

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
INFORMATIKOS FAKULTETAS
KOMPIUTERIŲ KATEDRA

Darius Kriščiūnas

**Gyvenamojo namo šildymo ir vėdinimo sistemos
kompiuterinio valdymo modelio sudarymas ir tyrimas
naudojant Petri tinklą**

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 Petri tinklą**

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) D. Kriščiūnas
2005 05 17

Kaunas, 2005

Turinys

1. Įvadas	4
2. Valdymo procesų formalųjų metodų analizė	5
2.1. Tyrimo sritis	5
2.2. Tyrimo objektas ir problema	6
2.3. Realiojo laiko sistemos analizė	8
2.4. Sistemos modeliavimo metodų apžvalga	10
2.4.1. Baigtinių automatų mašinos	10
2.4.2. Petri tinklai	11
2.4.3. Sinchroniniai / reaktyvūs modeliai	12
2.5. Petri tinklai	14
2.6. Modelio analizė	17
2.6.1. Esamų šildymo vėdinimo sistemų tipų analizė	17
2.6.2. Sistemos procesų analizė	18
2.7. Analizės išvados	20
3. Šildymo vėdinimo sistemos procesų bei jų kompiuterinio valdymo teorinis tyrimas	21
3.1. Šildymo vėdinimo sistemos teorinis modelis	21
3.2. Funkcinių elementų matematiniai modeliai	23
3.3. Šildymo vėdinimo sistemos valdiklio modelis	25
4. Eksperimentas ir tyrimai	30
4.1. Šildymo vėdinimo sistemos matematinio modelio tyrimas	30
4.2. Šildymo vėdinimo sistemos matematinio modelio, kurio valdiklio sudarymui naudojami laikiniai Petri tinklai, tyrimas	35
4.3. Šildymo ir vėdinimo skaitmeninio valdymo modelių, sudarytų naudojant laikinius Petri tinklus ir miglotąją logiką, palyginimas	44
5. Išvados	47
6. Literatūra	48
7. Summary	50
Priedai	51
1. Straipsnis	51
2. Kompaktinė plokštelė	55

1. Įvadas

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 tokios sistemos modelio sudarymas.

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.

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 sekančius uždavinius:

- atlikti šildymo vėdinimo sistemos procesų analizę;
- atlikti modeliavimo metodų analizę;
- sudaryti šildymo vėdinimo sistemos valdymo procesų modelį panaudojant Petri tinklą;
- 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 palyginti sudaryti modeliai.

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 sekančiai:

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

Šildymo vėdinimo sistemos procesų kompiuterinio valdymo sritis aprašoma kaip:

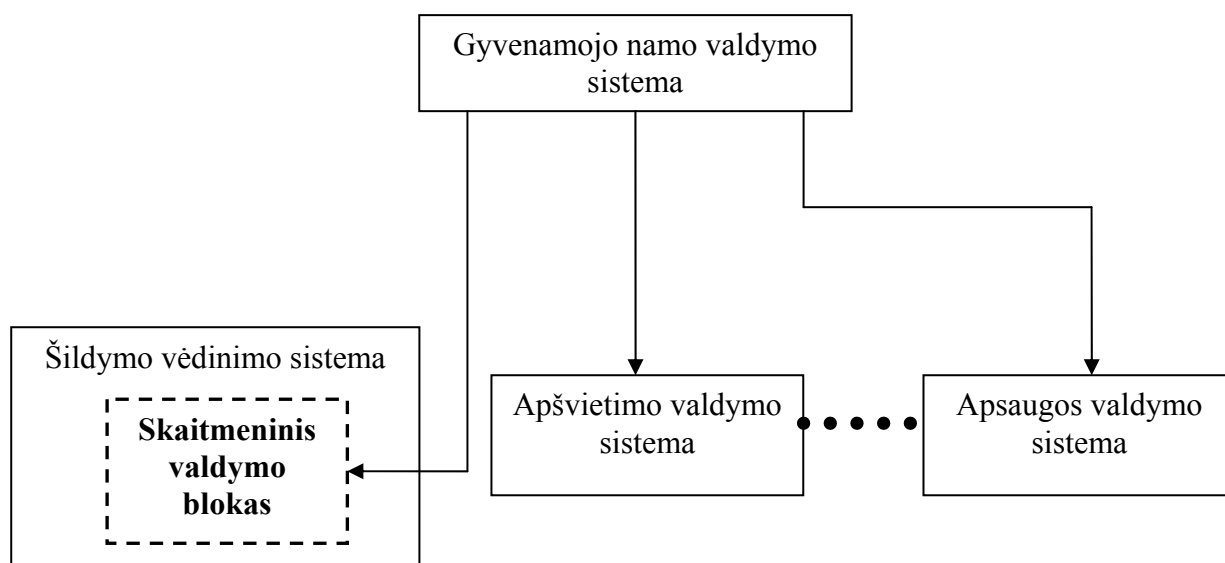
- Kokius šildymo vėdinimo sistemos valdymo procesus automatizuoti, siekiant sumažinti žmogaus laiką ir darbą skiriamą sistemos aptarnavimui ir priežiūrai bei galimų klaidų skaičių;
- Šildymo vėdinimo sistemos naudingumo didinimas.

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, to pasekoje 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 paveikslėlis).



1 pav. Kompiuterizuoto gyvenamojo namo sistema

Gyvenamasis namas, kaip žmogaus sukurta sistema, turi savo dinamiškumą charakterizuotą pagal diskrečius įvykius ir diskrečias būsenas. Diskretus įvykis – pvz., šviesos įjungimas, įėjimas į kambarį ir t.t. Diskreti būsena – šviesa įjungta/išjungta, žmogus yra/nėra kambaryje. Kita vertus taip pat yra būtina įvertinti įvairias besikartojančias sąveikas, kurios negali būti apibrėžtos diskrečiomis taisyklėmis. Šildymo ir vėdinimo valdymo sistema turi būti sudaryta iš tam tikro skaičiaus valdymo strategijų ir diskrečių įvykių.

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

Tiriant gyvenamojo namo šildymo ir vėdinimo sistemos kompiuterinio valdymo modelį susiduriama su eile iškilančių problemų, 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 reikia 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 kas lemia ir sistemos populiarumą. Kiekvienas vartotojas nori stabilios ir patikimai veikiančios sistemos.

Sistemos išplečiamumas, 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 analizė

Yra daugybė atvejų, kurie gali būti priskirti realiojo laiko taikymams, bendru atveju realiojo laiko sistema, kuri gali būti įterpta į didesnę (sudėtingesnę) sistemą yra tokia, kuri gali reaguoti į realiojo pasaulio įvykius, tam tikru laike apibrėžtu būdu. Vienas iš realiojo laiko sistemos apibrėžimų galėtų būti toks: realiojo laiko sistema yra tokia, kurioje skaičiavimų korektiškumas priklauso ne tik nuo loginio korektiškumo, bet taip pat nuo laiko, per kurį pasiekiamas rezultatas.

Sutinkami tokie realiojo laiko sistemos tipai: programinės ir aparatinės. Aparatinėse realiojo laiko sistemose laikas yra priverstinis atributas, pavėluotas atsakas (reakcija), net jeigu jis ir yra teisingas, yra nepriimtinas [1]. Programinėse realiojo laiko sistemose, kuriose informacija ir įvykiai gali būti valdomi pakankamai greitai (reikiamu laiku arba pagal užklausimus), apribojimai nėra griežtai apibrėžti. Programinės realiojo laiko sistemos turi sumažintus apribojimus vėlinimui ir veikia pakankamai greitai. Kai kurie realiojo laiko procesai, pvz., vaizdų atpažinimas, gali būti įvykdomi per kelis šimtus mikrosekundžių, o procesas valdantis servomotoro pozicionavimą, gali trukti kelis šimtus milisekundžių. Taigi realiojo laiko sąvoka yra ne absoliutus, o santykinis atributas, priklausantis nuo konkrečios sistemos.

Realiojo laiko sistemų kūrimas – vienas sudėtingesnių sistemų inžinerijos uždavinių. Realiojo laiko programinė įranga reikalauja specialių analizės, projektavimo ir testavimo metodų [1].

Realiojo laiko programinė įranga neatskirama nuo išorinio pasaulio: tokia programa sprendžia problemą nustatytoje laiko atkarpoje. Todėl programos veikimą dažnai lemia programinė – techninė architektūra, operacinės sistemos charakteristikos bei programavimo kalbos ypatybės [2].

Išskiriamos trys svarbiausios charakteristikos, skiriančios realiojo laiko sistemų projektavimą nuo kitų sistemų kūrimo:

- Realiojo laiko sistemų sudarymas apribotas išteklių. Pagrindinis išteklius – laikas. Užduoti reikia atlikti per tam tikrą CPU ciklą skaičių. Kiti sisteminiai ištekliai (pvz., atmintis) gali būti panaudoti tam, kad sistema veiktų greičiau.
- Realiojo laiko sistemos yra greičiau kompaktiškos, nei sudėtingos. Kritinės laiko požiūriu sistemos atkarpos paprastai sudaro tik nedidelę visos sistemos dalį. Šitos atkarpos dažniausiai yra ir sudėtingiausios (algoritminiu požiūriu) [3].
- Realiojo laiko sistemos dažnai dirba be pastovios žmogaus priežiūros. Realiojo laiko sistema turi aptikti ir taisyti klaidas, neprarandant duomenų bei išsaugant sistemos stabilumą.

Realiojo laiko sistemoje egzistuoja keletas pagrindinių poveikių tokių kaip: periodiniai poveikiai – tai tokie poveikiai, kurie įvyksta nustatytais laiko intervalais ir neperiodiniai poveikiai – poveikiai, kurie įvyksta nenumatytais laiko momentais. Dėl skirtingų poveikio/reakcijos laiko

apribojimų sistemos architektūroje turi būti greitas poveikių apdorojimo programų perjungimas. Skirtingiems poveikiams yra skirtingi laiko apribojimai. Realiojo laiko sistemos paprastai yra realizuojamos kaip tarpusavyje sąveikaujantys procesai, kuriuos valdo realiojo laiko valdiklis [2].

Realiojo laiko sistemų projektuotojas turi priimti daug svarbių programinės – techninės įrangos pobūdžio sprendimų. Kai programinės įrangos komponentai aiškūs, turi būti atlikta išsami reikalavimų specifikacija ir komponento projektavimas. Būtina apsvarstyti procesų sinchronizaciją, pertraukimų valdymą, įvedimo/išvedimo valdymą be duomenų praradimo, laiko apribojimus. Dažniausiai realiojo laiko sistema susideda iš valdymo sistemos ir valdomosios sistemos [4].

Kompiuteriai vis dažniau naudojami kontroliuoti įvairius įtaisus gamyboje, rankų darbas keičiamas automatizuotomis sistemomis. Tai vis realiojo laiko sistemų pavyzdžiai. Kompiuteris koordinuoja tai, kas susiję su tikrove laiko požiūriu ir reaguoja į išorinius įvykius. Realiojo laiko sistemos plačiai naudojamos karinėje elektronikoje, aeronautikoje, gamybai automatizuoti, medicinos ir mokslo tyrimuose, kompiuterinėje grafikoje, kliento aptarnavimo prietaisuose, komunikacijos srityje ir kt.

2.4. Sistemos modeliavimo metodų apžvalga

Sistemos modelis yra abstrakti sistema, kuri skirta analizuoti jos elgseną ir ją pavaizduoti. Sistemos modeliavimas padeda projektuotojui suprasti sistemos funkcionalumą. Modeliai yra abstraktūs, juose nėra aprašoma sisteminė informacija. Formaliaisiais metodais galima aprašyti būsimus modelius.

Aparatinės ir programinės įrangos modeliavimas yra labai aktuali problema. Modelis turi atspindėti sistemos savybes ir apibrėžti funkcionalumą. Modeliavimo eiga turi būti paremta formaliu aprašymu, kad sintezė nuo modelio specifikacijos iki diegimo būtų vykdoma teisingai.

Pavaizduoti nevienalytėms sistemoms buvo sukurta daugybė modelių. Matematinis modelis turėtų idealiai apimti sistemos procesų veikimo lygiagretumą, elgsenų eiliškumą ir ryšius tarp funkcinių modulių. Kai kurie modeliai yra numatyti sistemoms duomenų srautams apdoroti, kiti – labiau pritaikyti valdymui, arba apjungia duomenų srautų apdorojimą ir valdymą.

Kai modeliuojant yra susiduriama su laiku, labai naudinga yra panaudoti sinchroninius veiksmus. Sinchroniškumo hipotezė teigia, kad sistemos išėjimai yra sinchronizuoti su sistemos įėjimais, o sistemos reakcijos laikas yra nulinis. Tokiu būdu laikas yra tarsi nustumiamas į šalį [14].

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

2.4.1. Baigtinių automatų mašinos

Klasikinės baigtinių automatų mašinos yra ko gero labiausiai žinomi valdymo sistemų modeliai. Tokie modeliai susideda iš būsenų, įėjimų ir išėjimų aibių, funkcijų, kurios aprašo išėjimus tam tikrais laiko momentais ir sekančio žingsnio funkcijų. Viena iš baigtinių automatų mašinų neigiamų savybių yra eksponentiniu greičiu augantis būsenų skaičius, kas sąlygoja sistemos sudėtingumą. Kadangi baigtinių automatų mašinos negali turėti lygiagrečių būsenų, to pasekoje negalima naudoti hierarchinės struktūros [5]. Be to, nedideli specifikacijos nukrypimai gali sąlygoti automato pasikeitimą, baigtinių automatų mašinos nėra taikomos modeliuojant praktinio pobūdžio sistemas [5].

Praktikoje egzistuoja eilė išplėstinių baigtinių automatų mašinų modelių, kurie buvo pasiūlyti norint išvengti esamų baigtinių automatų mašinų trūkumų.

SOLAR yra aukšto lygio kontrolės valdymo sistemų koncepcija, kuri daugiausia naudojama sintezės uždaviniuose [6]. Šis metodas yra paremtas išplėstu baigtinių automatų mašinų modeliu, kuris leidžia aprašinėti hierarchiją bei konkurencingumą ir naudojamas modeliuose su susijusių

baigtinių automatų mašinų sistemomis. Tokios sistemos yra atvaizduojamos projektavimo vienetais. SOLAR tipo modeliuose projektavimo vienetai bendrauja arba per klasikinės koncepcijos prievadus arba per kanalinius vienetus, kurie paslepia protokolus ar jų detales [6]. Kiekvienas projektavimo vienetas yra aprašomas kaip baigtinių automatų mašinų būsenų derinys. Kadangi projektavimo vienetai gali apimti kitus projektavimo vienetus, modeliai gali apimti bet kokius hierarchijos lygius. Modeliai pateikia tarpinius formatus, kurie įgalina modeliuoti sisteminiame lygmenyje atvaizduojant tai sintezei palankiu būdu [5].

CFSM (*Codesign Finite State Machine*) yra formalus modelis, paremtas baigtinių automatų mašinomis ir naudojamas valdymui skirtoms sistemoms su sąlyginai mažu algoritmo sudėtingumu [7]. Bazinis elementas bendravimui tarp CFSM yra įvykis, kuris charakterizuoja modelio sistemos elgseną. Bendradarbiavimui naudojami įvykiai su ne nuliniu laiku, kuriems siuntėjas nelaukia atsakymo veiksmui. Sistemos elgsena yra aprašoma kaip eilė įvykių, kurie gali būti stebimi tada, kai jie sąveikauja su aplinka.

Prie išplėstinių baigtinių automatų mašinų modelių galima priskirti ir būsenų grafikus, nes kitaip nei standartiniai modelių, jie yra daugiau tinkami didelių ir sudėtingų sistemų su dideliu konkurencingumo laipsniu atvaizdavimui [8]. Būsenų grafikai papildo baigtinių automatų mašinų struktūrą hierarchijos, konkurencingumo ir plataus bendravimo savybėmis. Hierarchijos ir konkurencingumo problema išsprendžiama naudojant ir/arba būsenas. Kai kuriuose hierarchijos lygiuose tam tikra būseną gali būti sukurta kaip rezultatas žemesnio lygio būsenos, ko pasekoje aukštesnio lygio būsenos gali priklausyti nuo daugiau nei vienos žemesnio lygio būsenos. Konkurencingumas gali būti kaip hierarchijos savybė, kas leidžia konkurencingoms būsenoms tokio tipo modeliuose būti atvaizduojamoms viena būseną. Bendravimo mechanizmui būsenų grafikuose yra naudojami viso automato užklausimų paketai, kai užklausimo siuntėjas iš karto gauna atsakymą [8].

2.4.2. Petri tinklai

Sistemų modeliavimas naudojant Petri tinklus yra taikomas daugelyje mokslo sričių. Klasikiniai Petri tinklai susideda iš keturių pagrindinių elementų: vietų aibės, perėjimų aibės, įėjimo funkcijos, kuri perėjimui nusako aibę įėjimo vietų ir išėjimo funkcija, kuri nusako aibę išėjimo vietų. Formalus matematinis aprašymas, apibrėžiantis Petri tinklų struktūrą ir perėjimų taisykles, išsivystė per daugelį metų ir padarė Petri tinklus gerai suprantamu modeliavimo įrankiu. Dvi svarbios ir esminės Petri tinklų savybės yra lygiagretumas ir asinchroniškumas [15]. Lygiagretumas nusako, kad įvykiai gali vykti nepriklausomai jeigu yra tokia galimybė. Asinchroniškumo savybė nusako tai, kad perėjimams nėra reikalingas taktų generatoriaus mechanizmas. Tačiau Petri tinklų

oponentų teigimu pagrindiniai trūkumai yra hierarchinio skaidymo stoka ir nepakankamas išraiškingumas skaičiavimams [10].

Klasikiniai Petri tinklai suteikia galimybę modeliuoti būsenas, įvykius, sąlygas, sinchronizavimą, lygiagretumą, pasirinkimą ir iteracijas. Tačiau Petri tinklai, aprašantys realius procesus yra sudėtingi ir labai dideli. Be to, klasikiniai Petri tinklai nesuteikia galimybės modeliuoti duomenis ir laiką. Siekiant išspręsti šias problemas, buvo įvesti tinklo patobulinimai. Žinomiausi papildymai yra šie: Spalvoti Petri tinklai (CPN) – spalvos įvedimas duomenims modeliuoti; laikiniai Petri tinklai (TPN) – įvedamas laikas; hierarchijos panaudojimas didelių modelių struktūroms aprašyti.

2.4.3. Sinchroniniai / reaktyvūs modeliai

Reaktyvios sistemos yra tokios sistemos, kurios be perstojo sąveikauja su aplinka [16]. Reaktyvios sistemos sinchroniniai modeliai naudojami atvaizduoti realiojo laiko sistemas. Tokiame skaičiavimo modelyje išėjimo rezultatas yra apskaičiuojami vienu metu su įėjime gautais duomenimis. Šiuo požiūriu, nėra labai pastebimo reakcijos laiko užvėlinimo. Galima daryti prielaidą, kad tokio tipo sistemas yra paprasta aprašyti bei analizuoti. Modeliuojant reaktyvios realiojo laiko sistemos sinchroninį modelį, naudojamo du atvaizdavimo tipai – kelių taktų generatorių konkurencinės sistemos ir suformuotomis būsenomis paremtos sistemos [16]. Konkurencinės sistemos paremtas metodas yra daugiau parankus sistemos su duomenų pasikeitimo procesais, būsenomis paremtas metodas daugiau taikomas srautų kontrolei.

Kartais naudojamas modelis paremtas sinchroninėmis hipotezėmis [9]. Tokio tipo sistemos modeliuojamos naudojant konkurentinius procesus kurie yra aktyvuojami įvykiais. Šiuo atveju signalas yra įvykių seka. Proceso įėjimo signalas ir atsakas yra sinchroniniai. Tai reiškia, kad kiekvieno proceso vykdymo trukmė yra nulinė. Kiekvienas įvykis turi savo žymę, taip pat visi įvykiai privalo būti surikiuoti, o bendravimas vyksta paprastu duomenų perdavimo mechanizmu.

Pagrindinės modelių charakteristikos pateikiamos 2 lentelėje.

2 lentelė. Modelių charakteristikos

	Taikymas	Laiko modeliavimas	Laiko mechanizmas	Hierarchija
Baigtiniai automatai	Kontrolė	Įvykiai su laiko požymiu	Priklausomai nuo tipo (synchroninis arba nesynchroninis)	Yra
Petri tinklai	Valdymas ir duomenų srautai. Didelio pasiskirstymo sistemos.	Priklausomai nuo tipo: tik perdavimų tvarka arba laiko intervalai.	Nesynchroninis	Yra
Sinchroniniai modeliai	Reaktyvinės sistemos (valdymas)	Nėra tikslaus laiko / Įvykiai su žymėmis	Sinchroninis	Nėra

Lyginant su kitais metodais galime išskirti šiuos Petri tinklo privalumus:

- Suprantamas grafinis vaizdavimas;
- Paprastas formalus aprašymas sumažinantis klaidingo interpretavimo tikimybę;
- Sėkmingas panaudojimas daugelyje skirtingų sričių;
- Galimybė analizuoti laikines reikšmes;
- Naudojama semantika kurią paprasta panaudoti modeliavimui ir programiniam kodui;
- Sudarant modelį Petri tinklas yra lengvai papildomas.

Išanalizavus eilę metodų ir apibendrinus pateiktus Petri tinklo privalumus, galime daryti išvadą, kad Petri tinklai yra tinkamas metodas kompiuteriniam šildymo vėdinimo sistemos modeliui sudaryti.

2.5. Petri tinklai

1962 metais pasirodė pirmas darbas apie Petri tinklus. Jo autorius K. A. Petri aprašė naują informacinių srautų sistemos modelį. Modelis buvo sudarytas remiantis prielaida, kad atskiros sistemos dalys funkcionuoja asinchroniškai ir konkuruoja tarpusavyje. Ryšiai tarp atskirų dalių buvo vaizduojami grafu arba tinklu [10]. Dažniausiai Petri tinklai naudojami modeliuojant sistemas, kuriose vienu metu gali įvykti keletas įvykių ir yra apribojimai procesų dažnumui. Įvykiams yra suteikiami prioriteto įvertinimai. Tai labai patogus būdas informaciniams procesams aprašyti, kuomet valdymo sistemose vyksta konfliktinės situacijos, lygiagretūs atsitiktiniai ir nedeterminuoti procesai.

Formaliai aprašant Petri tinklą galima išskirti pagrindinius Petri tinklų teorijos teiginius:

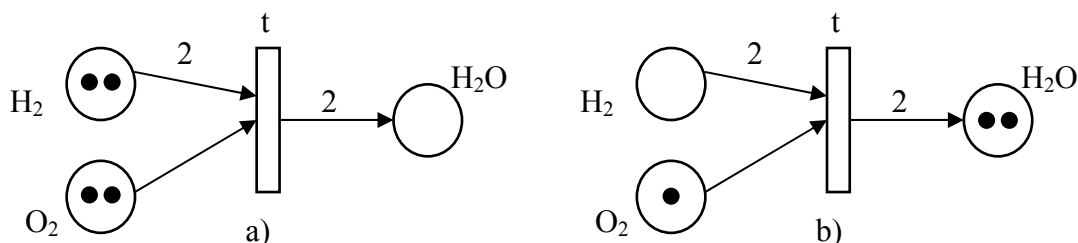
1. Petri tinklai susideda iš dviejų pagrindinių komponentų: vietų aibės P ir perėjimų aibės T .
2. Ryšį tarp vietų ir perėjimų nusako dvi funkcijos: įėjimo funkcija I ir išėjimo funkcija O ;
3. Įėjimo funkcija I kiekvienam perėjimui t_j nusako aibę įėjimo vietų $I(t_j)$.
4. Išėjimo funkcija O kiekvienam perėjimui t_j nusako aibę išėjimo vietų $O(t_j)$.

Formaliai Petri tinklas aprašomas ketvertu : $C = (P, T, I, O)$.

Klasikiniuose Petri tinkluose atsisakoma nuo laiko įvedimo t.y. būsenos kitimo laike. Tas pakeičiama priežasties - pasekmės ryšiais tarp įvykių. Jei reikia įvesti laiką, tai momentai arba laiko intervalai išreiškiami kaip įvykiai. Grafas susideda iš dviejų tipų viršūnių:

- 1) vietų p (apskritimai);
- 2) perėjimų t (atkarpos);

Viršūnės tarpusavyje yra sujungtos rodyklėmis. Jei rodyklė nukreipta iš viršūnės i į viršūnę j (iš vietos p į perėjimą t arba iš perėjimo t į vietą p), tai i yra j įėjimas, o j yra i išėjimas.



2 pav. Petri tinklo pavyzdys

2 paveikslėlis vaizduoja Petri tinklo pavyzdį, panaudojant cheminę reakciją : $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$. Dvi žymės kiekvienos vietos įėjime (2 paveikslėlis, a) rodo, kad galima paimti du H_2 ir O_2

vienetus, ir perėjimas t yra leidžiamas. Po t perėjimo, pažymėjimai pasikeis į parodytus (2 paveikslėlis b), kur perėjimas t yra neleidžiamas.

Viena iš Petri tinklo savybių yra susijusi su ribota atminties talpa realiuose sąlygose realizuojant įvykius [10]. Dirbant Petri tinklams kai kurios tinklo vietos gali sukaupti neribotą žymių skaičių. Jeigu interpretuoti vietą kaip kaupiklį (duomenų, signalų ar kitokios informacijos buferį), tai reikia pareikalauti, kad bet kokių sistemos funkcionavimo atveju neįvyktų kaupiklių perpildymas, kurie realiuose sąlygose turi realią talpą.

Konservuoti tinklai - tai tinklai kuriuose žymių suma yra visą laiką pastovi t.y. kiekvieno perėjimo suveikimas nepakeičia žymių skaičiaus tinkle [10]. Perėjimas tinkle gali sudirbti esant atitinkamoms sąlygoms, susijusioms su žymių išsidėstymu jo įėjimo vietose. Gali atsitikti taip, kad kuriam nors perėjimui jo suveikimo sąlyga negali būti išpildyta. Toks perėjimas vadinamas mirusiu. Jis yra nereikalingas tinkle, jį galime išmesti iš tinklo be žalos. Gali taip pat atsitikti tokia situacija, kad po tam tikrų perėjimų suveikimų tinkle, pakeitusių žymių išsidėstymą, kai kurie perėjimai, jų tarpe ir suveikę, niekada daugiau nesuveiks, kokie tik žymių išsidėstymo variantai nebūtų. Tokie perėjimai vadinami potencialiai mirę. Priešingos sąvokos yra gyvi ir potencialiai gyvi perėjimai. Gyvas perėjimas vadinamas toks, kuris turi galimybę sudirbti esant bet kokiam žymių išsidėstymui tinkle. Potencialiai gyvas perėjimas yra toks, kuris turi galimybę suveikti esant tam tikram žymių išsidėstymui tinkle. Atitinkamai, jei visi perėjimai tinkle gyvi - tinklas vadinamas gyvu, jei visi mirę - mirusiu. Tinklas vadinamas potencialiai gyvu, jei jame yra potencialiai gyvų perėjimų ir potencialiai mirusių, jei jame yra potencialiai mirusių vietų.

Galima išskirti šiuos Petri tinklų analizės metodus: padengiantis medis, matricinės lygtys, redukcijos ir dekompozicijos technika.

Padengiantis medis - tai paskaičiavimas visų galimų markiravimų, tačiau tai įmanoma tik nedidelės apimties tinkluose. Kiti du metodai yra "galingesni", tačiau jie gali būti naudojami tik specifinių situacijų atvejais [10]. Lygiagretūs veiksmai: pagal virsmo sužadinimo taisyklę suprantama, kad kiekviena padėtis gali priimti (sutalpinti) neribotą kiekį identiškų žymių. Toks Petri tinklas būtų begalinės talpos. Tačiau modeliuojant realias fizikines sistemas, galima kalbėti tik apie baigtinės talpos tinklą.

Aukšto lygio Petri tinklai

Petri tinklas, papildytas spalvos, laiko ir hierarchijos panaudojimo galimybėmis, vadinamas aukšto lygio Petri tinklu. Klasikiniai Petri tinklai nesuteikia galimybės modeliuoti laiką ir duomenis. Todėl buvo įvesta daug tinklo patobulinimų ir papildymų. Vieni iš žinomiausių papildymų yra šie:

- laiko įvedimas - laikiniai Petri tinklai (TPN);

- spalvos įvedimas duomenų modeliavimui – spalvoti Petri tinklai (CPN);
- hierarchijos panaudojimas didelių modelių struktūroms aprašyti – hierarchiniai Petri tinklai (HPN)

Laikiniai Petri tinklai (TPN)

Realiose sistemose dažnai svarbu aprašyti sistemos elgesį laike, t. y. reikia modeliuoti trukmes ir vėlinimus. Kadangi klasikinis Petri tinklas negali aprašyti laiko, jis yra papildytas laiko sąvoka. Yra daug būdų, kaip įvesti laiką Petri tinkluose. Laikas gali būti susietas su žymėmis, vietomis ir/arba perėjimais [10]. Formaliai laikinis Petri tinklas aprašomas penketu : $C = (P, T, I, O, \tau)$. Kur: P – vietų aibė; T – perėjimų aibė; I – įėjimo funkcija; O – išėjimo funkcija. τ – perėjimų uždelsimo aibė.

Spalvoti Petri tinklai (CPN)

Spalvoti Petri tinklai suteikia galimybę pažymėti žymių tipus skirtingomis spalvomis, kurios gali atspindėti sutartines duomenų reikšmes. Kiekviena vieta gali būti susieta su tam tikru tipu, kuris apsprendžia duomenų tipą kurį ji gali saugoti.

Hierarchiniai Petri tinklai (HPN)

Pagrindinė šio tinklo tipo atsiradimo priežastis buvo sudėtingas didelių sistemų aprašymas ir suvokimas. Hierarchiniai Petri tinklai išsaugojo pagrindines Petri tinklų savybes, tokias kaip lygiagretumas ir asinchroniškumas. Šiame Petri tinklų tipe įvedama hierarchijos konstrukcija, vadinama potinkliu. Potinklis agreguoja tam tikrą skaičių vietų, perėjimų ir posistemių. Tokios konstrukcijos dėka galima struktūrizuoti didelių procesų aprašymus. Viename lygyje galima pateikti paprasčiausių proceso aprašą (nedetalizuojant), o kitame lygyje – šį aprašą detalizuoja.

2.6. Modelio analizė

2.6.1. Esamų šildymo vėdinimo sistemų tipų analizė

Pagrindinė šildymo ir vėdinimo sistemos užduotis yra palaikyti specifinį komforto lygį gyventojams ir taupyti energiją. Šildymo ir vėdinimo sistema turi automatiškai nustatyti reikiamą komforto lygį atsižvelgiant į tam tikrą gyventojų būseną ar poreikius.

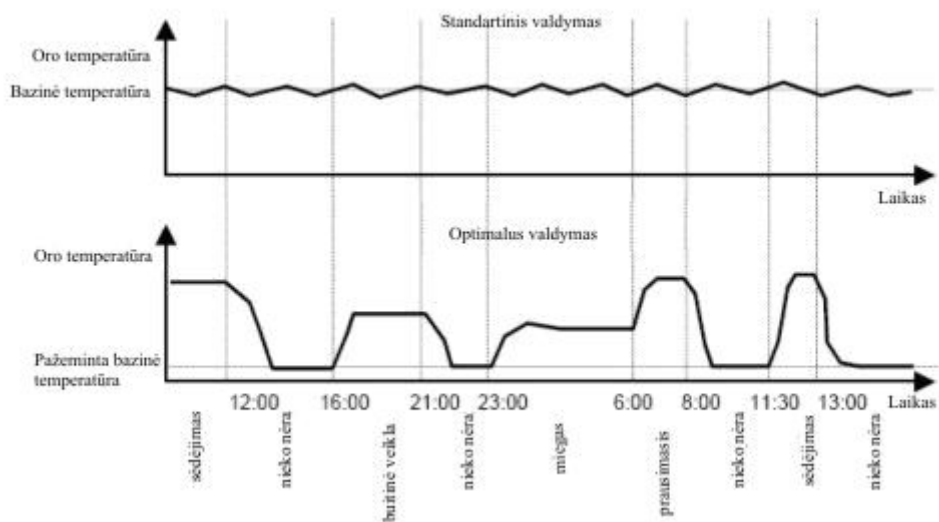
Kokybiškas ir efektyvus skirtingų šildymo ir vėdinimo valdymo sistemų įvertinimai turėtų leisti suprasti tam tikros šildymo ir vėdinimo sistemos tipo naudingumą esant tam tikroms sąlygoms. Efektyvumas gali būti matuojamas energijos taupymu, diegimo, būsimos palaikymo išlaidomis ir pan. Tai yra veikiami 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 gali būti rastas skirtingų šildymo ir vėdinimo sistemų efektyviam įvertinimui. 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.

Esant dideliame kiekiui skirtingų ir sudėtingų šildymo ir vėdinimo sistemų sunku pasirinkti kuri iš šių sistemų yra geriausia (lyginant pagal energijos taupymą ir temperatūrinį komfortą) [18]. Norint suvokti šią problemą, reikia aptarti labai daug įtakojančių faktorių. Tam, kad sistema būtų galima pritaikyti įvairiems objektams, ji turi būti lengvai konfigūruojama, pritaikoma prie konkrečios situacijos.

Pagrindiniai šildymo ir vėdinimo valdymo sistemų tipai [17] (3 pav):

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



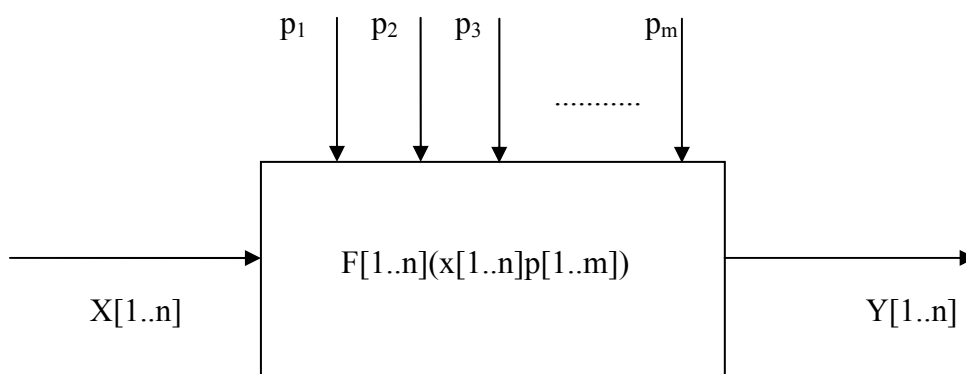
3 pav. Šildymo ir vėdinimo sistemų tipai

Žmogaus elgsenos (buvimo laikas kambariuose, judėjimo intensyvumas) supratimas duoda labai vertingą informaciją reikalingą šildymo ir vėdinimo sistemos valdymui laiko atžvilgiu. Pvz. tikėtina, kad svetainėje žmonių veikla bus aktyvesnė vakare, o kitais kambariais tuo metu, tokias kaip virtuvė ar vonios kambarys, bus naudojamas rečiau. Įėjimas į kambarį trumpam neturi turėti įtakos bendram temperatūros pokyčiui, tai neturi sukelti staigaus temperatūros pokyčio.

2.6.2. Sistemos procesų analizė

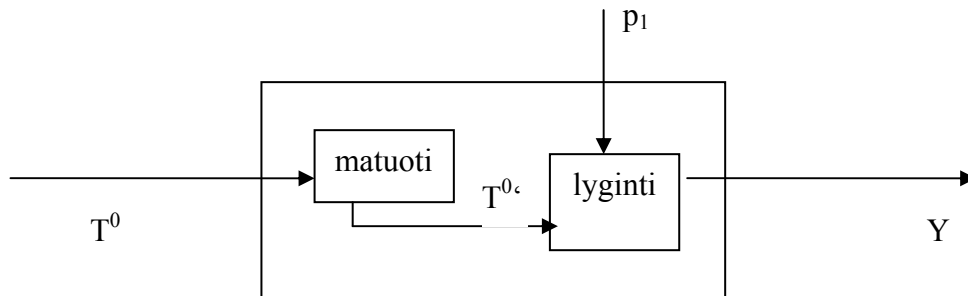
Kadangi šildymo vėdinimo sistema dirba realiame laike, taigi ši sistema yra realiojo laiko sistema.

Aukštajame lygyje šildymo vėdinimo sistemos modelį galime suprasti kaip „juodą dėžę“, į kurią padavus atitinkamus įėjimus ir parametrus ar jų rinkinius išėjime gaunamas atitinkamas rezultatas (4 paveikslėlis), kur X yra įėjimas ar jų aibė; p – parametras ar jų aibė; F vykdoma funkcija ar jų aibė; Y – išėjimas ar jų aibė.



4 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 (5 paveikslėlis).



5 pav. Proceso modelis analizuojant jį žemesniame lygyje

Galima skirti šiuos pagrindinius šildymo vėdinimo sistemos procesus: šildymo procesas, vėdinimo procesas, valdymo procesai. Jie visi tarpusavyje yra glaudžiai susiję, jų veikimą įtakoja aplinka ir vartotojas, taigi modeliuojant sistemą būtina į tai atkreipti dėmesį. Nuo aplinkos sąlygų šie procesai priklauso taip: keičiantis aplinkos sąlygoms (lauko ar vidaus temperatūrai, drėgnumui ir pan.) pasikeičia į procesus patenkantys duomenys, juos procesams apdorojus, gaunami atitinkami rezultatai, kuriais remiantis sistema atlieka reikiamus veiksmus.

Vartotojai šiems procesams daro įtaką keisdami vidinius procesų parametrus (pvz., užduodamas norimą temperatūrą). Vartotojas gali pakeisti procesų reakciją į atitinkamus aplinkos pokyčius, arba pagal jo pageidavimus gali būti nutraukta procesų veikla.

Šildymo procesas yra atsakingas už patalpos oro šildymą. Vėdinimo procesas atsakingas už patalpos oro šaldymą ir vėdinimą. Šiems procesams įtaką gali daryti sekantys veiksniai: išoriniai veiksniai bei pats vartotojas. Prie išorinių veiksnių galima priskirti išorės temperatūrą, vidaus temperatūrą, žmonių veiklą, oro kaitą, oro grynumą. Vartotojas įtaką šiems procesams daro nustatydamas šių posistemų parametrus.

Valdymo procesai yra atsakingi už šildymo ir vėdinimo posistemų valdymą. Valdymo procesams pagrindinę įtaką daro pats vartotojas nustatydamas pagrindinius parametrus (pageidaujama patalpos temperatūrą priklausomai nuo paros laiko bei vartotojo aktyvumo, gryno oro kiekį patalpoje, sistemos elgseną avarinės situacijos atveju).

2.7. Analizės išvados

Atlikus analizę buvo išskirti trys pagrindiniai sistemą sudarantys procesai: šildymo procesai, vėdinimo procesai ir jų valdymo procesai. Remiantis šiais procesais bus sudaromas kompiuterinės šildymo vėdinimo valdymo sistemos modelis.

Atliekant šildymo vėdinimo kompiuterinės sistemos analizę buvo iškeltos pagrindinės problemos, pagal kurias sudaromas gyvenamojo namo šildymo ir vėdinimo sistemos kompiuterinio valdymo modelis:

1. stabilumas;
2. patikimumas;
3. išplečiamumas;
4. vartotojo sąsaja;
5. žmogaus įtakos mažinimas.

Atlikus analizę buvo parinkti du šildymo vėdinimo sistemų tipai: standartinio valdymo bei optimalaus valdymo. Kadangi optimalaus valdymo tipas leidžia vertinti įvairius poveikius, pvz., paros laiką, žmonių veiklą ir pan., jis yra efektyvesnis nei standartinės sistemos. Naudojant šį tipą galima taupyti energetinius resursus bei lėšas.

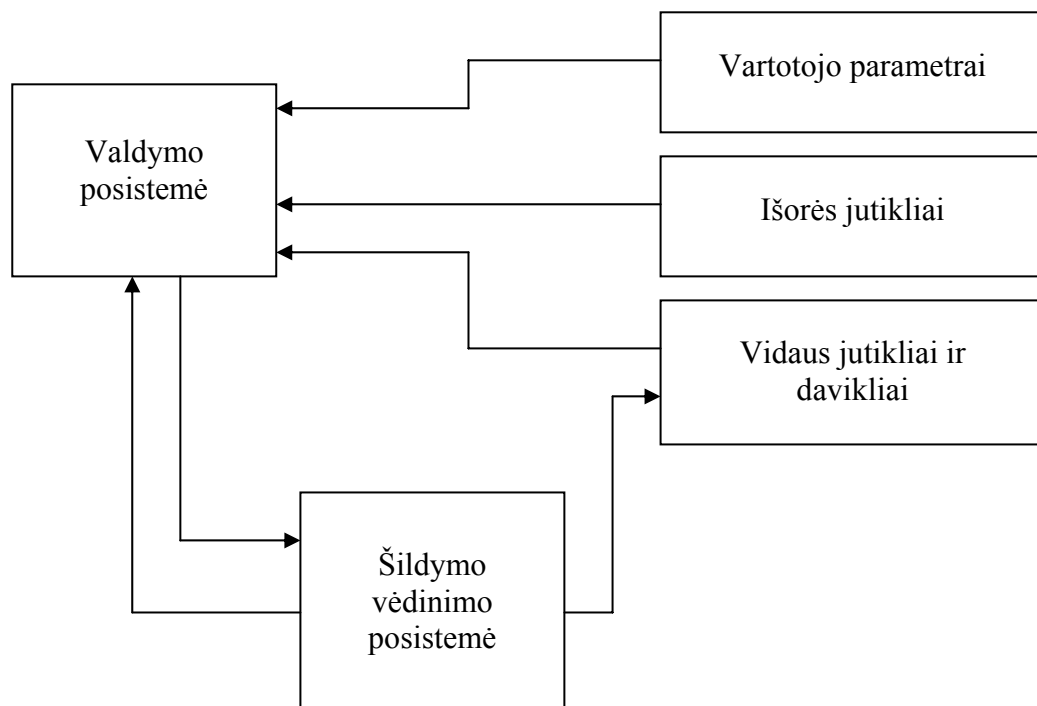
Analizės dalyje buvo apžvelgta ir palyginta keletas sistemos modeliavimo metodų (baigtinių automatų mašinos – SOLAR, baigtinių automatų mašinos – CFSM, baigtinių automatų mašinos – būsenų grafikai, Petri tinklai, sinchroniniai modeliai). Išanalizavus metodų charakteristikas ir privalumus bei trūkumus, modeliui sudaryti buvo pasirinkti Petri tinklai. Lyginant su kitais metodais buvo išskirti šie Petri tinklo privalumai: suprantamas grafinis vaizdavimas, paprastas formalus aprašymas sumažinantis klaidingo interpretavimo tikimybę, sėkmingas panaudojimas daugelyje skirtingų sričių, galimybė analizuoti laikines reikšmes, naudojama semantika kurią paprasta panaudoti modeliavimui ir programiniam kodui, sudarant modelį Petri tinklas yra lengvai papildomas.

Išanalizavus Petri tinklų tipus ir atsižvelgiant į tai, jog modeliuojama sistema yra pakankamai sudėtinga, todėl tikslinga naudoti aukštesnio lygio Petri tinklus (aukštesnio lygio Petri tinklai turi daug tinklo patobulinimų ir papildymų). Modeliuojamoje sistemoje svarbu aprašyti sistemos laikines charakteristikas todėl buvo pasirinkti laikiniai Petri tinklai.

3. Šildymo vėdinimo sistemos procesų bei jų kompiuterinio valdymo teorinis tyrimas

3.1. Šildymo vėdinimo sistemos teorinis modelis

Darbo tikslas yra sudaryti šildymo vėdinimo sistemos skaitmeninio valdymo modelį. Ši modelį sudaro šildymo vėdinimo posistemė, įvairūs davikliai ir jutikliai bei valdymo posistemė. Šios posistemės bei jų tarpusavio ryšiai yra pavaizduoti 6 paveikslėlyje.



6 pav. Šildymo vėdinimo sistemos posistemų tarpusavio ryšiai

Pagrindiniai šildymo vėdinimo sistemos kompiuterinio valdymo objektai

Šildymo vėdinimo posistemė

Jos pagrindinė funkcija yra patalpos temperatūros valdymas pagal vartotojo apibrėžtus parametrus. Šiai posistemėi įtaką gali daryti išoriniai veiksniai bei pats vartotojas. Šildymo vėdinimo posistemės veiklos rezultate yra gaunama naujai nustatyta patalpų temperatūra.

Vidaus ir išorės jutikliai ir davikliai

Jutiklių ir daviklių pagrindinė funkcija yra surinkti informaciją apie sistemą įtakojančios fizinės aplinkos charakteristikas. Surinkta informacija turi būti laiku perduodama į valdymo posistemę.

Vartotojo parametrai

Siekiant padidinti sistemos lankstumą bei jos pritaikymo galimybę yra naudojami vartotojo parametrai (pageidaujama patalpos temperatūra priklausomai nuo paros laiko bei vartotojo aktyvumo, gryno oro kiekis patalpoje, sistemos elgsena avarinės situacijos atveju). Sistema savo veiklą vykdydys atsižvelgdama į šiuos vartotojo parametrus.

Valdymo posistemė

Valdymo posistemė yra atsakinga už stabilią, bei korektišką šildymo ir vėdinimo posistemės veiklą. Valdymo posistemė turi pastoviai gauti informaciją iš išorės ir vidaus jutiklių ir daviklių bei šildymo ir vėdinimo posistemės. Surinkus ir apdorojus gautą informaciją, pagal apibrėžtą vartotojo taisyklių rinkinį valdymo posistemė siunčia valdymo signalus šildymo vėdinimo posistemei. Kadangi šildymo vėdinimo sistema yra realiojo laiko sistema, yra svarbu, kad valdymo posistemė pastoviai ir laiku gautų informaciją iš jutiklių ir daviklių bei šildymo ir vėdinimo posistemės. Priešingu atveju, sistemos darbas gali neatitikti jai keliamų reikalavimų, sistema gali veikti netinkamai ir nestabiliai. Ši sistema yra tokia, kurioje skaičiavimų korektiškumas priklauso ne tik nuo loginio korektiškumo, bet taip pat nuo laiko, per kurį pasiekiamas rezultatas. Taigi projektuojant valdiklį turi būti įvertintos kritinės situacijos kai viena iš sistemos sudedamųjų dalių pradeda veikti nekorektiškai.

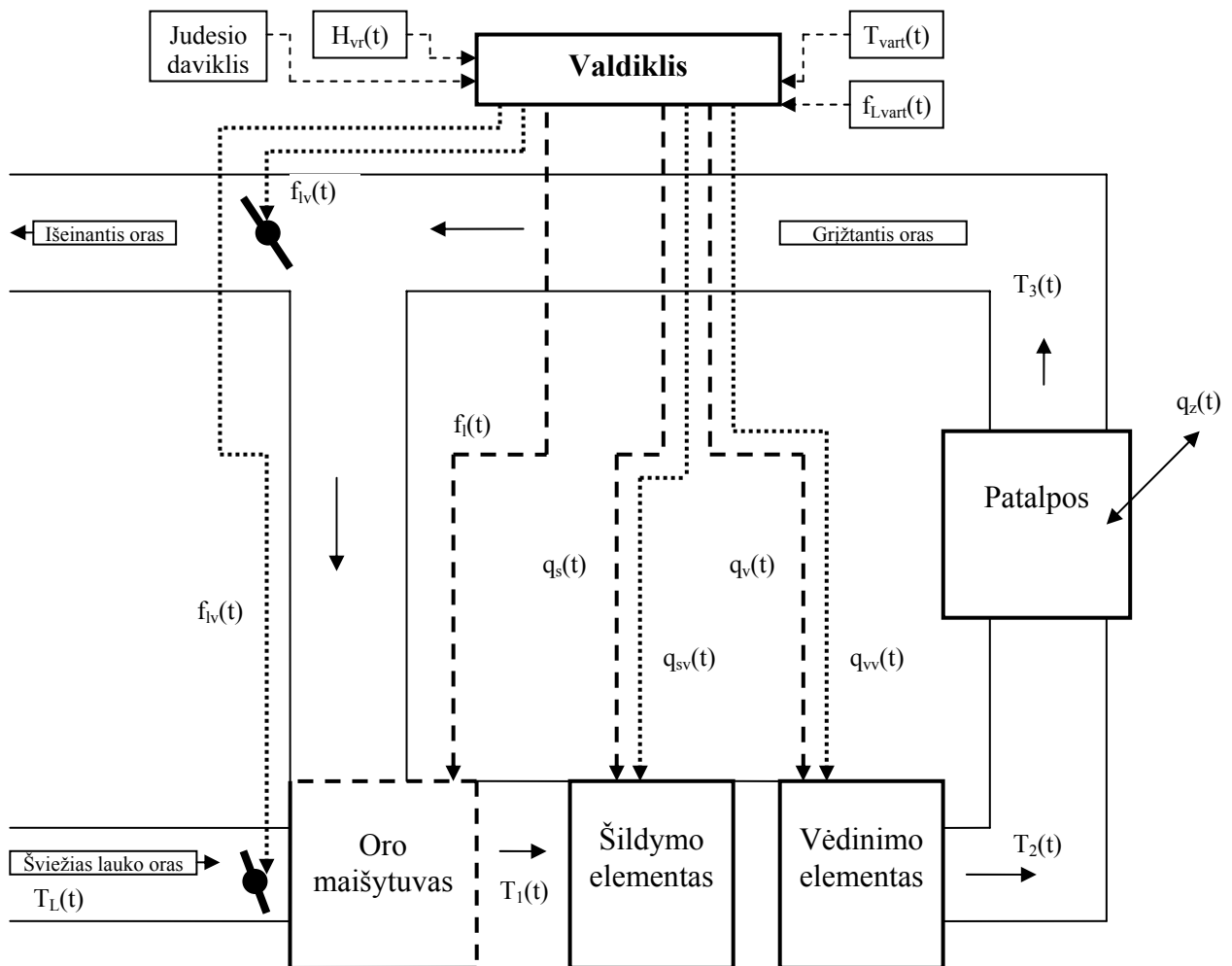
Sistemos veiklos korektiškumo tyrimui būtina sudaryti šildymo vėdinimo sistemos elementų matematinius modelius. Be to, aprašyti valdymo posistemę ir sudaryti valdymo posistemės modelį panaudojant Petri tinklą.

3.2. Funkcinių elementų matematiniai modeliai

Sudarant skaitmeninės šildymo vėdinimo valdymo sistemos matematinį modelį reikia aprašyti funkcinių elementų matematinis modelius.

Šildymo vėdinimo sistemos teorinis modelis pavaizduotas 7 paveikslėlyje.

Galima išskirti šiuos šildymo vėdinimo sistemos funkcinius elementus: valdiklis, oro maišytuvas, šildymo elementas, vėdinimo elementas, sklendės. Šių elementų veikimą įtakoja patalpose vykstantys temperatūriniai veiksniai.



7 pav. Šildymo vėdinimo sistemos teorinio veikimo modelis

Kur:

T_{var} – vartotojo nustatoma pageidaujama patalpų temperatūra;

T_L – lauko oro temperatūra;

$f_{L\text{vart}}$ – nustatomas vartotojo norimo šviežio lauko oro kiekis procentais, patenkantis į patalpas;

H_{vk} – vartotojo nustatomas kėlimosi laikas;

T_1 – oro temperatūra, išėjusi iš oro maišytuvo ir patenkanti į šildymo vėdinimo elementus;

T_2 – pašildyto/atvėsinto oro temperatūra patenkanti į patalpas;

q_z – temperatūros pokytis, atsirandantis dėl išorinių veiksnių įtakojančių patalpų temperatūra iš vidaus arba iš lauko;

T_3 – oro temperatūra išeinanti iš patalpų;

q_s – temperatūros pokytis, nusakantis, keliais laipsniais reikia pakelti oro temperatūrą;

q_v – temperatūros pokytis, nusakantis, keliais laipsniais reikia sumažinti oro temperatūrą;

q_{sv} – šildymo elemento valdymo signalas;

q_{vv} – vėdinimo elemento valdymo signalas;

f_1 – šviežio lauko oro kiekis procentais, patenkantis į oro maišytuvą;

f_{flv} – lauko oro padavimo ir išleidimo sklendžių valdymo signalas.

Oro maišytuvo funkcija yra šviežio oro paėmimas iš lauko ir jo sumaišymas su grįžtančiu oru iš patalpos. Oro maišytuvo matematinis modelis:

$$T_1(t) = T_3(t) + (T_L(t) - T_3(t)) \cdot \frac{f_L}{100}$$

Šildymo elemento funkcija yra patenkantį iš maišytuvo orą pašildyti iki reikiamos temperatūros. Šildymo elemento matematinis modelis:

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

Vėdinimo elemento funkcija yra patenkantį iš maišytuvo orą atvėsinti iki reikiamos temperatūros. Vėdinimo elemento matematinis modelis:

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

Šildymo ir vėdinimo elementai vienu metu niekada neveikia. Atitinkamo elemento veikimas priklauso nuo valdiklio atiduodamos reikšmės, kuri apsprendžia, kuriam elementui (šildymo ar vėdinimo) veikti.

Patalpose vykstančius temperatūrinius veiksmus aprašome sekančiu matematiniumi modeliu:

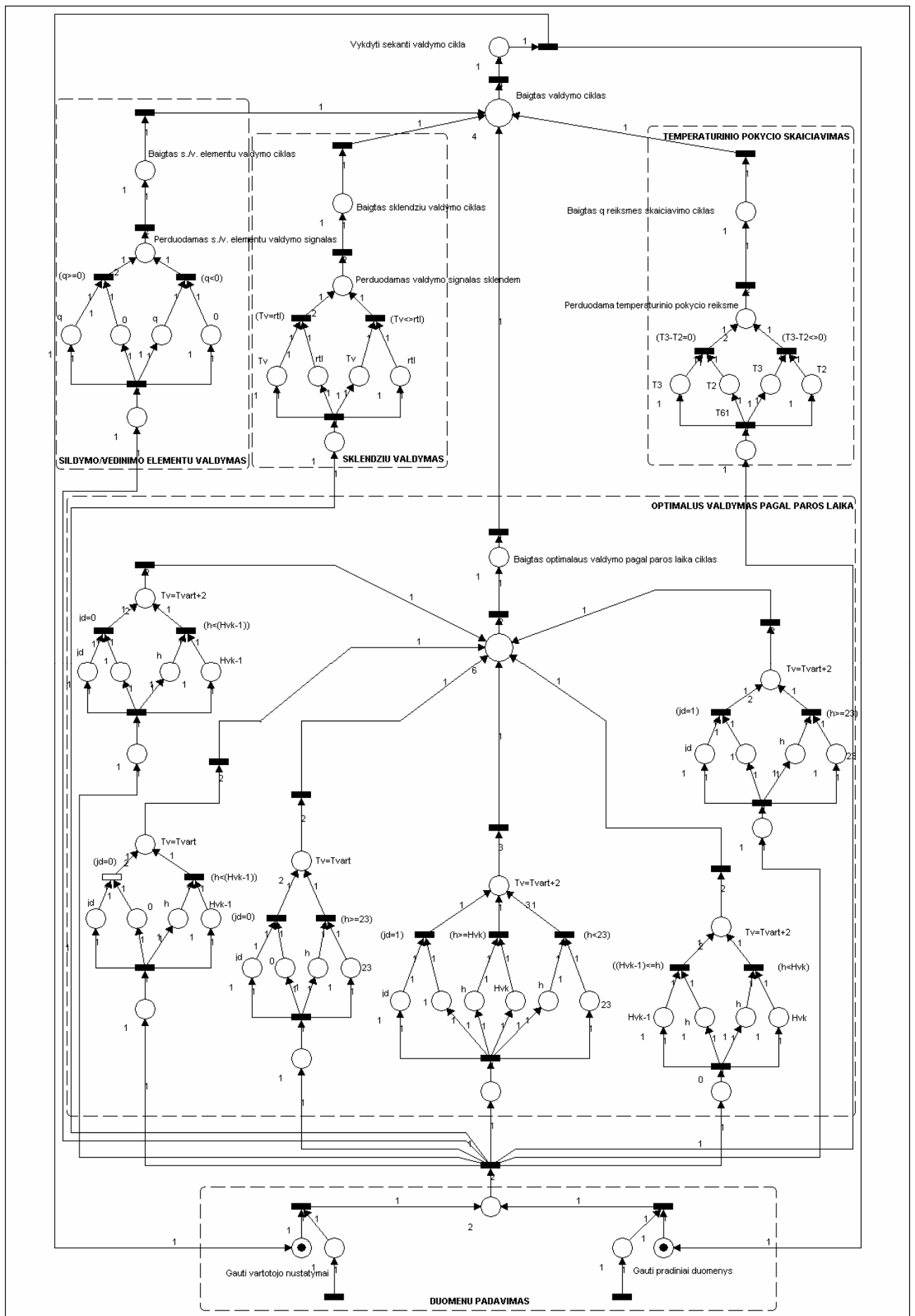
$$T_3(t) = (T_2(t) - T_3(t)) + q_z(t)$$

3.3. Šildymo vėdinimo sistemos valdiklio modelis

Šildymo vėdinimo sistemos procesus valdo valdiklis. Pagrindinės valdiklio funkcijos yra sistemos valdymo procesų paskirstymas, šildymo ir vėdinimo elementų valdymas optimizuotas pagal paros laiką, sklendžių valdymas, bei sistemos parametrų apskaičiavimas. Optimalus valdymas pagal paros laiką leidžia vartotojui nustatyti laikinius parametrus ir temperatūros pokyčio parametrus, pagal juos ir pagal veiklos procesus, vykstančius patalpose, valdiklis pakelia arba sumažina patalpų oro temperatūrą. Valdiklis surenka informaciją iš išorės bei vidaus daviklių, gauna vartotojo parametrus. Pagal gautus duomenis valdiklis apskaičiuoja temperatūrinį pokytį bei perduoda valdymo signalus šildymo elementui, vėdinimo elementui, sklendėm bei oro maišytuvui. Valdiklis šiuos valdymo signalus paskirsto laike taip kad nekiltų konfliktų posistemų veikloje. Valdiklio gaunama informacija turi atitikti realią aplinką, tam reikalingas pastovus aplinkos vertinimas, kad sistemos valdymo efektas būtų tinkamas.

Tam, kad tarp procesų nekiltų konfliktų, juos būtina paskirstyti laike. Kadangi nežinome realus laiko, kiek procesai užtrunka, juos paskirstom pagal jų logišką eiliškumą. Pirmiausia, vykdomi procesai skirti optimaliam valdymui pagal paros laiką, nes nuo jų rezultato priklauso sekantys skaičiavimai. Antra, skaičiuojamas temperatūrinis pokytis, vėliau vykdomi sklendžių valdymo procesai ir galiausiai šildymo ir vėdinimo elementų valdymo procesai.

Valdiklio modelis, sudarytas naudojant paprastus Petri tinklus, pavaizduotas 8 paveikslėlyje.

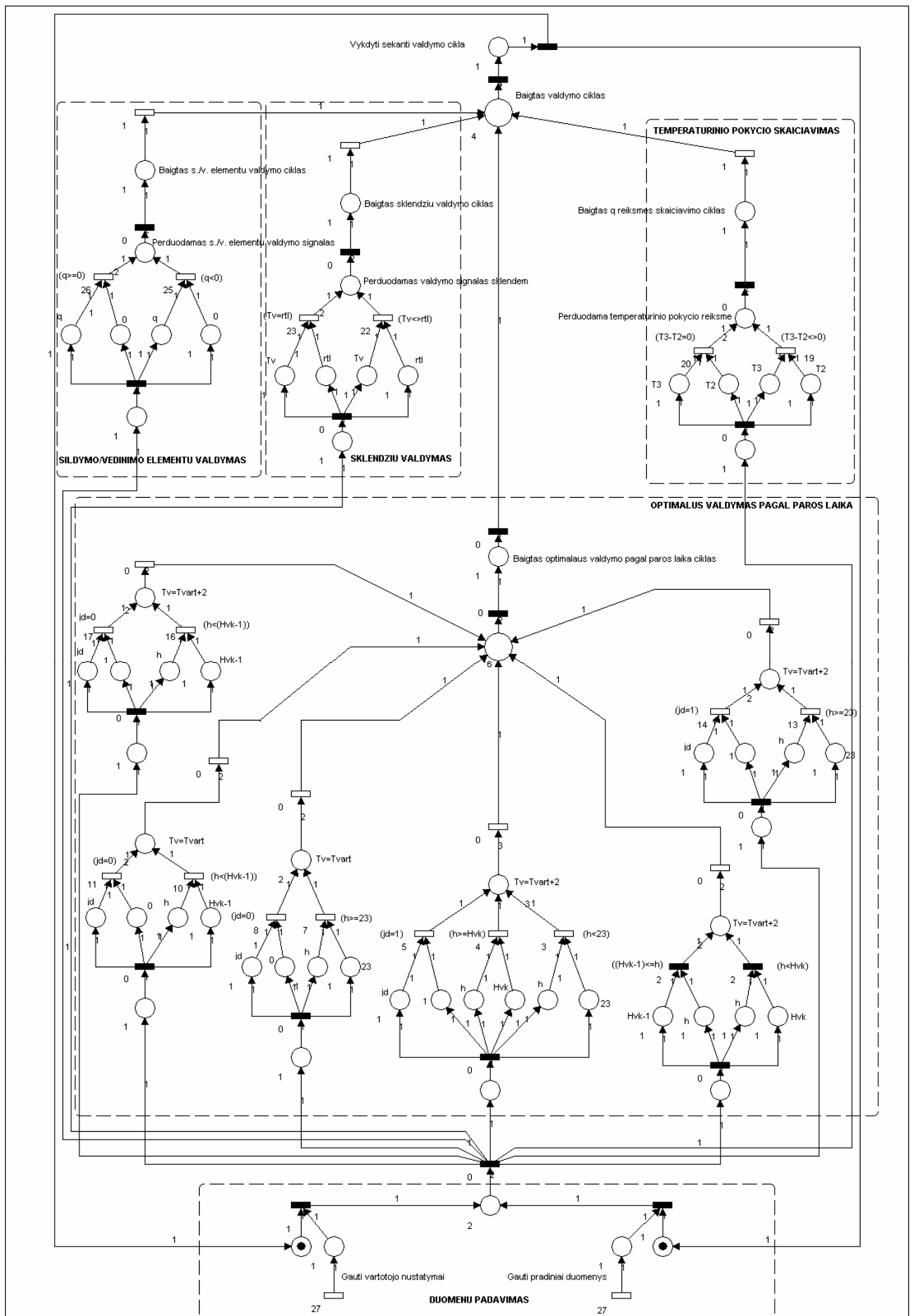


8 pav. Valdiklio modelis, panaudojant paprastus Petri tinklus

Kaip pavaizduota 8 paveikslėlyje, matome, kad valdiklis pradžioje laukia kol bus gauti pradiniai duomenys: vartotojo nustatymai ir duomenys iš išorės bei vidaus daviklių ir jutiklių. Kuomet pradiniai duomenys gauti valdiklis perduoda valdymo signalus sistemos funkciniam elementams.

Kiekvieno proceso veikla užtrunka tam tikrą laiko tarpą, tačiau nėra žinoma kiek laiko truks procesas realiai, todėl procesų veiklos laiką paskirstom santykiniais vienetais. Optimalaus valdymo pagal paros laiką procesai truks penkiolika santykinų laiko vienetų, kadangi optimalaus valdymo pagal paros laiką metu yra atliekama daugiausiai skaičiavimo operacijų. Temperatūrinio pokyčio skaičiavimui, sklendžių valdymo, šildymo ir vėdinimo elementų valdymo procesams skiriama po tris santykinus laiko vienetus kiekvienam. Įvykdžius visą valdymo ciklą, nauji vartotojo parametrai ir duomenys iš daviklių pateikiami kas dvidešimt septynis santykinus laiko vienetus.

Įvertinus visus laikinius apribojimus, valdiklio modelis, panaudojant laikinius Petri tinklus pavaizduotas 9 paveikslėlyje.



9 pav. Valdiklio modelis, panaudojant laikinius Petri tinklus

9 paveikslėlyje matome uždėtas žymes duomenų padavime, jos reikalingos tam, kad tinklas pradėtų veikti, vėlesniam tinklo darbui šios žymės jokios įtakos neturi. Perėjimai pavaizduoti juoda spalva įvyksta iškart, o perėjimai pavaizduoti balta spalva įvyksta po nustatyto laiko, kuris yra nurodytas šalia perėjimo.

Teorinės dalies išvados

Teorinio tyrimo metu ištirtas šildymo ir vėdinimo sistemos teorinis modelis, sudaryti funkcinių elementų matematiniai modeliai. Ištirtas ir sudarytas šildymo ir vėdinimo valdymo sistemos valdiklio modelis. Valdiklio modeliui sudaryti panaudoti laikiniai Petri tinklai.

4. Eksperimentas ir tyrimai

Norint patikrinti sudaryto modelio veikimo korektiškumą atliekamas eksperimentinis šio modelio tyrimas. Tyrimo metu patikrintas sudarytas šildymo ir vėdinimo skaitmeninio valdymo modelis bei nustatytas jo tinkamumas tolimesniems tyrimams. Eksperimentui vykdyti buvo parinktos sąlygos artimos realios fizinės aplinkos sąlygoms. Patikrintas Petri tinklo tinkamumas šildymo ir vėdinimo skaitmeninio valdymo sistemos valdikliui sudaryti. Tarpusavyje palyginti sistemos valdikliai, sudaryti panaudojant Petri tinklus ir miglotąją logiką.

4.1. Šildymo vėdinimo sistemos matematinio modelio tyrimas

Šildymo ir vėdinimo valdymo sistemos modeliavimui buvo pasirinktas paketas MATLAB (*MATrix LABoratory*).

Tai programinė aplinka skaičiuojamųjų signalų analizės bei modeliavimo uždavinių sprendimui. MATLAB paketas remiasi nesudėtinga ir lanksčia programavimo – valdymo kalba, kuria patogiu aprašyti sprendžiamus matematinius uždavinius [11]. Jis pasižymi dideliu skaičiavimo greičiu, be to gerai atlieka matricines, grafines operacijas ir kt.

Iš MATLAB pakete esančių posistemų pasirinkta Simulink posistemė.

Simulink – tai interaktyvus įrankis dinaminių sistemų modeliavimui, imitavimui ir analizei [12]. Jo pagalba galima kurti grafinius blokus – diagramas, imituoti dinamines sistemas, tirti sistemų galimybes. Simulink pilnai integruota į MATLAB paketą, todėl galima pasinaudoti daugeliu analizės ir projektavimo įrankiais. Šie Simulink privalumai yra pagrindiniai pasirenkant Simulink valdymo sistemų projektavimui, skaitmeniniam apdorojimui ir kitų sistemų modeliavimui.

Šildymo ir vėdinimo sistemos matematinis modelis, sumodeliuotas Simulink posistemėje, pavaizduotas 10 paveikslėlyje.

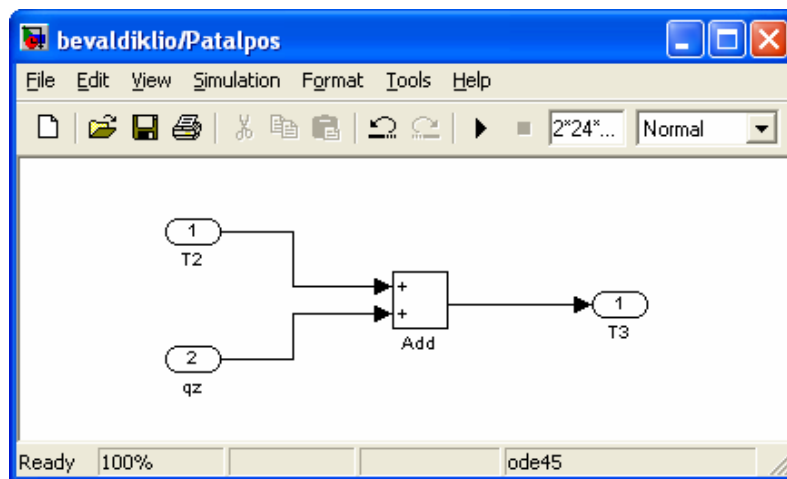

```

1 function T2 = sild_el(q, T1, qsv)
2 - if qsv==1
3 -     T2=(T1-q)/2;
4 - else
5 -     T2=0;
6 - end
7 % This block supports an embeddable subset of the MATLAB language.
8 % See the help menu for details.

```

12 pav. Šildymo elemento komponento struktūra

Patalpose vykstančių temperatūrinių veiksnių funkcinis elementas, Simulink posistemėje, pavaizduotas 13 paveikslėlyje.



13 pav. Patalpose vykstančių temperatūrinių veiksnių komponento struktūra.

Vėdinimo elemento struktūra, aprašyta MATLAB programavimo kalbos bloku, pavaizduota 14 paveikslėlyje.

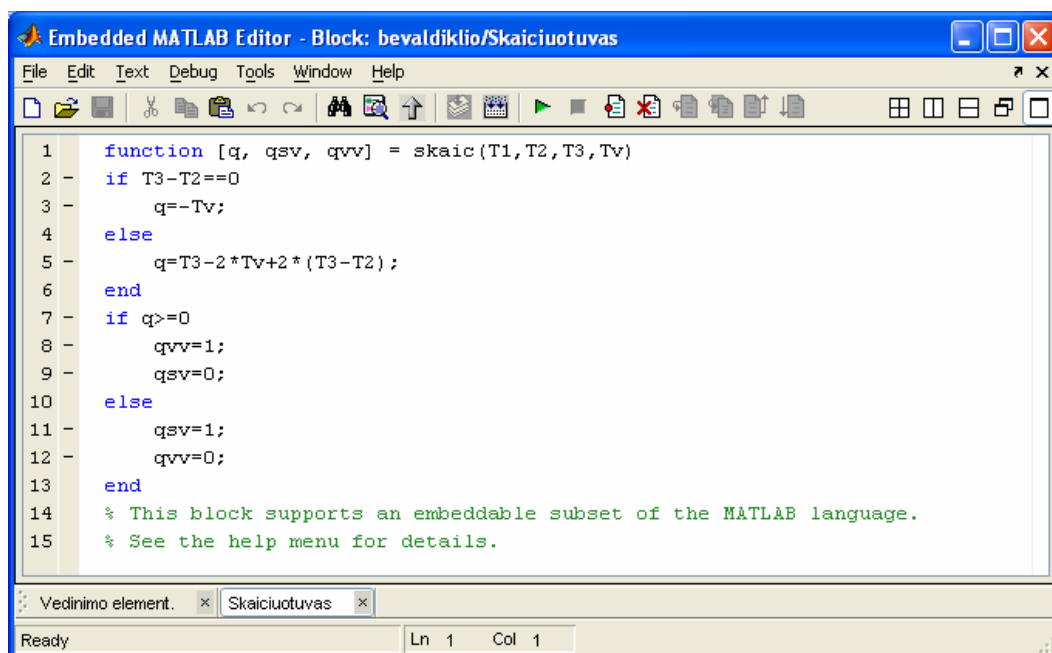
```

1 function T2 = ved_el(q, T1, qvv)
2 - if qvv==1
3 -     T2=(T1-q)/2;
4 - else
5 -     T2=0;
6 - end
7
8 % This block supports an embeddable subset of the MATLAB language.
9 % See the help menu for details.

```

14 pav. Vėdinimo elemento komponento struktūra

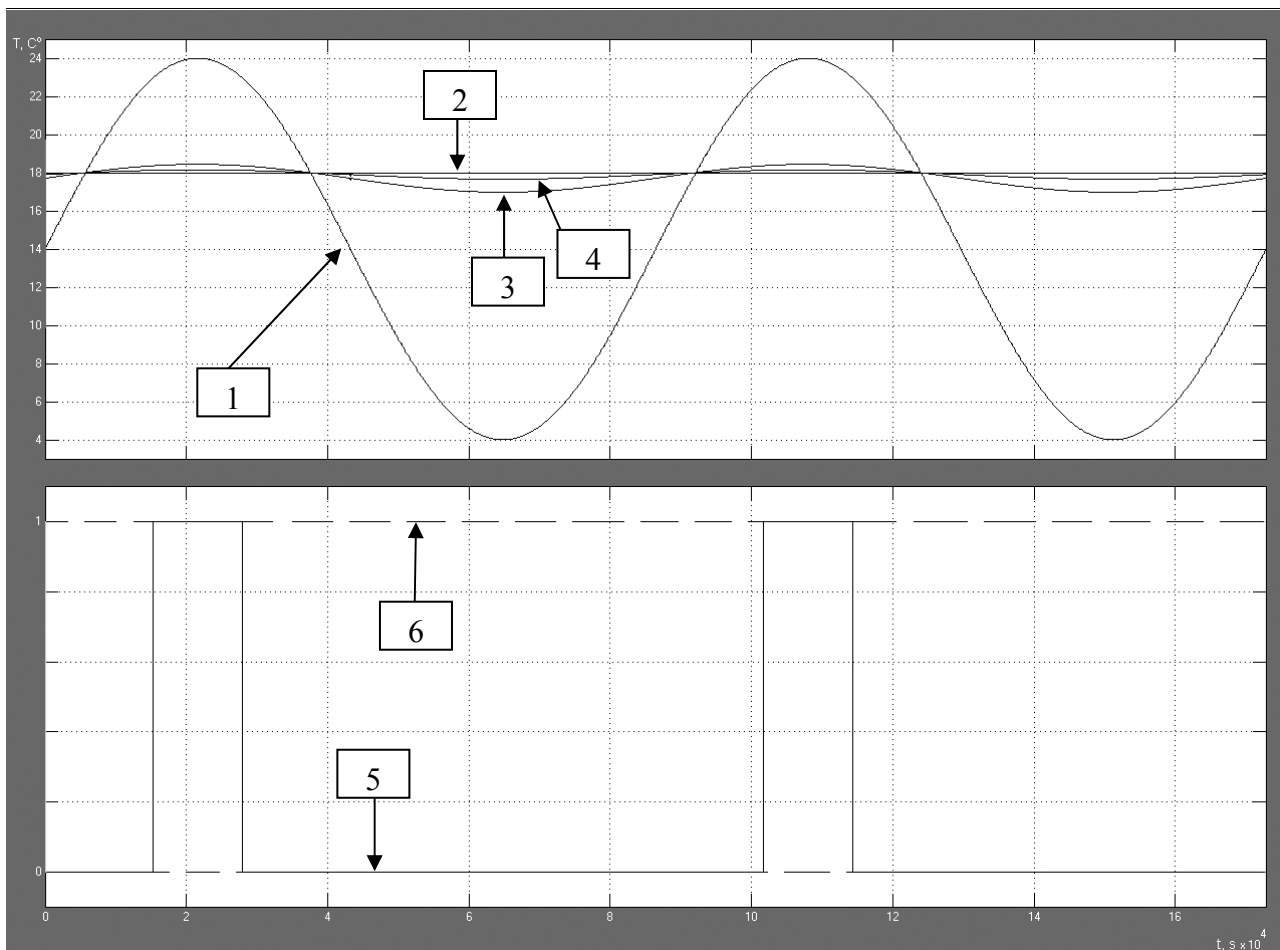
Skaičiuotuvo funkcinio elemento struktūra pavaizduota 15 paveikslėlyje.



```
1 function [q, qsv, qvv] = skaic(T1,T2,T3,Tv)
2 - if T3-T2==0
3 -     q=-Tv;
4 - else
5 -     q=T3-2*Tv+2*(T3-T2);
6 - end
7 - if q>=0
8 -     qvv=1;
9 -     qsv=0;
10 - else
11 -     qsv=1;
12 -     qvv=0;
13 - end
14 % This block supports an embeddable subset of the MATLAB language.
15 % See the help menu for details.
```

15 pav. Skaičiuotuvo funkcinio elemento komponento struktūra

Funkciniai elementai, sumodeliuoti Simulink posistemėje, veikia pagal jų matematinius modelius. Tai matome iš žemiau pateikiamo funkcinių elementų kitimo laike grafiku, pavaizduotų 16 paveikslėlyje.



16 pav. Funkcinių elementų veikimo grafikai.

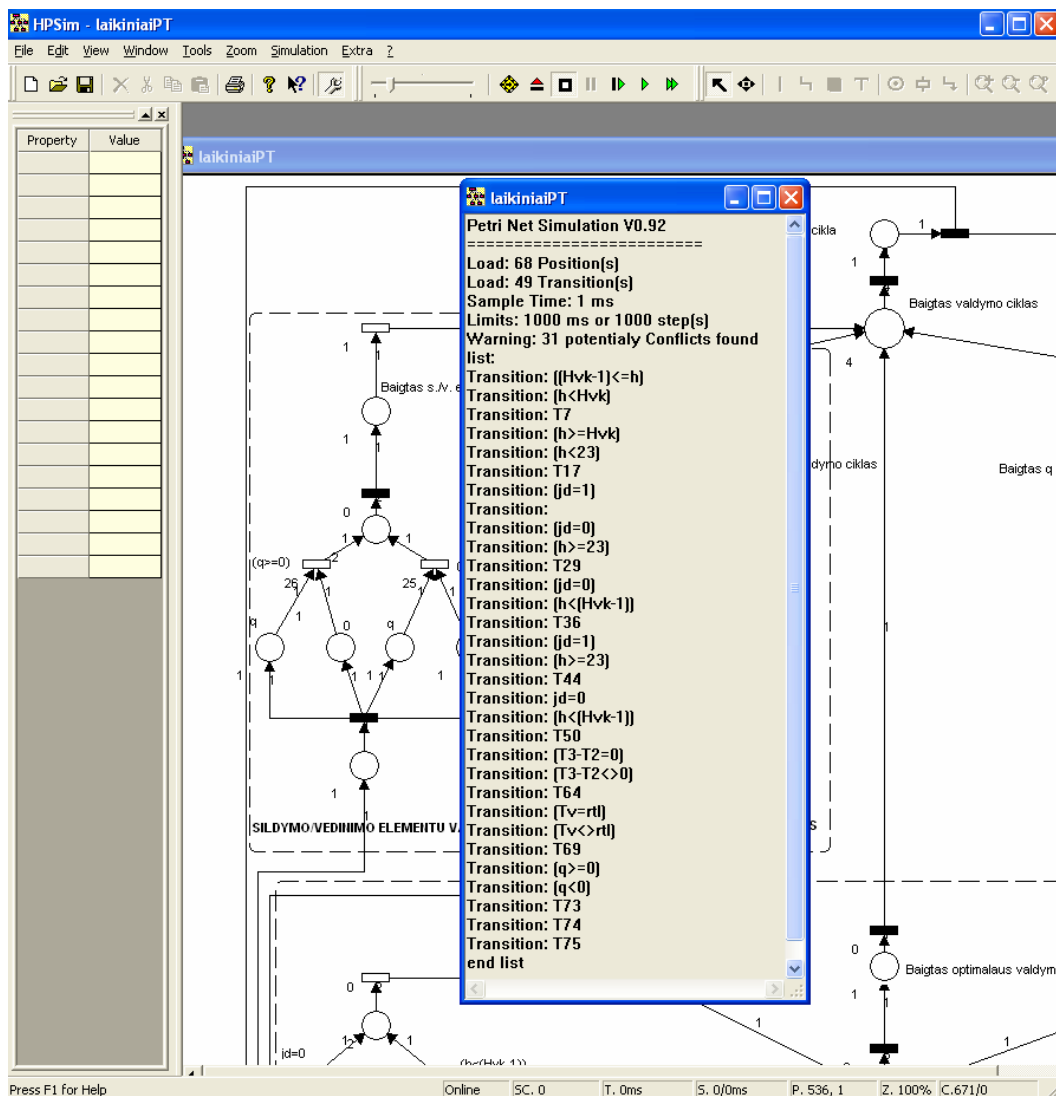
Kur:

- 1 – lauko oro temperatūra;
- 2 – vartotojo nustatyta pageidaujama patalpų oro temperatūra;
- 3 – oro maišytuvo funkcinio elemento veikimo grafikas;
- 4 – gaunama patalpų oro temperatūra;
- 5 – vėdinimo elemento valdymo veikimo grafikas;
- 6 – šildymo elemento valdymo veikimo grafikas.

4.2. Šildymo vėdinimo sistemos matematinio modelio, kurio valdiklio sudarymui naudojami laikiniai Petri tinklai, tyrimas

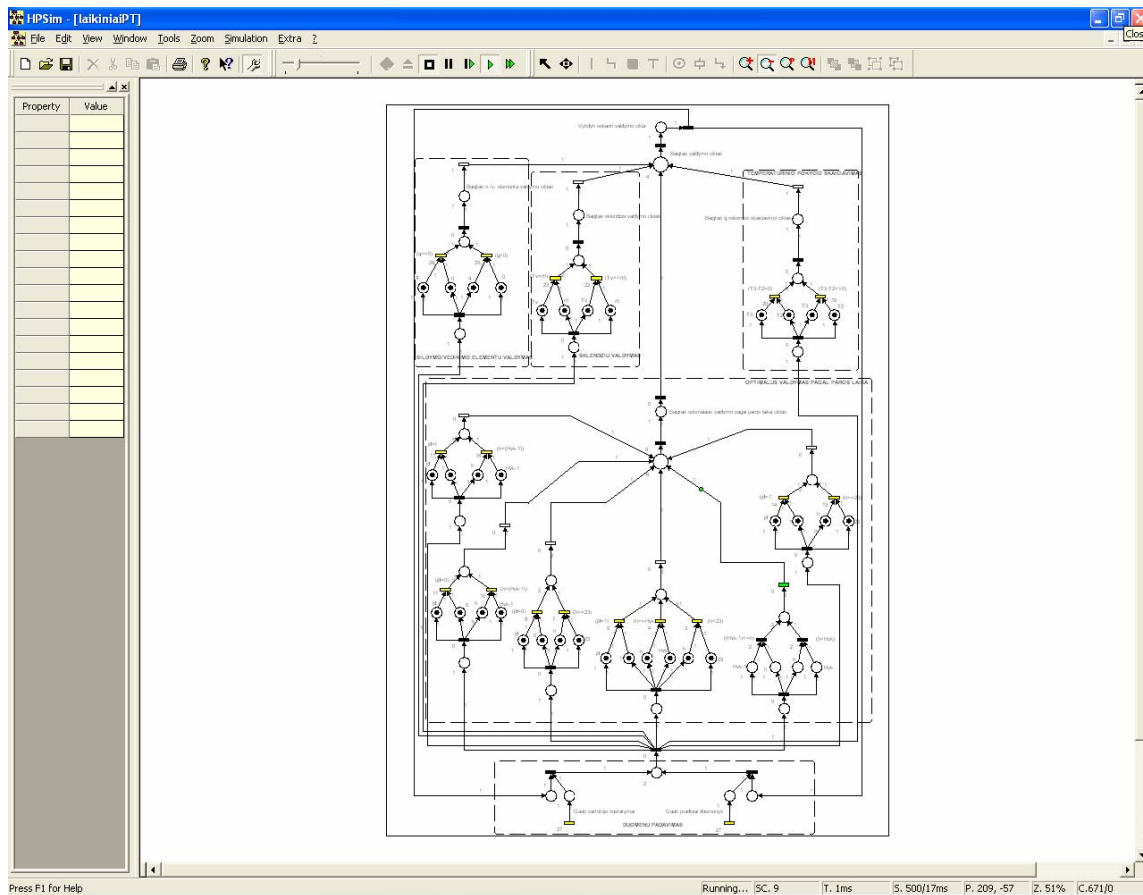
Valdiklio modelis sudarytas panaudojant likinius Petri tinklus. Laikiniams Petri tinklams modeliuoti pasirinktas programinis paketas HPSim Version: 1.1 [13]. Tai patogus, pasižymintis greitu modeliavimu, tinklo veikimo animacija, paprasta veiklos analize, programinis paketas.

Naudojant HPSim programinę paketą buvo patikrintas laikinio Petri tinklo veikimo teisingumas ir korektiškumas. Modeliavimas buvo vykdomas tūkstantį žingsnių, tai matome 17 paveikslėlyje iš HPSim paketo pateikiamos trumpos tinklo santraukos.



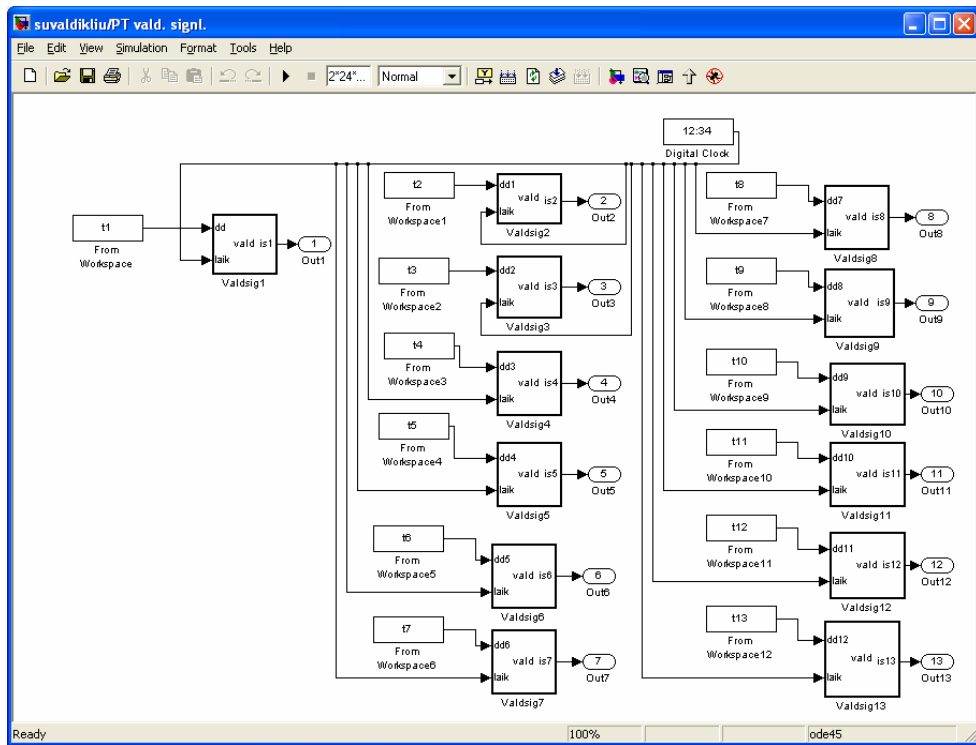
17 pav. HPSim trumpa tinklo santrauka

Sudarytas šildymo vėdinimo skaitmeninio valdiklio modelis naudojant laikinius Petri tinklus modeliavimo metu veikė teisingai, jokių nesklandumų nebuvo pastebėta. Pasinaudojant HPSim paketu, sudarytas laikinis Petri tinklas pavaizduotas 18 paveikslėlyje.



18 pav. HPSim paketu sudarytas laikinis Petri tinklas

Paketas HPSim leidžia eksportuoti tinklo veikimą į csv formato bylą. Pasinaudojus išeksportuota csv formato byla, buvo sudarytas komponentas MATLAB Simulink posistemėje, valdymo signalams paduoti. Jo struktūra pavaizduota 19 paveikslėlyje.



19 pav. Valdymo signalų padavimo komponentas

Valdiklio komponentas, aprašytas Simulink posistemėje, panaudojant MATLAB programavimo kalbos bloką, pavaizduotas 20 paveikslėlyje.

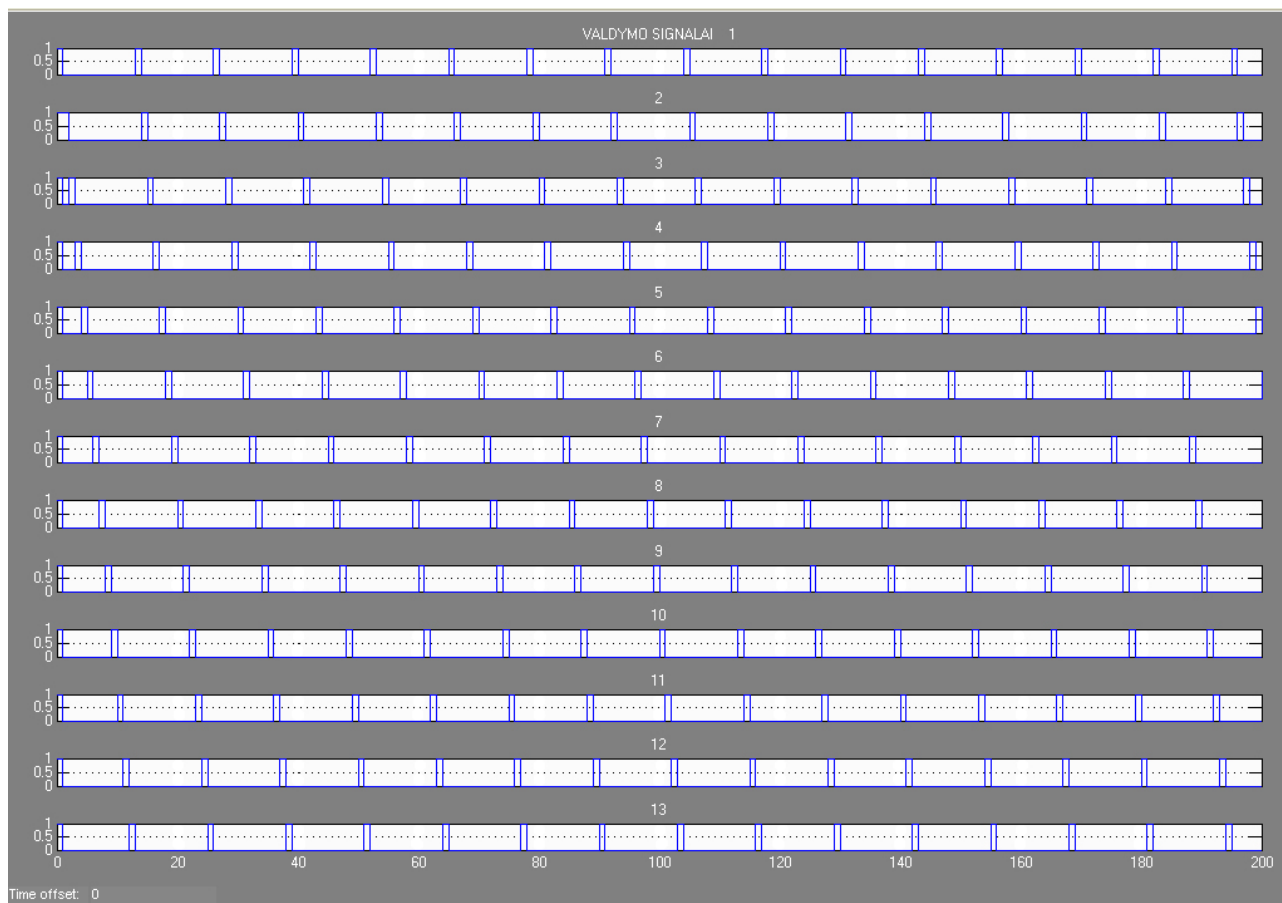
```

Embedded MATLAB Editor - Block: suvaldikliu/Valdiklis
File Edit Text Debug Tools Window Help
1 function [qsv, qvv, flv, q, flvva] = vald(Tvart, T3, TL, T1, T2, Hvk, h, jd, flvart, is1, is2, is3, is4, is5, is6, is7, is8, is9, is10, is11, is12, is13)
2 jd=round(jd);
3 if (Hvk-1)<=h && h<Hvk && is1==1
4     Tv=Tvart+2;
5 elseif jd ==1 && h>=Hvk && h<23 && is2==1
6     Tv=Tvart+2;
7 elseif jd==0 && h>=23 && is3==1
8     Tv=Tvart;
9 elseif jd==0 && h<Hvk-1 && is4==1
10    Tv=Tvart;
11 elseif jd==1 && h>=23 && is5==1
12    Tv=Tvart+2;
13 elseif jd==1 && h<Hvk-1 && is6==1
14    Tv=Tvart+2;
15 elseif is7==1
16    Tv=Tvart-2;
17 else
18    Tv=Tvart-2;
19 end
20 if T3-T2==0 && is8==1
21    q=-Tv;
22 elseif is9==1
23    q=T3-2*Tv+2*(T3-T2);
24 else
25    q=T3-2*Tv+2*(T3-T2);
26 end
27 rtl=round(TL);
28 flvva=flvart;
29 if Tv==rtl && is10==1
30    flv=1;
31 elseif is11==1
32    flv=0;
33 else
34    flv=1;
35 end
36 if q<=0 && is12==1
37    qsv=1;
38    qvv=0;
39 elseif is13==1
40    qvv=1;
41    qsv=0;
42 else
43    qvv=1;
44    qsv=0;
45 end
46 % This block supports an embeddable subset of the MATLAB language.
47 % See the help menu for details.

```

20 pav. Valdiklio komponento struktūra

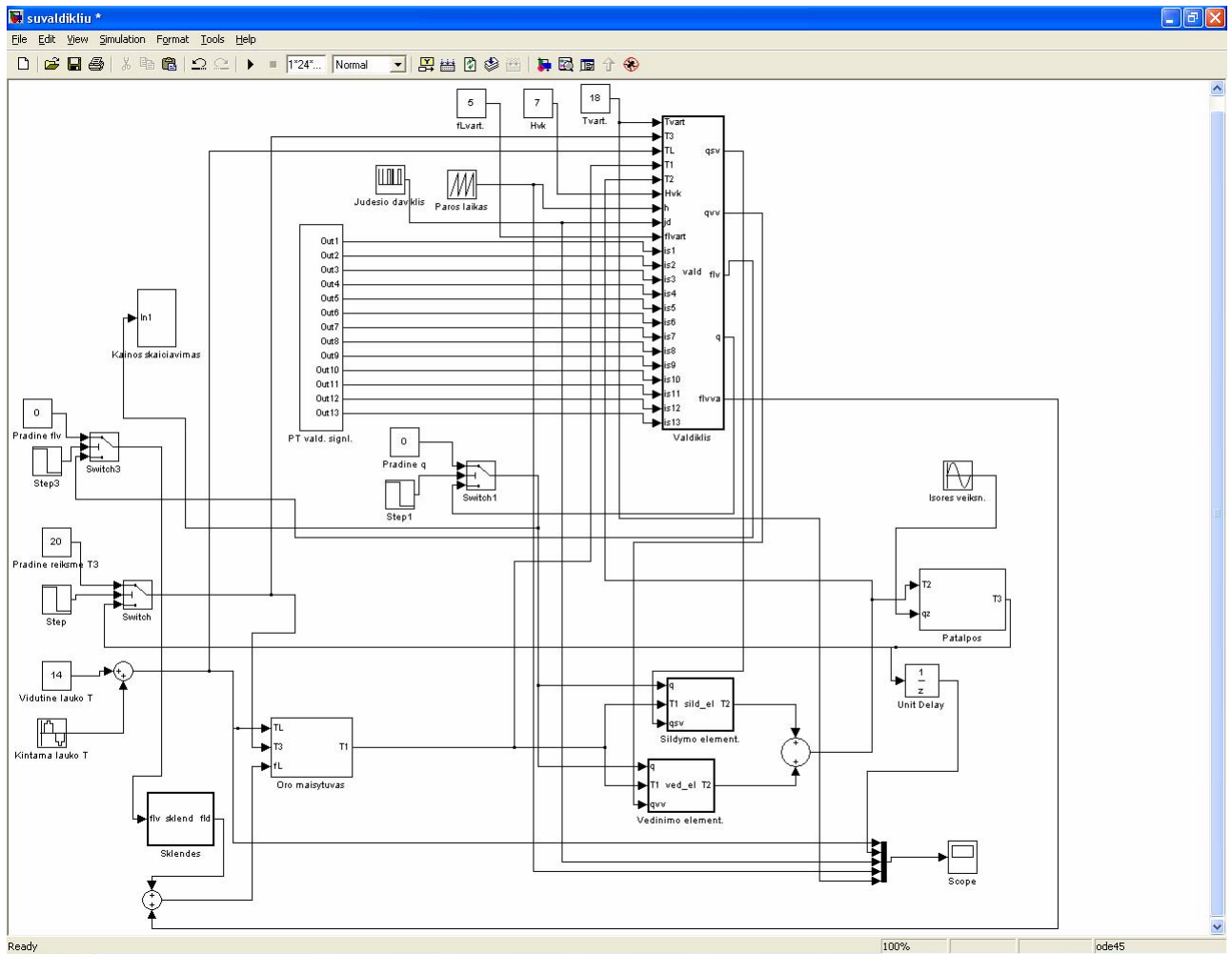
Valdiklio komponentas gauna laikinio Petri tinklo veikimo duomenis iš valdymo signalų padavimo komponento. Valdiklio valdymo signalų grafikas pavaizduotas 21 paveikslėlyje.



21 pav. Valdiklio valdymo signalų grafikas.

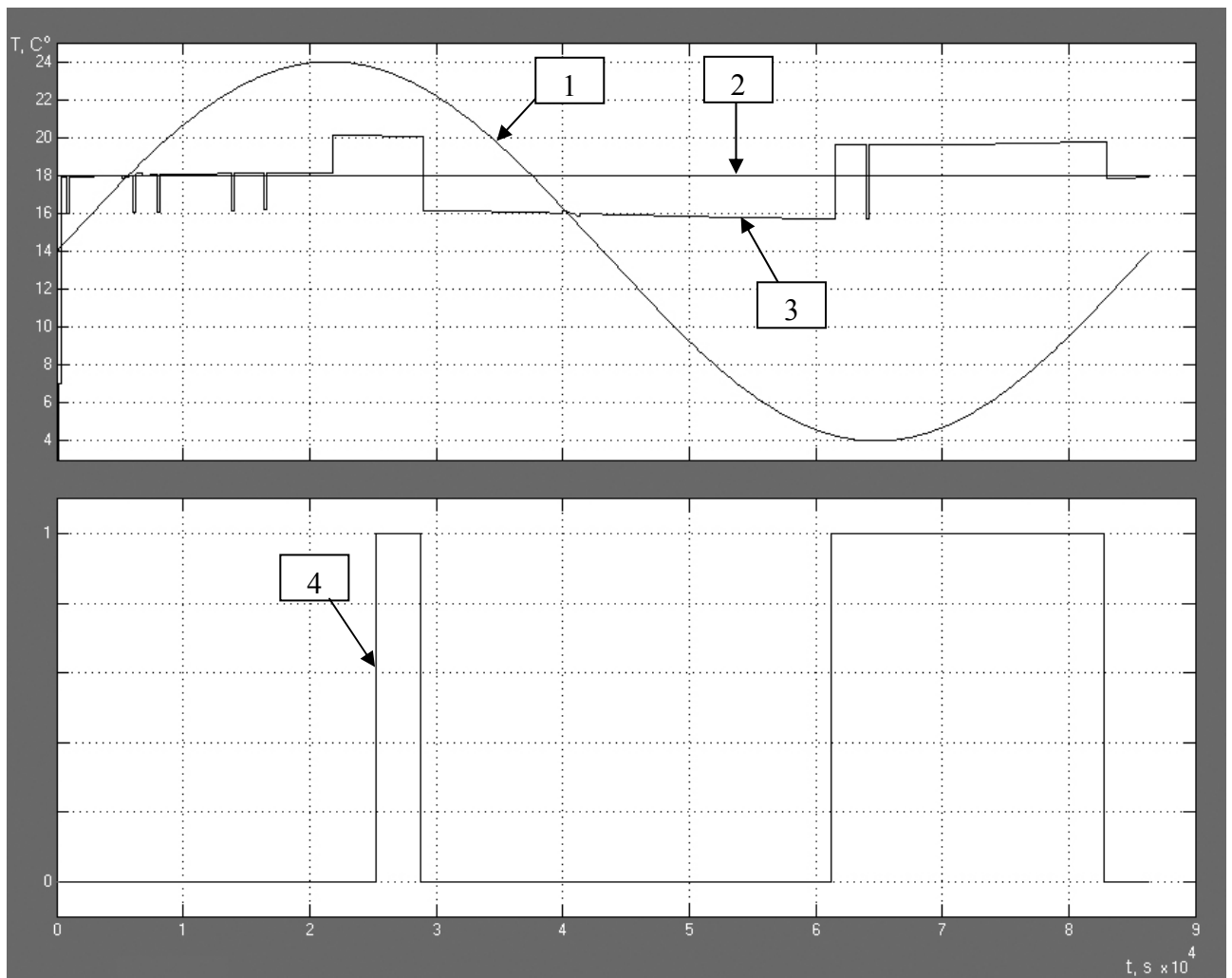
Kur: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 – optimalaus valdymo pagal paros laiką valdymo signalai; 8, 9 – temperatūrinio pokyčio skaičiavimo valdymo signalai; 10, 11 – sklendžių valdymo signalai; 12, 13 – šildymo ir vėdinimo elementų valdymo signalai.

Funkcinių elementų schema su valdikliu, sudarytu naudojant laikinius Petri tinklus, pavaizduota 22 paveikslėlyje.



22 pav. Funkcinių elementų schema su valdikliu, sudarytu naudojant laikinius Petri tinklus, Simulink posistemėje

Funkcinių elementų, sumodeliuotų Simulink posistemėje, kitimo laike grafikai, pavaizduoti 23 paveikslėlyje.

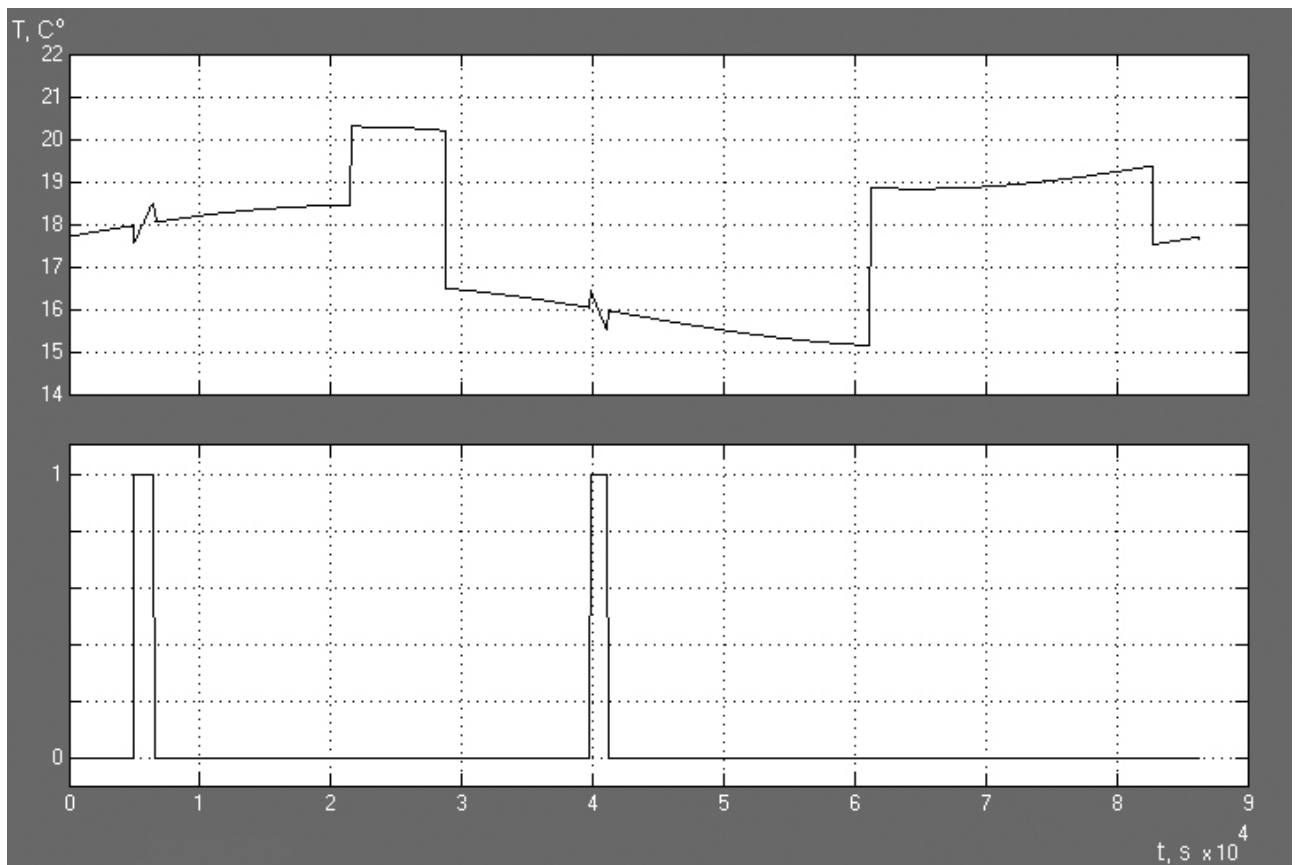


23 pav. Funkcinių elementų veikimo grafikai

Kur:

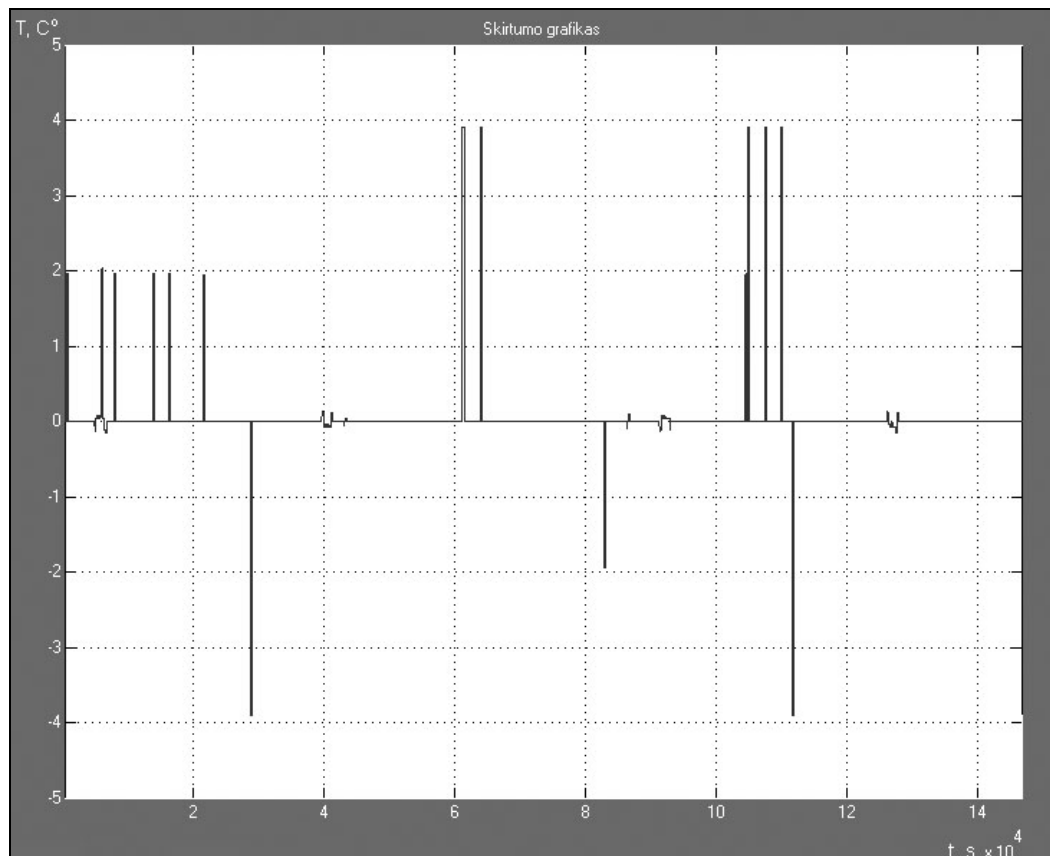
- 1 – lauko oro temperatūra;
- 2 – vartotojo nustatyta pageidaujama patalpų oro temperatūra;
- 3 – gaunama patalpų oro temperatūra;
- 4 – judesio daviklio veikimo grafikas.

Oro maišytuvo ir sklendžių funkcinių elementų, sumodeliuotų Simulink posistemėje, kitimo laike grafikai pavaizduoti 24 paveikslėlyje



24 pav. Oro maišytuvo ir sklendžių funkcinių elementų veikimo grafikai

Palyginus matematinio modelio ir matematinio modelio, kurio valdiklio sudarymui naudojami laikiniai Petri tinklai, gautą patalpų temperatūrą, gauname skirtumą kurio grafikas yra pavaizduotas 25 paveikslėlyje.



25 pav. Matematinio modelio ir matematinio modelio, kurio valdiklio sudarymui naudojami laikiniai Petri tinklai, 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 ($0 - 0,004 \text{ C}^\circ$). Vis dėlto tam tikrais laiko momentais pastebimas didesnis patalpų temperatūros skirtumas, atsirandantis dėl laikinių charakteristikų, gaunamų iš Petri tinklo modeliavimo įrankio HPSim. Tačiau šis patalpų temperatūrų skirtumas nedaro didelės įtakos bendram sistemos darbui, kadangi jis trunka labai mažą laiko tarpą ir nėra didelis.

Pagal gautus modeliavimo rezultatus darome išvadą, kad šildymo ir vėdinimo sistemos valdiklio modelis, sudarytas naudojant laikinius Petri tinklus, veikia teisingai ir tinkamai paskirsto veikimo laiką funkciniais elementams.

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 3 lentelėje.

3 lentelė. Sistemos modelių veiklos santykinės kainos

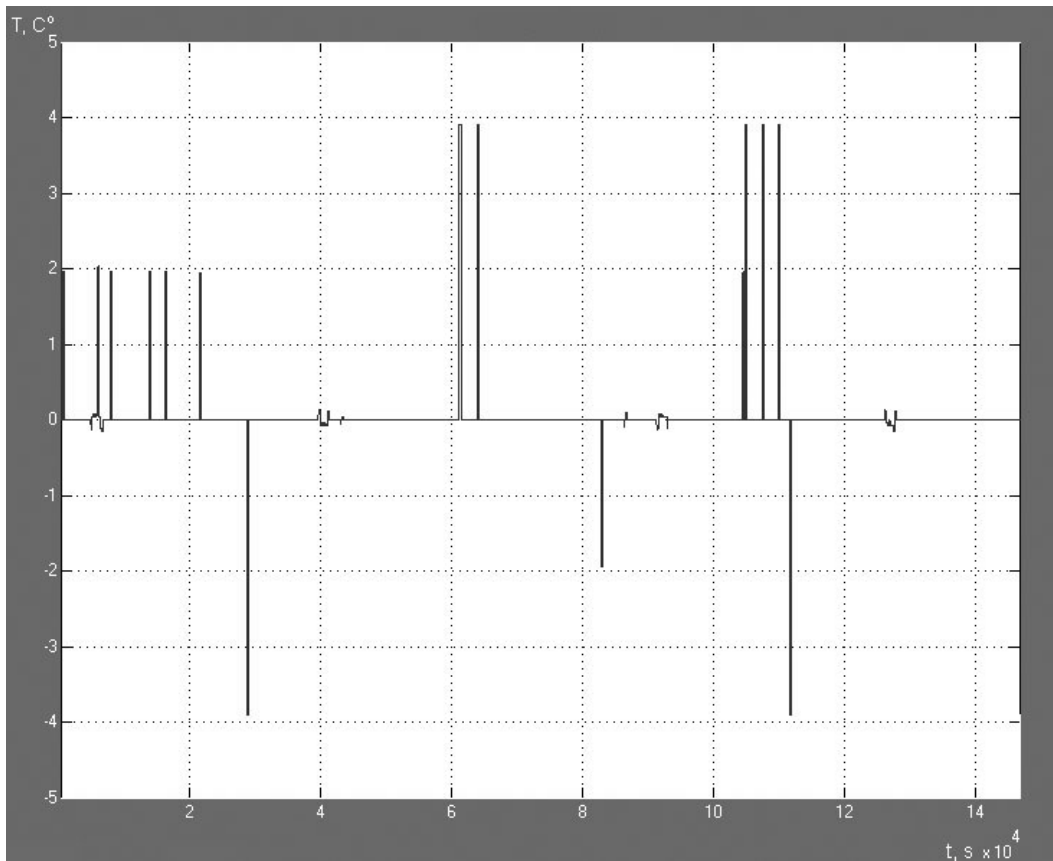
Modelis	Santykinė kaina
Matematinis modelis	312,712
Matematinis modelis, kurio valdiklio sudarymui naudojami laikiniai Petri tinklai	280,228

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

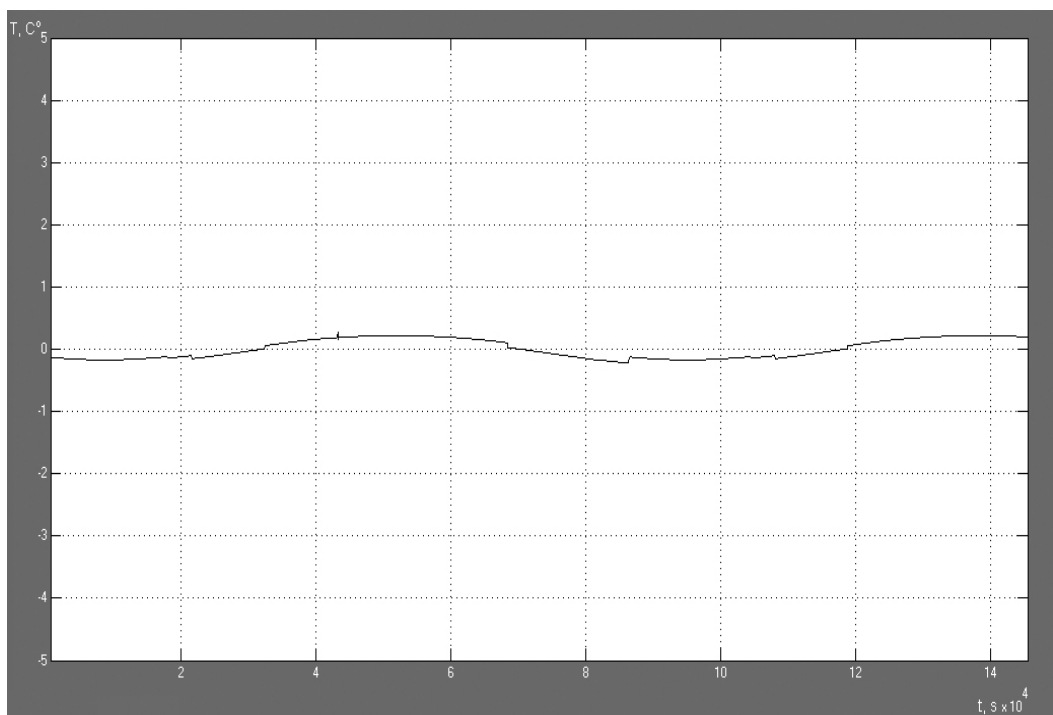
Sudarytas šildymo ir vėdinimo sistemos matematinis modelis, kurio valdiklio sudarymui naudojami laikiniai Petri tinklai, buvo palygintas su kolegos Vytauto Jasaičio šildymo ir vėdinimo sistemos matematiniu modeliu, kurio valdiklio sudarymui naudojama miglotoji logika. Modeliai buvo lyginti pagal sekančius kriterijus:

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

Matematinio modelio ir matematinio modelio, kurio valdiklio sudarymui naudojami laikiniai Petri tinklai, gautas patalpų temperatūrų skirtumo grafikas yra pavaizduotas 26 paveikslėlyje, o matematinio modelio ir matematinio modelio, kurio valdiklio sudarymui naudojama miglotoji logika, gautas patalpų temperatūrų skirtumo grafikas yra pavaizduotas 27 paveikslėlyje.



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



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

Patalpų temperatūrų skirtumas tarp matematinio modelio ir modelio, kurio valdiklio sudarymui naudojami laikiniai Petri tinklai, yra artimas nuliui ($0 - 0,004 C^{\circ}$). 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.

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

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 naudojami laikiniai Petri tinklai	280,228
Matematinis modelis, kurio valdiklio sudarymui naudojama miglotoji logika	271,468

5. Išvados

1. Iširtos galimybės sudaryti šildymo ir vėdinimo sistemos kompiuterinio valdymo modelį. Tinkamas metodas modelio sudarymui yra laikiniai Petri tinklai.
2. Parinktos dvi šildymo vėdinimo sistemos: standartinio valdymo bei optimalaus valdymo. Kadangi optimalaus valdymo tipas leidžia vertinti įvairius poveikius, pvz., paros laiką, žmonių veiklą ir pan., jis yra efektyvesnis nei standartinės sistemos. Naudojant šį tipą taupome energetinius resursus bei lėšas.
3. Modeliavimui ir tyrimui panaudotas paketas MATLAB, jo posistemė Simulink, Petri tinklam modeliuoti panaudotas paketas HPSim.
4. Sudarytas šildymo ir vėdinimo sistemos matematinis modelis, apibrėžiantis funkcinių elementų veiklą. Panaudojant laikinius Petri tinklus buvo sudarytas valdiklis, kuris paskirsto funkcinių elementų darbą laike. Funkcinių elementų darbas laike paskirstomas pagal jų logišką eiliškumą, išreiškiant santykiniais laiko vienetais taip, kad nebūtų gaunamos konfliktinės situacijos.
5. Atlikus eksperimentą nustatyta, kad patalpų temperatūrų skirtumas tarp šildymo ir vėdinimo sistemos matematinio modelio, kurio valdiklio sudarymui naudojami laikiniai Petri tinklai, ir matematinio modelio yra labai mažas ($0 - 0,004 \text{ C}^\circ$). Todėl galima daryti išvadą, kad šildymo ir vėdinimo sistemos matematinis modelis, kurio valdiklio sudarymui naudojami laikiniai Petri tinklai, veikia 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 naudojami laikiniai Petri tinklai, santykinė veiklos kaina yra mažesnė 10,4 %.
7. Eksperimento metu atlikta šildymo vėdinimo skaitmeninio valdymo sistemų modelių, sudarytų naudojant laikinius Petri tinklus ir miglotąją logiką, palyginamoji analizė. Nustatyta, kad šildymo vėdinimo sistemos skaitmeninio valdymo modeliui sudaryti tinkami ir laikiniai Petri tinklai ir miglotoji logika. Palyginamosios analizės metu nustatyta, kad sistemos skaitmeninio valdymo modelio sudarymui tikslingiau, naudoti miglotąją logiką.

6. Literatūra

1. Cecilia E., Jan J. Real-Time System Constraints: Where do They Come From and Where do They Go?, 1999 [žiūrėta 2003-10-11]. Prieiga per internetą: <<http://www.ce.chalmers.se/~janjo/Papers/Articles/iwrtc99.us.pdf>>
2. Roubtsova E. Specification of Real-Time Systems in UML, 2000 [interaktyvus] [žiūrėta 2003-12-05]. Prieiga per internetą: <<http://univaq.it/~mtcs2000/proceedings.html>>.
3. Arnoux M. Engineering for real-time systems, 2002 [interaktyvus] [žiūrėta 2003-11-21]. Prieiga per internetą: <<http://www.cordis.lu/ist/ka4/ipcn>>
4. Kazanavičius E. The Evaluation and Design Methodology for Real Time Systems, 2003 [žiūrėta 2004-03-12]. Prieiga per internetą: <<http://www.vtex.lt/informatica/pdf/INFO547.pdf>>
5. Cortés L. A., Eles P., Peng Z. A Survey on Hardware/Software Codesign Representation Models, 1999 [žiūrėta 2005-01-09]. Prieiga per internetą: <www.ida.liu.se/labs/eslab/publications/pap/db/SAVE99.pdf>
6. Jerraya A., O'Brien K. SOLAR: An Intermediate Format for System-Level Modeling and Synthesis, in Codesign: Computer-Aided Software/Hardware Engineering, Rozenblit J., Buchenrieder K., Eds. Piscataway, NJ: IEEE Press, 1995, p. 145-175
7. Chiodo M., Giusto P., Hsieh H., Jurecska A., Lavagno L., Sangiovanni-Vicentelli A. A Formal Specification Model for Hardware/Software Codesign. Techninis raportas UCB/ERL M93/48, Dept. EECS, Kalifornijos Berklio Universitetas, 1993.
8. Harel D. Statecharts: A Visual Formalism for Complex Systems, in Science of Computer Programming, vol. 8, p. 231-274, 1987.
9. Sander I., Jantsch A. Formal System Design Based on the Synchrony Hypothesis, Functional Models, and Skeletons, in *Proc. VLSI Design*, 1999, p. 318-323.
10. Petri Nets World: Online Services for the International Petri Nets Community [interaktyvus] [žiūrėta 2004 01 15]. Prieiga per Internetą: <<http://www.daimi.au.dk/PetriNets/>>

11. The MathWorks - MATLAB and Simulink for Technical Computing [interaktyvus] [žiūrėta 2005 01 23]. Prieiga per Internetą: <<http://www.mathworks.com>>
12. Simulink – Matlab.Exponenta.Ru [interaktyvus] [žiūrėta 2005 04 04]. Prieiga per Internetą: <<http://matlab.exponenta.ru/>>
13. Free Petri net simulation software tool HPSim for download [interaktyvus] [žiūrėta 2005 04 11]. Prieiga per Internetą: <http://www.winpesim.de/petrinet/e/hpsim_e.htm>
14. Lee E. A. System-level design methodology for embedded signal processors. Techninis pranešimas F33615-93-C-1317, Kalifornijos Berklio universitetas, 1997.
15. Peterson J. Petri Net Theory and the Modeling of Systems. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1981.
16. Benveniste A., Berry G. The Synchronous Approach to Reactive and Real-Time Systems in Proc. IEEE, vol. 79, p. 1270-1282, 1991.
17. Spasokukotskiy K., Tränkler H. Efficiency estimation for demand-driven Climate control in buildings [žiūrėta 2004 03 24]. Prieiga per internetą: <<http://smarthome.unibw-muenchen.de/de/publications/Spa02a.pdf>>
18. Grassnick R. A Case Study for Individual Room Control. [žiūrėta 2004 03 24]. Prieiga per internetą: <<http://smarthome.unibw-muenchen.de/de/publications/Gra01.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 timed Petri nets 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 timed Petri nets and fuzzy logic.

Priedai

1. Straipsnis

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 visiškai automatizavimas, aukštas naudingumo koeficientas ir pan. Nesutvarkyta šildymo ir vėdinimo sistema niekada nesiderina su pageidaujama 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.

	Fizinės sąlygos	Fiziologinės sąlygos	Pereinamos sąlygos
Oro temperatūra	Pirminis/dominuojantis parametras		
Vidutinė temperatūra	Pirminis/dominuojantis parametras		
Drėgnumas	Antrinis parametras		
Oro kaita	Antrinis parametras		
Oro slėgis	Antrinis parametras		
Oro ingredientai	Antrinis parametras		
Šviesa	Antrinis parametras		
Mitybos įtaka		Papildomas parametras	
Amžius		Papildomas parametras	
Kultūrinė įtaka		Antrinis parametras	
Lytis		Papildomas parametras	
Kūno sudėjimas		Papildomas parametras	
Apranga			Pirminis/dominuojantis parametras
Aktyvumas			Pirminis/dominuojantis parametras
Prisitaikymas ir aklimatizacija			Antrinis parametras
Paros laikas / metų laikas			Papildomas parametras
Užimtumas			Antrinis parametras
Psichologiniai faktoriai			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

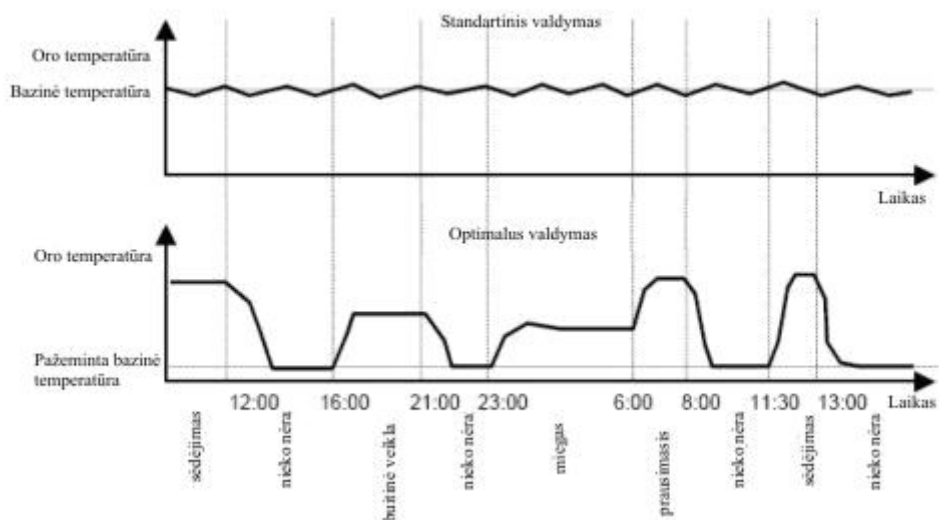
Apžvelgsime kelis kambario klimato kontrolės metodus. Kriterijai, kuriais paremtas valdymas yra temperatūrinis komfortas, energijos efektyvus panaudojimas.

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 strategijų

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,

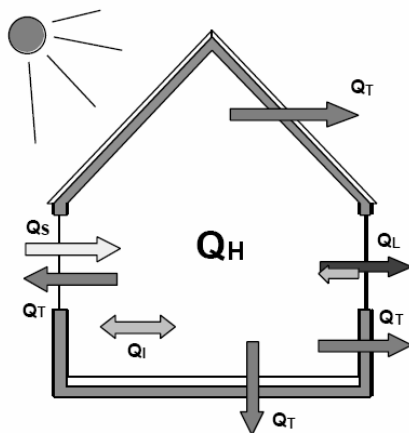
Q_L – šilumos srautas dėl kaitos iš ventiliacijos.

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_{loss} ir Q_G . Pokytis ΔQ_{loss} ir ΔQ_G turi būti kompensuojami per ΔQ_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 (ΔQ_{loss} priklausomybė). Šiais laikais dėl naujų šilumos praradimo mažinimo technologijų gali būti apsiektas didelis energijos taupymo lygis (2 pav). Tad gauname:

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

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
- [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/

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

Kompaktinės plokštelės turinys:

1. Elektroninė šio darbo versija.
2. HPSim 1.1 programinė įranga.
3. Petri tinklų modelis sudarytas, naudojant HPSim 1.1 programinę įrangą.
4. Šildymo vėdinimo sistemos valdymo modeliai, sudaryti MATLAB sistemoje.
5. Elektroninė straipsnio versija.