



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
MEHAANIKATEADUSKOND

Mehhatroonikainstituut

Mehhatroonikasüsteemide õppetool

MH70LT

Stemo Ojavee

**TESTSEADME PROJEKTEERIMINE TOOTE
NUPPUDE VASTUPIDAVUSE TESTIMISEKS**

Autor taotleb

tehnikateaduse magistri

akadeemilist kraadi

Tallinn
2014

AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus.

Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Töös kasutatud kõik teiste autorite materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis Mart Tamre juhendamisel

“.....”.....201...a.

Töö autor

..... allkiri

Töö vastab magistritööle esitatavatele nõuetele.

“.....”.....201...a.

Juhendaja

..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.

..... eriala/õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“.....”.....201... a.

..... allkiri

MAGISTRITÖÖ ÜLESANNE

2014 aasta 6 semester

Üliõpilane: Stemo Ojavee 111334
Õppekava: MAHM02/09
Eriala: Mehhatroonika
Juhendaja: Mehhatroonikainstituudi direktor, Mart Tamre

MAGISTRITÖÖ TEEMA:

Testseadme projekteerimine toote nuppude vastupidavuse testimiseks
Test equipment design for button endurance test

Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1	Kliendi nõuetega tutvumine ja kontseptsiooni loomine	1.02.2013
2.	Pneumaatika valik ja projekteerimine	1.04.2013
3.	Mehaanilise lahenduse projekteerimine	1.05.2013
4.	Testseadme koostamine	1.06.2013
5.	Tarkvara disain ja kirjutamine	1.09.2013
6.	Testseadme seadistamine ja testimine	1.11.2013
7.	Maksumuse hindamine	1.05.2014

Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid: Arendusobjektiks on testseade Volvo veoki juhtpuldi nuppude vastupidavuse hindamiseks vastavalt kliendi nõuetele. Lõpplahendus peab olema terviklik (mehaanika, pneumaatika ja tarkvara) ja aktsepteeritud Volvo poolt. Mehaaniliselt peab olema võimalik vajutada puldi nuppe erinevate nurkade sihis ja nurkade vahetus peab olema reguleeritav ja tarkvaraliselt peab olema võimalik jälgida nuppude aktiveerimist üle LIN protokoll. Samuti peab olema statistiliselt kontrollitud silindripoolt rakendatav jõud 300 000 vajutuse piires.

Töö keel: Eesti keel

Kaitsmistaotlus esitada hiljemalt 12.05.2014

Töö esitamise tähtaeg 22.05.2014

Üliõpilane Stemo Ojavee

/allkiri/

kuupäev.....

Juhendaja Mart Tamre

/allkiri/

kuupäev.....

SISUKORD

MAGISTRITÖÖ ÜLESANNE.....	3
SISUKORD.....	5
SELEDE NIMEKIRI	7
TABELITE NIMEKIRI.....	9
GRAAFIKUTE NIMEKIRI.....	9
EESSÕNA.....	10
LÜHENDITE SELGITUSED.....	11
1. SISSEJUHATUS	12
2. PROJEKTEERIMINE	14
2.1. Testsüsteemile esitatud nõuded.....	14
2.1.1. Kliendi nõuded testitavale tootele.....	14
2.1.2. Lisa nõuded.....	16
2.2. Alternatiivsed testsüsteemid.....	16
2.3. Pneumaatiline kontseptsioon ja seadmete valik	18
2.3.1. Pneumaatiline kontseptsioon	18
2.3.2. Kasutatavad pneumaatilised seadmed.....	19
2.4. Mehaaniline kontseptsioon ja lahendus.....	20
2.4.1. Mehaaniline kontseptsioon	20
2.4.2. Külgplaatide disain	21
2.4.3. Toote kinnitusplaadi disain	24
2.4.4. Toote kinnitusraami disain.....	25
2.4.5. Silindrite kinnitusplaadi disain	26
2.4.6. Alusplaadi disain.....	28
2.4.7. Silindri otsad ja mudeli koost	28
2.5. Elektroonika ja kommunikatsioon	30

2.5.1.	Elektroonika põhimõtte skeem	30
2.5.2.	Maatriks moodul	31
2.5.3.	NI DAQ Moodul ja rõhureleed	32
2.5.4.	LIN Moodul ja kommunikatsiooni protokoll.....	33
2.6.	Tarkvara kontseptsioon ja lahendus	36
2.6.1.	Tarkvara eesmärgid.....	36
2.6.2.	Tarkvara üldine struktuur.....	36
2.6.3.	Toimingu 1 analüüs.....	38
2.6.4.	Toimingu 2 analüüs.....	39
2.6.5.	Tarkvara loomise keskkond	40
2.6.6.	Tarkvara lahendus	40
2.6.7.	Kasutajaliidese kirjeldus	43
2.7.	Testseadme lõplik koost	45
3.	SILINDRI JÕUDUDE SEADISTAMINE JA TESTIMINE	47
3.1.	Silindri jõudude seadistamine ja määramatuse hindamine	47
3.2.	Rõhuandurite seadistamine	53
3.3.	Testseadme suutlikkuse analüüs.....	54
3.3.1.	Testseadme suutlikkuse vajalikkus	54
3.3.2.	Katseandmete valik.....	54
3.3.3.	Testi protsessi ohje hindamine.....	54
3.3.4.	Protsessi normaaljaotisele vastavuse kontroll.....	56
3.3.5.	Protsessi suutlikkuse indikaatorid.....	57
4.	MAKSUMUSE HINDAMINE.....	59
4.1.	Arendustöö maksumus	59
4.2.	Materjalide ja seadmete maksumus.....	60
4.3.	Kogu maksumus	61
	KOKKUVÕTE	62

SUMMARY	65
KASUTATUD KIRJANDUS	68
LISAD	71
Lisa 1. Külgplaadi tööjoonis	71
Lisa 2. Kinnitusplaadi tööjoonis	72
Lisa 3. Toote kinnitusraami tööjoonis	73
Lisa 4. Silindrite kinnitusplaadi tööjoonis	74
Lisa 5. Alusplaadi tööjoonis	75
Lisa 6. Tarkvara kood	76
Lisa 7. Koormuselemendi kalibreerimistulemused.....	82
Lisa 8. DAQ6008 kalibreerimistulemused	84
Lisa 9. Testseadme instruksioon.....	87

SELEDE NIMEKIRI

Sele 2.1. Testitav Volvo juhtpult (versioon RCECS)	14
Sele 2.2. Testitav Volvo toode (versioon LECM)	14
Sele 2.3 Nupuvajutuse sihi nurgad.....	15
Sele 2.4. Nokia telefonide testseade [10].....	16
Sele 2.5. Nupuvajutuse testseade	17
Sele 2.6. Pneumaatiline skeem n-silindri juhtimiseks	19
Sele 2.7. Silindri olulisemaid moodsid	20
Sele 2.8. Kontseptsiooni eskiis	20
Sele 2.9. Toote tšenter erinevate vajutusnurkade juures.....	21
Sele 2.10. Nuppude kõrgus toote alumisest pinnast	22
Sele 2.11. Nuppude keskpunktide nihked maksimaalsel pöördel.....	22
Sele 2.12. Külgplaat koos pöörleva toote kinnitusplaadi eskiisiga.....	23
Sele 2.13. Toote kinnitusplaat koos tootega	24
Sele 2.14. Kinnitusplaadi aste.....	25
Sele 2.15. Toote kinnitusraam	26

Sele 2.16. Nuppude asukohad	26
Sele 2.17. Silindrid koos drosseliga	27
Sele 2.18. Silindri kinnitusplaat koos liigutatavate silindritega.....	27
Sele 2.19. Silindri otsad (vasakul on kummist kate).....	28
Sele 2.20. Lõplik mudeli koost	29
Sele 2.21. Elektroonika plokk skeem.....	30
Sele 2.22. Maatiks mooduli elektriskeem [17]	31
Sele 2.23. Suunaventilide juhtimiseks kasutatav elektriline ühendus	31
Sele 2.24. Rõhurelee elektriskeem [18]	32
Sele 2.25. DAQ elektriline ühendus	32
Sele 2.26. LIN andmeedastuse raamistik [19]	33
Sele 2.27. D-SUB konnektor ja LIN moodul.....	34
Sele 2.28. Programmi üldine struktuur	37
Sele 2.29. Toimingu 1 plokk skeem.....	38
Sele 2.30. Toimingu 2 plokk skeem.....	39
Sele 2.31. Alamfunktsioonide hierarhia.....	40
Sele 2.32. Toimingu 1 alamfunktsioonid	41
Sele 2.33. Toimingu 2 alamfunktsioonid	42
Sele 2.34. Testiga seotavad parameetrid (vasakul: testimine koos rõhuandurite tagasisidega; paremal: test ilma rõhuandurite tagasisideta)	43
Sele 2.35. Vasak: pidev informatsioon testi kulgemise kohta; parem: riistvara valikud ja jooksev informatsioon andmeside kohta.....	44
Sele 2.36. Lisasilindrite aktiveerimine.....	44
Sele 2.37. Testseade	45
Sele 2.38. Lisatud seibid ja tekkinud lõtk	46
Sele 2.1. Seadistamine (Vasak: Testi ülesehitus; Paremal: silinder aktiveeritud asendis koos kummist otsaga ja ilma)	47
Sele 2.2. Silindri jõugraafik koos kummist katetega sõltuvalt ajast Newtonites	49
Sele 2.3. Silindri jõugraafik ilma kummist kateteta sõltuvalt ajast Newtonites	50
Sele 2.4. Rõhuandurite seadistamine	53
Sele 2.5. Protsessi histogramm ja tõenäosuse diagramm.....	57

TABELITE NIMEKIRI

Tabel 2.1. Kliendi esialgsed ja lõplikud nõuded.....	15
Tabel 2.2. Täispika sõnumi kirjeldus (<i>Master</i> edastab <i>slave</i>).....	34
Tabel 2.3. Nuppude aktiveerimiste päringud ja vastused versioonile LECM	35
Tabel 2.4. Nuppude aktiveerimiste päringud ja vastused versioonile RCECS.....	35
Tabel 2.5. Toimingu 1 alamfunktsioonide kirjeldus	41
Tabel 2.6. Toimingu 2 alamfunktsioonide kirjeldus	42
Tabel 2.1. Silindri jõudude seadistamiseks kasutatavad seadmed	47
Tabel 2.2. Silindri jõud seadistamise katseandmed	48
Tabel 2.3. Silindrijõudude mõõdised tööpiirkonna läheduses	51
Tabel 3.1. testseadme arendusele kulunud aeg ja maksumus kuude lõikes.....	59
Tabel 3.2. Seadmete ja materjalide maksumus	60

GRAAFIKUTE NIMEKIRI

Graafik 2.1. silindri jõudude varieeruvus	55
Graafik 2.2. Silindri jõudude väärtused	56

EESSÖNA

Käesolev lõputöö on koostatud Stemo Ojavee poolt. Lõputöö teema sai aktuaalseks kui selgus, et Stoneridge Electronics AS [1] hakkab tootma Volvo veokitele amortisaatoreid juhtivat pulti. Tootja üheks kohustuseks on veenda klienti selles, et toode mida tootma hakatakse vastab kõigile seatud nõuetele ja seda tõestatakse erinevate testide läbiviimisega. Antud konkreetne lõputöö teema „Testseadme projekteerimine toote nuppude vastupidavuse testimiseks“ saigi valitud, kuna Stoneridge Electronicsis töötades tegeleb töö autor nii toodete testimise kui ka testseadmete arendusega ja antud testseade oli üheks töökohustuseks, mis sisaldab endas kõiki peamisi mehhatroonika õppekavasse kuuluvaid valdkondi: mehaanika-, elektroonika-ja tarkvaraarendust. Sellest tulenevalt oligi võimalus lõputöö siduda reaalse arendusprojektiga.

Töö on valminud Stoneridge Electronics Tallinna testilaboris koostööna Rootsis paiknevate valideermise inseneridega. Siinkohal tahaksin tänada Taavi Reinsonit, kes on aidanud kaasa testseadme valmimisele.

LÜHENDITE SELGITUSED

FSC A – Funktsionaalsuse klass, mis on defineeritud ISO 16750-1. Tootel peab olema täielik funktsionaalsus enne testi, testi ajal ja peale testi

FSC C – Funktsionaalsuse klass, mis on defineeritud ISO 16750-1. Tootel peab olema täielik funktsionaalsus enne testi, funktsionaalsus testi ajal ei ole oluline ja peale testi peab toode taas olema funktsionaalne

DAQ – Data acquisition ehk andmehõive

LIN – Local Interconnect Network, odav alternatiiv CAN kommunikatsioonile

Master – LIN protokollis kasutatav juhtseade, mis kontrollib maksimaalselt 16 seadet

Slave – LIN protokollis kasutatavad seadmed, mida juhib peaseade ehk *master*

UCL – Ülemine kontroll limiit

LCL – Alumine kontroll limiit

USL – Ülemine spetsifitseeritud limiit

LSL – Alumine spetsifitseeritud limiit

ID – Identifitseerimise number

1. SISSEJUHATUS

Autotööstuses peab iga kasutatav toode ja detail vastama kindlatele standarditele ja kvaliteedinõuetele, mis on määratletud nii riiklikul tasemel kui ka iga autotootja enda kvaliteedinõuetest tulenevalt. Aastast aastasse on autotootjate nõudmised muutunud nõudlikumaks, et pakkuda pikemaid garantiisid tagades auto pikemat eluiga ja suuremat lõpptarbija rahulolu.

Sellest tulenevalt tuleb igat tarnitavat toodet enne tootmise alustamist testida vastavalt kliendi poolt etteantud spetsifikatsioonile. Antud töö eesmärgiks ongi projekteerida testseade, mis kontrollib Volvo veoauto amortisaatorite juhtimiseks mõeldud puldi nuppude eluajale seatud nõuetele vastavust. Iga juhtpuldi nupp peab vastu pidama vähemalt 300 000 vajutust. Teisisõnu tähendab see seda, et toote ei tohi olla peale testi läbimist mehaaniliselt kahjustatud, lubatud on ainult nuppude pindmise kihi kulumine. Sarnaselt mehaanilistele vigastustele ei tohi olla ka ühtegi tarkvaralist eksimust ehk toote funktsionaalsus peab säilima kogu testi ulatuses ja peale testimist peab toode läbima spetsiaalse funktsionaalsuse testi. Testseadet on võimalik kasutada ka tootearendusega paralleelsete testide teostamiseks, et koguda informatsiooni toote parenduste läbiviimiseks nii mehaanika-, riistvara- kui ka tarkvarainseneride poolt.

Lõputöö on jaotatud kolme erinevasse osasse, millest esimeses kirjeldatakse testseadme projekteerimist. Projekteerimine jaguneb omakorda mitmeks väikeseks alamosaks kirjeldades testseadmele esitatud nõudeid, mehhaanilise lahenduse kontseptsiooni, pneumaatilist lahendust, arvuti ja tootevahelist kommunikatsiooni, elektroonikaseadmete põhimõttelist ülesehitust, tarkvara ülesehitust ja selle alamfunktsioone. Teises osas on analüüsitud valminud testseadme silindrite poolt rakendatava jõu väärtust tööpunktis, milles antud testi teostatakse ja leitakse ka selle jõu määramatuse hinnang. Kolmandas ehk kõige viimases peatükis hinnatakse testsüsteemi kogumaksumust, mis sisaldab endas nii arenduse kui ka seadmete maksumust

Testseadme mehaaniliste komponentide projekteerimiseks on kasutatud SolidWorks tarkvara [2], milles seade on modelleeritud. Pneumaatiline skeemi testseadme koostamiseks on joonestatud kasutades Festo tarkvara FluidSim [3] ja testseadme tarkvara silindrite juhtimiseks ja tootest tagasiside lugemiseks on kasutatud LabVIEW programmeerimise keskkonda [4], milles on kasutatud järgnevaid lisapakette:

SWITCH moodul [5] – releede-, maatriksmoodulite juhtimiseks

CAN moodul [6] – *driver* tootest tagasiside saamiseks üle LIN protokoll

Mõõtemääramatuse hindamise käigus kogutud andmete salvestamiseks on kasutatud samuti LabVIEW keskkonda ja töötlemiseks Microsoft Exceli [7] ja Minitabi keskkonda [8]. Minitab on statistiliseks andmetöötluks mõeldud programm.

Riistavarana on põhiliselt kasutatud erinevad National Instrumenti moduleid, millega juhitakse silindreid, saadakse tagasisidet rõhuanduritest ja suheldakse tootega. Pneumaatilistest seadmetest on kasutusel Festo [9] poolt tarnitud tooted: silindrid, terminal, rõhuandurid ja teised vajaminevad komponendid.

Lõputöö lisades on ära toodud testsüsteemi käigus tehtud detailide joonised, lisatud kogu testsüsteemile loodud tarkvara kood ja ka silindrijõudude seadistamisel kasutatud mõõteseadmete kalibreerimise raportid.

2. PROJEKTEERIMINE

2.1. Testsüsteemile esitatud nõuded

2.1.1. Kliendi nõuded testitavale tootele

Kliendi poolt on tarnijale edastatud dokument, mis sisaldab informatsiooni tootele seatud nõuetest, sisaldades ka esialgset informatsiooni toote valideerimise käigus nõutavatest testidest, mille toode peab läbima. Testitavateks toodeteks on kahte eriversiooni tooted (vt. Sele 2.1 ja Sele 2.2).



Sele 2.1. Testitav Volvo juhtpult (versioon RCECS)



Sele 2.2. Testitav Volvo toode (versioon LECM)

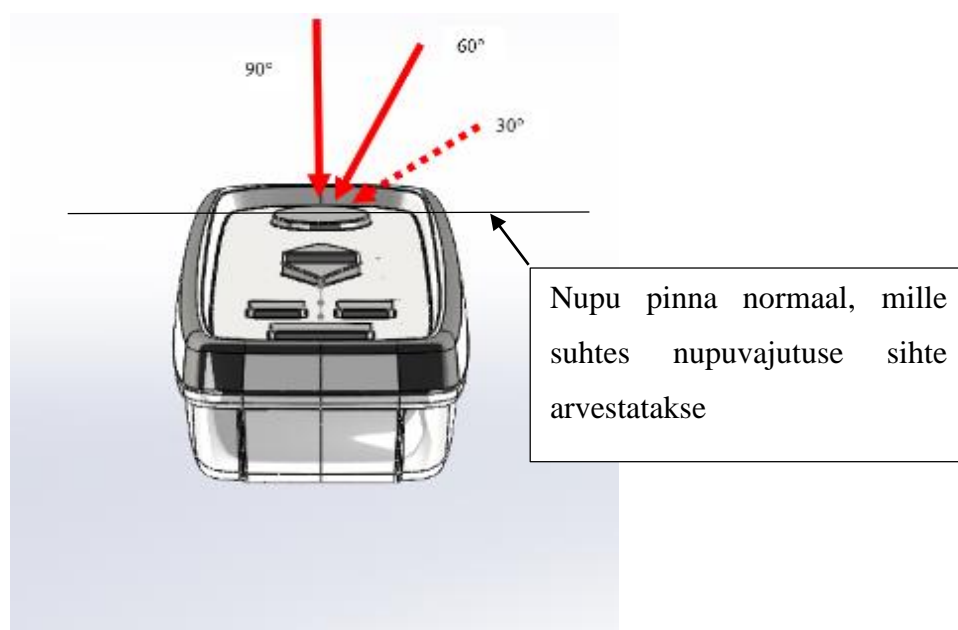
Antud dokumendi alusel koostab valideerimise eest vastutav isik testi spetsifikatsiooni, mille klient üle vaatab ja rahulolu korral kinnitab. Tarnija poolt koostatud spetsifikatsioon võib erineda kliendi poolt antud nõuetest, kuid need nõuete erinevused tuleb kliendiga kooskõlastada. Tabel 2.1 kirjeldab esialgsete ja lõplike nõuete erinevusi.

Tabel 2.1. Kliendi esialgsed ja lõplikud nõuded

	Esialgsed nõuded	Lõplikud nõuded
Tsüklite arv	300 000 vajutust	300 000 vajutust
Vajutuse nurgad (nurk on nupu tasapinna suhtes vt. Sele 2.3)	90° ja 30°	90° ja 60°
Vajutuse jõud	28±5 N	28±5 N
Lubatud sisemised kahjustused	Ei tohi olla	Ei tohi olla
Lubatud välised kahjustused	Väiksed kahjustused võivad olla (pinna kulumine)	Väiksed kahjustused võivad olla (pinna kulumine)
Funktsionaalsus klass	FSC C	FSC A

Tabel 2.1 põhjal on näha, et lõpliku testi spetsifikatsiooni juures on tehtud kaks olulist muudatust:

- 1) Nupuvajutuse sihi nurk toote suhtes on muutunud 30° -> 60°. Muudatuse peamiseks põhjuseks on asjaolu, et 30° nurga all on väga ebamugav toote nuppe testida ja ka realses elus ei toimu vajutused reeglina sellise nurga alt. Klient on sellise muudatusega nõus.
- 2) Funktsionaalsuse klass on muudetud FSC C -> FSCA A. See tähendab, et toode peab olema funktsionaalne kogu testi ulatuses ja iga nupuvajutust tuleb tarkvaraliselt kontrollida.



Sele 2.3 Nupuvajutuse sihi nurgad

2.1.2. Lisa nõuded

Lisaks eelpool mainitud nõuetele on testseadme üheks eesmärgiks ka seda taaskasutada tulevikus uute toodete testimisel. Selle tõttu peab olema võimalus testseadme komponente modifitseerida nii, et sellega oleks võimalik testida tooteid, mille nuppude arv ja nuppude asetus on erinev antud töös vaadeldavast juhtpuldist. Nupu vajutamise sihi nurgad peavad olema seadistatavad suurustele 90°, 60°, 45° ja 30°.

2.2. Alternatiivsed testsüsteemid

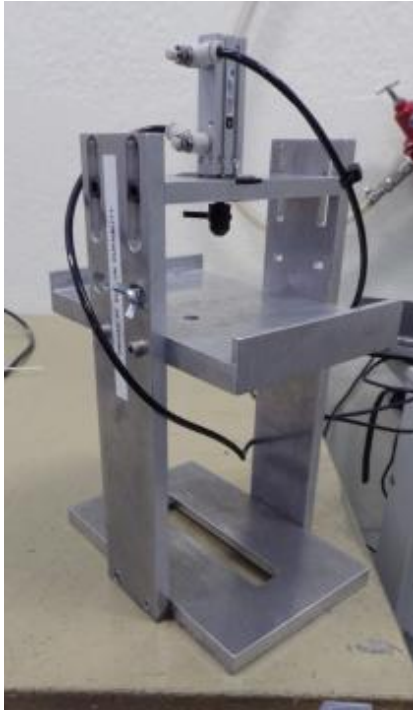
Sarnaseid teste teostatakse laialdaselt ka teistes valdkondades, näiteks mobiilitööstuses, kus nupud peavad oma eluaja jooksul väga palju vajutusi taluma. Sele 2.4 on nähtav testseade Nokia mobiiltelefoni nuppude vastupidavuse testimiseks. Põhimõtteline lahendus, kasutada nupuvajutusteks pneumaatilisi silindreid on aga väga sobiv, kuna pneumaatiliste silindrite liikumiskiirust ja jõudu on võimalik muuta. Pneumaatiliste silindrite alternatiivina on võimalus kasutada ka solenoide, mille puhul ei ole vaja kasutada suruõhku, kuid solenoidide suureks miinuseks on nende vähene kiiruse ja jõu reguleeritavus.



Sele 2.4. Nokia telefonide testseade [10]

Nupu vastupidavuse teste on tehtud ka varem Stoneridge Electronicsis, kus on testitud veoauto võtmepuldi nuppe vt. Sele 2.5. Antud testseadme miinuseks on asjaolu, et igat nuppu testitakse eraldiseisvalt, mis tähendab, et testi teostamiseks kulub tunduvalt rohkem aega, kui nuppude üheaegsele vajutamisele. Nuppude eraldiseisev testimine tuleneb sellest, et varasemalt on

nuppe vajutatud kordades vähem kui antud töös valmiva testseadmega tehtavas testis (300 000 vajutuse asemele vajutati varem nuppe 60 000 korda). Lisaks ei ole varasemalt nõutud toote nuppude vajutamist erinevate nurkade sihis, mis muudab testseadme konstruktsiooni keerukamaks.



Sele 2.5. Nupuvajutuse testseade

Üldise kontseptsiooni poolest on kirjeldatud lahendus väga sobiv, kergesti on võimalik muuta silindrikinnitusplaadi kaugust tootest ja kasutusel on pneumaatiline silinder koos drosselitega, mis võimaldab reguleerida silindrivajutus jõudu (muutes sisend rõhku), piirata silindri liikumise kiirust (pehmedades silindri lööki nupule).

2.3. Pneumaatiline kontseptsioon ja seadmete valik

2.3.1. Pneumaatiline kontseptsioon

Toote igat nuppu on mõistlik vajutada iseseisva pneumaatilise silindriga, see tagab olukorra, kus igat nuppu saab testida vajadusel eraldiseisvana ja nuppude erinevad kaugused silindrite kinnitusplaadist on kompenseeritavad kolvivarre väljaliikumisega silindrist. Oluline on see, et maksimaalsel kolvivarre väljaliikumisel on toote nupp vajutatud ehk aktiveeritud asendis, kolvivarre peatub kui nupu poolt rakendatav vastupanujõud võrdsustub silindris oleva rõhu poolt tekitatud jõuga. Selline lähenemine lihtsustab ka mehaanilist lahendust, kuna ei ole vaja konstrueerida keerulist süsteemi, kus ühe silindri abil vajutatakse mitut eritasapinnal olevat nuppu.

Testseadme juures on mõistlik kasutada kahepoolse toimega silindreid, kuna silindri teoreetiliselt rakendatav jõud peab olema konstantne kogu kolvivarre liikumise ulatuses. Ühepoolse toimega silindri kolvivarre poolt rakendatavas jõus mängib olulist rolli vedru (vt. valem 2.1), mille tõttu see jõud ei ole konstantne kogu liikumise ulatuses (valem 2.2) [11].

$$F_{teor}^+ = p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} - F_{vedru}^+ \quad (2.1)$$

kus F_{teor}^+ – Silindri poolt rakendatav jõud

p – õhurõhk silindris

D – Silindri kolvi diameeter

$$F_{vedru}^+ = k \cdot \Delta l, \quad (2.2)$$

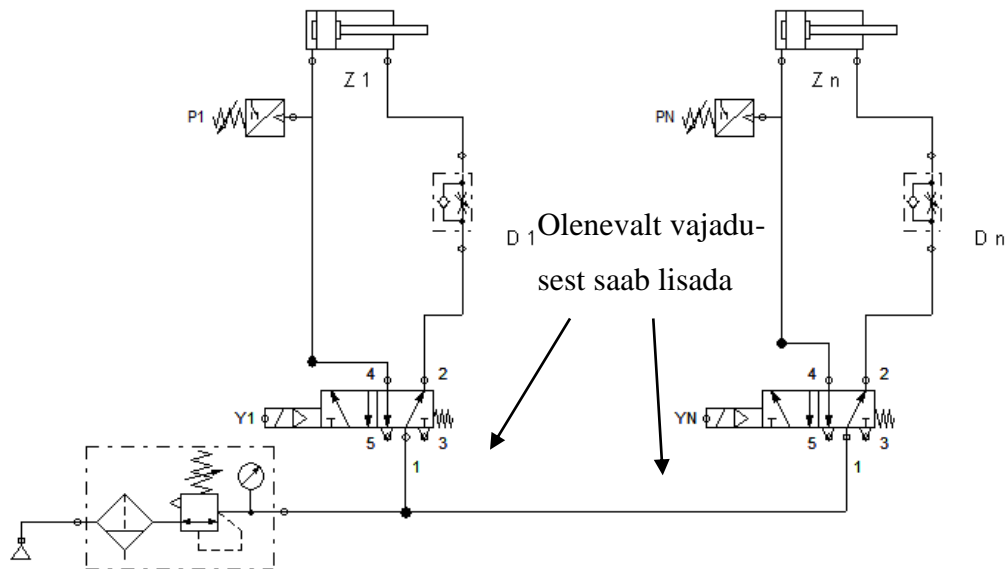
kus F_{vedru}^+ – vedru poolt rakendatav vastupanujõud sõltub vedru kokku surumisest

k – vedru jäikustegur

Δl – vedru pikkuse muutus

Kõikide silindrite liikumise kiirused peavad olema reguleeritavad, mille tõttu on silindrist väljuva õhuvoolu hulga reguleerimiseks lisatud drosselid. Kuna silindrite tagasi liikumise kiiruste reguleerimine ei ole oluline, siis drosseleid silindrite ette ei lisata. Silindrite poolt rakendatavate jõudude reguleerimiseks kasutatakse jaotiterminali ees rõhuregulaatorit ja lisaks on kasutatud rõhuandureid, mis takistavad silindrite jõudude väärtuste kasvamist üle lubatud piirlimiidi. Rõhuandurite aktiveerumisel edastatakse vastav signaal juhtarvutisse, mis vabastab

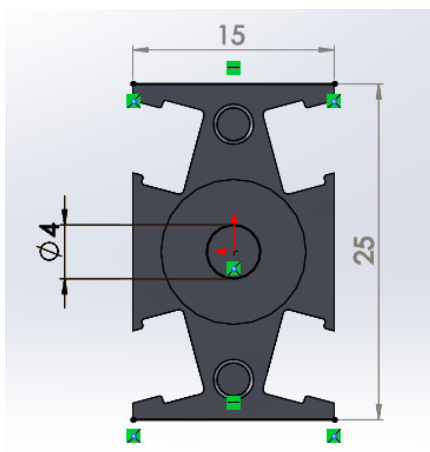
vastava silindri automaatselt. Silindreid juhitakse 5/2 suunaventiilidega, kuna kasutavad silindrid on kahepoolse toimega. Sele 2.6 on kirjeldatud on pneumaatiline keem n-silindri juhtimiseks, mida antud töö raames rakendatakse.



Sele 2.6. Pneumaatiline skeem n-silindri juhtimiseks

2.3.2. Kasutatavad pneumaatilised seadmed

Esmalt valitakse kasutatavad silindrid, see on väga oluline kuna testitava toote nupud asuvad lähestikku ja võib tekkida olukord, kus kaks silindrit ei mahu teineteise kõrvale ära. Silindrid on valitud Festo tootekataloogist [12]. Kõige kompaktsemate silindrite mõõdud, mida tava tootevalikust leida on võimalik, on kirjeldatud Sele 2.7. Valitud silindrite maksimaalne lubatud vajutusjõud on 48 N, mis on tunduvalt suurem, kui antud töös loodava testseadme jaoks planeeritud ja kolvivarre väljaliikumise ulatus 30 mm.



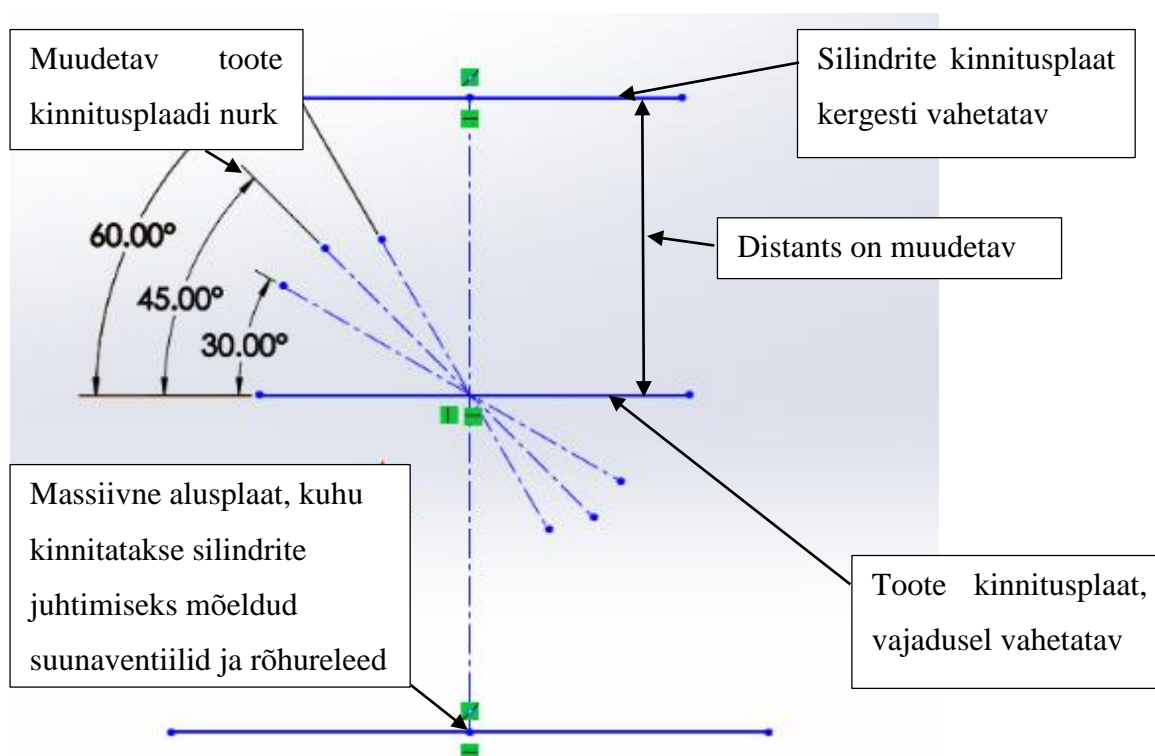
Sele 2.7. Silindri olulisemaid m o dud

Voolikute, drosselite, rõhuregulaatori, rõhu releede ja muude detailide valikut antud t os detailsemalt ei käsitleta, kuna need on välja valitud koost os Festo poolse esindaja. Lisatud on kogu nimekiri ostetud tarvikutest peat ukis 4.

2.4. Mehaaniline kontseptsioon ja lahendus

2.4.1. Mehaaniline kontseptsioon

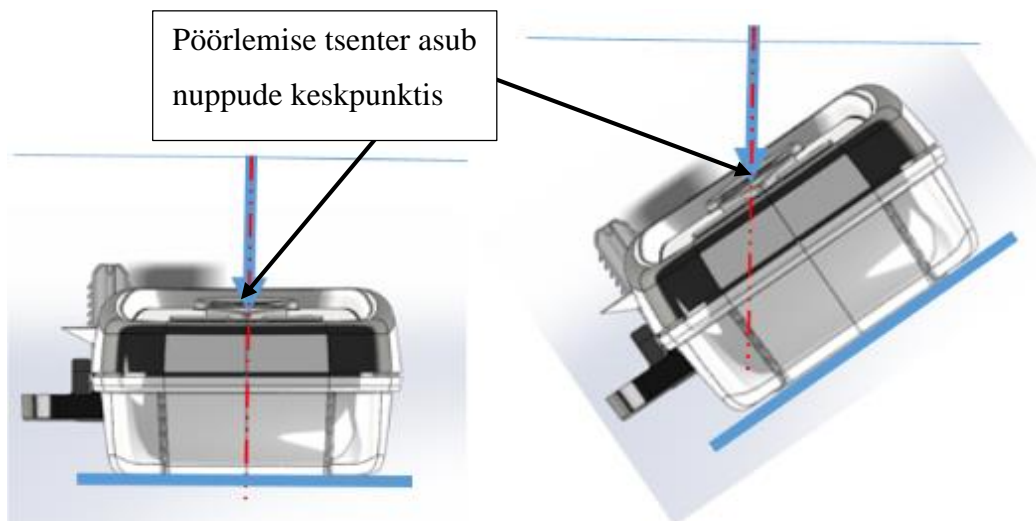
Ülesande püstituses kirjeldatule peab mehaanilise kontseptsiooni loomisel lähtuma põhimõtetest, et seade oleks kergesti k sitletav ja võimalikult kergesti modifitseeritav uute toodete testimiseks. Esialgne eskiislahendus on kirjeldatud Sele 2.8, kus on näidatud põhilised parameetrid, mis peavad olema reguleeritavad ja vahetatavad.



Sele 2.8. Kontseptsiooni eskiis

Ülesehituselt sarnaneb testseade Sele 2.5 kirjeldatud seadmele, mis koosneb viiest plaadist: silindrite kinnitusplaat, toote kinnitusplaat, alusplaat, ja kaks külgsplaati, mis kogu konstruktsiooni koos hoiavad.

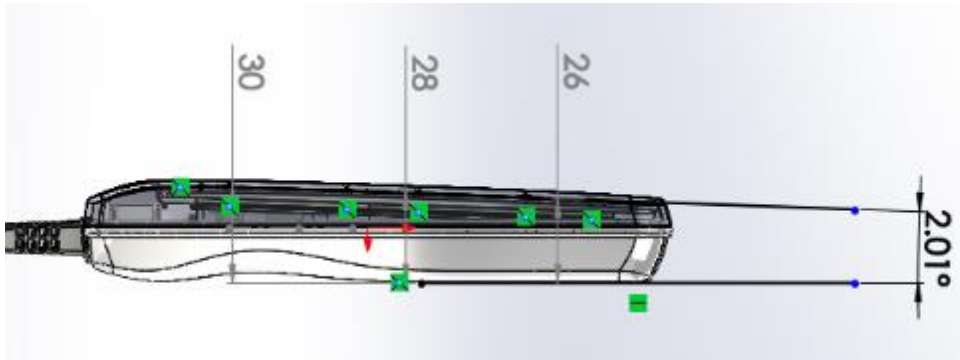
Nupuvajutuse sihi nurkade muutmine peab toimuma kiirelt, selle tõttu luuakse toote kinnitusplaadile 4 võimaliku fikseeritud asendit, mida peab olema võimalik muuta ühtegi polti keeramata. Tootel asetsevad 5 nuppu 7st ühes sihis toote kesksel (vt. Sele 2.1), selle tõttu on mõistlik toote pöörlemine projekteerida selliselt, et toote keskmiste nuppude keskpunktid ei nihkuks ehk nuppude keskpunktid jäävad pöörlemise tsentrisse vt. Sele 2.9, et vältida vajadust toote end nihutamiseks testi vahelisel ajal. Lisaks tuleb arvestada sellega, et ülejäänud kahe nupu vajutamiseks, mis ei asetse keskjoonel tuleb silindreid vastavalt testimise nurgale nihutada (antud nuppude keskpunktide asukohad toote pööramisel nihkuvad).



Sele 2.9. Toote tsenter erinevate vajutusnurkade juures

2.4.2. Külgsplaatide disain

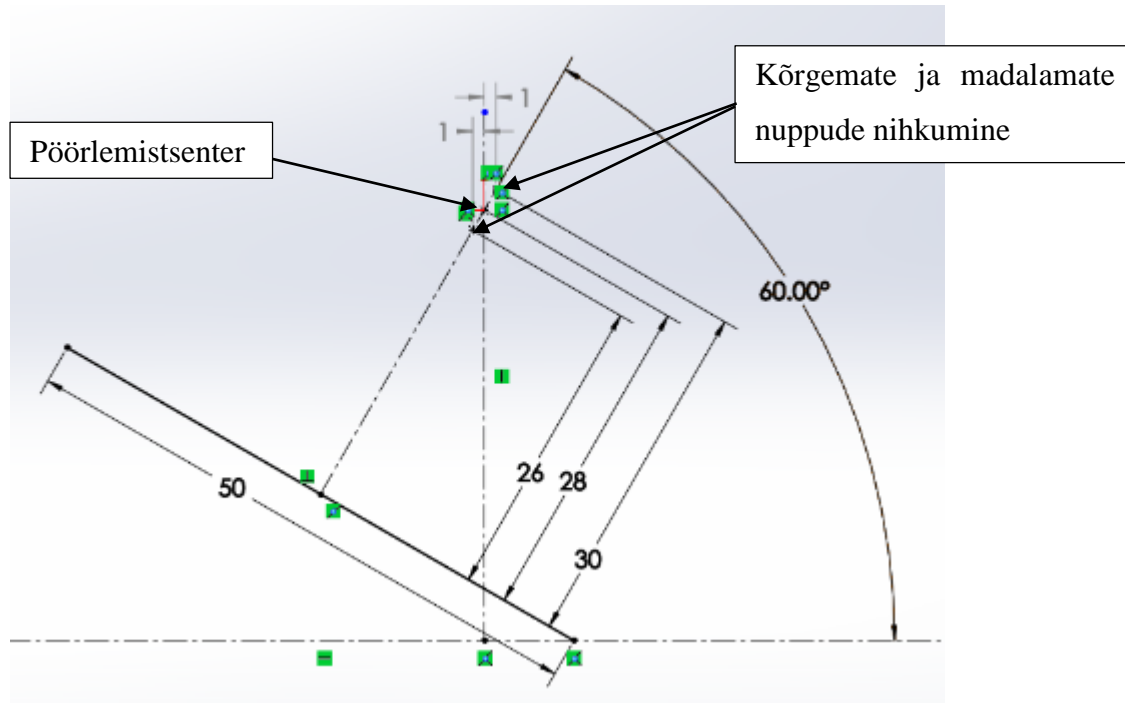
Külgsplaatide peamised ülesanded on kogu konstruktsiooni kooshoidmine, silindrite kinnitusplaadi kõrguse ja vajutusnurga reguleerimine. Nurga muutmiseks on oluline teada nuppude tasapinna kõrgust pinnast, millele toode toetub, et määrata toote pöörlemise keskpunkt. Toote mudelit uurides selgub, et toote nupud ei asetse samal tasapinnal vaid 2° nurga all (vt. Sele 2.10).



Sele 2.10. Nuppude kõrgus toote alumisest pinnast

Üheks võimalikuks lahenduseks on toote alusplaadile projekteerida kalle selliselt, et toote nupud jääksid silindri kinnitusplaadiga paralleelseks, siin tuleb aga silmas pidada tunduvalt suuremat töömahtu tootmestamisel, kus plaadile tuleb freesida 2° kalle. Lisaks muutub keerulisemaks tulevaste testitavate toodete asetamine antud plaadile.

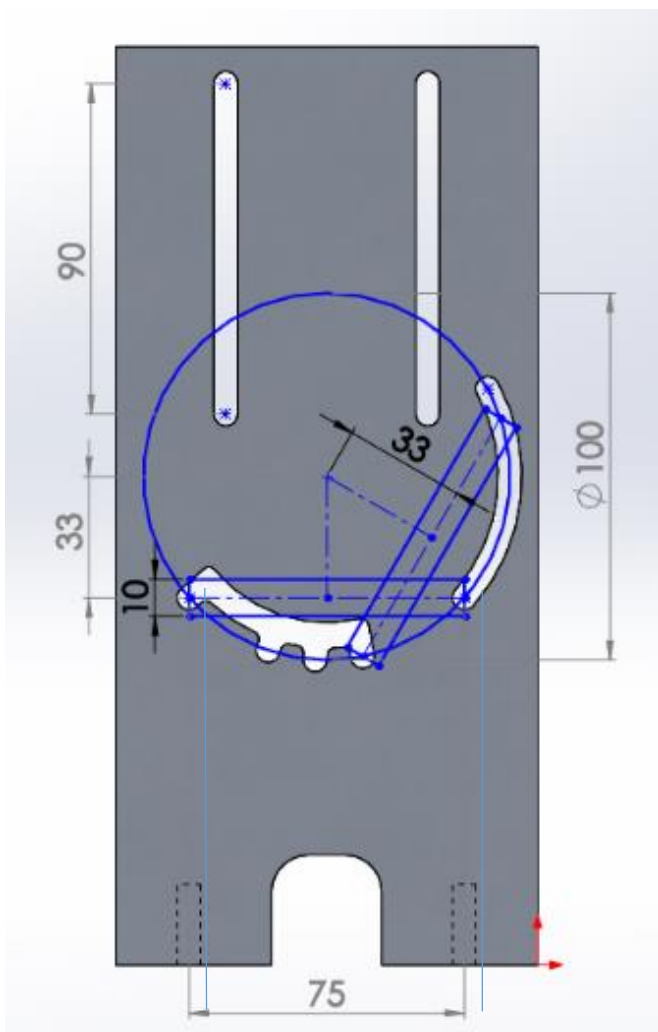
Teise lahendusena on analüüsitud olukorda, kus toote nuppude kõrgused ei jää ühele tasapinnale, vaid pöörlemise tsentriks on keskmise nupu kõrgus. Keskmise nupu kõrgus on valitud pöörlemise tsentriks kuna sellisel juhul on madalamate ja kõrgemate nuppude nihked tsentri suhtes väikseimad, olukorra kirjeldus on toodud Sele 2.11.



Sele 2.11. Nuppude keskpunktide nihked maksimaalsel pöördel

Ülemise ja alumise nuppude nihked tsentri suhtes on 1 mm, mis on kitsaima nupu laiusega võrreldes suhteliselt väike väärtus (kitsaima nupu laius on 13,5 mm). Kõrgeima või madalaima nupu tsentriks valikul oleks maksimaalne nihe olnud 2 mm.

Analüüsist võib järeldada, et olulist nihkumist nuppude kõrguste erinevus pöörlemisel ei tekita ja pöörlemistsentri kaugus nupu aluspinnast on 28 mm. Lisaks 28 mm tuleb arvestada veel ka toote kinnitusplaadi paksusega (võib vabalt valida, kuna muid piiranguid antud plaadile pole), milleks on valitud 10 mm. Kokkuvõtlikult tähendab see, et toote nuppude keskpunkti kaugus plaadi tsentrist on 33 mm, selgitav joonis on Sele 2.12. Analüüsist järeldub, et toote kinnitusplaadile ei ole mõtet freesida 2° kallet ja jätkata võib ilma kaldeta.



Sele 2.12. Küljplaad koos pöörleva toote kinnitusplaadi eskiisiga

Poldiavad toote kinnitusplaadil on valitud 75 mm vahega, millest tulenevalt on pöörlemisraadius 50 mm (vt. Sele 2.12). Kindlate nurkade alla fikseerimiseks on

pöörlemisraadiusele projekteeritud soon, milles libisevad vabalt kinnitusplaati keeratud M6 poldid. Tänu sellele on toote asendi muutmise kiire ja efektiivne.

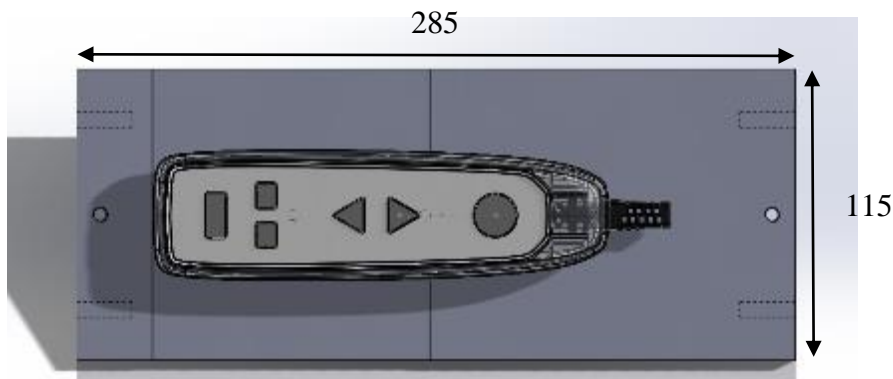
Lisaks on külgplaatidesse projekteeritud kaks 90mm pikkusega ava, mille kaudu on võimalik muuta silindri kinnitusplaadi kaugust toote kinnitusplaadist ja lisa ava juhtmete või voolikute läbiveoks. Detaili üldised parameetrid on järgmised:

- Laius: 115 mm
- Kõrgus: 250 mm
- Paksus: 10 mm
- Materjal: Alumiinium

Külgplaadi joonis on nähtav Lisa 1.

2.4.3. Toote kinnitusplaadi disain

Eelnevas peatükis sai valitud kinnitusplaadi paksuseks 10 mm ja poldi avade vaheliseks kauguseks 75 mm. Plaadi enda laiuks on valitud 115 mm, mis on piisavalt lai, et ka tulevikus oleks võimalik testseadet kasutada laiemate toodete testimiseks. Plaadi pikkuseks on valitud 285 mm, millega on tagatud puldi mahtumine plaadile varuga (vt. Sele 2.13).

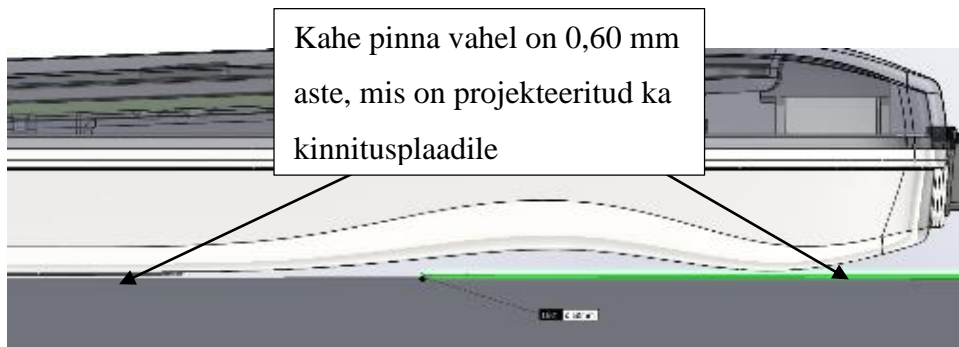


Sele 2.13. Toote kinnitusplaat koos tootega

Toote all asetsevad magnetid, mida kasutatakse puldi kinnitamiseks autos. Seda omadust on mõistlik ära kasutada kinnitusplaadi materjali valikul, et toode oleks kergemini fikseeritav, selle tõttu on kinnitusplaadi materjaliks valitud teras, mis värvitakse korrosiooni kaitseks üle.

Puldi mudelit uurides selgub, et selle aluspinna ja tagumise osa vahel on aste, mis tähendab et toote stabiilseks fikseerimiseks tuleb ka kinnitusplaadile freesida aste, vastasel juhul hakkaks

toode kõikuma silindrite aktiveerumisel. Astme sügavuseks on 0,6 mm ja see on kirjeldatud Sele 2.14.



Sele 2.14. Kinnitusplaadi aste

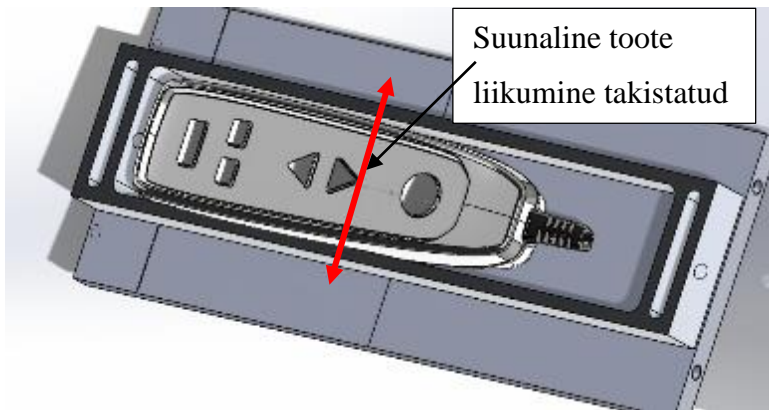
Detaili üldised parameetrid on järgmised:

- Laius: 115 mm
- Pikkus: 285 mm
- Paksus: 10 mm
- Materjal: Teras (Värviga kaetud)

Toote kinnitusplaadi joonis on nähtav Lisa 2.

2.4.4. Toote kinnitusraami disain

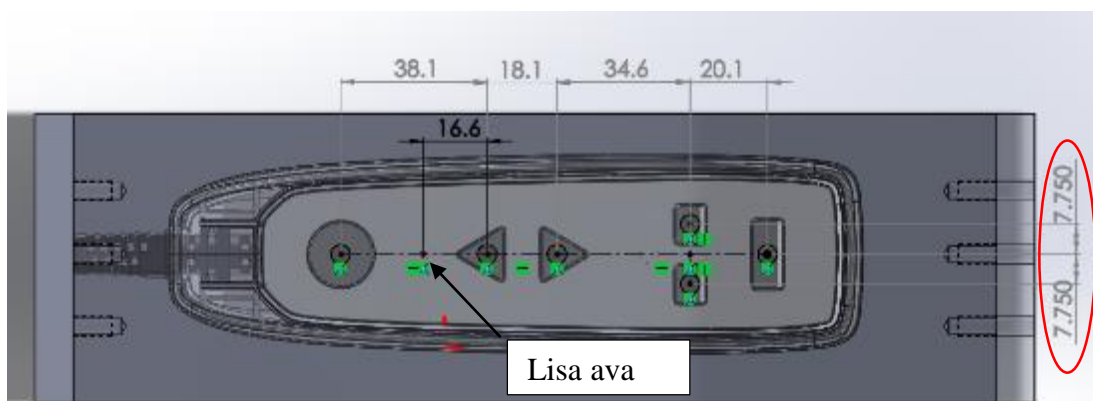
Toode on kinnitatud toote kinnitusplaadile magnetitega, kuid see ei pruugi olla piisav toote hoidmiseks ajal, kui silindrid vajutavad toodet nurga all. Iga vajutusega võib toode nihkuda väga väikeses ulatuses, kuid 300 000 vajutuse peale kokku on see märgatav suurus, et silindrid ei liigu enam juhtpuldi nuppude keskpunktidesse. Selle vältimiseks on vajalik toote horisontaalsihiline liikumine kinnitusplaadil peatada. Toote hoidmiseks on loodud raam, mis on kirjeldatud Sele 2.15. Detaili tööjoonis on nähtav Lisa 3.



Sele 2.15. Toote kinnitusraam

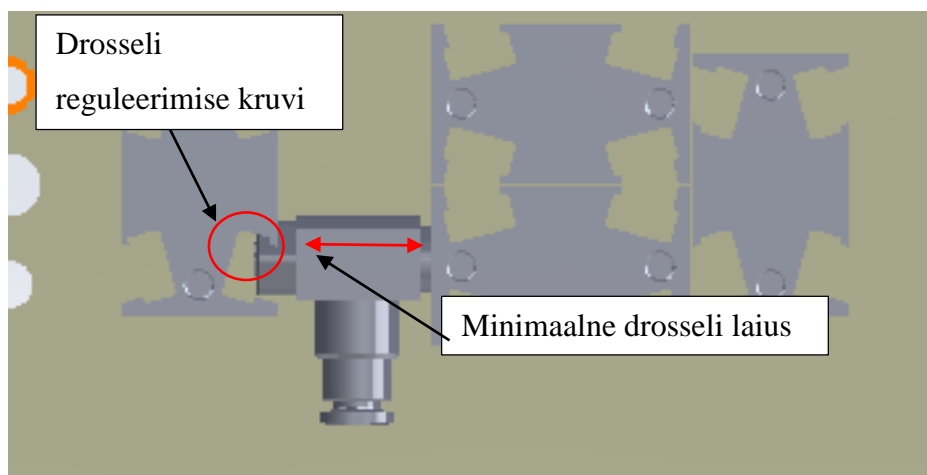
2.4.5. Silindrite kinnitusplaadi disain

Toote mudeli põhjal on leitud toote nuppude keskpunktide asukohad ja nende põhjal valitud silindrite avade asukohad. Sele 2.16 on kirjeldatud leitud avade asukohad ja lisatud on veel üks ava, mis ei asetse ühelgi nupul. Projekteerimise staadiumis ei olnud veel modelleeritud mudelit puldi versioonile, millel on lisaks 7 nupp, ülejäänud nuppude asukohad ei muutu. 7 nupuga puldi versiooni pilt on kirjeldatu Sele 2.1.



Sele 2.16. Nuppude asukohad

Peatükis 2.3.2 valitud silindrite 3D mudelid on lisatud silindrite kinnitusplaadile ja sellelt on näha, et silindrid ja nende külge kinnitatud drosselid ei mahu üksteise kõrvale ära (vt. Sele 2.17). Üheks võimaluseks on asendada drosselid väiksemate vastu, kuid selge on see, et need ei saa olla väiksemad kui L-kujulise suunaventiili vooliku kinnituse diameeter. Sellisel juhul mahuksid drosselid ära, kuid juurdepääs drosselite reguleerimiskruvile oleks piiratud, mis ei ole kindlasti mõistlik.

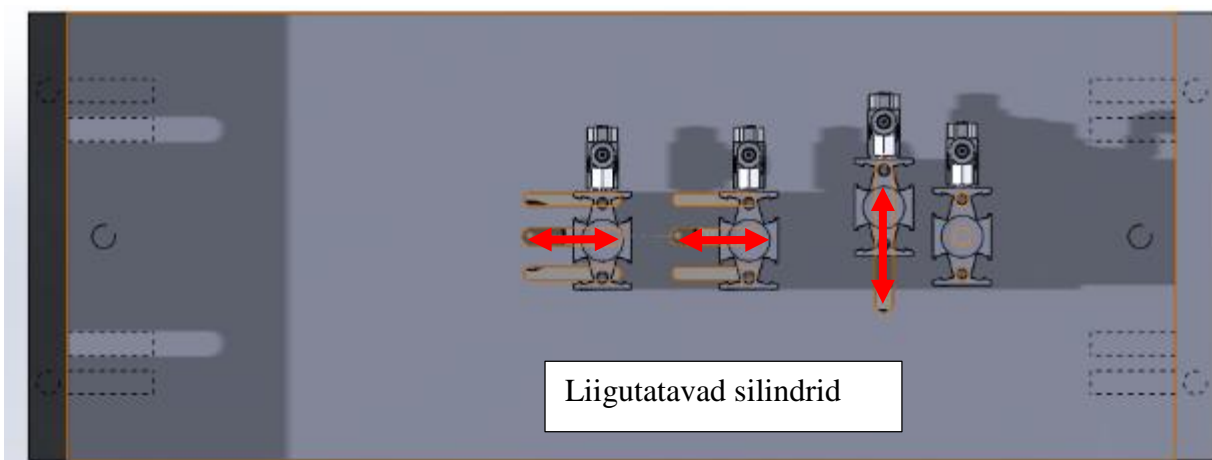


Sele 2.17. Silindrid koos drosseliga

Silindrite paiknemine tekitab probleeme ka kahe kõrvuti asetseva nupu testimisel 60° nurga sihis (vt. Sele 2.16, kus nuppudevahelised kaugused on punase ringiga ümbritsetud). 90° nurga all on nuppude vaheline kaugus 15 mm, nurka muutes muutub see 13 mm suuruseks. Silindrite minimaalne omavaheline kaugus saab olla aga 15 mm (vt. silindri väikseimat möödet Sele 2.7), mis tähendab, et silindrid ei mahu üksteise kõrvale ära.

Sellest tulenevalt on otsustatud testida igat toodet kahes faasis: kõigepealt 4 nuppu ja seejärel ülejäänud 3 või 2 nuppu, vastavalt nuppude koguarvule. Silindreid tuleb testide vahel liigutada silindrite kinnitusplaadil õigesse positsiooni.

Lõpliku lahendusena on silindrite kinnitusplaadil võimalik silindrite asukohti muuta, keerates poldid pingelt ja lükates silindrid uute asukohta vt. Sele 2.18. Valitud lahenduse puhul on drosseli reguleerimiskruvidele tagatud hea ligipääs.



Sele 2.18. Silindri kinnitusplaat koos liigutatavate silindritega

Detaili üldised parameetrid on järgmised:

- Laius: 115 mm
- Pikkus: 285 mm
- Paksus: 10 mm
- Materjal: Alumiinium

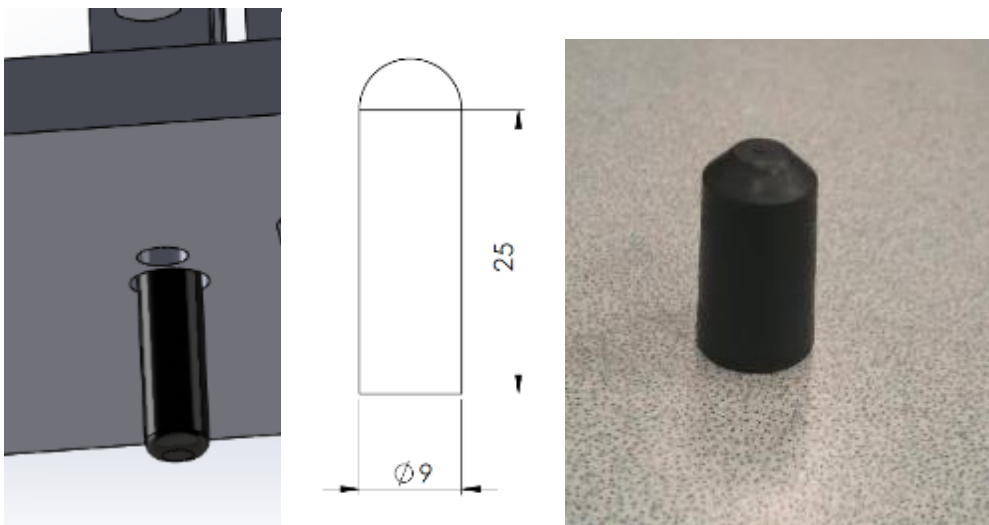
Silindrite kinnitusplaadi tööjoonis on toodud Lisa 4.

2.4.6. Alusplaadi disain

Alusplaadi põhiline ülesanne on hoida konstruktsiooni koos ja viia testseadme masskeset allapoole, selleks on alusplaat mõõtutelt massiivsem, kui teised plaadid. Lisaks on kõik plaadile kinnitatud ka jaotiterminal koos suunaventilidega ja rõhuandurid. Plaadi paksuseks on 15 mm ja külje mõõdud vastavalt 350 x 135 mm. Plaadi tööjoonis on Lisa 5

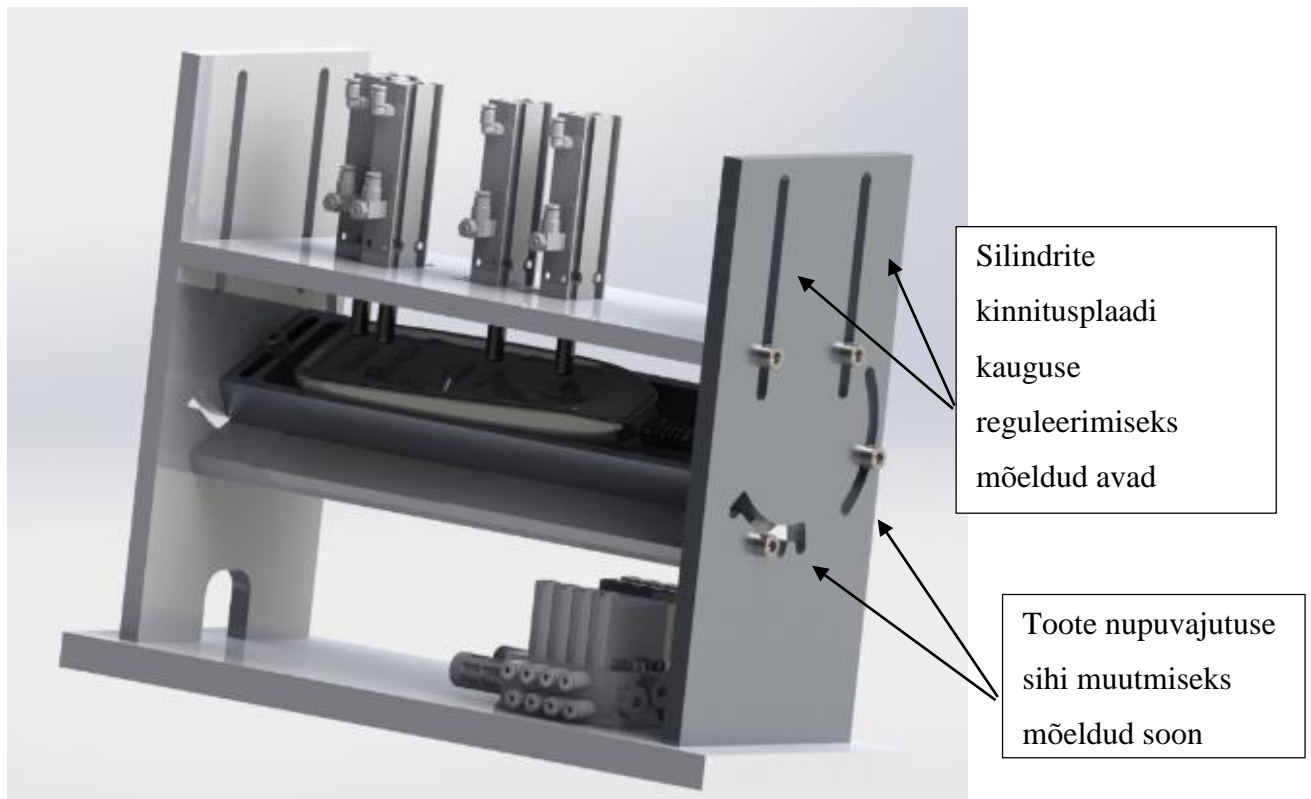
2.4.7. Silindri otsad ja mudeli koost

Silindri otstesse on projekteerid kahes erisuuruses plastikust otsad, millel on ümarpea vt. Sele 2.19. Ümar ots on vajalik, et nurga all vajutades ei oleks silindri ja nupu kokkupuute pind terav. Lisaks on võimalus silindri otstele lisada kummist kestad, mis pehmedavad lööki nupule ja on sarnasemad inimese näpuvajutusele, kui lihtsalt plastikust ots.



Sele 2.19. Silindri otsad (vasakul on kummist kate)

Sele 2.20 on näha lõplik mudeli koost kõigi mehaaniliste osadega 60° nurga all.

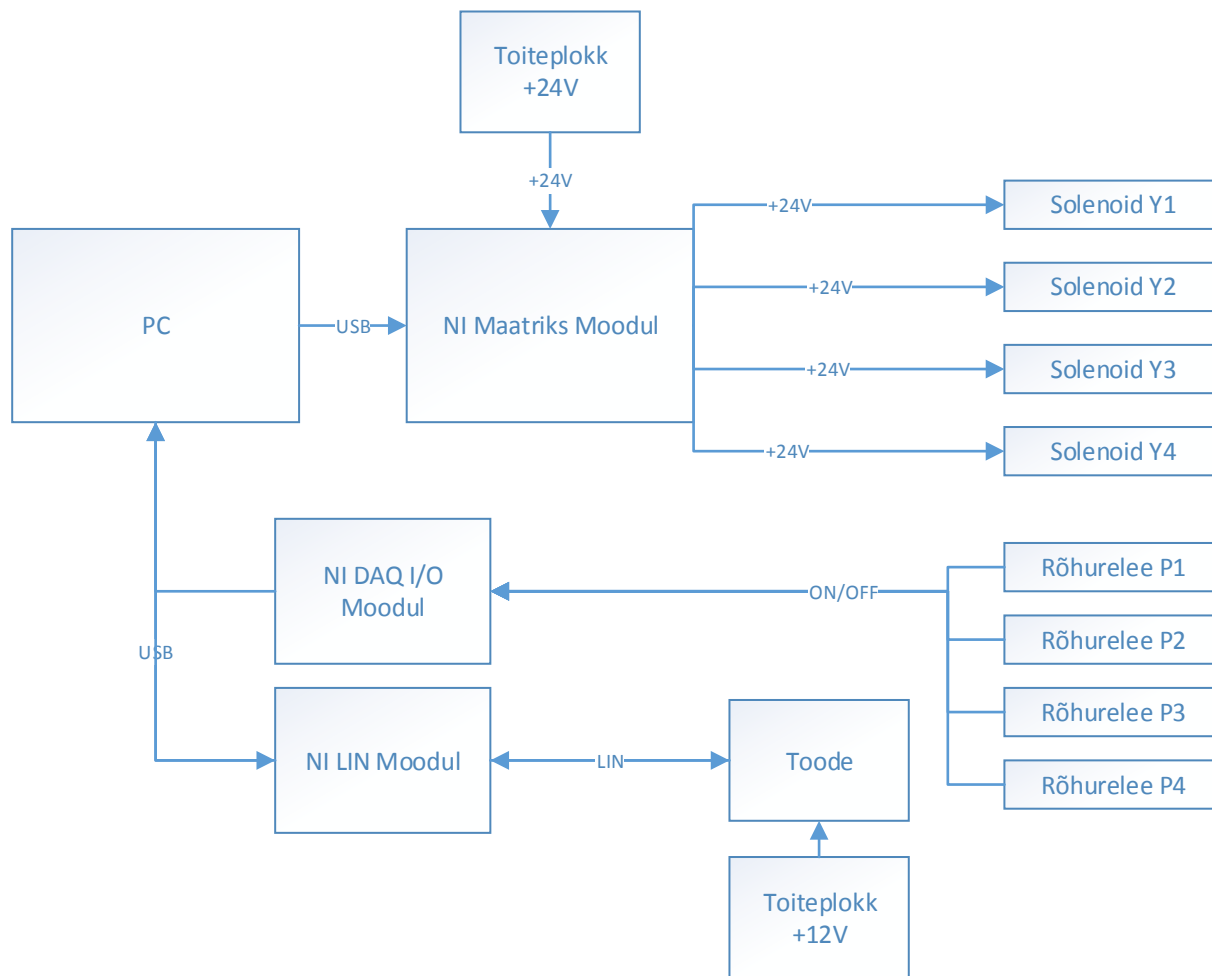


Sele 2.20. Lõplik mudeli koost

2.5. Elektroonika ja kommunikatsioon

2.5.1. Elektroonika põhimõtte skeem

Testseadme juhtimisloogika asub arvutis, millega juhitakse läbi NI maatriks mooduli nelja suunaventiili. Informatsioon rõhureleedelt võetakse vastu läbi NI DAQ6008 mooduli [13] ja tootest läbi LIN mooduli, kogu elektroonika põhimõtteskeem on kirjeldatud Sele 2.21.



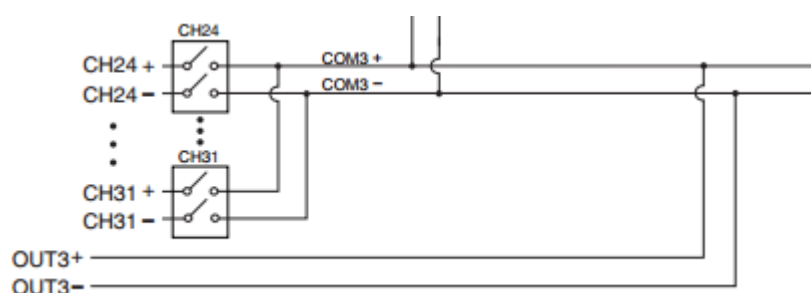
Sele 2.21. Elektroonika plokkskeem

Elektroonika moodulite elektrilised ühendused on detailsemalt lahti kirjutatud järgmistes peatükkides.

2.5.2. Maatriks moodul

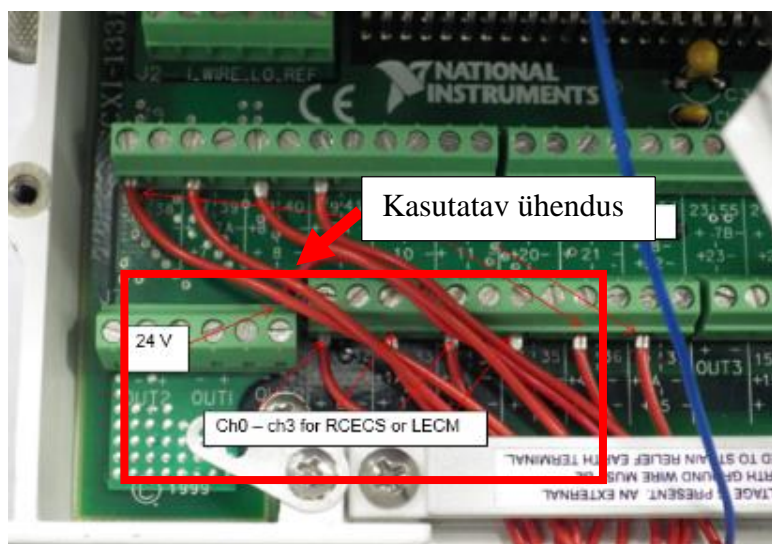
Maatriks moodul (NI SCXI-1127 [14]) on lisa kaart, mis on ühilduv NI SCXI-1000 platvormiga [15]. NI SCXI-1000 platvormi on võimalik lisada kokku 4 moodulit. Antud töös on kasutusel maatriks moodul ja lisaks NI SCXI-1600 moodul kaart [16], mis on mõeldud kogu platvormi ja arvuti omavaheliseks ühendamiseks USB kaabli abil.

NI Maatriks mooduli puhul on tegemist relee mooduliga, millel on neli väljund kanalit: OUT0 – OUT3 ja igat väljundkanalit on võimalik ühendada 8 sisendkanaliga, Sele 2.22 on kirjeldatud ühe väljundi OUT3 ühendusskeem sisenditega CH24-CH31.



Sele 2.22. Maatriks mooduli elektriskeem [17]

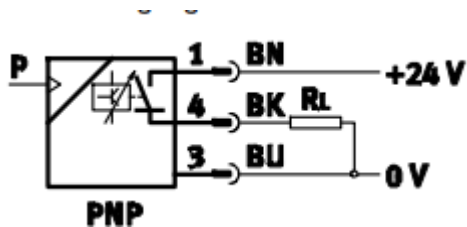
Suunaventiilide null potentsiaal on ühendatud otse toiteploki null potentsiaaliga ja 24 voldine potentsiaal juhitakse läbi maatriks mooduli OUT0+ sisendite CH0 - CH3-ga (vt. Sele 2.23).



Sele 2.23. Suunaventiilide juhtimiseks kasutatav elektriline ühendus

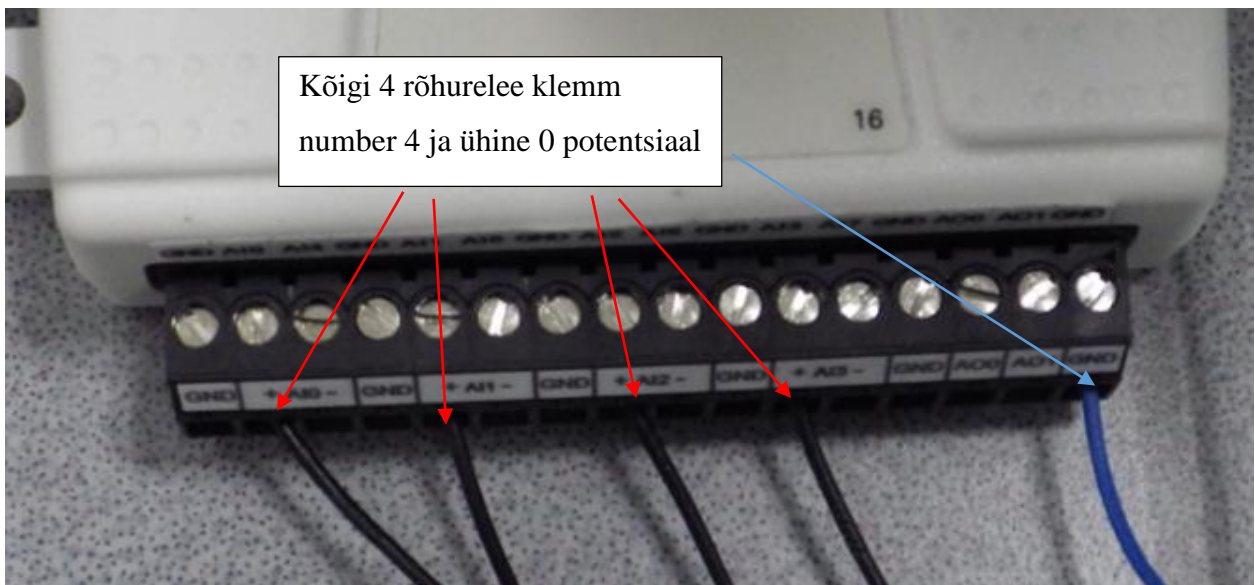
2.5.3. NI DAQ Moodul ja rõhureleed

NI DAQ Moodul on kõige tavalisem analoog/digitaal sisend/väljund moodul, mida antud töös kasutatakse analoog signaali vastuvõtmiseks rõhureleelt. Andur reageerib kindlaks määratud rõhu väärtusele nagu tavaline lüliti, lühistades + potentsiaali (klemmi 1 ja 4) vt. Sele 2.24.



Sele 2.24. Rõhurelee elektriskeem [18]

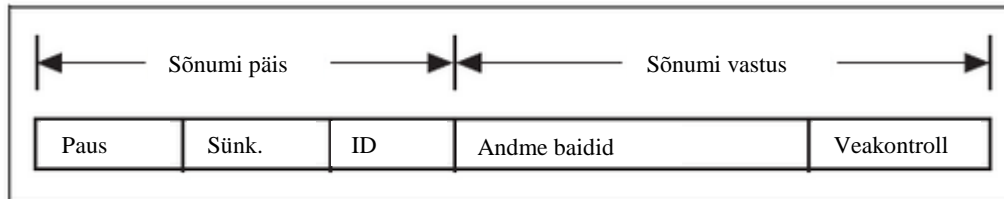
DAQ moodulisse on ühendatud iga rõhurelee klemm number 4 ja ühine 0 potentsiaal vt. Sele 2.25.



Sele 2.25. DAQ elektriline ühendus

2.5.4. LIN Moodul ja kommunikatsiooni protokoll

Nagu eelnevalt mainitud toimub testitava toote ja arvuti vaheline suhtlus üle LIN protokollile, mis on sarnane CAN protokollile, kuid on lihtsam ja sellest tulenevalt ka odavam (kommunikatsiooniks on kasutatud ühete juhete CAN kahe asemel), mis muudabki selle protokollile autotööstuses laialt kasutatavaks. Andmeedastuse raamistik on kirjeldatud Sele 2.26.



Sele 2.26. LIN andmeedastuse raamistik [19]

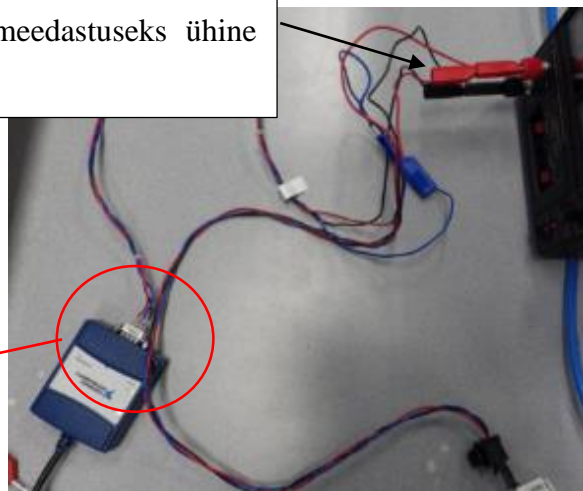
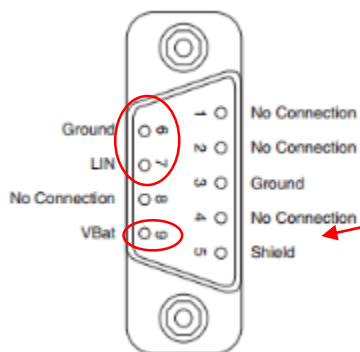
Kasutusel saab olla üks *master* ja maksimaalselt 16 *slave*, mida *master* kontrollib. *Master* edastab sõnumi päise, mis sisaldab:

- Pausi – identifitseeritakse andmeedastuse algus
- Sünkroniseerimist – millega sünkroniseeritakse *slave* andmeedastus
- ID – *slave* identifitseerimise kood

Päisele vastab *slave*, kui tunneb ära enda ID 0 – 8 baidise informatsiooniga, millele on lisatud veakontroll. Lisaks sellele võib *master* edastada päise koos sõnumiga, millele *slave* ei vasta vaid täidab selle. Näitena võib testitavalt tootelt küsida, kas mõni nuppudest on alla vajutatud, millele ta vastab täites sõnumi andme baidid. Teiseks võimaluseks on saata täispikk sõnum, millele ei vastata vaid pannakse põlema valgusdiodid.

Andmeedastuseks kasutatakse NI LIN Moodulit (NI USB-8476 [20]), mis on ühendatud tootega D-Sub konnektori kaudu. Suhtluseks on vaja ühendada kolm juhet, toote ja mooduli ühine null potentsiaal, LIN andmeedastuse juhe ja +12 voldine potentsiaal (vt. Sele 2.27).

Toiteallikast on ühiseks 0 ja +12 V potentsiaaliks ja andmeedastuseks ühine LIN juhe



Sele 2.27. D-SUB konnektor ja LIN moodul

Testseadmega testitakse kahe erineva versiooniga tooteid ja nende versioonide andmeedastuse informatsiooni sisu on erinev (toote vastused arvuti päringule erinevad ja toote ID ei ole ühesugused). Arvutipoolse (*master*) täispika sõnumi sisu tootele (*slave*) on mõlema versiooni puhul samasugune. Tabel 2.2 on täispikkade sõnumite kirjeldused, edastamisel on kasutusel kaks esimest baiti (Data 0 ja Data 1), esitatuna kuueteistkümnend süsteemis.

Tabel 2.2. Täispika sõnumi kirjeldus (*Master* edastab *slave*le)

ID	Data 0	Data 1	Kommentaar
x38	x0	x0	Valgusdiodid kustutatakse
x38	xAA	xA	Valgusdiodid põlema
x38	xFF	xF	Valgusdiodid hakkavad vilkuma

Tabel 2.3 kirjeldab toote versiooni LECM nuppude aktiveerimiste päringut ja vastuseid päringutele (arvuti saadab sõnumi päise koos toote ID, millele toode vastab täites sõnumi sisu 2 ja 3 baidi) vastavalt aktiveeritud nupuvajutusele. Kui samaaegselt on alla vajutatud mitu nuppu, siis summeeritakse sama info baidi väärtused. Tabel 2.4 kirjeldab toote versiooni RCECS andmeedastus sõnumeid.

Tabel 2.3. Nuppude aktiveerimiste päringud ja vastused versioonile LECM

Täidab arvuti	Täidetud toote poolt		Kommentaar (Nuppude nummerdus on kirjeldatud Sele 2.2)
ID	Data 1	Data 2	
x1E	x10	-	Nupp number 6 aktiveeritud
x1E	x1	-	Nupp number 4 aktiveeritud
x1E	x4	-	Nupp number 7 aktiveeritud
x1E	x40	-	Nupp number 5 aktiveeritud
x1E	-	x10	Nupp number 1 aktiveeritud
x1E	-	x4	Nupp number 3 aktiveeritud
x1E	-	x1	Nupp number 2 aktiveeritud

Tabel 2.4. Nuppude aktiveerimiste päringud ja vastused versioonile RCECS

Täidab arvuti	Täidetud toote poolt		Kommentaar (Nuppude nummerdus on kirjeldatud Sele 2.2)
ID	Data 1	Data 2	
x1E	x10	-	Nupp number 7 aktiveeritud
x1E	x1	-	Nupp number 6 aktiveeritud
x1E	x4	-	Nupp number 5 aktiveeritud
x1E	x40	-	Nupp number 1 aktiveeritud
x1E	-	X40	Nupp number 3 aktiveeritud
x1E	-	X8	Nupp number 2 aktiveeritud
x1E	-	x1	Nupp number 4 aktiveeritud

Lisaks eelpool mainitud RCECS kui ka LECM versioonidele hakatakse tootma samu mudeleid vähemate nuppude arvuga. Selliste pultide puhul saab arvesse võtta asjaolu, et andmeedastus protokoll ei muutu ja iga nupu aktiveerimisel saadetakse eelnevalt kirjeldatud sisuga andme bait *masterile*. Puuduolevale nupule vastavat sõnumit lihtsalt ei edastata. Testseadme tarkvara see ei puuduta.

2.6. Tarkvara kontseptsioon ja lahendus

2.6.1. Tarkvara eesmärgid

Tarkvarale seatud põhieesmärgid:

- Igale silindrile peab olema tagatud iseseisev juhtimine ehk peab olema võimalik valida iga silindri osalemist testis.
- Silindrite vajutuste koguarvu peab olema muudetav.
- Iga toote nupu aktiveerimiste arv peab olema jälgitav.
- Silindrite vajutuste ja nuppude aktiveerimiste arvud peavad olema jooksvalt salvestatud kõvakettale, et vältida informatsiooni kadumist.
- Silindri vajutuse ehk aktiveerumise kestvus peab olema ajaliselt muudetav.
- Vajutuse vaheline aeg ehk silindri vabastamise kestvus peab olema muudetav.
- Iga silinder peab iseseisvalt tagasi liikuma, kui silindripoolt rakendatav jõud ületab lubatud väärtuse.
- Silindrite poolt liigse jõu rakendamise korrad on loendatud ja kuvatud kasutajale.
- Kasutatavad seadmed aadressid peavad olema valitavad (vajalik, et teises arvutis kasutatavad seadmed ühilduksid programmiga).
- Testi peab olema võimalik pausile panna ja vajadusel taas alustama.
- Toote ja arvutivaheline suhtlus (andmebaidid ja toote ID) peab olema nähtavad kasutajale, et lihtsustada võimalike vigade leidmist.
- Toote identifitseerimise number peab olema muudetav (Testitavaid tooteid on kahte eri versiooni, erinevate ID-ga).

Tarkvarale seatud lisaeesmärgid:

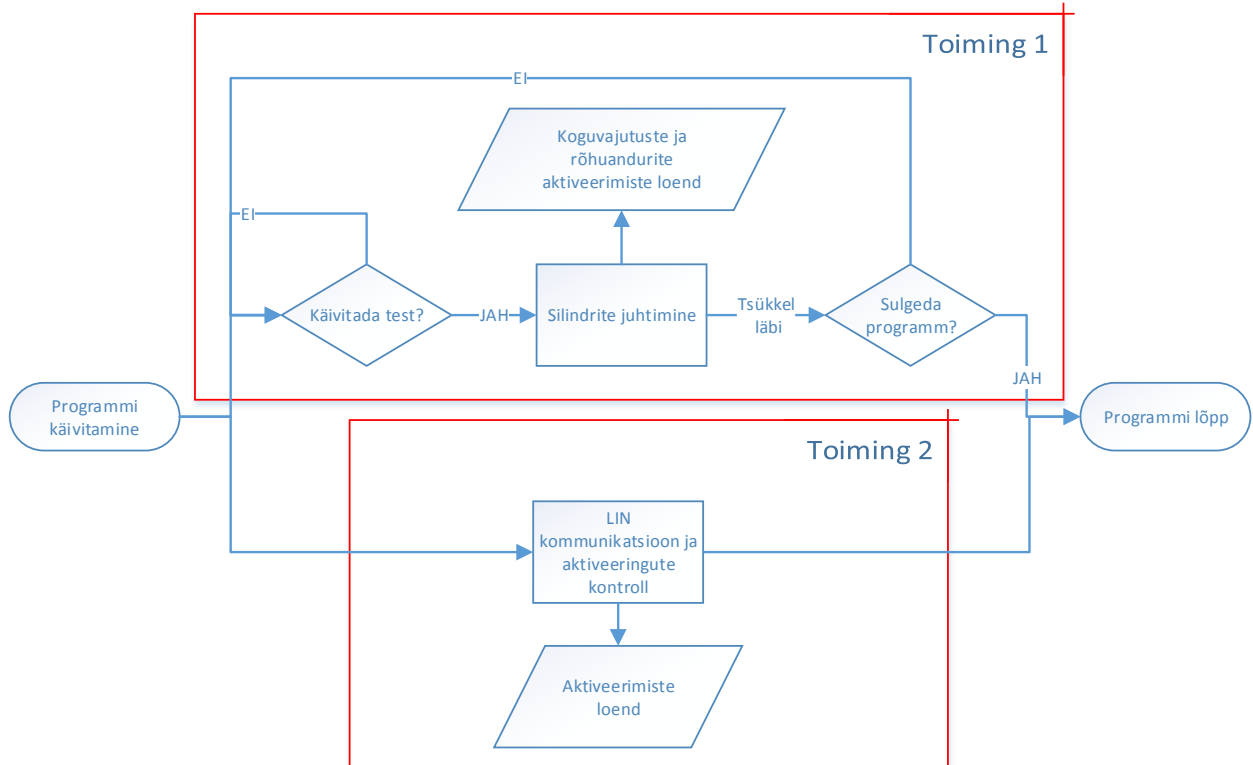
- Peab olema võimalik juhtida lisaks 4 valitud silindrile veel 6 silindrit, et tarkvara oleks rakendatav ka tulevikus.
- Rõhuandurite kasutamine peab olema tarkvaraliselt valikuline.
- Tootele peab olema võimalik saata informatsiooni valgusdiodide põlemise kohta
- Nupuvajutused peavad olema visualiseeritud (Nupuvajutusi imiteerivad lambid tarkvara ekraanil)

2.6.2. Tarkvara üldine struktuur

Tarkvara on jaotatud kaheks erinevaks toiminguks, mida täidetakse paralleelselt:

- Toiming1: Silindrite juhtimine ja rõhuanduritest tuleneva informatsiooni lugemine
- Toiming2: Toote ja arvutivaheline suhtlus ja aktiveeritud nuppude loendamine

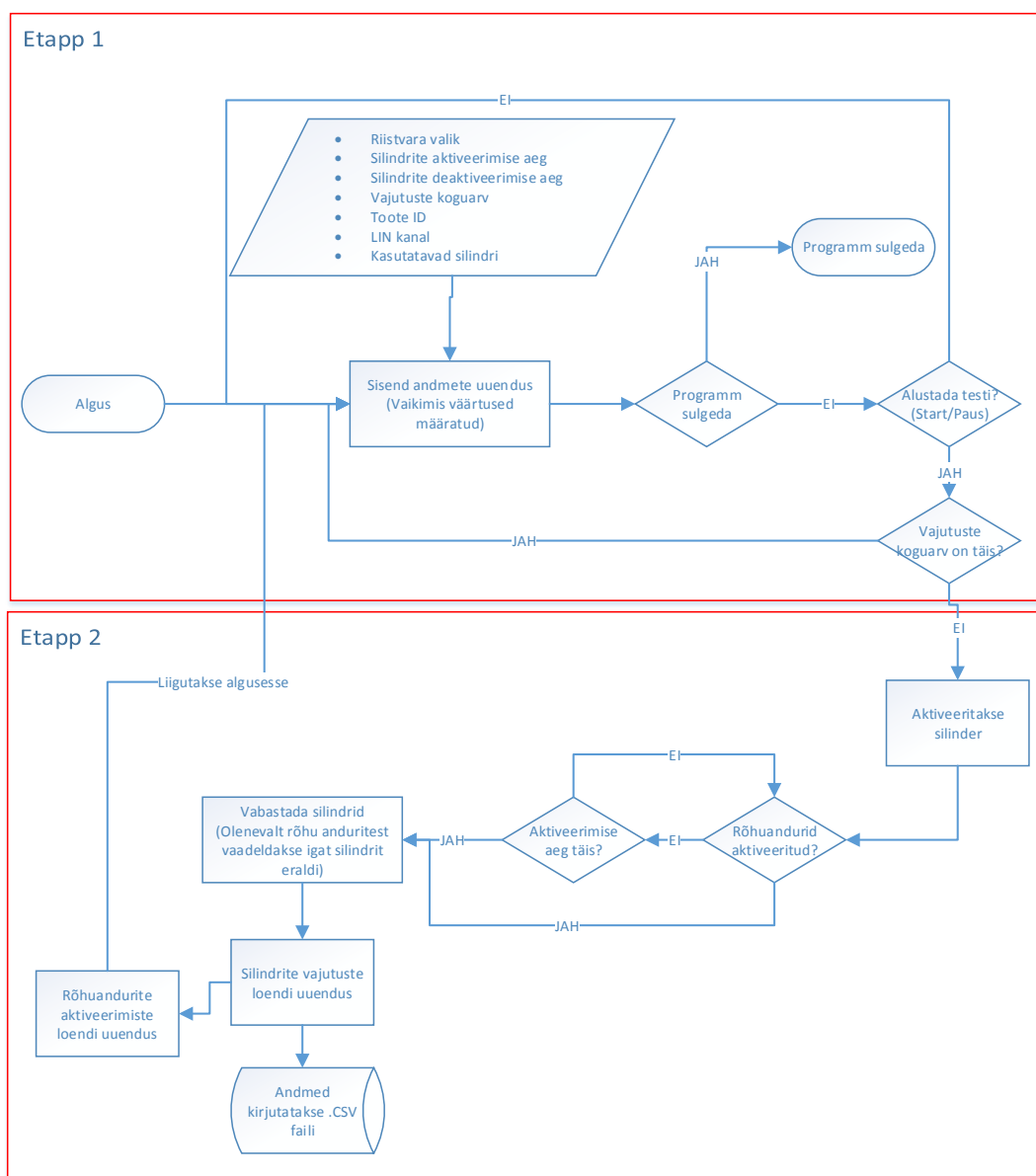
Tarkvara üldine struktuur on kirjeldatud Sele 2.28.



Sele 2.28. Programmi üldine struktuur

2.6.3. Toimingu 1 analüüs

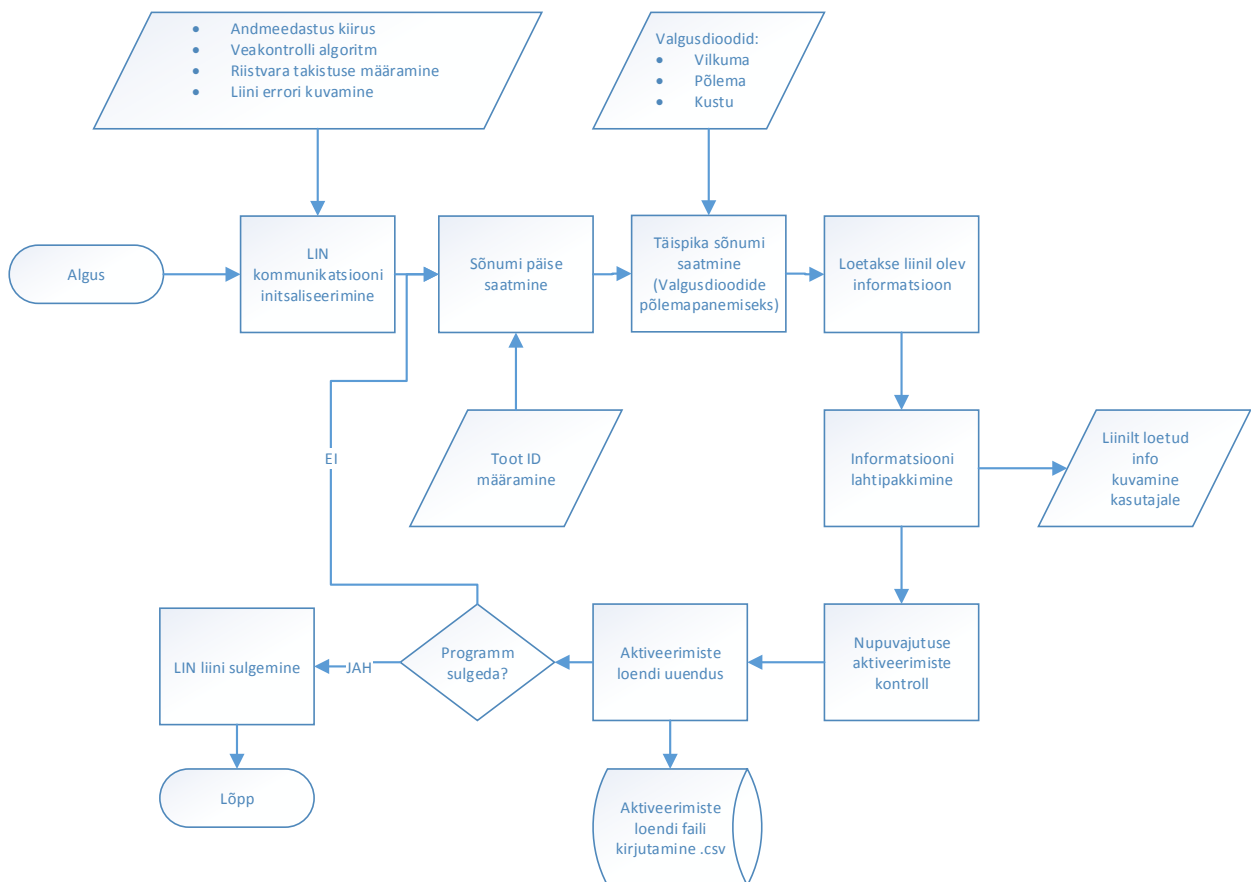
Toiming 1 tegeleb testseadme juhtimisega olenemata toote tagasisidest. Antud toiming jaguneb kahte erinevasse etappi. Esimese etapi põhimõte on võimaldada muuta testi algandmeid ja kontrollida testi jätkumist või programmist väljumist. Teise etapi eesmärgiks on aktiveerida ja vabastada silindreid vastavalt etteantud algandmetele. Samuti toimub selles etapis andmete kirjutamine faili ja ekraanil informatsiooni uuendamine. Kogu põhimõtte plokk skeem toimingu 1 kohta on kirjeldatud Sele 2.29.



Sele 2.29. Toimingu 1 plokk skeem

2.6.4. Toimingu 2 analüüs

Nagu eelnevalt mainitud on toiming 2 eesmärk tootega suhtlemine. Loetakse tootest saadatud nupuvajutuste aktiveerimisi ja vajadusel on võimalik toote valgusdioode põlema, vilkuma või kustutada. Konkreetse testi juures ei ole see funktsioon hädavajalik, kuid lihtsustab toote ja arvutivahelise suhtluse vaheliste vigade leidmist. Näitena peab toote nupu vajutusel kasutajaliidesel aktiveerima lamp, mis imiteerib antud nupu vajutust, kuid seda ei juhtu. Selle põhjuseid võib olla kaks, kas toote nupp ei tööta või ei ole kommunikatsioon toote ja tarkvara vahel korrektne. Selle kontrollimiseks võib tarkvara kaudu panna toote valgusdiodeid vilkuma ja kui seda ei juhtu võib suure tõenäosusega olla kindel, et viga ei ole toote nuppudes vaid kommunikatsioonis. Kogu toiming 2 plokkskeem on kirjeldatud Sele 2.30



Sele 2.30. Toimingu 2 plokkskeem

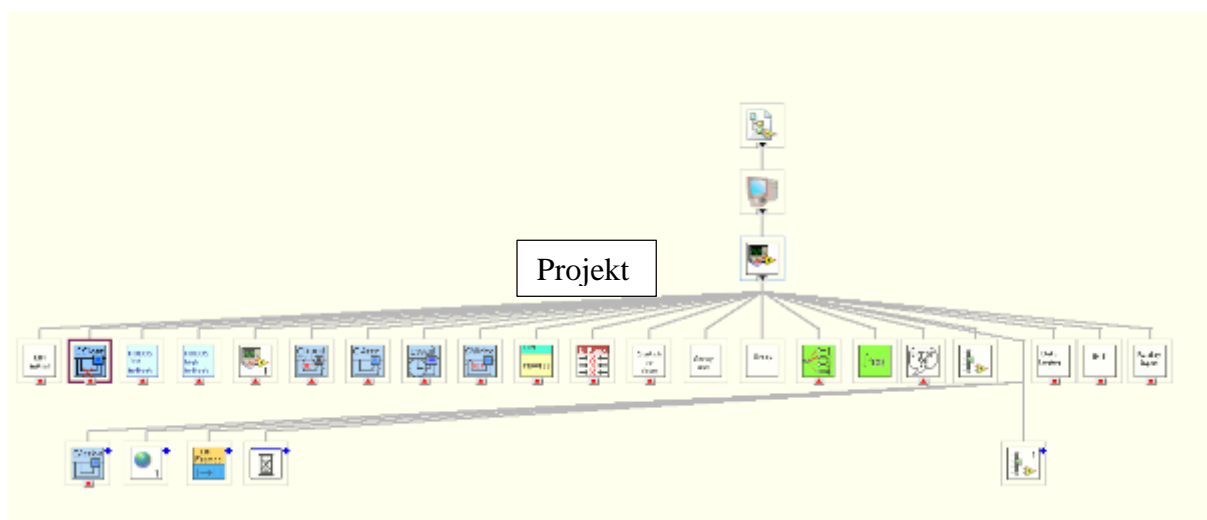
2.6.5. Tarkvara loomise keskkond

Rakenduse kirjutamiseks on kasutatud National instrumentsi poolt loodud Labview keskkonda, milles on kasutusel visuaalne programmeerimise keel „G“ [21]. Antud keel on laialt levinud, kuna võimaldab kiiresti ja efektiivselt luua rakendusi erinevate andmete salvestamiseks ja jälgimiseks. Samuti võimaldab keskkond väikse vaevaga luua kasutajaliideseid, mis annavad selge ja konkreetse ülevaate kasutajale vaadeldavatest protsessidest ja andmetest. Lisaks on kogu Labview keskkond ühilduv väga laia National Instrumenti poolt pakutava riistvara valikuga.

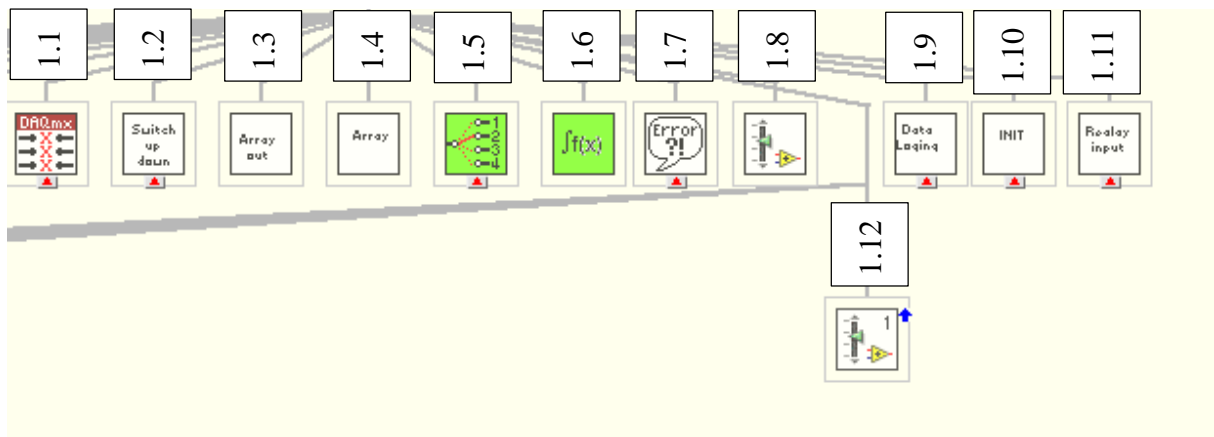
2.6.6. Tarkvara lahendus

Tarkvara põhimõtteline lahendus on eelnevalt kirjeldatud Sele 2.28, Sele 2.29 ja Sele 2.30, selle tõttu ei ole programmi koodi detailsemalt lahti kirjutatud, vaid kogu programmi koodi on võimalik vaadata

Lisa 6. Detailsemalt on välja toodud programmeerimisel loodud alam funktsioonide hierarhia (vt. Sele 2.31) ja nende funktsionaalsus (vt. Sele 2.32 ja Sele 2.33).



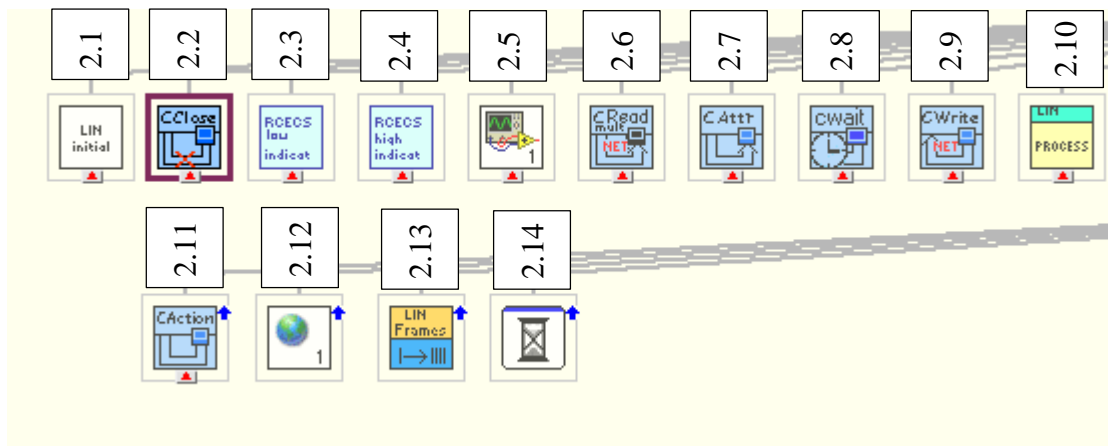
Sele 2.31. Alamfunktsioonide hierarhia



Sele 2.32. Toimingu 1 alamfunktsioonid

Tabel 2.5. Toimingu 1 alamfunktsioonide kirjeldus

Alamfunktsioon number	Funktsionaalsus
1.1	Kõikide silindrite vabastamine
1.2	Eraldi iga silindri aktiveerimine ja vabastamine
1.3	Testiks aktiveeritud silindrite ja maatriks mooduli kanali ühendamise
1.4	Valitud silindrite ja maatriks mooduli kanali ühendloetelu loomine
1.5	Rõhuandurilt tuleneva info põhjal silindrite vabastamine
1.6	Rõhuandurite poolt vabastatud silindrit ja silindri aktiveerimiste loendur
1.7	Veakoodi kuvamine
1.8	Toimingu 1 järjestikuse funktsionaalsus
1.9	Silindri aktiveerimiste faili kirjutamine
1.10	Muutujate initsialiseerimine
1.11	Relee mooduli sisend käskude loomine
1.12	Kasutaja poolt valitavate sisendandmete sisestus



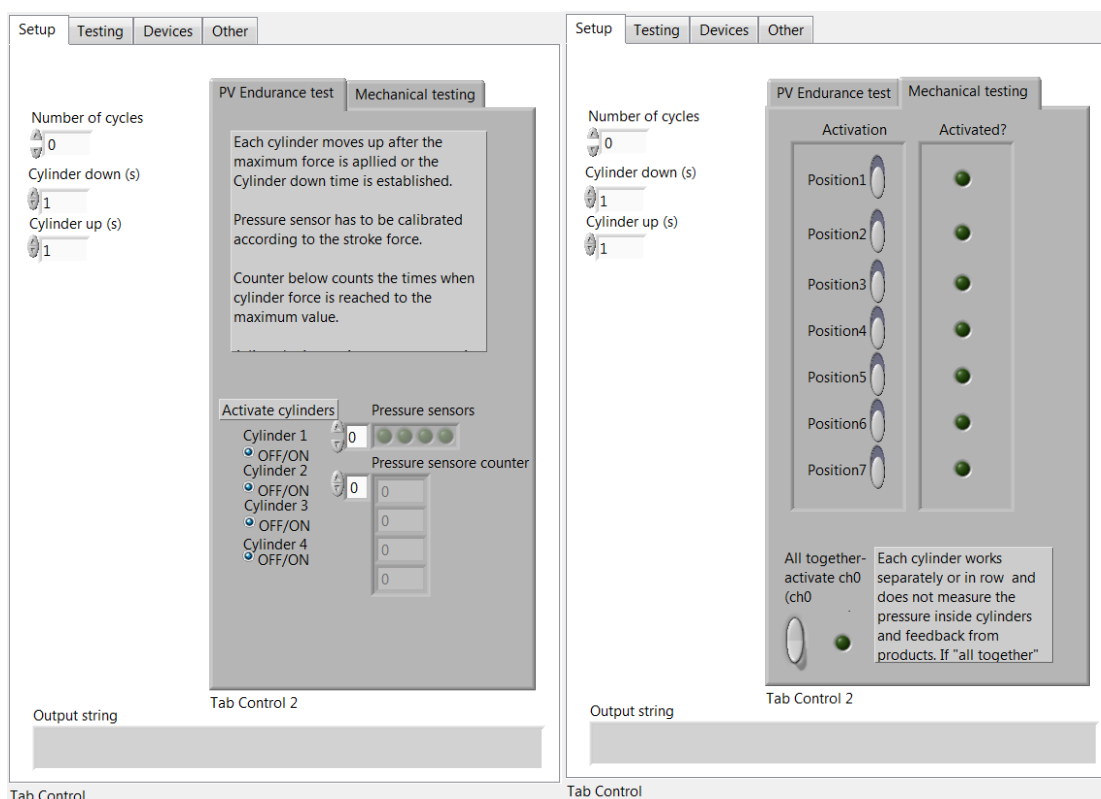
Sele 2.33. Toimingu 2 alamfunktsioonid

Tabel 2.6. Toimingu 2 alamfunktsioonide kirjeldus

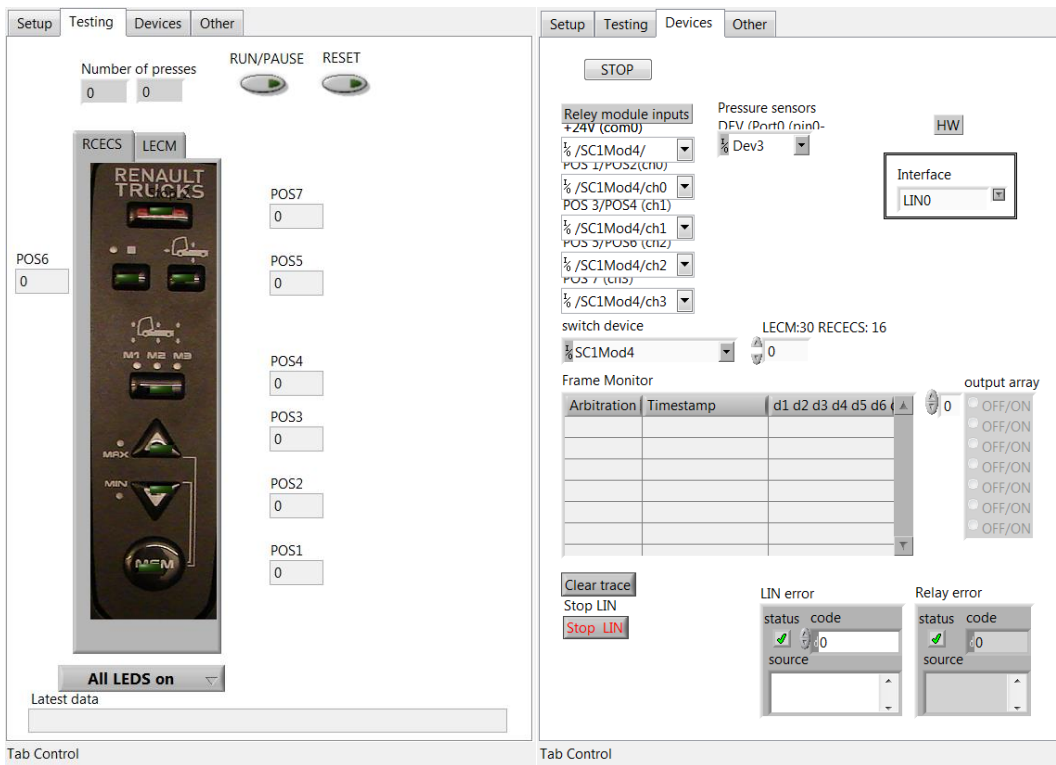
Alamfunktsioon number	Funktsionaalsus
2.1	LIN kommunikatsiooni initsialiseerimine
2.2	LIN kommunikatsiooni sulgemine
2.3	Toote versiooni 1 nuppude aktiveeringute tuvastamine (andmete dekodeerimine)
2.4	Toote versiooni 2 nuppude aktiveeringute tuvastamine (andmete dekodeerimine)
2.5	Kasutatava LIN informatsiooni dekodeerimine baitideks
2.6	LIN informatsiooni lugemine liinilt
2.7	LIN kommunikatsiooni põhiseadete seadistamine
2.8	LIN informatsiooni kirjutamise lõpetamise märguanne
2.9	LIN informatsiooni kirjutamine liinile
2.10	LIN informatsiooni massiivi kuvamine või puhastamine
2.11	LIN võrguga ühendamine
2.12	Toote nuppude aktiveeringute visualiseerimine kasutajaliidesel
2.13	LIN informatsiooni massiivi lisamine
2.14	Andmete kirjutamise ja lugemise vaheliste aja konstantide määramine

2.6.7. Kasutajaliidese kirjeldus

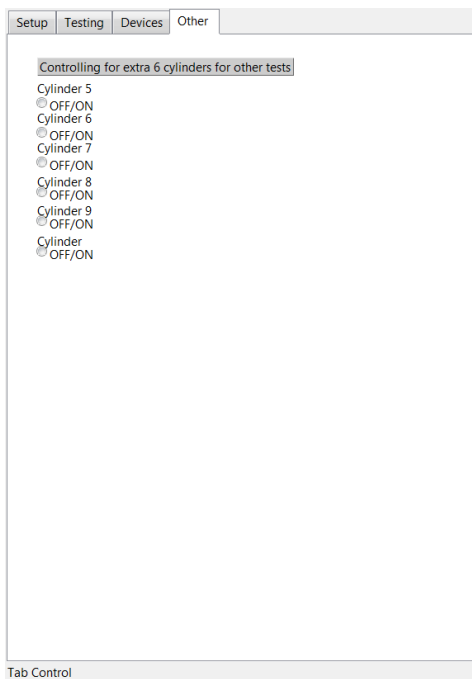
Loodud kasutajaliidese abil on võimalik muuta kõiki testi jaoks vajalike parameetreid, valida kasutatavaid silindreid või kasutatavat riistvara, kuvada jooksvalt nupuvajutuste kogu arvu, nuppude aktiveerimiste arvu ja andmevahetust toote ja arvuti vahel. Kogu liides on jaotatud neljaks erinevaks aknaks, kus on koondatud vastavalt testiga seotud parameetrid (Sele 2.34), jooksev informatsioon testi kohta, kasutatava riistvara valik (Sele 2.35) ja lisaks 6 lisa silindri juhtimine tulevasteks testideks (Sele 2.36).



Sele 2.34. Testiga seotavad parameetrid (vasakul: testimine koos rõhuandurite tagasisidega; paremal: test ilma rõhuandurite tagasisideta)



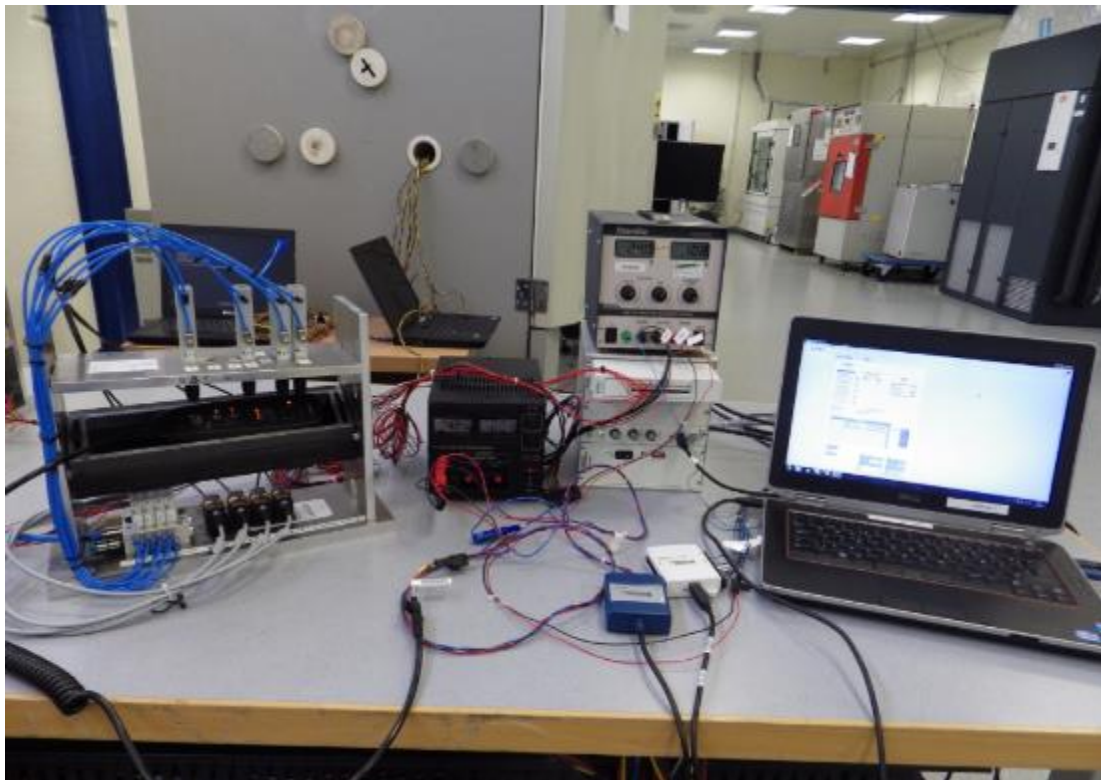
Sele 2.35. Vasak: pidev informatsioon testi kulgemise kohta; parem: riistvara valikud ja jooksev informatsioon andmeside kohta



Sele 2.36. Lisasilindrite aktiveerimine

2.7. Testseadme lõplik koost

Testseadme lõplik koost (vt. Sele 2.37), kus on näha kogu projekteeritud mehaanika, kasutatavad National Instrumentsi moodulid, toite allikad ja juhtarvuti.



Sele 2.37. Testseade

Koostamise käigus selgus, et projekteerimise faasis on tekkinud viga. Peale silindrite kinnitusplaadi poltide kinnikeeramist ei ole võimalik muuta toote testimise nurka, kuna toote kinnitusplaat on tihedalt surutud külgplaatide vastu. Viga on tingitud sellest, et silindrite kinnitusplaat (peatükk 2.4.5) ja toote kinnitusplaat (peatükk 2.4.3) on samas mõõdus ja toote kinnitusplaadi ja külgplaatide vahele ei teki lõtku. Antud nõue on aga ülesande püstituses oluline, hoidmaks kokku aega testide vahelise ajal. Selle lahendamiseks on lisatud silindrite kinnitusplaadi ja külgplaadi vahele seibid, mis tekitavad lõtku toote kinnitusplaadi ja külgplaadi vahele (vt Sele 2.38). Tegelikult oleks pidanud seda arvestama juba projekteerimise käigus ja toote kinnitusplaadi mõõt oleks pidanud olema väiksem silindrikinnitusplaatide mõõdust.



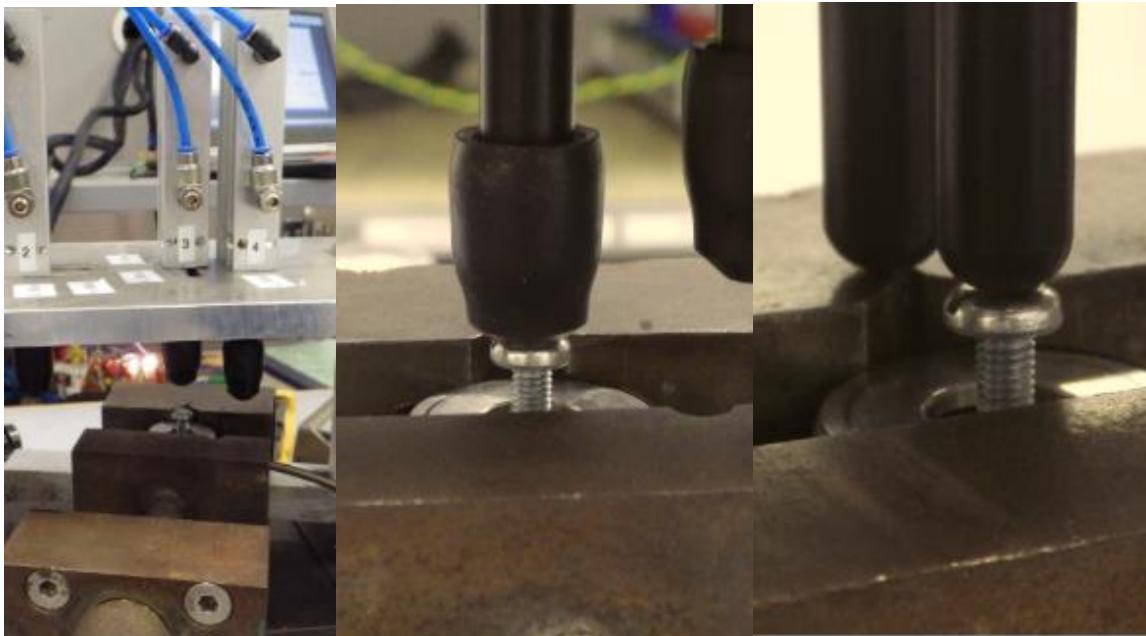
Sele 2.38. Lisatud seibid ja tekkinud lõtk

3. SILINDRI JÕUDUDE SEADISTAMINE JA TESTIMINE

3.1. Silindri jõudude seadistamine ja määramatuse hindamine

Ennem testseadme testimist ja testi suutlikkuse hindamist tuleb silindri rakendusjõud seadistada 28 N (kirjeldatud Tabel 2.1). Selleks on kasutatud eelnevalt kalibreeritud jõuandurit, mis on asetatud koos kinnitusrakisega toote kinnitusplaadile selliselt, et üks silindritest liiguks aktiveerimisel vastu andurit (vt. Sele 3.1) ja andurist pingete lugemiseks NI DAQ 6008 moodulit (seadmed on kirjeldatud

Tabel 3.1).



Sele 3.1. Seadistamine (Vasak: Testi ülesehitus; Paremalt: silinder aktiveeritud asendis koos kummist otsaga ja ilma)

Tabel 3.1. Silindri jõudude seadistamiseks kasutatavad seadmed

Seade	Inventari number	Kalibreerimise kuupäev
Honeywelli koormuselement	002863	20 Detsember 2013 [Lisa 7]
NI DAQ 6008 moodul	004553	7 November 2012 [Lisa 8]

Esmalt on rõhuregulaator suletud asendis ja seda hakatakse järk-järgult lahti keerama, et leida rõhk, mis tekitab sobiva jõu. Silindrijõudude leidmiseks on kasutatud valemit 3.1.

$$F_i = x_i \cdot a, \quad (3.1)$$

kus x_i on parandatud koormuselemendi väljundpinge väärtus, mida on mõõdetud DAQ 6008 mooduliga ja $a=10,1965 \text{ N/V}$ on suhtarv koormuselemendi kalibreerimise raportist. Parandatud pingeväärtsuse leidmisel on kasutatud valemit 3.2 [22].

$$X_i = x_i + K = v_i + K_1 + K_2, \quad (3.2)$$

kus x_i on mõõdise väärtus, K_1 on DAQ 6008 mooduli parand mõõtepiirkonnas 1-10 V, milleks on +0,003 V ja koormuselemendi parand mõõtepiirkonnas 1 V - 3 V on -0,013 V (parandid on leitud kalibreerimise raportitest).

$$X_i = x_i - 0,01 \quad (3.3)$$

Silindrijõudude seadistamisel leitud väärtused on kirjeldatud Tabel 3.2

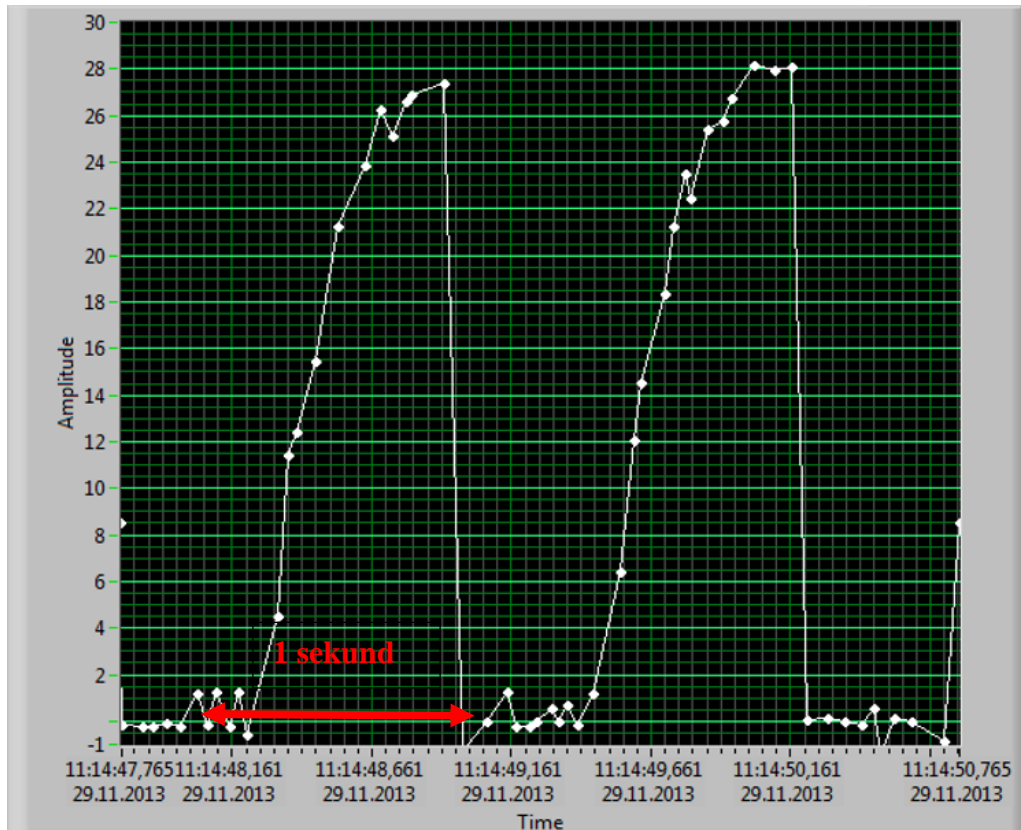
Tabel 3.2. Silindri jõud seadistamise katseandmed

Õhurõhk/bar	X_i/V	F_i/N
1,2	0,481	4,904517
1,6	0,968	9,870212
2,0	1,17	11,92991
2,4	1,481	15,10102
2,8	1,848	18,84313
3,2	2,148	21,90208
3,6	2,434	24,81828
4,0	2,718	27,71409
4,1	2,800	28,5502
4,2	2,863	29,19258

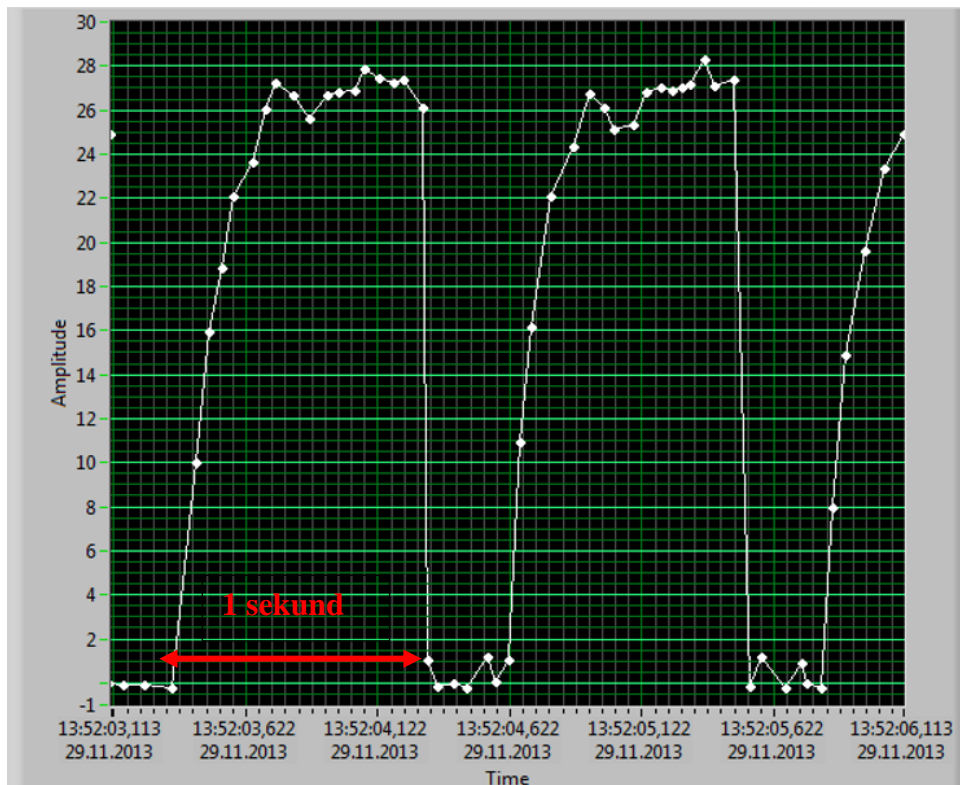
Katseandmetest on näha, et kasutatav tööõhk jääb 4,0 ja 4,1 bar vahele. Ülesande püstituses on nupuvajutuse jõu tolerantsideks $\pm 5 \text{ N}$, mis tähendab, et testi jooksul võib kasutatavaks rõhuks vabalt valida 4,05 bar, sellisel juhul on keskmine silindri poolt rakenduv jõud 28 N lähedusse.

Järgnevalt on loodud lihtne Labview programm, mille abil on võimalik jälgida silindripoolt rakenduvat jõudu, mõõtes pinget koormusandurilt. Lisaks juhib programm automaatselt silindreid, salvestades iga silindrivajutuse maksimaalse jõud. Jõuanduri ja silindri vaheline kaugus vabastatud asendis on umbes 15 mm ja drosselid on reguleeritud asendisse, kus

jõuandurile ei tekiks suurt lööki. Löögi leevendamiseks on võimalus silindri otstele lisada kummist ümbrised, mis samuti pehmendavad lööki nupule. See on oluline, et vältida toote pindmise kihi lõhkumist testseadme poolt. Sarnaselt on seadistatud ka kõik ülejäänud silindrid. Silindrid on aktiveeritud 1 sekundiks ja vabastatud 0,2 sekundiks. Jõugraafikud on kirjeldatud koos silindri otstele lisatud kummist katetega Sele 3.2 ja ilma kummist kateteta Sele 3.3.



Sele 3.2. Silindri jõugraafik koos kummist katetega sõltuvalt ajast Newtonites



Sele 3.3. Silindri jõugraafik ilma kummist kateteta sõltuvalt ajast Newtonites

Graafikutel selgub, et kummist otsad pehmedavad tunduvalt nupule tekitatud lööki. Kummist katteid kasutatud graafikult on näha, et jõu väärtused kasvavad aeglasemalt, kui ilma kummist otsteta, mis tähendab, et testimise käigus on mõistlik kasutada kummist otsasid. Lisaks on konsulteeritud ka mehaanika inseneriga, kes vastutab toote disaini eest, kelle soov oli võimalikult lühikest aega iga vajutuse käigus rakendada tootele maksimaalset vajutusjõudu.

Eelnevalt koostatud tarkvara abil on mõõdetud 30 järjestikuse silindrivajutuse jõud, et hinnata testseadme poolt rakenduvate jõudude määramatust, tulemused on kirjeldatud Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Silindrijõudude mõõdised tööpiirkonna läheduses

Number i	Mõõdis x_m	$(x_m - \bar{x})/V$	$(x_m - \bar{x})^2/V^2$
1	28,17444	0,041232	0,0017
2	27,98738	-0,14583	0,021265
3	28,00075	-0,13247	0,017547
4	28,25461	0,121401	0,014738
5	28,2947	0,161485	0,026078
6	28,08091	-0,0523	0,002735
7	28,33478	0,201569	0,04063
8	28,38823	0,255015	0,065033
9	28,20117	0,067955	0,004618
10	28,37486	0,241653	0,058396
11	27,97402	-0,15919	0,025341
12	28,08091	-0,0523	0,002735
13	28,37486	0,241653	0,058396
14	28,09428	-0,03894	0,001516
15	28,17444	0,041232	0,0017
16	28,45503	0,321822	0,10357
17	28,25461	0,121401	0,014738
18	28,46839	0,335183	0,112348
19	27,99428	-0,13894	0,019303
20	27,96066	-0,17255	0,029773
21	27,65335	-0,47986	0,230267
22	27,97402	-0,15919	0,025341
23	28,80764	0,677763	0,459363
24	28,10764	-0,02557	0,000654
25	28,13436	0,001148	1,32E-06
26	27,63999	-0,49322	0,243269
27	27,50637	-0,62684	0,392924
28	27,88091	-0,2523	0,063654
29	28,37486	0,241653	0,058396
30	27,89385	-0,23936	0,057292
Σ	843,8963	-3,2E-14	2,148479

Jõudude kogum \bar{x} on leitud valemiga 3.4.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{m=1}^n x_m, \quad (3.4)$$

kus n on mõõdiste koguarv.

$$\bar{x} = 28,1299 \text{ V}$$

Eksperimentaalne standardhälve on leitud valemiga 3.5 [22]

$$s(x_m) = \sqrt{s(x_m)^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{m=1}^n (x_m - \bar{x})^2} \quad (3.5)$$

$$s(x_m) = \sqrt{\frac{2,293693 \text{ V}}{30-1}} = 0,2722 \text{ V}$$

Standardmääramatus hinnang on leitud valemiga 3.6 [22]

$$u(\bar{x}_m) = s(x) = \frac{s(x_m)}{\sqrt{n}} \quad (3.6)$$

$$u(\bar{x}_m) = \frac{0,2722 \text{ V}}{\sqrt{30}} = 0,0497 \text{ V}$$

Antud kogumi statistilise analüüsi põhjal saadud standardhälve on võrdsustatav A-tüüpi hindamismeetodiga leitud mõõtemääramatusega ehk standardmääramatuseks. Lõpliku seadme määramatuse leidmiseks tuleb leida liitmääramatus, mis sisaldab keskkonnast, mõõteriistadest ja objektist tulenevaid mõõtemääramatusi. Objektist tulenev mõõtemääramatus tuleb välja korduvmõõtmiste põhjal leitud standardmääramatusega ja keskkonnast tingitud mõõtemääramatus on loetud ebaoluliseks, kuna testi sooritatakse laboratoorsetes tingimustes, mille keskkonna temperatuur on $21,5 \text{ °C} - 22,5 \text{ °C}$ ja õhuniiskus $55 \% - 65 \%$. Tehasepoolt on Honeywelli koormuselemendi laiendmääramatus 3 V juures $0,06 \text{ V}$ (95 % tõenäosusega), mis tähendab, et standardmääramatus on $0,03 \text{ V}$ ja DAQ 6008 mooduli laiendmääramatus $0,138 \text{ mV}$ (95 % tõenäosusega), mis tähendab, et standardmääramatus on $0,069 \text{ mV}$. Valemiga 3.7 [22] on leitud liitstandardmääramatus.

$$u(F) = \sqrt{u(\bar{x}_m)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial x_D} \cdot u_D(\bar{x}_m)\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial x_K} \cdot u_K(\bar{x}_m)\right)^2}, \quad (3.7)$$

kus $u_D(\bar{x}_m) = 0,000069 \text{ V}$ on DAQ 6008 mooduli standardmääramatus, $u_K(\bar{x}_m) = 0,03 \text{ V}$ on koormuselemendi standardmääramatus, $\frac{\partial F}{\partial x_D}$ ja $\frac{\partial F}{\partial x_K}$ on tulevised valemist 3.1 pingi järgi.

$$u(F) = \sqrt{0,0497 \text{ N}^2 + \left(10,1965 \frac{\text{N}}{\text{V}} \cdot 0,000069 \text{ V}\right)^2 + \left(10,1965 \frac{\text{N}}{\text{V}} \cdot 0,03 \text{ V}\right)^2} = 0,3002 \text{ N}$$

Laiendmääramatuse arvutamisel on kasutatud kattetegurit $k=3$, mis tagab usaldusväärsuse 99,73 %, mille leidmiseks on kasutatud valemit 3.8 [22].

$$U(F) = k \cdot u(F) \quad (3.8)$$

$$U(F) = 3 \cdot 0,3002 \text{ N} = 0,9006 \text{ N}$$

Lõpliku testseadmepoolt rakenduvate silindrijõudude tulemus on: $F = (28,1 \pm 0,9) \text{ N}$, usaldatavusega 95 %, mis mahub lubatud vahemikku $28,0 \pm 5 \text{ N}$.

3.2. Rõhuandurite seadistamine

Lisaks eelpool tehtud testseadme usaldusväärsuse hinnangule, on testseadmele lisatud ka toote ohutuse seisukohal rõhuandurid, mis vabastavad silindrid, kui jõud silindrites ületab mingil põhjusel seadistatud jõudu väärtust. Seadistatud väärtuseks on eelneva veahinnangu tulemusest lähtuvalt valitud tunduvalt suurem väärtus, mis mahub lubatava jõu piiridesse: $F_{\text{lubatav max}} = 30 \text{ N}$. Selleks on

Tabel 3.1 kasutatud seadmete abil silindrite rõhk seadistatud $(30 \pm 0,9) \text{ N}$ väärtusele ja aktiveeritud rõhuanduril olev nupp, mis salvestab selles punktis oleva aktiveerimis rõhu (vt. Sele 3.4). Selle tulemusena aktiveeruvad rõhuandurid seadistatud jõu suuruse juurest tänu silindri töö rõhule.



Rõhuanduri aktiveerimis
hetke seadistamine, kindlal
rõhul

Sele 3.4. Rõhuandurite seadistamine

3.3. Testseadme suutlikkuse analüüs

3.3.1. Testseadme suutlikkuse vajalikkus

Peale silindri jõudude seadistamist on läbi viidud testseadme suutlikkuse analüüs, et veenduda testseadme poolt rakendatud jõudude stabiilsuses ja suutlikkuses. Testseadme suutlikus ja stabiilsus tagavad testide korratavuse ja see on äärmiselt oluline, et erinevate testide tulemused oleksid võrreldavad, välistades olukorra kus täpselt samasuguste mehaaniliste omadustega toodete testitulemused on erinevad. Olukorras kus samasuguste mehaanilistega omadustega toodete testitulemused on erinevad, saab usaldusväärset testseadet kasutades väita, et toote komponentide tootmisprotsessid ei ole usaldusväärsed. Selline järeldus annab head tagasisidet tootmisüksusele või tarnija kvaliteedi eest vastutavale isikule, kes on vastutav sisse ostetud detailide kvaliteedi eest.

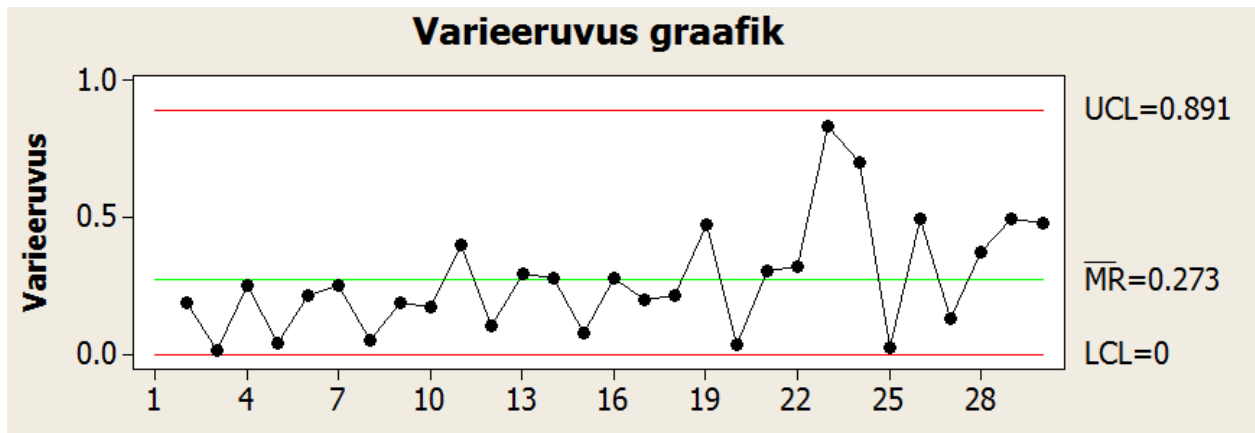
Analüüsi läbiviimiseks on kasutatud Minitab tarkvara, mis on väga laialdaselt kasutuses erinevates tööstuseettevõtetes, kus tuleb tootmisprotsesse hinnata ja analüüsida, et veenduda nende usaldusväärsuses ja vajadusel parendada protsessi osi, mis ei vasta ettenähtud kvaliteedinõuetele. Antud tööraames tehtavate analüüside meetodid ja valemid on viidatud tarkvarasiseselt ja kirjeldatud tarkvara manuaalis [23].

3.3.2. Katseandmete valik

Analüüsiks on kasutatud testseadme määramatuse hindamisel kogutud mõõdiseid. Kokku on analüüsi teostamiseks kasutatud 30 järjestikuse silindripoolt rakenduva jõu maksimum väärtust (vt. Tabel3.3), tegelikkuses tuleks usaldusväärsemate tulemuste saamiseks koguda andmeid pikema aja jooksul ja suuremas koguses, kuid antud töö raames ei jäänud selleks aega.

3.3.3. Testi protsessi ohje hindamine

Kogu testi suutlikkuse analüüsi läbiviimiseks tuleb eelnevalt veenduda, et kogu protsessi variatsioon on kontrolli all ehk rakenduvate jõudude varieerumine oleks ühtlane, mitte ületades lubatud piirväärtusi LCL ja UCL. See on oluline, kuna vastasel juhul ei ole võimalik hinnata protsessi stabiilsust. Selle kindlakstegemiseks on hinnatud mõõdiste varieeruvust (vt. Graafik 3.1).



Graafik 3.1. silindri jõudude varieeruvus

- Protsessi varieerumised on leitud valemiga 3.8.

$$R_i = |x_{i-1} - x_i|, \quad (3.8)$$

kus x_i on silindri jõu väärtus

- \overline{MR} on variatsioonide aritmeetiline keskmine.
- Variatsioonide kontroll limiidid on leitud valemitega 3.9 ja 3.10 [24].

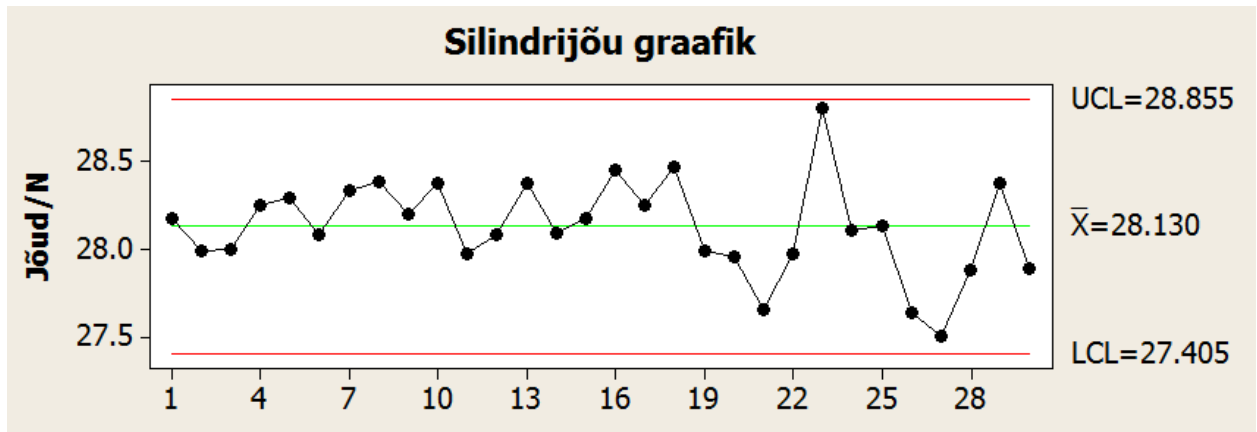
$$UCL = \overline{MR} + k \cdot d_3 \cdot \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (3.9)$$

$$LCL = \overline{MR} - k \cdot d_3 \cdot \frac{\overline{MR}}{d_2}, \quad (3.10)$$

Kus $k = 3$, $d_2 = 1,128$ on konstant hinnangulise standardhälbe leidmiseks ja $d_3 = 0,8525$ on konstant kontroll limiitide leidmiseks. Alumine kontroll limiit on 0, olukorras kus arvutuslikult on see alla 0.

Graafik 3.1, on näha, et kõigi alamgruppide varieerumised esinevad juhuslikult (ei esine märgatavat mustreit) keskjoone ümber ja ei ületa piirväärtusi (LCL ja ULC). Sellest saab järeldada, et protsessi on kontrolli all.

Järgnevalt on koostatud silindrijõudude graafik ajalises järjekorras (vt. Graafik 3.2).



Graafik 3.2. Silindri jõudude väärtused

- Protsessi keskvärtus on leitud valemiga 3.6
- Protsessi kontroll limiidid UCL ja LCL on leitud valemitega 3.11 ja 3.12 [14]

$$UCL = \bar{X} + k\sigma \quad (3.11)$$

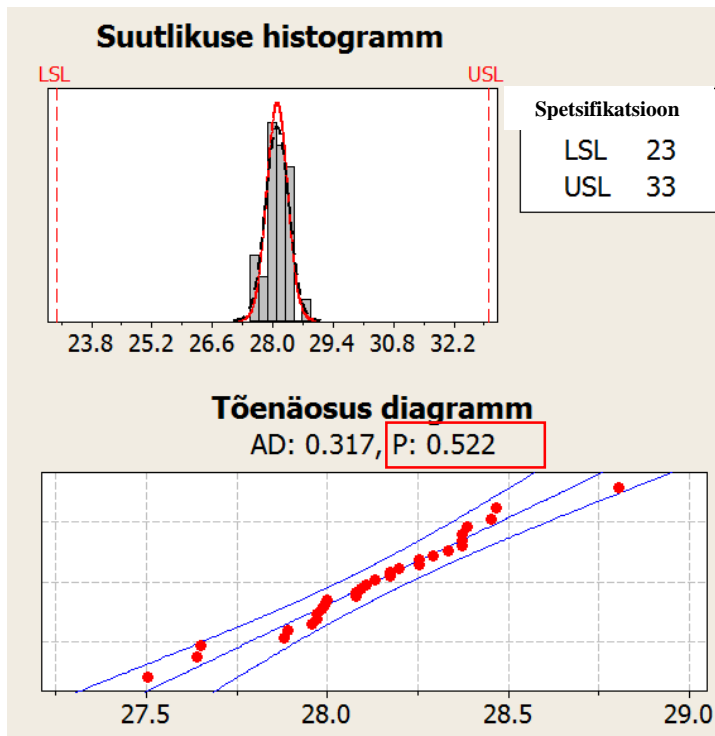
$$LCL = \bar{X} - k\sigma, \quad (3.12)$$

kus $k=3$ standardhälbe kordaja, σ eksperimentaalne standardhälve ja \bar{X} silindrijõudude aritmeetiline keskmine.

Graafik 3.2 on näha, et kõigi silindrijõudude väärtused esinevad juhuslikult keskjoone ümbruses ja ükski väärtus ei ületa lubatud piirväärtusi LCL ja ULC. Kuna eelnevalt on veendunud, et protsessi variatsioon on kontrolli all, siis saab väita, et protsess on valitud alamgruppide piires stabiilne ja kontrolli all ehk ohjes.

3.3.4. Protsessi normaaljaotisele vastavuse kontroll

Stabiilse protsessi suutlikkuse hindamiseks tuleb eelnevalt veenduda, et protsess allub ka normaaljaotisele, seda on eeldatud ka silindrijõudude määramatuse arvutusel. Selleks on koostatud kõigi mõõdetud jõuväärtuste kohta histogramm (Sele 3.5), lisaks on määratletud silindri jõudude lubatud piirväärtused LSL ja USL.



Sele 3.5. Protsessi histogramm ja tõenäosuse diagramm

Histogrammilt on näha, et protsess on normaaljaotise lähedane, lisaks tõenäosus diagrammil on arvutatud p-väärtus, mille tõttu saab protsessi lugeda normaaljaotisele vastavaks, juhul kui p on suurem kui 0,05 [13].

3.3.5. Protsessi suutlikkuse indikaatorid

Protsessi suutlikkuse hindamisel kasutatakse suutlikkuse indikaatoreid C_p ja C_{pk} .

C_p – on protsessi lubatava vahemiku suhe tegelikku vahemikku ja on leitav valemiga 3.13.

C_{pk} – on protsessi aritmeetilise keskmise ja lähima spetsifitseeritud piirlimiidi vahe suhe protsessi tegelikku vahemiku, leitav valemiga 3.14.

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6 \cdot \sigma} \quad (3.13)$$

$$C_{pk} = \min\left(\frac{\bar{X} - LSL}{3 \cdot \sigma}; \frac{USL - \bar{X}}{3 \cdot \sigma}\right), \quad (3.14)$$

kus σ on protsessi standardmääramatus (leitud valemiga 3.5).

Ettevõtte siseselt peavad kasutatavad protsessid vastama tööstuses laialt levinud kvaliteedinõuetele, et nii C_p kui ka C_{pk} peavad olema uue protsessi puhul suuremad kui 1,50

[25] vastasel juhul tuleb protsessi parendada. Vaadeldava testi protsessi suutlikkuse indikaatorid on vastavalt:

$$C_p=6,12,$$

$$C_{pk}=5,96,$$

mis tähendab, et testi protsess vastab nõutavatele kvaliteedinõuetele ja tagab testide korratavuse.

4. MAKSUMUSE HINDAMINE

4.1. Arendustöö maksumus

Stoneridge testilabor on ettevõttes üksus, mis eksisteerib teistest arendusosakondadest eraldiseisvana. See tuleneb asjaolust, et toodete testimise tulemused oleksid sõltumatud teistest osakondadest. Iga toote verifitseerimise, valideerimise või eraldiseisva testi saamiseks tuleb pöörduda testilabori poole testi tellimusega. Testi tellimuse vastuvõtmisel lepitakse kokku hinnanguline ajakulu testide tegemisele, testseadmete projekteerimisele ja raportite koostamisele, mille kohta esitab testilabor projektile arve. Selle tõttu on ka antud töös käsitletud testiseadme arendusele kulunud aeg maksustatud projekti kuludest. Ettevõtte siseselt on kokku lepitud ühe inseneri töötunni hinnaks 60 €/h.

Testseadme arendusele ja testimisele kulunud aeg ja kulud kuude lõikes, on väljatoodud Tabel 4.1, kust on näha, et testseadme arendus läks kokku maksma 9660 €.

Tabel 4.1. testseadme arendusele kulunud aeg ja maksumus kuude lõikes

Kuu	Töötunnid (tundi)	Maksumus (€)
Jaauar 2013	1,5	1,5
Veebruar 2013	2,5	2,5
Märts 2013	7,0	7,0
Aprill 2013	11,0	11,0
Mai 2013	8,0	8,0
Juuni 2013	26,0	26,0
Juuli 2013	15,0	15,0
August 2013	0	0
September 2013	0	0
Oktoober 2013	22,0	22,0
November 2013	44,0	44,0
Detsember 2013	24,0	24,0
Kokku	161 tundi	9660 €

4.2. Materjalide ja seadmete maksumus

Teine osa kogumaksumusest moodustub seadmete ja materjalide maksumusest. Siin tuleb aga arvestada asjaolu, et järgnevad seadmed: NI SCXI moodul 1000, moodul 1600 ja toiteallikad kuuluvad testilaborile ja nende kulusid testseadme kuludesse ei arvestata. Lisaks ei ole maksumuse juurde arvestatud silindrijõudude seadistamiseks ja määramatuse hindamiseks kasutatud seadmete maksumust, kuna eelnevalt mainitud seadmed jäävad pärast testide sooritamist testilabori kasutusse ja vajadusel saab neid kasutada ka teiste testseadmete juures.

Alumiiniumist, terasest ja plastikust komponendid on tellitud Freesikojast, pneumaatikaga seotud komponendid on tellitud Festo käest ja elektrilised moodulid National Instrumendilt.

Kõik kasutatud seadmed ja nende maksumused on kirjeldatud Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Seadmete ja materjalide maksumus

Toode	Kogus (tk)	Ühiku hind (€)	Hind kokku (€)
DMM-10-30-P-A Kompaktsilinder	4	68,02	272,08
PUN-3X0,5-BL Plastvoolik	10	0,60	6,00
Jaotitermina	1	322,56	322,56
GRLA-M3-QS-3 Ühesuunaline drossel	4	15,95	63,80
QSML.M3-3 L-liitmik	4	4,24	16,96
Toote kinnitusplaat	1	52,00	52,0
Toote kinnitusraam	1	44,80	44,80
Silindrite kinnitusplaat	1	66,50	66,50
Alusplaat	1	47,50	47,50
Külglplaat	2	16,50	33,00
Silindri plastik otsad (suured)	4	15,00	60,00
Silindri plastik otsad (väikesed)	4	12,00	48,00
Rõhuandur	4	78,05	312,20
NI DAQ 6008 moodul	1	162,00	162,00
NI USB-8476 LIN moodul	1	359,01	359,01
Kokku			1866,41 €

4.3. Kogu maksumus

Kahe eelneva peatüki kokkuvõtteks saame leida testseadme kogumaksumuse, mis sisaldab endas nii arenduskulusid, kui ka materjalide ja seadmete maksumust, mis on kokku 11526,41 €. Kuna testseadet on võimalik kasutada ka tulevikus, siis peatükis 4.1 ja 4.2 koondatud andmete põhjal on võimalik kergesti leida vajalike modifitseerimist vajavate detailide ligikaudsed hindasid ja lisaks hinnata tulevikus sarnaste testseadmete arenduseks kuluvat aega ja maksumust.

KOKKUVÕTE

Autotööstuses on igale kasutatavale komponendile ja detailile seatud ranged kvaliteedinõuded, millele vastavust peab iga tootja enne masstootmise alustamist kontrollima. Kvaliteedinõuded antakse tootjale ehk tarnijale ette juba enne hinnapakumise teostamist, kuna vastasel juhul ei ole võimalik hinnata toote lõpliku ja arendusele kuluvat maksumust. Antud lõputöö on seotud ühe sellise testseadme juurutamisega ja projekteerimisega, mis kontrollib Volvo veokites kasutatava juhtpuldri nuppude vastupidavust kogu ettenähtud eluaja jaoks.

Volvo poolt ettenähtud nõuded testitavale tootele on järgmised: toote iga nupp peab vastu pidama vähemalt 300 000 nupuvajutust, mis on sooritatud kahe erineva nurga sihis 28 N jõuga. Vastupidavuse all on mõeldud seda, et toode töötab kogu testi ulatuses nii funktsionaalselt kui ka mehaaniliselt ja peale testi lõppu ei tohi olla ükski mehaaniline osa purunenud. Kõik eelpool mainitud nõuded peavad antud töö raames projekteeritud testsüsteemiga olema kontrollitavad ja teostatavad. Lisaks peab testsüsteem olema kergesti kasutatav ja vajadusel kergesti modifitseeritav uute toodete testimiseks. Antud tingimus võimaldab säästa tulevikus uute toodete testidelt.

Projekteerimise käigus selgus, et toote nuppude vastupidavuse test tuleb teostada kahes erinevas osas, mis on tingitud asjaolust, et ei leitud piisavalt kompaktsid silindreid, mis mahuksid üksteise kõrvale ära. Sellest tulenevalt valiti toote nuppude vajutamiseks neli kompaktsilindrit, mida tuleb testide vahelisel ajal liigutada ühest asendist teise. Nupuvajutuse sihti on võimalik valida 90°, 60°, 45° või 30° vahel, ilma ühtegi polti lahti keeramata. Selle omaduse täitmisel tehti projekteerimise käigus viga ja esialgu oli toote kinnitusplaat, mis võimaldas muuta vajutuse nurka, surutud külgplaatide vahele pinge alla. See probleemi oli lahendatav ja silindrite kinnitusplaadi ja külgplaadi vahele on lisatud seibid, mis tekitavad toote kinnitusplaadi ja külgplaadi vahele lõtku.

Peale testsüsteemi koostamist ja testimist võib öelda, et mehaaniliselt on kõik õnnestunud. Toodet on lihtne kinnitada, kuna toote alused magnetid fikseerivad toote väga kindlalt ettenähtud kohta. Lisaks arvestati projekteerimise käigus asjaoluga, et toote nupuvajutuse sihi muutmisel ei oleks vaja toodet ennast koos teda ümbritseva raamiga nihutada, vaid nuppude tsentrid jääkvad silindrite suhtes liikumatuks. See omadus tuli ka reaalse testimise käigus hästi välja ja hoidis tunduvalt kokku testimisele kulutatud aega.

Pneumaatilise lahenduse kohapealt toimib testsüsteem selliselt nagu see oli planeeritud, ainukeseks miinuseks on asjaolu, et silindrite poolt rakenduvaid jõudusid ei ole tulevikus võimalik seadistada alla 10 N. See on tingitud asjaolust, et suunaventiilid on võimendusega juhitavad ja silindrite jaoks vajaliku 10 N jõu saavutamiseks kasutatav sisendrõhk ei lülita suunaventiile korralikult ümber. Tulevikus, kui antud testseadet on vaja kasutada selliste jõududega testide sooritamiseks, tuleb investeerida uutesse suunaventiilidesse.

Järgneva osa tööst moodustas andmeside uurimine, elektriliste seadmete valik ja elektriliste ühenduste teostamine. Elektriliste ühenduste kohta ei ole loodud tööjooniseid, kuna projekti meeskond ei pidanud seda vajalikuks. Elektrilised ühendused on seletatud testseadme kasutusjuhendis, mida on võimalik leida Lisas 9. Silindrite juhtimiseks kasutatud moodul ja rõhureleedelt informatsiooni lugemiseks kasutatud moodul töötasid nii nagu projekteerimise käigus planeeriti ja tõrkeid ei esinenud. Probleeme valmistas toote ja arvutivaheline suhtlus, kuna esialgu puudus korrektne dokumentatsioon toote andmesideprotokolli kohta. Selle käigus tuli palju katsetada ja proovida, ennem kui oli võimalik juhtpuldi poolt edastatud informatsioon õigesti dekodeerida.

Kolmas ja kõige rohkem aega nõudnud osa on seotud testseadme tarkvara arendusega. Kogu tarkvara rakendus on kirjutatud Labview keskkonnas, mis võimaldab juhtida silindreid eraldiseisvalt, üheaegselt või kombineerides erinevaid lahendusi. Samuti suhtleb tarkvara edukalt tootega ja loendab toote iga nuppu aktiveerimiste arvu, salvestades need ka arvuti kõvakettale. Andmed on vajalik jooksvalt salvestada, kuna elektrikatkestuste või muude tegurite tõttu võib arvuti teha ootamatu taas käivituse ja kõik andmed testi hetkeseisu kohta kaoksid. Lisaks eelpool mainitud põhilistele omadustele võib kasutaja edastada tootele sõnumeid, mis panevad toote valgusdiodid põlema, kustu või vilkuma. Võimalus on integreerida 6 lisa silindrit, mida tarkvara suudab juhtida, kuid mille kohta tagasiside tootest ei loeta. Tagasiside loendus tuleb tarkvarale vajadusel juurde lisada. Kokkuvõtlikult võib öelda, et tarkvara vastab igati ülesande püstituses seatud eesmärkidele ja isegi ületab oma funktsionaalsuselt neid.

Peale testsüsteemi projekteerimist ja koostamist on hinnatud testseadme suutlikust ja silindrite vajutusjõudude määramatust. 30 järjestikuse mõõtmise põhjal on leitud, et 99,73 % tõenäosusega on silindri poolt nupule rakenduv jõud $(28,1 \pm 0,9)$ N, mis mahub lubatavasse vahemikku $(28,0 \pm 5)$ N. Olenemata leitud määramatusest on toote ohutuse seisukohast testsüsteemile lisatud rõhuandurid, mis aktiveeruvad kui silindrite poolt rakenduv jõud ületab

mingil põhjusel lubatavat väärtust. Eelneva täpsushinnangu tulemuse tõttu on rõhureleede aktiveerimise jõuks valitud 30 N, mille juures silinder automaatselt vabastatakse. Lisaks testsüsteemi määramatuse hindamisele on leitud ka testsüsteemi suutlikust iseloomustavad indeksid C_p ja C_{pk} , mis mõlemad peavad olema üldiste kvaliteedinõuete kohaselt üle 1,50. Antud töös tehtud analüüsi põhjal on $C_p = 6,12$ ja $C_{pk} = 5,96$, testiprotsess on stabiilne ja vastavuses normaaljaotusega, mille tõttu saab väita, et antud testsüsteemi kasutades on testitulemused korratavad.

Viimase osana on hinnatud testsüsteemi kogumaksumust, milleks on 11526,41€. Kogumaksumusest moodustab 83 % testsüsteemi arendusele ja testimisele kulunud aeg ja ülejäänud on seadmete ja detailide maksumus. Sellest saab järeldada, et tulevikus uute toodete vastupidavustestide läbiviimisel tuleb arvestada palju väiksemate kulutustega, mis sisaldavad endas silindrite kinnitusplaadi tootmist vastavalt uue toote nuppude asetusele ja tarkvara uuenduse teostamist tootest tagasiside lugemiseks.

Kokkuvõtteks võib jääda kogu arendustööga rahule, kuna testseade töötab vastavalt ettenähtud nõuetele ja on heaks kiidetud Volvo inseneride poolt. Lisaks on saadud väga palju uusi kogemusi testseadme arenduse, seadistamise ja testimise käigus. Lõppkokkuvõttes tuleb projekti lugeda õnnestunuks.

SUMMARY

The paper is divided into three parts. The first part analyses the requirements for the test equipment and explains the whole design flow. The second part focuses on the uncertainty of the forces applied and the evaluation of the performance. The third part gives an overview of the total cost of the equipment. The total cost takes into account the cost of the purchased equipment and also the cost of time spent on designing.

There are strict quality requirements for components used in the automotive industry. These requirements have to be met before each manufacturer starts mass production. These quality requirements are given to the manufacturer/supplier before the quote is calculated. Without the known requirements it is not possible to estimate the end cost of the product and the cost for development. This paper gives an overview about designing and developing specific test equipment for button endurance test for Volvo new consoles.

The specified requirements given by Volvo are following: each button in a console has to last at least 300 000 presses that are executed in two different directions with 28 N force. It means that the functionality of each button should be monitored during the full test and there cannot be any malfunctions. Furthermore the test system must be easy to use and it should be easy to make modifications for the equipment when it will be used for testing new products in the future.

During the design phase it appeared that the whole test needs to be done in two different phases because there was no room to fit the smallest cylinders next to each other. Because of this four compact cylinders were chosen for pressing the buttons and the position of each cylinder can be easily changed according to the location of untested buttons. There is also an opportunity to easily switch the direction of the button presses from 90°, 60°, 45° or 30° without unscrewing any of the bolts.

After the mechanical parts were developed and the test system was put together it can be said that from the mechanical point of view everything worked out as planned. It is easy to attach the product since the magnets under the product keep it in place firmly in the estimated location. Also there is no need to shift the product after the push angle is changed because the top surface of the buttons are located to the rotation centre of the product fixation plate.

From the view of pneumatics the test system works as planned. The only con in the matter was that the forces applied by the cylinders are not possible to configure under 10 N. The reason of

that is that the valves used to control the cylinders are using the same air pressure which is used by the cylinders and the pressure is not enough (when cylinder force is adjusted under 10 N) to switch the valves properly. If there will be need to use this test system by pressing the buttons under 10 N there will be need to invest in new valves.

The second part of the design process was composed of investigating the data communication protocol and selecting the electrical devices which are controlling the valves and reading signals from pressure sensors. All the electrical connections are explained in the user manual in Attachment 9. Everything related with used devices and electrical connections worked out fine. The problematic part was the communication between the product and the computer because at first there was no correct documentation for the data communication protocol of the product.

The third and the most time consuming part of the design process is related to development of the software for the test system. The software is written in the Labview environment and it allows to operate the cylinders separately, all together or in a combination of different solutions. The software communicates properly with the product and counts each activation of a button and stores it to a hard drive. The results should be stored immediately in case of power shortage or other disasters so that the results would not be lost. The user can send messages to the product that can activate, de-activate or put the LEDs to blink. There is also possibility to integrate six additional cylinders that the software is able to operate, but in this case the feedback from the product will not be used. This attribute will need to be added on need to the software. In summary it can be said that the software meets all objectives given and functionally even exceeds them.

In the second part of the paper the process capability of the test equipment and the uncertainty of the pressing force of the cylinders is evaluated. Based on 30 continuous measurements it was found that with probability of 99,73 % the pressing force of the cylinders is $(28,1 \pm 0,9)$ N which is in the allowed tolerance limit $(28,0 \pm 5)$ N. The capability indexes C_p ja C_{pk} which should be at least 1,50 were also calculated. The results of the capability indexes are the following $C_p = 6,12$ and $C_{pk} = 5,96$ so it can be said that the test process is stable and the whole test itself is repeatable.

The last part of the paper evaluates the total cost of the test equipment which is 11526,41 €. 83 % of the total cost is made of cost of the development time and the rest value is made of the cost of purchased equipment and components. It can be assumed that in the future when another

button endurance test has to be performed it will have lower costs as the test equipment offers the possibility to adjust the parts according to the button layout.

To summarize the above it can be said that the development is satisfactory as the test equipment works as required and is approved by Volvo engineers. A lot of new experiences were gained during the development of the test equipment.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Stoneridge kodulehekülh [WWW]
<http://www.stoneridge.com/> (21.05.2014)
2. Solidworksi kodulehekülg [WWW]
<http://www.solidworks.com/sw/products/3d-cad/packages.htm> (21.05.2014)
3. FluidSim kodulehekülg [WWW]
http://www.fluidsim.de/fluidsim/indexdemo5_e.htm (21.05.2014)
4. LabVIEW kodulehekülg [WWW]
<http://www.ni.com/labview/> (21.05.2014)
5. Switch mooduli kodulehekülg [WWW]
<http://www.ni.com/white-paper/10092/en/> (21.05.2014)
6. CAN mooduli kodulehekülg [WWW]
<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/206955> (21.05.2014)
7. Microsoft Office kodulehekülg [WWW]
<http://office.microsoft.com/en-001/excel/> (21.05.2014)
8. Minitabi kodulehekülg [WWW]
<http://www.minitab.com/en-us/> (21.05.2014)
9. Festo kodulehekülg [WWW]
http://www.festo.com/cms/et_ee/index.htm (21.05.2014)
10. Hack a day kodulehekülg. [WWW]
<http://hackaday.com/2011/01/01/cell-phone-endurance-tests/> (10.04.2014)
11. Hüdro- ja pneumoajamite õppematerjalide slaid H15 [WWW]
<http://innomet.ttu.ee/oppetoo/> (05.10.2010)

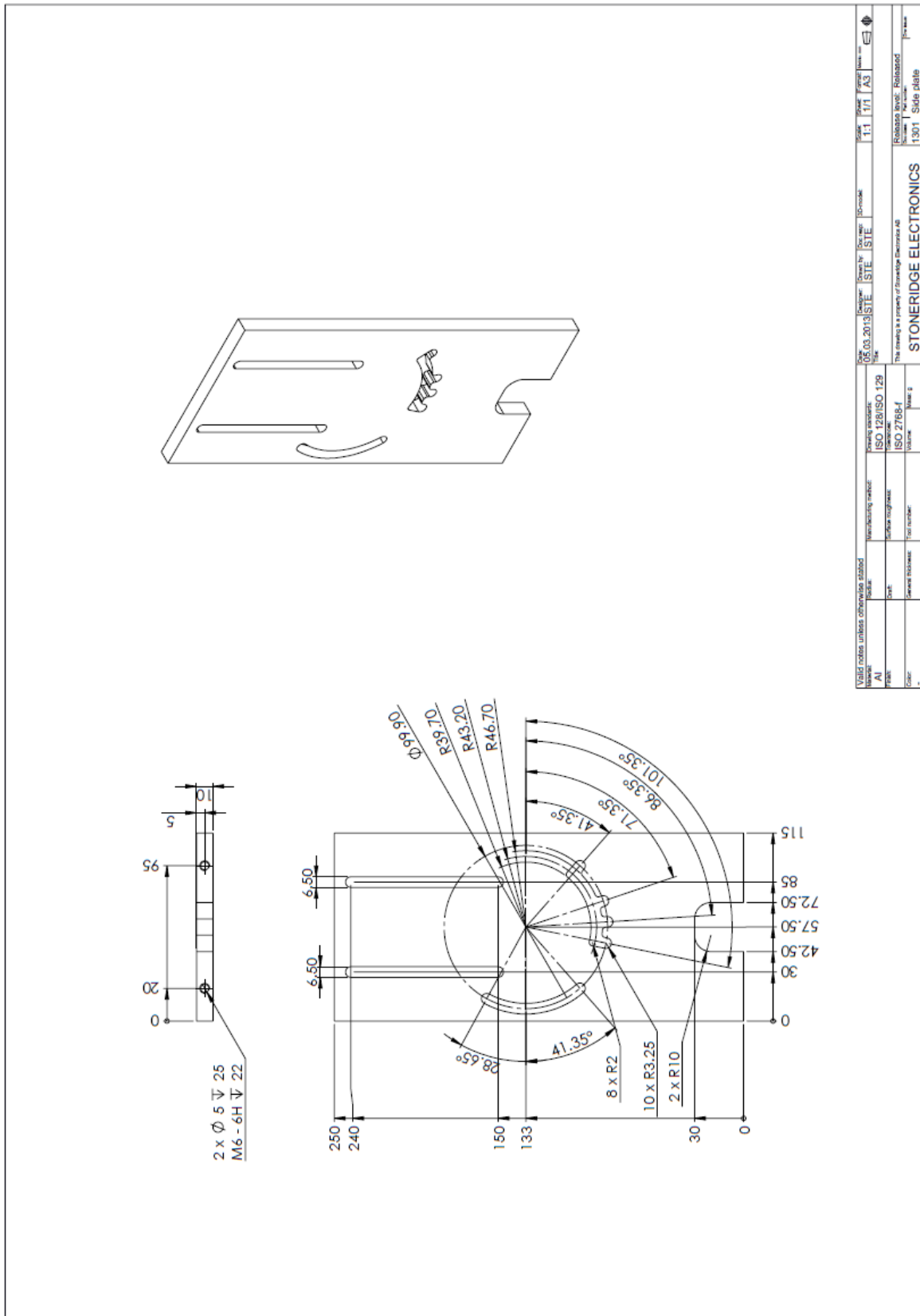
12. Festo DMM-10-30-P-A Silindri andmeleht [WWW]
https://www.festo.com/cat/et_ee/products_DMM_EMM (5.04.2013)
13. NI DAQ 6008 Moodul [WWW]
<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/201986> (5.04.2013)
14. NI mooduli SCXI-1127 koduleht [WWW]
<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/10884> (03.04.2014)
15. NI mooduli SCXI-1000 koduleht [WWW]
<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/1604> (03.04.2014)
16. NI mooduli SCXI-1600 koduleht [WWW]
<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/14235> (03.04.2014)
17. NI mooduli SCXI-1127 andmeleht [WWW]
<http://www.ni.com/pdf/manuals/373470g.pdf> (03.04.2014)
18. Festo SDE5 andmeleht [WWW]
<http://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/323500/8002844d2.pdf> (05.04.2014)
19. NI Sissejuhtus LIN protokoll [WWW]
<http://sine.ni.com/np/app/main/p/ap/icommm/lang/en/pg/1/sn/n17:icommm,n21:9536/fmid/2955/> (10.06.2013)
20. NI USB-8476 kodulehekülg [WWW]
<http://www.ni.com/pdf/manuals/370289p.pdf> (10.06.2013)
21. Wikipedia lehekülg [WWW]
<http://en.wikipedia.org/wiki/LabVIEW> (10.05.2014)
22. Laaneots, R, Mathiesen, O. Mõõtmise alused. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli kirjastus 2002
23. MINITAB Manual for David Moore and George McCabe's, Introduction to the practice of statistics [WWW]
<http://bcs.whfreeman.com/ips4e/supplements/Minitab/man1-6.pdf> (14.05.2014)
24. D. J. Wheeler, D. S. Chambers. Understanding Statistical Process Control, Second Edition, SPC Press, Inc 1992

25. Wikipedia kodulehekülj [WWW]

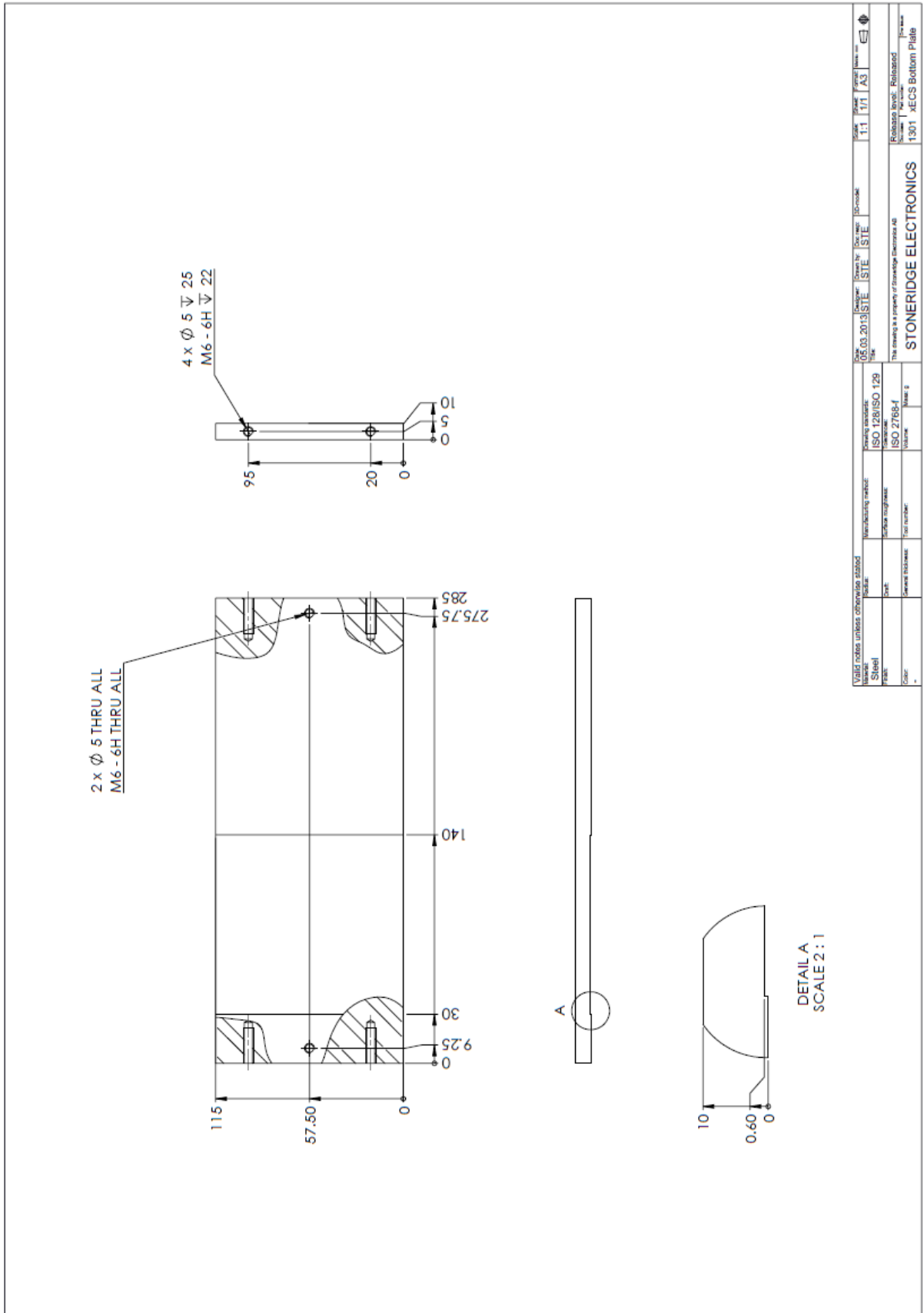
http://en.wikipedia.org/wiki/Process_capability_index (14.05.2014)

LISAD

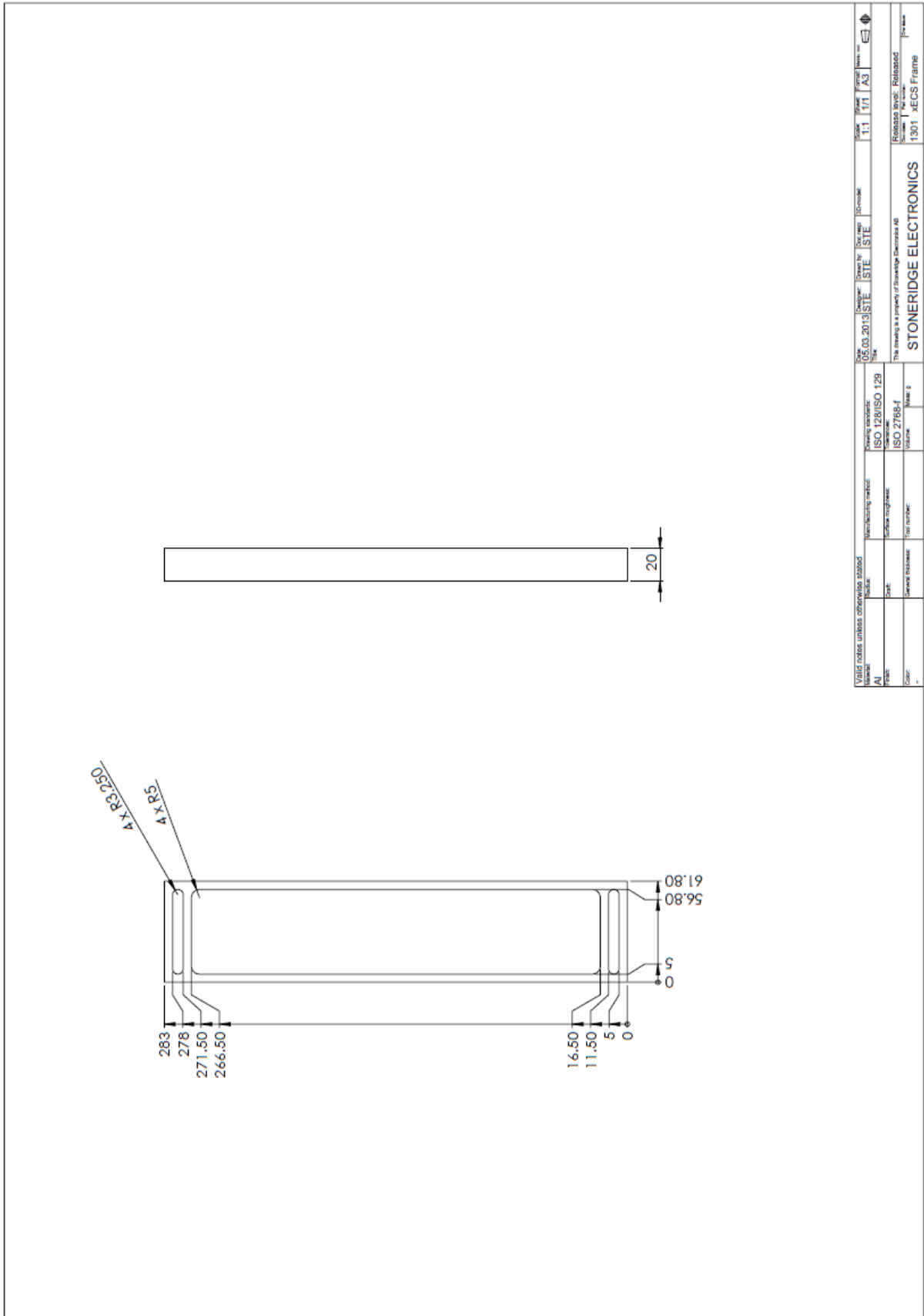
Lisa 1. Külgplaadi tööjoonis



Lisa 2. Kinnitusplaadi tööjoonis

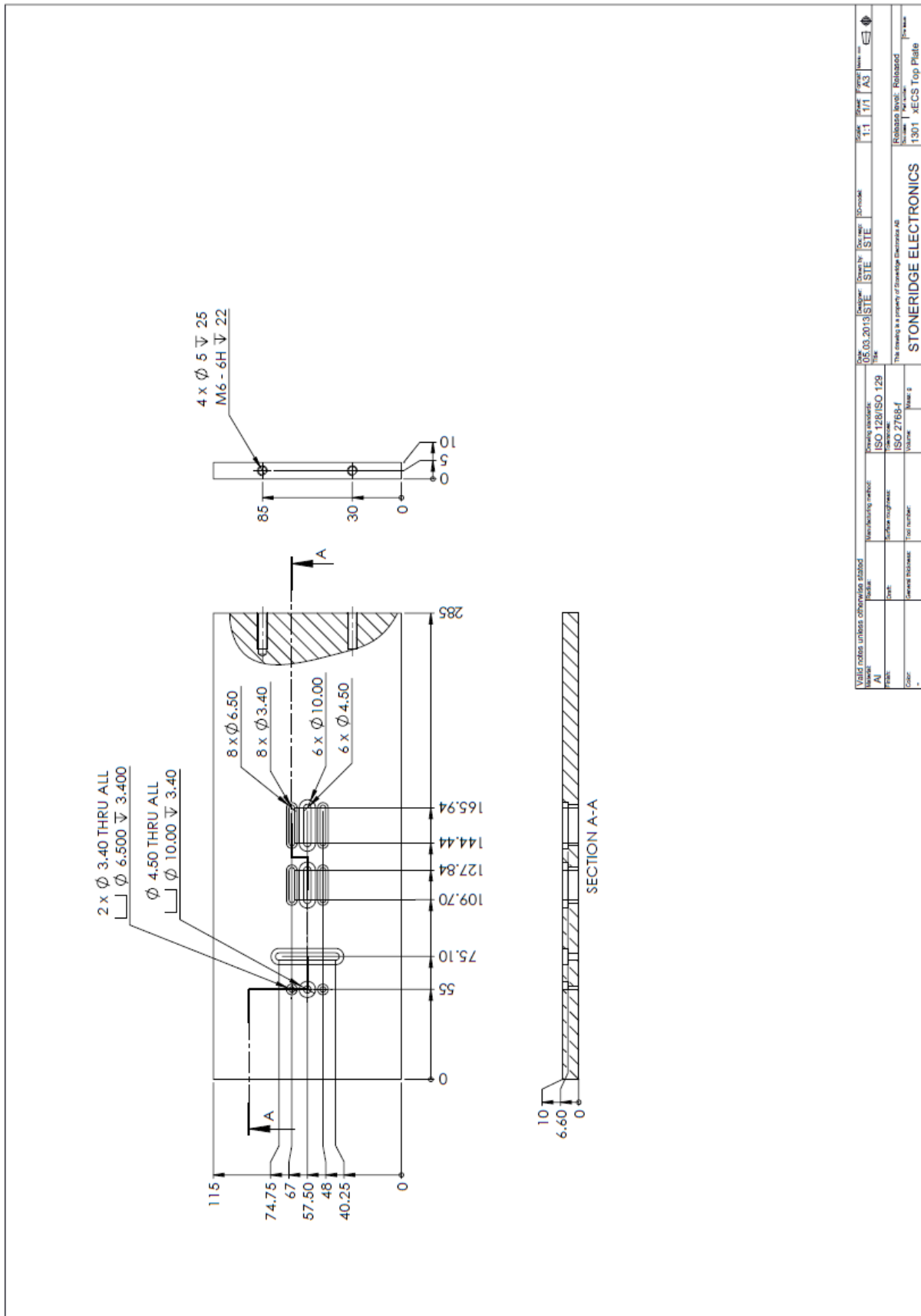


Lisa 3. Toote kinnitusraami tööjoonis



VALID notes unless otherwise stated		Date: 05.03.2013		Drawn by: STE		Checked: STE		Scale: 1:1		Sheet: 1/1		Total: A3	
Material: AI	Manufacturing method: ISO 12815 ISO 129	Surface roughness: ISO 2768-F	Volume: 1	Issue: 1	STONERIDGE ELECTRONICS								
Color: 1	Part number: 1301	Product name: XECS Frame	This drawing is a property of Stoneridge Electronics AB										

Lisa 4. Silindrite kinnitusplaadi tööjoonis



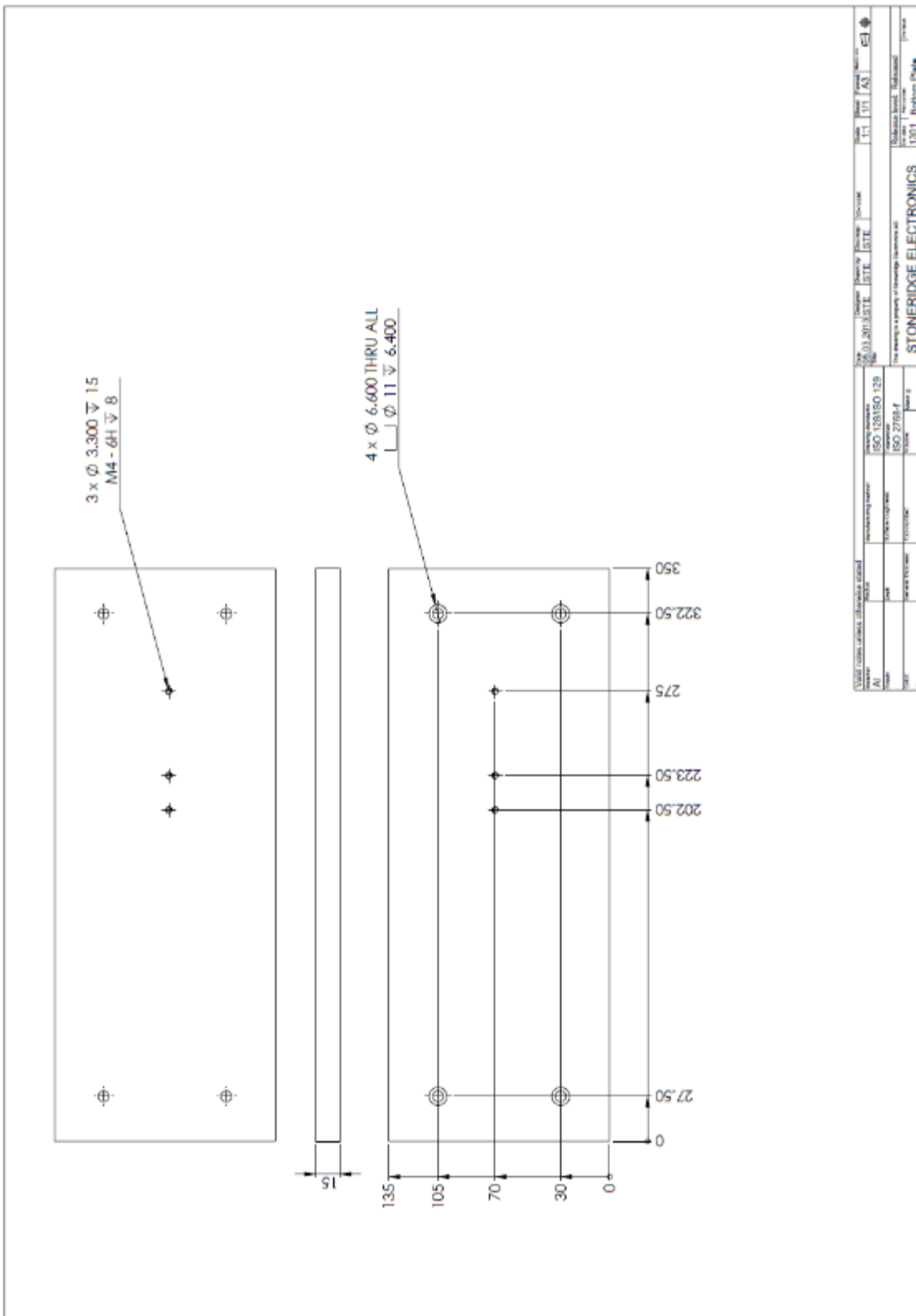
Valid notes unless otherwise stated		Drawing No: 1301-03-2013		Drawing Date: 11/17/13		Drawing Scale: 1:1	
Part No: 1301-03-2013	Part Name: 1301-03-2013	Manufacturing method: ISO 128/ISO 129	Material: 1301-03-2013	Drawing No: 1301-03-2013	Drawing Date: 11/17/13	Drawing Scale: 1:1	Drawing Scale: 1:1
Part No: 1301-03-2013	Part Name: 1301-03-2013	Surface roughness: ISO 2788-F	Material: 1301-03-2013	Drawing No: 1301-03-2013	Drawing Date: 11/17/13	Drawing Scale: 1:1	Drawing Scale: 1:1
Part No: 1301-03-2013	Part Name: 1301-03-2013	Surface roughness: ISO 2788-F	Material: 1301-03-2013	Drawing No: 1301-03-2013	Drawing Date: 11/17/13	Drawing Scale: 1:1	Drawing Scale: 1:1
Part No: 1301-03-2013	Part Name: 1301-03-2013	Surface roughness: ISO 2788-F	Material: 1301-03-2013	Drawing No: 1301-03-2013	Drawing Date: 11/17/13	Drawing Scale: 1:1	Drawing Scale: 1:1

Robinson Inc. - Robust
1301-03-2013

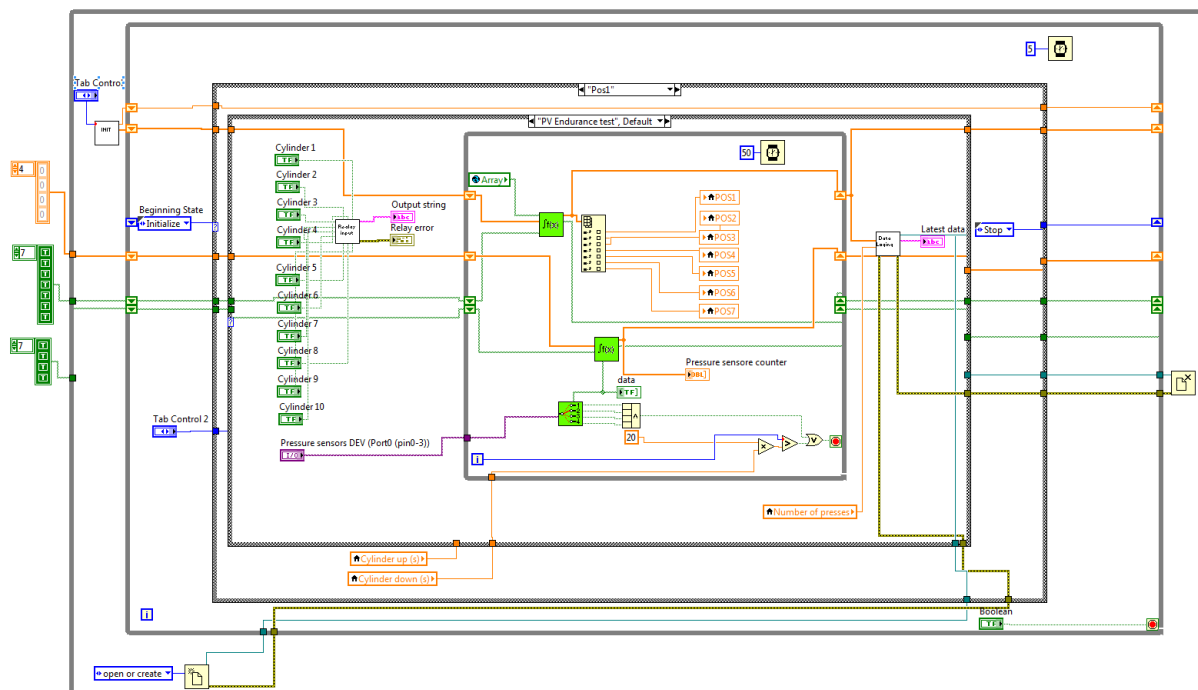
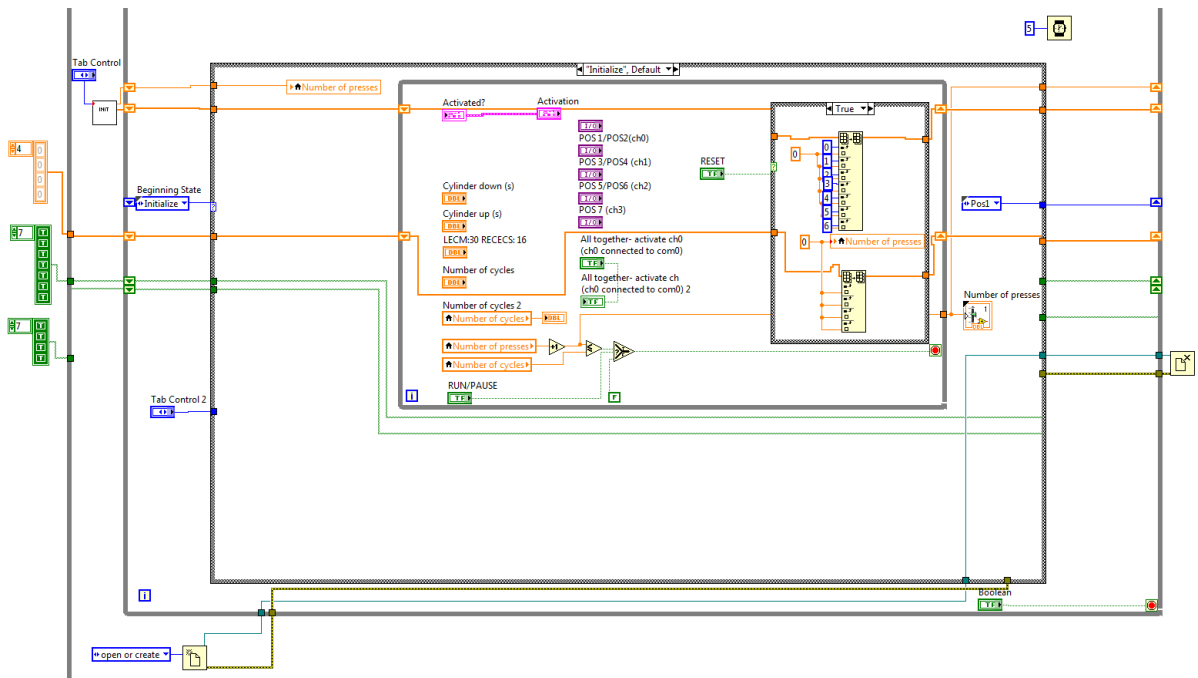
STONERIDGE ELECTRONICS

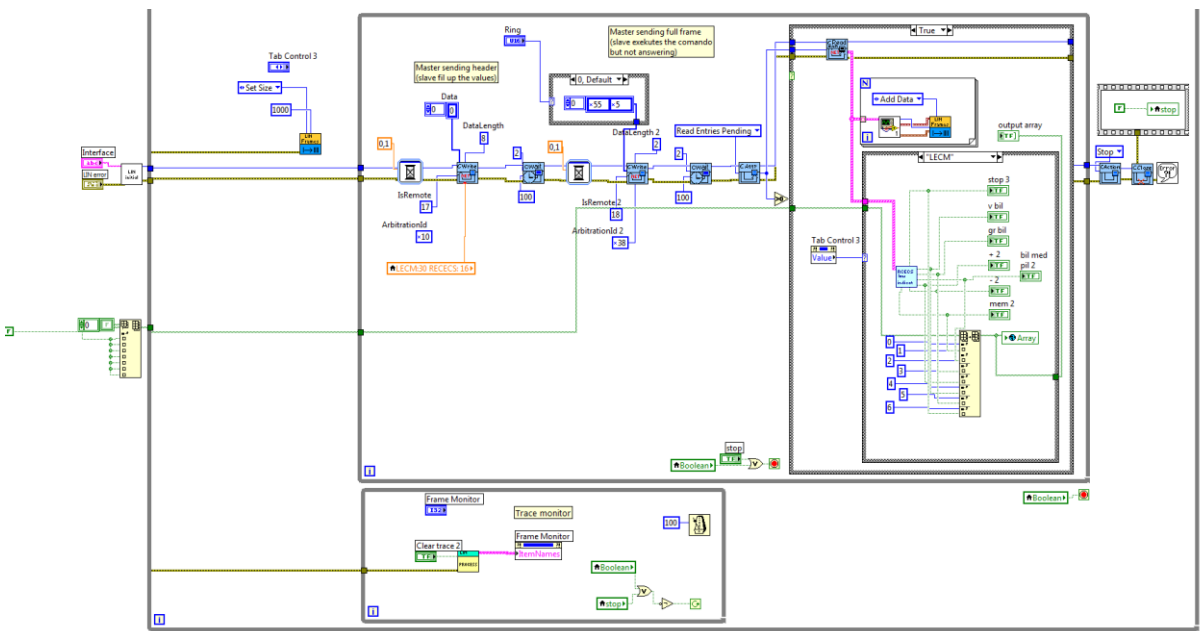
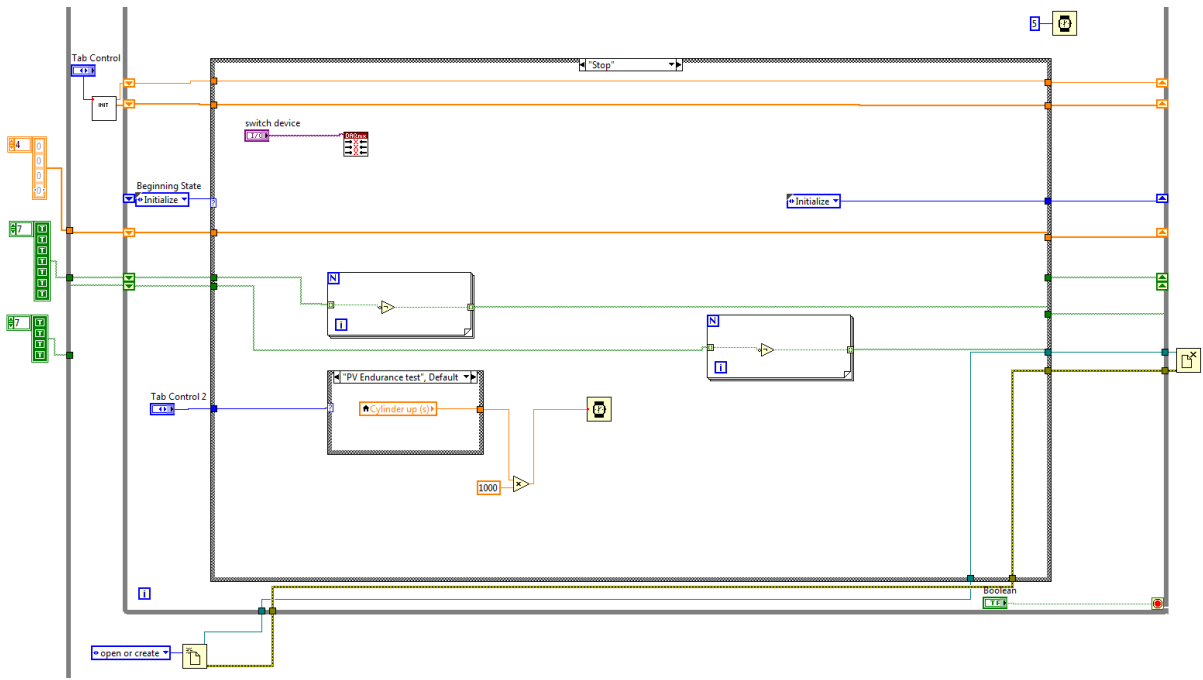
1301-03-2013

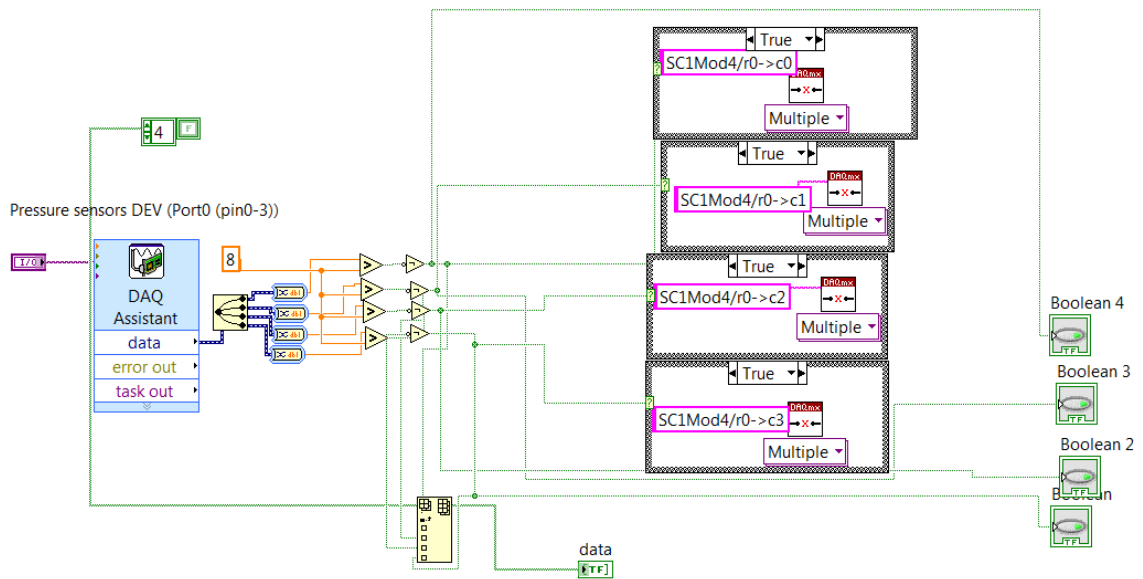
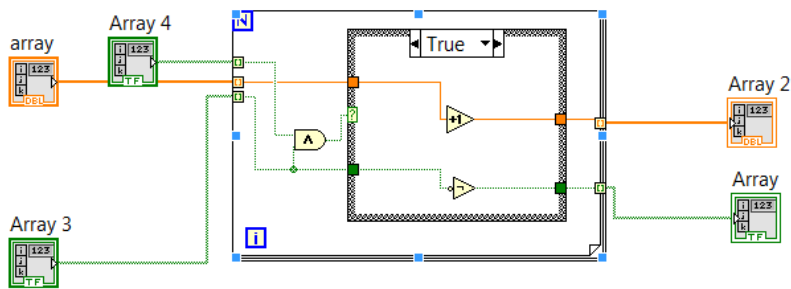
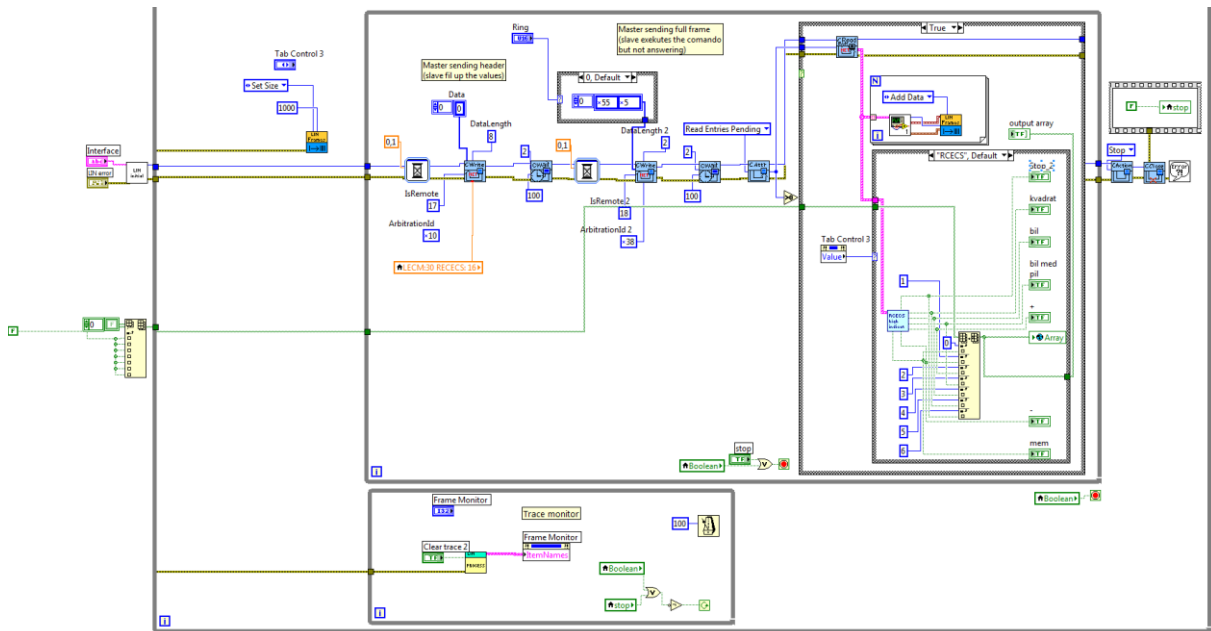
Lisa 5. Alusplaadi tööjoonis

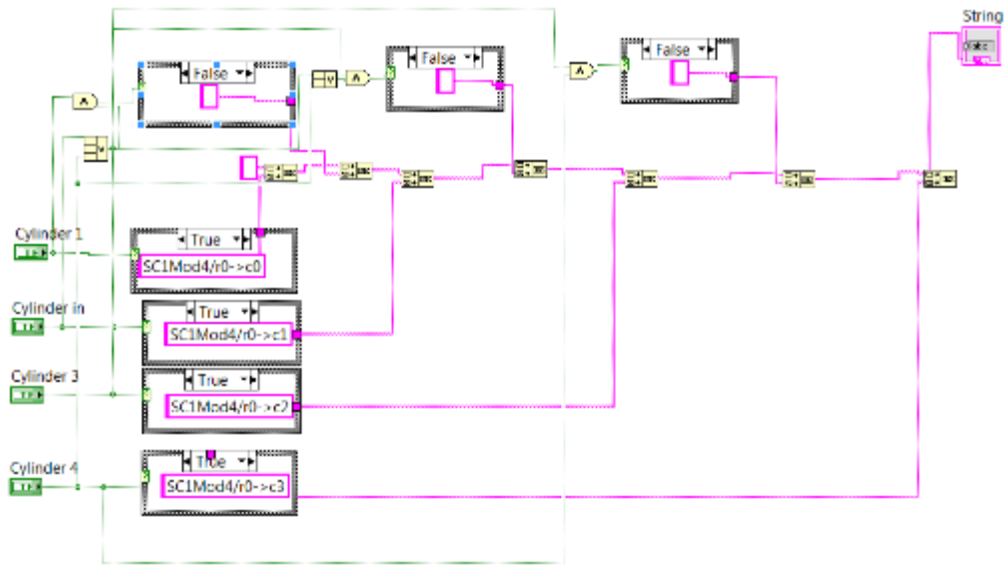


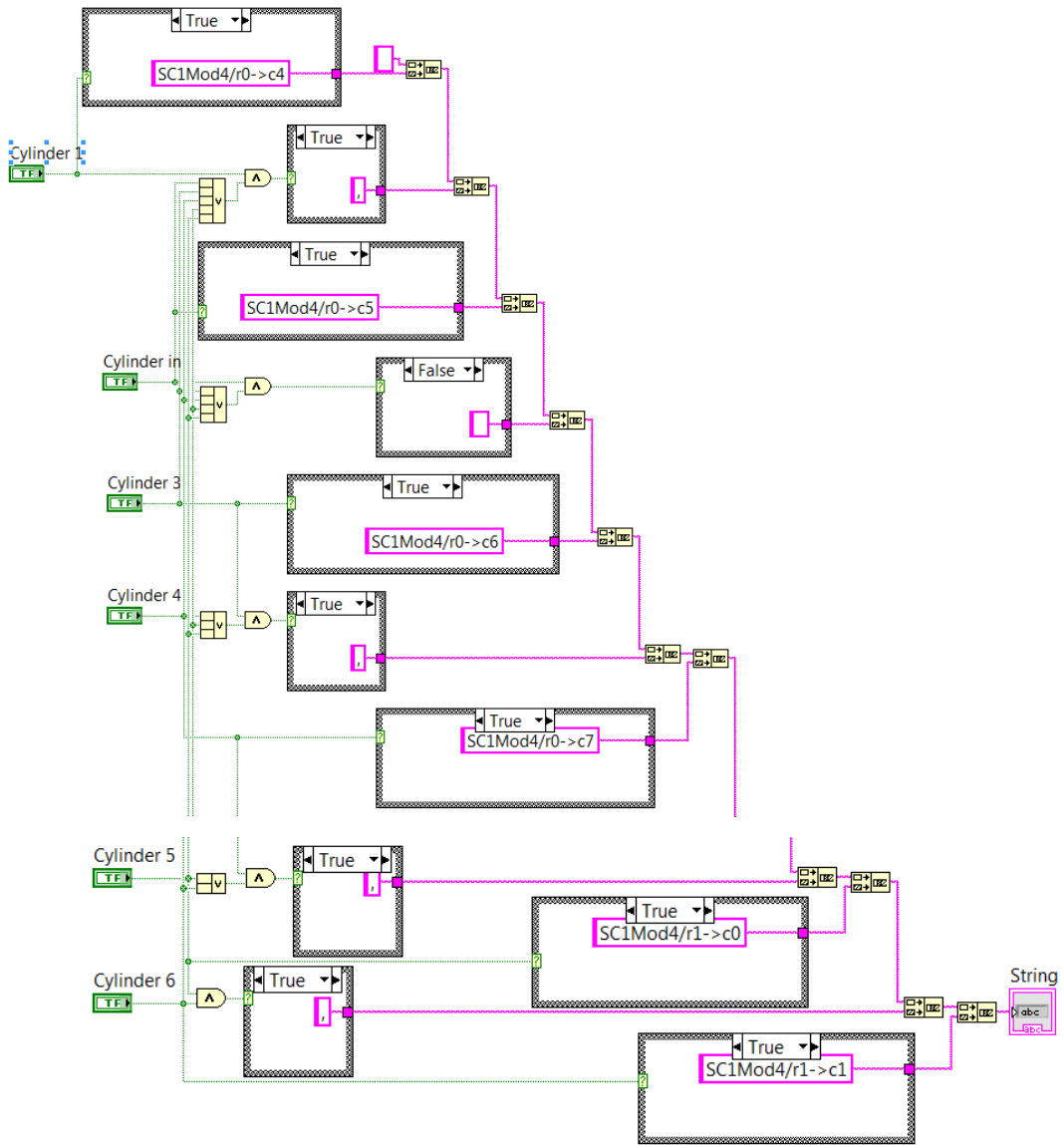
Lisa 6. Tarkvara kood

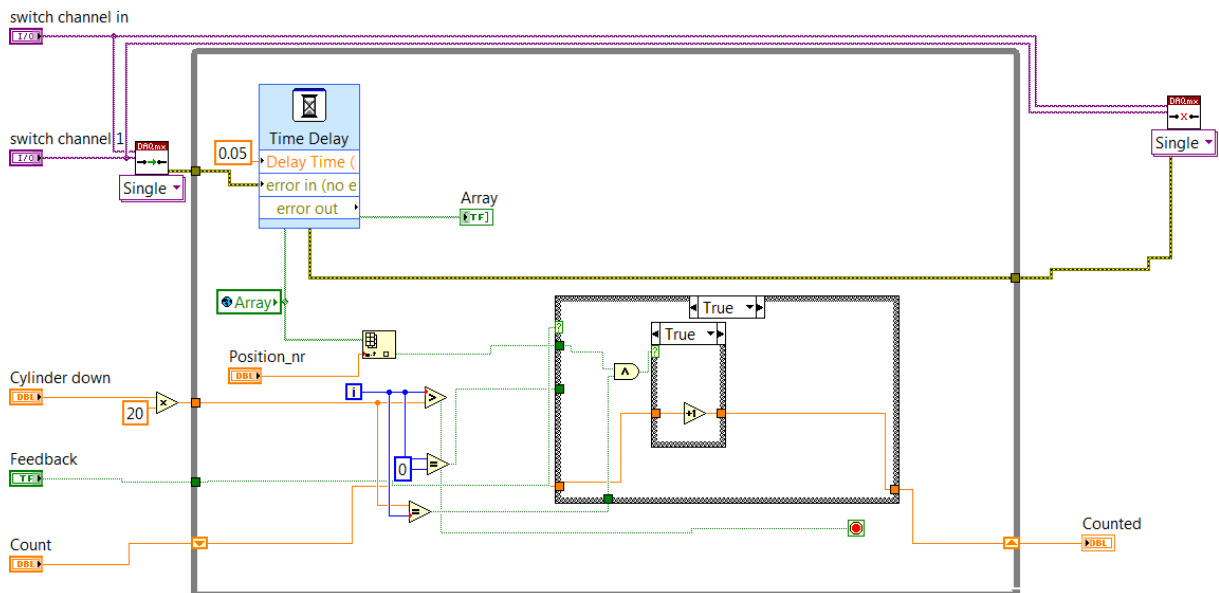
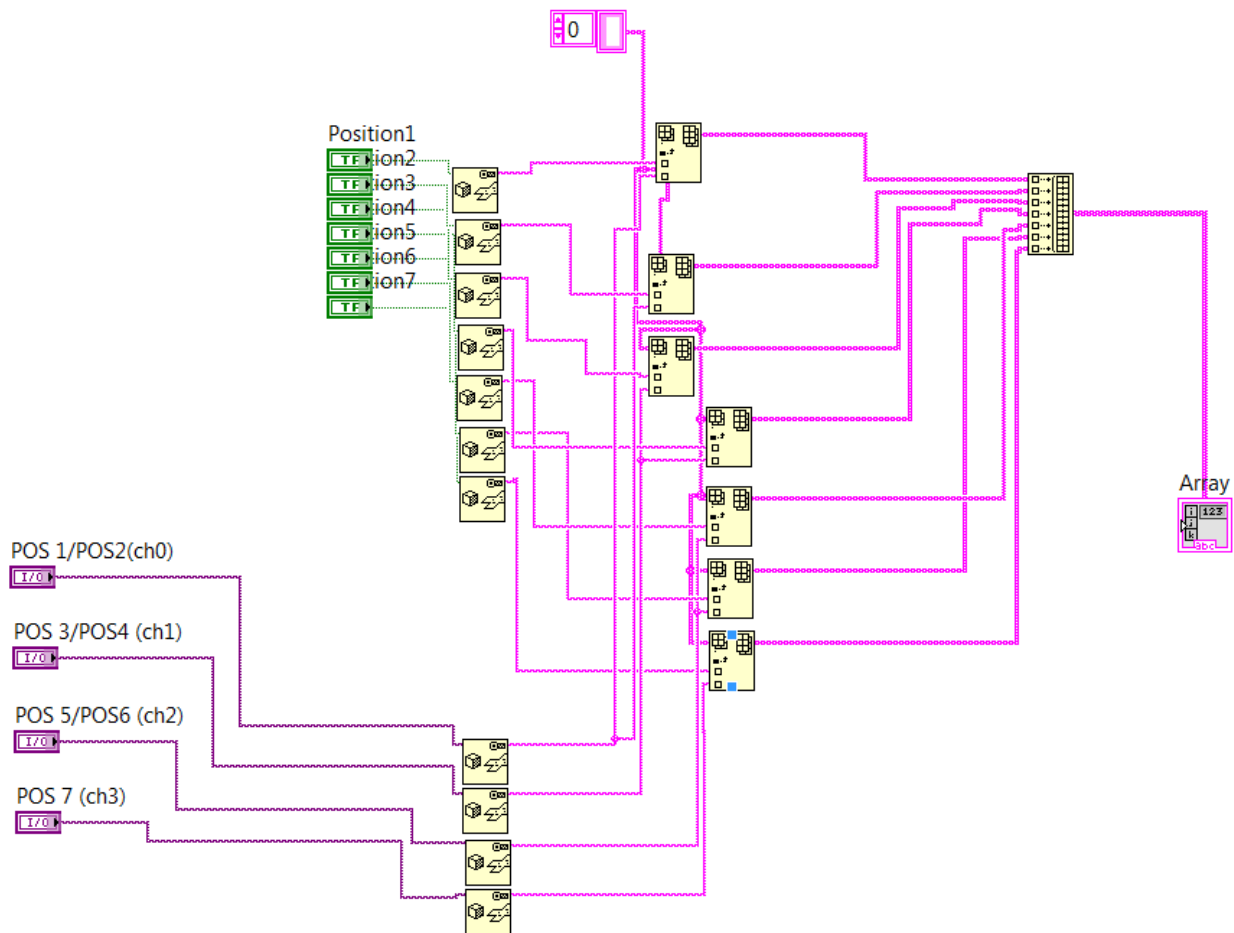












Lisa 7. Koormuselemendi kalibreerimistulemused



Title/Title: HONEYWELL KOORMUSELEMENDI KALIBREERIMISTULEMUSED			Side/Page: 1(1)	
Uppgjord/Issued by: RAK	Godkänd/Approved: RAK	Datum/Date: 7.05.12	Delum nr./Document no.:	Rev:
			1229/004_900150	

HONEYWELL KOORMUSELEMENDI KALIBREERIMISTULEMUSED

Sisukord

1. DOKUMENDI REVISJONID
2. SISSEJUHATUS
3. JUURDEKUULUVAD DOKUMENDID
4. Honeywell koormuselemendi kalibreerimistulemused

1. DOKUMENDI REVISJONID

Rev: 1 Koostamiskuupäev: 7.05.2012 Koostas: Rauno Kaasik
First issue.

2. SISSEJUHATUS

See dokument kirjeldab Honeywell survejõu kalibreerimisraportit

3. JUURDEKUULUVAD DOKUMENDID

Alltoodud lisad ja dokumendid on vajalikud käesoleva dokumendi täielikuks mõistmiseks.

Lisad

No	Dokument nr.	Pealkiri
----	--------------	----------

/1/

/2/

Dokument

Ref.	Dokument nr.	Pealkiri
------	--------------	----------

[1] Load cell Certificate of calibration, Honeywell-Sensotec. Supplied with load cell

[2] Model 31 Load cell installation instructions, Honeywell-Sensotec, www.sensotec.com/service.htm

[3] Transducer amplifier type S7DC technical manual, RDP Electronics, www.rdp.com

[4] 1612_002_900150 Honeywell loadcell calibration instruction 01.

Q:\Support\Production Support\Test preparation\Project\Dorr\Modul_Moa_Moq\Diverse\Improvement 2011\Docum

4. Honeywell koormuselemendi kalibreerimistulemused

Koormuselement

Seerianum ber: 1106826

Tehase kalibreerimiskuupäev: 27.03.2006

Tööpiirkond: 200N (venitus ja surve)

Ergutuspinge: 10.0V

Kalibreerimisfaktor: 2.0958 mV/V

Shunttakist: 59 kOhm

Shundi kalibreerimisfaktor: 1.4878 mV/V

Calculated shunt cal. Figure (eq. 1) : 7.027V

Jõumõõtja

Inventaari num ber: 002865

Seerianum ber: 01-0155-07

Kalibreerimisertifikaat:

ATLF-11/0494 Metrocert

Kalibreerimiskuupäev: 13.04.2012

Keskkonnatingimused:

Temperatuur: (21,5...22,5) °C

Õhuniiskus: (55-65)%

Kasutatud Instrumentid:

Multimeeter 34401A 001177

Power Supply HP6643A 001186

Juhised jõu mõõtmiseks: Ühenda sensor testri külge, kalibreeritud jõumõõtjaga varustatud reguleeritavas testialusesse. Pinguta testialust esimese tabelis antud väärtuseni. Peale kõigi näitude stabiliseerumist kannak kõik näidud alltoodud tabelisse.

Mõõtmistulemused:

Kollased Väljad täitmiseks		Toide 16V				
Jõu väärtus, N	Tegeliku jõu väärtus, N	Sensori võimendi väljundpinge, V	Arvutusliku jõu väärtus, N	Erinevus, N	Hälve, %	Aktsipteeritud
1	0,94	0,093	0,948277266	-0,008277266	0,880560244	OK
2	2	0,198	2,01891289	-0,01891289	0,945644476	OK
3	3,02	0,299	3,048762394	-0,028762394	0,952397145	OK
4	4,04	0,401	4,088808428	-0,048808428	1,2081294	OK
5	5,06	0,501	5,108461402	-0,048461402	0,957735223	OK
10	10	0,987	10,06397486	-0,063974858	0,639748584	OK
15	15,02	1,474	15,02968484	-0,009684844	0,064479655	OK
20	20,04	1,965	20,03618095	0,003819051	0,019057141	OK
25	25,02	2,445	24,93051523	0,089484773	0,357652971	OK
30	30,04	2,933	29,90642174	0,133578258	0,444667969	OK
keskmine	11,518	1,1296				
a=10,196	V _c =0,0018					
Lubatud Hälve [%]		2				
a=	10,19652975					

Kommentaari tabelipäise kohta:

Jõu väärtus – etteantud jõu väärtus, kus teostatakse mõõtmine

Tegeliku jõu väärtus – jõumõõtuuri lugem, mis on määratud sensori väljundpingega

Sensori võimendi väljundpinge – pinge väärtus, kus on võetud jõumõõtuuri lugem (tegeliku jõu väärtus)

Arvutusliku jõu väärtus – arv, mis on saadud valemi 1 abil (vt. allpool), kus V_{out} on sensori võimendi väljundpinge voltides V

Erinevus – tegelik jõud lahutatud arvutuslikust jõust

Valem jõu väärtuse arvutamiseks, F, koormuselementi võimendatud väljundpingest

$$F = a \cdot V_{OUT} \quad [1]$$

A on parameeter, mis on väljendatud nagu:

$$a = F / V_{OUT} \quad [2]$$

Kus keskmised väärtused on $F = \sum_i F_i / i$ ja $V_{OUT} = \sum_i V_i / i$

Järeldused:

Loadoelli hälbed järgnevatel piirkondades on:

Jõu väärtus, N	Tegeliku jõu väärtus, N	Hälve, %
1	0,94	0,880560244
2	2	0,945644476
3	3,02	0,952397145
4	4,04	1,2081294
5	5,06	0,957735223
10	10	0,639748584
15	15,02	0,064479655
20	20,04	0,019057141
25	25,02	0,357652971
30	30,04	0,444667969

Kommentaari kalibreerimise ja kinnitamise kohta (väärtused survejõu erinevuse veerus ei tohi ületada +-2%):

Kõik väärtused on aktsepteeritud.

Kalibreerimiskuupäev: 04.08.2012

Järgmine kalibreerimine: 04.08.2013

Kalibreerimist teostas: KPP

Lisa 8. DAQ6008 kalibreerimistulemuses



Title/Title:				Leaf/Page:
NI USB-6008 CALIBRATION PROTOCOL				1(3)
Created/Issued by:	Reviewed/Approved:	Created/Date:	Document nr./Document no:	Rev:
Heikki Hiiuvain	Stemo Ojavee	7.11.12	1229_001_004553	01

© Stoneridge Electronics AS, File: F:\HELGA\KALIBREERIMIS RAPORTY\1229_001_004553_01 NI USB-6008 CALIBRATION PROTOCOL 2012.DOC

NI USB-6008 CALIBRATION PROTOCOL

Table of contents

1. DOCUMENT REVISION HISTORY.....	1
2. INTRODUCTION.....	1
3. MEASUREMENT PROTOCOL.....	1
4. MEASUREMENT RESULTS:.....	2

1. DOCUMENT REVISION HISTORY

Rev: 01 Date of issue: 8 November 2012 Issued by: Heikki Hiiuvain

2. INTRODUCTION

This calibration protocol represents the results of NI USB-6008 Multifunction DAQ calibration.

3. MEASUREMENT PROTOCOL

- Calibrated device: NI USB-6008 Multifunction DAQ
- Inventory number: 004553
- User / Department: Test Lab
- Date of calibration: 7/11/2012
- Date of next calibration: 6/11/2013
- Calibration conditions: Air temperature 22,1 °C
Humidity 35 %

Used Equipment:

- 1) Agilent 34401A Digital Multimeter
Inventory number: 002858
Calibration Certificate: 002858_11
Calibrated: March, 2012
- 2) Agilent E3834A DC Power Supply
Inventory number: 002859
Calibration Certificate: 002859_11
Calibrated: April, 2012

4. MEASUREMENT RESULTS:

Table 1 Results of the AI0 channel voltage measurements

Applied value (V)	Expected reading (V)	AI0 reading (V)	Deviation (mV)	Deviation (%)
0,1	0,1029	0,105	2,1	2,04
0,2	0,2033	0,207	3,7	1,8
1	1,003	1	3	0,3
5	5,003	5	3	0,06
10	10,003	10	3	0,03

Table 2 Results of the AI1 channel voltage measurements

Applied value (V)	Expected reading (V)	AI1 reading (V)	Deviation (mV)	Deviation (%)
0,1	0,1029	0,106	3,1	3
0,2	0,2034	0,208	4,6	2,26
1	1,0035	1	3,5	0,35
5	5,0026	5	2,6	0,05
10	10,0029	10	2,9	0,03

Table 3 Results of the AI2 channel voltage measurements

Applied value (V)	Expected reading (V)	AI2 reading (V)	Deviation (mV)	Deviation (%)
0,1	0,1028	0,111	8,2	7,9
0,2	0,2034	0,208	4,6	2,26
1	1,0034	1,01	6,6	0,65
5	5,003	5,01	7	0,14
10	10,003	10	3	0,03

Table 4 Results of the AI3 channel voltage measurements

Applied value (V)	Expected reading (V)	AI3 reading (V)	Deviation (mV)	Deviation (%)
0,1	0,1031	0,105	1,9	1,8
0,2	0,2035	0,207	3,5	1,7
1	1,0036	1	3,6	0,36
5	5,003	5,01	7	0,14
10	10,003	10	3	0,03

Table 5 Results of the AI4 channel voltage measurements

Applied value (V)	Expected reading (V)	AI3 reading (V)	Deviation (mV)	Deviation (%)
0,1	0,1031	0,106	2,9	2,8
0,2	0,2035	0,208	4,5	2,2
1	1,0036	1,005	1,4	0,14
5	5,003	5	3	0,06
10	10,003	10	3	0,03

Table 6 Results of the AI5 channel voltage measurements

Applied value	Expected reading	AI3 reading	Deviation	Deviation
---------------	------------------	-------------	-----------	-----------

Title/Title:				Leaf/ Page:
NI USB-6008 CALIBRATION PROTOCOL				3(3)
Keostas/Issued by:	Kinnitas/Approved:	Kuupäev/Date:	Dokumendi nr./Document no:	Rev:
Heikki Hiiuväin	Stemo Ojavee	7.11.12	1229_001_004553	01
© Stoneridge Electronics AS, File: FIHELGA/KALIBREERIMIS RAPORT/1229_001_004553_01 NI USB-6008 CALIBRATION PROTOCOL 2012.DOC				

(V)	(V)	(V)	(mV)	(%)
0,1	0,1031	0,109	5,9	5,7
0,2	0,2035	0,206	2,5	1,22
1	1,0036	1,01	6,4	0,63
5	5,0032	5,005	1,8	0,036
10	10,0031	10	3,1	0,03

Table 7 Results of the AI6 channel voltage measurements

Applied value (V)	Expected reading (V)	AI3 reading (V)	Deviation (mV)	Deviation (%)
0,1	0,1032	0,109	5,8	5,6
0,2	0,2036	0,208	4,4	2,18
1	1,003	1	3	0,3
5	5,003	5	3	0,06
10	10	10	0	0

Table 8 Results of the AI7 channel voltage measurements

Applied value (V)	Expected reading (V)	AI3 reading (V)	Deviation (mV)	Deviation (%)
0,1	0,1031	0,109	5,9	5,7
0,2	0,2036	0,206	2,4	1,17
1	1,0037	1	3,7	0,37
5	5,0032	5,01	6,8	0,14
10	10,003	10	3	0,03

Calibrated by:

Heikki Hiiuväin
 SRE Tallinn Lab Engineer

Lisa 9. Testseadme instruksioon



INSTRUCTION

Title/Title: PV TEST INSTRUCTION FOR BUTTON ENDURANCE TEST			Sida/Page: 1(12)
Uppgjord/Issued by: Ojavee, Stemo	Datum/Data: 2013-12-12	Dokumentnr./Document no: 1612/001-XXXXXX	Rev: 01

© Stoneridge Electronics AB, FULLTÄNSKÄTT SYSTEMDOESKTORISYSTEMOHTUMAGISTRILÖPÜTÖÖILOPÜTÖOHJELGAIPV TEST INSTRUCTION FOR BUTTON ENDURANCE TEST.DOCX

PV TEST INSTRUCTION FOR BUTTON ENDURANCE TEST

Table of contents

1. DOCUMENT REVISION HISTORY	1
2. INTRODUCTION.....	1
3. RELEVANT DOCUMENTS	1
4. PREPARATIONS	2
5. EQUIPMENT PREPARATIONS.....	3
5.1. Wire Connections	3
5.2. Calibration of pressure sensors	5
6. SOFTWARE PREPARATIONS.....	7
6.1. RCECS/LECM Endurance Test'	7
6.2. ECS Endurance Test.....	12

1. DOCUMENT REVISION HISTORY

Rev: 01 Date of issue: 2013-12-13 Issued by: Stemo Ojavee

First issue.

Rev: 02 Date of issue: Issued by:

2. INTRODUCTION

The following instruction is only for guidance for performing button endurance test. Stroke force and press angles have to be taken from customer specification.

3. RELEVANT DOCUMENTS

The appendices and documents listed below are of essential value for the understanding of this document.

Appendices

No.	Document no.	Title
/1/		
/2/		

Document

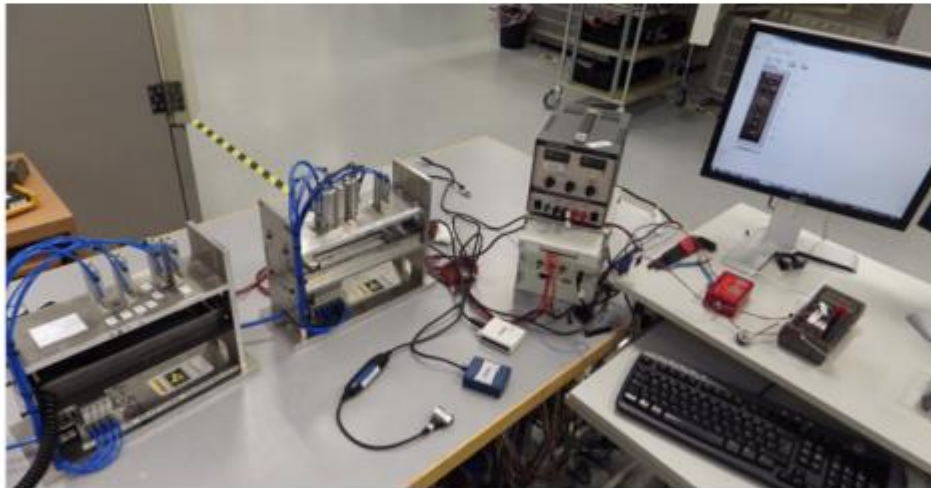
Ref.	Document no.	Title
[1]		
[2]		

Title/Title:		Sida/Page:	
PV TEST INSTRUCTION FOR BUTTON ENDURANCE TEST		2(12)	
Uppgjord/Issued by:	Dokument/Document no.:	Datum/Data:	Rev.:
Ojavee, Sten	1612/001-XXXXXX	2013-12-12	01
© Stoneridge Electronics AB, Filialer i Sverige. SYSTEMÖRESKRIPT/STENORITUTUMAGISTRIN LÖPUTÖÖLOPUTOOHJELGAIPV TEST INSTRUCTION FOR BUTTON ENDURANCE TEST DOCK			

4. PREPARATIONS

Equipment list for this test:

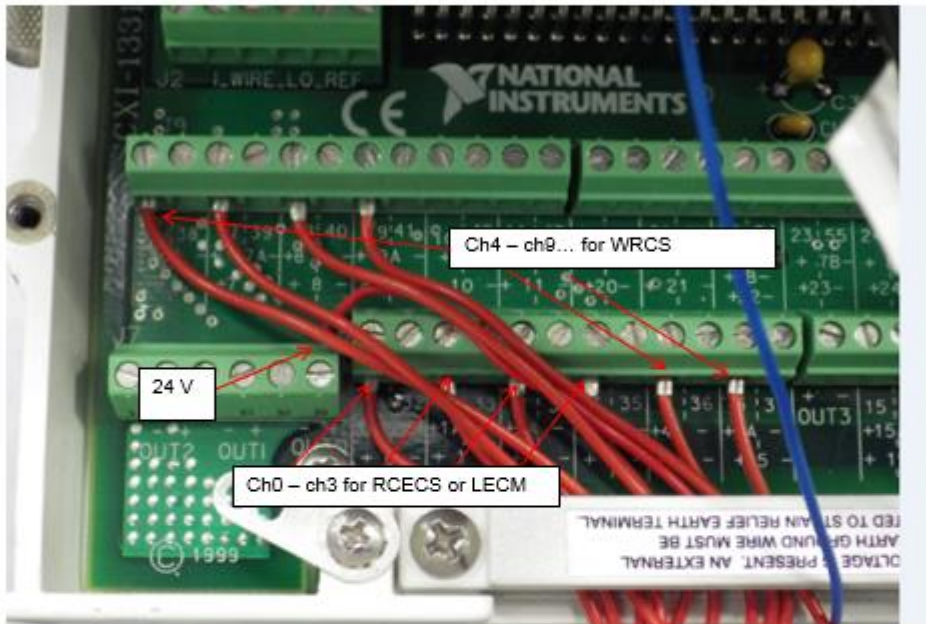
- Durability Rigs with external air supply
- Computer:
 - 32bit Windows
 - ~~Labview~~, Runtime 2013 installed
 - 3 USB ports
- NI SCXI-1000 with additional cards:
 - SCXI-1127 + NISCXI1331
 - SCXI-1600 for USB communication
- NI USB-6009
- 2 x Power Supply
- ~~Multimeter~~
- Load cell
- WRCS:
 - ~~Kvaser~~ dongle
- ~~xECS~~:
 - NI LIN dongle



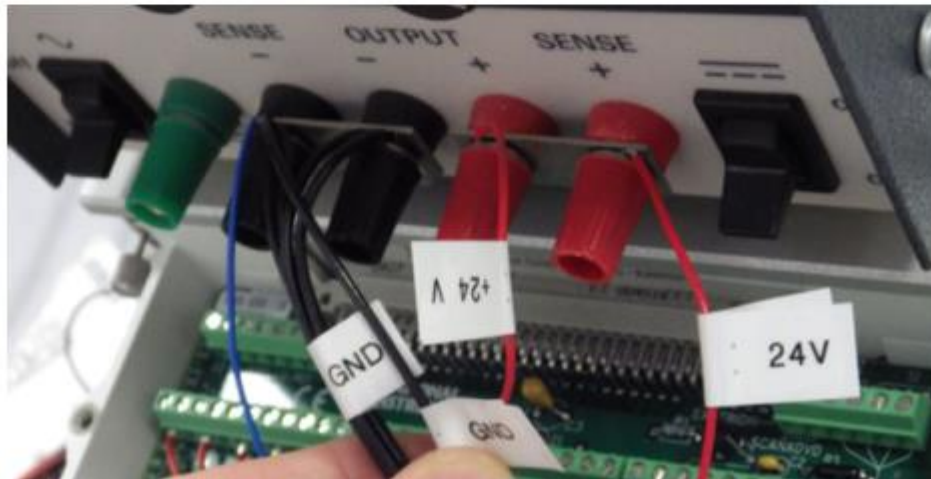
5. EQUIPMENT PREPARATIONS

5.1. Wire Connections

- Wire connections inside Relay module



- Connect all wires (for solenoids and pressure sensors) with power supply – wires are marked with labels



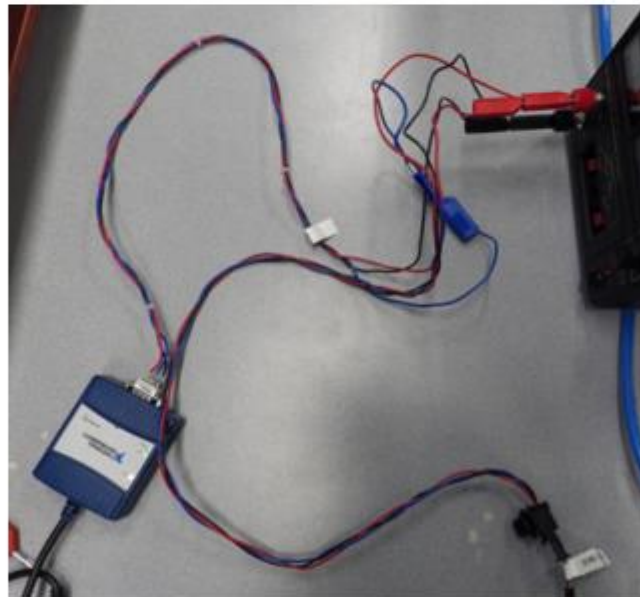


Title/Title:			Sida/Page:
PV TEST INSTRUCTION FOR BUTTON ENDURANCE TEST			4(12)
Uppgjord/Issued by:	Skickad/Approved:	Datum/Date:	Dokumentnr./Document no:
Ojavee, Sten		2013-12-12	1612/001-XXXXXX
			Rev: 01
© Stoneridge Electronics AB, FULLTILLÄTTS SYSTEM/DESIGN/STEN/OTTU/MAG/STR/LÖPUTO/LOP/UTOO/HEL/GA/PV TEST INSTRUCTION FOR BUTTON ENDURANCE TEST DOCK			

- Connect first 4 **analog** inputs with wires from pressure sensors – wires are marked with **table**.
- Connect power supply ground with NI USB dongle ground (blue wire)



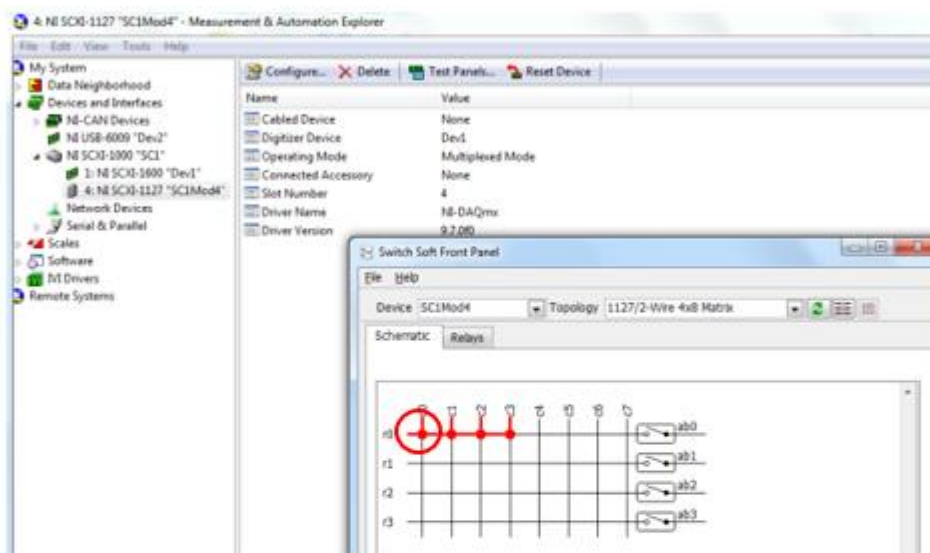
- Connect product cable with power supply and LIN dongle, use 12 V



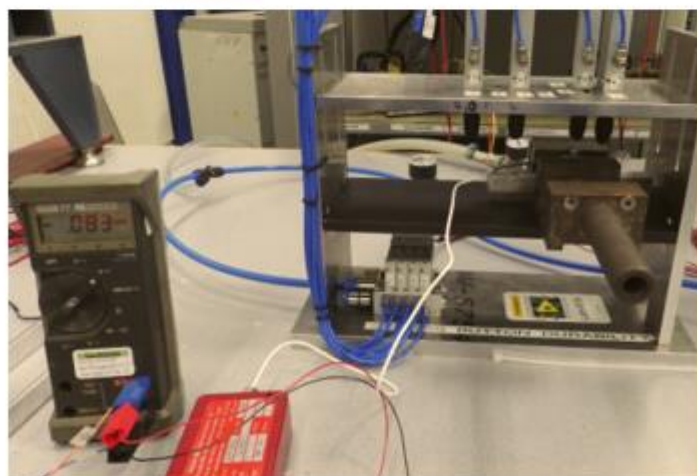
Title/Title: PV TEST INSTRUCTION FOR BUTTON ENDURANCE TEST		Sida/Page: 5(12)
Uppgjord/Issued by: Ojavee, Stenroos	Datum/Data: 2013-12-12	Dokumentnr./Document no: 1612/001-XXXXXX
© Stoneridge Electronics AB, Fjällbackavägen 1, SE-441 34, Lerum, Sweden. UTMAGISTR: LÖPUTÖÖLÖPUTÖÖHELGAIPV TEST INSTRUCTION FOR BUTTON ENDURANCE TEST.DOCX		Rev.: 01

5.2. Calibration of pressure sensors

- Be sure that system is connected with external air supply
- Activate cylinders by using MAX test panel:



- Measure the force of cylinder
 - Use load cell and multimeter for that, see picture below



Title/Title: PV TEST INSTRUCTION FOR BUTTON ENDURANCE TEST			Sida/Page: 8(12)
Uppgjord/Issued by: Ojavee, Stenroos	Skapad/Version: 1.0	Datum/Date: 2013-12-12	Dokumentnr./Document no: 1612/001-XXXXXX
© Stoneridge Electronics AB, Fullständigt registrerat företag i Sverige. SÄKERHETSINFORMATION MAGISTRILÖP UTÖÖLÖP UTÖÖHELGAIPV TEST INSTRUCTION FOR BUTTON ENDURANCE TEST.DOCX			Rev: 01

- Use the following ratio to calculate the force of cylinder: 10,197 N/V
 - Example 0,8V is $0,8 \cdot 10,197 = 8,2 \text{ N}$
- Air pressure shall be regulated according to the expected stroke force
 - For 28 N it is approximately 4,1 bar
 - For 10 N it is approximately 1,6 bar



- If the correct force of cylinder is found then hold down blue button on each pressure sensor for 3 seconds (Now pressure sensors will activate as soon as this value is exceeded)



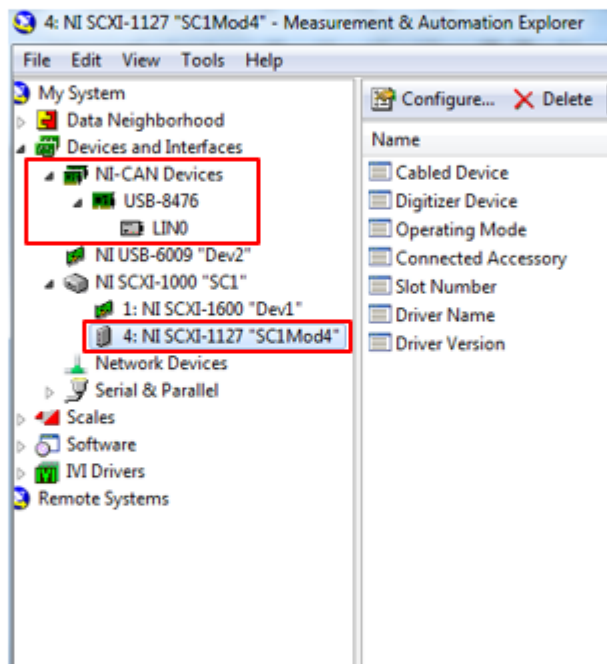
- Equipment is ready for testing

Title/Title: PV TEST INSTRUCTION FOR BUTTON ENDURANCE TEST		Sida/Page: 7(12)
Uppgjord/Issued by: Ojavee, Sten	Datum/Data: 2013-12-12	Dokumentnr./Document no: 1612/001-XXXXXX
© Stoneridge Electronics AB, FULLSTÄNDIG SYSTEMBESKRIVNING OCH MAGISTRIS LÖP UTÖÖLÖPUTÖÖHELGAIPV TEST INSTRUCTION FOR BUTTON ENDURANCE TEST.DOCX		Rev: 01

6. SOFTWARE PREPARATIONS

6.1. RCECS/LECM Endurance Test

- Execute RCECS_LECM_Button_Endurance file: can be found from Testlab folder-> Software-> Helga-> RCECS_LECM_Button_Endurance
- Devices:
 - Choose LIN channel (LIN dongle has to be inserted, channel no. is described in MAX Studio)
 - Relay module has to be named as SC1Mod4 and configured as Matrix



- Choose product LIN id:
 - LECM = 30
 - RCECS = 18
- Choose NI USB6009 devices name
 - First 4 pins from port 0 are used for pressure sensors
- Choose Relay module (NI SCXI-1000) device name (each channel can be modified according to the wire connections, each relay channel should be connected with one solenoid) – used only in mechanical test, in PV test relays are defined inside SW code and cannot be changed.

Title/Title: PV TEST INSTRUCTION FOR BUTTON ENDURANCE TEST		Sida/Page: 8(12)
Uppgjord/Issued by: Ojavee, Sten	Revokand/Rev: 6	Rev: 01
Datum/Data: 2013-12-12	Dokumentnr./Document no: 1612/001-XXXXXX	

© Stoneridge Electronics AB, FULLTÄNSKÄTTA SYSTEMOESKTORISERINGS- OCH TILLMÄGISTRERINGS- LÖP- OCH UPPRÄTTNINGSHJÄLP- PV TEST INSTRUCTION FOR BUTTON ENDURANCE TEST.DOCX

Setup Testing **Devices**

Channel modifications can be done here

NI USB 8009

LIN channel

Relay module inputs

+24V (com0)

POS 1/POS2 (ch0)

POS 3/POS4 (ch1)

POS 5/POS6 (ch2)

POS 7 (ch3)

Pressure sensors DEV (Port0 (pin0-3))

HW

Interface

switch device

Product id
 LECM:30 RECECS: 16

Frame Monitor

Arbitration ID	Timestamp	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8

output array

OFF/ON

OFF/ON

OFF/ON

OFF/ON

OFF/ON

OFF/ON

OFF/ON



Title/Title:			Sida/Page:
PV TEST INSTRUCTION FOR BUTTON ENDURANCE TEST			9(12)
Uppgjord/Issued by:	Skickad/Approved:	Datum/Date:	Dokumentnr./Document no:
Ojavee, Sten		2013-12-12	1612/001-XXXXXX
			Rev: 01
© Stoneridge Electronics AB, FULLTÄNSKÄTTA FÖRHÅNDSKOPPISTEN OCH TUMMAGISTRIN LÖP TÖÖLÖP TÖÖHELGAIPV TEST INSTRUCTION FOR BUTTON ENDURANCE TEST.DOCX			

- Setup:
 - Choose test type (PV Endurance test is used for PV test, mechanical testing is for verification test where pressure sensors are not included)
 - Insert Number of Cycles
 - Cylinder down is the maximum time when cylinder is activated (in seconds)
 - Cylinder up is time when cylinders are not activated (in seconds)
 - Under PV endurance test each pressure sensor activation values are counted during the whole test. It means that it counts the values when cylinders have reached to the maximum value.
 - Each cylinder can be deactivated by un-checking the radio button

Setup
Testing
Devices

Number of cycles

Cylinder down (s)

Cylinder up (s)

PV Endurance test
Mechanical testing

Each cylinder moves up after the maximum force is applied or the Cylinder down time is established.

Pressure sensor has to be calibrated according to the stroke force.

Counter below counts the times when cylinder force is reached to the maximum value.

Adjust the input air pressure as way it would not activate before the button is activated. Air pressure may even be a bit below the calibrated value of sensors.

Activate cylinders

Cylinder 1
 OFF/ ON

Cylinder 2
 OFF/ ON

Cylinder 3
 OFF/ ON

Cylinder 4
 OFF/ ON

Pressure sensors

Pressure sensore counter

Title/Title: PV TEST INSTRUCTION FOR BUTTON ENDURANCE TEST			Sida/Page: 10(12)
Uppgjord/Issued by: Ojavee, Sten	Revokänd/ Revoked by:	Datum/Data: 2013-12-12	Dokumentnr./Document no: 1612/001-XXXXXX
© Stoneridge Electronics AB, FULLTILLÄTTSSTYREND/ESKTOPRISTG/NOITTUMAGISTRILUPUTOOLDP/UTOOH/ELGAIPV TEST INSTRUCTION FOR BUTTON ENDURANCE TEST.DOCX			Rev: 01

- Testing:
 - It is important to choose the product type (LECM or RCECS)
 - RUN/PAUS button is for starting the test or stopping it during the test. If test is stopped it can be continued from the same place by pressing RUN again.
 - RESET button will reset the counter
 - Each detected button pressures are counted next to the button (POS1 -> POS7)
 - Final values of each button are continuously written into log file, choose file direction before starting the test
 - Product LEDs can be off, on or blinking – use ALL LEDS button list

Number of presses

16800

150000

RUN/PAUSE RESET




Direction for log file

Log file

C:\...ktop\test.bt 

RCECS LECM

Choose product type

POS6

0



POS7

16780

POS5

16770

POS4

16776

POS3

0

POS2

1

POS1

16772

All LEDs blinking 

Latest data

16772
1
0
16776
16770
0
16780
16800

Title/Title: PV TEST INSTRUCTION FOR BUTTON ENDURANCE TEST			Sida/Page: 11(12)
Uppgjord/Issued by: Ojavee, Sten	Revokand/Rev: S	Datum/Data: 2013-12-12	Dokumentnr./Document no: 1612/001-XXXXXX
© Stoneridge Electronics AB, FULLT SYSTEMOESKTORISTEWOITUMAGISTRILÖPUTOÖLDPUOOHELGAIPV TEST INSTRUCTION FOR BUTTON ENDURANCE TEST.DOCX			Rev: 01

FORHANDSKOPIA
PRELIMINARY

- When test is finished and the program will be closed, close LIN connection by pressing the following button.

V	131227 09
10	131227 09
1E	131230 13

- Troubleshooting:
 - If there will be any error at the beginning the program is executed, than be sure that all connected devices are using the names that are described under MAX Studio.
 - If there will be LIN dongle error then:
 - Close the program
 - Pull the LIN dongle out from the computer
 - Insert it back
 - Start the program
 - Choose correct LIN channel