

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
INFORMATIKOS FAKULTETAS  
KOMPIUTERIŲ KATEDRA

Vytautas Jasaitis

**Gyvenamojo namo šildymo ir vėdinimo sistemos  
kompiuterinio valdymo modelio sudarymas ir tyrimas  
naudojant miglotąją logiką**

Magistro darbas

Darbo vadovas  
prof. E. Kazanavičius

Kaunas, 2005

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
INFORMATIKOS FAKULTETAS  
KOMPIUTERIŲ KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas  
(parašas) prof. E. Kazanavičius  
2005 05 17

**Gyvenamojo namo šildymo ir vėdinimo sistemos  
kompiuterinio valdymo modelio sudarymas ir tyrimas  
naudojant miglotąją logiką**

Informatikos mokslo magistro baigiamasis darbas

Kalbos konsultantė  
Lietuvių k. katedros lekt.  
(parašas) dr. Jurgita Mikelionienė  
2005 05 17

Recenzentas  
(parašas) doc. P. Kanapeckas  
2005 05 17

Vadovas  
(parašas) prof. E. Kazanavičius  
2005 05 17

Atliko  
IFM-9/1 gr. stud.  
(parašas) V. Jasaitis  
2005 05 17

Kaunas, 2005

## Turinys

1.	Įvadas.....	4
2.	Valdymo procesų formalųjų metodų analizė.....	6
2.1.	Tyrimo sritis .....	6
2.2.	Tyrimo objektas ir problema .....	7
2.3.	Realiojo laiko sistemos.....	9
2.4.	Sistemos modeliavimo metodų apžvalga .....	11
2.5.	Miglotoji logika .....	13
2.6.	Modelio analizė .....	19
2.6.1.	Šildymo ir vėdinimo sistemų tipai.....	19
2.6.2.	Sistemos procesų analizė.....	21
2.7.	Analizės išvados .....	23
3.	Teorinis tyrimas.....	24
3.1.	Šildymo vėdinimo sistemos teorinis modelis.....	24
3.2.	Funkcinių elementų matematiniai modeliai .....	25
3.3.	Šildymo vėdinimo sistemos valdiklio modelis.....	27
4.	Ekspperimentai ir tyrimai .....	30
4.1.	Šildymo vėdinimo sistemos matematinio modelio tyrimas.....	30
4.2.	Šildymo vėdinimo sistemos matematinio modelio, kurio valdiklio sudarymui naudojama miglotoji logika, tyrimas .....	34
4.3.	Šildymo ir vėdinimo skaitmeninio valdymo modelių, sudarytų naudojant miglotąją logiką ir laikinius Petri tinklus, palyginimas .....	43
5.	Išvados.....	46
6.	Literatūra .....	47
7.	Summary.....	48
	Priedai.....	49
1.	Straipsnis .....	49
2.	Kompaktinė plokštelė.....	54

# 1. Įvadas

Šiuolaikinis mokslas ir technologijos vis daugiau dėmesio skiria įvairioms kasdieninėms žmogaus atliekamoms operacijoms palengvinti ar šios veiklos naujiems principams atrasti. Asmeninis kompiuteris tapo įprastu dalyku namuose, o vėliau jau nieko nestebins kompiuterizuoti namai. Žmogus labai noriai priima į savo kasdieninį gyvenimą priemones ir technologijas, kurios ne tik padeda taupyti laiką ir pinigus, bet ir pagerina komfortą bei pakelia gyvenimo lygį. Iki šiol pagrindinis dėmesys komunalinėse sistemose buvo skiriamas apskaitos duomenų surinkimui ir iš dalies nuotoliniam valdymui, bet ne galutinio vartotojo gyvenimo komforto sąlygoms gerinti, energijos sąnaudoms minimizuoti ar būsto veiklai optimizuoti. Augančios energijos išteklių kainos, besikeičiantys vartotojų poreikiai formuoja naują požiūrį į komunalinių sistemų atliekamas funkcijas. Modernios komunalinės ir informacinės sistemos leis vartotojams susikurti savo būste optimalias sąlygas ir naudoti energetinius išteklius pagal kiekvieno vartotojo poreikius bei finansines galimybes.

Žmogaus komfortui skiriama vis daugiau dėmesio. Technologijų pažangos dėka gyvenimo kokybės gerinimui reikia vis mažiau sąnaudų. Todėl komfortiško, taupaus, ekologiškai subalansuoto būsto vizija tampa realybe. Įrengiant naujus būstus ar rekonstruojant senus, vis dažniau įdiegiamos įvairios komforto gerinimo priemonės, kurios tampa visiems prieinamos kasdieniniame gyvenime ir leidžia ne tik taupyti vartotojų laiką, mažinti būsto energijos sąnaudas ir sumažinti išlaidas komunalinių ir būsto administravimo paslaugų kainą.

Integravus naujausias technologijas į tradicines buitines sritis, tradicinės sistemos tampa „protingomis“, kurios yra taupios, stabilios, optimalios, savarankiškos (nereikalaujančios daug priežiūros). Tačiau pagrindinė problema yra tokios sistemos modelio sudarymas.

Darbo objektas yra gyvenamojo namo šildymo ir vėdinimo sistemos skaitmeninio valdymo modelio sudarymas. Tam, kad sukurti gerai veikiančią sistemą, reikia sudaryti matematinį modelį.

Darbo tikslas – išanalizuoti šiuo metu esančias šildymo ir vėdinimo valdymo sistemas ir sudaryti šildymo vėdinimo sistemos skaitmeninio valdymo modelį, kuris būtų lankstus, lengvai taikomas prie vartotojų poreikių, panaudojant intelektualius metodus ir algoritmus. Modelis turi būti lengvai taikomas nepriklausomai nuo objektų savybių ar jų kiekio.

Darbo užduotis - išanalizuoti ir parinkti tinkamiausius metodus šildymo ir vėdinimo kompiuterinio valdymo sistemos modeliui sudaryti.

Tikslui pasiekti reikia atlikti šiuos uždavinius:

- išanalizuoti šildymo vėdinimo sistemos procesus;
- ištirti modeliavimo metodus;

- sudaryti šildymo vėdinimo sistemos valdymo procesų modelį panaudojant mišrios logikos metodą;
- sudarius modelį atlikti išsamų jo tyrimą, patikrinti patikimumą ir stabilumą.

Analizės dalyje atlikta sistemos modeliavimo metodų ir šildymo vėdinimo procesų analizė.

Darbo teorinėje dalyje sudarytas šildymo vėdinimo sistemos matematinis modelis ir pasiūlyti šildymo vėdinimo sistemos kompiuterinio valdymo algoritmai bei modeliai.

Eksperimentinėje dalyje patikrintas šių modelių veikimo korektiškumas, stabilumas, patikimumas. Taip pat atliktas sudarytų modelių palyginimas.

Vykdamas „Adaptyvaus gyvenamojo namo“ projektą 2002m. gruodžio 13 d., jaunųjų mokslininkų darbų parodoje KTU TECHNORAMA '2002 laimėta II-oji vieta.

## 2. Valdymo procesų formaliųjų metodų analizė

### 2.1. *Tyrimo sritis*

Pagrindinė tyrimo sritis – šildymo vėdinimo sistemos valdymo kompiuterizavimas. Šią tyrimo sritį galima išskaidyti į keletą atskirų tyrimo sričių:

- Kompiuterizuotos šildymo vėdinimo sistemos procesai;
- Šildymo vėdinimo sistemos procesų kompiuterinis valdymas.

Kompiuterizuotos šildymo vėdinimo sistemos procesų sritį galima aprašyti taip:

- Kompiuterizuotos šildymo vėdinimo sistemos apibrėžimas;
- Kompiuterizuotos šildymo vėdinimo sistemos procesų charakteristikos.

Šildymo vėdinimo sistemos procesų kompiuterinio valdymo srities aprašomas:

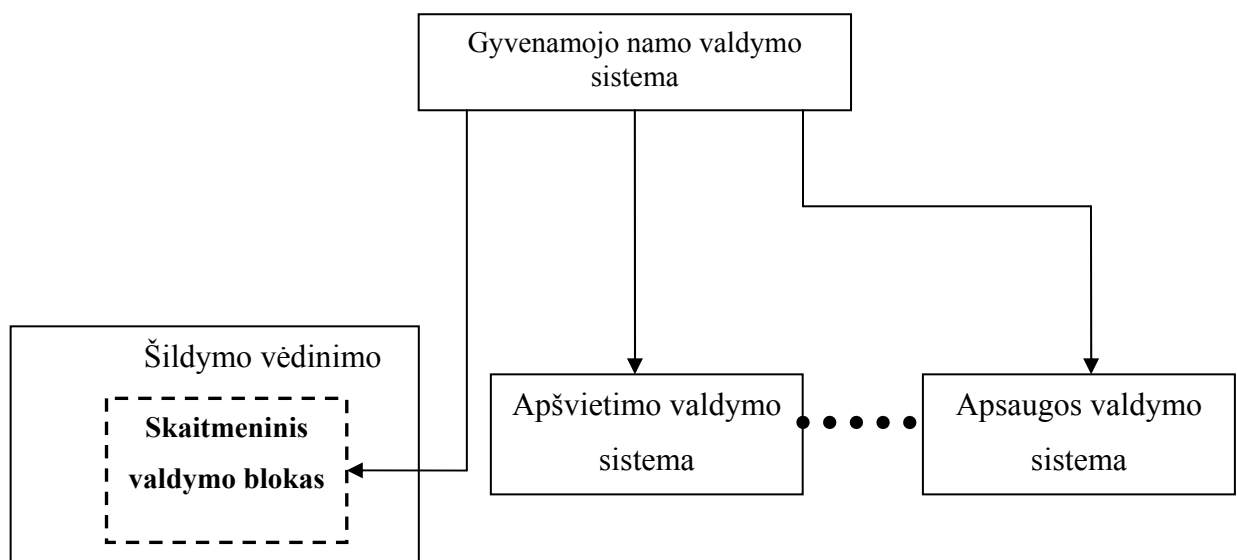
- Kokius šildymo vėdinimo sistemos valdymo procesus automatizuoti, siekiant sumažinti žmogaus laiką ir darbą, skiriamą sistemos aptarnavimui ir priežiūrai bei galimų klaidų skaičių;
- Šildymo vėdinimo sistemos naudingumo didinimas.

Abi anksčiau paminėtos sritys yra glaudžiai susijusios, jas būtina analizuoti ir vertinti jų neatskiriant. Kompiuterizuotos šildymo vėdinimo sistemos procesus būtina analizuoti siekiant išsiaiškinti procesų svarbą bei jų charakteristikas. Neišsiaiškinus procesų svarbos ir charakteristikų būtų sudėtinga šiuos procesus valdyti bei vertinti. Jei nenagrinėsime ir neįvertinsime kompiuterinio šildymo vėdinimo sistemos procesų valdymo, sistema išliks tokia pati kaip ir įprastinės valdymo sistemos, dėl to žmogaus įtaka sistemos valdymui nepasikeis, o žmogaus laiko ir darbo sąnaudos nemažės.

## 2.2. Tyrimo objektas ir problema

Darbo objektas yra gyvenamojo namo šildymo ir vėdinimo sistemos kompiuterinio valdymo modelio sudarymas. Plačiai yra publikuojamos tik įprastinės šildymo vėdinimo valdymo sistemos, tačiau nėra publikuojami šių sistemų kompiuteriniai valdymo modeliai ir jų procesų analizė, todėl nepavyko atlikti išsamios jų analizės.

Kompiuterizuota šildymo ir vėdinimo valdymo sistema yra viena iš kompiuterizuoto gyvenamojo namo sistemos sudedamųjų dalių (1 pav.).



1 pav. Kompiuterizuoto gyvenamojo namo sistema

Darbo užduotis – ištirti gyvenamojo namo šildymo ir vėdinimo sistemos procesų matematinį modelį ir sudaryti šios sistemos valdymo procesų skaitmeninį modelį.

Tiriant gyvenamojo namo šildymo ir vėdinimo sistemos kompiuterinio valdymo modelį susiduriama su problemomis, kurios pateikiamos 1 lentelėje.

1 lentelė. Tyrimo metu kylančios problemos

Problema	Problemos aprašymas
Stabilumas	Sistema turi dirbti stabiliai ir laiku atlikti visas jai skiriamas užduotis
Patikimumas	Sistema turi veikti patikimai, saugiai ir vykdyti visus vartotojo keliamus reikalavimus
Išplečiamumas	Sistema turi būti lengvai išplečiama atsiradus naujiems moduliams, taip pat lengvai turi būti pašalinami reikiami moduliai
Vartotojo sąsaja	Draugiška, paprasta ir ergonomiška vartotojo sąsaja
Žmogaus įtakos mažinimas	Žmogaus galimų klaidų mažinimas

Visos lentelėje (1 lentelė) pateiktos problemos yra svarbios, jas svarbu išanalizuoti. Sistemos stabilumas ir patikimumas yra vieni iš svarbiausių veiksnių. Nestabilus ir nepatikimas kompiuterinės šildymo vėdinimo valdymo sistemos darbas gali turėti daug skaudžių pasekmių. Sistema turi stabiliai ir patikimai vykdyti visus vartotojo keliamus reikalavimus, tai lemia ir sistemos populiarumą. Kiekvienas vartotojas nori stabilios ir patikimai veikiančios sistemos.

Sistemos plečiamumas, kaip ir vartotojo sąsaja, taip pat yra svarbūs veiksniai, lemsiantys sistemos populiarumą. Kompiuterinė šildymo vėdinimo valdymo sistema turi būti lengvai išplečiama atsiradus naujiems moduliams, taip pat lengvai turi būti pašalinami reikiami moduliai jiems moraliai pasenus ar vykdant sistemos atnaujinimą. Naujų modulių įdiegimas arba jų šalinimas turi būti vykdomas lengvai ir nereikalauti didelių išteklių. Vartotojo sąsaja turi būti draugiška, paprasta ir ergonomiška. Vartotojai, kurie naudosis vartotojo sąsaja bus paprasti žmonės, ne visi turintys galias žinias kompiuterijos srityje, todėl turi būti užtikrinamas vartotojo sąsajos aiškumas ir paprastumas. Sudėtingos sistemos atveju dažnai iškyla problema, kaip suderinti vartotojo sąsajos paprastumą ir sistemos efektyvumą.

Siekiant sumažinti žmogaus galimų klaidų kiekį, svarbu kiek galima daugiau sumažinti žmogaus įtaką sistemai. Žmogus kaip sistemos vartotojas gali daryti klaidų, jis gali įvesti klaidingą informaciją, užmiršti įvesti į sistemą parametrus ir panašiai. Žmogus gali ir piktavališkai neįvesti tam tikrų parametrų arba įvesti klaidingai. Visus procesus, kuriuos galima tiksliai aprašyti, reikia automatizuoti.



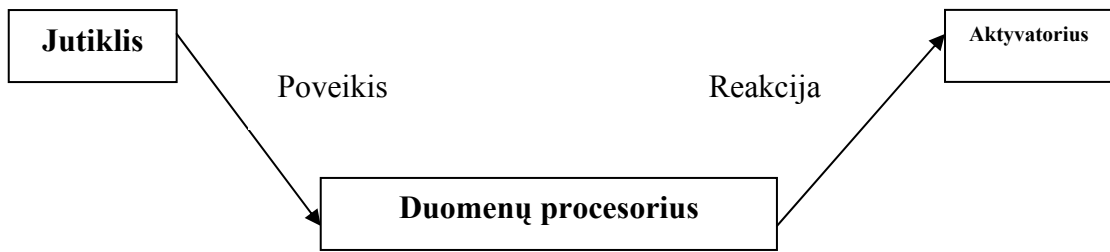
### **2.3. Realiojo laiko sistemos**

Realiojo laiko sistemos yra viena iš informacinių technologijų sričių. Jos naudojamos įvairiose svarbiose srityse: atominės ir chemijos pramonės įmonių, skrydžių valdymo, transporto valdymo sistemų, telekomunikacijų, pramonės automatizavimo, gynybinės sistemose ir kt. Tai tokios sistemos, kurios iš jutiklių informaciją diskretinių signalų forma apdoroja realiu laiku. Realiojo laiko sistemų realizavimui šiandien didelę reikšmę turi diskretinių signalų procesoriai ir skaitmeninio signalų apdorojimo sisteminė bei programinė įranga. Šiandien diskretinių signalų procesoriai gali būti efektyviai panaudoti automatikoje, buitinėje technikoje, valdymo sistemose, vaizdams apdoroti, pramoninėse sistemose, prietaisų technikoje, medicinoje, gynybinėse sistemose, telekomunikacijose, vaizdų ir kalbos apdorojimo sistemose. Šie mikrokompiuteriai yra pakankamai pigūs, lankstūs ir gali būti panaudoti spręsti įvairius taikymo uždavinius, susijusius su būsto kompiuterizavimo ir gyvenimo kokybės užtikrinimu [1].

Laikas realiojo laiko sistemai yra esminis kriterijus. Realiojo laiko sistema yra tokia sistema, kuri garantuoja, kad išėjimo vėlinimas nebus ilgesnis nei nustatytas maksimumas. Tai reiškia, kad sistema privalo reaguoti per tam tikrą laiką. Realiojo laiko sistemos skaičiavimų korektiškumas priklauso ne tik nuo loginių taisyklių teisingumo, bet ir nuo laiko, bet kuri skaičiavimai yra atliekami, kitaip sakant, skaičiavimai su pavėlavusiais duomenimis gali būti nekorektiški.

Realaus laiko sistemos realizuojamos programiniais arba aparatiniais būdais. Realaus laiko programinės įrangos sistema yra sistema, kurios veikimo efektyvumas laipsniškai mažėja, jei rezultatai nėra gaunami pagal apibrėžto laiko reikalavimus. Realaus laiko aparatinės įrangos sistema yra sistema, kurios veikimas yra neteisingas, jei rezultatai nėra gaunami per nustatytą specifikacijoje laiką. Realaus laiko sistemos paprastai yra realizuojamos kaip tarpusavyje sąveikaujantys procesai, kuriuos valdo sistemos taktų generatorius.

Realaus laiko sistemos elementai yra jutikliai, kurie surenka duomenis iš sistemos aplinkos, duomenų procesorius, kuris vykdo surinktos informacijos apdorojimą ir apskaičiuoja sistemos reakcijos rezultatus ir aktyvatoriai, kurie pakeičia (tam tikru būdu) sistemos aplinką (2 pav.) [2].



2 pav. Realaus laiko sistemos elementai

Realaus laiko sistemų kūrimas – vienas sudėtingesnių sistemų inžinerijos uždavinių. Realaus laiko programinė įranga reikalauja specialių analizės, projektavimo ir testavimo metodų. Projektuojant realaus laiko sistemą, reikia:

- Nustatyti apdorojamus poveikius ir kokios turi būti reakcijos į juos;
- Kiekvienam poveikiui ir reakcijai nustatyti laiko apribojimus;
- Sujungti poveikio ir reakcijos apdorojimą į lygiagrečius procesus, susijusius su kiekviena poveikio ir reakcijos klase;
- Sudaryti algoritmus kiekvienos poveikio ir reakcijos klasės apdorojimui su nustatytais laiko apribojimais;
- Sudaryti planavimo sistemą, kuri užtikrintų, kad procesų vykdymo pradžios data būtų parinkta taip, jog juos būtų spėta užbaigti iki nustatyto termino;
- Sujungti, naudojant realiojo laiko vykdiklius ar operacinę sistemą.

Realaus laiko sistema turi būti patikima. Kad ir kaip bebūtų, nekritines taikomąsias programas galima priimti su kai kuriais trūkumais. Tačiau kai kurioms taikomosioms programoms keliami labai aukšti patikimumo reikalavimai, ir kad programos juos išpildytų, privalo būti naudojamos specialios programavimo technologijos. Sistema kuriama taip, kad būtų išvengta žmogaus klaidų ir taip būtų sumažintas sistemos defektų kiekis, procesas organizuojamas taip, kad defektai būtų aptikti ir ištaisyti iki realizacijos. Realaus laiko sistema be defektų – tokia sistema, kuri atitinka savo specifikaciją. Tačiau tai nereiškia, kad ši sistema visada viską atliks teisingai, kadangi gali pasitaikyti klaidų jos specifikacijoje.

Esminiai realaus laiko sistemų aspektai:

- Realaus laiko sistemos korektiškumas priklauso ne tik nuo to, ką sistema daro, bet ir nuo to, kaip tenkina laiko parametrus;
- Realaus laiko sistemų architektūros yra projektuojamos kaip lygiagrečių procesų rinkinys;
- Klaidas toleruojanti sistema gali tęsti darbą, net jeigu ir yra klaidų.

## **2.4. Sistemos modeliavimo metodų apžvalga**

Sistemos modeliavimas aprašo sistemos elgseną. Tai yra abstraktus analizuojamos sistemos aprašas ar atvaizdavimas, padedantis lengviau suvokti projektuojamos sistemos funkcionalumą. Sudėtingos sistemos projektavimas reikalauja aprašyti modeliavimo būsenas, konkurencinius įvykius, realaus laiko elgseną. Siekiant suvokti valdymo sudėtingumą, gali būti būtinas ir vizualus atvaizdavimas.

Modeliuojant realaus laiko sistemas paranku naudoti sinchroninius modelius. Tokiuose modeliuose išėjimo rezultatas yra apskaičiuojami vienu metu su įėjime gautais duomenimis. Šiuo požiūriu, nėra labai pastebimo reakcijos laiko užvėlinimo, galima teigti, kad jos yra lygios nuliui. Tokio tipo sistemas yra paprasta aprašyti bei analizuoti.

Toliau bus apžvelgti pagrindiniai modeliai, naudojami sistemoms projektuoti. Jie sugrupuoti pagal bendrąsias charakterizuojančias savybes. Trumpai apžvelgsime ir palyginsime pagrindines modelių savybes.

### **Baigtiniai automatai**

Baigtinis automatas – tai elgsenos modelis, sudarytas iš būsenų, perėjimų ir veiksmų. Būsenos baigtiniame automate atspindi įėjimo pasikeitimą nuo sistemos pradžios iki esamo momento, kitaip sakant – saugo ankstesnę informaciją. Perėjimai parodo būsenos pasikeitimą ir aprašomos sąlygomis, kurias įvykdžius įvyksta perėjimas. Baigtinio automato veiksmai – tai veiksmai, kurie yra vykdomi duotu laiko momentu. Baigtiniai automatai naudojami modeliuojant elgsenas, projektuojant aparatines ar programines sistemas [17].

Baigtinių automatų privalumai: galimas suprantamas grafinis atvaizdavimas, nesudėtingas formalus parašymas, yra galimybė panaudoti projektuojant valdiklius.

Baigtinių automatų trūkumai: diegimas yra sudėtingas dėl didelio „pasirinkti/jeigu“ elementų kiekio, išeities tekstai yra labai sudėtingi, kas sąlygoja jų taisymą keliose vietose esant net neesminiams pakeitimams, sudarant baigtinių automatų sistemą sudėtinga modeliuoti laikines priklausomybes, nėra patogaus būdo perduoti bendrinę informaciją [16].

### **Duomenų srautų grafai**

Duomenų srautų grafai yra populiarūs modeliuojant sistemas su dideliais duomenų srautais [15]. Daug skaičiavimų apimančios sistemos – sudėtingos transformacijos ir didelis duomenų srautų perdavimas gali būti atvaizduotas grafais, kurių viršūnės aprašo skaičiavimus ir lankai atvaizduoja tvarką, kuria bus atliekami skaičiavimai. Tokio tipo modeliuose visi skaičiavimai yra atliekami tik tada, kai yra visi skaičiavimams reikalingi operandai. Duomenų srautų grafams yra charakteringa, kad

grafo viršūnės gali būti kaip funkcijos be šalies efektas, kas sąlygoja galimybę atlikti skaičiavimus tiek eilės tvarka tiek lygiagrečiai. Vis dėlto, tradiciniai duomenų srautų grafų modeliai nėra pilnaverčiai norint atvaizduoti sistemos valdymo elementus.

### Miglotoji logika

Miglotoji logika yra išplėstinė loginė, suderinama su dalinės tiesos koncepcija. Klasikinėje logikoje bet kuris elementas arba yra arba nėra aibės narys. Tačiau dažnai elementai negali būti griežtai apibrėžti ir suklasifikuoti pagal kažkokį kriterijų. Miglotoji logika tokio griežto klasifikavimo nereikalauja. Ir nors miglotoji logika yra griežtai apibrėžta matematiškai, ji leidžia sistemų valdymui naudoti lingvistines sąvokas. Tai įgalina pasiekti žymiai geresnių valdymo charakteristikų nei tradiciniais metodais.

Miglotosios logikos privalumai [3]:

- Lengva suprasti.
- Paprastas matematinis aprašymas.
- Taikoma daugelyje sričių.
- Tolerantiška netiksliams duomenims.
- Galima derinti kartu su tradicinėmis valdymo technikomis arba jas papildant siekiant suprastinti realizaciją.
- Didelė greیتaveika.

Trūkumai:

- Sudėtinga sudaryti teisingas žinių lenteles ir taisykles;

Sistemos modeliavimo metodų pasirinktos charakteristikos palygintos lentelėje (2 lentelė) [17].

2 lentelė. Sistemos modeliavimo metodų charakteristikos

	Taikymas	Laiko modeliavimas	Sinchroniškumas	Hierarchija
Baigtiniai automatai	Posistemių valdymas	Įvykiai su laiko požymiu	Nėra	Yra
Duomenų srautų grafai	Posistemių valdymas	Nėra tikslios laikinės sekos	Nėra	Yra
Miglotoji logika	Posistemių valdymas, skaičiavimai	Nėra tikslios laikinės sekos	Yra	Yra

Pagrindiniai miglotosios logikos privalumai lyginant su kitais metodais yra:

- Lengva suprasti.
- Paprastas matematinis aprašymas.
- Gali būti taikoma daugelyje sričių.
- Tolerantiška netiksliems duomenims.
- Galima derinti kartu su tradicinėmis valdymo technikomis arba jas papildant siekiant suprastinti realizaciją.
- Didelė greیتaveika.

## 2.5. Miglotoji logika

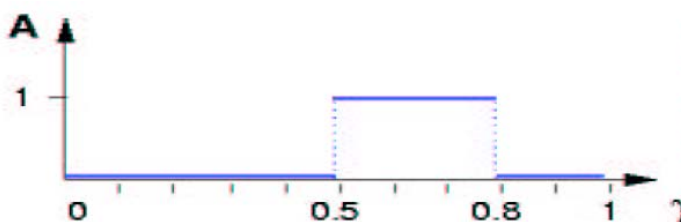
Miglotosios logikos pradininku laikomas Lotfi A. Zadehas, kompiuterinių mokslų profesorius iš Kalifornijos universiteto Berklyje. Miglotosios logikos pradžia literatūroje minima 1965 metais [5].

Miglotoji logika yra išplėstinė loginė, suderinama su dalinės tiesos koncepcija. Klasikinėje logikoje bet kuris elementas arba yra arba nėra aibės narys. Tačiau dažnai elementai negali būti griežtai apibrėžti ir suklasifikuoti pagal kažkokį kriterijų. Miglotoji logika tokio griežto klasifikavimo nereikalauja. Ir nors miglotoji logika yra griežtai apibrėžta matematiškai, ji leidžia sistemų valdymui naudoti lingvistines sąvokas. Tai įgalina pasiekti žymiai geresnių valdymo charakteristikų nei tradiciniais metodais, įgalinant aparatinę įrangą priimti žmoniškesnius pasirinkimus [5].

Miglotoji logika tapo naudinga priemone tiek paprastų namų įrangos, tiek sudėtingų pramonės procesų valdymui.

Miglotosios logikos ir tradicinės aibės

Miglotosios logikos sistemos aprašomos miglotosiomis aibėmis. Jos skiriasi nuo tradicinėje matematikoje naudojamų aibių, kurios turi konkrečiai nustatytas galimas reikšmes, pvz. 0 ir 1. Čia aibė  $X$  su realiais skaičiais tarp 0 ir 1. Aibei  $X$  galima apibrėžti poaibį  $A$ , pvz.  $0 < \gamma < 0,2$ . Poaibį  $A$  charakterizuojanti funkcija pavaizduota 3 pav. (kiekvienam  $X$ , priklausomai nuo to ar elementas yra poaibyje  $A$  ar ne, priskiriama 1 arba 0)

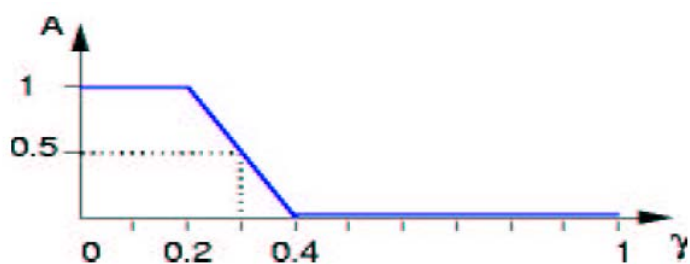


3 pav. Charakterizuojanti tradicinės matematikos aibės funkcija

Elementas, kuriam priskirtas 1, gali būti interpretuojamas kaip elementas, esantis poaibyje  $A$ , o elementas, kuriam priskirtas 0 – kaip elementas nesantis poaibyje  $A$ . Tokia koncepcija yra pakankama daugumoje taikymo sričių, bet neturi lankstumo.

Žinoma, kad skaitmeninėse palydovinėse nuotraukose vanduo vaizduoja žemą interferometrinių koherentiškumą  $\gamma$ . Kadangi  $\gamma$  prasideda nuo 0, žemesnės sritys turėtų būti žymimos tuščiai [6]. Taip pat būtų sudėtinga apibrėžti aukštesnes sritis. Padidinus aukštesnę ribą iki 0,2, gaunamas intervalas  $[0;0,2]$ . Dėl to  $\gamma$  su reikšme 0,2 yra žemai, o 0,21 – ne. Tai sudaro struktūrinę problemą. Perkėlus aukštesnę ribą nuo 0,2 iki sutartos ribos bus susidurta su ta pačia problema. Galima sudaryti aibę  $B$ , kuri atskirst žemą ir nežemą lygį. Tai gali būti padaryta įvedant ne tik konkrečius sprendimus „taip“ ir „ne“, bet ir labiau lanksčias taisykles kaip „pakankamai mažas“. Tokios sąvokos gali būti apibrėžtos miglotosios logikos.

Miglotosios logikos naudojimo tikslas yra sukurti supratingesnius kompiuterius, aprašant juos standartizuotai. Aukščiau paminėtame pavyzdyje elementai aprašyti naudojant 0 ir 1. paprasčiausias būdas standartizavimui – įtraukti reikšmes tarp 0 ir 1. Toks skaičių interpretavimas priskiriamas visiems elementams tampa sudėtingesnis. Savaiame aišku, kad elementas, kuriam priskirtas 1 yra aibėje, o kuriam priskirtas 0 – nėra aibėje  $B$ . Visos kitos reikšmės sudaro tolygiai kintančią aibės  $B$  priklausomybę (4 pav.). Priklausomybės funkcija – tai kiekvieno įėjimo nario dydžio grafinis atvaizdavimas. Ji sujungia reikšmes su kiekvienu apdorojamu įėjimu, apibrėžiant funkcinių sutapimą tarp jų ir atiduoda išėjimo reikšmę. Taisyklės naudoja įėjimo priklausomybės reikšmes nustatyti jų įtaką miglotosios logikos aibėms skaičiuojant galutines išėjimo reikšmes [6].



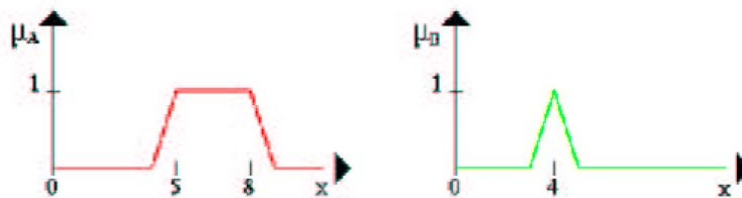
4 pav. Funkcija charakterizuojanti miglotąją logiką

Priklausomybės funkcija, naudojama miglotosios logikos aibėje, gražins  $\gamma$  reikšmę iš intervalo nuo 0,0 iki 1,0. Pvz. koherentiškumas  $\gamma$ , kurio įvertis yra 0,3 priklauso aibei „žemas“ (4 pav.).

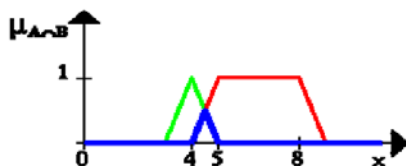
Svarbu suprasti skirtumą tarp miglotosios logikos ir tikimybių. Jos abi veikia tame pačiame skaičių intervale, turi panašias reikšmes: 0,0 atitinka netiesą (arba neturi priklausomybės), 1,0 atitinka tiesą (arba yra visiška priklausomybė). Skirtumas yra toks – tikimybe konstatuojama kad yra 50% tikimybė, kad  $\gamma$  yra žemas, o miglotąja logika nurodoma, kad  $\gamma$  priklausomybė žemo koherentiškumo

aibėje yra 0,5. Tikimybė nurodo, kad yra tik 50% žinojimo tikimybė kurioje aibėje yra atsakymas, o miglotoji logika teigia, kad  $\gamma$  yra „daugiau ar mažiau“ žemas [7].

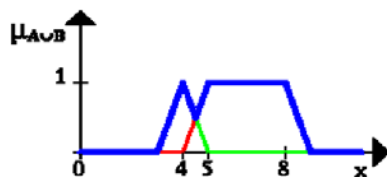
Aritmetiniai veiksmai su miglotosios logikos aibėmis yra panašūs į tradicinės matematikos aritmetiniu veiksmus. Tai gali būti sankirta, sąjunga ir paneigimas. 5 paveiksle pavaizduoti aritmetiniai veiksmai su miglotosios logikos aibėmis.



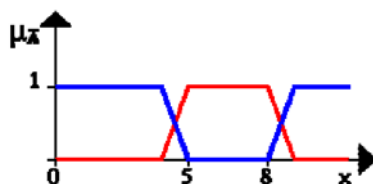
5.1. pav. Miglotosios logikos aibės, su kuriomis atliekami aritmetiniai



5.2. pav. Miglotosios logikos aibių sankirta



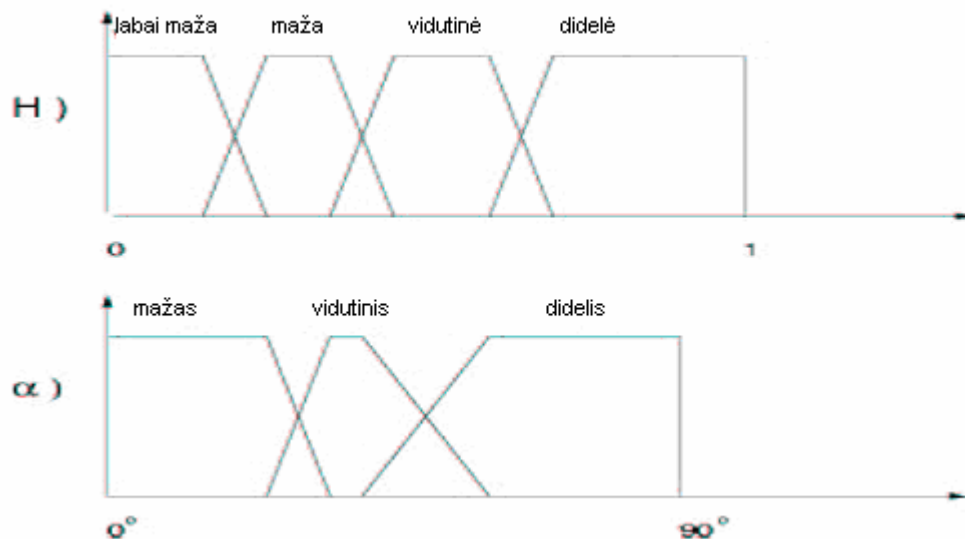
5.3. pav. Miglotosios logikos aibių sąjunga



5.3. pav. Miglotosios logikos aibių neigimas

### Miglotosios logikos klasifikacija

Miglotieji klasifikatoriai naudojami išreikšti miglotosios logikos aibes lingvistiniais kintamaisiais. Pvz., entropija  $H$  ir kampas  $\alpha$  gali būti modeliuojami taip (6 pav.):



6 pav. Lingvistiniai kintamieji

Žinant reikšmes galima formuluoti taisykles, pvz. „JEI entropija didelė IR kampas didelis, TAI klasė yra 4“ (3 lentelė).

3 lentelė. Miglotosios logikos taisyklės

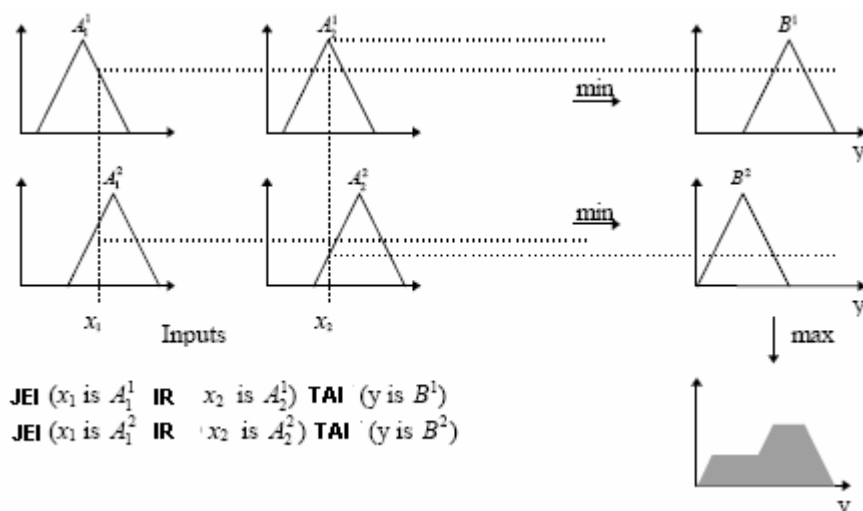
Entropija H	Kampas $\alpha$	Klasė
Labai maža	Mažas	Klasė 1
Maža	Vidutinis	Klasė 2
Vidutinė	Didelis	Klasė 3
Didelė	Didelis	Klasė 4

Žodinės taisyklės, aprašančios valdymo sistemą susideda iš dviejų dalių – sąlygos dalies (tarp JEI ir TAI) ir padarinio dalies (po TAI). Priklausomai nuo sistemos tipo, ne visada reikia apibrėžti visus galimus įėjimo variantus, nes kai kurie iš jų įvyksta labai retai arba iš viso neįvyksta. Tai leidžia sistemoje naudoti mažiau taisyklių, todėl yra supaprastinama valdymo logika ir padidėja visos miglotosios logikos sistemos veikimo našumas [8].

Miglotosios logikos taisyklių pritaikymo metodo pasirinkimas yra labai svarbus sistemos projektavimo metu. Du pagrindiniai miglotosios logikos realizacijos metodai yra *Mamdani* (mažiausios funkcijos) (7 pav.) ir *Larsen* (sandaugos funkcijos). Sandaugos funkcijos metodas dažniausiai naudojamas skaitiniams sistemos modeliavimas su dideliais duomenų kiekiais, o mažiausios funkcijos metodas naudojama esant galimybei sudaryti žinių lenteles taisyklėms. Taip pat mažiausios funkcijos metodas leidžia žinių lenteles aprašyti lingvistinėmis taisyklėmis [13]. Mažiausios funkcijos metodas dažnai naudojamas ir todėl, kad juo paprasčiau atlikti skaičiavimus [9].

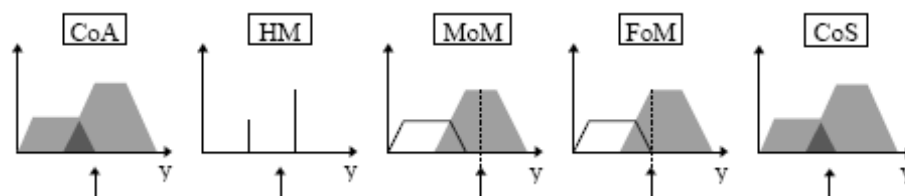


Šie veiksmai yra vadinami fuzifikacija, kuomet skaitinės tradicinės matematikos reikšmės pervedamos į miglotosios logikos aibes ir yra apjungiamos (7 pav.).



7 pav. Miglotosios logikos taisyklių mažiausios funkcijos metodu taikymas

Defuzifikacija yra atvirkštinis veiksmas, kuomet iš miglotosios aibės gaunama tradicinės matematikos skaitinė reikšmė – atsakymas. Dažniausiai naudojami šie defuzifikacijos metodai (8 pav.): centro ( $CoG$  ir  $CoS$ ), aukščio ( $HM$ ), maksimumo vidurio ( $MoM$ ), pirmojo maksimumo ( $FoM$ ).



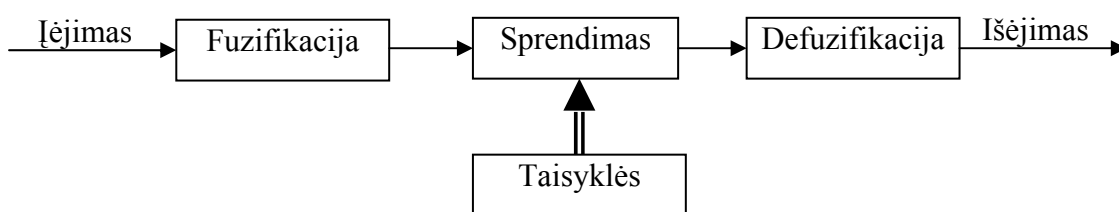
8 pav. Defuzifikacijos metodai

Defuzifikacijos metodus galima palyginti pagal tai ar išėjimai yra nuolatiniai ir pagal apskaičiavimų sudėtingumą.

- Centro ( $CoG$  ir  $CoS$ ) ir aukščio ( $HM$ ) metodų išėjimai yra nuolatiniai. Paprasčiausias ir greičiausias iš jų yra aukščio metodas. Jis yra labiausiai tinkamas sudėtingoms problemoms spręsti [10]. Modeliuoti sistemą, jeigu nėra specifinių reikalavimų, rekomenduojama pradėti nuo centro metodo [11].
- Maksimumų metodai ( $MoM$  ir  $FoM$ ) taip pat dažnai naudojami. Bet dėl to, kad įėjimų reikšmės yra padalinamos intervalais, šie metodai yra neefektyvūs apytikslėms netiesinėms tolydinėms funkcijoms. tai gali sąlygoti valdymo sistemos, aprašytos šiais metodais klaidingą veikimą.

Norint sistemoje iš įėjimų pagal miglotosios logikos taisykles gauti reikiamus išėjimus, reikia atlikti šiuos veiksmus (9 pav.):

- Nustatyti įėjimus, jų režius ir pavadinti juos;
- Nustatyti išėjimus, jų režius ir pavadinti juos;
- Sukurti kiekvienam įėjimui ir išėjimui miglotos logikos tarpusavio funkcijas;
- Sukurti taisykles, pagal kurias sistema veiks;
- Apjungti taisykles ir defuzifikuoti išėjimą.



9 pav. Miglotosios logikos sistemos sudarymas

Miglotoji logika suteikia galimybę netradiciškai aprašyti valdiklį ar klasifikuoti problemą. Logikos esmė yra ką sistema turi daryti, o ne bandyti modeliuoti kaip sistema veiks. Kartais tai gali būti labiau naudinga sprendžiant problemą nei bandyti modeliuoti sistemą matematiškai, jei tai yra įmanoma.

## **2.6. Modelio analizė**

### **2.6.1. Šildymo ir vėdinimo sistemų tipai**

Šildymo ir vėdinimo sistemoms vartotojai sunaudoja daugiausiai energijos iš visų kitų namo sistemų. Standartiškai tai sudaro 44% nuo patarnavimų mokesčių. Šildymo ir vėdinimo sistemos taip pat sudaro didelę dalį į atmosferą išmetamų teršalų. Nepriklausomai nuo naudojamos šildymo vėdinimo sistemos, gerinant pačią sistemą, visada yra galimybė sumažinti šias išlaidas ir padidinti komforto lygį, sumažinti aplinkos taršą.

Šildymo sistemos yra skirstomos į veikiančias degimo principu ir veikiančios ne degimo principu. Dauguma šiuolaikinių centralizuotų šildymo sistemų, veikiančių degimo pagrindu, veikia tokiu pačiu principu kaip ir prieš 100 metų. Tokiose sistemose naudojamos krosnys, kurioje kūrenamas anglis, gamtinės ar kitokios dujos, dyzelinis kuras, mediena. Pažangesnės, ne degimo principu veikiančios sistemos, funkcionuoja perkeldamos arba perduodamos šilumą iš vienos vietos į kitą.

Degimo principu veikiančios sistemos pastaraisiais metais buvo daugiau paplitusios tarp vartotojų, nes jų diegimo ir naudojimo kainos yra santykinai nedidelės.

Šilumos perdavimo principu veikiančios sistemos sudarytos iš šilumos siurblio ar geoterminės sistemos. Tokios sistemos nekuria šiluminės energijos, o ją tik perduoda iš vienos vietos į kitą. Šilumos siurblys ima šilumą iš lauko ir perduoda ją į patalpos vidų. Geoterminės sistemos šilumą ima iš žemės arba iš vandens. Beveik visos šilumą perduodančios sistemos gali veikti ir atvirkštiniu būdu, tai yra ne tik šildyti, bet ir šaldyti ar net pašiltinti vandenį labai mažomis pinigėmis sąnaudomis. Tokio tipo sistemas galima kombinuoti su tradicinėmis degimo principu veikiančiomis sistemomis.

Priklausomai nuo metų laiko, oro šilumos siurbliai yra 1,5 – 3 kartus efektyvesni nei degimo principu veikiančios sistemos [4]. Ypač didelį našumo koeficientą galima pasiekti naudojant geoterminius procesus. Šios sistemos sugeba perduoti daugiau šilumos, nes žemės temperatūra, nepriklausomai nuo metų laiko, yra beveik pastovi. Geoterminės sistemos efektyvumas yra 2,5 – 4 kartus didesnis nei degimo principu veikiančios sistemos [4].

Šildymui ir vėdinimui galima panaudoti ir saulės energiją. Įrengus pasyvius saulės energijos kolektorius, išlaidas, susijusias su šildymu galima sumažinti net iki 50%.

Išlaidas, susijusias su šildymu galima sumažinti įrengus elementarius programuojamus termostatus. Juos suregulius galima mažiau šildyti valandomis, kai nieko nėra patalpose.

Reguliavimo procesą galima daigiau automatizuoti įdiegus judesio daviklius – taip automatiškai nustatomas naktinės ar dienos, kai nieko nėra patalpose, temperatūros.

Šildymo ir vėdinimo sistemas galima skirtyti pagal temperatūros reguliavimo algoritmus [4]:

- Statinis arba nevaldomas;
- „Įjungta - išjungta“ arba būsenų;
- Proporcinis;
- Proporcinis-integralinis.

Esant statiniam temperatūros valdymui, norimas temperatūros lygis nustatomas per daug neatsižvelgiant į tikslus poreikius, o tiesiog jei per karšta – šilumos tiekimas sumažinamas pvz. prisukant centralizuotą šildymą arba jei per šalta – į krosnį įdedama daugiau malkų.

Būsenų valdiklis – paprasčiausias temperatūros valdymo įrenginys. Toks valdiklis turi tik būsenas įjungta arba išjungta. Jame nėra jokių tarpinių būsenų. Būsenų valdiklio kuri nors būsena įjungtama tik tada, kai temperatūra prilygsta nustatytai reikiamai temperatūrai. Valdiklis įsijungia, kaip temperatūra yra virš nustatytos reikiamos temperatūros ir išsijungia, kai yra žemesnė nei reikiama temperatūra. Temperatūrai pasiekus reikiamą lygį, pasikeičia valdiklio būsena, todėl reguliuojama temperatūra kinta nuolatos. Dažnas tokio valdiklio būsenų kitimas gali sąlygoti jo gedimą, todėl į valdiklius montuojami diferencialai. Jie reikalingi tam, kad temperatūra viršytų reikiamą temperatūrą tam tiktu lygiu prieš valdikliui išsijungiant ir vėl įsijungiant. Taip yra sumažinamas dažnas valdiklio būsenų persijungimas. Būsenų valdikliai dažniausiai naudojami ten, kur nėra poreikio palaikyti norimą temperatūrą labai tiksliai [4].

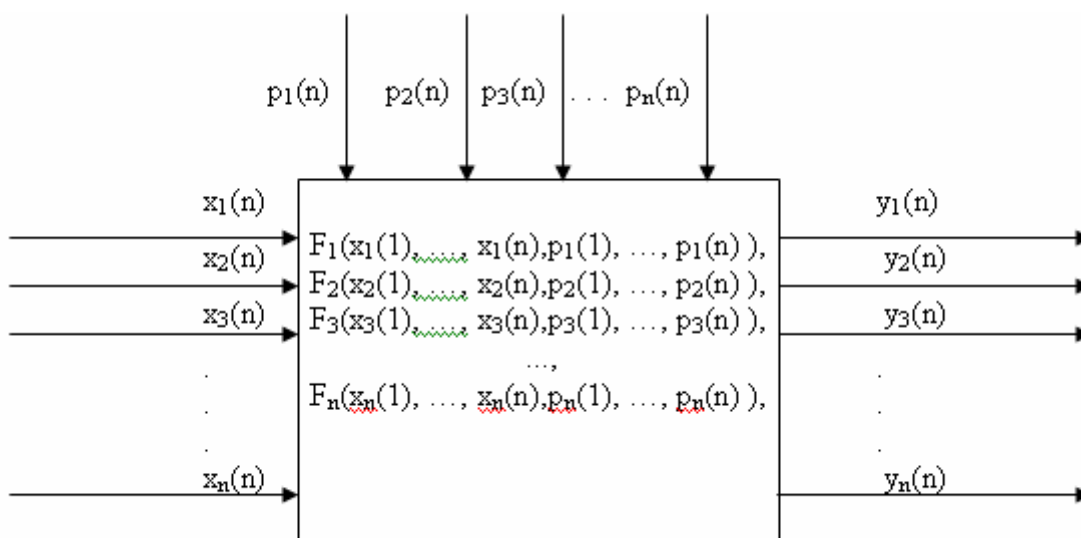
Proporciniai valdikliai suprojektuoti norint pašalinti nuolatinį valdiklio būsenų persijungimą. Temperatūrai pasiekus reikiamą lygį, proporciniai valdikliai sumažina šildymą. Nors tai sąlygoja temperatūros neperlipimą virš nustatyto lygio, bet yra pasiekiamas daugiau stabilesnis reguliuojamos temperatūros lygis nei naudojant paprastą būsenų valdiklį. Proporcinis valdiklis veikia ne nuolatos, o trumpais laiko intervalais.

Proporcinį-integralinį valdiklį sudaro proporcinis valdiklis su papildomais reguliavimais, kurie padeda valdikliui automatiškai kompensuoti sistemos pokyčius. Šie papildomi nustatymai yra susiję su laiku ir apibrėžia persistatymo dažnumu. Proporcinis-integralinis valdiklis veikia tiksliau ir stabiliau nei anksčiau paminėti valdikliai ir yra naudojamas sistemose su santykinai nedidelėmis patalpomis ir reikia greitai reaguoti į temperatūrų pokyčius [4].

## 2.6.2. Sistemos procesų analizė

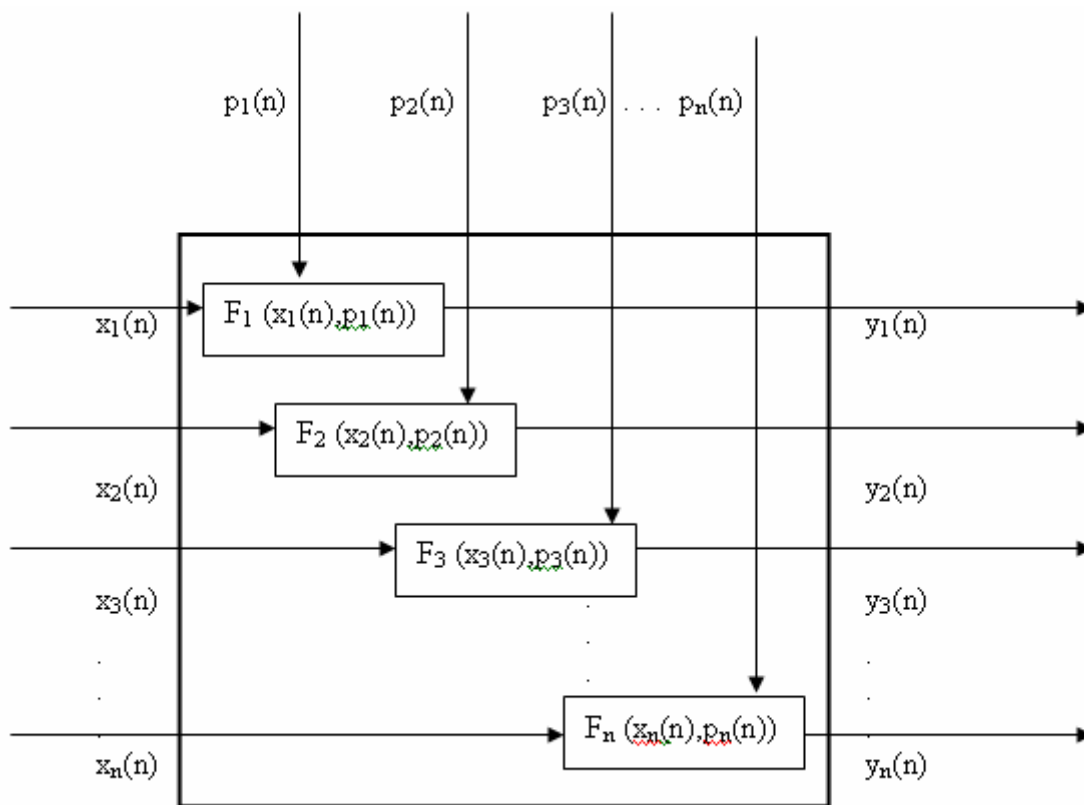
Sudarinėjant sistemos modelį, turi būti išanalizuoti modeliuojamos sistemos procesai. Bendraja prasme, šildymo vėdinimo sistemos procesų visumą galima pavaizduoti kaip „juodąją dėžę“. Kadangi šildymo vėdinimo sistema dirba realiame laike, taigi ši sistema yra realiojo laiko sistema.

Aukštajame lygyje šildymo vėdinimo sistemos modelį galime suprasti kaip „juodąją dėžę“, į kurią padavus atitinkamus įėjimus ir parametrus ar jų rinkinius išėjime gaunamas atitinkamas rezultatas (10 pav.). Čia  $x$  yra įėjimų aibė,  $p$  - parametrų aibė,  $F$  – vykdomų funkcijų aibė, o  $y$  – išėjimų aibė. Tai būtų pats aukščiausias šildymo vėdinimo sistemos procesų modelio lygis.

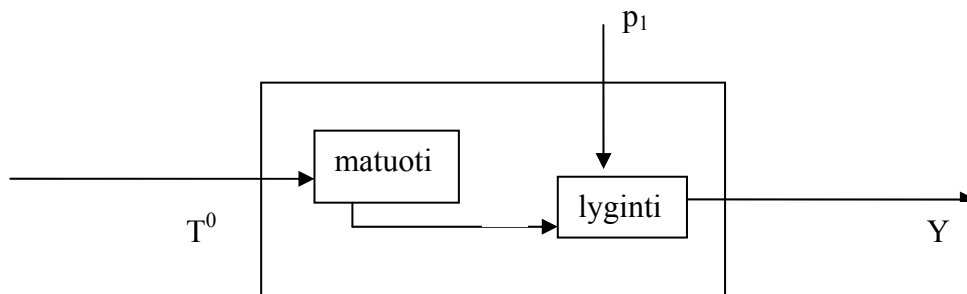


10 pav. Sistemos modelis aukštesniame lygyje

Žemesniajame lygyje galime išivaizduoti modelio viduje vykstančius procesus, kuriuos taip pat galime vaizduoti „juodomis dėžėmis“, kuriose vyksta atitinkamos funkcijos. Tai pavaizduota žemiau esančiame paveikslėlyje (11 pav.).



11.1. pav. Proceso modelis analizuojant jį žemesniame lygyje



Pav. 11.2. Konkretaus proceso modelis analizuojant jį žemesniame lygyje

Pagrindiniai šildymo vėdinimo sistemos procesai yra šildymo procesas, vėdinimo procesas ir valdymo procesas. Šildymo ir vėdinimo procesai atsakingi už patalpos oro temperatūros šildymą ar vėdinimą. Valdymo procesas atsakingas už šildymo ir vėdinimų sistemų valdymą.

Procesų veikimui gali daryti įtaką aplinkos poveikiai ir vartotojas. Aplinkos poveikiai susidaro jiems kintant – keičiasi paros laikas, lauko oro temperatūra ar papildomi temperatūriniai pokyčiai susiję su vartotojo veikla patalpoje. Vartotojas įtaką sistemai daro pateikdamas pageidaujamą patalpos temperatūrą bei papildomus laikinius ir temperatūrinius parametrus.

## 2.7. *Analizės išvados*

Analizės metu buvo išanalizuoti šie reguliavimo algoritmai:

- Statinis arba nevaldomas;
- „Įjungta - išjungta“ arba būsenų;
- Proporcinis;
- Proporcinis-integralinis.

Modelio sudarymui pasirinktas proporcinis-integralinis reguliavimo algoritmas, kadangi, panaudojus šį algoritmą valdiklio modeliui sudaryti, galima išskirti sekančius jo privalumus:

- valdiklis veikia tiksliau ir stabiliau nei anksčiau paminėtais reguliavimo algoritmais projektuojami valdikliai;
- šis algoritmas pasižymi greita reakcija į temperatūrinius pokyčius;
- yra naudojamas sistemose su santykinai nedidelėmis patalpomis.

Analizės metu buvo išskirti pagrindiniai šildymo vėdinimo sistemos procesai: šildymo, vėdinimo ir valdymo.

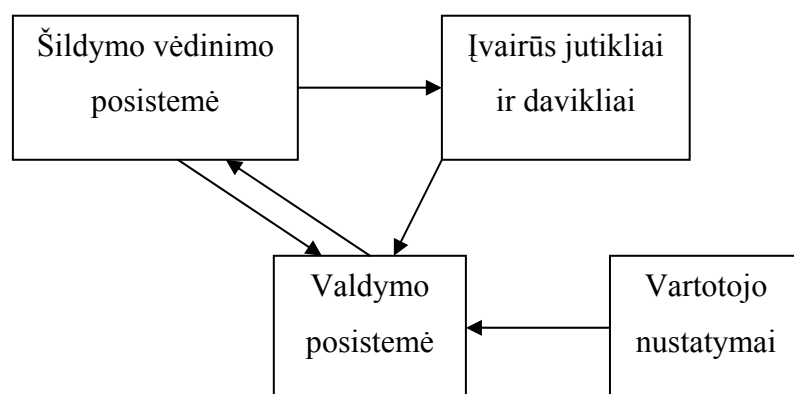
Buvo apžvelgti ir tarpusavyje palyginti baigtinių automatų, miglotosios logikos ir duomenų srautų grafų sistemos modeliavimo metodai. Išanalizavus šiuos metodus, modelio sudarymui pasirinktas miglotosios logikos metodas.

Miglotosios logikos fuzifikacijai pasirinktas mažiausios funkcijos metodas dėl skaičiavimų paprastumo bei galimybės naudoti lingvistines reikšmes, defuzifikacijai – centro metodas dėl didesnio tikslumo ir tinkamumo naudoti su nenutrūkstamu duomenų srautu. Miglotoji logika pasirinkta dėl galimybės atlikti sistemos valdymo signalų reikšmių apskaičiavimą esant keliems neapibrėžtiems duomenų srautams.

### 3. Teorinis tyrimas

#### 3.1. Šildymo vėdinimo sistemos teorinis modelis

Darbo tikslas yra sudaryti ir ištirti skaitmeninį šildymo ir vėdinimo sistemos teorinį modelį. Modelis sudarytas iš šių funkcinių elementų: valdymo posistemės, šildymo ir vėdinimo posistemių, vidaus ir išorės jutiklių ir daviklių. Funkcinių elementų tarpusavio ryšiai pavaizduoti 12 paveiksle.



12 pav. Šildymo vėdinimo sistemos funkcinių elementų tarpusavio ryšiai

##### **Vartotojo nustatymai**

Šildymo vėdinimo sistemos valdymo modelis suprojektuotas taip, kad modelis veikia atsižvelgdamas į vartotojo pateiktus parametrus. Pagrindinis vartotojo nustatomi parametrai yra pageidaujama patalpos temperatūra. Vartotojas taip pat gali nustatyti papildomas temperatūrines reikšmes – nakties ir dienos temperatūra priklausomai nuo to, ar yra žmonių patalpoje ir laikines reikšmes (numatomas kėlimosi ir grįžimo namo laikas, pagal kurias patalpos temperatūra yra padaroma kaliais laipsniais žemesnė už pageidaujamą). Projektuojama šildymo vėdinimo sistema yra lanksti, t.y. prisitaiko pagal vartotojo nustatytus parametrus.

##### **Davikliai ir jutikliai**

Davikliai ir jutikliai nuolatos renka ir perduoda valdymo posistemei informaciją apie išorės ir vidaus parametrus, pagal kuriuos atliekami skaičiavimai.

##### **Šildymo vėdinimo posistemė**

Šildymo vėdinimo posistemė reguliuoja patalpos temperatūrą ją šildydama arba šaldydama pagal valdymo posistemės pateiktus parametrus.



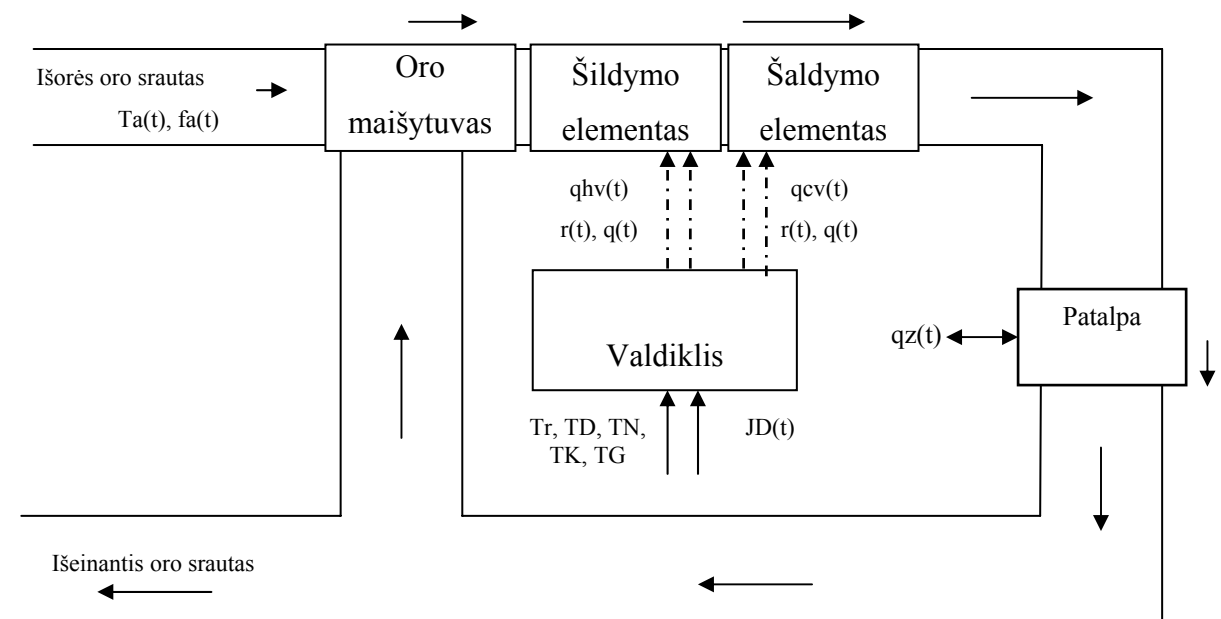
### Valdymo posistemė

Šildymo vėdinimo valdymo posistemė nuolatos gauna informaciją iš vidaus ir išorės daviklių bei jutiklių ir šildymo vėdinimo posistemės. Ši informacija yra analizuojama, lyginama su vartotojo pateiktais pageidaujama parametrais, pagal valdymo logikos taisykles apskaičiuojami šildymo vėdinimo posistemės valdymo signalai. Kadangi šildymo vėdinimo sistema yra realaus laiko sistema, todėl svarbu, kad valdymo bloko gaunama informacija atitiktų realią aplinkos būseną, antraip, sistemos valdymo efektas gali būti netinkamas, kai kuriais atvejais net keliantis pavojų, todėl reikalingas pastovus aplinkos stebėjimas ir vertinimas.

Norint ištirti kuriamos sistemos veiklos korektiškumą, visų pirma, reikia sudaryti funkcinių elementų matematinius modelius, aprašyti valdymo posistemę bei sudaryti valdymo posistemės modelį naudojant miglotąją logiką.

### 3.2. Funkcinių elementų matematiniai modeliai

Šildymo vėdinimo pagrindiniai tikslas yra palaikyti vidaus patalpų temperatūrą pagal vartotojo nustatytus parametrus. Realios šildymo vėdinimo veikimo schema (teorinis modelis) pavaizduota 13 paveiksle. Šildymo vėdinimo valdymo sistemos modelio sudarymas reikalauja atskirų funkcinių elementų matematinio modelio aprašymo.



13 pav. Šildymo vėdinimo sistemos teorinio veikimo modelis

13 paveikslėlio paaiškinimai:

$T_r$  – vartotojo nustatytas pageidaujama patalpos temperatūra;

$T_D, T_N, T_K, T_G$  – vartotojo nustatyta dienos, nakties temperatūra jei patalpoje yra arba nėra žmonių; numatomas vartotojo pabudimas ryte ir grįžimas vakare;

$T_a(t)$  – lauko oro temperatūra;

$f_a(t)$  – vartotojo nustatytas santykinis šviežio lauko oro kiekis patenkantis į patalpas;

$T_1(t)$  – oro maišytuve sumaišyto oro temperatūra,;

$T_2(t)$  – pašildyto ar atšaldyto oro temperatūra patenkanti į patalpą;

$q_z(t)$  – dėl papildomų išorės ar vidaus veiksnių atsirandantis patalpos temperatūros pokytis;

$T_3(t)$  – iš patalpos išeinančio oro srauto temperatūra;

$q_{hv}(t)$  – temperatūros pokytis, nusakantis šildymo elementui, keliais laipsniais reikia padidinti oro srauto temperatūrą;

$q_{cv}(t)$  – temperatūros pokytis, nusakantis vėdinimo elementui, keliais laipsniais reikia sumažinti oro srauto temperatūrą;

$r(t)$  – šildymo ir vėdinimo elementų daromo temperatūros pokyčio koeficientas;

$q(t)$  – šildymo ir vėdinimo elementų valdymo signalai;

$J_D(t)$  – patalpos judesio daviklis.

Oro maišytuve yra maišomas iš lauko ateinantis oro srautas su iš patalpos grįžtančiu oro srautu. Oro maišytuvo matematinis modelis:

$$T_1(t) = T_3(t) + (T_a(t) - T_3(t)) \cdot \frac{f_a}{100}$$

Valdiklis šildymo vėdinimo posistemei perduoda valdymo signalą, pagal kurio reikšmę nustatoma, kuriam elementui veikti. Posistemėje veikia tik šildymo elementas arba tik vėdinimo elementas, t.y. vienu metu veikia tik vienas elementas.

Šildymo elementas iš oro maišytuvo ateinantį oro srautą pašildo iki valdiklio nurodytos temperatūros. Vėdinimo elementas iš oro maišytuvo ateinantį oro srautą pašaldo iki valdiklio nurodytos temperatūros. Šildymo ir vėdinimo elementų matematiniai modeliai:

$$T_2(t) = (T_1(t) - T_2(t)) - q(t)$$

Matematinis modelis patalpoje vykstantiems temperatūriniais pokyčiai aprašyti:

$$T_3(t) = (T_2(t) - T_3(t)) + q_z(t)$$

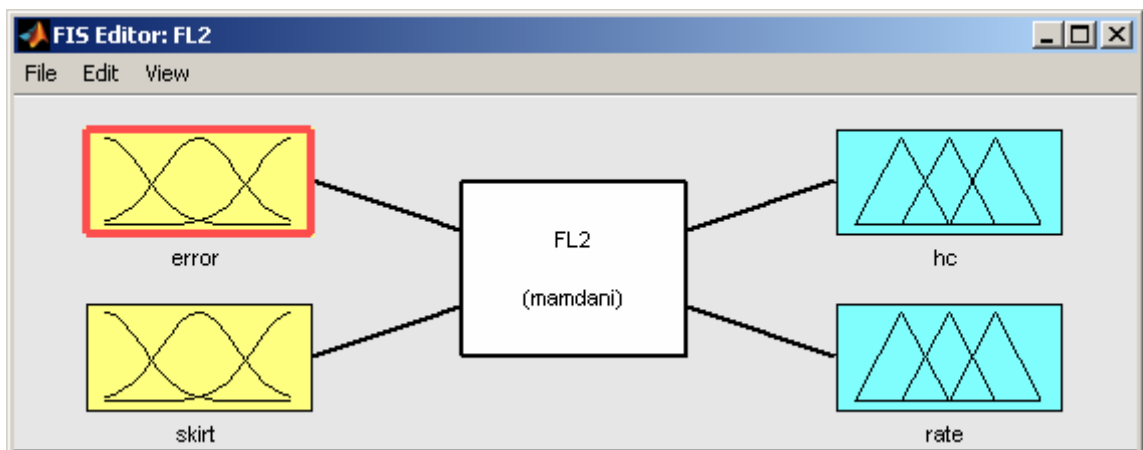
### 3.3. Šildymo vėdinimo sistemos valdiklio modelis

Šildymo vėdinimo sistemos valdiklis valdo šildymo vėdinimo posistemę, surenka informaciją iš išorės ir vidaus daviklių bei jutiklių. Surinkta informacija valdiklyje yra analizuojama, lyginama su vartotojo pateiktais pageidaujamaiais parametrais, pagal valdymo logikos taisykles apskaičiuojami šildymo vėdinimo posistemės valdymo signalai bei nurodomas temperatūros pokytis šildymo vėdinimo elementams. Taip pat šildymo vėdinimo elementams perduodamas temperatūros pokyčio koeficientas, kuris yra apskaičiuojamas priklausomai nuo skirtumo tarp pageidaujamos ir iš patalpos išeinančio oro srauto temperatūros. Vartotojo nustatyta temperatūra nėra pastovi. Ji pagal vartotojo parametrus gali keistis priklausomai nuo paros laiko ir nuo judesio daviklio veikimo. Valdiklio modelis sudarytas naudojant miglotąją logiką.

Sudarant valdiklio modelį į šildymo ir vėdinimo elementų matematinius modelius įdėtas papildomas koeficientas  $r(t)$ , kuris yra apskaičiuojamas priklausomai nuo skirtumo tarp pageidaujamos ir iš patalpos išeinančio oro srauto temperatūros:

$$T2(t) = (T1(t) - T2(t)) - q(t) + 2 * (1 - r(t))$$

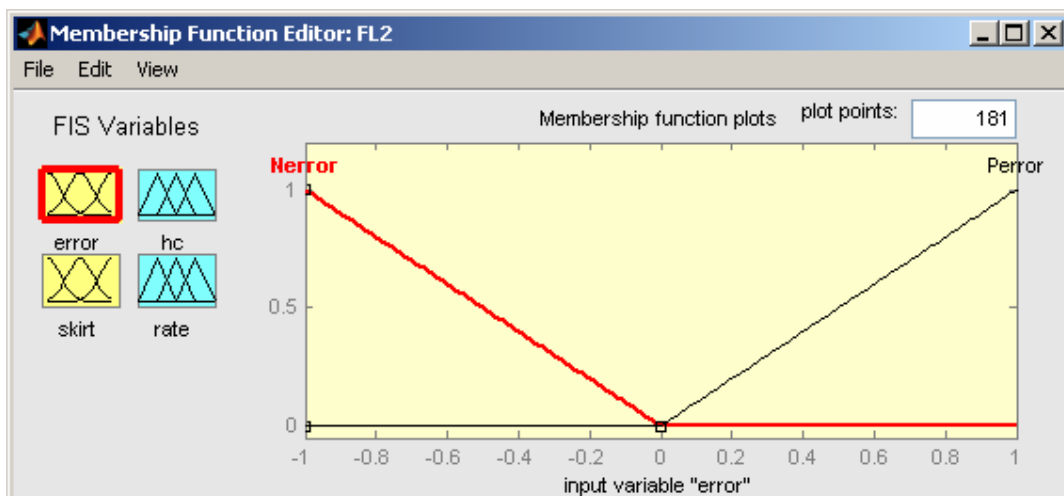
Sudarant valdiklio modelį naudojamas mažiausios funkcijos realizacijos fuzifikacijos metodas ir centro defuzifikacijos metodas. 14 paveiksle pavaizduotas miglotosios logikos įėjimų ir išėjimų ryšiai.



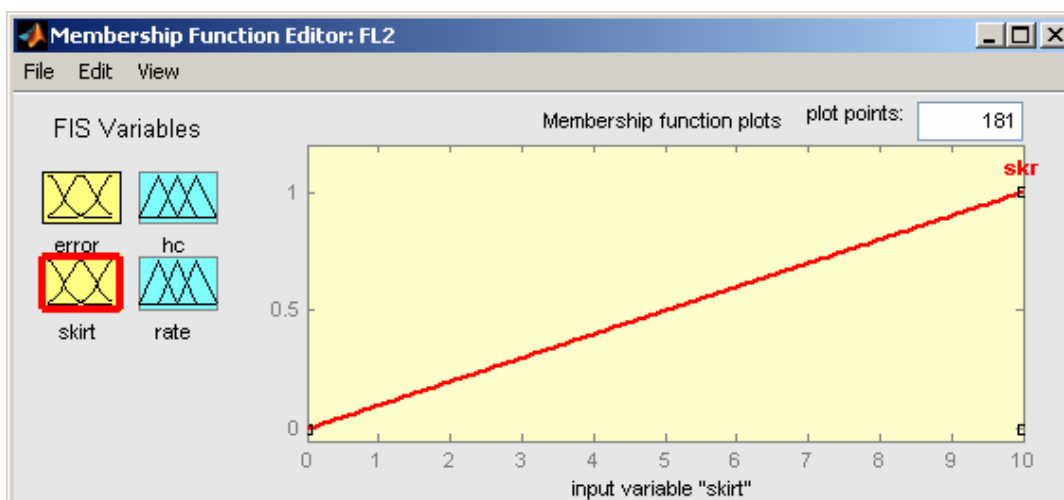
14 pav. Įėjimų ir išėjimų ryšiai

Žemiau esančiuose paveiksluose pavaizduotos tarpusavio funkcijos. Tarpusavio funkcijos „error“ ir „skirt“ yra įėjimai, „hc“ ir „rate“ – išėjimai. Tarpusavio funkcija „error“ atvaizduoja teigiamą („Perror“) arba neigiamą („Nerror“) skirtumą tarp vartotojo nustatytos ir iš patalpos išeinančio oro srauto temperatūros (15 pav.), „skirt“ atvaizduoja šio skirtumo modulį (16 pav.), „hc“ atvaizduoja šildymo vėdinimo posistemės valdymo signalą („heat – šildymo elemento įjungimas“,

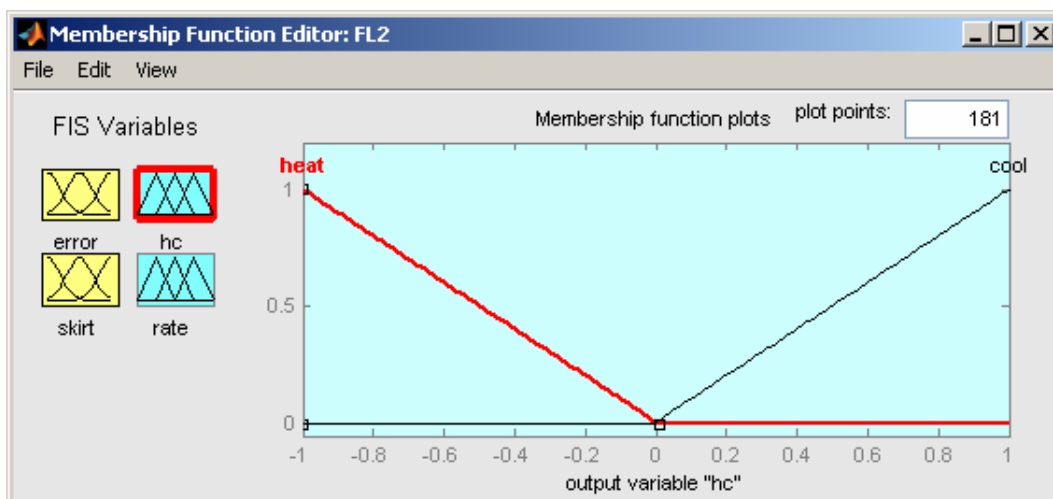
„cool“ – šaldymo elemento įjungimas) (17 pav.), „rate“ atvaizduoja koeficientą  $r(t)$ , kurio išėjimo ribos buvo nustatytos eksperimento metu (18 pav.).



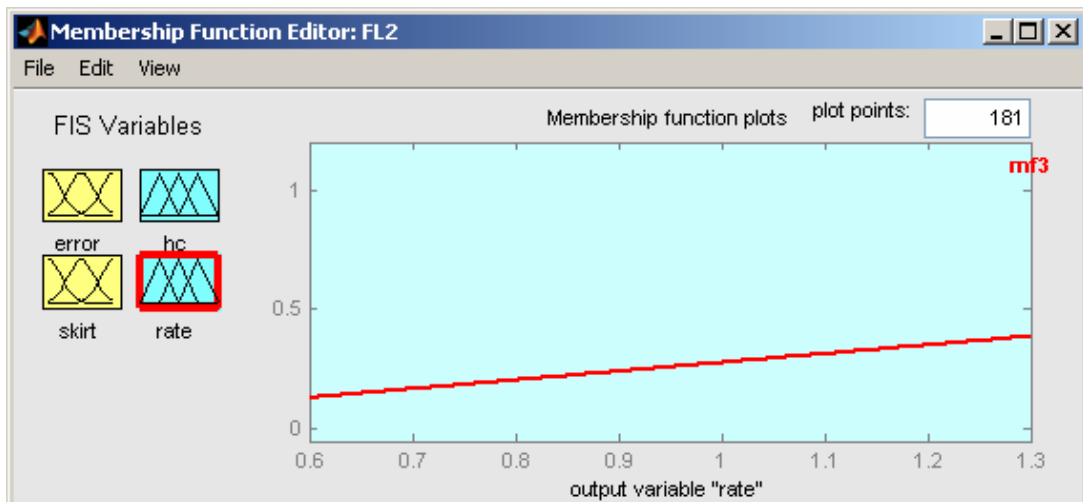
Pav. 15. Tarpusavio funkcija „error“



Pav. 16. Tarpusavio funkcija „skirt“



Pav. 17. Tarpusavio funkcija „hc“



Pav. 18. Tarpusavio funkcija „hc“

Sudarant valdiklio modelį naudojamos šios logikos taisyklės, pagal kurias gaunamos valdymo signalo ir temperatūrinio koeficiento reikšmės:

JEI error yra Nerror IR skirt yra skr TAI hc yra cool, rate yra mf3

JEI error yra Perror IR skirt yra skr TAI hc yra heat, rate yra mf3

#### Teorinio tyrimo išvados

Teorinio tyrimo metu ištirtas šildymo ir vėdinimo skaitmeninio valdymo teorinis modelis. Tolimesnio tyrimo metu sudaryti oro maišytuvo, šildymo ir šaldymo funkcinių elementų matematiniai modeliai bei aprašyti patalpoje vykstantys temperatūriniai pokyčiai. Ištirtas ir sudarytas šildymo vėdinimo valdymo sistemos valdiklio modelis, naudojant miglotąją logiką (naudojant mažiausios funkcijos fuzifikacijos metodą ir centro defuzifikacijos metodą), kuris valdo posistemių darbą atsižvelgdamas į vartotojo nurodytus parametrus ir išorės veiksnius bei reguliuodamas oro srauto temperatūrą priklausomai nuo pageidaujamos ir iš patalpos išeinančio oro srauto temperatūrų skirtumo kitimo laike.

## 4. Eksperimentai ir tyrimai

Siekiant nustatyti sudaryto modelio tinkamumą tolesniems tyrimams, jį reikia sumodeliuoti bei parinkti sąlygas, artimas toms, kurioje veiks reali sistema. Modeliavimu paremta analizė yra dažnai naudojama kaip alternatyva analitiniams metodams. Modeliavimas retai pateikia tikslius atsakymus, tačiau įmanoma įvertinti, kokios tikslios yra padarytos prielaidos, tačiau to pilnai užtenka, atliekant modelio įvertinimą. Eksperimento metu patikrinamas miglotosios logikos tinkamumas šildymo vėdinimo sistemos valdikliui sudaryti. Taip pat eksperimento metu tarpusavyje palyginti sistemos valdikliai, sudaryti naudojant miglotąją logiką ir Petri tinklus.

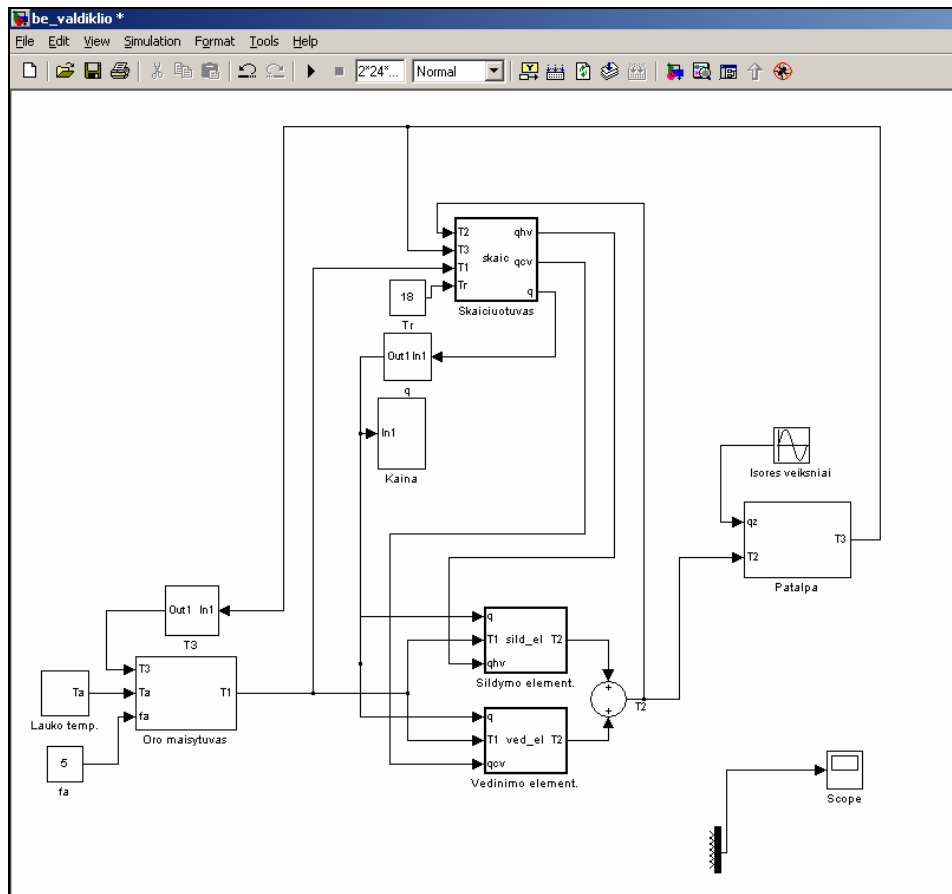
### 4.1. Šildymo vėdinimo sistemos matematinio modelio tyrimas

Modeliavimui naudojamas *MATLAB* paketa. *MATLAB* paketas remiasi yra programavimo - valdymo kalba skirta techniniams skaičiavimams, skaičiuojamųjų signalų analizei ir modeliavimo uždavinių sprendimui. Ji apjungia skaičiavimus, atvaizdavimą ir programavimą į lengvai suprantamą aplinką, kur problemos ir sprendimai išreiškiami įprastais matematiniais žymėjimais.

Sistemos modeliavimui ir analizei naudojama *MATLAB* paketo *Simulink* interaktyvią programinę įrankį. Jis leidžia tiksliai apibrėžti, modeliuoti, vertinti ir tobulinti sistemos elgseną, naudojantis standartinėmis bei papildomomis funkcijomis.

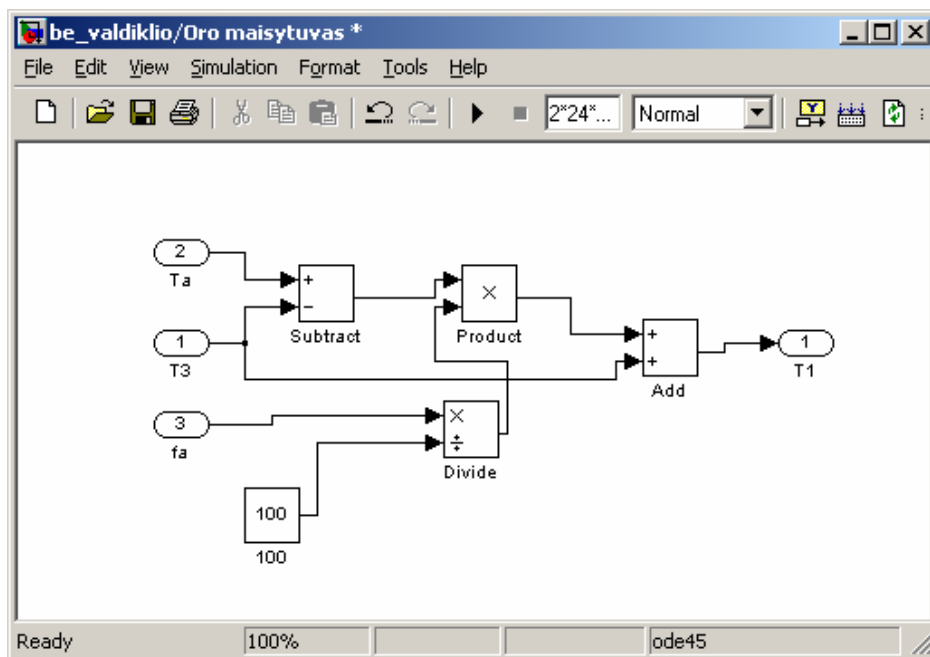
Taip pat naudojamas *Fuzzy Logic Toolbox* programinis įrankis. Jis yra į *MATLAB* skaičiuojamąją aplinką įdiegtas funkcijų rinkinys. Šiuo įrankiu galima kurti, redaguoti miglotosios logikos sistemas *MATLAB* aplinkoje ar netgi integruoti miglotosios logikos sistemas į *Simulink* modeliavimo aplinką. Įrankis daugiau naudojamas per grafinę vartotojo sąsają, bet yra galimybė naudotis ir komandinės eilutės priemone.

Šildymo ir vėdinimo sistemos matematinis modelis, sumodeliuoti *Simulink* įrankiu pavaizduoti 19 paveiksle.



19 pav. Šildymo vėdinimo sistemos matematinis modelis

Funkciniams elementams aprašyti naudojami nauji komponentai. Oro maišytuvo funkciniam elementui aprašyti naudojami komponentai pavaizduoti 20 paveikslėlyje.



20 pav. Oro maišytuvo funkcinio elemento komponento struktūra

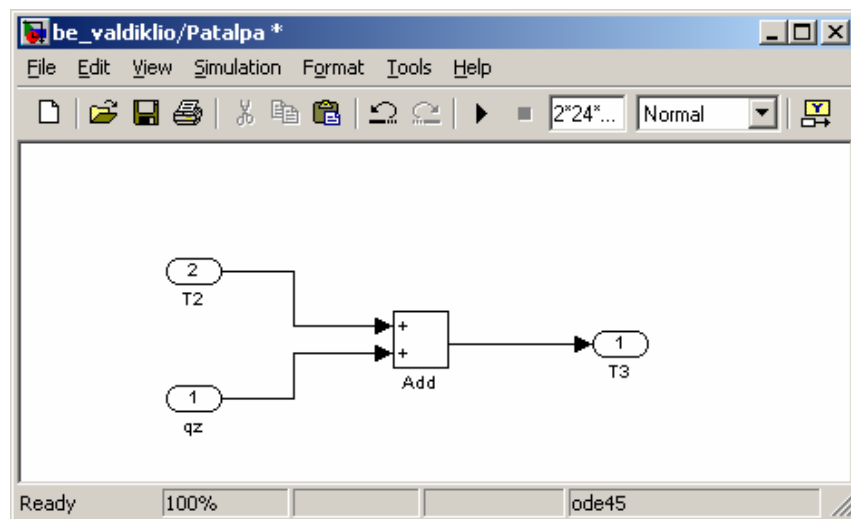
Šildymo elemento struktūrai aprašyti, Simulink posistemėje, panaudotas MATLAB programavimo kalbos blokas:

```
function T2 = sild_el(q,T1,qhv)
if qhv==1
    T2=(T1-q)/2;
else
    T2=0;
end
```

Vėdinimo elemento struktūra aprašyta taip pat programavimo kalbos bloke:

```
function T2 = ved_el(q,T1,qcv)
if qcv==1
    T2=(T1-q)/2;
else
    T2=0;
end
```

Patalpose vykstančių temperatūrinių pokyčių funkcinis elementas, Simulink posistemėje, pavaizduotas 21 paveikslėlyje.



21 pav. Patalpose vykstančių temperatūrinių pokyčių funkcinis elementas

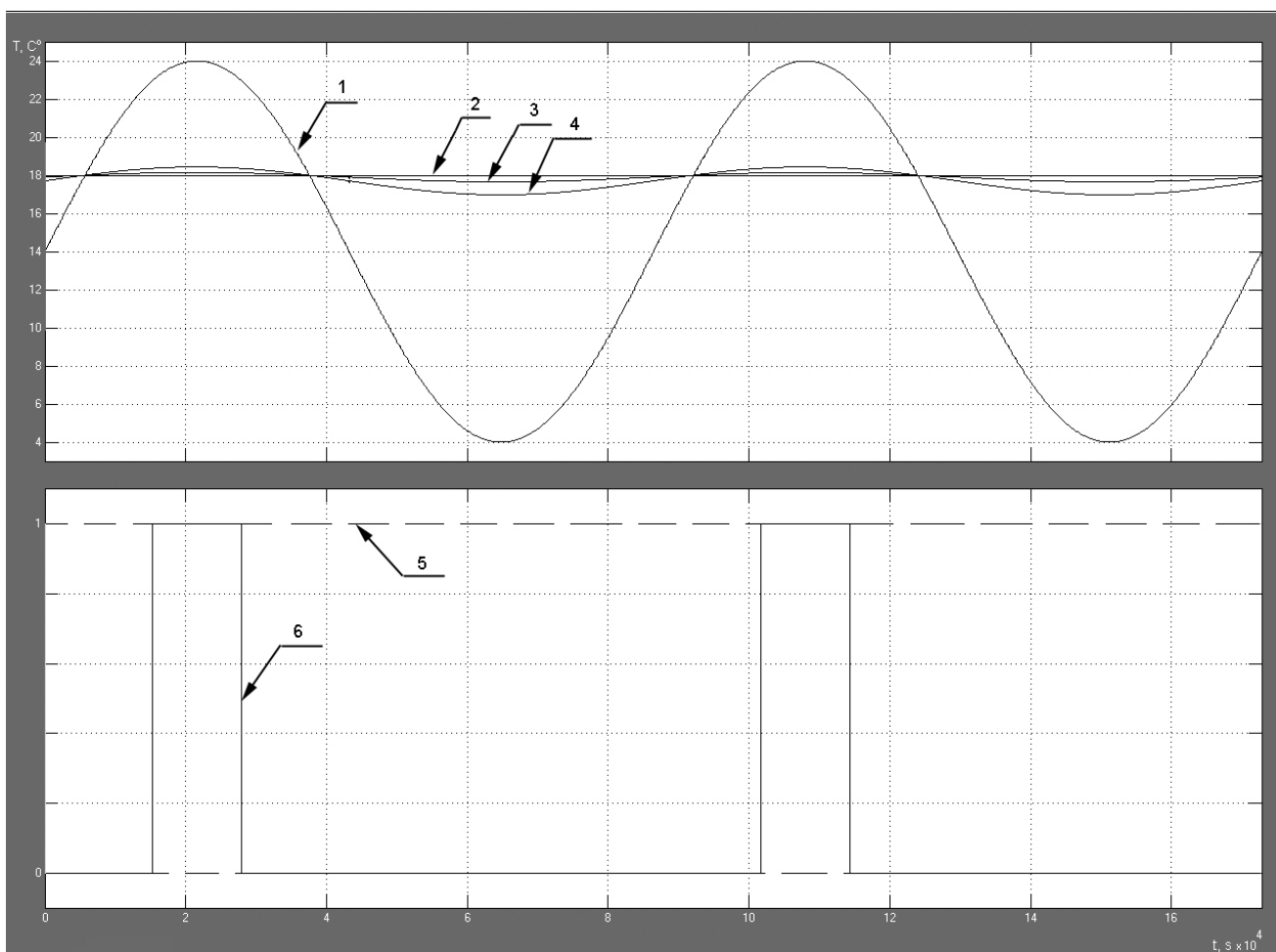
Skaičiuotuvo elemento struktūrai aprašyti, Simulink posistemėje, panaudotas MATLAB programavimo kalbos blokas:

```
function [qhv,qcv,q] = skaic(T2,T3,T1,Tr)
if T3-T2==0
    q=-Tr;
else
    q=T3-2*Tr+2*(T3-T2);
end
if q>=0
    qcv=1;
    qhv=0;
else
    qhv=1;
    qcv=0;
end
```



Funkciniai elementai, sumodeliuoti Simulink posistemėje, veikia pagal jų matematinius modelius. Tai matome iš žemiau pateikiamo funkcinių elementų kitimo laike grafiku, pavaizduotų 22 paveikslėlyje, kur:

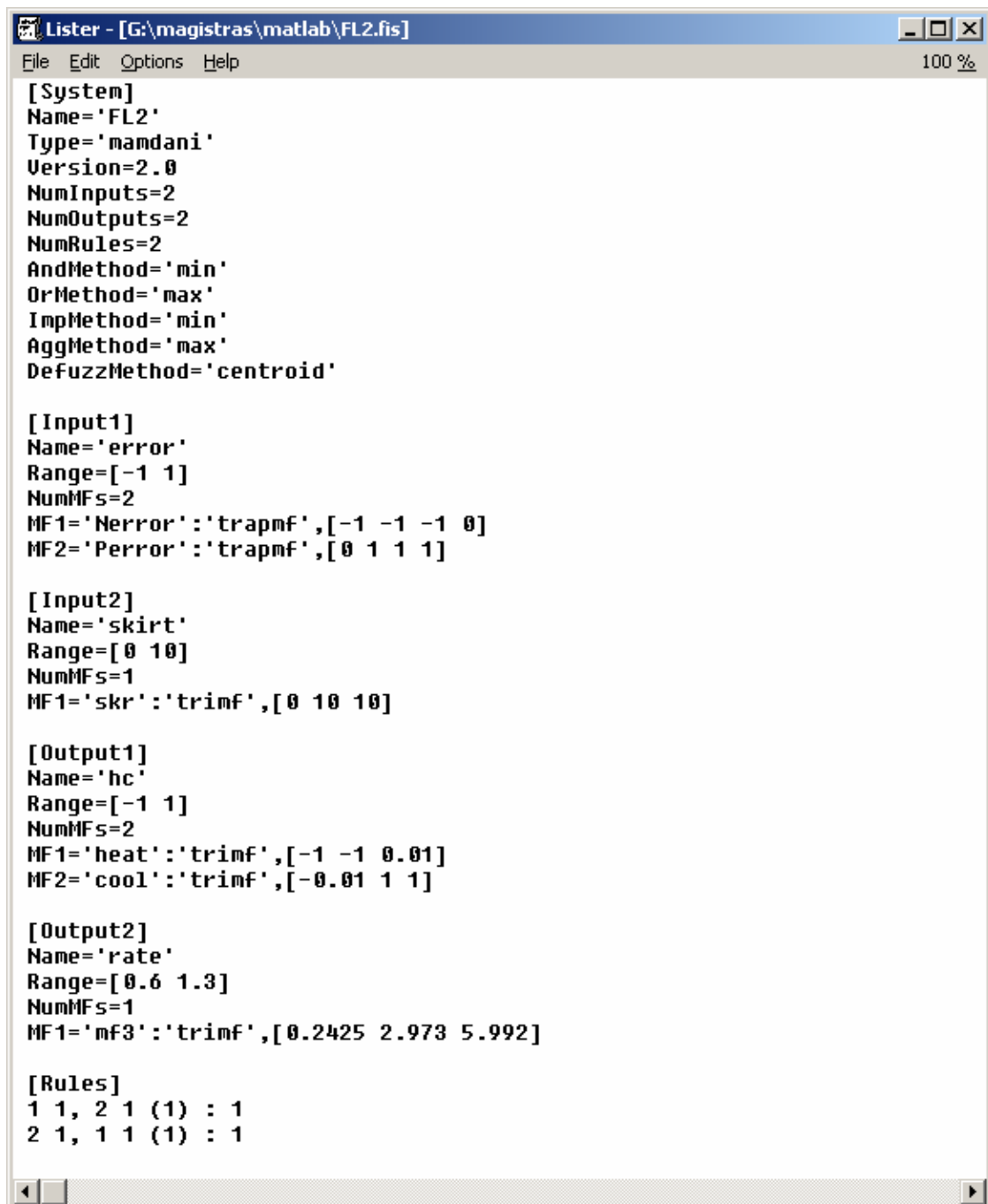
- 1 – lauko oro srauto temperatūra;
- 2 – vartotojo nustatyta pageidaujama patalpos oro temperatūra;
- 3 – iš patalpos išeinančio oro srauto temperatūra;
- 4 – iš oro maišytuvo išeinančio oro srauto temperatūra;
- 5 –šildymo elemento valdymo signalo grafikas;
- 6 – vėdinimo elemento valdymo signalo grafikas.



22 pav. Funkcinių elementų veikimo grafikai.

## 4.2. Šildymo vėdinimo sistemos matematinio modelio, kurio valdiklio sudarymui naudojama miglotoji logika, tyrimas

Šildymo vėdinimo sistemos matematinio modelio, kurio valdiklio sudarymui naudojama miglotoji logika, modeliavimui naudotas *Fuzzy Logic Toolbox* programinis įrankis. Jo grafine vartotojo sąsaja sumodeliuota miglotosios logikos sistema į Simulink posistemę perkeliama tekstinės bylos formate (23 pav.):



```
Lister - [G:\magistras\matlab\FL2.fis]
File Edit Options Help 100 %

[System]
Name='FL2'
Type='mamdani'
Version=2.0
NumInputs=2
NumOutputs=2
NumRules=2
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'

[Input1]
Name='error'
Range=[-1 1]
NumMFs=2
MF1='Nerror':'trapmf',[-1 -1 -1 0]
MF2='Perror':'trapmf',[0 1 1 1]

[Input2]
Name='skirt'
Range=[0 10]
NumMFs=1
MF1='skr':'trimf',[0 10 10]

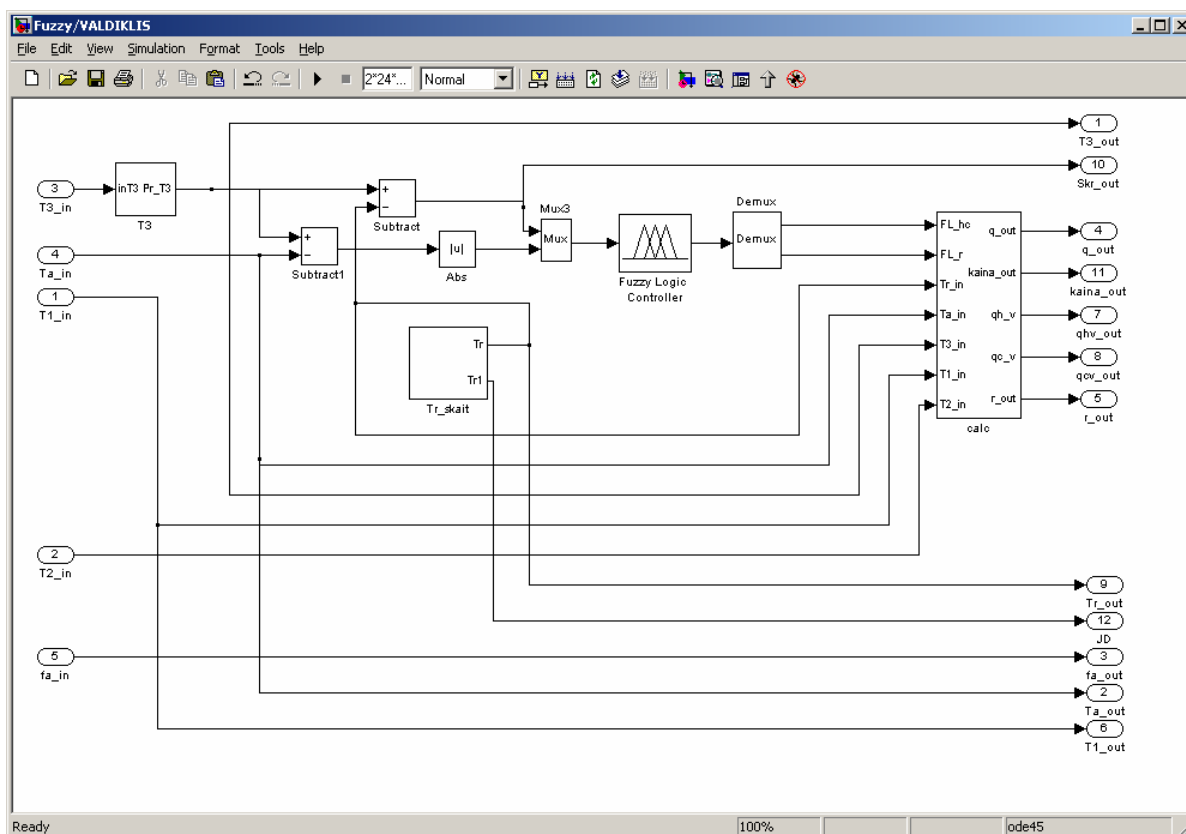
[Output1]
Name='hc'
Range=[-1 1]
NumMFs=2
MF1='heat':'trimf',[-1 -1 0.01]
MF2='cool':'trimf',[-0.01 1 1]

[Output2]
Name='rate'
Range=[0.6 1.3]
NumMFs=1
MF1='mf3':'trimf',[0.2425 2.973 5.992]

[Rules]
1 1, 2 1 (1) : 1
2 1, 1 1 (1) : 1
```

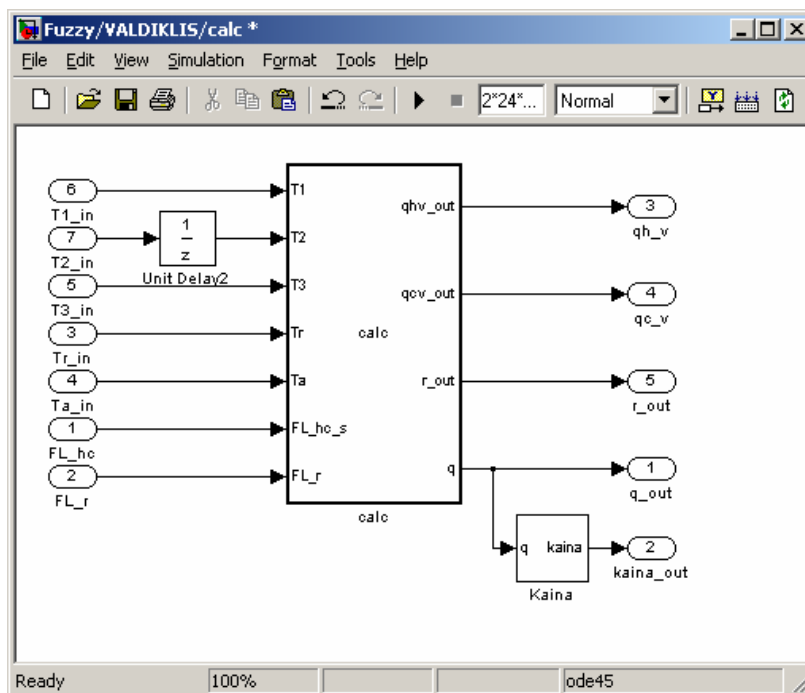
23 pav. Miglotosios logikos sistemos aprašymas

Valdiklio funkcinis elementas pavaizduotas 24 paveikslėlyje.



24 pav. Valdiklio funkcinis elementas

Skaičiuotuvo funkcinis elementas pavaizduotas 25 paveikslėlyje.



25 pav. Skaičiuotuvo funkcinis elementas

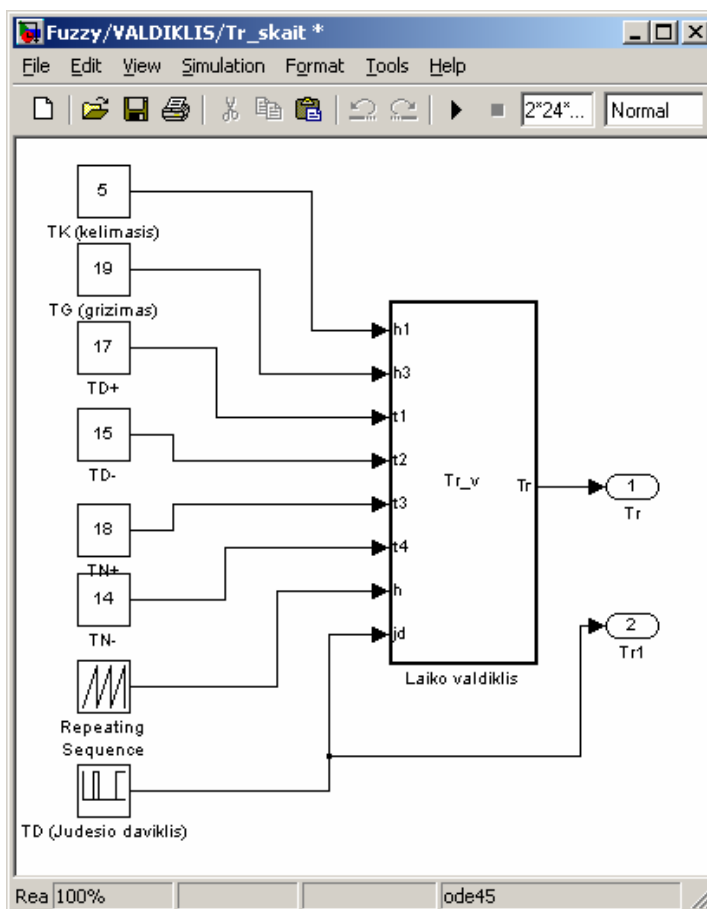
Skaičiuotuvo funkcinio elemento struktūrai aprašyti, Simulink posistemėje, panaudotas MATLAB programavimo kalbos blokas:

```
function [qhv_out,qcv_out,r_out,q]= calc(T1,T2,T3,Tr,Ta,FL_hc_s,FL_r)
if T3-T2==0
    q=-Tr;
else
    q=T3-2*Tr+2*(T3-T2);
end

r_out = FL_r;

if FL_hc_s < 0
    qhv_out=1;
    qcv_out=0;
else FL_hc_s > 0
    qhv_out=0;
    qcv_out=1;
end
```

Vartotojo nustatytų laikinių ir temperatūrinių parametų perdavimas laiko funkciniam elementui 26 pav.



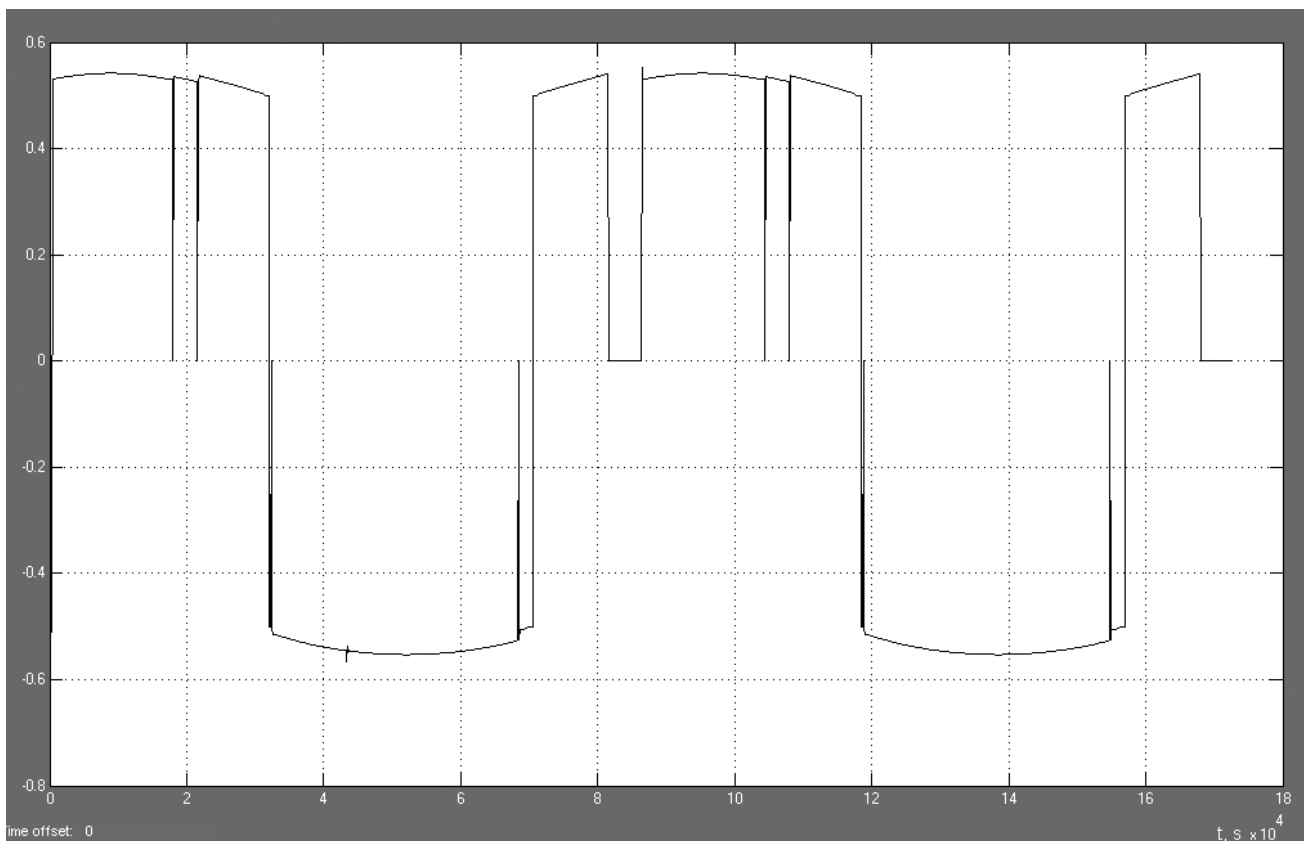
26 pav. Laiko funkcinis elementas

Laiko funkcinio elemento, reguliuojančio sistemai perduodamą pageidaujamos patalpos temperatūros priklausomai nuo paros meto ir judesio daviklį, struktūros aprašymas Simulink posistemėje, panaudotas MATLAB programavimo kalbos bloką:

```
function Tr = Tr_v(h1,h3,t1,t2,t3,t4,h,jd)

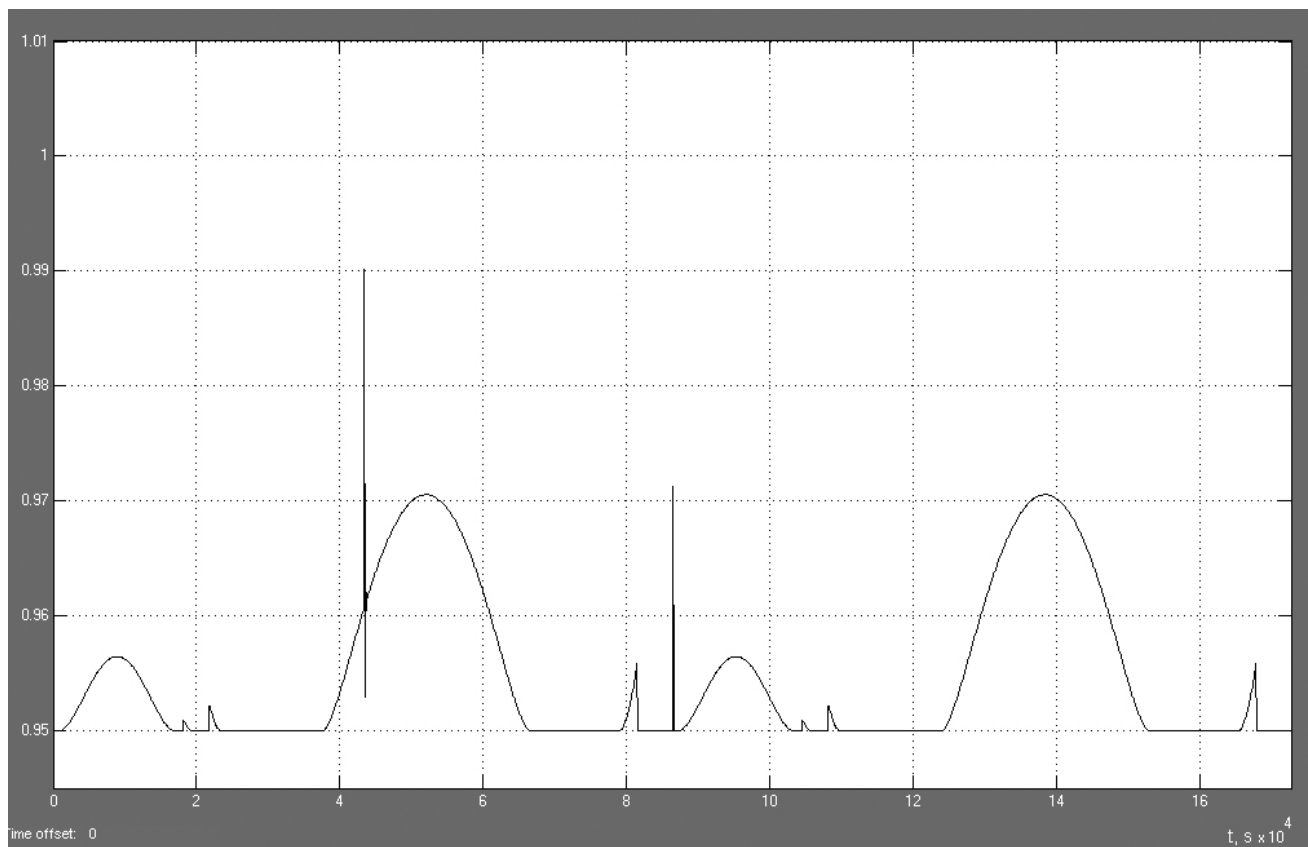
jd=round(jd);
if h>=h1 && h<h3 && jd==1
    Tr=t1;
elseif h>=h1 && h<=h3 && jd==0
    Tr=t2;
elseif jd==1
    Tr=t3;
else
    Tr=t4;
end
```

Šildymo vėdinimo posistemės valdymo signalo kitimo laike grafikas pavaizduotas 27 pav.



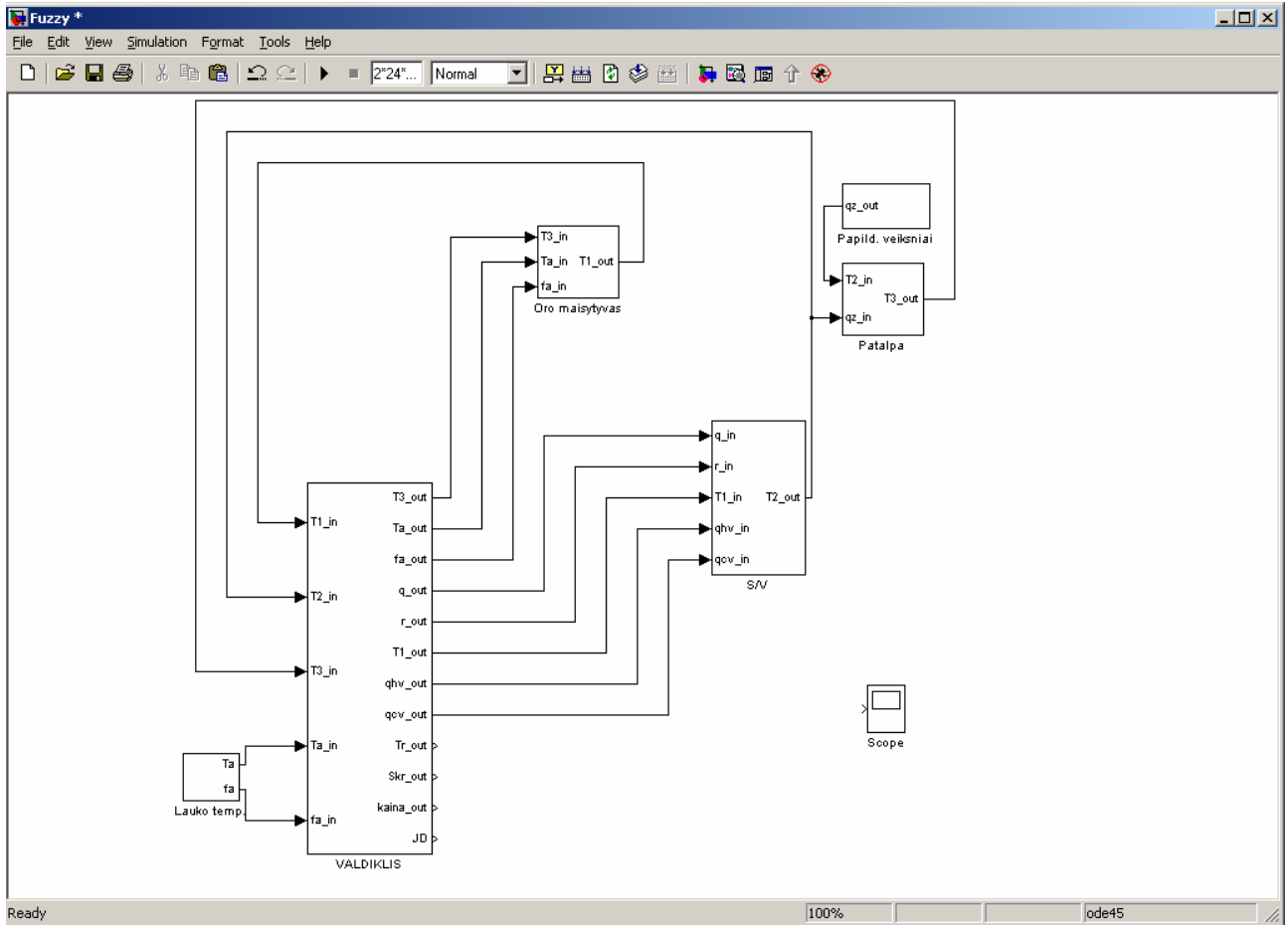
27 pav. Šildymo vėdinimo posistemės valdymo signalo grafikas

Temperatūrinio koeficiento  $r(t)$  kitimo laike grafikas atvaizduotas 28 pav.



28 pav.  $r(t)$  temperatūrinio koeficiento grafikas

Funkcinių elementų schema su valdikliu, sudarytu naudojant miglotąją logiką, pavaizduota 29 paveikslėlyje



29 pav. Funkcinių elementų schema su valdikliu, sudarytu naudojant miglotąją logiką

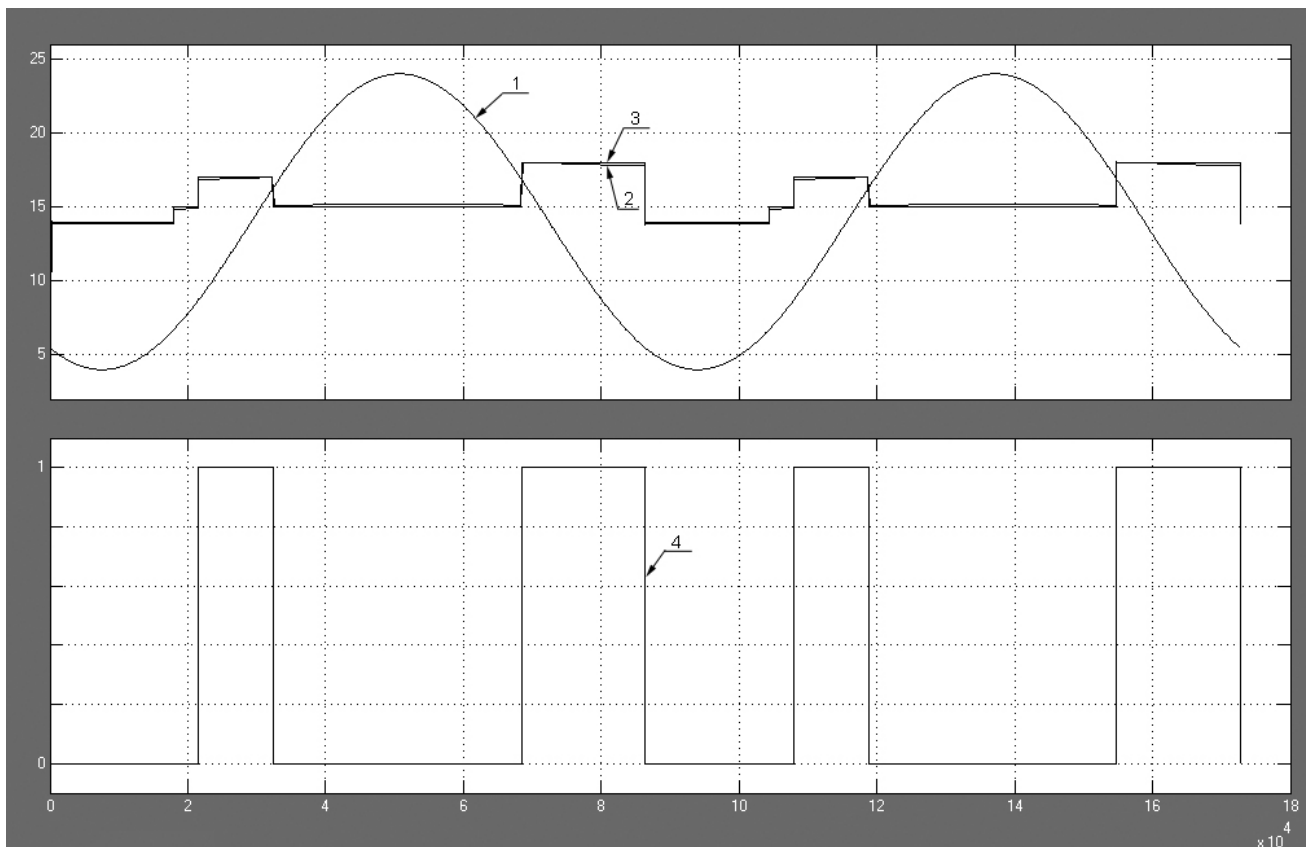
Šildymo ir vėdinimo funkcinių elementų struktūros aprašymas Simulink posistemėje, panaudotas MATLAB programavimo kalbos blokas:

```
function T2_out = H(r_in,q_in,T1_in,qhv_in)
if qhv_in==1
    T2_out=((T1_in-q_in)/2)+(1-r_in);
else
    T2_out=0;
end
```

```
function T2_out = C(r_in,q_in,T1_in,qcv_in)
if qcv_in==1
    T2_out=((T1_in-q_in)/2)+(1-r_in);
else
    T2_out=0;
End
```

Funkcinių elementų, sumodeliuotų Simulink posistemėje, kitimo laike grafikai, pavaizduoti 30 paveikslėlyje, kur:

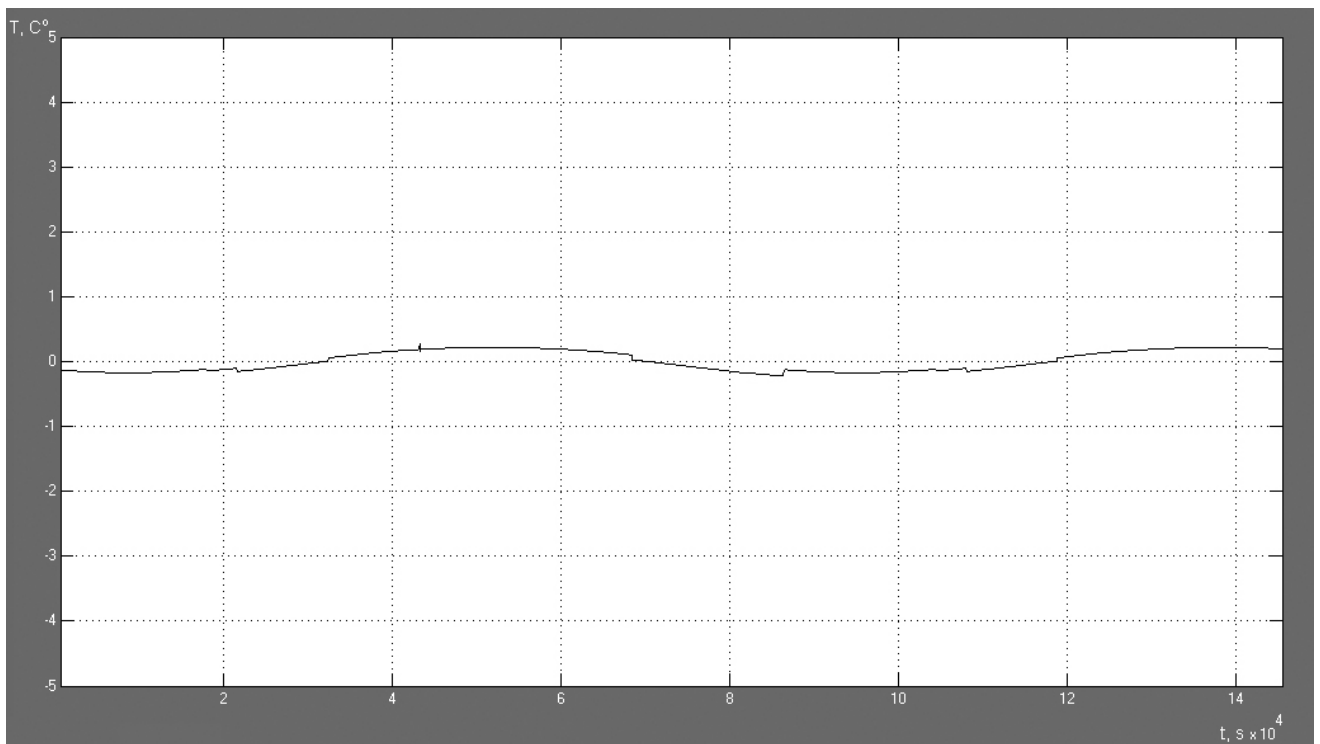
- 1 – lauko oro srauto temperatūra;
- 2 – iš patalpos išeinančio oro srauto temperatūra;
- 3 – vartotojo nustatyta pageidaujama patalpos oro temperatūra;
- 4 – judesio daviklio veikimo grafikas.



30 pav. Funkcinių elementų veikimo grafikai.

Palyginus matematinio modelio ir matematinio modelio, kurio valdiklio sudarymui naudojama miglotoji logika, gautą patalpos temperatūrą, gauname skirtumą kurio grafikas yra pavaizduotas 31 paveikslėlyje.





31 pav. Matematinio modelio ir matematinio modelio, kurio valdiklio sudarymui naudojama miglotoji logika, patalpų temperatūrų skirtumo grafikas

Pagal gautus rezultatus galime teigti, kad patalpų temperatūros skirtumas nėra didelis, didžiąją modeliavimo laiko dalį patalpų temperatūros skirtumas yra artimas nuliui ( $0 - 0,2 \text{ C}^\circ$ ). Šis temperatūros skirtumas neįtakoja sistemos teisingo veikimo.

Pagal gautus modeliavimo rezultatus darau išvadą, kad šildymo ir vėdinimo sistemos valdiklio modelis, sudarytas naudojant miglotąją logiką, veikia teisingai.

Vertinant šildymo ir vėdinimo sistemos modelio veiklos kainą, negalime įvertinti piniginiiais vienetais, todėl ji išreiškiama santykinė kaina. Santykinė kaina apskaičiuojama sumuojant visas iki einamo laiko momento temperatūros pokyčių absoliutines reikšmes, nusakančias, keliais laipsniais reikia padidinti ar sumažinti iš oro maišytuvo išeinančio oro srauto temperatūrą.

Sistemos modelių veiklos santykinės kainos pavaizduotos 4 lentelėje.

4 lentelė. Sistemos modelių veiklos santykinės kainos

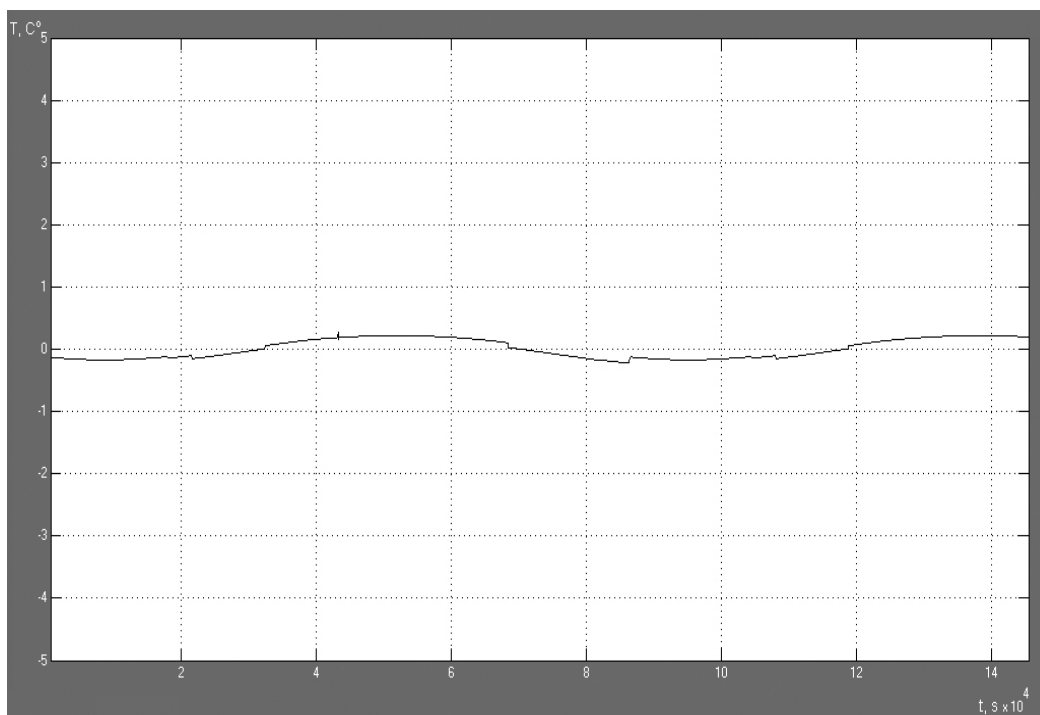
Modelis	Santykinė kaina
Matematinis modelis	312,712
Matematinis modelis, kurio valdiklio sudarymui naudojama miglotoji logika	271,468

### 4.3. Šildymo ir vėdinimo skaitmeninio valdymo modelių, sudarytų naudojant miglotąją logiką ir laikinius Petri tinklus, palyginimas

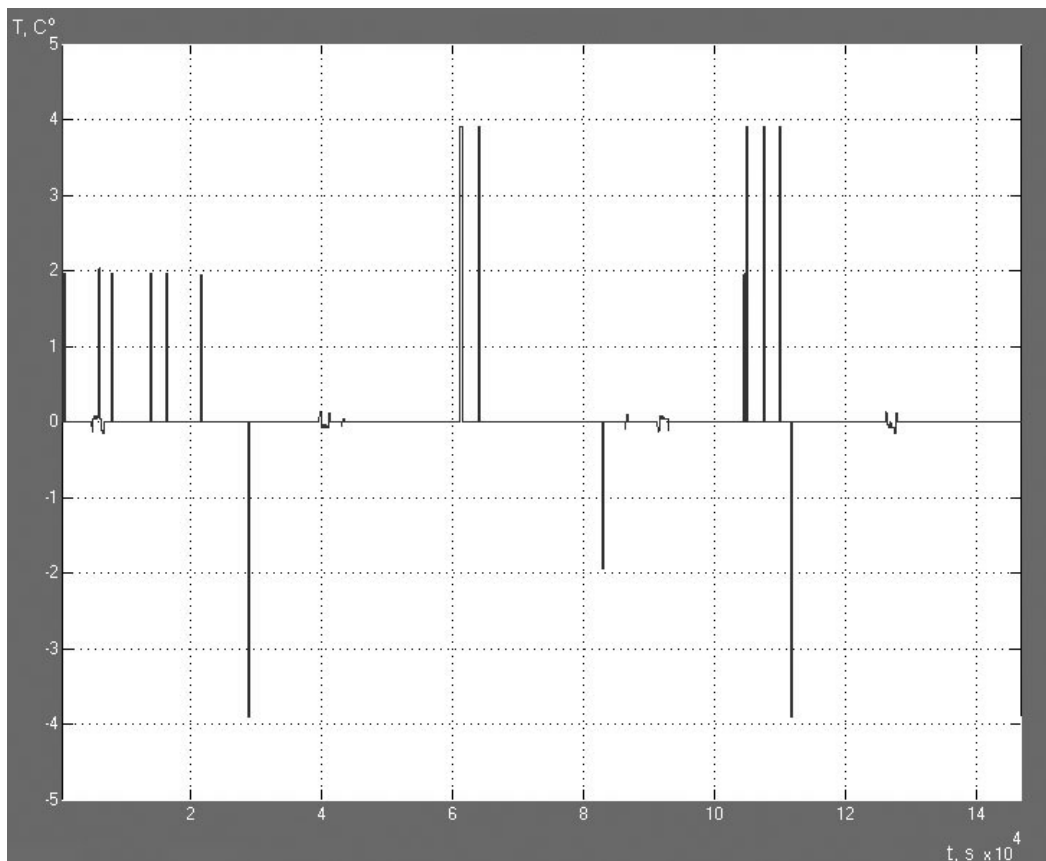
Sudarytas šildymo ir vėdinimo sistemos matematinis modelis, kurio valdiklio sudarymui naudojama miglotoji logika, buvo palygintas su kolegos Dariaus Kriščiūno šildymo ir vėdinimo sistemos matematinio modelio, kurio valdiklio sudarymui naudojami laikiniai Petri tinklai. Modeliai buvo lyginti pagal sekančius kriterijus:

- patalpų temperatūrų skirtumą tarp matematinių modelių ir matematinių modelių, kurių valdikliams sudaryti buvo panaudoti laikiniai miglotoji logika arba Petri tinklai;
- santykinę veiklos kainą.

Matematinio modelio ir matematinio modelio, kurio valdiklio sudarymui naudojama miglotoji logika, gautas patalpų temperatūrų skirtumo grafikas yra pavaizduotas 32 paveikslėlyje, o matematinio modelio ir matematinio modelio, kurio valdiklio sudarymui naudojami laikiniai Petri tinklai, gautas patalpų temperatūrų skirtumo grafikas yra pavaizduotas 33 paveikslėlyje.



33 pav. Matematinio modelio ir matematinio modelio, kurio valdiklio sudarymui naudojama miglotoji logika, patalpų temperatūrų skirtumo grafikas



34 pav. Matematinio modelio ir matematinio modelio, kurio valdiklio sudarymui naudojami laikiniai Petri tinklai, patalpų temperatūrų skirtumo grafikas

Patalpų temperatūrų skirtumas tarp matematinio modelio ir modelio, kurio valdiklio sudarymui naudojama miglotoji logika, yra artimas nuliui ( $0 - 0,2 \text{ C}^\circ$ ). Šis temperatūros skirtumas neįtakoja sistemos teisingo veikimo.

Patalpų temperatūrų skirtumas tarp matematinio modelio ir modelio, kurio valdiklio sudarymui naudojami laikiniai Petri tinklai, yra artimas nuliui ( $0 - 0,004 \text{ C}^\circ$ ). Vis dėlto tam tikrais laiko momentais pastebima didesnis skirtumas, atsirandantis dėl laikinių charakteristikų gaunamų iš Petri tinklo modeliavimo įrankio HPSim. Tačiau šis skirtumas nedaro didelės įtakos bendram sistemos darbui, kadangi jis nėra didelis ir trunka labai mažą laiko tarpą, kas netrukdo sistemai teisingai veikti.

Sistemos modelių veiklos santykinės kainos pavaizduotos 5 lentelėje.

5 lentelė Sistemos modelių veiklos santykinės kainos

Modelis	Santykinė kaina
Matematinis modelis	312,712
Matematinis modelis, kurio valdiklio sudarymui naudojama miglotoji logika	271,468
Matematinis modelis, kurio valdiklio sudarymui naudojami laikiniai Petri tinklai	280,228

## 5. Išvados

1. Išanalizuoti skaitmeninių valdymo sistemų modeliavimo metodai ir nustatyta, kad tinkamas metodas, šildymo vėdinimo sistemos valdymo modeliui sudaryti, yra miglotoji logika.
2. Išanalizuoti šildymo vėdinimo sistemų valdymo algoritmai. Šildymo vėdinimo sistemos skaitmeninio valdymo modelio sudarymui pasirinktas proporcinis-integralinis reguliavimo algoritmas.
3. Išanalizuoti šildymo vėdinimo sistemos procesai ir eksperimentinėje darbo dalyje sumodeliuoti jų funkciniai elementai MATLAB paketu.
4. Sudarytas šildymo vėdinimo sistemos matematinis modelis, apibrėžiantis funkcinių elementų veiklą.
5. Atlikus eksperimentą nustatyta, kad patalpų temperatūrų skirtumas tarp sistemos matematinio modelio, kurio valdiklio sudarymui naudojama miglotoji logika, reguliuojančiu šildymo ir vėdinimo funkcinių elementų veikimą, ir matematinio modelio yra labai mažas ( $0 - 0,2 \text{ C}^\circ$ ). Todėl galima teigti, kad šildymo ir vėdinimo sistemos matematinis modelis, kurio valdiklio sudarymui naudojama miglotoji logika, veikia korektiškai, stabiliai ir teisingai.
6. Eksperimento metu apskaičiuota šildymo ir vėdinimo sistemos matematinio modelio ir sistemos matematinio modelio, kurio valdiklio sudarymui naudojami laikiniai Petri tinklai, santykinė veiklos kaina. Palyginus gautus rezultatus nustatyta, kad sistemos matematinio modelio, kurio valdiklio sudarymui naudojama miglotoji logika, santykinė veiklos kaina yra mažesnė 13,2 %.
7. Eksperimento metu atlikta šildymo vėdinimo skaitmeninio valdymo sistemų modelių, sudarytų naudojant miglotąją logiką ir laikinius Petri tinklus, palyginamoji analizė. Nustatyta, kad šildymo vėdinimo sistemos skaitmeninio valdymo modeliui sudaryti tinkami ir miglotoji logika ir laikiniai Petri tinklai. Palyginamosios analizės metu nustatyta, kad sistemos skaitmeninio valdymo modelio sudarymui tikslingiau, naudoti miglotąją logiką.

## 6. Literatūra

1. Kraus P. J. Real time Operating Systems, 1998 [žiūrėta 2004-07-21]. Prieiga per internetą: <<http://people.msoe.edu/~sebern/courses/cs384/papers98/kraus.pdf>>
2. Sommerville I. Software Engineering, 6th edition, 2000 [žiūrėta 2005-02-09]. Prieiga per internetą: <<http://www.elen.ktu.lt/~rsei/SE/Realaus.laiko.ppt>>
3. Uncu O. A New Fuzzy System Modeling, [žiūrėta 2005-04-07]. Prieiga per Internetą: <<http://www.msie.sabanciuniv.edu/seminars/ozgeuncu.ppt>>
4. Compare Heating & Cooling Systems [interaktyvus] [žiūrėta 2004-12-03]. Prieiga per Internetą: <<http://www.pioneerec.com/compare.html>>
5. Uncu O. A New Fuzzy System Modeling, [žiūrėta 2005-04-07]. Prieiga per Internetą: <<http://www.msie.sabanciuniv.edu/seminars/ozgeuncu.ppt>>
6. Zadeh L.A. Fuzzy Sets, Information and Control, 1973
7. Hellman M. Fuzzy Logic Introduction, 2001
8. Eshragh F., Mamdani E.H. A general approach to linguistic approximation, 1981
9. Simoes M. G. Introduction to Fuzzy Control, 2003
10. Fuzzy rules and implication, [interaktyvus] [žiūrėta 2005-04-04]. Prieiga per Internetą: <<http://ceaspub.eas.asu.edu/PowerZone/FuzzyLogic/chapter%205/chapter5.html>>
11. Patel A. V. Simplest Fuzzy PI Controllers under Various Defuzzification Methods, 2003 m
12. Matlab help, [interaktyvus] [žiūrėta 2005-04-05]. Prieiga per Internetą: <<http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/fuzzy/defuzzdm.html>>
13. What Is the Fuzzy Logic Toolbox? [interaktyvus] [žiūrėta 2005-05-01]. Prieiga per Internetą <<http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/fuzzy/a1075469166b1.html>>
14. Taha M. M. R. A novel fuzzy-based approach for quantifying tension stiffening of reinforced concrete structures, 2003 [žiūrėta 2005-04-07]. Prieiga per Internetą: <<http://www.unm.edu/~mrtaha/Publications/CI-Fuzzy-Cracking.pdf>>
15. Lee E. A., Parks T. Dataflow Process Networks, 1995
16. Jerraya A., O'Brien K., SOLAR: An Intermediate Format for System-Level Modeling and Synthesis, 1995
17. Cortés L. A., Eles P., Peng Z. A Survey on Hardware/Software Codesign Representation Models, 1999 [žiūrėta 2004-11-20]. Prieiga per internetą: <[www.ida.liu.se/labs/eslab/publications/pap/db/SAVE99.pdf](http://www.ida.liu.se/labs/eslab/publications/pap/db/SAVE99.pdf)>

## 7. Summary

Presently information systems are increasingly penetrating to our daily life. Recently it is relevant to integrate the newest technologies. In that way traditional system becomes “smart” who are more economical, optimal, and self-sufficient. The biggest problem is to make a model of “smart” system.

There were analyzed modeling methods, heating and cooling control systems in this job. Mathematical model for heating and cooling controller using fuzzy logic was presented. According to analyzed problems it was made verification with Matlab during experimental phase. There was made comparison evaluation of mathematical model made with fuzzy logic and timed Petri nets.



# Priedai

## 1. Straipsnis

Šis straipsnis buvo pristatytas konferencijoje "Informacinės technologijos '2004.

### **Gyvenamojo namo šildymo ir vėdinimo valdymo sistemos modelio tyrimas**

Vytautas Jasaitis

Darius Kriščiūnas

*Kauno Technologijos Universitetas, Informatikos fakultetas, Studentų g. 50, Kaunas, Lietuva*

Vykstant informacinių sistemų progresui, informacinės sistemos vis labiau skverbiasi į mūsų kasdieninį gyvenimą. Taigi pastaruoju metu vis aktualiau yra į tradicines mūsų buities sritis integruoti naujausias informacinių sistemų technologijas. Integravus naujausias technologijas į tradicines buities sritis, tradicinės sistemos tampa „protingomis“, kurios yra taupios, stabilios, optimalios, savarankiškos (nereikalaujančios daug priežiūros). Tačiau pagrindinė problema yra „protingos“ sistemos modelio sudarymas.

Šiame darbe apžvelgiami esami šildymo ir vėdinimo modeliai ir nagrinėjama naujo modelio kūrimo metodai bei algoritmai leisiantys sudaryti šildymo ir vėdinimo sistemos modelį, kuris būtų lankstus, lengvai prisitaikantis prie vartotojų poreikių.

#### **Įvadas**

Namams šildyti ir vėdinti žmogus yra sugalvojęs begalę būdų. Pagrindiniai reikalavimai yra akivaizdūs: naudojimosi komfortas ir visiškas automatizavimas, aukštas naudingumo koeficientas ir pan. Nesutvarkyta šildymo ir vėdinimo sistema niekada nesiderina su pageidaujamu komforto lygiu. Kai per šilta dažniausiai atveriamas langas, ir šalto oro srautas, patekęs į gyvenamąsias patalpas, atšaldo jas. Jeigu patalpose yra per šalta, rūsyje atidaromas šildymo vožtuvas, ir vamzdžiais pradeda tekėti daugiau karšto vandens, tam, kad vėliau būtų galima atverti langus. Taip yra kai kiekvieną dieną ir naktį einame į rūšį ir vožtuvo padėtį pritaikome prie lauko oro temperatūros. Tai daryti yra nepatogu ir pernelyg brangu.

Norint išvengti aukščiau paminėtų problemų galima sudaryti sistemos modelį kuris automatiškai palaikys nustatytus parametrus ir greitai bei tiksliai prisitaikys prie kintančių aplinkos sąlygų.

#### **Šildymo ir vėdinimo sistemos užduotis**

Pagrindinė šildymo ir vėdinimo sistemos užduotis yra palaikyti specifinį komforto lygį gyventojams ir taupyti energiją, pvz. atsižvelgiant į patalpoje esančių žmonių skaičių, jei tuo metu nėra patalpoje žmonių tai palaikyti komfortišką temperatūrą nėra tikslinga. Šildymo ir vėdinimo sistema turi automatiškai nustatyti reikiamą komforto lygį atsižvelgiant į tam tikrą gyventojų būseną ar poreikius.

Kokybiškas ir efektyvus skirtingų šildymo ir vėdinimo valdymo sistemų įvertinimai turėtų leisti suprasti tam tikros šildymo ir vėdinimo sistemos tipo naudingumą esant tam tikroms sąlygoms. Efektyvumas gali būti matuojamas energijos taupymu, diegimo, būsimos palaikymo išlaidomis ir pan. Tai yra veikiami eilės nežinomų parametrų (tokių kaip vartojimo kaina ir pan.) ir papildomų sąlygų šildymo ir vėdinimo sistemai (tokių kaip pastato savybės, gyventojų elgsena).

Nežiūrint į egzistuojančius atskirus modalumus, tariama, kad vienintelis paprastas kriterijus skirtingų šildymo ir vėdinimo sistemų efektyviam įvertinimui gali būti rastas. Priklausomai nuo šildymo ir vėdinimo sistemos prigimties, kriterijai turėtų būti sudaryti iš laiko komponentų kartu su aplinkos komponentais, kurie bendrai aprašytų galimą sistemos pilnavertiškumą. Be to parametrų skaičius turi būti kiek galima labiau optimizuotas.

Temperatūrinis komfortas ir patalpos oro kokybė yra įtakojami šių veiksnių [1]:

- Žmonių:
  - veikla;
  - drabužiai;
  - buvimo laikas;
  - žmonių skaičius.
- Patalpų:
  - paviršių temperatūra;
  - oro temperatūros pasiskirstymas;
  - šilumos šaltiniai;
  - teršalų šaltiniai.
- Šildymo ir vėdinimo sistemos:
  - oro temperatūra;
  - drėgnumas;
  - oro kaita;
  - oro grynumas.

1 lentelėje pateikiami temperatūrinio komforto veiksniai [2].

1 lentelė. Temperatūrinio komforto veiksniai.

	<b>Fizinės sąlygos</b>	<b>Fiziologinės sąlygos</b>	<b>Pereinamos sąlygos</b>
<b>Oro temperatūra</b>	Pirminis/dominuojantis parametras		
<b>Vidutinė temperatūra</b>	Pirminis/dominuojantis parametras		
<b>Drėgnumas</b>	Antrinis parametras		
<b>Oro kaita</b>	Antrinis parametras		
<b>Oro slėgis</b>	Antrinis parametras		
<b>Oro ingredientai</b>	Antrinis parametras		
<b>Šviesa</b>	Antrinis parametras		
<b>Mitybos įtaka</b>		Papildomas parametras	
<b>Amžius</b>		Papildomas parametras	
<b>Kultūrinė įtaka</b>		Antrinis parametras	
<b>Lytis</b>		Papildomas parametras	
<b>Kūno sudėjimas</b>		Papildomas parametras	
<b>Apranga</b>			Pirminis/dominuojantis parametras
<b>Aktyvumas</b>			Pirminis/dominuojantis parametras
<b>Prisitaikymas ir aklimatizacija</b>			Antrinis parametras

<b>Paros laikas / metų laikas</b>			Papildomas parametras
<b>Užimtumas</b>			Antrinis parametras
<b>Psichologiniai faktoriai</b>			Papildomas parametras

Priklausomai nuo pastato konstrukcijos, paskirties, baldų, turi būti nustatytos pagrindinės gyventojų buvimo vietos. Dažniausiai tai yra vieta 1m atstumu nuo lauko sienų, 0,5m nuo vidinių sienų, 2m nuo žemės [1]. Nedideli temperatūros pokyčiai temperatūriniam komfortui yra labiau svarbūs nei pvz. drėgnumas (kuris taip pat turi būti kontroliuojamas). Rasti optimalią temperatūrinio komforto vertę yra labai sunku. Pagrindinis kintamasis, nustatantis šią temperatūrinio komforto vertę yra žmogaus odos ir kūno temperatūros, kurios priklauso oro ir supančių paviršių temperatūros [3]. Įtakos turi ir drabužiai bei atliekami judesiai.

### Klimato kontrolės metodai

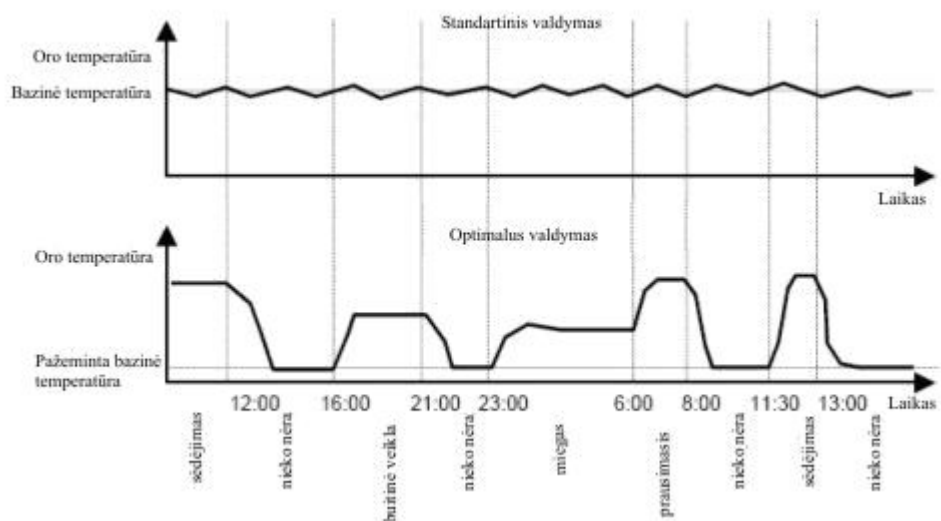
Apžvelgsime kelis kambario klimato kontrolės metodus. Kriterijai, kuriais paremtas valdymas yra temperatūrinis komfortas, energijos efektyvus panaudojimas.

Energijos, skirtos šildymui, taupymas pastatuose yra uždavinys tiek technologijoms, tiek aplinkai. Tyrimai rodo, kad apie 14% nuo visos naudojamos energijos yra sunaudojama gyvenamųjų namų šildymui [4].

Esant dideliame kiekiui skirtingų ir sudėtingų šildymo ir vėdinimo sistemų sunku pasirinkti kuri iš šių sistemų yra geriausia (lyginant pagal energijos taupymą ir termeratūrinį komfortą). Norint suvokti šią problemą, reikia aptarti labai daug įtakojančių faktorių. Tam, kad sistemą būtų galima pritaikyti įvairiems objektams, ji turi būti lengvai konfigūruojama, pritaikoma prie konkrečios situacijos. Prieš pradėdant diegti sistemą konkrečiame objekte, turi būti sudaryta aiški modelio struktūra.

Pagrindiniai šildymo ir vėdinimo valdymo sistemų tipai (1 pav.) [4]:

- Standartinio valdymo;
- Optimalaus valdymo (pagal paros laiką, žmonių veiklą ir pan.).



1 pav. Oro temperatūros pokyčiai priklausomai nuo skirtingų šildymo ir vėdinimo valdymo strategijos

Žmogaus elgsenos (buvimo laikas kambariuose, judėjimo intensyvumas) supratimas duoda labai vertingą informaciją reikalingą šildymo ir vėdinimo sistemos valdymui laiko atžvilgiu. Pvz. svetainėje žmonių veikla tikėtina kad bus aktyvesnė vakare, o kitais kambariais tuo metu, tokias kaip virtuvė ar vonios kambarys, bus naudojamos rečiau. Jei šeimoje yra naujagimių, tikėtina kad visais kambariais bus naudojamos dažniau. Įėjimas į kambarį rumpam neturi turėti įtakos bendram temperatūros pokyčiui, t.y. neturi sukelti staigaus temperatūros pakeitimo [5].

## Patalpos šildymo valdymo temperatūrinės sąlygos

Fizikinis termodinaminis procesų modelis yra pagrįstas energijos balansu. Supaprastintas energijos balansas patalpoje gali būti išreikštas taip [6]:

$$Q_H + Q_G \equiv Q_{\text{gain}} = Q_{\text{loss}} \equiv Q_T + Q_L$$

kur:

$Q_H$  – šilumos srautas į patalpą iš šildymo įrenginių,

$Q_G$  – šilumos srautas dėl šildymo šaltinių patalpos viduje,

$Q_T$  – šilumos srautas dėl skirtumo tarp sienų paviršiaus temperatūros ir lauko temperatūros,

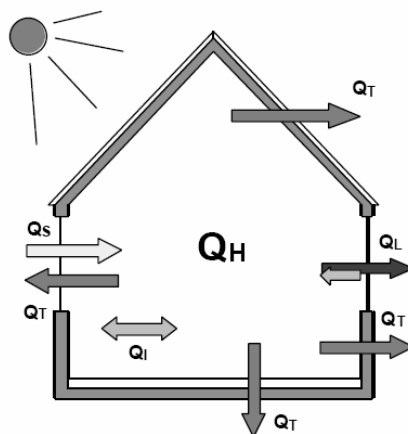
$Q_L$  – šilumos srautas dėl kaitos iš ventiliacijos.

Šilumos srautas  $Q_G$  yra kelių patalpos šaltinių šilumos srautų suma:

$$Q_G = Q_S + Q_P + Q_M + Q_C + Q_B$$

kur  $Q_S$ ,  $Q_P$ ,  $Q_M$ ,  $Q_C$ ,  $Q_B$  apibrėžia atitinkamai šilumos srautus dėl saulės šildymo, žmonių, elektrinių prietaisų, cheminių reakcijų, šviesos įrenginių.

Norint nustatyti norimą kambario temperatūrą, reikalingas kiekis  $Q_H$ , kuris iš esmės priklauso nuo  $Q_{\text{loss}}$  ir  $Q_G$ . Pokytis  $\Delta Q_{\text{loss}}$  ir  $\Delta Q_G$  turi būti kompensuojami per  $\Delta Q_H$ .



2 pav. Patalpos temperatūrinis balansas

Įprastinės konstrukcijų pastatuose šilumos praradimas dėl terminių mainų per pastato sienas yra žymiai didesnis ( $Q_G \ll Q_{\text{loss}}$ ). Tai veda prie išvados:

$$Q_H \gg Q_G \Rightarrow \Delta Q_H + \Delta Q_G \approx \Delta Q_H$$

tai reiškia, kad susijusi pastovi fizikinė būseną gali būti palaikoma vien tik temperatūros valdymu bet kuriame pastato kambaryje remiantis lauko temperatūra ( $\Delta Q_{\text{loss}}$  priklausomybė). Šiais laikais dėl naujų šilumos praradimo mažinimo technologijų gali būti apsiektas didelis energijos taupymo lygis (2 pav). Tad gauname:

$$Q_{\text{loss}} \approx Q_G \Rightarrow \Delta Q_H + \Delta Q_G \neq \Delta Q_H$$

Remiantis šia formule šilumos srautas dėl vidinio šilumos išlošimo vaidina svarbią rolę terminiam balanse ir negali būti ignoruojamas. Reikšmė  $Q_G$  labai priklauso nuo saulės šilumos ir kambario parametrų, tokių kaip padėtis, plotas, langai, durys, žmonių ar veikiančių elektros prietaisų kambaryje buvimas. Jei visi kambariai būtų valdomi vieno pagrindinio įrenginio (kaip tai yra įprasta), tai bent vienas kambarys galėtų būti valdomas optimaliai, visų likusių kambarių neoptimalaus valdymo sąskaita, gyventojų diskomfortu juose ir energijos švaistymu. Galime padaryti išvadą, kad protinga šildymo ir vėdinimo valdymo sistema turėtų atsižvelgti į kiekvienam kambariui keliamus komforto reikalavimus ir energijos taupymą.

## Išvados

Šiame straipsnyje buvo apžvelgti esami šildymo ir vėdinimo sistemų valdymo modeliai. Nagrinėjome kriterijus ir sąlygas į kurias reikia atsižvelgti norint sudaryti šildymo ir vėdinimo sistemos modelį, kuris būtų lankstus, lengvai prisitaikantis prie vartotojų poreikių.

## Literatūros sąrašas

- [1] **R.Grassnick.** *A Case Study for Individual Room Control*. URL: <http://smarthome.unibw-muenchen.de/de/publications/Gra01.pdf>
- [2] **J.Blumenberg, M.Spinnler.** *Energieoptimierung für Gebäude*. URL: [www.td.mw.tum.de/tum-td/de/studium/lehre/energopt\\_f\\_geb/download/skr\\_eopt/EOpt\\_2](http://www.td.mw.tum.de/tum-td/de/studium/lehre/energopt_f_geb/download/skr_eopt/EOpt_2)
- [3] **E.Kėvalaitis, M.Illert, H.Hultborn.** *Žmogaus fiziologija*. Kauno medicinos universiteto leidykla, Kaunas, 1999, p. 432-434
- [4] **K.Spasokukotskiy, H.Tränkler.** Efficiency estimation for demand-driven Climate control in buildings. <http://smarthome.unibw-muenchen.de/de/publications/Spa02a.pdf>
- [5] **R.Grassnick, H.Tränkler.** *Occupancy-led Individual Room Control*. Smart Systems and Devices, Hammamet, Tunesien, 2001, p. 794-800
- [6] **D.Jelondz, K.Spasokukotskiy, H.Ruser.** *Concept and realisation of an EIB based automated room climate control*. URL: [www.unibw-muenchen.de/ima/](http://www.unibw-muenchen.de/ima/)

Research of building heating and conditioning system control model

Presently information systems are increasingly penetrating to our daily life. Recently it is relevant to integrate the newest technologies. In that way traditional system becomes “smart” who are more economical, optimal, and self-sufficient. The biggest problem is to make a model of “smart” system.

In this article we review present heating and conditioning systems and study creation of methods and algorithms for making a new heating and conditioning system model that is more flexible, easily adjustable for human needs.

## **2. Kompaktinė plokštelė**

Pateikiama kompaktinė plokštelė, kurioje įrašyta:

1. Elektroninė darbo versija.
2. Elektroninė straipsnio versija.
3. Šildymo vėdinimo sistemos valdymo modeliai, sudaryti MATLAB sistemoje.
4. Miglotosios logikos sistemos modelis, sudarytas *Fuzzy Logic Toolbox* įrankiu.