



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Mehaanika ja tööstustehnika instituut

**ENDOSKOOPIDE TÖÖSADE JÄIKUSE
MÕÕTMISE SEADME EDASIARENDUS NING
AUTOMATISEERIMINE KARL STORZ VIDEO
ENDOSCOPY ESTONIA OÜ-LE**

**FURTHER DEVELOPMENT AND AUTOMATION OF
FLEXIBILITY MEASURING DEVICE FOR ENDOSCOPE
SHAFTS FOR KARL STORZ VIDEO ENDOSCOPY ESTONIA
OÜ**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Talis Tamm

Üliõpilaskood: 201565MATM

Juhendaja: Martinš Sarkans, vanemteadur

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.

"....." 2022

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 2022

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....." 2022 .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Talis Tamm (*autori nimi*)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose
ENDOSKOOPIDE TÖÖSADE JÄIKUSE MÕÖTMISE SEADME EDASIARENDUS NING
AUTOMATISEERIMINE KARL STORZ 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;
 - 1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
 2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
 3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.
-

_____ (kuupäev)

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

TalTech Instituudi nimetus
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Talis Tamm, 201565MATM (nimi, üliõpilaskood)
Õppekava, peeriala: MATM02/18 Tootmistehnika ja robotika (kood ja nimetus)
Juhendaja(d): Vanemteadur, Martinš Sarkans (amet, nimi, telefon)
Konsultant: Igor Monakov, vanemtootmisinsener (nimi, amet)
Karl Storz Video Endoscopy Estonia OÜ (ettevõtte, telefon, e-post)

Lõputöö teema:

*ENDOSKOOPIDE TÖÖOSADE JÄIKUSE MÕÕTMISE SEADME EDASIARENDUS NING
AUTOMATISEERIMINE KARL STORZ VIDEO ENDOSCOPY ESTONIA OÜ-LE
FURTHER DEVELOPMENT AND AUTOMATION OF FLEXIBILITY MEASURING DEVICE FOR
ENDOSCOPE SHAFTS FOR KARL STORZ VIDEO ENDOSCOPY ESTONIA OÜ*

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Testseadme automatiseerimise lahenduse väljatöötamine
2. Väljatöötatud lahendusele vastava CAD mudeli projekteerimine
3. Lõpliku lahenduse koostamine

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Probleemi kirjeldus; lähteülesande püstitus; tehnilise spetsifikatsiooni määratlemine	02.2022
2.	Mehaanikaosa projekteerimine; CAD mudel; tugevusarvutused	03.2022
3.	Testseadme elektroonika; pneumaatika; juhtimine	04.2022
4.	Testseadme lõpliku lahendi projekteerimine	05.2022
5.	Lõputöö vormistamine; kalkulatsioonid	05.2022

Töö keel: eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** ".....".....20.....a

Üliõpilane: Talis Tamm ".....".....20.....a
/allkiri/

Juhendaja: Martinš Sarkans ".....".....20.....a
/allkiri/

Konsultant: Igor Monakov ".....".....20.....a
/allkiri/

Programmijuht: Martin Eerme ".....".....20.....a
/allkiri/

SISUKORD

EESSÕNA	6
1. SISSEJUHATUS	7
2. ENDOSKOABI JA TESTSEADME ANALÜÜS NING LÄHTEÜLESANNE..	8
2.1 Endoskoobi kasutamise analüüs	8
2.1.1 Kolonoskoopia	9
2.1.2 Kokkuvõtte endoskoobi ja protsessi analüüsist.....	10
2.2 Olemasoleva testseadme analüüs.....	10
2.2.1 Testseadme ehitus	10
2.2.2 Testseadme kasutus.....	12
2.2.3 Testseadme probleemid.....	14
2.2.4 Edasiarenduse lähteülesanne ning nõuded	15
3. TESTSEADME EDASIARENDUS NING AUTOMATISEERIMINE	17
3.1 Olemasoleva testseadme edasiarendus	17
3.1.1 Edasiarenduse põhisõlmede analüüs	18
3.1.2 Mõõteseade	18
3.1.3 Pneumaatika	18
3.1.4 Mehaanika.....	21
3.1.5 Automatiseerimise lähteülesanne ja nõuded	25
3.2 Automatiseerimise põhisõlmede analüüs	25
3.2.1 Lineaarliikumine	25
3.2.2 Juhtimine.....	28
3.2.3 Mehaanika.....	33
3.3 Elektroonika karbikoost ja kasutajaliides	40
4. Majanduslikud arvutused	45
KOKKUVÕTE	47
SUMMARY	49
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	51
LISAD	55
Lisa 1 Testitulemuste protokoll blankett	56
Lisa 2 Lesjöfors survevedru andmeleht.....	57
Lisa 3 joonised (graafiline osa)	58

EESSÕNA

Lõputöö teema on välja pakutud ettevõtte Karl Storz Video Endoscopy Estonia OÜ poolt, kus toimus ka testseadme disainimine ja koostamine. Lõputöö teema pakuti välja vanemtootmisinseneri ning ettevõtte arendusosakonna poolt, kes andsid sisendiks algandmed vastavalt olemasoleva seadme parendustegevusteks. Magistritöö on kirjutatud vanemteadur Martinš Sarkansi juhendamisel.

Autor soovib tänada ettevõtet lõputöö teema väljapakkumise eest, kolleege nõustamise ja abi eest ning juhendajat Martinš Sarkansit juhendamise eest.

Käesoleva lõputöö sisuks oli endoskoopide tööosade testseadme arendus. Vajalikkus seadme arenduseks tulenes sellest, et olemasolevat testseadet polnud mugav kasutada ning selle kasutamisel ja mõõtetulemusel mängis väga suurt rolli inimfaktor. Edasiarenduse aluseks oli toodete nomenklatuurist tulenev info ning samuti olemasolev testseade. Järgmiseks toimus edasiarendus ning muudatuste kaardistamine ja vajalike sõlmede analüüs, mille eesmärgiks oli testseadet muuda paindlikumaks erinevate endoskoopide tööosade suhtes, lihtsustada kasutusmugavust ning vähendada inimfaktori rolli testimise protsessil. Seadmele sai valitud erinevad ostudetailid, komponendid, kui ka konstrueeritud detailid. Testseadmel on kasutatud erinevaid mehaanika-, pneumaatika- ja elektroonikakomponente. Lõputöö tulemusena valmis esmane disain automatiseeritud jäikuse mõõtmisega prototüübist.

Märksõnad: Karl Storz Endoskoopia Testseade Magistritöö

1. SISSEJUHATUS

Meditsiinis ja veterinaarias kasutatav endoskoop on instrument, mida kasutatakse inimese või looma siseelundite uurimiseks, koos erinevate spetsiaaltööriistadega ka proovide võtmiseks. Oma olemuselt on endoskoop kaamera, mis on paigaldatud jäiga või painduva toru otsa. Sellest tulenevalt jagatakse need sellise liigituse järgi kahte rühma – jäigad või painduvad endoskoobid.

Antud lõputöös on vaatluse all painduvate gastroenteroloogia ning veterinaarendoskoopide töösad. Selle lõputöö sisuks on olemasoleva töösade jäikuse mõõtmise testseadme edasiarendus ning mõõtmisprotsessi automatiseerimine. Seadme eesmärk on testida tööosa jäikust ning vastavalt sellele registreerida vastavad tulemused ja selle põhjal anda edasi informatsioon, kas konkreetne tööosa on nõuetele vastav ning instrumendi jaoks kasutatav.

Edasiarenduse ning automatiseerimise vajalikkus tuleneb sellest, et olemasoleva testseadme testimisvõimalused on kasinad ning mõõtetulemused ebatäpsed. Samuti ei võimalda hetkel kasutuses olev seade kuvada mõõtetulemusi automaatselt ekraanile ega salvestada neid andmebaasi. Seadmel kasutatakse testimiseks erinevaid gastroenteroloogia endoskoopide töösasid, millest põhilise osa moodustavad gastro- ja kolonoskoobid. Endoskoopidele määratud parameetritest tulenevalt leitakse antud testseadme arenduse käigus sobiv konstruktiivne lahendus. Eelkõige tagab see seadme parema kasutusmugavuse, kuid mis kõige tähtsam, võimaldab saada täpsemad mõõtetulemused. Sellest lähtuvalt on antud lõputöö ülesehitus järgmine:

1. Testitavate endoskoopide ja töösade konstruktsiooni uurimine ning selle kasutamise analüüs. Vajalike mõõtmete ja parameetrite kirjapanek.
2. Olemasoleva testseadme analüüs. Probleemide kirjeldamine ning sellest tulenevalt konkreetsem ülesande püstitus, lähteülesande kirjelduse ning seadmele määratud nõuete kirjapanek.
3. Olemasoleva testseadme edasiarendus uue konstruktsiooni peale. Ülevaade põhisõlmedest.
4. Automatiseeritud edasiarenduse lähteülesanne ning nõuded. Põhisõlmede analüüs, komponentide valimine ning valmis lahenduse konstrueerimine.
5. Hinnakalkulatsioon lõpliku lahendusega seadme maksumuse kohta.

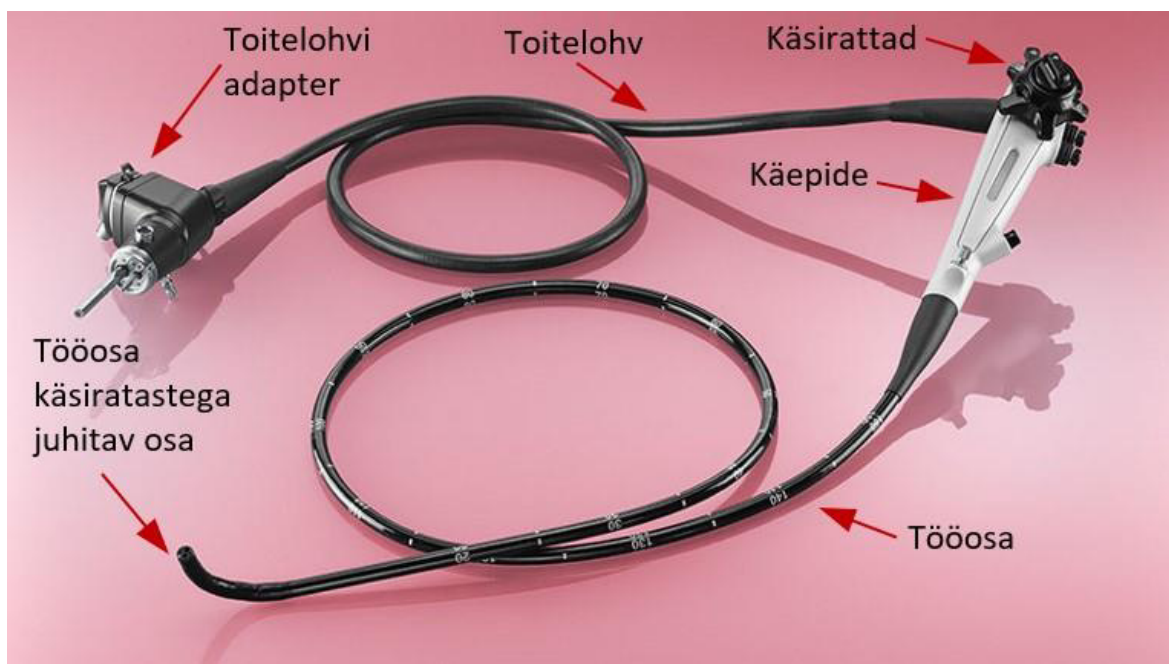
Lõputööga paralleelselt võiks eelduste kohaselt valmida ka testseadme lahendus ettevõttele, mille põhjal oleks võimalik ehitada endoskoopide tööosa jäikuse mõõtmiseks sobilik prototüüp-seade.

2. ENDOSKOABI JA TESTSEADME ANALÜÜS NING LÄHTEÜLESANNE

Selles peatükis kirjeldatakse antud testseadme edasiarendust ning automatiseerimist vastavalt olemasoleva seadme puudustele ning parenduse eesmärgil seatud nõuetele uuele seadmele. Antud peatüki käigus tuleb esiteks analüüsida protseduuri, mille tulemusel saadakse vajalikuks arendus-/parendustegevuseks vastavad sisendid. Seejärel tuleb analüüsida olemasolevat testseadet ning tuua välja selle puudused. Selle peatüki lõpetuseks pakutakse välja üldine kontseptsioon, mis on edasiarendus olemasolevast seadmest.

2.1 Endoskoobi kasutamise analüüs

Antud peatüki eesmärgiks on tutvustada endoskoobi kui instrumenti ning anda ülevaade selle kasutamisest ning tööprotsessidest.



Joonis 2.1.1 Endoskoobi ehitus [1]

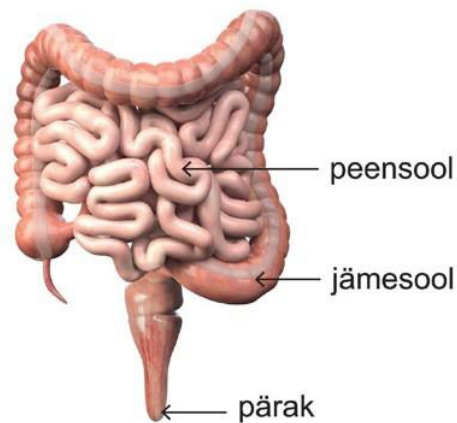
Antud lõputöös kasutatavad painduvad endoskoobid on oma ehituselt ja tööpõhimõttelt sarnased. Instrumendil on käepideme küljes suur ja väike käsiratas, millega siis vastavalt saab tööosa juhitud osa liigutada üles-alla ning paremale-vasakule. Käepidemest ühele poole jääb toitelohv ning toitelohvi adapter, mille kaudu ühendatakse endoskoop protsessoriga, mis omakorda kuvab pilti monitoris. Samuti ühendatakse adapteri kaudu valgusallikas ning õhk/vesi kanalid. Käepidemest teisele

poole jääb painduv tööosa, mis on vastavatel endoskoopidel erineva läbimõõduga, pikkusega ja käsiratastega juhitava osa pöördeulatusega.

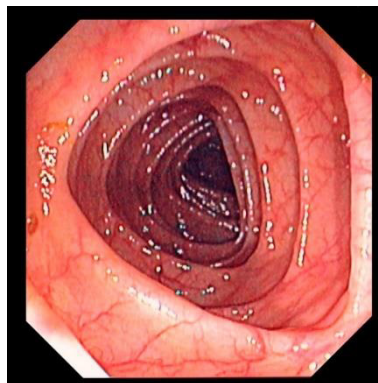
Lisaks gastro-, kolono- ja veterinaarskoopidele soovitakse testida ka ühte eriotstarbelist tööosa. Arvestades inimese anatoomiat ning endoskoopide kasutamise keerukust, siis järgnevalt tooks välja eraldi kolonoskoopia protseduuri, mille puhul pannakse kõige enam proovile instrumendi tööosa jäikus ning painderaadius.

2.1.1 Kolonoskoopia

Kolonoskoopia on protseduur, mille käigus sisenetakse päraku kaudu jämesoolde ning mida mööda liigutakse kuni peensooleni. Selle protseduuri põhiline eesmärk on uurida patsiendi soolestikku seest poolt, et oleks võimalik tuvastada erinevate soolehaiguste koldeid ja vajadusel võtta koeproove või eemaldada polüüpe [2, 3].



Joonis 2.1.2 Soolestik [4]



Joonis 2.1.3 Jämesoole sisemus [5]

Jämesoole keeruline kuju ja ehitus

Kolonoskoopia protseduuri ja instrumendi kasutamise keerukus tuleb hästi välja jämesoole eripärasid uurides (Joonised 2.1.2, 2.1.3). Arvestades selle käänulisust, sisepinna konarlikkust ning asendit inimese kehas, siis on arusaadav, et endoskoobi tööosa peab olema suuteline terve jämesoole pikkuses keerama vahepeal peaaegu 180° kraadi. Lisaks käsiratastega liigutatava tööosa otsale, tekitatakse tööosa liigutamisel edasi-tagasi ka pöörämist ümber tööosa kesktelje. Antud töövõtteid ja instrumendi kasutamist on täpsemalt kirjeldatud ettevõttes eelnevalt kirjutatud lõputöös [6].

2.1.2 Kokkuvõtte endoskoobi ja protsessi analüüsist

Eelnevas punktis sai välja toodud peaaesjalikult kolonoskoopia protseduuri kirjeldus, mis on instrumendi võimekusele ja vastupidavusele kõige suuremaks katsumuseks. See muidugi ei vähenda gastroskoopide ja veterinaarskoopide olulisust testimisele. Seoses sellega, et protseduuri käigus tehtavateks põhiliigutusteks on tööosa otsa liigutamine käsirataste abil ning tööosa enda pööramine ümber oma kesktelje, siis antud lõputöö keskendub rohkem tööosale mitte selle liigutatavale otsale. Sellest tulenevalt tuuakse järgmisena välja tabel (Tabel 2.1.1) testitavate tööosade vajaminevate parameetritega.

Tabel 2.1.1 Tööosade parameetrid

Instrumendi tüüp	Tööosa pikkus	Tööosa läbimõõt
Kolonoskoop [7]	1400 – 1600 mm	12,9 mm
Gastroskoop [7]	1100 mm	5,9 – 9,3 mm
Veterinaarskoop [8]	1100 - 1400 mm	5,9 – 7,9 mm
*Eriotstarbeline	1070 mm	10,3 mm

*Seeriatootmise tööosa, mida testitakse ainult tööosana, mitte terve instrumendina.

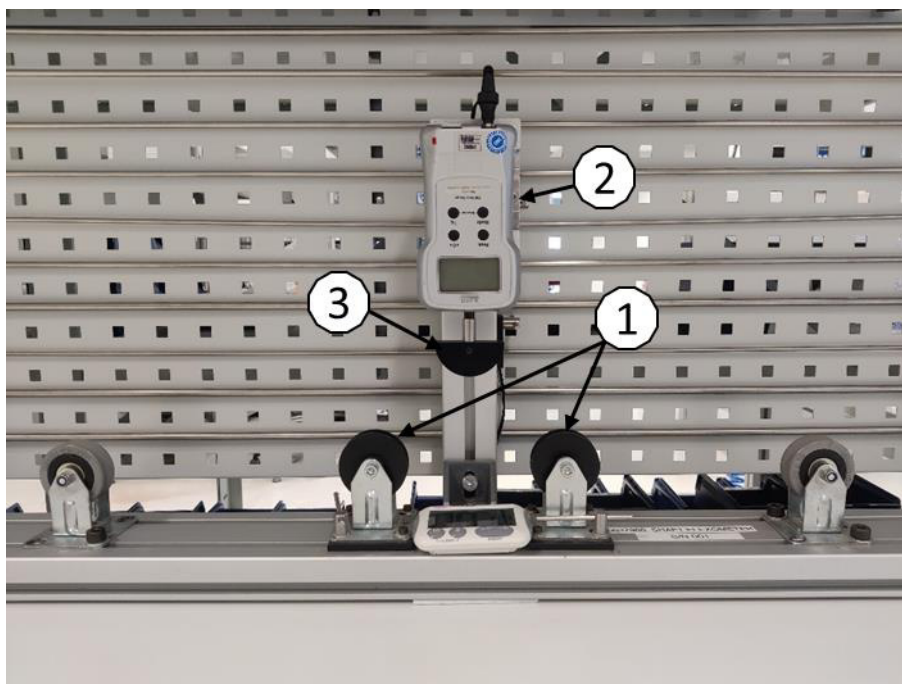
2.2 Olemasoleva testseadme analüüs

Hetkel olemasoleva testseadme analüüsi eesmärgiks on välja tuua selle seadme otstarve, kuidas seda seadet kasutatakse ning samuti kitsaskohad mis töid ka esile edasiarenduse vajalikkuse.

2.2.1 Testseadme ehitus

Varasemalt oli mainitud, et antud töös keskendutakse rohkem endoskoobi tööosale. Sellest tulenevalt vaadeldakse nüüd olemasolevat testseadet, millega hetkel ettevõttes teostatakse tööosa jäikuse mõõtmist. Näidatud joonisel 2.2.1.

Jäikuse mõõtmise seadme põhikomponentideks on 2 tugirullikut, dünamomeeter ning otsik, millega rakendatakse dünamomeeter vastu testkeha. Ülejäänud konstruktsioonikomponendid ei ole antud juhul nii olulised, et neid eraldi välja tuua.



Joonis 2.2.1 Olemasolev testseade (1 – tugirullikud, 2 – dünamomeeter, 3 - otsik)

Tugirullikud (joonisel 2.2.1 positsioon 1) on läbimõõduga 50 mm ja paiknevad teineteisest 140 mm kaugusel ning asuvad sümmeetriliselt dünamomeetri otsiku kesktelje suhtes. Tugirullikud on valmistatud PTFE-st (Polütetrafluoreteen), mis on tuntud madala hõõrde teguri poolest [9, 10]. See on vajalik selleks, et vähendada testimisel tekkivaid hõõrdejõudusid, mis tekivad tööosa ning rullikute vahel. Tugirullikud on väljatoodud joonisel 2.2.2.

Dünamomeetriks (joonisel 2.2.1 positsioon 2) antud testseadmepuhul on Alluris FMI-100B5 [11]. Konkreetse mudeli puhul on mõõtevahemikuks 0-50 N, mõõtesammuga 0,01 N ja täpsusega 0,2 %. Sellel mõõteseadmel saab ekraani peal kuvada mõõtetulemust ka tagurpidi asendis, mis antud juhul selle testseadme puhul on ka vajalik, kuna dünamomeeter on kinnitatud niipidi, et mõõteotsik on suunaga allapoole. Dünamomeeter välja toodud joonisel 2.2.3.



Joonis 2.2.2 Tugirullikud



Joonis 2.2.3 Dünamomeeter

Otsik (joonisel 2.2.1 positsioon 3) on raadiusega 25 mm ning on kinnitatud dünamomeetri külge. Antud komponendi puhul ei ole materjal nii oluline, kuna seal ei teki liikumist mööda tööosa, vaid tööosa paindub ümber otsiku.



Joonis 2.2.4 Otsik

2.2.2 Testseadme kasutus

Selles punktis tuuakse välja testseadme kasutamine ning jäikuse mõõtmise protsess. Antud kirjelduse juures kasutatakse testimisel varasemalt välja toodud eriotstarbelist tööosa, mille puhul testitakse antud testseadme peal ainult tööosa.

Esimesena lülitatakse sisse dünamomeeter ning kontrollitakse, et see kuvaks väärtust „0.00“ N ehk mõõtmise alguses oleks dünamomeetri näit nullitud nagu on näidatud joonisel 2.2.5. Seejärel sätitakse paika kõrguse piiraja, mis on näidatud joonisel 2.2.6. Kõrguse reguleerimine tuleneb sellest, et erinevate tööosa läbimõõtude juures on

testimise otsik normaalasendist erineval kaugusel, aga samas peab olema tagatud, et tööosa surutakse testi käigus 10 mm normaalasendist alla poole.

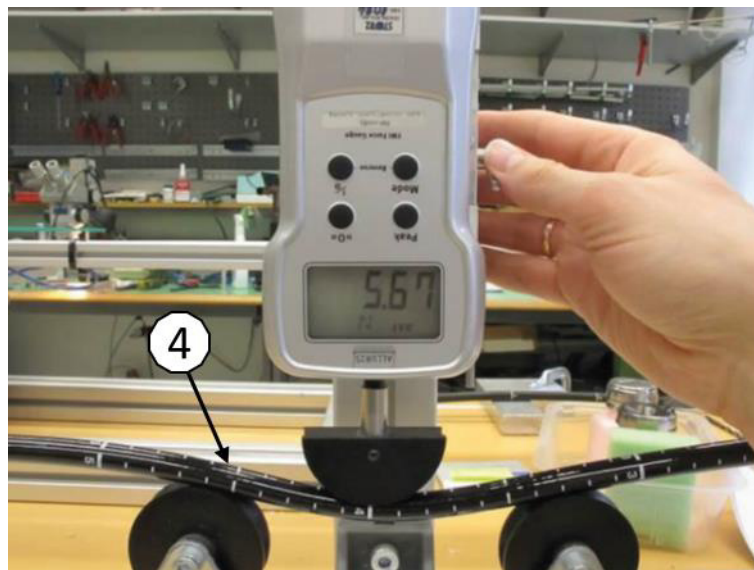


Joonis 2.2.5 Dünamomeeter „0“



Joonis 2.2.6 Piiraja

Järgmiseks paigutatakse tööosa rullikute peale ning vastav testimispiirkond jäetakse dünamomeetri otsiku suhtes keskele. Antud tööosa puhul on esimeseks testimispiirkonnaks markeering „4“, mis on näidatud joonisel 2.2.7. Testimist alustatakse sellega, et ühe käega lükatakse dünamomeeter piirajani ning hoitakse seda all asendis ja samaaegselt teise käega käivitatakse taimer, mis on seatud 10 sekundi peale. Kõigepealt fikseeritakse kohene dünamomeetri maksimaalne väärtus, mis kirjutatakse käsitsi paberprotokolli tabelisse ning pärast 10 sekundit fikseeritakse uuesti dünamomeetri näit, lastakse dünamomeeter ülesse asendisse ning kirjutatakse saadud väärtus samuti protokollis tabelisse. Seejärel korratakse sama tegevust markeeringute „6“ ja „8“ juures.



Joonis 2.2.7 Testimine koos tööosaga (positsioon 4)

Pärast testitulemuste kirjapanemist kannab osakonna meister need tulemused arvutisse, kus arvutatakse saadud tulemuste põhjal keskmine reaktsiooni jõud, kasutades valemit [12]:

$$\bar{x} = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{N}, \quad (2.1)$$

kus \bar{x} – aritmeetiline keskmine,
 N – valimite arv,
 a – valimi väärtus, N .

Töökäsk nr.:	N/A		Partii:	N/A		KJ-4710519_3_PROTOKOLL 5,21 ... 6,33 (N)		
Kuupäev:	N/A		Töötaja:	N/A				
MARKEERING:	4		6		8			
Jrk. nr.	Maks jõud (N)	10 sekundit (N)	Maks jõud (N)	10 sekundit (N)	Maks jõud (N)	10 sekundit (N)	Keskmine 10 s	OTSUS
1	N/A	5,58	N/A	6,15	N/A	5,75	5,83	OK
2	N/A	5,66	N/A	5,28	N/A	6,15	5,70	OK
3	N/A	5,35	N/A	5,81	N/A	5,64	5,60	OK
4	N/A	5,37	N/A	5,78	N/A	5,61	5,59	OK
5	N/A	5,58	N/A	6,10	N/A	5,89	5,86	OK
6	N/A	5,82	N/A	6,12	N/A	5,98	5,97	OK
7	N/A	5,45	N/A	6,00	N/A	5,58	5,68	OK
8	N/A	5,55	N/A	6,11	N/A	5,50	5,72	OK
9	N/A	5,61	N/A	6,10	N/A	5,31	5,67	OK
10	N/A	5,59	N/A	6,05	N/A	5,66	5,77	OK
11 (näide)	N/A	5,10	N/A	5,20	N/A	5,30	5,20	PRAAK

Tabel 2.2.1 10 tööosa testitulemused

Selle tööosa puhul on keskmise lubatud väärtuse vahemikuks antud 5,21 N kuni 6,33 N. Selleks on toodud välja tabel (Tabel 2.2.1) näitena, kuidas testitulemusi märgitakse. Kui väärtused jäävad vastavasse vahemikku, siis on tööosa kiidetud heaks ning lahtrisse OTSUS ilmub sellekohane tekst. Juhul, kui keskmine väärtus ei jää antud vahemikku (tabel 2.2.1 positsioon jrk. nr. 11), siis on tööosa kuulutatud praagiks ning vastavasse lahtrisse kuvatakse informatsioon otsusest.

2.2.3 Testseadme probleemid

Järgnevalt tuuakse välja probleemid mis esinevad praegu olemasoleva testseadmega ning mis olid ka peamised põhjused edasiarenduse vajalikkuse jaoks.

Esimese asjana saab välja tuua selle, et antud testseadme kasutamisel jääb silma asjaolu, et testi sooritamise ajal, kui otsik on surunud tööosa mõõtepunktis 10 mm võrra alla poole, siis see kergitab tööosa pärast tugirullikuid ülesse. Antud olukord nähtav ka

joonisel 2.2.7. Sellisel juhul hakkab tööosa enda raskusjõud mõjutama vastavat tulemust, kuna gravitatsiooni mõjul tahavad tugirullikutest kaugemal ja üles kergitatud pooled normaalasendisse tagasi vajuda.

Teiseks saab välja tuua selle, et antud seadmega ei ole võimalik mõõta jäikust terve tööosa ulatuses. Tööosa arenduse käigus on tihtipeale vaja kontrollida ja jälgida selle jäikust ka rohkem distaalses, kui ainult keskelt. Olemasoleva seadme puhul ei ole see võimalik, kuna vastavalt tööosa paigutades kaob ära toetuspind mittetestitava osal ning sellisel juhul võivad mõõtetulemused olla veel ebamäärasemad.

Kolmandaks tuuakse välja töötajast tuleneva inimfaktori roll. Nagu varem kirjeldatud, siis töötaja käivitab taimer käitsi ning dünamomeetri mõõteväärtuste fikseerimine toimub inimsilmaga vastavalt kohe testimise alguses ning 10 sekundi möödumisel. Sellisel viisil tabada täpselt õigel hetkel väärtust on ilmselgelt keeruline, sest siin tuleb mängu ka inimese reaktsioonikiirus, mis võib vastavalt töötajale väga suures ulatuses erineda. Samuti võib väärtuse kirja panemisel puht inimliku eksimusena minna kirjaveana vale väärtus, mis võib omakorda korraliku tööosa märkida praagiks.

2.2.4 Edasiarenduse lähteülesanne ning nõuded

Probleemidest tulenevalt tuleks leida nendele ka vastavad lahendused. Seoses lahenduste välja mõtlemisega, tuleks panna paika ka nõuded ning kriteeriumid, mis peaksid olema täidetud ning mille järgi edasiarenduse loomisel juhinduda. Järgnevalt on välja toodud eraldi punktidenäe eelnevalt seletatud probleemid:

1. Tööosa jäikust mõõdetakse vertikaalasendis, mille puhul raskusjõud mõjutab mõõtetulemust.
2. Antud testseadme puhul ei ole võimalik teha mõõtmisi terve tööosa ulatuses. Tööosa distaalses ei saa testimist läbi viia, kuna alusrullikud sellises olukorras ei ole võimalised toetama tööosa.
3. Antud mõõtetgevuse juures on väga suur roll inimfaktoril. Alustades sellest, et käsitsi käivitatakse taimer, fikseeritakse kohene dünamomeetri näit, siis fikseeritakse näit pärast 10 sekundit, kirjutatakse need käsitsi paberprotokollile.

Kui probleemid on paika pandud, siis saab hakata neile võimalikke lahendusi leidma. Järgmisena on välja toodud võimalikud lahenduste variandid:

1. Konstrueerida seade nii, et tööosa mõõtmine toimuks horisontaalselt ning tööosa oleks stabiilselt aluspinnal peal.

2. Luua konkreetne aluspind, mille peale saab toetada tööosa ning mis võimaldaks teha testimisi terve tööosa ulatuses.
3. Leida lahendus süsteemile, mis kuvab dünamomeetri näitu ning samaaegselt suudab ise käivitada taimeri ja pärast 10 sekundit fikseerida taas jõumõõturi näidu.

Täiendavalt on ettevõtte poolt seatud testseadme arendusele lisaks veel nõudmisi, mis peaksid olema tagatud:

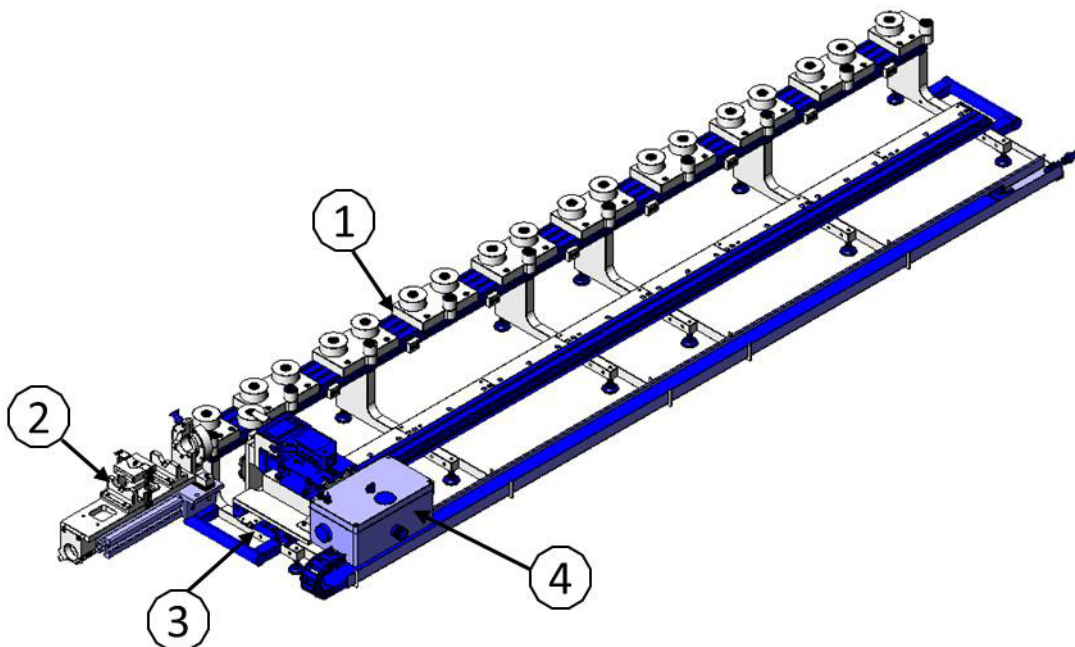
- Konstruksioonist ja testimisprotsessist tulenevad:
 - Võimalikult palju kasutada ostutooteid, valmis lahendusi
 - Seade peab olema liigutatav ning võimalikult kompaktne
 - Seadme kasutamine peaks olema võimalikult lihtne
 - Peab olema võimalus testida lisaks tööosadele ka komplektset instrumenti
 - Seadme käivitamine ning kasutamine peab olema ohutu

3. TESTSEADME EDASIARENDUS NING AUTOMATISEERIMINE

Ettevõtte siseselt on varasemalt loodud esialgse testseadme edasiarendusena vahepealne kontseptsioon eelnevalt kirjeldatud probleemide lahendusena. Antud edasiarendus sai loodud puhtalt uuele platvormile ning ei modifitseeritud vana seadet vastavaks. Selle peatüki lõpuks pakutakse välja automatiseeritud testseadme prototüübi kontseptsioon.

3.1 Olemasoleva testseadme edasiarendus

Edasiarendusena valminud testseade ei ole pealtnäha kuigi sarnane varasemaga. Eelnevalt välja toodud põhikomponendid (tugirullikud, dünamomeeter, otsik) on täielikult muutunud. See on ka arusaadav, sest üks probleemidest millele tuli lahendus leida oli see, et vertikaalse testimise asemel teostatakse testimist nüüd horontaalsuunaliselt ning sellest tingituna on seade oma ehituselt erinev. Joonisel 3.1 on üldpilt seadmest kontseptsioonist.



Joonis 3.1 Edasiarendusena loodud testseadme kontseptsioon (1 – põhiraamistik ja rullikute komplekt, 2 – instrumendi kinnitussüsteem, 3 – lineaarjuhikusüsteem, 4 - pneumaatikasüsteem)

Üldpildis on näha, et testseade koosneb erinevatest sõlmedest, mida on võimalik eraldi vaatluse alla võtta. Nendeks on: põhiraamistik koos rullikute komplektiga, instrumendi käepideme ja toiteadapteri kinnitussüsteem, lineaarjuhikusüsteem, pneumaatikasüsteem. Järgnevalt pööratakse rohkem tähelepanu põhisõlmedele, mille puhul nõudis ülesanne rohkem analüüsimist ning põhjendatud valikut komponentidele.

3.1.1 Edasiarenduse põhisõlmede analüüs

Selles punktis tuuakse välja põhisõlmede nagu mõõteseade, pneumaatika ning mehaanika analüüs. Seoses sellega, et antud konstruktsiooni väljamõtlemise eest vastutava inimesega puudus kontakt ning konkreetsete sõlmede kohta info oli puudulik, siis tuli teostada nii öelda *reverse engineering* [13]. Mitte küll niivõrd seadme lahti võtmise poole pealt, kui siis pigem kontrollides, kas valitud komponendid on sobilikud.

3.1.2 Mõõteseade

Uue testseadme puhul otsustati esialgu kasutada sama dünamomeetrit, mis oli eelmisel testseadmel. Kuna seda mudelit enam ei toodeta ning pole ka tootjapoolset tuge, siis võeti sarnaste parameetritega dünamomeeter tootja kataloogist.

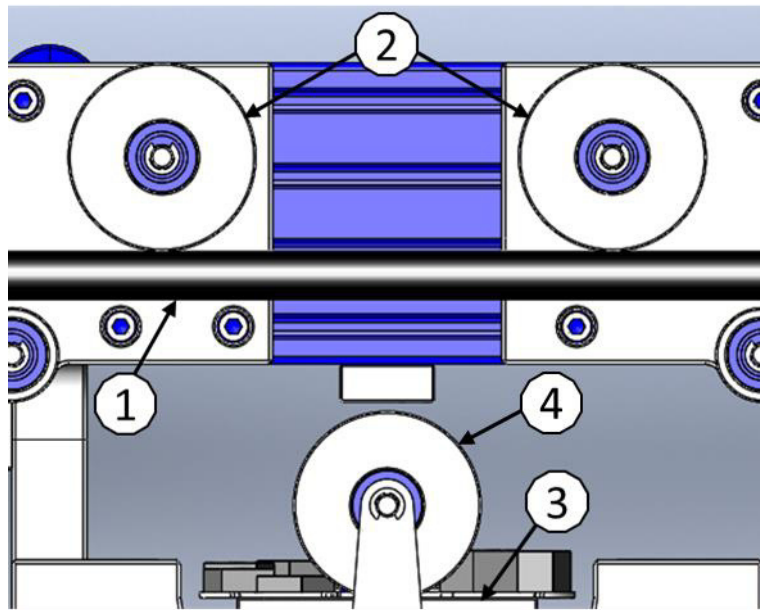
	Alluris FMI-100B5 [11]	Alluris B50B5 [14]
Mõõtevahemik	0 N kuni 50 N	0 N kuni 50 N
Mõõtesamm	0,01 N	0,01 N
Täpsus	0,2 %	0,15 %
Lisainfo	Vana mudel, tootjapoolne tarne puudub	Võimalus mõõtetulemus edastada arvutisse

Tabel 3.1.1 Mõõteseadmete võrdlus

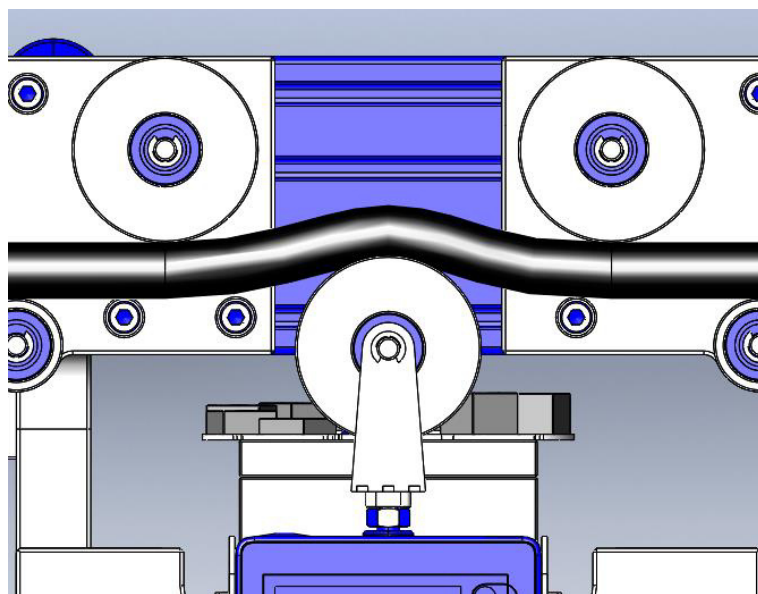
Väljavaliitud dünamomeeter on oma parameetrite poolest sobilik ning kasutatav vastavate tööosade jäikuse mõõtmiseks.

3.1.3 Pneumaatika

Selleks, et rakendada mõõteseadet ning mõõta jäikust tööosal, lahendati see olukord pneumaatiliselt. Nimelt on selleks valitud pneumosilinder, mis liigutab dünamomeetri otsiku vastu tööosa. Süsteem on ülesehitatud nii, et esialgu on pneumosilinder algasendis (joonis 3.1.1) ning kahe surunupu samaaegsel vajutamisel liigub silinder välja tööasendisse (joonis 3.1.2) kuni mehaanilise piirajani, mille kaugus sõltub testitava tööosa läbimõõdust. Vastavalt piirajale lükatakse dünamomeetri otsikuga tööosa 10 mm võrra paindesse. Selle tegevuse ajaliseks kestvuseks on 10 sekundit, mida arvestab pneumaatiline taimer. Pärast seda liigub silinder algasendisse.

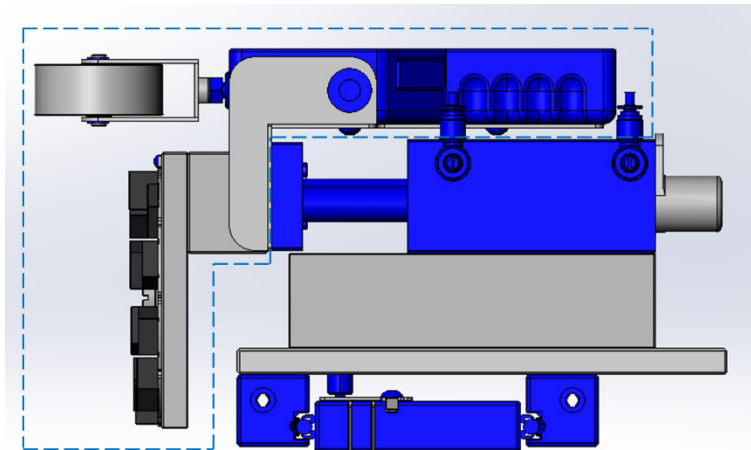


Joonis 3.1.1 Algasend (1 – tööosa, 2 – tugirullikud, 3 – silinder, 4 - otsik)



Joonis 3.1.2 Silinder tööasendis – tööosa painutatud


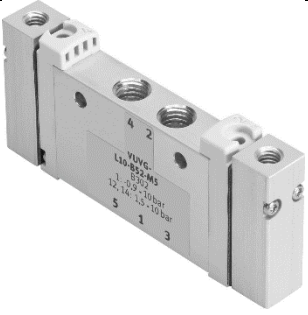

Kasutusele võetud Festo pneumosilindri DFM-25-50-P-A-KF [15] käigu pikkuseks on 50 mm, teoreetiline jõud väljaliikumisel 0,6 MPa juures on 295 N ning maksimum kiirus 0,8 m/s. Kasutades tarkvara *Solidworks* võimekust, leiti selle osa massiks, mida antud silinder peab liigutama, ligikaudu 1 kg. Joonisel 3.1.3 on see osa eraldatud sinise katkendjoonega.



Joonis 3.1.3 Silindri otsale rakendatud osa

Kasutuses olevad pneumaatikasüsteemi põhikomponendid on välja toodud tabelis 3.1.2.

Tabel 3.1.2 Pneumatika põhikomponendid

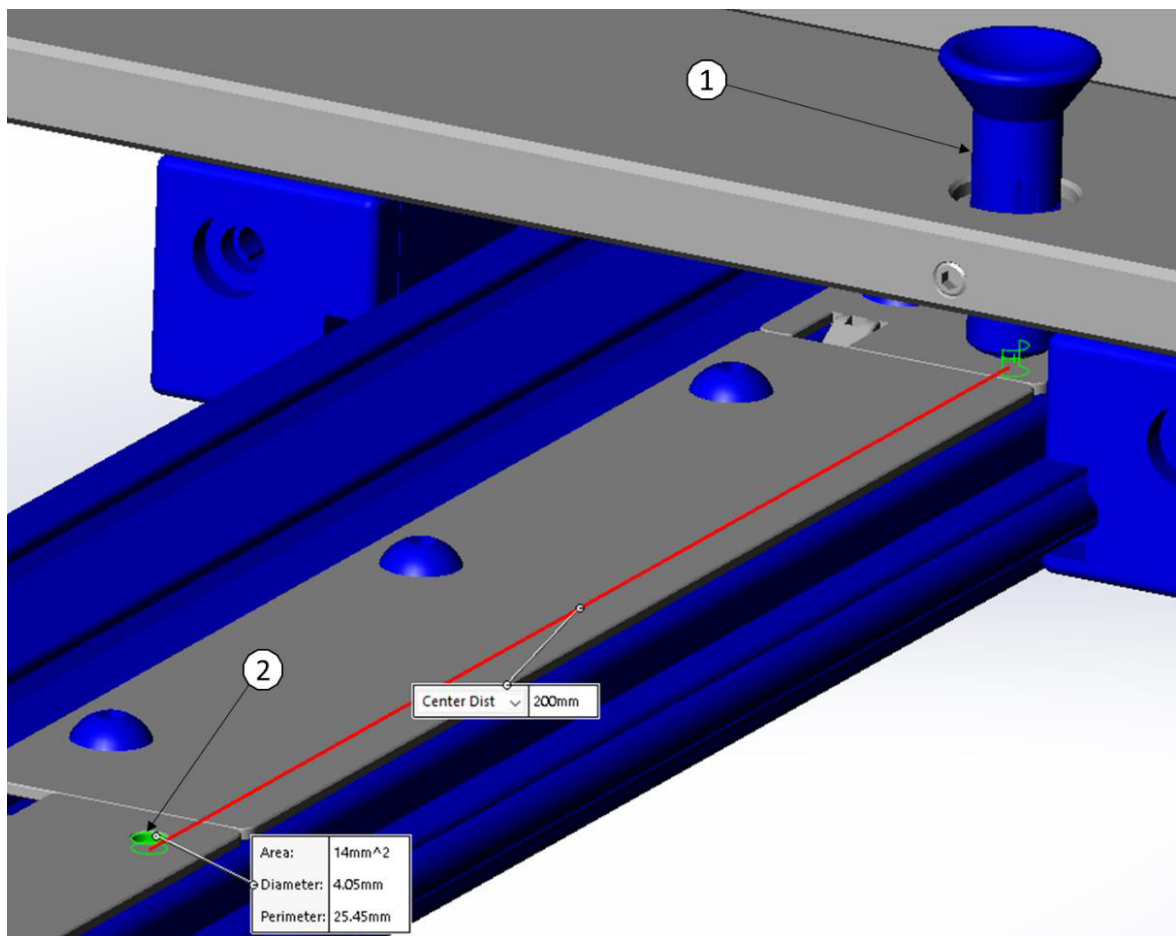
Jrk. nr.	Nimetus	Nimi	Pilt
1	Pneumosilinder [15]	FESTO DFM-25-50-P-A- KF	
2	Suunaventiil [16]	FESTO VUWG-L10-B52- M5	
3	Pneumotaimer [17]	FESTO PZVT-3-SEC	

Arvestades silindri võimekust, siis tuleks antud süsteemis kasutada minimaalselt rõhku, mis sobiks kõikide komponentide töötamiseks. Kõige kõrgema minimaalse väärtusega on pneumotaimer, mis töötab alates 0,2 MPa.

3.1.4 Mehaanika

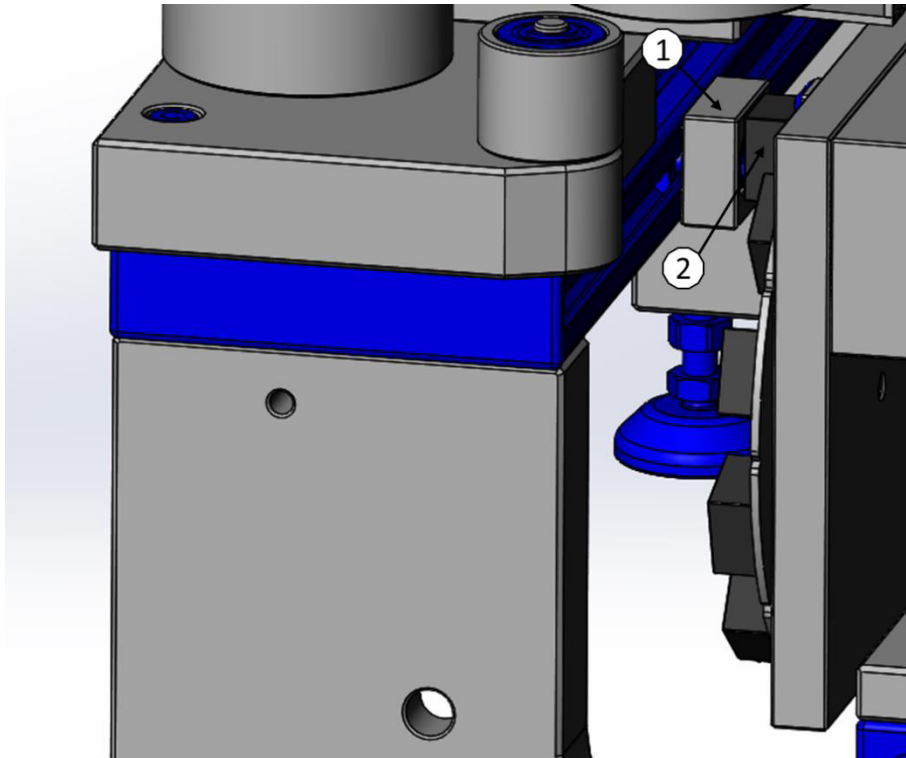
Mehaanika osast saab välja tuua põhiliste sõlmedena lineaarjuhikusüsteemi, mehaanilise piiraja süsteemi, tugirullikute koostu ning instrumendi kinnitamisüsteemi.

Lineaarjuhikusüsteem on kasutusele võetud sellepärast, et horistonaalsuunaliselt oleks võimalik stabiilselt liikuda paralleelselt tööosaga. Selle edasiarenduse puhul pandi paika mõõtmise positsioonid iga 200 mm tagant, mille puhul fikseeritakse juhiku kelgu asend lukustustihvtiga vastavasse avasse. Nähtav joonisel 3.1.4.

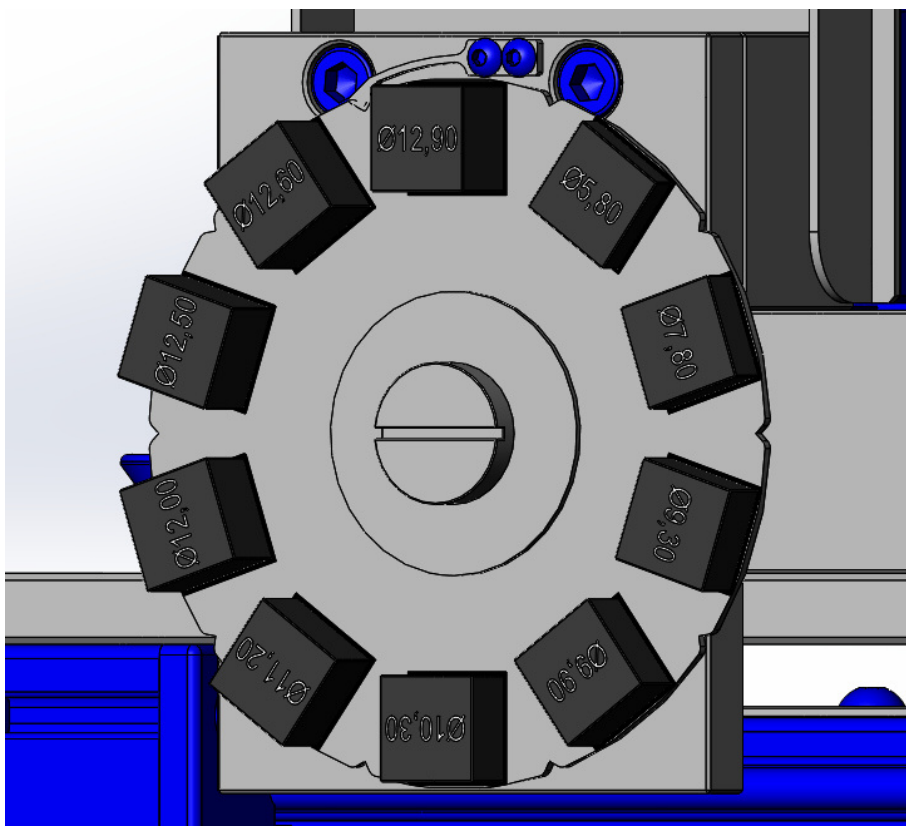


Joonis 3.1.4 Positsiooni fikseerimine (1 – lukustustihvt, 2 – positsiooni fikseerimisava)

Mehaanilise piiraja süsteemi vajadus tulenes sellest, et vastavalt tööosa läbimõõdule peab dünamomeetri otsik ikkagi testi tegemisel painutama tööosa algasendist 10 mm võrra eemale. Kuna antud seadme puhul kasutuses olev pneumaatikasüsteem töötab nii, et silinder on kas koduasendis või siis surutud piirajani, siis antud piirajasüsteem aitab tagada selle, et erinevate läbimõõtude juures oleks tagatud nõutud 10 mm. Joonisel 3.1.5 on näha, kuidas piiraja muudetav klots on surutud vastu statsionaarset piirajat, mis on vastas oleva profiili küljes. Joonisel 3.1.6 on välja toodud erinevate kõrgustega klotsidega piirajasüsteem.



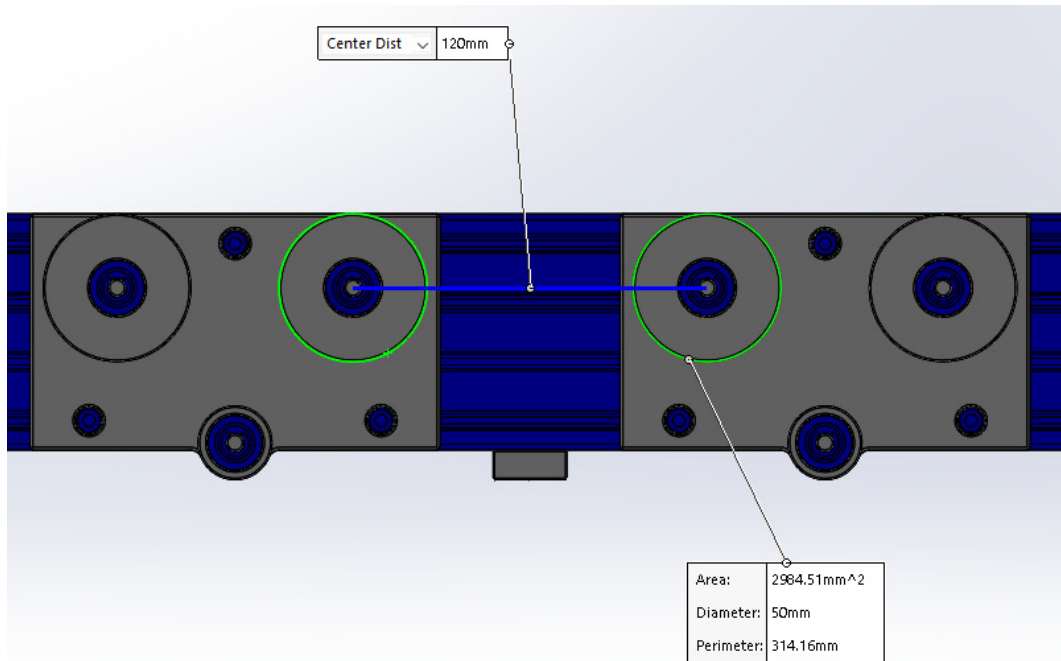
Joonis 3.1.5 Piirajad (1 – statsionaarne, 2 – muudetav klots)



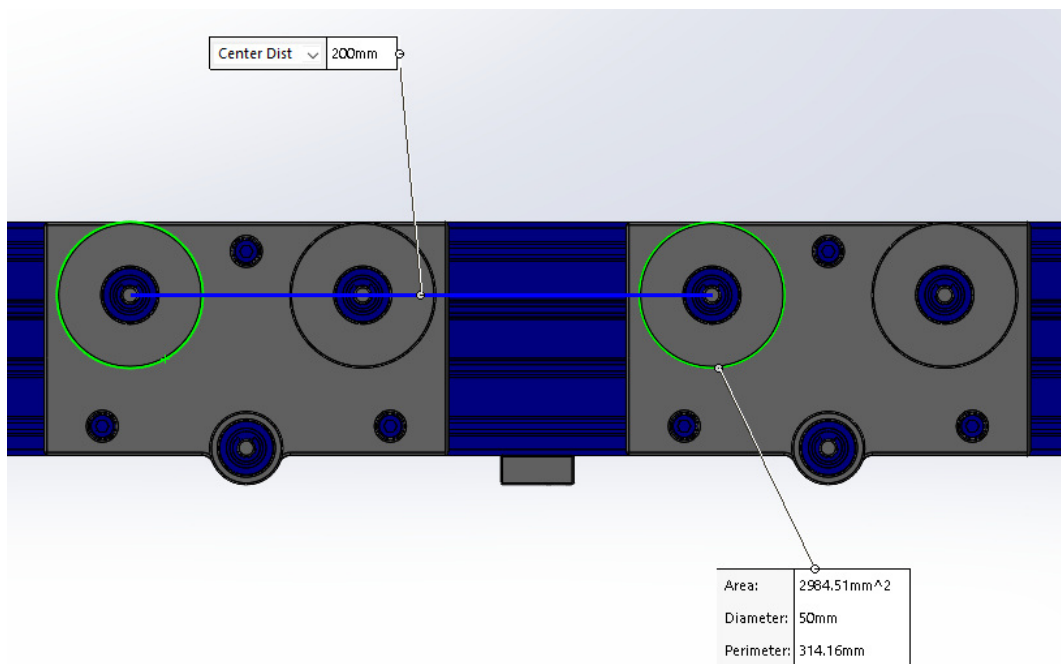
Joonis 3.1.6 Erinevate kõrgustega klotsidega piirajasüsteem

Tugirullikute koostu puhul on kasutatud põhimaterjalina PTFE-d, mis oli antud töös varasemalt ka kirjeldatud, on tänu oma madalale hõõrdetegurile sobilik materjal, mis

viiks tekkivad hõõrdejõud võimalikult väikseks, et need ei mõjutaks mõõtetulemusi. Lisaks sellele on rullikute läbimõõt jäänud samaks, mis eelneval seadmel ehk 50 mm. Veel on paika pandud rullikute omavahelised kaugused, mis tulenevad üldisest testimisprotsessist, kus mõõtmise hetkel toetavate tugirullikute omavaheline kaugus on muudetav 120 mm ja 140 mm vahel (Joonis 3.1.7) ning kõrvuti paiknevate komplektide vahe on mõõtesammuga võrdne ehk 200 mm (Joonis 3.1.8).

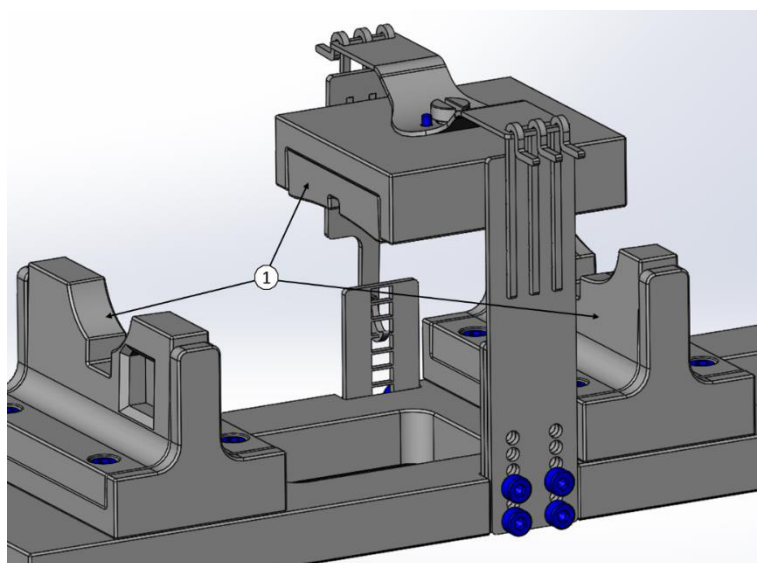


Joonis 3.1.7 Tugirullikute vahe 120 mm

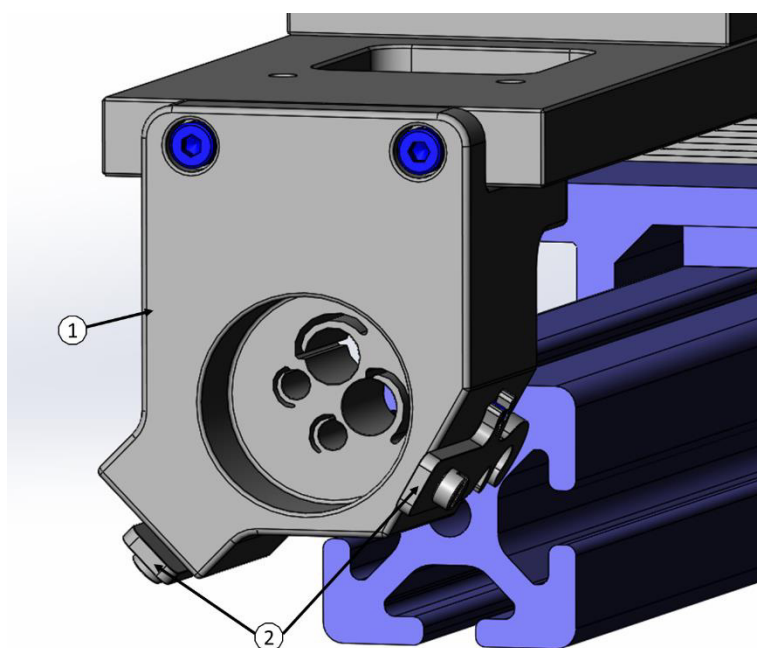


Joonis 3.1.8 Mõõtmisesamm 200 mm

Instrumendi kinnitamise süsteemi puhul loodi konstruktsioon, mis võimaldaks kinnitada instrumentide erinevaid käepidemeid ning toitelahvi adapteri. Üks oluline nüanss selle juures oli see, et käepideme ja adapteri kinnitused ei tohi kriimustada nende pindasid. Käepideme kinnituse puhul sai kasutatud *Polyjet* tehnoloogial [18] põhinevat 3D-printimist, millega loodi vormid, et omakorda teostada polüuretaanvaiguga [19] valamist vastavatele detailidele, mis hoiavad käepidet paigal. Vastava meetodiga valmistatud detailid joonisel 3.1.9 (positsioon 1). Toiteadapteri puhul kasutati samuti 3D-printimist, aga FFF (*Fused Filament Fabrication*) [20] tehnoloogial põhinevat meetodit ning materjali *Tough PLA* [21]. Vastavad detailid näidatud joonisel 3.1.10.



Joonis 3.1.9 Polüuretaanvaigust detailid (1)



Joonis 3.1.10 3D-prinditud detailid (1 – adapteri hoidik, 2 – kinnituskonksud)

3.1.5 Automatiseerimise lähteülesanne ja nõuded

Testseadme edasiarenduse näol saadi võrreldes eelnevalt ettevõttes tehtuga tunduvalt konkreetsem ja võimekam testseade, mille kasutus annab palju juurde nii mõõtmise täpsusele kui ka kasutusmugavusele. Sellegipoolest ei ole antud edasiarendus veel lõplik ning siit saab edasi minna veel mõõtmise automatiseerimisega. Ettevõtte poolt sai selleks antud sisend vastavalt sellele koostatud lähteülesanne, mis vastaks nende poolt nõutule.

Automatiseerimise ülesande põhilised punktid:

1. Motoriseerida lineaarliugur asendi fikseerimisega enkoodriga või samm-mootoriga.
2. Lahendus tööalusele, mis võimaldaks teha mõõtmisi kogu tööosa pikkuses.
3. Tööosa peab olema mõõtmise hetkel külgsuunas fikseeritud, et vältida tööosa maha kukkumist.
4. Automatiseeritud protsessi tulemused kanda arvutisse

Nendest punktidest lähtuvalt olid paika pandud ka teatud täpsustavad nõuded:

1. Võimalikult palju kasutada ära olemasolevaid detaile eelmisest testseadmest.
2. Masin peab olema seadistatud nii tootmise jaoks (automaatrežiimis), kui ka arenduse jaoks (manuaalrežiim).

3.2 Automatiseerimise põhisõlmede analüüs

Vastavalt püstitatud ülesandele sai järgmiseks analüüsitud automatiseerimise jaoks vajaminevaid põhisõlmi. Nendeks kujunesid motoriseeritud lineaarjuhikusüsteem, lineaarajami ja pneumaatika juhtimine ning muud mehaanikasõlmed.

3.2.1 Lineaarliikumine

Edasiarenduse käigus valminud testseadmel on küll olemas lineaarjuhikusüsteem, aga autor koos kogenenuma tootmisinseneriga jõudis järeldusele, et automatiseerimise korral nõuaks antud tegevus väga palju ümberehitust lineaarjuhiku osas ning soovituslik oleks siiski leida komplektne terviklahendus selle ülesande jaoks.

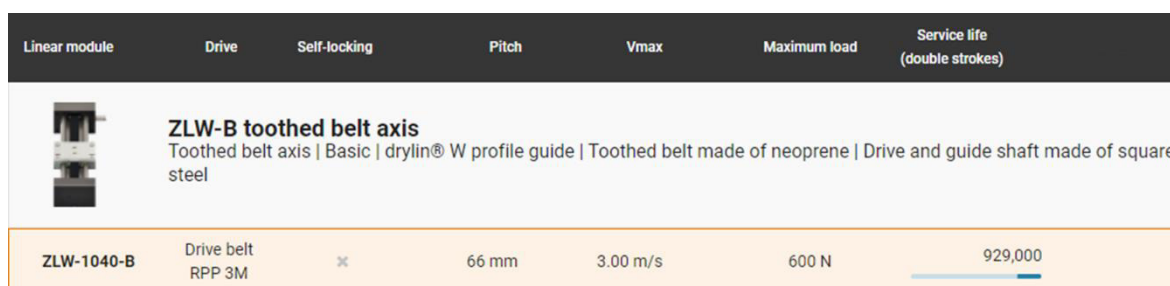
Järgnevalt sai paika andud konkreetsed parameetrid, millele komplektne lahendus peab vastama:

- Samm-mootoriga juhitav
- Juhikukelk peab kannatama massi vähemalt 10 kg
- Käigu pikkus 1800 mm

Selle käigus avastas autor, et ettevõttel IGUS on selliseks puhuks olemas väga kasutajasõbralik konfiguraator [22] leidmaks sobivat lineaarajamissüsteemi erinevate ülesannete ja vajaduste jaoks.

Konfiguraator pakkus välja eelistatuma valikuna vastava variandi:

1. Hammasrihmaga lineaarjuhiku ZLW-1040-B puhul on näha (Joonis 3.2.1), et maksimum koormuseks on lubatud lausa 600 N, mis on kordades rohkem, kui ettenähtud ning ühtlasi oli see ka kõige ligilähedasem nõutud koormusele.



Joonis 3.2.1 Lineaarjuhik ZLW-1040-B

2. Samm-mootorite puhul oli valik juba olulisem. Tabelis 3.2.1 on võrdluseks toodud pakutud variandid mootoritele.

Tabel 3.2.1 Mootorite parameetrid [23]

Pos.	Mootor	Pöördemoment	Mass	Mõõtmed
1.	MOT-AN-S-060-005-042-L-A-AAAA	0.5 Nm	0.38 kg	42x42x49 mm
2.	MOT-AN-S-060-020-056-L-A-AAAA	2.00 Nm	1.04 kg	56x56x76 mm
3.	MOT-AN-S-060-035-060-L-A-AAAA	3.50 Nm	1.45 kg	60x60x112 mm

Sisestatud andmete järgi saadud tulemus lineaarjuhikule ja selle koormamisele tuli hammasrihma völli rakendatud moment 0,71 Nm (Joonis 3.2.2). Sellest lähtuvalt saab öelda, et esimene mootor (tabel 3.2.1 positsioon 1.) ei ole sobilik kuna väljaantav pöördemoment on väiksem, kui nõutud. Järgmiseks mootori valikuks oli 2 Nm pöördemomendiga samm-mootor (tabel 3.2.1 positsioon 2.).

Kuna antud mudel vastab nõuetele ning on piisavalt suure varuga, siis see osutus ka valituks.

Service life	929,000 double strokes
Torque	0.71 Nm
Rotational speed	0.91 rpm
Feed rate	66 mm / Revolution

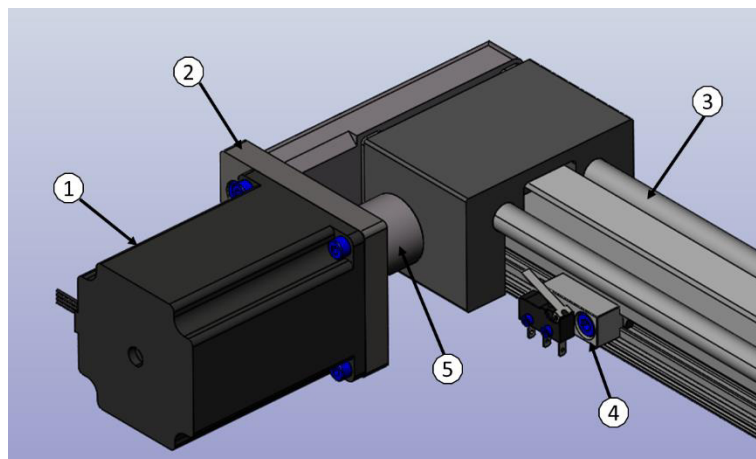
Joonis 3.2.2 Võllile rakendatav moment

3. Mootori juhtimiseks vajaminevate draiverite valikus oli pakutud 2 draiverit. Tabelis 3.2.2 on välja toodud mõlemad draiverid koos parameetritega ja hinnaga. Arvestades kahe draiveri väga suurt hinnavahet ja nende kasutusvõimalusi, siis antud ülesande puhul pole vajalik eriomadusega ja programmeeritavat draiverit vaid sobib standardsem. Valituks osutus Dryve D8 (Tabel 3.2.2 positsioon 1.).

Tabel 3.2.2 Draiverite parameetrid [24]

Pos.	Draiver	Parameetrid	Hind
1.	Dryve D8	Väljundpinge: 24 V kuni 48 V Väljundvool (max): 5.5 A	€ 87.04
2.	Dryve D1	Väljundpinge: 12 V kuni 48 V Väljundvool (max): 22 A	€ 378.84

4. Lisaks põhilistele komponentidele nagu lineaarjuhtik, samm-mootor ja mootori draiver pakkus antud konfiguraator veel lisakomponente, mis on samuti komplekti osaks ning vajalikud, aga nende puhul neid põhjalikumalt parameetriliselt välja ei tooda. Lisakomponentideks on lõpuandurid (2 tk), mehaaniline sidur hammasrihma võlli ja mootori võlli ühendamiseks, mootori kinnitamise flants. Joonisel 3.2.3 on kujutatud komponente koostatuna.



Joonis 3.2.3 Komponentide koost (1 – stepper-mootor, 2 – flants, 3 – juhik, 4 – lõpuandur koos alusega, 5 – mehaaniline sidur)

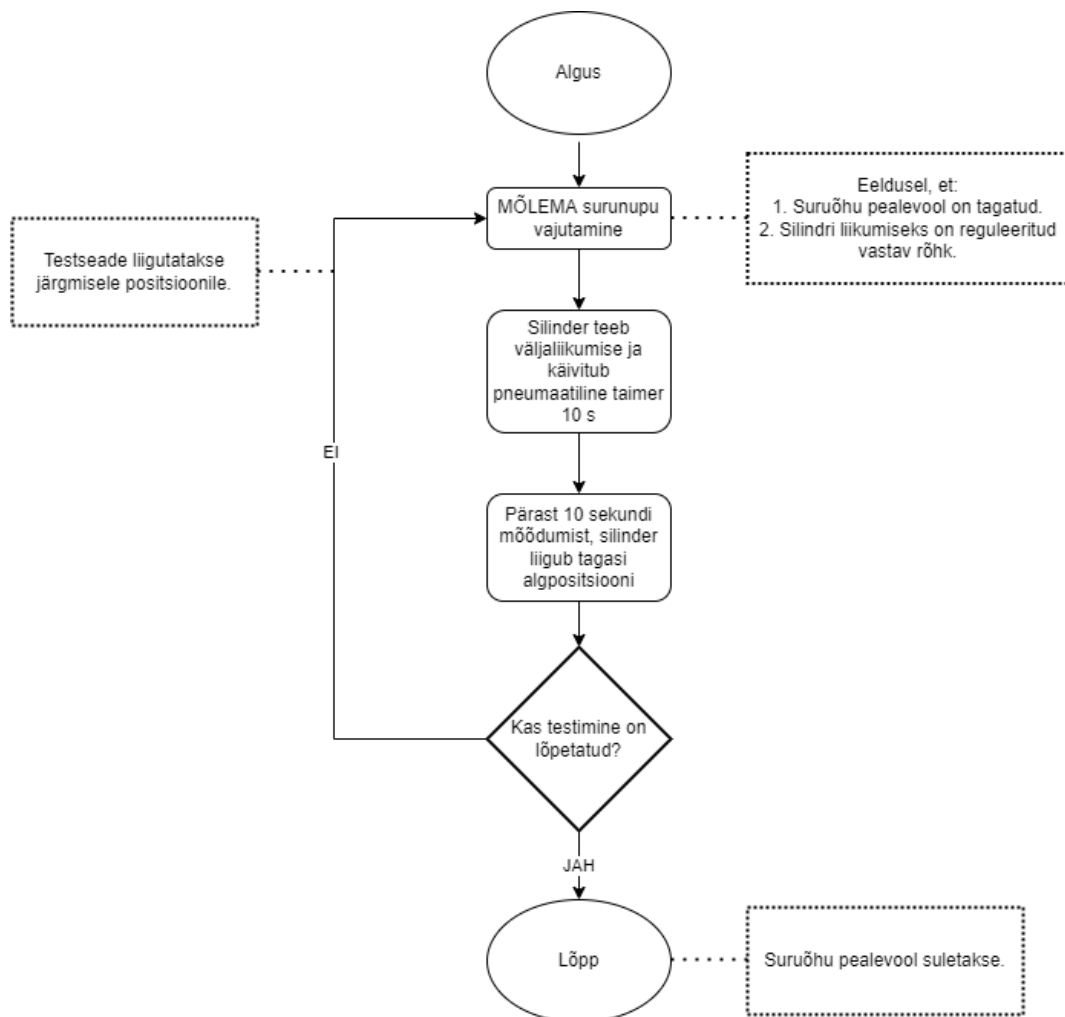
3.2.2 Juhtimine

Automatiseeritud lahenduse puhul ei saa jätta tähelepanuta erinevate sõlmede, kui ka kogu seadme juhtimist. Selles punktis tuuakse välja pneumosilindri juhtimine elektrisignaali abil ning lineaarjuhiku kelgu motoriseeritud liikumine vastavatele positsioonidele samm-mootori juhtimisel.

Pneumaatika

Varasemalt loodud edasiarenduse testseadmes võeti jäikuse testimiseks kasutusele pneumaatikasüsteem ning arvestades automatiseerimise ülesandele esitatud nõuet, et võimalikult palju kasutada olemasolevaid komponente ja detaile, siis selles alapunktis kirjeldatakse, kuidas pneumaatilisest süsteemist teha elektropneumaatiline.

Esiteks tuuakse välja varasem silindri tööd kirjeldav töötsükkel:






Joonis 3.2.4 Pneumaatiline töötsükkel 1

Jooniselt 3.2.4 on näha, et tavalise pneumaatilise süsteemi puhul tuleb silindri liikuma panemiseks kasutada kahte surunuppu, mis aktiveerivad suunaventili.

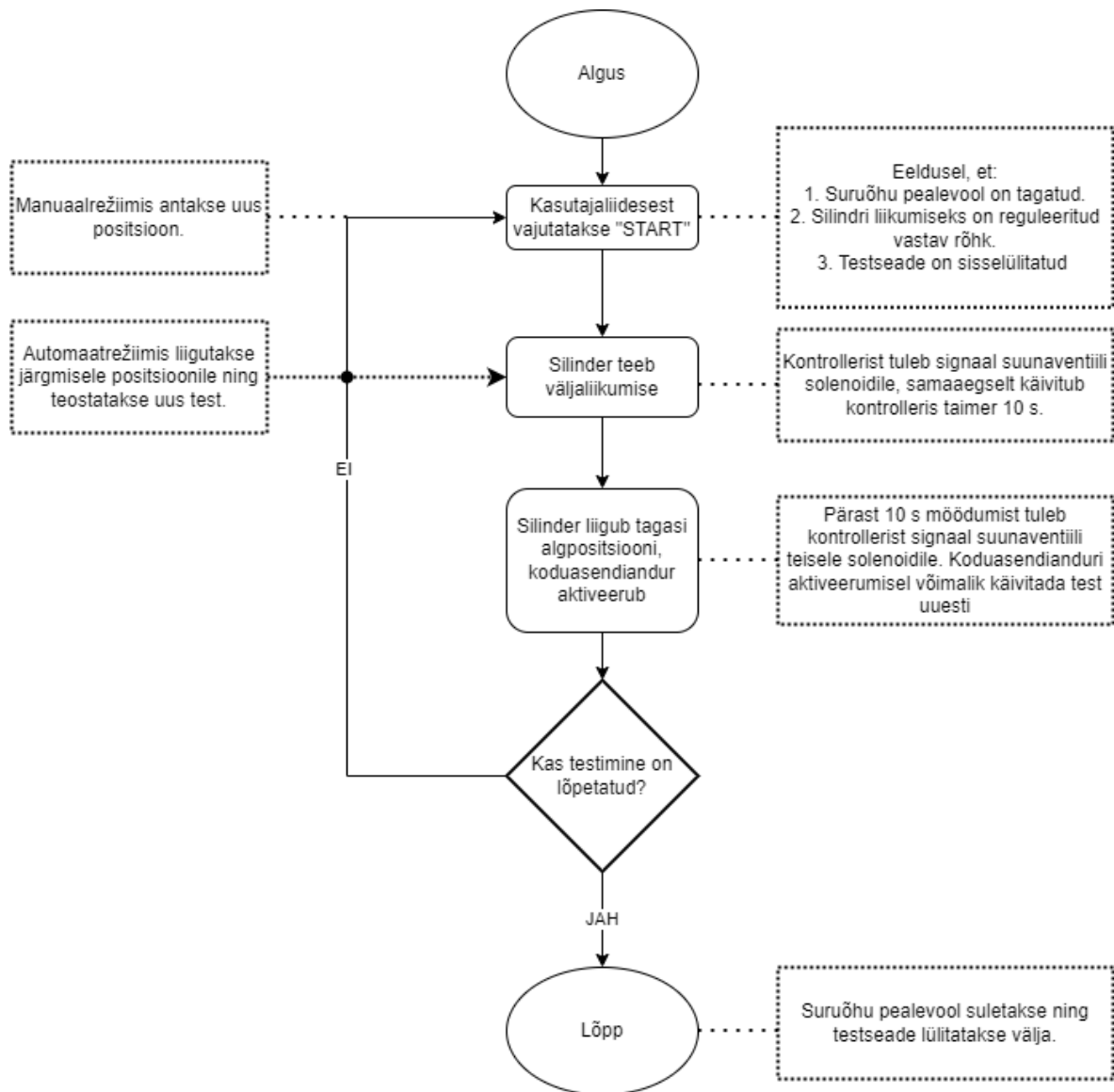
Automatiseeritud variandi puhul ei kasutata enam surunuppe ega pneumaatilist taimerit kuna signaal, mis annab käsu silindri liikumisele tuleb edaspidi kontrollierist ning vastavalt programmile ning samuti kasutatakse taimerifunktsiooni tarkvaralisel teel. Lisaks sellele, et silindri liikumine toimub nüüd elektrisignaali toimetel, siis selle tarvis oleks lisaks 5/2 elektropneumaatilisele suunaventilile vaja silindrile paigaldada koduasendi andur, mis annaks kontrolleriile signaali, kui silinder on jõudnud tagasi algasendisse. Lõppasendi andurit antud ülesande puhul kasutada ei saa, kuna erinevate tööosade puhul on silindri käik erinev.

Pneumaatikasüsteemi ümberehituseks piisab suunaventili väljavahetamisest ning pneumaatilise taimerifunktsiooni eemaldamisest süsteemist. Sellest lähtudes sai leitud uus suunaventil, mis on sobilik uue süsteemi jaoks. Lisaks on välja toodud ka koduasendi andur ning pistikud. Tabel 3.2.3.

Tabel 3.2.3 Pneumatika komponendid (elektropneumo)

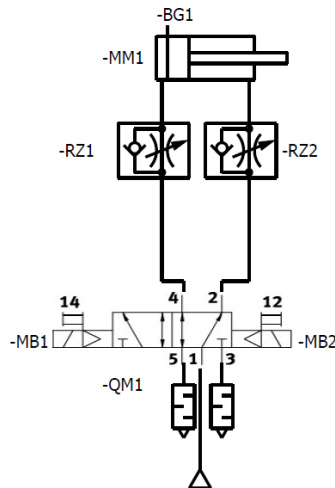
Jrk. nr.	Nimetus	Nimi	Pilt
1.	Suunaventil [25]	FESTO VUVG-L10-B52- T-M5-1R8L	
2.	Lähestumisandur [26]	FESTO SMT-8M-A-PS- 24V-E-0,3-M8D	
3.	Kaabel pistikuga [27]	FESTO NEBU-M8G3-K-5- LE3	

Vastavate komponentide välja valimisel ning sobitamisel süsteemi sai loodud uus töösükkel (Joonis 3.2.5) vastavalt elektropneumo süsteemile kohaselt ning samuti lihtsustatud pneumatika skeem (Joonis 3.2.6).



Joonis 3.2.5 Pneumaatiline töötsükkel 2

Joonised 3.2.4 ja 3.2.5 on oma ülesehituselt väga sarnased, aga sisu võrdlemisi erinev. Mõlemat joonist võrreldes on näha, et surunuppude vajutamise asemel antakse käsklus kasutajaliideselt. Pneumaatilise taimeri asemel on näha, et 10 s loetakse nüüd kontrolleris sees ning silindri liigutamiseks vastavad signaalid tulevad samuti programmist. Vastavalt nüüd valitud režiimile, siis kas tegevus lõppeb ühe tsükliga või korratakse neid tsükleid igas positsioonis automaatselt ilma vahepealse kasutajapoolse sekkumisega.



Joonis 3.2.6 Lihtsustatud pneumaatika skeem

Nagu varasemalt oli mainitud, siis nüüd tulevad signaalid kontrollerist suunaventiili mähistele, vastavalt siis, kas silindri väljaliikumiseks või sisseliikumiseks. Antud skeemil on näha ka drosselid, millega saab reguleerida silindri liikumiskiirust mõlemas suunas. Antud ülesande puhul tuleb reguleerida liikumiskiirused katseliselt päris süsteemi peal ja otsustada, mis kiirusega antud testi tegema peab.

Kui silindri liikumiskiirused tuleb tuletada katseliselt, siis silindri poolt rakendatava minimaalse ja maksimaalse jõu väljaliikumisel saab leida arvutuslikult, kasutades valemit:

$$F = p_e * A * \eta, [28] \quad (3.1)$$

Kus: F – nimijõud, N

p_e – nimirõhk, N/cm²

A – kolvi pindala, cm²

η – kasutegur,

Arvutame minimaalse jõu silindri väljaliikumisel, kasutades valemit (3.1). Kui on teada, et silindri minimaalne nimirõhk töötamiseks on 1,5 bar, silindrikolvi läbimõõt on 25 mm ning kasuteguriks võetud 0,95.

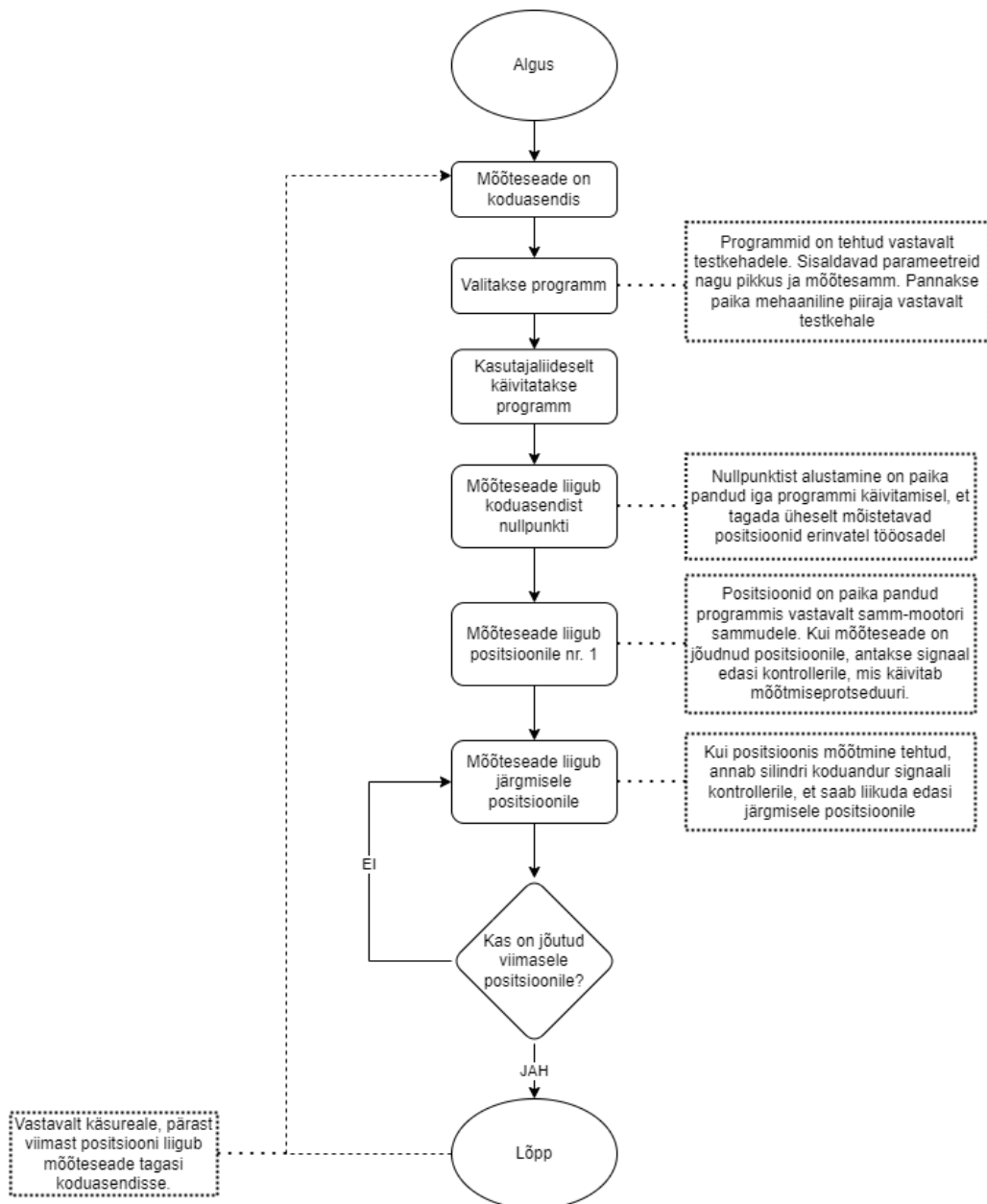
$$F_{min} = 15 * \frac{\pi * 2,5^2}{4} * 0,95 = 69,9 \text{ N}$$

Arvutame ka maksimaalse jõu, kui maksimaalne lubatud tööõhk on 10 bar ning kasuteguriks samuti 0,95.

$$F_{max} = 100 * \frac{\pi * 2,5^2}{4} * 0,95 = 466,1 \text{ N}$$

Samm-mootori juhtimine

Samm-mootori rakendamine lineaarajami liigutamisel tuleb suuremas osas paika panna käsklustena nagu näiteks mis positsioonist mitme sammu kaugusele ja kui kiiresti. Antud testseadme puhul määratakse positsioonid vastavalt testkehadele ning kiirus katseliselt testimise käigus. Lineaarajami liikumist mootori juhtimise abil eelnevalt koostatud programmide näol kirjeldab joonis 3.2.7.



Joonis 3.2.7 Mõõteseadme positsioonidevahelise liikumise töötsükkel

Manuaalrežiimis on võimalik kasutajal sisestada positsioonid manuaalselt terve mõõtevahemiku sees nullpunktist kuni kodusendini ning pärast mõõtetegevust ei toimu automaatselt uuele positsioonile minekut.

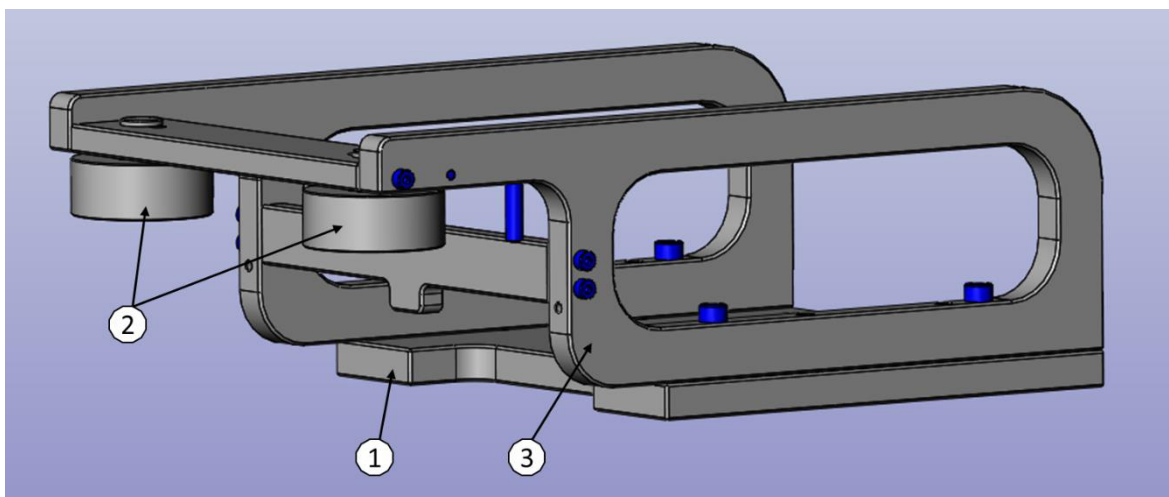
3.2.3 Mehaanika

Edasiarenduse käigus loodud testseadme puhul oli ainukeseks automaatselt toimivaks osaks pneumosilindri liikumine pärast surunuppude vajutamist 10 sekundiks. Varasemalt on töös väljatoodud nii lineaarajami muutmine seoses automatiseerimise ülesandega, kui ka pneumaatika osa, aga need mõlemad on tugevalt seotud ka mehaaniliste muutustega puhtalt konstruktsiooniliselt. Seoses automatiseerimise ülesandepüstitusega on selles punktis välja toodud põhilised mehaanika sõlmed, mis antud ümberehituse käigus muutusid.

Tugiraamistik

Varasemalt loodud seadme puhul olid testkeha hoidmiseks mõeldud tugirullikute komplektid fikseeritud kindlatele kaugustele ning sõltumatud lineaarjuhiku kelgu peal liikuvast mõõteseadmest. Tulles tagasi automatiseerimise ülesande juurde, siis mitte muudetavate positsioonidega tugirullikute koostud ei sobi selleks, et teostada mõõtmisi terve tööosa ulatuses vabalt valitud asukohast. Selleks tuli integreerida liikuvale lineaarjuhiku kelgu küljes olevale mõõteseadme koostule tugirullikud, mis toetavad tööosa parasjagu sealt, kus toimub ka mõõtmine ning tööosa peab olema toetatud.

Selleks sai loodud tugiraam olemasoleva alusplaadi peale, mille külge omakorda kinnituvad tugirullikud. See tagab selle, et tugirullikud on alati seal, kus toimub mõõtetevgevus.

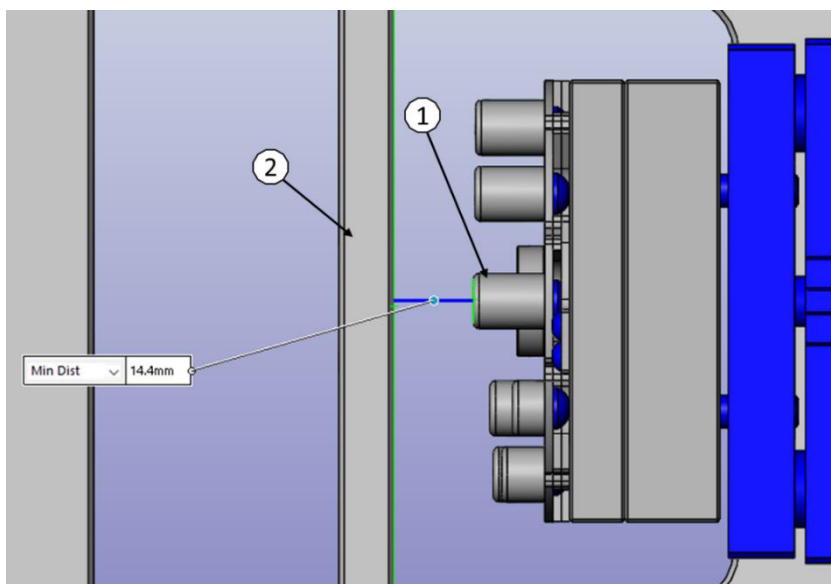


Joonis 3.2.8 Tugiraamistik (1 – alusplaat, 2 – tugirullikud, 3 - tugiraam)

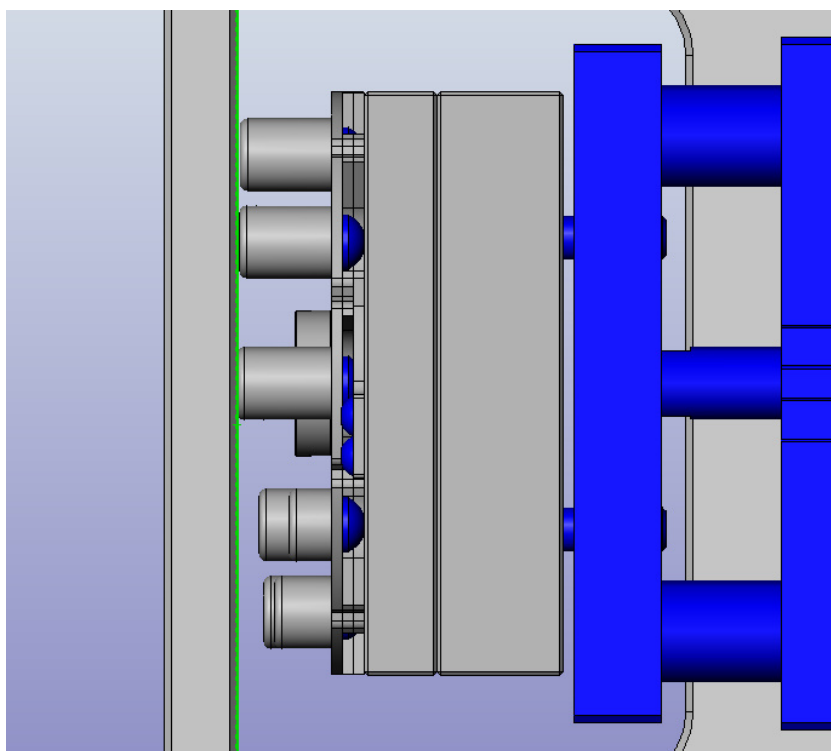
Antud lahenduse juures mängis rolli ka see, et reguleeritava piiraja süsteem koos fikseeritud piirajatega tuli samuti ümber teha ning silindri liikumise piiramine teostati samamoodi tugiraamistiku abil. Selleks on raamistikul keskmine tala, mille vastu

surutakse reguleeritava piiraja süsteemi vastav distantsklots mille pikkus on vastavuses testitava tööosa läbimõõduga.

Joonisel 3.2.9 on näha piiraja asendit, kui silinder on koduasendis. Kõnealuste detailide esiletoomiseks on jooniselt eemaldatud mõõteseade. Joonisel 3.2.10 on olukord, kus on valitud piiraja kõige suurema läbimõõduga tööosa jaoks ehk 12,90 mm ja silinder on liikunud tööasendisse ehk piiraja on kontaktis keskmise talaga.

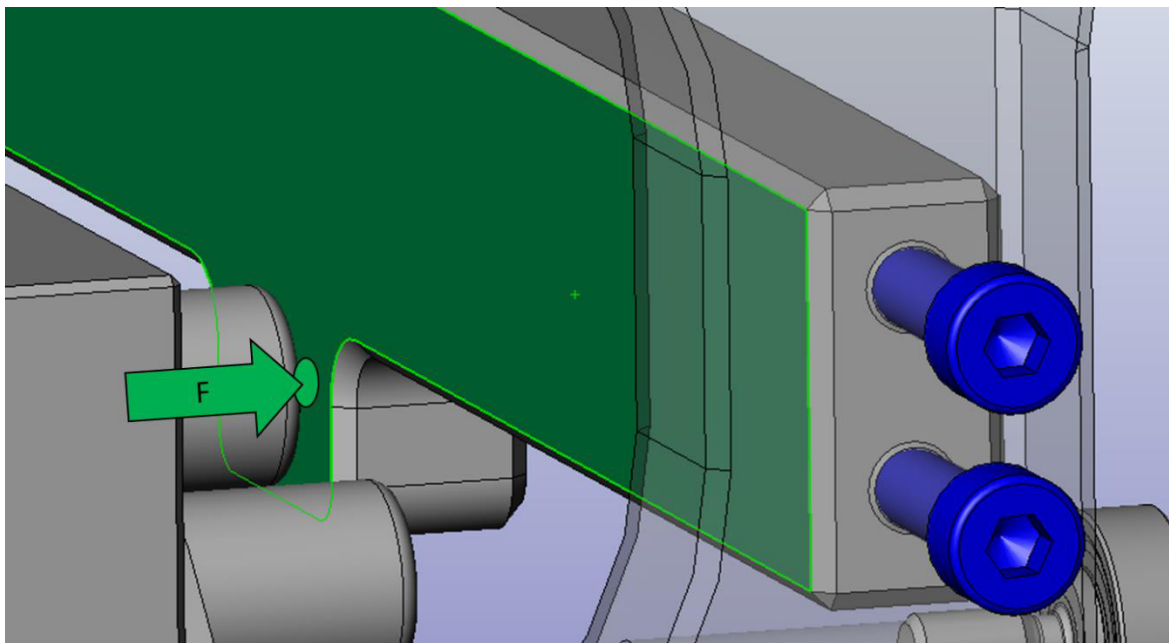


Joonis 3.2.9 Silinder koduasendis (1 – 12,90 mm piiraja, 2 – raamistiku keskmine tala)



Joonis 3.2.10 Silinder tööasendis

Varem sai arvatud välja, et minimaalne jõud, mida silinder 1,5 bar tööõhu juures väljaliikumisel rakendab $F_{min} = 69,9$ N väljaliikumisel rakendab. Vastavalt sellele saab kontrollida, kas keskmise tala kinnitamine otstest DIN 912 M4 poltidega on piisav, et liite tugevus oleks tagatud, kui silinder surub vastava jõuga vastu tala. Joonis 3.2.11

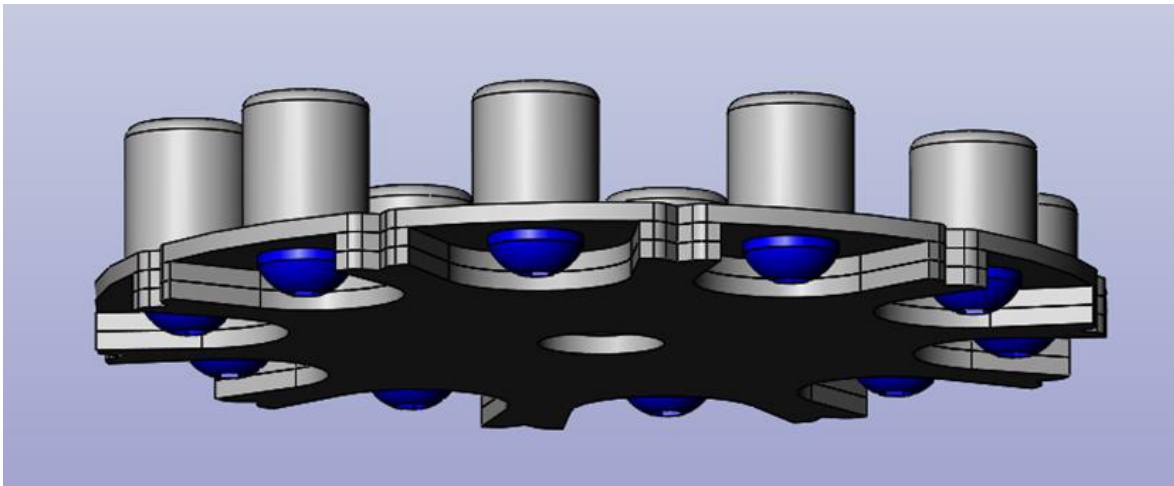


Joonis 3.2.11 Silindri rakendatud jõud keskmisele talale

Vastavalt poltidele määratud minimaalsele katkemispiirile [29] ning sellele, et tõmbele mõeldud katkemispiirist ligikaudu 0,6 korda on katkemispiir nihkele, peab 4.6 tugevusklassiga M4 polt vastu jõule $F = 2,02$ kN. Seda on ühe poldi puhul juba enam kui 25 korda rohkem rakendatavast jõust.

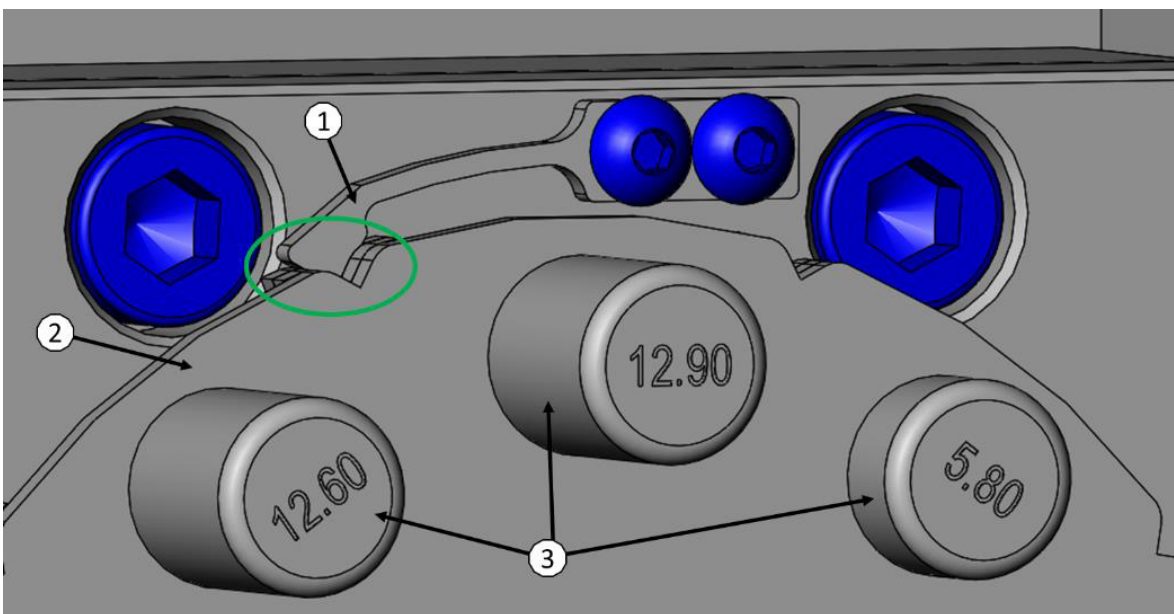
Reguleeritav piiraja

Automatiseerimise ülesande puhul sai modifitseeritud ka reguleeritava piiraja koostu. Varasemalt oli alusplaadile keevitatud erimõõdulised klotsid mis ei vastanud üksühele tööosa läbimõõdudega, vaid olid antud suhtarvu põhjal. Uue disaini puhul sai mõeldud sellele, et kui ettevõtte nomenklatuuri peaks tulema uue läbimõõduga tööosa, mille jaoks piirajat pole, siis uue alusplaadi puhul kinnitatakse piiraja klotsid poltliitega. Nähtav joonistel 3.2.12. See annab võimaluse asendada mitte kasutatav piiraja vajalikuga.



Joonis 3.2.12 Reguleeritava piiraja muudetud lahendus

Piiraja alusplaat fikseeritakse sobivasse asendisse 1.4310 terasest valmistatud elastse lehtvedru põhimõttel toimiva stopperiga, mis lukustub hambaga vastavasse pilusse. Joonisel 3.2.13.



Joonis 3.2.13 (1 – elastne stopper, 2 – alusplaat, 3 – piiraja klotsid)

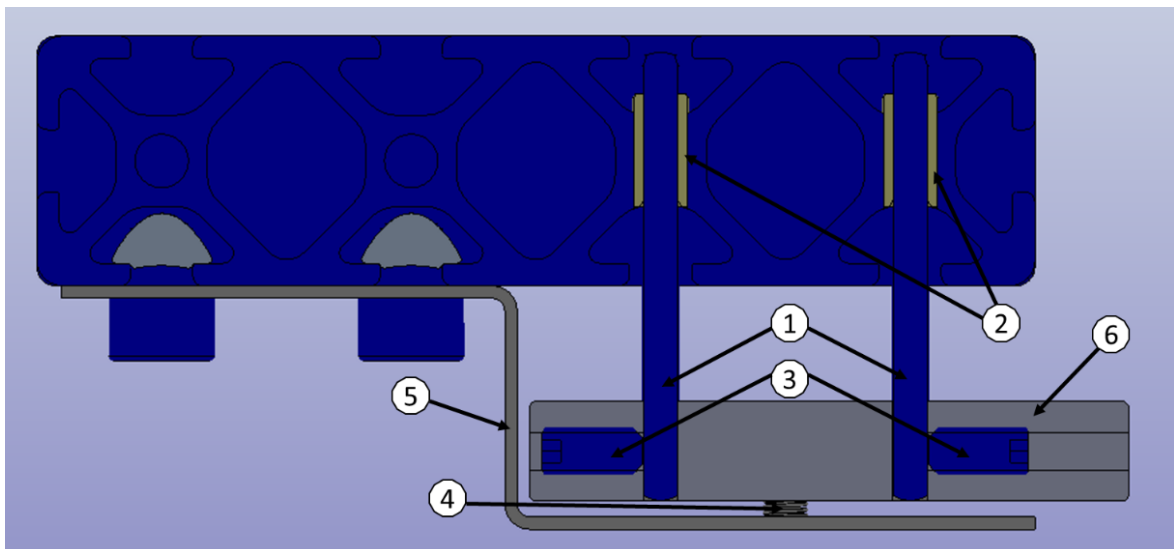
Tööosa fikseerimine külgsuunas

Automatiseerimise ülesande ühe punktina sai kirja pandud, et tööosa peab olema testimise hetkel külgsuunas fikseeritud, et vältida selle maha kukkumist aluspinnalt. Varasem disain nägi ette, et tööosa paigutatakse tugirullikute vahele ning see takistas tööosal külgsuunas liikumise. Kuna automaatse lahenduse puhul muutus tugirullikute süsteem, siis vastavalt sellele oli vaja mõelda ka uuele lahendusele selles osas, kuidas tööosa külgsuunas fikseerida.

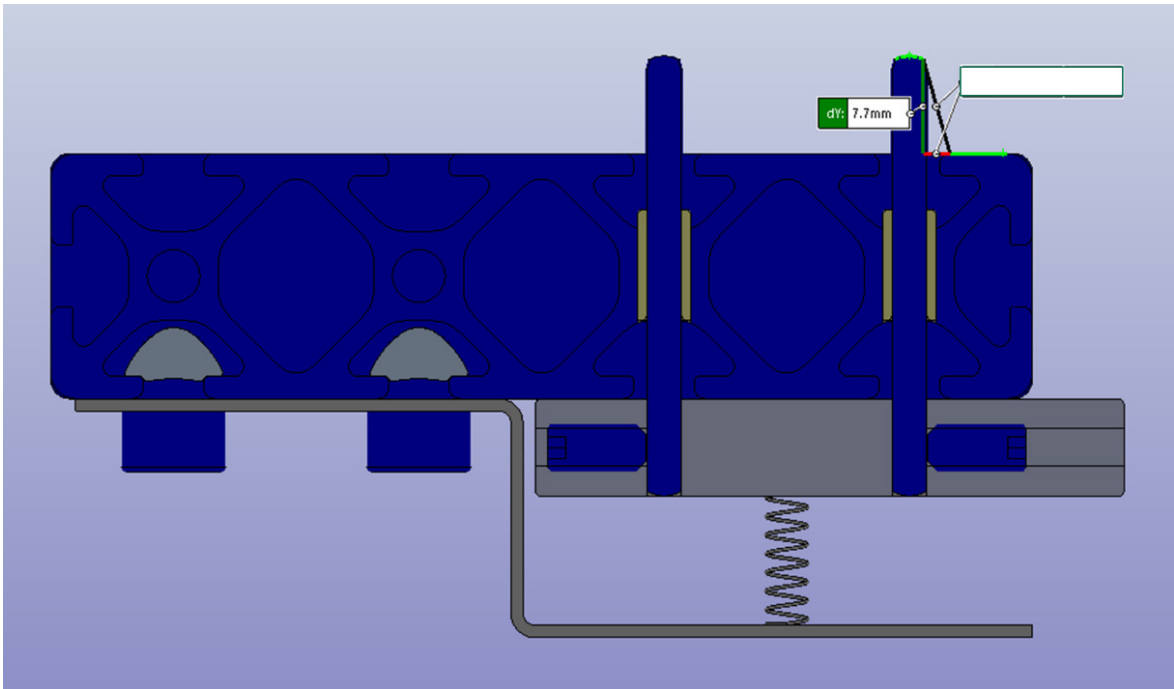
Esimese mõttena sai välja käidud variant, et panna tööosa toetava aluspinna profiili külge tihvtid kahte riita teatud vahemaa tagant, mis takistaks tööosal külgsuunas liikumise. See lahendus ei andnud enam võimalust teha mõõtmisi terve tööosa ulatuses, kuna jäikade tihvtide puhul ei olnud võimalik teostada mõõtmisi nendest positsioonidest, kus piirajad paigutatud olid.

Sellest tulenevalt jõuti järeldusele, et tihvtid tuleks panna liikuma vastavalt sellele, kas hetkel teostatakse mõõtmist või mitte. Sel hetkel, kui silinder on koduasendis ning mõõtmist ei toimu, siis võivad tihvtid olla üleval asendis ning piirata tööosa liikumist külgsuunas. Hetkel millal teostatakse mõõtmist ja silinder läheb tööasendisse, peavad tihvtid olema all asendis. Siit tulenes järgmine probleem, sest kui kõik tihvtid korruga liiguvad ülesse või alla, siis kaob ära toetus ülejäänud tööosa piirkondadel, mis hetkel mõõtmises ei osale ning ei toetu tugirullikutele.

Lõplik lahendus kujunes välja selline, et mõõtepiirkond tuleb jaotada osadeks, kus tihvtid liiguvad seksioonide kaupa. See tähendab seda, et mõõtmisest kaugemal paiknevad piirkonnad on tihvtidega toetatud ning mõõtmise all oleva osa puhul on tihvtid alumises asendis. Joonisel 3.2.14 on näidatud ristlõikega alumine asend ning joonisel 3.2.15 ülemine asend.



Joonis 3.2.14 Ristlõige alumisest asendist (1 – DIN 6325 tihvtid, 2 – Liugepuksid, 3 – seadekruvid, 4 – vedru, 5 – painutatud tugiplaad, 6 - tõukurplaat)



Joonis 3.2.15 Ristlõige ülemisest asendist

Jooniselt 3.2.15 on näha, et vedru on lükanud vaheplaadi koos tihvtidega ülesse ning tihvtid ulatuvad profiili servast 7,7 mm üle. Arvestades sellega, et suurima läbimõõduga tööosa on 12,9 mm, siis tihvtid ulatuvad kõrgemale tööosa tsentrist ning tööosa on külgsuunas liikumisele piiratud ja oht tööosa aluspinna pealt ära kukkumisele välistatud.

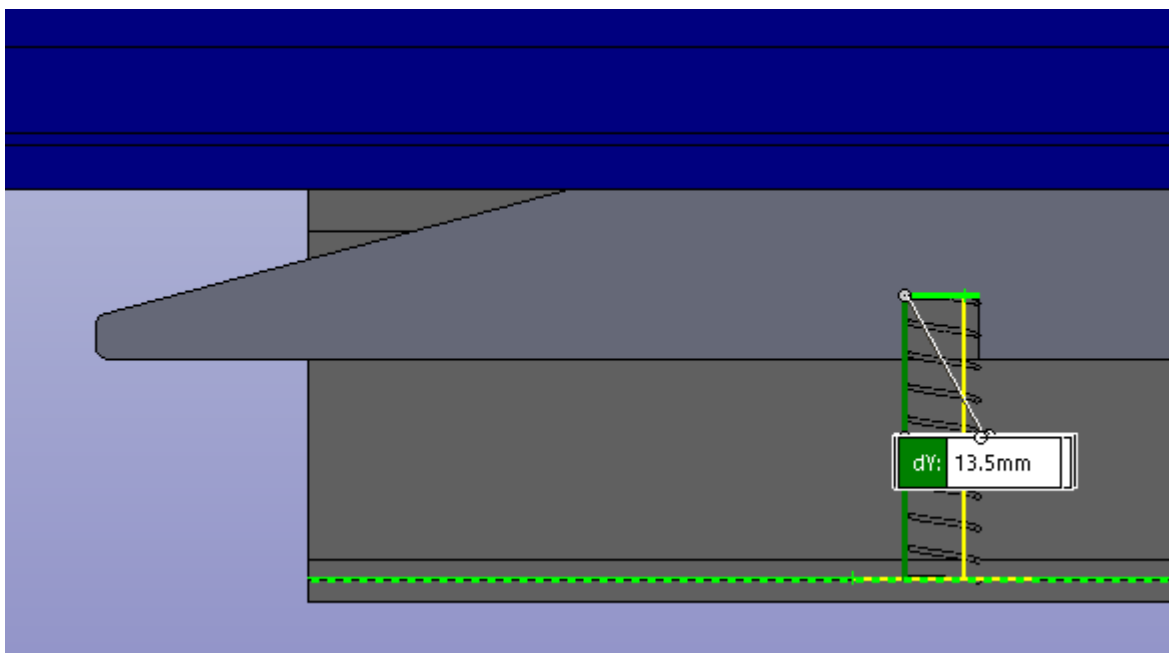
Liugepuksid (Joonisel 3.2.14 positsioon 2) said valitud sellepärast, et tihvti ja puksi vahel ei tekiks suurt hõõrdumist, mis raskendaks selle süsteemi toimimist. Valituks osutus tootja IGUS tootekataloogist Iglidur JSM-0304-03 [30].

Järgmise olulise lülina tuli leida survevedru (Joonis 3.2.14 positsioon 4), mis suudaks lükata tihvte koos tõukurplaadiga (Joonis 3.2.14 positsioon 6) ülesse. Vastava survejõuga vedru leidmiseks tuli leida kõigepealt tõukurplaadi ja selle külge kinnituvate detailide mass. Seoses sellega, et tõukurplaadi pind tuli valida heade libisemisomadustega ning kulumiskindlusega, siis materjaliks sai valitud POM-C [31].

Sellest tulenevalt andis *Solidworks* tarkvara antud komplekti massiks $m = 170$ g. Arvestades sinna juurde ka mõõduka varu ning vedru pikkust nii kokku surutud asendis, kui ka tavaolekus, siis tootja Lesjöfors tootekataloogist osutuks sobilikuks survevedruks tähisega 1158 CS 0,25x3,4x15. Andmeleht annab vedru survejõuks 1,4 N, mis ei oleks piisav antud massi ülesse tõukamiseks, aga arvestades tõukurplaadi kuju ning süsteemi konstruktsiooni, siis võetakse kasutusele 2 vedru.

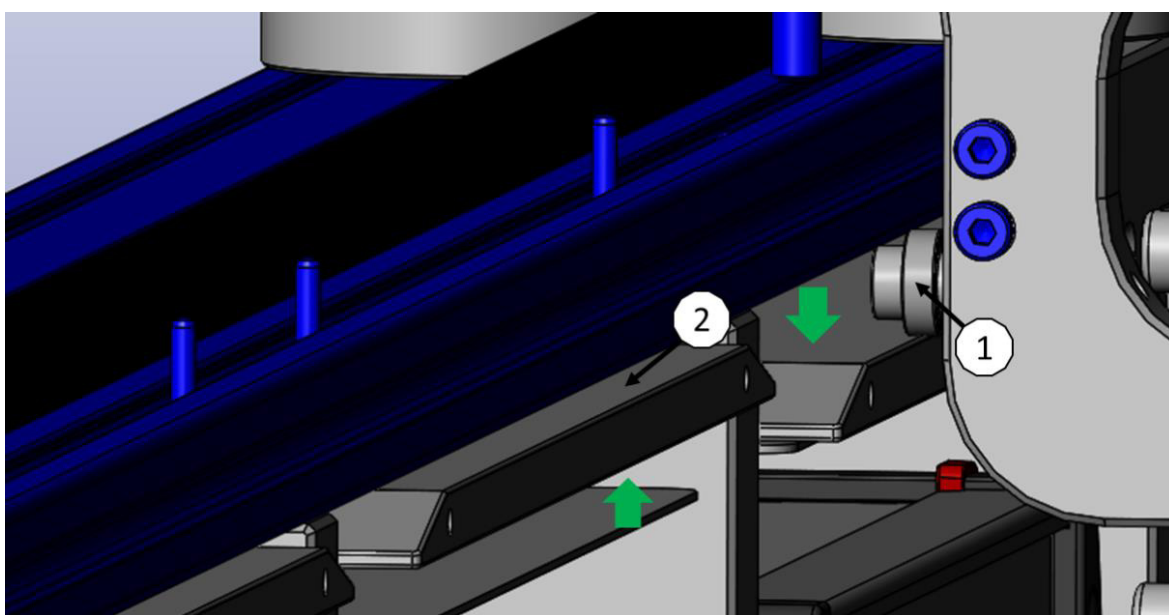
Antud vedru pikkuseks tavaolekus on 15 mm, mis paigutatakse tõukurplaadi all olevasse pesasse ning surutakse 1,5 mm jagu kokku, et vedru oleks kergelt eelpingestatud ning

ei hüppaks tugiplaadi pealt ära (Joonis 3.2.16). Antud vedru valiku puhul mängis rolli ka see, et kindlasti peab olema tagatud, et tihvtid ei ulatuks tööpinnalt välja, aga samas peaks vedru kokku surutuna mahtuma tõukurplaadi ja tugiplaadi vahele.



Joonis 3.2.16 Survevedru paigutatuna tõukurplaadi ja tugiplaadi vahele.

Arvestades seda, et tihvtide liigutamiseks tavaolekust alla, tuleb tõukurplaati ka suruda ülevalt poolt. Selleks sai eelnevalt loodud tugiraamile kinnituvad juhtrullikud, mis tõukurplaadile lähenedes liiguvad mööda kaldpinda ülesse ning samaaegselt suruvad seda alla poole mille toimel konkreetse sektsiooni osas tihvtid lähevad alla asendisse. See on näidatud joonisel 3.2.17.



Joonis 3.2.17 Piirajad tööasendis (1 – Juhtrullik on surunud tõukurplaadi alla, 2 – üleval asendis olev kõrval sektsioon)

3.3 Elektroonika karbikoost ja kasutajaliides

Automatiseerimise osaga tuli vajadus kasutusele võtta ka elektroonika komponente ning need paigutada vastavasse elektroonikakarpi. Sinna hulka kuulub ka kasutajaliides, mis paigutub eraldi. Selleks, et teada saada kõiki vajaminevaid komponente, siis tuleb leida ka kontrollid ning toitesüsteem sellele süsteemile.

Kontroller

Sarnaselt ettevõttes varem tehtud lõputöödele, siis esimeseks valikuks kontrollerite seas on Arduino Mega 2560 Rev3 [32]. Järgmiseks tuuakse välja põhilised parameetrid, mida on antud kontrolleri kohta teada:

- Sisendpinge – 5 VDC
- Väljundpinge – 5 VDC
- Analoogsisendeid - 16
- Digitaalseid sisend-väljund viikude arv - 54 (15 neist PWM)

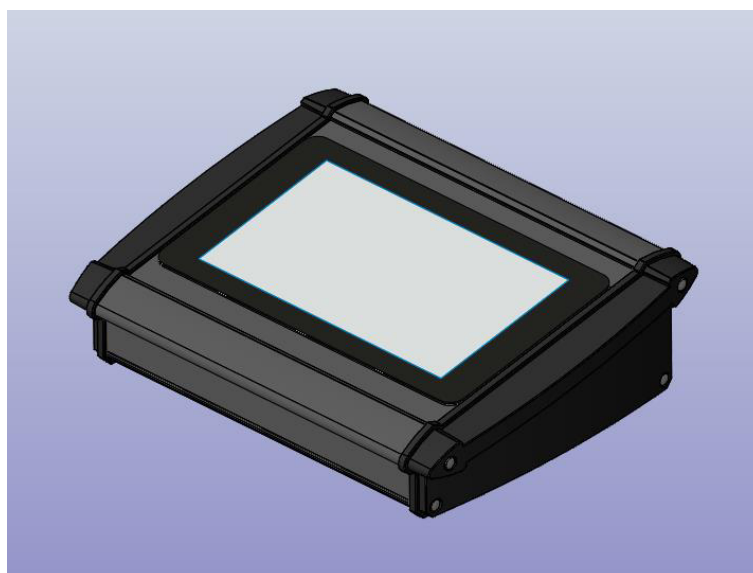
Kontrollerisse ühendatakse mõõtesead, silindri koduandur, suunaventiili mõlemad otsad ja samm-mootor. Kuna kasutavaid sisendeid ja I/O viike on varuga, siis antud kontroller on sobilik.

Kasutajaliides

Kasutajaliidese puhul lähenetakse taaskord sarnaselt ettevõttes varem lõputöodes kirjeldatud ja testseadmetel kasutatud komponente, et võimalusel hoida testseadmete puhul ühtset joont. Järgmiseks on välja toodud tabel kasutajaliidese jaoks vajaminevate komponentidega (Tabel 3.3.1). Kasutajaliidese karp koos ekraaniga joonisel 3.3.1.

Tabel 3.1

Nimetus	Parameetrid	Kirjeldus
Raspberry Pi 4 [33]	Tööpinge: 5 VDC Töövool: (USB C) min: 3 A	Arvuti, mis võimaldab kuvada kasutajaliidest
Raspberry Pi Touch Display [34]	Tööpinge: 5 VDC Töövool: 0.4 A	Puutetundlik ekraan kasutajaliidese kuvamiseks
Bopla ATPH-1865-250 [35]	Mõõdud: 181.2 x 68.2 x 250 mm	Karp ekraani ja arvuti jaoks
Binder 09-0473-80-08 [36]	Tööpinge: 250 VAC Töövool: 5 A	Toitekaabli pistik
Peavoolulüliti T0-2-1/EA/SVB [37]	Tööpinge (MAX): 440VAC Töövool: 20 A	Pealüliti seadmele voolu peale andmiseks



Joonis 3.3.1 Kasutajaliidese karp koos ekraaniga

Kasutajaliidetes on selle jaoks, et saaks juhtida kontrolleri mis omakorda juhib mootori kaudu lineaarajamit ning samuti silindrit läbi suunaventiili. Antud seadme kasutajaliidetes peaks välja nägema midagi sellist, et esialgu on valida kas manuaalrežiimi või automaatrežiimi vahel. Manuaalrežiimis saab sisse trükkida kauguse nullpunktist ning teostada korruga ühe mõõtetsetükli. Automaatrežiimi puhul tekib valik, millist programmi valida. Vastavalt programmi valikule teostatakse terve programmi jagu mõõtetsetükkeid vastavalt sellele, mis on eelnevalt programmi sisse kirjutatud.

Lisaks sellele loetakse iga mõõtetulemus ning see edastatakse mõõteseadmelt arvutisse .csv [38] faili formaadi kujul, et vastavad tulemused saaks lihtsamini kanda mõõtmiste protokollis. See oli ka üks automatiseerimise ülesande nõuetest, et mõõtetulemused peavad salvestuma andmebaasi või olema kuvatavad arvutis.

Elektronika karp ja voolutarve

Kui kõik komponendid on välja valitud, mis vajavad elektrivoolu, siis vastavalt tarbitavale voolule tuleb leida nüüd toiteplokid.

Tabel 3.2 Seadmete voolutarve

Nimetus	5 VDC (mA)	24 VDC (mA)
Alluris FMI-B50B5	250	
Arduino Mega 2560 Rev3	130	
Raspberry Pi 4	3000	
Raspberry Pi Touch Display	400	
Samm-mootor MOT-AN-S-060-020-056-L-A-AAAA		4200
Asendiandur SMT-8M-A-PS-24V-E- 0,3-M8D		100
Kokku:	3780	4300
Amprites:	3,78 A	4,3 A

Vastavalt leitud tulemustele saab nüüd valida toiteplokid:

Nimetus	Parameetrid	Tööülesanne
MEAN WELL RD-35A [39]	Sisendpinge: 88-264 VAC Väljundpinge: 5 VDC Väljundvool: 4 A Tõhusus: 79%	Toitevoolu andmine 5 VDC peal töötavatele komponentidele
MEAN WELL RD-125B [40]	Sisendpinge: 88-264 VAC Väljundpinge: 24 VDC Väljundvool: 4,6 A Tõhusus: 85%	Toitevoolu andmine 24 VDC peal töötavatele komponentidele

Pärast toitevoolude teada saamist on võimalik arvutada välja tarbitav võimsus.

RD-35A toiteploki võimsus:

$$P_1 = \frac{U_1 \cdot I_1}{n_1} = \frac{5 \cdot 4}{0,79} = 25,32 \text{ W}, \quad (3.2)$$

kus, P_1 = Toiteploki võimsus

U_1 = Väljundpinge

I_1 = Väljundvool

n_1 = Tõhusus

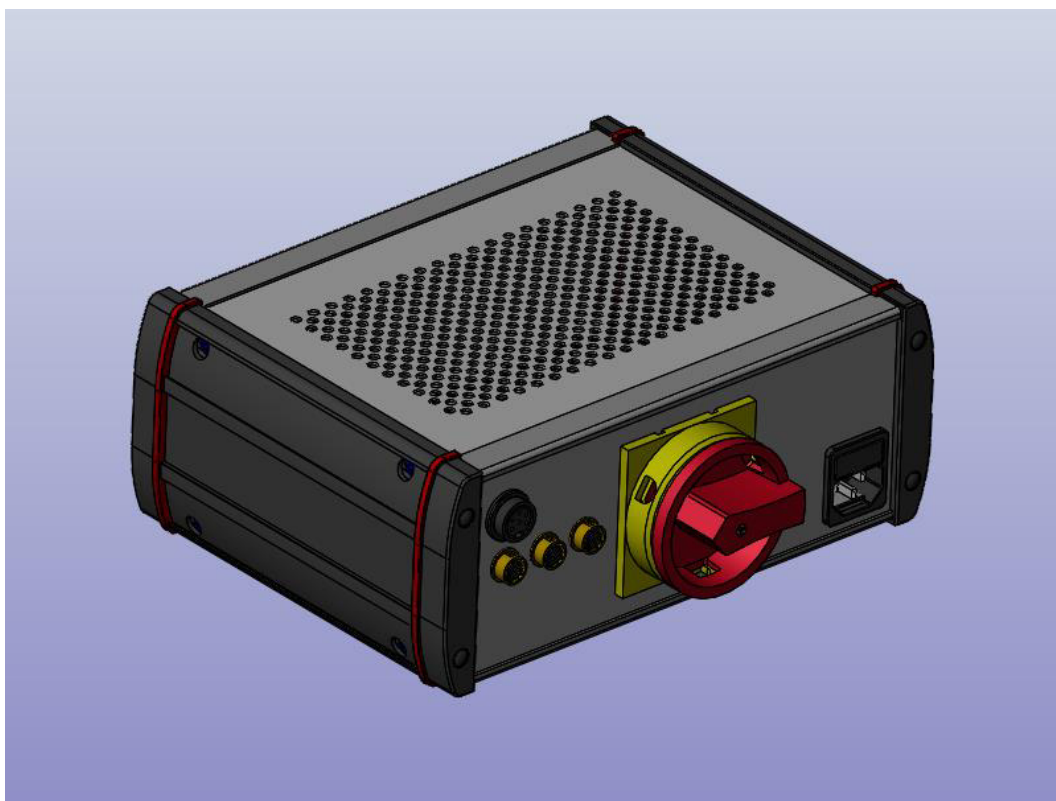
Nüüd leiame RD-125B toiteploki võimsuse kasutades valemit (3.2):

$$P_2 = \frac{U_2 * I_2}{n_2} = \frac{24 * 4,6}{0,85} = 129,88 W,$$

Nende tulemuste põhjal saab teada kogu tarbitava võimsuse:

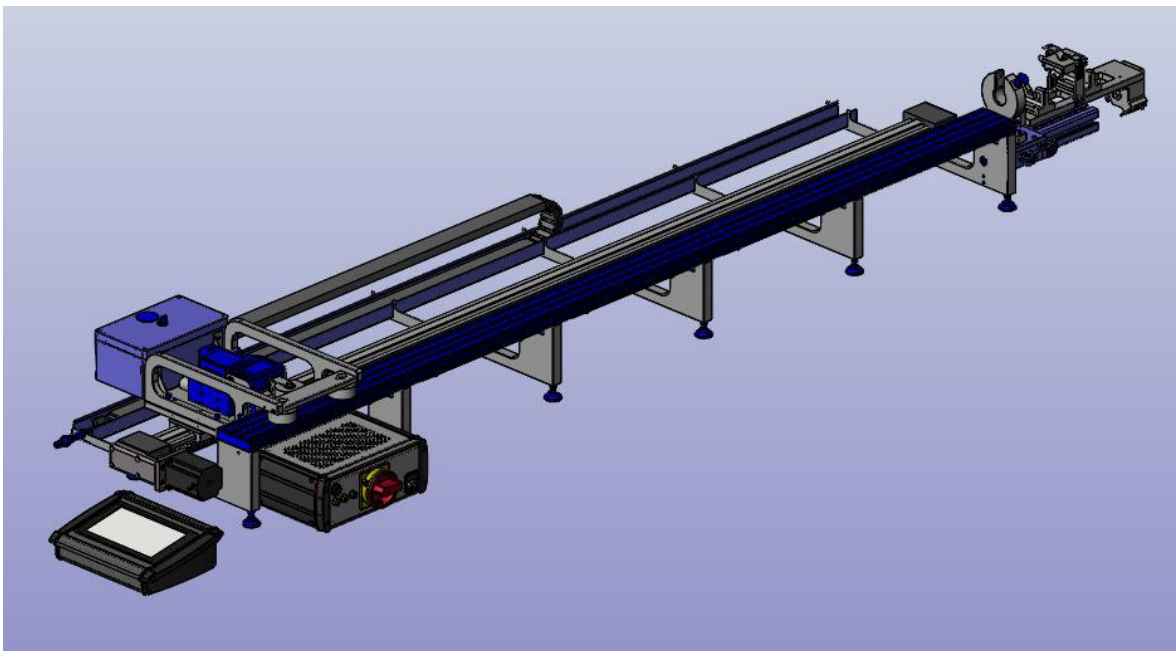
$$P_{kogu} = P_1 + P_2 = 25,32 + 129,88 = 155,2 W \quad (3.3)$$

Pärast toiteplokkide väljavahimist on võimalik nüüd ka valida elektrikarp komponentide jaoks. Selleks tuleb võtta vastavalt komponentide mõõtudele sobiv karp. Karpi sai otsitud ettevõtte Bopla tootekataloogist ning valituks osutus standardne karp mõõtudega 100 x 250 x 185 mm [41]. Antud karbi puhul sai valitud lisaks veel ülemine ja alumine paneel. Autori ettevõtte siseselt sai antud karbi jaoks laserlõigatud esimene ja tagumine paneel, sest tagumisele paneelile oli vaja sisse lõigata erinevate läbiviikude ja pistikute avad. Elektrikarp koos pistikute ja lülitiga tuli selline nagu näidatud joonisel 3.3.3.



Joonis 3.3.3 Elektroonikakarp

Kasutajaliidese karp oli esialgu plaanitud kinnitada kas mingisuguse lisa profilli või siis kronsteini külge, aga selleks ei olnud väga sobivat kohta ning pigem oli mõistlik otsus jätta karp seadme kõrvale laua peale. Sellisel juhul on kindel, et programmi käivitamise hetkel on kontrollituna silma all seade kodusendis ning ohukorral on võimalik ka kiiremini ligi pääseda elektroonikakarbi pealülitile. Joonisel 3.3.4 on toodud seade tagant vaates.



Joonis 3.3.4 Testseade tagant vaates

4. Majanduslikud arvutused

Antud peatükis tuuakse välja disainitud testseadme majanduslikud arvutused. Kalkulatsioonides on kajastatud nii valmis ostudetailide, kui ka erinevate töötlusviisidega valmistatud detaile. Seadme arendus- ning programmeerimiskulud on arvestatud lähtudes umbkaudselt sellest, mis võiksid need olla siis, kui osta teenust sisse väljast poolt ettevõtet.

Tabel 4.1 Seadme maksumus

	Komplekti nimetus	Kirjeldus	Maksumus, €
1	Lineaarajam	IGUS lineaarjuhiku komplekt koos draiveri, lõpuanduritega, mootori flantsiga ja kinnitusvahenditega, energiakett	790
2	Ekraani koost	Raspberry Pi 4, puutetundlik ekraan, Bopla karp, karbi töötlus	175
3	Elektroonikakarp	Bopla karp, toiteplokid, pistikud, lüliti, eesmise ja tagumise paneeli töötlus	320
4	Pneumaatika komponendid	Suunaventiil, silinder, erinevad liitmikud, voolikud, regulaator, manomeeter, taimer, pistikud, andur, karp	1132
5	ITEM raam	Alumiiniumprofiil ja kinnitusvahendid	100
6	Dünamomeeter	Alluris mõõteseade	1489
7	Erinevad kinnitusvahendid	Standardsed kinnitusvahendid, poldid, mutrid, seibid, liugepuksid	36
8	Erinevad töödeldud detailid	Alusraamistik, võllid, POM-ist detailid, PTFE-st rullikud, detailid	1070
9	Arenduskulud (60 € tund)	Automatiseerimisele kulunud töötundideks ühes kuus ligikaudu 84 h, kokku hinnanguliselt 3,5 kuud. Varasemalt koostatud osa eest sellest umbkaudu 50%	26 460
10	Programmeerimine (60 € tund)	Töötundideks arvestatud 50 h	3000
	Ainult detailid	Ilma tööjõukuludeta	5112
		KOKKU:	34572

Arvestades kogukulusid mis seadme ehituseks läheb on see päris suur summa. Kõige suurema osa sellest maksumusest moodustab arenduskulud. Sellise testseadme puhul toimub esialgu väga palju disainimist arvutis, et saada enne detailide valmistamist võimalikult korrektne ja täpne arusaam, kuidas ja millised detailid kuskil peavad olema. Odavaim ja kiireim lahendus erinevate muudatuste tegemiseks on ka just arendus ja disaini loome faasis.

Seoses sellega, et ettevõtte tootmiskahtude avalikustamine ei ole selle lõputöö raames lubatud, siis on tasuvushindamist sellisele seadmele väga raske teha. On keeruline anda testimise protsessile mingisugune maksumus, kui seadet kasutatakse ka arendustegevuse käigus erinevate parameetrite määramiseks.

Näitena võib tuua võrdluseks, kui määrame tasuvusajaks 3 aastat ja ühel puhul testitakse 40 toodet ja teisel juhul 100 toodet kuus. Ümardame seadme maksumuse 35 000-ni.

Tabel 2.2 Kulude tabel

Tasuvusaeg	Tooteid ühes kuus	Tooteid ühes aastas	Kulu ühe toote kohta
3 a	40 tk	$12 \times 40 = 480$	$35\,000 / (480 \times 3) \approx 25 \text{ €}$
3 a	100 tk	$12 \times 100 = 1200$	$35\,000 / (1200 \times 3) \approx 10 \text{ €}$

Tabeli 4.2 põhjal on näha, et kui 3 aastase perioodi jooksul testitakse näiteks 40 toodet, siis kulu ühe toote kohta on ligikaudu 25 eurot ning 100 toote puhul 10 eurot.

KOKKUVÕTE

Selle lõputöö käigus arendati uus tööosade jäikuse mõõtmise testseadme prototüüp lahendus gastroenteroloogia protseduuridel ja veterinaarias kasutatavate painduvate endoskoopide jaoks ettevõttele Karl Storz Video Endoscopy Estonia OÜ. Põhiline alus arendustegevuseks tulenes ettevõttes kasutuses olevast testseadmest, mida analüüsiti.

Lõputöö esimeses osas tutvustati üldiselt endoskoopide ehitust ning kuidas neid kasutatakse. Lisaks sellele, analüüsiti protseduure, mida antud instrumentidega läbi viiakse. Analüüsi käigus toodi välja põhilised testkehade parameetrid, mida antud testseadme jaoks on vaja arvesse võtta.

Järgnevalt analüüsiti hetkel ettevõttes kasutuses olevat testseadet ning jäikuse mõõtmise protseduuri. Selleks toodi esimesena välja antud testseadme konstruktsioon ja kasutatavate detailide valik. Teiseks pandi kirja testseadme kasutusest ja testimiseprotsessist tulenevad probleemid. Esimese probleemina toodi välja olukord, kus vertikaalsuunalisel testimisel gravitatsioonijõud võib mõjutada testimise tulemusi. Teise probleemina kirjeldati olukorda, et antud testseadmega ei ole võimalik teostada mõõtmisi terve tööosa ulatuses. Kolmas probleem kirjeldas inimfaktori rolli mõõtetgevuses, mis võib samuti mõjutada testimise tulemusi. Probleemidest tulenevalt pandi kirja edasiarenduse lähteülesanne vastavalt probleemidele lahenduste leidmiseks ja nõuete täitmiseks.

Seejärel kirjeldati edasiarendusena loodud uue testseadme kontseptsiooni. Uue testseadme puhul toodi välja, et erinevus kasutuses oleva seadmega on päris suur, sest varasema vertikaalsuunalise testimise asemel teostatakse seda nüüd horontaalsuunaliselt ning sellest tulenevat muutus ka põhiraamistik. Siis tehti antud kontseptsiooni põhisõlmede analüüs. Edasiarenduse käigus võeti kasutusele uus mõõteseadme ning pneumaatikasüsteem, mis rakendas mõõteseadme testimiseks. Sellest tulenevalt oli seal ka mehaanikasõlmed, millele eraldi tähelepanu pöörati. Kuna antud lahendus ei täitnud päris kõiki ootusi, siis pandi kirja nõuded ja tingimused, et luua automatiseeritud mõõtmisega testseadme kontseptsioon.

Järgnevas alapeatükis koostati automatiseeritud mõõtmisega testseadme kontseptsioon ning teostati põhisõlmede analüüs. Esimesena kirjeldati lineaarliikumise sõlme, kus varasem manuaalse positsioneerimisega süsteem asendati motoriseeritud lineaarajamiga, mida juhib samm-mootor. Samm-mootor koos anduritega osutus sobilikus valikuks automaatselt konkreetsete positsioonide fikseerimiseks. Teisena kirjeldati nii pneumaatika kui samm-mootori juhtimist. Pneumaatikasüsteemis tuli

asendada ja lisada teatud komponendid, mis võimaldaksid juhtida testseadet automaatselt. Samm-mootori juhtimisel kirjeldati, millistel tingimustel ja mis positsioonil toimub mõõtetegevus ja lineaarliikumine. Kolmandana toodi välja muudatused mehaanikaosas, mis tulenesid automatiseerimise ülesande täitmisest. Põhilisteks osadeks olid seal uue tugirullikute süsteemi, tugiraamistikku, piirajate süsteemi ning külgsuunalise liikumise fikseerimise loomine.

Lisaks teostati elektroonika komponentide valik ning voolutarbimise arvutus, mille alusel leiti sobivad toiteallikad. Pärast kõikide komponentide leidmist valiti kogu elektroonika ja kasutajaliidese jaoks karbid.

Viimase peatükina teostati lõplikule testseadmele hinnakalkulatsioon, et saada teada, kui kulukas on sellise testseadme ehitus ning arendus. Arvutuste jaoks kasutati detailide puhul hinnapakumistena saadud hindasid ning tööjõukulud arvestati umbkaudselt, kui seda lasta teha teenusena.

Lõputöö käigus teostati antud testseadme esmane disain prototüübist. Paralleelselt lõputöö kirjutamiselega koostatakse vastavalt loodud disainile töös kirjeldatud prototüüp lahendust.

Antud lõputöö raames valminud disain ei ole lõplik lahendus testseadme loomisel, sest teatud mehaanikasõlmed on võimalik samuti automatiseerida ning integreerida üldise süsteemina toimima.

SUMMARY

During the thesis there was developed a new design for the shaft flexibility testing device prototype which are used for flexible endoscopes in gastroenterological and veterinary procedures for Karl Storz Video Endoscopy Estonia OÜ. The new design was mainly based on the existing device in the company which was analysed during the thesis.

In the first part of the thesis were generally introduced the construction of the endoscopes and how to use them. Additionally, the procedures were analysed which were performed with these instruments. During the analyses were pointed out main parameters of the shafts that need to be considered for this testing device.

In the following chapter, the existing test device and the testing procedure in the company were analysed. For this purpose, the construction of the testing device and the selection of the used details were presented. Secondly, the problems with the use of the testing device and the testing procedure were written. The first problem which was pointed out that the gravitational forces may be affect the test results in vertical testing. The second problem described was the situation that it is not possible to perform measurements on the entire shaft with this testing device. The third problem described was the role of the human factor during the testing which may also affect the test results. Due to the described problems, the task of the further development was written according to find solutions to the problems and meet the requirements.

Thereupon the concept of the new developed testing device was described. In the case of the new testing device, it was pointed out that the difference with the device in use is quite big, as it is now tested horizontally instead of the previous vertically performed test and according to this the main frame was changed. Then the analysis of the main points was performed. During the further development, new measuring device and a pneumatic system were taken into use. As a result of the changes, there were also mechanical parts and assemblies that needed to be paid attention. This solution did not meet all expectations and additional requirements and conditions were written to create the concept of the testing device with automated measuring.

In the next subsection, the concept of the testing device with automated measuring and analysis of the main points were performed. Firstly, a linear motion assembly was described as the previous system with manual positioning was replaced with motorised linear system which is controlled by a stepper motor. The stepper motor with sensors turned out to be good choice for fixing specific positions for measuring. Secondly, the control of the pneumatics and stepper motor were described. In the pneumatic system,

certain components had to be replaced and added to allow the testing device to be controlled automatically. In the case of stepper motor, the conditions and the positions for the measuring activity and the linear motion were described. Thirdly, the changes in the mechanical parts due to the performance of the automation task were pointed out. The main assemblies which were changed were the new system of support rollers, a support frame and a system with limiters to prevent shaft movement on the sides.

In addition, the selection of electronic components and the calculation of power consumption were performed after which suitable power supplies were found. After finding all the components, the boxes for all the electronics and user interface were selected.

As a final chapter, the price calculation for the final testing device was performed to find out how expensive the construction and development of such a testing device was. For the calculations, the prices for the details were used from the quotations and labour costs were calculated approximately if the development was done outside of the company.

During the thesis, the initial design of the testing device prototype was performed. In parallel with writing the thesis, a prototype solution of the described design was constructed.

The design which was made in the thesis is not final solution for the testing device, because certain mechanical assemblies can also be automated and integrated into general system.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Karl Storzi gastroenteroloogia instrumendid, 2022. [WWW] (07.02.2022)
<https://www.karlstorz.com/de/en/highlights-gi.htm?countryselect=de>
- [2] Jämesool, 2022. [WWW] (07.02.2022)
<https://my.clevelandclinic.org/health/body/22134-colon-large-intestine>
- [3] Kolonoskoopia protseduuri kirjeldus, 2020. [WWW] (10.02.2022)
<https://www.mayoclinic.org/tests-procedures/colonoscopy/about/pac-20393569>
- [4] Pilt soolestikust, 2022. [WWW] (10.02.2022)
<https://www.opiq.ee/kit/280/chapter/16807>
- [5] Pilt jämesoole sisemusest, 2013. [WWW] (10.02.2022)
<https://fineartamerica.com/featured/2-large-intestine-david-m-martin-md.html>
- [6] H.Joonas, Gastroenteroloogiliste endoskoopide testseade Karl Storz Video Endoscopy Estonia OÜ-le, Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, 2018.
- [7] Karl Storzi gastroenteroloogia instr. kataloog, 2016. [WWW] (15.02.2022)
https://www.karlstorz.com/cps/rde/xbcr/karlstorz_assets/ASSETS/3331565.pdf
- [8] Karl Storzi veterinaarinstr. kataloog, 2021. [WWW] (15.02.2022)
https://www.karlstorz.com/cps/rde/xbcr/karlstorz_assets/ASSETS/3331206.pdf
- [9] Polütetrafluoreteen (PTFE), 2022. [WWW] (17.04.2022)
<https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/polytetrafluoroethylene-ptfe-fluoropolymer>
- [10] PTFE tehniline info, 2022. [WWW] (17.04.2022)
<https://www.smithmetal.com/pdf/plastics/ptfe.pdf>

- [11] Dünamomeeter Alluris FMI-100B5. [WWW] (20.04.2022).
https://alluris.de/media/fmi-100_EN.pdf
- [12] L.Trunin, *Walemid* 2. trk, Raudwara, 2015.
- [13] *Reverse engineering* mõiste, 2021. [WWW] (21.04.2022)
<https://www.techtarget.com/searchsoftwarequality/definition/reverse-engineering>
- [14] Dünamomeeter Alluris FMI-B50B5. [WWW] (21.04.2022)
<https://alluris.de/en/product/force-gauges/FMI-B50>
- [15] Pneumosilinder DFM-25-50-P-A-KF datasheet, 2022. [WWW] (21.04.2022)
<https://www.festo.com/us/en/a/download-document/datasheet/170926/>
- [16] Pneumaatiline suunaventiil VUWG-L10-B52-M5, 2022. [WWW] (21.04.2022)
<https://www.festo.com/ee/en/a/download-document/datasheet/573809>
- [17] Pneumaatiline taimer PZVT-3-SEC, 2022. [WWW] (21.04.2022)
<https://www.festo.com/ee/en/a/download-document/datasheet/158495>
- [18] Polyjet 3D-printimise tehnoloogia, 2019. [WWW] (25.04.2022)
<https://all3dp.com/2/polyjet-3d-printing-technologies-simply-explained/>
- [19] Polüuretaanvaik, 2020. [WWW] (25.04.2022)
<https://resin-expert.com/en/guide/polyurethane-resin>
- [20] FFF 3D-printimise meetod, 2018. [WWW] (25.04.2022)
<https://www.bcn3d.com/introduction-fff-technology-3d-printing-important-parameters/>
- [21] Tough PLA materjali info, 2022. [WWW] (25.04.2022)
<https://support.ultimaker.com/hc/en-us/articles/360012759599-Ultimaker-Tough-PLA-TDS>

- [22] IGUS lineaarjuhikusüsteemi konfiguraator, 2022. [WWW] (28.04.2022)
<https://drylin-drive-technology-configurator.igus.tools/requirements>
- [23] IGUS drylin mootorite valik, 2022. [WWW] (28.04.2022)
<https://www.igus.ee/e-motors/electric-motors>
- [24] IGUS drylin draiverite valik, 2022. [WWW] (28.04.2022)
<https://www.igus.eu/info/motor-control-system-drylin-e>
- [25] Festo suunaventiil VUVG-L10-B52-T-M5-1R8L, 2022. [WWW] (30.04.2022)
<https://www.festo.com/ee/en/a/download-document/datasheet/576664>
- [26] Festo andur SMT-8M-A-PS-24V-E-0,3-M8D, 2022. [WWW] (30.04.2022)
<https://www.festo.com/ee/en/a/download-document/datasheet/574334>
- [27] Festo ühenduspistik NEBU-M8G3-K-5-LE3, 2022. [WWW] (30.04.2022)
<https://www.festo.com/ee/en/a/download-document/datasheet/541334>
- [28] R.Gomeringer, M. Heinzler, R. Kilgus et al., tõlkija: A. Hermaste, tõlkijad ja toimetajad: P. Kulu, T. Otto, P. Põdra. *Mehaanikainseneri käsiraamat*. Tallinna Tehnikaülikooli kirjastus, 2022.
- [29] Poltide tugevusandmed, 2018. [WWW] (02.05.2022)
<https://www.hariduskeskus.ee/opiobjektid/masinaelemendid/userfiles/downloads/Poltide%20tugevusandmed..pdf>
- [30] IGUS Iglidur JSM-0304-09, 2022. [WWW] (04.05.2022)
<https://www.igus.ee/product/3?artNr=JSM-0304-09>
- [31] POM-C tehniline info, 2019. [WWW] (04.05.2022)
<https://www.aikolon.fi/en/products/engineering-plastics/pom-c>
- [32] Arduino Mega 2560 Rev3 datasheet, 2021. [WWW] (05.05.2022)
<http://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3>

- [33] Raspberry Pi 4 datasheet, 2021. [WWW] (05.05.2022)
<https://datasheets.raspberrypi.com/rpi4/raspberry-pi-4-product-brief.pdf>
- [34] Raspberry Pi Touch Display datasheet, 2021. [WWW] (05.05.2022)
<https://datasheets.raspberrypi.com/display/7-inch-display-product-brief.pdf>
- [35] BOPLA alu-topline kataloog, 2022. [WWW] (05.05.2022)
https://www.bopla.de/fileadmin/product_data/00_the_red_book/alu-topline_en.pdf
- [36] BINDER 09-0473-80-08 pistik, 2021. [WWW] (05.05.2022)
- [37] Voolu pealüliti, 2022. [WWW] (05.05.2022)
https://datasheet.eaton.com/datasheet.php?model=038873&locale=en_GB
- [38] .csv failitüüp, 2018. [WWW] (06.05.2022)
<https://www.howtogeek.com/348960/what-is-a-csv-file-and-how-do-i-open-it/>
- [39] Mean Well RD-35, 2022. [WWW] (06.05.2022)
<https://www.meanwell.com/webapp/product/search.aspx?prod=RD-35>
- [40] Mean Well RD-125, 2022. [WWW] (06.05.2022)
<https://www.meanwell.com/webapp/product/search.aspx?prod=RD-125>
- [41] Bopla Intertego karp, 2022. [WWW] (06.05.2022)
<https://www.bopla.de/en/enclosure-technology/product/intertego/2-u/it-102520.html>

LISAD

Lisa 1 Testitulemuste protokoll blankett

Töökäsk nr.:	
Kuupäev:	

Partii:	
Töötaja:	

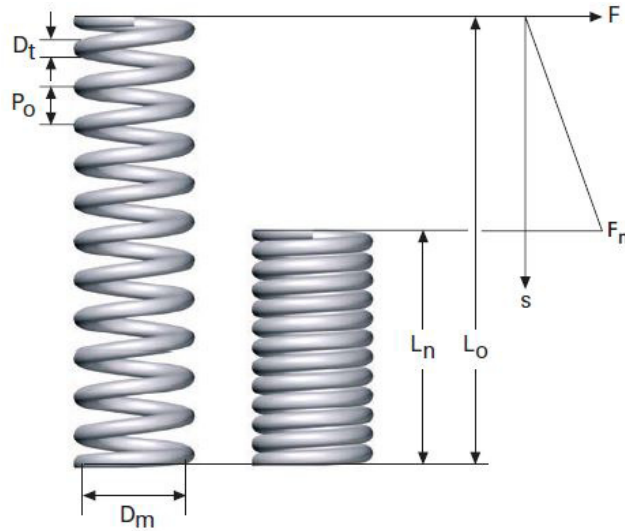
PROTOKOLL
5,21 ... 6,33 (N)

Jrk. nr.	4		6		8		Keskmine 10 s	OTSUS
	Maks jõud (N)	10 sekundit (N)	Maks jõud (N)	10 sekundit (N)	Maks jõud (N)	10 sekundit (N)		
1							0,00	---
2							0,00	---
3							0,00	---
4							0,00	---
5							0,00	---
6							0,00	---
7							0,00	---
8							0,00	---
9							0,00	---
10							0,00	---
11							0,00	---
12							0,00	---
13							0,00	---
14							0,00	---
15							0,00	---
16							0,00	---
17							0,00	---
18							0,00	---
19							0,00	---
20							0,00	---
21							0,00	---
22							0,00	---
23							0,00	---
24							0,00	---
25							0,00	---
26							0,00	---
27							0,00	---
28							0,00	---
29							0,00	---
30							0,00	---

Lisa 2 Lesjöfors survevedru andmeleht

LESJÖFORS

STOCKHOLMS FJÄDER AB



Part number

1158

Description

CS 0,25X3,4X15

Product Attribute	Ref.	Value
Material Code	Mtr	EN 10270-1 SH
Wire diameter	Dt	0,25 mm
Inner diameter, min	Di min	3,00 mm
Free length	L0	15 mm
Total number of coils	nt	10,2 pcs
Max loaded length compression	Ln	3,6 mm
	Fn	1,4 N
Rate	R	0,12 N/mm
Mean diameter	Dm	3,40 mm

Created: 2022-05-13 00:14:31

Address: Lesjöfors Gas & Stock Springs
Jämtlandsgatan 62
162 60 Vällingby
Sweden

Phone: +46 (0)8 - 87 02 50
Fax: +46 (0)8 - 87 63 50
Email: info.vby@lesjoforsab.com

Lisa 3 joonised (graafiline osa)