



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Vilhelm Koho

Toimilaitteventtiilikokonaisuuden testausjärjestelmän suunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

7.4.2019

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Vilhelm Koho Toimilaiteventtiilikokonaisuuden testausjärjestelmän suunnittelu 49 sivua + 1 liite 7.4.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	automaatiotekniikka
Ohjaajat	myyntijohtaja Päiviö Vuolle lehtori Kai Virta
Tämä insinööri työ tehtiin Starline Valves Oy:lle. Työn tarkoituksena oli suunnitella laitteisto ja toimintaproseduuri pneumaattisesti ohjattujen toimilaiteventtiilikokonaisuuksien laadun varmentamiseksi, toiminnallisuuden testaamiseksi ja prosessiventtiilin toiminta-aikojen määrittämiseksi. Testausjärjestelmän laitekoonpano muodostui Beckhoffin paneeli-PC:n, väylä kytkimen ja IO-terminaalien ympärille. TwinCAT 3 -sovellusohjelmiston IEC 61131-3-standardin mukaisen FBD-ohjelmointikielen ja paneeli-PC:lle luodun graafisen käyttöliittymän välityksellä mahdollistetaan signaalien muodostaminen automaatiojärjestelmän ja testattavien komponenttien välillä. Paineilman kytkemiseksi toimilaitteelle, luodaan putkitus, johon asennetaan sulkuventtiili, suodatinsäädin sekä paineilman jakotukki. Työn alussa käydään läpi käyttövoiman perusteella luokitellut toimilaitetyypit, sulkuelimen läpivirtauksen säätötavan mukaan jaotellut prosessiventtiilit ja paineilma virtauksien ohjauksessa käytetyt magneettiventtiilit sekä tuodaan esiin tilatiedon väittämistä vastaavat rajakytkimet. Seuraavaksi esitellään painelaitteita koskevaa lainsäädäntöä, jonka jälkeen siirrytään varsinaisen testausjärjestelmän käsittelyyn. Työn tuloksena syntyneellä suunnitelmalla pystytään suorittamaan toimilaiteventtiilikokonaisuuden kuin yksittäisten komponenttien toiminnallinen testaus laitteiston kokoonpanon valmistuttua luotua ohjelmaa ja ohjeistusta hyödyntäen. Laitteiston kokoonpanon valmistuttua yritys kykenee osoittamaan asiakkailleen menettelytapansa toiminnallisuuden varmistamiseksi ja toimittamaan dokumentin suoritettua toiminnallisen testin todistamiseksi.	
Avainsanat	testausjärjestelmä, toimilaiteventtiilikokonaisuus, TwinCAT 3

Author Title Number of Pages Date	Vilhelm Koho Design of a Test System for Actuator Valve Assembly 49 pages + 1 appendix 7 April 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and Automation Engineering
Professional Major	Automation Engineering
Instructors	Päiviö Vuolle, Sales Director Kai Virta, Senior Lecturer
This study was commissioned by Starline Valves Oy. The purpose of this study was to design a testing system and operating procedure for pneumatically operated actuator valve assembly. The quality assurance, functionality testing and determining operating times can be accomplished with the testing system. The testing system was implemented around Beckhoff's panel-PC, EtherCAT Coupler and IO-terminals. The program was created with the use of TwinCAT 3 softwares' Function Block Diagram programming language according to IEC 61131-3 standard. A graphical user interface was created to allow the transmission of control signals between the automation system and the test components. In addition, a piping will be created to connect the compressed air to the pneumatic actuator. A shut-off valve, a filter regulator and a compressed air distributor will be installed into piping. The different propulsion force operated actuators, process valves grouped by the obturator's flow-through control mode, limit switches responsible for communicating status information and the solenoid valves used to control compressed air flows will be presented at the beginning of the study. Next, the pressure equipment legislation will be clarified, and after that the testing system and its components will be proposed at the end of this study. With the resulting design the company is able to perform the functionality testing of the actuator valve assembly and also test the functionality of one single component upon completion of the system configuration with the guidance provided. With help of this study, the company is able to demonstrate their procedure of functionality testing to its customers and provide them with a document as a proof of the functionality test.	
Keywords	Testing system, actuator valve assembly, TwinCAT 3

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Toimilaitteet	3
2.1	Pneumaattiset sylinteritoimilaitteet	3
2.2	Pneumaattinen kalvotoimilaite	6
2.3	Sähköinen toimilaite	7
2.4	Hydrauliset toimilaitteet	8
2.5	Käsi­käyttöinen toimilaite	10
3	Prosessiventtiilit	11
3.1	Palloventtiili	12
3.2	Läppäventtiili	13
3.3	Segmenttiventtiili	14
3.4	Levy­luistiventtiili	15
3.5	Istukkaventtiili	16
4	Pneumatiikka	17
4.1	Pneumaattisen järjestelmän ohjaus venttiileillä	17
4.2	Suuntaventtiilit	18
4.2.1	3/2-suuntaventtiilit	19
4.2.2	5/2-suuntaventtiilit	20
4.2.3	Ohjaustekniikka	21
4.3	Sulkuventtiilit	21
4.4	Paineventtiilit	22
4.5	Vastaventtiilit	24
4.6	Virtaventtiilit	26
4.7	Tilatieto rajakytkimeltä	26
5	Toimilaiteventtiilikokonaisuuden turvallisuus	29
5.1	Painelaitedirektiivi 2014/68/EU	29
5.2	Painelaitelaki 1144/2016	30

5.3	ATEX-laitedirektiivi 2014/34/EU	30
5.4	Laki 1139/2016 EX-tilojen laitteiden vaatimustenmukaisuudesta	32
5.5	Paloturvallisuushyväksyntä	32
6	Testausjärjestelmä	33
6.1	Järjestelmän vaatimukset	33
6.2	Pneumatiikan suunnittelu	34
6.3	Sähkön suunnittelu	36
6.4	Järjestelmän logiikkaohjelmointi	41
7	Testauksen kulku ja toimivuuden toteaminen	42
8	Yhteenveto	44
	Lähteet	46
	Liitteet	
	Liite 1. TwinCAT 3 -sovellusohjelmistolla laadittu ohjelma ja ohjeistus	

Lyhenteet

ATEX	<i>Atmosphères explosibles</i> . Räjähdysvaaralliset olosuhteet.
EX-tila	Räjähdysvaarallista ilmaseosta sisältävä tila.
FBD	<i>Function Block Diagram</i> . Graafinen toimilohkomainen ohjelmointikieli.
HMI	<i>Human Machine Interface</i> . Ohjelmoitavan logiikan ja ihmisen välinen käytöllisyys.
HT	<i>High Temperature</i> . Korkea lämpötila-alue.
IoT	<i>Internet of Things</i> . Esineiden ja asioiden internet.
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> . Kansainvälinen standardoimisjärjestö.
LLT	<i>Low Level Temperature</i> . Matala lämpötila-alue.
Namur	Nimitys toimilaitteen yhteyteen asennettavasta magneettiventtiilistä.
NC	<i>Normally Closed</i> . Normaalitylanteessa suljettu venttiili.
NO	<i>Normally Open</i> . Normaalitylanteessa avoin venttiili.
PED	<i>Pressure Equipment Directive</i> . Painelaitedirektiivi.
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i> . Ohjelmoitava logiikka.
QSV	<i>Quick Shutdown Valve</i> . Turvaventtiilinä tunnettu pikasulkuventtiili.
UPS	<i>Uninterruptible Power Supply</i> . Häiriöttömän sähkönsyötön takaava laite.

1 Johdanto

Insinööriyön tavoitteena on suunnitella Starline Valves Oy:lle laitteisto sekä toimintaproseduuri eurooppalaisten päämiesten valmistamien komponenttien ja niistä asennettujen pneumaattisten toimilaitteventtiilikokonaisuuksien testaamiseksi. Luodun järjestelmän myötä voidaan suorittaa laadunvarmennusta sekä määrittää prosessiventtiilien toiminta-aikoja.

Työn tavoitteena on muodostaa järjestelmä, jonka avulla pystytään kytkemään 24 V DC:n ja 230 V AC:n jännitteellä toimivien magneettiventtiilien kelojen ohjaussignaaleja toimilaitteen kammioihin suunnattujen paineilmavirtauksien säätämiseksi. Lisäksi toimintajännitteeltään 24 V DC:n ja 8,2 V DC:n jännitteellä toimivien mekaanisten sekä induktiivisten rajakytkimien lähettämät signaalit tulee olla luettavissa järjestelmällä prosessiventtiilien tilatiedon määrittämiseksi.

Suunniteltu järjestelmä koostuu Beckhoffin paneeli-PC:stä, väyläkytkimestä sekä IO-moduuleista. Signaalien välittäminen automaatiojärjestelmän ja testattavien komponenttien välillä toteutetaan graafisella käyttöliittymällä, josta määritetään TwinCAT 3 sovellusohjelmiston IEC 61131-3 -standardin mukaisella toimilohkokaaviomaisella (FBD) ohjelmointikielellä laaditut toiminnallisuudet. Paineilman liittämiseksi toimilaitteelle luodaan putkitus, jonka alkupäähän asennetaan sulkuventtiili paineilman rajoittamiseksi, suodattinsäädin testaamisessa edellytetyn paineen tuottamiseksi sekä jakotukki erisuuruisten paineilmavirtauksien tarpeen mahdollistamiseksi.

Työn alussa käydään läpi yleisimmät toimilaitetyypit sekä niiden toimintaperiaate, jonka jälkeen esitellään toimilaitteilla tyypillisesti ohjatut prosessiventtiilit ja niiden rakenne. Luvussa 4 käsitellään mitä on pneumatiikka, pneumaattisen järjestelmän ohjausta magneettiventtiileillä sekä tilatiedon lukemista prosessin aisteina toimivilta rajakytkimiltä. Viidennessä luvussa tuodaan esiin toimilaitteventtiilikokonaisuuden turvallisuutta koskevaa lainsäädäntöä ja osoitetaan lainsäädännön noudattamisen perusperiaatteet yrityksessä. Kuudennessa luvussa tarkastellaan testausjärjestelmän vaatimuksia, järjestelmän pneumatiikan sekä sähkönn suunnittelua sekä testausjärjestelmän komponentteja. Seit-

semännessä luvussa esitetään yrityksen toimintatapa testauksien suorittamiseksi jousipalautteisen ja kaksitoimisen asennuksen osalta. Lopuksi esitellään tulokset sekä näkemykset jatkokehitysmahdollisuuksista.

Starline Valves Oy on vuonna 1994 perustettu yritys, joka myy ja varastoi eurooppalaisten päämiestensä valmistamia prosessiventtiileitä, pneumaattisia toimilaitteita, ohjausventtiileitä, rajakytkimiä ja asennoittimia.

Yrityksen päätoimipiste ja varasto sijaitsevat Vantaan Koivuhaassa. Pienemmät aluetoimistot sijaitsevat asiakkaiden läheisyydessä Porissa, Lappeenrannassa ja Sastamassa. Suomessa yritys työllistää 15 henkilöä ja liikevaihto vuonna 2018 oli 7,7 miljoonaa euroa.

Yrityksen asiakaskunta on laaja. Maahantuotujen teollisuuteen soveltuvien tuotteiden loppukäyttäjinä toimivat energiateollisuuden, petrokemian teollisuuden, kemianteollisuuden, prosessiteollisuuden ja metalliteollisuuden alan yritykset sekä teollisuuden laitevalmistajat. [1.]

Starline S.p.A on italialainen yritys, joka valmistaa palloventtiileitä taotusta komponenteista. Yritys vastaa tuotteiden kokoonpanosta, testauksista ja hyväksynnistä, mitkä ovat edellytyksenä tuotteiden myynnille esimerkiksi öljy- ja kaasuteollisuuden sovelluksiin. [2.] *Starline Valves Oy* toimii tuotteiden maahantuojana ja myyjänä Suomessa.

2 Toimilaitteet

Toimilaitteella tarkoitetaan venttiilin karan päälle asennettavaa laitetta, jonka tehtävänä on ohjata sulkuventtiili joko auki- tai kiinni -asentoon. Joissakin tapauksissa, kuten sää- töventtiileissä, toimilaitteella ohjataan venttiilin avautumaa halutun läpivirtauksen aikaan- saamiseksi.

Venttiilien sulkuelimen liikkeen vaatima momentti toteutetaan käyttövoimaltaan pneumaattisten, sähkötoimisten ja hydraulisten toimilaitteiden avulla. Pneumaattiset toi- milaitteet ovat joko jousipalautteisia tai kaksitoimisia sylinteri- tai kalvotoimilaitteita. [3, s. 398.] Tässä insinöörityössä keskitytään pneumaattisiin Rack and Pinion- eli kaksimäntä- käyttöakseli-sylinteritoimilaitteisiin, joiden ohessa esitellään myös muut toimilaitetyypit.

2.1 Pneumaattiset sylinteritoimilaitteet

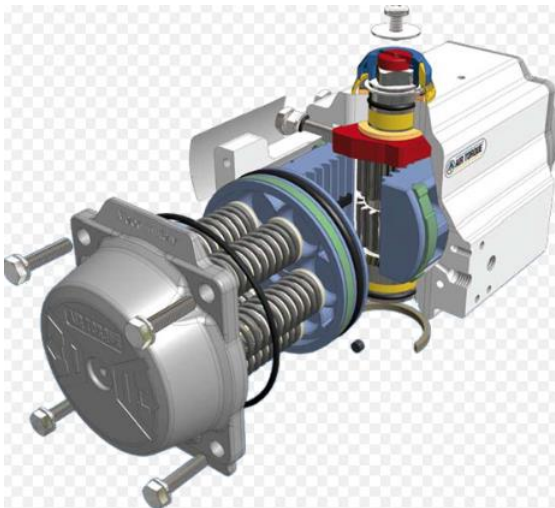
Rack and Pinion -toimilaite

Starline Valves Oy:n maahantuomat italialaiset Air Torque -toimilaitteet ovat pääosin Rack and Pinion- eli kaksimäntä-käyttöakselimekanismilla toimivia paineilmaohjattuja toimilaitteita, joiden suunnittelussa on huomioitu pitkäaikainen kokemus materiaaleista ja käyttöolosuhteista. Toimilaite soveltuu vaativiin teollisuusolosuhteisiin, minkä edelly- tyksenä tuote täyttää ATEX- ja SIL-hyväksynät. Eurooppalaiset ISO5211- ja VDI/VDE3845 -liitospintastandardit mahdollistavat tuotteen vaihdettavuuden ja ventti- lien automatisoinnin sekä lisävarusteiden asentamisen. [2.]

Air Torque -mallisto tarjoaa laajan valikoiman Rack and Pinion -toimilaitteita. Toimilait- teita on saatavana vakiomallina useassa eri kokoluokassa niin jousipalautteisena kuin kaksitoimisena sekä haponkestävänä erikoismallina syövyttäviin ympäristöihin kuten ke- mian- ja lääketieteellisuuden sovelluksiin. Mallista ja koosta riippumatta toimilaitteen käyt- tämä syöttöpainealue on rajoitettu 2,5:n ja 8 bar:n välille. Jousipalautteisen vakiomallisen toimilaitteen momentti vaihtelee 5,5 bar:n käyttöpaineella 8,1:n ja 4068 Nm:n välillä sekä kaksitoimisella toimilaitteella 13,2:n ja 9173 Nm:n välillä. Toimilaitteen ohjausliike riip- puen käyttötarpeesta voi olla joko 90°, 120° tai 180°. Vakiokäyttölämpötilaltaan molem- mat mallit soveltuvat sovelluksiin, joissa lämpötila vaihtelee -40°C:n ja +80°C:n välillä.

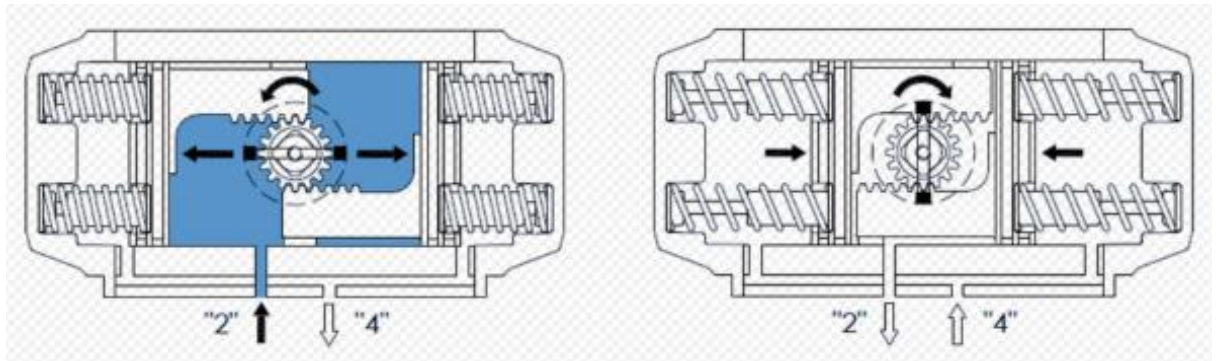
Korkean lämpötilan (HT) mallit soveltuvat -15°C :n ja $+150^{\circ}\text{C}$:n väliselle lämpötila-alueelle sekä matalan lämpötilan (LLT) mallit soveltuvat -55°C :n ja $+80^{\circ}\text{C}$:n väliselle lämpötila-alueelle. [2.]

Materiaaliltaan toimilaitteen runko on erikoiskäsiteltyä alumiinia. Ulkoisista olosuhteista riippuen toimilaite on saatavana useilla pinnoitusmateriaaleilla. Rungon sisään suunniteltu korroosiolta suojattu rakenne (kuva 1) varmistaa toimilaitteen pitkän elinkaaren suojaten liukupintoja tarpeettomalta kulumiselta. Täysin koneistetulla kaksimäntä-käyttöakselin hammasratastolla taataan toimilaitteen virheetön toiminta yhdessä laakeroinnin ja tiivisteiden kanssa. Toimilaitteen yksinkertainen rakenne tekee muuntamisen jousipalautteisesta toimilaitteesta kaksitoimiseksi ja päinvastaisesti vaivattomaksi, mikä edellyttää ainoastaan esijännitettyjen jousien poistamista tai lisäämistä. [2.]



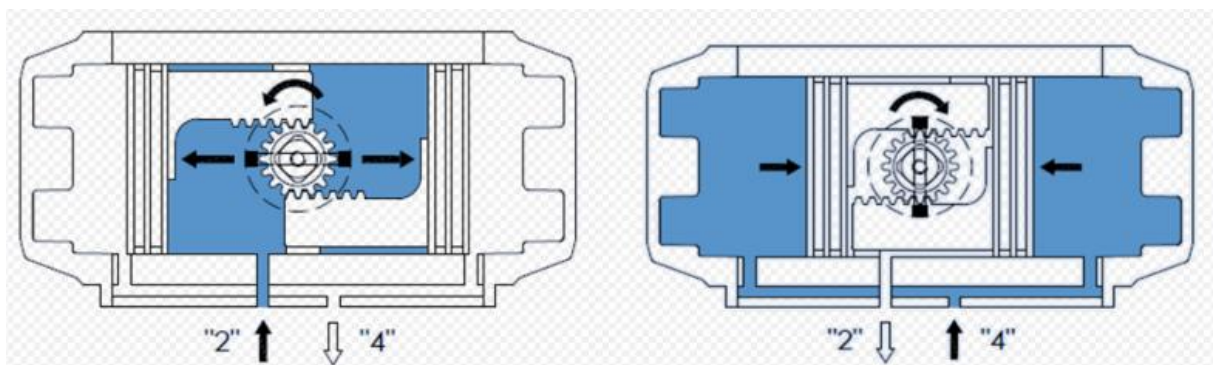
Kuva 1. Air Torque -toimilaitteen kaksimäntä-käyttöakselimekanismin rakenne [2].

Jousipalautteisen toimilaitteen toimintaperiaate käydään läpi kuvassa 2. Paineilman syöttö liitetään liitäntään kaksi, jolloin männät liikkuvat toisistaan erilleen kohti toimilaitteen päätyjä kuormittaen jouset vapauttaen poistoilman liitännästä neljä, ja käyttöakseli kääntyy vastapäivään. Paineilman syötön poistuessa liitännästä 2 palaavat männät kohti keskiasentoaan ja käyttöakselin liike tapahtuu myötäpäivään.



Kuva 2. Jousipalautteisen toimilaitteen toimintaperiaate [2].

Kaksitoimisen toimilaitteen toimintaperiaate käydään läpi kuvassa 3. Paineilman syöttö liitetään liitintään 2, jolloin männät liikkuvat toisistaan erilleen kohti toimilaitteen päätyjä vapauttaen poistoilman liitännästä neljä ja käyttöakseli kääntyy vastapäivään. Paineilman syötön poistuessa liitännästä 2, käyttöakselin asento säilyy samana, kunnes liitäntä 4 paineistetaan. Kun paineilman syöttö liitetään liitintään 4, ilma pakottaa männät palaamaan keskiasentoonsa, poistoilma vapautuu liitännästä 2 ja käyttöakselin liike tapahtuu myötäpäivään.

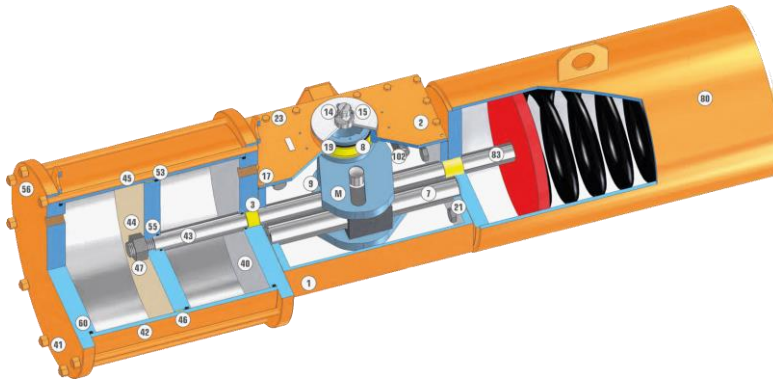


Kuva 3. Kaksitoimisen toimilaitteen toimintaperiaate [2].

Scotch yoke -toimilaite

Air Torque -valmisteiset Scotch yoke -toimilaitteet ovat paineilmalla ohjattuja jousipalautteisia ja kaksitoimisia toimilaitteita. Pääasiallisesti toimilaitteet ovat suunniteltu ohjaamaan neljänneskiertoventtiileitä, joiksi lukeutuvat esimerkiksi pallo- ja läppäventtiilit. [2.]

Toimilaitteet koostuvat kahdesta vastakkain asetetusta sylinteristä (kuva 4), joissa vaikuttavat männät ovat kytketty toisiinsa akselilla. Akselin tekemä lineaarinen liike muunnetaan kiertoliikkeeksi liittämällä toimilaitteelle paineilman syöttö, joka ohjaa mäntiä ja akselia sekä keskiötä halutun liikkeen suorittamiseksi. [2.]



Kuva 4. Scotch yoke -toimilaitteen rakenne [2].

Toimilaitteiden pneumaattinen käyttöpaine on enintään 10 bar vakiomalleille, mutta korkeampi käyttöpaine on saatavana kysyttäessä tarpeen mukaan. Verrattuna Rack and Pinion -toimilaitteisiin pystytään Scotch yoke -mallilla tuottamaan yhä suurempia vääntömomenteja. Käyttölämpötilaltaan toimilaitteet soveltuvat sovelluksiin, joissa lämpötila vaihtelee -40°C :n ja $+80^{\circ}\text{C}$:n välillä. [2.]

2.2 Pneumaattinen kalvotoimilaite

Kalvotoimilaitteet ovat tyypillinen ratkaisu istukkaventtiilien käytön yhteydessä [4]. Ne ovat joko suoratoimisia eli ilmanpaineella kalvon yläpuolelta karaa alaspäin ohjattavia tai päinvastaisesti toimivia. Toimilaitteita on myös kaksitoimisena, joissa ilmanpaine voidaan asettaa kummallekin puolelle kalvoa halutun karan liikkeen aikaansaamiseksi ilman palautusjousia. Toimilaitteen tyyppiin vaikuttaa se, onko toimilaitteella ohjatun venttiilin tarkoitus avautua vai sulkeutua syöttöpaineen katketessa. [3, s. 286.] Toimilaitteet koostuvat täysin suljetussa tilassa olevasta kahdesta levystä ja levyjen väliin sijoitetusta kalvosta (kuva 5). Kun paineilmaa siirretään kalvolle, akseli liikkuu jousivoimaa vasten. [3, s. 386, 398.]



Kuva 5. Kalvotoimilaitteella ohjattu istukkaventtiili [5].

Kalvotoimilaitteiden toiminta perustuu kuormituspaineen muutoksen aiheuttamaan karan liikkeeseen. Koska paineelle on ominaista, että se vaikuttaa kaikkiin suuntiin, niin alas- kuin ylöspäin kohdistuvana voimana, suuntautuu tämä voima kalvolle. Voiman tultua jousen esikuormitusvoimaa suuremmaksi, kalvo liikkuu alas- tai ylöspäin kuormittaen palautusjousia ja saa samalla aikaan venttiilin karan liikkeen. Syöttöpaineen puuttuessa toimilaitteen kara on perusasennossaan. [3, s. 286.]

2.3 Sähköinen toimilaite

Sähköisiä toimilaitteita käytetään luisti-, läppä-, pallo- ja istukkaventtiileissä tuottamaan niiden liikuttamisessa vaadittava vääntömomentti. Toimilaitteet voivat olla joko monikierrostoimilaitteita tai osakierrostoimilaitteita. Monikierrostoimilaitteet siirtävät venttiiliin vääntömomenttia enemmän kuin yhden kokonaisen kierroksen matkalta, mutta useimmiten vaativat suuremman kierrosmäärän. Kuvassa 6 on luistiventtiilin ohjauksessa käytetty monikierroksinen toimilaite. Osakierrostoimilaitteet ovat mekaanisilla rajoittimilla varustettuja toimilaitteita, jotka siirtävät venttiiliin vääntömomenttia alle yhden kokonaisen kierroksen matkalta. Osakierrostoimilaitteet soveltuvat pallo- ja läppäventtiilikäyttöön. [6, s. 8, 11.]



Kuva 6. Sähköinen monikierrostoimilaite luistiventtiilin ohjauksessa [6, s. 10].

Toimilaitteet koostuvat tyypillisesti vaihteesta, kytkinyksiköstä ja ohjausyksiköstä sekä vakiovarustukseen kuuluvasta käsiohjauksesta eli käsipyörästä. Toimilaitteessa kytkinyksikön tehtävänä on mitata venttiilin avautumaa ja valvoa vaihteen välittämää vääntömomenttia. Nämä tiedot pääteasennosta ja vääntömomentille asetetusta raja-arvosta käsitellään usein toimilaitteen yhteyteen integroidun ohjausyksikön toimesta, ja se ohjaa toimilaitteen moottorin pysähtymään, kun asetettu raja-arvo tai momentti on saavutettu. [6, s. 8, 10.]

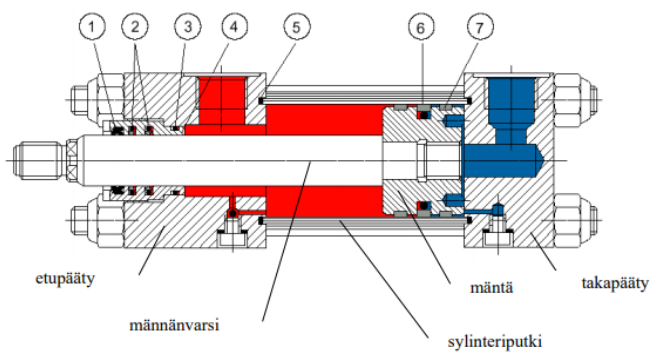
Moottori hyödyntää vaihdetta, jonka antama momentti kohdistuu mekaanisen liitännän välityksellä venttiiliin. Ajokäsky ohjausyksikön ja automaatiojärjestelmän välillä toteutetaan ohjausyksikön sähköisellä liitännällä. [6, s. 10.]

2.4 Hydrauliset toimilaitteet

Hydraulisissa järjestelmissä toimilaitteeksi kutsutaan laitetta, jonka avulla hydraulinen teho eli paineen ja tilavuusvirran tulo muunnetaan mekaaniseksi energiaksi. Yleisimpiä hydraulisia toimilaitteita ovat sylinterit ja moottorit.

Hydraulisyylinteri

Hydraulisyylinteri on hydraulisessa järjestelmässä käytetty toimilaite, jota käytetään lineaarisen liikkeen suorittamiseen. Sylinterit jaotellaan toimintaperiaatteensa perusteella yksi- ja kaksitoimisiin sylintereihin. Yksitoimisessa sylinterissä suoritettava liike toteutuu hydraulisesti sylinterin tuloliitännään tuodun tilavuusvirran työntäessä mäntää sylinterin päätä kohden ja paluuliike toteutuu ulkoisen voiman vaikutuksesta. Kaksitoimisessa sylinterissä suoritettava liike toteutuu kumpaankin suuntaan hydraulisesti mäntää ohjaavan tilavuusvirran vaikutuksesta, jolloin vastakkaispuolen liitännän kautta hydraulineeste siirtyy säiliöön. [7, s. 70.] Kuvassa 7 on esitetty sylintereistä yleisimmin käytetty kaksitoimisen sylinterin rakenne.



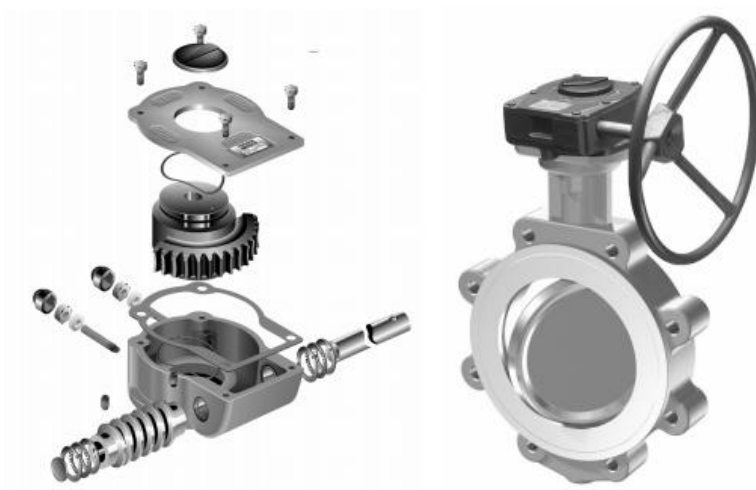
Kuva 7. Hydraulisen kaksitoimisen sylinterin tyypillinen rakenne [8].

Hydraulimoottori

Hydraulimoottori on hydraulisessa järjestelmässä käytetty toimilaite, jolla muunnetaan hydraulisten pumppujen tuottama teho jälleen mekaaniseksi tehoksi eli pyöriväksi liikkeeksi. Rakenteeltaan moottorit muistuttavat hyvin paljon pumppuja, ja ne voidaan jaotella rakenteensa perusteella hammaspyörä-, mäntä- ja siipirakenteisiksi. Koska moottorien pyörimisnopeuden on sovelluksesta riippuen oltava säädettävissä, täytyy myös olla eri säätötapoja. Vakio-tilavuusmoottoreita säädettäessä niille suunnattua tilavuusvirtaa säännöstelemällä vaikutetaan moottorin pyörimisnopeuteen. Säättötilavuusmoottoria säädettäessä niiden kierrostilavuutta muuntamalla vaikutetaan pyörimisnopeuteen tilavuusvirran säilyessä vakiona. Pyörimissuunnaltaan moottorit voivat olla joko yksi- tai kaksisuuntaisia. [9, s. 112.]

2.5 Käsikäyttöinen toimilaite

Käsitoimiset kierukkavaihteiset toimilaitteet ovat sulkuventtiilien avaamiseen ja sulkemiseen soveltuvia toimilaitteita, joita käytetään palloventtiilien ja läppäventtiilien ohjauksessa. Toimilaitteet koostuvat tyypillisesti koteloidun rakenteen sisällä olevasta kierukkavaihteesta, venttiiliä ohjaavasta akselista sekä venttiin liikettä rajoittavista säätöpulteista (kuva 8). Kierukkavaihteisella toimilaitteella akselin ohjauspyörän liike muunnetaan venttiin käyttämäksi neljänneskiertoliikkeeksi, johon sisältyy ± 5 asteen suuruinen säätövara. Venttiin sen hetkinen asento on todettavissa kanteen kiinnitetystä asentoa ilmaisevasta asennonosoittimesta. [10.]



Kuva 8. Käsitoimisen toimilaitteen tyypillinen rakenne [10].

Metson M-sarjan kierukkavaihteiset toimilaitteet antavat hyvän 37:1–78:1 välille asettuvan hyötysuhteen, joka takaa 330–8400 Nm:n suuruisen lähtövääntömomentin. Sarjan toimilaitteet ovat pitkän elinkaarensa ja suorituskykynsä vuoksi sellu- ja paperi- ja energiateollisuudessa sekä vesilaitoksissa ja muissa prosessiteollisuuden sovelluksissa toimiva ratkaisu. [10.]

3 Prosessiventtiilit

Venttiilit ovat laitteita, joilla sallitaan tai estetään väliaineen, kuten kaasun tai nesteen, virtausta. Venttiilien ohjaus voidaan toteuttaa joko manuaalisesti tai pneumaattisesti, sähköisesti tai hydraulisesti ohjatulla toimilaitteella. Tyypillisesti venttiilien pesässä olevaa sulkuelintä säädetään prosessin tarpeen mukaisesti sulkuelimen yhteydessä olevasta karasta sitä ohjattavalla toimilaitteella.

Venttiilityypit jaetaan kahteen ryhmään venttiilin läpivirtauksen säätötavan perusteella: lineaariseen liikkeeseen perustuviin nouseva karasiin venttiileihin ja kiertoliikkeeseen perustuviin neljänneskiertoventtiileihin. Lineaarisesti liikkuvien venttiilien sulkuelimen ohjaus toteutetaan pystysuuntaisesti. Lineaarisesti ohjattuja venttiilejä ovat esimerkiksi luisti- ja istukkaventtiilit. Kiertoliikkeellä ohjattujen venttiilien sulkuelementin ohjaus toteutetaan kääntämällä. Kiertoliikkeisiä venttiileitä ovat esimerkiksi läppä- ja palloventtiilit. [11.]

Prosessiventtiilit ryhmitellään kolmeen pääryhmään niiden käyttötarkoituksensa perusteella seuraavasti: säätöventtiilit, sulkuventtiilit ja pikasulkuventtiilit. Säätöventtiilejä käytetään sovelluksissa, jotka edellyttävät jatkuvaa prosessin ohjausta ja hallintaa. Sulkuventtiilejä käytetään joko normaalisti avoimina (NO) tai normaalisti suljettuina (NC) On/Off-venttiileinä prosessin tarpeesta riippuen. [12, s. 13.] Pikasulkuventtiilit (QSV) tunnetaan myös turvaenttileinä, joita käytetään yhdessä toimilaitteen ja älykkään venttiilin ohjaimen kanssa venttiilin sulkutoiminnon suorittamiseksi [1].

PSK Standardointi määrittelee PSK 0201 -standardissa yleisimmin tunnetuille ja käytettyille venttiileille näkökohdat, jotka on huomioitava venttiilityypiä valittaessa:

- käyttötarkoitus
- turvallisuus
- väliaineen sekä ympäristön kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet
- painehäviöt ja kapasiteetti
- tarvittava sulku- ja avautumisvoima tai momentti
- toimintanopeus
- suunniteltu kestoikä

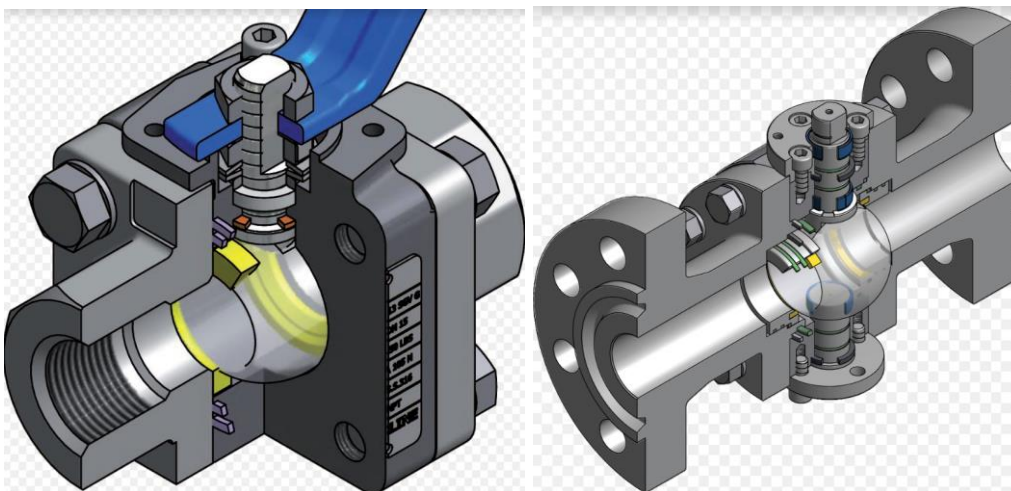
- tarvittava tiiviysluokka
- vuoto ympäristöön
- lainsäädäntö
- tarvittavat palotestaushyväksyntä
- asennusmitat
- paino
- huollettavuus. [13, s. 1.]

3.1 Palloventtiili

Starline S.p.A on ATEX-sertifioitujen taottujen palloventtiilien valmistaja. Valmistusohjelma koostuu DN8–300 -kokoluokan eri venttiilimalleista ja liitäntäpäistä. [2.] Yrityksen tuotannon kapasiteetti vuosittain on noin 300.000 venttiiliä [14].

Palloventtiilit ovat neljänneskiertoventtiileitä, joita käytetään virtauksen käynnistämisessä ja pysäyttämässä. Rakenteeltaan palloventtiilin keskeisimpiä komponentteja ovat venttiilin runko, pallon muotoinen sulkuelin ja kiertoliikkeen toteuttava käsikäyttö. Venttiiliä avattaessa neljänneskierroksella sen pallomaisen sulkuelimen reikä sallii väliaineen virtauksen putken suuntaisesti. Venttiilin ollessa suljettu sulkuelimenä toimiva pallo vastustaa virtausta reiän ollessa kohtisuorassa virtaukseen nähden. Palloventtiili on saatavilla täysiaukkoisena tai supistetulla aukolla. [11.]

Tyypiltään venttiilit ovat joko uivalla pallon rakenteella tai tuetulla pallon rakenteella suunniteltuja palloventtiileitä. Näistä yleisempi on uiva pallon rakenne (kuva 9 vasemmalla), jossa sulkuelintä ei ole tuettu karaan. Uivan rakenteen venttiilin tiiveys perustuu lähtöpuolen väliaineen virtaukseen, jonka seurauksena sulkuelin työntyy sulkuelimen tiivistyspintaa vasten. Tuetussa palloventtiilissä (kuva 9 oikealla) sulkuelin on tuettu alapuolelta, ja venttiilit ovat tyypillisesti varustettuja jousikuormitteisilla tiivisteillä, jotka työntyvät sulkuelintä vasten. [11.]



Kuva 9. Palloventtiili uivalla pallon rakenteella sekä tuetulla pallon rakenteella [2].

Palloventtiilejä käytetään yleisesti nestemäisten ja kaasumaisten väliaineiden putkis-toissa. Venttiilit soveltuvat kemikaaleja, kuumien öljyjä, happea ja teollisia kaasuja sisältäviin sovelluksiin, joissa edellytetään tiivistä sulkemista. Niiden käyttöä ei suositella vai-kean puhdistettavuuden vuoksi elintarvike- ja lääketeollisuuden sovelluksissa. [1.]

3.2 Läppäventtiili

Läppäventtiilit ovat neljänneskiertoventtiileitä, jotka soveltuvat teollisten prosessien sulku- ja säätökäyttöön. Tyypillisesti venttiilit ovat asennettuna kahden laipan väliin. Venttiilityypin yksinkertainen rakenne (kuva 10) helpottaa niiden huoltamista. [11.]

Venttiilin sulkuelin on pystysuuntaisella akselilla kääntyvä lautasen mallinen elementti, joka on ohjattavissa akseliin asennetulla käsikäyttöisellä tai pneumaattisella toimilait-teella. Sulkuelimen ollessa virtauksen suuntainen eli avoin, se sallii väliaineen virtauksen venttiilin läpi. Samalla sulkuelin vastustaa väliaineen virtausta aiheuttaen elementistä johtuvan painehäviön. Suljettuna elementti vastustaa virtausta kohtisuorasti virtaukseen nähden tiivistyen rungon tiivistepintaa vasten. [11.]



Kuva 10. Teflon-vuorattu läppäventtiili [2].

Läppäventtiilit soveltuvat useita eri väliaineita, kuten nesteitä, kaasuja ja kiinteitä raemaisia aineita käsitteleviin järjestelmiin. Sovelluksessa käytetty paine, lämpötila ja väliaine määrittävät venttiilin rungon tiivistemateriaalin. Yleisimmät tiivistemateriaalit ovat kumi ja teflon. Venttiilin rungon tyypillisenä materiaalina käytetään pallografiittia. [1.]

3.3 Segmenttiventtiili

Segmenttiventtiilit soveltuvat prosessiteollisuuteen säätö- ja sulkuventtiileiksi. Sulkueliimenä käytetään V-aukon muotoista segmenttiä, jolla pystytään luomaan tasainen virtauksen säätö. Rakenteeltaan segmenttiventtiilit koostuvat yksiosaisesta pesästä sekä erillisestä akselista ja segmentistä (kuva 11). Venttiilien asennustapaan vaikuttaa niiden malli, sillä niitä on saatavilla joko laippojen väliin asennettavina tai laipallisena mallina. [15, s. 16–17.] Venttiilin rakenteesta johtuen se ei ole altis liitososien aiheuttamille vuodoille [16, s. 18].

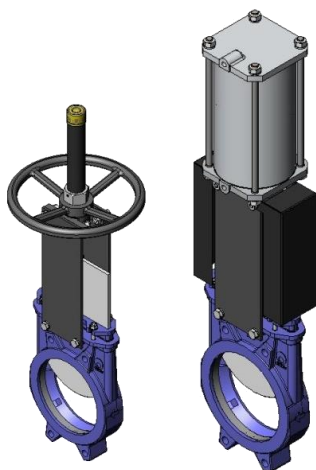


Kuva 11. Säätö- ja sulkuventtiilinä käytetty segmenttiventtiili [17].

Segmenttiventtiilit soveltuvat hyvin eri väliaineille erilaisten tiivisteratkaisuiden vuoksi. Venttiilin tiivistysperiaate perustuu jousen aikaansaaman tiivisteeseen puristumiseen segmenttiä vasten, jolla aikaansaadaan hyvä tiiveys jo alhaisella paine-erolla. [12, s. 20.] Segmenttiventtiilit soveltuvat käytettäväksi kaasuille, höyryille ja hapoille sekä erikoismalleissa myös lietteille ja sakeammille väliaineille [16, s. 18].

3.4 Levyluistiventtiili

Levyluistiventtiilit ovat lineaarisesti ohjattavia sulkuventtiileitä, joita käytetään virtauksen käynnistämiseen ja pysäyttämiseen. Useimmiten levyluistiventtiilejä käytetään yhdessä käsikäyttöisen toimilaitteen eli käsipyörän kanssa (kuva 12), koska sovellukset, joissa niitä käytetään eivät edellytä usein tapahtuvaa avaamista tai sulkemista eikä ohjaustoiminnon tarvitse olla nopea. Venttiilin sulkuelimenä on väliaineen läpileikkaava, tasomainen luisti. [11.]



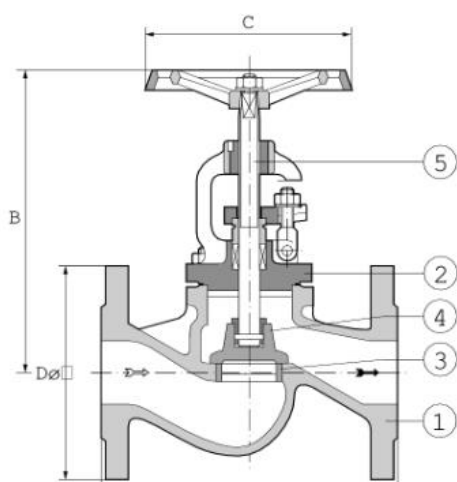
Kuva 12. Levyluistiventtiili käsikäytöllä ja sylinteritoimilaitteella varustettuna [18].

Levyluistiventtiilit ovat suunniteltu minimoimaan sulkuelimestä aiheutuva painehäviö, sillä täysin avattuna sulkuelin ei vastusta väliaineen virtausta. Tämä edellyttää sen, että putken asennuskokoon on oltava halkaisijaltaan yhtä suuri kuin on venttiilin avautuma. [11.]

Levyliustiventtiilejä käytetään erityisesti teollisissa sovelluksissa, jotka sisältävät lietteitä tai massaa. Lisäksi ne soveltuvat kiinteille rae- ja tuhkamaisille väliaineille. Tyypilliseen rakenteeseen kuuluva kansi estää sulkuelimeen kiinnittyneen väliaineen siirtymistä prosessista erillään olevaan tilaan. [1.]

3.5 Istukkaventtiili

Istukkaventtiilit ovat säätö- ja sulkuventtiiliksi soveltuva venttiilityyppi (kuva 13), jonka sulkuelintä ohjataan liikkumaan lineaarisesti auki ja kiinni. Istukkaventtiilin väliaineen läpivirtausta säädetään venttiilin S-mallisen muotoilun keskikohdassa sulkuelimenä toimivalla istukalla. Sulkuelintä ohjaavaa karaa kääntämällä istukka painautuu pesän tiivistyspintaa vasten rajoittaen istukkaventtiilin väliaineen virtausta runkoon kiinnitetyn virtaus suunnan mukaisesti. [19, s. 11–12.]



Kuva 13. Laipallinen istukkaventtiili käsikäytöllä [20].

Istukkaventtiileitä on saatavilla paljettiivisteisinä ja perinteisinä kansitiivistemalleina, jotka estävät väliaineen pääsyn karaan ja sen tiivisteisiin ehkäisemällä venttiilin karan kansivuotojen syntymistä. Paljettiivistein tai lautasessa olevien kannen takatiivisteiden varustellun rakenteen ansiosta istukkaventtiilit ovat huoltovapaita ja käytettävyyttä parantavia. [20; 21; 22.]

Etenkin korkean lämpötilan ja paineen keston vuoksi istukkaventtiilit soveltuvat hyvin höyry- ja lauhdekäyttöön, koska venttiili ei lainkaan sisällä pehmeitä tiivisteitä [21]. Venttiilit soveltuvat käytettäväksi aina 400 °C:n lämpötilaan ja PN 600 -paineluokkaan asti [23].

4 Pneumatiikka

Pneumatiikka on kompressorilla tuotetun pneumaattisen energian eli paineistetun kaasun siirtämistä ohjauslaitteen välityksellä varsinaiselle toimilaitteelle kuten esimerkiksi sylinterille. Kompressorilla tuotetaan paineilmaa paineilmasäiliöön, mistä se johdetaan käyttökohteeseen putkiston kautta. Käyttökohteessa paineistettua kaasua ohjataan useimmiten venttiileillä, jotta pneumaattinen energia saadaan muutettua mekaaniseksi työksi. [24, s. 10.]

Automatisoinnin myötä lisääntynyt pneumatiikan käyttö mahdollisti 1920-luvun Suomessa entuudestaan kuormittavien, toistuvien ja vaarallisten töiden korvaamisen pneumatiikalla [24, s. 11, 16]. Pneumatiikan yleistymiseen ovat vaikuttaneet sen monipuoliset ominaisuudet. Ensinnäkin paineilman välittämistä ei koidu käytännössä lainkaan painehäviötä sisäisen kitkan eli dynaamisen viskositeetin ollessa hyvin alhainen, mikä sallii paineilman välittämisen pidemmilläkin välimatkoilla. Lisäksi pneumaattiset laitteet sopivat laajalle lämpötila-alueelle toimintavarmuutensa sekä kipinöimättömyytensä vuoksi ja ovat näin luotettava ratkaisu räjähdysvaarallisten tilojen omaavissa sovelluksissa. Koska ilma on väliaineena nopea, sen avulla saadaan tuotettua nopeasti suoritettavia liikkeitä sekä voimia ja ne ovat vaivattomasti säädettävissä. [24, s. 17.]

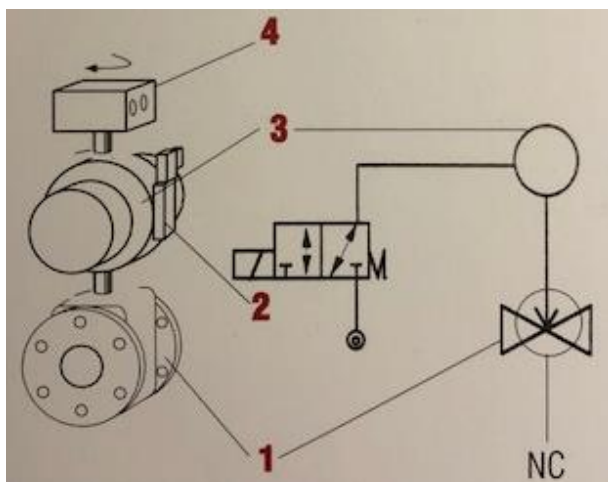
4.1 Pneumaattisen järjestelmän ohjaus venttiileillä

Venttiilisi kutsuaan laitetta, jonka tehtävänä on kohdistaa ja säännöstellä pneumaattisen järjestelmän toiminnan edellyttämiä ilmavirtoja halutun toimilaitte- ja venttiilinohjauksen saavuttamiseksi esimerkiksi ohjaamalla ilmavirran suuntaa sekä säätämällä paineen ja tilavuusvirran suuruutta. Venttiilit ryhmitellään toimintatarkoituksensa mukaan suunta-venttiileihin, sulkuventtiileihin, paineventtiileihin, vastaventtiileihin sekä virtaventtiileihin

ja ne ovat rakenteeltaan joko luisti- tai istukkaventtiileitä. [24, s. 67.] Tässä insinöörityössä keskitytään toimilaitteventtiilikokonaisuuden ohjaamisessa käytettyihin suuntaventtiileihin, joiden ohessa käydään läpi muut venttiilityypit.

4.2 Suuntaventtiilit

Pneumaattisen toimilaitteventtiilikokonaisuuden (kuva 14) ohjaus toteutetaan magneettiventtiilien avulla. Magneettiventtiiliksi kutsutaan laitetta, jonka tehtävänä on säätää ja ohjata pneumaattisia kaasuvirtoja sähköisen magneettikentän avulla [25]. Suuntaventtiilillä ohjataan kaasuvirtoja toimilaitteventtiilin toimilaitteen sylinterimäiseen kammioon, joka saa aikaan toimilaitteen mäntien liikkeen. Mäntien liike muutetaan kiertoliikkeeksi männissä olevan hammastuksen ja käyttöakselin välityksellä.

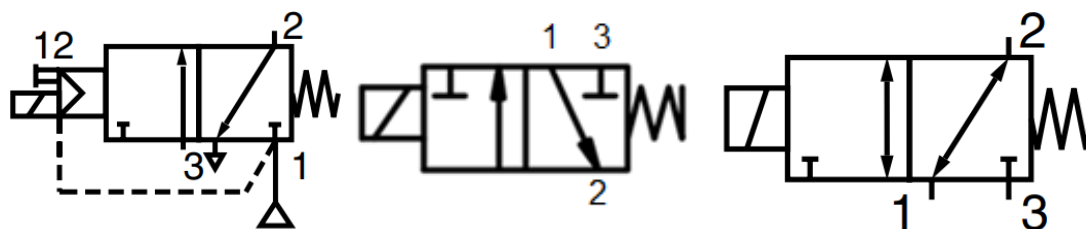


Kuva 14. Pneumaattinen toimilaitteventtiilikokonaisuus [26, s. 3].

Magneettiventtiili voidaan asentaa toimilaitteen VDI/VDE3845 -liitäntästandardin mukaisella Namur-asennuslevyllä toimilaitteen kylkeen tai putkittaa kauemmaksi toimilaitteesta suuntaventtiilin rakenteesta riippuen. Jousipalautteista toimilaitetta ohjataan yleensä 3/2-suuntaventtiilillä ja kaksitoimista toimilaitetta 5/2-suuntaventtiilillä. Magneettiventtiilit voivat olla esiohjattuja eli pilottiventtiileitä, suoratoimisia tai 0 bar paine-erolla toimivia. Lukkiutuva tai lukkiutumaton käsiajomahdollisuus saattaa kuulua suuntaventtiiliin rakenteeseen. 5/2-suuntaventtiileitä on saatavana yhdellä tai kahdella kelalla, myös 3/2-suuntaventtiileitä on olemassa kahdella kelalla, mutta niiden käyttö on harvinaista.

4.2.1 3/2-suuntaventtiilit

3/2-suuntaventtiilissä on kolme liitäntää ja kaksi toiminta-asentoa. Liitännöistä yksi on paineilman tuloliitäntä, yksi lähtöliitäntä ja yksi poistoliitäntä. Venttiilit voivat olla jännitteettömänä suljettuja (NC), jännitteettömänä avoimia (NO) tai universaaleja venttiilejä (kuva 15).



Kuva 15. 3/2-suuntaventtiilityypit [27].

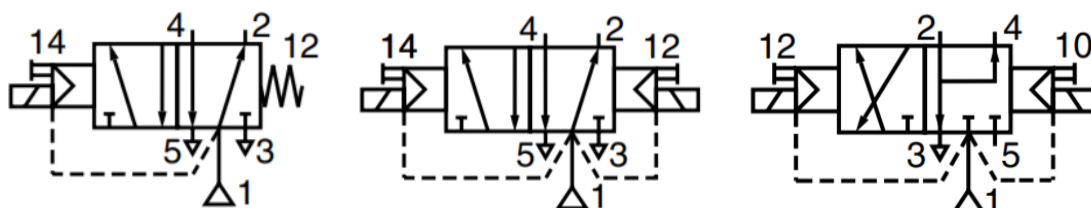
Kuvassa 15 vasemmalla on esitetty normaalisti suljetun 3/2-tieventtiilin piirrosmerkki. Jännitteettömänä tuloliitäntä 1 on suljettu ja toimilaitteelta lähtevä liitäntä 2 on avoinna ulkoilmaan liitännän 3 kautta, jolloin toimilaite on paineeton. Kelan tullessa jännitteiseksi, vaihtaa venttiili toiminta-asentoaan ja liitäntä 2 sallii ilmavirtauksen toimilaitteelle. Jännitteen poistuttua venttiili palaa perusasentoonsa.

Kuvassa 15 keskellä on esitetty normaalisti avoimen 3/2-tieventtiilin piirrosmerkki. Jännitteettömänä tuloliitäntä 1 on avoin ja sallii ilmavirtauksen toimilaitteelle liitännän 2 kautta. Poistoliitäntä 3 on suljettu ulkoilmaan. Kelan tullessa jännitteiseksi, vaihtaa venttiili toiminta-asentoaan ja venttiili estää ilmavirtauksen toimilaitteelle sekä sallii poistoilman ilmavirtauksen liitännän 3 kautta ulkoilmaan.

Kuvassa 15 oikealla on esitetty 3/2-tie universaalisuuntaventtiilin piirrosmerkki. Venttiilille tuleva ilmavirtaus on kytkettävissä mihin tahansa venttiilin kolmesta liitännästä. Samaa venttiiliä voidaan käyttää joko normaalisti avoimena tai normaalisti suljettuna riippuen siitä, mitä venttiilillä halutaan ohjata.

4.2.2 5/2-suuntaventtiilit

5/2-suuntaventtiilissä on viisi liitäntää ja kaksi toiminta-asentoa. Liitännöistä yksi on paineilman tuloliitäntä, kaksi lähtöliitäntöjä ja kaksi poistoliitäntöjä. Venttiilit voivat olla joko yhdellä tai kahdella kelalla varustettuja. Jotkut 5/2-Namur-venttiilit sisältävät asennuslevyn, mikä mahdollistaa 5/2-venttiilin muuntamisen 3/2-venttiiliksi (kuva 16).



Kuva 16. 5/2-suuntaventtiilityypit [27].

Kuvassa 16 vasemmalla on esitetty yksikelaisen 5/2-suuntaventtiilin piirrosmerkki. Jännitteettömänä tuloliitäntä 1 on avoin ja sallii vapaan ilmapvirtauksen toimilaitteelle liitännän 2 kautta. Samalla myös toimilaitteen liitännän 4 ja ulkoilman välinen liitäntä 5 sallii vapaana virtaustien toimilaitteelta ulkoilmaan. Kelan tullessa jännitteiseksi vaihtaa venttiili toiminta-asentoaan ja venttiili sallii vapaan virtaustien toimilaitteelle liitännän 1 ja liitännän 4 yhteyden kautta. Samalla toimilaitteen liitännän 2 ja ulkoilman välisen liitännän 3 yhteys sallii vapaan ilmapvirtauksen toimilaitteelta ulkoilmaan. Jännitteen poistuttua venttiili palaa perusasentoonsa.

Kuvassa 16 keskellä on esitetty kaksikelaisen 5/2-tieventtiilin piirrosmerkki. Jännitteettömänä tuloliitäntä 1 on avoin ja sallii ilmapvirtauksen toimilaitteelle liitännän 2 kautta. Samalla myös toimilaitteen liitännän 4 ja ulkoilmailman välinen liitäntä 5 sallii vapaan virtaustien toimilaitteelta ulkoilmaan. Kelan tullessa jännitteiseksi vaihtaa venttiili toiminta-asentoaan ja venttiili sallii vapaan ilmapvirtauksen toimilaitteelle liitännän 1 ja liitännän 4 välisen yhteyden kautta. Samalla toimilaitteen liitännän 2 ja ulkoilman välisen liitännän 3 yhteys sallii vapaan ilmapvirtauksen toimilaitteelta ulkoilmaan. Jännitteen poistuttua venttiilin toiminta-asento ei muutu, vaan toiminta-asento on muutettavissa syöttämällä jännite vastakkaiseen kelaan.

Kuvassa 16 oikealla on esitetty 5/2-suuntaventtiilistä asennuslevyn avulla 3/2-suuntaventtiiliksi muunnellun kaksikelaisen venttiilin piirrosmerkki. Jännitteettömänä tuloliitäntä 1 on suljettu ja toimilaitteelta lähtevä liitäntä 2 on avoinna ulkoilmaan liitännän 3 kautta. Kelan tullessa jännitteiseksi, vaihtaa venttiili toiminta-asentoon ja venttiili sallii vapaan ilmavirtauksen toimilaitteelle liitännän 1 ja liitännän 2 välisen yhteyden kautta. Jännitteen poistuttua toimilaitteen liitännän 2 ja liitännän 4 välinen yhteys pakottaa venttiilin muuttamaan toiminta-asentoon sekä sallii toimilaitteen liitännän 4 ja ulkoilman välisen liitännän 3 kautta toteutuvan vapaan ilmavirtauksen ulkoilmaan. Ulkoilmaliitäntä 5 on tulpatuna asennuslevyn avulla eikä venttiilin ohjaus edellytä oikeanpuoleisen kelan käyttöä. Namur-asennuslevyä käytetään sekä yksi- että kaksikelaisissa magneettiventtiileissä.

4.2.3 Ohjaustekniikka

Suuntaventtiilien paineilman ilmavirtausten erilaisina ohjaustapoina toimivat sähköinen ohjaus, mekaaninen ohjaus, paineohjaus sekä lihasohjaus [25]. Sähköinen ohjaus toteutetaan tasa- tai vaihtovirran eri jännitteillä toimivilla sähkömagneeteilla, joita ohjataan tyypillisesti automaatiojärjestelmän logiikka- tai releohjauksena. Sähköisen ohjaustavan ollessa rajoitettu räjähdysvaarallisissa sekä kosteissa ja pölyisissä tiloissa suositetaan paineohjauksen käyttöä järjestelmien ohjaamiseksi. Tällöin sähkökatkos ei estä ohjauksen suorittamista, kun venttiileitä ohjataan muuten kuin sähköisesti. [24, s. 78, 83.] Joissakin tapauksissa käytetään eri ohjaustapojen yhdistelmää pienempien ohjausvoimien sekä sähkömagneettien soveltamiseksi [24, s. 88].

4.3 Sulkuventtiilit

Sulkuventtiilit ovat paineilmajärjestelmässä käytettyjä venttiileitä, joiden tehtävä on katkaista tai käynnistää paineilman virtaaminen. Sulkuelimenä toimivalla pallolla, istukalla tai kalvolla estetään väliaineen tarpeeton virtaaminen esimerkiksi järjestelmässä suoritettavien komponenttien vaihdon ja muiden huoltotöiden sujuvoittamiseksi. Kuvassa 17 on esitetty 3/2-sulkuventtiili, jossa on kolme liitäntää eli tulo- ja lähtöliitäntä sekä yksi poistoliitäntä järjestelmän paineen poistamiseksi. Kahdella toiminta-asennolla venttiili on ohjattavissa vääntimellä joko sulkeutumaan tai avautumaan.

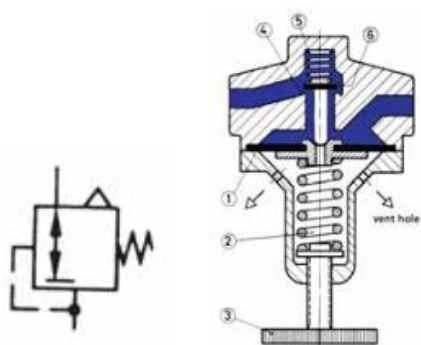


Kuva 17. Manuaalisesti ohjattava 3/2-sulkuventtiili [27].

4.4 Paineventtiilit

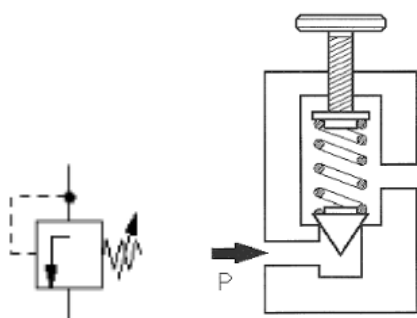
Paineventtiilit ovat pneumaattisen järjestelmän komponentteja, joiden avulla toimilaitteen tuottamaan momenttiin voidaan vaikuttaa. Toimilaitteelle suunnattua painetta säättämällä ja rajoittamalla vaikutetaan toimilaitteen tuottamaan momenttiin, sillä mitä suurempi käytössä oleva paine on, sitä suurempi on toimilaitteella tuotettu vääntömomentti. Paineventtiilin yhtenä merkittävimpänä tehtävänä on estää ylipaineen muodostumista paineilmajärjestelmässä sekä ehkäistä komponenttien ylikuormittuminen. Paineventtiilit ryhmitellään paineenalennusventtiileihin, paineenrajoitusventtiileihin ja paineenohjausventtiileihin. [25.]

Paineenalennusventtiilejä käytetään paineilmanjärjestelmässä ylläpitämään tasaista painetta riippumatta siitä, esiintyykö paineilmaverkostossa paineenvaihtelua. Paineenalentimen syöttöpaineen on oltava suurempi kuin haluttu lähtöpaine. Paineenalentimella alennetaan toimilaitteelle tuleva paine sopivaksi halutun voiman tai momentin aikaansaamiseksi. Kuvassa 18 on esitetty paineenalennusventtiilin rakenne. Säättöruuvilla asetetaan sallittu lähtöpaineen suuruus, mikä sallii tasaisen paineen kalvon päällä. Syöttöpaineen kasvaessa asetettua lähtöpainetta suuremmaksi, istukanmallinen venttiili estää väliaineenvirtauksen lähtöliitännästä. Paineenalennusventtiilissä on toisiopoisto. Paineen kasvaessa yli asetusarvon venttiilin jättöpuolella, alennin vapauttaa ylipaineen poistoaukoista ulkoilmaan. [24, s. 108–109.]



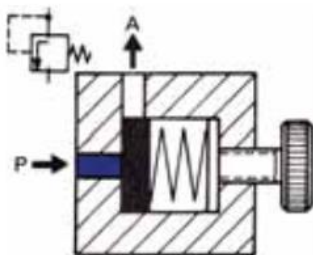
Kuva 18. Paineenalennusventtiilin piirrosmerkintä ja rakenne [24, s. 109].

Paineenrajoitusventtiilit ovat varoventtiileinä käytettyjä istukkaventtiileitä, joilla estetään ylipaineen muodostuminen paineilmajärjestelmässä (kuva 19). Paineenrajoitusventtiilit sallivat paineen säätämisen määrättyyn jousen esikiristettyä voimaa vasten. Säädetyn painearvon ylittyessä venttiilin sulkuelin vapauttaa väliaineen virtauksen vapaaseen tilaan. [25.]



Kuva 19. Paineenrajoitusventtiilin piirrosmerkintä ja rakenne [25].

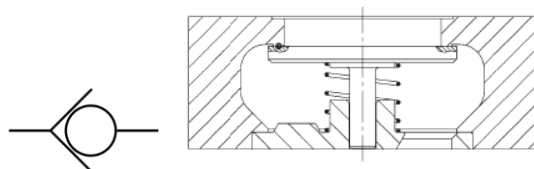
Paineohjausventtiilit toimivat lähes tulkoon kuten paineenrajoitusventtiilit. Suurimpana erona voidaan pitää läpimenovirtauksen sallimista määritellyn toimilaitetta ohjaavan ohjauspaineen varmistuttua, kun vastaavasti paineenrajoitusventtiileillä järjestelmän toiminta keskeytyy paineen kasvaessa määriteltyä suuremmaksi. Paineohjausventtiileillä (kuva 20) varmistetaan ohjauksessa vaadittavan, riittävän momentin, aikaansaaminen tulopaineen ylittäessä jousen sulkuvoiman. [24, s. 111.]



Kuva 20. Paineenohjausventtiilin piirrosmerkki ja rakenne [24, s. 111].

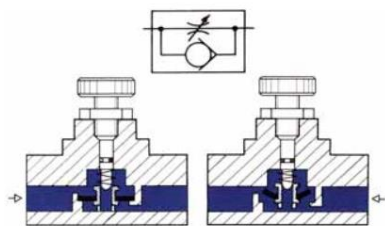
4.5 Vastaventtiilit

Vastaventtiilit ovat tyypillisesti rakenteeltaan istukkaventtiileitä (kuva 21), joiden levyn-, kuulan- tai kartionmallisen sulkuelimenä toimivan kappaleen tehtävänä on sallia väliaineen esteetön virtaaminen vain tiettyyn suuntaan. Väliaineen virtauksen muodostaman paineen vaikutuksesta venttiilin sulkuelin sallii läpimenevän väliaineen virtauksen, kun syntynyt paine kasvaa jousivoimaa suuremmaksi. Väliaineen virtauksen aikaansaaman paineen laskiessa sulkuelin tiivistyy jousivoiman vaikutuksesta sulkemalla venttiilin ja estää vastakkaissuuntaisen väliaineen virtaamisen. Erilaiset vastaventtiilit ovat ryhmiteltyinä vastusvastaventtiileihin, vaihtovastaventtiileihin ja pikapoistoventtiileihin. [24, s. 101–102.]



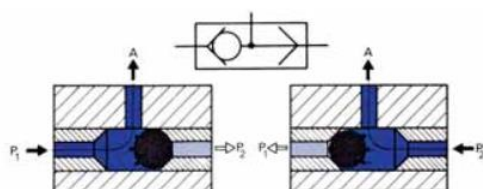
Kuva 21. Vasemmalta oikealle sallivan vastaventtiilin piirrosmerkki ja rakenne [2].

Vastusvastaventtiilit ovat vastaventtiileitä, jotka sallivat vain yhdensuuntaisen esteettömän väliaineen virtaamisen sekä mahdollistavat vastakkaiseen suuntaan etenevän virtausvastuksen säätämisen. Kuvassa 22 on esitetty vastusvastaventtiilin toimintaperiaate, jossa oikealle suunnattu ilmavirtaus on säädettävissä ja vastakkaissuuntainen ilmavirtaus toteutuu vapaasti kalvon vetäytyessä ylös. Yleisimmin vastusvastaventtiilejä käytetään toimilaitteen suorittaman liikenopeuden hallitsemisessa. [24, s. 103–104.]



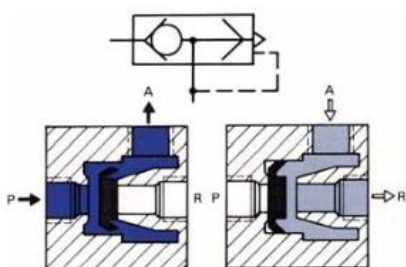
Kuva 22. Vastusvastaventtiilin piirrosmerkki ja rakenne [24, s. 104].

Vaihtovastaventtiilit ovat toiminnaltaan lähes tulkoon samanlaisia kuin perinteiset vasta-venttiilit (kuva 23). Kahdesta virtaustiestä poiketen virtauksenkulku sallitaan kahdesta erillisestä tuloliitännästä yksittäiseen lähtöliitännään sen liitännän kautta, jossa vaikuttava paine on suurempi. Vaihtovastaventtiilien avulla voidaan aikaansaada pneumaattisesti toteutettuja ohjauspiirejä. [24, s. 105.]



Kuva 23. Vaihtovastaventtiilin piirrosmerkki ja rakenne [24, s. 105].

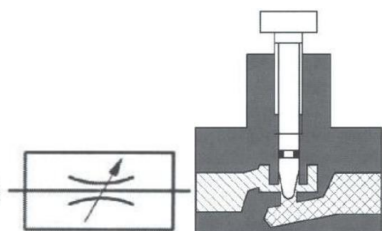
Pikapoistovalventtiilit sallivat esteettömän virtauksenkulun suuntaventtiiliin yhdistettävästä tuloliitännästä yhä toimilaitteeseen yhtenevään lähtöliitännään, kunnes tuloliitäntä säilyy paineistettuna (kuva 24). Paineen poistuessa tuloliitännästä, toimilaitteen tuloliitännän ja pikapoistovalventtiilin poistoliitännän välinen virtauskanava vapautuu ja toimilaitteen kammiot tyhjenevät paineistetun ilman poistuessa ulkoilmaan. [24, s. 106.]



Kuva 24. Pikapoistovalventtiilin piirrosmerkki ja rakenne [24, s. 106].

4.6 Virtaventtiilit

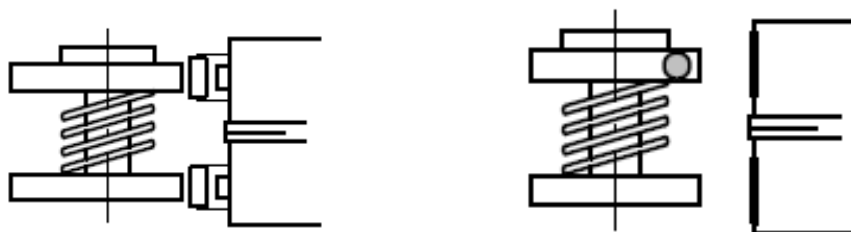
Virtaventtiilejä (kuva 25) käytetään pneumaattisissa järjestelmissä virtaavan väliaineen kuristamiseen, minkä tarkoituksena on vaikuttaa toimilaitteen suorittamaan liikkeen nopeuteen. Virtausventtiileistä yleisimmin käytetty virtavastusventtiili mahdollistaa tilavuusvirran säätämisen. Tilavuusvirtaa kasvattamalla voidaan kasvattaa toimilaitteen suorittamaa liikenopeutta, ja pienentämällä liikenopeus on hidastettavissa. [25.]



Kuva 25. Virtavastusventtiilin piirrosmerkki ja rakenne [25].

4.7 Tilatieto rajakytkimeltä

Teollisen prosessin aistina eli antureina toimivien rajakytkimien avulla kerätään tietoa kentälaitteiden sekä prosessin tilasta. Anturiksi nimitetään laitetta, jonka tehtävänä on muuttaa prosessissa mitattava suure sitä vastaavaksi viestiksi. Toimilaitteventtiilikokonaisuuksien tilan osoittamisessa käytetään mekaanisia mikrokytkimiä sekä elektronisia lähestymiskytkimiä, jotka ovat On/Off-kytkintietoa antavia kaksitila-antureita (kuva 26). Kytkimiltä saatu viesti johdetaan ohjausjärjestelmän käyttöön tarkoituksenmukaisen toimilaitteohjauksen suorittamiseksi.



Kuva 26. Mekaaninen ja induktiivinen rajakytkin [2].

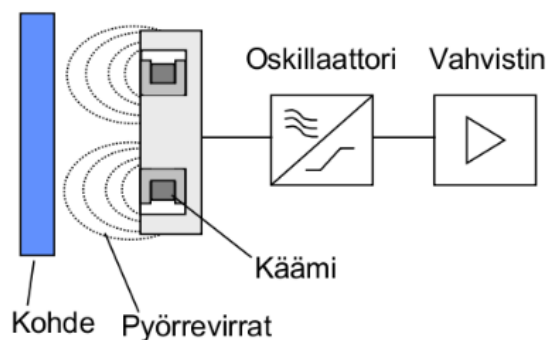
Mekaaniset rajakytkimet

Mekaanisia rajakytkimiä on kahta erilaista tyyppiä. Ne ovat joko mikrokytkimiä tai koteloituja kytkimiä, joiden toiminnan perustana on kosketus tilan muutoksesta ilmoittavaan kappaleeseen. Toimilaiteventtiilikokonaisuuksissa useimmiten käytetään koteloidun rakenteen sisään asennettuja mikrokytkimiä, joissa tilan muutos tapahtuu symmetrisesti samankaltaisten säätökiekkojen ja rullamaisen tuntopään kosketuksesta (kuva 26 vasemmalla). Vastakkaiseen asentoon sijoitetut säätökiekot ovat yhdistettynä toisiinsa akselilla, joka puolestaan on yhteydessä toimilaitteen akselin uraholkkiin. Toimilaitteen akselin kiertoliikkeen vaikutuksesta säätökiekot kääntyvät akselillaan aiheuttaen kytkinelementissä varsinaisen kosketintoiminnan, joka voi olla avautuva, sulkeutuva tai vaihtokosketintoiminta. Koskettimien vaihtaessa asentoon lähettää anturi signaalin ohjausjärjestelmään.

Mekaanisten rajakytkinten etuina ovat niiden kohtuullinen hinta ja suurien virtojen sietoisuus. Heikkouksiksi voidaan luokitella niiden toiminnan epätarkkuus, hitaus sekä mekaanisesta kosketuksesta johtuva rajoitettu elinkaari.

Induktiiviset rajakytkimet

Induktiivinen lähestymiskytkin on elektroniikkaa sisältävä anturi, jota käytetään rajakytkimenä kenttälaitteiden tilatiedon paikantamisessa. Rajakytkimet koostuvat oskillaattorista, tunnistuspiiristä ja vahvistimesta (kuva 27). Rajakytkimen toiminnan perustana on tunnistusetaisytydellä tapahtuva magneettikentän muuttuminen. Oskillaattorilla tunnistuspinnan keloille aikaansaatu magneettikenttä häiriintyy metallisen tai sähköä johtavan esineen tullessa tunnistuspinnan läheisyyteen (kuva 26 oikealla). Magneettikentän muutos aiheuttaa oskillaattorin värähtelytaajuuden muuttumisen, johon rajakytkimen sisäinen elektroniikka reagoi lähettämällä kytkentätilan vaihtumisesta aiheutuneen signaalin ohjausjärjestelmään. Sähköä johtavan esineen poistuessa magneettikentästä seuraa magneettikentän muuttumisesta värähtelytaajuuden vaihtelua, jolloin kytkentätila palaa elektronisesti alkuperäiseen tilaan. [9, s. 193.]



Kuva 27. Induktiivisen anturin rakenne [28].

Tavallisesti anturit vaativat 10–40 voltin suuruisen syöttöjännitteen. Induktiivisten antureiden tyyppi on joko PNP tai NPN. Kytkimien tyyppien erona on kytkimen antama signaali. PNP-tyyppisten kytkimien antama signaali on positiivinen eli useimmiten +24 V DC ja NPN-tyyppisten kytkimien antama signaali on negatiivinen eli 0 V DC. [28.]

Erona mekaanisen rajakytkimeen verrattuna on se, ettei lähestymiskytkin vaadi kosketusta signaalin muodostamiseksi. Mekaanisten kulumien kytkinosien puuttuminen tekee niiden elinkaaresta lähes rajoittamattoman. Lisäksi ne eivät ole alttiita tärinälle, mikä rajoittaa mekaanisten rajakytkimien käyttöä aiheuttaen epäluotettavaa kosketintoimintaa. [7, s. 193.]

5 Toimilaitteventtiilikokonaisuuden turvallisuus

Toimilaitteventtiilejä käytetään laajalti eri teollisuudenalojen sektoreilla aina energianteollisuudesta petrokemianteollisuuteen sekä muihin prosessiteollisuuden sovelluksiin. Koska niiden käyttämiseen sisältyy monenlaisia turvallisuutta vaarantavia uhkatekijöitä, on turvallisuuden oltava näissä sovelluksissa tinkimätöntä koko elinkaarensa aikana. Turvallisuuden täyttymistä ylläpidetään laitteiden käyttöä, valmistusta ja suunnittelua ohjaavilla direktiiveillä, joista merkittävimmät ovat painelaitedirektiivi (PED) 2014/68/EU ja ATEX-laitedirektiivi 2014/34/EU.

Euroopan unionin määräyksien toteuttamiseksi on jäsenvaltioidensa muokattava lainsäädäntöään yhdenmukaistettujen direktiivien eli lainsäädäntöä ohjaavien ohjeiden mukaisiksi. Suomessa painelaitelaki 1144/2016 ja painelaitteasetus 1548/2016 muodostavat keskeisimmät painelaitteita koskevat vaatimukset [29]. Räjähdyksivaarallisten (EX) tilojen keskeisimmät vaatimukset on esitetty räjähdyksivaarallisissa tiloissa käytettävien laitteiden vaatimustenmukaisuutta käsittelevässä laissa 1139/2016 ja laitteiden vaatimustenmukaisuutta käsittelevässä asetuksessa 1439/2016 [30].

Suomessa markkinoilla esiintyvien painelaitteiden ja vaarallisia kemikaaleja laajamittaisesti käsittelevien räjähdyksivaarallisten tilojen valvontaviranomaisena toimii Turvallisuus- ja kemikaalivirasto, Tukes. Pinalaitteiden valvonnan suorittamiseksi Tukes pitää ajan tasalla painelaiterekisteriä, toteuttaa käyttö- sekä markkinavalvontaa [29]. Räjähdyksivaarallisten tilojen osalta toiminta kohdistuu lupa- ja ilmoitusmenettelyihin sekä käyttöä seuraaviin määräaikaistarkastuksiin [31].

5.1 Pinalaitedirektiivi 2014/68/EU

Pinalaitteeksi määritellään säiliö, putkisto tai muu tekninen kokonaisuus, jossa on tai johon on mahdollista kertyä ylipainetta. Myös pinalaitteen suojaamiseksi laadittu kokonaisuus määritellään pinalaitteeksi. [32.]

Euroopan parlamentin ja neuvoston 15. päivänä toukokuuta 2014 antama pinalaitedirektiivi yhdenmukaistaa jäsenvaltioidensa pinalaitteita koskevia oleellisia turvallisuusvaatimuksia. Vaatimukset ottavat kantaa pinalaitteiden suunnitteluun ja valmistukseen

sekä turvaavat laitteiden esteettömän liikkuvuuden. Vaatimusten pohjalta laitteiden suunnittelussa ja valmistuksessa huomioidaan laitteisiin kohdistuvat olennaiset turvallisuusvaatimukset (painelaitedirektiivin 2014/68/EU liite 1) sekä osoitetaan vaatimustenmukaisuuden täyttyminen (painelaitedirektiivin 2014/68/EU liite 3). [29.]

Painelaitedirektiivi koskee Euroopan unionin markkinoille sen jäsenmaassaan valmistettua uutta painelaitetta ja painelaitteiden kokonaisuutta sekä uutena tai käytettynä Euroopan unionin jäsenmaihin kolmannelta maasta tuotua painelaitetta tai painelaitteiden kokonaisuutta. Direktiiviä tulee soveltaa painelaitteisiin, joiden suurin sallittu käyttöpaine on enemmän kuin 0,5 bar. [33.]

5.2 Painelaitelaki 1144/2016

Suomessa painelaitelain 1144/2016 tavoitteena on taata painelaitteiden käytön turvallisuus. Painelaitteiden suunnittelun, valmistuksen ja käytön on oltava sellaista, ettei niistä seuraa terveyttä, turvallisuutta tai omaisuutta vaarantavia uhkatekijöitä. [29.] Painelaitelaissa on huomioitu Euroopan unionin asettamat painelaitedirektiivissä 2014/68/EU määritellyt yhdenmukaistetut tavoitteet. Painelaitelakia täydentäviä säädöksiä ovat valtionneuvoston painelaitesetus 1548/2016 ja painelaiteturvallisuuden asetus 1549/2016, joita sovelletaan painelaitelaissa [32].

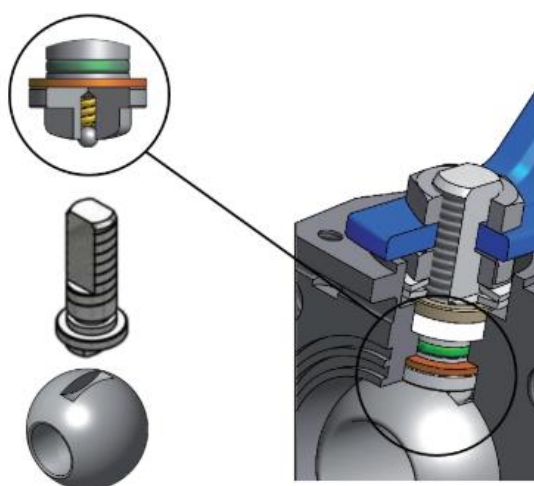
5.3 ATEX-laitedirektiivi 2014/34/EU

ATEX on ranskankielinen ilmaisu, joka suomen kielessä tulkitaan räjähdysvaaralliseksi olosuhteiksi [34, s. 10]. Räjähdysvaaralliseksi tilaksi luokitellaan tila, jossa on mahdollista ilmetä räjähdysvaarallinen ilmaseos. Räjähdysvaarallinen ilmaseos voi syntyä esimerkiksi pölyn, syttyvän kaasun, höyryn tai sumun yhtyessä hapen kanssa. Etenkin prosessiteollisuuden sovelluksissa esiintyvissä räjähdysvaarallisissa tiloissa käsiteltävät väliaineet kuten syttyvät nesteet ja kaasut ovat edellytyksenä ATEX-direktiivin huomioimiselle. [30.]

Räjähdysvaarallisten tilojen lainsäädäntöä on yhdenmukaistettu Euroopan unionin toimesta ATEX-laitedirektiivillä 2014/34/EU, joka ottaa kantaa räjähdysvaarallisissa tiloissa

käytettäviin laitteisiin. Direktiivin tarkoituksena on turvata jäsenvaltioissa käytettävien laitteiden turvallisuudentaso sekä taata laitteiden esteetön liikkuvuus jäsenvaltioidensa välillä. Direktiivi on otettu osaksi lainsäädäntöämme direktiiviä noudattavien lakien ja asetusten myötä, joita ovat esimerkiksi laki vaatimustenmukaisuudesta 1139/2016 ja valtioneuvoston asetus vaatimustenmukaisuudesta 1439/2016. [30.]

ATEX-laitedirektiivi on räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettävien laitteiden valmistajaa ohjaava lainsäädäntö, jonka tehtävänä on varmistaa laitteidensa täyttävän direktiivin mukaiset vaatimukset. Laitedirektiiviä noudattamalla turvataan laitteiden tarkoituksenmukainen ja turvallinen toiminta normaalissa käytössä sekä odotettavissa olevissa vikatilanteissa niin, ettei laitteet aiheuta tilassa ilmenevän räjähdysvaarallisen seoksen syttymistä. [30.] Starline Valves Oy:n palloventtiilistä tekee ATEX-hyväksytyn sen antistaattinen kara (kuva 28), jossa staattisen sähkövarauksen varautuminen on estetty jousikuoritteisen pallon vaikutuksesta. Rakenteensa vuoksi venttiili säilyttää jatkuvan kosketuksen karan sekä pallon välillä ja on näin täysin kipinöimätön. [2.]



Kuva 28. Antistaattinen kara [2].

Laitedirektiiviä sovelletaan räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäviin mekaanisiin ja sähköisiin laitteisiin, suojausjärjestelmiin ja niihin kuuluviin laitteisiin sekä komponentteihin. Näiden lisäksi direktiiviä on sovellettava räjähdysvaarallisten tilojen ulkopuolella käytettäviin säätö-, ohjaus- ja turvalaitteisiin, joiden käyttö on edellytetty laitteiden häiriöttömän toimivuuden varmistamiseksi. [30.]

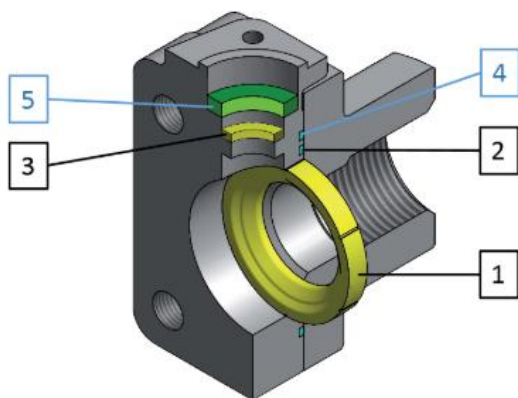
5.4 Laki 1139/2016 EX-tilojen laitteiden vaatimustenmukaisuudesta

Suomessa räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäväksi tarkoitettujen laitteiden ja suojausjärjestelmien vaatimustenmukaisuutta ohjaavan lain 1139/2016 tavoitteena on laitteiden vaatimustenmukaisuuden ja esteettömän liikkuvuuden takaaminen. Vaatimuksenmukaisuuden osoittamiseksi tulee laitteen olla suunniteltu ja valmistettu siten, ettei sen käyttämisestä aiheudu ihmisen terveyttä, turvallisuutta, ympäristöä tai omaisuutta vaarantavia seuraamuksia. Lisäksi laitteen on sovittava käyttötarkoitukseensa ja sen on toimittava käyttötarkoituksessaan tarkoituksenmukaisesti. [35.]

5.5 Paloturvallisuushyväksyntä

Prosessiteollisuudessa petrokemian- ja energianteollisuuden sovelluksissa käsitellään palavia nesteitä ja kaasuja, jotka edellyttävät prosesseissa käytetyiltä venttiileiltä kovempia vaatimuksia turvallisuuden edistämiseksi. Palavia ja helposti syttyviä väliaineita käsiteltäessä edellytetään venttiileiltä ATEX-hyväksynnän lisäksi palon kestäväää rakennetta. Tämän todentamiseksi on venttiileille suoritettava ISO 10497 -standardin mukaiset testaukset, joilla todennetaan venttiilin tiiveys. Palonkestäväksi hyväksytty venttiili mahdollistaa mittavilta vahingoilta välttymisen venttiilin salliessa sulkuliikkeen palon leviämisen estämiseksi.

Palonkestävyys edellyttää venttiilin rakenteelta tiettyjä ominaisuuksia. Tyypillisesti teflonilla ja o-renkaalla tiivistetyn karan lisäksi vaaditaan uloimmaksi tiivisteeksi grafiittinen tiiviste. Lisäksi pallon tiivisteiden ollessa useimmiten teflonia tai grafiittiseostettua teflonia, on rungon uloimman tiivisteiden oltava grafiittia. Tulipalotilanteessa tefloniset ja grafiittiseostetut teflon-tiivisteet sulavat lämmön vaikutuksesta (kuva 29 kohdat 1–3), jolloin jäljelle jääneet grafiittiset rungon uloin tiiviste ja karan tiiviste estävät väliaineen vuotamisen ilmakehään (kuva 29 kohta 4 ja 5) yhdessä päätylaippojen koneistetun pinnan ja pallon muodostaman metallisen tiivistepinnan kanssa. [2.] Grafiitin käyttö uloimpana tiivisteidenä perustuu korkeaan lämpötilasietoisuuteen suurimman sallitun lämpötilan ollessa +450 °C hapellisissa olosuhteissa sekä +700 °C hapettomissa olosuhteissa [36, s. 5].



Kuva 29. Paloturvallisen rakenteen takaava tiivisterakenne [2].

6 Testausjärjestelmä

Testausjärjestelmällä testataan asiakastilausten toiminnallisuus. Testaus toteutetaan asiakastilausten mukaisessa kokoonpanossa kokoonpanolle määritetyn instrumentti ilmanpaineen suuruuden ja toimintatavan mukaisesti. Halutun momentin aikaansaamiseksi käytettävän paineen on oltava säädettävissä asiakkaan antamien tietojen perusteella, jotta varmistutaan toimilaitteella tuotetun momentin riittävän venttiilin sulkuelimen kääntämiseksi. Tietyissä kohteissa venttiililtä edellytetään standardoituja toiminta-aikoja, etenkin turvallisen sulkutoiminnan suorittamiseksi on venttiilin sulkeuduttava standardin EN 161 mukaisesti alle sekunnissa [37, s. 18]. Siksi on tärkeää toteuttaa järjestelmä sellaiseksi, että toiminta-ajat ovat järjestelmällä mitattavissa.

6.1 Järjestelmän vaatimukset

Ennen testausjärjestelmän suunnittelua oli syytä tarkastella siltä odotettuja vaatimuksia, jotta sen tuottama hyöty yritykselle on mahdollisimman suuri. Koska magneettiventtiileitä ohjataan tasa- ja vaihtovirran eri jännitetasoilla, tulee myös testausjärjestelmän mahdollistaa jännitetason valinta 24 V DC:n ja 230 V AC:n jännitteiden välillä. Järjestelmän on sallittava toimilaitteventtiilikokonaisuuksien toiminta-aikojen mittaaminen sekä osoitettava rajakytkimen kytkintöiminnon toiminnallisuus kiinni- ja auki- asentoa kuvastavin merkkivaloin. Järjestelmässä on käytettävä sulakkeita testattavien sähköisten komponenttien suojaamiseksi.

Magneettiventtiilin asennustavasta, putkitettava tai Namur, riippuen on järjestelmän pneumaattisen rakenteen sallittava asennustavasta riippumaton paineilman ohjaus suuntaventtiilillä. Järjestelmän liittäminen osaksi yrityksen paineilmajärjestelmää edellyttää sulkuventtiilin asentamista testausjärjestelmän paineilmasyötön sallimiseksi ja estämiseksi. Lisäksi paineilmasyötön on oltava säädettävissä venttiilin ohjauksessa tarvittavan momentin tuottamiseksi.

6.2 Pneumatiikan suunnittelu

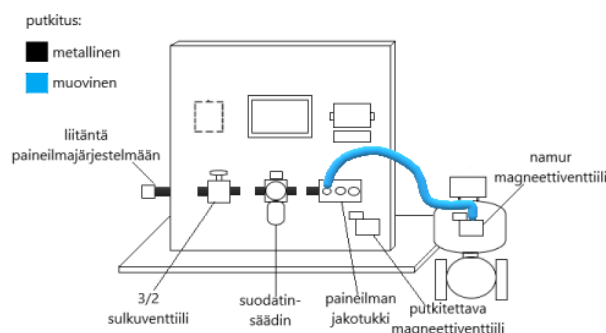
Järjestelmän pneumatiikan suunnittelu alkoi kartoittamalla, mitä laitteita järjestelmällä haluttiin testattavan. Laitteet määrsivät järjestelmän pneumaattisen rakenteen toteutuksessa edellytetyt vaatimukset. Laajasta tuotevalikoimasta johtuen oli työssä huomioitava toimilaitteiden eri kokoluokkien paineilman virtauksentarve ja paineilman ohjauksessa käytettyjen suuntaventtiilien eri asennustavat mukaan lukien Namur ja putkitettava asennus.

Testattavaksi määriteltujen laitteiden myötä keskityttiin testausjärjestelmän muun pneumaattisen rakenteen suunnitteluun. Testausjärjestelmän rakenteessa pyrittiin huomioimaan erisuuruisten paineilmavirtausten mahdollistaminen, paineilmasyötön säätäminen ja todentaminen sekä paineilmasyötön rajoittaminen ja salliminen testaustilannetta varten. Edellä mainittujen tietojen perusteella tutustuttiin paineilman ohjauksessa käytettäviin komponentteihin sekä niiden toimintaan.

Pneumaattisen järjestelmän komponentit

Pneumaattiselta rakenteeltaan järjestelmä tulee koostumaan kuvan 30 mukaisesti seuraavista komponenteista:

- 3/2-sulkuventtiili
- suodatinsäädin
- paineilman jakotukki
- putkitus sekä liittimet.



Kuva 30. Testausjärjestelmän pneumaattinen rakenne.

Yrityksen paineilmajärjestelmän ja testausjärjestelmän liittymän alkuun on asennettava 3/2-sulkuventtiili. Johtuen toimituslaitteistokokonaisuuksien testaamisen aikaisesta paineilman tarpeesta ja testauksen välisistä komponenttimuutoksista, on paineilmasyötön oltava sallittavissa ja estettävissä. Järjestelmään määritellyn 3/2-sulkuventtiiliin yhdellä ylimääräisellä liittymällä mahdollistetaan järjestelmän paineettomuus, mikä sujuvoittaa testauskomponenttien vaihtamista.

Asiakastilaukselle määritettyyn instrumentti ilmanpaineen suuruuteen vaikuttavat loppukäyttäjän paineilmajärjestelmään liitettyjen komponenttien määrä ja niiden paineilman tarve. Koska Starline Valves Oy mitoittaa toimituslaitteensa ja suorittaa asennuksen yhteydessä testaukset 5 bar:n paineella, voi käytettävä paine-ero edellyttää syöttöpaineen säätämistä. Loppukäyttäjän painetason vastaamiseksi on järjestelmään liitettävä suodatinsäädin. Suodatinsäätimen avulla suodatetaan järjestelmässä käytävää paineilmaa epäpuhtauksilta sekä varmistetaan testauksessa käytetyn paineen suuruudesta.

Suuntaventtiilien eri liitäntäkoosta ja erikokoisten toimituslaitteiden virtauksen tarpeesta johtuen on järjestelmään asennettava paineilman jakotukki. Sen tarkoituksena on mahdollistaa paineilman riittävä virtaus toimituslaitteelle standardoitujen liitäntäkokojen kautta. Jakotukki jakaa koteloidun rakenteen sisään laaditun metallisen putkituksen muoviseksi putkitukseksi, mikä tuo joustavuutta paineilman kuljettamiseen magneettiventtiililtä toimituslaitteelle.

6.3 Sähkön suunnittelu

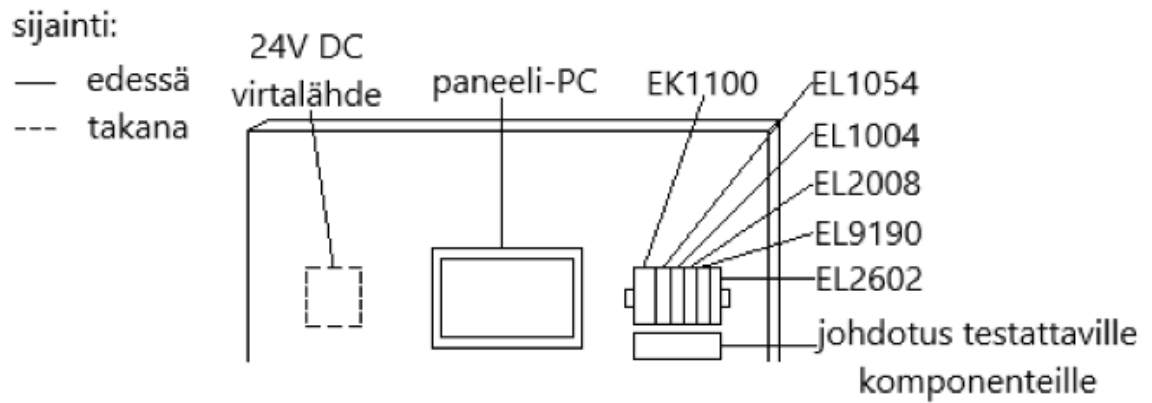
Järjestelmän sähköistämisen suunnittelun lähtökohtana oli selvittää testattaviksi määrättyjen tuotteiden kuten suuntaventtiilien kelojen ja induktiivisten sekä mekaanisten rajakytkinten toimintajännite. Sähköä kuluttavat laitteet pystyttiin näin jakamaan 8,2 V DC:tä, 24 V DC:tä ja 230 V AC:tä tarvitseviin laitteisiin. Jaottelun jälkeen pystytään määrittämään laitteiden virrankulutus, jonka perusteella testattavat laitteet ovat suojattavissa oikean kokoisilla sulakkeilla. Laitteiden erisuuruisten toimintajännitteiden vuoksi vaaditaan järjestelmässä virtalähteen käyttöä, jolla 230 V AC:n jännite muunnetaan 24 V DC:n jännitteeksi. Sähköasennuksessa käytetyt komponentit sijoitetaan kytkentäkoteloon, josta sähkönsyöttö on jaoteltavissa sitä tarvitseville laitteille.

Automaatiojärjestelmän kannalta suunnitteluun sisältyi komponentteihin, kuten ohjelmoitaviin logiikkoihin, output- sekä input-terminaaleihin, tutustumista ja niiden valitseminen. Terminaalien tarve määräytyi suuntaventtiilin kelojen sekä mekaanisten ja induktiivisten rajakytkimien eri toimintajännitteiden perusteella. Output-terminaalien osalta huomiota tuli kiinnittää kanavakohtaiseen suurimpaan sallittuun lähtövirtaan, minkä tuli olla venttiilin virrankulutusta suurempi. Input-terminaalien osalta huomiota tuli kiinnittää vasteajan lisäksi digitaalisten, 0- ja 1-, signaalien jännitealueisiin tilatiedon tulkitsemiseksi. Lisäksi terminaalien valinnassa tuli huomioida tarvittavien lähtöjen ja tulojen lukumäärä.

Sähköisen järjestelmän komponentit

Rakenteeltaan järjestelmä tulee koostumaan kuvan 31 mukaisesti seuraavista komponenteista:

- CP6606 paneeli-PC
- EK1100 EtherCAT -kytkin
- EL2008 Digital output -terminaali
- EL2602 Digital output -terminaali
- EL9190 potentiaalin syöttöterminaali
- EL1004 Digital input -terminaali
- EL1054 Digital input -terminaali
- BALLUF 24 V DC -virtalähde.



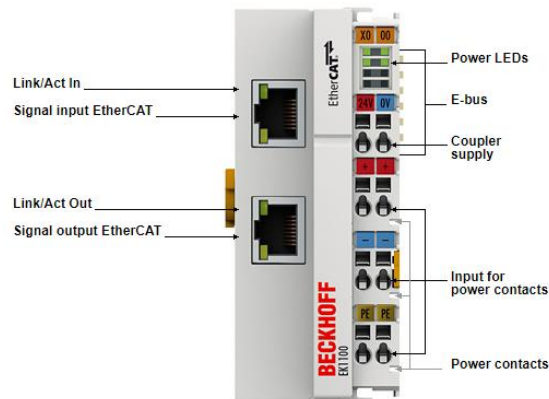
Kuva 31. Testausjärjestelmän sähköisten komponenttien sijoittelu.

Testausjärjestelmän ohjauspuolen laitteeksi valittiin kuvan 32 mukainen Beckhoffin CP6606 paneeli-PC, johon toteutettiin käyttöliittymä järjestelmän suuntaventtiilin kelojen ohjaussignaalien ja rajakytkimiltä tulkittavien prosessiventtiilin tilatiedon signaalien hallinnoimiseksi. Windows Embedded Compact 7:n alaisuudessa toimiva paneeli-PC on yhteensopiva TwinCAT 3 -sovellusohjelmiston kanssa. Laitteen 1 GHz:n ARM Cortex™ A8 -prosessori takaa riittävän suorituskyvyn automaatiojärjestelmän ohjaamiseksi. [38.]



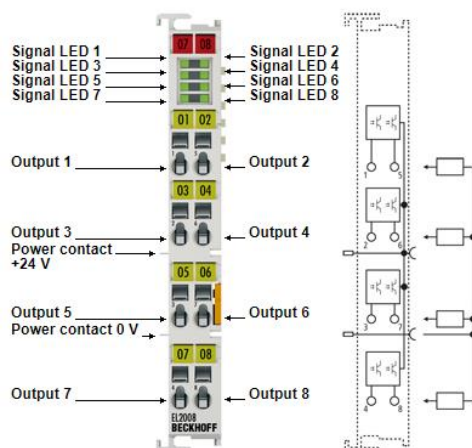
Kuva 32. CP6606 paneeli-PC [38].

Kuvassa 33 esiintyvää EK1100-kytkintä käytetään EtherCAT-terminaalien ja väylän yhdistämiseksi. Kytkimestä koostuva asema sisältää määrittelemättömän lukumäärän EtherCAT-terminaaleja sekä väyläpäättteen. Kytkimellä muunnetaan Ethernet 100BASE-TX:lta siirtyvät sähköiset E-bus-väylän viestimuootoon. Ylemmällä Ethernet-liitännällä luodaan yhteys kytkimen ja verkon välille. Alemmalla RJ45-liitännällä mahdollistetaan EtherCAT-laitteiden liittäminen väylän jatkamiseksi. [39.]



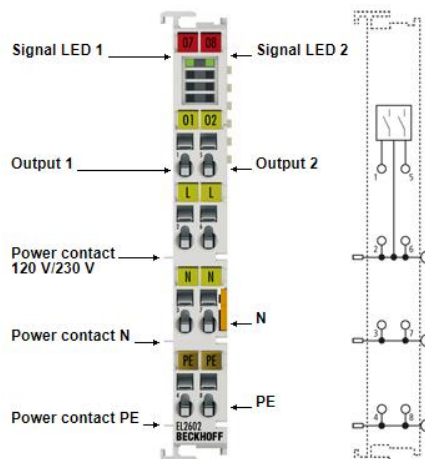
Kuva 33. EK1100-kytkin terminaalien liittämiseksi [39].

Automaatiojärjestelmän binääristen ohjaussignaalien yhdistäminen testattaville suunta-venttiiliin 24 V DC:n keloille toteutetaan sähköisesti eristetyksi digitaalisen EL2008-terminaalin välityksellä (kuva 34). EtherCAT-terminaalissa olevien kahdeksan lähdön tilaa kuvastetaan ledeillä. [40.]



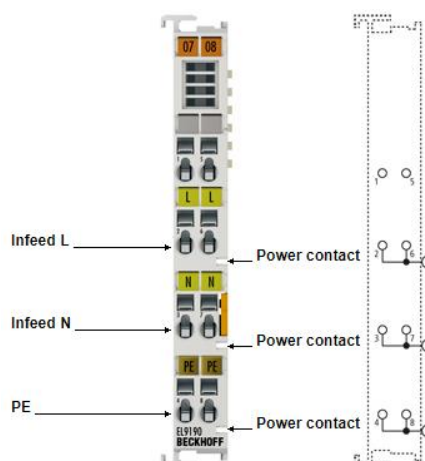
Kuva 34. EL2008 Digital output -terminaali [40].

Automaatiojärjestelmällä testattavien 230 V AC:n suuntaventtiilien kelojen ohjaaminen toteutetaan kuvan 35 mukaisella digitaalisella EL2602-terminaalilla. Siihen sisältyvillä releillä on kummallakin yksi kosketin. Releyhteys on yhdistetty virtakoskettimiin, minkä vuoksi terminaalilla on yhteensopiva 230 V AC:n jännitteen tarvitsevien laitteiden ohjauksessa. EtherCAT-terminaalissa olevien kahden relälähdön tilaa kuvastetaan diodeilla. [41.]



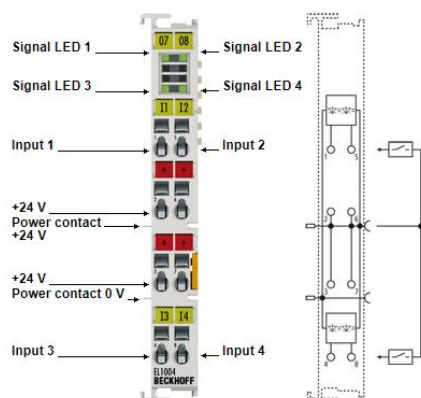
Kuva 35. EL2602 Digital output -terminaali [41].

Eri potentiaaliryhmän tehonsyötön mahdollistamiseksi järjestelmässä on käytettävä kuvan 36 mukaista EL9190-terminaalia, joka välittää EL2602-terminaalille vaadittavan toimintajännitteen. Terminaalin suurin sallittu käyttöjännite on enintään 230 V AC. [42.]



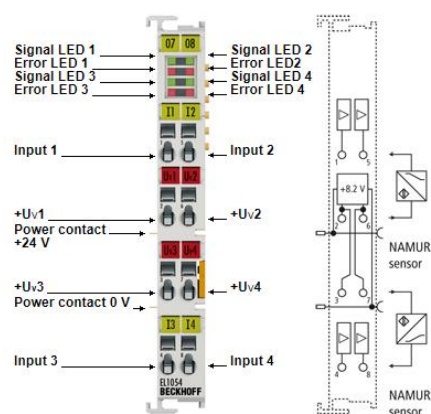
Kuva 36. EL9190-terminaali 230 V AC:n jakamiseksi [42].

Mekaanisilta 24 V DC:n jännitteellä toimivilta rajakytkimiltä saapuvien binääristen signaalien siirtäminen automaatiojärjestelmän käyttöön toteutetaan sähköisesti eristetyksi digitaalisen EL1004-terminaalin välityksellä (kuva 37). Digitaalitulojen vasteajaksi on ilmoitettu 3 ms. EtherCAT-terminaalissa olevien neljän tulon tilaa kuvastetaan ledeillä. [43.]



Kuva 37. EL1004 Digital input -terminaali [43].

Induktiivisilta Namur-rajakytkimiltä saapuvien signaalien siirtäminen automaatiojärjestelmän käyttöön toteutetaan EN 60947-5-6 -standardin mukaisesti EL1054-terminaalin välityksellä (kuva 38). Rajakytkinten käyttämä toimintajännite on 8,2 V DC, ja niiden lähettämä signaali on diagnosoitu virtasignaali. Näin rajakytkimeltä voidaan havaita tilatiedon lisäksi myös kanavakohtainen johtimen vaurioituminen sekä oikosulku virhetilaa kuvastavien ledien avulla. [44.]



Kuva 38. EL1054 Digital input -terminaali [44].

Järjestelmässä magneettiventtiilin kelojen, rajakytkimien sekä paneeli-PC:hen integroidun ohjelmoitavan logiikan edellyttämä 24 V DC:n toimintajännite muunnetaan 230 V vaihtojännitteestä BALLUFFin BAE0002-virtalähteellä (kuva 39). Sen nimellinen lähtövirta on suuruudeltaan 10A. [45.]



Kuva 39. BALLUFF 24 V DC -virtalähde [45].

6.4 Järjestelmän logiikkaohjelmointi

Testausjärjestelmän ohjaus toteutetaan logiikkaohjelmoinnilla, jossa järjestelmään kuuluvia laitteita ohjataan mikroprosessorilla varustetulla elektronisella ohjelmoitavalla logiikalla eli PLC:llä. Laitteiden ohjaus suoritetaan logiikan muistiin tallennetulla sovellusohjelmistolla, joka toteuttaa määrätyt ohjauskäskyt lähtöjen ja tulojen sekä edellisillä sivuilla eritellyjen väylien kautta. Erilaisten lähtö- ja tulo- sekä väyläterminaalien välittämät signaalitypit ovat lähtökohtaisesti binaarisia, mutta myös analogisen signaalin käyttö on mahdollista. [46, s. 7.]

Sovellusohjelmana käytössä on Beckhoffin luoma TwinCAT 3 (The Windows Control and Automation Technology) -ohjelmisto, joka muuntaa PC-pohjaisen järjestelmän reaaliaikaiseksi PLC-, NC- ja CNC-ohjaukseksi. TwinCAT System Managerin integraation myötä ohjelmalla pystytään suorittamaan laitteiden konfigurointi ja ohjelmointi IEC 61131-3-standardin mukaista ohjelmointikieltä käyttämällä. [47, s. 2–3.] Liitteessä 1 on

esitetty sovellusohjelmistolla laadittu ohjelma ja ohjeistus toimilaitteventtiilikokonaisuuksien testaamiseksi.

Function Block Diagram (FBD) on toimilohkokaaviomainen ja graafisesti toteutettava ohjelmointikieli. Se koostuu useasta allekkain määritellystä kentästä, joista kullekin laadittu rakenne edustaa tietynlaista loogista tai aritmeettista lauseketta. Lausekkeiden avulla voidaan esimerkiksi kutsua ohjelmalohkoa halutun toiminnan tai ohjelmaosuuden suorittamiseksi. Liitoslinjoilla yhdistettyjen toimintolohkojen signaalit etenevät vasemmalta oikealle ylimmäisestä kentästä alinta kenttää kohti. [48.]

7 Testauksen kulku ja toimivuuden toteaminen

Testattavan toimilaitteventtiilikokonaisuuden komponenttien toimivuus testataan toteuttamalla kertaalleen suoritettava prosessiventtiilin edestakainen ohjaus ohjelmoitavan logiikan sovellusohjelmistolla luodulla käyttöliittymällä. Toimivuuden tarkastelun selkeyttämiseksi esitetään yleisimmät jousipalautteisen ja kaksitoimisen toimilaitteen asennukset toisistaan erillään. Jousipalautteisen toimilaitteohjauksen osalta kyse on normaalisti suljetulla 3/2-suuntaventtiilillä toteutettu paineilmaohjaus ja kaksitoimisen toimilaitteen osalta kyse on 5/2-suuntaventtiilillä toteutettu paineilmaohjaus.

Toimilaitteventtiilikokonaisuuden testaamisen suorittamiseksi testausjärjestelmä liitetään osaksi yrityksen paineilmaverkostoa ja huolehditaan vaadittava putkitus paineilman jakotukilta suuntaventtiilille. Samalla suoritetaan johtimien jännitteetön kytkentä output-terminaalilta suuntaventtiilin kelalle sekä liitetään rajakytkimeltä input-terminaaliin tulevat johtimet. Ennen alkupään sulkuventtiilin avaamista varmistetaan ja säädetään tarvittava paine.

Jousipalautteinen asennus

Lähtötilanteessa täysin paineettoman toimilaitteen sylinterimäiseen kammioon ohjataan paineilmaa kytkemällä käyttöliittymästä, 24 V DC tai 230 V AC suuruinen, binäärinen ohjaussignaali suuntaventtiilin ohjaamiseksi. Kelan tullessa virralliseksi suuntaventtiili muuttaa toiminta-asentoaan ja toimilaitteen sylinterimäinen kammio paineistuu. Tämän

seurauksena toimilaitteen kaksimäntä-käyttöakselimekanismi aikaansaa prosessiventtiiliin sulkuelimen kiertoliikkeen. Prosessiventtiiliin tilatietoa ilmaisevan, 24 V DC:n tai 8,2 V DC:n jännitteellä toimivan, rajakytkimen tilan muutoksesta seurannut binäärinen signaali käynnistää automaatiojärjestelmässä prosessiventtiiliin toiminta-aikaa mittaavan ajastimen. Rajakytkimen vastakkaista tilaa ilmaiseva kosketintoiminto pysäyttää liikenopeutta määrittävän ajastimen. Prosessiventtiiliin sulkuelimen liikkeeseen käytetty aika on luetta- vissa ja resetoitavissa paneeli-PC:n näytöltä. Rajakytkimen koskettimien toimintaa tulki- taan paneeli-PC:lle linkitettyjen signaalien kytkevien tiloja kuvastavien merkkivalojen avulla.

Suuntaventtiiliin kelan ohjaussignaalin katketessa suuntaventtiili palaa alkuperäiseen toi- minta-asentoonsa ja vapauttaa toimilaitteen kammioon paineistetun ilman. Tämän seu- rauksena toimilaitteen kaksimäntä-käyttöakselimekanismin aikaansaama prosessivent- tiiliin liike tapahtuu päinvastaiseen suuntaan. Rajakytkimen tilan muutoksesta automaa- tiojärjestelmään välittyvä signaali käynnistää prosessiventtiiliin sulkuelimen toiminta-ai- kaa mittaavan ajastimen, jonka pysäyttää rajakytkimen vastakkaista tilaa ilmaiseva kos- ketintoiminto.

Kaksitoiminen asennus

Kaksitoimisen asennus on periaatteeltaan hyvin samanlainen kuin jousipalautteinen asennus. Ainoana erona on 5/2-suuntaventtiiliin käyttö paineilmaohjauksessa. Tästä joh- tuen suuntaventtiiliin toiminta-asentoon vaikutetaan kahteen eri kelaan tuodulla, 24 V DC tai 230 V AC suuruisella, ohjaussignaalilla. Signaalin katkeaminen ei aiheuta suunta- venttiiliin toiminta-asennon muutosta, sillä suuntaventtiiliin toiminta-asentoon vaikutetaan syöttämällä ohjaussignaali vastakkaiseen kelaan. Toiminta-aikaa mittaavien ajastimien toiminta sekä prosessiventtiiliin tilatiedon välittäminen toteutuvat kuten edellä jousipalaut- teisen asennuksen yhteydessä.

8 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa toimintaproseduuri toimilaitteventtiilikokonaisuuden ja sen komponenttien toiminnan testaamiseksi. Järjestelmä saatiin muodostettua laitteista, joilla voidaan toteuttaa toimintajännitteeltään ja virrankulutukseltaan erisuuruisten mekaanisten ja induktiivisten rajakytkimien sekä magneettiventtiilien kelojen signaalien välittäminen automaatiojärjestelmän ja testattavien komponenttien välillä graafisella käyttöliittymällä. Prosessiventtiilien toiminta-ajat ovat mitattavissa ohjelmistoon luotujen aikaleimojen sekä laskutoimitusoperaattorien avulla ja ne ovat luettavissa paneeli-PC:ltä.

Työn aikataulun venyttyä päätettiin suunniteltu laitteisto kokoonpanna ulkopuolisen yrityksen toimesta. Kun varsinaisia toiminnallisia testauksia ei pystytty järjestelmän pitkityneistä toimitusajoista johtuen toteuttamaan, oli ohjelmallinen osuus testattavissa simuloitusti TwinCAT 3 -sovellusohjelmistolla. Suunnitelman myötä valmistuneella toimintamenetelmällä pystytään toteuttamaan toimilaitteventtiilikokonaisuuksien toiminnallisuuden testaaminen järjestelmän kokoonpanon valimistuttua olemassa olevaa ohjelmaa ja ohjeistusta hyödyntäen.

Työn edetessä oli tutustuttava ja kehitettävä tuotetietämystä koskien Starline Valves Oy:n tuotevalikoimaa. Laajan tuotevalikoiman testaamiseksi oli perehdyttävä rajakytkimien ja magneettiventtiilien toimintajännitteisiin sekä virrankulutukseen, jotta niille saatiin valittua oikeanlaiset IO-terminaalit. Kaikin puolin työ on ollut hyvin antoisa ja sen tuoman hyödyn katsotaan olevan yrityksen mieleen.

Pilvipalvelun hyödyntäminen

Suomessa ja maailmalla käytettävä teknologia uusiutuu huomattavasti laajasta digitalisaatiosta johtuen. Pikaisen kehityksen seurauksena digitalisaation vaikutukset näkyvät eri teollisuudenalojen vaikutuspiirissä mahdollistaen uudenlaisten asioiden hyödyntämisen. Viime vuosien tietoteknologian kehityksen myötä yleistyneet teollisen internetin eli IoT:n järjestelmät ovat lisänneet tarvetta tiedonkäsittelyssä ja varastoinnissa käytetyille pilvipalveluille.

Liittämällä pilvipalvelu testausjärjestelmän laitteistoon luodaan järjestelmästä IoT-kykyinen. Tämä käytännössä tarkoittaa sitä, että testausjärjestelmän laitteisto ja pilvipalvelu ovat vuorovaikutuksessa keskenään internetin välityksellä. Näin saadut testitulokset ovat tallennettavissa automaattisesti määrätyin aikaväleihin yhtenäiseen paikkaan ja ovat käytettävissä paikasta ja ajankohdasta riippumatta.

Pilvipalveluiden käyttäminen kerätyn tiedon tallentamispäikkana voidaan pitää edullisena tallennustilana, jonka käyttäminen ei edellytä erillistä fyysistä palvelinta. Pilvipalveluun tallentamisen etuna on sen automaattinen skaalautuvuus lukemattomien laitteiden informaatiovirroille. Nykyiset saatavilla olevat teollisen internetin tarpeille soveltuvat pilvipalvelut koostuvat tiedonvarastoinnin lisäksi tiedon analysoinnin ja laitehallinnan sekä tiedon visualisoinnin mahdollistavista työkaluista. [49, s. 202.]

UPS-laitteen integroiminen

Viimeisten vuosien aikana on maailmanlaajuisesti havaittu, miten merkittävä tekijä sähkön saatavuus on kriittisesti toimivien teollisten prosessien toiminnan kannalta. Yhä häiriöalttiimpien prosessien ohjausjärjestelmissä korostuva sähkön saatavuuden tarve asettaa tiukempia vaatimuksia prosessin ohjauksessa käytettäville laitteistoille. Sähkön-syötön varmistamiseksi on kehitetty laitteita, jotka lisäävät prosessien käytettävyyttä sekä luotettavuutta. Nämä laitteet tunnetaan nimityksellä UPS-laite (Uninterruptible Power Supply).

Häiriöttömän sähkönsyötön takaamiseksi teollisuus-PC:t ovat varustettavissa erillisellä 24 V DC:n virtalähteellä sekä integroidulla UPS-laitteella. Virransyötön katketessa UPS-laite turvaa teollisuus-PC:n tarvitseman virran akustonsa ansiosta. Näin järjestelmän käyttämät tiedot ovat tallennettavissa kiintolevylle tai Flash-muistiin, minkä jälkeen teollisuus-PC on sammutettavissa hallitusti. [50.]

Lähteet

- 1 Jäppinen, Lalli. 2018. Toimitusjohtaja, Starline Valves Oy, Vantaa. Keskustelu 20.11.2018.
- 2 Venttiilit ja käytöt. 2012. Yrityksen sisäinen dokumentti. Starline Valves Oy.
- 3 Nesbitt, Brian. 2007. Handbook of Valves and Actuators. E-kirja. Butterworth-Heinemann.
- 4 Pirinen, Jukka. 2014. Automaatio ja instrumentointi. Luentomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 5 Globe Valves. 2018. Verkkoaineisto. Samson Controls. <<http://www.samsoncontrols.com/product/3241-globe-control-valve>>. Luettu 1.11.2018.
- 6 Sähkötoimilaitteet teollisuusventtiilien automaatioon. 2015. Verkkoaineisto. Auma. <http://www1.auma.com/uploads/media/sp_import2/prospekte/pb_modular_range_fi.pdf>. Luettu 7.11.2018.
- 7 Paavilainen, Heikki. 2009. Hydraulikka 1. Luentomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 8 Silmäla, Petri. 2009. Hydraulikka toimilaitteet. Verkkoaineisto. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 9 Keinänen, Toimi; Kärkkäinen, Pentti; Lähetkangas, Markku & Sumujärvi, Matti. 2007. Automaatiojärjestelien logiikat ja ohjaustekniikat. 1. Painos. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy.
- 10 Manual actuators. 2018. Verkkoaineisto. Metso Oyj. <<https://www.metso.com/products/actuators/m-series-actuator/>>. Luettu 1.11.2018.
- 11 Information About Valve Types. 2018. Verkkoaineisto. IEEE GlobalSpec. <<https://www.globalspec.com/pfdetail/valves/types>>. Luettu 3.11.2018.
- 12 Lääkkö, Yrjö. 2014. Prosessiventtiilin ja toimilaitteen yhdistäminen. Insinööriyö. Lapin Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 13 PSK 0201. Teollisuusventtiilit. Valinta ja käyttösuositus. 3. Painos. 2011. PSK Standardisointiyhdistys ry.

- 14 Taotut palloventtiilit. 2016. Verkkoaineisto. Starline Valves Oy. <<http://www.starline.fi/tuotteet/taotut-palloventtiilit/>>. Luettu 14.11.2018.
- 15 Hukkanen, Joni. 2013. Kenttälaitteiden asennuskannan elinkaaren hallinnalla käyntivarmuutta ja kustannustehokkuutta. Insinööritö. Satakunnan Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 16 Kangas, Matti. 2015. Elektrolyytti- ja sekahappopeittauksen venttiilien sekä toimilaitteiden kartoitus. Insinööritö. Lapin Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 17 Segment valves. 2018. Verkkoaineisto. Metso Oyj. <http://valveproducts.metso.com/catalog/344/Segment_valves_ENG1.html>. Luettu 28.12.2018.
- 18 Levyluisti- ja takaiskuventtiilit. 2016. Verkkoaineisto. Starline Valves Oy. <<http://www.starline.fi/tuotteet/levyluisti-ja-takaiskuventtiilit-ilma-ja-savukaasupelit/>>. Luettu 6.11.2018.
- 19 Martikainen, Valtteri. 2013. Venttiileiden huolto. Insinööritö. Kymenlaakson Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 20 Istukkaventtiili AT 1040C. 2018. Verkkoaineisto. Armatec. <<https://www.armatec.com/fi/tuotteet/sulkuventtiilit-ac22f6ee/istukkaventtiilit/istukkaventtiili-at-1040c/>>. Luettu 2.11.2018.
- 21 Istukkaventtiilit. 2018. Verkkoaineisto. Konwell. <<https://www.konwell.fi/fi/tuotteet/hoyry-ja-lauhde/teollisuusventtiilit/istukkaventtiilit-teol/>>. Luettu 2.11.2018.
- 22 Istukkaventtiilit AT 1028B. 2018. Verkkoaineisto. Armatec. <<https://www.armatec.com/fi/tuotteet/sulkuventtiilit-ac22f6ee/istukkaventtiilit/istukkaventtiili-at-1028b/>>. Luettu 2.11.2018.
- 23 Toimilaitteelliset korkeapaineventtiilit. 2018. Verkkoaineisto. Konwell. <<https://www.konwell.fi/fi/tuotteet/hoyry-ja-lauhde/teollisuusventtiilit/istukkaventtiilit-teol/toimilaitteelliset-korkeapaineventtiilit/>>. Luettu 2.11.2018.
- 24 Hulkkonen, Veli. 1980. Pneumatiikka 1. Keuruu: Otava.
- 25 Liljaniemi, Antti. 2016. Hydraulikka ja pneumatiikka. Luentomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 26 Sales Manual Process Valves for the control of pneumatic actuators. 1998. Opas-kirja. Norgren Oy.

- 27 Magneettiventtiilit. 2018. Verkkoaineisto. Wexon Oy. <<https://www.wexon.fi/tuotteet/venttiilit/>>. Luettu 5.12.2018.
- 28 Induktiivinen rajakytkin. 2010. Verkkoaineisto. Metropolia koneautomaatio. <<https://wiki.metropolia.fi/display/koneautomaatio/Induktiivinen+rajakytkin>>. Luettu 13.12.2018.
- 29 Painelaitteet. 2018. Verkkoaineisto. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes. <<https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/painelaitteet>>. Luettu 21.12.2018.
- 30 Räjähdyksivaaralliset tilat. 2018. Verkkoaineisto. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes. <<https://tukes.fi/teollisuus/rajahdysvaaralliset-tilat/rajahdysvaarallisten-tilojen-laitteet-atex>>. Luettu 27.12.2018.
- 31 ATEX räjähdysvaarallisten tilojen turvallisuus. 2003. Turvatekniikan keskus. <<https://docplayer.fi/5600965-Atex-rajahdysvaarallisten-tilojen-turvallisuus.html>>. Luettu 2.1.2019.
- 32 Painelaitelaki 1144/2016. 2018. Verkkoaineisto. Finlex. <<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2016/20161144>>. Luettu 21.12.2018.
- 33 Painelaitedirektiivi 2014/68/EU. 2014. Verkkoaineisto. EUR-Lex. <<https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2014/68/oj>>. Luettu 21.12.2018.
- 34 Lehtinen, Jani. 2016. Vanhempien biokaasupumppaamoiden laitteiston ATEX-päivitykset. Insinööritoimisto. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 35 Laki räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäväksi tarkoitettujen laitteiden ja suojausjärjestelmien vaatimustenmukaisuudesta 1139/2016. 2016. Verkkoaineisto. Tukes. <<http://plus.edilex.fi/tukes/fi/lainsaadanto/20161139?toc=1>>. Luettu 2.1.2019.
- 36 PSK 6404. Teollisuuden tiivistelevyt. Ryhmittely, käyttö ja ominaisuudet. 2013. Perustietoa tiivistemateriaaleista. PSK Standardointi.
- 37 SFS-EN 161. Automatic shut-off valves for gas burners and gas appliances. 2013. Closing time for safety shut-down. Suomen standardoimisliitto SFS.
- 38 CP6606 Panel PC. 2019. Verkkoaineisto. Beckhoff. <https://beckhoff.fi/english.asp?industrial_pc/cp6606.htm?id=20810272123594962>. Luettu 24.1.2019.
- 39 EK1100 EtherCAT Coupler. 2019. Verkkoaineisto. Beckhoff. <<https://www.beckhoff.com/english.asp?ethercat/ek1100.htm>>. Luettu 24.1.2019.

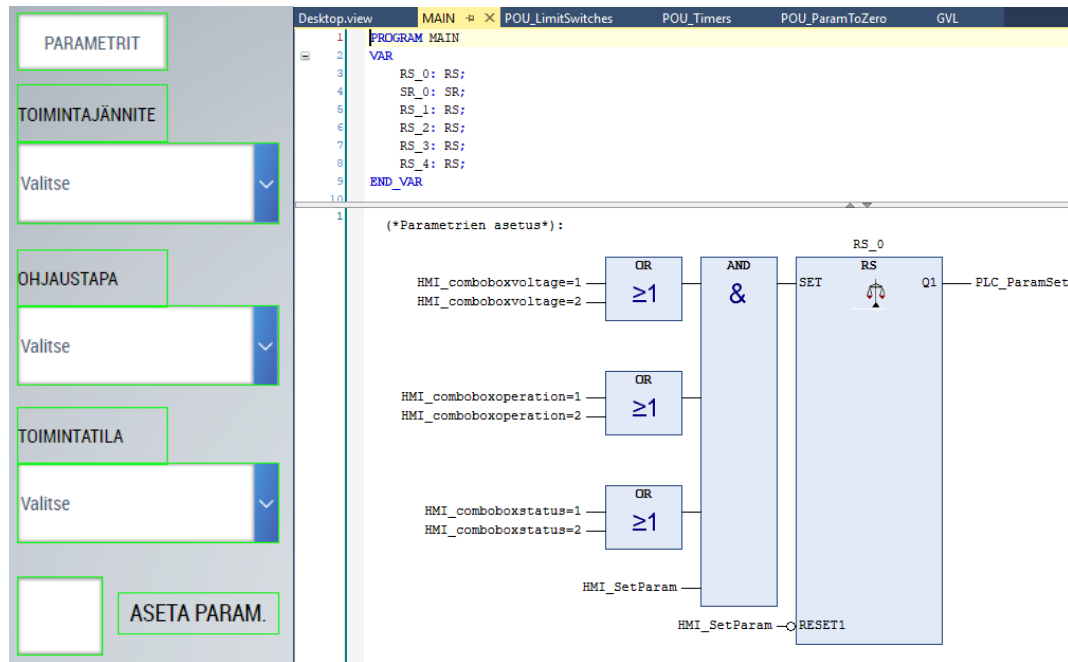
- 40 EL2008 8-channel digital output terminal. 2019. Verkkoaineisto. Beckhoff. <<https://www.beckhoff.com/EL2008/>>. Luettu 24.1.2019.
- 41 EL2602 2-channel relay output terminal. 2019. Verkkoaineisto. Beckhoff. <<https://www.beckhoff.com/english.asp?ethercat/el2602.htm>>. Luettu 24.1.2019.
- 42 EL9190 Potential supply terminal. 2019. Verkkoaineisto. Beckhoff. <<https://www.beckhoff.com/EL9190/>>. Luettu 29.1.2019.
- 43 EL1004 4-channel digital input terminal. 2019. Verkkoaineisto. Beckhoff. <<https://www.beckhoff.com/english.asp?ethercat/el1004.htm>>. Luettu 24.1.2019.
- 44 EL1054 4-channel digital input terminal NAMUR. 2019. Verkkoaineisto. Beckhoff. <<https://www.beckhoff.fi/>>. Luettu 29.1.2019.
- 45 BAE0002 Power supply. 2019. Verkkoaineisto. BALLUF. <<https://www.balluff.com/local/ca/productfinder/product/?key=BAE0002#/>>. Luettu 4.3.2019.
- 46 CX-One ja logiikkaohjelmointi. 2009. Verkkoaineisto. Omron. <https://www.myomron.com/downloads/9.local%20material/finnish/cx-one%20ja%20logiikkaohjelmointi%202009_2.pdf>. Luettu 31.1.2019.
- 47 TwinCAT 3 eXtended Automation Technology (XAT). 2012. Verkkoaineisto. Beckhoff. <https://download.beckhoff.com/download/document/catalog/Beckhoff_TwinCAT3_042012_e.pdf>. Luettu 31.1.2019.
- 48 FBD/LD/IL. 2019. Verkkoaineisto. Beckhoff. <https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tc3_plc_intro/135987851.html&id>. Luettu 1.2.2019.
- 49 Collin, Jari & Saarelainen, Ari. 2016. Teollinen internet. Helsinki: Talentum.
- 50 C9900-U330 Battery pack. 2019. Verkkoaineisto. Beckhoff. <https://www.beckhoff.com/english.asp?industrial_pc/c9900_u330.htm>. Luettu 1.2.2019.

TwinCAT 3 -sovellusohjelmistolla laadittu ohjelma

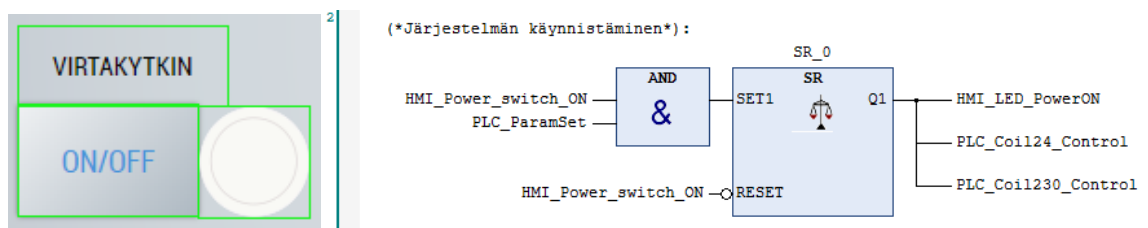
Toimilaiteventtiilikokonaisuuksien testaamiseksi luotiin TwinCAT 3 -sovellusohjelmistolla toimilohkokaaviomaista ohjelmointikieltä tulkitseva ohjelma, jonka avulla toteutetaan automaatiojärjestelmän ja testattavien komponenttien välinen signaalien ohjaaminen. Testausjärjestelmään tehdyllä käyttöliittymällä voidaan kirjoittaa ja lukea HMI-muuttujien ohjauskäskyjä testaamisen suorittamiseksi.

Pääohjelma MAIN

Pääohjelman kentässä 1 toteutetaan paneeli-PC:ltä määritettyjen parametrien käyttöönottoaminen, jossa määritetään käytettävän magneettiventtiilin toimintajännite, ohjaustapa ja toimintatila. Toimintajännitteeksi voidaan asettaa joko 24 V DC (HMI_comboboxvoltage=1) tai 230 V AC (HMI_comboboxvoltage=2). Ohjaustavaksi voidaan asettaa joko jousipalautteisen toimilaitteen ilmavirtauksia ohjaava 3/2-suuntaventtiili (HMI_comboboxoperation=1) tai kaksitoimisen toimilaitteen ilmavirtauksia ohjaava 5/2-suuntaventtiili (HMI_comboboxoperation=2). Toimintatilaksi voidaan asettaa joko normaalisti suljetun prosessiventtiilin tila (HMI_comboboxstatus=1) tai normaalisti avoimen prosessiventtiilin tila (HMI_comboboxstatus=2). Kun parametrit ovat paneeli-PC:ltä asetettu, otetaan ne käyttöön paneeli-PC:n kohdasta aseta parametrit (HMI_SetParam), jolloin PLC_ParamSet tulee aktiiviseksi. Parametrien käytöstä pois ottaminen tapahtuu painettaessa aseta parametrit -painonappia toisen kerran, jolloin PLC_ParamSet ei ole enää aktiivinen.

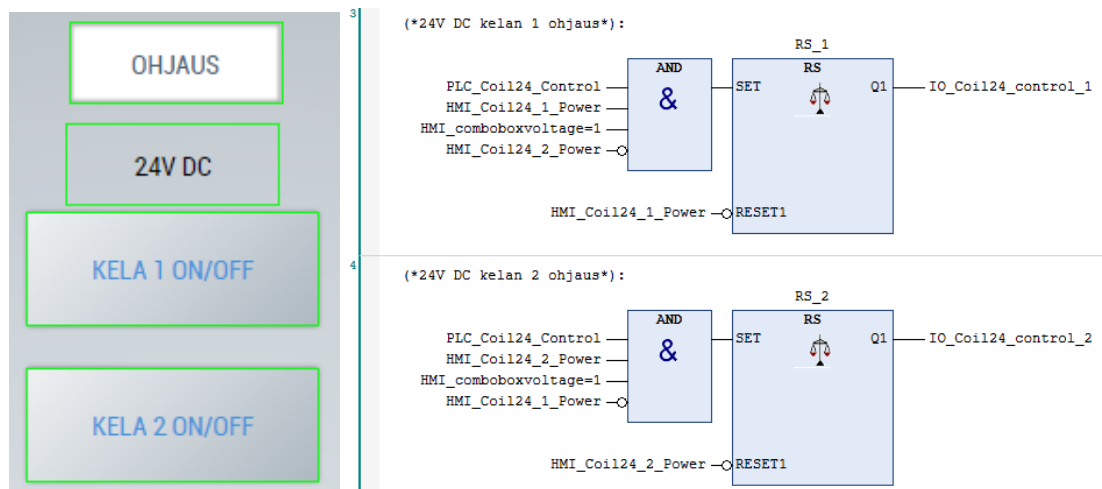


Kun parametrit ovat asetettu, suoritetaan kentässä 2 magneettiventtiilin kelojen ohjauksen alustaminen. Tämä edellyttää, että paneeli-PC:ltä kytketään järjestelmän virralliseksi virtakytkimestä (HMI_Power_switch_ON). Kun järjestelmä on virrallinen ja magneettiventtiilin kelojen ohjauksen alustaminen on suoritettu, syttyy paneeli-PC:ssä vihreä merkkivalo (HMI_LED_PowerON) sekä PLC_Coil24_Control ja PLC_Coil230_Control tulevat aktiivisiksi. Magneettiventtiilien ohjauksen alustaminen resetoituu, kun virtakytkin ei ole aktiivinen.

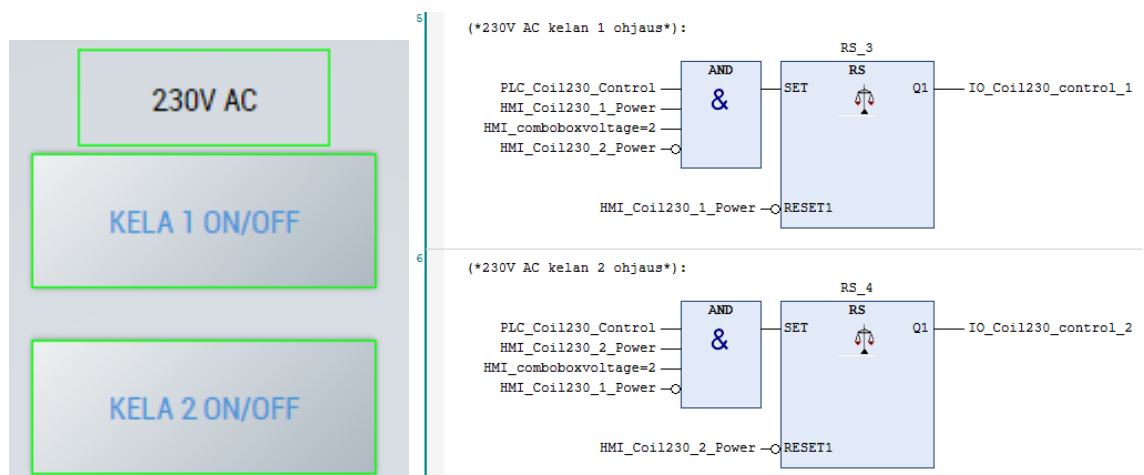


Ohjauksen alustamisen suoritettua, voidaan kentässä 3 ja 4 ohjata paneeli-PC:ltä 24 V DC magneettiventtiilin keloja jännitteisiksi ja jännitteettömiksi painonapeista kela 1 on/off ja kela 2 on/off (HMI_Coil24_1_Power ja HMI_Coil24_2_Power). Kelojen ohjaamiselle asetetut ehdot estävät kelan luistin ohjaamisen samanaikaisesti vastakkaisiin suuntiin (negatoidut HMI_Coil24_2_Power ja HMI_Coil24_1_Power). Lisäksi parametreissa

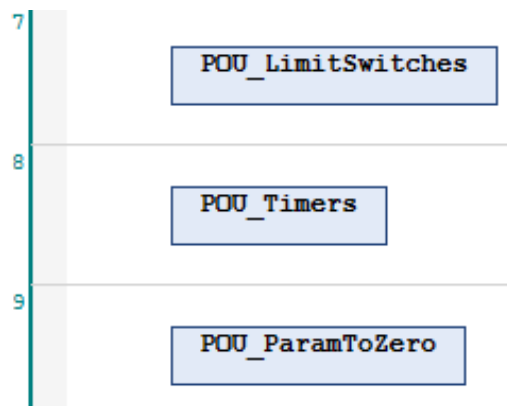
määritetyn jännitteen on oltava 24 V DC, jotta lähdöt (IO_Coil24_control_1 ja IO_Coil24_control_2) tulevat aktiivisiksi.



Kentissä 5 ja 6 on vastaavasti toteutettu 230 V AC magneettiventtiilin kelojen ohjaus. Painonapeista kela 1 on/off ja kela 2 on/off (HMI_Coil230_1_Power ja HMI_Coil230_2_Power) kelat ovat ohjattavissa jännitteiksi ja jännitteettömiksi. Kelojen ohjaamiselle asetetut ehdot estävät kelan luistin ohjaamisen samanaikaisesti vastakkaisiin suuntiin (negatoidut HMI_Coil230_2_Power ja HMI_Coil230_1_Power). Lisäksi parametreissa määritetyn jännitteen on oltava 230 V AC, jotta lähdöt (IO_Coil230_control_1 ja IO_Coil230_control_2) tulevat aktiivisiksi.

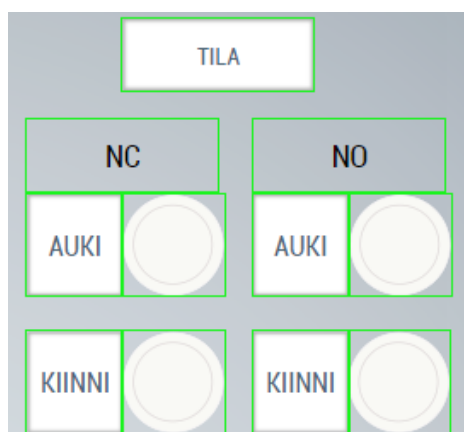


Jotta aliohjelmissa laaditut ohjelmaosuudet voidaan suorittaa, on pääohjelmassa kutsuttava kutakin aliohjelmaa kenttien 7-9 osoittamalla tavalla.



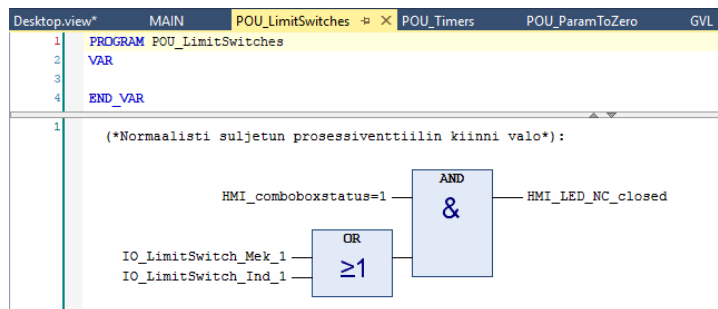
Aliohjelma POU_LimitSwitches

Paneeli-PC:lle luodulla käyttöliittymällä toteutetaan prosessiventtiilin tilatiedon tulkitseminen rajakytkimiltä merkkivalojen avulla. Rajakytkimien ylärajaa kuvastavat muuttujat ovat `IO_LimitSwitch_Mek_1` ja `IO_LimitSwitch_Ind_1`. Rajakytkinten alarajaa kuvastavat muuttujat ovat `IO_LimitSwitch_Mek_2` ja `IO_LimitSwitch_Ind_2`. Normaalisti suljetun prosessiventtiilin tilatietoa kuvastat merkkivalot ovat sidottu muuttujiin `HMI_LED_NC_closed` ja `HMI_LED_NC_open`. Normaalisti avoimen prosessiventtiilin tilatietoa kuvastat merkkivalot ovat sidottu muuttujiin `HMI_LED_NO_closed` ja `HMI_LED_NO_open`.

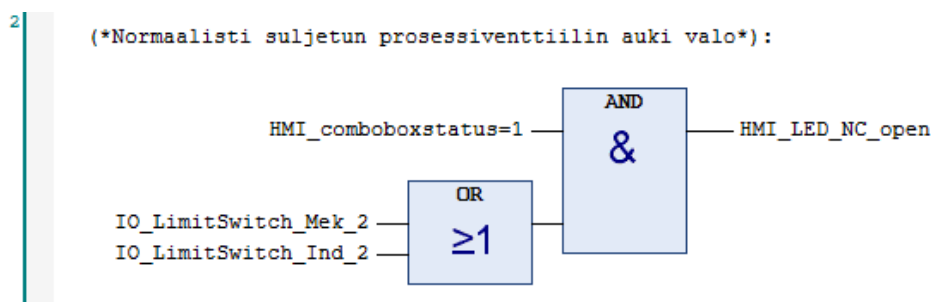


Normaalisti suljettu prosessiventtiili

Aliohjelman kentässä 1 mekaanisen tai induktiivisen rajakytkimen ylärajan muuttujan ollessa aktiivinen ja prosessiventtiilin toimintatilan ollessa normaalisti suljettu, syttyy paneeli-PC:ssä keltainen merkkivalo. Tämä ilmoittaa prosessiventtiilin olevan kiinni-asennossa.

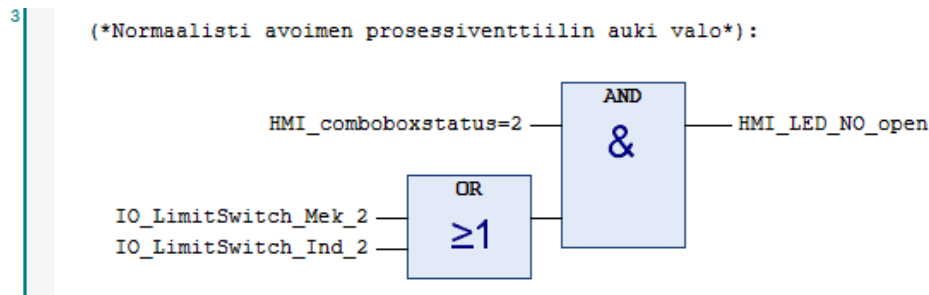


Aliohjelman kentässä 2 mekaanisen tai induktiivisen rajakytkimen alarajan muuttujan ollessa aktiivinen ja prosessiventtiilin toimintatilan ollessa normaalisti suljettu, syttyy paneeli-PC:ssä keltainen merkkivalo. Tämä ilmoittaa prosessiventtiilin olevan auki-asennossa.

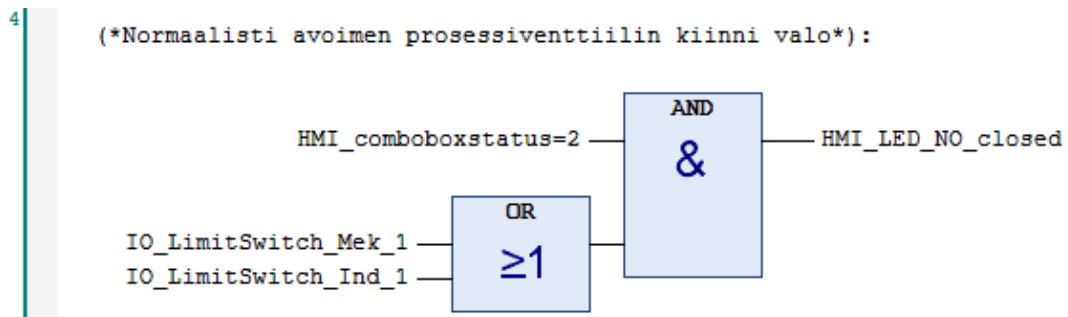


Normaalisti avoin prosessiventtiili

Aliohjelman kentässä 3 mekaanisen tai induktiivisen rajakytkimen alarajan muuttujan ollessa aktiivinen ja prosessiventtiilin toimintatilan ollessa normaalisti avoin, syttyy paneeli-PC:ssä keltainen merkkivalo. Tämä ilmoittaa prosessiventtiilin olevan auki-asennossa.



Aliohjelman kentässä 4 mekaanisen tai induktiivisen rajakytkimen ylärajan muuttujan ollessa aktiivinen ja prosessiventtiilin toimintatilan ollessa normaalisti avoin, syttyy paneeli-PC:ssä keltainen merkkivalo. Tämä ilmoittaa prosessiventtiilin olevan kiinni-asennossa.

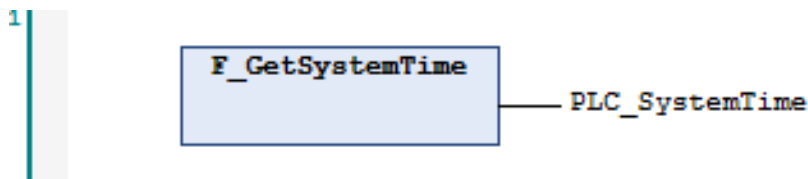


Aliohjelma POU_Timers

Aliohjelmassa on toteutettu prosessiventtiilin toiminta-aikojen määrittäminen. Aliohjelman ajastimien laukaisussa käytetään seuraavia funktioita.

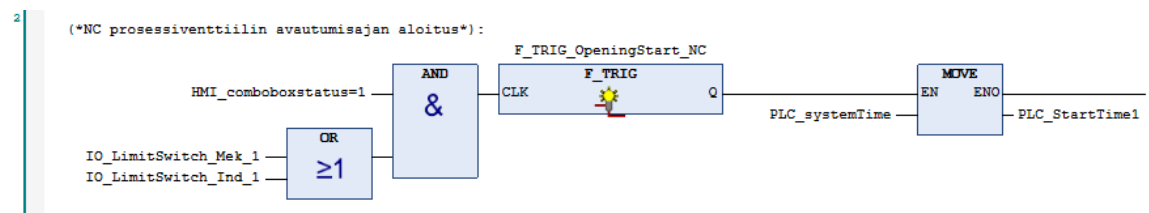
Desktop.view	MAIN	POU_LimitSwitches	POU_Timers
1	PROGRAM POU_Timers		
2	VAR		
3	PLC_SystemTime: ULINT;		
4	F_TRIG_OpeningStart_NC: F_TRIG;		
5	R_TRIG_OpeningStop_NC: R_TRIG;		
6			
7	F_TRIG_ClosingStart_NC: F_TRIG;		
8	R_TRIG_ClosingStop_NC: R_TRIG;		
9			
10	F_TRIG_ClosingStart_NO: F_TRIG;		
11	R_TRIG_ClosingStop_NO: R_TRIG;		
12			
13	F_TRIG_OpeningStart_NO: F_TRIG;		
14	R_TRIG_OpeningStop_NO: R_TRIG;		
15	END VAR		

Toiminta-aikojen määrittämiseksi Windows-järjestelmän reaaliaika kirjataan PLC_SystemTime muuttuun kentän 1 mukaisesti.

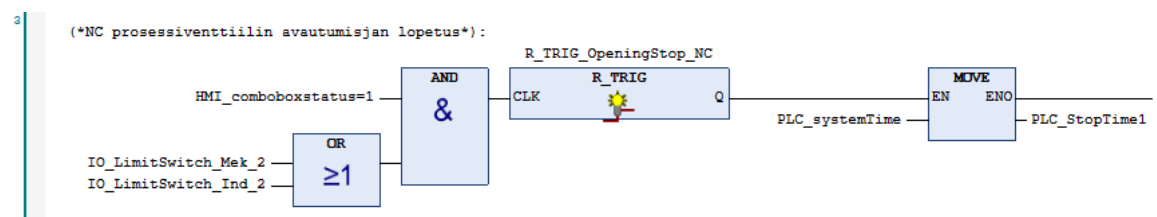


Normaalisti suljetun prosessiventtiilin toiminta-ajat

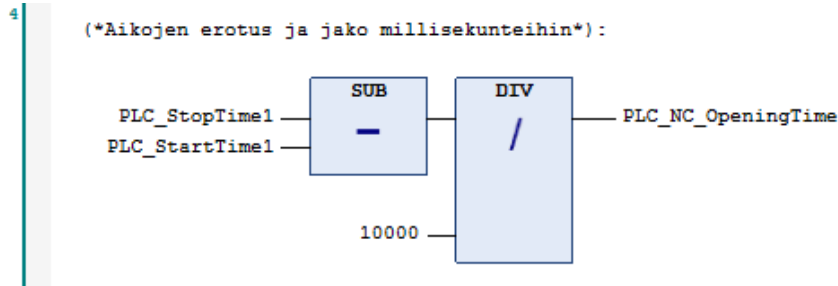
PLC_SystemTime-muuttujan avulla määritetään kentässä 2 normaalisti suljetun prosessiventtiilin avautumisen alkamisaika. Mekaanisen tai induktiivisen rajakytkimen ylärajan muuttujan signaalin laskevan reunan ajanhetki kirjataan PLC_StartTime1-muuttuun.



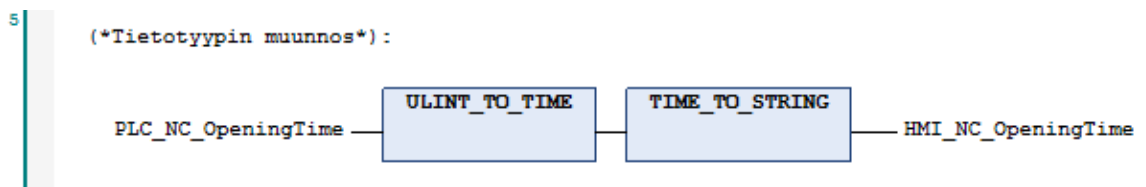
Aliohjelman kentässä 3 määritetään normaalisti suljetun prosessiventtiilin avautumisen pysähtymisaika. Mekaanisen tai induktiivisen rajakytkimen alarajan muuttujan signaalin nousevan reunan ajanhetki kirjataan PLC_StopTime1-muuttuun.



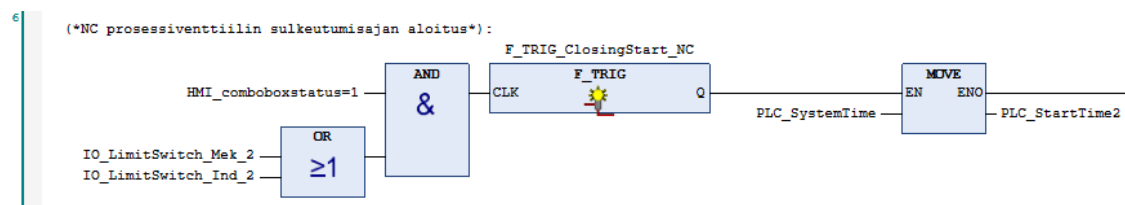
Avautumiseen käytetyn ajan määrittämiseksi suoritetaan kentässä 4 aikojen erotuslasku SUB-operaattorilla sekä jakolasku DIV-operaattorilla, jotta avautumiseen käytetty aika saadaan millisekunteina. Saatu tulos kirjataan PLC_NC_OpeningTime-muuttuun.



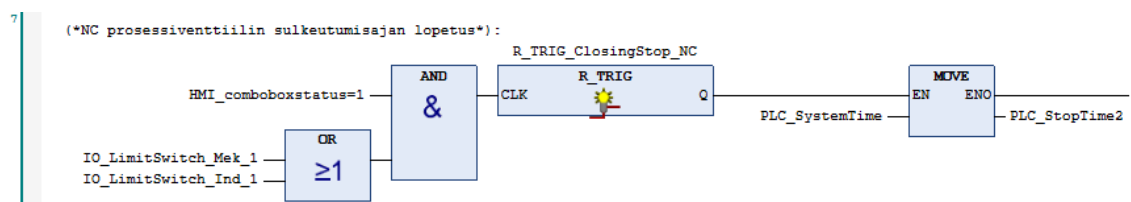
Eri tietotyyppien vuoksi on kentässä 5 suoritettava tietotyyppin muunnoksia. Paneeli-PC:ltä luettava normaalisti suljetun prosessiventtiilin avautumisaika kirjataan HMI_NC_OpeningTime-muuttujaan.



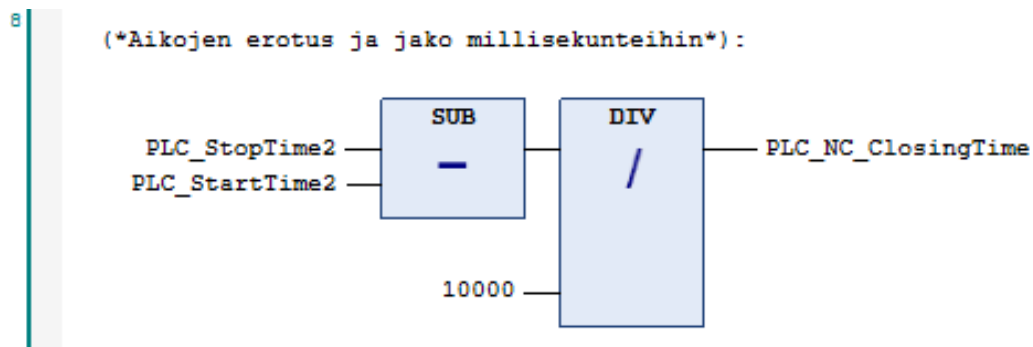
Aliohjelman kentässä 6 määritetään normaalisti suljetun prosessiventtiilin sulkeutumisen alkamisaika. Mekaanisen tai induktiivisen rajakytkimen alarajan muuttujan signaalin laskevan reunan ajanhetki kirjataan PLC_StartTime2-muuttujaan.



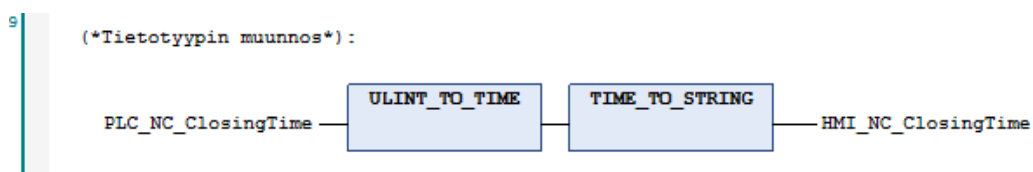
Aliohjelman kentässä 7 määritetään normaalisti suljetun prosessiventtiilin sulkeutumisen pysähtymisaika. Mekaanisen tai induktiivisen rajakytkimen ylärajan muuttujan signaalin nousevan reunan ajanhetki kirjataan PLC_StopTime2-muuttujaan.



Sulkeutumiseen käytetyn ajan määrittämiseksi suoritetaan kentässä 8 aikojen erotuslasku SUB-operaattorilla sekä jakolasku DIV-operaattorilla, jotta sulkeutumiseen käytetty aika saadaan millisekunteina. Saatu tulos kirjataan PLC_NC_ClosingTime-muuttujaan.

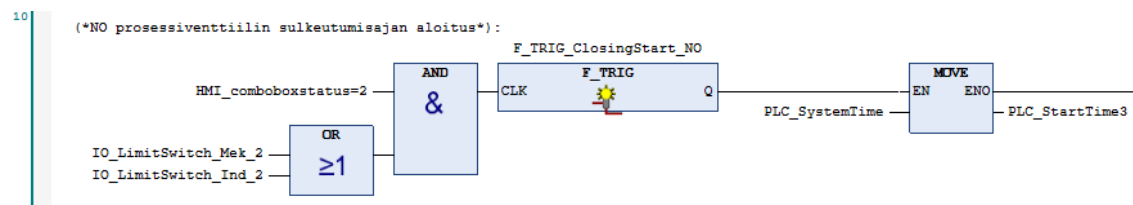


Eri tietotyyppien vuoksi on kentässä 9 suoritettava tietotyypin muunnoksia. Paneeli-PC:ltä luettava normaalisti suljetun prosessiventtiilin sulkeutumis aika kirjataan HMI_NC_ClosingTime-muuttujaan.

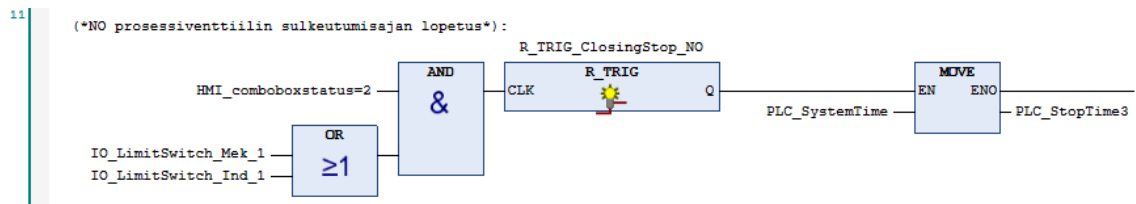


Normaalisti avoimen prosessiventtiilin toiminta-ajat

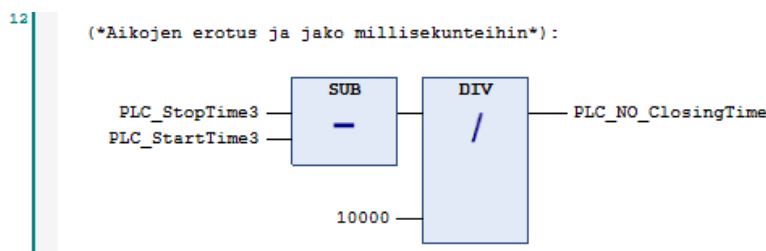
Aliohjelman kentässä 10 määritetään normaalisti avoimen prosessiventtiilin sulkeutumisen alkamisaika. Mekaanisen tai induktiivisen rajakytkimen alarajan muuttujan signaalin laskevan reunan ajanhetki kirjataan PLC_StartTime3-muuttujaan.



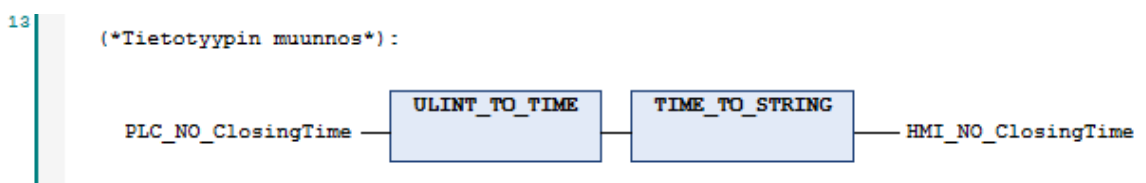
Aliohjelman kentässä 11 määritetään normaalisti avoimen prosessiventtiilin sulkeutumisen pysähtymisaika. Mekaanisen tai induktiivisen rajakytkimen ylärajan muuttujan signaalin nousevan reunan ajanhetki kirjataan PLC_StopTime3-muuttujaan.



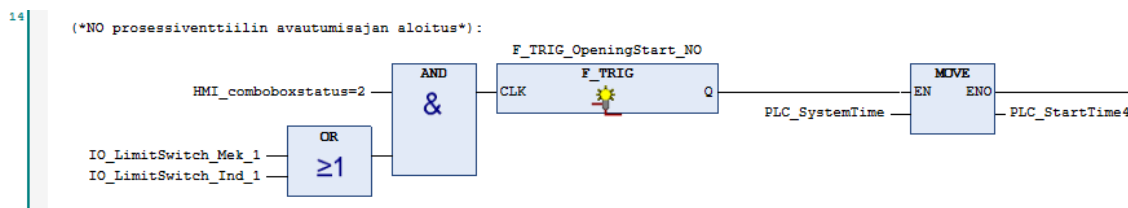
Sulkeutumiseen käytetyn ajan määrittämiseksi suoritetaan kentässä 12 aikojen erotuslasku SUB-operaattorilla sekä jakolasku DIV-operaattorilla, jotta sulkeutumiseen käytetty aika saadaan millisekunteina. Saatu tulos kirjataan PLC_NO_ClosingTime-muuttujaan.



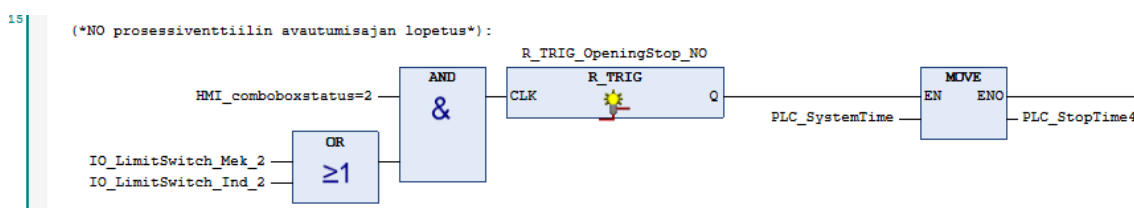
Eri tietotyyppien vuoksi on kentässä 13 suoritettava tietotyypin muunnoksia. Paneeli-PC:ltä luettava normaalisti avoimen prosessiventtiilin sulkeutumis aika kirjataan HMI_NO_ClosingTime-muuttujaan.



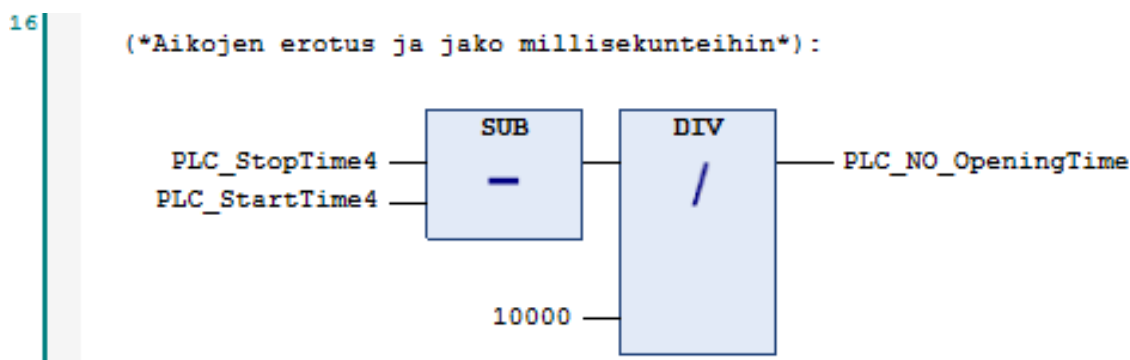
Aliohjelman kentässä 14 määritetään normaalisti avoimen prosessiventtiilin avautumisen alkamisaika. Mekaanisen tai induktiivisen rajakytkimen ylärajan muuttujan signaalin laskevan reunan ajanhetki kirjataan PLC_StartTime4-muuttujaan.



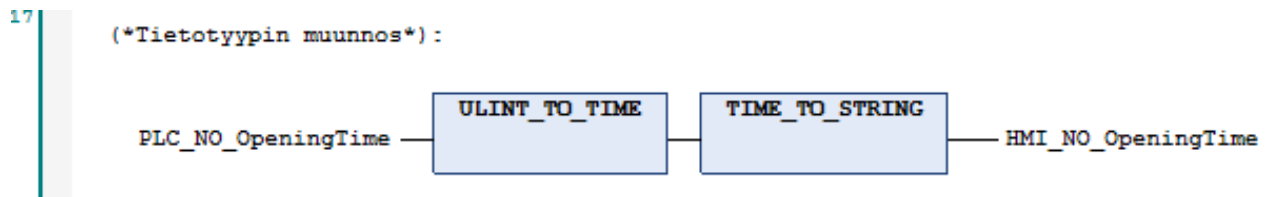
Aliohjelman kentässä 15 määritetään normaalisti avoimen prosessiventtiilin avautumisen pysähtymisaika. Mekaanisen tai induktiivisen rajakytkimen alarajan muuttujan signaalin nousevan reunan ajanhetki kirjataan PLC_StopTime4-muuttuun.



Avautumiseen käytetyn ajan määrittämiseksi suoritetaan kentässä 16 aikojen erotuslasku SUB-operaattorilla sekä jakolasku DIV-operaattorilla, jotta avautumiseen käytetty aika saadaan millisekunteina. Saatu tulos kirjataan PLC_NO_OpeningTime-muuttuun.



Eri tietotyyppien vuoksi on kentässä 17 suoritettava tietotyyppien muunnoksia. Paneeli-PC:ltä luettava normaalisti avoimen prosessiventtiilin avautumisaika kirjataan HMI_NO_OpeningTime-muuttuun.



Prosessiventtiilin avautumisen ja sulkeutumisen toiminta-ajat ovat luettavissa paneeli-PC:ltä.

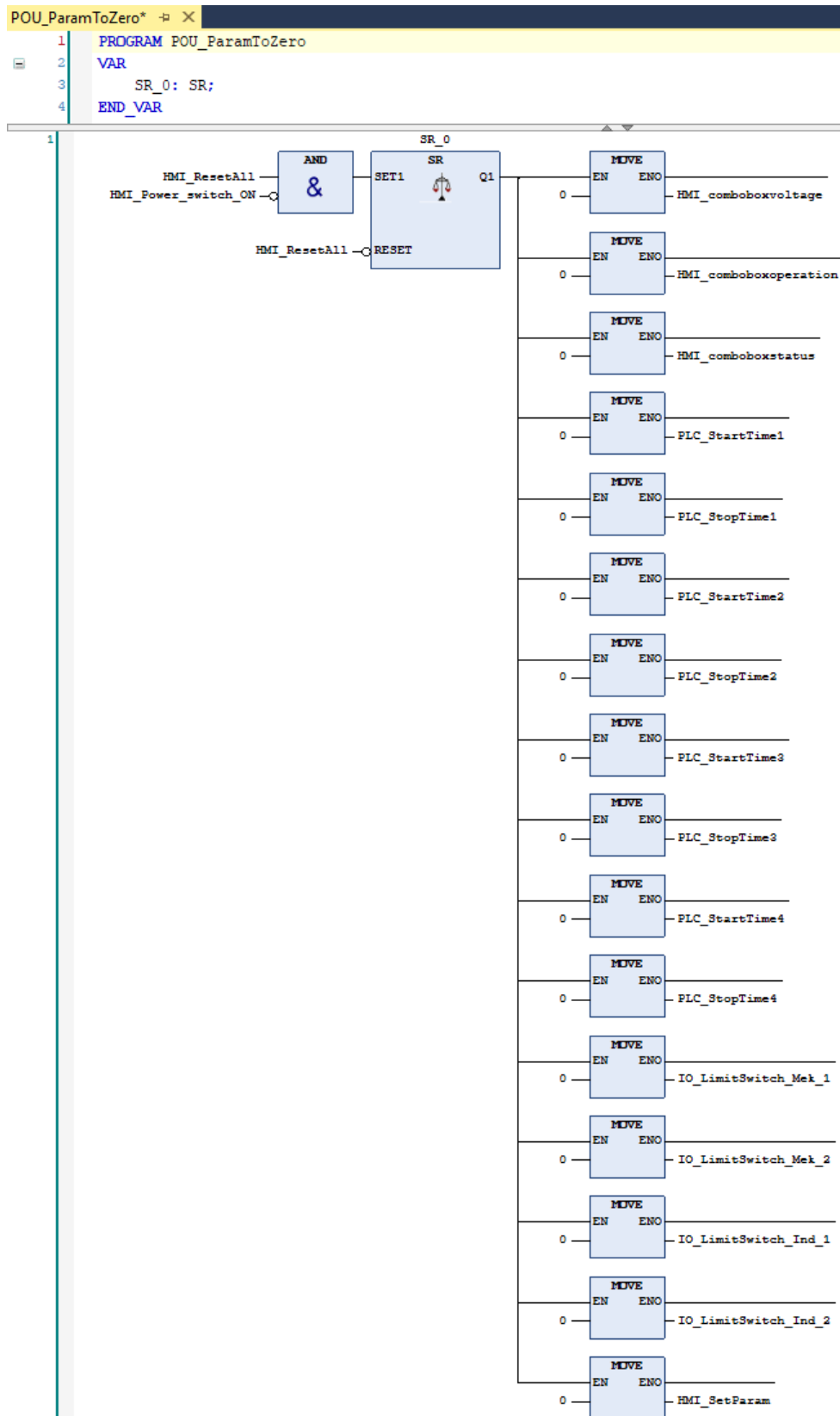
TOIMINTA-AJAT		
	AVAUTUMISAIKA	SULKEUTUMISAIKA
NC		
NO		

Aliohjelma POU_ParamToZero

Aliohjelmassa on toteutettu testaamisen jälkeinen parametrien, aseta parametrit -elementin, toiminta-aikojen määrittämisessä käytettyjen muuttujien ja rajakytkimien muuttujien resetoiminen. Näin uusi toimilaitteventtiilikokonaisuuden toiminnallisuuden testaaminen voidaan suorittaa lähtötilanteesta.

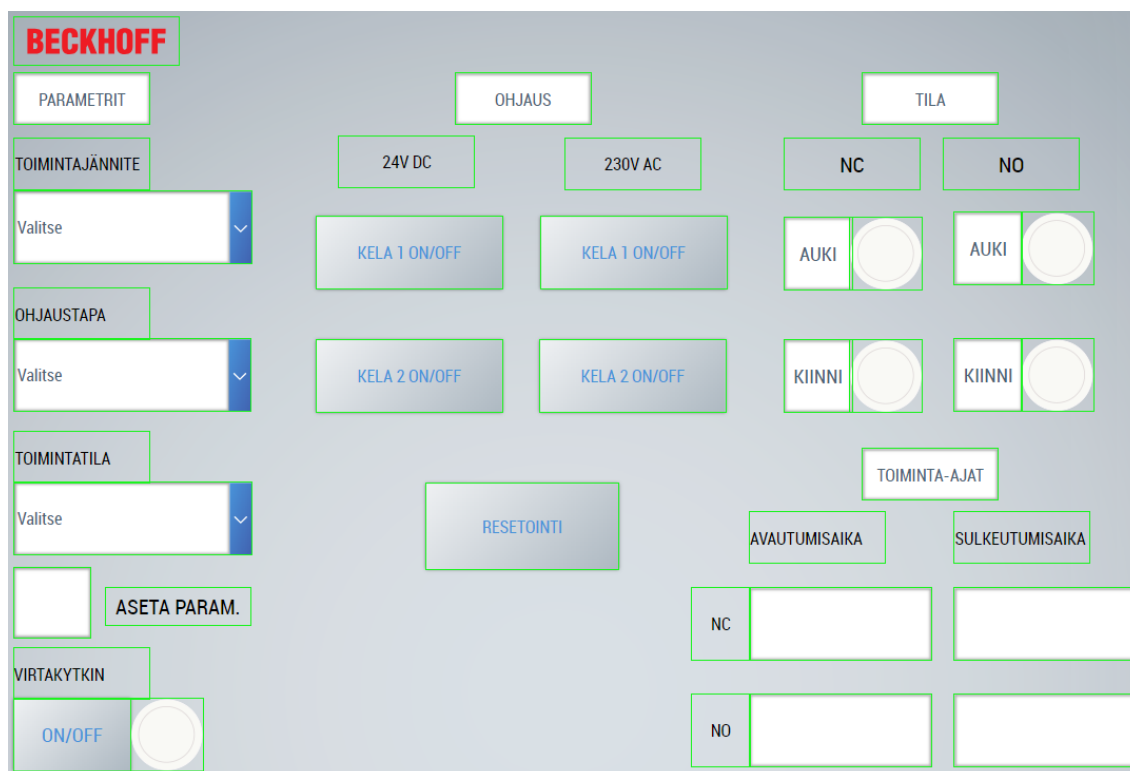
Aliohjelman kentässä 1 suoritetaan testaamisessa käytettyjen muuttujien resetoiminen paneeli-PC:n resetointi-painonapista, jolloin MOVE-operaattorit kirjoittavat muuttujille passiivisen arvon. Resetoimisen ehdoksi on määritetty, ettei virtakytkin saa olla aktiivinen arvoja uudelleen määritettäessä. Näin estetään magneettiventtiilin kelojen ohjauksen alustamisessa käytettyjen muuttujien mahdollisuus aikaansaada tahdottomia magneettiventtiilin luistin liikkeitä.





Paneeli-PC:lle luotu käyttöliittymä

TwinCAT 3 -sovellusohjelmiston HMI-työkaluilla luotiin paneeli-PC:lle käyttöliittymä. Sen vasemmassa laidassa suoritetaan parametrien asettaminen, magneettiventtiilin kelojen ohjauksen alustaminen sekä järjestelmän kytkeminen virralliseksi. Käyttöliittymän keski-osassa suoritetaan magneettiventtiilin kelojen ohjaus jännitteisiksi ja jännitteettömiksi sekä suoritetaan muuttujien resetoiminen. Käyttöliittymän oikeassa laidassa suoritetaan prosessiventtiilin tilatiedon lukeminen rajakytkimien antamien signaalien perusteella sekä luetaan ohjelmassa mitattuja prosessiventtiilin avautumiseen ja sulkeutumiseen käytettyä toiminta-aikaa.



GVL Muuttujalista

Ohjelmassa käytetyt muuttujat ja niiden tietotyypit kirjattiin GVL-muuttujalistaan. Muuttujien kohteen kuvaamiseksi määriteltiin kullekin muuttujalle oma etuliitteensä (HMI, IO tai PLC), jotta tiedetään missä käytetyt muuttujat ohjelman sisällä vaikuttavat. Esimerkiksi

HMI-muuttujia operoidaan paneeli-PC:lle luodulta käyttöliittymältä, IO-muuttujia operoidessa ohjataan tuloja ja lähtöjä sekä PLC-muuttujia operoidessa ohjataan ohjelmassa käytettyjä apumuuttujia.

```

1  VAR_GLOBAL
2  //parametrit
3  HMI_comboboxvoltage      : INT;          //käytettävä jännite: 1=24VDC, 2=230VAC
4  HMI_comboboxoperation    : INT;          //ohjaustapa: 1=jousipalautteinen, 2=kaksitoiminen
5  HMI_comboboxstatus       : INT;          //toimintatila: 1=normaalisti suljettu prosessiventtiili, 2=normaalisti avoin prosessiventtiili
6  HMI_SetParam             : BOOL;         //parametrien käyttöönotto
7  PLC_ParamSet              : BOOL;         //parametrit asetettu
8  HMI_Power_switch_ON      : BOOL;         //virtakytkin ohjauksen aloittamiseksi
9  HMI_LED_PowerON          : BOOL;         //järjestelmä virrallinen
10
11 //kelojen ohjaus 24V DC
12 HMI_Coil24_1_Power       : BOOL;         //24V DC kela 1 päälle/pois
13 HMI_Coil24_2_Power       : BOOL;         //24V DC kela 2 päälle/pois
14
15 //kelojen ohjaus 230V AC
16 HMI_Coil230_1_Power      : BOOL;         //230V AC kela 1 päälle/pois
17 HMI_Coil230_2_Power      : BOOL;         //230V AC kela 2 päälle/pois
18
19 //kelojen lähdöt
20 IO_Coil24_control_1      : BOOL;         //24V DC kela 1 ohjaus
21 IO_Coil24_control_2      : BOOL;         //24V DC kela 2 ohjaus
22 IO_Coil230_control_1     : BOOL;         //230V AC kela 1 ohjaus
23 IO_Coil230_control_2     : BOOL;         //230V AC kela 2 ohjaus
24
25 //ohjauksen käyttöönotto
26 PLC_Coil24_Control       : BOOL;         //24V DC kelojen ohjauksen alustus
27 PLC_Coil230_Control      : BOOL;         //230V AC kelojen ohjauksen alustus
28
29 //mekaaniset rajakytkimet
30 IO_LimitSwitch_Mek_1    : BOOL;         //rajakytkin yläraja
31 IO_LimitSwitch_Mek_2    : BOOL;         //rajakytkin alaraja
32
33 //induktiiviset rajakytkimet
34 IO_LimitSwitch_Ind_1    : BOOL;         //rajakytkin yläraja
35 IO_LimitSwitch_Ind_2    : BOOL;         //rajakytkin alaraja
36
37 //tilatietovalot
38 HMI_LED_NC_open         : BOOL;         //normaalisti suljetun prosessiventtiilin auki valo
39 HMI_LED_NC_closed       : BOOL;         //normaalisti suljetun prosessiventtiilin kiinni valo
40 HMI_LED_NO_open         : BOOL;         //normaalisti avoimen prosessiventtiilin auki valo
41 HMI_LED_NO_closed       : BOOL;         //normaalisti avoimen prosessiventtiilin kiinni valo
42
43 //ajastimet
44 PLC_SystemTime          : ULINT;        //windows-järjestelmän aika ajanottoa varten
45 PLC_StartTime1          : ULINT;        //NC prosessiventtiilin avautumisaajan aloitus
46 PLC_StopTime1           : ULINT;        //NC prosessiventtiilin avautumisaajan lopetus
47 PLC_NC_OpeningTime      : ULINT;        //NC prosessiventtiilin avautumiseen käytetty aika
48 HMI_NC_OpeningTime      : STRING;       //NC prosessiventtiilin avautumisaika käyttöliittymässä
49 PLC_StartTime2          : ULINT;        //NC prosessiventtiilin sulkeutumisaajan aloitus
50 PLC_StopTime2           : ULINT;        //NC prosessiventtiilin sulkeutumisaajan lopetus
51 PLC_NC_ClosingTime      : ULINT;        //NC prosessiventtiilin sulkeutumiseen käytetty aika
52 HMI_NC_ClosingTime      : STRING;       //NC prosessiventtiilin sulkeutumis aika käyttöliittymässä
53 PLC_StartTime3          : ULINT;        //NO prosessiventtiilin sulkeutumisaajan aloitus
54 PLC_StopTime3           : ULINT;        //NO prosessiventtiilin sulkeutumisaajan lopetus
55 PLC_NO_ClosingTime      : ULINT;        //NO prosessiventtiilin sulkeutumiseen käytetty aika
56 HMI_NO_ClosingTime      : STRING;       //NO prosessiventtiilin sulkeutumis aika käyttöliittymässä
57 PLC_StartTime4          : ULINT;        //NO prosessiventtiilin avautumisaajan aloitus
58 PLC_StopTime4           : ULINT;        //NO prosessiventtiilin avautumisaajan lopetus
59 PLC_NO_OpeningTime      : ULINT;        //NO prosessiventtiilin avautumiseen käytetty aika
60 HMI_NO_OpeningTime      : STRING;       //NO prosessiventtiilin avautumisaika käyttöliittymässä
61
62 //resetointi
63 HMI_ResetAll            : BOOL;         //muuttujien resetoiminen
64 END_VAR

```