



**Martin Ilves**

**AUTOMAATNE TESTSEADE ÕHULEKETE TUVASTAMISEKS  
JA MÕÕTMISEKS**

LÕPUTÖÖ

Tehnikainstituut

Robotitehnika eriala

Juhendaja: K. Vaher

Tallinn 2024

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina, Martin Ilves,

annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

### **AUTOMAATNE TESTSEADE ÕHULEKETE TUVASTAMISEKS JA MÕÕTMISEKS**

- 1) reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada ja teha üldsusele kättesaadavaks Tallinna Tehnikakõrgkooli digiarhiivi DSpace kaudu;
- 2) reprodutseerimiseks pärast piirangu lõppu juhul, kui instituudi direktori korraldusega on kehtestatud lõputöö avaldamisele tähtajaline piirang.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi.

### **Autorideklaratsioon**

Mina, Martin Ilves, tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja ja iseenda varasematele teostele on viidatud õiguspäraselt.

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autori/te/le ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

*(allkirjastatud digitaalselt)*

Juhendaja Nimi

Töö vastab lõputööle esitatavatele nõuetele.

*(allkirjastatud digitaalselt)*

Lõputöö on kaitsmisele lubatud instituudi direktori korraldusega.

*(allkirjastatud digitaalselt)*

*(kuupäevad digiallkirjades)*

# SISUKORD

SISSEJUHATUS .....	4
1. ETTEVÕTTE TUTVUSTUS .....	5
2. PROBLEEMI TAUSTAINFO .....	6
2.1. Olemasolevad lahendused .....	8
2.1.1. SMC ALDS – Automatic Leak Detection System .....	8
2.2.2. HOOB Leakage Tester .....	9
2.2.3. ATEQ F6 Class .....	9
3. PROJEKTEERIMISPROTSESS .....	10
3.1. Pneumaatika skeem .....	10
3.1.1. Komponentid .....	12
3.1.2. Rõhuandur .....	14
3.2. Elektriskeem .....	17
3.2.1. Komponentide valik .....	19
3.3. PLC programm .....	22
3.3.1. Programmeerimiskeskond SW0D5-ALVLS-EU .....	22
3.3.2. Programmi loogika ja ülesehitus .....	23
3.3.3. Programmi detailne kirjeldus .....	25
3.4. Seadme koostamine .....	31
3.4.1. Projekteeritud seadme kokkupanek .....	31
3.4.2. Testseadme kasutusjuhend .....	32
4. VALMISSEADE .....	33
5. LAHENDUSE TESTIMINE .....	36
5.1. SMC test .....	36
5.2. Kliendipoolne test .....	40
6. LÕPPLAHENDUSE ANALÜÜS .....	42
6.1. Vastavus tingimustele .....	42
6.2. Parandusideed .....	43
KOKKUVÕTE .....	45
SUMMARY .....	46
VIIDATUD ALLIKAD .....	47
LISAD .....	48
Lisa 1. Pneumaatika skeem .....	53
Lisa 2. Elektriskeem .....	54
Lisa 3. PLC programm .....	55
Lisa 4. Kasutusjuhend eesti keeles .....	56

## **SISSEJUHATUS**

Käesoleva lõputöö eesmärk on luua automaatne testseade õhulekete tuvastamiseks ja mõõtmiseks vastavalt lõppkliendi etteantud parameetritele ja nõuetele ning parandada sellega testimisliini tootlikkust.

Lõppkliendi testimisprotseduur seisneb vedelikujahutust kasutavate seadmete jahutuskanalite lekkekindluse testimises suruõhu ja veega kahes järjestikuses etapis. Lõputöö raames asendatakse testimisliinil olevat õhulekete testrit. Olemasolev lahendus on valdavalt manuaalne ning nõuab pidevat operaatoripoolset protsessi jälgimist kogu testimistsükli käigus. Lõputöö ajendiks oli kliendipoolne päring uue automaatse testseadme projekteerimiseks ja koostamiseks, suurendamaks nende testimisliini produktiivsust ja inimressursi kasutamises efektiivsust testimisoperaatorite näol.

Lõputöö raames esitatakse püstitatud probleemi taustainfot ning tuuakse välja nii kliendipoolset olemasolevat lahendust kui ka teisi turul olevaid lekkestreid. Seejärel kirjeldatakse automaatse õhulekete testseadme projekteerimis-koostamisprotsessi vastavalt etteantud nõuetele. Lisaks analüüsitakse valmistoote tugevusi ja nõrkusi, tuues välja võimalikke muudatusi tulevastes testseadmetes.

# 1. ETTEVÖTTE TUTVUSTUS

SMC Automation OÜ on osa globaalsest Jaapani ettevõttest SMC Corporation. 1959. aastal asutatud ettevõtte on globaalne turuliider pneumoautomaatika tootmises ja müügis. Samal ajal keskendub ettevõtte ka teistele tootekategooriatele, näiteks õppeseadmed erinevate asutuste tarvis, elektriseadmed (andurid, täiturid, kontrollid) ning termoregulaatorid. Kokku on tootevalikus ca 12 000 erinevat toodet, tootevariatsiooni on hinnanguliselt üle 1 000 000. Viimastel aastatel on üha enam arendatud ka tehniliste koolituste suunda. Ettevõtte on esindatud ametlikult 83 riigis, antud hetkel on töötajate arv hinnanguliselt 23 000. [1]

Tootearendus toimub SMC-s põhiliselt kolmes riigis – Jaapan, USA ning sellest aastast ka Inglismaa. Uute toodete koostamise ettepaneku koos võimalike eskiislahendustega saab pakkuda aga iga riik. Tootearenduse valdkonnas on erandiks õppeseadmed – nende arendamist juhib SMC Hispaania osakond ning antud kategoorias kinnitatakse uute toodete arendamise ettepanekuid tunduvalt kiiremini.

SMC Automation OÜ kuulub Põhjamaade ja Balti riikide regiooni ning kujutab endast ametlikult SMC müügikontorit Tallinnas, kaks müügiinseneri asub ka Tartus ja Rakveres. Lisaväärtuste hulka kuulub ka koolituste läbiviimine ja tehniline tugi. [2]

Komponentide ja baasseadmete tootmistegevust Eestis ei toimu. Lähim SMC tehas BSC (Baltic Service Center) asub Lätis (SMC Automation SIA) ning tegeleb erinevate lahenduste kokkupanekuga – näiteks pneumaatika skeemide füüsiline kokkupanek eraldi „kilpides“, aga ka SMC toodete demopaneelide koostamine turunduse eesmärgil.

Erandkorras projekteeritakse Eestis koostöös lõppklientidega erinevaid pneumoautomaatika lahendusi. Antud lõputöös käsitletava automaatse õhulekete testseadme puhul on tegemist SMC Automation OÜ pilootprojektiga, kuna üldjuhul pole antud ettevõtte tegelenud projekteeritud lahenduste programmeerimise ja kokkupanekuga kohalikul tasandil.

## 2. PROBLEEMI TAUSTAINFO

SMC Automation OÜ klient tegeleb vedelikjahutusega seadmete tootmisega ning ühe osa tootmisprotsessist moodustab valmistoodete jahutuskanalite lekkekindluse testimist suruõhuga ja veega kahes etapis. Iga valmistooide läbib mõlemat etappi, esmane test toimub suruõhuga ligikaudu 10 bar rõhu juures, testi läbinud tooteid kontrollitakse omakorda veega ligikaudu 30 bar juures. Seega on õhulekete testimisprotseduur primaarse tähtsusega ning aitab vähendada põhilise ehk veega testitava liini koormust. Suruõhulekke testi läbimine ei tähenda kontrollitava toote ekspluatatsiooni kõlbulikkust enne järgneva testi läbimist. Kui toode ei läbi testimisliini esimest etappi ehk suruõhuga testimist, pole teise aja- ja ressursikulu seisukohast kulukama testi läbimine otstarbeline.

Mõlemad testimisliini osad vastavad ettevõtte testimisprotokolli nõuetele, kusjuures suruõhutestri nõuded on esitatud koos suurema lubatud veega. Suruõhutesti viiakse läbi 10 bar juures ning puhas test ehk aeg alates nõutud rõhuväärtuse saavutamisest kuni testi lõpuni moodustab 3 minutit. Antud aja jooksul on testimisprotokolli järgi suurim lubatud rõhukadu 0,13 bar vastavalt testseadme täpsusele.

Olemasolev õhulekete testseade oli valdavalt manuaalne ning realiseeritud kahe pneumaatilise solenoidventiili, õhudrosseli ning digitaalse rõhuanduri abil. Toodetud mudeli testimiseks pidi operaator ühendama jahutuskanali testseadmega ning viima testi läbi käsitsi järgmistes etappides:

1. Õhudrosseli abil reguleeritakse õhukanali avatust vastavalt kiire või aeglase testi vajadusele, mis olenes toote mahust;
2. 2-positsioonilise selektorlülitiga avatakse üks 3/2 NC solenoidventiilidest ja testseade täidetakse eelnevalt 10 bar reguleeritud suruõhuga;
3. teise 2-positsioonilise selektorlülitiga suletakse 2/2 NO solenoidventiil, samal ajal käivitub aegrelee 180 sekundile seadistatud taimeriga;
4. testi käigus sulgeb operaator 3/2 NC ventiili ning jälgib testseadmel olevaid indikaatortulesid: kollase tule süttimine signaliseerib testi lõpust ehk 180 sekundi läbimisest. Punane tuli süttib digitaalse rõhuanduri väärtuse langemisel alla 9,9 bar ning signaliseerib ebaõnnestunud testist;
5. testi lõpus avab operaator 2-positsioonilise selektorlüliti abil teise 2/2 NO ventiili ning ühendab toote lahti.

Antud lahendus oli ehituslikult lihtne, ent operaatori pideva jälgimise tõttu inimressursi kasutamisest lähtudes ebaefektiivne. Lisaks ei saanud klient olla kindel antud seadme täpsuses ebaregulaarse sisendrõhu tõttu, mis võis varieeruda 9,95...10,3 bar vahel – andur aktiveerus endiselt 9,9 bar juures. Seega läbisid suruõhu testi ka need tooted, mis täpsema

mõõteprotseduuri puhul ebaõnnestuksid, ning vastupidi. Koostöös kliendiga tuvastati olemasoleval lahendusel järgmised probleemid:

1. Kogu test on manuaalne – operaator peab pidevalt jälgima ja juhtima testi kulgemist ning kontrollima testi lõpus piiripealse tulemuse puhul, kas punane tuli süttis enne või peale kollast;
2. testitavad tooted on jaotatud kahte rühma vastavalt nende mahule, mistõttu peab operaator pidevalt enne testi algust reguleerima testseadme ainsa õhukanali läbilaskevõimet õhudrosseliga. Kuna operaatoril ei õnnestu reguleerida drosselit pidevalt kahele kindlaksmääratud väärtusele, kannatab testi efektiivsus. Lisaks on tegemist täiendava ajakuluga;
3. sisendrõhu puhul esineb kõikumisi täitmisel, mis tulenevad kas õhutrassist või testseadme lõpus asuva 15 m pikkuse spiraalvooliku paisumisest ja kokku tõmbumisest. Seetõttu ei saa kinnitada, et rõhulang jääb 0,1 bar piiresse. Testimisliini jaoks tähendab see täiendavat koormust teises etapis;
4. testseadmel puuduvad ohutuselemendid, nt hädaseiskamisnupp või elektriosa maandus.

Süsteemi analüüsi ja arutelu tulemusena valmisid nõuded uuele testseadmele, mis tulenesid eelkõige testimisprotokollist. Lisaks oli nõuete koostamisel arvestatud ka turul olevate valmislahenduste maksumuse ja tarneajaga. Testseade pidi vastama järgmistele parameetritele:

1. Testseade on automaatne, st. operaator vaid ühendab testitavat toodet ning käivitab/lähtestab testi nupuvajutusega;
2. testi kiirust valitakse 2-positsioonilise selektorlülitiga, vältimaks õhudrosselite pidevat reguleerimist;
3. testseade oskab fikseerida testi alguses olevat süsteemis olevat rõhku ning tagada sellega täpselt üle 0,1...0,13 bar rõhukadu tuvastamist;
4. testi lõpus vabastab süsteem ise jääkrõhu ning signaliseerib testi läbimisest või ebaõnnestumisest vastavate indikaatoritulede abil;
5. ajakulu vältimiseks peab testseade katkestama testi juhul, kui tuvastatakse lubatust suuremat rõhulangu enne 180 sekundi möödumist;
6. testi käigus ei tohi testseade reageerida kiirele käivitus/lähtestusnupu vajutusele;
7. testseade peab olema realiseeritud loogikakontrolleri abil, võimaldades vajadusel olulisemate parameetrite muutmist;
8. tootmise aeg kuni 30 päeva;
9. kogulahenduse maksumus kuni 3000 eurot.

## 2.1. Olemasolevad lahendused

Üldjuhul on turul olemas kahte liiki automaatseid õhulekete tuvastamise ja mõõtmise seadmeid:

1. Vooluhulgaanduri baasil – suletud süsteemi puhul on ideaaltingimustes vooluhulga väärtus 0 l/min, sellest suurem väärtus viitab õhulekete olemasolule trassis. Tegemist on levinuima õhulekete tuvastamise viisiga;
2. rõhuanduri baasil – suletud süsteemi puhul on ideaaltingimustes rõhukadu kindlaksmääratud ajavahemikus 0 bar. [3]

Reaalingimustes pole täielik õhulekete välistamine võimalik, seetõttu on iga testseadme puhul oluline tagada võimalikult väike süsteemisine leke suurema mõõtmistäpsuse saavutamiseks. Selle nõude täitmine suurendab oluliselt ka turul olevate valmislahenduste hinda – enamus lõppkliendi leitud lahendustest oli nõutud tingimustest oluliselt täpsemad ja seega ei vastanud esitatud eelarvele. Järgnevates alampeatükkides on välja toodud mõned turul olevad valmislahendused koos kliendipoolsete põhjendustega nende puuduste osas.

### 2.1.1. SMC ALDS – Automatic Leak Detection System

SMC pakub tootjana eraldiseisvat automaatset lekketuvastussüsteemi seeriat ALDS (vt Joonis 1). Eelkõige on seade mõeldud suruõhulekete tuvastamiseks ja mõõtmiseks täituritega ahelates – näiteks on võimalik tuvastada lekkeid mõlemas kahepoolse toimega silindri toitekanalis. Tööpõhimõtte poolest on tegemist vooluhulgaanduri baasil loodud seadmega, mistõttu pole sellega üldjuhul võimalik tuvastada vastavalt kliendi nõuetele rõhukadu 0,1 bar 180 sekundi jooksul. Samuti on tegemist eelkõige mõõteseadmega, mis asendab täieliku testseadme puhul vaid ühte keskset komponenti ehk andurit. Sellest tulenevalt pole ainuüksi ALDS abil võimalik juhtida tervet mõõtetetsükli ja -süsteemi. [4]



Joonis 1. SMC ALDS lekketuvastussüsteem

### 2.2.2. HOOB Leakage Tester

Hoob pakub klientidele nii valmisseadmete testimise võimalust kui ka lekketestreid vastavalt esitatud nõuetele kas vooluhulgaanduri või rõhuanduri baasil (vt Joonis 2). Pakutud lahendus vastas enamusele lõppkliendi esitatud nõuetest, ent eelarvest suurema maksumuse ja 30 päevast pikema tarneaja tõttu otsustati teise lahenduse kasuks. Oluliseks faktoriks oli ka Festo komponentide kasutamine pakutud lahenduses – lõppkliend eelistas erilahenduste puhul vastavalt partnerlusele eelkõige SMC komponente edasise hooldusprotseduuri lihtsustamiseks. [5]



Joonis 2. HOOB'i pakutava lekketesti näide

### 2.2.3. ATEQ F6 Class

Tuntud lekketestrите tootja ATEQ tootevalikus vastas kliendi nõuetele enim F6 Class seeria (vt Joonis 3). Antud lahenduse tugevuseks on lihtne seadme integreerimine ning parameetrite muutmine, ent pika tarneaja ja suure maksumuse tõttu seadmest loobuti. Puudusena toodi välja ka suruõhuga täitmise kiiruse valiku puudumist ning suure hulga ebavajalike funktsioonide olemasolu. Lõppkliendi eesmärk oli tagada testimisliini operaatorile võimalikult lihtne testseade. [6]



Joonis 3. ATEQ F6 Class lekketester

### **3. PROJEKTEERIMISPROTSESS**

Projekteeritava suruõhu lekete mõõtmise ja tuvastamise seadme projekteerimisprotsess jagunes üldjuhul kolmeks erietapiks:

1. Testseadme keskne osa ehk pneumaatika skeem – pneumaatilised komponendid, nende tööpõhimõtte ja sobivus antud lahenduse tarvis;
2. testseadme tööd tagav elektriskeem – elektrilised komponendid, nende valiku alus ja süsteemi ülesehitus;
3. testseadme juhtimist tagav PLC programm – juhtimisloogika, kasutatud programmeerimiskeel- ja keskkond ning lõpplahendus.

Lisaetapina on välja toodud ka projekteeritud lahenduse kokkupanek ja kasutusjuhendi kirjutamine. Järgnevates peatükkides on täpsemalt selgitatud iga projekteerimisetapi sisu koos vastavate skeemidega.

#### **3.1. Pneumaatika skeem**

Testseadme pneumaatika skeemi (vt Lisa 1) ülesandeks on suruõhu liikumise ja rõhu säilitamise tagamine testimistsükli ajal. Lähtudes kliendi põhinõudest ehk rõhukadu tuvastamisest kindla ajavahemiku jooksul, moodustab pneumaatika skeemi tuumiku digitaalne rõhuandur. Kogu pneumaatika skeem jaguneb ehituslikult kolmeks osaks:

1. Suruõhuga varustamine ning jääkrõhu vabastamine ehk esimene sektor;
2. suruõhu vooluhulga reguleerimine ehk teine sektor;
3. suruõhuga lekke testimine ja mõõtmine ehk kolmas sektor;

Esimene sektor koosneb suruõhuga varustamise pordist, summutist, kolmikliitest ning kahest 3/2 NC solenoidventiilist. Antud testseadme osas avatakse vastavalt operaatori valitud töörežiimile kas üks solenoidventiil või mõlemad korraga – sellega tagatakse õhutrassi jagamine kaheks osaks, võimaldades edaspidist testitava seadme suruõhuga täitmise kiiruse reguleerimist. Mõõtmistsükli alguseks mõlemad solenoidventiilid suletakse.

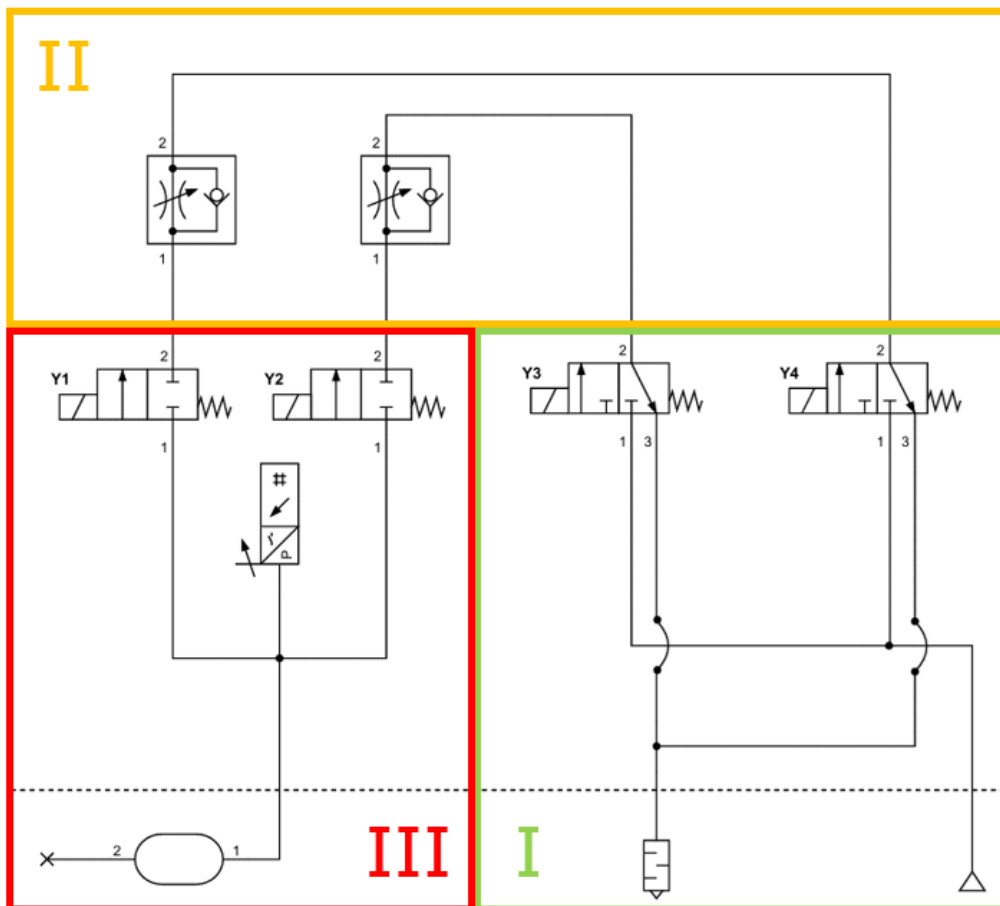
Teine sektor koosneb kahest õhudrosselist, millega reguleeritakse suruõhu kanali avatust ning sellest tulenevalt ka testitava seadme suruõhuga täitmise kiirust. Üks drossel on üldjuhul rohkem suletud aeglase tsükli tagamiseks – lisaks avatakse aeglase tsükli puhul ainult üks voolukanal esimeses sektoris.

Kolmandas sektoris toimub suruõhukanali sulgemine ning rõhu mõõtmine. Kasutatud on kahte 2/2 NC solenoidventiili, kahte kolmikliitmikku, digitaalset rõhuandurit ning spiraalvoolikut kiirliitmikuga testitava seadme ühendamiseks. Vastavalt valitud töörežiimile

avatakse testseadme käigus kas üks või mõlemad solenoidventiilid ning suletakse need 10 bar saavutamisel viivisega kinnise suruõhusüsteemi loomiseks. Tulenevalt 2/2 NC ventiilide toopõhimõttest on mõlemad klapid paigaldatud tagurpidi ehk viimast sektorit varustatakse suruõhuga läbi pordi number 2. Sellega välistatakse suruõhu liikumist kinnisest süsteemis väljapoole olukorras, kus kolmandas sektoris on suurem rõhk kui teises. Täpsem põhjus antud lahenduse kasutamiseks on välja toodud järgmises peatükis.

Kogu süsteem on projekteeritud nii, et testimistsükli lõppemisel või lõpetamisel avatakse mõlemad testseadme lõpus olevad 2/2 NC solenoidventiilid ning jääkrõhk väljub testseadmest esimeses sektoris olevate 3/2 NC solenoidventiilide EXH pordi ja summuti kaudu. Sellega tagatakse testseadme vabastamine rõhust ning testitava seadme turvalist lahti ühendamist.

Selgitav pneumaatika skeem koos märgitud sektoritega on toodud allpool (vt Joonis 4).

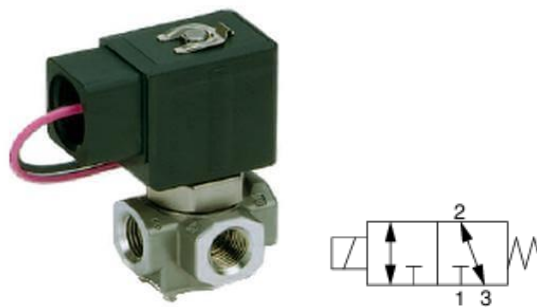


Joonis 4. Testseadme pneumaatika skeem: Rohelisega märgitud I sektor, kollasega II ning punasega III

### 3.1.1. Komponentid

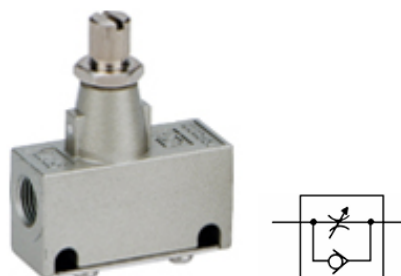
Kuna projekteeritav testseade peab töötama ligikaudu 10 bar suuruse rõhu juures, oli pneumokomponentide valikul põhiliseks kriteeriumiks nende töövõime antud väärtuse juures. Samuti oli komponentide valikul oluline minimaalne rahaline kulu ning kiire tarneaeg testseadme valmistamiseks 30 päeva jooksul.

Testseadme pneumaatika skeemi toitepoolses osas kasutatakse SMC VX3324-03F-5DZ1 (vt Joonis 5) vedrutagastusega 24 VDC 3/2 solenoidventiili töö rõhuga kuni 10 bar, maksimaalne lubatud rõhk 20 bar. Ventiiil on COM (Common) konfiguratsiooniga, seega saab seda kasutada nii NC kui ka NO ventiilina olenevalt suruõhu kanalite ühendamisviisist. Antud lahenduses kasutatakse just NC asendit ehk elektrisignaali puudumisel ei täideta testseadet suruõhuga. Selleks ühendatakse suruõhu toide pordiga number 1. Ventiiili valiti eelkõige kohese saadavuse tõttu, sama seeria NC 3/2 solenoidventiilide tarneaeg ületas 20 tööpäeva.



Joonis 5. SMC VX3324-seeria solenoidventiil

Vooluhulga reguleerimiseks kasutatakse SMC AS2000-F02 (vt Joonis 6) õhudrosselit töö rõhuga kuni 10 bar, maksimaalne lubatud rõhk 15 bar. Antud toode võimaldab vooluhulga täpset reguleerimist ning seda on võimalik kinnitada tugevale alusplaadile – seetõttu valiti antud toodet odavamate ning ehituslikult lihtsamate lahenduste asemel.



Joonis 6. SMC AS2000-seeria õhudrossel

Suruõhusüsteemi sulgemiseks testseadme pneumaatika skeemi lõpus kasutatakse SMC VX224AGAXB (vt Joonis 7) vedrutagastusega 24 VDC 2/2 solenoidventiili töö rõhuga kuni 10 bar, maksimaalne lubatud rõhk 15 bar. Antud solenoidventiil on eelkõige mõeldud kasutamiseks vaakumiga, ent tulenevalt töö rõhu vahemikust sobib toode kasutamiseks ka projekteeritavas lekketestris. Vastavalt ventiil sisemisele ehitusele on õhu liikumine esimesest pordist teise suletud asendis takistatud. Kui aga teise ehk väljundpordi osas on rõhk suurem kui sisendpordis, ei suuda ventiil takistada õhu liikumist vastassuunas. Antud rakenduses tähendaks see ventiili suutmatust hoida 10 bar suurust rõhku testitsükli ajal, kuna testimise ajaks peatatakse testseadme varustamine suruõhuga ning seega 2/2 solenoidventiili toitepoolne õhukanal vabastatakse rõhust. Seetõttu on testseadmes antud solenoidventiil ühendatud vastupidi ehk toitenärv on kasutatud porti number 2. Taolise ühendusviisi korral võimaldatakse suletud suruõhusüsteemi loomist ning edaspidist vabastamist rõhust ventiili kahjustamata.



Joonis 7. SMC VX224-seeria solenoidventiil

Ülejäänud pneumaatika skeemi loomisel kasutatud komponendid (v.a. rõhuandur) on välja toodud alljärgnevas tabelis (vt Tabel 1):

Tabel 1. Pneumaatika skeemis kasutatud komponendid

Komponent	Tooteseeria / Tootekood	Otstarve
Suruõhuvoolik	SMC T0604BU-20 SMC T0806B-20 SMC T1209B-20	Suruõhu juhatamine ning pneumokomponentide ühendamine
Spiraalvoolik	CEJN 19 958 6280	Lekketestri ja testitava seadme vaheline õhuliin, pikkus kuni 8 m
Summuti	SMC AN30-C12	Suruõhu väljalaske summutus EXH pordis
Pneumoliitmik	SMC KQ2	Pneumokomponentide ühendus, <i>one-touch</i> tüüpi
Kiirliitmik	SMC KK4P-80N	Spiraalvooliku ühendamine testitava seadmega, isane ( <i>male</i> ) ots

### 3.1.2. Rõhuandur

Pneumaatika süsteemi üks olulisemaid komponente automaatses suruõhu lekkeid tuvastavas ja mõõtvas seadmes on rõhuandur. Antud komponent täidab testseadmes mitmeid funktsioone:

1. Nõutud sisendrõhu saavutamise tuvastamine ning vastava väljundi aktiveerimine – üldjuhul 10 bar juures;
2. rõhu väärtuse monitoorimine testimistsükli ajal;
3. rõhu väärtuse pidev esitamine kontrolleriile 0...5 VDC analoogväljundi kaudu.

Projekteeritud lahenduses kasutati SMC ISE20A-T-01-JB (vt Joonis 8) digitaalset rõhulüliti/andurit. Ekraani olemasolu ning paneelikinnitus võimaldavad operaatoril näha reaalses rõhu väärtust ning tuvastada nõutud rõhu saavutamist enne testitsükli algust. Samuti on võimalik muuta minimaalset nõutud rõhu väärtust otse digitaalse rõhuanduri kaudu, muutmata testseadmes kasutatud PLC programmi.



Joonis 8. SMC ISE20-seeria digitaalne rõhulüliti

Digitaalse rõhuanduri olulisemad näitajad ja parameetrid on välja toodud allolevas tabelis (vt Tabel 2):

Tabel 2. Digitaalse rõhulüliti põhiparameetrid

Parameeter	Väärtus
Rõhuvahemik ( <i>bar</i> )	-1,05...10,5 (absoluutne rõhk: 0...10,5)
Väikseim ühik ( <i>bar</i> )	0,01
Maksimaalne lubatud rõhk ( <i>bar</i> )	15
Mõõtetäpsus temperatuuril 25 ±3 °C	±2 % F.S. ±1 ühik
Korratavus	±0.2 % F.S. ±1 ühik
Temperatuurikarakteristik 25°C juures	±2 % F.S.
Analoogväljund (V)	0,6...5

Rõhuanduri mõõtetäpsus on testseadme puhul oluline parameeter: lõppkliendi nõudeks on 0,1 bar rõhukadu tuvastamine, mistõttu peab valitud seade olema võimeline tuvastada ka sellest väiksemat väärtust. ISE20A-T-01-JB puhul on väikseim ühik 0,01 bar [8], ent võttes arvesse erinevaid anduri täpsust kirjeldavaid parameetreid, leiame järgmise valemi abil (1) maksimaalse võimaliku mõõtevea  $\delta x_{max}$

$$\delta x_{max} = \delta x_{\text{üld}} + \delta x_{\text{korratavus}} + \delta x_{\text{temp}} + 2 * x_{min}, \quad (1)$$

kus  $\delta x_{max}$  – maksimaalne võimalik viga, bar;  
 $\delta x_{\text{üld}}$  – anduri mõõtetäpsus temperatuuril  $25 \pm 3$  °C, % F.S;  
 $\delta x_{\text{korratavus}}$  – anduri korratavus, % F.S;  
 $\delta x_{\text{temp}}$  – anduri temperatuurikarakteristik 25°C juures, % F.S;  
 $x_{min}$  – väikseim mõõtühik, bar.

$$\delta x_{max} = 2\% F.S. + 0.2\% F.S. + 2\% F.S. + 2 * 0,01 \text{ bar} = 4,2\% F.S. + 0,02 \text{ bar}$$

Alloleval valemi (2) abil leiame anduri täismõõteskaala  $F.S.$

$$F.S. = P_{max} + P_{min}, \quad (2)$$

kus  $F.S.$  – anduri mõõteskaala, bar;  
 $P_{max}$  – anduri maksimaalne mõõdetav rõhk, bar;  
 $P_{min}$  – anduri minimaalne mõõdetav rõhk ehk absoluutne 0, bar.

$$F.S. = 10,5 + 0 = 10,5 \text{ bar}$$

Maksimaalne võimalik viga  $\delta x_{max}$  on seega

$$\delta x_{max} = \frac{4,2}{100} * 10,5 + 0,02 = 0,461 \text{ bar}$$

Vastavalt arvutustele on maksimaalne võimalik viga valitud anduri puhul 0,461 bar tootjapoolsete parameetrite kohaselt. Reaalsuses tuleb arvestada asjaoluga, et üldjuhul erinevad karakteristikud kompenseerivad üksteist ning sellest tulenevalt on mõõteveiga üldjuhul väiksem. Samuti esitab SMC tootjana täpsuskarakteristikuid varukoefitsendiga, garanteerides toodete funktsiooni kataloogis välja toodud parameetrite puhul. Veendumaks ISE20A-T-01-JB sobivuses projekteeritava lekketestri jaoks, kontrolliti anduri mõõtetäpsust koostöös SMC Euroopa Tehnilise Keskusega (SMC ETC).

ETC kasutab turul olemasolevate ning uute seadmete testimiseks Mensor CPC6000 (vt Joonis 9, lk 16) rõhukontrollerit integreeritud baromeetriga [8]. Rõhuvahemik kasutatava mudeli ning valitud konfiguratsiooni puhul on 0...10 bar ning minimaalne ekraani kuvatav

ühik moodustab 0,0001 bar ehk 0,00001 MPa. Antud konfiguratsiooni tootjapoolne lubatud reguleerimise täpsus on 0,01% F.S. ehk toote maksimaalne viga  $\delta x_{max}$  moodustab

$$\delta x_{max} = \frac{0,01}{100} * 10 = 0,001 \text{ bar}$$



Joonis 9. Mensor CPC6000 rõhukontroller

Digitaalse rõhuanduri testi käigus võrreldi rõhukontrolleril seatud rõhu väärtust 9,9...10 bar vahel kontrolleri õhuväljundisse ühendatud ISE20A-T-01-J (puudub paneelikinnitus võrreldes testseadmes kasutatava konfiguratsiooniga) näiduga. Teste viidi läbi kaheksa sama tooteseeria rõhuanduriga, mille hulka kuulus testseadme koostamisel kasutatud mudel. Iga rõhuanduriga sooritati üksteist mõõtmist 0,01 bar suuruste sisendrõhu intervallidega. Seitsme rõhuanduri näidu puhul ei täheldatud erinevusi võrreldes rõhukontrolleri väljundi väärtustega. Minimaalne mõõteviga fikseeriti testseadmes kasutatud mudeli puhul ühe mõõtmise käigus (vt Tabel 3).

Tabel 3. ETC's saadud mõõtetulemused testseadmes kasutatud rõhuanduri kohta, bar

<b>Druck PACE6000 CM2 seadistatud väärtus</b>	<b>SMC ISE20A-T-01-J väärtus</b>
9,90002	9,90
9,91006	9,91
9,92005	9,92
9,93003	9,93
9,94001	9,93
9,95006	9,95
9,96002	9,96
9,97003	9,97
9,98004	9,98
9,99001	9,99
10,0003	10,00

Mõõtetulemused kinnitavad, et lõppkliendi nõutud vahemikus (9,9...10 bar) pakub testseadme pneumosüsteemi rõhuandurina valitud ISE20A-T-01-J vajalikku täpsust: mõõteviga on antud vahemikus kuni 0,01 bar. Testseadme tellija aksepteeris antud väärtust.

## 3.2. Elektriskeem

Testseadme elektriskeemi (vt Lisa 2) ülesandeks on tagada kasutatavate komponentide toimimist ning võimaldada operaatoril juhtida seadme tööd. Sõltuvalt elektrikomponentide otstarbest ja funktsioonist, on elektriskeem (vt Joonis 10, lk 18) jaotatud järgmisteks osadeks:

1. Testseadme ja selle komponentide varustamine elektritoitega – elektrisisend, rikkevoolukaitse, toiteplokk ja terminalühendused;
2. lülitid – hädaseiskamisnupp, toitelüliti, tsükliiruse selektorlülitid, käivitus/lähtestusnupp;
3. indikaatortuled tagasiside andmiseks operaatorile;
4. solenoidventiilide lülitamine – eraldiseisvad releed;
5. PLC testseadme loogika juhtimiseks.

Elektriskeemi lülitite ja indikaatortulede arv ja tüüp on ettemääratud koostöös lõppkliendiga testseadmele esitatud nõuete täitmiseks. Elektrikomponendid on omavahel ühendatud 0,5 mm<sup>2</sup> ristlõikega ühekihilise isolatsiooniga vaskkaabliga, erandina kasutati toitesisendi ja toiteploki vahelises lõigus 1 mm<sup>2</sup> ristlõikega kaablit.

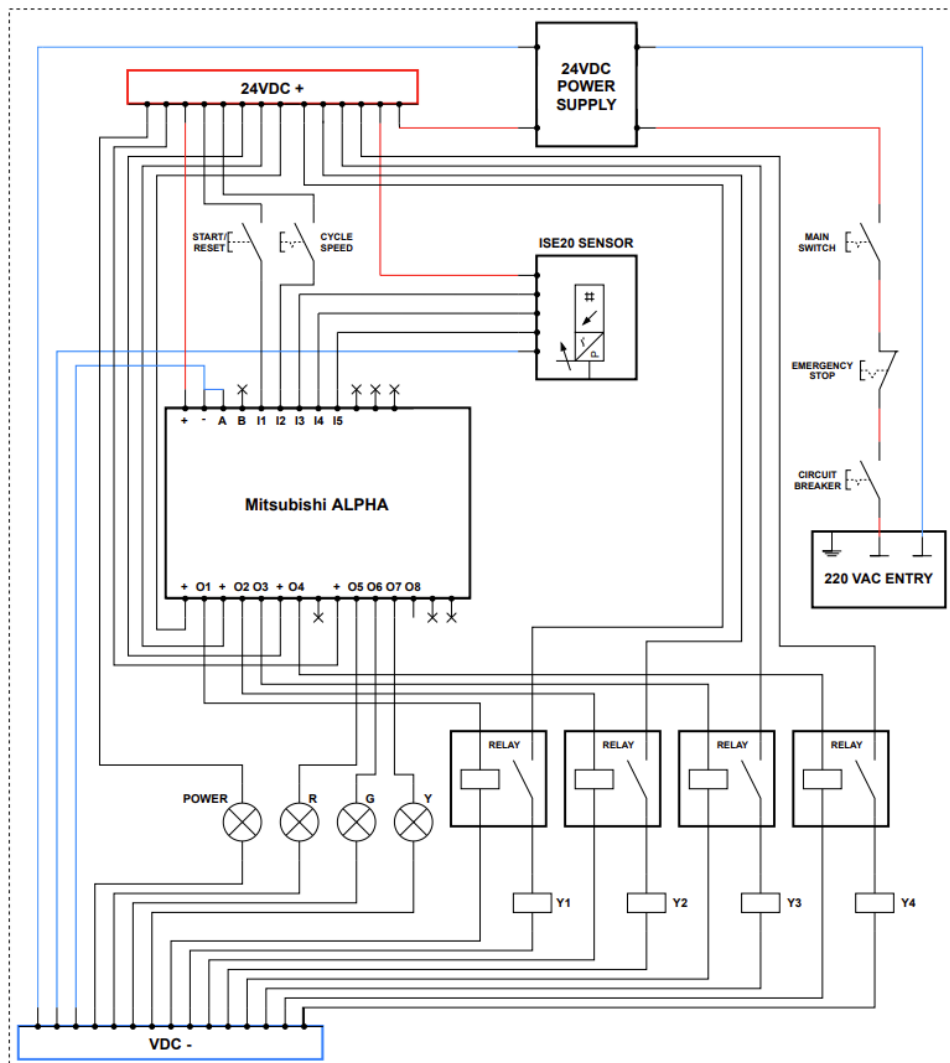
Testseadme sisendvool on 220-230 VAC. Põhisüsteem on koostatud 24 VDC pingele baasil. Lekketestri elektrisisendi ja 24 VDC toiteploki vahel on kasutatud järgmisi komponente:

1. Rikkevoolukaitse – kaitseb süsteemi toitesisendist tuleneva rikkevoolu korral;
2. hädaseiskamisnupp – võimaldab hädaolukorras lülitada välja kogu testseadmes kasutatava elektrisüsteemi;
3. toitelüliti – kasutatakse testseadme sisselülitamiseks juhul, kui hädaseiskamisnupp on aktiveerimata.

24 VDC toiteploki väljundid on ühendatud kahe klemmiterminaliga: +24 VDC ning 0 VDC. Klemmiterminale kasutatakse järgmiste testseadme elektrikomponentide ühendamiseks 24 VDC toitevõrguga: PLC, digitaalne rõhulüliti ISE20, roheline indikaatortuli, neli eraldiseisvat releed, kahepositsiooniline selektorlülitid ja käivitus/lähtestusnupp.

Kahepositsioonilise selektorlülitiga antakse kontrolleri sisendisse I1 signaal kiire testitsükli valimisest. Tagastuva käivitus/lähtestusnupu vajutus annab signaali kontrolleri sisendisse I2. Lisaks on kasutatud kontrolleri sisendeid I3, I4 ning I5 – pordid on ühendatud digitaalse rõhulüliti analoog- ning kahe releeväljundiga. Reaalselt kasutatakse antud lahenduses rõhulüliti analoogväljundit pideva rõhu väärtuse edastamiseks kontrolleri jaoks ning ühte

releeväljundit testi alguseks vajaliku rõhu saavutamise tuvastamiseks. Vajadusel on PLC programmi muutmisel võimalik kasutada teist releeväljundit.



Joonis 10. Lihtsustatud elektriskeem testseadme operaatori jaoks

PLC kontrolleri väljundid O1, O2, O3 ja O4 juhivad nelja eraldiseisva relee mähist. Iga relee sisselülitamine aktiveerib omakorda vastava solenoidventiili. Selline lahendus koostati vastavalt kliendi soovile deaktiveerida tulevikus teatud solenoidventiilid, muutmata PLC programmi koodi – näiteks ainult aeglase testitsükli töötamiseks ning sellest tulenevalt reageerimise vältimiseks selektorlüliti positsioonile. Seetõttu on testseadmes solenoidventiilide pingestamiseks kasutatud eraldiseisvad releed kergesti eemaldatavad *push-in* tüüpi).

PLC kontrolleri väljundid O5, O6 ning O7 vastutavad kolme erineva indikaatortule aktiveerimise eest: kollane, roheline ning punane. Iga indikaatortule täpsem otstarve ja funktsioon on kirjeldatud järgmises peatükis.

### 3.2.1. Komponentide valik

Elektrikomponentide valikul lähtuti eelkõige põhimõttest projekteerida kogu süsteem 24 VDC baasil. Testseadme toitevool peab olema kliendi soovist tulenevalt 220 VAC 50/60 Hz. Esimese sammuna valiti välja baaskomponendid süsteemi ülesehituseks, lähtudes lisaks eelnevalt mainitud tingimusele ka nende saadavusest ja hinnast. Kindlate tootjate eelistusi komponentide valikul ei olnud.

Põhilised elektrikomponendid (v.a. juhtmed, kaablihülsid, elektrimontaaži tarvikud, PLC ja toiteplokk) ning nende otstarve on välja toodud allolevas tabelis (vt Tabel 4).

Tabel 4. Kasutatud elektrikomponendid

<b>Komponent / Kogus (tk)</b>	<b>Tootekood</b>	<b>Otstarve / Funktsioon</b>
Roheline indikaatortuli, 2	Noark Ex9IL2R	- Elektritoite olemasolu signaal - Õnnestunud testi signaal
Kollane indikaatortuli, 1	Noark Ex9IL2R	- Vilkuv tuli – testi ettevalmistus - Pidev tuli – põhitest 180 sek
Punane indikaatortuli, 1	Noark Ex9IL2R	Ebaõnnestunud testi signaal
Hädaseiskamisnupp, 1	Eaton M22-PVT	Voolu katkestamine hädaolukorras
Selektorlüliti 2p, 1	ABB M2SS1-11G	Testseadme sisselülitamine
Selektorlüliti 2p, 1	ABB M2SS1-10B	Tsüklikiiruse reguleerimine
Surunupp, 1	ABB MP1-11G	Testitsükli käivitus ja lähtestus
NO kontakt, 3	ABB MCB-10B	Kontaktid kasutatud lülititele
NC kontakt, 1	ABB MCB-01	Kontakt hädaseiskamisnupule
Vaherelee, 4	ABB CR-P024DC2	Solenoidventiilide pingestamine
Releepesa, 4	ABB CR-PSS	Kontaktpesa vahereleedele
Kaitselüliti, 1	Noark Ex9BN 1P C2	Rikkevoolukaitse

PLC valikul arvestatud parameetrid ja andmed tulenesid eelnevalt mainitud komponentidest ning kliendipoolsetest nõuetest hinna ja tarneaja osas. Põhilised nõuded kontrolleri osas on järgmised:

1. Neli sisendit, nende hulgas üks analoogsisend;
2. seitse releeväljundit;
3. 24 VDC toide;
4. kohene saadavus testseadme valmistamiseks määratud tarneaja jooksul;
5. minimaalne hind.

SMC on tuntud eelkõige pneumoautomaatika komponentide tarnijana, ent teatud tootekategoriatega puhul müüb ettevõtte ka teiste tootjate toodangut või seadmeid. Näiteks

on SMC tarninud Mitsubishi Alpha 2-seeria kontrollereid. Testseadme projekteerimise alguseks oli SMC Eesti laos olemas Mitsubishi Alpha 2 AL2-24MR-D (vt Joonis 11) tööstuskontroller, mis vastas kõigile eelnevalt mainitud nõuetele. Esimeseks valikuks olnud AL2-14MR-D kontroller ei sobinud kuue releväljundi olemasolu tõttu. [9]



Joonis 11. Mitsubishi Alpha 2-seeria loogikakontroller

Lõppklient aktsepteeris kasutatava tööstuskontrolleri valiku. Põhilised Mitsubishi Alpha 2 AL2-24MR-D parameetrid on väljatoodud allolevas tabelis (vt Tabel 5).

Tabel 5. Mitsubishi Alpha AL2-24MR-D põhilised parameetrid

Parameeter	Väärtus
Sisendid/Väljundid (I/O)	24
Toide	24 VDC
Binaarsisendid	15
Binaarsisendid analoogsisendi funktsionaalsusega	8
Releeväljundid	9
Väljundi max koormus	8 A (4x) / 2A (5x)
Programmimälu	Max 200 funktsionaalplokki

Testseadme 24 VDC toiteploki valikul lähtuti süsteemi maksimaalse võimsuse vajadusest. Selleks kaardistati põhikomponentide teoreetilised võimsusnäitajad ning liideti need omavahel summaarse nõutava võimsuse leidmiseks. Komponentide teoreetilised võimsused kataloogi järgi on esitatud allolevas tabelis (vt Tabel 6, lk 21).

Tabel 6. Süsteemi põhikomponentide võimsustarved

Komponent / Tootekood	Maksimaalne võimsus (W)
PLC, AL2-24MR-D	9
Rõhulüliti, ISE20A-T-01-JB	0,6
Indikaatortuli: Ex9IL2R	1
Solenoidventiil, VX224AGAXB	10,5
Solenoidventiil, VX3324-03F-5DZ1	10,5

Võttes arvesse eelnevalt mainitud komponentide arvu ja nende teoreetilist tarvitavat võimsust, leiti järgneva valemi (3) abil süsteemi maksimaalne võimsuse  $P_{max}$

$$P_{max} = P_1 + P_2 + 4 * P_3 + 2 * P_4 + 2 * P_5, \quad (3)$$

- kus  $P_{max}$  – maksimaalne testseadme võimsus, W;  
 $P_1$  – PLC võimsus, W;  
 $P_2$  – rõhulüliti võimsus, W;  
 $P_3$  – ühe indikaatortule võimsus, W;  
 $P_4$  – 2/2 NC solenoidventiili võimsus, W;  
 $P_5$  – 3/2 NC solenoidventiili võimsus, W;

Maksimaalne teoreetiline võimsus  $P_{max}$  on seega

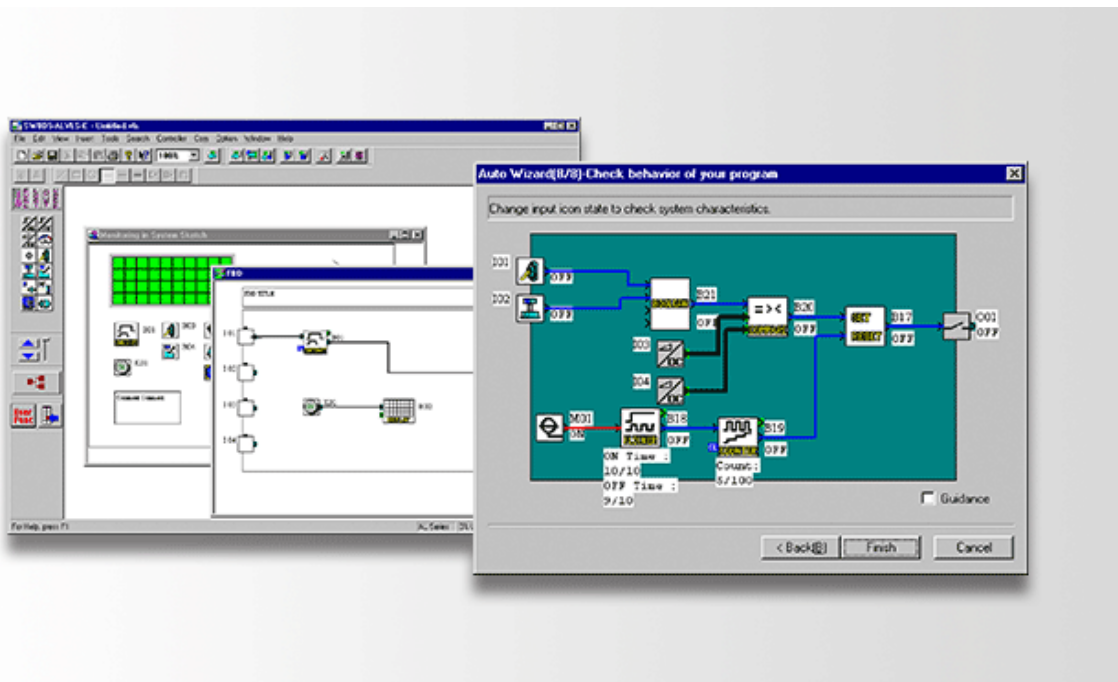
$$P_{max} = 9 + 0,6 + 4 * 1 + 2 * 10,5 + 2 * 10,5 = 55,6 \text{ W}$$

Antud arvutuse puhul on arvestatud PLC maksimaalse võimsusega ning olukorraga, kus kõik komponendid töötavad korraga – reaalsuses on näiteks nelja indikaatortule põlemine korraga välistatud. Lisaks on indikaatortulede puhul kataloogis välja toodud võimsus <1 W, mistõttu arvutuses kasutatud väärtus on võetud varuga ning katab üldjuhul ka nelja vaherelee võimsuse. Seetõttu valiti testseadme toiteploki Mean Well HDR-60-24 võimsusega 60 W ning toitesisendiga 100-240 VAC 50/60Hz.

### 3.3. PLC programm

#### 3.3.1. Programmeerimiskeskond SW0D5-ALVLS-EU

Alpha 2-seeria kontrolleri programmeerimiskeskonnaks on SW0D5-ALVLS-EU, tuntud ka kui Alpha Programming (vt Joonis 12). Tegemist on vabavaralise tarkvaraga, mis võimaldab programmeerida Alpha 2 loogikakontrollereid FBD-keeles.



Joonis 12. Programmeerimistarkvara Alpha Programming näide

Programmeerimise alustamiseks määrab kasutaja kontrolleri sisendid (signaalid, andurid) ja väljundid (täiturid), seejärel luuakse PLC programm funktsiooni- ja loogikaplokkide abil. Lisaks on kasutajal võimalus luua oma funktsiooniplokke. [9]

Programmis on olemas järgmised täiendavad funktsioonid, mida kasutati testseadme loomisel:

1. Kirjutatud programmi simuleerimine ilma kontrolleri ühenduseta – võimalus testida programmi ilma füüsilise seadmeta;
2. PLC ekraaninäitude kuvamine ja kujundamine – võimalus kuvada PLC ekraanil operaatorile vajalikku informatsiooni;
3. PLC näitude monitoorimine reaalajas – võimalus lugeda analoogsisendi väärtust testseadme projekteerimise käigus programmi väärtuste parandamiseks.

### 3.3.2. Programmi loogika ja ülesehitus

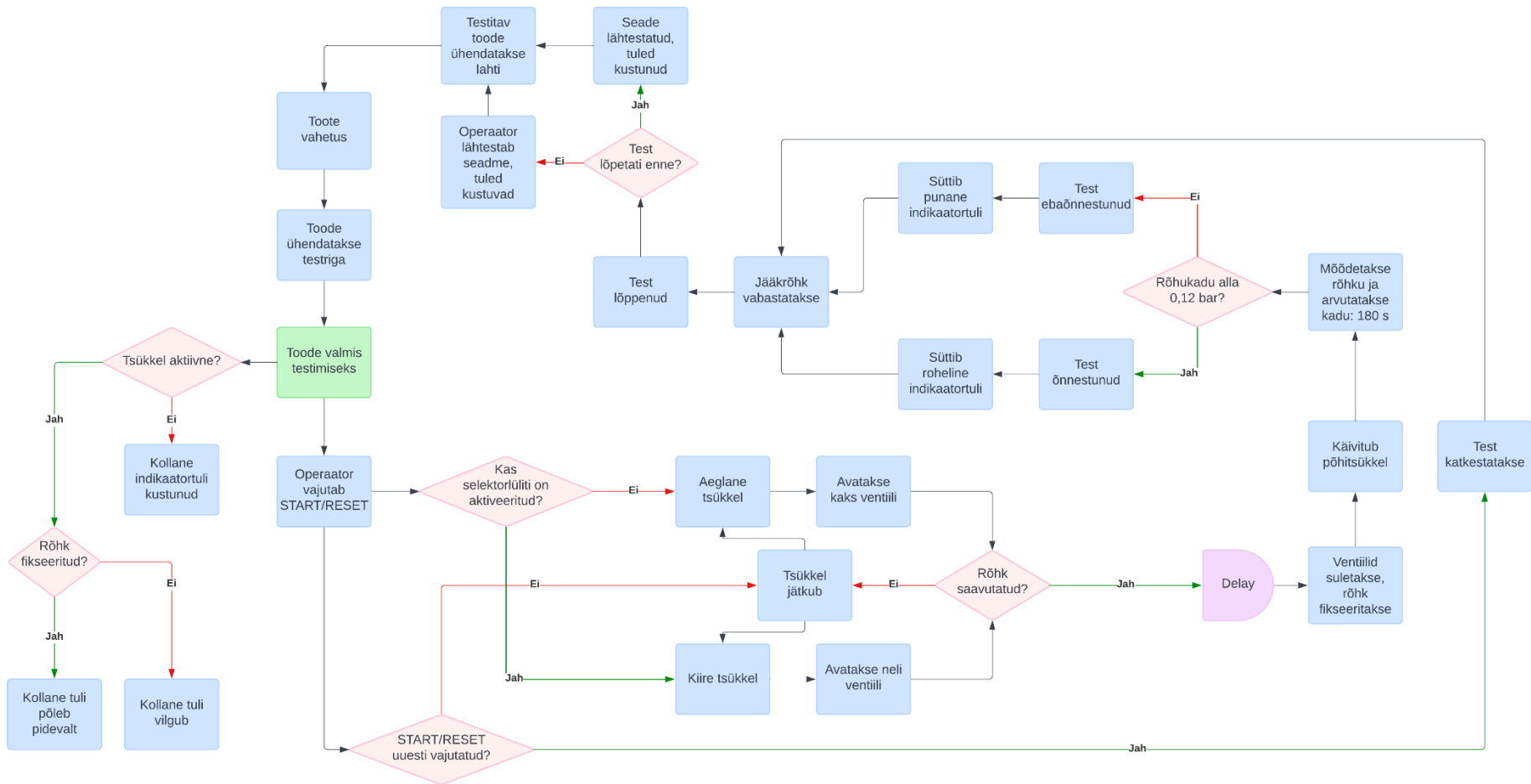
Antud peatükis on kirjeldatud lõplikku PLC programmi versiooni (vt Lisa 3). Programmi ja testseadme tööloogika ning teatud parameetrid muutusid testide käigus tuvastatud puuduste kõrvaldamiseks või lekketesti funktsiooni parandamiseks. Olulisemad projekteerimise käigus tehtud muudatused selgitatakse täpsemalt vastava programmiõigu kirjeldamisel järgmises peatükis. PLC programmi lihtsustatud tööloogika on kujutatud joonisel 13.

Vastavalt ülesehitusele on automaatse suruõhu lekketesti programmi üldetapid järgmised:

1. Operaator valib selektorlüliti abil kiire või aeglase testitsükli. Vaikimisi on valitud aeglane tsükkel;
2. programmi käivitatakse START-nupu vajutusega;
3. vastavalt valitud režiimile avatakse kas kaks järjestikust või neli solenoidventiili ning seade täitub rõhuga. Samal ajal süttib vilkuv kollane indikaatortuli;
4. nõutud rõhu saavutamisel ja viivise möödumisel õhutrassid sulgetakse;
5. programm käivitab põhitsükli, salvestades mõõdetud rõhu väärtuse ning aktiveerides 180 sekundi loenduri. Kollane indikaatortuli süttib pidevalt. Andur jätkab pidevat väärtuste lugemist;
6. rõhu langemisel üle 0,1 bar loetakse testi ebaõnnestunuks ning süttib punane indikaatortuli. Rõhu vabastamiseks avatakse 2/2 solenoidventiilid;
7. rõhu langemisel alla 0,1 bar loetakse testi õnnestunuks ning süttib roheline indikaatortuli. Rõhu vabastamiseks avatakse 2/2 solenoidventiilid;
8. enne järgmist tsüklit tuleb taaskord vajutada START/RESET-nuppu tsükli lähtestamiseks.

Programm suudab tuvastada üle 0,1 bar rõhulangust enne 180 sekundi möödumist – sellisel juhul loetakse test ebaõnnestunuks, punane indikaatortuli süttib ning süsteemis olev jääkrõhk vabastatakse.

Halva testitava seadme kinnituse või muu ettenägematu olukorra puhul, kus õhuleke on ilmne või kus nõutud rõhuväärtust ei saavutata, võib operaator tsükli enneaegselt lõpetada. Selleks vajutatakse START/RESET ehk käivitus/lähtestusnuppu enne testitsükli lõppu.



Joonis 13. Testseadme lihtsustatud tööpõhimõtte voogdiagrammina

### 3.3.3. Programmi detailne kirjeldus

PLC programm on kirjutatud FBD-programmeerimiskeeles, kasutades tarkvaras olemasolevaid funktsiooni- ja loogikaplokke. Esimese etapina on programmeerimisväljal seadistatud PLC sisendid ja väljundid:

1. I 01 – DC binaarsisend, START/RESET ehk käivitus/lähtestusnupp;
2. I 02 – DC binaarsisend, CYCLE SPEED ehk tsükli kiiruse selektorlüliti;
3. I 03 – DC binaarsisend, P OUT1 ehk digitaalse rõhulüliti esimene releeväljund;
4. I 05 – DC analoogsisend, P ANALOG OUT ehk digitaalse rõhulüliti analoogväljund;
5. O 01 – releeväljund, Y1 – 2/2 LEFT ehk testseadme vasakpoolne 2/2 ventiil;
6. O 02 – releeväljund, Y2 – 2/2 RIGHT ehk testseadme parempoolne 2/2 ventiil;
7. O 03 – releeväljund, Y3 – 3/2 LEFT ehk testseadme vasakpoolne 3/2 ventiil;
8. O 04 – releeväljund, Y4 – 3/2 RIGHT ehk testseadme parempoolne 3/2 ventiil;
9. O 05 – releeväljund, X1 – RED ehk punane indikaatortuli;
10. O 06 – releeväljund, X2 – GREEN ehk roheline indikaatortuli;
11. O 07 – releeväljund, X3 – YELLOW ehk kollane indikaatortuli;

Programmiosade kirjeldamisel kasutatakse antud peatükis programmikeskkonnas kasutatud sisendite ja väljundite tähiseid (märgitud loetelus suurte tähtedega). Programmi paremaks mõistmiseks esitatakse erinevad sektorid lisaalampeatükkidena.

#### **START/RESET ehk käivitus/lähtestusnupp**

Surunupu vajutamisel aktiveerub START/RESET signaal programmis. Signaal saadetakse On-Delay taimerisse väärtusega 1 s, et vältida testseadme reageerimist juhuslikule vajutusele. See tähendab, et On-Delay taimerist antakse signaal edasi juhul, kui surunuppu hoitakse all 1 s jooksul. Esialgne väärtus 500 ms muudeti kliendipoolse soovi alusel.

On-Delay taimerist suunatakse signaal SET/RESET ploki SET-sisendisse ning COUNTER loendurisse. Loendur väljastab signaali SET/RESET ploki RESET-sisendisse väärtuse 2 ehk iga teise START/RESET nupu vajutuse korral. Sellega tagatakse ühe START/RESET nupu funktsionaalsus nii testtsükli käivitamise kui ka lähtestamise või testi katkestamise eesmärgil. Lisaks saadetakse COUNTER-signaal On-Off-Delay taimerisse väärtustega 2 s On-Delay ning 1 s Off-Delay, et lähtestada COUNTER ploki väärtuse. Taimeri väärtused saadi testseadme programmi simuleerimise ja valmisseadme testimise käigus liiga lühike On-Delay väärtus põhjustas probleeme lähtestusfunktsiooni käivitusega, Off-Delay väärtuse puudumine põhjustas esialgu suutmatust lähtestada COUNTER ploki väärtust.

## **CYCLE SPEED ehk tsüklikiiruse selektorlüliti**

Normaalasendis on selektorlüliti avatud positsioonis ehk kiire testitsükli režiimis. Selektorlüliti aktiveerimisel ehk pööramisel antakse PLC-le vastav signaal. CYCLE SPEED signaal saadetakse kahte AND funktsiooni plokki kiire või aeglase testi tsükli käivitamiseks. Üldine ülesehitus on järgmine:

1. Üks CYCLE SPEED signaal saadetakse otse AND plokki kiire tsükli käivitamiseks;
2. teine CYCLE SPEED signaal saadetakse NOT plokki ning seejärel saadetakse inverteeritud signaal paralleelsele AND plokki, mis vastutab aeglase tsükli käivitamise eest. See tähendab, et selektorlüliti algasendi puhul füüsiline signaal kontrollerrisse puudub, ent NOT ploki abil antakse teise AND-plokki aktiivne sisend.

## **P OUT1 ehk digitaalse rõhulüliti releeväljund**

Digitaalse rõhulüliti releeväljundit ning sellele vastavat PLC sisendit P OU1 kasutatakse testi alustamiseks nõutud rõhu väärtuse tuvastamiseks. Rõhu väärtust seadistatakse otse digitaalse rõhulüliti ekraani abil ning seega saab kontrollerr antud rakenduses binaarsignaali anduri aktiveerumisel.

Saadud signaal suunatakse On-Off-Delay plokki väärtustega 10 s On-Delay ning 1 s Off-Delay. On-Delay väärtus määrati testseadme katsetamise käigus. Testseadme lõpus kasutatavat 8 mm siseläbimõõduga 8 m pikkust spiraalvoolikut vaadeldi eraldi mahutina ning testi käigus paigaldati spiraalvooliku lõppu teise rõhulüliti. Vaatluse käigus täheldati, et testseadmes integreeritud rõhulüliti saavutas nõutud rõhu väärtuse kiiremini, kui potentsiaalne testitav toode. Seetõttu lisati signaalile viivis ühtlase esmase rõhu saavutamiseks kogu testseadme piires.

On-Off-Delay plokist saadetakse signaal SET/RESET ploki SET-sisendisse. Sellega kinnitatakse programmis, et nõutud väärtus on saadud ning seega saab käivitada järgmised testi tsükli etapid. SET/RESET ploki lähtestatakse START/RESET nupu COUNTER loenduri väljundi signaali abil. Seega, enne järgmist testi tsükli peab operaator vajutama START/RESET nuppu nõutud rõhu väärtuse saavutamise kinnituse lähtestamiseks.

Lisaks saadetakse SET/RESET ploki signaal kahte ONESHOT funktsiooni plokki. Antud funktsioon väljastab analoogsignaali puhul ühe kindla väärtuse nõutud aja möödumisel peale aktiveerimist. Testseadme rakenduses määrati ONESHOT plokkide väärtusteks 30 s ja 200 s. See tähendab, et esimese ploki signaal väljastatakse 30 s möödumisel SET/RESET ploki signaali saamisest. Ajaline väärtus tuleneb testseadme katsetamise käigus muudetud solenoidventiilide sisse- ja väljalülitusviivistest. Teise ploki signaal väljastatakse

210 s möödumisel SET/RESET ploki signaali saamisest ehk 180 s peale esimese ONESHOT funktsiooni ploki tsükli lõppu. Ajaline väärtus on määratud testi tsükli pikkusega. Mõlema ploki signaalid saadetakse GAIN funktsiooni plokkidesse. GAIN funktsioonist on täpsemalt räägitud järgmises alampeatükis.

### **P ANALOG OUT ehk digitaalse rõhulüliti analoogväljund**

Digitaalse rõhulüliti analoogsignaali P ANALOG OUT kasutatakse PLC programmis rõhulüliti abil mõõdetud rõhu väärtuse lugemiseks ning salvestamiseks reaajas. Analoogsignaali saadetakse kolme erinevasse GAIN funktsiooni. GAIN ploki kasutatakse lineaarteisenduste läbiviimiseks programmeerimisel. Antud programmis on GAIN plokk kasutatud analoogväljundi lugemiseks teisendusteta: kasutatud Alpha 2 kontrolleri loeb analoogsisendi 0...10 VDC väärtustena 0...550. ISE20A\* rõhulüliti pingeväljund moodustab 0,6...5 V. PLC analoogsisendi lugemiseks tehti järgmised arvutused:

1. Võttes arvesse maksimaalset sisendi väärtust 550 ning pingesisendi vahemikku 0...10 VDC, moodustab väärtus 1 pinge

$$\frac{10 \text{ V}}{550} = 0,018 \text{ V}$$

2. Anduri väljund 0,6 VDC ehk 0 bar moodustab sellisel juhul kontrolleri väärtuse

$$\frac{550 * 0,6}{10} = 33$$

3. Anduri väljund 5 VDC ehk 10 bar moodustab sellisel kontrolleri väärtuse

$$\frac{550 * 5}{10} = 275$$

4. Võttes arvesse digitaalse rõhulüliti mõõdetava rõhu vahemiku 0...10 bar ning vastavad kontrolleri väärtused, moodustab PLC analoogsisendi väärtus 1 rõhu

$$\frac{10}{275 - 33} = 0,041 \text{ bar}$$

5. Arvestades kliendipoolset nõuet 0,1...0,13 bar rõhulanguse tuvastamiseks on antud parameetrite puhul kaks võimalust: kasutada edaspidi programmis võrdluste tegemisel PLC analoogsisendi väärtust 2 (0,082 bar) või 3 (0,123 bar).

Testseadme katsetamise käigus vaadeldi pidevalt rõhu väärtusi ning analoogsisendi väärtuse 2 kasutamisel PLC arvutustes tuvastas testseade 0,1...0,13 bar rõhulangust efektiivsemalt. Analoogsisendi väärtuse 3 kasutamisel ei tuvastanud testseade kuni 0,14 bar suurust rõhulangust, mis ei vasta kliendi esitatud nõudele.

GAIN plokkide väärtusi kasutatakse edaspidi programmis kolme funktsiooni täitmiseks:

1. Põhitesti tsükli alguses määratud rõhu väärtuse salvestamine;
2. põhitesti tsükli lõpus määrdetud rõhu väärtuse salvestamine;
3. rõhu väärtuse pidev monitoorimine põhitsükli ajal;

### **Kiire ja aeglane tsükkel**

Kiire tsükli käivitamiseks peab CYCLE SPEED signaal olema aktiveeritud olekus. Tsükkel käivitub juhul, kui AND loogika plokki saabub CYCLE SPEED ja SET/RESET signaal START/RESET nupu vajutamise järel. AND plokki signaal saadetakse On-Off-Delay plokki väärtustega 500 ms On-Delay ja 100 ms Off-Delay programmi töö hõlbustamiseks.

Aeglase tsükli käivitamiseks peab CYCLE SPEED signaal olema aktiveerimata olekus. Tsükkel käivitub juhul, kui AND loogika plokki saabub NOT signaal aktiveerimata CYCLE SPEED sisendist ning SET/RESET signaal START/RESET nupu vajutamise järel. AND plokki signaal saadetakse edasi kiire tsükli puhul kirjeldatud viisil.

### **Solenoidventiilide loogika**

Kogu programmi keskse osa moodustab solenoidventiilide juhtimine testi programmi käigus. Kokku on kasutatud nelja erinevat väljundit, kusjuures nende aktiveerimine on olnud mitmest erinevast tingimusest.

Füüsiliselt läbib üks õhuliin solenoidventiile Y2 – 2/2 RIGHT ja Y3 – 3/2 LEFT ning teine ventiile Y1 – 2/2 LEFT ja Y4 – 3/2 RIGHT. Aeglase tsükli puhul kasutatakse testis solenoidventiilide kombinatsiooni Y2 ja Y3, kiire tsükli valikul kõiki eelnevalt mainitud solenoidventiile.

Solenoidventiilide aktiveerimise eelduseks on tsükli alustamine. Aeglase tsükli puhul aktiveeritakse Y2 kohe peale SET/RESET plokki väljundi saamist START/RESET nupu vajutusel, kiire tsükli korral aktiveeritakse lisaks Y1. Lisaks aktiveeritakse mõlemad solenoidventiilid testi tsükli lähtestamisel või lõppemisel. Sellisel juhul lülituvad need uuesti välja 15 sekundi jooksul aktiveerumise hetkest Off-Delay väärtuse tõttu. Sellega saavutatakse jääkrõhu vabastamise funktsiooni testi tsükli lõpus või manuaalsel enneaegsel lõpetamisel. 15 sekundi väärtus määrati testseadme katsetamisel – selle aja

jooksul väljub kogu jääkrõhk garanteeritult testseadmest ning seega testitava seadme lahti ühendamine on ohutu.

Testi jooksul lülitatakse olenevalt valitud tsükli kiirusest solenoidventiilid Y1 ja Y2 välja juhul, kui aktiveeritakse P OUT1 signaalile järgnevat SET/RESET ploki. Sellisel juhul lülitatakse ventiilid välja 1 s jooksul Off-Delay plokki kaudu. Samal ajal rakendub 210 s taimer On-Off-Delay plokki kaudu, mis määrab kaudselt põhitesti ajalise kestuse.

Solenoidventiilide Y3 ja Y4 aktiveerimine oleneb samuti valitud tsükli kiirusest. Kiire tsükli korral aktiveeritakse mõlemad solenoidventiilid 1 s jooksul peale Y1 ja Y2 ventiilide avanemist. Seega juhatakse suruõhk testitavasse seadmesse ilma takistusega 2/2 NC solenoidventiilide ees.

Solenoidventiilid sulguvad 20 s jooksul P OUT1 signaali saamisest SET/RESET plokki kaudu. Testseadme katsetamise käigus täheldati järsku rõhulangust esimestel sekunditel kõigi nelja solenoidventiili üheaegsel sulgemisel. Põhjuseks on testseadmes kasutatava spiraalvooliku paisumine ning kokku tõmbumine suruõhu toite eemaldamisel. Kuna testseadmes kasutatav 2/2 solenoidventiil ei suuda takistada õhu liikumist suurema rõhu puhul pordis number 2, otsustati rõhu stabiliseerimiseks testseadmes sulgeda 3/2 solenoidventiilid viivisega (vt pt 3.1.2).

Lisaks on testseadme programmi lõplikus versioonis kasutatud 10 s kestusega lisaviivist rõhu stabiliseerimiseks testseadme mõõtmise osas. Klient aktsepteeris 30 s viivist alates 2/2 NC klappide sulgemisest kuni 180 s kestva põhitsükli alguseni, veendudes rõhu stabiliseerimise vajaduses antud lahenduse puhul.

### **Testi õnnestumine**

Põhitsükli ajal määratakse testi õnnestumine või ebaõnnestumine. Analoogsisendi ja GAIN funktsiooni plokkide kaudu salvestatakse rõhu väärtused põhitsükli alguses ning lõpus. Lõplik rõhu väärtus (programmi analoogsisendina) lahutatakse esialgsest SUB funktsiooni abil ning võrreldakse saadud väärtust COMPARE funktsiooni plokis numbrilise suurusega 2. Juhul, kui vahe on väiksem või võrdne funktsioonis määratud väärtusega, loeb programm testi õnnestunuks.

Õnnestunud testi puhul saadetakse COMPARE funktsiooni ning tsükli kestuse On-Off-Delay taimeri signaalid AND loogika ploki. AND plokki aktiveerimisel süttib roheline indikaatorituli.

## Testi ebaõnnestumine

Programm on võimeline määrama testi ebaõnnestumist enne põhitsükli lõppu. Selleks monitooritakse analoogsisendi väärtust pidevalt põhitsükli ajal ning võrreldakse seda põhitsükli alguses salvestatud väärtusega. COMPARE funktsiooni väärtus on inverteeritud. See tähendab, et referentsväärtusest suurema vahe puhul saadetakse signaal ebaõnnestunud testi määravasse AND loogika ploki. Ploki aktiveerimiseks on lisaks kasutatud järgmiseid signaale:

1. Õnnestunud testi inverteeritud signaal – välistab õnnestunud ja ebaõnnestunud testi signaaltulede kuvamist samal ajal;
2. testi kulgemise signaal aeglase või kiire tsükli Off-Delay plokkidelt OR loogika ploki kaudu;
3. Off-Delay signaal väärtusega 32 s peale P OUT1 SET/RESET ploki väljundit – välistab olukorra, kus testi alguses loetakse madalat rõhu väärtust ning seega lõpetatakse tsükkel enne nõutud sisendrõhu saavutamist.

Ebaõnnestunud testi puhul süttib punane indikaatortuli ning avatakse Y1 ja Y2 solenoidventiilid jääkrõhu vabastamiseks. Tulele on lisatud sisselülitamise viivis 1 s, vältimaks tule kiiresageduslikku vilkumist piiripealse näidu ajal.

## Kollane indikaatortuli

Testseadme tegevusest signaliseerib kollane indikaatortuli. Aeglase või kiire tsükli käivitamisel saadetakse signaal indikaatortule aktiveerimiseks. Olukorras, kus test on käivitatud, ent 180 s kestev põhitsükkel pole veel alanud, vilgub indikaatortuli 1 Hz sagedusega FLICKER funktsiooni signaali abil OR loogika ploki kaudu.

Põhitsükli alguses antakse signaal lambi pidevaks põlemiseks, katkestades FLICKER funktsioonile eelneva AND loogika ploki signaali. Pidev kollane tuli signaliseerib operaatorit reaalsest mõõtetgevusest hetkest, mil programm fikseerib esmase rõhu väärtuse analoogsignaalina.

Indikaatortuli kustub testseadme lähtestamisel ehk COUNTER loenduri nullimisel START/RESET nupu teise vajutusega.

## Ekraaninäit

Kliendi soovil lisati programmi tsüklite arvu loendur iga aeglase või kiire tsükli käivitamisel ning kehtiva arvu kuvamine PLC ekraanil. Loenduri lähtestab „miinus“ nupu vajutus PLC korpusel.

### 3.4. Seadme koostamine

Lisaks projekteerimisele oli automaatse suruõhu lekkeid tuvastava ja mõõtvat seadme tellimuse nõuete hulgas seadme enda kokkupanek tarnija poolt ning lihtsama kasutusjuhendi olemasolu. Antud lõputöös käsitletakse mõlema nõude täitmist lisategevustena.

Seadme kokkupanek eeldab lihtsamat projekteerimist komponentide ja toitekanalite loogilise asetuse planeerimiseks. Samuti kuulub antud protsessi juurde montaažikomponentide ja testseadme korpuse valik. Täpsemalt kirjeldatakse kokkupaneku ja sellega seotud tegevusi ning testseadme kasutusjuhendi valmistamist järgnevatel alampeatükkides.

#### 3.4.1. Projekteeritud seadme kokkupanek

Projekteeritud seadme kokkupanekule eelnes esmase eskiisi loomine paberkandjal komponentide asetuse planeerimiseks ning eeldatava korpuse suuruse vajaduse määramiseks. Seejärel valiti kokkupanekuks vajaliku korpuse ja montaaživahendid.

Testseadme korpus on realiseeritud elektrikilbi kujul, aluseks on Rittal AX 1045.000 (vt Joonis 14) montaažikilp. Antud korpuse tüüpi valiti eelkõige komponentide paigalduse mugavuse tagamiseks ning edaspidise hoolduse lihtsustamiseks. Konkreetse mudeli valik oli ajendatud madalamast hinnast ning kohesest saadavusest. Lisaks on Rittal'i mudelitel lisatud tehases montaažiplaat komponentide kinnitamiseks.



Joonis 14. Rittal AX-seeria montaažikilp

Enne projekteeritud seadme kokkupanekut koostati lisaks lihtsam CAD-mudel (vt Joonis 15) Siemens'i tarkvaraga Solid Edge lõpliku testseadme disaini kooskõlastamiseks lõppkliendiga. Samuti kasutati CAD-mudelit referentsina seadme füüsilisel kokkupanekul.



Joonis 15. Testseadme planeeritud disaini peegeldav CAD-mudel Solid Edge keskkonnas

### 3.4.2. Testseadme kasutusjuhend

Testseadme tarnimisel oli nõutud kasutusjuhendi olemasolu eesti (vt Lisa 4) ja vene keeles. Kasutusjuhendi eesmärk on tutvustada testseadme ehitust ja kirjeldada tööks vajalikke toiminguid lihtsustatud kujul.

Kasutusjuhendi esimene osa ehk testseadme lihtsustatud kirjeldus annab liini operaatorile ülevaate kasutatud komponentidest, nende funktsioonist korpuse ühendusportidest. Iga kirjeldatava osa juurde on lisatud illustratsioon konteksti paremaks mõistmiseks.

Juhendi teises osas kirjeldatakse süsteemi üldist tööpõhimõtet. Kirjelduse käigus tuuakse välja seadme eesmärk, põhilised funktsioonid ning automaatsed toimingud. Lisaks mainitakse testseadmes kasutatud viiviste ja testi kestvuse väärtusi: 30 s ja 180 s.

Kolmas osa keskendub detailsemalt testseadme tööks vajalikele toimingutele. Antud osas kirjeldatakse nii operaatorile suunatud juhiseid erinevate lülitite käivitamise näol kui ka testseadme enda automaatseid toiminguid. Lisaks on välja toodud parameetrilised näitajad testi olemuse paremaks mõistmiseks.

Kasutusjuhendi viimane osa keskendub testseadme tööga seotud tootjapoolsetele näpunäidetele ning olulisele teabele. Näiteks on kirjeldatud START/RESET nupu funktsiooni testi lähtestamiseks ning selle olulisust hädaseiskamislüliti kasutamisel. Lisaks on juhitud tähelepanu konstantse sisendrõhu kasutamise vajalikkusele ning võimalusele muuta süsteemi fikseeritavat minimaalset sisendrõhku.

## 4. VALMISSEADE

Testseadme lõplik versioon on koostatud eelnevalt mainitud montaažikilbi baasil. Seadme esipaneelil ehk montaažikilbi ukse peal on operaatori tarvis paigaldatud järgmised komponendid:

1. Toitelüliti koos vastava rohelise indikaatortulega;
2. hädaseiskamislüliti;
3. tsükli kiiruse valiku selektorlüliti;
4. START/RESET tagastuv surunupp;
5. testseadme oleku indikaatortuli;
6. ebaõnnestunud ja õnnestunud testist signaliseerivad indikaatortuled;
7. digitaalne rõhulüliti koos ekraani ning seadistusnuppudega.

Enamus komponentide juurde on lisatud operaatorit abistav sild, tähistamaks kasutatud komponente või rõhutades nende funktsiooni. Erandiks on digitaalne rõhulüliti, millele vastavat silti pole lisatud – ideest lisada eraldi markeeringuna rõhulülilil seadistatud rõhu ühikut ehk bar loobuti ekraanil oleva samaväärse info tõttu. Rõhulüliti puhul on operaatoril võimalik muuta nõutavat sisendrõhku testtsükli aktiveerimiseks otse esipaneelilt (vt Joonis 16).



Joonis 16. Valminud testseadme esi- ehk operaatoripaneel

Kõik testseadme sisendid ja väljundid on lõppkliendi soovist tingituna seadme alumises osas (vt Joonis 17). Elektriühendusena on kasutatud vastavalt nõudele kolmejuhtmelist jõupistikut koos täiendava kattega. Pistiku kõrval asub summutiga jääkrõhu väljund ning seadme suruõhu sisend: mõlemad pordid on kiirühendusega ning mõeldud 12 mm välisläbimõõduga pneumovooliku jaoks. Vasakul asub testseadme väljund ehk kiirliitega 2 m pikkune spiraalvoolik testitava seadme jahutuskanali kinnitamiseks lekketestriga.



Joonis 17. Testseadme sisendite ja väljundite plokk

Testseadme sisemus (vt Joonis 18) on jaotatud eelkõige kolmeks osaks:

1. Elektrikomponentide plokk;
2. pneumokomponentide plokk;
3. esipaneeli kilbipoolne osa.

Elektrikomponentide ploki detailid on paigaldatud DIN-liistule. Kõik elektrijuhtmed on viidud läbi kaablikanalite. Ploki parempoolse osas asuvad rikkevoolukaitse ja toiteplokk, sejärel on kasutatud kahte ühisterminali +24 VDC ja 0 VDC pooluste ühendamiseks. Vasakpoolses osas on paigutatud solenoidventiile juhtivad täiendavad releed koos PLC'ga. PLC peal kuvatavat tsüklite arvu näitu näeb operaator hoolduse käigus montaažikilbi ukse avanemisel.

Pneumokomponentide ploki puhul on kõik solenoidventiilid ja drosselid paigaldatud eraldi DIN-liistude külge – pneumoseadmete vahetamisel välditakse sellega terve montaažiplaadi lahti ühendamist koos ülejäänud komponentidega. Solenoidventiilid asuvad testseadme alumises osas ning kahes osas: paremal asuvad 3/2 NC solenoidventiilid ning vasakul 2/2 NC solenoidventiilid. Õhudrosselid asuvad testseadme keskmises osas ning vajadusel saab

operaator takistusteta reguleerida testi käigus saavutatavat vooluhulka. Kõik pneumoühendused on realiseeritud *one-touch* tüüpi kiirliitmike abil, lihtsustades operaatori jaoks vajadusel komponentide vahetust. Solenoidventiilide juhtmed on samuti viidud läbi kaablikanalite.

Esipaneeli komponentide elektriühendused on teostatud testseadme seest. Kõik kaablid on omavahel ühendatud ning testseadme korpuse ja esipaneeli ukse vahelise serva juures kaitstud plastist kaablispiraali abil. Digitaalse rõhulüliti voolik on viidud pikkuse varuga, vältimaks pinget tekkimist vooliku pinnal testseadme esipaneeli avamisel.

Lisaks on testseadme koostamisel arvestatud maanduse vajadusega. Jõupistikute maandusjuhe on ühendatud testseadme põhikorpuse, esipaneeli ning montaažiplaadiga. Iga maanduspunkt on märgistatud vastava kleebisega.



Joonis 18. Testseadme sisemus: *elektrikomponendid, pneumaatika*

## 5. LAHENDUSE TESTIMINE

Testseadme valmisoleku kinnitamise kriteeriumiks oli iga testseadme funktsiooni toimimise kontrollimine ning nõutud parameetritele vastavuse hindamine. Selleks teostati erinevaid teste SMC kontoris, veendumaks loodud lahenduse sobivuses tarnimiseks.

Lisaks SMC-poolsele testile prooviti seadet reaalses oludes kliendi juures. Selleks määrati kliendile kahe kuu pikkune testperiood, mille käigus operaatorid töötasid nii vana kui ka uue seadmega paralleelselt.

### 5.1. SMC test

Seadme testimiseks SMC kontoris kasutati 10 bar suruõhu sisendi saavutamiseks 5 bar näidule reguleeritud SMC ITV-seeria elektropneumaatilist regulaatorit ning VBA-seeria rõhutõstjat. Rõhutõstja on suuteline kahekordistama sisendrõhku, testseadme stabiilsema sisendi saavutamiseks lisati rõhutõstja ja lekketesti vahele 2 l õhumahuti.

Funktsioonide testimisel kasutati väljundina teist 2 l õhumahutit ühe pordiga. Kuna õhumahuti on varustatud ainult sisendpordiga, oli antud juhul suruõhu lekkimine võimalik ainult testseadmes endas või õhumahuti ja spiraalvooliku ühenduskohas. Kunstliku lekke tekitamisel asendati õhumahuti 2/2 NC solenoidventiiliga väljundisse ühendatud drosselsummutiga. Iga testi käigus monitooriti lisaks PLC näite Alpha Programming tarkvara abil. Esimesed testid olid suunatud põhifunktsioonide testimisele. Testide lühiviited koos kirjeldustega ja tulemustega on toodud Tabelis 7.

Tabel 7. SMC's läbitud testseadme testid

Lühiviide	Kirjeldus	Tulemused
Süsteemi toide	Süsteemi elektritoite kontrollimine toitelüliti aktiveerimisel esipaneelil	Toitetuli põleb, toiteploki tuled põlevad, PLC aktiivne
START/RESET	Testi käivitamine ja lähtestamine START/RESET nupuga	Test algab, seade täitub rõhuga, kollane indikaator vilgub, rõhulüliti näitab hetkeväärtust, lähtestusel test lõpeb ja jääkrõhk vabastatakse
Kiire/Aeglane tsükkel	Tsükli kiiruse selektorüliti, programmi loogika ja õhudrosselite kontroll	Aeglase tsükli puhul aktiveerub kaks solenoidventiili, kiire puhul neli, kiirust saab testi käigus muuta, õhudrosselid toimivad

<b>Lühiviide</b>	<b>Kirjeldus</b>	<b>Tulemused</b>
Hädaseiskamine	Hädaseiskamislüliti funktsiooni kontroll	Seiskamisel lülitub kogu vool välja, test peatub 3/2 NC solenoidventiili sulgumisega, jääkrõhk säilib. Kontrolleri COUNTER jätab nupu vajutuse arvu meelde. Testseadme sisselülitamiseks tuleb lüliti vabastada, jääkrõhu vabastab START/RESET
Rõhulüliti loogika	Rõhulüliti näidu fikseerimine ja monitoorimine testi käigus PLC tarkvara kaudu, solenoidventiilide reageerimine rõhu saavutamisele, viiviste kontroll	Rõhulüliti reageerib nõutud rõhu saavutamisele, PLC saab vastava signaali, test jätkub, solenoidventiilid sulgetakse vastavalt viivistele, põhitesti alguseks fikseeritakse PLC's rõhu näit. Kui nõutud rõhk püsib ajaliselt vähem kui 10 s, solenoidventiilid ei sulgu, test ei jätku
Õnnestunud test	Täielik testtsükkel õhumahutiga	Põhitest õnnestunud, põhitsükli alguseks asendub vilkuv kollane tuli pidevaga, 180 s möödumisel süttib roheline tuli, jääkrõhk vabastatakse. START/RESET vajutusega tuled kustuvad, fikseeritud rõhulang ISE20 järgi 0,01 bar
Ebaõnnestunud test	Täielik tsükkel 2/2 NC solenoidventiili ja drosselsummutiga	Põhitest ebaõnnestunud enne 180 s möödumist, jääkrõhk vabastatakse, süttib punane tuli
Tsükli loendur	PLC tsükli loenduri test	Tsükli käivitamisega loenduri näit suureneb, näidu lähtestamine PLC füüsilise lüliti kaudu toimib

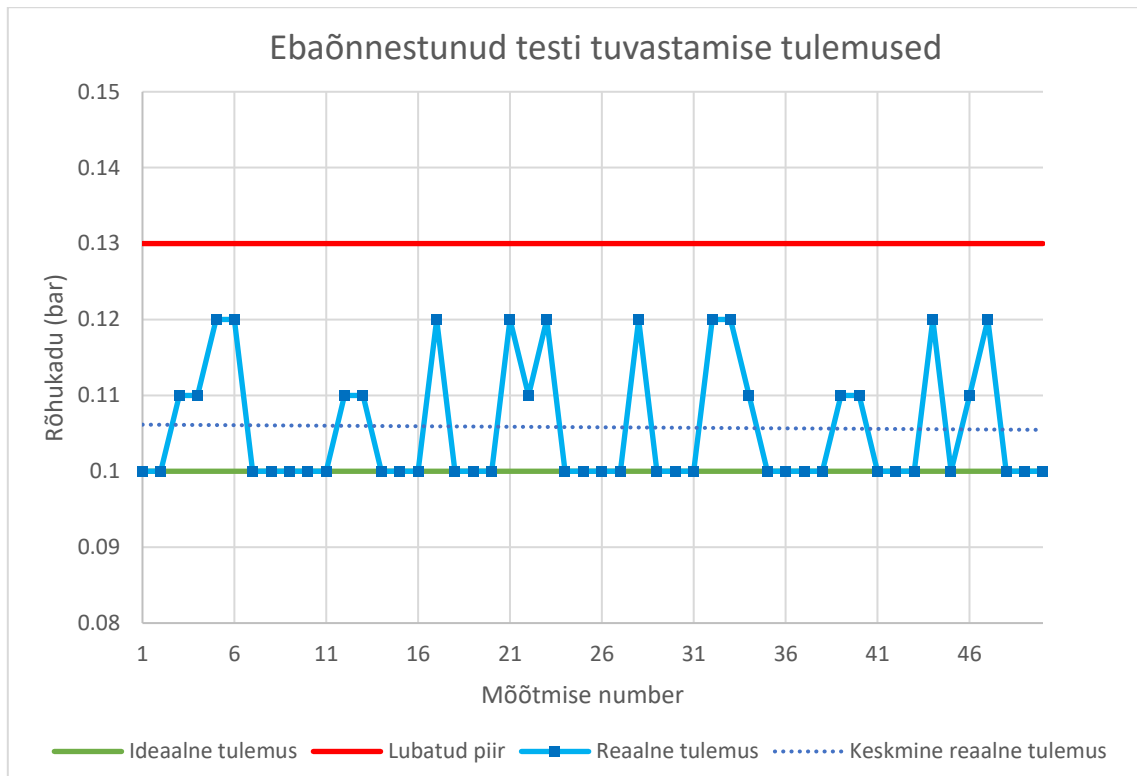
Lühiviide	Kirjeldus	Tulemused
Tsükli kestvuse muutmine	PLC programmi väärtuste muutmine olukorras, kus vajatakse pikemat testi	Kestvuse muutmisel 90 s-ni kestab põhitest 90 s, väärtuse tõstmisel 210 s-ni on fikseeritud põhitsükli aeg 210 s
START/RESET viivis	START/RESET nupu minimaalse nõutud viivise kontroll	Nupu hoidmisel alla 1 s vajutust ei fikseerita, juhuslikud vajutused ei alusta / ei lähtesta tsüklit
Releede eemaldus	Kiire tsükli eest vastutavate solenoidventiilide releede eemaldus ja testseadme funktsiooni kontroll	Aeglase tsükli valiku puhul muutusi pole, kiire tsükli valikul kaks solenoidventiili ei tööta. Seega on võimalik kasutada ainult aeglast tsüklit

Lisaks eelnevalt kirjeldatud testidele kontrolliti lekketestri omaleket, veendumaks, et seadme enda rõhulang on nõutud aja jooksul nullilähedane. Selleks ühendati spiraalvooliku kiirliitmik pimeotsikuga, takistades suruõhu liikumist testseadme lõpus. Tavatsükli puhul märgiti visuaalselt rõhulangu 180 s puhul 0,01...0,02 bar. Tulemuse parandamiseks asendati lühemad voolikuosad uutega, üritades vähendada pingete tekkimist vooliku pinnas ning liitmikes. Uueks tulemuseks märgiti 0,00 bar 10 järgneva tsükli käigus.

Veendumaks testseadme võimekuses hoida nõutud rõhku pikema perioodi jooksul, viidi läbi täiendav test omalekke hindamiseks. Selleks täideti testseade 10 bar rõhuga ning jäeti seisma 24 h-ks. 24 h jooksul fikseeritud rõhulang moodustas 0,04 bar.

Viimane test hõlmas testseadme täpsuse kontrolli ja hindamist. Eelnevates peatükkides on kirjeldatud testseadmes kasutatud digitaalse rõhulüliti mõõtetäpsuse kontrollimist ning PLC-poolse analoogsignaali lugemise täpsusest tulenevat viga. Vaatluse käigus märgati, et analoogsisendi väärtuse 2 kasutamisel PLC arvutustes tuvastas süsteem tõhusamalt rõhulangu 0,1...0,13 bar, kuigi arvutuslikult on analoogsignaali väärtus 2 võrdne 0,08 bar suuruse rõhuga. Võimalik viga tulenes rõhulüliti enda analoogväljundist tundlikkusest erinevatel rõhkudel.

Täpsuse hindamiseks sooritati 50 testi sisendrõhkudel 9,4...10,3 bar ehk 5 testi iga 0,1 bar rõhu kohta (vt Joonis 19). Testide käigus kasutati testseadme väljundis drosselsummutiga 2/2 NC solenoidventiili. Põhitsükli alguses fikseeriti digitaalse rõhulüliti näit ning avati eraldi signaaliga 2/2 solenoidventiil. Õhudrosseli abil tekitati väike leke, tekitades kunstlikult ebaõnnestunud testi enne 180 s möödumist. Testi lõppedes ning punase tule süttimisel fikseeriti rõhulüliti lõppnäit. Kahe näidu võrdlemisel määrati, et testseadme tuvastas iga mõõtmise puhul rõhulangu 0,1...0,12 bar. 0,13 bar piiri testide käigus ei saavutatud. Sellega kinnitati testseadme sobivust lõppkliendi rakenduses.



Joonis 19. Ebaõnnestunud testi tuvastamise tulemused rõhukadu mõõtmise baasil

## 5.2. Kliendipoolne test

Testseadme tarnimise järgselt pakuti lõppkliendile kaks kuud kestvat testperioodi, veendumaks lekketestri funktsioneerimises vastavalt eeldustele ja esitatud nõuetele. Antud perioodi käigus küsiti regulaarselt tagasisidet testseadme kohta ning pakuti võimalust muudatuste tegemiseks vajaduse tekkimisel.

Testperioodi esimese kuu jooksul kasutasid lõppkliendi operaatorid mõlemat testseadet, võrreldes uut automaatset lahendust seni kasutusel olnud manuaalsega. Alguses testiti täpsuse hindamiseks ühte toodet mõlema testseadmega. Uue protseduuri kohaselt testiti toodetavaid seadmeid kord manuaalse, kord automaatse lahendusega. Samal ajal hinnati automaatse lahenduse kasutusmugavust ning efektiivsust testimisliini töö parandamisel.

Lõppklient märkis, et testimise käigus uue seadmega olulisi tõrkeid või probleeme ei tekkinud ning visuaalselt tundusid testi tulemused õiged, operaatorid ei märganud, et näiteks 0,09 bar langusel oleks testi loetud ebaõnnestunuks või 0,13 bar puhul õnnestunuks. Ainuke probleem tekkis testseadme paigaldamisel stabiilse sisendrõhu saavutamiseks – selleks paigaldati seadme projekteerimise käigus omandatud kogemusele tuginedes õhumahuti enne testseadme sisendporti.

Eraldi täheldati, et osa manuaalse testi läbinud toodetest ebaõnnestus automaatse lekketestri puhul. Samuti märgati vastupidist olukorda, kus manuaalse testi käigus ebaõnnestunud tooted läbisid automaatse testi. Veendumaks automaatse lekketestri näitade õigsuses, saadeti kõik taolised tooted testimisliini teise etappi, kus jahutuskanaleid testitakse veega 30 bar juures. Kliendipoolse tagasisidena ei läbinud ükski automaatse lekketestriga ebaõnnestunud toodetest teise etapi. Osa automaatse lekketestriga õnnestunud toodetest ei läbinud teist etappi, ent antud asjaolu tuleneb eelkõige mõlema testi spetsiifika erinevusest:

1. Esimeses etapis ebaõnnestunud tooted ebaõnnestuvad 100% juhtudel teises etapis eelkõige suurema kasutatava rõhu tõttu;
2. toode võib läbida esimest etappi, ent rõhu suurendamisel teises etapis ei pea jahutuskanalite ühendused vastu ning tekib täiendav leke.

Testperioodi teise kuu jooksul kasutati ainult automaatset lekketestrit ning jälgiti testimisliini teise etapi koormust uue seadme kasutuselevõtu järgselt. Lisaks hinnati muutusi inimressursi kasutamise tõhususes testimisliini operaatori näol.

Lõppklient oli rahul olukorraga, kus automaatse lekketesti kasutuselevõtuga välistati korrasolevate toodete nimetamist praagiks ebatäpse mõõtetulemuse tõttu. Samas vähendati testimisliini teise etapi koormust tänu sagedamale praagi tuvastamisele – tendentsi kohaselt pidas eelmine testseade sagedamini tooteid õnnestunuks, kuna sisendrõhu väärtus oli sageli üle 10 bar, ent ebaõnnestunud testi fikseeriti rõhu langemisel alla 9,9 bar. Iga suruõhu testi ekslikult läbinud toode koormas teist etappi. Kuigi teises etapis oli kasutatud mitut testsüsteemi paralleelselt, oli etapi oluliselt pikemast kestvusest tingituna oluline vähendada sinna ekslikult saabunud toodete arvu.

Eraldi suunati tähelepanu suurenenud kasutajamugavusele eelkõige protsessi automatiseerimise abil. Oluliseks peeti kiire ja aeglase tsükli kiiruse valiku lihtsust. Eelneva testseadme puhul tekitas pidev õhudrosselite reguleerimise vajaduse erinevate toodete testimisel täiendavat ajakulu. Lisaks saavutati testimisprotseduuri automatiseerimisega olukorda, kus põhitsükli jooksul ehk 180 s kestel saab operaator tegeleda teiste paralleelsete ülesannetega, näiteks valmistada ette teisi toote teste. Seega tähendab see ligikaudu 180 s ajavõitu iga seadme kohta inimressursi kasutamise tõhususest lähtudes.

Lõppklient kinnitas uue automaatse testseadme sellele esitatud nõuetele vastavaks ning asendas testperioodi lõpus manuaalse lahenduse täielikult projekteeritud lekketestriga. Samuti kinnitati kahe sarnase testseadme tellimist käesoleva aasta lõpuks, tulenedes tootmise ja sellest tulenevalt testliini laiendamisest. Kliendipoolse tähelepanekud ja võimalikud paranduskohad on välja toodud järgmises peatükis.

## 6. LÕPPLAHENDUSE ANALÜÜS

Valminud lahendusele anti koostöös kliendiga objektiivne hinnang, tuginedes testseadmele esitatud nõuetele ja tingimustele. Kuna lõppklient esitas tellimuse veel kahele seadmele, analüüsiti lisaks võimalikke muudatusi järgmiste lekketestrite süsteemis ja ehituses. Detailsem analüüs on kirjeldatud järgnevates alampeatükkides.

### 6.1. Vastavus tingimustele

Testseadme vastavust esitatud tingimustele ja nõuetele analüüsitakse võrdluse meetodil: eeldatud tulemused kõrvutatakse reaalsatega. Käesolevas lõputöös mainitud üheksast põhinõudest on kaheksat analüüsitud allolevas tabelis (vt Tabel 8):

Tabel 8. Vastavus kliendipoolsetele tingimustele

<b>Tingimus või nõue</b>	<b>Reaalne tulemus</b>
Testseade on automaatne	Manuaalselt on nõutud vaid testitava seadme ühendamine, tsükli kiiruse valik ja testi käivitamine/lähtestamine
Testi kiirust valitakse selektorlülitiga	Testi kiirust valitakse selektorlülitiga, drosselite reguleerimine pole vajalik
Süsteem tuvastab 0,1...0,13 bar rõhukadu	Süsteem tuvastab 0,1...0,12 bar rõhukadu
Jääkrõhk vabastatakse, indikaatorlülid signaliseerivad tulemusest	Testi lõpus vabastatakse jääkrõhk, ebaõnnestunud testist signaliseerib punane tuli ning õnnestunud testist roheline
Süsteem katkestab testi enne põhitsükli lõppu ebaõnnestumise tuvastamisel	Lubatust suurema rõhukadu tuvastamisel enne 180 s möödumist test lõpetatakse
Testseade ei reageeri kiirele START/RESET nupu vajutusele	Nupu vajutuse registreerimiseks peab vajutus kestma minimaalselt 1 s
Testseadet juhib PLC olulisemate parameetrite muutmiseks	Viivised ja tsükli pikkus muudetakse PLC's, nõutud rõhu väärtust rõhulüliti abil
Tarneaeg kuni 30 päeva	Projekt teostati 21 kalendripäeva jooksul

Eraldi tingimusena oli lõppkliendi poolt välja toodud projekti maksumus kuni 3000 eurot. Eelkõige antud kriteeriumi tõttu loobuti ka kahest alternatiivsest valikust testseadme tellimiseks. Käesoleva projekti ümardatud kogumaksumus on välja toodud järgneval lehel olevas tabelis (vt Tabel 9, lk 43):

Tabel 9. Testseadme maksumuse hindamine

<b>Tootekategooria / Teenus</b>	<b>Maksumus ilma KM (eur)</b>
Pneumokomponendid (solenoidventiilid, drosselid, voolikud, liitmikud)	390
Elektrikomponendid (v.a. PLC)	180
PLC	260
Montaaživahendid ja korpus	130
Seadme projekteerimine	500
PLC programmi loomine ja muutmine	500
Seadme koostamine ja lisategevused	500
<b>Summaarne maksumus ilma KM (eur)</b>	<b>2460</b>

Tuginedes eeldatud ja reaalsete tulemuste võrdlusele ning kogumaksumuse arvutusele, loetakse testseadet sellele esitatud esialgsetele tingimustele ja nõuetele vastavaks. Veendumaks testseadme vastavuses nõutud mõõtetäpsusele tulevikus, otsustati koostöös kliendiga teostada lekketesti kontrolli iga 10000 tsükli järel. Projekteerimise ja testseadme testimise käigus tekkinud täiendavad tingimused ja ideed järgnevate lekketestrite jaoks on välja toodud järgmises alampeatükis.

## 6.2. Parandusideed

Parandusideed tulenesid eelkõige valminud lahenduse testimisel nii SMC kontoris kui ka kliendi testimisliinil. Osa ideedest muudeti koostöös kliendiga täiendavateks tingimusteks tulevastele lekketestritele.

Kõige olulisem muudatus on testseadme pneumaatika skeemi lõpus asuvate 2/2 NC solenoidventiilide asendamine 2/2 NO ventiilidega. Esialge valik tulenes kasutatud ventiilide kiiremast tarneajast. Valminud lahenduse probleemiks on jääkrõhu säilimine testseadmes hädaseiskamislüliti kasutamisel. 2/2 NO solenoidventiilide kasutamisel ning sellele vastaval programmi muutmisel avaneksid ventiilid voolu katkestamisel hädaseiskamislüliti abil ning seega väljuks testseadmes olev suruõhk 3/2 NC ventiilide EXH pordi kaudu. Selline lahendus tõstab testseadme turvalisust, kasutusmugavust ning parandab hädaseiskamislüliti funktsiooni lekketesti töö seiskamisel. 2/2 NO solenoidventiilide kasutamine on uus nõue tulevasele testseadmele.

Kuna lõppkliendi testimisliinil on kasutatud sisendrõhk ebastabiilne õhuregulaatori pideva muutmise tõttu vastavalt vajadusele, pakuti eraldi muudatusena elektropneumaatilise

regulaatori ning sujuvkäivitusventiili integreerimist tulevase testseadme tarvis. Sellest tulenevalt muutub uus testseade kallimaks, ent sellega tagatakse stabiilne sisendrõhk ning sujuv suruõhuga täitmine. Lõppklient hindab antud komponentide lisamise vajalikkust otse testseadmesse ning kaalub nende integreerimist testimisliinil olevasse suruõhusüsteemi.

Lisaks on kaalutud kahe õhudrosseli asendamist elektropneumaatilise vooluhulga regulaatoriga. Sellisel juhul kaob kahe täiendava solenoidventiili kasutamise vajadus ning testseadet saab muuta kompaktsemaks. Tsükli kiiruse selektorlüliti muudaks PLC kaudu regulaatori väärtust. Lõppklient loobus antud komponendi kasutamisest oluliselt kõrgema hinna tõttu.

Testseadme ehituse poolest on samuti kaalutud *one-touch* tüüpi liitmike asendamist metallist lukustusmutriga liitmikega. Kasutatud liitmikke kasutati eelkõige nende kasutusmugavuse ning lihtsama asendamise tõttu, kuigi tegemist on kõige suurema lekkeväärtusega liitmikega. Esiialgne idee oli kasutada *one-touch* tüüpi liitmikke testseadme põhifunktsioonide testimiseks, ent testide käigus täheldati, et 10 bar rõhu juures väheneb leke oluliselt vooliku paisumise tõttu. Seda tähelepanekut kinnitas ka testseadme omalekke kontroll 24 h jooksul. Seetõttu jäeti testseadmesse esialgset lahendust. Lõppklient hindab antud tüüpi liitmike asendamise vajadust.

Lekketestri programmi puhul on samuti olemas parandusidee. Programmi esimeses etapis ehk testseadme suruõhuga täitmise osas saab lisada eraldi viivist, tuvastamaks olukorda, kus teatud aja jooksul ei saavutata nõutud sisendrõhku – sellisel juhul test katkestatakse automaatselt. Antud olukorrast signaliseeriks punase indikaatortule vilkumine. Praeguse lahenduse puhul jälgib operaator testi algust kuni põhitsükli alguseni. Antud idee on samuti kinnitatud uue tingimusena tulevase testseadme jaoks.

## KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli luua lõppkliendi olemasoleva lahenduse asenduseks automaatne testseade õhulekete tuvastamiseks ja mõõtmiseks vastavalt etteantud parameetritele ja nõuetele ning parandada sellega testimisliini tootlikkust.

Lõppkliendi testimisprotseduur seisnes vedelikujahutust kasutavate seadmete jahutuskanalite lekkekindluse testimises suruõhu ja veega kahes järjestikuses etapis. Lõputöö raames asendati suruõhu lekketestrit, kusjuures asendus hõlmas nii uue seadme projekteerimist, programmeerimist kui ka kokkupanekut. Automaatne testseade koostati vastavalt lõppkliendi nõuetele, pidades kinni määratud tähtajast ja eelarvest.

Valmistoodete vastas kõigile esitatud tingimustele nii funktsionaalsuse kui ka mõõtetäpsuse osas ning parandas testimisliini produktiivsust. Uue testseadme integreerimisega vähendati praagiks kuulutatud korrasolevate testitavate toodete arvu, tuvastati efektiivsemalt lubatust suurema lekke väärtusega tooteid ning seega vähendati testimisliini teise etapi liigset koormatust. Samuti parandati inimressursi kasutamise efektiivsust tänu testimisliini operaatori vabastamisele testi manuaalsest läbiviimisest.

Lõppklient aktsepteeris valminud testseadet ning tänaseks on manuaalne lahendus täies mahus asendatud uue lekketestriga. Lisaks on esitatud tellimus kahele täiendavale testseadmele käesoleva aasta lõpuks koos kliendiga kooskõlastatud uuenduste ja muudatustega.

Võttes arvesse ülalmainitud ning kliendipoolset tagasisidet, võib pidada lõputöö eesmärki täielikult täidetuks.

Lõputööd võib kasutada alusena rõhulanguse mõõtmise baasil töötavate lekketestrite projekteerimisel või arendamisel.

## **SUMMARY**

The aim of this thesis was to create an automatic test device for the detection and measurement of air leaks according to predefined parameters and requirements to replace the end customer's existing solution and thereby improve the productivity of the test line.

The end customer's test procedure consisted of testing the leak-resistance of the liquid-cooled equipments cooling ducts with compressed air and water in two consecutive steps. During the thesis project, a replacement for existing air leakage tester was created, involving the design, programming and assembly of a new unit. The automatic test equipment was built according to the end customer's requirements, on time and within budget.

The finished product met all the specified requirements in terms of both functionality and measurement accuracy and improved the productivity of the test line. The integration of the new test equipment reduced the number of working testable products declared as faulty, identified products with higher leakage values than allowed more efficiently and thus reduced the overloading of the second stage of the test line. It also improved the efficiency of the use of human resources by relieving the test line operator from the manual execution of the test.

The final customer accepted the completed test equipment and today the manual solution has been fully replaced by the new leakage tester. In addition, an order has been placed for two additional test device sets by the end of this year with upgrades and modifications agreed with the customer.

Taking into account the above and the feedback from the customer, the objective of the thesis can be considered as fully achieved.

The thesis can be used as a basis for the design or development of leak testers based on pressure drop measurement.

## VIIDATUD ALLIKAD

[1] SMC Corporation, „Global Network“, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.smcworld.com/overseas/sguide/en-jp/index.html> [Kasutatud 13.03.2024].

[2] SMC Corporation, „Estonia“, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.smcworld.com/corporate/network/estonia.html> [Kasutatud 13.03.2024].

[3] Cincinnati Test Systems, „Air Leak Test FAQs“, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.cincinnati-test.com/air-leak-test-faq> [Kasutatud 15.03.2024].

[4] SMC, „Automatic Leak Detection System ALDS series“, [Võrgumaterjal]. Available: [https://static.smc.eu/binaries/content/assets/smc\\_global/solutions/packaging/alds-a\\_leaf\\_en.pdf](https://static.smc.eu/binaries/content/assets/smc_global/solutions/packaging/alds-a_leaf_en.pdf) [Kasutatud 15.03.2024].

[5] Hoob, “Test Systems“, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.hoob.ee/factory-automation-solutions/test-systems> [Kasutatud 15.03.2024].

[6] Ateq, “F6 Class“, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.ateq-leaktesting.com/products/leak-tester/f6-class> [Kasutatud 15.03.2024].

[7] Mensor, “Modular Precision Pressure Controller CPC6000“, [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.mensor.com/media/Operating-instructions/Operating-instructions/Calibration/Pressure-controllers/oi\\_cpc6000\\_archived\\_en\\_um.pdf](https://www.mensor.com/media/Operating-instructions/Operating-instructions/Calibration/Pressure-controllers/oi_cpc6000_archived_en_um.pdf) [Kasutatud 17.03.2024].

[8] SMC Corporation, “High-Precision Digital Pressure Switch“ [Võrgumaterjal]. Available: [https://content2.smcetech.com/pdf/ZSE20-ISE20-Ea\\_EU.pdf](https://content2.smcetech.com/pdf/ZSE20-ISE20-Ea_EU.pdf) [Kasutatud 17.03.2024].

[9] Electrobit, “Alpha XL juhend“, [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.electrobit.ee/web/file\\_bank/Manuals/kontrollerid/mitsubishi/alpha/ALPHA-PLC-beginners-manual\\_EST.pdf](https://www.electrobit.ee/web/file_bank/Manuals/kontrollerid/mitsubishi/alpha/ALPHA-PLC-beginners-manual_EST.pdf) [Kasutatud 17.03.2024].

## **LISAD**

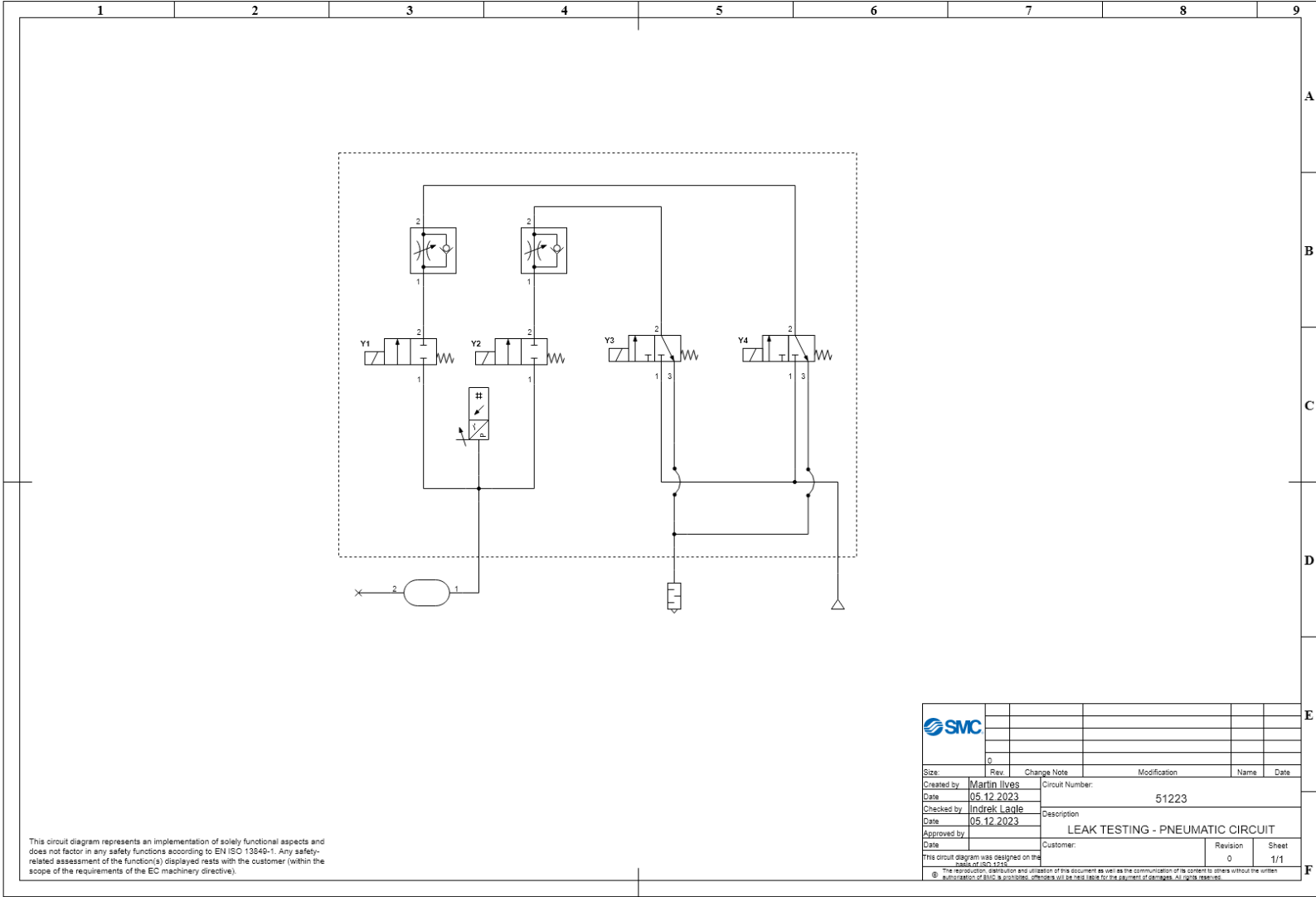
Lisa 1. Pneumaatika skeem koos pneumokomponentide paigutusega

Lisa 2. Lihtsustatud elektriskeem operaatorile

Lisa 3. Lekketestri FBD-programm Alpha Programming tarkvaras

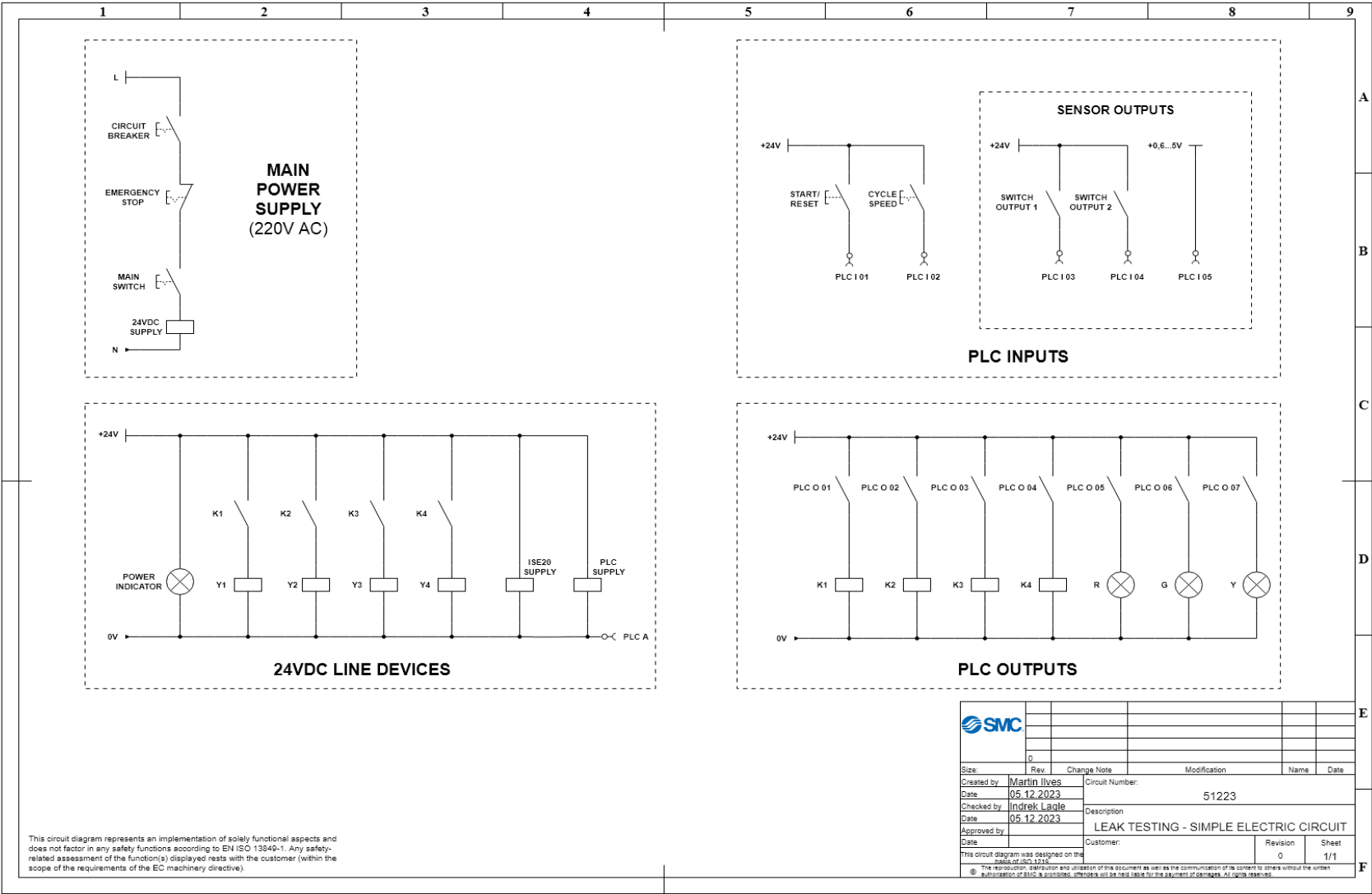
Lisa 4. Eestikeelse kasutusjuhendi näide

# Lisa 1. Pneumaatika skeem



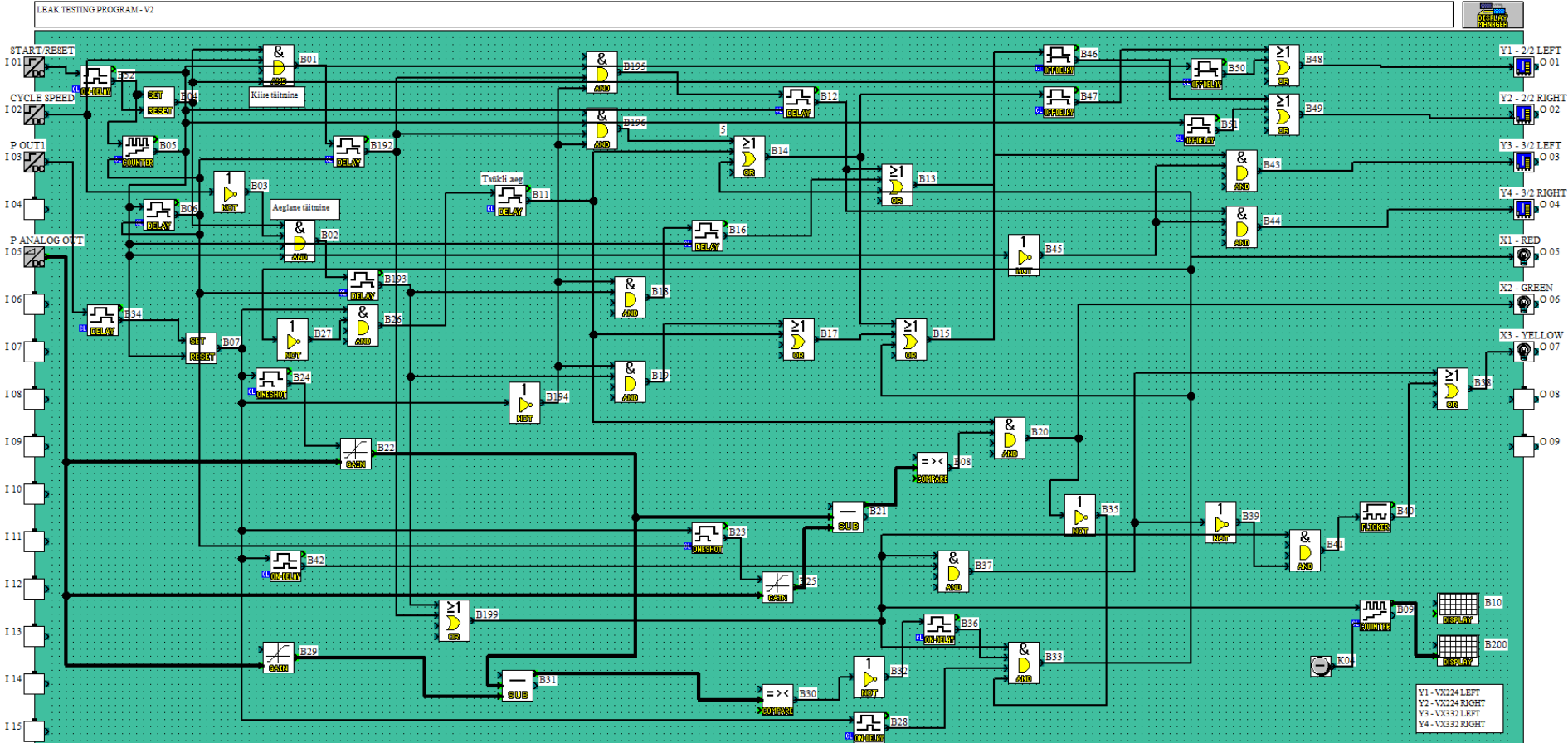
Size:	0	Rev:		Change Note:	
Created by:	Martin Ilves	Circuit Number:	51223		
Date:	05.12.2023	Checked by:	Indrek Laale	Description:	
Date:	05.12.2023	Approved by:		LEAK TESTING - PNEUMATIC CIRCUIT	
Date:		Customer:		Revision:	0
This circuit diagram was designed on the basis of DPA 1216				Sheet:	1/1
© The reproduction, distribution and utilization of this document as well as the communication of its content to others without the written authorization of SVC's proprietor, otherwise will be held liable for the payment of damages. All rights reserved.					

# Lisa 2. Elektriskeem



Size:	Rev.	Change Note	Modification	Name	Date
Created by:	Martin Iives	Circuit Number:	51223		
Date:	05.12.2023	Checked by:	Indrek Laagle		
Date:	05.12.2023	Approved by:	LEAK TESTING - SIMPLE ELECTRIC CIRCUIT		
Date:		Customer:	Revision:	0	Sheet:
					1/1

### Lisa 3. PLC programm



## Lisa 4. Kasutusjuhend eesti keeles

### Testseadme lihtsustatud kirjeldus

#### Esipaneel:

1. Hädaseiskamislüliti – NC, katkestab elektrivoolu kilbis
2. Pealüliti – NO, vajalik kilbi sisselülitamiseks
3. Toite indikaatorlamp – süttib kilbi sisselülitamisel
4. Tsükli kiiruse selektorüliti – vajalik kiire või aeglase tsükli valimiseks, normaalolekus “aeglane”
5. Start/Reset – käivitab/tühistab testi, tühistades vabastab jääkrõhu
6. Kollane indikaatorlamp – näitab testi olekut (ettevalmistus, aktiivne, mitteaktiivne)
7. Roheline indikaatorlamp – näitab testi õnnestumist
8. Punane indikaatorlamp – näitab testi ebaõnnestumist
9. Rõhuandur – näitab hetkerõhku süsteemis, tuvastab vajaliku rõhu saavutamist ning võimaldab korrigeerida minimaalset vajalikku rõhku

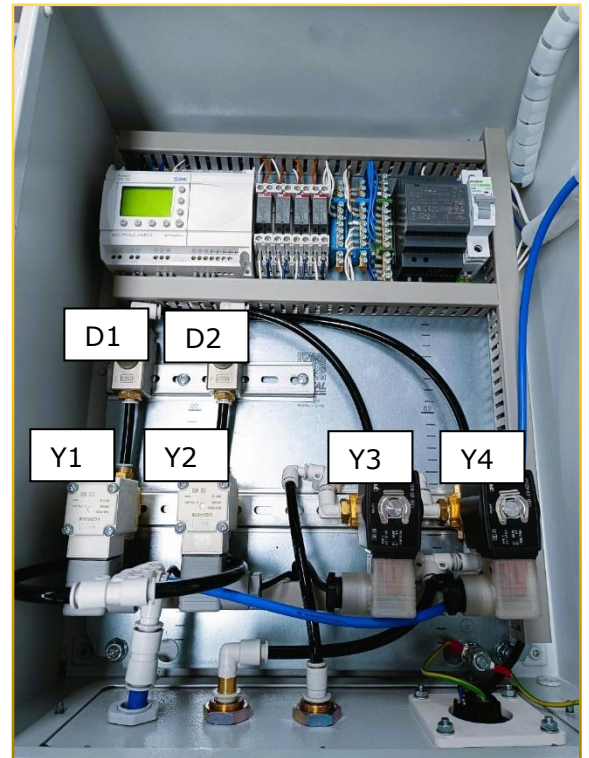
#### Ühenduspordid:

1. Toitesisend – 220VAC, 1-faasiline, L/N/GND
2. Suruõhu väljalase – 12mm, summutiga
3. Suruõhu sisend – 12mm
4. Suruõhu väljund – 12mm spiraalvoolik kiirliitega



### Sisemus (põhiline):

1. 2/2 klapid – NC, Y1 ja Y2
2. 3/2 klapid – NC, Y3 ja Y4
3. Õhudrosselid – D1 ja D2, vajalikud vooluhulga reguleerimiseks ning tsükli kiiruse piiramiseks/seadistamiseks
4. Kaitselüliti – süsteemi kaitseks rikkevoolu eest
5. Toiteplokk – 24VDC, integreeritud rikkevoolu ja ülepinge kaitsega, sujuvväljalülitus
6. Klemmiterminalid
7. Releeplokkid – seadmes kasutatavate klappide juhtimiseks
8. Mitsubishi Alpha AL-24MR-D kontrolleri – juhib kogu testseadme süsteemi



### Üldine tööpõhimõte

Testseadme eesmärgiks on õhulekete kontrollimine testitavates toodetes. Selleks moodustatakse kilbis kaks suletud süsteemi nelja solenoidklapi abil. Testimine toimub klappide Y1, Y2 ja testitava toote vahel – õhurõhk fikseeritakse rõhuanduri abil.

Testi alguses avatakse kiire tsükli puhul kõik süsteemis olevad klapid ning kogu süsteem koos testitava tootega täidetakse õhuga nõutud rõhuni. Vajaliku rõhu saavutamisel antakse teatud viivisega signaal testitava toote poolsete klappide sulgemiseks, eesmised klapid suletakse rõhu stabiliseerimise tarvis järjekordse viivise möödumisel. Mõõtmist alustatakse 30 sekundi möödumisel alates eesmistest klappide sulgemisest – selle aja jooksul langeb rõhk vooliku paisumise tõttu stabiilse väärtuseni.

Põhitest kestab 180 sekundit, mille jooksul mõõdetakse pidevalt testitavas tootes olevat rõhku. Rõhu langemisel alla soovitud väärtuse loetakse testi ebaõnnestunuks. Õnnestunud või ebaõnnestunud test lõpeb õhu vabastamisega süsteemist. Lisaks fikseeritakse kontrolleri abil kogu tsüklite arvu.

## Vajalikud toimingud

1. Enne kilbi käivitamist varustage süsteemi õhuga ning vajaliku elektrivooluga. Veenduge, et õhu väljalaskepordis olev summuti on puhas.
2. Veenduge, et kaitselüliti on "sisselülitatud" asendis (lüliti positsioon "üleval") ja hädaseiskamislüliti vabastatud. Keerake esipaneelil olevat pealülitit päripäeva ning veenduge, et toite indikaatorlamp on süttinud.
3. Enne testtsükli käivitamist ühendage testitav toode kiirliitega spiraalvooliku külge ning valige soovitud tsükli kiirus vastava selektorlüliti abil:
  - a. Aeglane tsükkel – õhk liigub läbi klappide Y2 ja Y3, tsükli kiirust saab reguleerida drosseli D2 abil.
  - b. Kiire tsükkel – õhk liigub läbi klappide Y1, Y2, Y3 ja Y4 ning kiirust saab reguleerida mõlema drosseli ehk D1 ja D2 abil
4. Testi käivitamiseks vajutage START/RESET surunuppu. Testi algust ja kulgemist kuni näidu fikseerimiseni näitab kollase indikaatoritule vilkumine 1 Hz sagedusega (1 sek sees, 1 sek väljas).

OLULINE: Programm sisaldab väikest viivitust surunupu vajutuse fikseerimisel, vältimaks "juhuslikke" vajutusi. Seetõttu peab vajutus olema selge ja konkreetne.
5. Vajaliku rõhu saavutamisel (seadistatav digitaalse rõhuanduri pealt) antakse vastav signaal kontrollerrisse juhul, kui rõhk püsib üle nõutud väärtuse 10 sekundi jooksul (vältimaks testi jätkamist juhul, kui nõutud väärtus saavutatakse ainult hetkeks). Testseadme algne seadistatud lülitusrõhk on 10,3 bar.
6. Signaali jõudmisel suletakse testitava seadme poolsed klapid Y1 ja Y2 (aeglase tsükli puhul ainult Y2) ning 15 sekundi möödumisel ka klapid Y3 ja Y4 (aeglase tsükli puhul ainult Y3).
7. Omakorda 15 sekundi möödumisel fikseeritakse testi jaoks vajalik algnäit – viivis on vajalik rõhu stabiliseerimiseks spiraalvooliku paisumisest tulenevalt. Sellega algab põhitest, mis kestab 180 sekundit. Kollane indikaatorlamp lõpetab vilkumise ning põleb konstantselt.

8. Programmiga on määratud, et ca 0,1...0,13 bar rõhulanguse fikseerimisel loetakse test ebaõnnestunuks. Sellisel juhul lõpetatakse kogu tsükkel, süsteem vabastatakse õhust ning süttib punane indikaatorlamp.
9. Juhul, kui 180 sekundi jooksul jääb rõhulangus 0,1...0,13 bar piiresse, loetakse testi õnnestunuks, süttib roheline indikaatorlamp ning õhk vabastatakse (klappide Y1 ja Y2 avamisega).
10. Kogu süsteemi lähtestamiseks on vajalik vajutada taaskord START/RESET nuppu enne järgmise tsükli käivitamist. Nupu vajutamiste vahele jääv soovituslik aeg on ligikaudu 2 sekundit.

## Muud näpunäited ja olulised momendid

1. Hädaolukorras vabastab START/RESET nupu vajutus samuti õhku süsteemist. Näiteks: tsükkel käivitatakse, ent testitav seade on halvasti kinnitatud ning seega on leke ilmne algusest peale – sellisel juhul tuleb tsükli katkestamiseks vajutada taaskord START/RESET nuppu.
2. Hädaseiskamislüliti lülitab välja kogu elektrivoolu süsteemis ning seega katkestab jooksva tsükli, ent ei vabasta õhku testimise osas. Seega on sellisel juhul enne järgmise tsükli käivitamist vaja ikkagi vajutada START/RESET nuppu.
3. Kontrolleri loendab ning salvestab tsüklite arvu (näit kuvatakse kontrolleri ekraan peal) – loenduri lähtestamiseks peab vajutama “–“ (loe: miinus) nuppu kontrolleril.
4. Parima tulemuse saavutamiseks tuleb kilbile-testseadmele anda rõhku konstantselt ning “ilma hüpeteta” – sellisel juhul paisub spiraalvoolik ühtlasemalt ning põhitesti alguseks stabiliseerub õhurõhk efektiivsemalt.
5. Kõik programmis olevad viivised ja tsükliajad on muudetavad koostöös tootjaga. Digitaalsel rõhuanduril seadistatud lülitusrõhku on võimalik muuta iseseisvalt vastavalt vajadusele. Selleks kasutage tootemanuaali: [Digitaalse rõhuanduri ISE20 kiirjuhend](#)