

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

JULIUS DRAGŪNAS

**NAMO ŠILUMINIO RĖŽIMO AUTOMATINĖS VALDYMO
SISTEMOS TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas:

Prof. Dr. Audris Kopustinskas

KAUNAS, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMŲ KATEDRA

**NAMO ŠILUMINIO RĖŽIMO AUTOMATINĖS VALDYMO
SISTEMOS TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

VALDYMO TECHNOLOGIJŲ 2 metų studijų programa kodas M3066L21

Vadovas:

Prof. Dr. Audris Kopustinskas

Data:

Recenzentas:

Doc. Dr. Audris Mačiulis

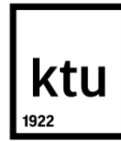
Data:

Projektą atliko:

Julius Dragūnas

Data:

KAUNAS, 2015



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos fakultetas

(Fakultetas)

Julius Dragūnas

(Studento vardas, pavardė)

VALDYMO TECHNOLOGIJOS, M3066L21

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Namo šiluminio režimo automatinės valdymo sistemos tyrimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

2015 m. gegužės 28 d.

Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Juliaus Dragūno** baigiamasis projektas tema „NAMO ŠILUMINIO RĖŽIMO AUTOMATINĖS VALDYMO SISTEMOS TYRIMAS“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Santrauka

Dragūnas, J. Namų šiluminio režimo automatinės valdymo sistemos tyrimas: valdymo technologijų magistro baigiamasis projektas/ darbo vadovas prof. dr. A. Kopustinskas; Elektros energetikos sistemų katedra, Elektros ir elektronikos fakultetas, Kauno technologijos universitetas. Kaunas, 2015. 66 p.

Automatizuotas ir stabilus šildymo sistemos reguliavimas yra svarbus ne tik žmogaus gyvenimo kokybės užtikrinimui, tačiau ekonomiško faktoriaus. Atliekant įvairių gamintojų šildymo sistemos valdiklių analizę pastebėta, kad visos jos turi gamykliškai parametrizuotus reguliatorius ir valdymo algoritmus, todėl yra poreikis sukurti aplinkos poveikiui jautrią ir ekonomišką automatinę šilumos reguliavimo valdymo sistemą.

Darbo tikslas – sukurti ir eksperimento būdu ištyrėti namų šiluminio režimo automatinės valdymo sistemos modelį. Tiriamasis objektas – vienkontūrė patalpos šildymo sistema, kurią šiluma aprūpina vandeninis grindų šildymo kolektorius.

Tyrimo metodologija – literatūros analizė, eksperimentinis tyrimas. Sukuriamas matematinis modelis, kurio veikimo rezultatai aprašomi lyginant realaus modelio rezultatais.

Baigiamojo magistrinio projekto darbas susideda iš analitinės, projektinės, eksperimentinės ir tyrimų dalių. Analitinėje dalyje analizuojama literatūra ir siekiama išsiaiškinti pagrindinius gyvenamų patalpų grindų šildymo projektavimo reikalavimus, patalpų šildymo termodinaminių procesų sąlygas ir sistemose naudojamus papildomus modulius, kurie leidžia sukurti automatizuotą valdymo sistemą. Projektinėje dalyje aprašomas sukurtas namų šiluminio režimo automatinės valdymo sistemos fizinis modelis. Atlikus šildymo sistemos inertiškumo ir išspinduliuojamos energijos tyrimus eksperimentinėje dalyje gauti duomenys buvo panaudoti matematinio modelio aprašymui. Sukurtas reguliatoriaus veikimo algoritmas ir parašyta programa mikrokontroleriui Arduino UNO.

Šio tyrimo rezultatai gali būti naudojami tolimesniems pamašymo vožtuvo reguliarotiaus optimizavimui, užtikrinant mažesnius šiluminės ir elektros energijos nuostolius. Šio eksperimentinio tyrimo rezultatai suteiktų galimybes pamašymo vožtuvo reguliavimo būdą ateityje pritaikyti kitų pastatų ar patalpų šildymo sistemos optimizavimui.

SUMMARY

Dragūnas, J. Research on Automatic Thermal Control System of a House: final pi master's degree of managing technologies. Supervisor prof. dr. A. Kopustinskas; Department of Electrical power systems, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Kaunas University of Technology. Kaunas, 2015. 66p.

Automatic and stable regulation of a heating system is not only important for ensuring personal quality of life but also a factor of cost-effectiveness. During the analysis of heating system controllers of different manufacturers it was noted that all of them have regulators of default parameters and control algorithms, thus a need arises to develop automatic heating regulation control system, which would be sensitive to environmental impact and cost-efficient.

The purpose of the project is to design and experimentally analyse the model of automatic control system of the heating regime of a house. The subject analysed is a single-contoured heating system, which is heat supplied by floor water heating collector.

Methodology of analysis – literature analysis, experimental research. A mathematical model is developed, the results of which are defined in comparison to results of the actual model.

The project of master's degree thesis comprises analytical, project, experimental and research sections. The analytical section includes analyses of literature and information on the key requirements of designing the floor heating of residential premises, conditions or heating thermodynamic processes and additional modules used with the systems, which allows to develop automatic control system. The project section defines the developed physical model of automatic control system of the heating regime of a house. After research of heating system inertness and emitted power was performed in the experimental section of the paper, the data received were used for the definition of the mathematical model. The regulator operation algorithm was developed and a programme Arduino UNO for microcontroller was created.

The results of the research might be used in further optimisation of heating system control by ensuring fewer losses of heating and electricity. The results of this experimental research would make opportunities to use the heating system control for optimisation of heating systems of other buildings or premises.

Turinys

Įvadas.....	11
1 Analitinė dalis	13
1.1. Ekologinio projektavimo direktyvos apžvalga	13
1.2. Pagrindiniai gyvenamų patalpų grindų šildymo projektavimo reikalavimai	14
1.3. Šildymo prietaisų gamintojų analizė.....	16
1.4. Pamašymo mazgai	22
1.5. Šildymo valdymo sistemos kūrimui tinkamos įrangos analizė.....	23
1.6. Sistemoje naudojamų papildomų modulių apžvalga	27
1.7. Pavarų valdymo signalų tipai.....	32
2 Projektinė dalis.....	34
2.1. Problemos ir objekto analizė.....	34
2.2. Valdymo sistemos funkcijų parinkimas.....	35
2.3. Pavarų valdymo struktūros sudarymas	36
2.4. Darbo algoritmas ir programų sudarymas.....	38
2.5. Valdymo skydo galios paskirstymas.....	42
2.6. Sąsaja su vartotoju	46
3 Eksperimentinė ir tyrimų dalis	47
3.1. Šildymo sistemos matematinio modelio tyrimas	48
3.2. Šildymo sistemos fizinio modelio tyrimas.....	49
3.3. Regulatoriaus derinimas su PID	56
4 IŠVADOS.....	60
5 PRIEDAI	61
6 Literatūros sąrašas	65

LENTELIŲ SĄRAŠAS

Lentelė 1. Grindų paviršiaus didžiausia leidžiama temperatūra.....	15
Lentelė 2. Grindų dangos varža.....	15
Lentelė 3. Junkers FR 10 temperatūros reguliatoriaus savybių įvertinimas.....	18
Lentelė 4. Junkers FR 110 temperatūros reguliatoriaus savybių įvertinimas.....	18
Lentelė 5. Junkers FW120 10 reguliatoriaus savybių įvertinimas.....	19
Lentelė 6. RH-B temperatūros reguliatoriaus savybių įvertinimas [8].....	21
Lentelė 7. Trieigių pamaišymo vožtuvus valdančių pavarų palyginimas.....	23
Lentelė 8. Arduino mikrovaldiklių palyginimas.....	25
Lentelė 9. Arduino gaminamų originalių plokščių kainos	25
Lentelė 10. Arduino UNO mikrovaldiklio parametrai	25
Lentelė 11. Mikrokontrolerio Atmega328P parametrai	26
Lentelė 12. Relės SRD-05VDC-SL-C kontaktoriaus parametrai.....	29
Lentelė 13. Programai priskirti kodai.....	41
Lentelė 14. Maitinimo šaltinio Mean Well MDR-10-5 techniniai parametrai.....	45
Lentelė 15. Fizinio modelio bandymo metu laikomasi šių sąlygų.....	50
Lentelė 16. Šildymo sistemos išmatuotos temperatūros su 100% prasivėrusia pavara.....	51
Lentelė 17. Sistemos parametrai pagal pavaros procentinį prasivėrimą	55

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Šilumos gamybos įrenginių, karšto vandens rezervuarų ženklinimo skalė [3].....	14
2 pav. Kombinuota hidraulinė šildymo sistema [7].....	17
3 pav. Oventrop katilinė su saulės kolektorių ir kieto kuro katilu šildymo sistema.....	20
4 pav. Grindų šildymo vandens temperatūros paruošimo mazgas FHM-C6.....	22
5 pav. Arduino Uno Rev3 kontaktų nuotrauka.....	26
6 pav. Atmega 328P mikrokontrolerio blokinė diagram 27	27
7 pav. SIM 900A modulio blokinė schema 28	28
8 pav. LCD priedėlio mygtukų pajungimas su vienu laidu 29	29
9 pav. Relė SRD-05VDC-SL-C 30	30
10 pav. Daviklių sujungimo vienu laidu schema..... 30	30
11 pav. DS18B20 skaitmeninis temperatūros jutiklis 31	31
12 pav. DS18B20 jutiklio pajungimo schema 31	31
13 pav. Šildymo sistemos valdymo projektas 36	36
14 pav. ESBE gamintojo elektrinės pavaros ARA661 pajungimo schema..... 37	37
15 pav. Elektrinės pavaros ARA661 jungimo su sklende VRG 100 schema..... 38	38
16 pav. Šildymo kontūrų sklendžių valdymo algoritmas 39	39
17 pav. Šildymo kontūrų sklendžių valdymo su valdymo pultu algoritmas 40	40
18 pav. Sumontuotos šildymo valdymo sistemos elektrinė schema..... 46	46
19 pav. Šildymo sistemos matematinis modelis Simulink programoje..... 48	48
20 pav. Tyrimams naudotas fizinio modelio maketas 49	49
21 pav. Išmatuotų temperatūrų duomenys Arduino programoje..... 51	51
22 pav. Šildymo sistemos šuolinė reakcijos kreivė, atidarius pavarą – 100% 53	53
23.pav. Šildymo sistemos šuolinė reakcijos kreivė, atidarius pavarą – 10% 53	53
24 pav. Realus ir sumodeliuotas sistemos nusistovėjimas atidarius pavarą – 100%..... 54	54
25 pav. Realus ir sumodeliuotas sistemos nusistovėjimas atidarius pavarą – 10%..... 55	55
26 pav. Šilumos šaltinio galingumo priklausomybė nuo pavaros pravėrimo..... 56	56
27 pav. Matematinis sistemos valdymo modelis su PID reguliatoriumi 57	57
28 pav. Sistemos pereinamojo proceso grafikas pritaikius PID reguliatorių 58	58
29 pav. Šildymo sistemos nusistovėjimas panaudojus PID reguliatorių 59	59

PRIEDŲ SĄRAŠAS

1 Priedas. Leistinoji laidininku tekanti srovė	61
2 Priedas. Automatinių jungiklių suveikimo kreivės	61
3 Priedas. LCD ekrano schema	62

Terminų aiškinamasis raštas

NTC (angl. Negative temperature coefficient) – termistorius turintis neigiamą temperatūrinį koeficientą;

PTC (angl. Positive temperature coefficient) – termistorius turintis teigiamą temperatūrinį koeficientą;

HVAC (angl. Heating, ventilating and air conditioning) – mikroklimato kontrolė;

DC (angl. Direct current) – nuolatinė srovė;

AC (angl. Alternating current) – kintamoji srovė;

ADC (angl. Analog to digital converter) – Analoginis skaitmeninis keitiklis;

DAC (angl. Digital to analog converter) – Skaitmeninis analoginis keitiklis;

GSM (angl. Global standart for mobile communications) – Globalus mobiliųjų telefonų ryšio standartas;

Įvadas

Tiriamąjį taikomojo pobūdžio magistro baigiamąjį projektą tirama individualaus namo šiluminio režimo automatinė valdymo sistema.

Aktualumas. Gyvenamieji, komerciniai ir bendrojo naudojimo namai yra šildomi įvairiais įrenginiais ar jų kombinuotomis sistemomis. Dauguma rinkoje esančių automatinė valdiklių nepilnai užtikrina šilumos perdavimo prietaiso ar sistemos valdymo, atsižvelgiant į aplinkos oro temperatūros pokyčius realiu laiku, todėl šiuo metu tai yra vis dar aktuali tyrimų sritis. Šiaurinėje namo pusėje vykstantys ryškūs temperatūrų pokyčiai neužtikrina šildymo valdymo sistemos ekonomišką energijos panaudojimo ir jautrumo, kuris užtikrintų komfortišką šilumos kiekį patalpoje. Vadovaujantis Europos sąjungos direktyvomis kuriamos išmaniosios technologijos, kuriomis siekiama tobulinti elektros ir šiluminės energijos naudojančių prietaisų ekonominį efektyvumą. Atlikus šildymo prietaisų analizę nuspręsta, kad tikslingiausia sukurti šildymo valdymo sistemą, kuri reguliuos ne visą katilinės procesą, tačiau tik tiekiamo karšto vandens srautą į patalpas. Nes su šiuolaikine modernia šildymo įranga (kieto kuro ar dujiniais katilais, šilumos siurbliais, saulės kolektoriais ir kt.) gamintojai pateikia savo valdiklius, skirtus tik tų atskirų procesų valdymui. Dažniausiai naujai projektuojamose šildymo sistemose yra kombinuojamos šildymo sistemos su keliais energijos šaltiniais ir jos visos yra sujungiamos su akumuliacine talpa. Atsižvelgus į šiuos techninius parametrus šiame darbe kuriama šildymo valdymo sistema, valdanti tiekiamo karšto vandens temperatūrą į grindų šildymo kolektorių.

Problema. Šildymo prietaisų ir jų valdymo sistemų ekologinio projektavimo ir ženklavimo direktyvos numato griežtus energijos efektyvumo kriterijus Europos Sąjungos rinkoje parduodamiems šildymo prietaisams ir jų valdymo sistemoms. Norint užtikrinti efektyvų patalpų temperatūros valdymą reikalingas patikimas ir vartotojui prieinamas kainos reguliatorius. Atsižvelgiant į naują šildymo prietaisų ekologinio projektavimo direktyvą šiame tiriamąjį taikomojo magistro baigiamąjį projektą rėmuose, kuriamas ir tiriamas šildymo sistemos valdymas, siekiant sistemos optimizavimo ir taupesnio energijos vartojimo. Įvertinus, kad pastatas suprojektuotas taip, kad šiaurinėje namo pusėje kambarėje įrengti didžiuliai vitrininiai langai, kurie sąlygoja didelius viduje palaikomos šilumos nuostolius. Veikiant sezoniškumui ir paros laikui atsiranda dideli temperatūros pokyčiai. Šilumos valdymo sistema turėtų būti montuojama vadovaujantis šiaurinės namo pusės temperatūros pokyčiais, taip siekiant sukurti komfortišką šilumos patalpų viduje palaikymą.

Nuspręsta tirti namo šiluminio režimo automatinę valdymo sistemą, kuri padėtų palengvinti ir pagreitinti naujai sukurtų automatinė šildymo sistemų pritaikymą ne tik nedideliame gyvenamajame name, tačiau ir dideliuose pagal užimamą plotą komercinės ar visuomeninės paskirties pastatuose:

prekybos, logistikos, konferencijų ir laisvalaikio centruose, darželiuose, ligoninių specialiosiose patalpose ar kitose temperatūrų pokyčiams jautriose patalpose.

Darbo tikslas – sukurti ir eksperimento būdu ištirti namo šiluminio režimo automatinės valdymo sistemos modelį.

Tyrimo metodologija – literatūros analizė, eksperimentinis tyrimas.

Tiriamasis objektas – vieno kontūro patalpos šildymo sistema, su kolektorine grindų šildymo sistema.

Darbo uždaviniai:

- išanalizuoti šildymo sistemų valdymo prietaisų projektavimo reikalavimus ir jų gamintojų produktus;
- suprojektuoti ir surinkti realų automatinį šildymo sistemos valdymo prietaisą;
- ištirti fiziniame modelyje pagal išmatuotos sistemos reakcijos šuolines charakteristikas apskaičiuoti sistemos inercijos ir šilumos išspinduliavimo koeficientus;
- sudaryti šildymo sistemos matematinį modelį atsižvelgiant į gautus tyrimų rezultatus iš fizinio modelio.

Analizės dalis – atliekamas šildymo valdymo sistemų ir prietaisų skirtų šildymo valdymui tyrimas. Analizuojamos šildymo sistemos, jų veikimas privalumai bei šilumos srautų reguliatoriai ir jų parametrai. Surinkti duomenys naudojami, šiam tikslui – naujos automatizuotos šildymo valdymo sistemai kurti ir pateikiami sistemai tinkamiausi algoritmai.

Projektinė dalis – pagal analizės dalyje nagrinėtus gamintojų valdiklius ir jiems keliamus reikalavimus, sudaromas valdymo sistemos modelis ir struktūra bei parenkami optimaliausi šildymo valdymo sistemos elementai. Sudaromas šildymo valdymo sistemos veikimo algoritmas, suprojektuojamas ir pagaminamas valdymo sistemos automatikos skydas.

Eksperimentinė dalis – aprašomi eksperimentai atlikti su surinktu realios šildymo valdymo sistemos fiziniu stendu. Atliekami realūs bandymai su sistema, stebimi temperatūros pokyčiai sistemoje, kurie priklauso nuo paduodamo karšto vandens srauto į sistemą ir aplinkos oro temperatūrų pasikeitimo. Eksperimentinėje dalyje atlikus tyrimus bus nustatomas pamaišymo vožtuvo reguliatoriaus perdavimo koeficientas.

1 Analitinė dalis

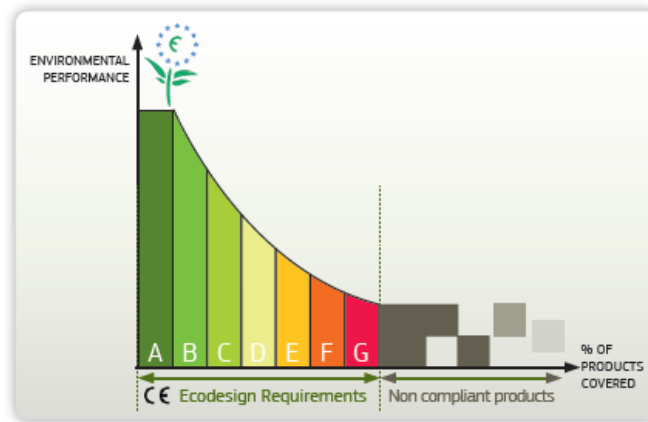
Šioje darbo dalyje analizuojami Europos Sąjungos patvirtinti ir galiojantys reikalavimai šildymo valdymo ir reguliavimo prietaisų projektavimui. Siekiama išsiaiškinti gamintojus, kurie gamina ir tobulina vandeniui šildomų grindų kontroliavimo pavaromis ir termostatais sistemas. Vertinami rinkoje esantys namų automatikos valdikliai, kurie komunikuoja su vartotoju bevieliu būdu ir šildymo sistemos proporcinio pamaišymo mazgai. Taip pat nagrinėjamos komponentų, skirtų projektuojamai namo šiluminio režimo automatinei valdymo sistemai, charakteristikos ir jų privalumai prieš kitus analoginius prietaisus. Šioje darbo dalyje siekiama įvertinti ir pasirinkti tinkamiausią pagal techninius parametrus ir pagal kainą prieinamiausią automatinį prietaisą ir jo sudedamąsias dalis, kuris valdytų į šildymo sistemą tiekiamą karšto vandens srautą ir reguliuotų oro patalpoje temperatūrą, įvertindamas šilumos pokyčius aplinkoje.

1.1. Ekologinio projektavimo direktyvos apžvalga

Ekologinio projektavimo direktyva numato šiuos reikalavimus:

- priimami atsižvelgiant į kiekvieną konkretų gaminį;
- tai minimalūs reikalavimai, kuriais siekiama užtikrinti, kad naudojantis gaminiu būtų mažiau veikiama aplinka;
- privalomi visiems Europos Sąjungoje parduodamiems gaminiams;
- grindžiami poveikiu aplinkai per visą produkto gyvavimo ciklą (projektavimo, gamybos, platinimo ir šalinimo etapais).[1]

Kaip skelbia Junkers įmonė savo internetiniame tinklapyje, kad nuo 2015 m. rugsėjo mėnesio šilumos gamybos įrenginiai ir karšto vandens rezervuarai Europos Sąjungoje, kaip ir visi kiti energiją naudojančius įrenginiai, vadovaujantis ekologinio projektavimo direktyva, turės atitikti nurodytus energijos naudojimo efektyvumo reikalavimus. Direktyva bus taikoma skystojo kuro ir dujiniais katilams, šilumos siurbliams, konteinerio tipo šildymo įrenginiams bei karšto vandens talpykloms ir jų priedams. Įrenginiai ir sistemos, kurių galingumas siekia iki 70 kW, turės būti pažymėti energijos efektyvumo lipduku. [2] Tokiu būdu vartotojai suvokdami spalvų skalę (žr. 1 pav.), nurodančią energijos suvartojimo kiekius, galės priimti sprendimą dėl pasirenkamos produkcijos ekologiškumo lygio t.y. energijos efektyvumo.



1 pav. Šilumos gamybos įrenginių, karšto vandens rezervuarų ženklavimo skalė [3]

Nuo 2015 metų šilumos gamybos įrenginiai, kurių galios siekia iki 70 kW, bei karšto vandens rezervuarai, kurių talpa siekia iki 500 litrų, turės būti ženklavami specialiais lipdukais. Šie lipdukai bus sukurti jau pagal žinomą buitinės technikos ženklavimo principą – raides ir kelių spalvų juostas. Ženklavami atskiri įrenginiai ir jei bus sudaryti kelių įrenginių komplektai, lipdukas bus privalomas visam komplektui. Šilumos gamybos įrenginiai suskirstomi į devynias energinio efektyvumo klases nuo A iki G (A – labiausiai efektyvus, G – mažiausiai efektyvus).[2] Siekiant įvertinti šildymo sistemos efektyvumą, ji taip pat turės būti ženklavama. Vertinant bus atsižvelgiama į, pavyzdžiui, sistemos autonominį valdymą, karšto vandens paruošimą ar šildymą saulės kolektoriais. Sistemos efektyvumo klasei nustatyti įtakos turės visų jos elementų našumas. Už teisingą šildymo sistemų ženklavimą bus atsakingos montavimo įmonės.

Ekologinio projektavimo ir Energijos ženklavimo direktyvos koreliuoja tarpusavyje dėl numatytų privalomų reikalavimų vandens šildymo prietaisams ir sistemoms. Šių dviejų direktyvų poveikį įmonės gali sustiprinti, jei savanoriškai įsidięs ES ekologinio ženklo, Žaliųjų viešųjų pirkimų (ŽVP) ir kitas sistemas.[3]

Apibendrinant galima teigti, kad daugelis dabartinių šildymo prietaisų ir valdymo sistemų gamintojai jau įgyvendina šių direktyvų reikalavimus, tačiau ateityje kils sunkumų, vystant naujus technologinius sprendimus, kurie užtikrintų šildymo valdymo sistemų energijos efektyvumo didinimą.

1.2. Pagrindiniai gyvenamųjų patalpų grindų šildymo projektavimo reikalavimai

Lietuvos standartizacijos departamentas pateikia informaciją apie pagrindinius gyvenamųjų patalpų grindų šildymo projektavimo reikalavimus, kurie parengti vadovaujantis EN 1264 ir EN 15377 standartais.[4] Pateikiama informacija apie patalpos oro temperatūros lygį atitinkamoje

patalpoje ir leidžiamą didžiausią grindų paviršiaus temperatūrą nustatant grindų šildymo sistemos galingumą (žr. Lentelė 1.). Svarbu atsižvelgti į patalpoje esančios dangos tipą (žr. Lentelė 2.).

Lentelė 1. Grindų paviršiaus didžiausia leidžiama temperatūra

Patalpų tipas	Patalpos oro temperatūra °C	Leidžiama didžiausia grindų paviršiaus temperatūra °C	Grindų šildymo sistemos galia W/m ²
Gyvenamosios patalpos	20	29	100
Vonia, dušas	24	33	100
Kraštinė zona (1 m iki išorinės sienos)	20	35	165

Lentelė 2. Grindų dangos varža

Grindų dangos tipas	Grindų dangos varža m ² K/W
keraminės dangos	0,01...0,03
plastiko dangos	0,04...0,07
medinės dangos	0,06...0,12
kiliminės dangos	0,07...0,15

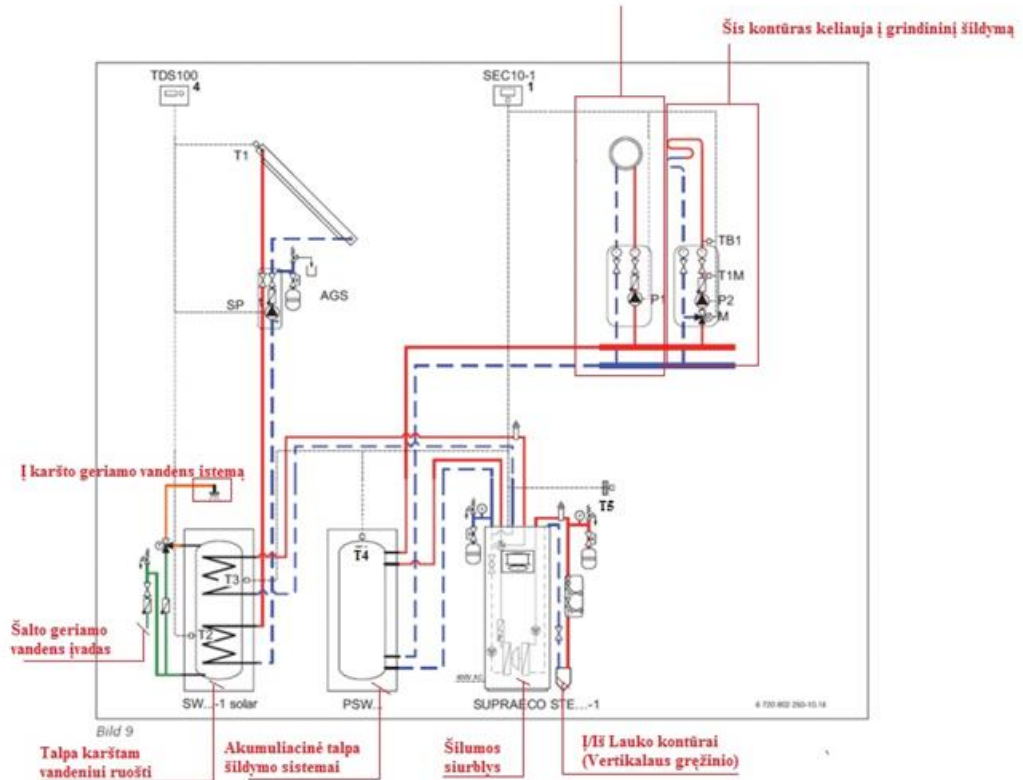
1. Rekomenduojamas temperatūrų skirtumas kontūre (paduodamos/grįžtamos): 3 - 10 °C.
2. Vamzdžių paskirstymas būtinas per reguliuojamus (balansuojamus) kolektorius. Būtinai perdarymo ventiliai atskirų kontūrų nuorinimui. Kai skiriasi kolektorių apkrova, juos reikia subalansuoti balansiniais ventiliais.
3. „Šlapioje konstrukcijoje“ betono virš vamzdžių rekomenduojama nuo 30 mm iki 70 mm, optimaliausias betono storis virš vamzdžio yra 45 mm.
4. Temperatūros siūles reikia įrengti patalpose kurių plotas > 40 m², vienos iš kraštinių ilgis > 8 m arba ilgio ir ploto santykis didesnis kaip 2:1. Vamzdžių vyniojimą planuoti taip, kad temp. siūles jie kirstų tik vieną kartą, kirtimo vietoje jie turi būti apsauginiame vamzdyje (šarve).
5. Skaičiuotini šilumos nuostoliai į apačią neturi sudaryti daugiau nei 10% grindų šildymo sistemos galios, apskaičiuojant sistemos galią be grindų dangos. Laikantis šio principo šiluminės izoliacijos storis neturėtų būti mažesnis nei 100 mm ant grunto, 30 mm virš šildomų patalpų, 150 mm virš atvirų erdvių (lauko temperatūra).
6. Vamzdžio skersmuo (d14, d16, d17, d20) pasirenkamas atsižvelgiant į patalpų dydį bei jų šiluminį apkrovimą: mažoms patalpoms, renovacijai rekomenduojami mažesnio skersmens vamzdžiai, didesnių plotų patalpoms, pramoniniams objektams didesnio skersmens.
7. Vamzdžių tvirtinimas turi būti suderintas su pasirinkta grindų konstrukcija ir atitikti vamzdžių gamintojų rekomenduojamus būdus, tolerancijos atitikti EN 1264 reikalavimus.

8. Vieno grindų šildymo kontūro pasipriešinimas neturi viršyti 25 kPa.
9. Atstumas tarp vamzdžių (10 cm - 30 cm) skaičiuojamas priklausomai nuo grindų dangos, šilumos poreikio bei patalpos ir šildančiojo vandens temperatūrų. Skaičiavimui galima naudoti atitinkamoms konstrukcijoms paruoštas diagramas.
10. Didžiausia reikalinga šilumnešio temperatūra skaičiuojama pagal labiausiai apkrautą „blogiausią“ kontūrą. Reikia įvertinti ir šilumos šaltinio galimus apribojimus, šilumos siurblys, kondensacinis dujinis katilas. Rekomenduojama maksimali vidutinė tiekiamo vandens temperatūra turėtų būti nuo 55°C (60°C sausoje konstrukcijoje). Įrengiant grindų šildymą kartu su aukštesnės temperatūros šildymo sistema, būtinas pamaišymo mazgas temperatūros sumažinimui, jos palaikymui ir reikiamo vandens debito gavimui.
11. Šalutinių šilumos šaltinių įvertinimui ir pageidaujamų temperatūrų patalpose užtikrinimui būtina patalpų temperatūros kontrolės sistema: termostatai patalpose, pavaros (aktuatoriai) ant kolektoriaus vožtuvų, kontrolieriai jų komutacijai ir valdymui.

1.3. Šildymo prietaisų gamintojų analizė

Šioje skiltyje yra analizuojami UAB Robert Bosh „Junkers“ ir Oventrop GmbH & Co KG atstovų Lietuvoje šildymo prietaisų gamintojai, kurie yra gerai žinomi ir laikomi patikimais Lietuvos vartotojams. Apžvelgiamas ir analizuojamas gamintojo produkcijos asortimentas, akcentuojant pagrindinius prietaisus, skirtus šildymo sistemų valdymui.

Junkers – Bosh koncerno dalis nuo 1932 metų, kuomet buvo integruota į „Robert Boch GmbH“ grupę, toliau besivystant partnerystei su įvairiomis kompanijomis ji buvo ne kartą pervadinta ir šiuo metu „Bosh Thermotechnology GmbH“ kompanija yra viena iš didžiausių šildymo technikos gamintojų pasaulyje. Koncerno sėkmės formulė grindžiama klientų pasitikėjimu jų gaminamais pažangios technologijos ir aukštos kokybės produktais ir teikiamomis paslaugomis. Šios įmonės vizija kurti ekologišką, patogią ir patikimą įrangą, kuri šildytų ir ruoštų karštą vandenį butuose, privačiuose namuose ir komercinės paskirties pastatuose. Šiuo metu Junkers gamina dujinius vandens šildytuvus, saulės kolektorių sistemas, šilumos siurblius, geoterminius ir aplinkos šilumos siurblius, dujinius vandens šildytuvus ir malkinius katilus. [7]



2 pav. Kombinuota hidraulinė šildymo sistema [7]

Junkers pateikia pavyzdinį šildymo sistemos modelį, kuriame naudojama jų įranga (žr. 3 pav). Ši kombinuota hidraulinė šildymo sistema yra su saulės kolektoriaus ir šilumos siurbliu, todėl sistemos sklandų darbą užtikrina du atskiri ir nepriklausomi valdikliai. Sistemoje naudojami valdikliai atlieka skirtingas funkcijas ir valdo gaunamą ir kaupiamą šilumą atskirais šaltiniais dviejose atskirose talpose. Junkers kombinuotą hidraulinę šildymo sistemą sudaro šie elementai:

- saulės kolektorių sistemos reguliatorius (TDS 100);
- kombinuota karšto vandens ruošimo talpa (SW...- 1);
- karšto vandens ir akumuliacinė talpa(PSW...);
- geoterminis siurblys (žemė-vanduo) (Supraeco STE...-1);
- reguliatorius karšto vandens ruošimui (SEC 10-1);
- temperatūros jutikliai (T1..T5);
- sistemos cirkuliaciniai siurbliai (SP).[7]

Reguliatorius (TDS 100) skirtas saulės energijos sistemoms su vienu energijos naudotoju. Šis reguliatorius turi vieną išvestį 230 V/50 Hz, 3 įvestis NTC tipo jutikliams, skystųjų kristalų ekraną su apšvietimu. Prietaiso valdymas ir parametrų nustatymas atliekamas naudojantis menu su piktogramomis.

Kombinuotos hidraulinės šildymo sistemos su saulės kolektoriais ir šilumos siurbliu veikimas. Saulės kolektorius kaupia šilumą pirmoje talpoje, kuri skirta tik namo gyventojų prausimosi vandens ruošimui. Šį visą procesą prižiūri tam sukurtas valdiklis-reguliatorius TDS100. Šioje saulės kolektorių sistemoje apsauginę funkciją nuo sistemos avarinės situacijos kuomet susikaupia per didelis slėgis sistemoje ir užverda viduje esantis šilumonešis, sistemą saugo mechaninės sklendės ir nuorinimo vožtuvai. O valdiklis-reguliatorius TDS100 kuris turi du temperatūros jutiklius, vieną vandens talpoje, o kitą saulės kolektoriaus aukščiausiam gyvatukų taške. Ši jutiklių kombinacija leidžia valdikliui atlikti primityvią funkciją, t.y. paleisti ir sustabdyti cirkuliacinį siurbį. Valdiklis cirkuliacinį siurbį paleidžia tuomet kai atsiranda tam tikras temperatūrų skirtumas tarp abiejų jutiklių. Šį skirtumą nustato pats gamintojas. Sistemos cirkuliacinis siurblys niekada neveiks jei temperatūra vandens talpoje bus didesnė už saulės kolektoriuje esančio skysčio temperatūrą. Cirkuliacinis siurblys paleidžiamas tuo metu, kuomet saulė pradeda kaitinti saulės kolektorius ir juose temperatūra pakyla aukščiau už temperatūrą esančią karšto vandens talpoje.

Šilumos siurblio darbą valdo reguliatorius SEC10-1 kuris vienu metu stebi ir aprūpina šiluma dvi šildymo talpas. Taip padeda kaupti energiją SW.-1 kombinuotoje karšto vandens talpoje tuo atveju, jei saulės kolektorius nesugeba įvykdyti reikalingų temperatūros normų.

Junkers yra sukūręs kelis kambarių temperatūros valdymo būdus, analizuojami pagrindiniai Junkers temperatūros reguliatoriai, jų privalumai ir trūkumai (žr. 3, 4, 5 lentelės). Temperatūros reguliatoriai kurti akcentuojant papildomą komfortą vartotojui ir energijos sąnaudų mažinimą. Įmonės patentuotas specifinis algoritmas efektyviai derina šildymo ir saulės energijos panaudojimo sistemas. Įrenginiai pritaikyti Ceraclass Excellence, Cerapur Comfort, Cerapur Modul, Cerapur Maxx, Suprapur katilams.[7]

Junkers FR 10 temperatūros reguliatorius – skirtas dujiniams katilams, sumažina dujų sąnaudas šildant ir ruošiant karštą vandenį.

Lentelė 3. Junkers FR 10 temperatūros reguliatoriaus savybių įvertinimas

Privalumai:	Trūkumai:
<ul style="list-style-type: none"> • paprastas valdymas; • klaidų indikacija teksto pavidalu, siekiant palengvinti priežiūros darbus; • kambario temperatūros rodmuo. 	<ul style="list-style-type: none"> • neturi priemonių nuotoliniu būdu komunikuoti su vartotoju; • nėra galimybės valdyti atskirus kontūrus.

Junkers FR 110 temperatūros reguliatorius – programuojamas pagal patalpos temperatūrą.

Lentelė 4. Junkers FR 110 temperatūros reguliatoriaus savybių įvertinimas

Privalumai:	Trūkumai:
<ul style="list-style-type: none"> • paprasta naudoti ir programuoti; • savaitės programa su 6 perjungimo laikais kiekvienai dienai, vienam šildymo kontūrai be maišytuvo, arba, naudojantis IPM1 moduliu, šildymo kontūrai su maišytuvu valdyti; • saulės kolektorių sistemos valdymo funkcija; • lengvai pajungiamas prie katilo; • klaidų identifikavimo funkcija tekstiniu pavidalu. 	<ul style="list-style-type: none"> • neturi priemonių nuotoliniu būdu komunikuoti su vartotoju; • nėra galimybės valdyti atskirus kontūrus. • Nėra šildymo kontūro su maišytuvu valdymo;

Junkers FW 120 temperatūros reguliatorius – programuojamas pagal lauko temperatūrą.

Lentelė 5. Junkers FW120 10 reguliatoriaus savybių įvertinimas

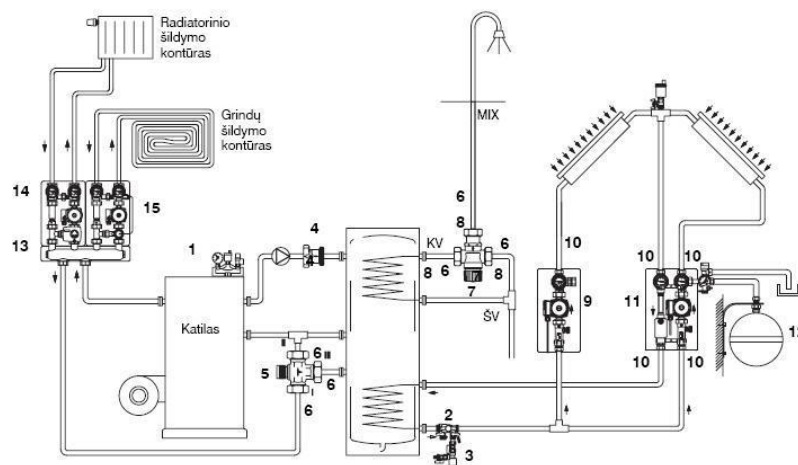
Privalumai:	Trūkumai:
<ul style="list-style-type: none"> • tvirtinamas ant sienos arba integruojamas į šildymo katilą; • savaitės programa su 6 perjungimo laikais kiekvienai dienai, vienam šildymo kontūrai be maišytuvo, arba, naudojantis IPM1 moduliu, šildymo kontūrai su maišytuvu valdyti; • saulės kolektorių sistemos valdymo funkcija; • panaudotos saulės energijos rodmuo; • klaidų kodų indikacija displėjuje. • patalpos temperatūros rodmuo; • lauko temperatūros rodmuo; 	<ul style="list-style-type: none"> • neturi priemonių nuotoliniu būdu komunikuoti su vartotoju; • nėra galimybės valdyti atskirus kontūrus. • Nėra šildymo kontūro su maišytuvu valdymo;

Apibendrinant galima teigti, kad šio Vokietijos gamintojo kuriami prietaisai yra universalūs ir vartotojui pateikiama pilna sistemos valdymo įranga bei įrengimo metodika. Junkers pateikia platų šilumą gaminančių prietaisų asortimentą ir jai skirtų valdymo sistemų pasirinkimą. Šildymo prietaisai gali veikti kaip atskiri moduliai ir kartu su kitais gamintojo įrenginiais papildomų komunikacinių modulių pagalba.

Oventrop – namo inžineriniams tinklams skirtos armatūros, reguliatorių ir sistemų gamintojas, įsitvirtinęs Lietuvos rinkoje. Ši įmonė yra kompetentingų didmenininkų, montuotojų, projektuotojų Lietuvos ir užsienio pramonės įmonių partnerė. Oventrop gamina saulės kolektorių sistemas, termostatus, pavaras, armatūrą, paviršių šildymo ir vėsinimo sistemą “Cofloor”, balansavimo, valdymo ir reguliavimo įrangą, dujinę šildymo įrangą, centralizuotą pastato valdymo sistemą, šilumos šaltinio jungimą prie šilumos kontūro, kitą jungimo įrangą ir techniką.[8]

Oventrop pateikia sprendimą dėl katilinės įrangos naudojant dvišlaitį saulės kolektorių montavimą. Šią sistemą pritaiko karšto vandens ruošimui, kuris naudojamas patalpų šildymui ir prausimuisi. Oventrop katilinės su saulės kolektorių ir kieto kuro katilu šildymo sistemos veikimą užtikrina ir energiją generuoja saulės kolektorių sistema ir kieto kuro katilas. Sistema sudaryta iš:

- katilo apsaugos grupės;
- srieginės jungties su uždarymu, skirtos sistemos aptarnavimui;
- sistemos užpildymo ir plovimo pompos;
- uždarymo vožtuvo prie siurblio antgalio;
- trieigio srautus išskiriančio ventilio "Tri-D";
- prijungimo antgalių;
- karšto buitinio vandens maišytuvo "Brawa-Mix";
- plokščia tarpine jungiamų antgalių;
- viengubo siurblio bloko "Regusol-130";
- konusinių antgalių, skirtų vamzdelio prijungimui, atsparių aukštoms temperatūroms;
- mazgo "Regusol L-130";
- plėtimosi indo su prijungimo ventiliu;
- paskirstymo kolektoriaus;
- šildymo sistemos mazgo "Regumat M3-130" su treigiu vožtuvu ir pavara;
- pastovios temperatūros palaikymo mazgo grindų sistemai "Regumat F-130".



3 pav. Oventrop katilinė su saulės kolektorių ir kieto kuro katilu šildymo sistema

Oventrop Regtronic RH-B temperatūros reguliatorius – elektroninis programuojamas valdiklis, skirtas šildymo sistemos kontūrai su pamaišymu valdyti ir reguliuoti pagal lauko

temperatūrą. Šis valdiklis pasižymi galimybe kontroliuoti šilumos krovimą į akumuliacinę talpą ir tūrinį vandens šildytuvą. Regtronic RH-B numatytos ir suprogramuotos hidraulinės schemos, todėl juo paprasta valdyti šildymo katilą ir atskirus šildymo sistemos kontūrus. Regulatorius montuojamas prie sienos, naudoja duomenų perdavimo magistralę (S-Bus), skirtą prijungti duomenų registratorių (datalogger) „CS-BS“.

Lentelė 6. RH-B temperatūros reguliatoriaus savybių įvertinimas [8]

Privalumai:	Trūkumai:
<ul style="list-style-type: none"> • didelis grafinis ekranas; • 5 relijų išėjimai; • 8 (9) įėjimai temperatūros jutikliams PT1000, arba KTY; • 2 impulso trukmės moduliacijos būdu valdomi išėjimai, skirti aukšto efektyvumo siurblių apsakoms valdyti; • 9 iš anksto konfigūruotos pagrindinių hidraulinių sistemų programos; • 1 šildymo kontūro su maišytuvu, kito tiesioginio šildymo kontūro valdymas; • tūrinio vandens šildytuvo valdymas; • cirkuliacinės linijos valdymas (su išplėtos moduliu EM-B); 	<ul style="list-style-type: none"> • neturi priemonių nuotoliniu būdu komunikuoti su vartotoju; • nėra galimybės valdyti atskirus kontūrus.

Šio valdiklio galimybės galimos plėsti suprogramuojant papildomas funkcijas, pvz. šildymo, vėsinimo, slenkstinės vertės jungimo, į šildymo katilą grįžtančio šilumnešio temperatūros reguliavimo, kieto kuro katilo valdymo, diferencinės vertės, avarinio signalo bei laiko funkcijas.

Apibendrinant galima teigti, kad Oventrop gaminama įranga yra mažiau automatizuota pirminiame lygmenyje negu Junkers gamintojo. Oventrop visgi daugiau dėmesio skiria mechaniškai valdomų sistemų kūrimui ir tobulinimui, todėl šią alternatyvą turėtų rinktis vartotojai, ieškantys šildymo sistemos su mažiau automatinių valdymo galimybių ir nenorintys papildomų investicijų, įrengiant naują namų šildymo sistemą. Nors ir Oventrop turi keletą reguliatorių, kurie atlieka automatinį sistemos valdymą. Tiriamuoju atveju, tai nesuteikia galimybės valdyti namo kambarių decentralizuotą šilumos stebėjimą ir valdymą.

1.4. Pamaišymo mazgai

Gamintojo surinkti Danfoss maišymo mazgai, skirti grindų šildymui, naudojami teisingam srauto ir tiekiamos temperatūros reguliavimui grindų šildymo sistemose. Šio gamintojo maišymo mazgai pasižymi šiomis savybėmis:

- kompaktiška konstrukcija ir lankstumas leidžia montuoti maišymo mazgą tiesiai prie kolektoriaus, iš abiejų pusių - kairės ir dešinės - ir jungti maišymo mazgą prie pirminio vamzdžio iš šono arba žemiau;
- tiesioginio veikimo proporcinis reguliatorius naudojamas tiekiamai temperatūrai reguliuoti;
- reguliatorius užtikrina teisingą sumaišymą, kad norima tiekiamo srauto temperatūra visuomet išliktų pastovi;
- galima naudoti apsauginį termostatą, kuris apsaugo grindis nuo per aukštos temperatūros ir elektroninis kintamo greičio siurblys pats nustato teisingą srautą kontūruose;
- naudojamas standartinis 3 greičių siurblys;
- įmontuotas atbulinis vožtuvas užtikrina teisingą srauto kryptį;
- maišymo mazgas užsibaigia nuorinimu viršuje ir termometru tiekimo linijoje.



4 pav. Grindų šildymo vandens temperatūros paruošimo mazgas FHM-C6

Apibendrinant galima teigti, kad šis sprendimas yra sukomplektuotas gamintojo su visomis montavimui ir valdymui reikalingomis santechninėmis jungtimis ir elektriniais prietaisais. Tai žymiai supaprastina montavimo darbus ir tuo pačiu sutaupo montavimo laiką. Tačiau taip prarandama galimybė pamaišymo mazgą valdyti iš bendro valdymo skydo. Kas neleidžia reguliuoti termodinaminių procesų pagal iškeltus sudėtingesnius tikslus.

Triėgius pamaišymo voųtuvus valdančios pavaros. Gamintojas ESBE pateikia platų elektrinių pavarų, skirtų pamaišymo voųtuvams valdyti, asortimentą. Šios pavaros išsiskiria greitu montavimu ir nedideliu poreikiu įvairiems ir sudėtingiems įrankiams. Gamintojo deklaruojamoje informacijoje pavaros ARA661 prasisunkimas sumažėjo nuo 0,1 iki 0,05%, kai slėgių skirtumas 100kPa (1 bar). Jei voųtuvas srautus paskirsto, skysčių prasisunkia dar mažiau – 0,02%.

Dėl naujos konstrukcijos ir gamybos technologijos ESBE pamaišymo voųtuvas gali pasisukti visu įmanomu kampu. Stabilus sujungimas tarp voųtuvo ir pavaros pagerina reguliavimo tikslumą. Esant nestabiliam pavaros ir voųtuvo sujungimui energijos taupymas ir komfortas yra sutrikdomi: atsiranda nereikalingi šilumos pliūpsniai ir nukrypimai nuo nustatytos temperatūros.

Lentelė 7. Triėgius pamaišymo voųtuvus valdančių pavarų palyginimas

Specifikacijos	Belimo, NV230-3-R	ESBE, ARA661
Maitinimo įtampa	230 VAC	230 VAC
Dažnis	50 Hz	50 Hz
Vidutinis energijos suvartojimas	7 VA	5 VA
Sukimosi laikas 90° [s]	80/150	120
Nm	5	6

Palyginus triėgių voųtuvų elektrinių pavarų gamintojus pasirinkta ESBE gamintojo pavara ARA661 paduodamo karšto vandens į sistemą srauto valdymui. Ši pavara pasirinkta dėl nedidelių galios sąnaudų (2 VA), patogaus ir greito montavimo, nedidelių gabaritų, tylaus veikimo, taip pat ir dėl geriausios kainos, kurią pasiūlė šildymo sistemų prekių pardavėjai.

1.5. Šildymo valdymo sistemos kūrimui tinkamos įrangos analizė

Yra daug kitų mikrokontrolerių ir mikrovaldiklių platformų skirtų laisvai kurti kompiuterines sistemas. Parallax Basic Stamp, Netmedia's BX-24, Phidgets, MIT's Handyboard, ir daugelis kitų mikrovaldiklių siūlo panašų funkcionalumą. Tačiau ne visų šių įrankių naudojimo ir valdymo informacija apie mikrovaldiklio programavimą yra pateikta patogiai ir pakankamai detaliai. Arduino supaprastina darbą susijusį su savo gaminamais mikrokontroleriais. Pagrindiniai Arduino gaminamų mikrovaldiklių privalumai prieš kitas sistemas:

Kaina – Arduino mikrovaldikliai kainuoja santykinai mažiausiai iš visų savo konkurentų. Tai palengvina kuriamų projektų kokybę, leidžiant investuoti į papildomą įrangą reikalingą norint užtikrinti platesnį projektų pritaikomumą.

Cross platforma – Dauguma Arduino mikrovaldiklių programinė įranga veikia su Windows, Macintosh OSX ir Linux operacinėmis sistemomis. Daugelis panašių mikrovaldiklių veikia tik su Windows operacinėmis sistemomis.

Programavimas – Tai paprasta ir aiški programavimo aplinka skirta ne tik patyrusiems programuotojams, tačiau ir patogi greitai perprasti programavimo subtilybes ir pradedantiesiems. Patogi proceso programavimo aplinka supaprastina darbą ir padeda greitai atrasti darbe daromas klaidas.

Išplėstine programinė įranga – programavimo kalba gali būti išplėsta naudojant C++ kalbos bibliotekas. Su šia programavimo kalba yra tekę susidurti ankstesniuose kursuose, kas palengvina patį programos suvokimą.

Išplečiama techninė įranga – Arduino remiasi Atmel gamintojo Atmega8, Atmega128, Atmega328P mikrokontroleriais. Šie moduliai yra gaminami su Creative Commons licencija, kas suteikia galimybę naudoti šiuos produktus kuriant savo naują projektą.

Arduino – universalus įrankis skirtas gaminti kompiuterines sistemas, galinčias apjungti įvairius jutiklius skirtus proceso stebėjimui ir tuo pačiu kontroliuoti proceso eigą. Tai suteikia galimybę procesą modeliuoti ne tik kompiuterio ekrane, tačiau jį kurti gyvai. Ši atviro kodo fizinio skaičiavimo platforma, pagrįsta paprastais mikrovaldikliais ir vystymosi aplinka padedančia nesudėtingai kurti valdymo programas. Arduino – faktiškai pilnavertis kompiuteris, kurio pagalba galima valdyti daviklius, ekranėlius, variklius, duomenų perdavimą bei daugeli kitu elementu. Elementai pateikiami kaip atskiri priedeliai (Shields), kurie, standartiniu jungčių pagalba, „užmaunami“ ant Arduino plokštes viršaus. Tam, kad visus prijungtus priedelius ir patobulinimus valdyti reikia I kompiuteri įdiegti Arduino programinę įrangą. Programavimo kalba labai panaši i C++, todėl perprasti yra paprasta.

Žemiau esančioje (žr. Lentelė 8) palyginama Arduino Uno mikrovaldiklį su kitais šio gamintojo kuriamais mikrovaldikliais. Iš šios lentelės matyti, jog pagrindinį plokščių skirtumą sudaro naudojami procesoriai. Daugelio mikrovaldiklių procesoriaus greitis ir darbinės bei įėjimo įtampos vienodas arba identiškos. Pagrindinis skirtumas tarp visų mikrovaldiklių plokščių yra jų naudojamų kontaktų skaičius (analoginių ir skaitmeninių). Šie kontaktai ir apriboja kiekvienos naujai kuriamos sistemos proceso sekimo ir valdymo galimybes.

Lentelė 8. Arduino mikrovaldiklių palyginimas

Pavadinimas	Procesorius	Darbinė įtampa/įėjimo įtampa	Procesoriaus greitis	Analoginiai Įėjimai/ Išėjimai	Skaitmeniniai Įė. Išėj./PWM	Flash [KB]	USB
Uno	ATmega328	5 V/7-12 V	16MHz	6 / 0.	14/6	32	Standartinis
Leonardo	ATmega32u4	5 V/7-12 V	16MHz	12 / 0.	20/7	32	Micro
Mega 2560	ATmega2560	5 V/7-12 V	16MHz	16 / 0.	54/15	256	Standartinis
Yun	ATmega32u4	5 V	16MHz	12 / 0.	20/7	32	Micro
Due	AT91SAM3X8E	3.3 V/7-12 V	84MHz	12 / 2.	54/12	512	2 Micro

Lentelėje 9 pateikiamas Arduino gaminamų originalių plokščių kainos iš tiesioginio gamintojo. Naudojami duomenys pateikti gamintojo puslapyje 2015 m. balandžio mėnesį.

Lentelė 9. Arduino gaminamų originalių plokščių kainos

Pavadinimas	Kaina
Uno	20,00 € + PVM
Leonardo	18,00 € + PVM
Mega 2560	35,00 € + PVM
Yun	52,00 € + PVM
Due	36,00 € + PVM

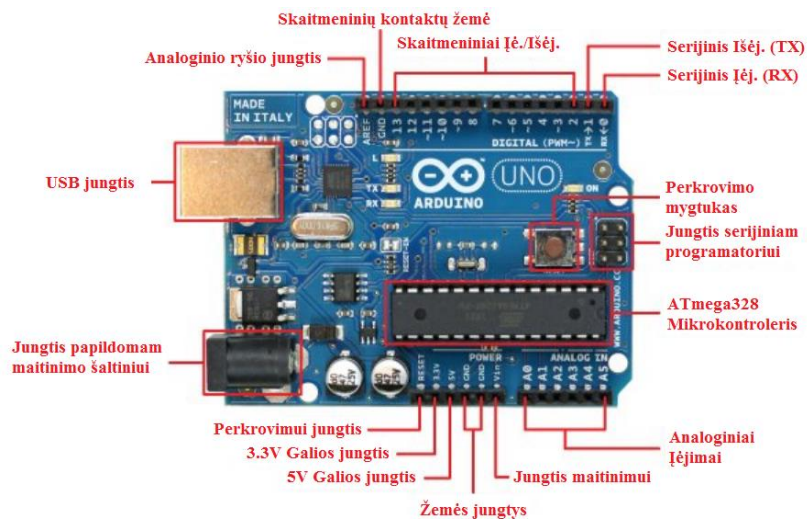
Iš kainų lentelės matyti, kad labiausiai išsiskiria YUN mikrovaldiklio plokštė. Taip yra todėl, kad ši plokštė yra sukonstruota klasikinės Arduino Leonardo plokštės pagrindu, tačiau turi integruotas Ethernet ir WiFi sąsajas. Ši plokštė puikiai galėtų tikti šiam projektui tolimesniame etape, norint plėsti galimybes iki interneto serverių prieigos iki bevielio ryšio būdų valdomų kitų prietaisų (su panašiais modemais). Atsižvelgus į 10 lentelėje pateiktus Arduino UNO mikrovaldiklio parametrus, visgi pasirenkamas šio tipo mikrovaldiklis.

Lentelė 10. Arduino UNO mikrovaldiklio parametrai

Parametras	Vertė
Procesorius	ATmega328

Darbinė įtampa	5V
Įėjimo įtampa (rekomenduojama)	7-12V
Įėjimo įtampa (ribos)	6-20V
Skaitmeninių įė./išėj. Jungtys	14
Analoginių įėjimų jungtys	6
DC srovė per įė./išėj. jungtį	40 mA
DC srovė per 3,3V jungtį	50 mA
Flash atmintis	32 KB
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB

5 paveiksle pateiktas Arduino UNO REV3 mikrokontrolerio išklotinė su kontaktai ir jų pavadinimais. Visas įrenginys pateiktas patogiam projektavimui ir kontaktų prijungimui. Gabaritai suteikia privalumą patogiai ir lengvai sutalpinti valdiklį į naujai kuriamos sistemos skydą.



5 pav. Arduino Uno Rev3 kontaktų nuotrauka

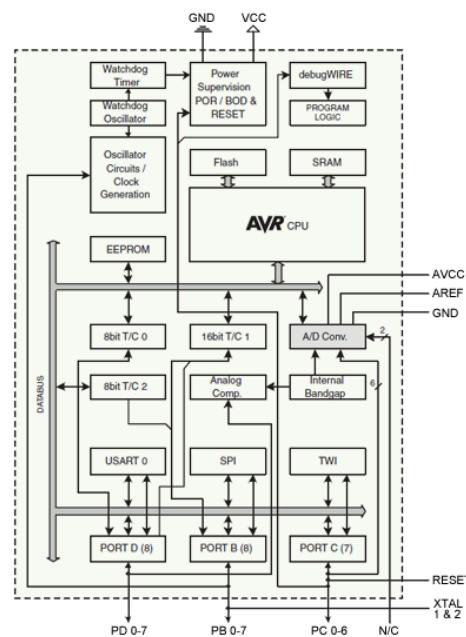
Arduino UNO REV3 procesorius. Šiame darbe naudojamas mikrovaldiklis Arduino UNO REV3 yra valdomas Atmega328P mikrokontrolerio. Atmega328P yra vieno lusto mikrokontroleris sukurtas Atmel ir priklauso megaAVR serijai. Aukštos kokybės Atmel picoPower 8 bitų AVR RISC – pagrindu mikrovaldiklis apjungia 32KB IPT flash atmintį su skaitymo ir rašymo galimybe. Mikrokontrolerio darbinė įtampa yra nuo 1.8 iki 5.5 Voltų (žr. Lentelė 11).

Lentelė 11. Mikrokontrolerio Atmega328P parametrai

Parametras	Vertė
------------	-------

Flash (KB)	32 KB
Kontaktai (jungtys)	32
Maksimalus darbinis dažnis	20 MHz
Procesorius	8-bit AVR
Maks. Įė./Išėj. Jungtys	23
SRAM (KB)	2
EEPROM (KB)	1024
Programuojama atmintis	YRA
Darbinė temperatūra	Nuo -40 iki 85 C
Darbinė įtampa Vcc	Nuo 1.8 iki 5.5 V

MegaAVR kontrolių serija naudojama kuomet reikalingi aukšti reikalavimai tiksliam ir patikimam valdymui. Šie mikrokontroleriai idealiai tinka kai yra rašoma daug kodo, megaAVR siūlo didelę programų ir duomenų saugojimo spartą iki 20 MIPS (Microprocessor without Interlocked Pipeline Stages). Nauja technologija sumažina Picopower energijos suvartojimą. Šios serijos mikrokontroleriai siūlo saugų, ekonomiškai efektyvų grandinės programavimą (žr. 6 pav.).

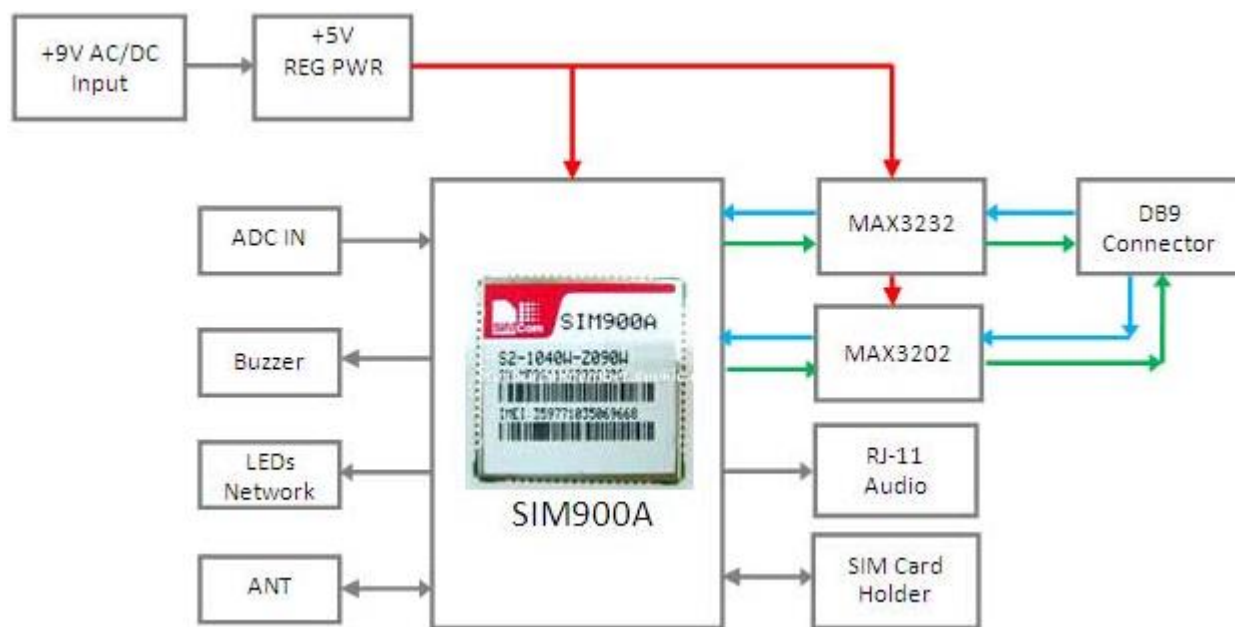


6 pav. Atmega 328P mikrokontrolerio blokinė diagrama

1.6. Sistemoje naudojamų papildomų modulių apžvalga

Arduino GSM/GPRS modulis SIM900A. GSM/GPRS priedėlis skirtas Arduino tipo valdikliams. Priedėlio pagrindą sudaro keturių dažnių GSM/GPRS modulis SIM900A (žr. 7 pav.), kuris su valdikliu bendrauja AT komandomis per UART sąsają.

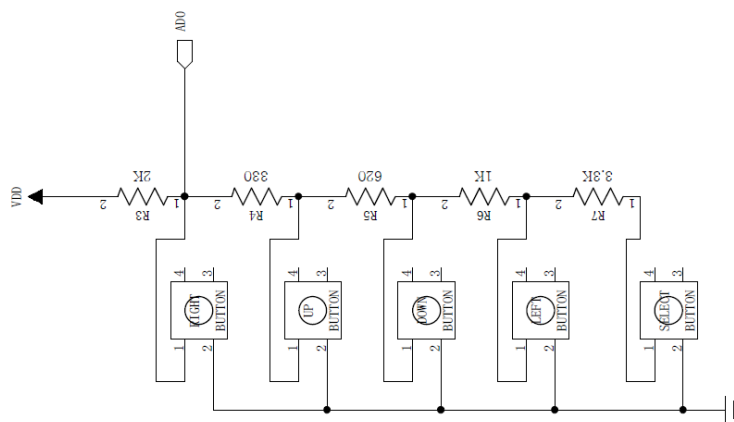
Šio darbo pagrindinis tikslas ir priežastis, kodėl naudojamas šis modulis yra galimybė atlikti ir gauti balso skambučius (tam reikia išorinio garsiakalbio ir mikrofono) ir siųsti arba gauti SMS pranešimus. Tai suteikia galimybę bendrauti vartotojui su valdikliu vartotojui neprisijungus prie interneto. Taip būtų užtikrinama apsauga nuo nenumatytų avarinių situacijų, kuomet įvyksta gedimai šildymo sistemoje.



7 pav. SIM 900A modulio blokinė schema

LCD ekranas. Priedėlyje yra standartinis šešiolikos simbolių dviejų eilučių LCD ekranas, penkių mygtukų vairalazdė ir rotacinis valdymas su mygtuku (rotary encoder). Modulyje taip pat išvesti D13-D11 skaitmeniniai Arduino kontaktai ir A0-A5 analoginiai kontaktai. Vairalazdė ir rotacinio valdymo mygtukas prijungti prie Arduino A0 kontakto, rotacinis valdymas prie D2 ir D3 kontakto.

LCD schema yra pateikta priedų sąrašė Nr. 3. Valdymo pultui naudojamas „ITEAD 1602 LCD Shield” modulis. Šio modelio komunikacijai reikalingas 10-ies gyslų kabelis. Gamintojas labai patogiai išsprendė mygtukų pajungimą su vienu laidu sistemą 8 paveikle. Kiekvienam mygtukui yra sumontuotos atskiros varžos. Visi šie mygtukai yra maitinami tais pačiais 5V, o nuspaudus mygtuką yra gaunamas atskiras analoginis signalas priskirtas kiekvienam mygtukui. Taip valdiklis atskiria kuris mygtukas buvo nuspaustas ir to pasekoje kiekvienam mygtukui nereikalingi atskiri laidai.



8 pav. LCD priedėlio mygtukų pajungimas su vienu laidu

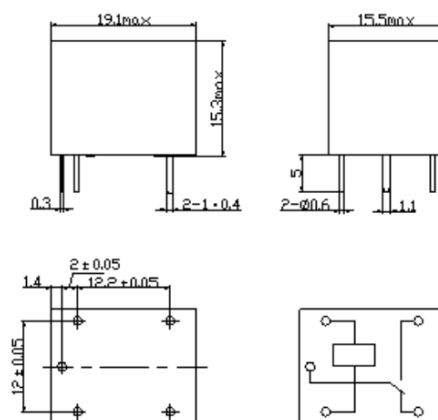
Valdymo pultą sudaro 16x2 simbolių displejus ir 6 valdymo mygtukai.

Relių blokas. Šiame darbe kuriamos šildymo kontūrų automatikos sistemos sklendes atveriančios pavaros yra valdomos relių pagalba. Šiai funkcijai atlikti naudojamos puslaidininkinės relės. Šios relės pasirinktos būtent todėl, kad pakanka nedidelės galios nuolatinės srovės signalo, kad būtų galima valdyti kintamos srovės prietaisus. Pasirinktas relių modulis su Songle gamintojo SRD-05VDC-SL-C puslaidininkinėmis relėmis. Šios relės šiam projektui idealiai tinka dėl savo charakteristikų (žr. Lentelė 12).

Lentelė 12. Relės SRD-05VDC-SL-C kontaktoriaus parametrai

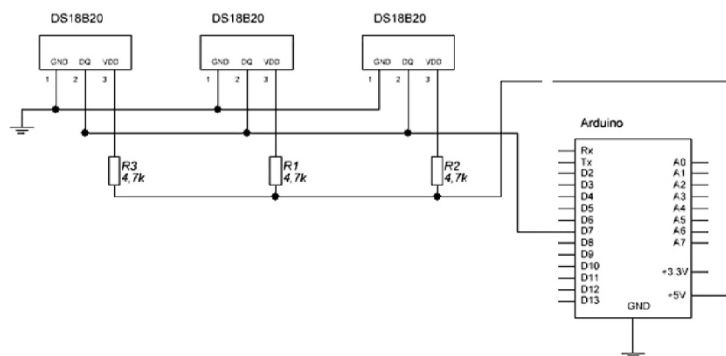
Kontaktoriaus parametrai	
Kontakto galingumas	10A 28VDC 10A 240VAC
Induktyvinė apkrova	5A 120VAC 5A 28VDC
Maks. Leistina įtampa	250 VAC 110VDC
Maks. Leistina galia	1200VA / 300W
Kontaktoriaus medžiaga	AgCdO

Šios relės puikiai tinka, už santykinai nedidelę kainą galima įsigyti reles, kurios įvykdo pagrindinius keliamus reikalavimus su didele atsarga (žr. 9 pav.). Šios relės yra nedidelių matmenų, todėl puikiai telpa į kuriamą sistemą.



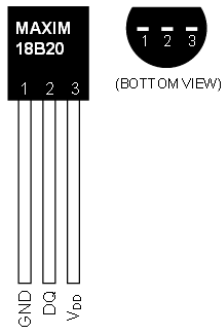
9 pav. Relė SRD-05VDC-SL-C

Temperatūriniai davikliai. Šioje sistemoje temperatūrai matuoti naudojami Dallas semiconductors gamintojo DS18B20 skaitmeniniai temperatūros jutikliai. Pagrindinis privalumas yra, kad šis skaitmeninis, aukštos raiškos temperatūros jutiklis perduoda duomenis "one wire" sąsaja 10 pav. Temperatūrą gali matuoti ribose nuo -55°C iki $+125^{\circ}\text{C}$, tikslumas $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, rezoliucija: nuo $0,5^{\circ}\text{C}$, iki $0,0625^{\circ}\text{C}$. DS18B20 bendrauja "one wire" sąsaja, kuriai, pagal apibrėžimą, reikia vienos duomenų linijos komunikacijai su centriniu mikroprocesoriumi ir įžeminimo.



10 pav. Daviklių sujungimo vienu laidu schema

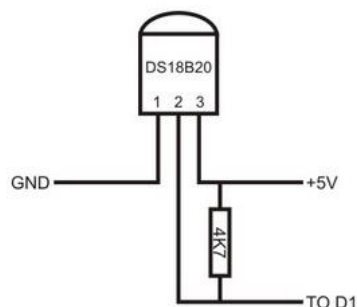
Kiekvienas DS18B20 skaitmeninis temperatūros daviklis turi unikalų 64 bitų serijinį kodą, tai leidžia funkcionuoti keliems davikliams, naudojant tą pačią vieno laido magistralę. Tai reiškia, kad užtenka naudoti vieno mikrovaldiklio kontaktą norint valdyti daug DS18B20 skaitmeninių temperatūros daviklių, išdėstytų didesniame plote. Ši funkcija yra naudinga temperatūros stebėjimo sistemose pastatų viduje, įrangoje ar mechanizmuose, proceso stebėjimo ir kontrolės sistemose. Temperatūros daviklio DS18B20 išvedami temperatūros duomenys yra sukalibruoti naudojant Celsijaus laipsnių skalę.



11 pav. DS18B20 skaitmeninis temperatūros jutiklis

DS18B20 skaitmeninio temperatūros jutiklio modulio ypatybės ir techninės specifikacijos:

- lengva naudoti, nereikalingi papildomi elementai (Plug & Play). Standartinės jungtys leidžia prijungti prie daugelio valdiklių ar praplėtimo plokščių be papildomų perėjimų, specifinių laidų;
- valdymo skyde pakanka sumontuoti trijų kontaktų lizdus skirtus prijungti temperatūriniais jutikliams;
- unikali vieno laido “one wire” sąsaja, prie vieno duomenų laido gali būti prijungti keli temperatūros moduliai, iki 64 jutiklių;
- termometro rezoliucija yra pasirenkama vartotojo nuo 9 iki 12 bitų;
- matuoja temperatūrą nuo -55°C iki $+125^{\circ}\text{C}$;
- jutiklio $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ tikslumas nuo -10°C iki $+85^{\circ}\text{C}$;
- maitinama nuo 3.0VDC iki 5.5VDC įtampos;
- aliarmo paieškos komanda identifikuoja ir nurodo įtaisus, kurių temperatūros reikšmės viršija vartotojo užprogramuotas reikšmes. 12 paveiksle pateikiami DS18B20 jutiklio pajungimo schemas veikimo principai.



12 pav. DS18B20 jutiklio pajungimo schema

Apibendrinant galima teigti, kad šie temperatūriniai jutikliai tinka šiai sistemai dėl savo darbinių temperatūrų, unikalios sąsajos iki 64 jutiklių naudojant vieną sąsają ir dėl nedidelės kainos.

1.7. Pavarų valdymo signalų tipai

Signalu vadinama funkcija, kuri apibūdina fizinės sistemos būseną. Tokiais signalais gali būti įvairūs išmatuojami dydžiai, kurie ilgainiui kinta: automobilio greitis, elektros tinklo įtampa, radiolokatoriaus impulsai ar kasdieninis gydytojo vizitų pas ligonius skaičius. Visi šie signalai gali suteikti pageidaujamą informaciją apie tam tikrą fizinį reiškinį. Taigi signalas yra informacijos šaltinis.

Kiekviena funkcija aprašoma tam tikrais parametrais. Signalu gali būti tik tokia funkcija, kurios bent vienas parametras yra atsitiktinis, t. y. iš anksto nežinomas ir todėl galintis suteikti naują informaciją. Radiolokacijoje toks informacinis parametras yra laikas tarp radijo impulso išspinduliavimo ir atsispindėjusio radijo impulso priėmimo momentų, moduluotos amplitudės radijo elektronikoje – harmoninio virpesio amplitudė, moduluoto dažnio radijo elektronikoje – virpesio dažnis.

Daugeliu atvejų signalai priimami ne grynai, o susimaišę su įvairios kilmės triukšmu arba iškraipyti. Apdorojant signalus, galioja sumažinti triukšmo įtaką ir gauti pageidaujamas charakteristikas: vidurkius, koreliacijos funkcijas, spektrus. Tik iš apdoroto signalo galima spręsti apie tiriamosios fizinės sistemos savybes. Pavyzdžiui, apdorojus radiolokatoriaus signalus, gaunama informacija apie skriejančio objekto koordinatas, greitį.

Radioelektronikoje signalai dažniausiai yra laiko funkcijos, nors apskritai signalas gali būti ir kitokio kintamojo funkcija (pvz. diodo srovės stiprumo priklausomybė nuo įtampos). Elektronikoje signalai labai dažnai apdorojami, transformuojami iš vienokio pavidalo į kitokį, priklausomai nuo to, kokią informaciją jie perneša arba kokią informaciją iš jų norima išgauti. Todėl apdorotas signalas gali gerokai skirtis įvairiais parametrais nuo pradinio signalo, gauto tiesiai iš fizinės sistemos. Norint atskirti tokius apdorotus ir pradinius signalus, įvedama pirminio elektrinio signalo sąvoka. **Pirminiu signalu** vadinamas elektrinis signalas gautas tiesiai iš tiriamos fizinės sistemos.

Pirminis elektrinis signalas yra laiko funkcija ir pagal kitimo laikui bėgant pobūdį signalai skirstomi į 4 grupes:

- analoginiai signalai (*tolydinio laiko ir tolydinės amplitudės*);
- diskretiniai signalai (*diskretinio laiko ir tolydinės amplitudės*);
- kvantuotieji signalai (*tolydinio laiko ir diskretinės amplitudės*);
- skaitmeniniai signalai (*diskretinio laiko ir diskretinės amplitudės*).

Analoginiai signalai yra nepertraukiami ir aprašomi konkrečiu laiko intervalu. Kaip tokių signalų pavyzdžius galima paminėti mikrofono išėjimo signalą, temperatūros, slėgio jutiklių išėjimo

signalus. Šie signalai paprastai atspindi realių fizikinių reiškinių elektrinį modelį. Užsienio literatūroje jie dar vadinami tolydinio laiko ir tolydinės amplitudės signalais.

Diskretiniai signalai yra apibrėžti tik tam tikrais diskretiniais laiko momentais. Jie gali būti gauti iš analoginių signalų, atskaitant jo reikšmes diskretizacijos žingsniu Δt . Iš esmės diskretinis signalas yra skaičių seka ir jos n -tąją atskaitą, kaip ir pačią seką, žymėsime simboliu $x[n]$. Tokio signalo pavyzdys gali būti reguliarus temperatūros stebėjimas (kas valandą, parą) metrologinėje tarnyboje. Kartais jie vadinami diskretinio laiko ir tolydinės amplitudės signalais.

Kvantuotieji signalai (tolydinio laiko ir diskretinės amplitudės) gali įgyti tik tam tikras iš anksto apibrėžtas reikšmes (pvz., 1,2,3). Tokie signalai gaunami nepertraukiamą signalą kvantuojant pagal amplitudę ir pakeičiant tolydinį signalą laiptine stačiakampe funkcija. Kvanto dydis pagal amplitudę parenkamas reikiamu tikslumu atkuriant pradinį nepertraukiamą signalą iš kvantuotojo signalo. Tokių signalų galimų amplitudės reikšmių skaičius yra ribotas.

Skaitmeniniai signalai yra kvantuoti pagal amplitudę ir atskaitomi diskretiniais laiko momentais. Jie gaunami iš analoginių signalų analoginiu-kodiniu keitikliu (A/K), juos kvantuojant pagal amplitudę ir diskretizuojant pagal laiką. Kartais jie vadinami diskretaus laiko ir diskretinės amplitudės signalais.

2 Projektinė dalis

2.1. Problemos ir objekto analizė

Šioje skiltyje pateiktos esminės problemos, kurias ruošiamasi išspręsti, rengiant šį tiriamąjį darbą. Problemos iškilo nagrinėjant galimybes gyvenamajame name valdyti atskirų kambarių temperatūrą neturint galimybės sutrikdyti visos šildymo sistemos darbo. Atliekant pirmąsias šildymo įrenginių analizes nuspręsta, jog naudojant šiuolaikinius modernius šildymo prietaisus karšto vandens paruošimui neverta kurti alternatyvių valdiklių kurie pakeis jau jiems sukurtus reguliatorius ar valdiklius. Net ir esant keliems energijos šaltiniams su atskirais reguliatoriais, gamintojai pateikia modulinis valdiklius kurių pagalba atskiri reguliatoriai gali komunikuoti tarpusavyje ir kartu reguliuoti sistemos darbą siekiant tolygaus ir sklandaus šildymo sistemos darbo. Šių modulių pagalba to pačio gamintojo reguliatoriai ar valdikliai gali komunikuoti tarpusavyje.

Todėl buvo nuspręsta kurti naują valdymo sistemą kuri reguliuotų tik paduodamos šilumos į kambariuose esančią grindų šildymo sistemą temperatūrą. Tiksliau sakant tik tai šildymo sistemos daliai kuri atiduoda temperatūrą kambariui ir aplinkai kurioje yra vartotojas.

Triėgio vožtuvo valdymas:

- naudojantis PID reguliavimo algoritmu reguliuoti sklendės atsidarymo kampą;
- indikuoti vartotojui, kuomet nepakanka paduodamos šilumos į grindų šildymo kontūrus.

Valdiklio techninė užduotis:

- mechaninių termostatų pakeitimas;
- avarinės situacijos režimas – atpažinimas staigių temperatūros pokyčių kambaryje;
- avarinės situacijos režimas – esant nepakankamam šilumos kiekiui iš šildymo sistemos.

Šios techninės užduotys yra pagrindiniai tikslai kuriuos turi išpildyti naujai sukurtas valdiklis. Valdiklių kurie pakeičia mechaninius termostatus šiuo metu rinkoje yra ne vienas – apžvelgta pirmame skyriuje. Tačiau ne visi valdikliai turi funkcijas kurios galėtų išspręsti problemas numatytas antrame ir trečiame punkte. Tai yra papildomos patogumą ir saugesnę eksploataciją garantuojančios priemonės.

Mechaninių termostatų pakeitimas. Techninė užduotis:

- palaikoma temperatūra nuo +5 iki +25°C;
- žiemos ir vasaros režimas, maksimalios temperatūros +25°C ir + 13 °C

- atjungimo režimas;
- prieš užšalimasis režimas +5°C.

Šis problemos sprendimas sukuria galimybę nuotoliniu būdu atlikti kambarių temperatūros monitoringą, valdyti juose esančią temperatūrą. Įprasti mechaniniai termostatai leidžia atlikti tik norimos temperatūros nustatymą. Šias temperatūras galima nustatyti tik vartotojui esant name.

Avarinis režimas – atpažinimas staigių temperatūros pokyčių kambaryje. Techninė užduotis:

- nustatyti temperatūros ribas kaip kritines;
- vartotojas įspėjamas SMS žinute.

Šis avarinis režimas yra skirtas namų apsaugai nuo netikėtų ir nelaimingų atsitikimų, tokių kaip išdaužtas namo langas ar durys. Šis režimas galėtų puikiai pasitarnauti kaip papildomas apsaugos indikatorius vartotojui. Jei namuose nėra instaliuotos tradicinės centralizuotos apsaugos sistemos tokios kaip judesio davikliai, dūžio davikliai ar kita, ši sistema galėtų atlikti ir apsauginę funkciją.

Valdomos sistemos santechniniame projekte matome, kad reikalinga valdyti į kambario kontūrą paduodamo karšto vandens srautą ir pamaišymo mazgo trieigį vožtuvą.

2.2. Valdymo sistemos funkcijų parinkimas

Gyvenamajame name, kuriame projektuojamas valdiklis, yra diegiama Junkers gamintojo šildymo įranga. Ši įranga yra komplektuojama su jau gamintojo sukurtais valdikliais atskiram procesui. Magistrinio darbo metu buvo svarstoma ar valdiklį kurti kuris galėtų valdyti visą namo šildymo sistemą nuo energijos šaltinių aprišimo mazgų valdymo iki į kambarius paduodamo vandens temperatūros. Pasirenkant šildymo prietaisus kuriuos vėliau būtų galima valdyti buvo analizuojami Junkers gamintojo parduodami šildymo prietaisai.

Šis gamintojas buvo pasirinktas dėl savo plačios gamos pateikiamų prietaisų nuo šilumos siurblių tiek geoterminių tiek antžeminių iki saulės kolektorių sistemų ir dujinių ar tradicinių kieto kuro katilų. Junkers yra garsi ir patikima Vokietijos įmonė, kuri turi daugiau nei 100 metų patirtį ekologiškų, patogių ir patikimų šildymo prietaisų kūrime. Junkers priklauso Bosh įmonių koncernui, kas suteikia šiam gamintojui patikimo gamintojo etiketę.

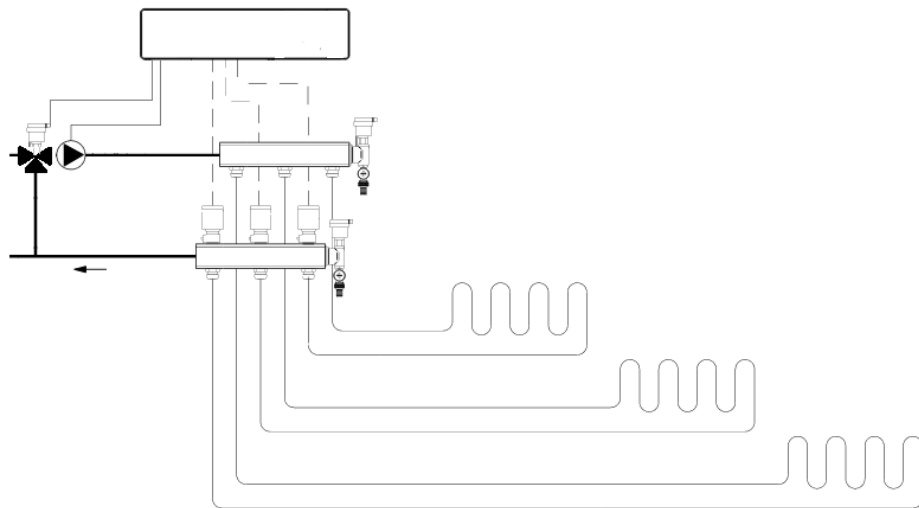
Išanalizavus rinkoje esančius įvairių gamintojų šildymo prietaisus galima apibendrinti:

- visi šildymo prietaisai yra komplektuojami su savo valdymo pultais;
- gamintojas dažniausiai nepalieka galimybės prie jų valdiklių jungtis išoriniams prietaisams;

- skirtingų šildymo prietaisų tarpusavio komunikacijai gamintojai turi sukūrę papildomus komunikacijos prietaisus kurie tarpusavi bendrauja gamintojo iš anksto nustatytais algoritmais.

Suprojektuoti realią valdymo sistemą (13 pav.) skirtą valdyti kambario temperatūrą, reguliuojant paduodamo karšto vandens kiekį į grindų šildymo sistemą. Šis valdiklis pakeistų kambariuose esančius termostatus ir suteiktų galimybę temperatūrą reguliuoti atstumu. Tai suteiktų vartotojui galimybę bet kuriuo paros metu nepriklausomai nuo padėties kurioje esama keisti namų kambariuose esančią temperatūrą. Temperatūrą bus galima valdyti priklausomai pagal poreikį arba valdymo skydelio pagalba arba mobiliuoju telefonu. Siekiamybė, kad valdiklis turėtų šias funkcijas:

- galimybę reguliuoti paduodamo vandens temperatūrą į kambarių grindinio šildymo kolektorius;
- atvaizduoti esamą ir nustatytą temperatūrą pagrindiniame valdiklio skydelyje;
- atvaizduoti esamą ir nustatytą temperatūrą GSM modulio pagalba;
- turėti galimybę nustatyti keletą režimo funkcijų, tokių kaip žiemos, atostogų ar kt. naudojamų programoje.



13 pav. Šildymo sistemos valdymo projektas

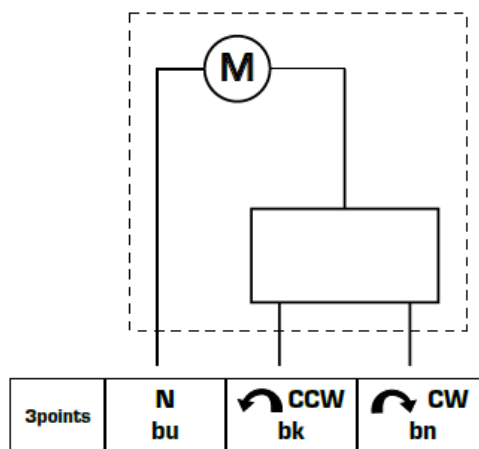
2.3. Pavarų valdymo struktūros sudarymas

Grindų šildymo kolektorių pavaros yra reikalingos reguliuoti paduodamą temperatūrą į atskirų kambarių kontūrus. Šiam reguliavimui reikalingas diskretinis signalas, kad pavara būtų arba

pilnai uždaryta arba pilnai atidaryta. Tokiam darbui atlikti pasirinktos Kermi gamintojo SFE grupės pavaros. Šios pavaros pasirinktos dėl nedidelės suvartojamos galios, poreikį atitinkančių techninių galimybių ir kainos.

Trieigio vožtuvo pamaišymo mazgui elektrinė pavana. Karšto vandens pamaišymo mazgui valdyti pasirinktas trieigis vožtuvas. Trieigiai vožtuvai gali būti valdomi analoginiu signalu (įtampiniu arba sroviniu) arba diskretiniu. Nuo pasirinkto būdo skiriasi ir pavaros veikimo principas. Šiame darbe pasirinktas ESBE gamintojo elektrinė pavana ARA661.

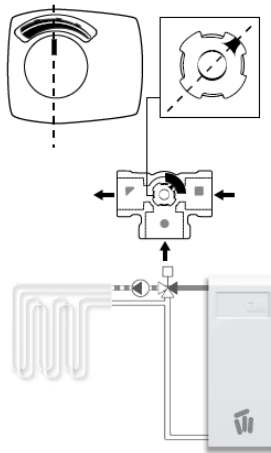
Trieigio vožtuvo valdymas. Norint trieigį vožtuvą valdyti su bendru valdikliu, o ne su atskira sistema tam būtina pritaikyti PID reguliatorių valdiklyje. Trieigio vožtuvo valdymui pasirinkta linijinė pavana. Ši pavana valdoma ne analoginiu, tačiau diskretiniu signalu. Toks būdas mums priimtinesnis, dėl paprastesnio ir patikimesnio programos kodo. Testavimams ir veikimo tyrimui atlikti naudojamas gamintojo ESBE elektrinė pavana ARA661. Šios pavaros pajungimo ir valdymo schema pavaizduota 14 paveiksle.



14 pav. ESBE gamintojo elektrinės pavaros ARA661 pajungimo schema

Priklausomai nuo suregulavimo montavimo metu, padavus signalą į kontaktą „bk“ pavana atsidarinėja, o nutraukus signalą pavana sustoja paskutiniame jos atsidarymo taške. Lygiai taip pat pavana ir užsidarinėja padavus valdymo signalą į „bn“ kontaktą, o nutraukus signalą pavana taip pat sustoja paskutinėje pozicijoje.

Pavana ARA661 jungiama su to pačio gamintojo sklende VRG 100 pagal žemiau pateiktą jungimo schemą 15 paveiksle.



15 pav. Elektrinės pavaros ARA661 jungimo su sklende VRG 100 schema

Atlikus pavarų valdymo struktūrų sudarymo analizę patvirtinta svarbu prieš projektuojant valdymo sistemą nustatyti technines specifikacijas ir pagal jas teisingai pasirinkti tinkamiausią trieigio vožtuvą ir jį valdančią pavarą.

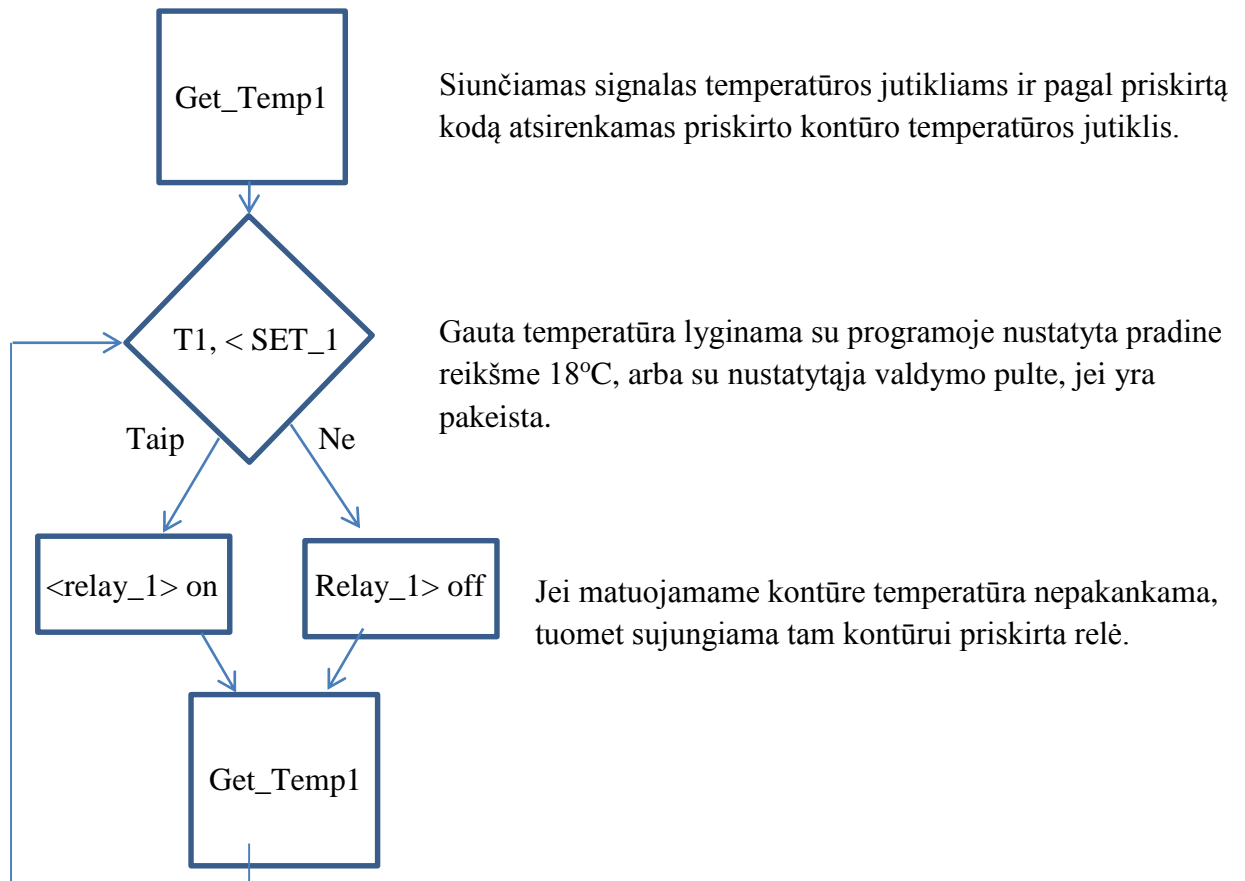
2.4. Darbo algoritmas ir programų sudarymas

Prie valdiklio prijungti temperatūros jutikliai nuskaitys kambariuose esančią momentinę temperatūrą ir atsižvelgdamas į užduotą nustatytą reikšmę reguliuos atskirų kontūrų paduodamo karšto vandens į grindų šildymo kolektorių valdymo sklendes. Temperatūros jutikliai yra išdėstyti kiekviename kambaryje nustatytame aukštyje. Kiekvienas jutiklis yra sujungiamas atskirais kabeliais su valdymo bloku. Tai suteikia galimybę reguliuoti temperatūrą autonomiškai kiekviename kambaryje pagal gyventojų poreikius.

Valdiklio programavimas Arduino programavimo aplinkoje. Programoms rašyti arduino.cc projektas siūlo vartotojams naudotis pritaikytą nemokamą programinę įrangą. Tai lengvai prieinama, "Wiring" pagrindu sukurta programa, kuri nuolat tobulinama. Naujausią jos versiją visada galima gauti iš gamintojo. Arduino programinė įranga parašyta ne tik Windows šeimos kompiuteriams – kas patogiu naudojantis ir Linux ir Mac sistemomis. Parsisiuntus .zip archyvą patartina programinę įrangą išarchyvuoti "c:\arduino" kaip siūlo gamintojas. Jungiama turima Arduino plokštė prie kompiuterio USB jungties, jei pirmą kartą jungiamasi, tuomet reikia instaliuoti tvarkyklės, ir tada galima paleisti programėlę.

Pradžioje įsijungus programėlę reikia nusistatyti mūsų naudojamą Arduino plokštę – einame į "Įrankiai → Plokštė → {pasirenkamas plokštės tipas}" ir pasirinkti kompiuterio-Arduino bendravimo portą "Įrankiai → Nuoseklusis Portas → COM{porto numeris}". Po šių etapų galima rašyti savo programą, ją kompiliuoti ir krauti į kontrolerį.

Algoritmo veikimas - kuris valdo vieno kambario grindų šildymo kontūrą

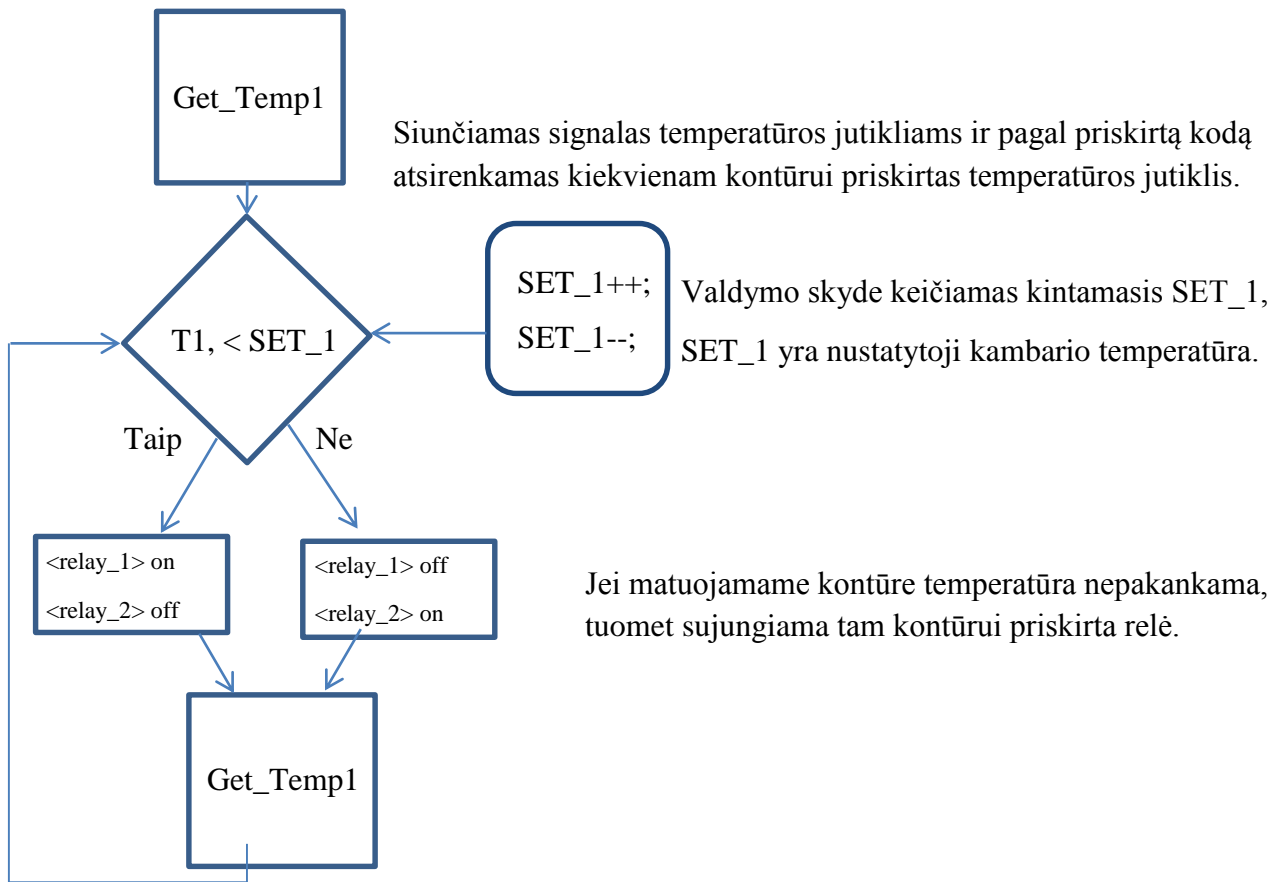


16 pav. Šildymo kontūrų sklendžių valdymo algoritmas

Programos kodas atliekantis šį algoritmą:

```
void loop()
{ // Read temperatures
  sensors.requestTemperatures();
  TEMP_1 = sensors.getTempC(Probe01);
  if (TEMP_1 < SET_1) {
    digitalWrite(relay_1, LOW);
  }
  else {
    digitalWrite(relay_1, HIGH);
  }
}
```

Algoritmo veikimas - valdo vieno kambario grindų šildymo kontūrą keičiant nustatytąją temperatūrą.



17 pav. Šildymo kontūrų sklendžių valdymo su valdymo pultu algoritmas

```

void on_item1_selected(MenuItem* p_menu_item)
{
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("[Pasirinkta]      ");
  delay(500); // Reikšmė rodoma ekrane
  while(keyPress != btnBACK){
    keyPress = read_LCD_buttons();
    delay(200);
    if (keyPress == btnUP)
    {
      SET_1++;
      displayMenu();
    }
  }
}

```



```

    }
    else if (keyPress == btnDOWN) {
        SET_1--;
        displayMenu();
    }
}

lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("[Issaugota]      ");
delay(1500); // Reikšmė rodoma ekrane}

```

Iš šios programos pavyzdžio matoma, kad pagrindinis valdiklis priima LCD valdymo skydo mygtukų signalus ir jas prilygina anksčiau priskirtoms funkcijoms. Valdiklio pagalba galima pasirinkti skirtingą valdomą kontūrą ir keisti to kontūro norimą palaikyti temperatūrą.

Kadangi kiekvienas DS18B20 skaitmeninis temperatūros daviklis turi unikalų 64 bitų serijinį kodą, tai leidžia funkcionuoti keliems davikliams, naudojant tą pačią vieno laido magistralę. Tai reiškia, jog užtenka naudoti vieno mikrovaldiklio kontaktą norint valdyti daug DS18B20 skaitmeninių temperatūros daviklių. Šis principas yra naudingas tuo, kad visus jutiklius per jų signalinį kontaktą galima sujungti vienu laidu ir valdiklis atskiria kiekvieną iš jutiklių pagal jiems priskirtus unikalius kodus. Šiuos kodus mes galime nuskaityti pasinaudoję elementaria temperatūros jutiklių nuskaitymo programa su adreso išvedimo funkcija į Serijinį monitorių (Serial monitor)

Nuskaičius jutiklius buvo nustatyti jų identifikaciniai kodai:

TJ_1 - 28 87 92 DA 5 0 0 6A

TJ_2 - 28 27 12 56 5 0 0 36

TJ_3 - 28 63 77 DA 5 0 0 97

TJ_4 - 28 9F 3C DA 5 0 0 1

Lentelė 13. Programai priskirti kodai

```
DeviceAddress Probe01 = { 0x28, 0x87, 0x92, 0xDA, 0x05, 0x00, 0x00, 0x6A };
```

```
DeviceAddress Probe02 = { 0x28, 0x27, 0x12, 0x56, 0x05, 0x00, 0x00, 0x36 };
```

```
DeviceAddress Probe03 = { 0x28, 0x63, 0x77, 0xDA, 0x05, 0x00, 0x00, 0x97 };
```

```
DeviceAddress Probe04 = { 0x28, 0x9F, 0x3C, 0xDA, 0x05, 0x00, 0x00, 0x01 };
```

„DeviceAddress“ – funkcija, kuri ieško ir matuoja prie valdiklio prijungtų jutiklių parametrus;

„Probe03“ – priskirtas pavadinimas kiekvienam jutikliui, kuris vėliau naudojamas programoje.

2.5. Valdymo skydo galios paskirstymas

Šiame projekte projektuojant ir surenkant valdymo skydą buvo vadovaujama Lietuvos Respublikos ūkio ministro įsakymu patvirtintomis Elektros įrenginių įrengimo bendrosiomis taisyklėmis (toliau EĮIBT). Šios taisyklės apibrėžia pagrindinius elektroaugos reikalavimus, kurių būtina laikytis norint nepakenkti žmogaus sveikatai ir gyvybei. Taisyklių reikalavimai yra privalomi elektros energijos gamintojams, visuomeniniams elektros energijos tiekėjams, perdavimo ir skirstomojo tinklo operatoriams, elektros energijos vartotojams, t. y. visiems fiziniams ir juridiniams asmenims, įrengiantiems naujus, rekonstruojantiems arba kapitališkai remontuojantiems kintamosios ir nuolatinės srovės iki 400 kV įtampos elektros įrenginius.

Laidų ir kabelių parinkimas. Rekomenduojami laidininkų skerspjūviai yra pateikiami lentelėje esančioje priedų sąrašė, lentelėje, atsižvelgiant į aplinkos temperatūrą $+25^{\circ}\text{C}$ ir laidininko temperatūrą $+65^{\circ}\text{C}$. Kuomet yra klojama keturi laidai trijų fazių sistemoje, nulinis laidas neskaičiuojamas kaip pilnavertis.

230 V kintamos srovės paskirstymas skyde. Šiame projekte kuriamam įrenginiui yra reikalingas vienos fazės 230V kintamos srovės maitinimas. Kintamai srovei paskirstyti pasirinkome naudoti daugiagyslis $1,5\text{mm}^2$ laidas kintamos srovės paskirstymui. Tokios kvadratūros laidas pasirinkome su pakankamai didele atsarga, nes šiais laidais leistinoji srovė yra 23A, kuomet mūsų įrenginiui pagal skaičiavimus reikalinga maksimali srovė neviršys 10 A.

Rudu laidu yra paskirstoma fazė visiems imtuvams esantiems įrenginyje ir taip pat yra atvesta įtampa į valdymo reles. Juodu faziniu laidu įtampa suveikus relėms yra paduodama į rinkles į kurias montavimo metu bus pajungtos valdomos pavaros.

Laidų žymėjimas skyde:

- fazė:
 - rudas laidas, daugiagyslis, $1,5\text{mm}^2$;
 - juodas laidas, daugiagyslis, $1,5\text{mm}^2$;
- neutralė (nulinis laidas) – mėlynas laidas, daugiagyslis, $1,5\text{mm}^2$;
- įžeminimas (apsauginis laidas) – žaliai/geltonas laidas, daugiagyslis, $1,5\text{mm}^2$;

Rudu laidu yra paskirstoma fazė visiems imtuvams esantiems įrenginyje ir taip pat yra atvesta įtampa į valdymo reles. Juodu faziniu laidu įtampa suveikus relėms yra paduodama į rinkles į kurias montavimo metu bus pajungtos valdomos pavaros.

Kintamos srovės laidai paskirstyti naudojant Phoenix gamintojo rinkles UT 4. Šios rinklės buvo pasirinktos dėl savo patikimos konstrukcijos (asmeninė patirtis – darbo metu veržiant netrūksta

korpusas). Maksimalus srovės pralaidumas iki 41 A. Taip pat patogų dirbti dėl patikimų aksesuarų: trumpiklių, atskirimo plokštelių.

5 V nuolatinės srovės paskirstymui šiame skyde naudojama 0,5mm² daugiagyslius laidus. Tokia kvadratura taip pat pasirinkta su didesne atsarga. Įrenginyje naudojamas maitinimo šaltinis gali maksimaliai išskirti 2 A srovę. 0,5 mm² kvadraturės laidais gali tekėti iki 11 A srovė.

Laidų žymėjimas skyde:

- + (teigiamas polius) – raudonos spalvos laidas, daugiagyslis, 0,5mm²;
- - (neigiamas polius) – juodos spalvos laidas, daugiagyslis, 0,5mm²;
- signalinis temperatūros – žaliai/geltonas, daugiagyslis, 0,5mm²;
- valdymo – įvairios spalvos, daugiagysliai, 0,2mm²;

Nuolatinės srovės abiejų polių paskirstymui naudojamos šynos su tvirtinimu ant DIN bėgelio. Tai suteikia galimybę tvarkingai ir patikimai sujungti po 11 abiejų polių laidų neapkraunant vienos jungties. Šiame skyde teigiamo poliaus laidai sujungti ant žalios, o neigiamo poliaus laidai ant mėlynos šynos. Ant tokios pačios šynos sujungti ir temperatūros jutiklių signaliniai laidai DQ.

Įvadinis automatinis jungiklis. [5] Automatinis jungiklis yra įtaisas, kuris atjungia elektros grandinę atsiradus gedimui, tuo apsaugodamas elektros imtuvą ir maitinimo grandinę. Daugeliu atvejų automatiniai jungikliai yra daug lankstesnė saugiklių alternatyva, nes yra lengvai atstatomi ir jų nereikia keisti atsiradus gedimui. Gedimai – tai dažniausiai perkrovos ir trumpieji jungimai, bet jungikliai taip pat sugeba apsaugoti nuo fizinės įtampos patekimo ant įžemintų elektros įrenginio dalių. Pasirenkant automatinį jungiklį, svarbu atsižvelgti į 3 faktorius. Jie yra panašūs visiems automatiniams jungikliams:

1. nominali srovė;
2. suveikimo charakteristika;
3. maksimali atjungimo srovė;

1. **Nominali srovė** – tai srovė, kurią automatinis jungiklis gali atlaikyti nesuveikdamas. Automatinis jungiklis parenkamas su tokia srove, kad ji būtų lygi ar truputį didesnė nei saugoma grandine tekanti srovė.

2. **Suveikimo charakteristika.** Pagal teoriškai automatinis jungiklis turi suveikti iškart, kai tik atsiranda gedimas. Tai yra reikalinga, kai grandinėje atsiranda trumpasis jungimas, tačiau, kai grandinėje atsiranda perkrova, situacija darosi komplikuoja. Daug elektros įrenginių, tokių kaip fluorescensinės lempos, transformatoriai bei varikliai įjungimo metu (kelias sekundes) ima iš tinklo žymiai daugiau srovės, nei nusistovėjusiame darbo režime (gaunasi srovės impulsas). Automatinis

jungiklis, kuris suveikia iškart, suveiks kiekvieną kartą, atsiradus srovės impulsui, taigi tokio jungiklio panaudoti praktiškai bus neįmanoma. Todėl automatinio jungiklio šiluminis atkabiklis suprojektuojamas taip, kad atsiradus srovės impulsui, atkabiklis nespėtų suveikti (įkaisti). Gamintojai projektuodami šiluminius atkabikius nustato, kokio dydžio srovės impulsą ir kiek laiko automatinis jungiklis atlaikys neišsijungdamas. Sąsaja tarp srovės ir suveikimo laiko paprastai yra nubraižoma kaip kreivė, vadinama automatinio jungiklio suveikimo charakteristika. Kad vartotojams nereikėtų dirbti su kreivėmis, BS EN 60898 standartas numato kelias standartines charakteristikas, svarbiausios jų yra B, C ir D. Daugeliu atveju saugomam įrenginiui yra lengva pasirinkti automatinį jungiklį pagal charakteristiką.

B charakteristikos automatiniai jungikliai suveikia prie nedidelės perkrovos. Jie nustatyti suveikti, kai srovė, tekanti per jungiklį, bus nuo 3 iki 5 kartų didesnė už jungiklio nominalią srovę. Šie jungikliai naudojami kaitrinių lempų apšvietimo tinklų ir maitinimo lizdų gyvenamosiose ir komercinėse patalpose apsaugai, kur viršįtampių, kurie gali priversti jungiklį suveikti, tikimybė yra maža.

C charakteristikos automatiniai jungikliai mažiau jautrūs ir yra rekomenduojami naudoti tinkluose su induktyvinėmis apkrovomis, kai grandinėje galimas didelis srovės padidėjimas, pvz. apšvietimo tinklas su fluorescencinėmis lempomis. C charakteristikos jungikliai nustatyti suveikti, kai srovė, tekanti per jungiklį, bus nuo 5 iki 10 kartų didesnė už jungiklio nominalią srovę.

D charakteristikos automatiniai jungikliai yra dar mažiau jautrūs, ir yra nustatyti suveikti, kai srovė, tekanti per jungiklį, bus nuo 10 iki 20 kartų didesnė už jungiklio nominalią srovę. Jie rekomenduojami naudoti grandinėse, kur galimas labai didelis srovės padidėjimas, pvz. transformatorių ir suvirinimo mašinų maitinimui.

Automatinių jungiklių suveikimo kreivės pateiktos priedų sąrašė Nr. 2. Kreivėse pavaizduotas suveikimo laikas priklausomai nuo perkrovos srovės (Time (sec) – laikas sekundėmis, I/I_n – jungikliu tekančios srovės ir jungiklio nominalios srovės santykis). Jei srovė pakankamai didelė, suveikimo laikas sudaro tik 0,01 sek.

3. Maksimali atkirtos srovė. Galutinis faktorius, į kurį turi būti atsižvelgta renkantis automatinį jungiklį, yra maksimali atkirtos srovė. Dabar daugelis gamintojų siūlo miniatiūrinius automatinis jungikius su atkirtos srove nuo 6kA iki 10kA. Ji turi būti visada didesnė už laukiamą trumpojo jungimo srovę tame taške, kur stovės automatinis jungiklis. Trumpojo jungimo srovė yra nustatoma pagal linijos varžą (kilpos fazė-nulis varža), o linijos varža gali būti lengvai išmatuota su šiuolaikiniais kilpos fazė-nulis varžos testeriais.

Atsižvelgus į visus kriterijus buvo pasirinkti Siemens gamintojo 5SY4 serijos C charakteristikos 10 amperų automatiniai išjungėjai.

Maksimali pratekanti elektros srovė skaičiuojama pagal formulę:

$$P = \frac{A}{t} = \frac{U * I * t}{t} = U * I$$

P – elektros srovės galia;

A – atliktas elektros srovės darbas;

T – laikas per kurį buvo atliktas elektros srovės darbas;

I – elektros srovės stipris;

U – elektros įtampa.

Maitinimo šaltinis. Šiame projekte naudojamas pramoninis maitinimo šaltinis Mean Well MDR-10-5. Šis maitinimo šaltinis yra plačiai naudojamas pramonės automatikos procesuose ir yra užsitikrinęs kokybiško ir patikimo įrenginio vertę. Buvo pasirinktas, nes puikiai atitiko keliamus techninius reikalavimus šiam projektui: galios charakteristikas, patogus tvirtinimas ir nedideli gabaritai. Maitinimo šaltinio Mean Well MDR-10-5 ypatybės:

- platus maitinimo AC (kintamos srovės) diapazonas;
- apsaugotas: trumpo jungimo / perkrovų / viršįtampių;
- beventiliatorinis vėsinimas;
- tvirtinamas ant DIN bėgelio TS-35/7,5 arba 15;
- integruotas DC OK aktyvus signalas;
- LED darbo režimo indikacija;
- be apkrovos galios suvartojimas <0,75W;
- 3 metų garantija;

Lentelė 14. Maitinimo šaltinio Mean Well MDR-10-5 techniniai parametrai

Išėjimo parametrai	
Įtampa	5VDC
Srovė	2A
Srovės diapazonas	Nuo 0 iki 2A
Vardinė galia	10 W
Maitinimo parametrai	
Įėjimo įtampa	Nuo 85 iki 264 VAC

Komunikacija su vartotoju yra vienas iš svarbiausių ir esminių valdymo įrenginio punktų. Sukūrus naują valdymo prietaisą visuomet iškyla dilema, kaip pateikti jo valdymą vartotojui, kad nekiltų neaiškumų, keičiant parametrus ir gaunant greitą ryšį su valdomu procesu.

Šios sistemos komunikacijai ir valdymui buvo pasirinkta du būdai: valdymas per valdymo pultą ir duomenų siuntimas vartotojui per GSM modulį. Valdymo pultas pasirinktas lokaliai valdymui, kurio pagalba vartotojas galės stebėti priskirtų kontūrų kambarių esamą temperatūrą ir ją reguliuoti. GSM modulio pagalba vartotojas išsiuntęs užklausas per SMS žinutę galės gauti informaciją apie esamą kambariuose temperatūrą ir išsiuntęs iš anksto paruoštą tekstą nustatyti norimą temperatūrą kambaryje.

Valdymo pultas yra sukonstruotas atskirame korpuse ir gali būti montuojamas ant sienos vartotojo pasirinktoje vietoje. Šiam pultui prijungti prie valdymo skydo yra reikalingas 10-ies gyslų komunikacinis kabelis. Valdymo pultas turi 3-ijų metrų komunikacinį kabelį, kurį norint prailginti užtenka nukirpus kabelį nesumaišant laidų sulituoti su norimu prailgi kabeliu. Valdymo skydo pusėje valdymo pultas yra prijungiamas per DB-25 lituojamą jungtį. Ši jungtis pasirinkta dėl:

- didelio jungčių skaičiaus;
- patogaus tvirtinimo į korpusą;
- plėtimosi galimybių.

GSM valdymas. GSM modulio pagalba valdymo sistema galės bendrauti su vartotoju bevieliu būdu, vartotojui esant toli nuo namų ar net užsienyje. Šio modulio pagalba vartotojas galės:

- siųsti SMS žinutes su užklausa kokia tuo metu yra temperatūra kambariuose;
- nustatyti norimą temperatūrą kambariuose;
- gauti SMS žinute pranešimus apie iš anksto nustatytus avarines situacijas.

Šis modulis yra suprogramuotas, kad kambario temperatūrai pasiekus numatytas ribas indikuotą vartotojui numatyto teksto SMS žinute į vartotojo įvestą paleidimo metu numerį. Nustatytos ribos, kuomet vartotojas gauna įspėjimus apie avarinius režimus:

- maksimali kambario temperatūra – 30 °C;
- minimali kambario temperatūra – 10°C;
- minimali paduodamo vandens į kolektorius temperatūra – 15 °C.

3 Eksperimentinė ir tyrimų dalis

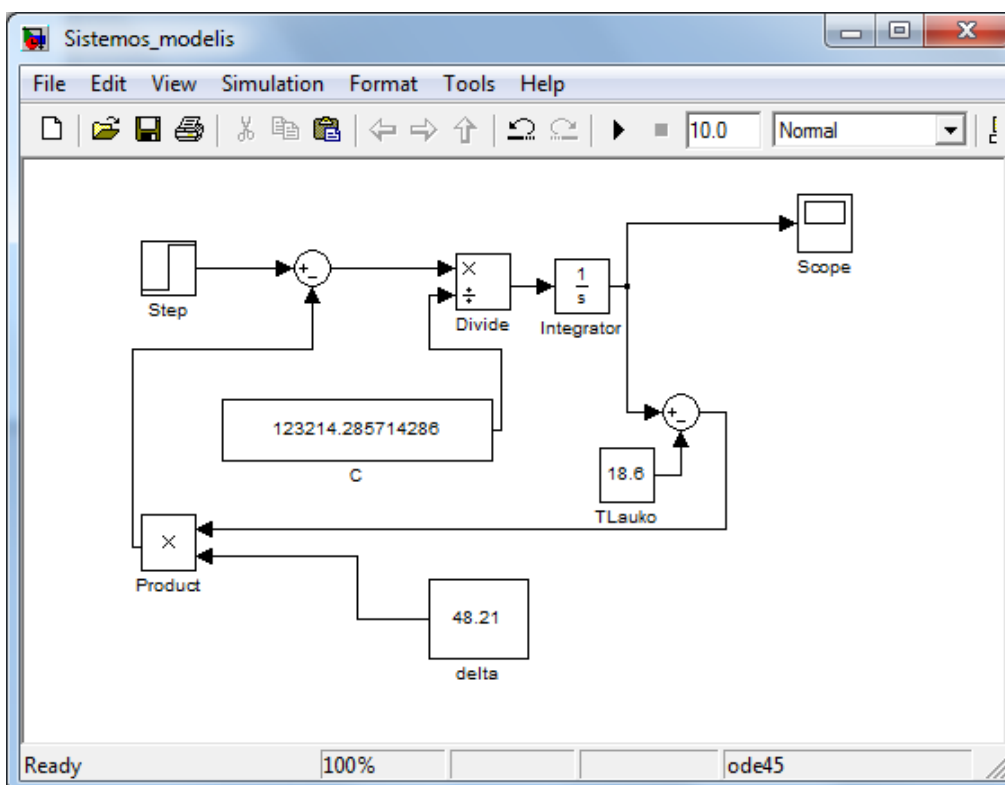
Tyrimams atlikti šiame darbe sukurti matematinis ir fizinis modeliai. Matematinis modelis sukurtas, siekiant teoriškai analizuoti ir nustatyti regulatoriui reikalingus parametrus bei

matematiškai atvaizduoti šildymo sistemoje vykstantį procesą. Fizinis modelis kurtas kaip analogas realiai sistemai, šis modelis reikalingas automatinės reguliavimo sistemos tyrimams ir suderinimams.

3.1. Šildymo sistemos matematinio modelio tyrimas

Šildymo sistemos modeliavimui pasirinkta programa MATLAB (MATrix LABoratory). Tai programinė aplinka skirta skaičiuojamųjų signalų analizės ir modeliavimo uždavinių sprendimui. MATLAB programa remiasi lanksčia ir nesudėtinga programavimo, valdymo kalba, kuria galima aprašyti sprendžiamus matematinius uždavinius.

Sistemos modelio kūrimui ir parametrų analizavimui naudojamas MATLAB paketo Simulink modeliavimo programinis įrankis. Jis leidžia tiksliai apibrėžti, modeliuoti, vertinti ir tobulinti sistemos procesus, naudojantis standartinėmis bei papildomomis funkcijomis. Sukurtas šildymo sistemos matematinis modelis pavaizduotas 19 paveiksle.



19 pav. Šildymo sistemos matematinis modelis Simulink programoje

Pamaisymo vožtuvo regulatoriaus matematinė išraiška:

$$P = \delta(T - T_K) + C \frac{dT}{dt}$$

Šioje lygtyje:

P – šilumos šaltinio galingumas, W;

δ – išspinduliuojamos šilumos kiekis, W/°C;

T_K – kambario temperatūra, °C;

C – sistemos inercijos koeficientas, Ws/°C;

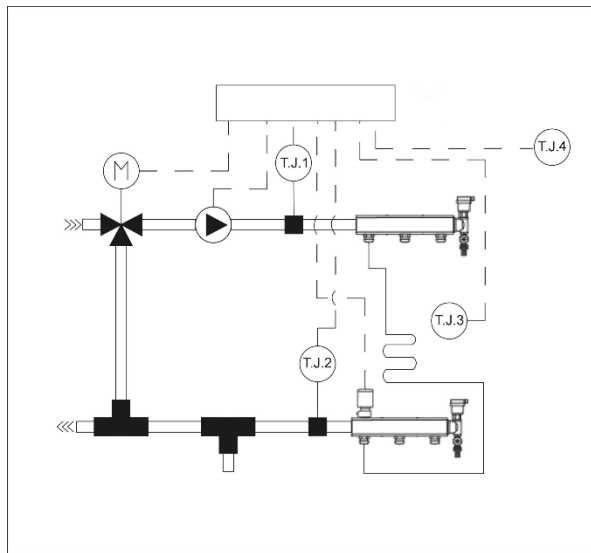
dT – temperatūrų skirtumas, °C;

dt – laikas, °C;

3.2. Šildymo sistemos fizinio modelio tyrimas

Fizinis modeliavimo metodas pagrįstas panašumo teorija. Jis plačiai taikomas aerodinamikoje ir hidrodinamikoje, laivų ir tiltų statyboje, šiluminėje energetikoje, cheminėje technologijoje ir kt. Taikant šį metodą, sukuriamas atitinkamai identiškąs tiriamojo objekto modelis, su kuriuo atliekami įvairūs eksperimentai, iš jų nustatoma nagrinėjamų reiškinių ar procesų eiga, patikrinamos priimtos hipotezės ar sudarytos teorinės išraiškos.

Be šių minėtų privalumų fizinio modeliavimo metodas turi keletą trūkumų. Reikalinga sukurti naują kiekvieno tiriamojo proceso modelį, taip pat tyrimų metu negalima keisti modeliuojamojo objekto parametrų, nes modelį pakeisti yra sunku arba visai neįmanoma. Sudėtingų objektų modeliai yra brangesni. Šis metodas visiškai netinka, kuomet tiriama cheminio proceso reakcija.



20 pav. Tyrimams naudotas fizinio modelio maketas

Detalus matavimams naudojamo fizinio modelio maketas pateiktas eksperimentinėje dalyje. Pagrindiniai fizinio modelio elementai yra:

- T.J. N – temperatūros jutikliai:
 - T.J.1 – matuoja paduodamo srauto, °C;
 - T.J.2 – matuoja grįžtamo srauto, °C;

- T.J.3 – matuoja kambario temperatūra, °C;
- T.J.4 – matuoja lauko temperatūrą, °C.
- M – pamaišymo vožtuvo elektrinė pavara.

Fizinio modelio tyrimo eiga. Tyrimai atliekami 20 m² patalpoje. Kiekvieno matavimo metu laikomasi šių bendrųjų sąlygų (žr. Lentelė 16):

Lentelė 15. Fizinio modelio bandymo metu laikomasi šių sąlygų

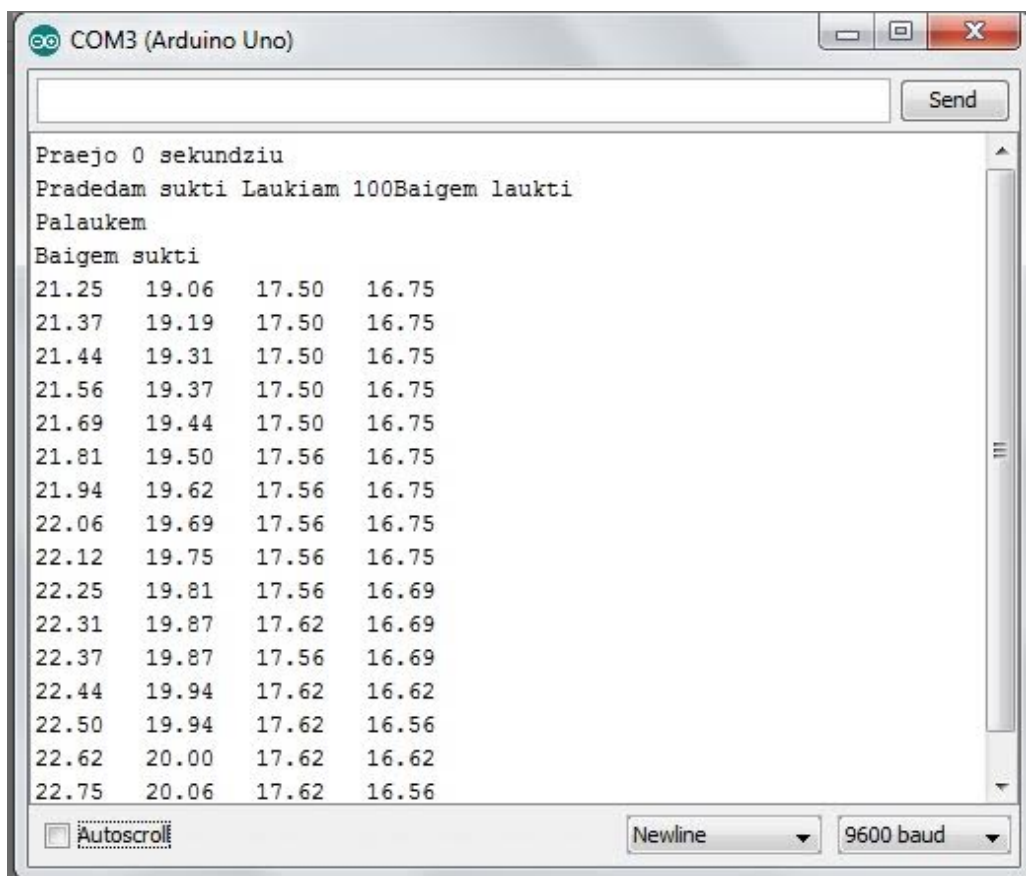
Temperatūra matavimo metu	Matavimų metu bendra patalpos temperatūra svyravo nuo 17 iki 22 ⁰ C, ši temperatūra matyti kiekvieno matavimo metu surinktuose duomenyse.
Sistemos įšilimas	Elektrinis tenas kiekvieno matavimo pradžioje buvo įjungtas maksimalia galia (600W).
Sistemos vandens cirkuliacijos srautas	Sistemoje kiekvieno matavimo metu buvo palaikomas vienodas cirkuliacinio siurblio greitis.

Programa, sukurta C++ aplinkoje, atlieka šiluminio režimo matavimus ir juos fiksuoja. Šios programos pagalba išsaugomi atlikti tyrimai, keičiant pavaros padėtį ir matuojant sistemos temperatūrų pokyčius. Naudojant automatinę šildymo valdymo sistemą atlikti sistemos bandymai. Programiškai keičiant pavaros prasivėrimo kampą ir matuojant temperatūros jutiklių DS18B20 parametrus, stebima kaip kinta sistemos ir aplinkos temperatūra prie skirtingų sklendės pavaros prasivėrimo padėčių. Visi gauti pirminiai duomenys atvaizduoti Arduino programoje, esančiame serijiniame monitoriuje (žr. 21 pav.). Šios programos dėka neprarandami duomenys ir visi parametrai išlieka vienoje aplinkoje.

Matavimų atlikimo eiga:

1. Elektrinė pamaišymo vožtuvo pavara atidaroma procentaliai nuo 10% iki 100%;
2. Šilumos šaltinis (elektrinis tenas) įjungiamas maksimalia galia, 600W;
3. Pradedama matuoti temperatūrą:
 - a. vandens paduodamo į sistemą – T_G;
 - b. vandens grįžtamo iš sistemos – T_G;
 - c. virš šilumokaičio – T_K;
 - d. lauko temperatūra – T_L.

Viso matavimo ciklo metu (nuo pavaros pravėrimo iki sistemos nusistovėjimo) temperatūros duomenys buvo atvaizduojami realiu laiku Arduino programoje esančiame serijiniame monitoriuje (žr. 21 pav.).



21 pav. Išmatuotų temperatūrų duomenys Arduino programoje

Iš gautųjų matavimo duomenų (žr. Lentelė 16) matomi temperatūros duomenys: paduodamo srauto, grįžtamo srauto, kambario ir lauko temperatūros. Dėl didelio gautų duomenų kiekio, 16 lentelėje parodyti tik dalis rezultatų, šio matavimo metų buvo padaryti 275 matavimai kas 30 sekundžių.

Tyrimo metu gauti duomenys apdorojami tokia eiga:

- gaunami rezultatai programoje Arduino 1.5.8 (žr. 21 pav.);
- duomenys suvedami į excel programą tolimesniam jų apdorojimui (žr. Lentelė 16);
- susisteminti duomenys apdorojami Simulink programoje.

Gauti šildymo sistemos temperatūros nusistovėjimo tyrimų duomenys suvedami į bendrą lentelę (žr. Lentelė 16).

Lentelė 16. Šildymo sistemos išmatuotos temperatūros su 100% prasivėrusia pavara

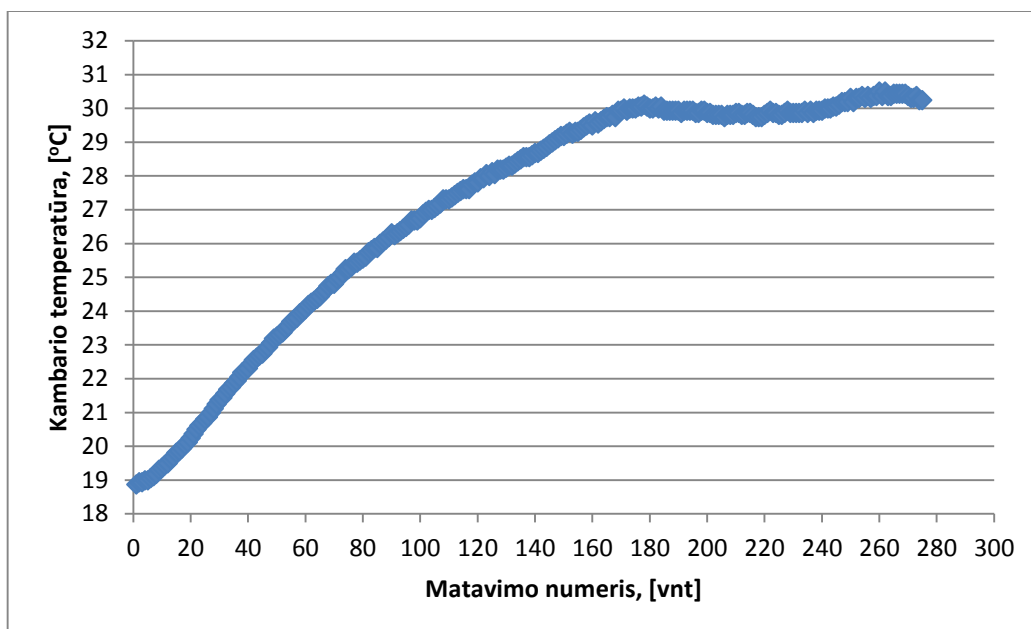
Sklendė praverta [%]:	100%
Elektrinis tenas [W]:	600
Pradėta matuoti po [s]:	0
Matavimai atlikti kas [s]:	30

Atlikta matavimų [vnt]		275		
Matavimų trukmė laikas [s]:		8250		
Temperatūros				
Matavimai, Nr.	Paduodamas, T_P	Grįžtamas, T_G	Kambario, T_K	Lauko, T_L
1	20.37	20.5	18.87	18.62
2	20.44	20.5	18.94	18.62
3	20.62	20.44	18.94	18.75
4	21.44	20.44	19	18.69
5	22.56	20.44	19	18.75
...				
271	61.19	53.24	30.31	21.31
272	61.13	53.26	30.31	21.31
273	61.18	53.31	30.30	21.31
274	61.14	53.25	30.25	21.31
275	61.15	53.13	30.27	21.31

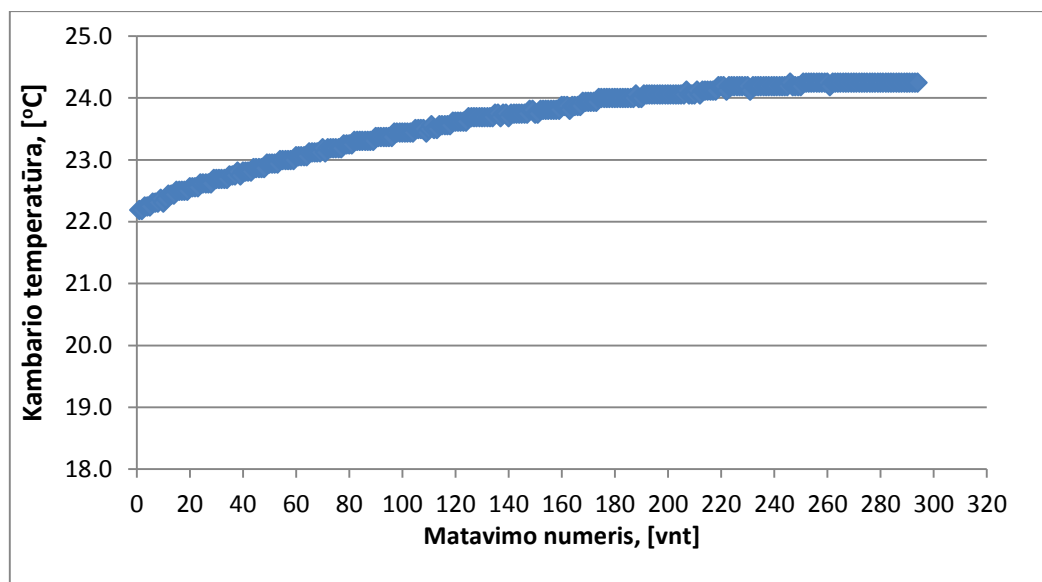
Lentelėje pateikiama informacija:

- procentalinis sistemos pravėrimas [%];
- atliktų matavimų skaičius [vnt.];
- t_k – temperatūra, esanti virš šilumokaičio [°C];
- t_p – temperatūra, kuri yra paduodama į sistemą [°C];
- t_g – temperatūra, kuri grįžta iš sistemos [°C];
- Sistemos nusistovėjimo laikas [s].

Iš matavimuose gautų duomenų sudaromas sistemos temperatūrų nusistovėjimo grafikas, kuriame nurodoma kaip kinta temperatūra virš radiatoriaus. Sistemos nusistovėjimas su 100% pravira pavara pavaizduotas 22 paveiksle, o sistemos nusistovėjimas su 10% pravira pavara atvaizduota 23 paveikle. X ašyje atvaizduotas matavimų skaičius, prie kurių gautos temperatūros reikšmės. Norint matyti realų laiką, reikia šias reikšmes dauginti iš 30 [s]. Tokiu būdu gaunamas laikas, kuris praėjo nuo matavimo pradžios.



22 pav. Šildymo sistemos šuolinė reakcijos kreivė, atidarius pavarą – 100%



23 pav. Šildymo sistemos šuolinė reakcijos kreivė, atidarius pavarą – 10%

Vadovaujantis reguliatoriaus perdavimo funkcija(3) sumodeliuota teorinė sistemos nusistėvėjimo kreivė:

$$T(t) = ((P + \delta * T_L) * \left(1 - e^{-\frac{t*\delta}{c}}\right)) + T_p * e^{-\frac{t*\delta}{c}} \quad (3)$$

P – šilumos šaltinio galingumas (W);

δ – išspinduliuojamos šilumos kiekis (W/°C);

T_p – patalpos temperatūra ($^{\circ}\text{C}$);

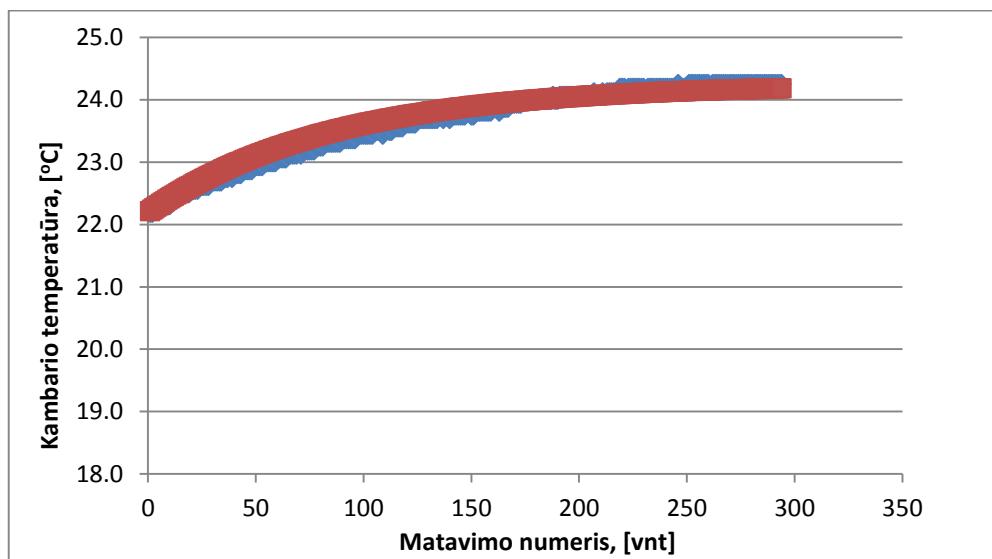
T_L – lauko temperatūra ($^{\circ}\text{C}$);

C – sistemos inercijos koeficientas ($\text{Ws}/^{\circ}\text{C}$);

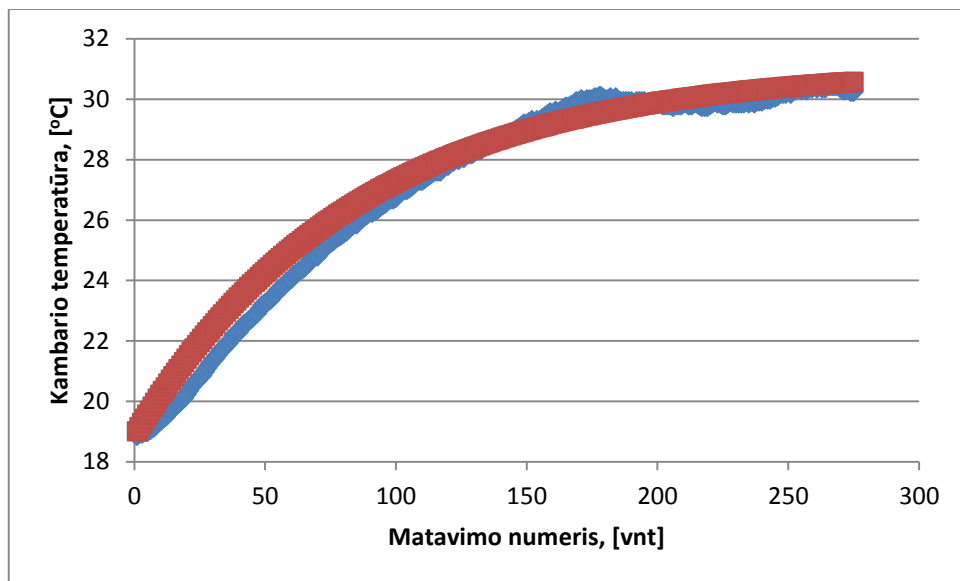
Derinimo būdu iš eksperimentinių kreivių naudojantis perdavimo funkcija (3) nustatyti pereinamojo proceso koeficientai:

- $\delta = 48.21$ [$\text{W}/^{\circ}\text{C}$]
- $C = 123214.29$ [$\text{Ws}/^{\circ}\text{C}$]

Gauti rezultatai atvaizduojami grafikuose (žr. 24 ir 25 pav.). Sistemos su 100% pravira pavara šuolinė reakcijos kreivė pavaizduota kartu su apskaičiuota 24 paveiksle. Mėlynoji kreivė parodo išmatuotų duomenų, o raudonoji apskaičiuotų sistemos šuolinę reakcijos kreivę. Sistemos nusistovėjimas su 10% pravira pavara atvaizduota 25 paveiksle.



24 pav. Realus ir sumodeliuotas sistemos nusistovėjimas atidarius pavarą – 100%



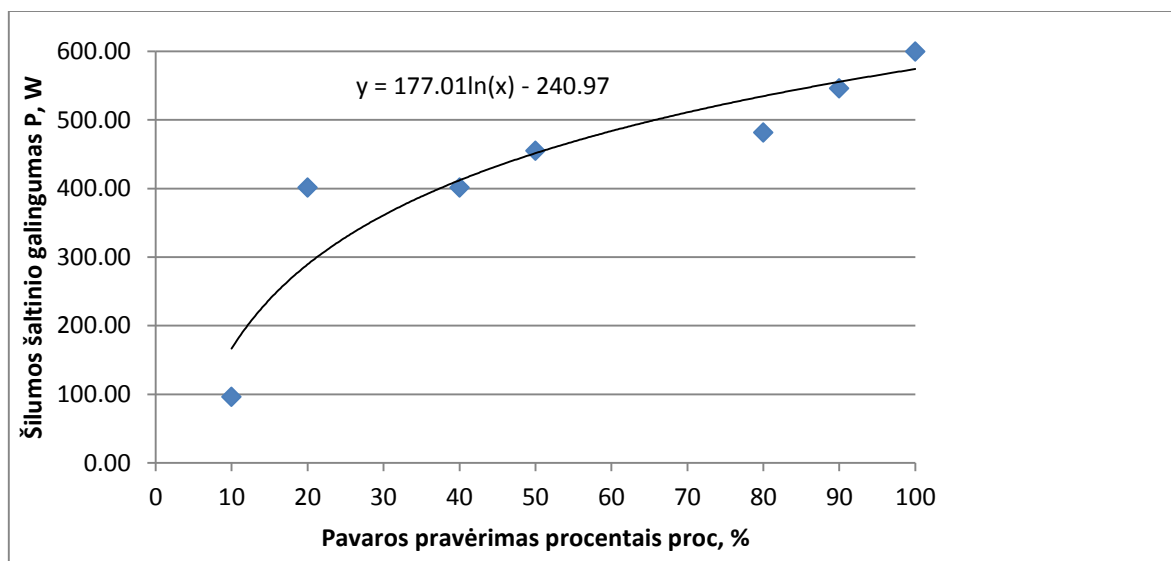
25 pav. Realus ir sumodeliuotas sistemos nusistovėjimas atidarius pavarą – 10%

Tuo pačiu derinimo būdu gauti kintamieji pritaikyti ir kitiems grafikams prie pasirinktų skirtingų pavarų prasivėrimo kampų. Šio proceso metu įsitikinama, kad gautieji koeficientai tinka ir kitiems grafikams gautiems eksperimentiniu būdu. Gauti duomenys atvaizduoti 17 lentelėje. Gautieji ieškomi parametrai: sistemos inertiškumas (C), išspinduliuojamas šilumos kiekis (δ) ir šilumos šaltinio galingumas (P).

Lentelė 17. Sistemos parametrai pagal pavaros procentinį prasivėrimą

Proc, %	$C, Ws/^{\circ}C$	$\delta, W/^{\circ}C$	P, W
10	123214.29	48.21	96.43
20	123214.29	48.21	401.79
40	123214.29	48.21	401.79
50	123214.29	48.21	455.36
80	123214.29	48.21	482.14
90	123214.29	48.21	546.43
100	123214.29	48.21	600.00

Iš 17 lentelės duomenų sukuriamas grafikas (žr. 26 pav.), kuriame matomas perduodamos šiluminės galios priklausomybė nuo pavaros pravėrimo kampo.



26 pav. Šilumos šaltinio galingumo priklausomybė nuo pavaros pravėrimo

Iš charakteristikos esančios 26 paveiksle matoma, kiek procentaliai turi būti pravira pavara, siekiant gauti norimą šilumos šaltinio galią. Remiantis šiuo grafiku reguliatorius nustatyto, koku kampu turi būti praveriama pavara, norint pasiekti reikalingą galingumą šilumos palaikymui sistemoje.

$$P = 177.01 \ln(proc) - 240.97 \quad (4)$$

$$proc = e^{\frac{P+177.01}{240.97}} \quad (5)$$

P – šilumos šaltinio galingumas, (W);

$proc$ – pavaros pravėrimas procentais, (%).

Iš šio grafiko kreivės gaunama išvestinė (4), kurios pagalba apskaičiuojama, koks bus sistemos galingumas, atidarius pavarą pasirinktu procentu. Formulė (5) gauta iš išraiškos (4) ir jos pagalba apskaičiuojamas atvirkštinis variantas, t.y. koku procentu turi būti pravira pavara, norint gauti reikiamą kiekį energijos.

3.3.Reguliatoriaus derinimas su PID

Viena iš pagrindinių sąlygų parenkant reguliatorių yra reguliavimo kokybė, kuri lemia technologinio režimo tikslumą, kurį palaiko automatikos įtaisai ir būtinas ekonominis efektyvumas. Reguliatoriaus parinkimą reikia suprasti kaip reguliavimo dėsnio ir reguliatoriaus tipo parinkimą. Norint suvaldyti reguliuojamą procesą, būtina užtikrinti temperatūros reguliavimo sistemos dinamines savybes. Negalint keisti reguliuojamo objekto savybių, norimą reguliavimo kokybę galima pasiekti parenkant reguliavimo dėsnį.

PID regulatoriaus išraiška:

$$P = K_P * (T - T_L) + K_I \int (T - T_L)dt + K_D * \frac{dT}{dt}$$

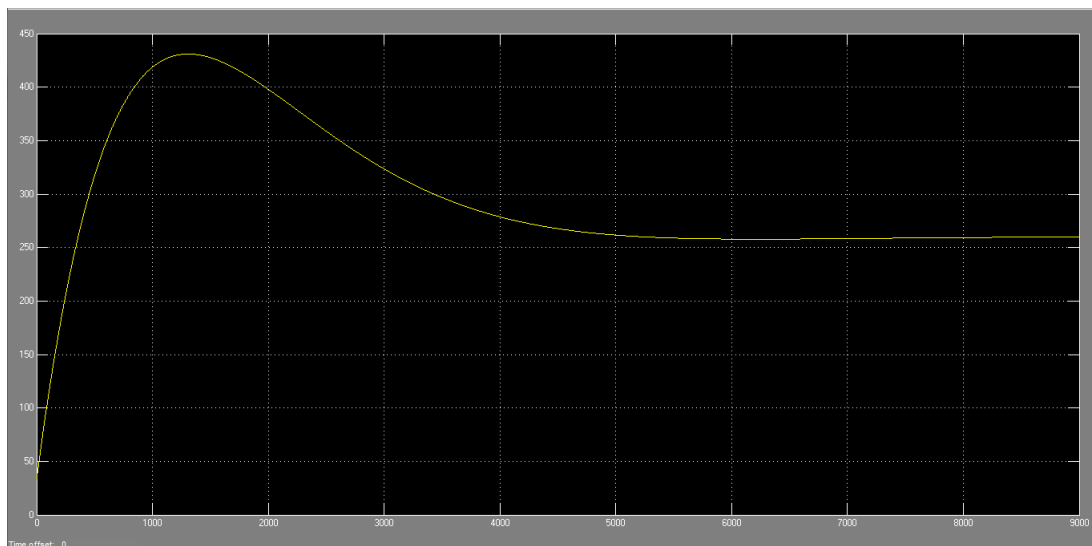
Čia:

- K_P – perdavimo koeficientas;
- K_I – integruojančios grandies pastovioji;
- K_D – diferencijuojančios grandies laiko pastovioji;
- T – nustatyta, temperatūra, °C;
- T_L – lauko temperatūra, °C.

Atlikus bandymus matematiniam modelyje nustatyta, kad PID regulatoriaus koeficientai yra:

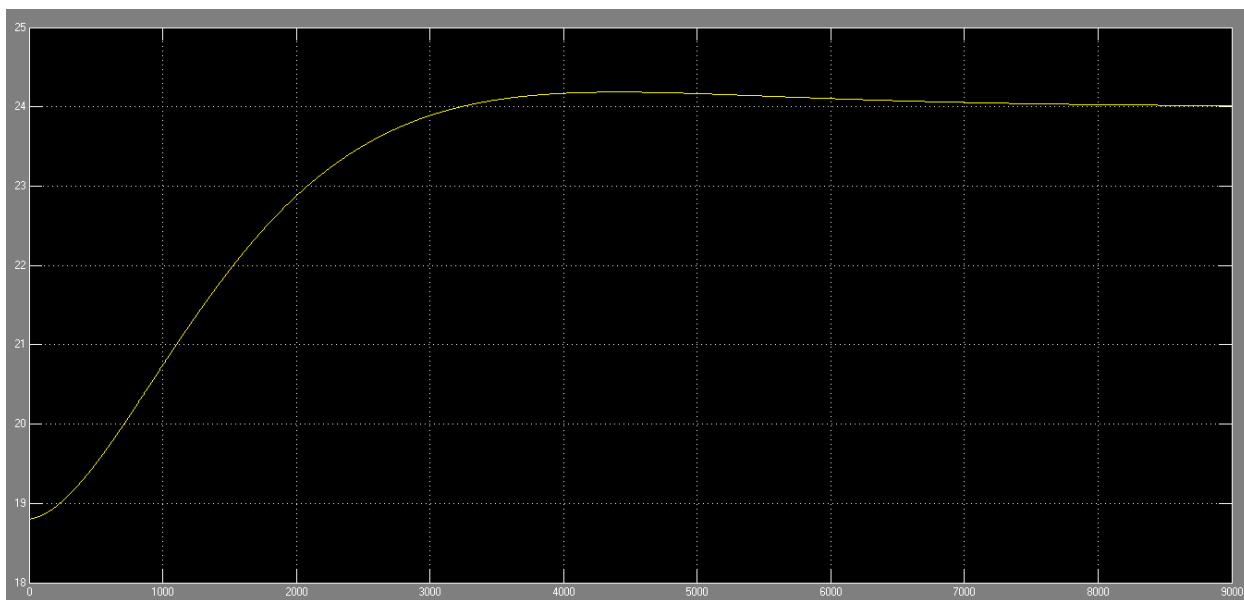
- K_P – 70;
- K_I – 0.04;
- K_D – -33703.85.

Matematinio modelio pagalba (žr. 27 pav.) nustačius valdančiuosius koeficientus proporcinį, integralinį ir diferencialinį gavome sistemos pereinamojo proceso kreivę. Sumodeliuotos sistemos su PID reguliatoriumi grafikas pateiktas 28 paveiksle.



28 pav. Sistemos pereinamojo proceso grafikas pritaikius PID reguliatorių

Grafike esančiame 28 paveikslėlyje matoma regulatoriaus į sistemą tiekiamą šiluminę galią. Šildant sistemą nuo esamos temperatūros iki nustatytos neprireikė maksimalios galios – 600 W. Kuomet kreivė nusistovi, tokią reguliatorius palaiko galią, kad išlaikyti nustatytąją temperatūrą.



29 pav. Šildymo sistemos nusistovėjimas panaudojus PID reguliatorių

Kaip matyti iš grafiko (žr. 29 pav.) temperatūra, esanti kambaryje pilnai nusistovi iki nustatytosios reikšmės 24°C per 3 valandas. Temperatūra kyla iki 52-osios minutės ir viršija nustatytąją temperatūros ribą 0,1°C. Vėliau temperatūra nusistovi iki nustatytosios ribos per 50 minučių. Nors sistemos nusistovėjimo laikas yra nemažas (3 valandos), tačiau sistema tolygiai ir be didesnių svyravimų išsilygina. Šie svyravimai neturėtų sukelti juntamų nepatogumų patalpoje esantiems žmonėms.

Apibendrinant eksperimentinėje ir tyrimų dalyje pateiktus rezultatus, galima teigti, kad atlikus matavimus fiziniame modelyje teisingai apskaičiuoti sistemos inercijos ir išspinduliuojamos energijos koeficientai. Sukurtame matematiname reguliavimo sistemos modelyje, atlikus PID reguliatoriaus derinimo bandymus, nustatyti šio reguliatoriaus koeficientai: perdavimo, integruojančios grandies laiko pastovioji, diferencijuojančios grandies laiko pastovioji. Pritaikius PID reguliatorių ir suderinus proporcingus valdymo koeficientus sistemai valdyti, gauta perdavimo funkcija, su kuria galima reguliuoti realios sistemos darbą.

4 IŠVADOS

1. Elektronikos elementai buvo pasirinkti naujai sukurtai šildymo automatinei valdymo sistemai teisingai. Sistema išbandyta ilgiau nei 72 val. nuolatiname darbiname režime ir nebuvo nustatyta sistemos darbo sutrikimų ar trukdžių. Automatinė valdymo sistema yra naudojama tyrimams atlikti, koreguojant mikrokontrolerio programos kodą, kas suteikė galimybę išsibandyti sistemą įvairiausiais režimais.

2. Valdymo sistema suprojektuota ir realizuota su dvejomis sąsajomis su vartotoju, per išorinį valdymo skydą su LCD ekraneliu ir per GSM modulį.

3. Atliktas temperatūros sistemoje ir tiriamos aplinkos temperatūrų pokytis per laiką kuris reikalingas temperatūrų nusistovėjimui, šis tyrimas buvo atliktas realiame fiziniame modelyje. Iš šio tyrimo gautų duomenų buvo sukurtos šildymo sistemos šuolinės reakcijos kreivės prie skirtingų pavaros pravėrimo procentaliai. Sudarant teorinis sistemso šuolinės reakcijos kreives šių kreivių pagalba buvo nustatyti sistemos inercijos koeficientas ir šilumos išspinduliavimo koeficientas.

4. Sudarytame matematiname šildymo sistemos modelyje Simulink programoje, kuriame atlikome bandymus siekiant įsitikinti ar sistemos inercijos ir šilumos išspinduliavimo koeficientai buvo nustatyti teisingai. Tai padeda modeliuoti teorinius šildymo sistemos procesų rezultatus. Matematinio modelio pagalba buvo nustatyta, kad sistemos inercijos ir šilumos išspinduliavimo koeficientai buvo nustatyti teisingai. Jie atitiko realius gautuosius duomenis.

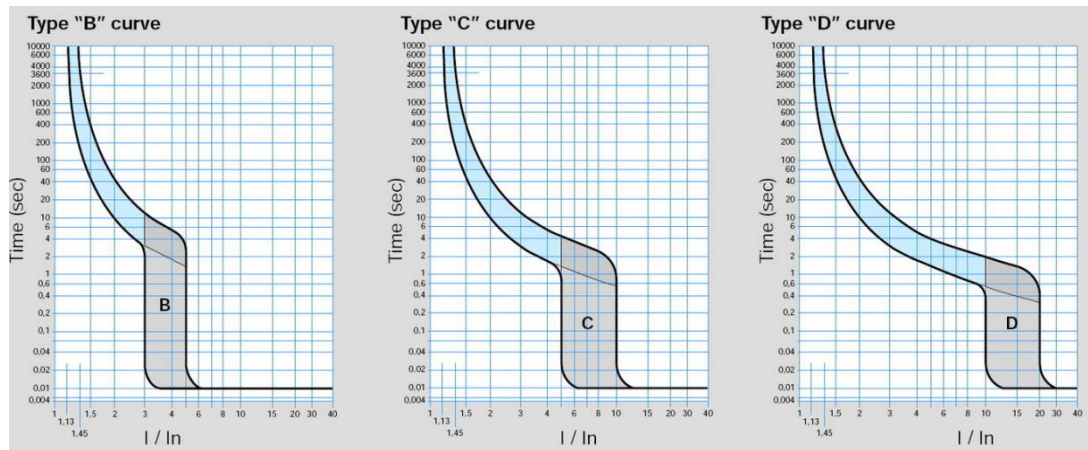
5. Įtraukus į matematinį modelį PID reguliatorių, suderinome reguliatorių valdančiuosius koeficientus K_P , K_I ir K_D . Nustačius šiuos koeficientus gautame sistemos temperatūrų nusistovėjimo grafike (žr. 29 pav.) matome, kad koeficientų parinkimo tikslumas suteikia sistemai stabilumo ir taip išvengiama šilumos sistemoje svyravimų.

5 PRIEDAI

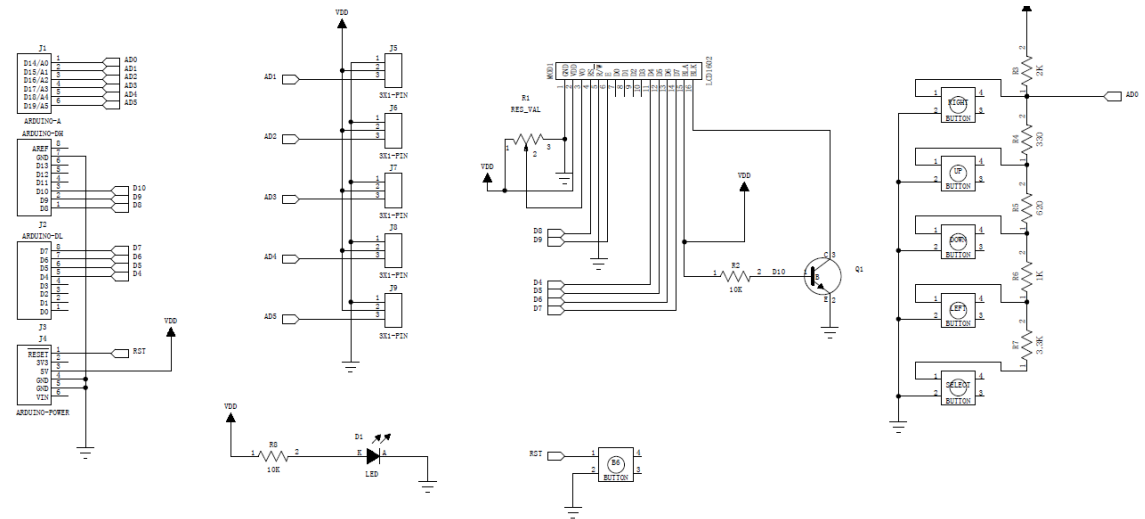
1 Priedas. Leistinoji laidininku tekanti srovė

Leistinoji variniu laidininku, su PVC arba gumine izoliacija, tekanti srovė - A, kai laidai klojami viename kanale, vamzdyje arba ryšulyje						
Vieno laido skerspjūvis mm ²	Vienas viengyvis	Du viengysiai	Trys viengysiai	Keturi viengysiai	Vienas dvigyslis	Vienas trigyslis
	0,5	11	-	-	-	-
0,75	15	-	-	-	-	-
1	17	16	15	14	15	14
1,5	23	19	17	16	18	15
2,5	30	27	25	25	25	21
4	41	38	35	30	32	27
6	50	46	42	40	40	34
10	80	70	60	50	55	50
16	100	85	80	75	80	70
25	140	115	100	90	100	85
35	170	135	125	115	125	100
50	215	185	170	150	160	135
70	270	225	210	185	195	175
95	330	275	255	225	245	215
120	385	315	290	260	295	250
150	440	360	330	-	-	-
185	510	-	-	-	-	-
240	605	-	-	-	-	-
300	695	-	-	-	-	-
400	830	-	-	-	-	-

2 Priedas. Automatinių jungiklių suveikimo kreivės



3 Priedas. LCD ekrano schema



4 Priedas. Programa skirta šildymo sistemos temperatūroms matuoti

/*

MBD

Autorius Julius Dragūnas

Programos paskirtis: atlikti šildymo sistemos temperatūros matavimus skirtus sistemos inertiškumui matuoti

*/

```
#include <OneWire.h>
```

```
#include <DallasTemperature.h>
```

```
#include <MenuSystem.h>
```

```
#include <LiquidCrystal.h>
```

```
OneWire Temp_pin(3);
```

```
DallasTemperature sensors(&Temp_pin);
```

```
// Temperatūrinių jutikliu adresai
```

```
//DeviceAddress Probe01 = { 0x28, 0xFF, 0xEE, 0xCD, 0x14, 0x14, 0x00, 0x97 }; //gilze : 0x28, 0xFF, 0xEE, 0xCD, 0x14, 0x14, 0x00, 0x97
```

```
//DeviceAddress Probe02 = { 0x28, 0xE3, 0x03, 0x57, 0x05, 0x00, 0x00, 0x4B }; //laisvas: 0x28, 0xE3, 0x03, 0x57, 0x05, 0x00, 0x00, 0x4B
```

```
DeviceAddress Probe01 = { 0x28, 0x63, 0x77, 0xDA, 0x05, 0x00, 0x00, 0x97 }; // JT1 : 0x28, 0x87, 0x92, 0xDA, 0x05, 0x00, 0x00, 0x6A
```

```
DeviceAddress Probe02 = { 0x28, 0xFF, 0xEE, 0xCD, 0x14, 0x14, 0x00, 0x97 }; // JT2 : 0x28, 0x27, 0x12, 0x56, 0x05, 0x00x 0x00, 0x36
```

```
DeviceAddress Probe03 = { 0x28, 0x87, 0x92, 0xDA, 0x05, 0x00, 0x00, 0x6A }; // JT3 : 0x28, 0x63, 0x77, 0xDA, 0x05, 0x00, 0x00, 0x97
```

```
//DeviceAddress Probe04 = { }; // JT4 : 0x28, 0x9F, 0x3C, 0xDA, 0x05, 0x00, 0x00, 0x01
```

```

String menuNow;

// Konturo temperaturo prskirimai

int SET_1 = 0;
int TEMP_1 = 0;

int SET_2 = 0;
int TEMP_2 = 0;

int SET_3 = 0;
int TEMP_3 = 0;

int SET_4 = 0;
int TEMP_4 = 0;

// Relinio shieldo inputai

int relay_1 = 4;
int relay_2 = 5;

unsigned long pradinisLaikas = 0;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(13, OUTPUT);
  digitalWrite(13, LOW);
  sensors.begin();

  // Relinio shieldo setupas
  pinMode(relay_1, OUTPUT);
  pinMode(relay_2, OUTPUT);
  digitalWrite(relay_1, HIGH);

  digitalWrite(relay_2, HIGH);
  pradinisLaikas = millis();
}

void loop()
{
  float delta = 0.5; //laipsniais paklaida
  int T3 = 0;
  int T3_1 = 0;
  int T3_2 = 0;
  int T3_3 = 0;
  int T3_4 = 0;
  for(int laukti= 10; laukti < 120; laukti
+= 10)
  {
    spausdintiLaika(pradinisLaikas);
    //pasukam valdikli 'laukti' kiekis
    sekundziu
    valdytiReleNSekundes(relay_1,
laukti);
    boolean isilo = false;
    int laukem = 0; //pradedam nuo 0
    while(!isilo) {
      //matuojam temperaturo
      sensors.requestTemperatures();
      TEMP_1 =
sensors.getTempC(Probe01);
      TEMP_2 =
sensors.getTempC(Probe02);
      TEMP_3 =
sensors.getTempC(Probe03);
      T3_4 = T3_3;
      T3_3 = T3_2;
      T3_2 = T3_1;
    }
  }
}

```

```

T3_1 = T3;
T3 = TEMP_3;
Serial.print(TEMP_1);
Serial.print("\n");
Serial.print(TEMP_2);
Serial.print("\n");
Serial.print(TEMP_3);
Serial.print("\n");
//laukiam 30 s
delay(30000);
laukem += 10;
//jei isilo - atspausdinam ir
baigiam
20); }
Serial.print("Laukem ");
Serial.print(laukem);
Serial.print(" sekundziu, kol
isilo\n");
Serial.print("Atsukam atgal\n");
valdytiReleNSekundes(relay_2,
laukti);
Serial.print("Atsukom atgal\n");
spausdintiLaika(pradinisLaikas);
} //while
Serial.print("Baigiam laukti \n");
}
void spausdintiLaika(long
pradinisLaikas){
long dabartinisLaikas = millis();
long deltaLaiko = (dabartinisLaikas -
pradinisLaikas)/1000;
Serial.print("Praejo ");
Serial.print(deltaLaiko);
Serial.print(" sekundziu\n");
}
void valdytiReleNSekundes(int
relesNumeris, int sekundes)
{ Serial.print("Pradedam sukti ");
//i rele paduodam vieneta
digitalWrite(relesNumeris,
LOW); //laukiam sekundes
Serial.print("Laukiam ");
Serial.print(sekundes);
unsigned long laukti = sekundes;
palaukim(laukti);
Serial.print("Palaukem \n");
//i rele paduodam 0
digitalWrite(relesNumeris,
HIGH);
Serial.print("Baigem sukti \n");
};
void palaukim(unsigned long
sekundes) {
unsigned long ms = millis();
unsigned long bus = ms + sekundes
* 1000;
while ( bus > ms) {
delay(100);
digitalWrite(13,
!digitalRead(13));
ms = millis();
}
Serial.print("Baigem laukti \n");
}

```


6 Literatūros sąrašas

1. ES svetainė „Jūsų Europa“ (peržiūrėta 2015 m. kovo 15 d.). Prieiga per internetą http://europa.eu/youreurope/business/environment/eco-design/index_lt.htm;
2. European commission „*Ecodesign Your Future*“ (2012 m.);
3. A Consumer’s Guide to Energy-Efficient Space and Combination Heaters (peržiūrėta 2015 m. vasario 5 d.). Prieiga per internetą <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/FIN%20Consumer%20guide%20space%20heaters.pdf>;
4. Statybos techninis reglamentas (peržiūrėta 2015 m. kovo 17 d.). Prieiga per internetą http://www.am.lt/VI/article.php3?article_id=4958;
5. Roma Rinkevičienė, Diskrečiosios automatinio valdymo sistemos, 2012 m. 176 psl.
6. Įmonės UAB Robert Bosch atstovo „Junkers“ Lietuvoje tinklapis (peržiūrėta 2015 m. vasario 9 d.). Prieiga per internetą: http://www.junkers.lt/index.php?page_id=6529&action=p;
7. Įmonės Oventrop GmbH&Co KG atstovo Lietuvoje tinklapis (peržiūrėta 2015 m. vasario 20 d.). Prieiga per internetą: www.ventrop.lt;
8. Gytis Svinkūnas, Algimantas Navickas. Mokomoji knyga: Elektros energetikos pagrindai. Kaunas, Leidykla “Technologija” 2013 m. 213 psl.;
9. Vytautas Aleksa, Vytautas Galvanauskas. Technologinių procesų automatizavimas ir valdymas. Kaunas. Leidykla “Technologija”, 2008 m., 282 psl.;
10. Donatas Levišauskas. Automatinio reguliavimo sistemų derinimas. Vilnius. Leidykla „Vilniaus pedagoginio universiteto leidykla“, 2008 m., 119 psl.;
11. Ekologinio projektavimo direktyva Lietuvoje tinklapis (peržiūrėta 2015 m. vasario 8) Prieiga per internetą: http://europa.eu/youreurope/business/environment/eco-design/index_lt.htm.