid
23HS33-4008D [18]	Digital DM542T (2tk) [33]	Väljundpinge: 24 VDC Väljundvool(max): 4.2 A

Mõlema mootori jaoks on valitud eraldi draiver, et probleemide tekkimisel on lihtsam leida viga ning rikete korral on odavam vahetada komponente.

Kontrolleriks, mis hakkab seadme tööd juhtima on valitud Arduino Mega 2560 Rev3 [32], mille parameetrid on järgmised:

- Sisendpinge – 5 VDC,
- Väljundpinge – 5 VDC,
- Analoogsisendeid on sellel plaadil 16
- Digitaalsete sisend-väljund kohtade arv on 54

Järgmisena on valitud ON/OFF lüliti.

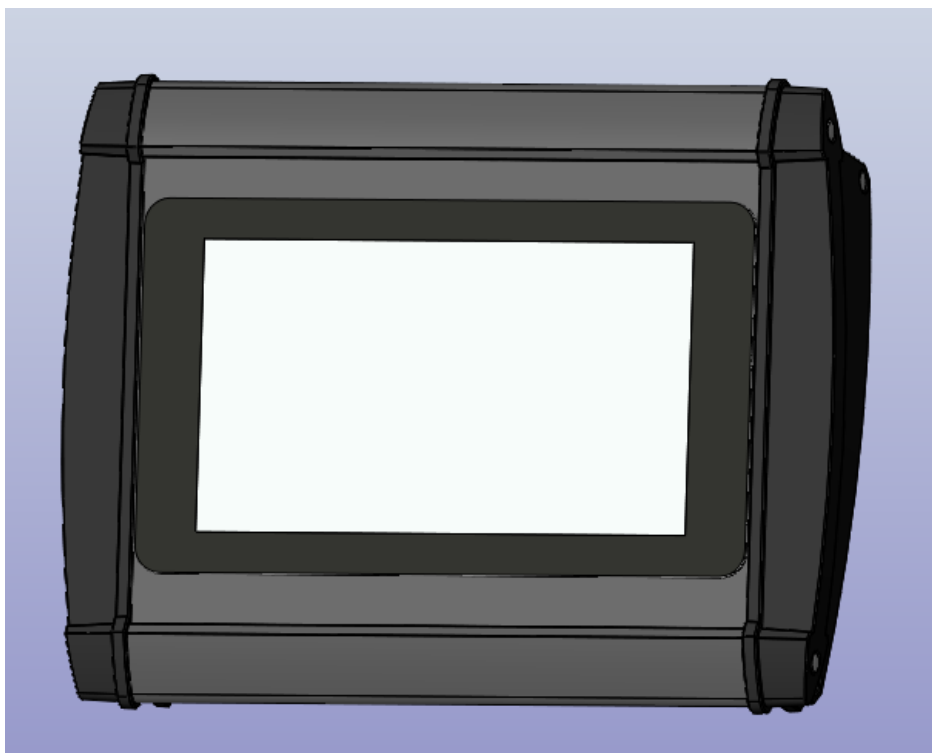
Tabel 8 ON-OFF lüliti

Nimetus	Parameetrid	Tööülesanne
T0-2-1/EA/SVB [33]	Tööpinge: 440 VAC Töövool: 20 A	Lüliti ülesanne on seadme sisse-välja lülitamine.

Seadme juurde võetakse kasutusele kasutajaliides, mille abil hakkab seadistamine toimuma siis järgnevalt on välja toodud kasutajaliidese- ja ekraani koostu jaoks vajaminevad komponendid.

Tabel 9 Kasutajaliidese koostu komponendid

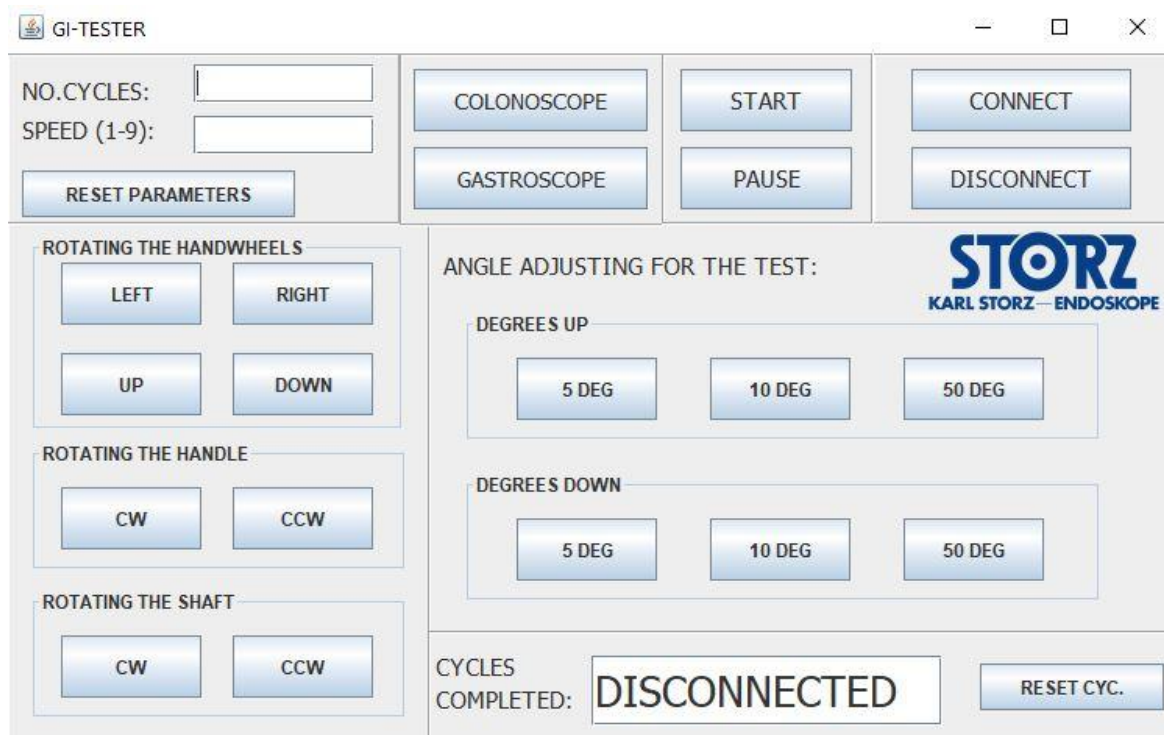
Nimetus	Parameetrid	Tööülesanne
Raspberry Pi 3 [36]	Tööpinge: 5 VDC Töövool(max): 1.2 A	Mini arvuti, võimaldab kuvada kasutajaliidese.
Puutetundlik ekraan 7" Raspberry Pi-le [37]	Tööpinge: 5 VDC Töövool: 0.4A	Seadistamisprogrammi kuvamine ekraanile
ATPH 1865-0250 [38]	Välismõõdud: 181.2 x 68.2 x 250 mm	Komponentide karp
Slide bar 22.1088 [39]	L= 75 mm	Minitec profiili sees, karbi liigutamiseks
Link 45 R 21.20.41/0 [40]	45 x 45 x 60 mm	Kinnitub karbi külge ning teine pool liuguri külge
09-0473-80-08 [41]	Tööpinge: 250 VAC Töövool: 5 A	Pistik , mille kaudu tuuakse elektrivool elektroonika karbist kasutajaliidese karpi



Joonis 4.2.1 Ekraanikoost

Kasutajaliidese ülesanne on juhtida testseadme tööd. Ekraani peale kuvatakse programm, mille abil saab sisestada seadme töö juhtimiseks vastavad parameetrid. Kuna testseadme ülesandeks on keerata tööosa pööratavat osa erinevate nurkadeni siis tuleb ka ekraani peale kuvada sellised nupud, mille abil on võimalik salvestada erinevad nurgad. Samuti tuleb programmi määrata tsüklite arv ning käsirataste pööramise kiirus.

Ekraanil on kuvatud neli tsooni, milleks on üles, alla, vasakule ja paremale. Nende aktiveerimisel saab määrata tööosa pööramise nurga. Lisaks neile on olemas veel kuus nuppu, mis määravad nurga pööramise kraadi kaupa. Näiteks 5 kraadi võrra või 10 kraadi võrra pööratakse vastavat suunda. Kraadi omakorda kirjeldatakse samm-mootori sammude läbi ning seega ei saa võtta seda kui päris reaalselt nurka. Kui vastav suund on paika sätitud siis tuleb suuna nupp uuesti deaktiveerida ja seejärel saab teostada järgmiste suundade pööramise. Samuti on olemas veel kohad, kuhu saab kirjutada vastava testseadme tööd juhivad parameetrid. Näiteks tsüklite arv ja mis on pööramise kiirus. See annab ülevaate operaatorile, kes tsüklite lõpus eemaldab instrumendi ning saab vaadata, mis parameetrite järgi on testimine teostatud.



Joonis 4.2.1 Kasutajaliidese programm instrumentide testimiseks

Järgmisena tuleb valida toiteplokid, millele teised komponendid tööle pannakse. Esmalt tuleb leida, milline on seadme voolubarimine ning seejärel valida vastavalt sellele toiteplokid.

Tabel 10 Seadme voolu tarbimine

Nimetus	5 VDC (mA)	24 VDC (mA)
Raspberry Pi 7" puuetundlik ekraan [37]	500	
Raspberry Pi 3 [36]	1200	
Arduino Mega 2560 [34]	130	
Positsiooniandur MAE-3 (2tk) [29]	40	
Samm-mootor 23HS33-4008D (2tk) [18]		5660
Kokku:	1910	5660
Amprites:	1,91 A	5,6 A
Kokkuvõte:	Leida 2-3 A vooluallikas	Leida vähemalt 6A vooluallikas

Vastavalt tabelis toodud infole saab valida toiteblokid:

Tabel 11 Toiteallikate parameetrid

Nimetus	Parameetrid	Tööülesanne
RS-15-5 [42]	Sisendpinge: 85-264 VAC Väljundpinge: 5 VDC Väljundvool: 3A 5 VDC juures	Toitevool komponentidele, mis töötavad 5 VDC peal.
VGS-150B-24 [43]	Sisendpinge: 88-264 VAC Väljundpinge: 24 VDC Väljundvool: 6,5A 24 VDC juures	Toitevool komponentidele, mis töötavad 24 VDC peal.

Kui toiteallikat parameetrid on välja toodud on samuti võimalik määrata nende tarbitavat võimsust. Selleks tuleb leida toiteallikate tõhusused, väiksema toitebloki puhul on 81% tõhusus ja suurema toitebloki puhul on tõhusus 88%.

Seega väiksema toiteallika RS-15-5 tarbitav võimsus on:

$$P_1 = \frac{U_1 * I_1}{n_1} = \frac{5 \text{ VDC} * 3 \text{ A}}{0,81} = 18,52 \text{ W}, \quad (4.36)$$

Kus: $P_1 = RS - 15 - 5$ on tarbitav võimsus

$U_1 =$ Väljundpinge

$I_1 =$ Väljundvool

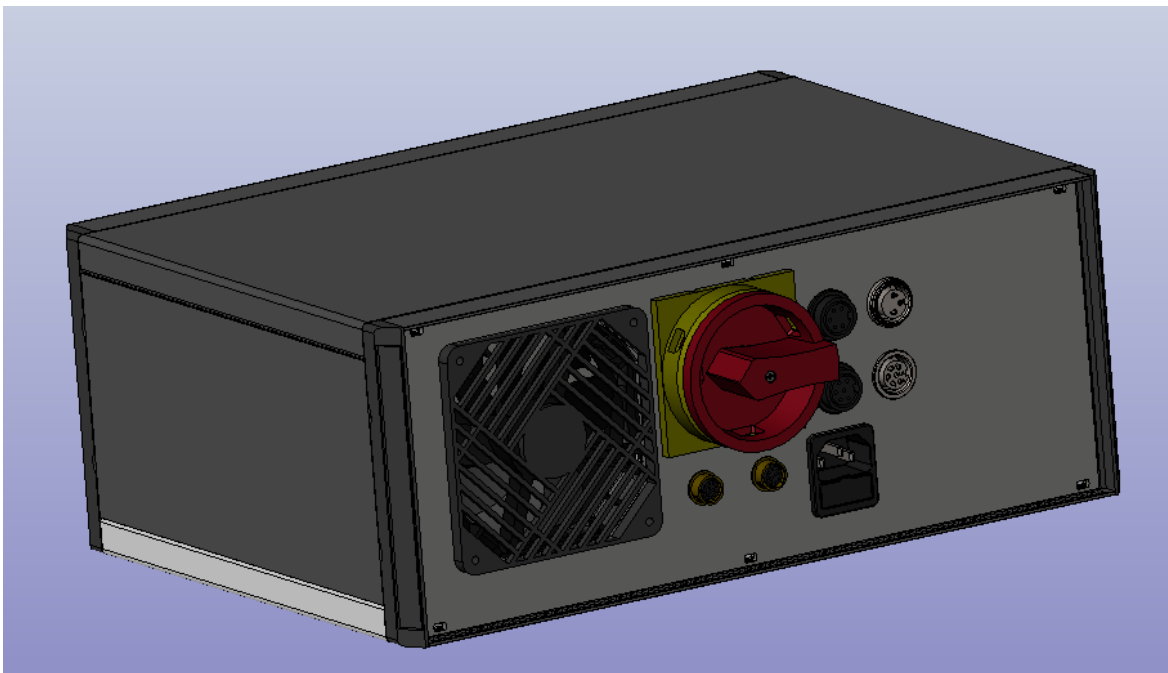
$n_1 =$ tõhusus

Järgmisena leiame tarbitava võimsus VGS-150B-24 toiteallika jaoks:

$$P_2 = \frac{U_2 * I_2}{n_2} = \frac{24 \text{ VDC} * 6,5 \text{ A}}{0,88} = 177,27 \text{ W} \quad (4.37)$$

$$P_{\text{tarbitav}} = P_1 + P_2 = 18,52 + 177,27 = 195,79 \text{ W} \quad (4.38)$$

Kui elektrikomponendid on välja valitud, siis tuleb neile elektroonikakarp leida. Elektroonikakomponendid on jagatud alamkoostudeks, et koostamine oleks lihtsam. Elektroonikakarbi valmis lahendus on leitud ettevõtte Bopla [44] tootevalikust nii nagu valiti ekraani koostu jaoks karpi. Kuna tootevalik on väga lai, siis on leitud sobivate mõõtudega karp just sellest ettevõttest. Valitud on standardkarp mõõtudega 132.55 x 342.02 x 255.5 mm ning lisaks on konstrueeritud esimene ja tagumine paneel. Disaini eesmärgiks on tekitada pistikute jaoks avad. Avad on lõigatud CNC-laserpingis tootja poolt ning paneelide materjaliks on valitud 2 mm paksune 1.4301 roostevaba teras.



Joonis 4.2.2 Elektroonikakarp

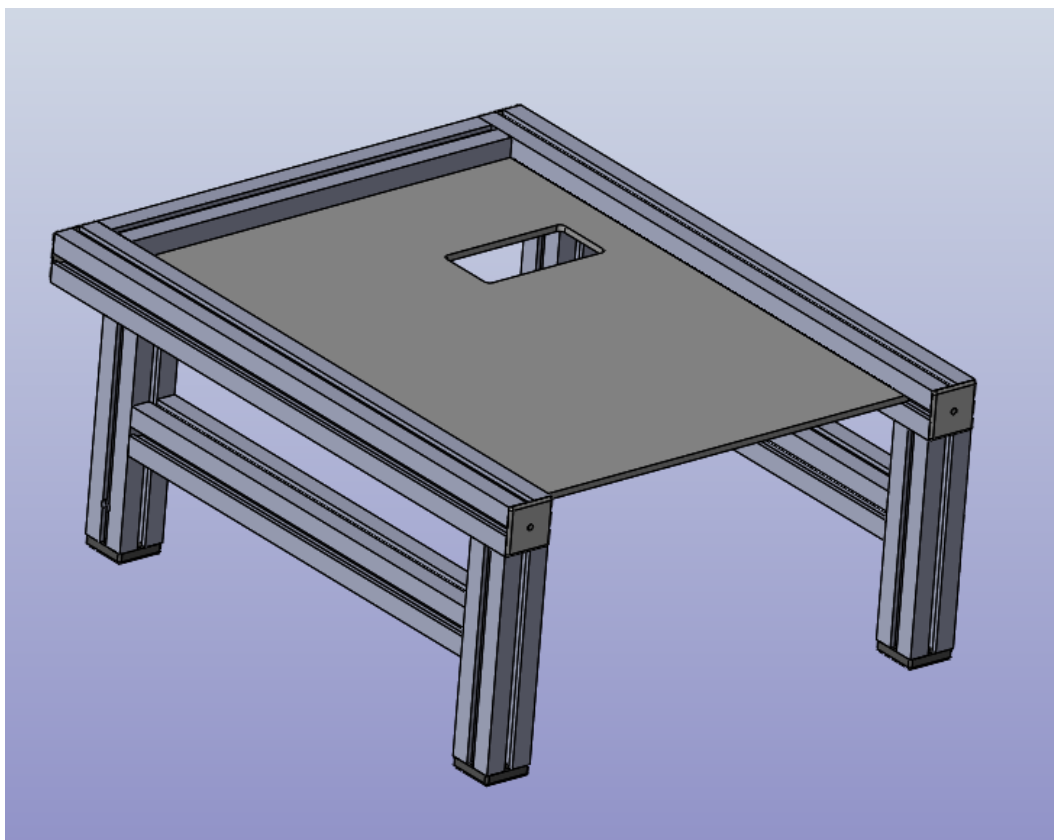
Joonisel 4.2.2 on elektroonikakarbi tagumisest küljest pilt, kus on näha pistikuid, ventilatsiooni ja seadme sisse-välja lülitamise nuppu. Karbi sees on kolm alamkoostu, milleks on: draiverite koost, suure toiteploki koost ja väikese toiteploki koost koos arduinoga.

Pärast elektroonikakarbi valikut tuleb projekteerida raam, lähtudes varasemalt kirjeldatud koostude suuruselt ja kogu kontseptsiooni plaanist.

4.3 Raami koost

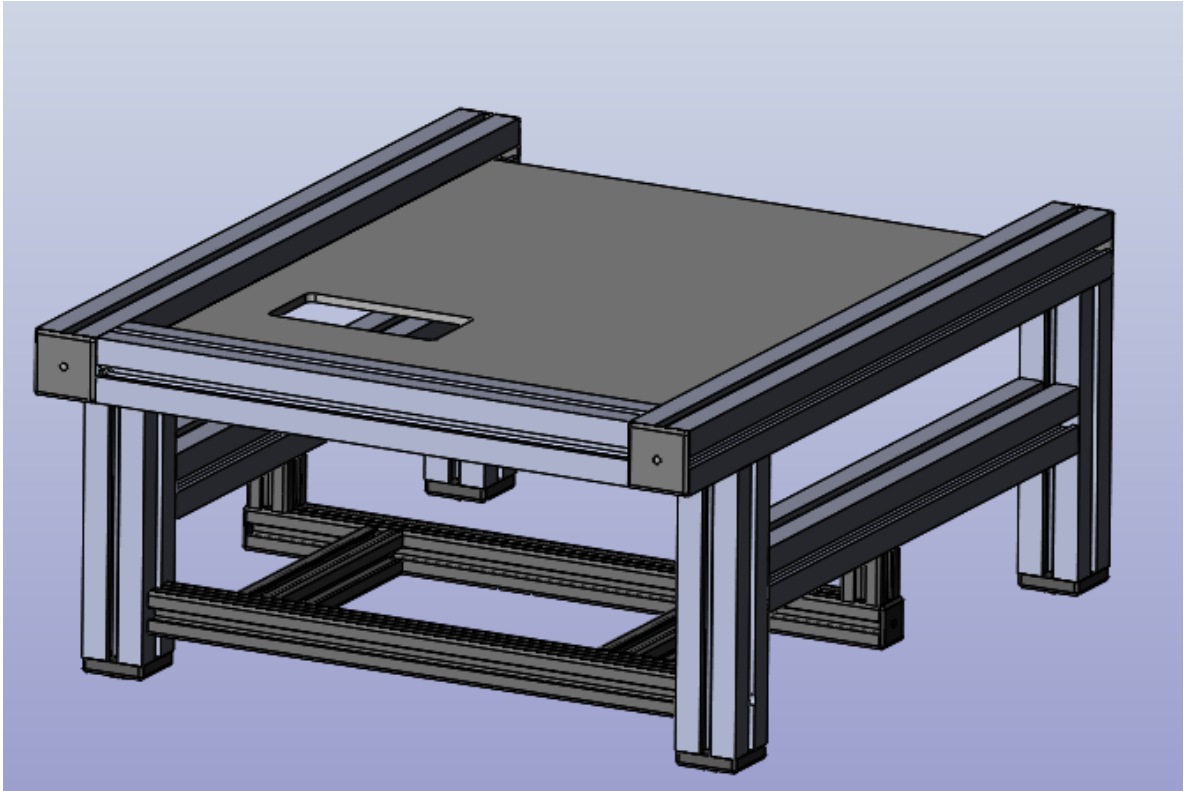
Raam on projekteeritud viimase koostuna, kuna alguses polnud selge, millised komponendid seadme juurde tulevad ning samuti ei olnud teada, kui suured detailid hakkavad seadme küljes olema. Raamistik on peamiselt tehtud Minitec 45 x 45 profiilist [45]. Samuti on raami profiili vahele disainitud alusplaat, mille ülesanne on toetada käsirataste pööramise koostu. Alusplaat on tehtud läbipaistvast pleksiklaasist [46] ning kinnitatud profiilide sisse. Raamistik on disainitud selliselt, et see oleks kompakte ja samas peab seade olema kergesti transporditav.

Kuna raami disain muutus projekteerimise käigus, siis järgmine Joonis 4.3.1 näitab, milline oli algselt raam planeeritud. Seda eelkõige sellepärast, et elektroonikakomponentide karp oli algselt ise disainitud.



Joonis 4.3.1 Algne raami disain

Järgmisena kirjeldab autor, kuidas leiti lahendus elektroonikakomponentide karbi kinnitamisel. Selle jaoks võeti kasutusele Miniteci 30 x 30 profiilid [47], eelkõige seetõttu, et need on omakorda võimalik kinnitada suurema profiili külge ja sega leiti kompaktsem lahendus, kui seda oli algse variandi puhul. Miniteci profiilidest disaini hoidja, mis kinnitati 45 x 45 profiili külge.



Joonis 4.3.2 Terviklik raamistik

Terviklik raamistik on näha ülevaloleval Joonisel 4.3.2. Selline näeb välja lõplik raam ning järgmisena on võimalik ka teised koostud raami külge kinnitada ja koostada terviklik seade.

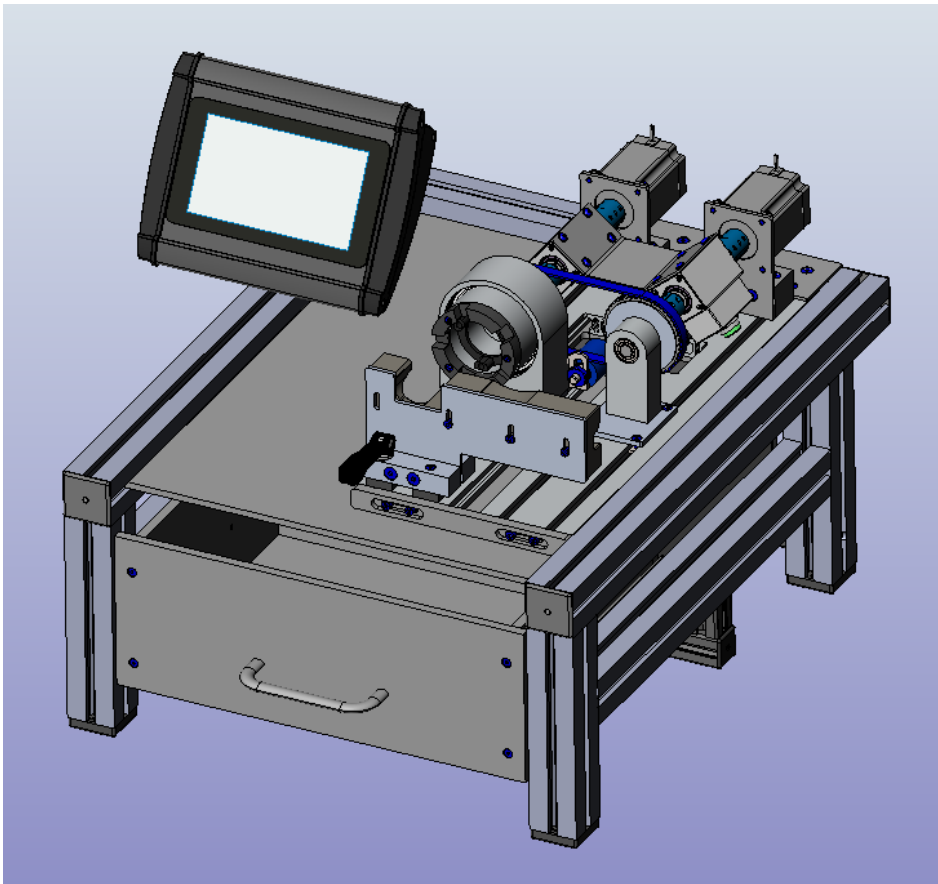
4.4 Seadme kasutamine

Selleks, et seadmega testida tuleb kõigepealt osata seadet õigesti kasutada. Esmalt tuleb seade vooluvõrku ühendada ning seejärel elektroonikakarbi küljes olevast lülitist testseadmele vool sisse lülitada. Enne kui instrument seadmesse sisestatakse on soovituslik kontrollida, kas momendiandurid töötavad korrektselt. Sellega väldib tulemuste täpsuses ning samuti vähendab ohtu, et testitulemused ei vasta nõudmistele.

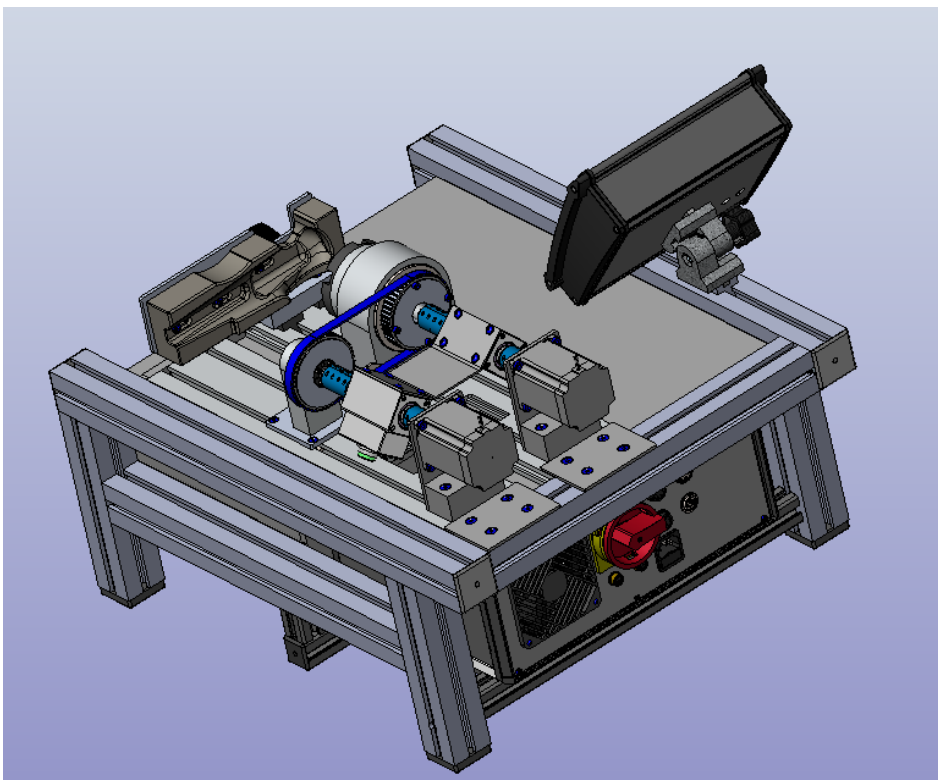
Kui seade on vooluvõrku ühendatud tuleb testitav instrument sisestada käepideme hoidjasse ja käsirattad sisestada käsirattaid pööravate detailide vastu. Instrument tuleb kinnitada veel omakorda tööosa poolesest osast. Samuti võib teostada kontrolli manuaalselt pööratest käsirattaid pööravat detaili ja samal ajal veendudes, et momendiandur töötab korrektselt.

Pärast instrumendi sisestamist tuleb kasutaja liidese ekraanilt sisestada testimise jaoks instrumendi tööosa nurgad, mida testseade tegema hakkab. Seejärel sisestada tsüklite arv ning nurkade pööramise kiirus. Kui kõik vajalikud parameetrid on sisestatud siis tuleb käivitada programm start nupuga ekraanil ning seade hakkab testitsükleid tegema.

Testimistsüklite lõppedes võetakse instrument käepideme küljest lahti ning seejärel teostatakse tavapärase instrumendi kontroll. Kontrolli käigus mõõdetakse üle instrumendi nurgad, valgus ning pilt. Need on olulisemad kontrollimise parameetrid, kuna võib juhtuda, et testimise käigus on tööosa pööratav osa kaotanud nõutud nurgast teatud kraadid või kaotab valgusest teatud hulga, mis langeb alla nõutud taseme. Kui peaksid eelnimetatud juhtumid esinema siis teostatakse instrumendi analüüs, mille käigus võetakse instrument lahti ning uuritakse, mis võib olla selle põhjuseks.



Joonis 4.4.1 Projekteeritud testseadme kasutajaliidese poolne vaade



Joonis 4.4.2 Projekteeritud testseadme toiteosa poolne vaade

5 MAJANDUSLIKUD ARVUTUSED

Antud peatükis käsitletakse disainitud testseadme majanduslikud arvutused. Hinna kalkulatsioonis on kajastatud nii ostutoodete, kui valmistatavate detailide hinnad. Arendus ning programmeerimiskulud on arvestatud nii nagu autori hinnates võiks need kulud olla seadme valmistamisel.

Tabel 12 Hinnad

	Koostu nimetus	Selgitus, põhilised detailid	Maksumus €
1	Seadme raamistik	Minitec 45 x 45 profiil, Minitec 30 x 30 profiil, tugiplaat, lisaks nendega kaasnevad lisadetailid.	475
2	Käsirataste pööramise koost	2 Nema 23 mootorit, 2 mootori hoidjat, 2 Lorenzi momendiandurit, 4 Mäedleri jäika sidurit, 2 laagripukki, hammasrihma rattad, laagrid, stopperrõngad, positsiooniandurid	6886
3	Ekraani koost	Ekraani karp, Raspberry Pi 3 koos sellega puutetundlik ekraan, Miniteci ekraani tugi, Miniteci liugur, ekraani karbi töötlemine.	150
4	Elektroonikakarbi koost	Bopla karp, mootori draiverid, toiteblokid, kontrolleriid, ventilaator, sisse-välja lüliti, esi- ja taga paneel töötusega, alamkoostude kinnitusplaadid.	480
5	Sahtel	Sahtli detailid koos Minitec käepidemega, Mäedlerist siinid millega kinnitatakse sahtel.	235
6	Käepideme koost	3-D printitud käepide, Minitec liugurid, alumiiniumist kinnitus detailid, käepideme plaat.	50
7	Muud	Kulud kruvidele jms kinnitusvahenditele, pistikutele, ohutusse kaasnevad tarbed, elektroonikavahenditele komponendid	200
8	Arenduskulud (arvestatud 60 eurot tund)	Töötundideks arvestatud kuu normaalne tundide arv ehk 168 h, hinnanguliselt 3-4 kuud tööd kokku.	30 240
9	Programmeerimine (arvestatud 60 eurot tund)	Töötundideks arvestatud 70 h.	4200
10	Ilma arendus- ja programmeerimiskuludeta	Seadme maksumus tööjõu kulusi arvestamata	8476
		KOKKU seadme kulu tööjõukuludega	41216

Seadme kogu maksumus arvestades sisse tööjõukulud ja programmeerimine on suhteliselt kallis. Kõige suurema kulu moodustab arenduskulu, mis on ka loogiline, sest konstruktori töötasu ning disainime moodustab enamiku arendusprotsessist. Kuna seade jääb ettevõttele igapäevaseks kasutuseks ning müügi eesmärgil pole esmane prototüüp toodetud siis tasuvusaega on keeruline hinnata.

Majandusarvutustest võib järeldada, et testseadmete algusest lõpuni projekteerimine on kulukas ning enne tuleb kindlasti paika panna täpsed nõudmised ja vajadused. Vältimaks kulude suurenemist, tuleb läbi arutada ettevõttega väljapakutud lahendus ning kõik komponendid, mida kasutatakse.

KOKKUVÕTE

Antud lõputöö käigus arendati uus momendimõõtmise seadme prototüüp Gastroenteroloogia endoskoopide testimiseks Karl Storz Video Endoscopy Estonia OÜ-le. Testseadme arenduse aluseks võeti seni kasutusel olev momendimõõtmise seade, millele teostati analüüs.

Lõputöö esimese osas teostati analüüs protseduuride kohta, mida endoskoopidega teostatakse. Kirjeldati, millistest põhilistest osadest endoskoobid koosnevad ning lõputöö valimisse on valitud endoskoobid, mida käsitletakse testseadmes testimiseks.

Järgnevalt teostati analüüs ettevõttes olemasolevate testseadmetele ning uuriti olemasolevat momendimõõtmise testseadet. Esmalt kirjeldati, millised testseadmed on valminud varasemalt lõputööde raames. Seejärel kirjeldati, milline on hetkel olemasolev momendimõõtmise seade. Põhietappideks oli kindlaks teha, mis on olemasoleva testseadme puudused ning analüüsiti, milliseid komponente on võimalik rakendada tulevasel momendimõõtmise seadmel. Testseadmesse sisestati instrument ning teostati esimesed testimised. Testimiste tulemusena saadi esimesed mõõtetulemused. Mootori valimiseks teostati arvutus instrumentide trosside katkemisepiiri kaudu. Momendi anduri valimiseks kasutati varasemalt teadaolevaid mõõtetulemusi ning samuti mootori momenti. Samuti teostati tugevusarvutus võllile, mille kaudu saadi aimu, millised jõud mõjuvad võllile. Seejärel leiti probleemseid kohad masina juures. Analüüsi tulemusena otsustati konstrueerida seade, mis on rohkem automatiseeritud ning instrumendi osad peavad olema masina küljes nii et neid poleks võimalik vigastada. Seejärel kirjeldati firma poolt esitatavad piirangud ja nõuded testseadmele ning määrati tööpõhimõtte testseadmele.

Järgnevas peatükis kirjeldati erinevaid kontseptsioone ning kuidas võiks uus testseade välja näha. Kirjeldati kolme erinevat tehnilist lahendust, kus iga kontseptsioonis arvestati olemasoleva momendimõõtmise seade puuduseid ja arvestati tehtud testseadmetel olevaid komponente ning leiti nii mõnigi komponent, mis sobi testseadme töö jaoks. Seejärel koostati hindamismatriksi, mille käigus hinnati kolme kontseptsiooni vastavalt nimetatud parameetrite põhjal ning leiti parim lahendus, mida hakati konstrueerima.

Seejärel kirjeldati hindamismatriksi abil parima lahenduse leidmist. Testseade jagati alamkoostudeks, mille abil on lihtsam seadet koostada ning kirjeldati erinevad sõlmed detailselt lahti. Valiti sobilik momendiandur ning projekteeriti käsirattaid pöörav koost.

Järgnevalt disainiti instrumendi käepideme lahendus ning lahendati toitelohvi paigutamise probleem sahtli valmistamise näol. Järgnevalt kirjeldati elektroonikakarbi ja ekraani koostu valmistamise protsessi, kus leiti sobilikud karbid mõlema koostu tarvis ning valiti sobivad elektroonikakomponendid testseadme juhtimiseks. Samuti arvatati ka voolutarbimine seadme jaoks, et teada saada, milline peab toiteallikas seadme jaoks olema. Järgmisena disainiti seadmele raamistik, mis sidus terve masina tervikuks. Samuti hoiab raam enda küljes elektroonikakarpi ning sahtlit. Raamistiku ehitamise jaoks valiti standardsed Miniteci alumiinium profiilid.

Viimases peatükis teostati seadmele hinnakalkulatsioon, kus hinnad on väljatoodud koostude kaupa. Hinnad on reaalseste hinnapakkumiste põhjal koostatud. Hinnakalkulatsioon annab ülevaate, mis projekteeritud testseadme ehitamine võib maksma minna. Seadme hind on välja toodud alamkoostude kaupa ning lisatud on ka ligikaudsed tööjõukulud seadme projekteerimisel.

Lõpetuseks on disainitud seadme esmane disain ning esitatud ettevõttele ülevaatamiseks. Momendimõõtmise testseadme esimese prototüübi koostamine toimub antud lõputöö tegemise ajal.

SUMMARY

During this thesis there is developed a new design for the torque testing device for gastroenterological endoscope´s for Karl Storz Video Endoscopy Estonia OÜ. The new developed design based on the existing test devices located in the company.

In the first part of the thesis, an analysis of the procedures performed with the endoscopes was conducted. The main components of endoscopes were described and the endoscopes, which were considered for testing on the test device, were selected as the samples for the thesis.

Existing test equipment and the torque measuring test device were further analysed in the company. First, the test devices completed in the context of previous graduation thesis were described. As a next step, the current torque measuring device was described. The main steps were to identify the shortcomings of the existing test equipment and to analyse which components could be applied to the future torque measuring device. An instrument was inserted into the test device and the first tests were performed. As a result of the testing, the first measurement results were obtained. To select the motor, the calculation was performed via the breaking point of the instrument cables. Previously known measurements as well as motor torque were used to select the torque sensor. A strength calculation was also performed for the shaft, which gave an idea of the forces acting on the shaft. Problem areas were then found at the machine. As a result of the analysis, it was decided to design a device that was more automated and that the parts of the instrument must be attached to the machine so that they could be damaged. The company's restrictions and requirements for the test equipment were then described, and the working principle of the test equipment was determined.

The following section describes the different concepts of what a new test device might look like. Three different concepts were described, each taking into account the shortcomings of the existing torque measuring device and taking into account the components on the test equipment made, and several components were found that were not suitable for the operation of the test equipment. An evaluation matrix was then performed, during which the three concepts were evaluated on the basis of these parameters, respectively, and the best solution was found to be constructed.

Finding the best solution using an evaluation matrix was then described. The test device was divided into subassemblies, which made it easier to assemble the device, and the

different subassemblies were described in detail. A suitable torque sensor was selected and a hand wheel rotating assembly was designed. Next, the solution of the handle of the instrument was designed and the problem of placing the feed tube in the form of making a drawer was solved. The process of completing the electronics box and display assembly was described next, where suitable boxes were found for both assemblies and suitable electronic components were selected to control the test equipment. The power consumption for the device was also calculated to find out what the power supply should be for the device. Then, a framework was designed for the device, which connected the whole machine as a whole. The frame also holds an electronics box and drawer. Standard Minitec aluminium profiles were chosen for the construction of the framework.

In the last chapter, a price calculation was performed for the device, where the prices are presented by assemblies. Prices are based on real price offers. The price calculation provides an overview of what the construction of the designed test equipment may cost. The price of the device is shown both with and without labour costs.

In the end, it can be said, that the first design has been worked out. Author has made main calculations and the design has been submitted to the company for reviewing. Torque testing device first prototype is in construction phase and will be ready after the thesis presentation.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] H. Joonas, Endoskoopide testseade Karl Storz Video Endoscopy Estonia OÜ-le, Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, 2016.
- [2] H. Joonas, Gastroenteroloogiliste endoskoopide testseade Karl Storz Video Endoscopy Estonia OÜ-le, Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, 2018.
- [3] D. H.Jho ja H.-D. Jho, Endoskoopia, 2012. [WWW] (04.01.2020). <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/endoscopes>.
- [4] Üdine Endoskoopia olemus, [WWW] (04.01.2020). <https://www.webmd.com/digestive-disorders/digestive-diseases-endoscopy#2>.
- [5] Karl Storzi instrumentide info, 2020. [WWW] (05.01.2020). <https://www.karlstorz.com/de/en/highlights-gi.htm?countryselect=de>.
- [6] J. W. Marks, Kolonoskoopia protseduur, [WWW] (28.01.2020). <https://www.medicinenet.com/colonoscopy/article.htm>.
- [7] Pilt jämesoolest, [WWW] (24.01.2020). https://www.medicinenet.com/image-collection/intestines_picture/picture.htm.
- [8] Gastroskoopia protseduur, [WWW] (19.01.2020). <https://www.gracehospital.co.nz/Specialties/Endoscopy/Gastroscopy.html>.
- [9] H. C. CN, Gastroskoopia protseduuri üldine info, [WWW] (19.01.2020). <https://services.nhslothian.scot/endoscopyunit/Documents/OGDDiagJun2011.pdf>.
- [10] P. PJ ja Z. EG, Gastroskoopia definitsioon, [WWW] (19.01.2020). <https://www.docdoc.com.sg/info/procedure/gastroscopy/>.
- [11] Gastroentroloogia süsteemid, [WWW] (19.01.2020). https://www.karlstorz.com/cps/rde/xbcr/karlstorz_assets/ASSETS/3331565.pdf.
- [12] Veterinaarendoskoobid, [WWW] (26.01.2020). https://www.karlstorz.com/cps/rde/xbcr/karlstorz_assets/ASSETS/3087660.pdf.
- [13] Kinemaatika skeemi tingmärgid, [WWW] (26.03.2020). https://www.hariduskeskus.ee/opiobjektid/dokumentatsioon/32_kinemaatikaskeemid_tingmrgid.html.

- [14] Klamber toitelohvi kinnitamiseks, [WWW] (29.03.2020). <https://www.xn--triiistamarket-imba.ee/et/torukinnitus-16mm-5tk>.
- [15] Mehaanikainseneri käsiraamat, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli kirjastus, 2012.
- [16] BOPLA elektroonikakarpide valik, [WWW] (20.03.2020). <https://www.bopla.de/en/enclosure-finder.html>.
- [17] NEMA 23 Samm-mootor, [WWW] (20.03.2020). <https://www.omc-stepperonline.com/nema-23-stepper-motor/dual-shaft-nema-23-uni-bipolar-1-8deg-2-83nm-400-oz-in-4a-57x84mm-8-wires.html?mfp=21-shaft-type%5BD-Cut%5D%2C22-shaft-diameter-mm%5B6.35%2C8%5D>.
- [18] Rihma AT5 toote parameetrid, [WWW] (10.02.2020). http://smarthost.maedler.de/datenblaetter/zahnriemenantriebe_EN.pdf.
- [19] Materjalide hindade tabel, [WWW] (01.05.2020). <http://web.mit.edu/course/3/3.11/www/modules/props.pdf>.
- [20] Teras materjali hind, [WWW] (01.05.2020). <https://metallikeskus.ee/toode/umar-16-s235jr/>.
- [21] Alumiinium materjali hind, [WWW] (01.05.2020). <https://metallikeskus.ee/toode/al-umar-16-2/>.
- [22] Positsiooni andurite ülevaade, [WWW] (26.03.2020). <https://www.posital.com/en/products/absolute-encoders/absolute-vs-incremental.php>.
- [23] Positsiooniandur MAE-3, [WWW] (26.03.2020). <https://www.usdigital.com/products/encoders/absolute/magnetic/MAE3>.
- [24] T0-2-1/EA/SVB andmed, [WWW] (26.03.2020). <https://www.elfadistelec.ee/et/master-switch-eaton-t0-ea-svb/p/13511890?q=T0-1-102%2fEA%2fSVB&pos=2&origPos=2&origPageSize=10&track=true>.
- [25] Arduino Mega 2560 andmed, [WWW] (20.03.2020). <https://www.elfadistelec.ee/et/microcontroller-board-mega2560-r3-arduino-a000067/p/11038920?queryFromSuggest=true>.
- [26] Instrumentides kasutavate trosside andmed, [WWW] (25.04.2020). https://engelmann-online.de/wp-content/uploads/2015/09/Engelmann_Broschuere_Feinseile_EN.pdf.
- [27] Momendiandur Burster andmed, [WWW] (15.03.2020). <https://www.burster.com/en/torque-sensors/p/detail/8661>.

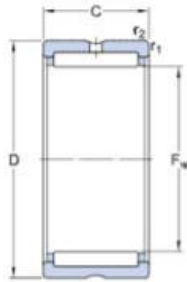
- [28] Momendiandur FUTEK andmed, [WWW] (15.03.2020).
<https://www.futek.com/store/product/FSH01995>.
- [29] Momendiandur Lorenz andmed, [WWW] (15.03.2020). https://www.lorenz-messtechnik.de/english/products/rotating_contactless/dr-3000.php.
- [30] Rihmarattad AT5 andmed, [WWW] (10.02.2020).
<https://www.maedler.de/product/1643/1616/996/zahnriemenraeder-at5-fuer-riemenbreite-10-mm>.
- [31] Mäedler rihm AT5 andmed, [WWW] (10.02.2020).
<https://www.maedler.de/product/1643/1616/963/zahnriemen-profil-at-5-breite-10-mm>.
- [32] Mäedler sidur andmed, [WWW] (10.02.2020).
<https://www.maedler.de/product/1643/1622/1645/geteilte-schalenkupplungen-mat-stahl-ohne-nut>.
- [33] Samm-mootori draiver DM542-T, [WWW] (20.03.2020). <https://www.omc-stepperonline.com/digital-stepper-driver/digital-stepper-driver-10-42a-20-50vdc-for-nema-17-23-24-stepper-motor-dm542t.html>.
- [34] SKF nõellaager NK73/35 andmed, [WWW] (12.02.2020).
<https://www.skf.com/group/products/rolling-bearings/roller-bearings/needle-roller-bearings/needle-roller-bearings-with-machined-rings/productid-NK%2073%2F35>.
- [35] SKF rulllaager RNA 6901 andmed, [WWW] (12.02.2020).
<https://www.skf.com/group/products/rolling-bearings/roller-bearings/needle-roller-bearings/needle-roller-bearings-with-machined-rings/productid-RNA%206901>.
- [36] Raspberry Pi Model andmed, [WWW] (21.03.2020).
<https://www.elfadistrelec.ee/et/raspberry-pi-model-1gb-ram-raspberry-pi-raspberry-pi-3b/p/30109158?queryFromSuggest=true>.
- [37] Raspberry Pi ekraani andmed, [WWW] (21.03.2020).
<https://thepihut.com/collections/raspberry-pi-screens/products/official-raspberry-pi-7-touchscreen-display>.
- [38] Bopla ekraani karbi andmed, [WWW] (23.03.2020).
<https://www.bopla.de/en/enclosure-technology/product/alu-topline/alu-topline-enclosures/atph-1865-0250.html>.

- [39] Minitec liugur, [WWW] (05.02.2020). <https://www.minitec.de/en/products/profile-system/edge-cover-slide-and-sealing-profiles/slide-rails-slide-strips/slide-bar-8-25>.
- [40] Minitec 45R liigend, [WWW] (05.02.2020). <https://www.minitec.de/en/products/profile-system/hinges-joints/joints/link-45-r>.
- [41] 09 0473 80 08 pistiku andmed, [WWW] (01.03.2020). <https://www.elfadistelec.ee/et/panel-mount-plug-680-series-pole-poles-250-vac-vdc-binder-09-0473-80-08/p/14403212?queryFromSuggest=true>.
- [42] Toitebloki RS-15-5 andmed, [WWW] (01.03.2020). <https://www.meanwell-web.com/en-gb/ac-dc-single-output-enclosed-power-supply-output-rs--15--5>.
- [43] Toitebloki VGS-150b andmed, [WWW] (01.03.2020).: <https://www.cui.com/product/resource/vgs-150b.pdf>.
- [44] Minitec 45x45F profiil, [WWW] (05.02.2020). <https://www.minitec.de/en/products/profile-system/profiles/profile-series-45/profile-45-x-45-f>.
- [45] Pleksiklaasi andmed, [WWW] (10.02.2020). <http://proplastik.ee/plexiglas/labipaistev-plexiglas-gs-ja-xt/>.
- [46] Minitec 30x30 profiil, [WWW] (05.02.2020). <https://www.minitec.de/en/products/profile-system/profiles/profile-series-30/profile-30-x-30>.
- [47] BOPLA elektroonika kasti andmed, [WWW] (3.03.2020). <https://www.bopla.de/en/enclosure-technology/product/internorm-stil/internorm-stil-without-ventilation/ins-24360.html>.
- [48] Ultimaker S5 materjali andmed, [WWW] (10.05.2020). <https://support.ultimaker.com/hc/en-us/articles/360012759599-Ultimaker-Tough-PLA-TDS>.

LISAD

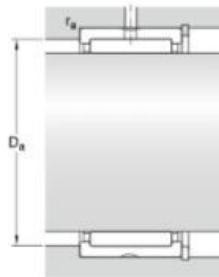
Lisa 1. Laagri tehnilised andmed

Technical specification



DIMENSIONS

F _w	73 mm
D	90 mm
C	35 mm
r _{1,2}	min. 1 mm



ABUTMENT DIMENSIONS

D _a	max. 85 mm
r _a	max. 1 mm

CALCULATION DATA

Basic dynamic load rating	C	73.7 kN
Basic static load rating	C ₀	163 kN
Fatigue load limit	P _u	20.4 kN
Reference speed		5600 r/min
Limiting speed		6300 r/min

MASS

Mass bearing	0.43 kg
--------------	---------

Lisa 2. 3D prinditud detailide materjali andmed

Technical data sheet Tough PLA

Ultimaker

Chemical composition	See Tough PLA safety data sheet, section 3
Description	Ultimaker Tough PLA is a technical PLA filament with toughness comparable to Ultimaker ABS. Ideal for reliably printing technical models at large sizes, our Tough PLA offers the same safe and easy use as regular PLA
Key features	<p>With an impact strength similar and higher stiffness compared to Ultimaker ABS, Tough PLA is less brittle than regular PLA and gives a more matte surface finish quality. Heat resistance is similar to standard PLA filaments, so printed parts should not be exposed to temperatures above 60 °C</p> <p>More reliable than ABS for larger prints, with no delamination or warping. Ultimaker Tough PLA is also compatible with Ultimaker support materials (PVA and Breakaway), giving full geometric freedom when designing parts</p>
Applications	Functional prototyping, tooling, manufacturing aids
Non-suitable for	Food contact and <i>in vivo</i> applications. Long term outdoor usage or applications where the printed part is exposed to temperatures higher than 60 °C

Filament specifications

	Value	Method
Diameter	2.85 ± 0.05 mm	Ultra-fast CCS-based, dual-axis diameter gauge
Max roundness deviation	0.05 mm	Ultra-fast CCS-based, dual-axis diameter gauge
Net filament weight	750 g	-
Filament length	~ 96 m	-

Color information

Color	Color code
Tough PLA Black	RAL 9017
Tough PLA White	RAL 9003
Tough PLA Green	RAL 6038 (est.)
Tough PLA Red	RAL 3018

Mechanical properties*

	Injection molding		3D printing	
	Typical value	Test method	Typical value	Test method
Tensile modulus	-	-	1,820 MPa	ISO 527 (1 mm/min)
Tensile stress at yield	-	-	37 MPa	ISO 527 (50 mm/min)
Tensile stress at break	-	-	37 MPa	ISO 527 (50 mm/min)
Elongation at yield	-	-	3.1%	ISO 527 (50 mm/min)
Elongation at break	-	-	3.1%	ISO 527 (50 mm/min)
Flexural strength	-	-	78 MPa	ISO 178
Flexural modulus	-	-	2,490 MPa	ISO 178
Izod impact strength, notched (at 23 °C)	-	-	9 kJ/m ²	ISO 180
Charpy impact strength (at 23 °C)	-	-	-	
Hardness	-	-	79 (Shore D)	Durometer

Electrical properties*

	Typical value	Test method	Typical value	Test method
Dissipation factor (at 1 MHz)	-	-	0.014	ASTM D150-11
Dielectric constant (at 1 MHz)	-	-	2.62	ASTM D150-11

Thermal properties

	Typical value	Test method
Melt mass-flow rate (MFR)	6 - 7 g/10 min	(210 °C, 2.16 kg)
Heat detection (at 0.455 MPa)	-	-
Heat deflection (at 1.82 MPa)	-	-
Vicat softening temperature	63 °C	ISO 306
Glass transition	62 °C	DSC, 10 °C/min
Coefficient of thermal expansion	-	-
Melting temperature	151 °C	DSC, 10 °C/min
Thermal shrinkage	-	-

Joonis Lisa 2.2 PLA materjali andmed [48]

GRAAFILINE OSA