

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

Mindaugas Morkūnas

**PRODUKCIJOS SANDĖLIO KONDICIONAVIMO SISTEMOS
VALDYMO REŽIMŲ TYRIMAI**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Prof. Rimvydas Simutis

KAUNAS, 2016

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
AUTOMATIKOS KATEDRA**

**PRODUKCIJOS SANDĖLIO KONDICIONAVIMO SISTEMOS
VALDYMO REŽIMŲ TYRIMAI**

Baigiamasis magistro projektas
Valdymo technologijos (621H66001)

Vadovas

Prof. Rimvydas Simutis

Recenzentas

Doc. dr. Vytautas Gargasas

Projektą atliko

Mindaugas Morkūnas

KAUNAS, 2016



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos

(Fakultetas)

Mindaugas Morkūnas

(Studento vardas, pavardė)

Valdymo technologijos, 621H66001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Produkcijos sandėlio kondicionavimo sistemos valdymo režimų tyrimai“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 16 m. gegužės 20 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Mindaugo Morkūno** baigiamasis projektas tema „*Produkcijos sandėlio kondicionavimo sistemos valdymo režimų tyrimai*“ 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)

EMV-4/3 gr. studentas Morkūnas, M. Baigiamojo projekto pavadinimas: *Produkcijos sandėlio kondicionavimo sistemos valdymo režimų tyrimai*. Valdymo sistemų magistro baigiamasis projektas/ vadovas prof. Rimvydas Simutis; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Automatikos katedra.

Kaunas, 2016. 47 psl.

SANTRAUKA

Magistriniame darbe atlikta kondicionavimo sistemų apžvalga bei pateikti charakteringi kondicionavimo sistemų pavyzdžiai. Išanalizuota konkreti UAB „Kalnapilio-Tauro grupė“ gatavos produkcijos sandėlio kondicionavimo sistema. Surinkti realūs duomenys tiek lauko temperatūrų, patalpos temperatūrų, sandėlio užpildymo kitimas ir kiti. Jų pagrindu buvo sudarytos lygtys matematiniam modeliui. Modelis realizuotas Matlab/Simulink programinio paketo aplinkoje ir patikrintas jo adekvatumas su realiais duomenimis.

Siekiant tinkamai iširti kondicionavimo sistemos valdymo režimus buvo pasirinkti reguliatoriai PI ir PID, kurie derinami pagal skirtingus optimizavimo kriterijus (ISE ir IAE) bei pateikiami rezultatai. Siekiant pagerinti gautus rezultatus, atliktas tyrimas su tiesioginio grįžtamojo ryšio valdymo sistema.

Tai pat modelis gali toliau būti naudojamas saugyklos režimų modeliams ir valdymo režimų parinkimui.

Reikšminiai žodžiai (iki 8 žodžių): Kondicionavimo sistema, UAB „Kalnapilis-Tauro grupė“ gatavos produkcijos sandėlis, realūs duomenys, matematinis modelis, PI ir PID reguliatoriai, optimizavimo kriterijai ISE ir IAE, tiesioginis grįžtamasis ryšys.

EMV-4/3 gr. Morkūnas, M. Final project title: *Investigation of Control Modes of Conditioning Systems for Production*. Master project of control systems / supervisor prof. Rimvydas Simutis; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of Automation.

Kaunas, 2016. 47 p.

SUMMARY

In this master's dissertation air conditioning systems were reviewed and characteristic conditioning systems were analyzed. UAB „*Kalnapilis-Tauro grupė*” storage units air conditioning system was chosen for a full analysis. Temperatures of outside and inside of the premises were measured and their rate of change were recorded alongside other factors. Based on the results a mathematical model was derived. This model was verified using Matlab/Simulink software and compared to data collected.

In order to fully analyze the control systems different control settings for the air conditioning, PI and PID controllers were chosen. They were tuned using the ISE and IAE methods. In order to improve the results verification was carried out using a closed loop feedback control system.

This model can also be used for further development of different control settings and control mechanisms of the system.

Keywords (up to 8 words): conditioning, UAB, Kalnapilis-Tauro grupė storage unit, gathered data, mathematical model, PI and PID controllers, ISE and IAE tuning methods, closed loop feedback system.

TURINYS

SANTRUMPŲ IR ŽENKLŲ AIŠKINIMO ŽODYNAS	7
ĮVADAS	8
1. KONDICIONAVIMO SISTEMŲ VALDYMO REŽIMŲ ANALIZĖ.....	9
1.1. Pagrindiniai kondicionavimo sistemos elementai	10
1.2. Programuojami loginiai valdikliai	11
1.3. Kondicionavimo sistemos pavyzdžiai	13
2. ALAUS GAMYKLOS „KALNAPILIS-TAURO GRUPĖ“ PRODUKCIJOS SANDĖLIO KONDICIONAVIMO SISTEMOS ANALIZĖ	16
2.1. UAB „Kalnapilis-tauro grupė“ gatavos produkcijos sandėlys	16
2.2. Naudojami davikliai	19
2.3. Siūlomi įrenginiai	21
2.4. „Kalnapilis-Tauro Grupė“ produkcijos sandėlio kondicionavimo sistemos automatinio valdymo funkcionavimo aprašymas	25
3. PRODUKCIJOS SANDĖLIO KONDICIONAVIMO SISTEMOS MATEMATINIS MODELIS	27
3.1. Eksperimentinių duomenų surinkimas ir analizė.....	27
3.2. Modeliuojamos lygtys	29
3.3. Kondicionavimo sistemos modelis SIMULINK programiniame pakete	32
3.4. Modeliavimo rezultatai.....	32
4. KONDICIONAVIMO VALDYMO REŽIMŲ TYRIMAI.....	35
4.1. Regulatoriaus parametrų parinkimas.....	35
4.2. Valdymo sistema su tiesioginiu/grįžtamuju ryšiu	42
IŠVADOS IR PASIŪLYMAI	45
INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS.....	46

SANTRUMPŲ IR ŽENKLŲ AIŠKINIMO ŽODYNAS

ISE – minimali integruota kvadratinė paklaida.

IAE – minimali integruota absoliučioji paklaida.

PI – reguliatorius, kurį sudaro dvi dedamosios: proporcinė (P), integruojanti (I).

PID – reguliatorius, kurį sudaro trys dedamosios: proporcinė (P), integruojanti (I), diferencijuojanti (D).

LD - kontaktų diagramų kalbas;

FBD - funkcinių blokinių diagramų kalba.

IL - instrukcijų sąrašo kalba;

ST – struktūruoto teksto kalba.

SFC – nuosekliųjų funkcinių diagramų kalba.

AI – Analoginis programuojamo loginio valdiklio įėjimas

AO – Analoginis programuojamo loginio valdiklio išėjimas

DI – Diskretinis programuojamo loginio valdiklio įėjimas

DO – Diskretinis programuojamo loginio valdiklio išėjimas

IVADAS

Kiekvieną dieną tobulėjant technologijoms, gamyklos yra priverstos atnaujinti savo turimas sistemas į naujesnėmis. Atnaujinimai sąlygoja gamykloms ne tik spartesnę gamybos procesą, bet ir galimybę patobulinti savo gaminamos produkcijos lygį.

Maisto pramonėje itin svarbu tobulinti ne tik gamybos procesus, bet ir sukurti tinkamas sąlygas laikyti pagamintai produkcijai. Tinkama vėdinimo sistemai padeda įgyvendinti ne tik tinkamas sąlygas pagamintos produkcijos laikymui, bet ir užtikrina tinkamas darbo sąlygas žmonėms. Vėdinimas, tai oro apdirbimas ir tiekimas į patalpas, kuriose vyksta gamyba, sandėliavimas ir kita veikla. Darbe plačiau nagrinėjama vėdinimo sistema gatavos produkcijos sandėlyje, kurioje yra laikomi UAB „Kalnapilis-Tauro grupė“ pagaminta produkcija.

UAB „Kalnapilis-Tauro grupė“ alaus gamykla įsikūrė jau 1902 metais. Nuo įsikūrimo dienos iki šių dienų gamykla ne tik labai išsiplėtė, bet ir smarkiai padidino savo pagaminamo alaus kiekius. Kalnapilis savo produkcijai kelia aukščiausius reikalavimus, todėl skiria daug dėmesio ne tik gamybai, bet ir pagamintos produkcijos sandėliavimui. Norint, kad alus išliktų šviežias ilgesnį laiką, sandėliavimo patalpose įdiegta vėdinimo sistema, kuri paskutinį kartą buvo atnaujinta 2005m., todėl vėdinimo sistemą reikia atnaujinti, nes dabartinė sistema reikalauja nemažai priežiūros, kuri daug kainuoja. Pagrindiniai prietaisai, kaip temperatūros, santykinės drėgmės davikliai, programuojamas valdiklis, dažnio keitiklis turi tinkamai būti suderinti, kad sistema veiktų nepriekaištingai. Pagrindinis vėdinimo sistemos darbas yra paimti iš lauko orą ir tinkamai jį paruošus tiekti jį į sandėliavimo patalpą. Tam yra naudojami ventiliatoriai, kuriuos suka varikliai, kad užtikrinti tinkamą oro tiekimą, reikia reguliuoti variklius, kurie suka ventiliatorius ir skirsto orą, o norint nustatyti tinkamus parametrus reikia atlikti tyrimus.

Tad pagrindinis darbo tikslas ir yra produkcijos sandėlio kondicionavimo sistemos valdymo režimų tyrimai.

Remiantis tikslu yra keliami tokie uždaviniai:

- Esamų ventiliavimo sistemų valdymo metodų analizė;
- Kalnapilio paruoštos produkcijos saugyklos ventiliacinės sistemos apžvalga;
- Kondicionavimo sistemos matematinio modeliavimo sudarymas;
- Valdymo režimų tyrimas naudojant skirtingus valdymo kokybės kriterijus.

1. KONDICIONAVIMO SISTEMŲ VALDYMO REŽIMŲ ANALIZĖ

Išsivysčiusiose šalyse sparčiai auga pramonė, kuriose ypač svarbų vaidmenį atlieka kondicionavimo sistemos, kurios skirtos šilumai, drėgmei, dulkėms, kenksmingoms dujoms, garams ar kitų kvapų išsiskyrimui iš patalpų šalinimui bei mikroklimato parametrų normalizavimui. Visi šie parametrai įmonėms yra svarbūs ne tik darbuotojų saugumui užtikrinti, bet ir gamybos procesui pagerinti ar pagaminti kokybišką produktą. Kondicionavimas yra viena iš vėdinimo rūšių.

Vėdinimai būna dviejų rūšių:

Natūralusis - paprasčiausias patalpų vėdinimo būdas, kai oras į patalpas patenka pro pastate esančius tarpus, langus, orlaides, mikroventilicijos ertmes bei varstomas lauko duris. Oras šalinamas vertikaliais traukos kanalais natūralios traukos principu, kai patalpose sušilęs oras kyla į viršų. Tokie kanalai paprastai įrengiami tualetu bei vonios kambariuose, virtuvėje.

Natūralaus vėdinimo trūkumai: patenkantis į patalpas oras nesušildomas, pavyzdžiui žiemą, kai už lango šalta, vėdinant patalpas gali susidaryti šaltas skersvėjis, skatinantis peršalimus. Patenkantis į patalpas oras nevalomas ir nefiltruojamas, todėl su oru į patalpas patenka vabzdžiai, dulkės ir kiti nešvarumai. Dulkių patekimas yra būdingas pastatams, esantiems arti judrių gatvių. Patenkančio oro kiekio suregulavimas į patalpą yra neįmanomas, dėl to patalpa gali būti vėdinama per daug arba per mažai. Žiemos sezonu tai problema, nes patekęs oras į patalpą būna šaltas ir greitai atšaldo visą patalpą. Vasarą, kai patalpos ir lauko temperatūrų skirtumas artėja prie nulio, oras praktiškai nustoja judėti. Taip patiriamas energijos perteklius, dėl to išauga komunaliniai mokesčiai už šildymą.

Mechaninis - oras tiekiamas ir šalinamas iš patalpų priverstinai, pasitelkus ventiliatorius. Pagal paskirtį mechaninės vėdinimo sistemos skirstomos į:

- Oro ištraukimo sistema, kuri šalina iš patalpos panaudotą orą į lauką;
- Oro tiekimo sistema, kuri tiekia į patalpą iš lauko šviežią orą, jį filtruoja, pašildo (arba atšaldo) pagal poreikį iki reikiamos patalpos temperatūros .

Sistemų trūkumai:

šiltas oras, kurį ištraukia sistema iš patalpos, yra tiesiogiai išpučiamas į lauką nesunaudojant jo. Taip padidėja elektros sąnaudos palyginti su rekuperacinėmis sistemomis. Reikalingas didesnis plotas, kuriame montuojami įrenginiai.[12]

Norint sumažinti trūkumus, užtikrinti tiek vėdinimo, tiek kondicionavimo sistemos tinkamą funkcionavimą, sistema turi atitikti kelis pagrindinius elementus: dažnio keitiklį ir valdiklį.

1.1. Pagrindiniai kondicionavimo sistemos elementai

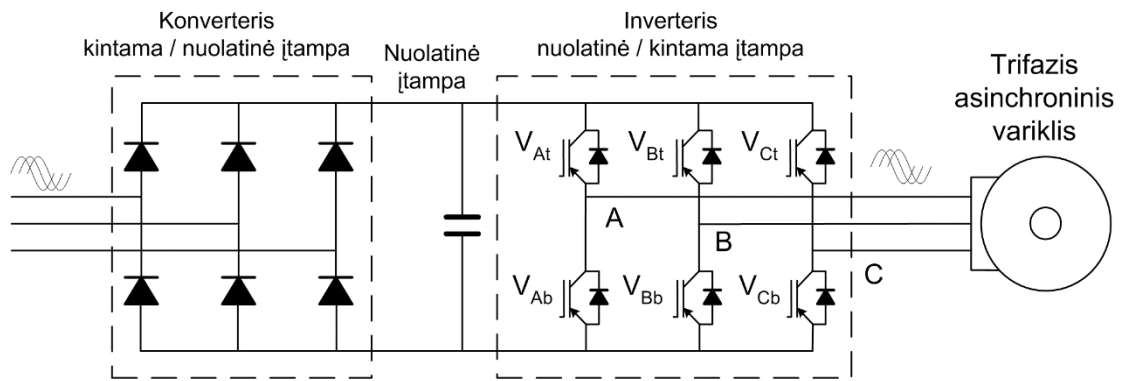
Išsivysčiusiose šalyse (60–70)proc. elektros energijos sunaudoja elektros variklių pavaros. Apie 90 proc. pramonėje naudojamų elektros variklių yra trifaziai asinchroniniai varikliai. Jų populiarumą lemia paprasta konstrukcija, aukštas patikimumas ir žema kaina. Asinchroniniai varikliai yra plačiai naudojami siurbliuose, ventiliatoriuose, konvejeriuose, liftuose, kranuose bei įvairiuose pramoniniuose įrenginiuose.

Asinchroninio variklio sukimosi greitį lemia trifazio elektros tinklo dažnis ir variklio polių skaičius, t. y. jei variklis maitinamas iš standartinio elektros tinklo, jis sukasi beveik pastoviu greičiu. Tačiau dažnai variklio sukimosi greitis turi būti reguliuojamas. Reguluojamo sukimosi greičio asinchroninės pavaros leidžia valdyti technologijas bei taupyti elektros energiją.

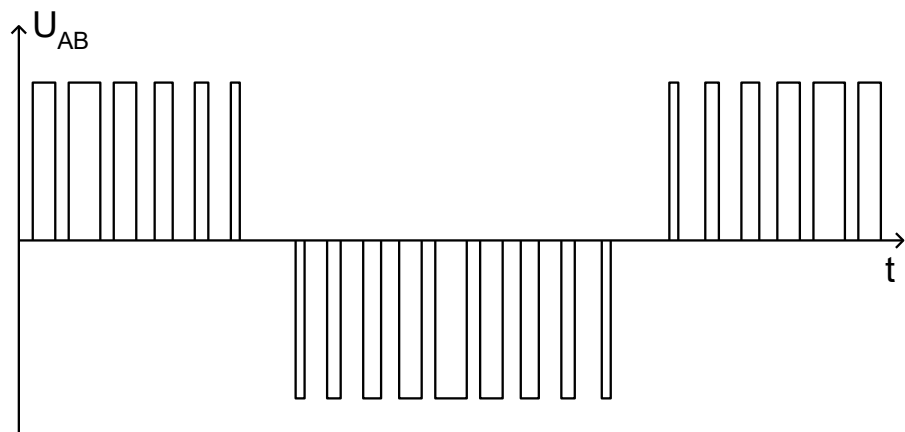
Pasiekimai puslaidininkinių galios prietaisų, mikrovaldiklių ir signalinių procesorių srityse, impulsų pločio moduliavimo (*Pulse Width Modulation*, sutrumpintai PWM) metodo, leidžiančio trifaze impulsine įtampa formuoti sinuso formos srovę variklio apvijose, sukūrimas bei pasiekimai automatinio valdymo teorijos srityje sudarė sąlygas atsirasti dažnio keitikliams, skirtiems asinchroninių elektros variklių sukimosi greičiui, sukimo momentui bei sukimosi kryptčiai valdyti.

Dažnio keitiklis yra galios elektronikos prietaisas, kuris keičia standartinį vienfazį arba trifazį elektros tinklą į keičiamo dažnio ir įtampos trifazį tinklą. Dažnio keitiklis yra sudėtingas ir brangus prietaisas, paverčiantis asinchroninį variklį protingai valdoma mašina. Jis leidžia valdyti variklį rankiniu būdu arba automatiškai uždaroje valdymo sistemoje pagal atitinkamo jutiklio signalus, taip pat kompiuteriu, įskaitant valdymą per internetą. Dažnio keitiklis turi įvairias apsaugas, saugojančias jį patį ir valdomą variklį nuo sugadinimo.[13]

Dažnio keitiklio paskirtis suformuoti keičiamo dažnio ir įtampos trifazį tinklą, prie kurio prijungus asinchroninį elektros variklį, jo apvijomis tekėtų sinuso formos srovės ir jos būtų tokio dažnio, fazės ir dydžio, kad variklio rotorius sukėtųsi norimu greičiu, norima kryptimi ir turėtų reikiamą sukimo momentą. Egzistuoja didelė dažnio keitiklių įvairovė, tačiau dauguma jų turi (1.1.1pav.) pateiktą konverterio-inverterio struktūrą. Konverteris kintamą elektros tinklo įtampą paverčia nuolatine, o inverteris iš nuolatinės įtampos suformuoja keičiamo dažnio, fazės ir įtampos trifazį tinklą. Konverteris paprastai yra nevaldomas vienfazis arba trifazis lygintuvas. Sudėtingiausias dažnio keitiklio funkcinis mazgas yra inverteris, kurį sudaro tranzistoriniai raktai. Inverterį valdo specialus įrenginys su mikrovaldikliu arba (ir) signaliniu procesoriumi. Norint garantuoti patikimą inverterio darbą, turi būti stebimos tranzistorinių raktų būsenos, t. y. sekamos jų srovė, įtampa, temperatūra. Inverteris suformuoja impulsines įtampas (1.1.2 pav.), kuriomis maitinant variklį dėl jo apvijų indukcinės prigimties variklio apvijomis teka sinuso formos srovė.[13]



1.1.1 pav. Struktūrinė dažnio keitiklio schema



1.1.2 pav. Įtampa tarp dviejų fazių inverterio išėjime

Trifazė impulsinė įtampa yra priemonė, kuria dažnio keitiklis valdo asinchroninį variklį. Yra dvi asinchroninio variklio valdymo metodų grupės: skaliariniai ir vektoriniai. Dauguma dažnio keitiklių taikymo atvejų variklio mechaninės apkrovos priklausomybė nuo sukimosi greičio yra iš anksto žinoma, o reikalavimai dinaminėms asinchroninių pavarų savybėms nėra svarbūs. Tokiais atvejais variklio valdymui pakanka skaliarinio valdymo dažnio keitiklio. Dažniausiai jie naudojami siurbliams, ventiliatoriams ir kai kuriems konvejeriams gaminti.

Vektorinio valdymo dažnio keitikliai gali greitai ir tiksliai valdyti variklio sukimosi momentą esant įvairiems sukimosi greičiams, gali veikti esant dideliam pagreičiui. Jis taip pat gali įsijungti, kai variklis sukasi į bet kurią pusę. Asinchroninių variklių pavaros, valdomos vektorinio valdymo dažnio keitiklių naudojamos didelio greičio liftuose, kranuose bei laidų vyniojimo, popieriaus gamybos, plieno liejimo, plastmasės štapavimo ir kituose įrenginiuose.[13]

1.2. Programuojami loginiai valdikliai

Programuojami loginiai valdikliai skirti apdoroti didelius valdymo ir informacijos srautus. Jie lengvai pritaikomi sudėtingoms sistemoms valdyti bei gali būti lengvai

perprogramuojami, reguliuojami. Naudojant programuojamus loginius valdiklius ir jiems pritaikytas programas, galima užtikrinti aukštą ir patikimą valdymo sistemų darbą.

Šiais laikais yra nemažai valdiklių gamintojų, kurie suteikia galimybes vartotojui pasirinkti tinkamiausią ir labiausiai patinkantį variantą, nes laikui bėgant buvo priimti standartai skirti programų rašymui. Yra penkios programų kalbos, kurios labiausiai paplitusios:

1. Grafinės:
 - LD - kontaktų diagramų kalbas;
 - FBD - funkcinių blokinių diagramų kalba.
2. Tekstinės:
 - IL - instrukcijų sąrašo kalba;
 - ST – struktūruoto teksto kalba.
3. Kombinuotoji:
 - SFC – nuosekliųjų funkcinių diagramų kalba.

Programuojamas loginis valdiklis – tai įrenginys galintis atlikti automatinį veiksmą, operaciją, turi valdiklį, kuris užtikrina įrenginio veikimo logiką. Pagal panaudojimą valdikliai gali būti:

- Mechaniniai;
- Pneumatiniai;
- Hidrauliniai;
- Elektriniai.

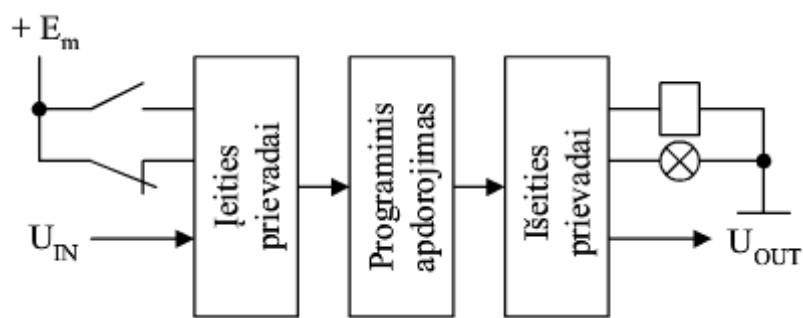
Dažniausiai naudojami valdikliai – elektriniai.

Pagrindiniai privalumai yra:

- Sumažina laiko sąnaudas projektuojant, kuriant sudėtingas valdymo sistemas;
- Supaprastintas valdymo sistemų veiksmų eiliškumo sudarymas;
- Platus funkcinių galimybių spektras.

Programuojamas loginis valdiklis yra elektroninis įrenginys, turintis įėjties ir išėjties prievadų rinkinį. Prie įėjties prievadų jungiami rankinio valdymo elektros aparatai, įvairių įtaisų kontaktai, jutikliai, kurie sudaro įėjties signalus.

Išėjties prievadai skirti automatinės sistemos vykdykliai valdyti ir formuoja jų valdymo signalus. [14]



1.2.1 pav. PLV veikimo principas [14]

1.3. Kondicionavimo sistemos pavyzdžiai

Dabartinaisiais laikais įmonėse sparčiai populiarėja dažnių keitiklių ir valdiklių panaudojimas kondicionavimo sistemose, nes dažnio keitikliai sparčiai tobulėja ir įgyja funkcijas, kurios suteikia galimybę valdyti ventiliatoriaus greitį nuo daviklių signalų ar veikti pagal užduotas programas. Šias galimybes suteikia integruoti programiniai parametų rinkiniai, kurie turi galimybę reguliuoti paleidimo greitį, stabdymo greitį, variklio apkrovimą ir t.t. Dabartiniuose dažnio keitikliuose yra ir automatinis suderinamumas, kuris automatiškai reguliuoja momentą, stabdymą, paleidimą, įtampą, prisitaikymą prie variklio, visas šias funkcijas papildo programinis loginis valdiklis, kuris užtikrina valdymo sistemos stabilumą.

Plačios PLV ir dažnio keitiklio prisitaikymo prie sistemos galimybės praplečia jų panaudojimą ir efektyvumą. Viena iš pritaikymų galimybių, tai uždaros stovėjimo aikštelės, kuriose privalomas dujų, išmetamųjų dūmų reguliavimas, kad neviršytų leidžiamų normų ir prisitaikytų prie priešgaisrinės signalizacijos. Stovėjimo aikštelėse keitiklio montavimo privalumas ventiliacijos sistemoje yra tai, kad sutaupoma energija, nes pagal oro užterštumo daviklį galima reguliuoti ventiliatoriaus sukimą. Be to, sutaupoma vietos, nes naudojami mažesnio diametro ventiliatoriai, mažesnio galingumo varikliai. Realiai pritaikyti CO davikliai buvo „Baltic Hearts“ komplekso stovėjimo aikštelėje (3pav.), kurioje ventiliacijos sistema yra sujungta ir su gaisrine signalizacija.[10]



1.3.1 pav. „Baltic Hearts“ komplekso požeminė aikštelė

Tokios sistemos jau plačiai naudojamos ir diegiamos ne tik stovėjimo aikštelėse, jos naudojamos ir ligoninėse. Ligonėje itin svarbu palaikyti tinkamą temperatūrą, avarijos metu tinkamai pašalinti kenksmingus garus ar dūmus. Jei ligoninėje nebūtų tinkamas mikroklimatas, tai ligonei sunkiau gyty, personalui būtų sunku dirbti, todėl naudojami davikliai, kurie duoda signalus ventiliatoriaus variklius valdantiems dažnio keitikliams kaip reaguoti į pasikeitusius daviklio parametrus. Puikus pavyzdys yra Pakruojo miesto ligoninėje įrengta šaldymo, šildymo, oro filtravimo bei triukšmo slopinimo įranga. [10]



1.3.2 pav. Pakruojo miesto ligoninės operacinės ir reanimacijos skyriaus ventiliacinė sistema

Norint tinkamai palaikyti temperatūrą, drėgmę PLV ir dažnio keitikliai naudojami ir baseinuose, nes jie turi galimybę reaguoti į daviklių signalus, kurie pagal nustatytą programą įjungia ventiliatorius, kurie pagal poreikius vėdina patalpą.



1.3.3 pav. Baseino ventiliacijos sistema

Turbūt plačiausiai panaudojimo galimybė yra maisto pramonė, kurioje svarbu yra drėgmės kiekis, oro švarumas, nes kiekvienas mikroorganizmas gali stipriai pakenkti produktui.



1.3.4 pav. Maisto pramonėje taikomos ventiliacijos sistemos

Be abejonės kondicionavimo sistemos ypač reikalingos farmacijos sandėliuose, kur laikomi vaistai, kuriems reikia ypatingai tikslios temperatūros, o dėl oro sąlygų temperatūra gali kisti. Tad norint palaikyti pastovią temperatūrą reikia reguliuoti ventiliatorių darbą. Žinoma ne tik chemijos pramonėje reikalaujama laikytis griežtų nurodymų, bet ir maisto sandėliuojamose patalpose, medienos ir t.t. [11]

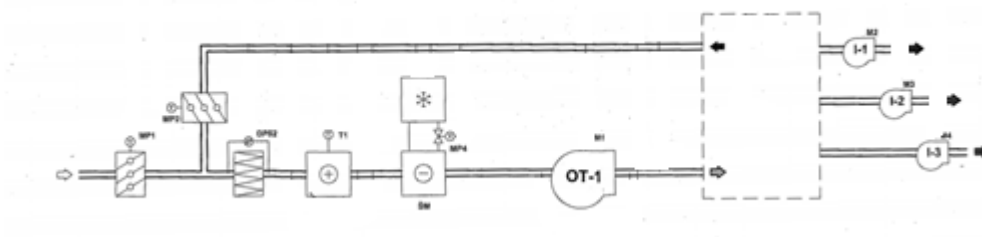


1.3.5 pav. Medienos, tekstilės, maisto sandėliavimo patalpos

2. ALAUS GAMYKLOS „KALNAPILIS-TAURO GRUPĖ“ PRODUKCIJOS SANDĖLIO KONDICIONAVIMO SISTEMOS ANALIZĖ

2.1. UAB „Kalnapilis-tauro grupė“ gatavos produkcijos sandėlys

Darbe nagrinėjamas objektas yra UAB „Kalnapilis-tauro grupė“ gatavos produkcijos sandėlio vėdinimo sistema. Vėdinimo sistemos tikslas yra užtikrinti tinkamą sandėliavimui temperatūrą bei oro drėgnumą, bet kuriuo metų laiku. Nuo vėdinimo sistemos priklauso pagamintos produkcijos kokybė, nes didesnėse temperatūroje produkcija pradeda rūgti ir ji tampa nebetinkama. Patalpos drėgnumas gadina įpakavimus, taip produkcija praranda prekinę išvaizdą. Viso šito norint išvengti yra būtina palaikyti tinkamas oro sąlygos patalpoje, o tai padeda suderinta vėdinimo sistema. Vėdinimo sistemos struktūrinė schema pateikta 2.1.7 pav.



2.1.7 pav. Vėdinimo sistemos schema.

Kalnapičio gatavos produkcijos sandėlyje yra būtina palaikyti 19°C ir ne daugiau nei 50 procentų oro drėgmės. Dabar šitai padeda palaikyti tik vienas temperatūros daviklis ir vienas drėgmės jutiklis, kuris yra nešiojamas. Tai neužtikrina pastovios temperatūros visame sandėlyje, nes matuojamas tik vienoje vietoje, o drėgmės jutiklis ne visada būna sandėlyje. Vieno termometro parodymus iškraipo ir važinėjantys krautuvai, kurie varomi dujomis. Krautuvai išskiria ir nuodingas medžiagas, pavyzdžiui CO₂. Tam tikslui naudojamas daviklis neleidžiantis viršyti leistinos normos, bet jis taip pat yra nešiojamas ir ne visada būna sandėlyje.

Visa gatavos produkcijos sandėlio ventiliacija veikia su vienu ventiliatoriumi, kuris yra valdomas daviklių. Procesas prasideda tada, kai oras yra paimamas iš lauko ir atsidarius MP1 arba MP2 sklendei. MP1 ima orą iš lauko, o atsidarius MP2 sklendei paduodamas grįžtamasis oras.[9]



2.1.1 pav. Sklendės MP1, MP2

Perėjus oro filtrą, nustatoma, kokia yra temperatūra ir ar reikia orą šaldyti, ar šildyti. Jeigu orą reikia šildyti, į radiatorių paduodamas šiltas vanduo iš katilinės ir taip sušildomas oras iki reikiamos temperatūros, o jei reikia šaldyti, tai etilgliukolis paduodamas į radiatorių.



2.1.2 pav. Šildymo-šaldymo sistema.



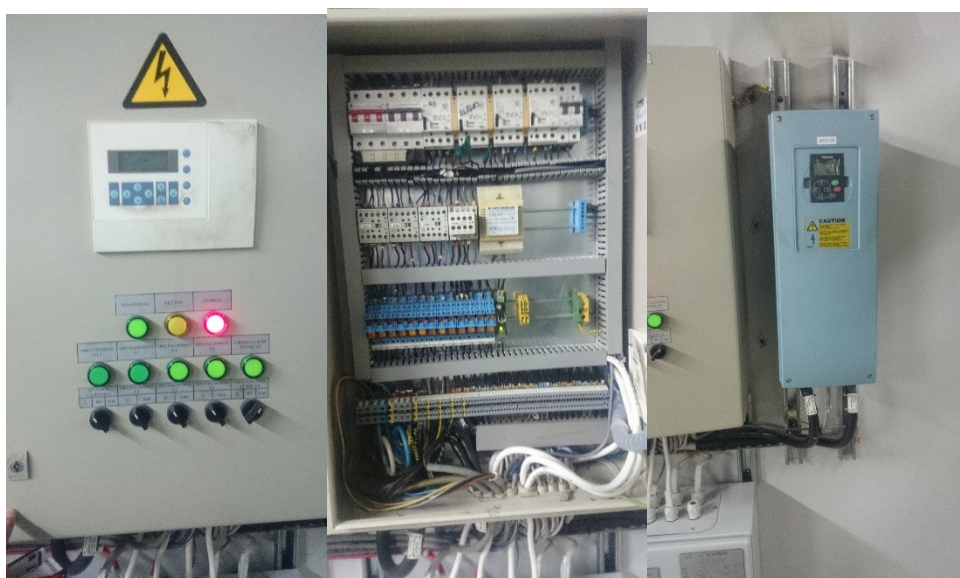
2.1.3 pav. Siurbiai skirstantys spiritą po sistemą.

Apdorotas oras ventiliatoriaus pagalba yra pučiamas į sandėlio patalpą. Kiek ir kokio oro reikia patalpoje nusako temperatūros-drėgmės daviklis ir CO₂ daviklis.

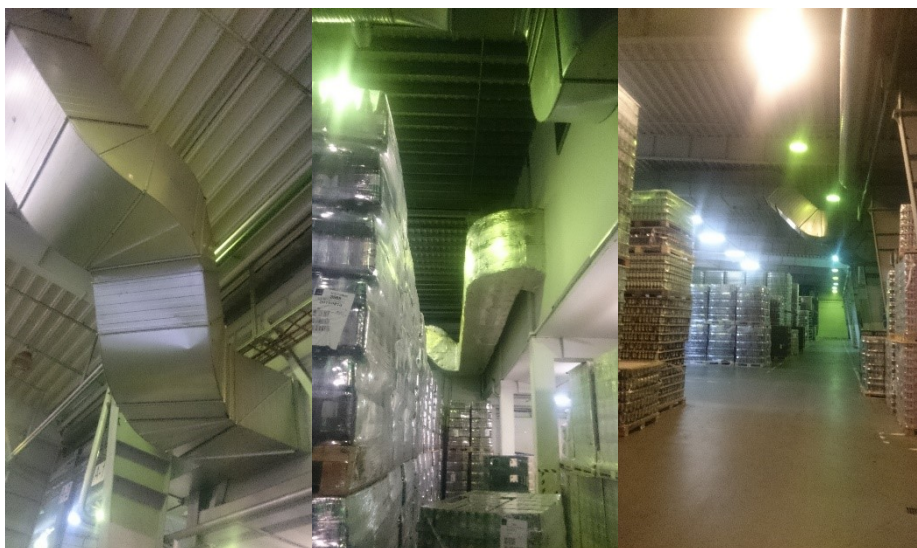


2.1.4 pav. Temperatūros reguliatorius ir įtraukiamo, išpučiamo oro temperatūrų parodymai

Patalpos vėdinimui naudojami trys ventiliatoriai, jeigu patalpą reiktų išvėdinti, bet žinoma yra ir grįžtamasis ratas, kuris sumažina nuostolius. Drėgmę iš oro yra šalinama atšaldžius orą iki 5°C ir po to sušildomas iki tinkamos temperatūros, taip oro drėgmė yra stabilizuojama. Ventiliatorius yra valdomas dažnio keitiklio pagalba. Dažnio keitiklis variklį paleidžia per tam tikrą laiką, jog nebūtų staigus slėgių skirtumas. Žinoma keitiklis ir reguliuoja koku greičiu ventiliatoriui sukstis. Sistema gali tiekti 38000 m³/h. Reikia aprūpinti 5448 m² plotą.[9]



2.1.5 pav. Valdymo spinta ir dažnio keitiklis



2.1.6 pav. Pagamintos produkcijos sandėlio ventiliacijos ortakiai

2.2. Naudojami davikliai

Vienas iš pagrindinių dalykų, kurie padeda sistemai veikti tiksliai, saugiai ir užtikrinančiai normas atitinkančias oro sąlygas, yra davikliai. Sistemoje naudojami slėginiai davikliai, kurie skirti užtikrinti tiek šildymo sistemoje, tiek šaldymo sistemoje, tiek ventiliacinėje dėžėje tinkamą ir saugų slėgį. Sistemose slėginiai davikliai naudojami tik, kaip informacinei. Temperatūriniai davikliai, kaip ir slėginiai naudojami informacijai vaizduoti, kokia temperatūra yra paduodamas, paimamas oras. Be daviklių yra ir temperatūros regulatorius, kuris reguliuoja kokio oro reikia paduoti į sandėlį. Taip pat yra ir CO₂ daviklis, skirtas informuoti apie padidėjusias kenksmingas medžiagas sandėlio patalpoje, nes joje važinėja keltuvai varomi gamtinėmis dujomis.



2.2.1 pav. Temperatūros indikatorius (-30....50°C)



2.2.2 pav. Manometras (0...800 Pa)



2.2.3 pav. Manometras vamzdynuose (0...6 bar)



2.2.4 pav. Drėgmės matuoklis (5%... 95% RH)

Visa sistema susideda iš oro tiekimo ventiliatoriaus, variklių, kurie valdo ventiliatorius. Pagrindinis variklis yra 22 kW, kurį valdo dažnio keitiklis reaguodamas į užduotas programas. Kad ventiliacijos sistemoje būtų pašildomas ar atšaldomas yra įrengti šaldymo šildymo radiatoriai. Norint, kad oras būtų švarus be dulkių, kenksmingų medžiagų yra naudojami F5 kategorijos filtrai. Oro paėmime yra lauko užsklanda, kuri užsidaro, kai pakankamas oro kiekis. Paimtą orą įvertina lauko oro temperatūrinis ir oro drėgnumo davikliai, pagal juos įvertinama ar oras turi būti pašildytas ar atvėsintas.[9]



2.2.5 pav. Oro tiekimo dažnio keitiklis 22 kw, 46A



2.2.6 pav. Ventiliacijos sistemos spinta.

2.3. Siūlomi įrenginiai

Kadangi sistema buvo montuojama 2005 metais, tai normalu, jog yra naujesnių tobulesnių įrenginių, kurie turėtų pakeisti senuosius, kurie bus tikslesni, kokybiškesni ir geriau užtikrintų tinkamą sistemos darbą. Kaip patobulinimas pirmiausia būtų temperatūriniai davikliai, kurie siunčia informaciją į temperatūros indikatorių ir į programuojamą valdiklį.



2.3.1 pav. Slėgio jutiklis. Išėjimo tipas universalus: 4...20mA ir 0...10V. 8 matavimo diapazonai. [6]



2.3.2 pav. Lauko temperatūros ir drēgmēs jutiklis. Matuojamas diapazonas: 0...100 %RH, -40...+120 °C. [8]



2.3.3 pav. Temperatūros daviklis. Galima darbo temperatūra: -50...800°C [5]



2.3.4 pav. Temperatūros indikatorius. Matavimo jėjimas: 5xK, 5xJ, 5xPt100.
Maitinimo įtampa: 100/220VAC 50/60 Hz.
Tikslumas: 0.5% nuo visos skalės.[3]



2.3.5 pav. Indikatorius skirtas atvaizduoti slėginių daviklių parametrus.[4]



2.3.6 pav. Operatoriaus pultas su I/O. [2]



2.3.7 pav. Dažnio keitiklis. 22 kW, išėjimo dažnio diapazonas 0.1~600Hz, integruotos loginio valdiklio funkcijos, su galimybe vykdyti nesudėtingas programas, išėjimo srovė- 45A.[1]



2.3.8 pav. Anglies dvideginio daviklis. Analoginis išėjimas 0...10 V (0...2000 ppm)

Sistemoje sumontavus naujuosius daviklius ir prietaisus, sistema turi veikti tiksliau, kokybiškiau bei turi turėti patobulinimų, kurie palengvintų sistemos priežiūrą, informatyvumą ir kokybiškumą. [7]

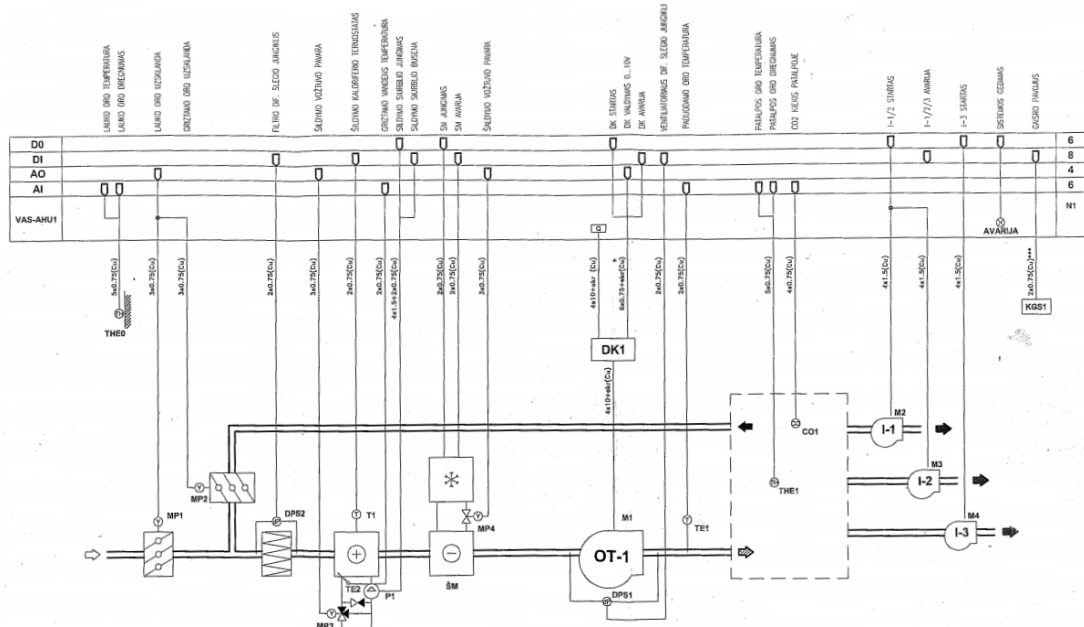
2.3.1 lentelė. Techniniai duomenys

Variklis M1	22 kW, 41 A
Variklis M2	1,5 kW, 3,6 A
Variklis M3	2 kW, 3,2 A
Variklis M4	2 kW, 3,2 A
Variklis M5	0,75 kW, 1,3 A
Temperatūriniai indikatoriai	Matavimo diapazonas -30...50°C
Manometrai	Matavimo diapazonas 0...800 Pa
Dažnio keitiklis	22 kW, 46 A
Drėgmės matuoklis	Matavimo ribos 5%... 95% RH
Lauko temperatūros ir drėgmės jutiklis	Matuojamas diapazonas: 0...100 %RH, -40...+120 °C
Programuojamas loginis valdiklis	Išėjimų/išėjimų kiekis 8DI, 8DO, 8 AI, 8AO
Siūlomi įrenginiai	
Anglies dvideginio daviklis	Analoginis išėjimas 0...10 V (0...2000 ppm)
Dažnio keitiklis	22 kW, išėjimo dažnio diapazonas 0.1~600Hz, integruotos loginio valdiklio funkcijos, su galimybe vykdyti nesudėtingas programas, išėjimo srovė- 45A
Operatoriaus	10,4" plačiaekranis displėjus, rezoliucija 800 x 480, 8 DI, 8 DO

Temperatūros indikatorius	Matavimo įėjimas: 5xK, 5xJ, 5xPt100, maitinimo įtampa: 100/220VAC 50/60 Hz. Tikslumas: 0.5% nuo visos skalės
Slėgio jutiklis	Išėjimo tipas universalus: 4...20mA ir 0...10V. 8 matavimo diapazonai

2.4. „Kalnapolis-Tauro Grupė“ produkcijos sandėlio kondicionavimo sistemos automatinio valdymo funkcionavimo aprašymas

Ventiliacijos sistema maitinama iš trifazio tinklo. Sistemoje yra penki trifazei varikliai M1 (22kW, 41A), M2 (1,5kW, 3,6A), M3 (2 kW, 3,2A), M4 (2 kW, 3,2A), M5 (0,75kW, 1,3A). Kiekvieno variklio apsaugai naudojami atitinkamos šiluminės apsaugos relės, kurios apsaugo variklius nuo gedimų. M1 variklį valdo dažnio keitiklis DK1. Prieš M2, M3, M4, M5 pajungti kontaktoriai K1, K2, K3, K4, kurie skirti valdyti variklių paleidimą.



2.4.1 pav. Vėdinimo sistemos funkcinė jungimų schema.

Visas ventiliacijos valdymas yra valdomas loginio valdiklio, kuris turi šešis diskretinius išėjimus, keturis diskretinius įėjimus, keturis analoginius išėjimus, aštuonis analoginius įėjimus, o pats valdiklis maitinamas 24 voltų įtampa, kuri gaunama iš maitinimo šaltinio TR1. Analoginius įėjimus sudaro signalai iš CO₂ daviklio, paduodamo oro temperatūros daviklio TE1, grįžtamo vandens temperatūros daviklio TE2, lauko temperatūros daviklio THE0, patalpos temperatūros daviklio THE1. Diskretinius išėjimus sudaro dažnio keitiklio DK1 paleidimo ir lauko užsklandos MP1 paleidimas, M5 variklio paleidimas, šaldymo mašinos paleidimas ŠM. Analoginius išėjimus sudaro signalas į DK1, lauko oro užsklandų MP1, MP2 padėties signalas, šaldymo vožtuvo MP4

pavaros signalas, šildymo vožtuvo MP3 pavaros signalas. Diskretinius įėjimus sudaro šiluminių relių Q2, Q3, Q4 signalai bei avarinis mygtukas.

Gatavos produkcijos sandėlio vėdinimas prasideda nuo lauko temperatūros įvertinimo. Ją įvertina termometras THE0 ir siunčia duomenis į valdiklį, kuriame įvertinama temperatūra. Oras paduodamas per elektrinę pavarą MP1 į filtrą, kuriame filtruojamas nuo įvairių šiukšlių. Pagal lauko temperatūrą oras yra pašildomas arba pašaldomas. MP3 orą pašildo iki tam tikros temperatūros ir jis paduodamas į ventiliatorių OT-1. Ventiliatorių suka variklis M1, kurį paleidžia dažnio keitiklis DK1 valdomas valdiklio. Po to įvertinama paduodamo oro temperatūra TE1 termometru į sandėliavimo patalpą. Patalpos temperatūrą ir CO₂ kiekį įvertina CO₂ daviklis ir THE1 temperatūros daviklis. Patalpos temperatūra privalo būti ~19 °C, oro drėgmė ne didesnė nei ~50 procentų. Patalpoje oras šalinamas ventiliatoriais I-1 ir I-3, juos suka varikliai M4 ir M2. Taip pat yra avarinio šalinimo ventiliatorius I-2, kuris sukamas M3 variklio. Dalis oro yra gražinama atgal į sistemą, kur jis gražinamas per elektroninę sklendę MP2 kartu su paduodamu oru iš lauko. Tada pagal drėgmės daviklio parodymus ir temperatūros daviklio oras paruošiamas tiekti į patalpą. Jeigu oras yra per drėgnas, jis yra atšaldomas šaldymo mašinoje MŠ atidarius sklendę MP4 iki 5 °C ir vėl pašildomas šildymo radiatoriuje. Taip jis išsausėja, o po to procedūra kartojasi. Funkcinė valdymo schema pateikta 2.4.1 paveikslėlyje.

Pagrindiniai uždaviniai norint tinkamai įvertinti tinkamas sandėliavimo sąlygas, yra sistemos darbo suderinimas. Tad įvertinami trikdžiai, kurie turi įtakos oro keitimusi. Pirmiausia nustatoma, kad patalpos dydis yra 5448m². Patalpa daugiausiai būna užkraunama 50-60 procentų, mažiausiai patalpos užkrova būna 20 procentų. Patalpos matmenys 45x20x6m. Prie 20 °C absoliutinė drėgmė 8,7 g/m³, rasos taškas - 9 °C. Keltuvo išskiriama dujų emisija 144,2 g/km. Jų važinėjimo laikas sandėlyje yra ribojamas, kad nebūtų didelio kenksmingų dujų pertekliaus. Krovinys į sandėlį patenka keltuvais, kurie veža po dvi euro paletes, kurios bendras svoris yra 920 kg, vienos paletės svoris – 420 kg.

3. PRODUKCIJOS SANDĖLIO KONDICIONAVIMO SISTEMOS MATEMATINIS MODELIS

Modeliavimas – tai objektų tyrimo metodas, kai vietoje tiriamo objekto naudojamas jo modelis. Modelis padeda nustatyti kiekvieno objekto pagrindinius dėsningumus ir atmesti nereikalingus požymius. Darbe naudojame matematinį modelį.[15]

Matematinis modeliavimas yra mokslinio tyrimo metodas, kuris remiasi procesų tyrimu, naudojant jų matematinį aprašą. Matematinis aprašas reikalingas, norint parinkti optimalius darbo režimus automatinėse valdymo sistemose. [15]

Norint tinkamai sudaryti atskirų technologinių parametrų automatizavimo stabilizavimo sistemas reikia žinoti objekto įėjimų ir išėjimų parametrų kitimo diapazonus. Tam pakanka naudoti eksperimentinius duomenis. Šie duomenys yra aprašomi diferencialinėmis lygtimis.[15]

3.1. Eksperimentinių duomenų surinkimas ir analizė

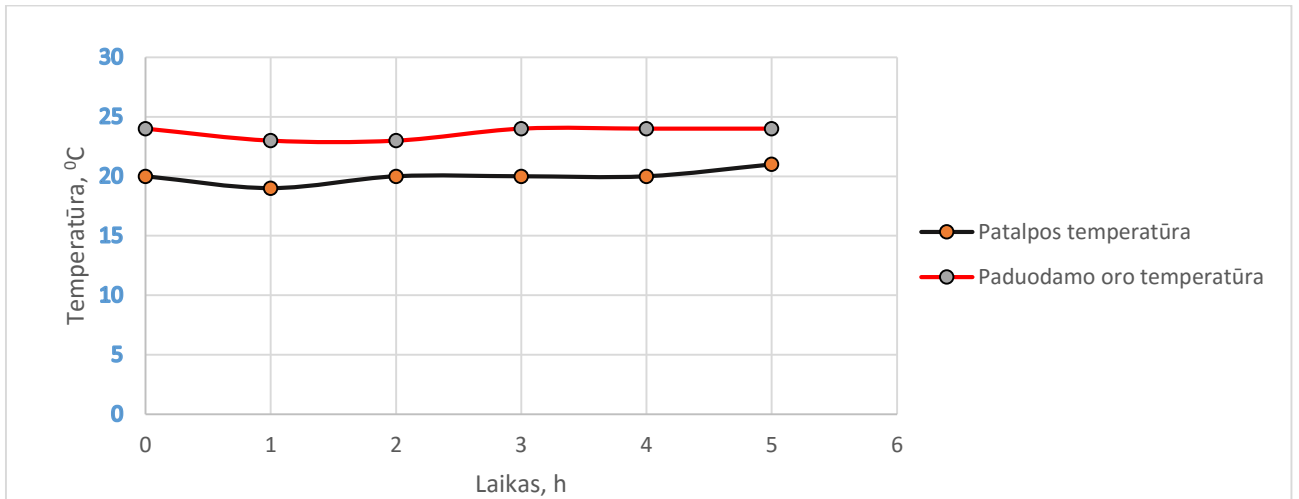
Duomenys buvo surinkti pasitelkiant gamykloje naudojamus matavimo prietaisus. Kadangi gamykloje svečių valandos yra ribotos, bandymas truko 5 valandas (2016-02-20) per kurias buvo surinkti tokie duomenys:

3.1.1 lentelė. Surinkti duomenys

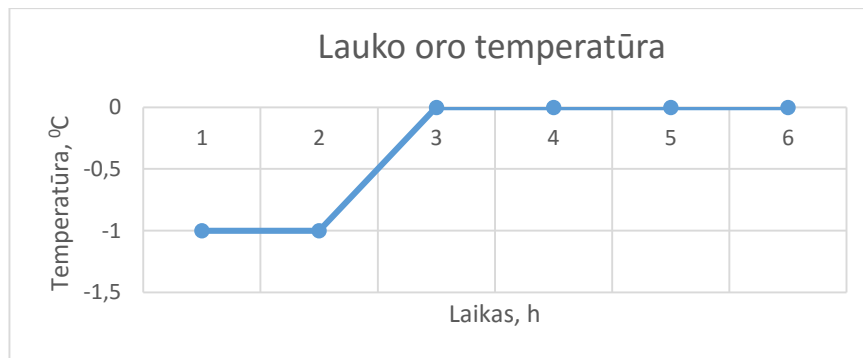
Valandos, val.	0	1	2	3	4	5
Lauko oro temperatūra, °C	-1	-1	0	0	0	0
Patalpos temperatūra, °C	20	19	20	20	20	21
Į patalpą paduodamo oro temperatūra, °C	24	23	23	24	24	24
Patalpos oro drėgnumas, %	25	22	24	24	24	30
Įnešami padėklai, pad.	0	32	14	40	48	52
Išnešami padėklai, pad.	0	0	0	23	93	15
Sandėlio užkrovimas, %	40	41	41	41	42	42
Įvažiuojančių krautuvų skaičius	0	16	7	27	24	26
Išvažiuojančių krautuvų skaičius	0	15	6	16	24	26

Pagal duomenis, kurie pateikti lentelėje matome, visi rodikliai yra leistinose normose, nors ir produkcija buvo pakraunama į sunkvežimius ar pildomos sandėlio atsargos. Atliekant bandymą neišmatuotas patalpos CO₂, nes nebuvo prietaiso galinčio išmatuoti.

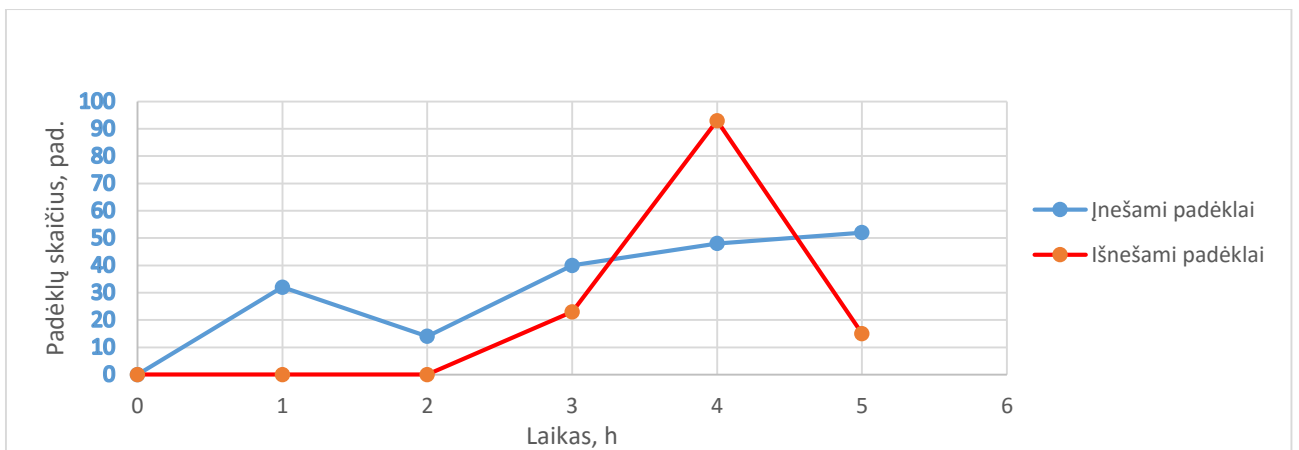
Pagal surinktus duomenis nubraižomi grafikai:



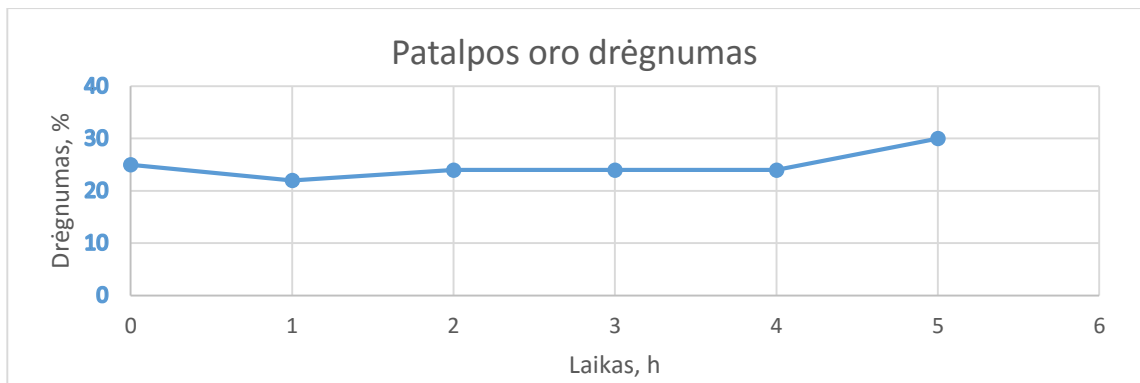
3.1.1 pav. Patalpos temperatūros, paduodamo oro temperatūros kitimas laike



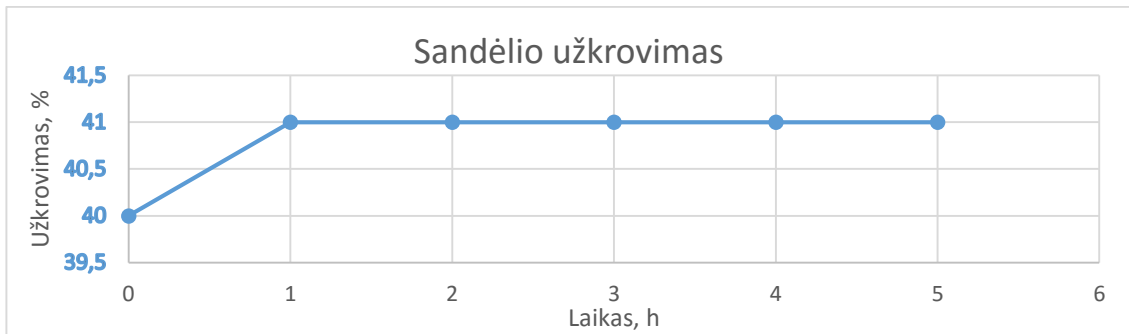
3.1.2 pav. Lauko oro temperatūra



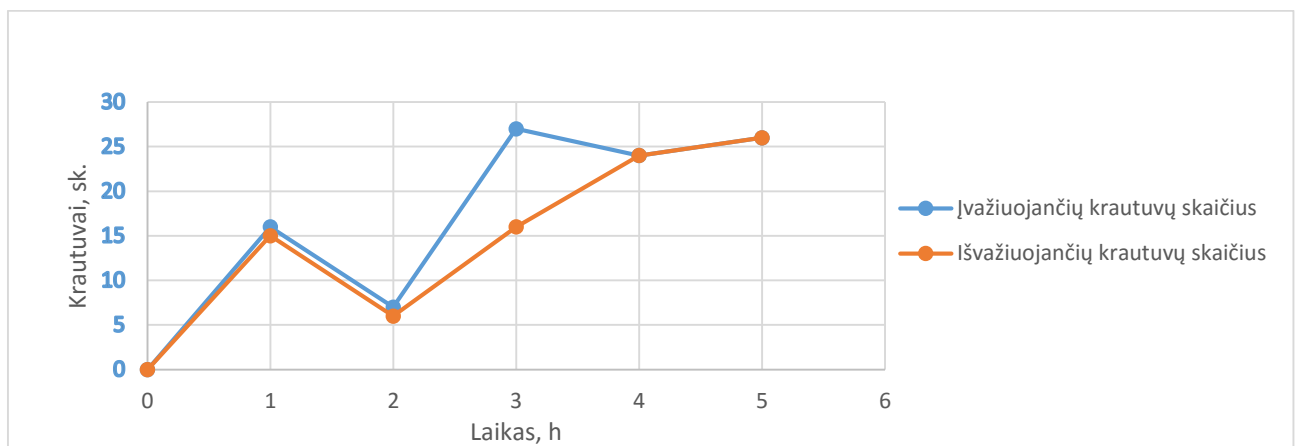
3.1.2 pav. Įnešamų ir išnešamų padėklų kitimas laike



3.1.3 pav. Patalpos oro drėgnumo kitimas laike



3.1.4 pav. Sandėlio užkrovimo kitimas laike



3.1.5 pav. Įvažiuojančių ir išvažiuojančių krautuvų kitimas laike

3.2. Modeliuojamos lygtys

Lygtys yra modeliuojamos remiantis šilumos balanso lygtimi, bendrosios masės balanso lygtimi.

Masių balansas gali būti sudaromas pagal atskirų komponentų mišinyje balansą arba sistemos bendros masės atžvilgiu. Bendra masių balanso forma:

$$\text{Masės kaupimo kitimas} = \text{Įėjimo masės kitimas} + \text{Generuojamos masės kitimas} - \text{Išėjimo masės kitimas} - \text{Išseikvojamos masės kitimas}.$$

Šilumos balanso lygtis – visas vienu kūnų atiduotas šilumos kiekis yra lygus visam kitų kūnų gautam šilumos kiekiui.[17]

- Pirmiausia, pagal šilumos balanso lygtį sudarome saugykloje esančio produkto vidutinės temperatūros (sutelktų parametrų sistema) lygtis:

$$\frac{dT_p}{dt} = (K_1 \cdot P_m \cdot (T_{ip} - T_p) + \frac{L_s M_p (T - T_p)}{c_p}) / M_p \quad (1)$$

T_{ip} – įnešamų su paletėmis produkto temperatūra [$^{\circ}\text{C}$];

T_p – produkto esančio saugykloje temperatūra [$^{\circ}\text{C}$];

T – patalpos oro temperatūra [$^{\circ}\text{C}$];

L_s – šilumos perdavimo/kaitos koeficientas tarp produkto ir oro, [kJ/kg h C]

K_1 – įnešamų padėklų skaičius per valandą, [vienetai/h];

M_p – bendra padėklų su produktais masė saugykloje [kg];

c_p – produkto specifinė šiluma, [kJ/kg C];

P_m – vidutinė vieno padėklo masė (priimame, kad įnešamo ir išnešamo masės sutampa), [kg]

- Antra, pagal šilumos balanso lygtį sudaroma saugykloje esančio oro vidutinės temperatūros (sutelktų parametrų sistema) lygtis:

$$\frac{dT}{dt} = (\rho F_1 \cdot (T_i - T) + \frac{L_s M_p (T_p - T)}{c_o}) / M_o \quad (2)$$

F_1 – įnešamo oro srautas, [m³/h];

ρ – oro tankis (priimame, kad įeinančio ir išeinančio oro tankis vienodas), [kg/m³]

T_i – įeinančio oro temperatūra [$^{\circ}\text{C}$];

M_p – bendra padėklų su produktais masė saugykloje [kg];

M_o – bendra oro masė saugykloje [kg];

c_o – oro specifinė šiluma, [kJ/kg C];

T_p – produkto esančio saugykloje temperatūra [$^{\circ}\text{C}$];

L_s – šilumos perdavimo/kaitos koeficientas tarp produkto ir oro, [kJ/kg h C]

T – patalpos oro temperatūra [$^{\circ}\text{C}$];

- Trečia, pagal medžiagų balanso lygtį sudaroma iš saugyklos patalpos ore esančios CO₂ vidutinės koncentracijos lygtis:

$$\frac{dC_{CO_2p}}{dt} = (F_1 (C_{CO_2} - C_{CO_2p}) + K_2 \cdot G_{CO_2} / \rho * (1 - C_{CO_2p})) / (M_o / \rho) \quad (3)$$

C_{CO_2} – CO₂ koncentracija ore, [kg/m³];

C_{CO_2p} – CO₂ koncentracija patalpoje, [kg/m³];

G_{CO_2} – Vieno krautuvo generuojamas CO₂ kiekis, [kg/h];

M_o – bendra oro masė saugykloje [kg];

ρ – oro tankis (priimame, kad įeinančio ir išeinančio oro tankis vienodas), [kg/m³]

K_2 – išnešamų padėklų skaičius per valandą, [vienetai/h];

- Ketvirta, pagal medžiagų balanso lygtį sudaroma saugyklos patalpos ore esančių vandens garų vidutinės koncentracijos lygtis:

$$\frac{dC_{H_2O_p}}{dt} = (F_1(C_{H_2O} - C_{H_2O_p}) + F_{sg} \cdot (C_{H_2O_s} - C_{H_2O_p})) / (M_o / \rho) \quad (4)$$

ρ – oro tankis (primame, kad įeinančio ir išeinančio oro tankis vienodas), [kg/m³]

C_{H_2O} – vandens garų koncentracija ore, [kg/m³];

$C_{H_2O_p}$ – vandens garų koncentracija patalpoje, [kg/m³];

$C_{H_2O_s}$ – vandens garų koncentracija ore, po atšaldymo, [kg/m³];

F_1 – įnešamo oro srautas, [m³/h];

F_{sg} – po šaldymo gražinamas oro srautas, [m³/h];

M_o – bendra oro masė saugykloje [kg];

- Penkta, pagal masių balanso lygtį sudaroma saugykloje esančio bendro produkto masės lygtis:

$$\frac{dM_p}{dt} = K_1 P_m - K_2 P_m \quad (5)$$

M_p – bendra padėklų su produktais masė saugykloje [kg];

K_1 – įnešamų padėklų skaičius per valandą, [vienetai/h];

K_2 – išnešamų padėklų skaičius per valandą, [vienetai/h];

P_m – vidutinė vieno padėklo masė (priimame, kad įnešamo ir išnešamo masės sutampa), [tonos]

- Šešta, pagal masės balanso lygtį sudarome saugykloje esančio oro masės lygtis:

$$\frac{dM_o}{dt} = F_1 \rho - F_2 \rho - F_n \rho - F_s \rho + F_{sg} \rho \quad (6)$$

ρ – oro tankis (primame, kad įeinančio ir išeinančio oro tankis vienodas), [kg/m³]

F_1 – įnešamo oro srautas, [m³/h];

F_2 – išnešamo oro srautas, [m³/h];

F_n – oro ištekėjimas dėl patalpos nesandarumų, [m³/h], $F_n = K_n \cdot ((M_p / \rho_p + M_o / \rho) \cdot V_{patalpos})$;

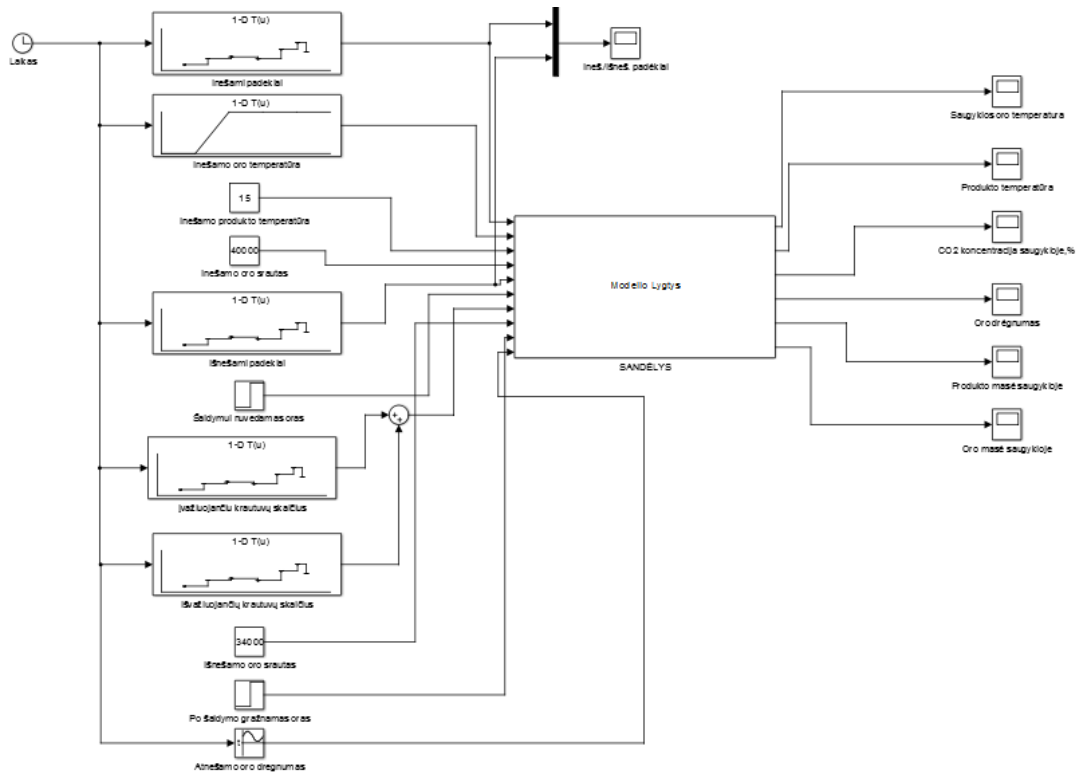
F_s – šaldymui nuvedamas oro srautas, [m³/h];

F_{sg} – po šaldymo gražinamas oro srautas, [m³/h];

3.1.6 pav. Modeliuojamos lygtys SIMULINK programos pakete

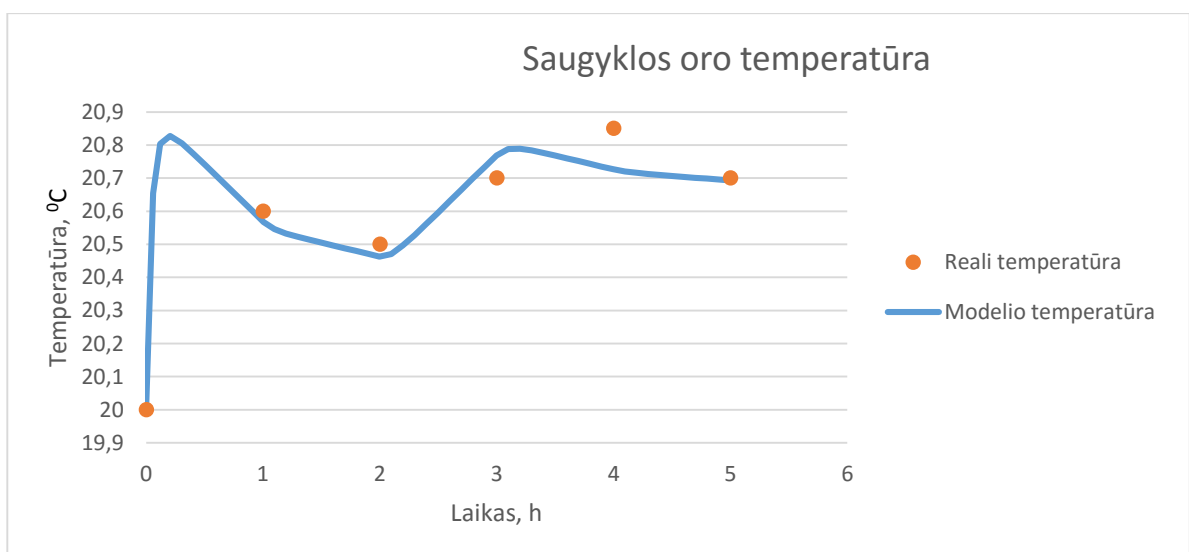
3.3. Kondicionavimo sistemos modelis SIMULINK programiniame pakete

Po atliktų bandymų buvo parašytos modeliavimo lygtys, sukurtas kondicionavimo sistemos valdymo modelis SIMULINK programiniame pakete, kuris atitinka tiriamą objektą bei pateikti modeliavimo grafikai, kuriuose matome oro drėgnumo pokytį, laikomos produkcijos temperatūros pokytį, patalpos temperatūros pokytį, CO₂ kiekio ir oro masės kitimas, produkcijos kiekio kitimas sandėliuojamoje patalpoje.

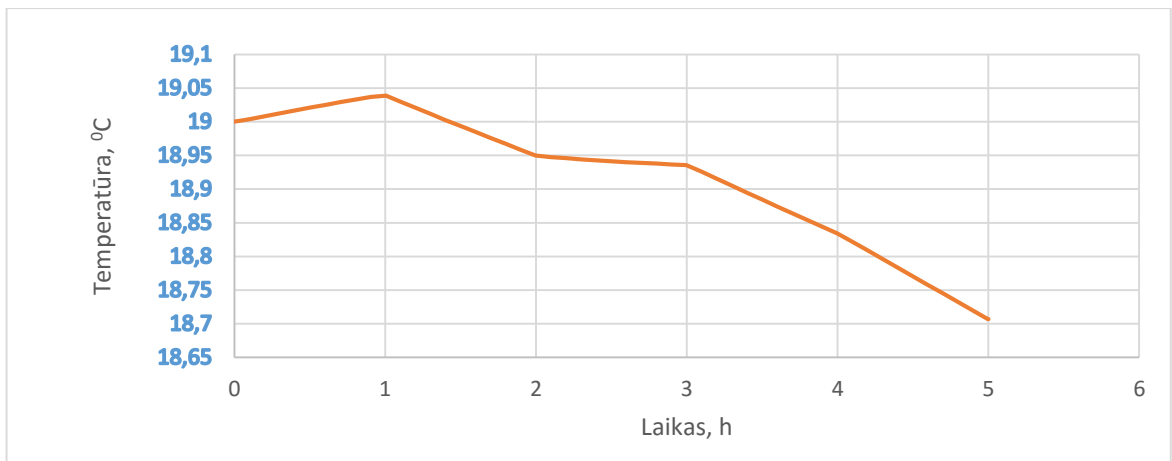


3.3.1 pav. Kondicionavimo sistemos valdymo modelis SIMULINK programiniame pakete

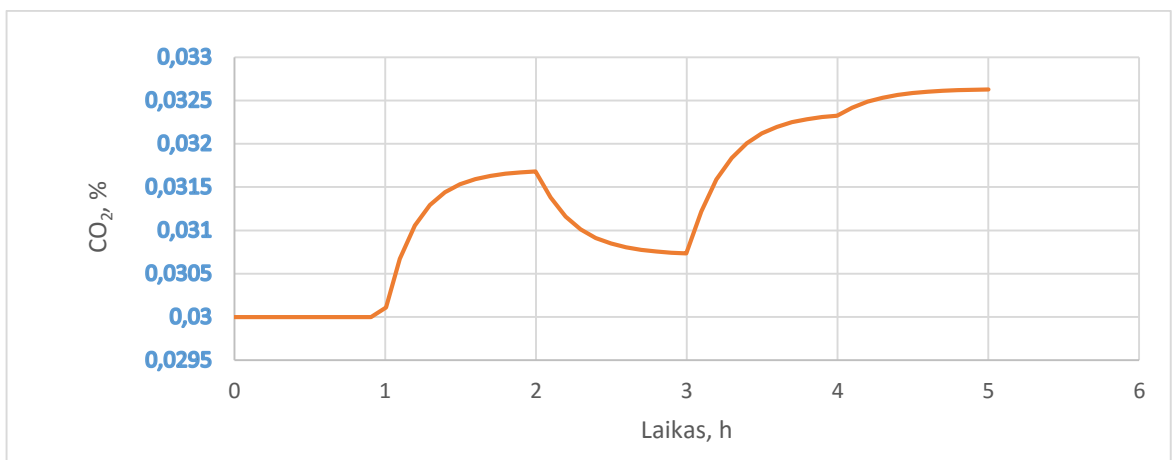
3.4. Modeliavimo rezultatai



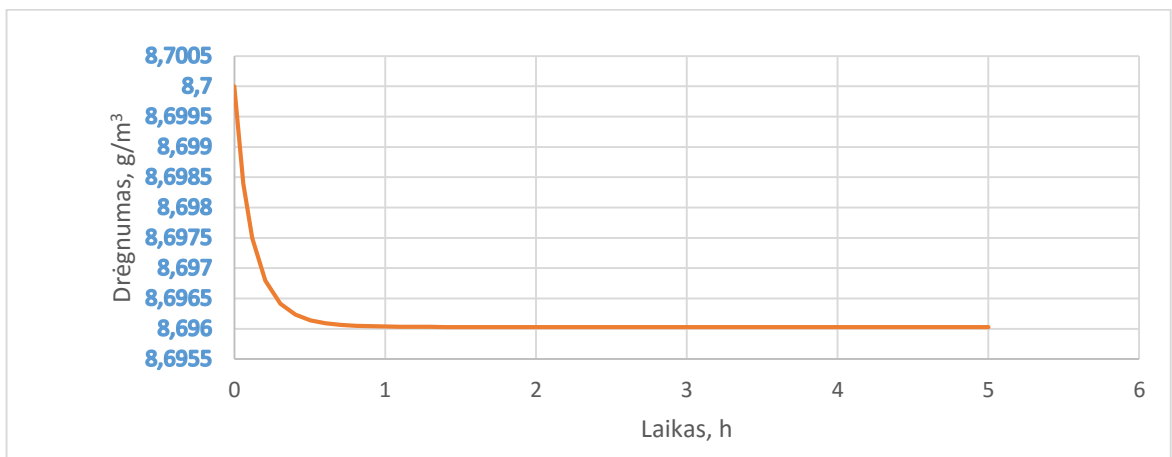
3.4.1 pav. Saugyklos temperatūros palyginimas realiu laiku ir Simulink programiniame pakete sukurto modelio.



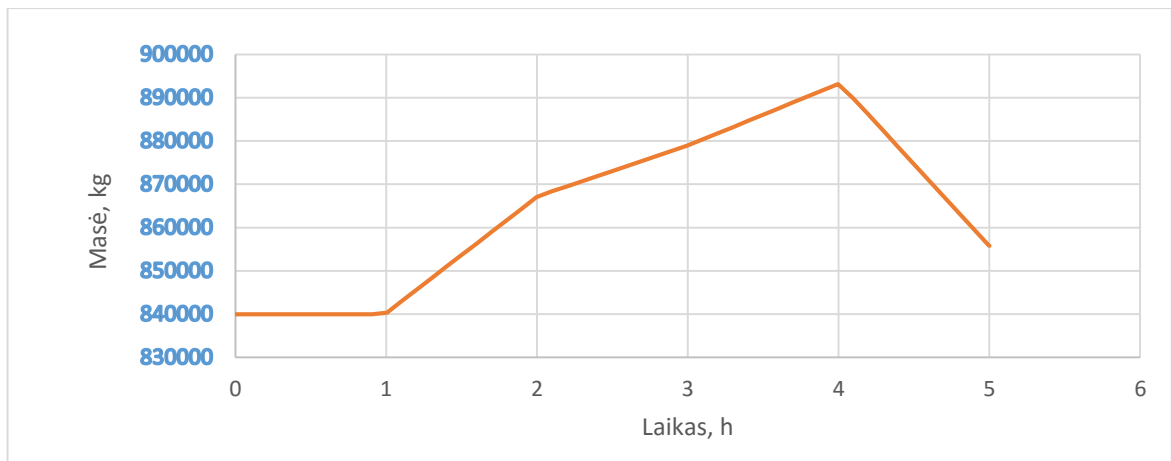
3.4.2 pav. Produkto temperatūros kitimas



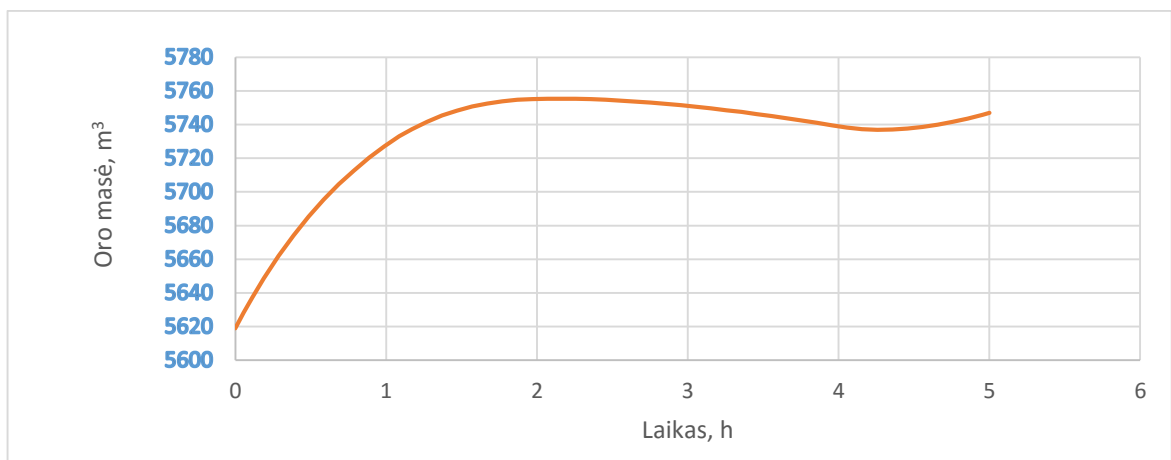
3.4.3 pav. CO₂ koncentracijos kitimas saugykloje



3.4.4 pav. Oro drėgnumo kitimas



3.4.5 pav. Produkto masės kitimas sandėlyje



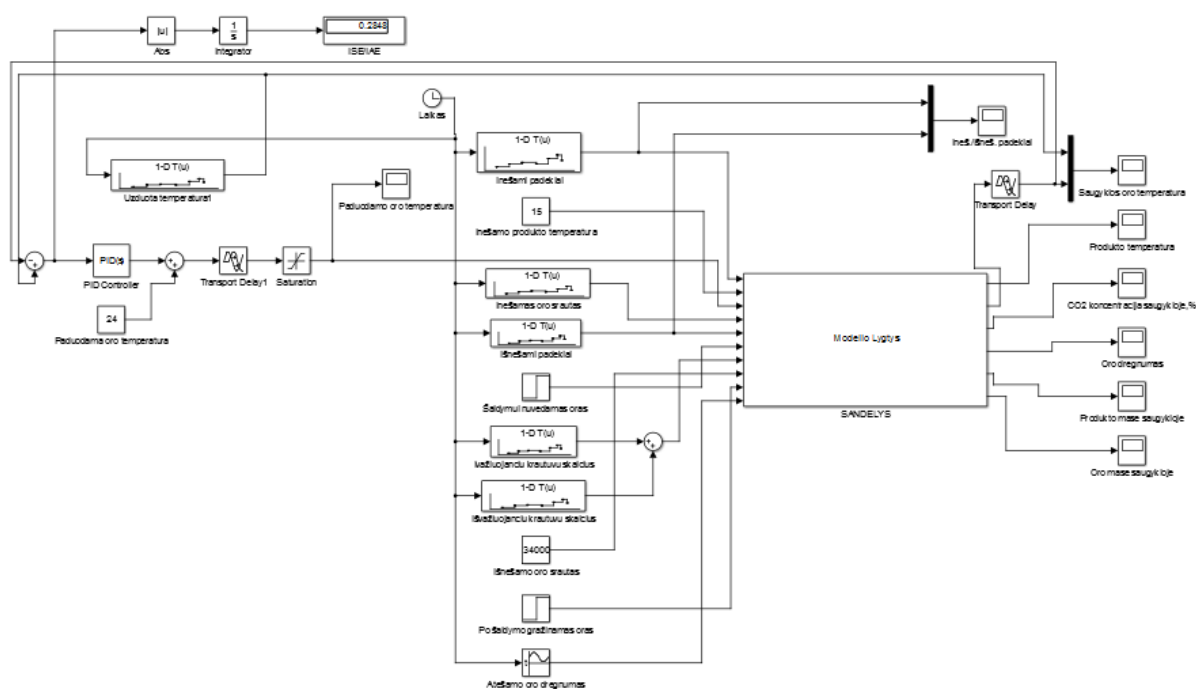
3.4.6 pav. Oro masės kitimas saugykloje

Modelis yra pakankamai adekvatus, tai galime spręsti iš grafiko 38 paveikslėlyje, kur pateikiama modeliuojama sandėlio temperatūra ir surinkti realūs duomenys. Jie yra tapatūs. Tad modelį galime naudoti saugyklos kondicionavimo sistemos režimų parinkimui.

4. KONDICIONAVIMO VALDYMO REŽIMŲ TYRIMAI

Siekiant užtikrinti patikimą gatavos produkcijos sandėlio kondicionavimą, turime tinkamai įvertinti ir iširti valdymo režimus. Tyrimui naudojamas objekto modelis bei reguliatorius, kuris turi būti tinkamai suderintas, siekiant užtikrinti tinkamą kondicionavimo sistemos veikimą.

Siekiant realizuoti visą matematinį modelį, prie objekto modelio prijungiamas PID reguliatorius, kuris imituoja valdiklio darbą atsižvelgdamas į veikiamus pasikeitimus aplinkoje.



4.1 pav. Valdymo režimų tyrimo modelis.

4.1. Reguliatoriaus parametrų parinkimas

Su turimu modeliu galima atlikti modeliavimą ir reguliatoriaus parametrų parinkimą. Reguliatoriaus parametrai nustatomi taip, kad sistemos pereinamasis procesas būtų racionalus. Pereinamasis procesas privalo būti slopinamas, trukmę kuo trumpiau, maksimalus reguliuojamo dydžio nuokrypis turi būti nedidelis.[16]

Reguliatoriaus parametrai parenkami taip, kad būtų užtikrinti tam tikri valdymo kokybės parametrai, kurie užtikrina reguliatoriaus kokybės charakteristikas:

- 1) maksimalus leistinas dinaminis nuokrypis;
- 2) maksimalus leistinas santykinis dinaminis nuokrypis;
- 3) leistinas liekamasis nuokrypis;
- 4) leistina reguliavimo trukmė.

Santykiniis dinaminis nuokrypis valdymo sistemoje, kai objektą veikia trikdžiai apskaičiuojamas įvertinant valdomojo parametro amplitudes. [16]

Mūsų atveju tiriama, kaip pasikeičia patalpos temperatūra, keičiant užduodamą temperatūrą ir paduodamą oro kiekį. Remiantis vartotojo reikalavimais, reguliatorius turi būti suderintas taip, kad užtikrinti sistemos perreguliuojimą ne didesnę negu 20 procentų, leistina maksimali nuokrypa neviršytų 2⁰C.

Norint tinkamai įvertinti reguliatorių mes pasirinkome du derinimo metodus, kurie sudaryti skirtingiems integraliniams kriterijams.

Pirmasis kriterijus :

1) absoliutinės paklaidos integralas (IAE):

$$IAE = \int_0^{\infty} |e(t)| dt \rightarrow \min$$

2) kvadratinės paklaidos integralas (ISE), kuriuo suteikiama išskirtinė didelių nuokrypių reikšmė:

$$ISE = \int_0^{\infty} e^2(t) dt \rightarrow \min$$

Atliekant šuolinės reakcijos eksperimentus reikia įvertinti, kad perdavimo funkcijos parametru nustatymo tikslumas tiesiogiai priklauso nuo eksperimentų tikslumo.

Turint proceso šuolinę reakcijos kreivę, perdavimo funkcijos parametrai gali būti nustatyti grafiniais, momentų plotų ir skaitmeniniais metodais.

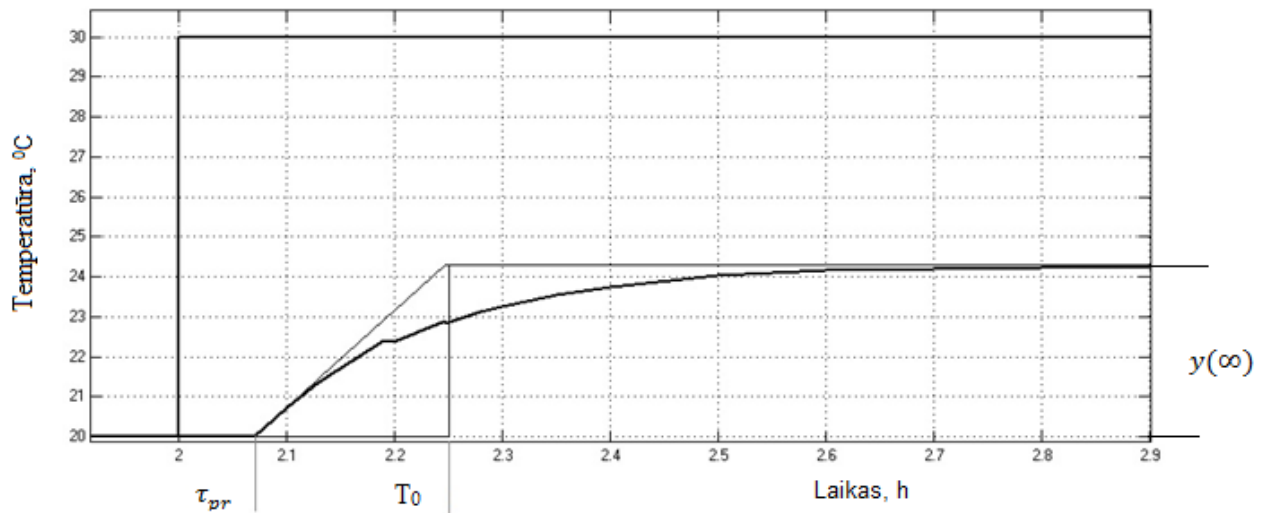
Automatinio derinimo procedūrose gali būti naudojami skaitmeniniai ir momentų metodai. Grafiniai metodai naudojami rankiniam derinimui. [18]

$$W_{pr}(s) = \frac{K_{pr}}{T_{pr}s+1} e^{-\tau_{pr}s} \quad (7)$$

Čia: K_{pr} - proceso stiprinimo koeficientas, T_{pr} - atstojamoji laiko pastovioji, τ_{pr} - atstojamoji vėlavimo trukmė, s - Laplaso operatorius.

Pasirinkus objekto reguliavimo dėsnį, apskaičiuojami reguliatoriaus derinimo parametrai. Naudojant valdymo sistemos modelį į atviros sistemos įėjimą paduodame šuolinę funkciją ir registruojame sistemos išėjimo dydžio kitimą laikui bėgant, kol pasiekiami stabilioji vertė. [18]

Perdavimo funkcijos parametrus apskaičiuojame liestinių metodu.



4.1.1 pav. Reakcijos kreivė, kurią naudojame skaičiavimams

Iš gauto grafiko apskaičiuojami visos sistemos perdavimo funkcijos parametrai:

$$\tau_{pr} = 0,07 \text{ h}, T_0 = 0,25 \text{ h}, \Delta u = 10, y(\infty) = 4,28.$$

Proceso stiprinimo koeficientas K_{pr} ir laiko pastovioji T_{pr} nustatomi taip:

$$K_{pr} = \frac{y(\infty)}{\Delta u} = \frac{4,28}{10} = 0,428 \text{ [} ^\circ\text{C}_{\text{patalpos}} / ^\circ\text{C}_{\text{paduodamo oro}} \text{]} \quad (8)$$

$$T_{pr} = T_0 - \tau_{pr} = 0,25 - 0,07 = 0,18 \quad (9)$$

Δu - šuoliškai pakeistas proceso įėjimo dydis.

Gavus šiuos parametrus ir remdamiesi klasikiniu PID reguliavimo dėsniumi, kuris išreikštas lygtimi:

$$u(t) = K_r \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right], \quad (10)$$

gauname regulatoriaus dedamąsias. [18]

Pirmiausia apskaičiuosime reguliatorių PI, PID reguliatorių parametrus, remiantis minimalia integruota kvadratine paklaida (ISE).

PI reguliatoriaus parametrų skaičiavimas (trikdžio atžvilgiu):

$$K_r = \frac{1,305}{K_{pr}} \left(\frac{T_{pr}}{\tau_{pr}} \right)^{0,959} = 7,543 \quad (11)$$

$$T_i = \frac{T_{pr}}{0,492} \left(\frac{\tau_{pr}}{T_{pr}} \right)^{0,739} = 0,182 \quad (12)$$

$$K_p = K_r = 7,543 \quad (13)$$

$$I = \frac{K_p}{T_i} = 41,377 \quad (14)$$

PID regulatoriaus parametų skaičiavimas (trikdžio atžvilgiu):

$$K_r = \frac{1,495}{K_{pr}} \left(\frac{T_{pr}}{\tau_{pr}} \right)^{0,945} = 7,761 \quad (15)$$

$$T_i = \frac{T_{pr}}{1,101} \left(\frac{\tau_{pr}}{T_{pr}} \right)^{0,771} = 0,0789 \quad (16)$$

$$T_d = 0,56 \cdot T_{pr} \left(\frac{\tau_{pr}}{T_{pr}} \right)^{1,006} = 0,039 \quad (17)$$

$$K_p = K_r = 7,761 \quad (18)$$

$$I = \frac{K_p}{T_i} = 98,365 \quad (19)$$

$$D = K_p \cdot T_d = 0,303 \quad (20)$$

Siekiant tinkamai išanalizuoti sistemą, apskaičiuosime reguliatorių parametrus remiantis minimalios integruotos absoliučiosios paklaidos formulėmis (IAE).

PI regulatoriaus parametų skaičiavimas (trikdžio atžvilgiu):

$$K_r = \frac{0,984}{K_{pr}} \left(\frac{T_{pr}}{\tau_{pr}} \right)^{0,986} = 5,834 \quad (21)$$

$$T_i = \frac{T_{pr}}{0,608} \left(\frac{\tau_{pr}}{T_{pr}} \right)^{0,707} = 0,152 \quad (22)$$

$$K_p = K_r = 5,834 \quad (23)$$

$$I = \frac{K_p}{T_i} = 38,407 \quad (24)$$

PI regulatoriaus parametų skaičiavimas (nuostato atžvilgiu):

$$K_r = \frac{0,758}{K_{pr}} \left(\frac{T_{pr}}{\tau_{pr}} \right)^{0,861} = 3,994 \quad (25)$$

$$T_i = \frac{T_{pr}}{\left[1,02 - 0,323 \left(\frac{\tau_{pr}}{T_{pr}} \right) \right]} = 0,201 \quad (26)$$

$$K_p = K_r = 3,994 \quad (27)$$

$$I = \frac{K_p}{T_i} = 19,871 \quad (28)$$

PID regulatoriaus parametų skaičiavimas (nuostato atžvilgiu):

$$K_r = \frac{1,086}{K_{pr}} \left(\frac{T_{pr}}{\tau_{pr}} \right)^{0,869} = 5,765 \quad (29)$$

$$T_i = \frac{T_{pr}}{\left[0,740 - 0,13 \left(\frac{\tau_{pr}}{T_{pr}} \right) \right]} = 0,261 \quad (30)$$

$$T_d = 0,348 \cdot T_{pr} \left(\frac{\tau_{pr}}{T_{pr}} \right)^{0,914} = 0,0264 \quad (31)$$

$$K_P = K_r = 5,765 \quad (32)$$

$$I = \frac{K_P}{T_i} = 22,088 \quad (33)$$

$$D = K_P \cdot T_d = 0,152 \quad (34)$$

PID regulatoriaus parametrų skaičiavimas (trikdžio atžvilgiu):

$$K_r = \frac{1,435}{K_{pr}} \left(\frac{T_{pr}}{\tau_{pr}} \right)^{0,921} = 8,002 \quad (35)$$

$$T_i = \frac{T_{pr}}{0,878} \left(\frac{\tau_{pr}}{T_{pr}} \right)^{0,749} = 0,101 \quad (36)$$

$$T_d = 0,482 \cdot T_{pr} \left(\frac{\tau_{pr}}{T_{pr}} \right)^{1,137} = 0,0296 \quad (37)$$

$$K_P = K_r = 8,002 \quad (38)$$

$$I = \frac{K_P}{T_i} = 79,228 \quad (39)$$

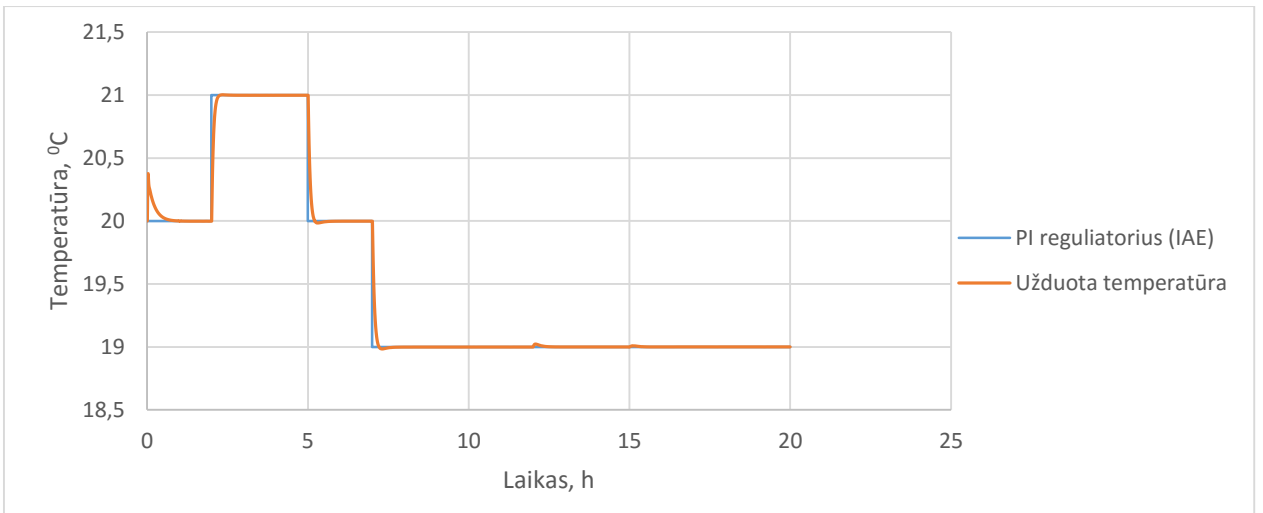
$$D = K_P \cdot T_d = 0,237 \quad (40)$$

4.1.1 lentelė. IAE kriterijaus reguliatorių derinimo rezultatai

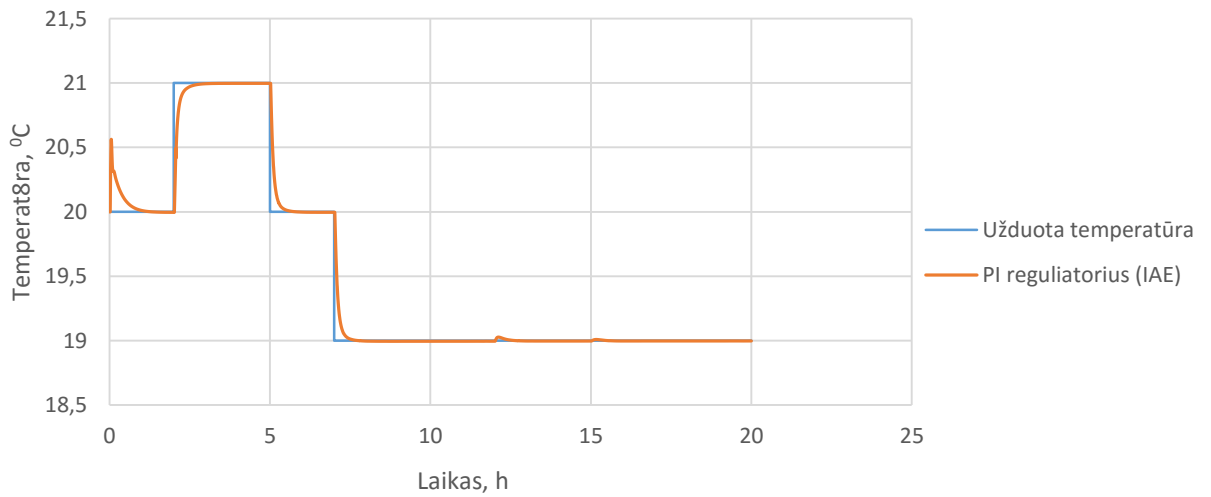
Regulatorius	Reakcijos tipas	Regulatoriaus derinimo parametrai	Regulatoriaus parametrai MATLAB aplinkoje	IAE	Grafikas
PI	Trikdys	$K_r = 5,834$ $T_i = 0,152$	$K_P = 5,834$ $I = 38,407$	0,2951	4.1.2 pav.
	Nuostatas	$K_r = 3,994$ $T_i = 0,201$	$K_P = 3,994$ $I = 19,871$	0,5223	4.1.3 pav.
PID	Trikdys	$K_r = 8,002$ $T_i = 0,101$ $T_d = 0,0296$	$K_P = 8,002$ $I = 79,228$ $D = 0,237$	0,2079	4.1.4 pav.
	Nuostatas	$K_r = 5,765$ $T_i = 0,261$ $T_d = 0,0264$	$K_P = 5,765$ $I = 22,088$ $D = 0,152$	0,4611	4.1.5 pav.

4.1.2 lentelė. ISE kriterijaus reguliatorių derinimo rezultatai (trikdžio atžvilgiu)

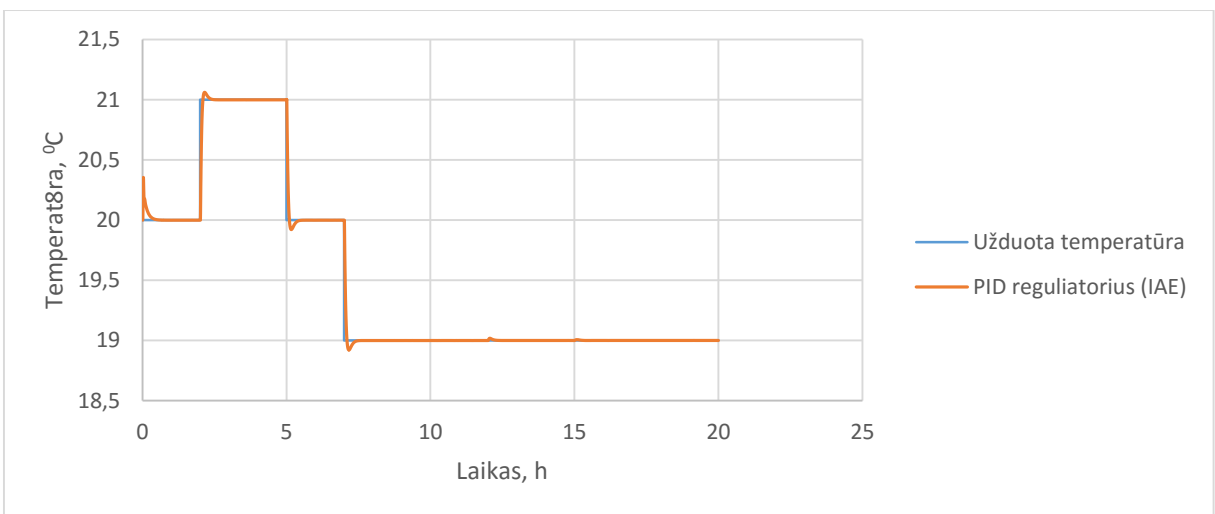
Regulatorius	Regulatoriaus derinimo parametrai	Regulatoriaus parametrai MATLAB aplinkoje	ISE	Grafikas
PI	$K_r = 7,543$ $T_i = 0,182$	$K_P = 7,543$ $I = 41,377$	0,1061	4.1.6 pav.
PID	$K_r = 7,761$ $T_i = 0,0789$ $T_d = 0,039$	$K_P = 7,761$ $I = 98,365$ $D = 0,303$	0,09279	4.1.7 pav.



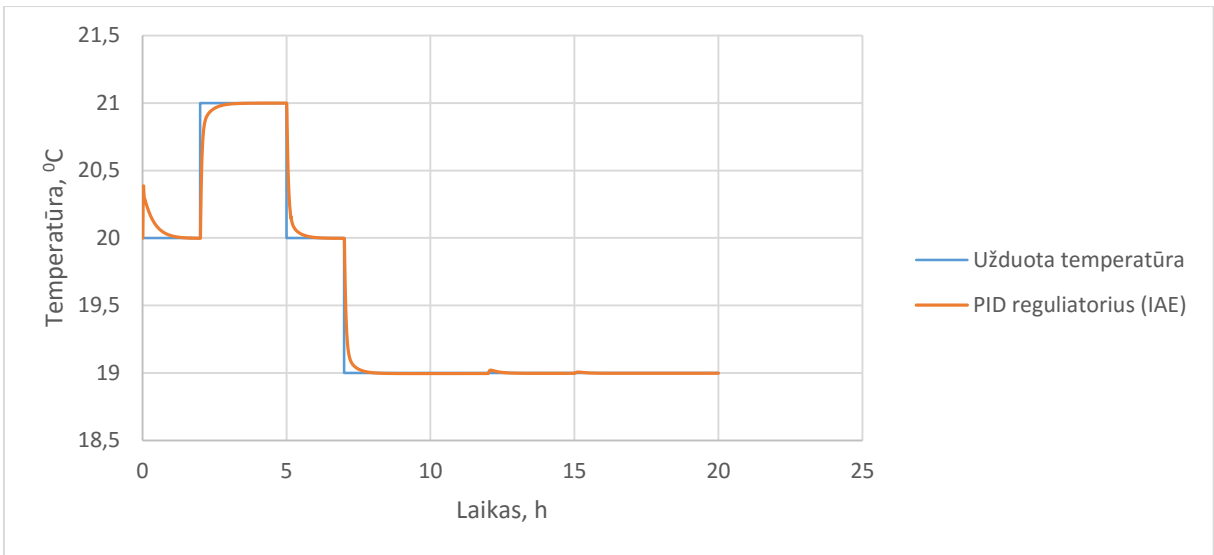
4.1.2 pav. PI reguliatoriaus darbas taikant IAE kriterijus (derinimas trikdžio atžvilgiu)



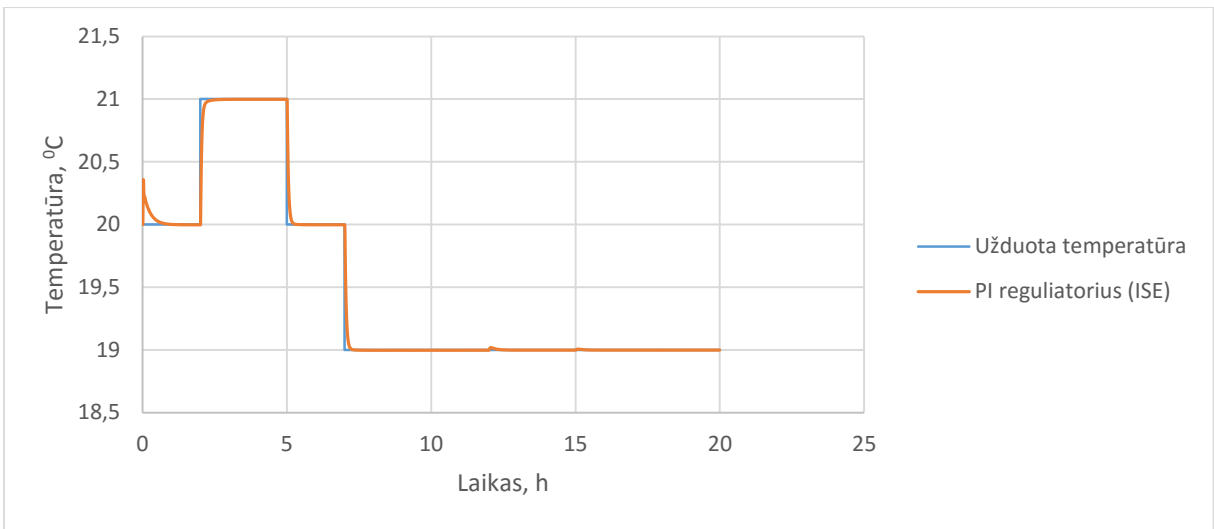
4.1.3 pav. PI reguliatoriaus darbas taikant IAE kriterijus (derinimas nuostatos atžvilgiu)



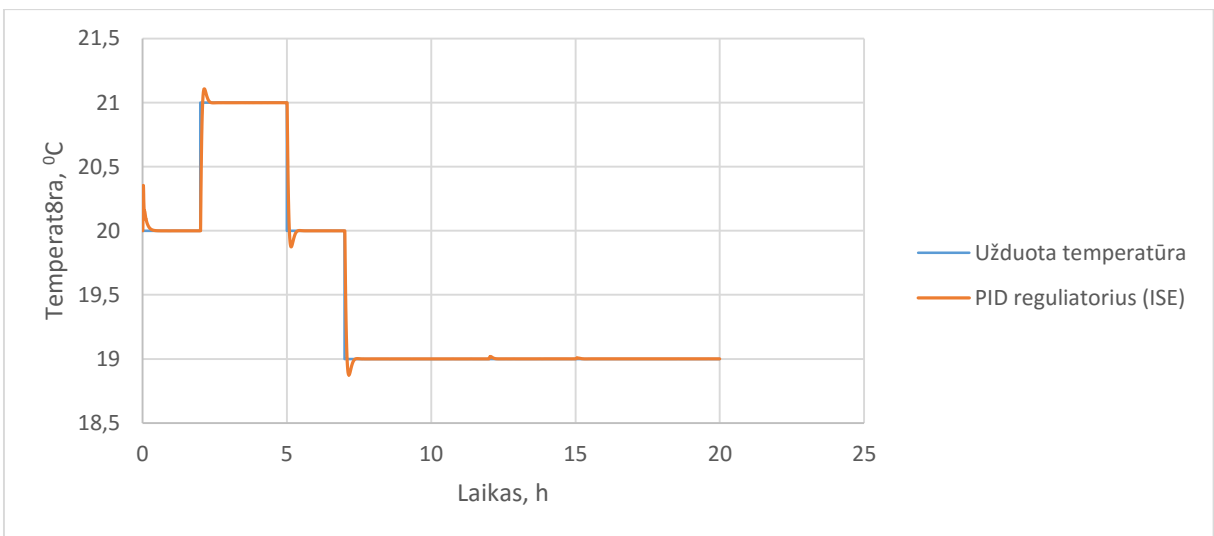
4.1.4 pav. PID reguliatoriaus darbas taikant IAE kriterijus (derinimas trikdžio atžvilgiu)



4.1.5 pav. PID regulatoriaus darbas taikant IAE kriterijus (derinimas nuostatos atžvilgiu)



4.1.6 pav. PI regulatoriaus darbas taikant ISE derinimo kriterijus (derinimas trikdžio atžvilgiu)

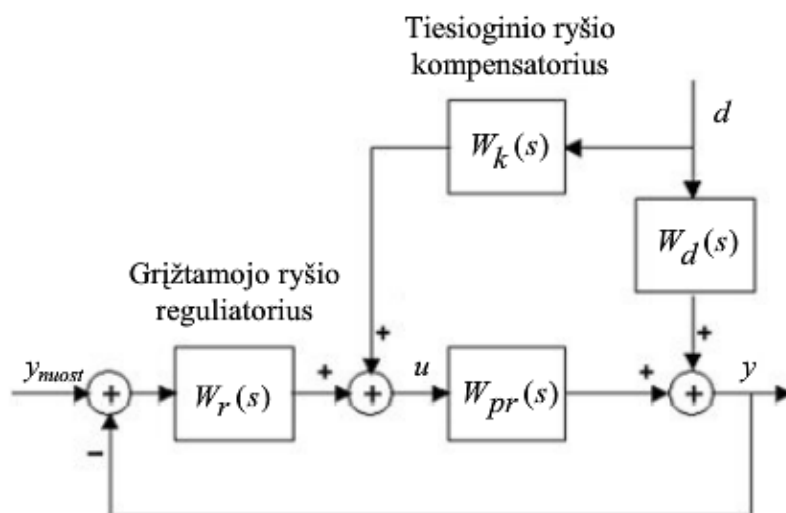


4.1.7 pav. PID regulatoriaus darbas taikant ISE derinimo kriterijus (derinimas trikdžio atžvilgiu)

4.2. Valdymo sistema su tiesioginiu/grįžtamoju ryšiu

Naudojant grįžtamojo ryšio sistemą buvo gauti gana geri temperatūros reguliavimo rezultatai. Temperatūros reguliavimas buvo atliekamas keičiant paduodamo oro temperatūrą, tačiau saugykloje papildomai buvo reguliuojama CO₂ koncentracija ir drėgmė ore. Šis reguliavimas atliekamas keičiant paduodamo oro srautą, kuris gali keistis didelėse ribose ir temperatūrų reguliavimo sistemoje veikia, kaip trikdys.

Trikdžio eliminavimui galima panaudoti kombinuotą tiesioginio/grįžtamojo ryšio valdymo (trikdžio kompensavimo) sistemą. Tam naudojame valdymo sistemą:



4.2.1 pav. Tiesioginio grįžtamojo ryšio valdymo sistemos struktūra [18]

Šiuo atveju tiesioginio ryšio kompensavimas $W_k(s)$ atliekamas naudojant formulę:

$$W_k(s) = - \left(\frac{W_d(s)}{W_{pr}(s)} \right). \quad (41)$$

Naudojame proceso modelį:

$$W_{pr}(s) = \frac{K_{pr} e^{-\tau_{pr}s}}{T_{pr}s+1}. \quad (42)$$

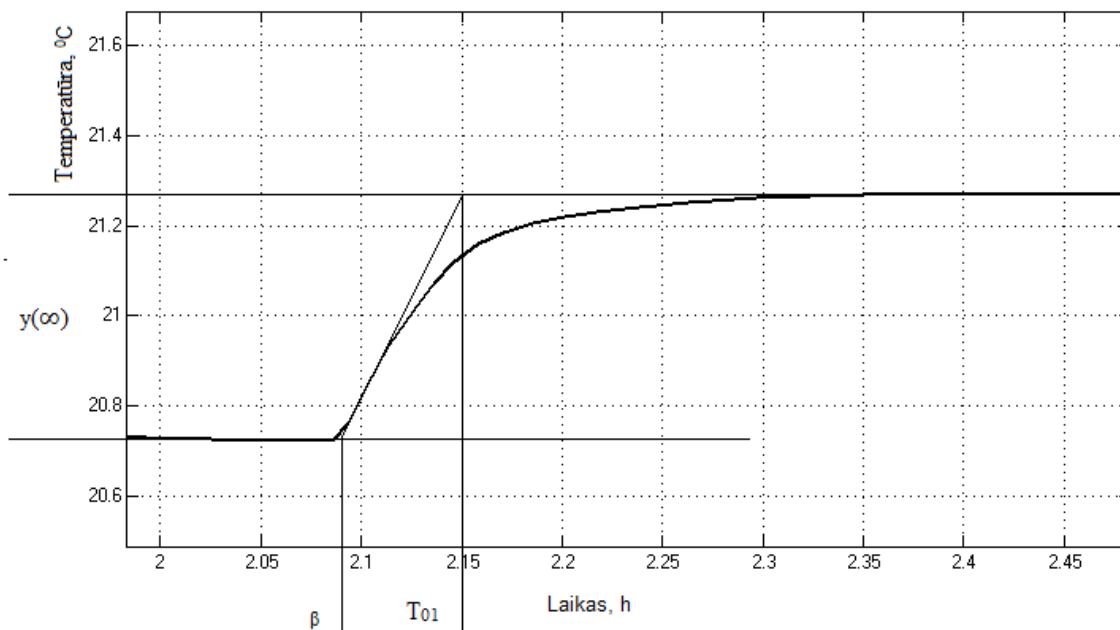
Trikdžio veikimo modelį:

$$W_d(s) = \frac{K_d e^{-\beta s}}{T_d s+1}. \quad (43)$$

Tuomet kompensavimo grandies perdavimo funkcija įgauna tokią formą:

$$W_k(s) = - \frac{K_d e^{-\beta s}}{T_d s+1} \frac{T_{pr}s+1}{K_{pr} e^{-\tau_{pr}s}} = -K_k \frac{T_{pr}s+1}{T_d s+1} e^{-\gamma s} \quad (44)$$

Pirmiausia nusistatome proceso modelio ir trikdžio veikimo modelio parametrus. Tam pakeičiame šuoliškai įėjimą $u(t)$ ir trikdantįjį poveikį $d(t)$. Proceso modelis pateiktas ankstesniame skyriuje 4.1 pav. Toliau atliekame trikdžio poveikio modelio identifikavimą.



4.2.2 pav. Reakcijos kreivė, kurią naudojame skaičiavimams

Trikdžio reakcijos grafikas pateiktas 4.2.2 paveiksle. Iš gauto grafiko apskaičiuojami trikdžio perdavimo funkcijos parametrai:

$$\beta = 0,088 \text{ h}, T_{01} = 0,15 \text{ h}, \Delta u = 80000, \Delta y(\infty) = 0,55.$$

Proceso stiprinimo koeficientas K_d ir laiko pastovioji T_d nustatomi taip:

$$K_d = \frac{\Delta y(\infty)}{\Delta u} = \frac{0,55}{80000} = 0,00000688 \quad [^{\circ}\text{C}/\text{m}^3] \quad (45)$$

$$T_d = T_{01} - \beta = 0,15 - 0,088 = 0,062 \quad (46)$$

Apskaičiuojame kompensavimo grandies $W_k(s)$ perdavimo funkcijos dedamąsias:

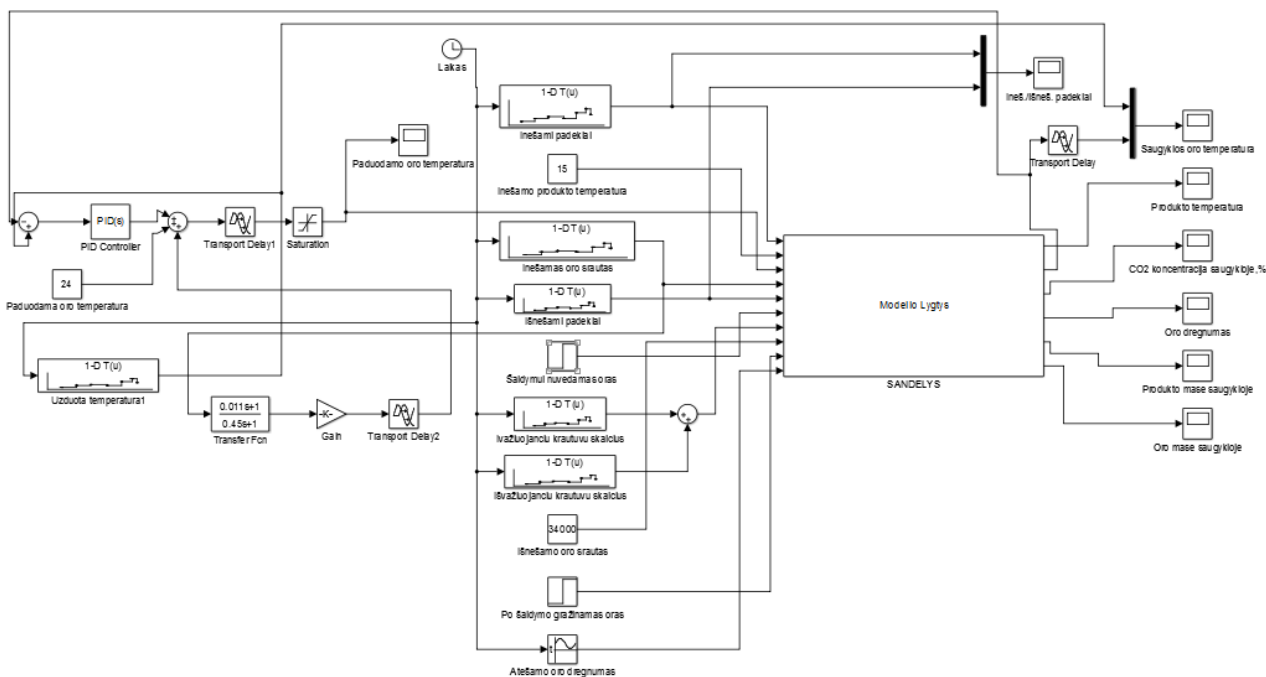
$$K_k = \frac{K_d}{K_{pr}} = \frac{0,00000688}{0,428} = 0,0000016 \quad (47)$$

$$\gamma = \beta - \tau_{pr} = 0,088 - 0,07 = 0,018 \quad (48)$$

$$T_{pr} = 0,18$$

$$K_{pr} = 0,428$$

Apskaičiavus elementus tiesioginiam ryšiui valdyti, pritaikome tiesioginio grįžtamojo ryšio valdymo sistemą prie esamo modelio.

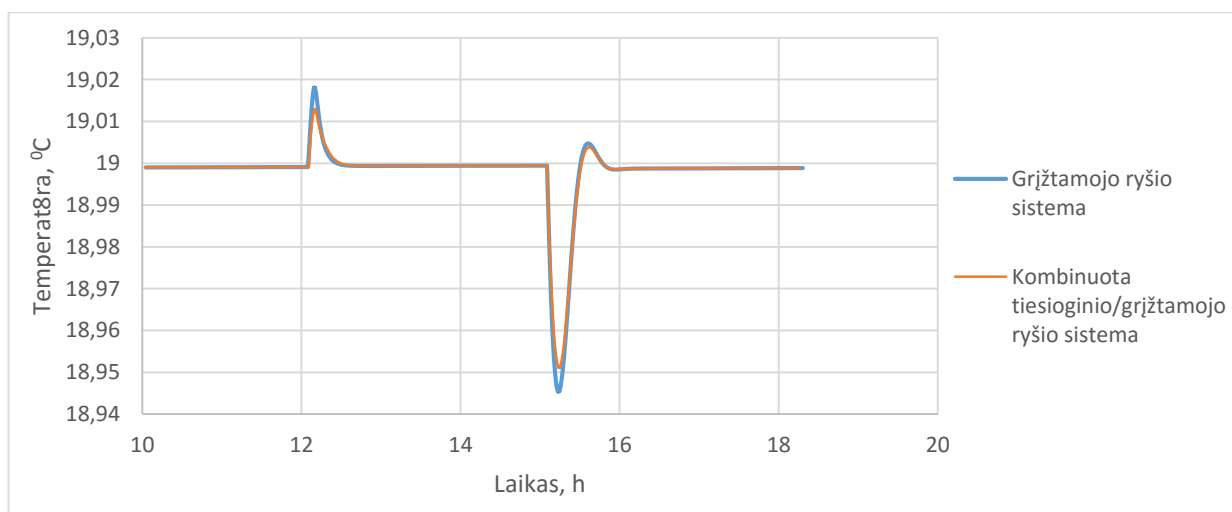


4.2.3 pav. Modelis su tiesioginio/grįžtamojo ryšio valdymo sistema

Surašome gautus duomenis į kompensavimo grandies perdavimo funkciją ir į modelį.

$$W_k(s) = -K_k \frac{T_{pr}s+1}{T_d s+1} e^{-\gamma s} = -0,0000016 \frac{0,18s+1}{0,062+1} e^{-0,018s} \quad (48)$$

Įvedus nustatytą kompensavimo grandį, atliekame valdymo sistemos modeliavimą, sistemai veikiant oro padavimo srauto trikdžiui. Modeliavimo rezultatai pavaizduoti 4.2.4 pav. Kaip matome iš modeliavimo rezultatų pasiūlyta kompensavimo trikdžio grandis, tik neženkliai įtakoja patalpos temperatūros reguliavimo kokybę. Tai gali būti paaiškinama tuo, kad trikdžio įtaka nėra didelė ir vien grįžtamojo ryšio sistema jį pakankamai gerai eliminuoja.



4.2.4 pav. Sistemos palyginimas su ir be tiesioginio ryšio

IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

- 1) Apžvelgtos kondicionavimo sistemos, aprašytas veikimas bei pateikta įrengtų sistemų pavyzdžiai.
- 2) Išanalizuota UAB „Kalnapilio – Tauro grupė“ gatavos produkcijos sandėlio kondicionavimo sistema. Pateikta funkcinė schema su aprašymu bei pateikti pasiūlymai prietaisų, kurie palengvintų kondicionavimo sistemos veikimą, priežiūrą.
- 3) Surinkti realūs duomenys, kurių pagrindu sudarytos lygtys ir sukurtas matematinis modelis Simulink Matlabo programiniame pakete. Palyginus matematinio modelio ir realių bandymų duomenis nustatyta, kad modelis atitinka realius duomenis ir gali būti naudojamas įvairiems režimams tirti.
- 4) Atlikti valdymo režimų tyrimai. Parinktas PI, PID reguliatorius, kurie buvo suderinti taikant minimalią integruotą kvadratinę paklaidą (ISE) ir minimalią integruotą absoliučiąją paklaidą (IAE). Reguliavimo kokybė tenkina sistemai keliamus reikalavimus. Tai pat buvo įvertinta tiesioginio/grįžtamojo ryšio valdymo sistema, tačiau gauti rezultatai parodė, kad šiuo atveju sistemos reguliavimo kokybės pagerėjimas nėra ypač ženklus, todėl dėl paprastumo proceso valdymui gali būti naudojama vien tik grįžtamojo ryšio sistema.
- 5) Modelis yra adekvatus realiam procesui, tad jis gali būti naudojamas tiriant įvairius valdymo režimus, kurie galėtų būti pritaikyti gatavos produkcijos sandėlio kondicionavimo valdymo sistemoje.

INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS

1. <http://www.hidroteka.com/lt/prekiu-katalogas/daznio-keitikliai-ir-servo-pavaros/daznio-keitikliai-asinchroniniams-varikliams/delta-electronics-vfd-e-serija/2/delta-electronics-vfd220e43a-869> . Prieiga per internetą [žiūrėta 2015-06-10]
2. <http://www.hidroteka.com/lt/prekiu-katalogas/procesu-vizualizacija-hmi/grafiniai-operatoriaus-pultai/3/tp70p-16tp1r-placiaekranis-ryskiu-spalvu-lieciamasis-operatoriaus-pultas-591> . Prieiga per internetą [žiūrėta 2015-06-10]
3. <http://www.hidroteka.com/lt/prekiu-katalogas/proceso-reguliatoriai-indikatoriai-signalu-keitikliai-ir-registravimo-iranga-savirasiai/temperaturos-indikatoriai> . Prieiga per internetą [žiūrėta 2015-06-10]
4. <http://www.hidroteka.com/lt/prekiu-katalogas/proceso-reguliatoriai-indikatoriai-signalu-keitikliai-ir-registravimo-iranga-savirasiai/analoginiu-proceso-signalu-indikatoriai/1/m4ys-na-420ma-signalu-indikatorius-118> . Prieiga per internetą [žiūrėta 2015-06-10]
5. <http://www.hidroteka.com/lt/prekiu-katalogas/jutikliai-ir-ju-priedai/temperaturos-jutikliai/1/tsatsaltsab-istatomi-temperaturos-jutikliai-178> . Prieiga per internetą [žiūrėta 2015-06-10]
6. <http://www.hidroteka.com/lt/prekiu-katalogas/jutikliai-ir-ju-priedai/slegio-jutikliai/1/dpt-serijos-dif-slegio-jutikliai-536> . Prieiga per internetą [žiūrėta 2015-06-10]
7. <http://www.pnamas.lt/davikliai/aqs71-kam-anglies-dvideginio-koncentracijos-daviklis.html> . Prieiga per internetą [žiūrėta 2015-06-10]
8. <http://www.baltesa.lt/-temperatros-jutikliai-ir-keitikliai/726-temperaturos-ir-dregmes-jutiklis.html> . Prieiga per internetą [žiūrėta 2015-06-10]
9. Kalnapilio UAB, techninė dokumentacija
10. <http://www.vilniausprojektas.lt/straipsniai/entry/viskas-apie-vedinimo-sistemas.html> . Prieiga per internetą [žiūrėta 2015-05-05]
11. <http://sa.lt/baltic-hearts-pulsuoja-siandienos-verslo-ritmu/5/> . Prieiga per internetą [žiūrėta 2015-05-05]
12. JUODIS E. *Vėdinimas*. Vilnius, 2008. p. 15-28
13. LIPINSKIS T. *Daugiafazių dažnio keitiklių įtampos formavimo metodų analizė*. 2013. p. 119-124
14. MATKEVIČIUS E. *Programuojamieji loginiai valdikliai*. 2012. p.6-10
15. ALEKSA V.; GALVANAUSKAS V. *Technologinių procesų automatizavimas ir valdymas*. KTU leidykla "Technologija". Kaunas, 2008. p. 284. ISBN 978-609-02-0100-8
16. BALŽEKAS K. *Automatizavimo sistemų schemotechnika*, mokomoji knyga. Kaunas, 2011.

17. SIMUTIS R. *Procesų modeliavimas ir identifikavimas*, paskaitų konspektas
18. LEVIŠAUSKAS D. *Automatinio reguliavimo sistemų derinimas*, mokytoji knyga. Vilnius, 2008.