

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS  
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS  
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

Tadas Karavackas

SKYSČIO LYGIO IR TEMPERATŪROS VALDYMO SISTEMA

Magistro darbas

**Vadovas**

doc. dr. G. Valiulis

ŠIAULIAI, 2013

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS  
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS  
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

**TVIRTINU**

Katedros vedėjas

doc. dr. G. Valiulis -

\_\_\_\_\_

(parašas)

2013-06

SKYSČIO LYGIO IR TEMPERATŪROS VALDYMO SISTEMA

Magistro darbas

**Vadovas**

\_\_\_\_\_ doc. dr. G. Valiulis

(parašas)

2013 - 06

**Atliko**

\_\_\_\_\_ EM-11gr. stud.

(parašas)

T.

Karavackas

**Recenzentas**

\_\_\_\_\_ dr. A. Grigaitis

(parašas)

2013- 06

ŠIAULIAI, 2013

## SANTRAUKA

T. Karavackas. Skysčio lygio ir temperatūros valdymo sistema: Elektros energetikos magistro darbas/mokslinis vadovas doc. dr. G. Valiulis; Šiaulių universitetas, Technologijos fakultetas, Elektros inžinerijos katedra. – Šiauliai, 2013 – 63p.

Pagrindinis darbo tikslas – sukurti skysčio lygio ir temperatūros valdymo sistemos standą, kuris bus naudojamas mokymo tikslams. Stendu galėtų naudotis studentai, besimokantys elektros inžinerijos ir automatinio valdymo teorijos.

Baigiamasis darbas susijęs su skysčio lygio ir temperatūros valdymo sistemos procesų imitacija.

Darbo teorinėje dalyje apžvelgiamos pagrindinės valdymo sąvokos ir apibrėžtys, pateikiama žinių apie valdymo sistemas, jų sudarymą, reguliatorius, skysčio lygio ir temperatūros sistemų apžvalga.

Tiriamajoje dalyje sudaromas tipinių skysčio lygio ir temperatūros reguliatorių tyrimas, sistemos imitacinis ir animacinis modelis. Aptariami rezultatai.

## SUMMARY

Karavackas T. Liquid Level and Temperature Control System. Electrical energy master degree; final thesis/supervisor Prof. Dr. G. Valiulis. Šiauliai University, Technological Faculty, Electrical Engineering Department. – Šiauliai, 2013. – 63p.

The main purpose – to create a liquid level and temperature control stand, which can be used for training purposes. Stand can use students, studying electrical engineering and automatic theory.

Final work related to the liquid level and temperature control system simulation processes.

Theoretical work provides an overview of basic management concepts and definitions of the knowledge management systems for their conclusion, the controller, liquid level and temperature systems.

The research formed part of the standard liquid level and temperature control study, system simulation and animation model. Results are discussed.

Paveikslų sąrašas:

2.1 pav. Pereinamasis procesas ir jo kokybės rodikliai .....	12
2.2 pav. Automatinio valdymo sistemos funkcinė schema (čia $x$ – užduoties signalas; $e$ – nuokrypis; $u$ – valdymo signalas; $f$ – trikdys; $y$ – išėjimo signalas; $y_1$ – grįžtamojo ryšio signalas).....	13
2.3 pav. Struktūrinė schema, naudojama paklaidos kompensavimo signalui sukurti .....	16
2.4 pav. Ryšys tarp įėjimo ir išėjimo erdvės.....	19
2.5 pav. Inteco Ltd. skysčio lygio valdymo sistemos vaizdas .....	21
2.6 pav. Mokomosios skysčio lygio valdymo sistemos funkcinė schema.....	22
2.7 pav. Festo vandens lygio stendas.....	23
2.8 pav. Vandens lygio, srauto, temperatūros ir oro slėgio procesų įrenginys.....	24
2.9 pav. Pramoninis valdiklis .....	24
2.10 pav. TwinCAT programinės įrangos langas .....	24
2.11 pav. Festo laboratorinio įrenginio schema.....	25
2.12 pav. Vandens lygio posistemės schema.....	25
2.13 pav. Vandens siurblys.....	26
2.14 pav. ultragalsinis jutiklis talpoje .....	26
2.15 pav. Ultragarsiniai jungikliai talpoje .....	27
2.16. pav. Vandens persipylimo indikatorius .....	27
2.17 pav. Jungiklis LS- 102.....	27
2.18 pav. Pneumatinis sklendės atidarymo/uždarymo mechanizmas.....	28
2.19 pav. Vandens lygio ir oro slėgio stendas .....	28
2.20 pav. Vandens lygio ir oro slėgio procesų įrenginio vaizdas .....	29
2.21 pav. Valdiklio vaizdas .....	30
2.22 pav. TwinCAT programinės įrangos langas.....	30
2.23 pav. Įrenginys (a) ir jo struktūrinė schema (b).....	30
2.24 pav. Įrenginio schema.....	32
3.1 pav. Sistemos funkcinė schema.....	36
3.2 pav. stendo sujungimų schema.....	37
3.3 pav. Operatoriaus valdymo panelės sujungimų schema.....	38
3.4 pav. Komutuojami įrenginiai.....	39
3.5 pav. „LabJack U12“ valdiklis.....	40
3.6 pav. Stiprintuvo blokas, kuris komutuoja valdymo reles.....	41
3.7 pav. valdiklis „Omron K3GN“ vaizdavimas sujungimų schemeje .....	41
3.8 pav. OP1 keitiklio vaizdavimas.....	42
3.9 pav. Skysčio lygio ir temperatūros valdymo sistemos vaizdas.....	43
3.10 pav. Vandens siurblys Resun B-2000.....	44

3.11 pav. Vandens siurblio Resun B-2000 našumo kreivė.....	45
3.12 pav. Skysčio siurblių vaizdas valdymo stende .....	45
3.13 pav. Atbulinės eigos vožtuvas .....	45
3.14 pav. Atbulinės eigos važtuvas valdymo stende. ....	46
3.15 pav. Kaitinimo elementas .....	47
3.16 pav. Kūgio formos talpa .....	47
3.17 pav. Siemens SSP31 pavara.....	48
3.18 pav. Stende naudojamas ventiliatorius a) ir jo aušinimui - ventiliatorius b) .....	48
3.19 pav. balansinė talpa.....	49
3.20 pav. Ventilis.....	49
3.21 pav. Ultragarsinis jutiklis 3RG6233-3TS00 .....	50
3.22 pav. Valdymo panelis .....	50
3.23 pav. Plokštė skirta signalo stiprinimui.....	51
3.24 pav. “LabJack U12” valdiklis.....	51
3.25 pav. Relės naudojamas stendo komponentų valdymui .....	52
3.26 pav. Skysčio talpyklos Simulink modelis.....	53
3.27 pav. Skysčio lygio reguliavimo tarp dviejų pasirinktų taškų eksperimento rezultatai .....	54
3.28 pav. Skysčio lygio reguliavimo tarp dviejų pasirinktų taškų eksperimento fargmentas .....	54
3.29 pav. Skysčio lygio reguliavimo tarp dviejų pasirinktų taškų eksperimento rezultatai, kai vandens vožtuvo sklendė atidaryta (100 %) .....	55
3.30 pav. Skysčio lygio reguliavimo tarp dviejų pasirinktų taškų eksperimento rezultatai, kai vandens vožtuvo sklendė atidaryta pusiau (50 %), išleidimo siurblys išjungtas.....	56
3.31 pav. Skysčio lygio reguliavimo eksperimento fragmentas, kai vandens vožtuvo sklendė atidaryta pusiau (50 %), išleidimo siurblys išjungtas .....	56
3.32 pav. Skysčio lygio reguliavimo tarp dviejų pasirinktų taškų eksperimento rezultatai, kai vandens vožtuvo sklendė atidaryta (100 %), išleidimo siurblys išjungtas .....	57
3.33 pav. Skysčio lygio reguliavimo eksperimento fragmentas, kai vandens vožtuvo sklendė atidaryta (100 %), išleidimo siurblys išjungtas .....	57
3.34 pav. Skysčio lygio reguliavimo keičiant ištraukiamo skyčio sklendės padėtį eksperimento rezultatai ( $e_{h,h} = e_{h,l} = 0,5$ cm).....	59
3.35 pav. Skysčio lygio reguliavimo keičiant ištraukiamo skyčio sklendės padėtį eksperimento rezultatų fragmentas (siekiamas skysčio lygis – 50 cm, $e_{h,h} = e_{h,l} = 0,5$ cm) .....	59
3.36 pav. Skysčio šildymas ir aušinimas iki nustatytos temperatūros.....	60
3.37 pav. Skysčio šildymas ir aušinimas iki nustatytos temperatūros, eksperimento metu įjungiant ventiliatorių.....	61

# TURINYS

Paveikslų sąrašas .....	6
1. ĮVADAS .....	8
2. TEORINĖ DALIS .....	9
2.1. Valdymo sistemos .....	9
2.1.1. Automatinis ir rankinis valdymas .....	9
2.1.2. Pagrindinės sąvokos ir apibrėžtys .....	10
2.1.3. Valdymo sistemų sudarymo metodai, klasifikacija, tipinė funkcinė schema, valdymo principai .....	12
2.1.4. Valdymo sistemų kokybė, struktūra, funkciniai elementai .....	13
2.1.5. Regulatoriai .....	15
2.2. Tradicinis valdymas .....	15
2.2.1. Proporcingas valdymas .....	15
2.2.3. Integralinis valdymas .....	16
2.2.4. Diferencialinis valdymas .....	17
2.3. Fuzzy valdymas .....	18
2.3.1. Įvadas į fuzzy logiką .....	18
2.3.2. Fuzzy logikos taikymo sritys .....	19
2.4. Skysčio lygio ir temperatūros reguliavimo sistemų apžvalga. ....	21
3. PRAKTINĖ- TIRIAMOJI DALIS .....	33
3.1. Eksperimentinės – mokomosios skysčio lygio ir temperatūros sistemos reikalavimų specifikacija .....	33
3.2. Sistemos funkcinės schemos sudarymas .....	36
3.3. Sistemos sujungimų schemos sudarymas .....	37
3.4. Sistemos montavimas, integravimas, derinimas ir jos bandymai .....	43
3.5. Skysčio talpyklos Simulink modelis .....	53
3.6. Tipinių skysčio lygio ir temperatūros reguliatorių tyrimas .....	54
3.6.1. Skysčio lygio reguliavimas veikiant įleidimo ir išleidimo siurbliams, kai sklendė atidaryta pusiau (50 %) .....	54
3.6.2. Skysčio lygio reguliavimas veikiant įleidimo ir išleidimo siurbliams, kai sklendė atidaryta (100 %) .....	55
3.6.3. Skysčio lygio reguliavimas veikiant įleidimo siurbliui, kai sklendė atidaryta (50 %) .....	55
3.6.4. Skysčio lygio reguliavimas veikiant įleidimo siurbliui, kai sklendė atidaryta (100 %), išleidimo siurblys išjungtas .....	57
3.6.5. Skysčio lygio reguliavimas keičiant ištraukiamo skysčio sklendės padėtį .....	58
3.6.6. Skysčio šildymas iki nustatytos temperatūros, įjungtas ventiliatorius ir išleidimo siurblys .....	60
4. SISTEMOS TOLIMESNIO IŠPLĖTIMO GALIMYBĖS .....	61
5. REZULTATAI IR IŠVADOS .....	62
6. LITERATŪRA .....	63

## 1. ĮVADAS

Vienas iš svarbiausių veiksnių, spartinančių techninę pažangą, yra gamybos procesų automatizavimas.

Šiuolaikinėmis technikos priemonėmis galima automatizuoti kiekvieną gamybos šaką. Pirmiausia automatizuojami tie procesai, kurių žmogus tiesiogiai valdyti nepajėgia arba kurie yra pavojingi jo sveikatai ar net gyvybei.

Automatizavus gamybos procesus, ekonomiškiau eksploatuojami įrenginiai ir technologiniai objektai, sumažėja avarijų, pagerėja darbo sąlygos, padidėja darbo našumas, sumažėja medžiagų, energijos ir darbo sąnaudos, gerėja produkcijos kokybė [1].

Visuose mūsų kasdienės veiklos srityse funkcionuoja daugybė įvairių tipų valdymo sistemų. Pavyzdžiui, patogios gyvenimo ir darbo sąlygos yra palaikomos namų bei įstaigų temperatūrai bei drėgmei reguliuoti naudojant šildymo bei oro kondicionavimo sistemas. Šias sistemas valdant mikroprocesoriais ir kompiuteriais, galima pasiekti maksimalių energijos sąnaudų efektyvumą. Įvairių tipų valdymo sistemos plačiai naudojamos ne tik pramonės srityse, bet ir sprendžiant ekonomines, socialines, transporto sistemų valdymo, krašto apsaugos, aplinkos apsaugos, ir kt. problemas [2].

Inžineriniams uždaviniams spręsti labai dažnai taikomas matematinis modeliavimas. Todėl geras inžinierius turi išmanyti modelių sudarymo principus. Imitacinis modelis naudojamas sistemos procesams imituoti, t.y. gauti informacijos apie nagrinėjamą sistemą, neatliekant realaus eksperimento. Daugeliu atvejų tai yra naudinga (pvz., sutaupoma laiko, galima analizuoti dar (arba jau) neegzistuojančias sistemas, lengvai tirti parametrų įtaką, aiškiau ir vaizdžiau pateikti rezultatus ir t.t.). Tačiau labai dažnai yra sunku įvertinti visus sistemos parametrus, trikdžius ir sudaryti idealų sistemos modelį.

Baigiamasis darbas susijęs su skysčio lygio ir temperatūros valdymo sistemos procesų imitacija.

Pagrindinis darbo tikslas – sukurti skysčio lygio ir temperatūros valdymo sistemos standą, kuris bus naudingas kaip mokymo priemonė. Stendu galėtų naudotis studentai, elektros inžinerijos ir valdymo teorijos įgūdžiams tobulinti. Modelį galima naudoti ir kaip mokslinių tyrimų objektą.

Darbo teorinėje dalyje apžvelgiamos pagrindinės valdymo sąvokos ir apibrėžtys, pateikiama žinių apie valdymo sistemas, jų sudarymą, reguliatorius, skysčio lygio ir temperatūros sistemų apžvalga.

Tiriamąjoje dalyje sudaromas tipinių skysčio lygio ir temperatūros geruliatorių tyrimas, sistemos imitacinis ir animacinis modelis. Aptariami rezultatai.



## 2. TEORINĖ DALIS

### 2.1. Valdymo sistemos

#### 2.1.1. Automatinis ir rankinis valdymas

Automatinio valdymo sistemų reikšmė šiuolaikinei visuomenei yra labai didelė. Mes priklausome nuo šių sistemų tokiu mastu, kad gyvenimas be jų būtų tiesiog neįsivaizduojamas.

Automatinis valdymas leidžia padidinti kiekvieno darbininko darbo našumą, išvaduoti kvalifikuotą operatorių nuo rutininių darbų ir padidinti atliekamų darbų apimtį. Valdymo sistemos pagerina gaminių kokybę ir padidina jų vienodumą; daugelio mūsų naudojamų daiktų būtų neįmanoma pagaminti nesant automatinio valdymo.

Automatinio valdymo sistemos leidžia padidinti gamybos efektyvumą, sumažinti žaliavų ir energijos nuostolius, teikia pranašumą iškant aplinkos apsaugos būdų. Darbo saugumas yra kitas automatinio valdymo privalumas: automatiniai robotai ir manipulatoriai pakeičia žmogų agresyvioje ar kenksmingoje aplinkoje. Tokios namų ūkio valdymo sistemos, kaip šildymo ir kondicionavimo sistemos ar automatinio ryšio sistemos, teikia mūsų gyvenimui jaukumo ir patogumo. [2].

Automatinio reguliavimo sistema (ARS) vadinama tokia valdymo sistema, kurioje yra grįžtamasis ryšys. Taigi ARS yra uždaroji valdymo sistema [1].

Valdymo inžinerija nagrinėja įvairių sistemų matematinius modelius, tiria jų dinamiką ir pagal valdymo teorijos žinias sudaro sistemą valdantį reguliatorių

Automatinių valdymo sistemų privalumai:

- didelis saugumas ir efektyvumas;
- nereikalauja didelių žmogiškųjų ir materialinių resursų;
- paprastumas, pigumas ir patogumas;
- didelis našumas ar greitis;
- ... .

Lyginant su rankiniu, kiekvienas paminėtas privalumas yra gana sąlyginis ir priklauso nuo konkrečios situacijos. Automatinis valdymas dažnai yra nepakeičiamas, bet yra sričių, kur rankinis valdymas yra žymiai efektyvesnis (pvz., kvalifikuotas policijos pareigūnas sankryžoje rytinių kamščių metu).

### 2.1.2. Pagrindinės sąvokos ir apibrėžtys<sup>1</sup>

**Valdymas** – tai toks vieno ar kito proceso organizavimas (vertimas, nukreipimas, reguliavimas, vadovavimas ar kt.), kuris leidžia pasiekti užsibrėžtus tikslus.

**Sistema** – tai aibė fizinių komponentų, sujungtų ar susietų taip, kad sudarytų visumą ir/arba veiktų kaip visuma.

**Valdymo sistema** – tai aibė komponentų, sujungtų ar susietų taip, kad valdytų save arba kitą sistemą.

**Automatinis valdymas** – tai toks procesas, kai visos pagrindinės sistemos darbo ir valdymo operacijos (t.y. visų sistemos elementų funkcijos) yra atliekamos *automatiškai*, žmogui (operatoriui) tiesiogiai nedalyvaujant.

**Funkcinė schema** – tai toks grafinis sistemos ar proceso vaizdavimo būdas, kai kiekvieną *funkcinį* sistemos ar proceso *komponentą* atitinka apibrėžtas schemas elementas (blokas).

**Struktūrinė schema** – tai grafinis sistemą ar procesą aprašančių lygčių (*matematinio modelio*) vaizdavimo būdas, kai kiekvieną kintamųjų arba signalų pakeitimo *matematinę operaciją* atitinka atskiras šios schemas elementas (blokas).

**Valdymo objektas (įrenginys, procesas ar valdymo sistema)** – tai kiekvienas valdymo reikalaujantis fizinis objektas (elektrinis, mechaninis, šiluminis ar kt.) arba procesas (cheminis, ekonominis, socialinis, biologinis ar kt.).

**Valdomasis išėjimas (valdymo rezultatai)  $y$**  – tai valdymo objekto išėjimo signalas (kintamasis) – objekto reakcija.

**Užduoties įėjimas (valdymo tikslai)  $x$**  – tai išorinis valdymo sistemą veikiantis signalas (kintamasis), skirtas apibrėžtam valdymo objekto veiksmui valdyti. Dažnai jis išreiškia idealų (arba norimą) valdymo objekto reakcijos kitimo pobūdį.

**Valdymo signalas (kintamasis)  $u$**  – tai reguliatoriaus (kompensatoriaus) suformuotas poveikis valdymo objektui.

**Grižtamojo ryšio signalas (kintamasis)  $y_I$**  – tai sistemos valdomojo išėjimo (valdymo rezultatų) funkcija, naudojama nuokrypiui arba paklaidai apskaičiuoti ir formuoti.

**Nuokrypis** arba **valdymo paklaida  $e$**  – tai dydis, rodantis, kiek sistemos valdymo rezultatai skiriasi nuo valdymo tikslų.

**Trikdys** – tai nepageidautinas vidinis arba išorinis poveikis (kintamasis), darantis žalingą įtaką valdomojo išėjimo (valdymo rezultatų) vertei.

---

<sup>1</sup> Parengta pagal Januševičius V. S. *Automatinis valdymas: teorija, uždaviniai, sprendimai*. Kaunas: Technologija, 2003. 554 p.

**Atviroji valdymo sistema** – tai sistema, kurioje valdomasis išėjimas (valdymo rezultatai) priklauso vien tik nuo užduoties įėjimo (valdymo tikslų), t.y. valdymo procese neįvertinama tikroji valdomojo išėjimo vertė.

**Uždaroji valdymo sistema** – tai grįžtamojo ryšio sistema, kurioje valdymo algoritmas (dėsnis) yra sudaromas panaudojant išmatuoto valdomojo išėjimo ir užduoties įėjimo palyginimo rezultata – nuokrypį (valdymo paklaidą).

**Regulatorius (kompensatorius)** – tai ta valdymo sistemos dalis, kurioje generuojamas objekto valdymo signalas (siekiant pagerinti sistemos valdymo statines, dinamines ir stabilumo charakteristikas).

**Valdymo algoritmas (dėsnis)** – tai matematinė priklausomybė, rodanti, kaip regulatoriaus (kompensatoriaus) įėjimas yra paverčiamas objekto valdymo poveikiu (valdymo signalu).

**Pozicionavimo sistema** – tai specializuota uždaroji valdymo sistema, kurios valdomasis išėjimas yra *mechaninė padėtis (pozicija)*, jos kitimo greitis arba pagreitis.

Matematinė išraiška pateiktas fizinės sistemos arba proceso elgsenos aprašymas yra vadinamas **matematiniumi modeliu**.

**Diferencialine lygtimi** vadinama kiekviena algebrinė arba transcendentinė lygtis, turinti išvestinių arba diferencialų.

Antrosios eilės sistemos **savasis (neslopinamas) dažnis**  $\omega_n$  yra tas jos pereinamosios reakcijos svyravimų dažnis, kai šios reakcijos slopinimas lygus nuliui.

Antrosios eilės sistemos pereinamųjų procesų **slopinimo koeficientu**  $\xi$  vadinamas jos svyruojančiosios pereinamosios reakcijos eksponentės gaubtinės slopimo greičio  $\alpha$  ir savojo (neslopinamo) dažnio santykis:

$$\xi = \frac{\alpha}{\omega_n}.$$

Valdymo **statinė paklaida** yra **dinaminės paklaidos**  $e(t) = x(t) - y(t)$  nusistovėjusi vertė, kai  $t \rightarrow \infty$ .

Reakcijos **maksimaliu perreguliavimu** (angl. *overshoot*)  $M_p$  vadinamas maksimalus skirtumas tarp vienetinės šuolinės reakcijos ir jos nusistovėjusios (kai  $t \rightarrow \infty$ ) vertės.

Jeigu reakcijos nusistovėjusi vertė nelygi vienetui, tai maksimalus perreguliavimas išreiškiamas santykiniais vienetais arba procentais:

$$M_p = \frac{y_p(t) - y_s(t)}{y_s(t)} \cdot 100\% ; \quad (2.1)$$

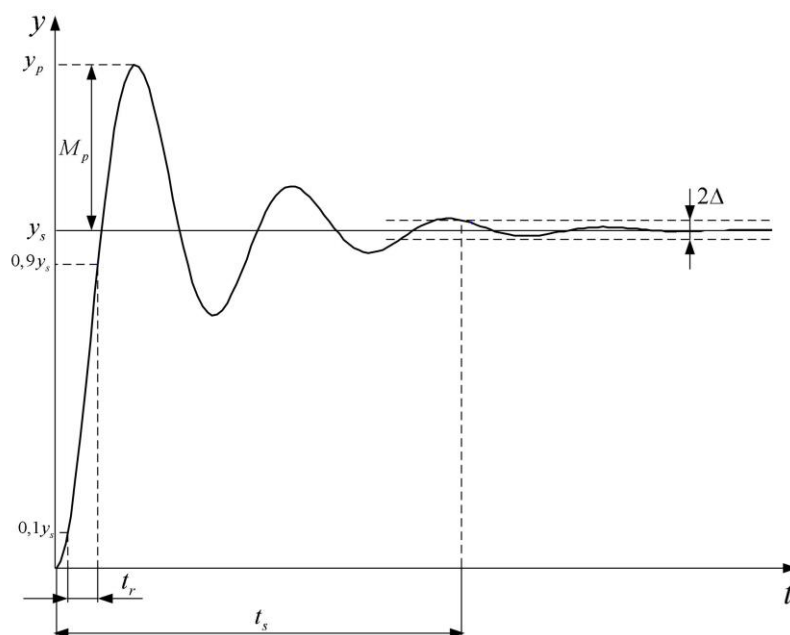
čia  $y_p(t)$  – maksimali reakcijos signalo vertė;  $y_s(t)$  – nusistovėjusi reakcijos signalo vertė.

Reakcijos **didėjimo (augimo) trukmė** (angl. *rise time*)  $t_r$  – tai laiko intervalas, per kurį sistemos reakcija pasiekia vertę nuo 10 iki 90 proc. nusistovėjusios vertės.

Sistemos **pereinamojo proceso trukmė** (angl. *settling time*) – reguliavimo trukmė  $t_s$  – tai minimalus laiko intervalas, per kurį slopstantys reakcijos svyravimai pasiekia jos nusistovėjusiajai (kai  $t \rightarrow \infty$ ) vertei artimą sritį  $\Delta$  ir joje lieka.

Srities  $\Delta$  ribas dažnai apibrėžia sistemos valdymo leistinoji statinė paklaida (paprastai 2 arba 5 proc.).

Pagrindiniai pereinamojo proceso kokybės rodikliai pateikiami 2.1 pav.



2.1 pav. Pereinamasis procesas ir jo kokybės rodikliai

### 2.1.3. Valdymo sistemų sudarymo metodai, klasifikacija, tipinė funkcinė schema, valdymo principai

Kiekvieną valdymo sistemą, nepriklausomai nuo jos tipo ar fizinės kilmės, apibūdina

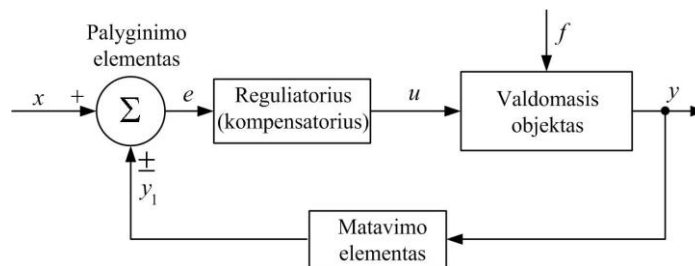
- valdymo tikslai;
- sistemos komponentai;
- valdymo rezultatai.

Sistemų modelius galima sudaryti naudojant du skirtingus metodus: analitinį modeliavimą ir eksperimentinį modeliavimą (sistemų identifikavimą). Analitinis modeliavimas yra grindžiamas sisteminiu fizikos dėsnių taikymu sistemos komponentams, norint gauti jų matematinį aprašymą

(modelį). Modelius taip pat galima sudaryti vykdant identifikavimo eksperimentą, kurio metu užregistruoti sistemos įėjimo ir išėjimo duomenys panaudojami prognozuojamos modelio struktūros nežinomiems parametrams įvertinti.

Automatinės sistemos skirstomos pagal naudojamą energijos rūšį ar fizinę kilmę (elektrines, mechanines, hidraulinės, pneumatines, šilumines, biologines ir kt.), pagal paskirtį (pozicionavimo, sekimo, stabilizavimo, programinio valdymo ir kt.), pagal valdomąjį parametą (padėties, greičio, lygio, temperatūros, slėgio ir kt.), pagal įėjimų/išėjimų skaičių ir kt.

Valdymo sistemos sandarai aprašyti ir jos elementų paskirčiai paaiškinti, naudojamos funkcinės schemas (2.2 pav.).



2.2 pav. Automatinio valdymo sistemos funkcinė schema (čia  $x$  – užduoties signalas;  $e$  – nuokrypis;  $u$  – valdymo signalas;  $f$  – trikdys;  $y$  – išėjimo signalas;  $y_1$  – grįžtamojo ryšio signalas)

Šiuolaikinėje valdymo praktikoje, priklausomai nuo informacijos apie valdomąjį objektą ir jį veikiančius išorinius poveikius, taikomi šie pagrindiniai valdymo principai [1]:

- *atvirojo valdymo principas*, kai objekto valdymo algoritmas (dėsnis) yra suformuojamas remiantis vien tik jo funkcionavimo algoritmu, t.y. valdymo algoritmas nepriklauso nei nuo objekto veikiančių išorinių poveikių (trikdžių), nei nuo jo valdymo rezultatų;
- *išorinių poveikių (trikdžių) kompensavimo principas*, kai daromi objekto valdymo algoritmo pakeitimai, įvertinantys kontroliuojamų išorinių poveikių (trikdžių) matavimo rezultatus;
- *nuokrypio kompensavimo (grįžtamojo ryšio) principas*, kai daromi objekto valdymo algoritmo pakeitimai, įvertinantys faktinius jo valdymo rezultatus.

#### 2.1.4. Valdymo sistemų kokybė, struktūra, funkciniai elementai

Projektuojant automatinio valdymo sistemas, naudojami analizės ir sintezės metodai. Taikant analizės metodus, galima nustatyti kiekybines sistemų valdymo charakteristikas, t.y. suprasti kaip sistema veikia. Taikant sintezės metodus, galima pasiekti tokį sistemos veikimą, kad būtų tenkinami jos kokybės reikalavimai:

- sistemos greitimeika (reakcijos greitis);
- stabilumas;

- valdymo tikslumas;
- patikimumas;
- statinis ir dinaminis nuokrypis;
- ... .

Pagrindinis 2.2 pav. pateiktos sistemos projektavimo tikslas – gauti tokį sistemos išėjimo  $y$  vektorių, kuris atitiktų nustatytus kokybės reikalavimus. Šis tikslas iš esmės pasiekiamas formuojant tinkamą objekto valdymo (reguliavimo) dėsnį – jo įėjimo vektoriaus  $u$  matematinį modelį [1].

Sudarant automatinio valdymo sistemas būtina:

- sudaryti optimalią sistemos struktūrą;
- tinkamai parinkti sistemos funkcinius elementus.

Sistemos struktūra ir funkciniai elementai parenkami priklausomai nuo sistemos paskirties, valdymo kokybės reikalavimų, turimų materialinių resursų ir kt., t.y., projektuojant valdymo sistemas, tenka spręsti techninį–ekonominį uždavinį.

Sistemos funkciniai elementai – vykdikliai, keitikliai, jutikliai, matuokliai, stiprintuvai, kompiuteriai.

Valdymo praktikoje automatinės sistemos struktūros optimizavimo uždavinys gali būti sprendžiamas naudojant fiksuotos struktūros ir pusiau laisvos struktūros schemas. Išsamiau apie struktūros optimizavimo uždavinio sprendimą pateikiama [1].

### 2.1.5. Regulatoriai

Sudarius sistemos struktūrą, projektuojamas pagrindinis funkcinis elementas – regulatorius. Fiksuoto matematinio modelio regulatoriui parenkamas tipas (matematinis modelis) ir nustatomos jo parametrų optimaliosios vertės.

Regulatoriaus tipas ir parametrai priklauso nuo reikalavimų, siekiant:

- sumažinti valdymo paklaidą;
- gauti maksimalią greitaveiką;
- užtikrinti stabilumą;
- ... .

Reguliatorių tipai priklauso nuo valdymo algoritmo ir gali būti:

- įvairūs proporcingosios-integralinės-diferencialinės (PID) struktūros deriniai;
- būsenos grįžtamojo ryšio;
- faziniai kompensatoriai;
- *fuzzy* logikos;
- neuronų tinklo;

- optimalieji;
- prognozuojantieji;
- kintamos struktūros
- ...

## 2.2. Tradicinis valdymas

### 2.2.1. Proporcingasis valdymas

Automatinio valdymo sistemos perdavimo funkcija tarp išėjimo  $y$  ir nustatymo signalo  $r$  užrašoma:

$$G_{yr}(s) = \frac{P(s)C(s)}{1 + P(s)C(s)}. \quad (2.2)$$

Esant nusistovėjusiam (stacionariajam) režimui ir naudojant tik proporcingąjį reguliatorių  $C(s) = k$ , sistemos perdavimo funkcija:

$$G_{yr}(0) = \frac{P(0)k}{1 + P(0)k}. \quad (2.3)$$

Stacionariojo režimo metu sistemos perdavimo funkcija tarp valdymo paklaidos signalo  $e$  ir nustatymo signalo  $r$  užrašoma:

$$G_{er} = \frac{1}{1 + P(0)k}. \quad (2.4)$$

Pagal (2.7) gali būti apskaičiuotos valdymo paklaidos, esant skirtingiems proporcingojo reguliatoriaus koeficientams, pvz., kai  $k = 1; 2; 5$ , gaunamos šios valdymo statinės paklaidos:  $e(0) = 0,5; 0,33; 0,17$ . Valdymo signalo  $u$  pradinė vertė lygi proporcingojo reguliatoriaus koeficientui  $k$ . Siekiant išvengti stacionariojo režimo paklaidos, gali būti taikomas šis proporcingojo valdymo dėsnis:

$$u(t) = ke(t) + u_b; \quad (2.5)$$

čia  $u_b$  – paklaidos kompensavimo signalas.

### 2.2.3. Integralinis valdymas

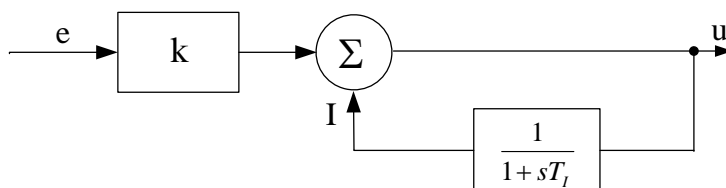
Integralinio valdymo esmė – garantuoti nulinę ARS valdymo statinę paklaidą. Sakykime, kad sistemos darbo režimas yra nusistovėjęs, o valdymo signalas  $u_0$  ir paklaida  $e_0$  yra pastovūs, bet  $e_0 \neq 0$ .

Užrašoma:

$$u_0 = ke_0 + k_I e_0 t. \quad (2.6)$$

Kairioji (2.9) lygties pusė yra pastovus dydis, o dešinioji – laiko  $t$  funkcija. Lygtis yra teisinga tik tuo atveju, jei  $e_0$  yra lygus nuliui ir pereinamasis procesas yra pasibaigęs. Esant nuliniam dažniui, regulatoriaus, turinčio integralinį poveikį, perdavimo funkcija turi be galo didelį stiprinimą ( $C(0) = \infty$ ).

Integralinis poveikis gali būti suprantamas kaip automatinis paklaidos kompensavimo signalo (žr. (2.8) lygtį) sukūrimas (2.3 pav.).



2.3 pav. Struktūrinė schema, naudojama paklaidos kompensavimo signalui sukurti.

Šiam atvejui užrašoma:

$$u = ke + \frac{1}{1 + sT_I} u. \quad (2.7)$$

Išsprendus (2.10) lygtį  $u$  atžvilgiu, gaunama:

$$u = k \frac{1 + sT_I}{sT_I} e = \left( k + \frac{k}{sT_I} \right) e. \quad (2.8)$$

Tai yra proporcingojo integralinio (PI) regulatoriaus perdavimo funkcija.



Esant nedidelėms koeficiento  $k_I$  vertėms, gaunama didelė pereinamojo proceso trukmė. Didinant koeficiento vertę, pereinamasis procesas pasibaigia greičiau, bet padidėja švytuojamumas.

#### 2.2.4. Diferencialinis valdymas

Diferencialinis valdymas pagerina sistemos su grįžtamoju ryšiu stabilumą.

Proporcingojo diferencialinio valdymo dėsnis užrašomas:

$$u(t) = ke(t) + k_D \frac{de}{dt} = k \left( e(t) + T_D \frac{de}{dt} \right). \quad (2.9)$$

Proporcingasis diferencialinis valdymas gali būti suprantamas kaip valdymas prognozuojant būsimą sistemos elgseną, t.y. ekstrapoliuojant valdymo paklaidą žingsniu  $T_D$  į ateitį pagal paklaidos kreivės tangentę. Sistema švytuoja, kai diferencialinio poveikio nėra. Didinant diferencialinio valdymo koeficientą, padidėja sistemos slopinimas ir stabilumas.

Reguliatorių parinkimo taisyklės:

1. Jei galima, reiktų naudoti paprastą P reguliatorių. Jis gerai tinka tada, kai: a) reguliatoriaus statinis stiprinimo (perdavimo) koeficientas užtikrina reikiamą sistemos valdymo tikslumą; b) originaliosios sistemos tiesioginiame trakte yra integruojančių elementų.
2. PI reguliatorius turėtų būti naudojamas tada, kai paprastas P reguliatorius negali užtikrinti reikiamo sistemos valdymo tikslumo. Šio reguliatoriaus nederėtų naudoti sistemose su didelėmis laiko pastoviosiomis (pavyzdžiui, temperatūros reguliavimo ar procesų valdymo sistemose).
3. PID reguliatorius naudotinas tada, kai, be didelio sistemos valdymo tikslumo, dar reikia pasiekti didelį uždarnosios sistemos reakcijos greitį.

## 2.3. *Fuzzy* valdymas

### 2.3.1. Įvadas į *fuzzy* logiką

Kasdieniniame gyvenime dažnai susiduriama su negriežtai apibrėžtais reiškiniais, kuriuose sunku įžvelgti ribą tarp tiesos ir netiesos, t.y. nėra taip, kad reiškinys tik vyksta arba ne, jis gali vykti ir iš dalies. Tokius netikslius, neaiškius reiškinius matematiškai aprašyti, taikant klasikinę aibių teoriją, yra sudėtinga. Be tikslaus matematinio modelio valdyti nevisai apibrėžtus procesus yra sudėtinga, o kartais neįmanoma. Tokiu atveju išeitis gali būti *fuzzy* logika, kuri leidžia matematiškai apibrėžti dalinį teisingumą, netikslumą, tam naudojant lingvistinius kintamuosius.

Nors *fuzzy* aibės (angl. *fuzzy set*) teorija buvo iškelta palyginus visai neseniai – 1965 m. (pradininku laikomas *Berkeley* universiteto prof. *Lofti Zadeh*), daugiavertės arba *fuzzy* logikos idėja buvo gyva jau nuo praėjusio amžiaus pradžios [10]. *C.S. Peirce* buvo vienas iš pirmųjų mąstytojų, rimtai vertinęs neapibrėžtumą (angl. *vagueness*) ir netikėjęs atskyrimu to, kas yra teisinga ir klaidinga. Jis teigė, kad pasaulyje nėra nieko, kas yra absoliučiai teisinga ar klaidinga [10].

Žymių žmonių mintys apie *fuzzy* logiką ir neapibrėžtumą apskritai:

*C.S. Peirce* – „Logikoje neapibrėžtumas negali būti mažiau vertinamas negu trintis mechanikoje“.

*A.Einstein* – „Kaip matematikos dėsniai atitinka realybę, taip jie yra neapibrėžti. Kaip jie yra matematiškai tikslūs, taip jie nėra realūs“.

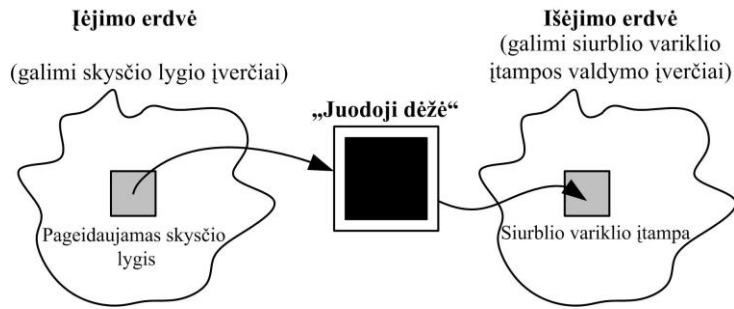
*L. Zadeh* – „Didėjant sudėtingumui, tikslios formuluotės praranda svarbą, o reikšmingos tikslumą“.

*R. Dubos* – „Kartais išmatuojamasis išstumia svarbesnįjį“.

*Fuzzy* logika leidžia suderinti reikšmingumą ir tikslumą – tai, ką žmonės bando suderinti labai ilgą laiką.

*Fuzzy* logika kartais gali pasirodyti gana egzotiška ir keista su ja nesusipažinusiems, bet įsigilinus kyla klausimas, kodėl niekas nepabandė jos naudoti anksčiau.

*Fuzzy* aibių teorija apibendrina klasikinę loginių aibių teoriją. Čia objekto priklausomybės laipsnis aibėje nėra apibrėžtas sveikaisiais skaičiais 0 ir 1, bet gali būti bet koks skaičius iš intervalo  $[0,1]$ . *Fuzzy* logikos sistemas (FLS) apibrėžia *fuzzy* aibės (angl. *fuzzy sets*) ir *fuzzy* ryšiai (angl. *fuzzy relations*). FLS yra taisyklėmis pagrįstos sistemos, naudojamos netiesiniam ryšiui tarp sistemos įėjimo ir išėjimo erdvės gauti. Pvz., kaip padavėjo gauti arbatpinigiai priklauso nuo aptarnavimo kokybės; kokia turi būti siurblio variklio įtampa, norint gauti tam tikrą skysčio kiekį talpoje (2.4 pav.) ir t.t.



2.4 pav. Ryšys tarp įėjimo ir išėjimo erdvės

Tarp įėjimo ir išėjimo yra vadinamoji „juodoji dėžė“, kurioje atliekamas visas reikalingas darbas problemai išspręsti. „Juodojoje dėžėje“ gali būti ir *fuzzy* logikos, tiesinės, ekspertinės sistemos, neuroniniai tinklai, diferencialinės lygtys, daugiamatės lentelės ir t.t. Tarp paminėtųjų *fuzzy* logika dažnai būna geriausias pasirinkimas. *L. Zadeh*, kuris vadinamas *fuzzy* logikos tėvu, yra pasakęs: „beveik kiekvienu atveju galima sukurti produktą nenaudojant *fuzzy* logikos, bet tai sutaupo laiko ir lėšų“ [13].

### 2.3.2. *Fuzzy* logikos taikymo sritys

Britų inžinierius *Ebrahim Mamdani* pirmasis praktikoje panaudojo *fuzzy* aibes. Praėjusio amžiaus aštuntojo dešimtmečio pradžioje jis kūrė garo variklio automatinio valdymo sistemą, kurios valdymas pagrįstas operatoriaus (žmogaus) atliekamų veiksmų tikimybėmis, esant tam tikroms nenumatytoms situacijoms. Operatorius, keisdamas katilo sklendės padėtį ir temperatūrą, valdė garo variklio greitį ir slėgį katile. *E. Mamdani* operatoriaus vykdomus veiksmus užrašė algoritmu (matematinė formulė), bet pastebėjo, kad, taikant šį valdymo algoritmą, gaunami prastesni rezultatai negu sistemą valdant žmogui. Jis svarstė, kad šiuo atveju būtų tikslinga sukurti abstraktų mašinos veikimo ir jos valdymo aprašą [13].

Jis galėjo ir toliau tobulinti reguliatorių. Tačiau *E. Mamdani* ir jo kolegos nusprendė panaudoti dirbtinio intelekto metodą, pavadintą „taisyklėmis pagrįsta ekspertinė sistema“ (angl. *a rule-based expert system*), kuris sujungė žmonių kompetenciją ir logines taisykles. Jiems sunkiai sekėsi tradicines logines taisykles užrašyti kompiuteriui suprantama kalba, kol jie neperskaitė *Lotfi Zadeh* straipsnio apie *fuzzy* logiką ir jos panaudojimą kompleksinėse sistemose. *E. Mamdani* nedelsiant nusprendė tai išbandyti ir vos per savaitę sukūrė reguliatorių. Kaip po to pats rašė: „Neįtikėtina, kaip buvo paprasta sukurti reguliatorių, pagrįstą lingvistiniais ir matematiniais dydžiais“.

Praėjusio amžiaus aštuntojo dešimtmečio pabaigoje danų inžinieriai *Lauritz Peter Holmblad* ir *Jens-Jurgen Ostergaard* sukūrė pirmąją komercinę *fuzzy* logikos valdymo sistemą, skirtą cementui džiovinti [13].

Praktikoje *fuzzy* logika dažnai naudojama mašinoms valdyti. Dažnai *fuzzy* logikos sistemas nesudėtinga projektuoti, jų veikimą gali suprasti ir žmogus, neturintis jokių specialių automatinio valdymo teorijos žinių. *Fuzzy* logiką tikslinga taikyti ten, kur nebūtinai optimalus valdymas ir nemaža elektronikos skaičiavimams atlikti, o pakaktų tik greito, paprasto, gal kartais ir ne visai tikslaus, bet labai efektyvaus valdymo.

*Fuzzy* logika yra žmogiškojo ir kompiuterių pasaulių sujungimo būdas. Tai leidžia išnaudoti geriausias jų savybes – kompiuterių greitaveiką ir žmogiškąjį abstraktųjį mąstymą.

*Fuzzy* logika naudojama:

- Aplinkos parametrams keisti

*Oro vėdinimo ir drėgmės reguliavimo sistemose ir kt.*

- Namų ūkyje

*Skalbimo mašinose, dulkių siurbliuose, šaldytuvuose, mikrobangų krosnelėse ir kt.*

- Elektronikoje

*Televizoriuose, kopijavimo aparatuose, foto ir video kameroje (automatiniam fokusavimui, ekspozicijai, vibracijoms kompensuoti), garso ir vaizdo sistemose ir kt.*

- Automobilių sistemose

*Mikroklimatui automobilių viduje reguliuoti, pavarų, vairo valdymo, stabdžių antiblokavimo sistemose ir kt.*

- Gedimams nustatyti

- ...

Pateikiami sistemų pavyzdžiai, kur *fuzzy* logiką taikyti yra naudinga arba būtina:

- Kompleksinės sistemos, kurias sunku (arba neįmanoma) sumodeliuoti.
- Ekspertų valdomos sistemos.

- Sistemos, turinčios sudėtingus daugiakanalius įėjimus–išėjimus.
- Sistemos, kurių signalai yra žmonių jausmai, pastebėjimai ir kt.
- Elgesio ir socialinės sistemos.

## 2.4. Skysčio lygio ir temperatūros reguliavimo sistemų apžvalga.

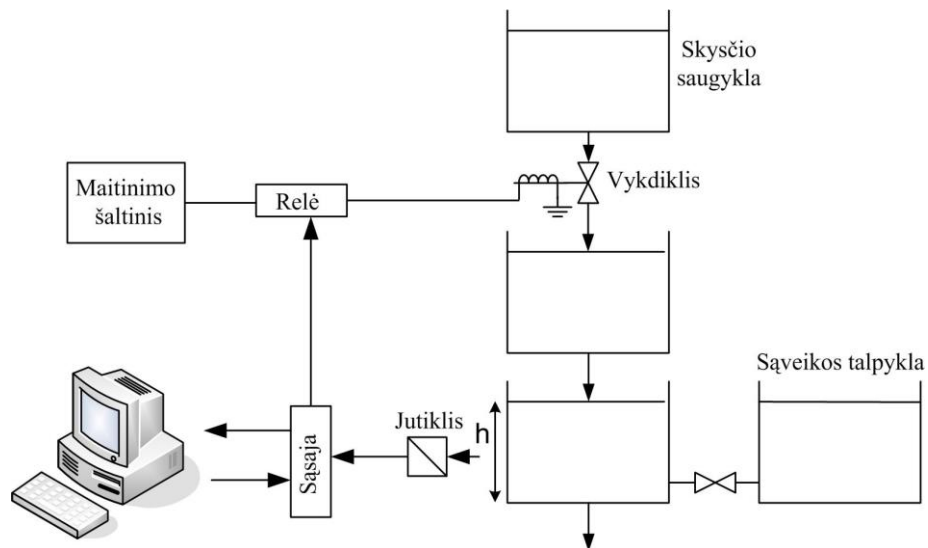
Lenkijos kompanija *Inteco Ltd.* siūlo įvairių laboratorinių mokymo produktų. Tarp jų ir skysčio lygio valdymo sistema (2.5 pav.), kurią sudaro keletas viena virš kitos išdėstytų skirtingos formos talpyklų. Skystis iš stendo apačioje esančios talpyklos tiekiamas panaudojant siurbli, kurį valdo nuolatinės srovės variklis. Skystis iš sistemos išteka veikiamas tik gravitacijos jėgos. Ištakos kiaurymių skerspjūvis gali būti reguliuojamas tiek rankiniu būdu, tiek kompiuteriu. Lygio jutikliai veikia slėgio principu. Jutiklio elektrinis signalas patenka į įvesties/išvesties plokštę RT-DAC4. Plokštė kuria signalus trims sklendėms ir skysčio siurbliui valdyti. Siurblio variklio įtampa keičiama moduliuojant impulso trukmę. Skysčio lygiai talpyklose vadinami sistemos būsenomis. Pagrindinis valdymo uždavinys – nustatyti norimą skysčio lygį keičiant sklendžių padėtį ir (arba) siurblio variklio įtampą.



2.5 pav. *Inteco Ltd.* skysčio lygio valdymo sistemos vaizdas

Apžvelgiamas stendas turi sąsają su MATLAB priedu *Simulink*. Sistema turi PID ir *fuzzy* logikos reguliatorius.

Pietų Korėjos mokslininkai sukūrė mokomąją skysčio lygio valdymo sistemą (2.6 pav.), kurią sudaro techninė ir programinė įranga, skirta cheminiam procesui valdyti.



2.6 pav. Mokomosios skysčio lygio valdymo sistemos funkcinė schema

Skysčio sistema sudaryta iš skysčio saugyklos, dviejų nuoseklių ir vienos sąveikos talpyklos. Sistemos vykdiklis – solenoidas, kuris atidaro arba uždaro sklendę. Lygio jutiklis veikia slėgio principu. Programinė įranga sukurta naudojantis *Visual Basic* ir *C++*. Sukurta įranga leidžia realiu laiku stebėti skysčio lygį, keisti jo nustatymo signalą, rankiniu arba automatinu būdu valdyti sklendę, keisti reguliatoriaus koeficientus, vykdyti sistemos identifikavimo eksperimentą ir t.t.

Sukurtoji sistema naudojama Pietų Korėjos universitetuose studentams supažindinti su valdymo sistemomis, jų įranga, identifikavimu. Pažymima, kad pradėjus taikyti tokį eksperimentinį mokymą pagerėjo studentų supratimas apie valdymo teoriją ir praktiką.

Skysčio sistemos ypatingos tuo, kad jos labai gerai tinka mokymo tikslams. Jų veikimas aiškiai suprantamas, čia galima nagrinėti klausimus, susijusius su tiesinėmis ir netiesinėmis sistemos savybėmis.

Skysčio lygio valdymas vykdomas ir Švedijos *Linköping'o* universitete laboratorinio darbo metu, kuriame teko dalyvauti. Paruošiamojo darbo metu studentai turi sudaryti sistemos matematinį ir blokų diagramų modelius, įvairiems atvejams užrašyti objekto perdavimo funkcijas bei *Laplace* transformacijas.

Sistemą (2.6pav.) sudaro: skysčio talpykla, siurblys, kompiuteris, įvesties/išvesties blokas, vairalazdė.

Laboratorinio darbo tikslai – įtvirtinti žinias, gautas mokymo kurso *Reglerteknik M* (Automatinis valdymas skirtas mašinų technikos studentams) paskaitų ir pratybų metu, supažindinti su pramonėje dažniausiai naudojamu PID reguliatoriumi.



### 2.7 pav. Festo vandens lygio stendas

Stendas yra VDU Informatikos fakultete, valdymo laboratorijoje ir skirtas vandens lygio, srauto temperatūros ir oro slėgio sistemų modeliavimo ir valdymo uždaviniams spręsti. Stendo pagrindą sudaro pramoninio proceso fizinis modelis, kurį galima naudoti mokymo bei tyrimų tikslais.

Naudojant šį stendą galimi mokymai darbui šiose srityse:

- Valdymo sistemų komplektavimas
  - Matavimo sensorių parinkimas, išdėstymas
  - Valdančiųjų komponentų parinkimas, išdėstymas
- Programavimas
  - Valdiklių taikymas
  - Valdiklių programavimas
  - Valdymo algoritmų programavimas
- Valdymas ir modeliavimas
  - Grįžtamo ryšio sistemos, analizė
  - Keleto įėjimų keleto išėjimų sistemos
  - Prognozuojančios valdymo sistemos
- Gedimų diagnostika
  - Gedimų paieška valdymo sistemose
  - Procesų stebėjimas ir prižiūrėjimas

#### **Stendo sandara ir funkcionavimas**

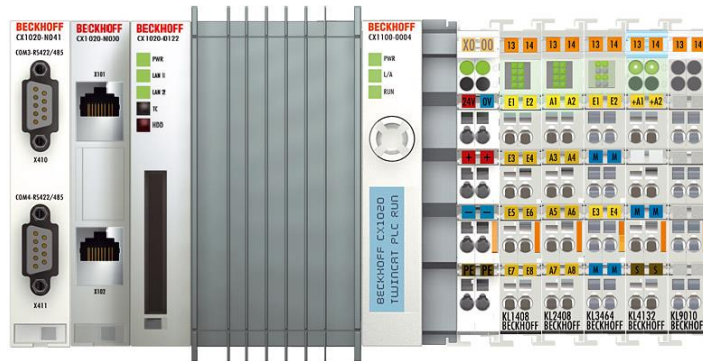
Stendas susideda iš trijų dalių:

1. Vandens lygio, srauto, temperatūros ir oro slėgio procesų įrenginio (2.8 pav.)



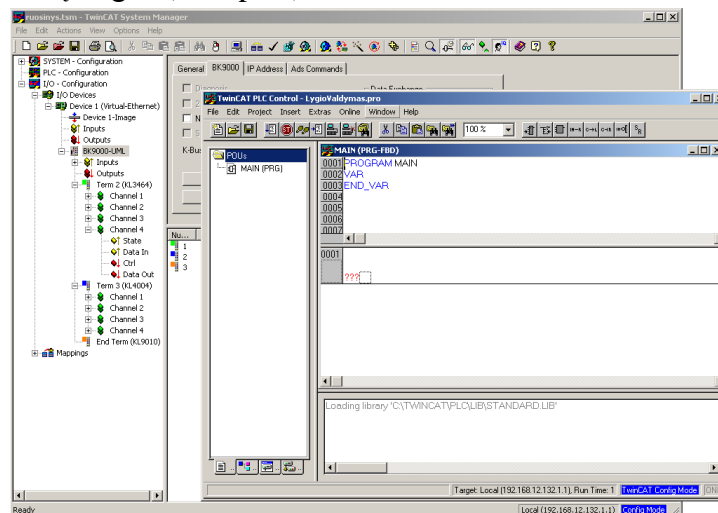
2.8 pav. Vandens lygio, srauto, temperatūros ir oro slėgio procesų įrenginys.

## 2. Pramoninio valdiklio (2.9 pav.)



2.9 pav. Pramoninis valdiklis.

## 3. TwinCAT programinės įrangos (2.10 pav.)

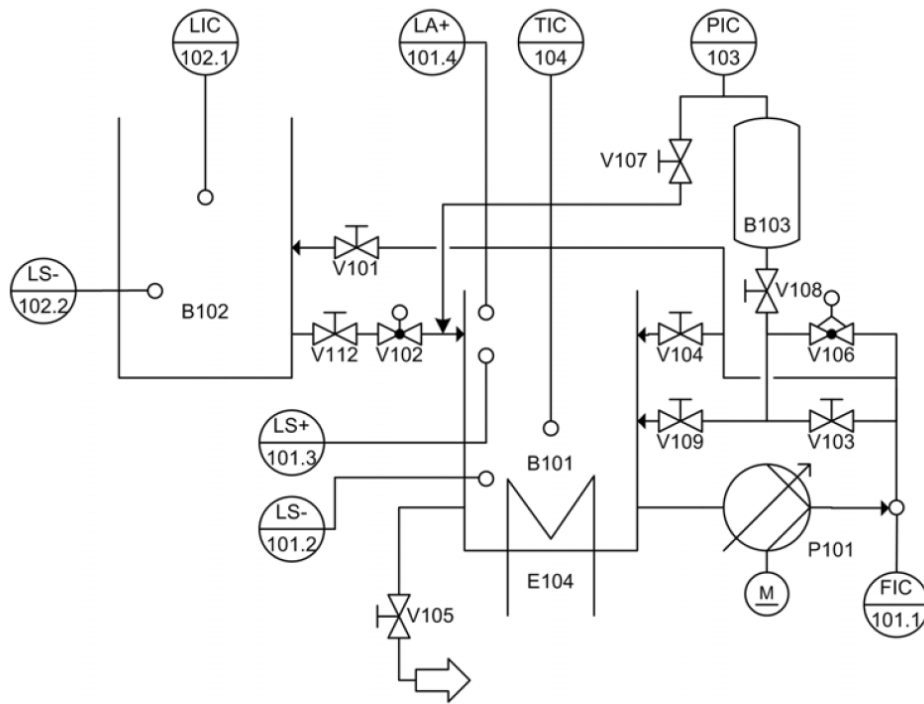


2.10 pav. TwinCAT programinės įrangos langas.

## *Įrenginio sandara*

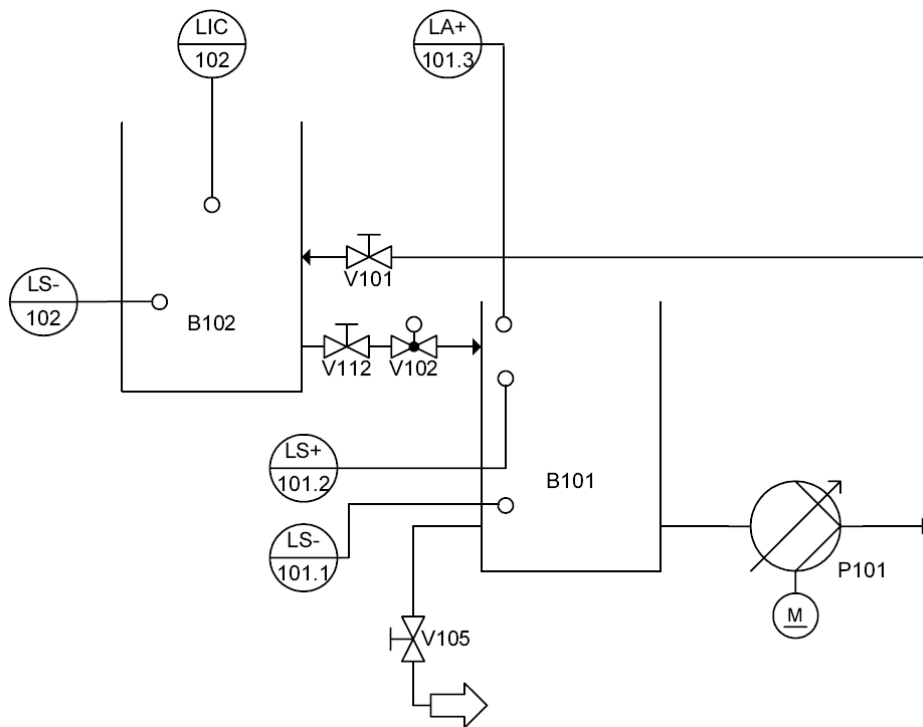
Festo laboratorinio įrenginio schema pavaizduota 2.11 pav.





2.11 pav. Festo laboratorinio įrenginio schema.

Vandens lygio posistemėi naudojama tik dalis šio įrenginio (2.12 pav.)



2.12 pav. Vandens lygio posistemės schema.

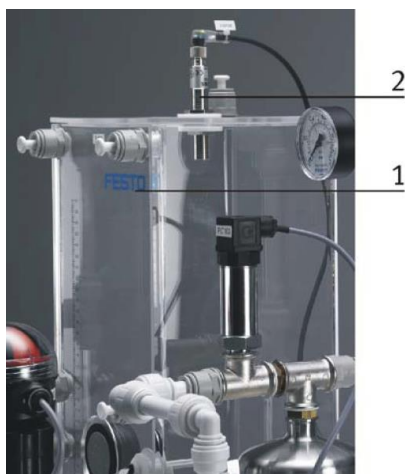
Įrenginį sudaro dvi vandens talpos B101 ir B102, žr. 1.1 ir 1.2 pav. Vanduo iš apatinės talpos B101 pumpuojamas į viršutinę (B102) vandens siurbliu P101.



2.13 pav. Vandens siurblys

Vandens siurblys valdomas analoginiu signalu 0-10V per vandens siurblio reguliatorių, kuris 0-10V valdymo signalą transformuoja į 0-24 V DC signalą ir siunčia jį tiesiai į siurblį. Vandens siurblio reguliatorius valdomas atskiru diskreciniu signalu. Signalo reikšmei esant lygiai 0 reguliatorius, o tuo pačiu ir siurblys išjungiamas, o reikšmei esant lygiai 1 – įjungiamas. Bet kuriuo atveju, norint, kad siurblys pumpuotų vandenį, siurblio reguliatorius turi būti įjungtas, t.y. reguliatoriaus valdymo signalo reikšmė turi būti lygi 1. Apie tai, kurie valdiklio kanalai skirti vandens siurblio reguliatoriaus įjungimui/išjungimui ir valdymo signalo siuntimui, skaitykite valdiklio ir programinės įrangos aprašymus.

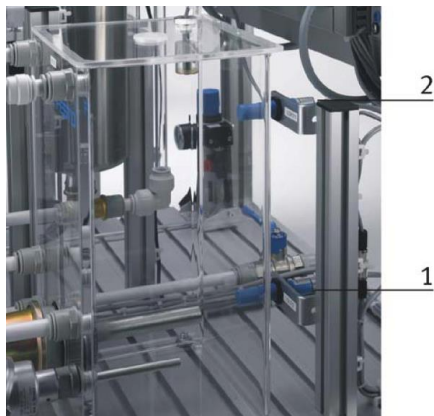
Vandens lygis antroje talpoje B102 matuojamas ultragarsiniu atstumo jutikliu LIC102 (1.2 pav.), (2) žemiau pateiktame 2.14 pav.,



2.14 pav. ultragarsinis jutiklis talpoje.

kuris generuoja išėjimo signalą 0-10 V DC proporcingą atstumui iki vandens paviršiaus. Jutiklio charakteristikos pateikiamos 1.1.2 ir 2.3 skyriuose.

Talpoje B101 galima stebėti vandens lygį dviejuose lygiuose ultragarsiniais jungikliais LS-101.1 ir LS+ 101.2, atitinkamai (1) ir (2) žemiau pateiktame 2.15 pav.



2.15 pav. Ultragarsiniai jungikliai talpoje.

bei vandens persipylimo indikatoriumi LA+ 101.3 ir (1) žemiau pateiktame 2.16 pav.



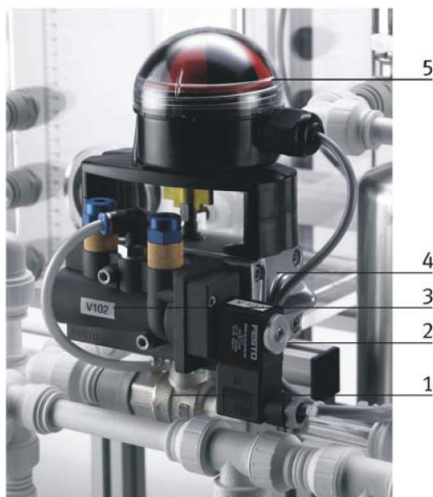
2.16. pav. Vandens persipylimo indikatorius.

Šie jungikliai generuoja diskrečius išėjimo signalus, t.y. išėjimų reikšmės yra arba 0, arba 1. 0 žymi, kad vanduo yra žemiau šios ribos, o 1, kad aukščiau. Analogiškai matuojama ir talpos B102 vandens lygio apatinė riba. Tam naudojamas jungiklis LS- 102 ir (1) žemiau pateiktame 2.17 pav.



2.17 pav. Jungiklis LS- 102

Vanduo iš talpos B101 į talpą B102 paduodamas vamzdynais, iš kurių tik dalis naudojama vandens lygio sistemoje). Svarbu, kad visos vamzdyne esančios mechaninės sklendės būtų uždarytos išskyrus sklendes V101, V112. Pneumatine pavara (2,3,4)



2.18 pav. Pneumatinis sklendės atidarymo/uždarymo mechanizmas.

atidaroma sklendė V102 (1). Per ją vanduo vamzdžiu teka atgal į talpą B101. Sklendė atidaroma / uždaroma skaitmeniniu valdymo signalu, kurio galimos reikšmės yra 0 arba 1. Kai reikšmė lygi 0 – sklendė uždaroma, kai reikšmė lygi 1 – sklendė atidaroma. Šis skaitmeninis signalas valdo solenoidinį vožtuvą (2), kuris kartu su (3) valdo oro slėgio padavimą sklendę valdančiam įrenginiui (4). Sklendės būseną galima stebėti sklendės padėties jutikliais (5), vienas jutiklis rodo, ar sklendė atidaryta (0 – uždaryta, 1 - atidaryta), kitas jutiklis rodo, ar sklendė uždaryta (0 – sklendė atidaryta, 1 – sklendė uždaryta). Tam, kad pneumatinė sklendė funkcionuotų, prie stendo slėgio reguliatoriaus būtina prijungti oro kompresorių. Taip pat darbo pradžioje būtina atsukti sklendę raudona rankenėle, esančią slėgio reguliatoriuje, stendo galinėje dalyje. Pro šią sklendę paduodamas suspaustas oras į pneumatinį mechanizmą, atidarantį kitą sklendę.



2.19 pav. Vandens lygio ir oro slėgio stendas.

Stendas yra VDU Informatikos fakultete, valdymo laboratorijoje ir skirtas vandens lygio ir oro slėgio sistemų modeliavimo ir valdymo uždaviniams spręsti. Stendo pagrindą sudaro pramoninio proceso fizinis modelis, kurį galima naudoti mokymo bei tyrimų tikslais.

Naudojant šį stendą galimi mokymai darbui šiose srityse:

- Valdymo sistemų komplektavimas;
  - Matavimo sensorių parinkimas;
  - Valdančiųjų komponentų parinkimas;
- Programavimas;
  - Valdiklių programavimas;
  - Valdymo algoritmų programavimas;
- Valdymas ir modeliavimas;
  - Grįžtamo ryšio sistemos, analize;
  - Keleto įėjimų keleto išėjimų sistemos;
  - Prognozuojančios valdymo sistemos;
- Gedimų diagnostika;
  - Gedimų paieška valdymo sistemose;
  - Procesų stebėjimas ir prižiūrėjimas.

## Stendo sandara ir funkcionavimas

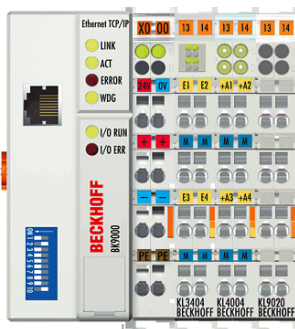
Stendas susideda iš trijų dalių:

1. Vandens lygio ir oro slėgio procesų įrenginio vaizdas.



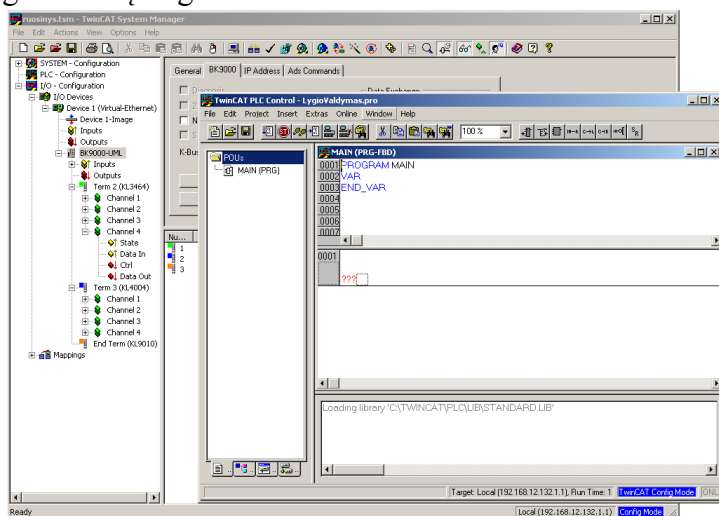
2.20 pav. Vandens lygio ir oro slėgio procesų įrenginio vaizdas.

## 2. Analoginių įėjimų/išėjimų įrenginio, bendraujančio su kompiuterio TCP/IP protokolu



2.21 pav. Valdiklio vaizdas.

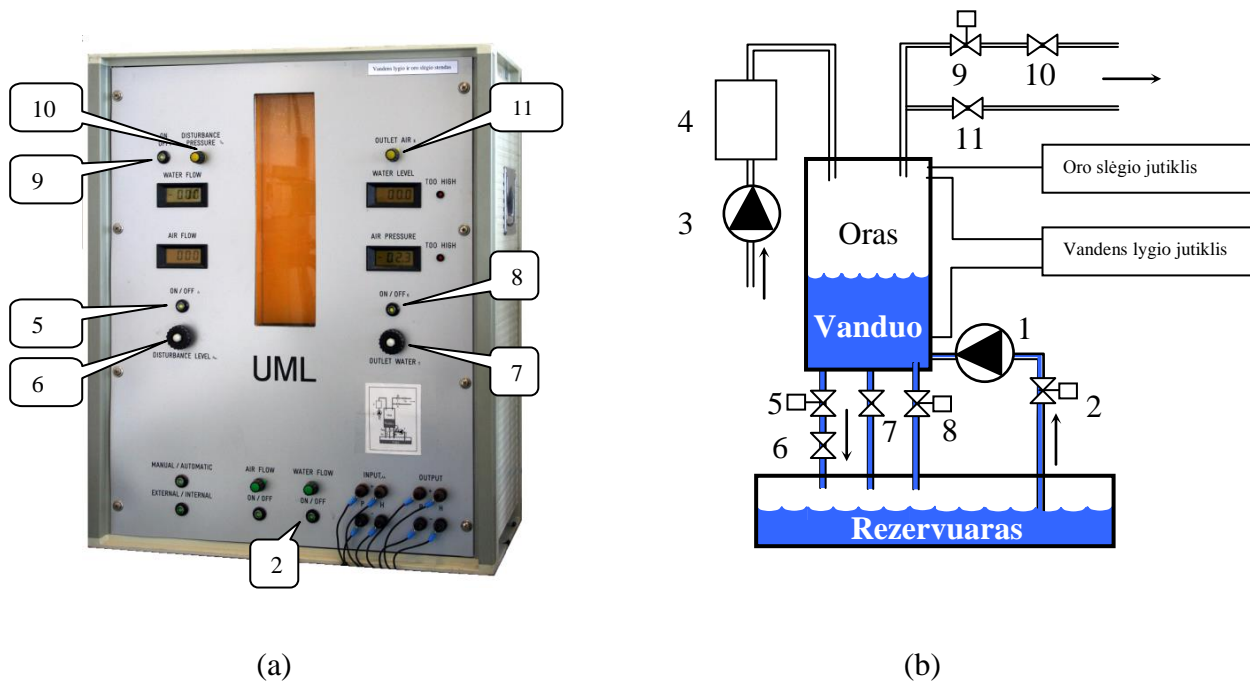
## 3. TwinCAT programinės įrangos



2.22 pav. TwinCAT programinės įrangos langas.

## Įrenginio sandara

Įrenginio schema pavaizduota 2.23 pav.



2.23 pav. Įrenginys (a) ir jo struktūrinė schema (b).

Įrenginio pagrindinė dalis yra uždara stiklinė talpa (3 cm x 8 cm x 30 cm), kurioje vyksta vandens lygio bei oro slėgio reguliavimo procesas. Proceso parametrai “slėgis” ir “lygis” gali būti keičiami reguliuojant įtekančio vandens kiekį ir/arba paduodamo oro kiekį. Tai yra daroma valdant vandens (nr. 1) bei oro (nr.3) siurblių galingumą. Siurblių galingumas reguliuojamas elektriniu signalu 0-10V ribose, kur 10V žymi, kad siurblys veikia pilnu pajėgumu, 0V – siurblys išjungtas. Talpoje yra trys kanalai vandens išleidimui, bei du kanalai oro išleidimui. Išleidžiamo vandens kiekis yra reguliuojamas sklende (7), magnetine sklende (5) kartu su sklende (6) bei magnetine sklende (8). Šios sklendės kartu su vandens siurbliu įtakoja stacionarias vandens tekėjimo sąlygas. Magnetinėmis sklendėmis galima imituoti valdymo sistemoje atsirandančius trikdžius. Oro slėgis talpoje keičiamas oro kompresoriumi (3), bei sklendėmis (9, 10, 11). Oro slėgio pulsavimams išlyginti naudojamas oro indas (4). Vanduo paduodamas ir grįžta atgal į rezervuarą guminėmis žarnelėmis, kurios yra susuktos spirale. Tai įveda įrenginiui netiesiškumo.

Jeigu vandens lygis talpoje pakyla aukščiau 25 cm ribos, vandens siurblys automatiškai atjungiamas. Taip įrenginys apsaugojamas nuo vandens persipylimo. Oro kompresorius išjungiamas automatiškai pasiekus 50 mbar slėgį talpoje.

Vandens lygį bei oro slėgį reguliuojančių siurblių charakteristikos yra netiesinės, su skirtingų dydžių reagavimo į valdantįjį pokytį uždelsimais (angl. *dead-zone*), išėjimo signalai neproporcingi įėjimo signalams (angl. *saturation non-linearity*). SiurbLIAI suteikia valdymo objektui vėlinimo savybę, dėl vandens bangavimo kyla sunkumų matuojant jo lygį inde, davikliai atskirais momentais rodo klaidinančią informaciją, vanduo iš/į rezervuarą teka guminėmis žarnelėmis, susuktomis spirale, vanduo į pagrindinį indą įteka turbulenciškai. Šios savybės sustiprina objekto netiesines charakteristikas. Vandens tekėjimas sistemoje labai priklauso nuo vandens bei aplinkos temperatūros, nuo vandens minkštumo. Be to, vandens lygis ir oro slėgis valdomi tame pačiame inde, todėl lygio ar slėgio užduoties signalo pasikeitimas iš karto keičia proceso dinamines charakteristikas. Vandens lygis ir oro slėgis yra priklausomi vienas nuo kito ir todėl oro slėgio pasikeitimas sąlygoja vandens lygio pasikeitimą, ir atvirkščiai, pasikeitus vandens lygiui, keičiasi oro slėgis. Tai suprantama, nes pvz. sumažėjus oro slėgiui, vanduo talpoje yra spaudžiamas iš viršaus mažesne jėga, todėl siurbliui pakanka mažesnio galingumo išlaikyti vandenį užduotame lygyje. Vandens lygio pasikeitimas keičia talpos, kurioje palaikomas užsiduotas slėgis, tūrį. Kuo mažesnis tūris, tuo mažesnio siurblio veikimo galingumo pakanka užduoto slėgio palaikymui. Visi šie reiškiniai labai apsunkina vandens lygio bei oro slėgio reguliavimo uždavinį.

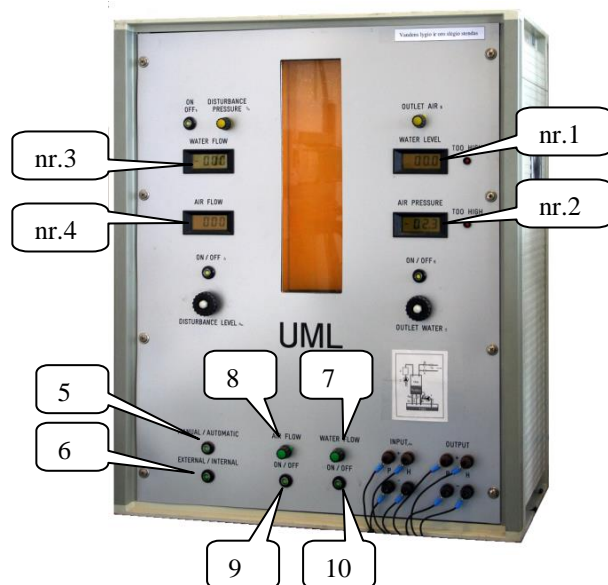
Įrenginyje modeliuojami procesai gali būti išskaidytas į du atskirus: vandens lygio procesą bei oro slėgio procesą, arba naudojami, kaip dviejų įėjimų dviejų išėjimų sistemą, nes vandens lygio ir oro slėgio procesai šiame įrenginyje tiesiogiai priklausomi vienas nuo kito. Naudojant įrenginį tik kaip oro slėgio procesą, sklendės 2, 5, 7, 8 turi būti uždarytos.








Vandens lygiui ir oro slėgiui matuoti naudojami diferencialiniai slėgio jutikliai. Vandens lygiui nustatyti yra matuojamas vandens slėgio ir oro slėgio talpoje skirtumas. Oro slėgiui nustatyti matuojamas oro slėgio talpoje ir patalpoje skirtumas.

### (a) 1.1.2. Papildomos įrenginio funkcijos

Įrenginio priekinėje dalyje (2.24 pav.) yra keturi informaciją apie procesą rodantys langai: nr. 1 rodoma informacija apie esamą talpoje vandens lygį, nr.2 – apie esamą talpoje oro slėgį, nr.3 - apie vandens tekėjimo į talpą kiekį, išreikštą procentais, o nr.4 – apie oro tekėjimo į talpą kiekį, išreikštą procentais.



2.24 pav. Įrenginio schema.

Įrenginio priekinės pusės apatinėje dalyje esantis mygtukas 5 leidžia pasirinkti, ar įrenginys valdomas reguliatoriumi  (angl. Automatic mode), ar rankiniu būdu  (angl. Manual mode). Jeigu pasirenkamas rankinis režimas, vandens siurblio ir oro kompresoriaus galingumą galima reguliuoti potenciometrais atitinkamai 7 ir 8, tačiau jie bus veiksmingi tik tuo atveju, jeigu mygtukas 6 nustatytas į poziciją  (angl. Internal) ir vandens lygio ir oro slėgio valdymui bus siunčiami 10 V signalai. Mygtukais 9 ir 10 galima įjungti  arba išjungti  atitinkamai oro kompresorių ir vandens siurblių. Įjungiant arba išjungiant vandens siurblių, kartu yra atitinkamai atidaroma arba uždaroma magnetinė sklendė nr.2.

### Techninės įrenginio charakteristikos

Iėjimo signalai: Vandens siurblys valdomas nuolatinės srovės signalu, kur 0V – siurblys išjungtas, 10 V – siurblys dirba maksimaliu galingumu. Tarpinės reikšmės proporcingai įtakoja siurblio galingumą.

Oro kompresorius valdomas nuolatinės srovės signalu, kur 0V – siurblys išjungtas, 10 V – kompresorius dirba maksimaliu galingumu. Tarpinės reikšmės proporcingai įtakoja kompresoriaus galingumą.

Išėjimo signalai Vandens lygio jutiklio išėjimo signalas yra 0-10V, kur 0 V atitinka vandens lygio reikšmę talpoje 0 cm, o 10 V atitinka vandens lygį 25 cm aukštyje.

Oro slėgio jutiklio išėjimo signalas yra 0-10V, kur 0 V atitinka oro slėgio reikšmę talpoje 0 mbar, o 10 V atitinka oro slėgį 50 mbar.

## 3. PRAKTINĖ- TIRIAMOJI DALIS



Mokslinio tyrimo objektas – Skysčio lygio ir temperatūros valdymo stendas.

Pagrindinis darbo tikslas – sukurti skysčio lygio ir temperatūros valdymo stendą, kuris tiktų moksliniams tyrimams ir mokymo tikslams. Modelį (kaip mokymo priemonę) galėtų naudoti studentai, studijuojantys automatinio valdymo teoriją, procesų valdymą, modeliavimą ir imitaciją, programavimą bei kitus su elektros inžinerija susijusius dalykus.

Taikant sudarytą modelį, galima nagrinėti siurblių, vandens sklendės, kaitinimo elemento, ventiliatoriaus charakteristikas, labai dažnai procesų valdyme naudojamą skysčio lygio reguliavimą. Modelis tinka temperatūros ir lygio reguliatoriams sudaryti. Tokią kompleksinę sistemos analizę galima vykdyti naudojant specializuotus imitacinius paketus, pvz. MATLAB priedą *Simulink*.

Darbo teorinėje dalyje aptarti valdymo principai bus realizuoti sudarant temperatūros ir skysčio lygio reguliatorius.

Vienas labai svarbių reikalavimų – imitacijos metu sudaryti galimybę stebėti ne tik vieno ar kelių parametrų laikinį kitimą, bet susieti visus mus dominančius sistemos signalus ir juos „perkelti“ į virtualiąją erdvę, t.y. sudaryti sistemos animaciją.

Kitas svarbus reikalavimas – sudaryti grafinę vartotojo sąsają, leidžiančią imitacijos metu keisti sistemos parametrus ir taip valdyti sistemą.

### **3.1. Eksperimentinės – mokomosios skysčio lygio ir temperatūros sistemos reikalavimų specifikacija.**

#### **1. Skysčio talpyklų posistemė:**

- Kubo formos skysčio talpa. (1vnt.)
  - ✓ Skysčio talpyklos talpa 6 litrai;
  - ✓ Skysčio talpa skaidri;
- Cilindro formos talpa. (1vnt.)
  - ✓ Skysčio talpyklos talpa 8 litrų;
  - ✓ Skysčio talpa atspari temperatūros pokyčiams.
  - ✓ Skysčio talpa skaidri;

#### **2. Skysčio pašildymo ir šilumos pašalinimo posistemė.**

- Kaitinimo elementas. (1vnt.)
  - ✓ Paskirtis: Pašildyti skystį iki reikiamos temperatūros;
  - ✓ Kaitinimo elemento galia 1 kW;
  - ✓ Kaitinimo elemento aukštis viršija 0,03 m;
  - ✓ Maitinimas: 230 V AC, 50 Hz;
- Radiatorius. (1vnt.)
  - ✓ Paskirtis: Aušinti skystį iki reikiamos temperatūros;
  - ✓ Radiatoriaus matmenys: 0,019 m x 0,017 m.;
- Ventiliatorius. (1vnt.)
  - ✓ Paskirtis: Papildomai aušinti radiatorių;

- ✓ Esami parametrai: 120x120x38mm, 144m<sup>3</sup>/h;
- ✓ Maitinimas: 230 V AC, 50 Hz;
- ✓ Ventilatorius turi apsaugines groteles;

### 3. Stendo apsaugos nuo elektros posistemė.

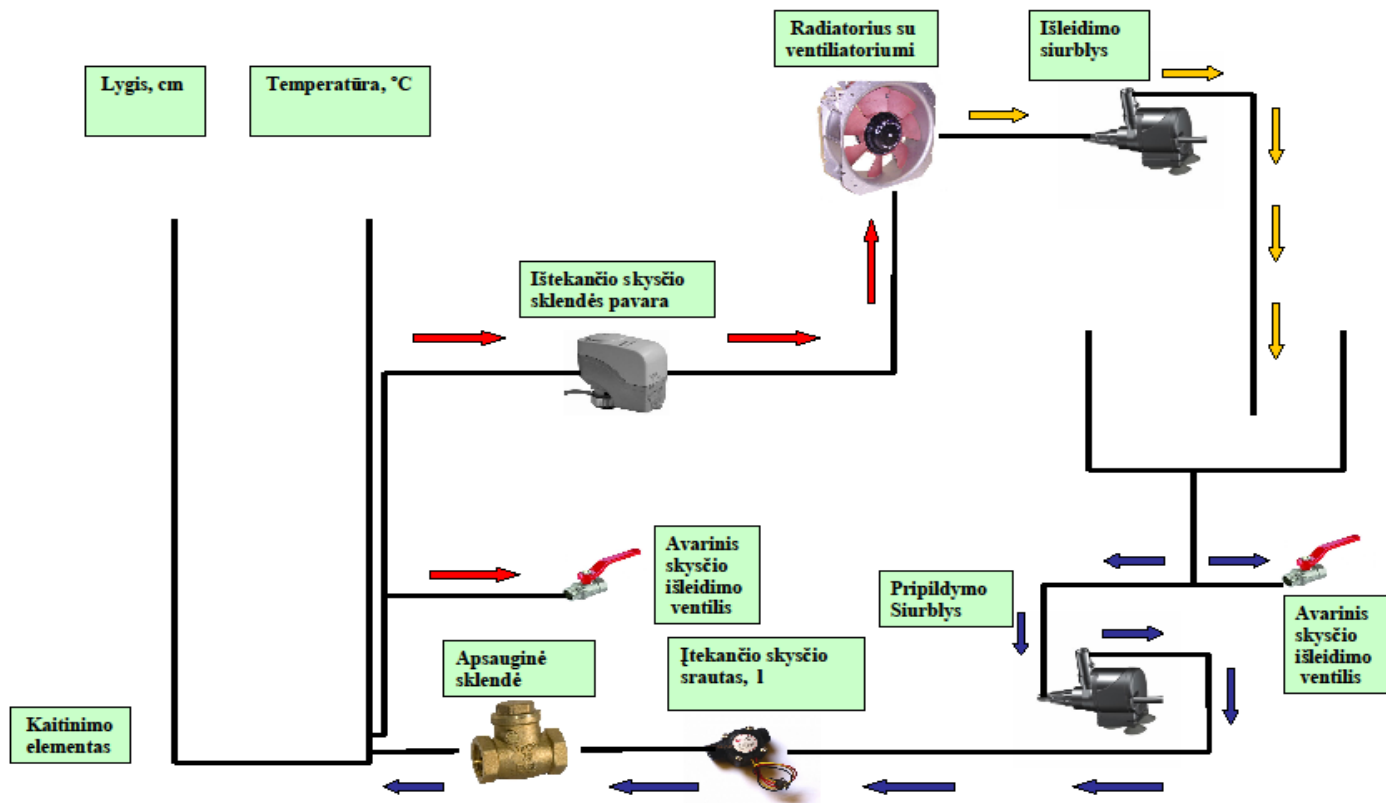
- Automatinis jungiklis. (1vnt.)
  - ✓ Paskirtis: Elektros grandinių apsaugai;
  - ✓ Konstrukcija: Vienpolis automatinis jungiklis su šilumine ir elektromagnetine apsauga;
  - ✓ Tipas: 1 P C10;
- Automatinis jungiklis. (1vnt.)
  - ✓ Paskirtis: Elektros grandinių apsaugai.
  - ✓ Konstrukcija: Vienpolis automatinis jungiklis su šilumine ir elektromagnetine apsauga;
  - ✓ Tipas: 1 P C6;
- Automatinis jungiklis. (1vnt.)
  - ✓ Paskirtis: Elektros grandinių apsaugai;
  - ✓ Konstrukcija: Vienpolis automatinis jungiklis su šilumine ir elektromagnetine apsauga;
  - ✓ Tipas: 1 P C16;

### 4. Stendo valdymo posistemė.

- Elektromagnetinė relė su laikikliu. (10 vnt.)
  - ✓ Paskirtis: Komutuoti valdymo grandines;
  - ✓ Maitinimo įtampa: 230V AC;
  - ✓ Laikiklis: Relė komplektuojama su moduliniu laikikliu, tvirtinamu prie DIN bėgelio;
  - ✓ Nominali srovė 6A;
  - ✓ Kontaktai: Su dviem kontaktų grupėmis. COM, NC, NO;
- Elektromagnetinis kontaktorius. (1vnt.)
  - ✓ Paskirtis: Komutuoti valdymo grandines;
  - ✓ Maitinimo įtampa: 230V AC, 50Hz;
  - ✓ Nominali srovė 7A;
- Skaitmeninis indikatorius. (2vnt.)
  - ✓ Prietaisas skirtas nuolatinės bei bipoliarinės įtampos, srovės, temperatūros su termojutikliais Pt100, Pt500, Pt1000, varžos matavimui;
  - ✓ 4 aliarminiai išėjimai 6 režimuose;
  - ✓ Matavimo reikšmės keitimas į analoginį signalą 4...20mA ar 0...10V;
  - ✓ Minimalios ir maksimalios reikšmės išsaugojimas visiems matavimams;
  - ✓ Prietaisas programuojamas vietiniais mygtukais ir per RS485 prievadą prijungus prie PC;
  - ✓ Įėjimai, matavimo diapazonai:
    - Įtampa: -13...13V (-10...10V), -10...63mV (0...60mV);
    - Srovė: -24...24mA (-20...20mA);
    - Pt100, Pt500, Pt1000: -205...855°C (-200...850°C);
    - Tikslumo klasė: 0,1;
  - ✓ Išėjimai:
    - 2 rėliniai išėjimai su normaliai atvirais kontaktais 250Vac/0.5Aac ;
    - 2 rėliniai su perjungiamais kontaktais 250Vac/0.5Aac;

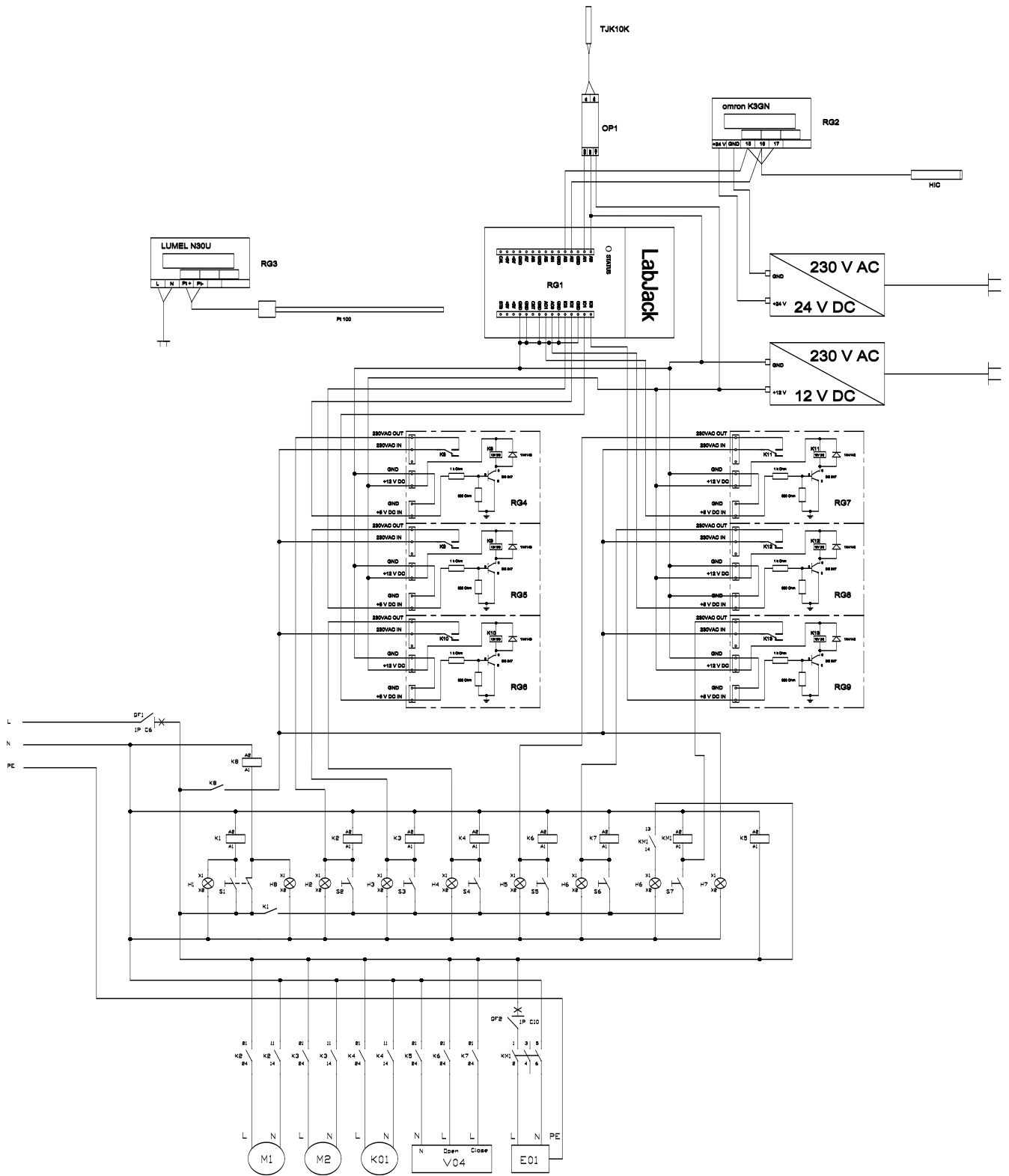
- Analoginis išėjimas: Srovinis 0/4..20mA, įtampinis 0...10V;
  - Skaitmeninis interfeisas: RS-485, protokolas MODBUS RTU;
  - Maitinimo įtampa: 85..230...253V ac/dc arba 20...24...40V ac/dc;
  - Saugos klasė: IP65.
  - Skaitmeninis indikatorius. (1vnt.) Lumel N300
- 5. Stendo jutiklių posistemė.**
- Varžinis termometras Pt100. (1vnt.)
    - ✓ Paskirtis: Matuoti skysčio temperatūrai;
    - ✓ Varžinio termometro ilgis 0,71 m. (710 mm);
  - Impulsinis srauto skaitiklis. (1vnt.)
    - ✓ Paskirtis: Matuoti skysčio debiuta;
    - ✓ Skaitiklis  $Q = 1,5 \text{ m}^3/\text{val}$ ;
    - ✓ Diametras 15 mm;
    - ✓ Impulsas kas 0,1 litro;
    - ✓ Su 2 m ilgio impulso išvedimo laidu;
  - Lygio jutiklis. (1vnt.)
    - ✓ Paskirtis: Matuoti skysčio lygį cilindro formos talpoje;
    - ✓ Ultragarsinis jutiklis, difuzinis;
    - ✓ Matavimo ribos:  $S_n=200-1000\text{mm}$ ;
    - ✓ Maitinimas 24V DC;
    - ✓ Išėjimas 4...20 mA;
    - ✓ Apsaugos klasė IP65;
- 6. Stendo keitiklių posistemė.**
- Sklendė. (1vnt.)
    - ✓ Diametras (DN 20) 20 mm;
    - ✓ Debiutas  $4 \text{ m}^3/\text{h}$ ;
    - ✓ Eiga 2,5 mm;
  - Pavara (1 vnt.)
- ✓ Maitinimas 230 V AC, 50 Hz;
  - ✓ Apsaugos klasė IP40;
  - ✓ Eiga 2,5 mm;
  - ✓ Trijų padėčių;

### 3.2 Sistemos funkcinės schemos sudarymas.



3.1 pav. Sistemos funkcinė schema.

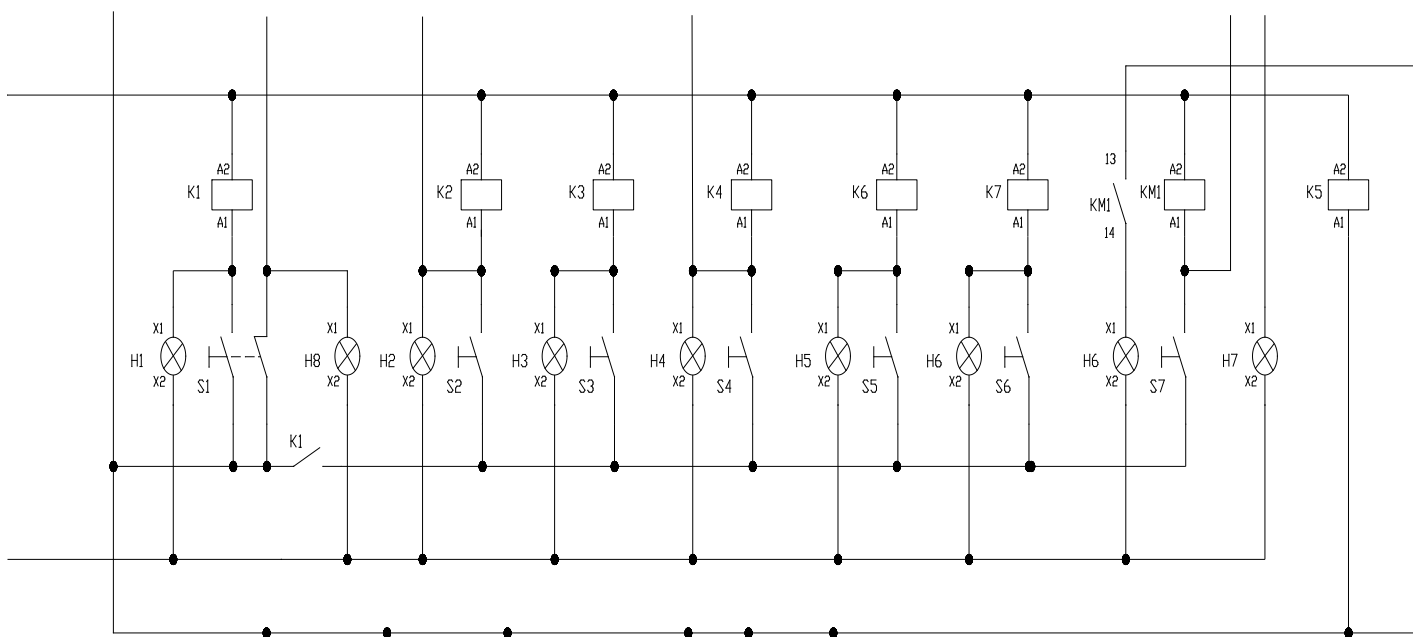
### 3.3 Sistemos sujungimų schemos sudarymas



3.2 pav. stendo sujungimų schema.

Sistemos sujungimų schema sudaro keletas dalių:

1. Operatoriaus panelė, skirta valdyti skysčio lygio ir temperatūros valdymo stendą rankiniu būdu.



3.3 pav. Operatoriaus valdymo panelės sujungimų schema.

Ijungus raktą S1 ir šviečiant indikacinei lemputei H1 (balta), skysčio lygio ir temperatūros valdymo stendą, galima valdyti rankiniu būdu, įjungiami komutavimo relė K1. Įjungus raktą S2, paleidžiamas pripildymo siurblys, indikacinė lemputė H2 šviečia žaliai (indikacinė lemputė įmontuota į raktą S2), įjungiami relė K2. Įjungus raktą S3 – valdomas išleidimo siurblys, suveikia relė K3. Veikiant išleidimo siurbliui šviečia indikacinė lemputė H3 (žaliai). Ventilatorius valdomas įjungus raktą S4, rakte esanti indikacinė lemputė H4 šviečia žaliai, įjungiami relė K4. Norint atidaryti vandens vožtuvo sklendę, reikia įjungti raktą S5, o norint uždaryti vandens vtuvo sklendę, visų pirma reikia išjungti raktą S5 ir tada įjungti raktą S6. Skysčio temperatūrą pakelti iki norimos galima įjungus raktą S7, tuomet suveikia kontaktorius KM1, kuris komutuoja el. grandinę ir taip įjungiamas kaitinimo elementas.

3.4 pav. vaizduojami komutuojami įrenginiai:

M1 – pripildymo siurblys;

M2 – išleidimo siurblys;

K01 – ventilatorius;

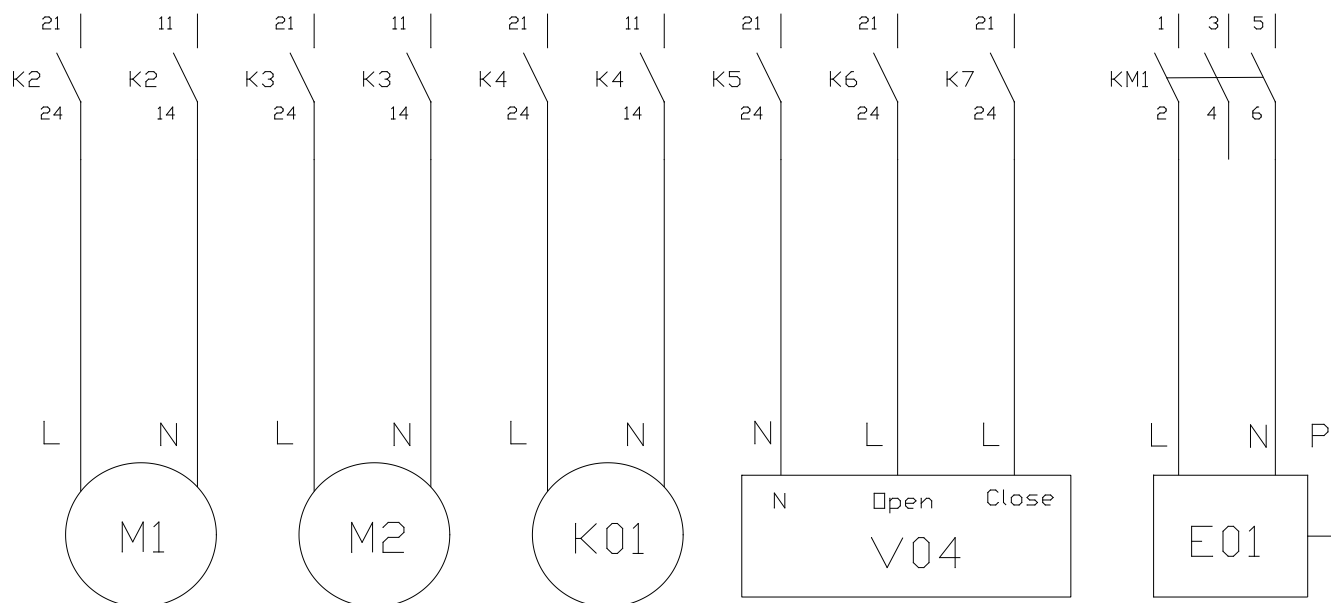
V04 – vandens vožtuvo sklendė;

E01 – kaitinimo elementas.

Relių kontaktai (NO):

K2 – pripildymo siurblio relės kontaktai;

- K3 - išleidimo siurblio relės kontaktai;
- K4 – ventiliatoriaus relės kontaktai;
- K5 – vandens vožtuvo sklendės kontaktas (N);
- K6 - vandens vožtuvo sklendės kontaktas (atidarymas);
- K7 - vandens vožtuvo sklendės kontaktas (uždarymas);
- KM1 – kaitinimo elemento kontaktoriaus kontaktai.



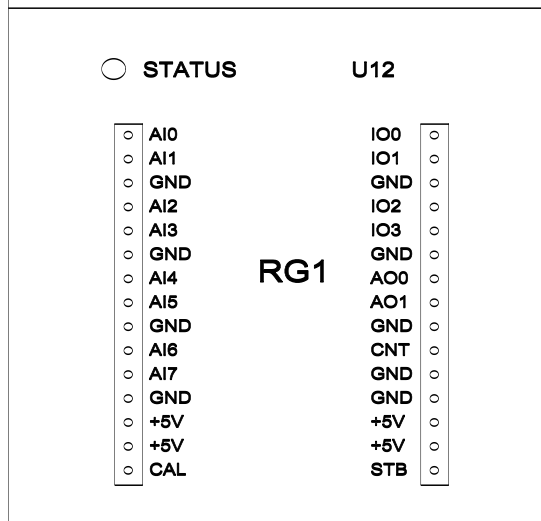
3.4 pav. Komutuojami įrenginiai.

Valdymo grandinės apsaugai naudojamas vienpolis automatinis jungiklis C 6A (QF1), kaitinimo elementui naudojamas vienpolis automatinis jungiklis C10 A (QF2).

Išjungus valdymo raktą S1, įjungiamas automatinis režimas, suveikia automatinio įjungimo relė K8, šviečia indikacinė lemputė H7. Rankinis valdymas iš operatoriaus panelės negalimas, tu galite įsitinti bandydami įjungti bent vieną iš raktų.

Norint valdyti automatinio būdu, komutavimui reikalingas valdiklis. Šioje sistemoje naudojamas „LabJack U12“ valdiklis (RG1). „LabJack U12“ valdiklis (RG1) pavaizduotas 3.5 pav.

# LabJack



3.5 pav., „LabJack U12“ valdiklis.

Valdiklyje naudojami šie įėjimai ir išėjimai:

IO0 – naudojamas šildytuvo vandymui (kaitinimo elemento);

IO1 – naudojamas ventiliatoriaus valdymui;

IO2 – naudojamas pripildymo siurblio valdymui;

IO3 – naudojamas išleidimo siurblio valdymui;

AO0 – naudojamas vandens vožtuvo sklendės uždarymui valdyti;

AO1 – naudojamas vandens vožtuvo sklendės atidarymui valdyti;

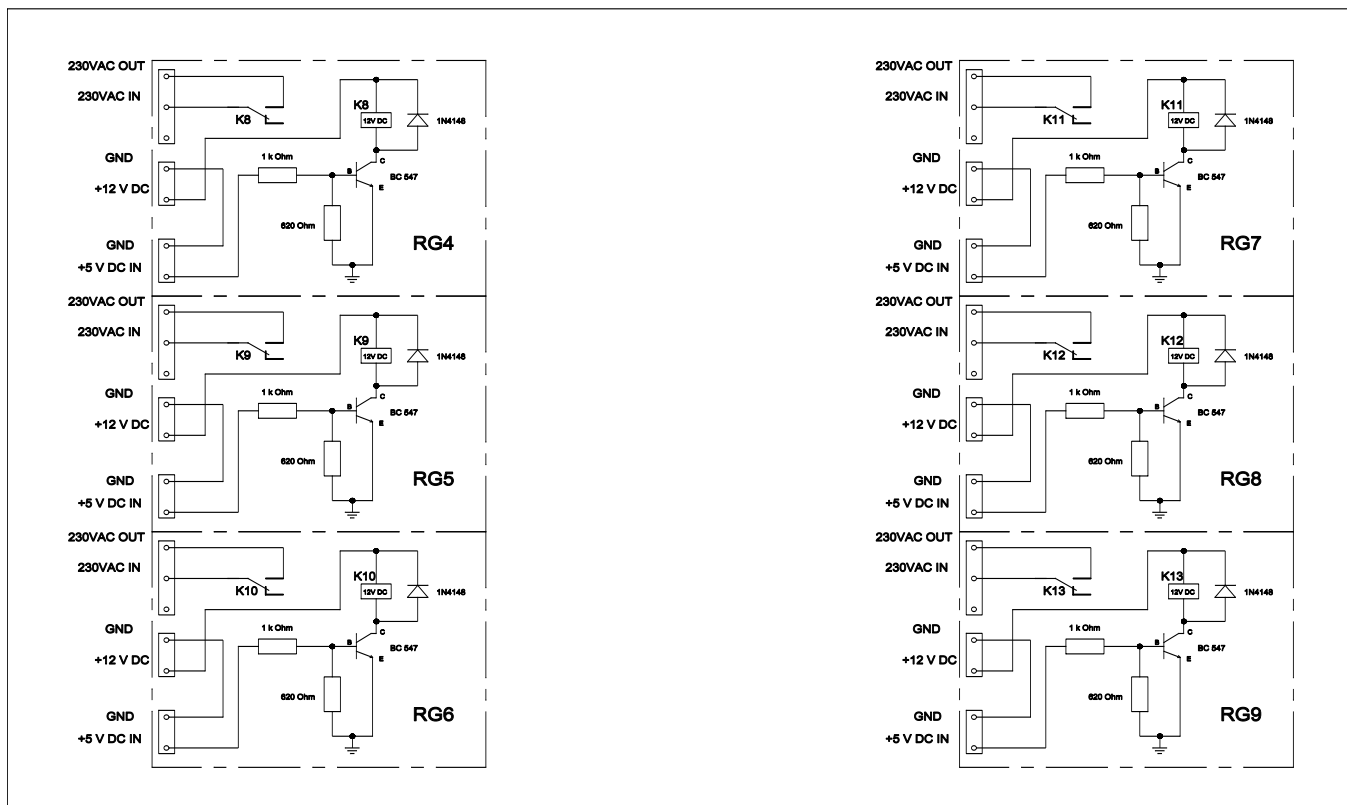
AI0 – naudojamas analoginis įėjimas temperatūros indikacijai;

AI2 – naudojamas analoginis įėjimas skysčio lygio indikacijai.

Valdiklis (RG1) išduoda tik +5 V DC valdymo signalą, kurio nepakanka valdyti komutavimo relės, todėl reikalingos tarpinės relės. Tarpinės relės 12 V DC, todėl reikalingas stiprintuvas, kurio pagalba, gavus + 5V DC įtampos signalą iš valdiklio, būtų įmanoma komutuoti tarpines relės (12 V DC).

Toks stiprintuvas pavaizduotas 3.6 pav.





3.6 pav. Stiprintuvo blokas, kuris komutuoja valdymo reles.

RG4 – komutuoja papildymo siurblio relę K2;

RG5 – komutuoja išleidimo siurblio relę K3;

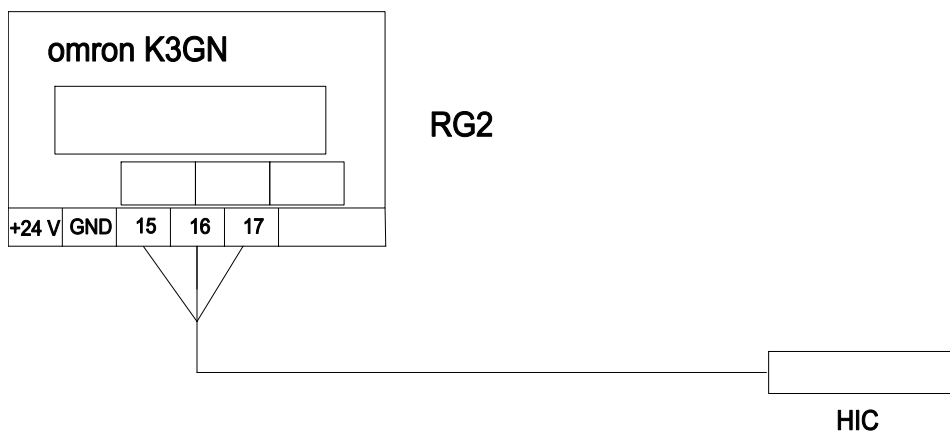
RG6 – komutuoja ventiliatoriaus relę K4;

RG7 – komutuoja vandens vožtuvo sklendės atidarymo relę K6;

RG8 - komutuoja vandens vožtuvo sklendės uždarymo relę K7;

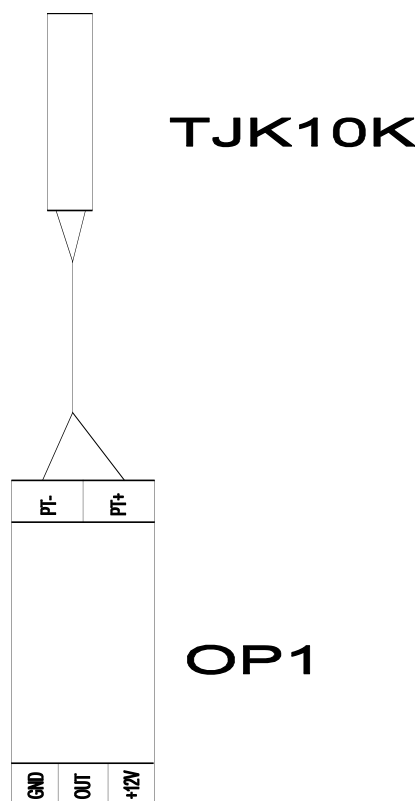
RG9 – komutuoja šildytuvo kontaktoriaus relę KM1.

Skysčio lygio indikacijai talpoje, naudojamas ir valdiklis „Omron K3GN“ (RG2) (3.7 pav.), kurio pagalba, valdant rankiniu būdu, galima matyti skysčio lygį. Jutiklio duomenys (HIC) tap pat perduodami ir į valdiklį RG2, į analoginį įėjimą AI0 ir AI1.



3.7 pav. valdiklis „Omron K3GN“ vaizdavimas sujungimų schemeje.

Skysčio temperatūrai naudojamas varžinis jutiklis TJK10K. Jutiklio varžinis signalas konvertuojamas į įtampinį 0-10 V signalą. Tai padeda padaryti keitiklis OP1(3.8 pav.), kurio pagalba duomenys perduodami į valdiklio RG3 analoginį įėjimą AO2 ir AO3.

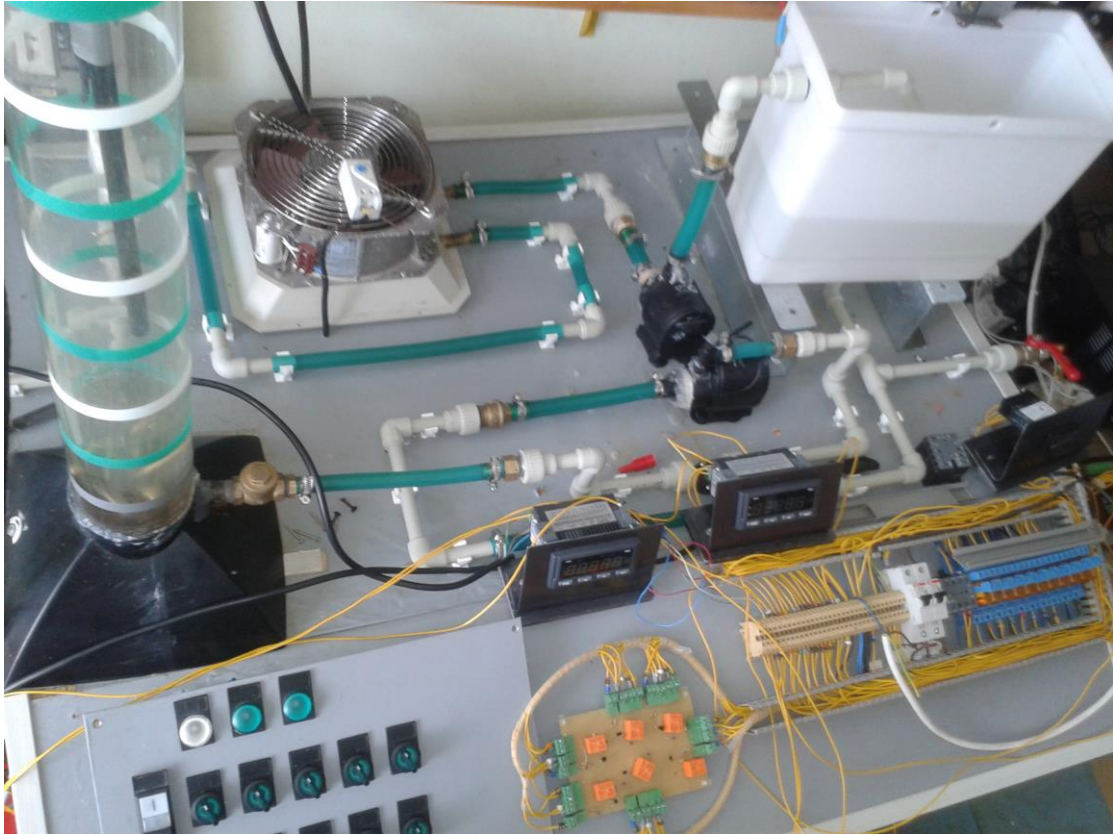


3.8 pav. OP1 keitiklio vaizdavimas.

Skysčio temperatūrai taip pat naudojamas ir kitas temperatūrinis jutiklis Pt 100. Jutiklis jungiamas prie valdiklio RG3 (Lumel N30U). Šis jutiklis yra tik informacinio pobūdžio, kadangi jis matuoja tik vidutinę skysčio temperatūrą.

### 3.4 Sistemos montavimas, integravimas, derinimas ir jos bandymai

Kaip ir ankščiau buvo minėta, pagrindinis šio darbo tikslas, sukurti sistemą, kuri būtų naudojama kaip mokomoji priemonė. Taip pat su šia sistema būtų galima atlikti tyrimus.



3.9 pav. Skysčio lygio ir temperatūros valdymo sistemos vaizdas.

Skysčio lygio ir temperatūros valdymo sistemą (3.9 pav.) sudaro:

Stende naudojami Resun firmos siurbliai. Jų pagalba galime perpumpuoti skystį iš vienos talpos į kitą. Taip pat palaikyti reikiamą skysčio lygį talpoje. Skysčio siurblio vaizdą matome 3.10 pav.

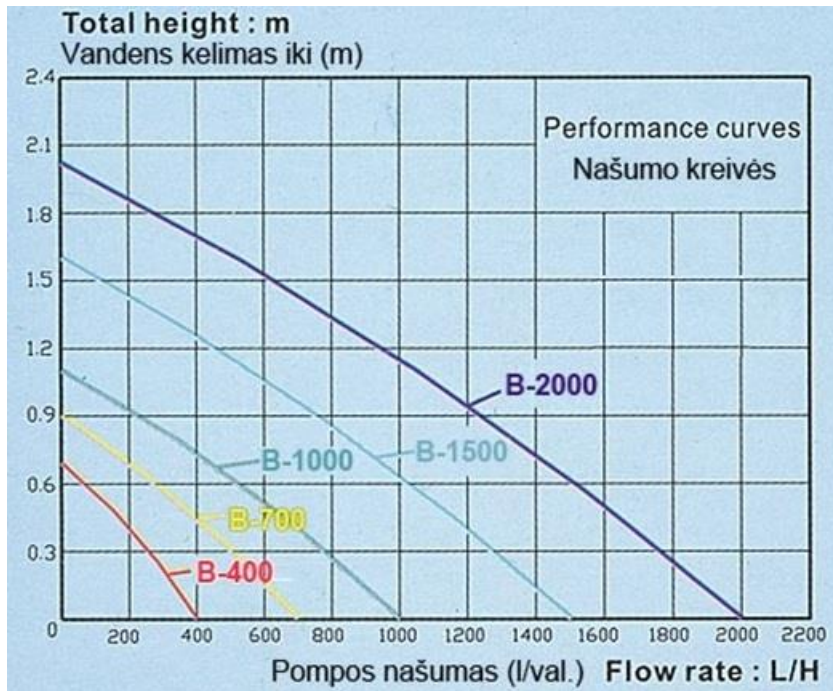


3.10 pav. Vandens siurblys Resun B-2000

Vandens siurblio techniniai duomenys:

- |                                    |                |
|------------------------------------|----------------|
| • Gaminio modelis:                 | B-2000         |
| • Maitinimo įtampa                 | 230 VAC        |
| • Dažnis                           | 50 Hz          |
| • Pompos našumas (l/val.)          | 2000           |
| • Vandens kelimas iki (m)          | 2,0            |
| • Energijos išekvojimas (W)        | 30             |
| • Išmetimo antgalio diametras (mm) | 19             |
| • aukštis x ilgis x plotis (mm)    | 164 x 143 x 69 |

Vandens siurblio Resun B-2000 našumo kreivė pavaizduota 3.11 pav.



3.11 pav. Vandens siurblio Resun B-2000 našumo kreivė

Vandens siurblių, skysčio lygio ir temperatūros valdymo stende, bendras vaizdas pavaizduotas 3.12 pav.



3.12 pav. Skysčio siurblių vaizdas valdymo stende.

Skysčio lygio ir temperatūros valdymo stende panaudotas atbulinės eigos vožtuvas, kuris neleidžia skysčiui tekėti atgal (3.13 pav.).



3.13 pav. Atbulinės eigos vožtuvas

Atbulinės eigos važtuvas pavaizduotas valdymo stende 3.14 pav.



3.14 pav. Atbulinės eigos važtuvas valdymo stende.

Kaitinimo elementas, skirtas pašildyti skystį iki norimos temperatūros. (3.15 pav.)

Kaitinimo elemento duomenys:

- Galia: 1 kW;
- Maitinimo įtampa: 230 V AC;



3.15 pav. Kaitinimo elementas

Bandymams buvo parinkta kūgio formos talpykla.(3.16 pav.) Kolbos tūris – 5,5 litrai.



3.16 pav. Kūgio formos talpa

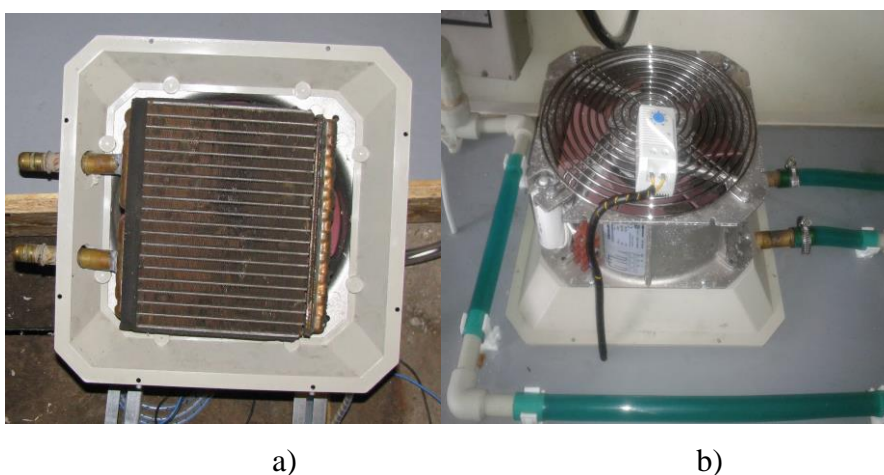
Skysčio lygio valdymui naudojama tripozinė Siemens įmonės pavara. (3.17 pav.)





3.17 pav. Siemens SSP31 pavara.

Skysčio aušinimui naudojamas radiatorius (3.18 pav. a), kurį papildomai aušina ventiliatorius (3.18 pav. b).



a)

b)

3.18 pav. Stende naudojamas ventiliatorius a) ir jo aušinimui - ventiliatorius b).

Balansinė talpa, iš kurios skystis pumpuojamas į kolbos formos talpą, pavaizduota 3.19 pav.





3.19 pav. balansinė talpa.

Avariniam skysčio išleidimui naudojami rankiniai ventiliai. (3.4.12 pav.)



3.20 pav. Ventilis.

Skysčio temperatūros nustymui ir valdymui naudojami du temperatūros jutikliai:

- Pt100;
- TJK10K

Lygio valdymui naudojamas ultragarsinis jutiklis 3RG6233-3TS00 (3.4.14 pav.)

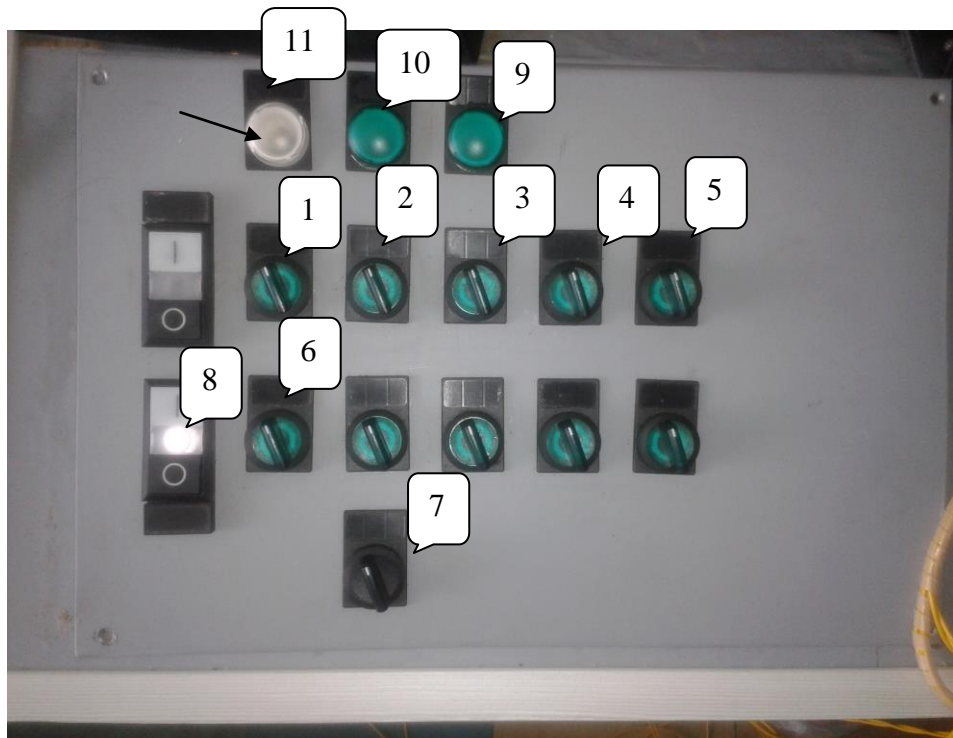


3.21 pav. Ultragarsinis jutiklis 3RG6233-3TS00

Sistemą galima valdyti rankiniu arba automatiniu valdymu valdiklio pagalba. Rankiniu valdymu, galime įjungti arba išjungti reikiamus stendo komponentus:

- Siurblius;
- Kaitinimo elementą;
- Vandens vožtuvo sklendę;
- Ventiliatorių;

Rankinio valdymo panelis pavaizduotas 3.22 pav.



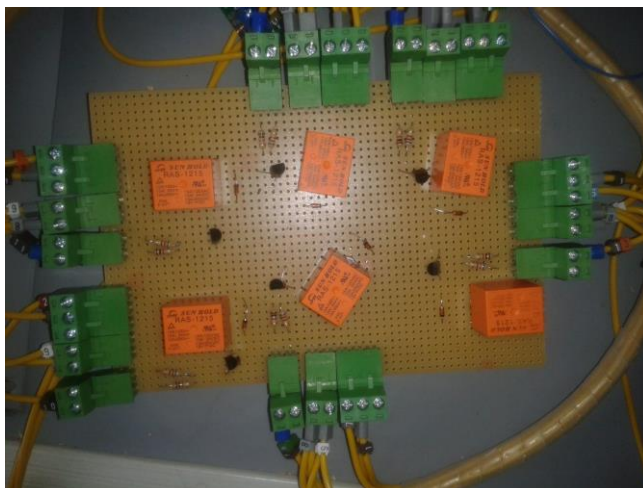
3.22 pav. Valdymo panelis

Valdymo panelės raktų reikšmės:

- 1- Įleidimo ventiliatoriaus valdymas;
- 2- Išleidimo ventiliatoriaus valdymas;
- 3- Ventiliatoriaus valdymas;
- 4- Šildytuvo valdymas;

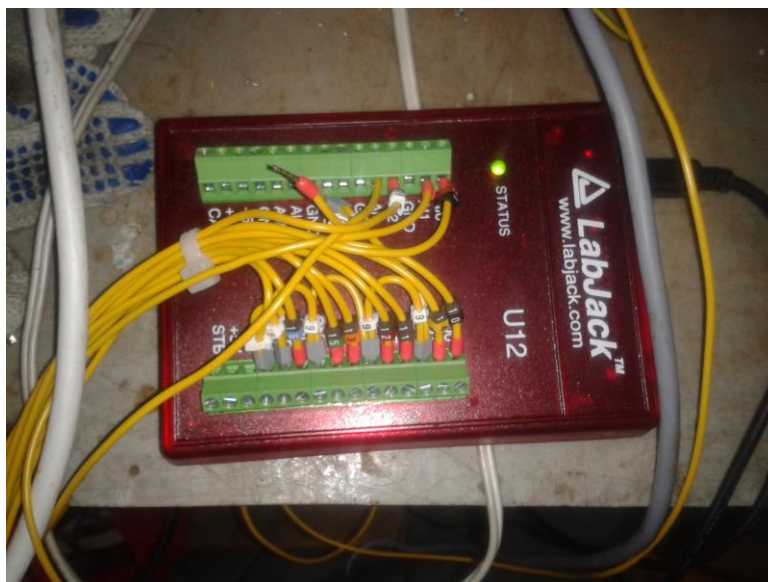
- 5- Sklendės atidarymas;
- 6- Sklendės uždarymas;
- 7- Automatinis, rankinis valdymas;
- 8- Automatinio valdymo indikacija;
- 9- Papildoma šildytuvo suveikimo indikacija;
- 10- Papildoma ventiliatoriaus suveikimo indikacija;
- 11- Rankinio valdymo indikacija.

Valdymo plokštė (3.23 pav.) reikalinga signalo stiprinimui, kadangi valdiklis išduoda + 5 VDC signalą, o reikalinga komutuoti 12 VDC rėles, kurios valdo 230 VAC valdymo rėles.



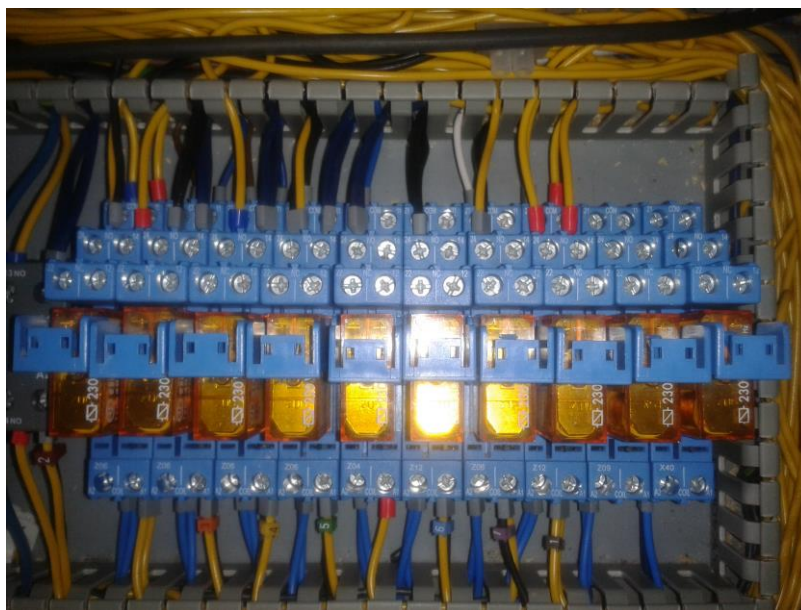
3.23 pav. Plokštė skirta signalo stiprinimui.

Valdiklis “LabJack U12” reikalingas komutuoti sistemą automatiškai būdu (3.24 pav.).



3.24 pav. “LabJack U12” valdiklis.

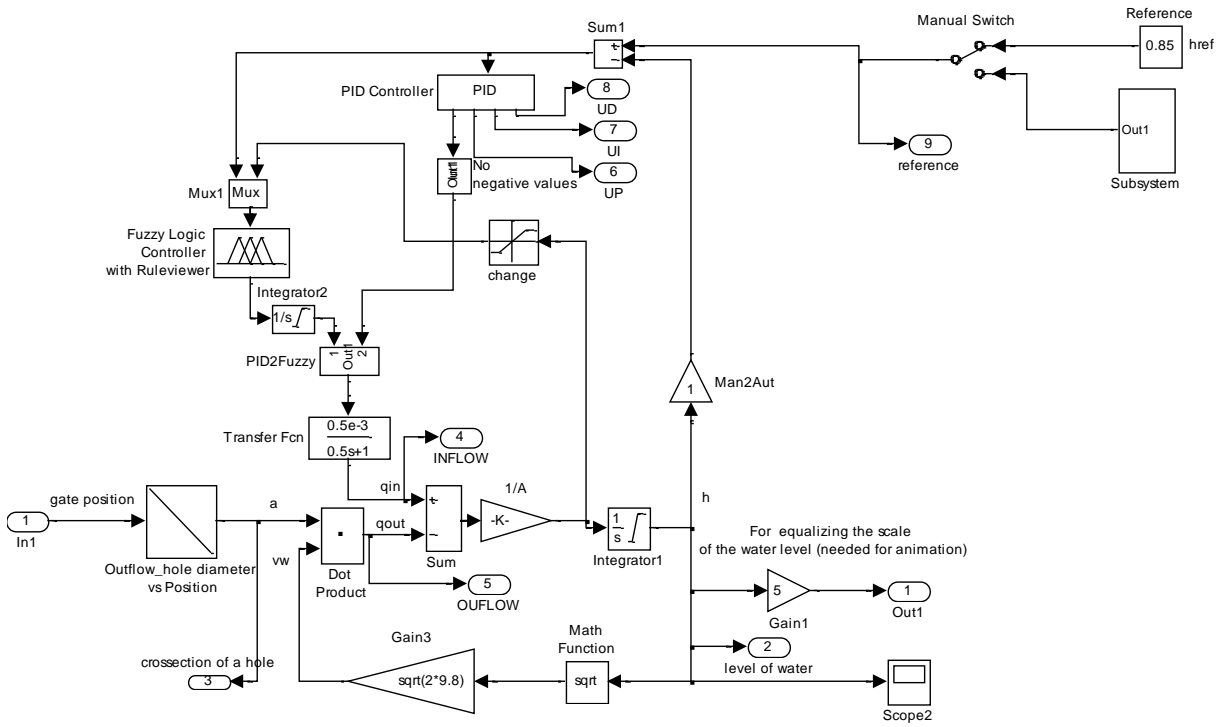
Komponentų valdymui naudojamos 230 VAC relės. (3.25 pav.)



3.25 pav. Relės naudojamas stendo komponentų valdymui.

### **3.5 Skysčio talpyklos Simulink modelis**

Skysčio talpyklos Simulink modelis lygiui valdyti pateiktas 3.26 pav.



3.26 pav. Skysčio talpyklos Simulink modelis

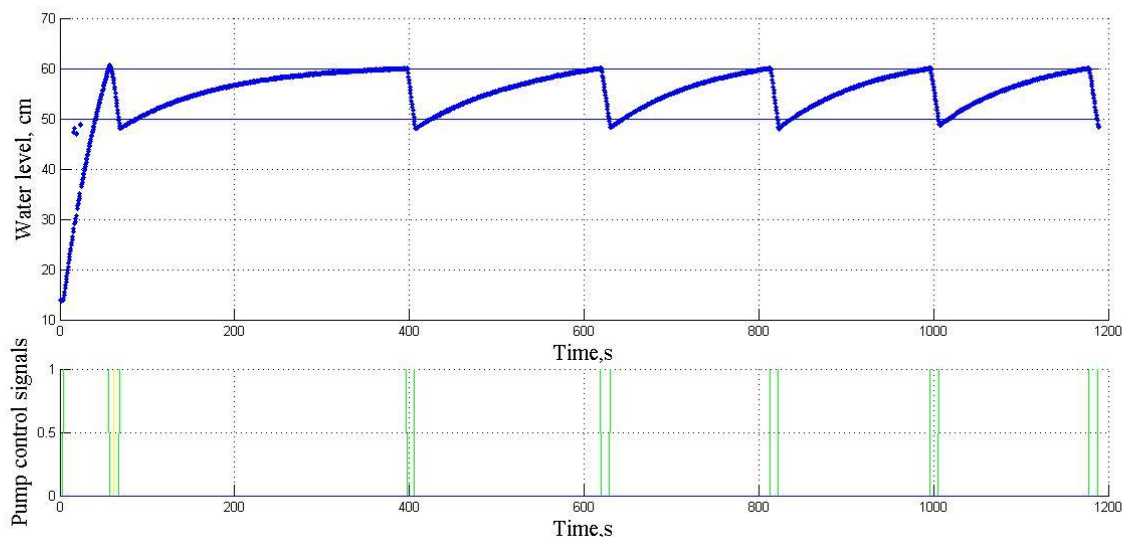
### 3.6 Tipinių skysčio lygio ir temperatūros reguliatorių tyrimas



### 3.6.1 Skysčio lygio reguliavimas veikiant įleidimo ir išleidimo siurbliams, kai sklendė atidaryta pusiau (50 %).

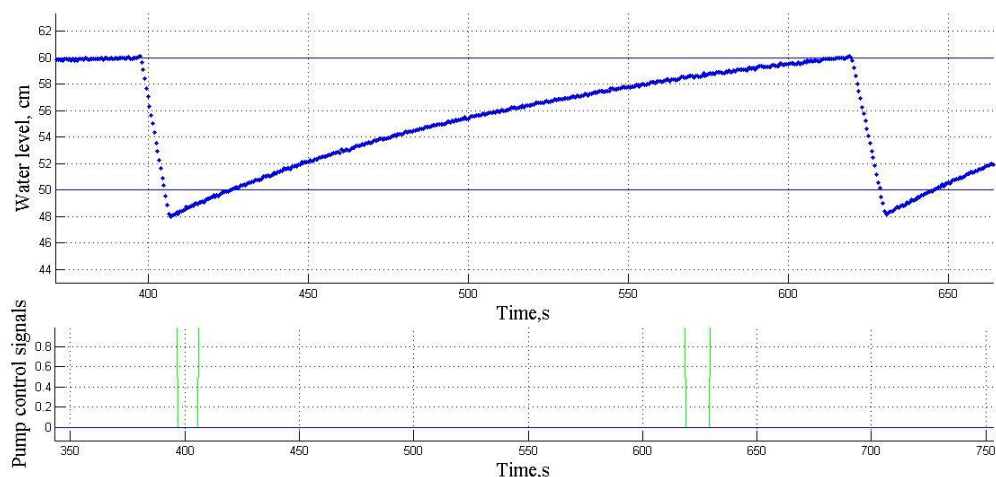
Atliktas eksperimentas, kurio metu palaikomas skysčio lygis tarp dviejų užduotų taškų. Skystis neturi būti išleistas žemiau nei 50 cm ir skysčio lygis negali viršyti daugiau nei 60 cm. Eksperimento metu įvedamas tam tikras trikdys, t.y atidaroma vandens vožtuvo sklendė (sklendė atidaroma 50 %).

Pasiekus maksimalų užduotą 60 cm lygį, išjungiamas įleidimo siurblys. Nukritus skysčio lygiui iki minimalios užduotos 50 cm reikšmės įleidimo siurblys įjungiamas. Išleidimo siurblys visuomet įjungtas. Gaunami rezultatai, kurie pavaizduoti 3.27 pav.



3.27 pav. Skysčio lygio reguliavimo tarp dviejų pasirinktų taškų eksperimento rezultatai.

Iš eksperimento rezultatų (3.27 pav.) matyti, kad skysčio lygis minimalią reikšmę pasiekia po 20 sekundžių, o maksimalią reikšmę pasiekia po 220 sekundžių. (3.28 pav.) Viršutiniame grafike pateikiama nustatytos ir išmatuoto skysčio lygio vertės, apatiniame – įleidimo siurblio signalas (1 – įjungtas, 0– išjungtas).



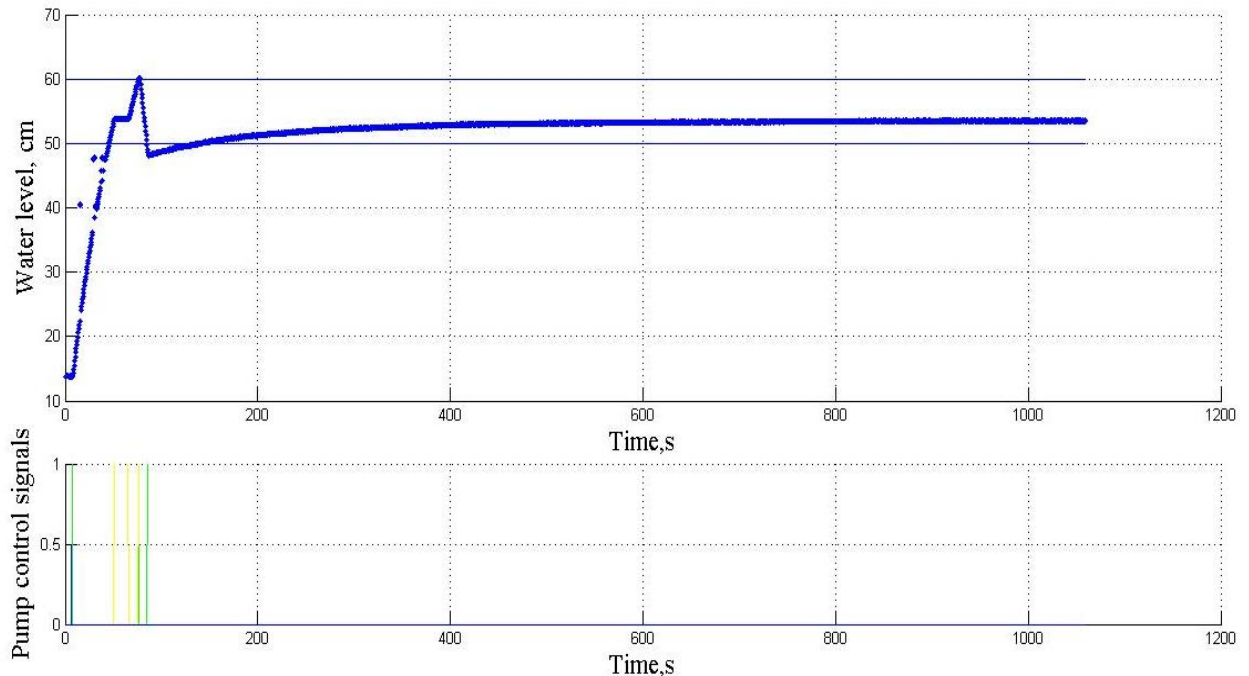
3.28 pav. Skysčio lygio reguliavimo tarp dviejų pasirinktų taškų eksperimento fargmentas

Pažymėtina, kad išjungus įleidimo siurblių ir pasiekus minimalią reikšmę (50 cm) siurblys nespeja įsijungti iškart, nes veikiant išleidimo siurbliui, skystis iš talpos išteka greitai, taip pat veikia inercija. Kitas bandymas yra atliekamas, kai vandens vožtuvo sklendė yra atidaryta (100 %).

### 3.6.2 Skysčio lygio reguliavimas veikiant įleidimo ir išleidimo siurbliams, kai sklendė atidaryta (100 %).

Ekspertas, kurio metu palaikoma skysčio lygis tarp dviejų užduotų taškų. Skystis neturi būti išleistas žemiau nei 50 cm ir skysčio lygis negali viršyti daugiau nei 60 cm. Eksperto metu įvedamas tam tikras trikdys, t.y vandens vožtuvo sklendė atidaryta (sklendė atidaroma 100 %).

Pasiekus maksimalų užduotą 60 cm lygį, išjungiamas įleidimo siurblys ir įjungiamas išleidimo siurblys. Nukritus skysčio lygiui iki minimalios užduotos 50 cm reikšmės įleidimo siurblys yra įjungiamas. Gaunami rezultatai, kurie pavaizduoti 3.29 pav.

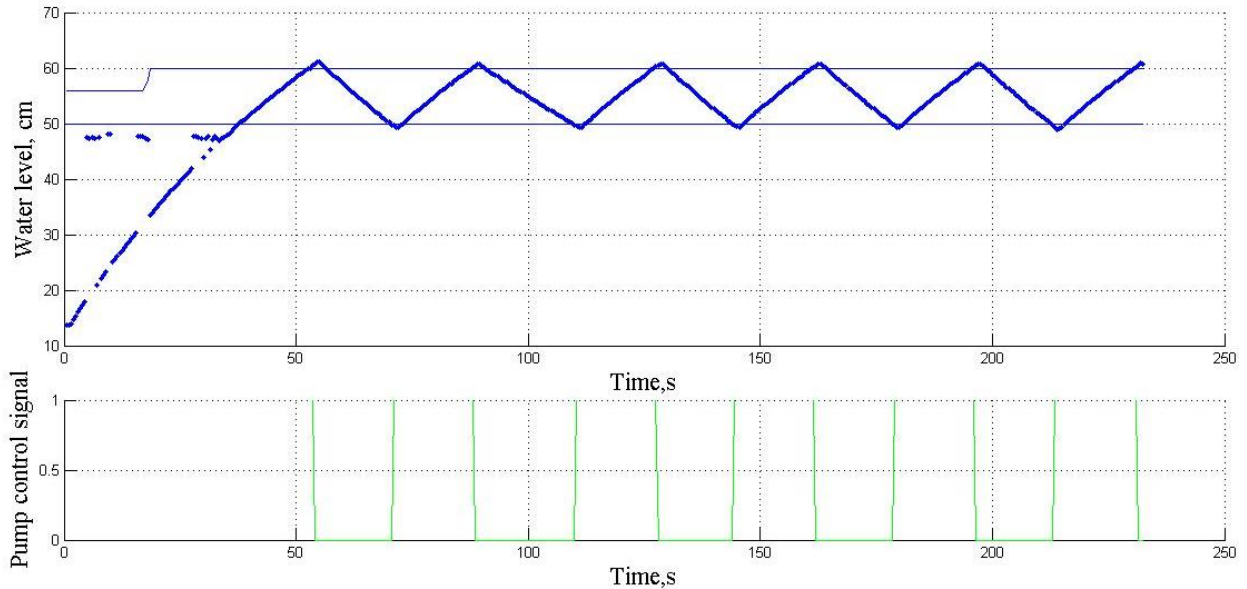


3.29 pav. Skysčio lygio reguliavimo tarp dviejų pasirinktų taškų eksperimento rezultatai, kai vandens vožtuvo sklendė atidaryta (100 %).

Išjungus įleidimo siurblių ir pasiekus minimalią reikšmę (50 cm) siurblys nespėja įsijungti iškart, nes veikiant išleidimo siurbliui, skystis iš talpos išteka greitai, taip pat veikia inercija. Skystis iki maksimalios reikšmės (60 cm) negali pripumpuoti skysčio, kadangi sklendė yra atidaryta, abu siurbliai yra tokio pat našumo, taip pat veikia atmosferos slėgis. Skystis pasiekia tik 54 cm lygį ir toliau nebekyla, norint pasiekti maksimalią užduotą reikšmę, reikia uždarinėti vandens vožtuvo sklendę.

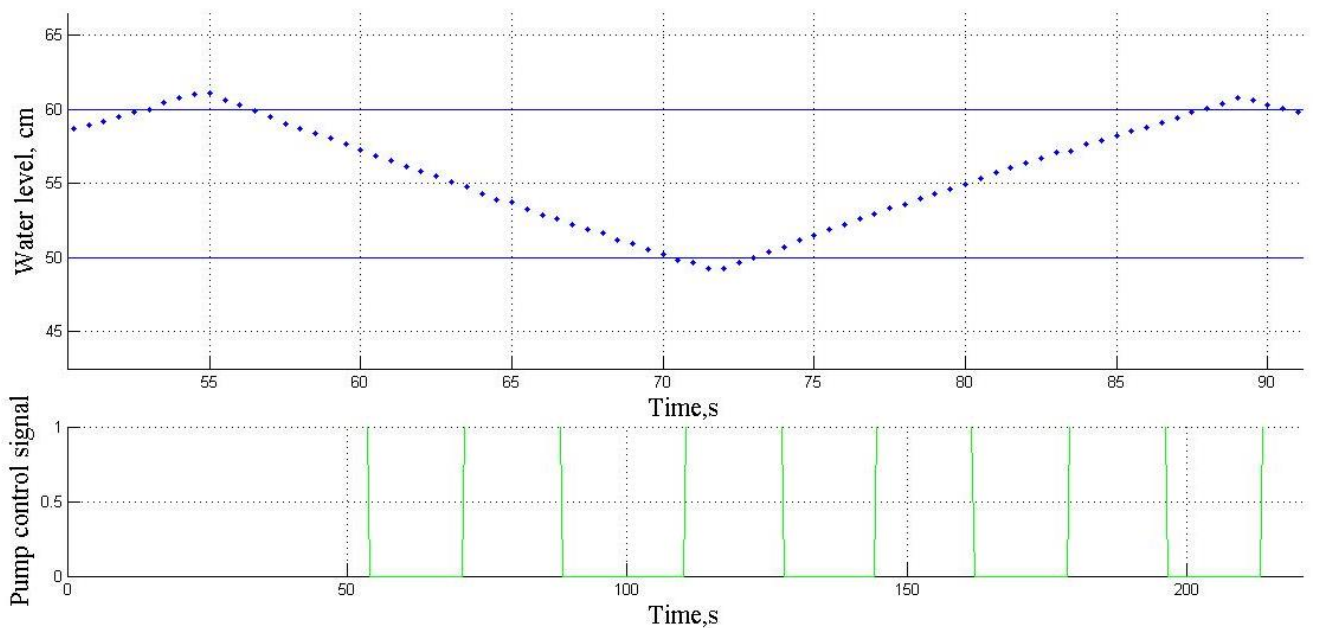
### 3.6.3 Skysčio lygio reguliavimas veikiant įleidimo siurbliui, kai sklendė atidaryta (50 %).

Atliekamas eksperimentas, kai įleidimo siurblys turi palaikyti lygį tarp dviejų taškų. Minimalus lygis 50 cm, maksimalus – 60 cm. Vandens vožtuvo sklendė atidaryta pusiau (50 %). Išleidimo siurblys yra išjungtas. Gauti eksperimento rezultatai pavaizduoti 3.30 pav.



3.30 pav. Skysčio lygio reguliavimo tarp dviejų pasirinktų taškų eksperimento rezultatai, kai vandens vožtuvo sklendė atidaryta pusiau (50 %), išleidimo siurblys išjungtas.

Iš eksperimento rezultatų (3.30 pav.) nustatoma, kad skysčio lygis minimalią reikšmę pasiekia po 17 sekundžių, o maksimalią reikšmę pasiekia taip pat po 17 sekundžių. (3.31 pav.) Viršutiniame grafike pateikiama nustatytos ir išmatuoto skysčio lygio vertės, apatiniame – įleidimo siurblio signalas (1 – įjungtas, 0– išjungtas).

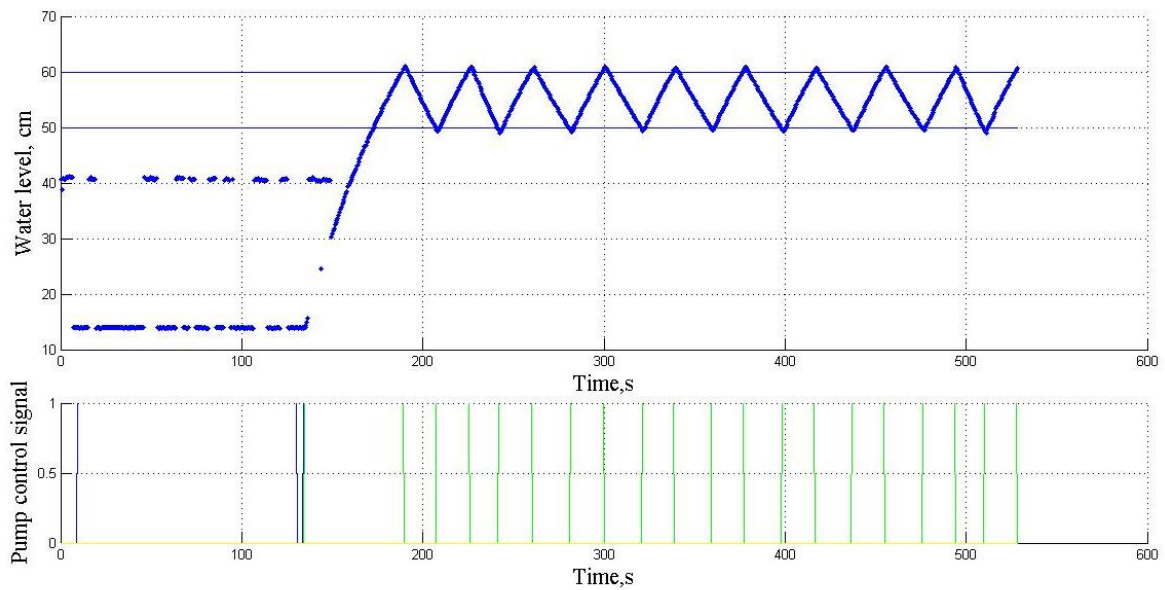


3.31 pav. Skysčio lygio reguliavimo eksperimento fragmentas, kai vandens vožtuvo sklendė atidaryta pusiau (50 %), išleidimo siurblys išjungtas.

### 3.6.4 Skysčio lygio reguliavimas veikiant įleidimo siurbliui, kai sklendė atidaryta (100 %), išleidimo siurblys išjungtas.

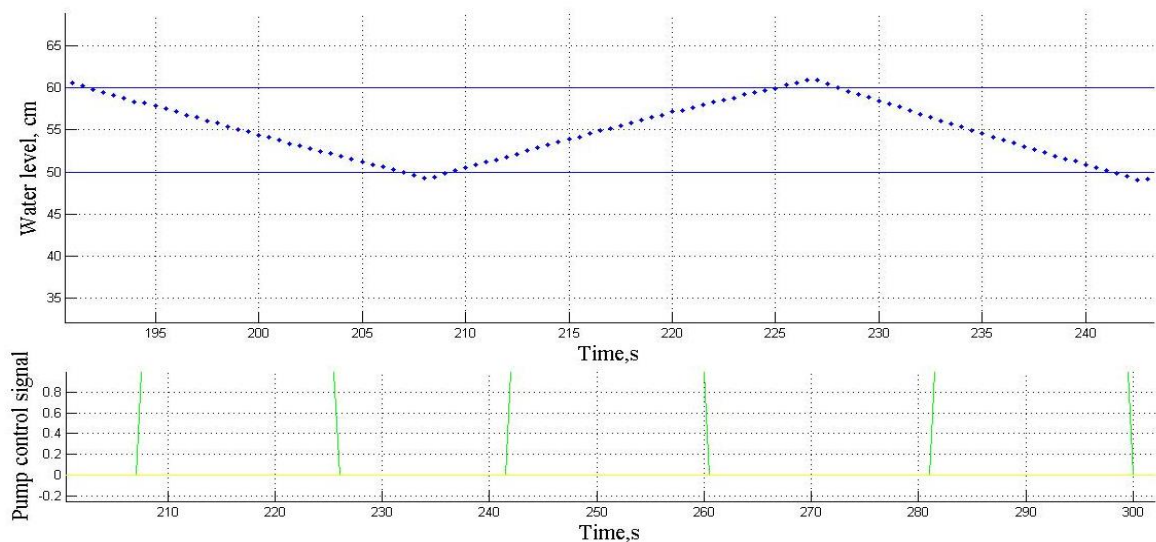


Tyrimo metu įleidimo siurblys turi palaikyti lygį tarp dviejų taškų. Minimalus lygis 50 cm, maksimalus – 60 cm. Vandens vožtuvo sklendė atidaryta (100 %). Išleidimo siurblys yra išjungtas. Gauti eksperimento rezultatai pavaizduoti 3.32 pav.



3.32 pav. Skysčio lygio reguliavimo tarp dviejų pasirinktų taškų eksperimento rezultatai, kai vandens vožtuvo sklendė atidaryta (100 %), išleidimo siurblys išjungtas.

Tyrimo metu, nustatyta (3.32 pav, kad skysčio lygis minimalią reikšmę pasiekia po 17 sekundžių, o maksimalią reikšmę pasiekia (įleidimo siurblys įjungtas) po 19 sekundžių. (3.33 pav.) Viršutiniame grafike pateikiama nustatytos ir išmatuoto skysčio lygio vertės, apatiniame – įleidimo siurblio signalas (1 – įjungtas, 0– išjungtas).



3.33 pav. Skysčio lygio reguliavimo eksperimento fragmentas, kai vandens vožtuvo sklendė atidaryta (100 %), išleidimo siurblys išjungtas.

### 3.6.5 Skysčio lygio reguliavimas keičiant ištraukiamo skysčio sklendės padėtį

Skysčio lygio reguliavimo paklaida:

$$e_h = h_{sp} - h;$$

čia  $h_{sp}$  – siekiama skysčio lygio vertė,  $h$  – išmatuota skysčio lygio vertė.

Antrasis skysčio lygio reguliavimo būdas – įjungus įtekančio ir ištekančio skysčio srauto siurblius, keisti ištekančio skysčio sklendės padėtį. Tokio tipo reguliavimą apsunkina tai, kad naudojama sklendė neturi grįžtamojo ryšio (tai yra regulatorius neturi jokios informacijos apie jos esamą padėtį). Be to sklendė yra lėtaveikė (ciklas nuo pilno atsidarymo iki pilno užsidarymo trunka 60 sekundžių). Ši situacija verčia ieškoti netradicinių valdymo būdų. Tokiais atvejais paprastai naudojamas taisyklėmis pagrįstas valdymas, kuris ir yra panaudojamas.

Sklendė reguliuojama remiantis šiomis taisyklėmis:

1. Jeigu skysčio lygio reguliavimo paklaida  $e_h$  didesnė už apatinę minimalios paklaidos  $e_{h,l}$  vertę, tuomet sklendę reikia uždaryti.
2. Jeigu skysčio lygio reguliavimo paklaida  $e_h$  mažesnė už viršutinę minimalios paklaidos  $-e_{h,l}$  vertę, tuomet sklendę reikia atidaryti.
3. Jeigu skysčio lygio reguliavimo paklaida  $e_h$  mažesnė už  $e_{h,h}$  ir didesnė už  $-e_{h,l}$ , tuomet sklendę atsidarymą arba užsidarymą sustabdyti.

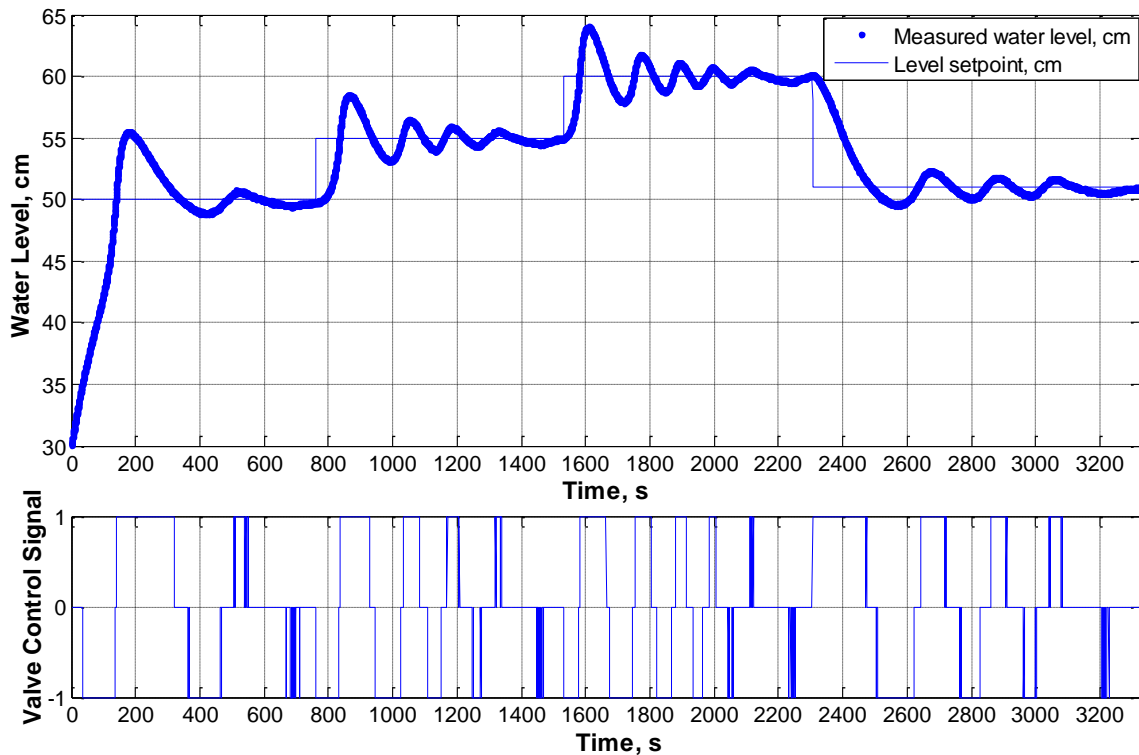
Šios taisyklės integruotos į valdymo programos kodą.

Atliktas eksperimentas, keičiant siekiamo skysčio lygio nuostatą tokia seka:  
50 cm – 55 cm – 60 cm – 51 cm. Pasirinkta

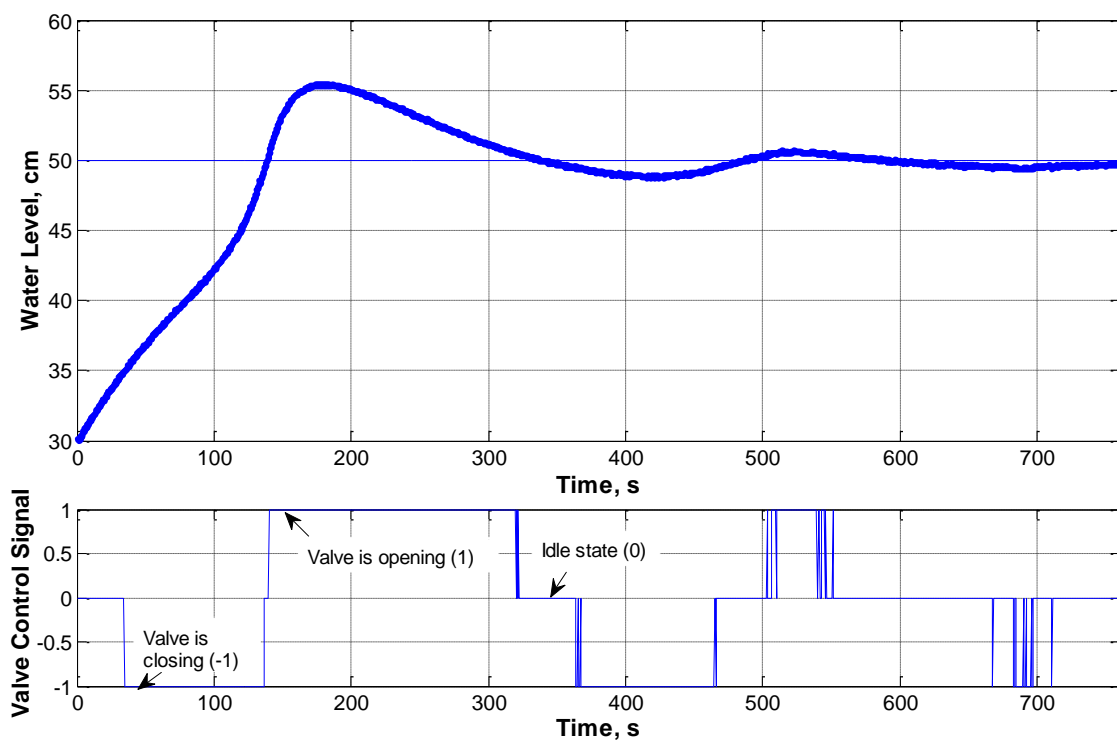
Iš eksperimento rezultatų (3.34 pav. ir 3.35 pav.) matyti, kad keičiant ištekančio skysčio sklendės padėtį, galima reguliuoti skysčio lygį talpykloje. Viršutiniuose grafikuose pateikiama nustatytos ir išmatuoto skysčio lygio vertės, apatiniuose – regulatoriaus valdymo signalas sklendei (1 – užsidarinėti, -1 – atsidarinėti, 0 – sustoti).

Pažymėtina, kad reguliuojant pastebimi ryškūs lygio svyravimai apie nuostato vertę, kurie bėgant laikui gęsta ir pasiekiami nustatyta vertė. Reguliavimo procesas užtrunka virš 10 minučių. Tam didžiausią įtaką turi sklendės savybės ir valdymo algoritmas.

Manoma, kad žymiai geresnių rezultatų įmanoma pasiekti taikant neaiškiųjų aibių (angl. *Fuzzy*) logiką.



3.34 pav. Skysčio lygio reguliavimo keičiant ištraukiamo skysčio sklendės padėtį eksperimento rezultatai ( $e_{h,h} = e_{h,l} = 0,5 \text{ cm}$ )



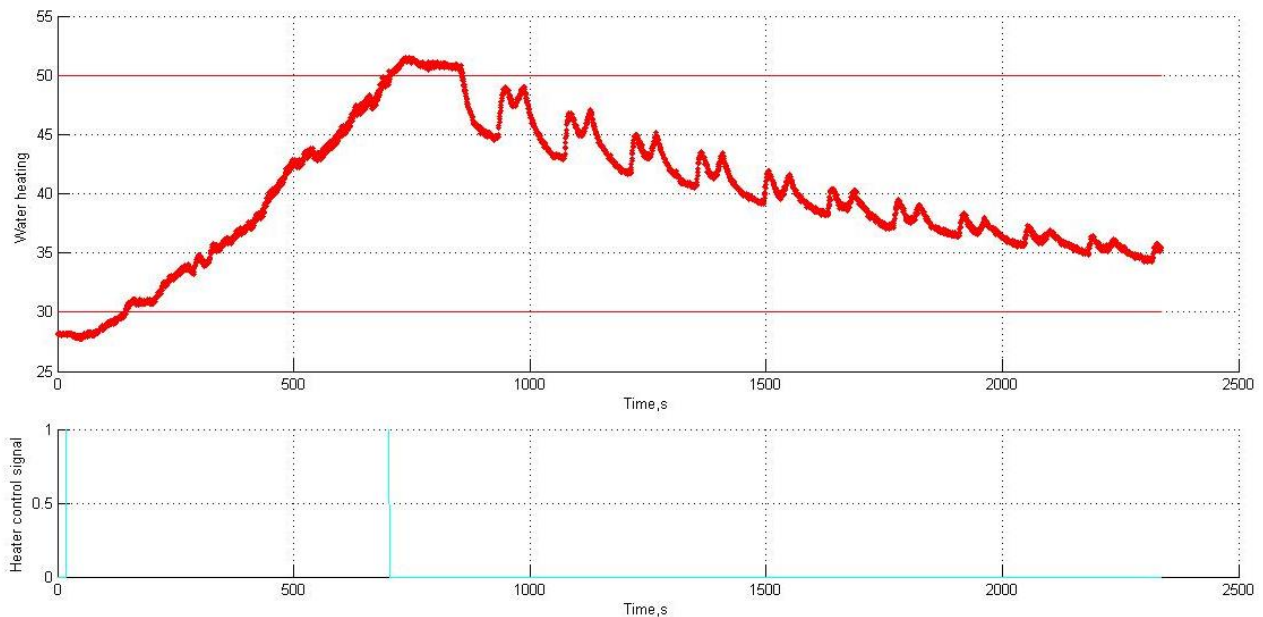
3.35 pav. Skysčio lygio reguliavimo keičiant ištraukiamo skysčio sklendės padėtį eksperimento rezultatų fragmentas (siekiamas skysčio lygis – 50 cm,  $e_{h,h} = e_{h,l} = 0,5 \text{ cm}$ )

### 3.6.6 Skysčio šildymas iki nustatytos temperatūros, įjungtas ventiliatorius ir išleidimo siurblys

Ekspertas atliktas, kai skysčio lygis yra 60 cm, minimali skysčio temperatūra 28 °C, vandens vožtuvo sklendė atidaryta.

Eksperto tikslas – pašildyti skystį iki 50 °C ir jį atušinti iki 35 °C, nenaudojant ventiliatoriaus ir keičiant skysčio lygį nuo 60 cm iki 20 cm.

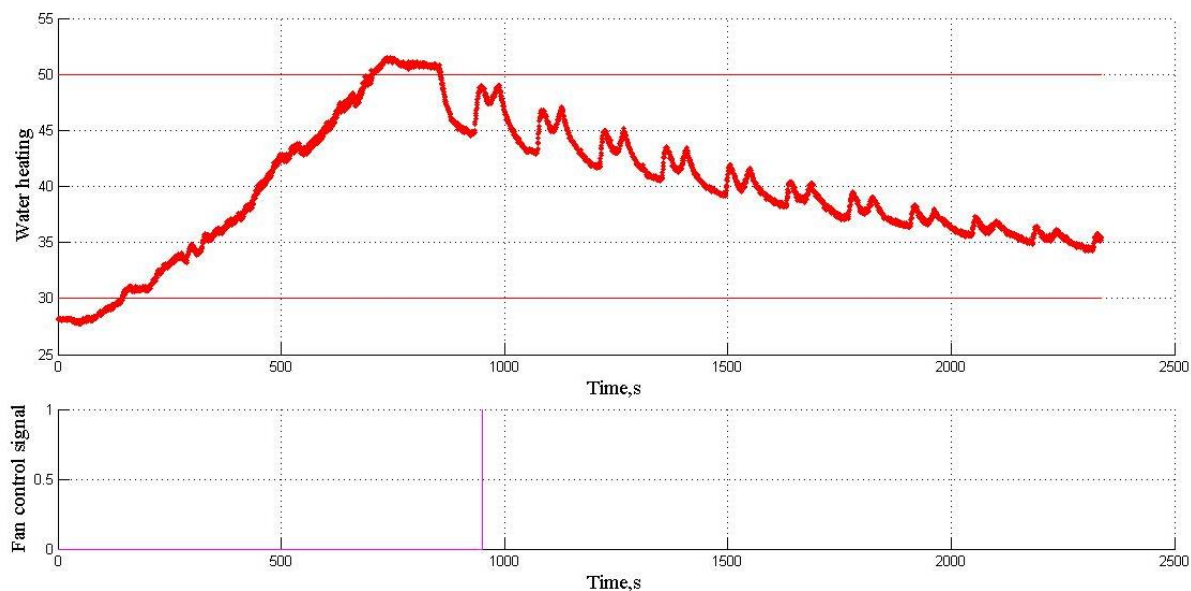
Eksperto metu įleidimo siurblio pagalba, buvo palaikomas skysčio lygis tarp 59 cm ir 60 cm. Pripildžius talpą iki numatyto lygio įjungiamas šildytuvas, kuris šildo skystį iki reikiamos temperatūros. Pasiekus reikiamą temperatūrą, atidaroma vandens vožtuvo sklendė, nustatomas minimalus lygis 20 cm, įjungiamas ventiliatorius.



3.36 pav. Skysčio šildymas ir aušinimas iki nustatytos temperatūros.

Iš gautų rezultatų matome (3.36 pav.), kad įsijungus kaitinimo elementui skystis iki reikiamos temperatūros pašildomas per 12 min (720 s), tam įtakos turėjo tai, kad šildymo metu vandens vožtuvo sklendė buvo neužsidariusi ir skystis cirkuliavo sistemoje.

Pašilus iki reikiamos temperatūros skystis aušinamas keičiant skysčio lygį, taip pat įjungiant ventiliatorių (3.37 pav.) Skystis aušinamas iki 35 °C per 30 min. (1800 s).



3.37 pav. Skysčio šildymas ir aušinimas iki nustatytos temperatūros, eksperimento metu įjungiant ventiliatorių.

#### 4. SISTEMOS TOLIMESNIO IŠPLĖTIMO GALIMYBĖS

Skysčio lygio ir temperatūros valdymo standą galima išplėsti. Efektyviau valdyti skysčio lygį talpoje, vietoje tripozicinės skysčio vožtuvo pavaros, naudoti skysčio vožtuvo pavarą, kuri būtų valdoma analoginiu signalu 0 – 10V. Įleidimo ir išleidimo siurblius taip pat pakeisti į valdomus analoginiais 0-10 V signalais, tokiu būdu keičiant skysčio siurblių galingumą, galima valdyti skysčio srautą.

Balastinėje talpoje galima naudoti skysčio lygio ir temperatūros jutiklį. Skysčio lygio jutikliai turėtų diskretinius įėjimus, kurie reaguotų į minimalų, vidutinį ir maksimalų skysčio lygį.

Aušinimui sistemoje, panaudoti temperatūros jutiklius, kurie matuotų įtekančio ir ištekančio skysčio temperatūrą.

Tripozicinę pavarą galima panaudoti efektyviau ataušinant skystį radiatoriuje. Skystis būtų aušinamas iki nustatytos temperatūros, atidarius tripozicinę pavarą išleidimo siurblio pagalba skystis grąžinamas į balastinę talpą.

## **5. REZULTATAI IR IŠVADOS**

1. Darbo teorinėje dalyje apžvelgiamos pagrindinės valdymo sąvokos ir apibrėžtys, pateikiama žinių apie valdymo sistemas, jų sudarymą, regulatorius, skysčio lygio ir temperatūros sistemų apžvalga.
2. Sumontuotas skysčio lygio ir temperatūros valdymo stendas. Stendu galėtų naudotis studentai, besimokantys elektros inžinerijos, valdymo teorijos.
3. Atlikti stendo montavimo, derinimo darbai. Aprašyti naudojami komponentai.
4. Sudaryta sistemos funkcinė schema.
5. Sudaryta sistemos sujungimų schema, apibūdinami stende naudojami elektriniai komponentai.
6. Sudarytas sistemos imitacinis modelis.
7. Atlikti tipiniai skysčio lygio ir temperatūros regulatorių tyrimai.

## 6. LITERATŪRA

1. ALEKSA V. Technologinių procesų automatizavimas. Kaunas: Technologija, 2003. 254 p.
2. JANUŠKEVIČIUS V. S. Automatinis valdymas: Teorija, Uždaviniai, Sprendimai. Kaunas: Technologija, 2003. 554p.
3. BALŽEKAS K. Automatizavimo sistemų schemotechnika. Kaunas: Technologija, 2009. 157p.
4. VAN AMERONGEN J., BREEDVELD. P. Modelling of Physical Systems for the Design and Control of Mechatronic Systems. // Annual Reviews in Control. Vol. 27 (2003), p. 87–117.
5. BISHOFF H., HOFMANN D., TERZI E. Procesų valdymo sistemos: mokomoji knyga [vertė G.Stankevičius, ir kt.] Vilnius: Biznio mašinų kompanija, 2003. 166 p.
6. Elektrotechnikos terminų žodynas // moksl. red. A. Smilgevičius, S. Žebrauskas. – Kaunas.: Technologija, 1999. 871 p.
7. <http://www.ee.ktu.lt/journal/2005/8/Valiulis.pdf> [žiūrėta 2013-02-15].
8. [http://ifveikla.vdu.lt/uploads/Virt\\_Ld1\\_TiesinioObjektoValdymas\\_viename.htm](http://ifveikla.vdu.lt/uploads/Virt_Ld1_TiesinioObjektoValdymas_viename.htm) [žiūrėta 2013-06-03].
9. [http://vddb.library.lt/fedora/get/LT-eLABa-0001:E.02~2005~D\\_20050619\\_185732-75917/DS.005.0.01.ETD](http://vddb.library.lt/fedora/get/LT-eLABa-0001:E.02~2005~D_20050619_185732-75917/DS.005.0.01.ETD) [žiūrėta 2013-02-15]
10. *Fuzzy Logic Toolbox for Use with MATLAB, User's Guide*. Prieiga per internetą: <[http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/pdf\\_doc/fuzzy/fuzzy.pdf](http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/pdf_doc/fuzzy/fuzzy.pdf)> [žiūrėta 2013-03-01].
11. *Control Systems Principles*. Prieiga per internetą: <<http://www.control-systems-principles.co.uk/programmable-logic-controller.html>> [žiūrėta 2013-03-05].
12. Wikipedia, the free encyclopedia. Control engineering. Prieiga per internetą: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Control\\_engineering](http://en.wikipedia.org/wiki/Control_engineering)> [žiūrėta 2013-04-10].
13. DADONE P. Design Optimization of *Fuzzy Logic Systems*. Daktaro disertacija. Virginia Polytechnic Institute and State University. Prieiga per internetą: <<http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-05262001-035320/unrestricted/thesis.pdf>> [žiūrėta 2013-03-08].