



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
ELEKTROTECHNIKOS KATEDRA

Artūras Mkrtūmian

ADAPTYVIOSIOS ENERGIJĄ TAUPANČIOS SISTEMOS TYRIMAS
ADAPTIVE ENERGY-EFFICIENT SYSTEM RESEARCH

Baigiamasis magistro darbas

Elektros energetikos sistemų inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H62002

Elektros energetikos technologijos specializacija

Elektronikos ir elektros inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2013

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
ELEKTROTECHNIKOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)
prof. habil. dr. V.KVEDARAS
2013 m. _____ mėn. ____ d.

Artūras Mkrtūmian

ADAPTYVIOSIOS ENERGIJĄ TAUPANČIOS SISTEMOS TYRIMAS
ADAPTIVE ENERGY-EFFICIENT SYSTEM RESEARCH

Baigiamasis magistro darbas

Elektros energetikos sistemų inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H62002

Elektros energetikos technologijos specializacija

Elektronikos ir elektros inžinerijos studijų kryptis

Vadovas doc. dr. Česlovas Šimkevičius _____
(Parašas) (Data)

Lietuvių kalbos konsultantas lekt. Vaida Buivydienė _____
(Parašas) (Data)

Vilnius, 2013

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)
VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Artūras Mkr̃tūmian 200547

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Elektronikos fakultetas

(Fakultetas)

Elektros energetikos sistemų inžinerija,

(Studijų programa, akademinė grupė)

BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)
SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

2013 gegužės 15 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „**Adaptyviosios energiją taupančios sistemos tyrimas**“ patvirtintas **2011 m lapkričio 8 d.** potvarkiu Nr. **256el**, savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Mano darbo (projekto) vadovas **doc. dr. Česlovas Šimkevičius**

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

(Parašas)

(Vardas ir pavardė)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Elektronikos fakultetas

Eletktrotechnikos katedra

ISBN

ISSN

Egz. sk.

Data-....-....

Elektros energetikos sistemų inžinerijos studijų programos baigiamasis magistro darbas

Pavadinimas: **Adaptyvios energiją taupančios sistemos tyrimas**

Autorius: **Artūras Mkr̂tūmian**

Vadovas **doc. dr. Česlovas Šimkevičius**

Kalba: **lietuvių**

Anotacija

Tiriamasis darbas yra skirtas komforto sąlygų gyvenamojoje patalpoje tyrimui. Įvade trumpai išdėstoma darbo esmė ir suformuojamos užduotys. Antroje dalyje apžvelgti literatūros šaltiniai ir trumpai išdėstyta „protingo namo“ idėja, komforto suvokimas, komforto parametrai ir valdymo metodai. Trečioje dalyje aprašomas gyvenamosios patalpos modelio kūrimas ir tyrimas. Modelis numato dviejų parametrų reguliavimą: temperatūros ir apšvietimo. Temperatūros reguliavimui buvo apžvelgti 4 reguliatorių tipai: PI, PD, PID ir neraiškūs. Geriausius rodiklius parodė neraiškūs reguliatorius. Sudarytas patalpos apšvietimo imitacinis modelis. Apšvietimui reguliuoti buvo pasirinktos žaliuzės ir sukurtas jį imituojantis modelis. Apšvietimas modeliuojamas orientuojant patalpą į 4 skirtingas pasaulio šalis: pietus, šiaurę, rytus, vakarus. Taip pat buvo sukurtas neraiškūs objektas ir aprašytos taisyklės, kurios vertina žmogaus komforto jausmą. Pateikti grafikai, kurie nusako žmogaus komfortą, reguliuojant ir nereguliuojant mikroklimato parametrus. Darbo pabaigoje pateiktos išvados ir pasiūlymai.

Darbą sudaro 6 dalys: įvadas, analitinė, eksperimentinė dalys, išvados ir siūlymai, literatūros sąrašas ir priedai.

Darbo apimtis – 82 p. teksto be priedų, 58 iliustr., 7 lent., 35 bibliografiniai šaltiniai.

Prasminiai žodžiai: išmanus namas, patalpos mikroklimato reguliavimas, matematinis modelis, neraiškioji logika, komforto vertinimas.

Vilniaus Gediminas technical university
Faculty of **Electronics**
Department of **Electrical Engineering**

ISBN ISSN
Copies No.
Date .. - - - - -

Electrical Energetics Systems Engineering studies program master degree final thesis

Title **Adaptive Energy-Efficient System Research**

Author **Artūras Mkrtūmian**

Academic supervisor **Assoc. Prof. dr. Česlovas Šimkevičius**

Thesis language: **Lithuanian**

Annotation

The work is devoted to the research of conditions in the living place. The introduction presents the essence of the work and the tasks. Second part contains literature analysis and briefly presented idea of a “smart” house, the methods of maintenance, factors of comfort. Third part is devoted to the model which is used for creation and description of the living place. The model foresees regulation of two parameters: temperature and lighting. Four types of temperature regulators (PI, PD, PID and FUZZY) were examined. The best results were demonstrated by the unclear regulator. The presumable model of lighting in the living place was formed. The blinds were used for the regulation of lighting and in such way the presumable model was created. The lighting in the living place was controlled and formed according to the direction of south, north, east and west. Expressionless object was also created and certain rules which evoke human feeling of comfort, while regulating or not regulating parameters of microclimate, were described. Graphs, illustrating person’s comfort while regulating and not regulating mentioned parameters, were presented. Conclusions and propositions are presented in the end of the work.

Structure: introduction, analytical and experimental parts, conclusions and suggestions, references, appendices.

Thesis consist of: 82 p. text without extras, 58 pictures, 7 tables, 35 bibliographical entries.

Keywords: Smart house, regulation of microclimate in the living place, mathematical model, expressionless logics, evaluation of comfort.

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

ELEKTROTECHNIKOS KATEDRA

Elektronikos ir elektros inžinerijos studijų kryptis

TVIRTINU

Elektros energetikos sistemų inžinerijos studijų programa,
valstybinis kodas 621H62002

Katedros vedėjas

Elektros energetikos technologijos specializacija

(Parašas)
prof. habil. dr. V.KVEDARAS
201... m. _____ mėn. ____ d.
(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO

UŽDUOTIS

.....Nr.

Vilnius

Studentui **Artūrai Mkr̄tūmian**

Baigiamojo darbo tema: **Adaptyvios energiją taupančios sistemos tyrimas**

patvirtinta 2011 m. Lapkričio 8 d. dekanų potvarkiu Nr. 256el.

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 201...m. d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

1. Sukurti temperatūrą reguliuojantį objektą patalpoje;
2. Apskaičiuoti parametrus šiluminiui objektui;
3. Ištirti PID, PI, PD ir „Fuzzy“ reguliatorius ir šiems reguliatoriams parinkti optimalius reguliavimo parametrus;
4. Sukurti apšvietimą reguliuojantį objektą patalpoje;
5. Surinkti ir apskaičiuoti apšvietimo objekto parametrus;
6. Ištirti patalpos objektą, orientuojant į skirtingas pasaulio šalių puses;
7. Sukurti neraiškųjį objektą, vertinantį žmogaus komfortą;
8. Parinkti parametrus neraiškiajam objektui.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

Vadovas **doc. dr. Česlovas Šimkevičius**

.....
(Parašas)

Užduotį gavau

.....
(Parašas)

.....
(Vardas, pavardė)

.....
(Data)

TURINYS

1. ĮVADAS	8
2. ANALITINĖ DALIS	10
2.1. „Išmaniojo namo“ samprata	10
2.2. Mikroklimato samprata	12
2.3. Adaptyviosios šildymo sistemos ekonominiai ypatumai.....	16
2.4. Saulės įtaka energijos taupymui.	17
2.5 Adaptyviosios energiją taupančios sistemos realizavimo galimybės.	24
2.6. Valdymo ypatybės naudojant neraiškiają logiką	25
3. EKSPERIMENTINĖ DALIS	29
3.1. Objekto aprašymas ir bendrosios objekto charakteristikos	29
3.2. Imitacinis objektas, reguliuojantis temperatūrą.....	30
3.3. Imitacinis objektas, reguliuojantis apšvietimą.....	42
3.4. Sistemos elementas, nusakantis komfortą	55
4. IŠVADOS IR PASIŪLYMAI	79
5. LITERATŪRA	80
6. PRIEDAI	83

1. ĮVADAS

Didžiąją savo laiko dalį žmogus praleidžia namie, darbe ar mokymo institucijose, sporto salėje. Žvelgiant į šiuos užsiėmimus galima paminėti, jog dauguma veiklų turi vieną bendrą bruožą – viskas vyksta patalpoje. Labai svarbu darbo ir poilsio vietose sukurti aplinką, kuri būtų komfortiška ir jauki. Komfortiška ir jauki aplinka padidinta žmogaus darbo ir poilsio kokybę.

Komforto jaukumo terminai apima labai daug psichologinių ir fizikinių faktorių. Psichologiniai faktoriai tokie kaip dizainas, patalpos šviesos spektras, kaimynai ir t.t. Tokių faktorių valdyti neįmanoma. Dauguma šių faktorių iš anksto sukuriama, o jų pakeitimas reikalauja didelių kapitalinių išlaidų. Fizikiniai faktoriai tokie kaip temperatūra, apšvieta, drėgmė, garso izoliacija, oro švara ir t.t gali būti reguliuojami ir nereikalauja didelių išlaidų.

Vienas iš daugelio būdų pagerinti žmogaus gyvenimo kokybę yra patogesnės namų aplinkos sukūrimas. Įprastą gyvenamąją vietą galima paversti į „išmanią“ naminę aplinką. Namų jungimas į sistemą buvo naudojamas jau daugiau kaip dešimtmetį, įvedant sąvoką „jungti“ namų prietaisus ir jo įrangą į sistemą. Egzistuojančios „išmanios“ namų technologijos yra integruotos technologijos ir paslaugos. Namų jungimas į sistemą skirtas gyvenimo kokybei gerinti. „Išmanųjį“ namą supantis intelektas gali būti apibrėžtas kaip skaitmeninė aplinka, kuri yra jautri, adaptyvi ir atsiliepianti į žmonių poreikius [1].

Priklausomai nuo geografinės padėties ir energetinės situacijos konkrečiuose regionuose, žmogaus komforto sąlygų suvokimas gali būti skirtingas. Jie priklauso nuo temperatūros, drėgmės, oro švaros ir kitų aplinkos faktorių. Pavyzdžiui šiaurinių regionų žmonėms komfortiška temperatūra šiek tiek žemesnė nei pietiniuose regionuose gyvenantiems. Priklausomybė nuo energetinės situacijos yra tokia, kad esant aukštai aplinkos temperatūrai visus metus, o trumpą laikotarpį temperatūrai nukritus iki +10 turėti centrinės šildymo sistemas ekonomiškai neapsimoka. Todėl eidami į lauką apsirengia šilčiau, taip kūnas pripranta prie savo vidinės temperatūros, kurią išsaugo drabužiai, todėl patalpoje neišsirengia, o tiesiog prisitaiko prie vidaus temperatūros (pavyzdys kai kurie Kinijos, Portugalijos, Ispanijos regionai). Tokiose šalyse komfortiškos temperatūros pojūčio diapazonas bus kur kas didesnis nei tų šalių, kuriose egzistuoja patalpų šildymo sistemos.

Žmogus priima informaciją apie jį supančią aplinką, naudojant 5 pojūčius: regą, klausą, skonį, lytėjimą ir uoslę. Tam, kad žmogus jaustųsi komfortiškai visi pojūčių receptoriai turi gauti informaciją, kuri tilptų į komfortiškų fizikinių dydžių diapazoną. Geram regos pojūčiui turi būti užtikrintos tokios sąlygos kaip tinkama apšvieta, atspindžių nebuvimas, klausai – tylą,

jutimo organams – temperatūra, drėgmė ir t.t. Didžiausią reikšmę turi temperatūra, apšvieta, drėgmė ir garso izoliaciją.

Darbo tikslas yra ištirti būtent tokią sistemą, kuri reguliuotų svarbiausius mikroklimato parametrus ir gautų žmogaus komforto pojūčio vertinimą realiu laiku. Šiame darbe atliktas mikroklimatą reguliuojančios sistemos tyrimas, kurios valdymo parametrai vieni iš svarbiausių, užtikrinant žmogui komfortiškumą – temperatūra ir apšvieta. Tiriamas objektas - bendrabučio kambarys name, esančiame Vilniuje, kurio koordinatės E25,25° N54,40°. Visos komfortiškų sąlygų rekomendacijos ir standartai buvo parinkti remiantis LR higienos normomis ir standartais.

Tiriamajam darbui suformuotos darbo užduotys:

1. Sukurti temperatūrą reguliuojantį objektą patalpoje;
2. Apskaičiuoti parametrus šiluminiam objektui;
3. Ištirti PID, PI, PD ir „Fuzzy“ reguliatorius ir šiems reguliatoriams parinkti optimalius reguliavimo parametrus;
4. Sukurti apšvietimą reguliuojantį objektą patalpoje;
5. Surinkti ir apskaičiuoti apšvietimo objekto parametrus;
6. Ištirti patalpos objektą, orientuojant į skirtingas pasaulio šalių puses;
7. Sukurti neraiškųjį objektą, vertinantį žmogaus komforto pojūtį;
8. Parinkti parametrus neraiškiajam objektui.

2. ANALITINĖ DALIS

2.1. „Išmaniojo namo“ samprata

Gyvenamasis namas, kuriame įdiegtos technologijos, leidžiančios kontroliuoti įtaisus ir sistemas, vadinamas kompiuterizuotu „protingu namu“ arba išmaniu namu. Kompiuterizuotas namas skiriasi nuo kitų gyvenamųjų namų tuo, kad jame instaliuota įvairių sistemų ir įtaisų, kurie keičiasi tarpusavyje informacija, valdymo signalais. Modernūs namai turi įvairių sistemų. Adaptyviajame name šios sistemos ir prietaisai funkcionuoja atskirai nuo sistemos. Adaptyviajame name šios sistemos ir prietaisai gali keistis informacija ir komandomis [2].

Išmanus namas privalo turėti tris elementus:

- Vidinį tinklą;
- Centrinį kompiuterį;
- Namų automatizavimą.

Pagrindinės „išmaniojo namo“ funkcijos yra saugumas, komfortabilumas ir ekonomiškumas. Saugumą užtikrina ne tik tokiam name instaliuota apsaugos sistemos, bet ir avarinių situacijų valdymo sistemos, automatiškai perduodančios įspėjimus apie avarines situacijas vartotojui ir atitinkamoms institucijoms. Komfortą vartotojui garantuoja ne tik intelektualūs, modernūs, daug funkcijų atliekantys prietaisai, o taip pat ir galimybė juos valdyti nuotoliniu būdu. Automatizuotas sistemų valdymas, jų prisitaikymas prie vartotojo leidžia vartotojui pamiršti daugelį kasdieninių buitinių rūpesčių. Ekonomiškumas taip pat vienas svarbiausių „išmaniojo namo“ teikiamų privalumų, kadangi jis padeda vartotojui taupyti energiją ir tokiu būdu sumažinti savo išlaidas [3].

Galima išskirti tokius pagrindinius intelektualios sistemos privalumus:

- Energijos taupymas – sistema gali sumažinti be reikalo eikvojamą elektros energiją.
- Paprastumas – namų valdymo sistemai įdiegti nereikia sudėtingos programos. Nustatymus atlikti galima rankinio bevielio programavimo pagalba.
- Padidėjusios galimybės – technologijos nuolat tobulinamos, didėja ir namams keliami reikalavimai. Šiuolaikinės sistemos sukurtos taip, kad jų plėtra arba pakeitimai gali būti atlikti be didelio vargo.

Taigi, gyvenamojo namo technologinių procesų kompiuterizavimas palengvina procesų valdymą, padeda namo gyventojui taupyti energiją, gauti ataskaitas apie sunaudotus išteklius, statistiką [2].

„Protingas namas“ – tai elektronikos prietaisų kompleksas, kuris yra pastato viduje ir išorėje ir valdo visas (ar beveik visas) pastato inžinerines sistemas. Inžinerinių sistemų samprata apima visą techniką pastate (vandentiekio sistema, šildymo sistema, vaizdo ir garso sistema). „Protingo namo“ idėja yra valdyti viso pastato inžinerines sistemas [4].

Siekiant paspartinti tokių technologijų plėtrą, kūrėjai sukūrė „Elektros gamybos aljansą“ („*Electronic Industries Alliance*“). 1992 metais tai paskatino atsirasti elektroninių laikiklių jungtims. Dabar CEBus - atviras standartas. Tai reiškia, kad „protingų namų“ įrangą gali gaminti bet kuri bendrovė, kurios produktai atitinka reikalaujamas specifikacijas.

Nebūtinai reikia sukurti visą „protingo namo“ sistemą vienu duomenų perdavimo metodu. Taigi, apšvietimas gali būti kontroliuojamas, naudojant duomenų perdavimą per elektros instaliaciją, vaizdo ir garso įrangą - su bendraašiu kabelių pagalba. Kondicionieriams, įvairiems skaitmeniniams prietaisams tinka „Ethernet“ kabelis. Radijo signalai arba infraraudonieji spinduliai gali būti naudojami su bet kokiais prietaisais ar sistemomis, įskaitant konkrečius signalų keitiklius, kurie naudojami tarpusavyje duomenų perkėlimui. Šie prietaisai yra vadinami maršrutizatoriais ar tiltais (data bridges). Be šių nurodytų technologijų (modernizuotas, tačiau vis dar gana „lėtas“ X10, taip pat „CEBus“) yra ir kitų pagal, kurias galima įgyvendinti „intelektualių namų“ koncepciją.

Yra gana paplitęs, ypač Europoje, protokolas EIB (European Installation Bus). Šiandien, ko gero, tai yra pagrindinė Europos platforma, kurios pagrindu kuriami protingi namai. Jo kitas pavadinimas – „Instabus“. Kalbant apie šias technologijas EIB yra labai panaši į CEBus. Paprastai, statant „protingą namą“ EIB naudojami tokie įrenginiai:

- Jutikliai - tai judesio jutikliai, laikmačiai, temperatūros ar drėgmės jutikliai.
- Vykdikliai (vykdantieji prietaisai) – keičia savo padėtį (eina iš režimo „išjungta“ į režimą „įjungta“ ir t.t.) pagal komandas, gautas iš jutiklių ir valdo įvairius elektros įrenginius, tokius kaip apšvietimą.
- Apšvietimo reguliatoriai – kontroliuoja elektros energijos apkrovas.
- Kontroliniai modeliai – privalomi, jei ketinama naudoti gana sudėtingus valdymo algoritmus, pvz, kai reikia valdyti įvairių tipų įrenginius, naudojant duomenis iš įvairių jutiklių.
- Sistemos įrenginiai – palaiko ir prižiūri patį EIB tinklą, laikiklių jungtis, kartotuvus, maitinimo šaltinius, sąsajų modelius.

Iš esmės panašūs įrangos komplektai gali būti naudojami dirbant su kitomis sukurtomis technologijomis ir gali būti panaudojami „protingų namų“ statybai. Tačiau kiekviena iš jų gali būti atliekama panaudojant ir kitą įrangą pagal technines specifikacijas bei duomenų perdavimo būdą.

Kuriant „protingų namų“ sistemą, signalo perdavimas gali būti atliktas maitinimo lizdais ir šviestuvo laidais, nors yra žinoma, kad patogiau ir funkcionaliau statybos metu kabelį nutiesti kartu su kitais inžineriniais kabeliais bei laikikliais. Prieinamumas prie laikiklių ateityje leis sistemą papildyti viskuo, kas atrodys reikalinga be didelių remonto išlaidų [5].

Pagrindinių elementų diegimas į „protingą namą“ jau statybos pradžioje leidžia vėliau juos sujungti tarpusavyje. Netolimoje ateityje „protingi namai“ plės tiek kaime, tiek mieste ir ilgainiui pavirs į vieną didelį „protingą miestą“ [6].

Automatizavimo sistemų įdiegimo nauda miestuose yra neabejotina. Visų pirma jie vykdo įrengimų ir inžinerinių sistemų kontrolę, atlieka techninės priežiūros ir remonto grafikų profilaktiką, dėl to pailgėja įrangos tarnavimo laikas. Čia galima vesti apskaitą ir kontrolę apie suvartotus miesto išteklius (dujų, elektros, vandens) taip pat ekonomiškiau naudoti išteklius [7].

2.2. Mikroklimato aplinkos samprata

Kiekvieną žmogų veikia tokie aplinkos veiksniai patalpoje: klimatas, oro kokybė, natūralus ir dirbtinis apšvietimas, elektromagnetiniai laukai, jonizuojančios spinduliuotės, triukšmas, vibracija ir t.t.

Atsižvelgiant į šiuolaikinio mokslo įrodymus apie „aplinkos“ sąvoką turėtų būti žiūrima plačiau. Aplinka tai yra visi gyvi organizmai, įskaitant žmogų, abiotinius ir biotinius veiksnius. Kitas svarbus veiksnys, kuris išskiria ekologinį požiūrį į žmogų ir gyvūną yra tai, kad visos sąlygos ir aplinkos veiksniai yra daugiau mažiau socialiai nustatyti [8].

Vidaus gyvenamoji aplinka – sudėtinga sistema, apimanti daug komponentų, integruotų taip, kad būtų užtikrintas sudėtinis funkcinis vientisumas. Dėl šių dviejų sąveikų (aplinkos ir vidaus) žmogus patiria patalpoje fizinių ir cheminių aplinkos veiksnių poveikį pagal tokią schemą: išorinė aplinka – pastatas – vidinė aplinka – žmogus. Aplinkos įvairovėje skirtingų rūšių dirgiklius žmogaus kūnas suvokia per receptorius. Aplinkos veiksnių įtaka būna palanki, jeigu jų svyravimai neviršija optimalių komforto parametrų. Komforto suvokimas yra individualus kiekvienam asmeniui, atsižvelgiant į tokius veiksnius kaip triukšmas, šviesa, šiluma. Žmogaus komforto suvokimas yra skirtingas įvairiomis klimato sąlygomis. Atsižvelgiant į ekonominius veiksnius svarbu nustatyti įvairių grupių komforto vidurkį įvairiose patalpose skirtingomis klimato sąlygomis, tai nustato higienos reglamentas.

Mikroklimato veiksniai. Tarp svarbiausių veiksnių, apibrėžiančių namų komfortą yra meteorologiniai veiksniai. Žmogaus tam tikrų klimato veiksnių poreikis sukuria skirtingas šilumos mainų su aplinka sąlygas ir sukuria tam tikrą funkcinę būseną, vadinamą šiluma. Ji priklauso ne tik nuo subjektyvaus žmogaus šilumos pojūčio, bet ir nuo termoregulacinio

proceso, kuris vyksta organizme, kai keičiasi oro sąlygos. Šiluminės sąlygos galiausiai paveikia visas fiziologines organizmo sistemas ir nustato žmogaus ir jo sveikatos funkcionalumo galimybes. Optimalūs parametrai yra aktualūs gyvenamųjų ir visuomeninių pastatų mikroklimatui.

Vertinant šiluminės būsenos reikšmę organizmui išskiriama šilumos komforto zona. Pagal šiluminio komforto zoną galima suprasti tokias sudėtingas meteorologines sąlygas, pagal kurias žmogaus termoreguliacinė sistema yra streso nesukeliančioje būsenoje, o kitos fiziologinės funkcijos yra tokios, kurios labiausiai tinka atsipalaiduoti ir atgauti organizmo jėgas po apkrovos.

Pagal uždarų patalpų mikroklimatą galima suprasti šiluminės aplinkos būklę, kuri leidžia suvokti žmogaus būseną, kuri priklauso nuo temperatūros, santykinės drėgmės, oro greičio.

Pagrindiniai mikroklimato gyvenamųjų ir visuomeninių pastatų higieninio reglamentavimo principai:

- Optimalūs higienos reglamento leidžiamieji mikroklimato parametrai privalo atsižvelgti į paros ir sezoninius ritmo svyravimus fiziologinėms funkcijoms, o taip pat žmogaus prisitaikymui prie tam tikrų klimato ypatybių.
- Higienos normos mikroklimatą turėtų diferencijuoti atsižvelgiant į įvairaus amžiaus grupes.
- Normuojant higieninį reglamentą optimalus ir leidžiamas mikroklimato parametras atkreipia dėmesį į energijos lygį ir šilumą išlaikančius drabužius tam tikrai gyventojų grupei.

Vertinant higienos parodymus ir jų poveikį organizmui būtina vienu metu svarstyti ir lyginti kiekvieną mikroklimato parametą ir fiziologinius duomenis apie žmogaus fiziologinės termoreguliacijos reakciją į sudėtingų mikroklimato sąlygų rodiklių pasikeitimą.

Vidinis klimatas vertinamas atsižvelgiant į temperatūros, oro greičio ir santykinio drėgnumo, patalpų spinduliavimo režimo, kuris priklauso nuo paviršiaus temperatūros. Kiekvienam iš rodiklių nustatomi optimalūs lygiai ir leistini dydžiai, remiantis bendru poveikiu žmogaus organizmui.

Svarbu pažymėti, kad konkrečių šilumos aplinkos sąlygų vertinimas priklauso nuo žmogaus gyvenimo patyrimo, t.y socialinių sąlygų: įprastas klimatas, drabužiai, maistas, būstas ir iš dalies sanitarinė kambarių būklė.

Būsto aplinkos sąlygų standartai yra vienodi suaugusiems ir vaikams, bet amžiaus skirtumas gali būti pagrįstai įvertintas, nustatant meteorologinių veiksnių leistiną svyravimą. Yra žinoma, kad šilumos nuostoliai per odą yra 45–47%, esant spinduliuotei, beveik 30%

konvekcijai ir laidumui, iki 20% pasižalina su prakaitu. Šilumos nuostoliai per kvėpavimą vyksta išylant įkvėptam orui ir drėgmės garavimui nuo plaučių paviršiaus. Kai yra karštas mikroklimatas sumažėja šilumos atidavimas dėl spinduliavimo ir dėl padidėjusio organizmo prakaitavimo. Esant žemai temperatūrai atvirkščiai – padidėja šilumos atidavimas dėl spinduliavimo ir sumažėja organizmo prakaitavimas.

Tokiu būdu, higienos normose šilumos faktoriai turi būti kompleksiški, diferencijuoti ir suteikti garantiją. Pastarasis principas reiškia, kad mikroklimato parametrų normalizavimas turi užtikrinti sveikatos išsaugojimą ir darbingumą žmogui, kuris sunkiai prisitaiko prie aplinkos faktorių svyravimų.

Žvelgiant iš žmogaus šiluminio komforto taško yra labai svarbu santykis tarp konvekcinio, spinduliavimo ir laiduminio šilumos perdavimo, naudojant įvairias inžinerines šildymo sistemas.

Optimalios temperatūros parametrai šaltuoju metų laiku yra nuo 20 iki 23°C, vidutiniuoju - nuo 20 iki 22°C, karštuoju metu – nuo 23 iki 25°C. Didelę reikšmę turi oro temperatūros svyravimai patalpos horizontalioje ir vertikalioje kryptyse. Horizontaliai neturi viršyti 2°C, o vertikaliai - 2-3°C. Padidėjimas vertikalioje kryptyje daugiau kaip 3°C, gali sukelti galūnių atšalimą ir temperatūros pokyčius viršutiniuose kvėpavimo takuose. Nurodyti oro temperatūros normatyvai patalpoje atitinka higienos normų reikalavimus tik tuo atveju, kai temperatūros skirtumas tarp vidaus sienų ir oro ne didesnis kaip 2–3°C. Žema sienų ir aplinkinių objektų temperatūra net ir esant normaliai oro temperatūrai padidina šilumos nuostolius spinduliavimo būdu, kurie sukelia diskomfortą.

Svarbus mikroklimato rodiklis yra oro judėjimo greitis. Judančio oro poveikis žmogaus kūnui yra dvejopas: fizinis ir psichologinis (refleksinis). Nedidelis oro judėjimas, ne tik perneša toliau sočiuosius garus ir perkaitinta oro sluoksnį, bet taip pat veikia lytėjimo receptorius, stimuliuoja sudėtingus refleksinius termoreguliacijos procesus. Tuo pačiu metu jo didelis greitis, ypač dalinio atvėsimo metu, padidina konvekcijos ir garavimo šilumos nuostolius ir dėl to atvėsta organizmas. Rekomenduojamas minimalus, maksimalus ir optimalus leidžiamas oro judėjimo greitis patalpoje šaltuoju metų laiku priklauso nuo kambario oro temperatūros (0,1–0,25 m/s). Didelį reikšmę žmogaus organizmui turi oro drėgmė patalpoje. Leidžiamas drėgnumas yra 30–65%. Didesnis nei paminėta oro drėgnumas šaltuoju metų laiku nerekomenduojamas, dėl to, kad drėgnas oras turi didelį šiluminį laidumą ir šiluminę talpą, o tai padidina šilumos netekimą spinduliavimo ir konvekcijos metu. Norint sukurti komfortišką aplinką šildomose patalpose reikia išlaikyti santykinį oro drėgnumą 30–45%, dėl to, kad esant žemesnei nei 30% oro drėgmei pradeda sausėti kvėpavimo takų gleivinė, be to, atsiranda pavojus elektrostatinio krūvio susikaupimo rizikai ant kilimų paviršiaus.

Normalaus patalpų mikroklimato palaikymas vasarą ypač aktualus karšto klimato rajonams. Karšto klimato rajonuose optimali oro temperatūra yra 21–27,8°C, kai drėgnumas 20–60% ir oro judėjimo greitis 0,1–0,25 m/s. Klimato sąlygomis, kai padidėjęs oro temperatūros drėgnumas patalpose turi būti 23–26,4°C, o oro judėjimo greitis 0,15–0,5 m/s. Esant aukštai temperatūrai ir dideliui oro drėgnumui sumažėja šilumos atidavimo galimybė prakaituojant. Organizmo perkaitimas prasideda esant žemai oro temperatūrai. Todėl jos padidėjimas turi vykti kartu su drėgmės mažėjimu.

Normalioje klimato juostoje palankiausios sąlygos yra vasarą, kai oro temperatūra 22–24°C, vidutinis spinduliavimas 427–431 W/m², oro drėgnumas 30–45%, o oro judėjimo greitis 0,1–0,2 m/s.

Kadangi mus supanti aplinka visą laiką keičiasi, tai keičiasi ir gyvenimo sąlygos bei mikroklimato parametrai. Skirtingose klimato juostose ir skirtingu metų laiku šilumos komfortas yra skirtingas vyrams ir moterims, pagyvenusiems žmonėms, vaikams ir žmonėms su sutrikusia termoreguliacijos funkcija. Taigi gyvenamųjų ir visuomeninių pastatų standartai turėtų atsižvelgti ir būti pritaikyti įvairioms žmonių grupėms, dėl to šilumos komforto normatyvai turi būti diferencijuoti.

Tai, jog reikia užtikrinti normalias mikroklimato sąlygas taip pat nusako tai, kad ilgalaikės diskomfortiškos sąlygos sukelia hipotermiją ar perkaitimą, vedantį prie viso ar specifinio organizmo silpnėjimo, susilpnina imuninę sistemą. Tai gali sukelti ligas, pavyzdžiui, reumatą, anginą, neuralgiją, taip pat sunkias širdies ir kraujagyslių ligas ir medžiagų apykaitos ligas.

Reikalavimas užtikrinti optimalias sąlygas visuomeniniuose ir gyvenamuosiuose pastatuose neturėtų būti vertinamas kaip privalomas. Tam tikrais laikotarpiais dienos mikroklimato parametrai turi tam tikrą kitimo greitį tam tikru laiku ir tam tikrą kaitą, t.y. bangavimą. Tik dinamiškas mikroklimatas naudingas žmogaus organizmui dėl termoreguliacijos, kuri vyksta kartu su fiziniu aktyvumu, o tai didina fizinį aktyvumą ir žmogaus organizmo prisitaikymą.

Šiluminis komfortas patalpoje labai priklauso nuo pastato konstrukcijų (sienos, langai, durys, perdengimai) kokybės. Plačiai naudojamų lengvų medžiagų gyvenamųjų ir visuomeninių pastatų statybai (plokštės ir blokai iš lengvo ir akyto betono) leidžia pakeisti patalpų mikroklimatą. Tačiau nepalankus mikroklimatas gali būti net tik dėl prastos izoliacijos išorinėse sienose, bet ir dėl prastos statybos kokybės (nepakankamai sandarios siūlės, langai ir t.t.).

Patalpų mikroklimatui taip pat įtaką daro įstiklinto ploto padidėjimas. Langų plotas taip pat vaidina didelį vaidmenį formuojant patalpų mikroklimatą, tiek šaltuoju ir šiltuoju metų laiku.

Didėjant šilumos atidavimui ir esant žemai sienų ir kitų paviršių temperatūrai gali pradėti vystytis kvėpavimo takų ligos, nes pagal Stefano–Bolcmano teoriją šilumos netekimo nuostoliai auga geometrine progresija nuo temperatūros.

Padidėjus šilumos netekimui spinduliavimo būdu sutrinka termoreguliacijos procesai ir pažeidžiama šilumos pusiausvyra tarp organizmo ir aplinkos, tai taip pat neigiamai veikia imunobiologinį reaktyvumą. Dėl to išauga kvėpavimo takų susirgimai.

Nemažiau svarbus veiksnys formuojant klimatą ir patalpų orą yra patalpų šildymo ir vėdinimo inžinerinės sistemos. Ypač svarbu yra reguliuoti gyvenamųjų patalpų mikroklimatą žiemos ir vasaros periodais. Žiemos periodas labai svarbus I ir II statybos klimatinėje juostoje, vasaros periodas III ir IV.

2.3. Adaptyviosios šildymo sistemos ekonominiai ypatumai

Europoje pastaraisiais metais pirminės energijos suvartojimas didėja 1–2% kasmet, o pirminės energijos vartojimo balanse pastatai yra vienas pagrindinių energijos vartotojų, kuriems tenka apie 40% suvartojamos energijos. Tiek Europos Sąjungoje (ES), tiek kitose pirmaujančiose pasaulio šalyse energijos taupymas yra vienas pagrindinių politikos ir darnaus vystymosi tikslų [9].

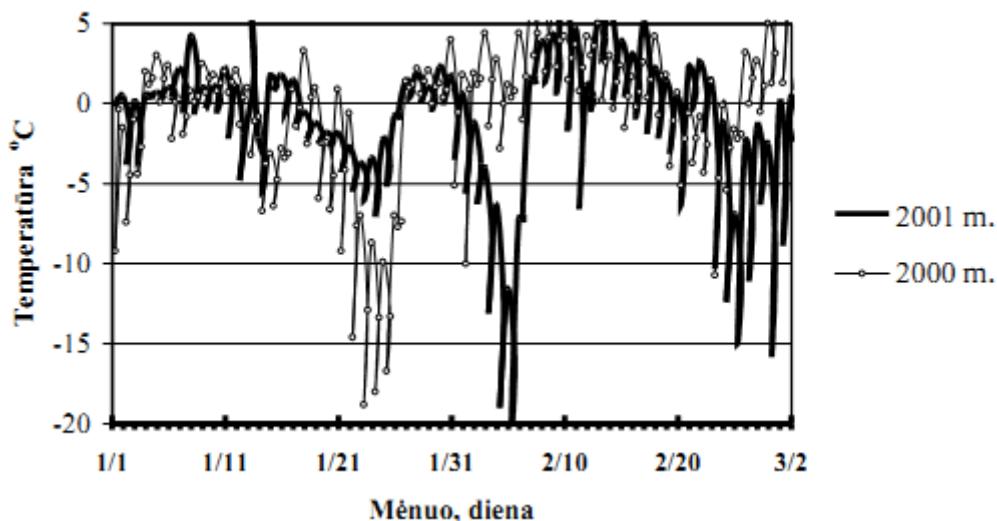
Žmogaus kasdieninėje aplinkoje reikalinga užtikrinti higienos normas. Vienas iš punktų yra temperatūra. Patalpose, kuriose žmogus dirba, gyvena, ar mokosi stabili temperatūra ypač svarbi. Didelis temperatūros skirtumas tarp norminės ir faktinės patalpoje lemia ne tik žmogaus savijautą, darbingumą, bet ir gali neigiamai įtakoti jo gyvybines funkcijas. Lietuvoje gyvenamosiose ir darbo patalpose temperatūra turi būti 18–26° C šaltuoju metų periodu ir 22–28°C šiltuoju, atitinkamai rekomenduojama oro temperatūra 20–24°C šaltuoju ir 23–25°C šiltuoju laikotarpiu [10].

Palaikyti pastovią patalpų temperatūrą naudojamas šildymas ir šaldymas. Lietuvos klimato sąlygomis per vienerius metus apie 6 mėnesius higienos normose numatytai temperatūrai palaikyti naudojamas šildymas ir tik 1–2 mėnesius šaldymas. Tokiomis klimato sąlygomis didžiausios energijos sąnaudos yra būtent šildymui.

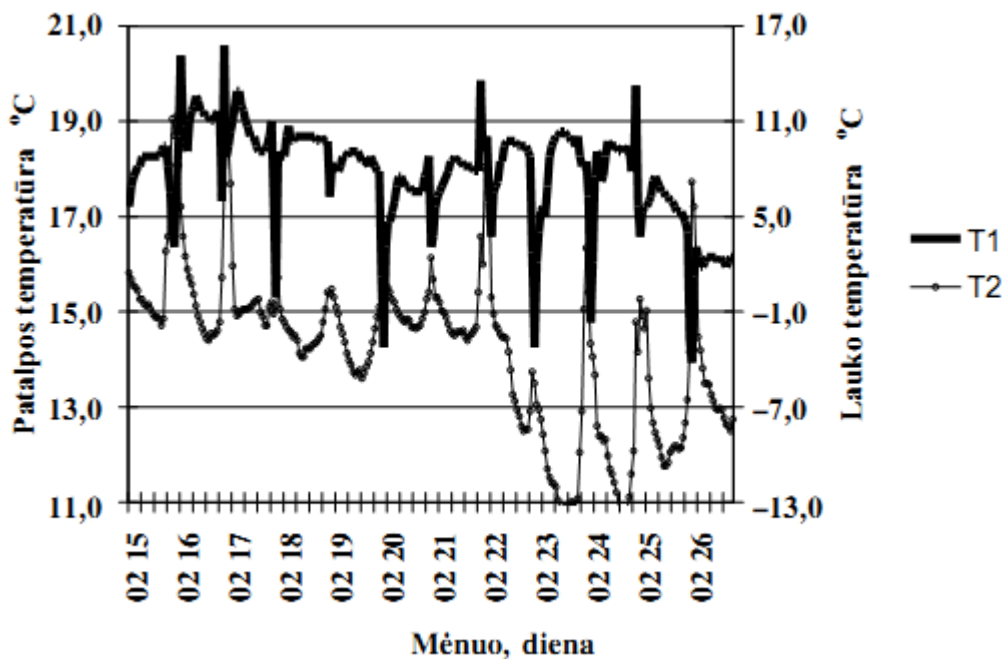
Priklausomai nuo pastatų tipo paskirties ir vietos šildymas gali būti vietinis arba centrinis. Vietinis šildymas dažniausia paprastas ir neautomatizuotas. Dažniausiai tokį šildymo

būdą naudoja privatūs namai. Centrinį šildymą dažniausiai naudoja miesto teritorijoje esantys komercinės paskirties pastatai, daugiabučiai ir t.t.

Lietuvos klimato sąlygomis oro temperatūra gali kisti labai staigiai, tai matyti 2.1 paveiksle. Centralizuota šildymo sistema reguliuoja šildymą pagal išorinę lauko temperatūrą. Šis būdas yra geras, tačiau jis neatsižvelgia į namo šilumines savybes ir inerciją, todėl vidinė temperatūra kinta su inercija ir kartais nukrinta žemiau HN nurodytos norminės temperatūros, tai galime pastebėti 2.2 paveiksle.



2.1 pav. Kaune matuota oro temperatūra sausio ir vasario mėnesiais [11]



2.2 pav. Penkių aukštų blokinio namo viršutinio aukšto patalpos oro temperatūros T1 ir lauko oro temperatūros T2 pokytis, kai šildymas valdomas atsižvelgus į lauko temperatūrą [11]

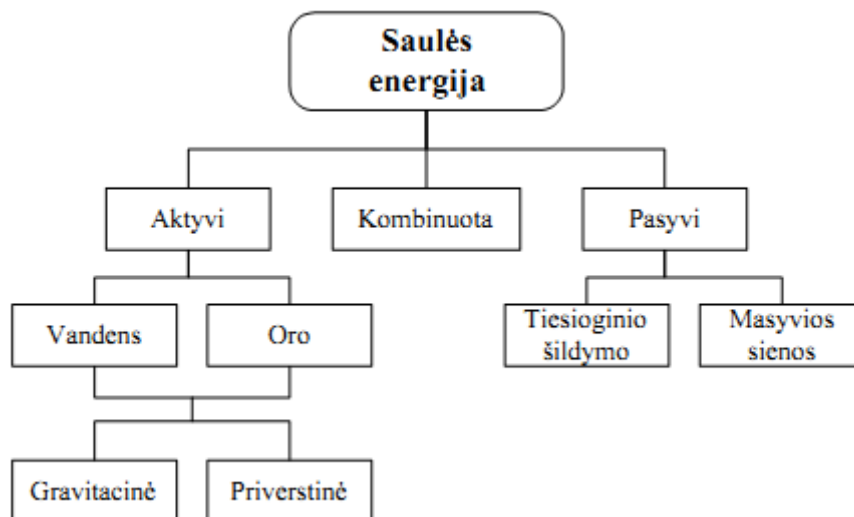
Patalpos pastovios temperatūros palaikymas yra svarbus ne tik dėl komforto, bet ir dėl to, jog pastovi patalpos temperatūra sumažina pastato energijos nuostolius dėl dažno patalpų perkaitimo. Centralizuotai valdant pasatų šildymą patalpų oro temperatūros pokyčius galima sumažinti panaudojus radiatorius su termostatiniais ventiliais, tačiau juos reikėtų statyti visose namo patalpose ir pakelti šildymo vandens temperatūrą. Jie efektyviai veikia esant šilumos pertekliui [11].

2.4. Saulės įtaka energijos taupymui

Saulės energija yra atsinaujinančios energijos šaltinis. Ji suteikia ne tik šviesą bet ir šilumą. Saulės efektyvus panaudojimas viena iš didžiausių užduočių šiuolaikiniais inžinieriams ir mokslininkams. Šiuo metu saulės energija naudojama dviejose srityse:

- Elektros energijai gaminti;
- Šilumos energijai gaminti.

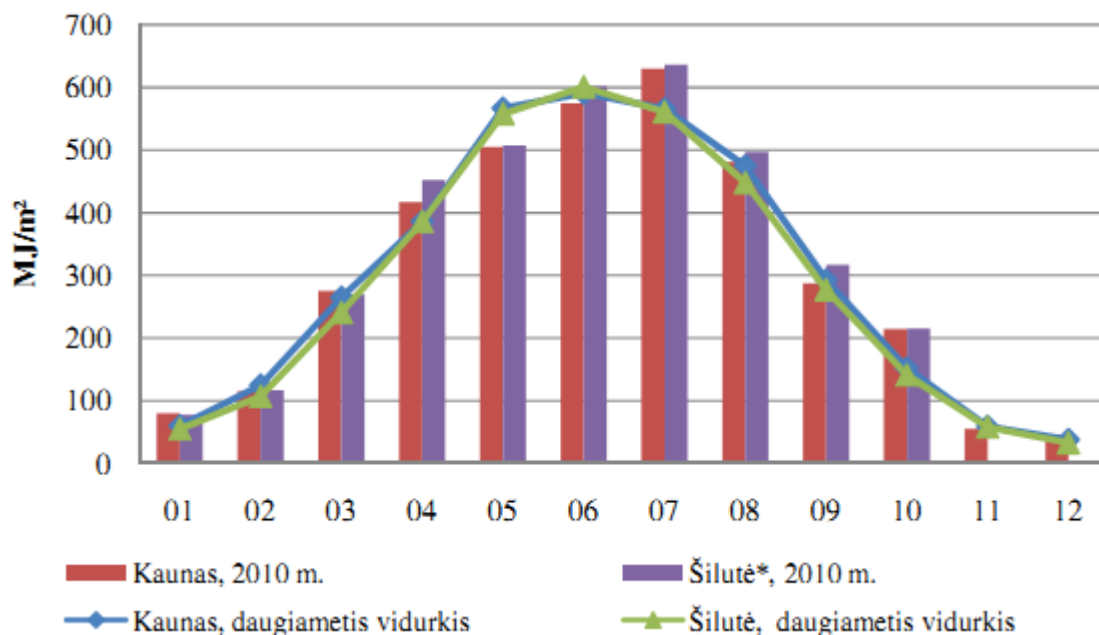
Pastaroji sritis turi keletą būdų. Šiluminės saulės energijos panaudojimo būdai pavaizduoti 2.3 paveiksle. Aktyvieji saulės energijos panaudojimo metodai yra plačiai tyrinėjami. Jų pagrindu kuriami įvairūs, tačiau norint sumažinti energijos sąnaudas reikia išnaudoti visus būdus. Pasyvioji saulės energija, tai energija gaunama nebeįdiegiant į sistemą jokių papildomų elementų.



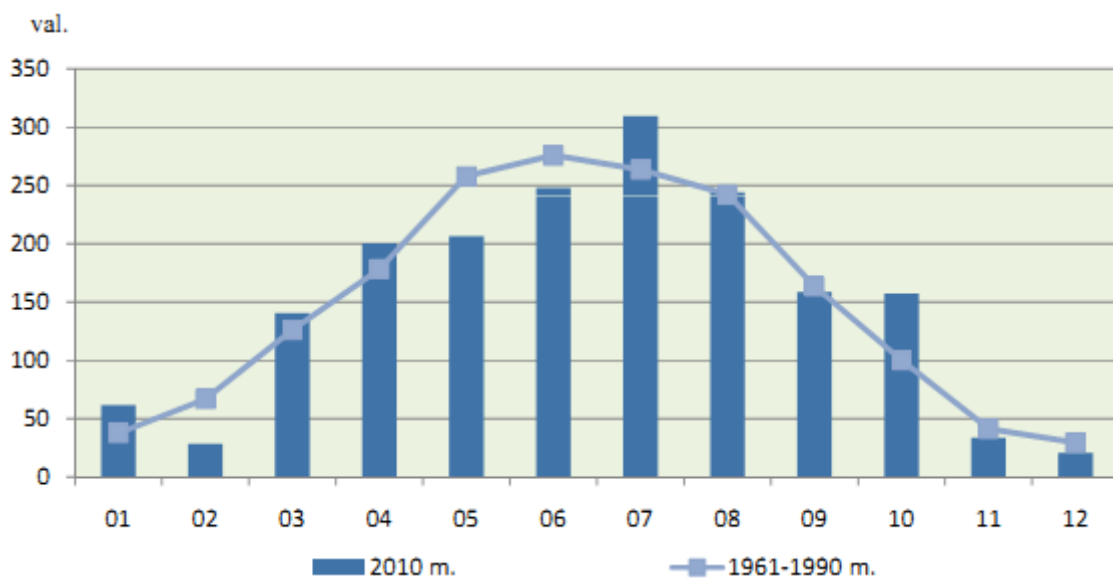
2.3 pav. Šiluminės saulės energijos panaudojimo būdai [12]

Dažnai pasyviai saulės energijos gavimui naudojamas stiklo paketas. Lyginant su sienomis jis padidina pastato energijos poreikius šildymui tačiau sumažina energijos poreikius apšvietimui. Labai svarbu surasti optimalų įstiklinimo plotą. Tačiau optimalus įstiklinimo plotas priklauso nuo metinės saulės energijos, bei nuo saulėtų valandų skaičiaus. 2.4 ir 2.5 paveiksle

pavaizduota Lietuvoje 2010 m. išspinduliuotas saulės energijos kiekis ir saulėtų valandų skaičius kiekvieną mėnesį.

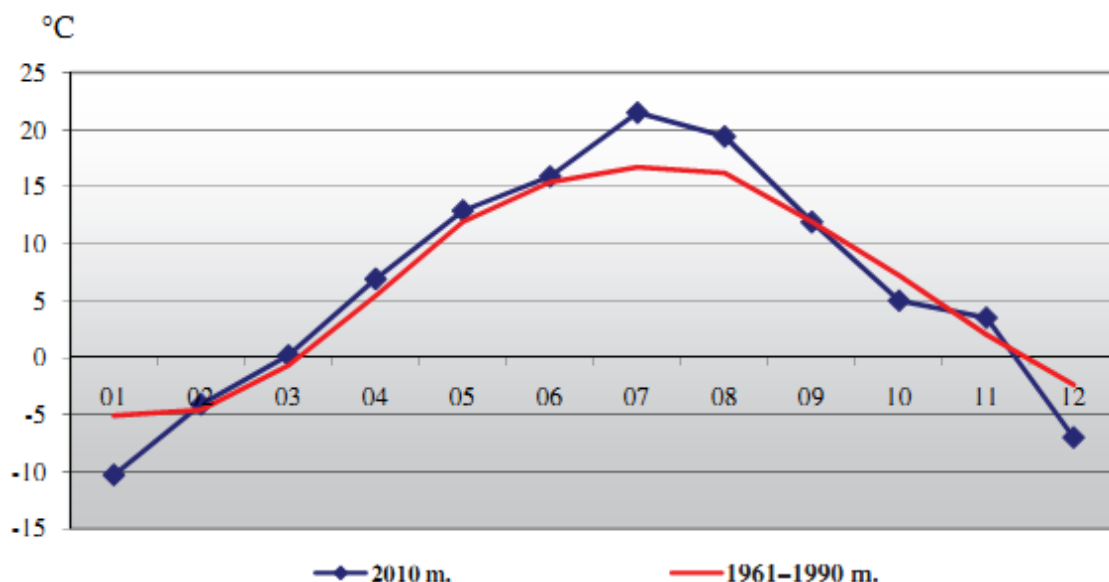


2.4 pav. Bendrosios saulės spinduliuotės suma Lietuvoje [13]



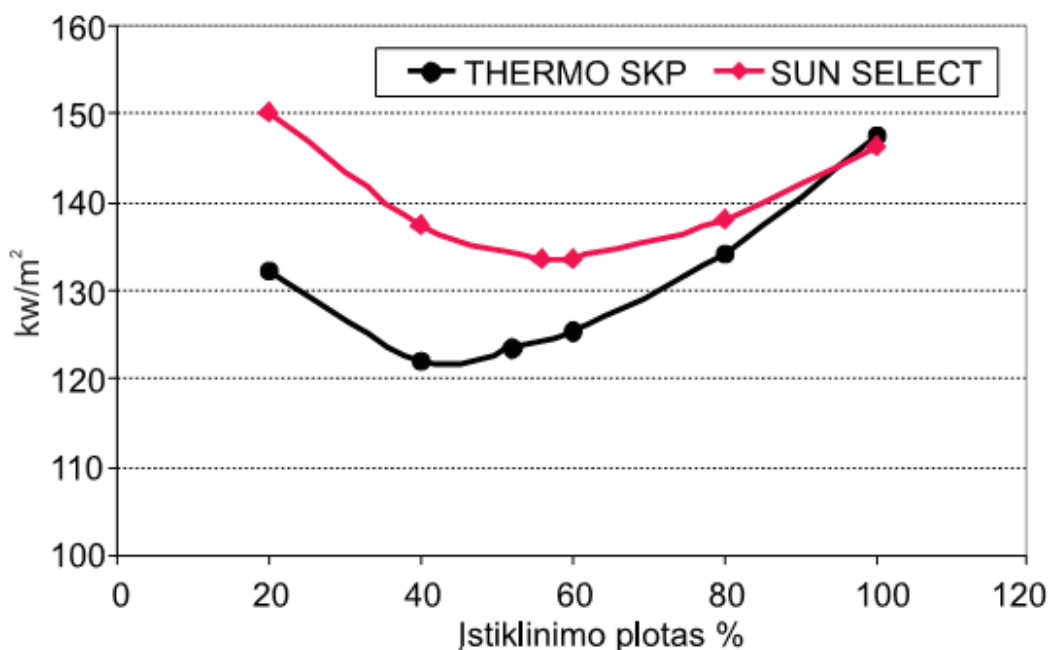
2.5 pav. Saulėtų dienų trukmė atskirais mėnesiais Lietuvoje [13]

Kiekvienoje iš šių diagramų matosi, jog saulės intensyvumas vasarą padidėja žiemą sumažėja. Vidutiniškai saulėtų valandų skaičius yra 4,95 val/parą. Oro temperatūra vidutiniškai buvo 6,3°C. 2.6 paveiksle pavaizduota kaip kinta vidutinė ilgametė temperatūra ir temperatūra 2010 metais.



2.6 pav. Oro temperatūros kaita Lietuvoje [13]

Vilniaus administraciniame pastate, orientuotame į vakarus, atliktame tyrime buvo nustatyta energijos poreikis šildymui, vėdinimui ir apšvietimui. Buvo išbandyti SUN SELECT ir THERMO SKP stiklo paketai. Bendri rezultatai parodė, jog optimalus įstiklinimas yra 40–60%. [9]. Tai pavaizduota 2.7 paveiksle.



2.7 pav. Suminis metinis pirminės energijos poreikis šildymui, vėsinimui ir apšvietimui, kai naudojami skirtingi stiklo paketai [9]

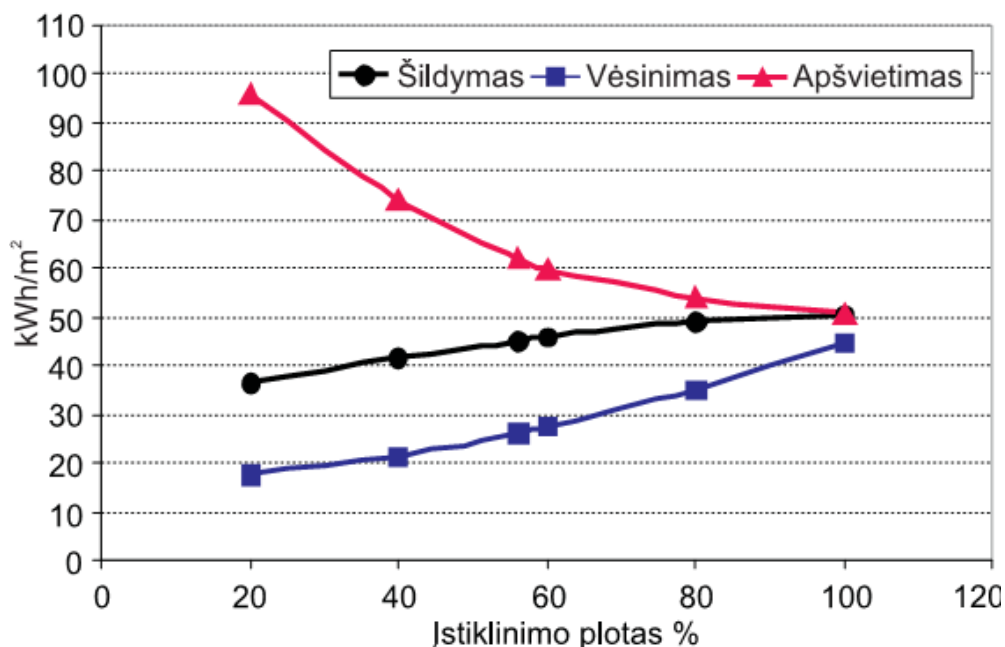
Šie parametrai priklauso nuo išorinės sienos šilumos perdavimo koeficiento. Tiriamajame objekte koeficientas buvo $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$. THERMO SKP stiklo paketas yra

efektyvesnis. Gyvenamajame name vėdinimas nėra tiek aktualus kiek šildymas ir apšvietimas, tačiau didėjant įstiklinamam plotui pranašumas prieš SUN SELECT mažėja. Šių stiklo paketų parametrai:

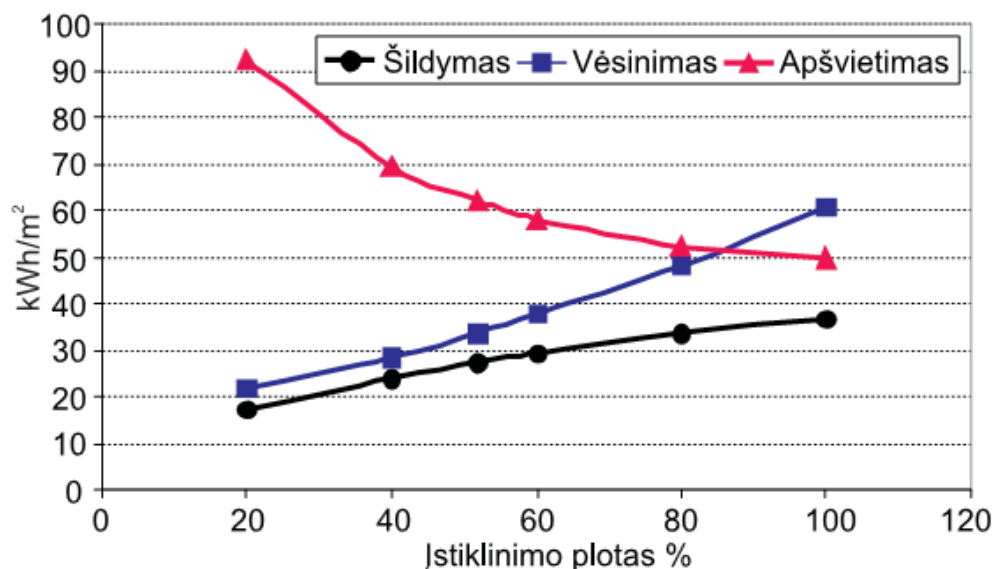
- THERMO SKP stiklo paketai (taupantys šilumą), kurių šilumos perdavimo koeficientas $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$, šviesos pralaidumas 79%, šviesos atspindėjimas 12% ir bendras saulės energijos laidumas 61%.
- SUN SELECT stiklo paketai (atspindintis stiklas), kurių šilumos perdavimo koeficientas $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$, šviesos pralaidumas 74%, šviesos atspindėjimas 13% ir bendras saulės energijos laidumas 43%. [9]

Optimizuojant pastato bendrus energijos poreikius šildymui, vėsinimui ir apšvietimui nustatyta, kad minimalūs energijos poreikiai THERMO SKP paketui yra kai įstiklinimas – 40–45%. Toks įstiklinimo plotas neatitinka higienos reikalavimų, todėl šiam stiklo paketui optimalus įstiklinimas yra lygus minimalius natūralaus apšvietimo reikalavimus atitinkančiam – 52%. Tuo tarpu SUN SELECT stiklo paketui minimalūs energijos poreikiai yra kai įstiklinimas 56–60 %. [9] Tačiau naudojant THERMO SKP, net prie 56–60% įstiklinimo lygio, energijos bus suvartojama mažiau negu SUN SELECT atveju.

2.8 ir 2.9 paveiksluose pavaizduota metinis pirminės energijos poreikis, naudojant skirtingus stiklo paketus.



2.8 pav. Metinis pirminės energijos poreikis šildymui, vėsinimui ir apšvietimui, kai naudojamas SUN SELECT tipo stiklo paketas [9]



2.9 pav. Metinis pirminės energijos poreikis šildymui, vėsinimui ir apšvietimui, kai naudojamas THERMO SKP tipo stiklo paketas [9]

THERMO SKP stiklo paketo saulės energijos pralaidumas didesnis, todėl naudojant jį energijos poreikiai vėsinimui yra atitinkamai didesni už SUN SELECT. THERMO SKP stiklo paketui energijos poreikiai vėsinimui, didėjant įstiklinimui kinta nuo 22–61 kWh/m², o SUN SELECT – nuo 18–37 kWh/m². Kadangi THERMO SKP stiklo paketas yra šilumą taupantis, naudojant jį energijos poreikis šildymui yra mažesnis nei SUN SELECT stiklo paketo. THERMO SKP paketui energijos poreikis šildymui, didėjant įstiklinimo plotui kinta atitinkamai nuo 18–37 kWh/m², o SUN SELECT – 37–51 kWh/m². Stiklo paketų šviesos pralaidumas mažai skiriasi, todėl pastato energijos poreikiai apšvietimui yra praktiškai vienodi.

Esant minimaliam natūraliam apšvietimui reikalavimus atitinkantiems (norminiams) pastato fasado įstiklinimo plotams, pastato suminis metinis pirminės energijos poreikis šildymui, vėsinimui ir apšvietimui, naudojant stiklo paketą SUN SELECT yra 133 kWh/m², o THERMO SKP – 123 kWh/m², t. y. SUN SELECT stiklo paketui pirminės energijos suvartojimas yra 8% didesnis. Instaliuota šildymo galia, esant norminiam įstiklinimo plotui THERMO SKP paketui yra 15% mažesnė nei SUN SELECT paketui, o vėsinimo galia – atitinkamai 7% mažesnė (apšvietimas nekinta pagal pradinius duomenis).

Analizė parodė, kad nagrinėjant pastatus Lietuvos sąlygomis, esant norminiam įstiklinimo plotui tiek investicijų, tiek energijos poreikių atžvilgiu naudingiausia rinktis šilumą taupantį THERMO SKP stiklo paketą, o SUN SELECT šilumą atspindintis stiklo paketas dėl mažesnių investicijų vėsinimui galėtų būti naudingas tik didelių (beveik 100 %) įstiklinimo plotų atvejais.

2.3. Šilumos skaičiavimai ir modeliavimas

Mėnesio vidutinė į patalpą iš išorės pritekėjusi šiluma dėl saulės spinduliuotės Q_{sg} (kWh) skaičiuojama pagal formulę [14]:

$$Q_{sg} = \Sigma(\Sigma q_s \cdot s \cdot A_{gl} \cdot a) \cdot t \cdot 24 \cdot 10^{-3}; \quad (2.1)$$

kur: q_s – vidutinis paros saulės spinduliuotės šilumos, patenkančios pro atitinkamos orientacijos langą, per nagrinėjamąjį mėnesį, srauto tankis W/m^2 ;

s – įstiklintų plotų saulės spinduliuotės praleisties veiksnys;

A_{gl} – įstiklintos lango dalies plotas m^2 ;

a – pataisa dėl lango užtemdymo;

t – parų skaičius per nagrinėjamą mėnesį;

Mėnesio vidutinė nuo vidinių šilumos šaltinių į patalpą išsiskyrusi šiluma Q_{vi} (kWh) apskaičiuojama:

$$Q_{vi} = \Sigma(A_p \cdot (q_{el} + q_{ea} + q_p) + \Phi_e) \cdot t \cdot 24 \cdot 10^{-3}; \quad (2.2)$$

kur: A_p – patalpos plotas, m^2 ;

q_{el} – elektrinio apšvietimo sistemos skleidžiamos šilumos srauto tankis patalpos grindų ploto vienetui, W/m^2 ;

q_{ea} – buities elektros prietaisų skleidžiamos šilumos srauto tankis patalpos grindų ploto vienetui, W/m^2 ;

q_p – žmonių skleidžiamos šilumos srauto tankis patalpos grindų ploto vienetui, W/m^2 ;

Φ_e – elektros variklių skleidžiamos šilumos srautas, W .

Vienas svarbiausių veikiančių šilumos balansą faktorių yra srautai per pastato atitvaras. Jie skaičiuojami taip: [15]

$$Q = \sum_k U_k A_k (T_i - T_o) \quad (2.3)$$

kur: A_k – atitvaros plotas, m^2 ;

U_k – šiluminis laidumas, W/m^2K ;

T_i – vidaus temperatūra, $^{\circ}C$;

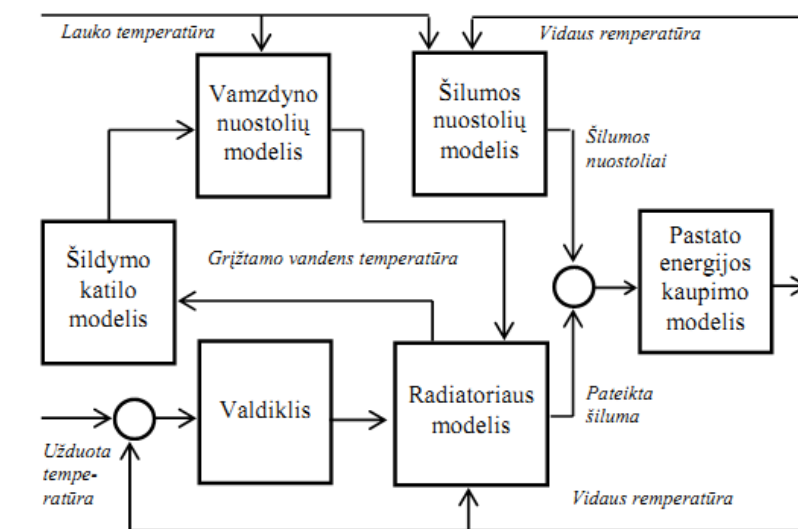
T_o – lauko temperatūra, $^{\circ}C$.

Optimizuojant šildymą valdymo algoritmas yra labai svarbus. Valdymui optimizuoti taikomas minimumo principas, kvadratinės paklaidos kriterijai arba neuroniniai tinklai. Naudojant minimumo principą optimizuojama kiekviename žingsnyje, ir dėl daugybės skaičiavimų, vykdomų kiekvienu laiko momentu, reikia galingų kompiuterių. Taikant kvadratinės paklaidos kriterijų valdymo struktūra paprastesnė, tačiau šis metodas netinka šildymo sistemoms su vandens radiatoriais. Valdymo sistemose neuroninių tinklų pagrindu

reikia daug jautiklių išoriniams poveikiams (lauko temperatūrai, drėgmei, vėjui, saulės radiacijai ir t. t.) matuoti, todėl tokios sistemos brangios. Kad būtų kompiuteris ir pati šildymo sistema nebūtų brangūs, reikia sukurti paprastus šildymo sistemos valdymo algoritmus [16].

Pastato modelį sudaro tokie komponentai:

- pastato energijos kaupimo modelis;
- pastato šilumos nuostolių modelis;
- radiatorių modelis;
- nuostolių vamzdyne modelis;
- šildymo katilo modelis;
- šildymo sistemos valdiklis.



2.10 pav. Supaprastinta šildymo sistemos modelio schema [16]

2.5. Adaptyviosios energiją taupančios sistemos realizavimo galimybės

Langai praleidžia daugiau šilumos negu kitos pastatų atitvaros. Pavyzdžiui, senosios statybos sienų vidutinis šilumos perdavimo koeficientas U yra apie $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, o langų – apie $2,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Taigi langai apie 2,5 karto laidesni šilumai negu sienos konstrukcijos. [17]. Langų ir išorinės atitvaros ploto santykis įtakoja ne tik šilumos energijos poreikį, t.y. šiluminius nuostolius, bet ir šviesos bei vėdinimo. Projektuojant labai svarbu į tai atsižvelgti.

Žinant, kad pro langus išeina daugiausia šilumos, galima juos uždengti tam, kad nuostoliai nebūtų tokie dideli. Langų uždarymas lauko žaliuzėmis sukurs dar 2 termoizoliacinius sluoksnius: oras ir žaliuzės. Tokiu būdu padidės bendra išorinės atitvaros varža. Tai sumažins vėdinimo nuostolius vasarą ir šildymo žiemą.

Sukūrus tokį modelį svarbiausias elementas yra valdymo algoritmas, kuris atsižvelgtų į šilumos energijos suvartojimą, palaikytų komfortabilią temperatūrą, ir elektros energijos suvartojimą šviesos šaltiniams, kuriant žmogų mažiau varginančią aplinką.

Įrenginys turėtų gauti tokius duomenis: išorės ir vidaus temperatūrą, šildymo sistemos vartojamos energijos kiekį, apšvietimui naudojamą elektros energijos kiekį, bei patalpos apšvietimo lygį. Turint tokius duomenis galima apskaičiuoti šilumos sistemos efektyvumą bei apšvietimo sistemos efektyvumą. Įvedus į sistemą energijos vieneto kainą galima būtų skaičiuoti, kokiomis sąlygomis pigiau uždengti langą ir turėti didesnę dirbtinės šviesos poreikį, bet mažesnius šilumos nuostolius ir atvirkščiai.

2.6. Valdymo ypatybės, naudojant neraiškiają logiką

„Fuzzy logic“ (verčiant iš anglų kalbos – neraiškioji logika) terminas buvo įvestas amerikiečių matematiko LA Zadeh, kuris pasiūlė apytikslių teoriją, kuria buvo galima remtis Fuzzy analogais visose matematinėse sąvokose ir sukurti reikiamą oficialią priemonę modeliuoti žmonių mąstymą ir žmogaus būdus spręsti problemas. Neraiškioji teorija (Fuzzy set) – tam tikras elementų rinkinys, dėl kurių negalima užtikrintai teigti, kad tam tikras elementas priklauso vienai ar kitai neraiškiajai logikai [18, 19].

Kalbant apie neraiškias sistemas, pirmiausia svarbu komentuoti terminus raiškioji ir neraiškioji aibė. Raiškioji arba klasikinė aibė yra lyg tam tikras indas, kuriame yra arba nėra tos aibės elemento. Sakome „klasikinė aibė“ dėl to, kad gana ilgą laiką buvo manoma, jog egzistuoja tik tokios aibės. O neraiškiosios aibės elementai gali tik iš dalies priklausyti nagrinėjamai aibei, t. y. elemento narystė aibei yra tik dalinė. Neraiškiųjų aibių teorijos pradininku laikomas L. A. Zadehas, kuris pirmasis 1965 m. aprašė tos teorijos pagrindus. 1974 m. E. Mamdani ir jo vadovaujama tyrinėtojų grupė pirmieji pritaikė neraiškiają logiką procesams valdyti, o 1979 m. ji buvo panaudota energetikos problemoms spręsti. Dabar neraiškiosios valdymo sistemos plačiai naudojamos įvairiems sudėtingiems procesams valdyti elektros ir elektronikos automatinėse sistemose, laivų navigacijoje, cemento gamyboje ir daugelyje kitų sričių, įvairiose buitinėse mašinose ir prietaisuose, pvz., skalbimo mašinose skalbimo programai parinkti atsižvelgiant į skalbinių audinio rūšį, svorį nešvarumų kiekį, televizoriuose vaizdo šviesumui, kontrastui, spalvų sodrumui automatiškai reguliuoti.

Neraiškioji raiškių procesų valdymo sistema atlieka šias pagrindines operacijas:

1. Raiškius įėjimų dydžius transformuoja į neraiškiasias aibes (fuzifikacijos operacija),

2. Pagal įėjimų dydžių neraiškiasias aibes, remiantis tam tikromis taisyklėmis, daro išvadas, kurių rezultatas yra neraiškioji aibė ir atitinkama jos priklausomumo funkcija (inferencijos operacija),
3. Pagal išėjimų priklausomumo funkcijas apskaičiuoja raiškiųjų išėjimo dydžių vertes (defuzifikacijos operacija).

Pati fuzifikacijos operacija abiejose neraiškiosiose sistemose atliekama tokiu būdu:

1. Raiškūs įėjimo dydžiai transformuojami į lingvistinius kintamuosius;
2. Panaudojant parinktas priklausomumo funkcijas, suformuojamos atitinkamos neraiškiosios aibės kiekvienam įėjimo kintamajam.

Priklausomumo funkcijos gali būti labai skirtingo pavidalo – trikampio, trapecijos, S raidės formos ir pan. Nuo priklausomumo funkcijų pavidalo tam tikru mastu priklauso visos neraiškiosios sistemos savybės. Neraiškiosios sistemos išvadų arba sprendimų sudarymas (inferencija) remiasi neraiškiaja logika, kuri yra panaši į raiškiają logiką.

Neraiškioji logika – turi būti vykdoma su „žmogaus žinia“, kurią yra priimtina vadinti ekspertine informacija. Fuzzy valdymo bruožas yra aukštos kokybės patirties taikymas sukuriant įvesties programą į valdymo objektą. Neraiškioji logika turi tam tikras taisyklių formas: IF (pradinė padėtis), TO (atsakas). Šios taisyklės atitinka paprasčiausius žmogiškus veiksmus. Tokiu atveju analizuojami parametrai laikomi kalbos kintamaisiais, kurie yra vertinami kokybiniu požiūriu. Neraiškiosios logikos teorijos pagrindinį vaidmenį atlieka kalbinė kintamoji kalbos vertė ir funkciniai priedai. Pavyzdžiui nustatant kalbines reikšmes (neraiškioji logika) „teigiamas“, „neigiamas“, „didelis“, „mažas“, kalbų kintamasis „klaida“ naudojamas kaip priedo funkcijos. Kalbų kintamųjų funkcijos linkusios persidengti, todėl tam pačiam lingvistiniam kintamajam šios funkcijos gali pranešti apie įvairias „tiesos laipsnių“ kalbines vertes, kurios skiriasi nuo nulio.

Šiuo metu vyksta intensyvi neraiškiųjų valdymo sistemų plėtra ir praktinis taikymas ir yra konstruojama daug naujos techninės įrangos. Neraiškiosios logikos privalumai, kurią aiškiai atspindi neraiškioji kontrolė, visų pirma yra dėl to, kad neraiškioji logika gali sėkmingai perteikti žmogaus mąstymą, būtent asmens sprendimo priėmimo metodus ir gali modeliuoti sudėtingus objektus, naudojant esamas kalbas.

Natūralios kalbos susidaro per šimtmečius, ne tik kaip žmonių bendravimo priemonė, bet ir kaip struktūra, kuri atspindi objektyvų pasaulį. Žinių pasaulyje, remiantis mąstymu, savo ruožtu yra neįmanoma egzistuoti be tam tikrų ženklų sistemų. Galingiausia tokio pobūdžio sistema yra natūralioji kalba, kuri yra galutinis, galingiausias veiksnys ir formuoja žmogaus sumanymų įgyvendinimus. Ji gali veikti per sudėtingas, prieštaringas ir dviprasmiškas

koncepcijas. Loginė struktūra, ypač senovės graikų geometrija buvo išskirta iš natūralios kalbos, ir daugiausiai paveikė tolimesnį matematikos ir gamtos mokslų raidą.

Sprendžiant problemas žmogus gali lengvai ir meistriškai išspręsti situaciją, suskirstyti ją į dalis, rasti sprendimus sudėtingose situacijose, taikant atskirų įvykių atitinkamas sprendimų priėmimo taisykles, remiantis ankstesne patirtimi, meistriškai surasti naujas objektų savybes ir prieiti prie bendro sprendimo. Sprendimas priimamas ne tik dėl standartizuotų įvesties kriterijų, bet ir naudojant daug kitų įvesties kriterie neretai yra priešaringi. Žmogus kasdieninėje kalboje niekada nenaudoja standartinio modeliavimo, remiantis matematinėmis išraiškomis, jis neieško vienos kalbos, kuri apibūdina viską. Kalba, kuria naudojasi žmonės – tai neraiški (nekonkreči) natūralioji kalba. Gautas modelis yra nevienodas: jame aprašomos objekto savybės ir fragmentai ar kelių vietinių modelių rinkinys priskiriamas tam tikroms sąlygoms. Vietoj to, kad sukurtų skaitinių reikšmių grandinę žmogus naudoja neraiškiasias ribas „mažas“, „vidutinis“, „aukštas“ ir t.t. Dėka neraiškosios logikos vartojamų žodžių galima lengvai įsivaizduoti valdymo atvejus su neišsamiais duomenimis [20].

Taikant neraiškosios logikos teoriją galima pagerinti „intelektą“, kompetenciją arčiau žmogaus intelekto. „Žmogiškasis“ neraiškusis reguliatorius yra viena iš pagrindinių šiuolaikinių valdymo inžinerijos teorinių problemų [21, 22, 23].

Galima išskirti tris neraiškosios logikos savybes.

Pirmoji yra tokia, kad neraiškosios logikos taisyklė yra sąlyginai pateikiama, pavyzdžiui, „jeigu – tai“. Tai leidžia nesunkiai apibrėžti neraiškiai apibrėžti reikiamas valdymo ribas ir norimus valdymo algoritmus.

Antrasis bruožas - lygiagretus valdymas. Patys neraiškieji kontrolės metodai labai skiriasi. Tradiciniai kontrolės metodai – tai klasikiniai arba modernūs metodai, kurie apibendrina kontrolės taisykles, yra pateikti formulėje, o neraiškiojoje kontrolėje yra naudojama daug atskirų taisyklių. Kiekviena taisyklė galioja tam tikroje informacinėje erdvėje kontroliuoti valdymui. Kiekvienoje lokalinėje paskirstytos informacinės aplinkos srityje tikslinga sukurti atskiras valdymo taisykles. Be to, jei yra kontroliuojama daug kintamųjų, galima kiekvienam iš jų sukurti atskiras kontrolės taisykles. Analogiškai, jei yra daug valdymo tikslų, kiekvienam tikslui pageidautina sukurti valdymo taisykles. Klasikinė valdymo teorija smarkiai apriboja galimus tikslų variantus dėl būtinybės sukurti apibendrintą funkcijos tikslą. Todėl neraiškiojo valdymo reikia dėl objektyvių funkcijų ir sprendžiant optimalaus valdymo problemas, todėl taip galima sėkmingai susidoroti su tikslų įvairove ir net su tarpusavyje prieštaraujančiais tikslais.

Trečiasis neraiškosios logikos ypatumas tai, kad būtų galima su operatoriumi organizuoti dialoginį valdymą, nes valdymo taisyklėse parašyti žodžiai „jeigu – tai“ yra tam tikra bendravimo išraiškos forma.

Yra požiūris, pagal kurį, remiantis valdymo teorijos principais, neraiškioji sistema ir neraiškioji logika nėra laikomi dirbtinio intelekto teorinių principų realizacija. Yra tam tikra analogija tarp jų - tai dirbtinio intelekto taisyklės ir neraiškioji logika. Tačiau dirbtinis intelektas, yra labiau savarankiško mokymosi ir charakterio formavimo procesas, o ne neraiškiosios logikos procesas. Dirbtinio intelekto neuroninis tinklas yra duomenų rinkimas ir išvadų gavimas apie specialias sistemų ir struktūrų formas ir savybes. Kiekvienam įvesties kintamajam yra priskiriamas santykinis, atskiras svertinis koeficientas. Svertiniai duomenys tiksliai tam tikru būdu suformuoja sprendimų priėmimo tinklą. Priešingai tam neraiškiosios logikos funkcija nuolatos apibrėžiama remiantis nustatytomis vertėmis. Daugeliu atveju kontrole besiremianti logika gali pateikti sprendimą greičiau nei ekspertų sistema grindžiama „jeigu – tai“ taisykle [24].

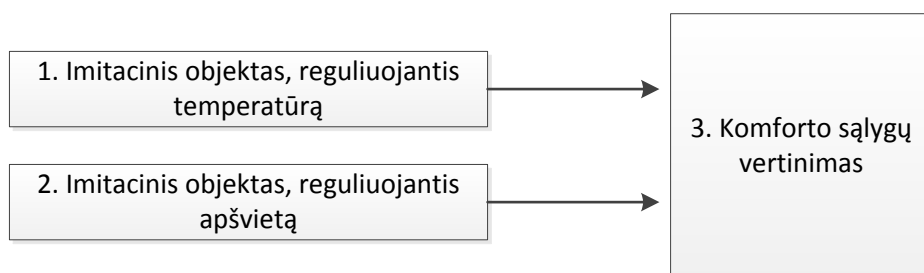
Tuo tarpu vis daugiau ir daugiau atsiranda ketinimų vystyti vadinamuosius mišrių arba hibridinių pažangių kontrolės sistemų tinklus. Vienos iš tokių sistemų vadinamos neuro-neraiškioji sistema, kuri apima dirbtinių neuroninių tinklų mokymą ir neraiškioją logiką. Šių sistemų būdingi bruožai yra: kiekybinių duomenų galimybių ir neraiškiosios logikos procedūrų derinimas, mokymosi galimybės, gebėjimas suprasti neraiškioją logiką, papildomas optimizavimo aprašymas, kurio duomenimis remiantis yra naudojamos taisyklės [34,35].

3. EKSPERIMENTINĖ DALIS

3.1. Objekto aprašymas ir bendrosios objekto charakteristikos

Pasirinktas tyrimui objektas – gyvenamojo namo kambarys. 3.1 paveiksle pavaizduota bendra sistemos struktūrinė schema. Ši valdymo sistema susideda iš trijų dalių:

1. Kambario imitacinis objektas, kuris reguliuoja temperatūrą;
2. Kambario imitacinis objektas, kuris reguliuoja apšvietimą;
3. Komforto sąlygas įvertinantis sistemos elementas.



3.1 pav. Kambario mikroklimato valdymo ir vertinimo sistemos struktūrinė schema

Nagrinėjant apšvietos reguliavimą, duomenys buvo gauti naudojant programinę įrangą „Dialux“. Nagrinėjo objekto koordinatės: E25.25° N54.40° (Vilnius). Modeliavimo data 2010–01–15. Sausio mėnuo buvo pasirinktas dėl žemos lauko temperatūros ir mažo apšvietimo, būdingo šiose koordinatėse šiuo metų laikotarpiu. Patalpa yra įprastame senos statybos name su senais langais. Patalpos dydis 5,64 m × 2,65 m × 2,80 m. Lango dydis 2,19 m × 1,54 m. Tokio dydžio kambariai atitinka bendrabučio dviviečio kambario matmenis. Vidaus apšvietos duomenys buvo gauti keičiant lango orientaciją į pietus, šiaurę, rytus ir vakarus.

Sistemai modeliuoti buvo pasirinkta programinio paketo „Matlab“ programa „Simulink“. Matematinio apskaičiavimo metodas programoje „Simulink“ buvo pasirinktas ODE3 (Bogacki – Shampine), žingsnis 0,1 s. Tokie parametrai pasirinkti dėl ribotų kompiuterinės įrangos parametrų. Modeliavimo laikas atitinka sausio 15 dienos ilgumą – 7 valandos 47 minutės (467 min.).

Visos programos buvo pasirinktos dėl iš anksto turimos programinės įrangos naudojimo praktikos. Jos visiškai atitiko visus objektui projektuoti ir modeliuoti keliamus reikalavimus.

Sistema skirta žmogui valdyti svarbiausius klimato parametrus: apšvietimą, temperatūrą bei įvertinti žmogaus savijautą. Šie du parametrai yra svarbiausi nagrinėjant

žmogaus komforto supratimą. Įvertinti žmogaus savijautą šiomis komforto sąlygomis buvo pasirinktas neraiškusis objektas pagal tam tikras taisykles.

3.2. Imitacinis objektas, reguliuojantis temperatūrą

Buvo sukurtas objekto modelis, kuris reguliuoja šilumnešio tiekimą į radiatorius. Nagrinėjamos sistemos šilumnešis yra vanduo. Patalpos šilumos reguliavimo objektas yra aprašomas šia diferencialine lygtimi [15, 16]:

$$\frac{dT_v}{dt} = -\frac{k_n}{C} T_v - \frac{C_p(T_p - T_g)}{C} m + \frac{k_n}{C} T_i; \quad (3.1)$$

kur: T_v – vidaus temperatūra, °C;

T_i – išorinė temperatūra, °C;

C – patalpos šiluminė talpa, J/°C;

C_p – vandens šiluminė talpa, J/(kg °C);

k_n – šiluminių nuostolių koeficientas, W/°C;

m – vandens masės pokytis paduodamas į radiatorių, kg/s;

T_p – paduodamo į radiatorių vandens temperatūra, °C;

T_g – grįžtančio vandens temperatūra, °C.

Šie kintamieji buvo parinkti ir apskaičiuoti taip: vidaus temperatūra yra objekto išeinamoji dydis. Išorinę temperatūrą nusako lauko sąlygos todėl modeliavimui bus pasirinktos skirtingos reikšmės. Pasirinktas šilumnešis – vanduo. Šilumnešio šiluminė talpa (C_p) yra 4187 J/(kg °C). Patalpos šiluminė talpa (C) apskaičiuojama naudojant 3.2 formulę [25].

$$C = \sum cm, \text{ (J/kg °C) }; \quad (3.2)$$

kur: C – šiluminė talpa, J/(kg °C);

m – masė, kg.

$$m = \rho V, \text{ (kg) }; \quad (3.3)$$

kur: ρ – tankis, (kg/m³);

V – tūris, m³.

Į 3.2 formulę įstatoma 3.3 ir gaunama:

$$C = \sum c\rho V = c_{oro} \cdot \rho_{oro} \cdot V_{patalp} + c_{sien1} \cdot \rho_{sien1} \cdot V_{sien1} + c_{sien2} \cdot \rho_{sien2} \cdot V_{sien2} + c_{lang} \cdot \rho_{lang} \cdot V_{lang}, \text{ (kg } ^\circ\text{C)};$$

(3.4)

kur: c_{oro} – oro šiluminė talpa, J/(kg $^\circ\text{C}$);

c_{sien1} – išorinės sienos šiluminė talpa, J/(kg $^\circ\text{C}$);

c_{sien2} – vidinių sienų šiluminė talpa, J/(kg $^\circ\text{C}$);

c_{lang} – lango šiluminė talpa, J/(kg $^\circ\text{C}$).

$$C = \sum c\rho V = c_{oro} \cdot \rho_{oro} \cdot V_{patalp} + c_{sien1} \cdot \rho_{sien1} \cdot V_{sien1} + c_{sien2} \cdot \rho_{sien2} \cdot V_{sien2} + c_{lang} \cdot \rho_{lang} \cdot V_{lang} =$$

$$= 1000 \cdot 1,23 \cdot (5,64 \cdot 2,65 \cdot 2,80) + 840 \cdot 2400 \cdot ((2,8 \cdot 2,65) - (2,19 \cdot 1,54) \cdot 0,35) + 840 \cdot 2400 \cdot (5,64 \cdot 2,80 \cdot 0,15 \cdot 2 + (2,65 \cdot 2,80 \cdot 0,15)) + 2500 \cdot 840 \cdot (2,19 \cdot 1,54 \cdot 0,02) = 51474 + 2855845 + 11794810 + 141649 = 14843778 \text{ J / } ^\circ\text{C};$$

Tiriamasis objektas yra patalpa 5,64 m $\times$ 2,65 m $\times$ 2,80 m su langu, kurio matmenys 2,19 m $\times$ 1,54 m. Sienos betoninės. Išorinės sienos storis 0,35 m, vidinių sienų – 0,15 m. 3.1 lentelėje nurodyti reikiamų medžiagų tankiai ir šiluminės talpos [25].

3.1 lentelė. Įvairių medžiagų tankiai ir šiluminės talpos

Medžiaga	Tankis, (kg/m ³)	Šiluminė talpa (J/(kg $^\circ\text{C}$))
Oras	1,23	1000
Vanduo	1000	4187
Betonas	2400	840
Stiklas	2500	840

Šiluminių nuostolių koeficientas (K_n) apskaičiuojamas pagal formulę 3.5.

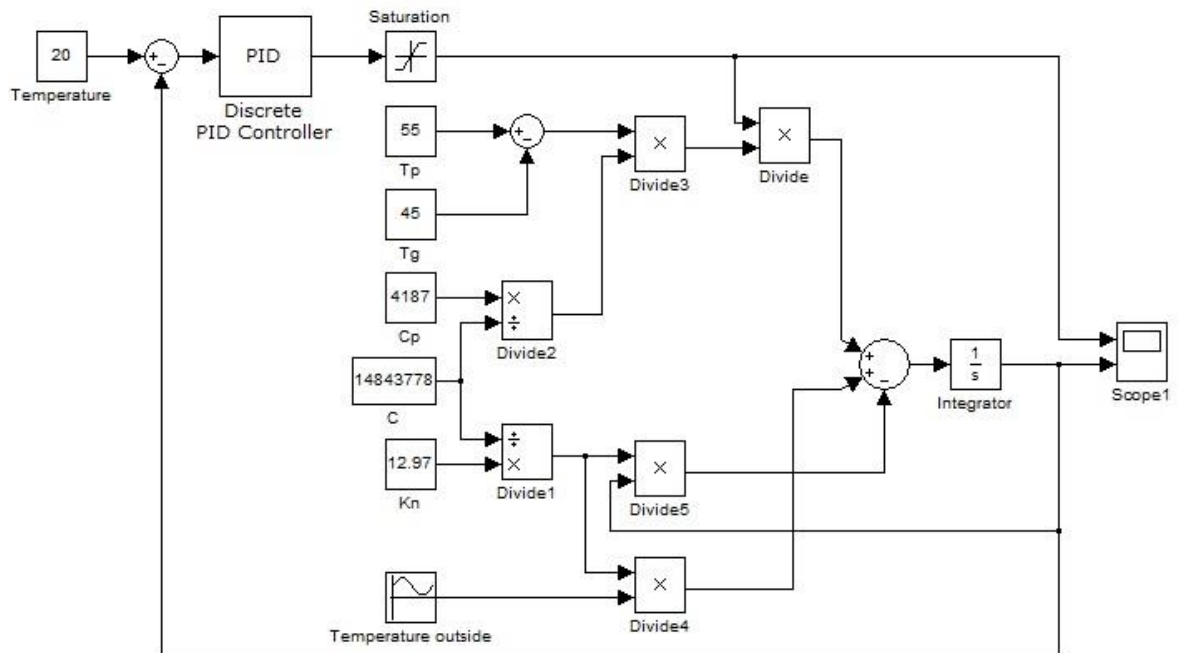
$$K_n = A \cdot U, \text{ (W/} ^\circ\text{C)}; \quad (3.5)$$

kur: A – išorinės sienos plotas, m²;

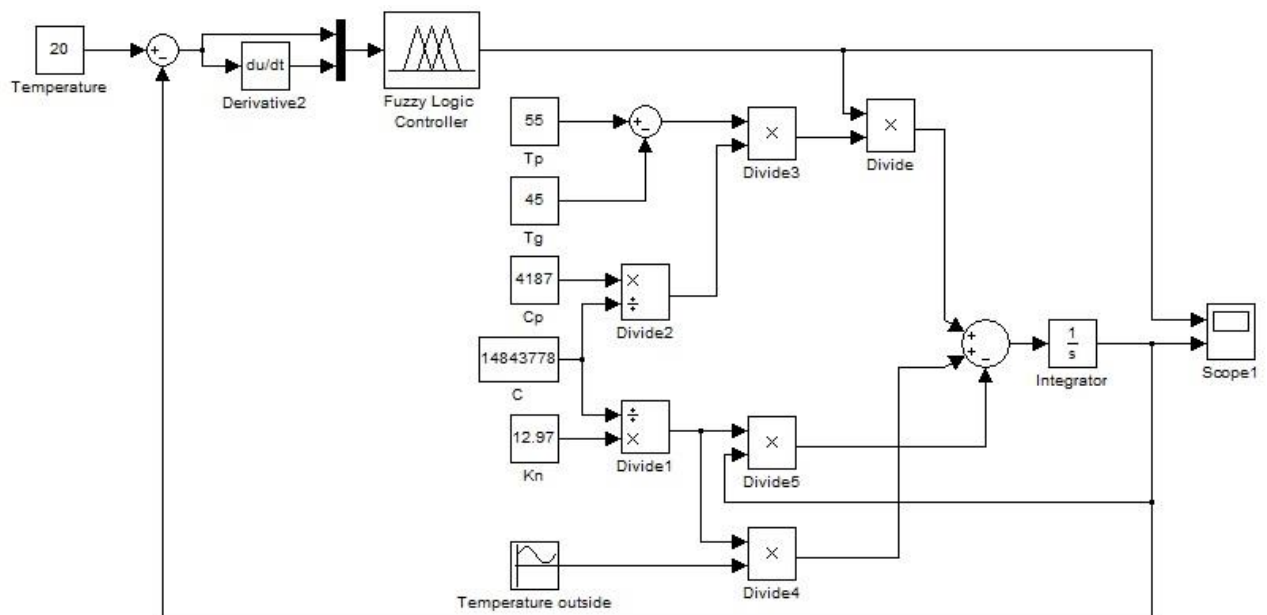
U – šilumos perdavimo koeficientas, W/(m² $^\circ\text{C}$).

$$K_n = (2,65 \cdot 2,80 - 2,19 \cdot 1,54) \cdot 1,62 + (2,19 \cdot 1,54) \cdot 1,9 = 6,56 + 6,41 = 12,97, \text{ W/} ^\circ\text{C}.$$

Sudarytam objektui buvo išnagrinėti 4 reguliatorių tipai: PI, PD, PID ir „Fuzzy“. 3.2 ir 3.3 paveikslėliuose pavaizduotas objekto modelis, reguliuojantis patalpos temperatūrą, panaudojant šiuos reguliatorius.



3.2 pav. Šiluminio objekto schema naudojant, PI, PD ir PID reguliatorių



3.3 pav. Šiluminio objekto schema, naudojant „Fuzzy“ reguliatorių

Norint reguliuoti temperatūrą, reikia sistemai užduoti pastovų dydį. Šiuo atveju tai yra minimali žmogui komfortiška temperatūra. Reikšmė įrašoma į bloką „Temperature“. Toliau sistemoje ši reikšmė lyginama su temperatūra, esančia kambaryje tuo laiko momentu. Skirtumas perduodamas į reguliatorių, kuriame aprašomi tam tikri valdymo algoritmai. Skirtumas tarp PD,

PI, PID ir „Fuzzy“ reguliatorių yra toks, jog naudojant PD, PI, PID reguliatorių papildomai naudojamas nelineinis elementas „Saturation“. Jame užbrėžiamos sistemos ribos, taip apribojant vandens tiekimo į radiatorius reikšmę, kitaip tariant sistemos vamzdžių ir siurblio maksimalios galimybės. Naudojant „Fuzzy“ reguliatorių ribos nusakomos taisyklėse, kurios aprašo reguliatoriaus darbo algoritmus.

Šilumnešio šiluminės talpos reikšmė (C_p) yra dalinama iš patalpos šiluminės talpos (C). Ši reikšmė dauginama iš įeinančio į radiatorių (T_p) ir išeinančio iš radiatoriaus (T_g) vandens temperatūrų skirtumo. Toliau rezultatas dauginamas iš vandens masės, kuri ateina į radiatorių – ši reikšmė 3.1 formulėje įvardijama kaip m . Šia reikšmę kontroliuoja reguliatorius Šiluminių nuostolių koeficientas (K_n) padalinamas iš patalpos šiluminės talpos ir padauginamas iš išorinės aplinkos temperatūros („Temperature outside“), taip pat dauginama iš temperatūros reikšmės, esančios tuo momentu kambaryje, taip sukuriant grįžtamą ryšį. Visos išvardintos reikšmės sumuojasi ir reikšmė perduodama į bloką „Integrator“.

Norima kambario temperatūra („Temperature“) buvo pasirinkta naudojantis higienos normos reikalavimais. Komfortiška temperatūra šiltuoju metų laikotarpiu 23–25°C, šaltuoju 20–24°C. Ekonominiu požiūriu sausio mėnesį naudingiausia užtikrinti 20°C [10].

Įeinančio į radiatorių ir išeinančio iš radiatoriaus vandens temperatūra buvo parinkta remiantis literatūros šaltinių rekomendacijomis. Nurodoma, jog sumažinta įtekančio į radiatorių vandens temperatūra yra efektyvus būdas taupyti šilumos energiją. Įtekančio į radiatorių ir ištekančio iš jo vandens temperatūra rekomenduojama 55°C ir 45°C. Tokių parametrų užtikrinimas leidžia maksimaliai išnaudoti šilumos šaltinį ir atitinka radiatoriaus charakteristikas [26].

Lauko temperatūra keičiasi nuo -10,7°C iki -6,21°C [27]. Kitimo pobūdis buvo pasirinktas sinusoidinis. Bloko parametrai „Temperature outside“: Amplitude -4.49, Bias -10.7, Frequency 0.0001125, Phase 3.14.

Bloko „Integrator“ parametras „Initial condition“ yra 10. Ši reikšmė parodo, kad pradinė kambario temperatūra modeliuojamajame objekte – 10 °C. Pagal egzistuojančius standartus, jeigu tris iš eilės dienas lauko temperatūra yra žemesnė negu 10°C, įjungiamas šildymas. Įskaitant patalpos šiluminę talpą ir šiuos standartus, vidaus temperatūra nenukris žemiau 10°C, todėl ši reikšmė ir pasirinkta kaip minimali pradinė temperatūra [10].

Bloko „Saturation“ ribų maksimali reikšmė parinkta 0,5. Ši reikšmė apibūdina, jog didesnė masė vandens negu 0,5 kg/s į radiatorius dėl techninių sąlygų patekti negali. „Fuzzy“ reguliatoriuje šios ribos apibūdinamos kintamųjų ribomis.

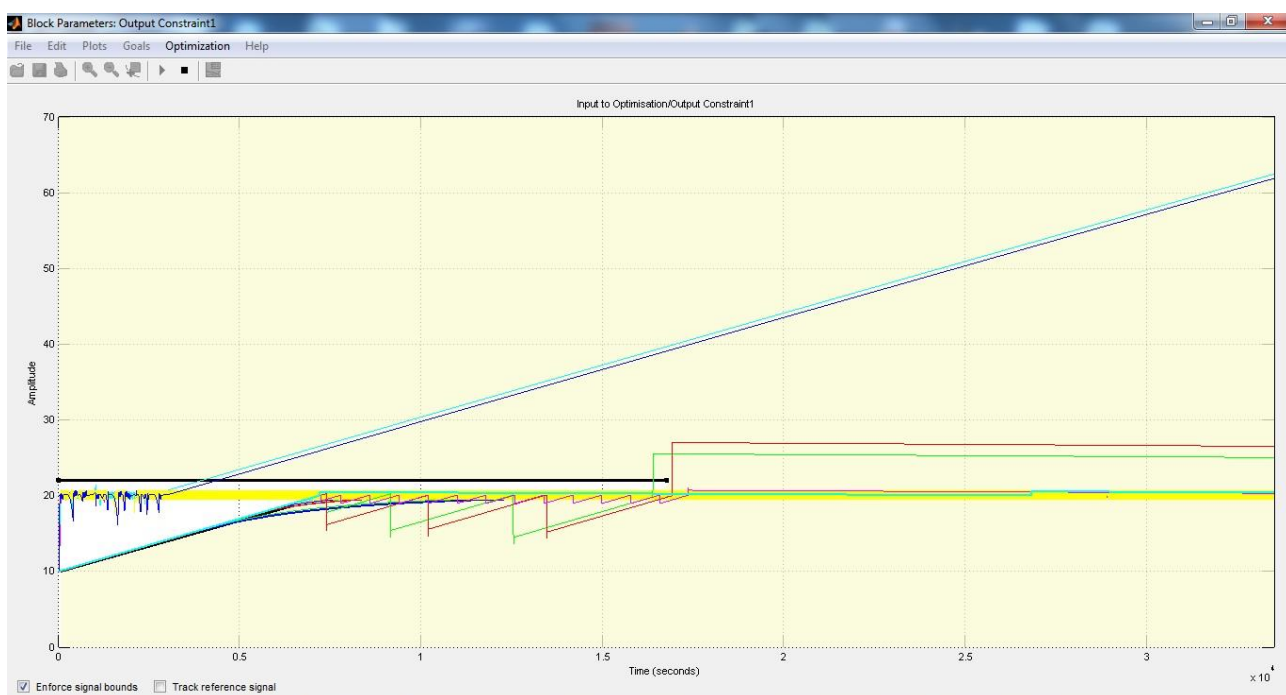
Šiam objektui reguliuoti buvo išbandyti reguliatoriai PI, PD, PID ir „Fuzzy“. Išeinamojo parametro – temperatūros reguliavimui PI, PD ir PID reguliatorių koeficientams

parinkti ir optimizuoti buvo panaudotas „Simulink“ programos bibliotekos blokas „Output constant“. Optimizavimo kriterijai, tokie kaip temperatūros kitimo greitis, perreguliavimo nebūvimas, mažas svyravimų skaičius buvo pasirinkti, reguliuojant šilumnešio tiekimą. Perreguliavimo nebuvimas arba leistinas mažas perreguliavimas leidžia sutaupyti energiją [28].

Optimizavimo bloko „Output constant“ charakteristikų skaičiavimo parodymai pavaizduoti 3.4 paveiksle.

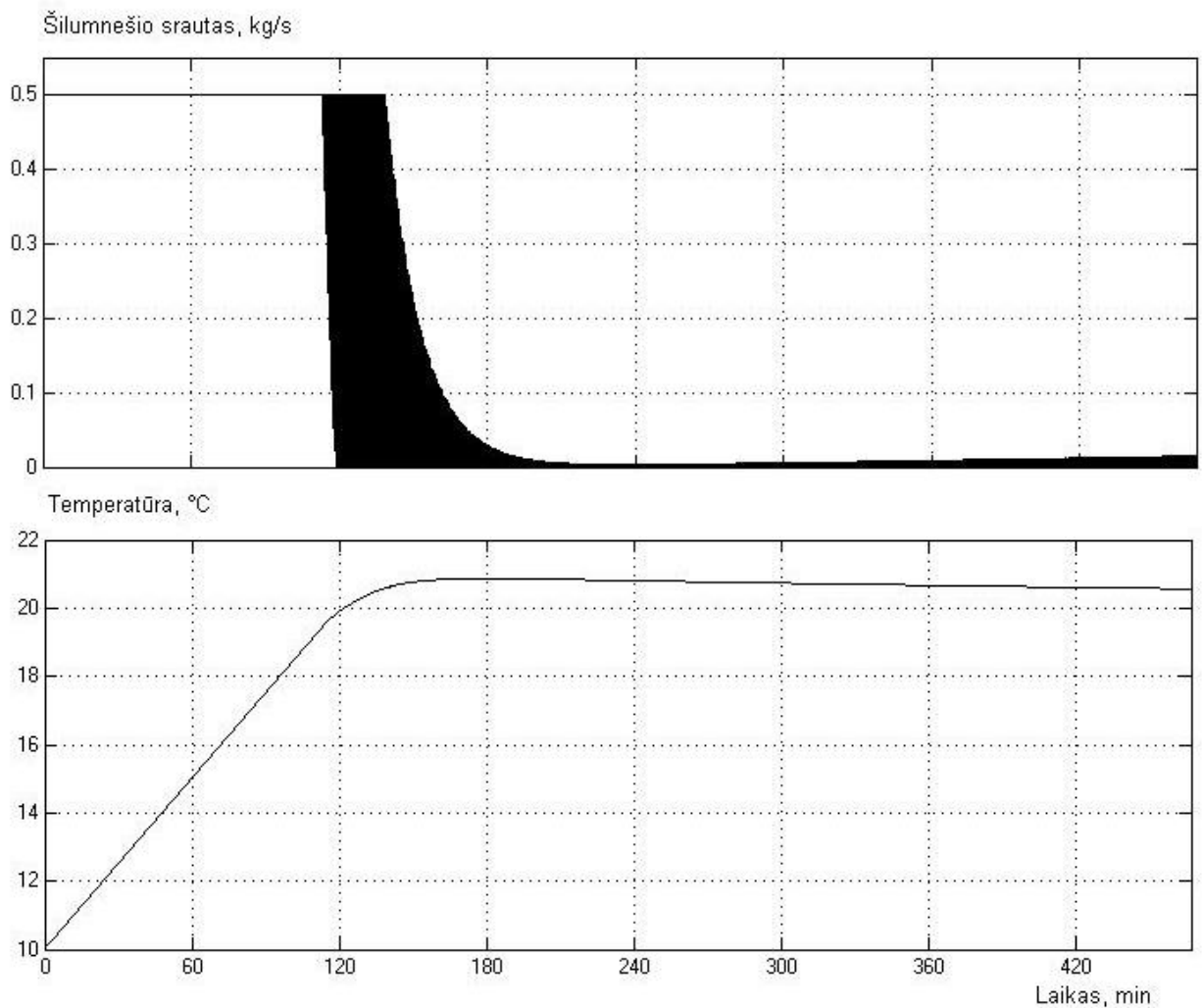
Šių reguliatorių optimalūs parametrai yra šie:

- PID reguliatoriui $K_p = 3.4882$; $K_d = 3.3839e+003$; $K_i = 8.9375e-005$;
- PI reguliatoriui $K_p = 1,1846$; $K_i = 0,0206$;
- PD reguliatoriui $K_p = 0,0791$; $K_d = 0,6858$.



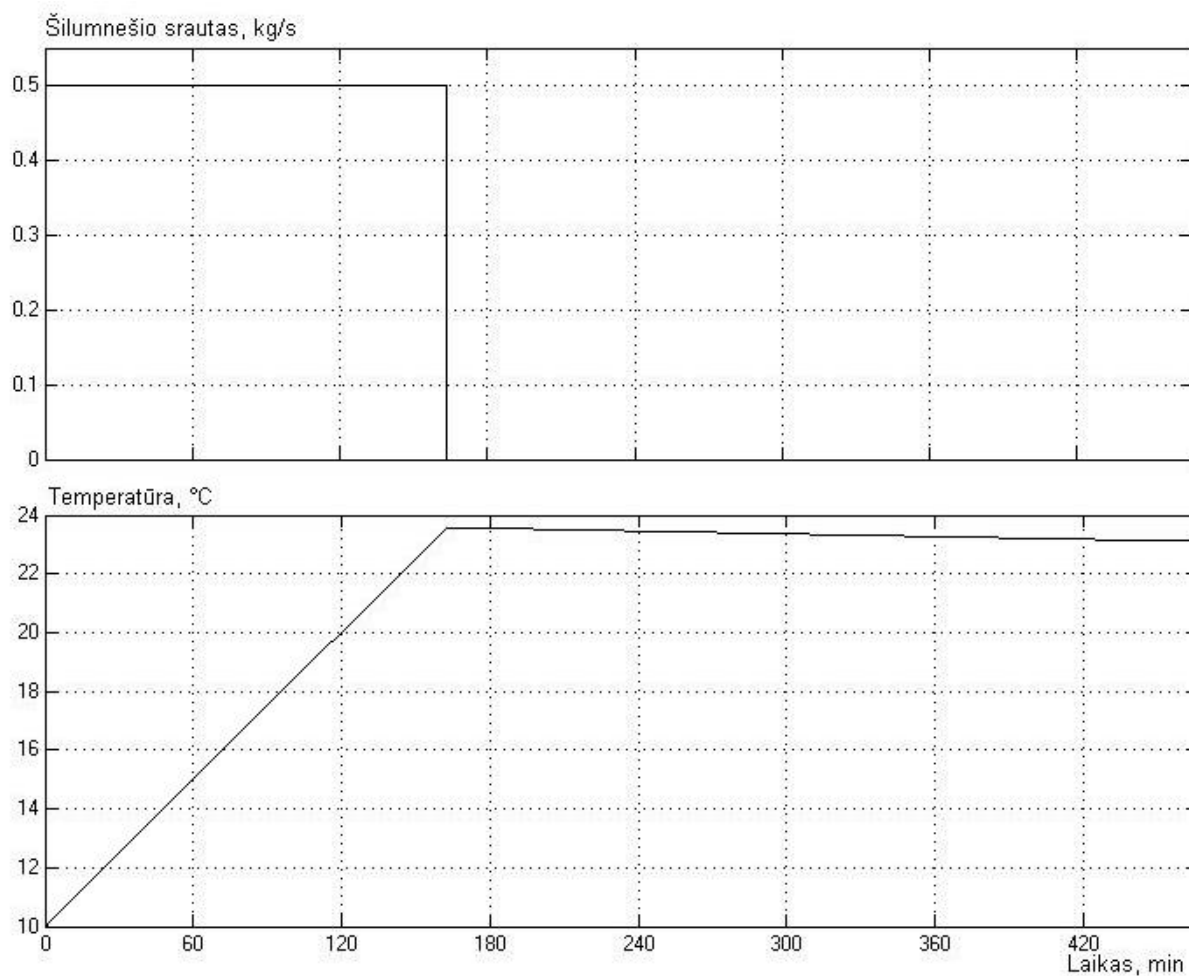
3.4 pav. Temperatūros kitimo charakteristikos optimizavimas

Šių trijų reguliatorių su parinktais optimizuotais parametrais modeliavimo rezultatai, reguliuojant šiluminį objektą pateikti 3.5, 3.6, 3.7 paveiksluose. Viršutiniuose paveikslų grafikuose pavaizduota šilumnešio tiekimo į radiatorius kaita, apatiniuose grafikuose temperatūros kitimas.



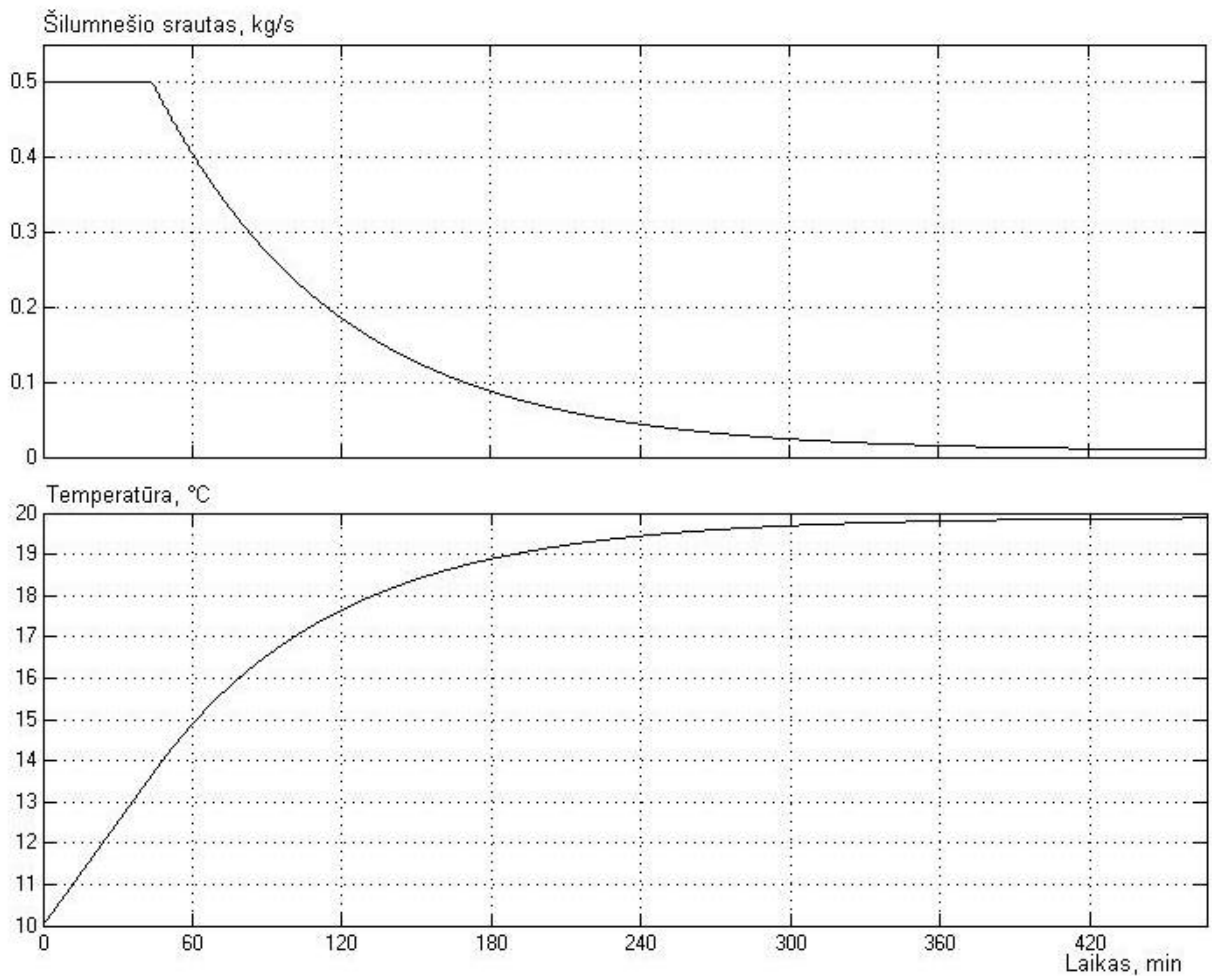
3.5 pav. Modeliavimo rezultatai, naudojant PID reguliatorių

3.5 paveiksle matyti, kad PID reguliatorius pirmas 113 minučių duoda maksimalų paduodamo į radiatorių vandens srautą, po to iki 233 minutės, išsijunginėjant ir įsijunginėjant, mažina srautą iki 0,01 kg/s. Vėliau apytiksliai tokia reikšmė palaikoma tol, kol temperatūra nusistovi, tačiau srautas paduodamas su dideliais masės svyravimais. Tokiu būdu, reguliuojant pasirinkta 20°C temperatūra pasiekiamą daugiau nei per 1 dieną, taip pat tokiu būdu, reguliuojant (su dideliu svyravimų skaičium) sistemos elementai greitai ges.



3.6 pav. Modeliavimo rezultatai, naudojant PI reguliatorių

3.6 paveiksle matyti, jog PI reguliatorius 167 minutes duoda maksimalų srautą, paduodamą į radiatorius ir po to sumažina iki 0. Tokiu būdu, reguliuojant sistemą, atsiranda perreguliavimas ir norima temperatūra pasiekama daugiau nei per 1 dieną.



3.7 pav. Modeliavimo rezultatai, naudojant PD reguliatorių

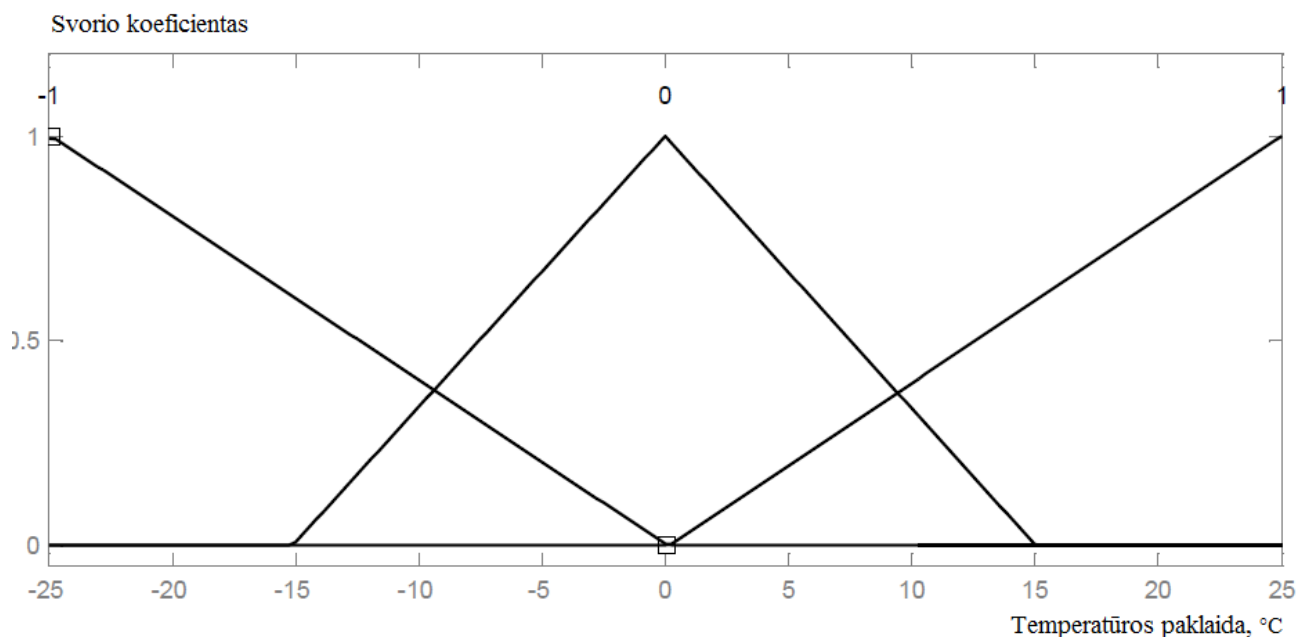
3.7 paveiksle matyti, kad PD reguliatorius pirmas 45 minutes duoda maksimalų paduodamo į radiatorių vandens srautą ir tik po to lėtai sumažina, ir praėjus 7 valandoms nuo įjungimo srautas siekia iki 0,01kg/s. Tokiu būdu, reguliuojant, pasirinkta 20°C temperatūra pasiekama per 7 valandas nuo tada, kai įjungiamas reguliatorius.

PD reguliatoriui, parodžius geriausias valdymo charakteristikas, buvo nuspręsta sukurti PD pagrindu „Fuzzy“ reguliatorių. Viso objekto, reguliuojančio temperatūrą, schema pavaizduota 3.3 paveiksle.

Objektui „Fuzzy logic controler“ buvo sukurtos aibės aprašyti įėjimo ir išėjimo kintamuosius, parinktas jų kitimo pobūdis ir sukurtos taisyklės aprašančios valdymo algoritmą. Pirmiausia buvo prisirinktos 5 aibės įėjimo ir išėjimo kintamiesiems aprašyti. Didinant aibių skaičių galima gauti geresnes valdymo charakteristikas, tačiau didėjant aibių skaičiui sudėtingėja optimalių parametrų gavimas. Neraiškiajai logikai optimizuoti parametrus pakankamai sudėtinga, todėl buvo nuspręsta optimalų aibių išsidėstymą, jų kitimo pobūdį rasti eksperimentiniu būdu [28, 29, 30]. Keičiant įėjimo ir išėjimo aibių pobūdį, jų išsidėstymą, algoritmą aprašančias taisykles, buvo nuspręsta pasirinkti tokius parametrus. Įėjimo ir išėjimo

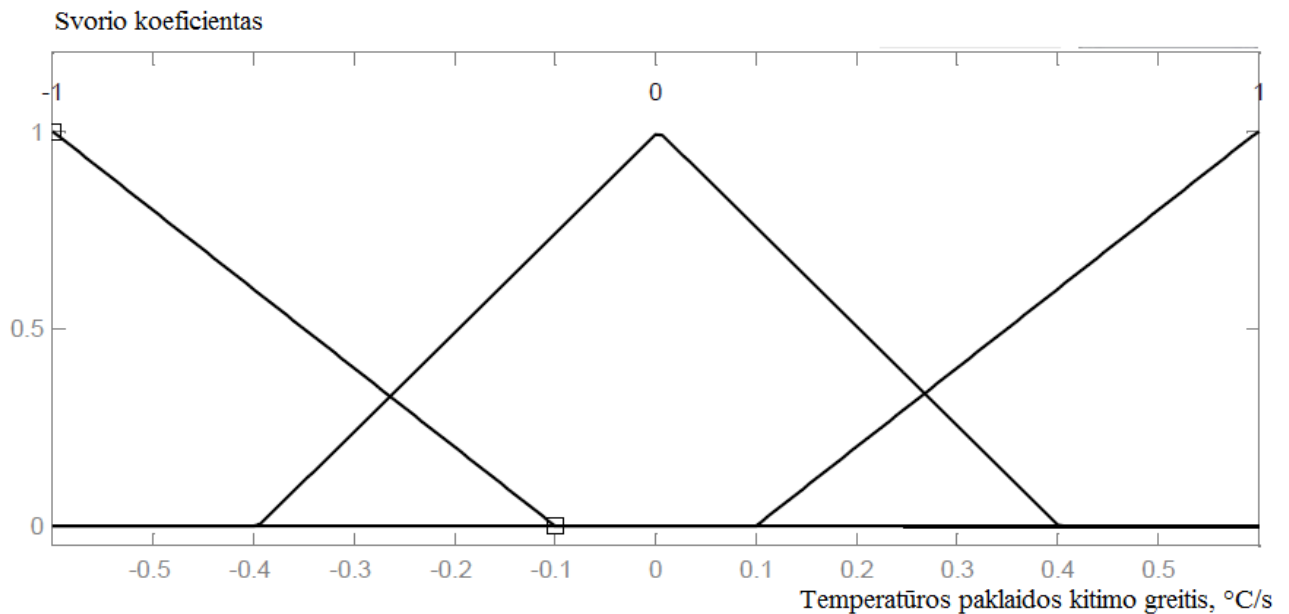
kintamieji apžvelgti 3.8 – 3.10 paveiksluose. Taisyklės aprašančios algoritmą aprašytos 3.2 lentelėje, o taisyklių grafinis plokštumos atvaizdavimas 3.11 paveiksle.

Įeinantys kintamieji yra du: temperatūros paklaida ir temperatūros kitimo greitis. Įeinančiajam kintamajam „paklaida“ buvo sukurtos 3 aibės. Neigiama: -1, nulinė 0 ir teigiama 1. Kintamojo ribos parinktos nuo -24 iki 24. Maksimali komfortiška temperatūra 24°C. Nustatant tokią temperatūrą ir esant teoriniai galimybei, patalpos temperatūrai nukristi iki -1°C maksimali paklaida gali būti 25°C. Kintamojo aibių formatai pasirinktai kaip trikampiai (trimf).



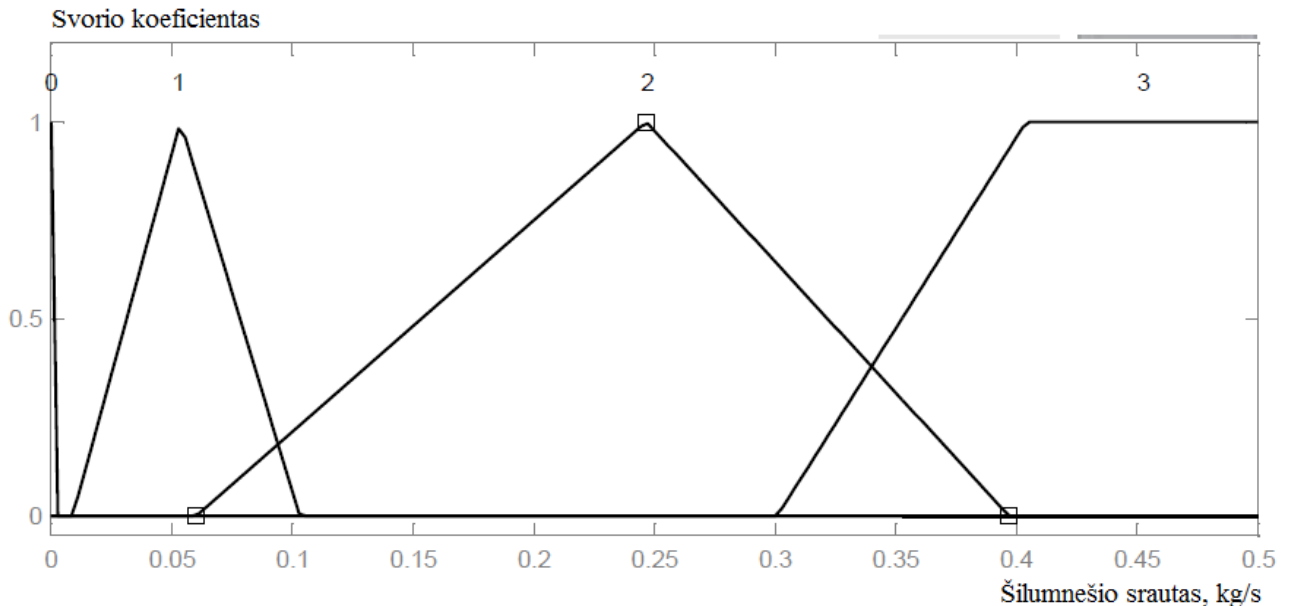
3.8 pav. Temperatūros paklaidos aibės

Temperatūros paklaidos greičio pokyčio kintamajam aprašyti buvo sukurtos trys aibės. Neigiama -1, nulinė 0 ir teigiama 1. Šio kintamojo ribos buvo gautos, modeliuojant procesą. Nustatyta, jog paklaidos kitimas negali būti didesnis nei 0,6°C/s. Kintamojo aibių formatai pasirinktai kaip trikampiai (trimf).



3.9 pav. Temperatūros paklaidos greičio kitimo aibės

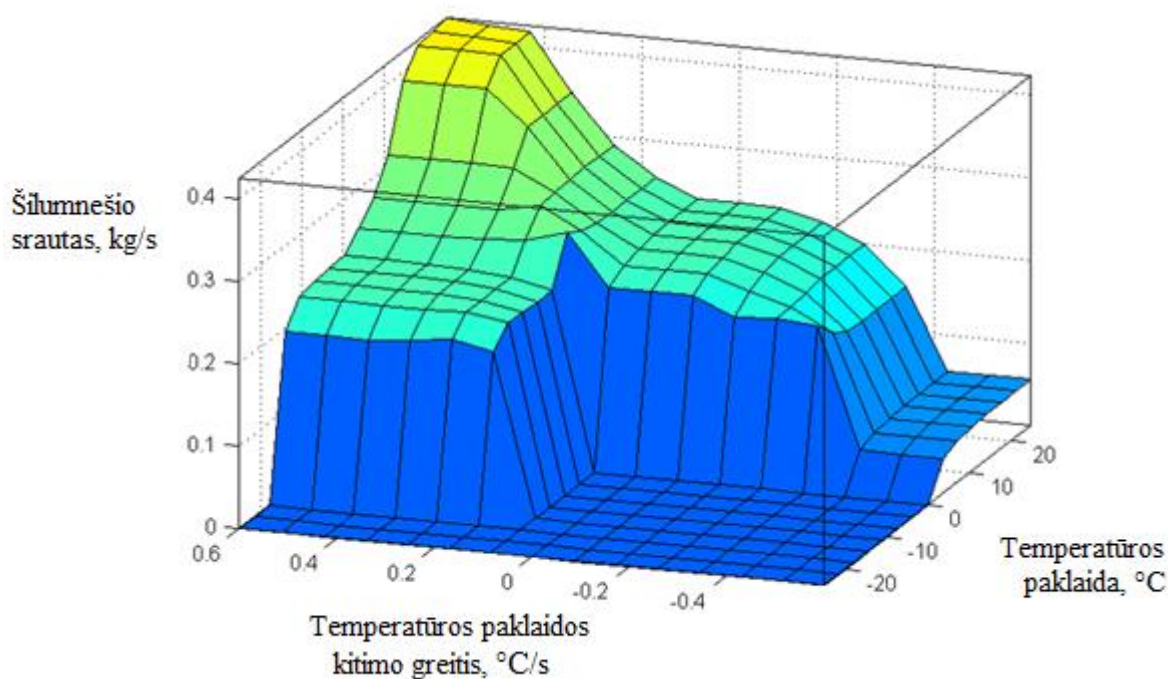
Išeinančiam kintamajam „Šilumnešio srautas“ aprašyti buvo sukurtos keturios aibės. Nulinė 0 ir teigiamos 1, 2, 3. Ribos nustatytos, remiantis sistemos techninėmis galimybėmis, nuo 0 iki 0,5 kg/s. Aibių tipai ir išsidėstymas buvo parinkti eksperimentiniu būdu, bandant gauti greičiausią rezultatą, esant mažiausiems svyravimams.



3.10 pav. Šilumnešio srauto aibės

„Fuzzy“ regulatoriaus taisyklės buvo sukurtos gauti greičiausią ir su mažiausiais svyravimais vandens tiekimo reguliavimą. 3.2 lentelėje pateikiamos šios taisyklės, o 3.7 paveiksle, remiantis šiomis taisyklėmis, gautas taisyklės aprašantis paviršius: 0 – labai mažas

šilumnešio srautas, 1 – mažas šilumnešio srautas, 2 – didelis šilumnešio srautas, 3 – labai didelis šilumnešio srautas.

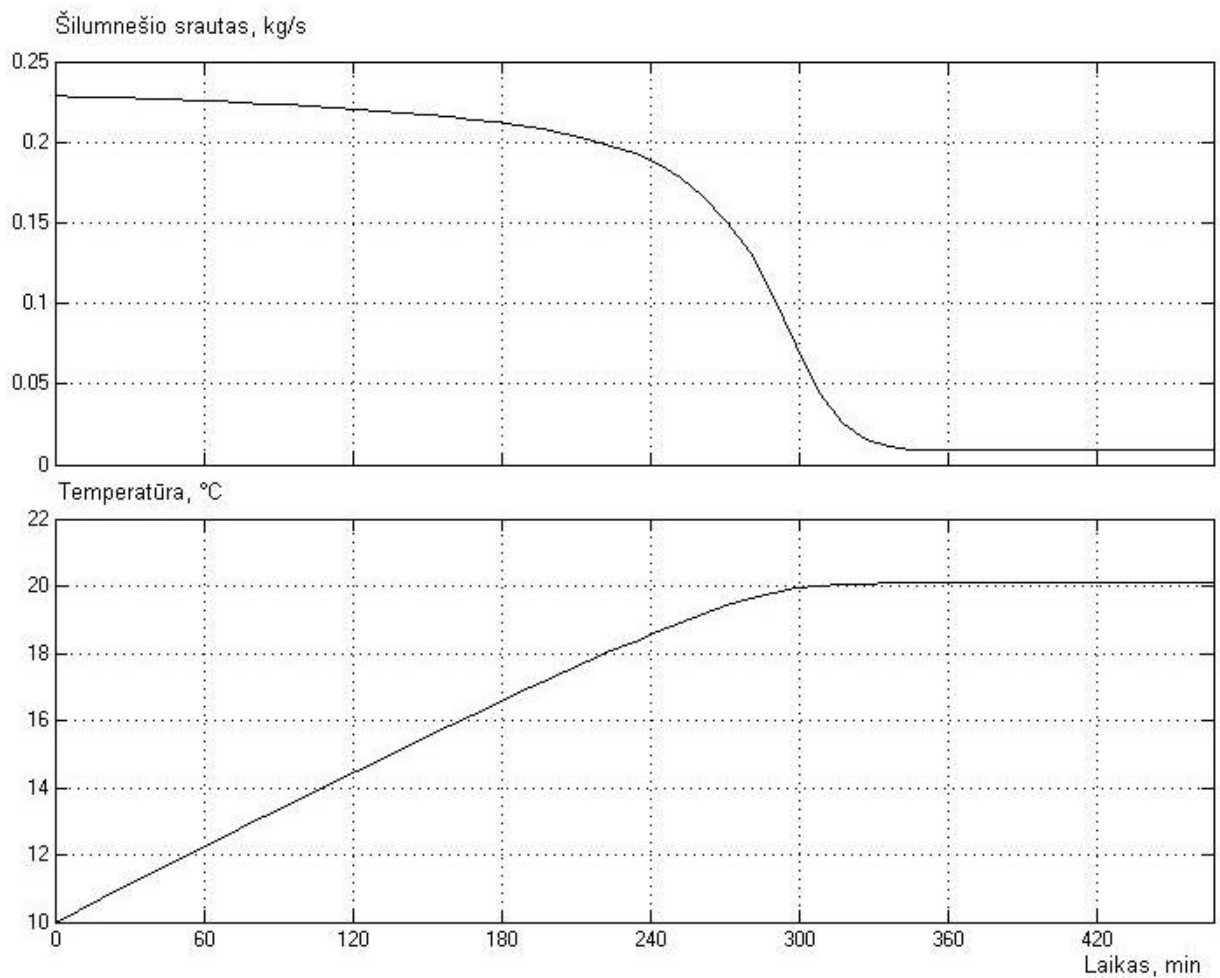


3.11 pav. Taisyklių paviršius „Fuzzy“ reguliatoriui

3.2 lentelė. „Fuzzy“ reguliatoriaus algoritmą aprašančios taisyklės [29, 30]

Temp. paklaidos greičio pokytis \ Temperatūros paklaida	Temperatūros paklaida		
	-1	0	1
-1	0	0	1
0	0	0	2
1	0	2	3

Modeliavimo rezultatai pateikti 3.12 paveiksle.



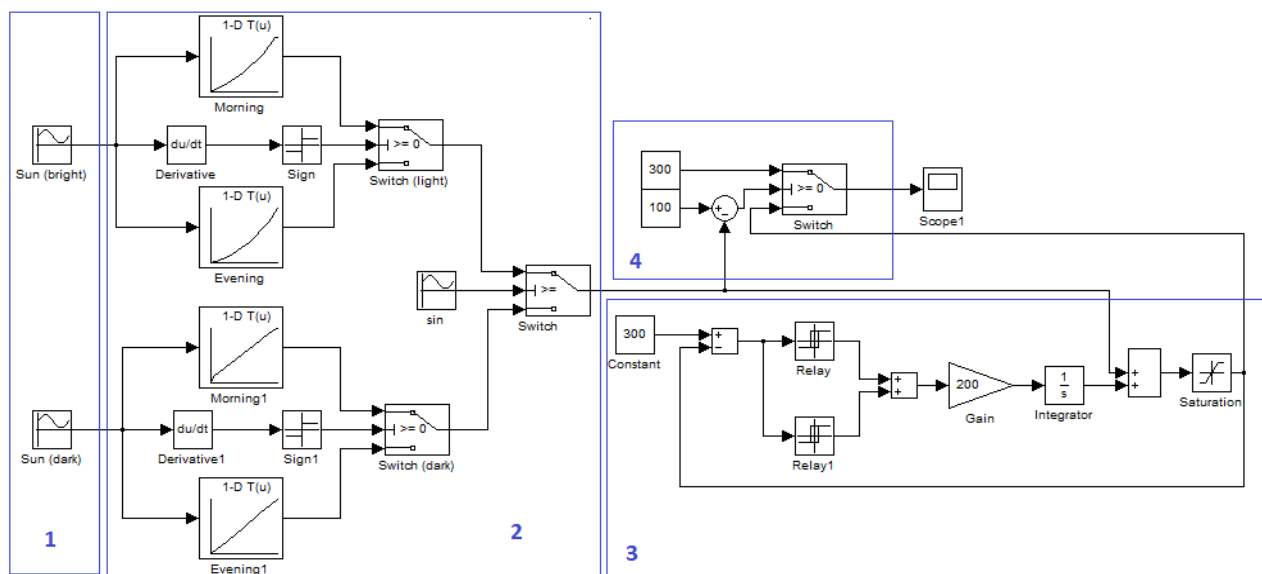
3.12 pav. Modeliavimo rezultatai, naudojant „Fuzzy“ reguliatorių

3.12 paveiksle pavaizduotas vandens srauto kitimas, naudojant „Fuzzy“ reguliatorių. Pradžioje reguliuojamas srautas siekia 0,23 kg/s ir vėliau palaipsniui mažinamas. Po 5 valandų 21 minutės srautas siekia 0,01 kg/s, tuo metu pasiekama norima kambario temperatūra.

Naudojantis modeliavimo rezultatais buvo parinktas „Fuzzy“ reguliatorius. Tokiai sistemai jis yra optimalus variantas, siekiant maksimalaus greičio ir minimalių šildymo sistemos apkrovų. PI reguliatorius per lėtai pasiekia norimą temperatūrą, o PD reguliatorius pradžioje apkrauna sistemą maksimaliu krūviu, paduodamas į radiatorius maksimalų šilumnešio srautą. Ilgalaikės maksimalios sistemos apkrovos padidina energijos sąnaudas ir gali turėti neigiamos įtakos pačiai sistemai.

3.3. Imitacinis objektas, reguliuojantis apšvietimą

Šioje dalyje apžvelgiamas objektas, reguliuojantis apšvietimą patalpoje. Objekto schema pateikiama 3.13 paveiksle.

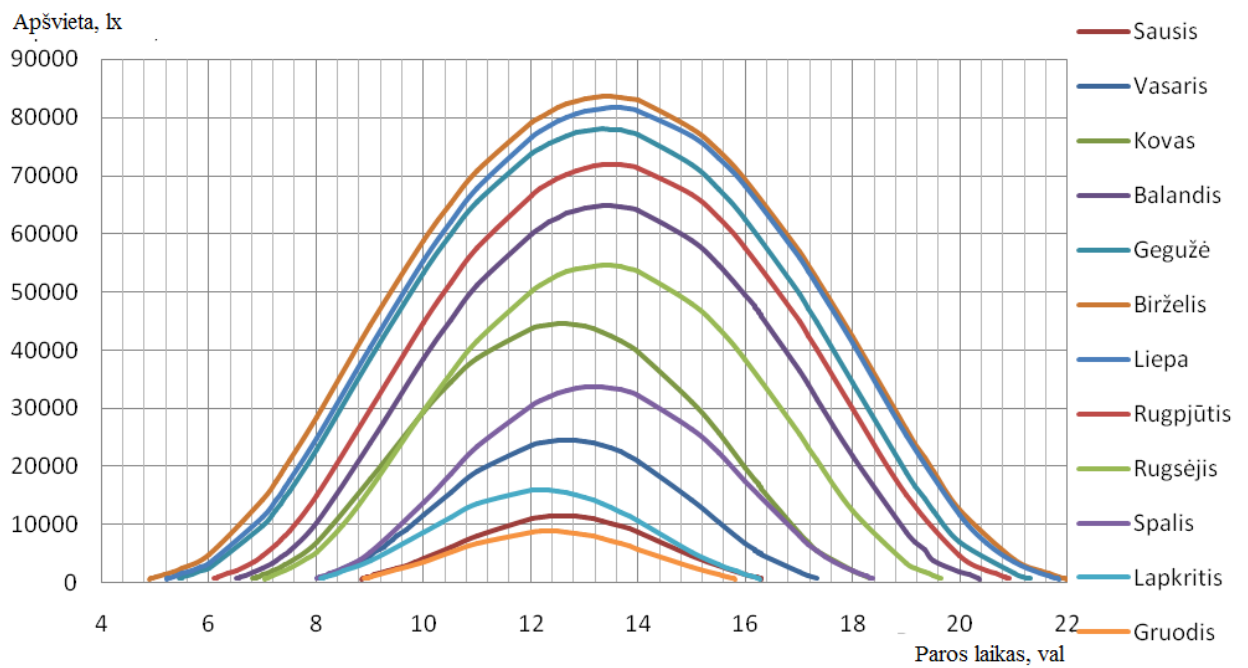


3.13 pav. Objekto, reguliuojančio apšvietimą, schema

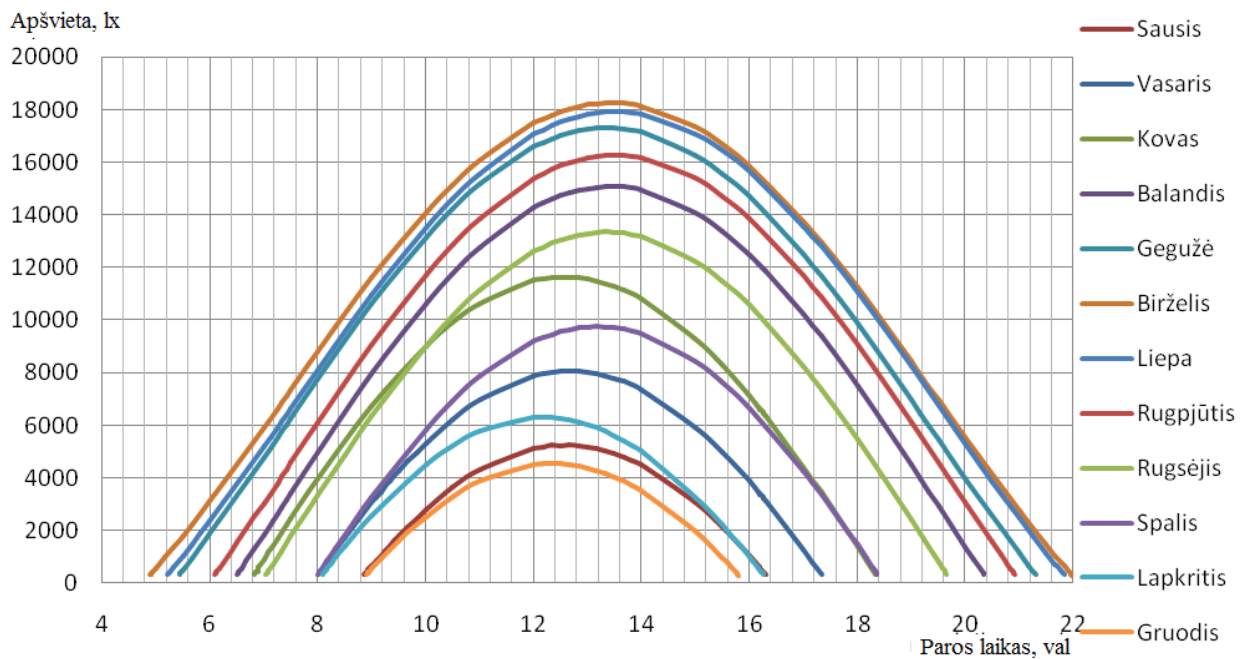
Šį objektą galima padalinti į 4 dalis taip kaip pavaizduota 3.13 paveiksle. Pirmoje dalyje imituojamas lauko apšvieta idealiomis sąlygomis ir blogiausiomis sąlygomis. Šios reikšmės perduodamos į antrą objekto dalį, kuri imituoja patalpos natūralų apšvietimą. Trečioje dalyje imituojamas žaliuzių darbas. Jeigu apšvieta patalpoje yra per didelė, žaliuzės užsidaro tol, kol ji atitinka komforto reikalavimus. Ketvirtoje dalyje imituojamas dirbtinė apšvieta. Jeigu natūralaus apšvietimo nepakanka užtikrinti komfortui, įsijungia dirbtinė apšvieta. Galutinė išėjimo signalo reikšmė yra vidaus natūrali ir dirbtinė apšvieta.

Pirmosios ir antrosios modelio dalies sukūrimui buvo naudojami duomenys surinkti, naudojant programą „Dialux“. Pirmoje dalyje imituojamas apšvieta Vilniuje idealiai giedrą dieną („Sun (bright)“) ir maksimaliai apsiniaukusią („Sun (dark)“). Duomenys gauti, sukūrus vietovės modelį programoje „Dialux“, modeliuojant apšvietimą kiekvieno mėnesio 15 dieną [30]. Gautų rezultatų grafikai pateikti 3.14 – 3.15 paveiksle.

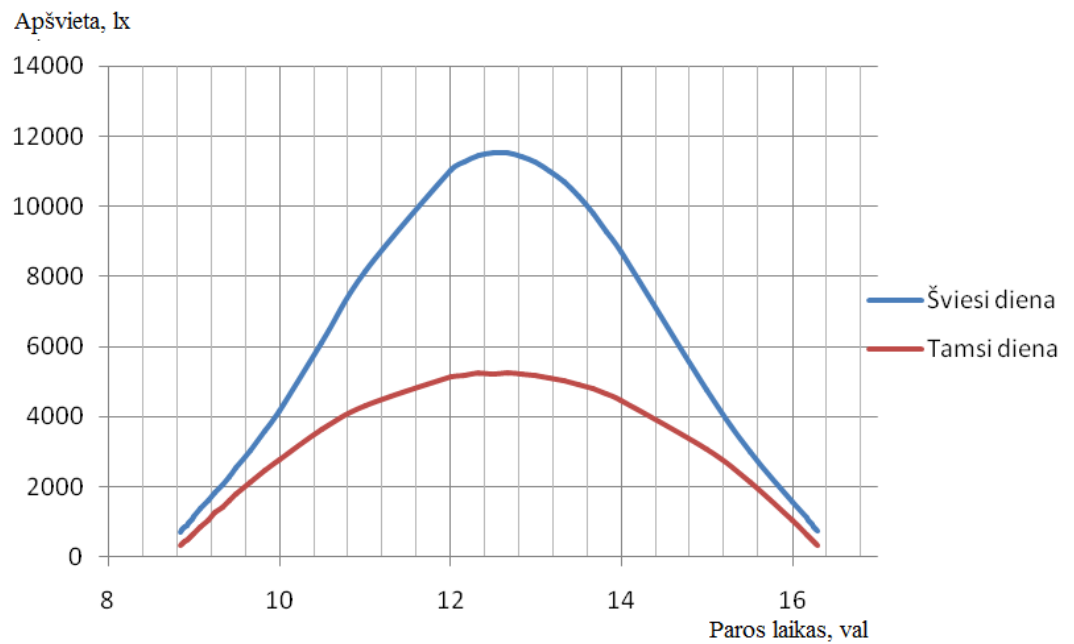
3.16 paveiksle pavaizduotas grafikas, kaip keičiasi natūrali apšvieta, pasirinktu mėnesiu (sausis). Galima pastebėti, jog lauko apšvieta 2010–01–15 negali būti didesnis negu 11523 lx giedrą dieną ir 5249 lx apsiniaukusią. Naudojantis šiais duomenimis buvo nustatyti „Sun (bright)“ bloko parametrai taip, kad sinusoidės charakteristika atitiktų praktines reikšmes: Amplitude 5761.5, Bias 5761.5, Frequency 0.000225, Phase 4.71. „Sun (dark)“ bloke buvo nustatyti šie parametrai: Amplitude 2624.5, Bias 2624.5, Frequency 0.000225, Phase 4.71.



3.14 pav. Lauko apšvietos kaita metuose idealiai giedrą dieną

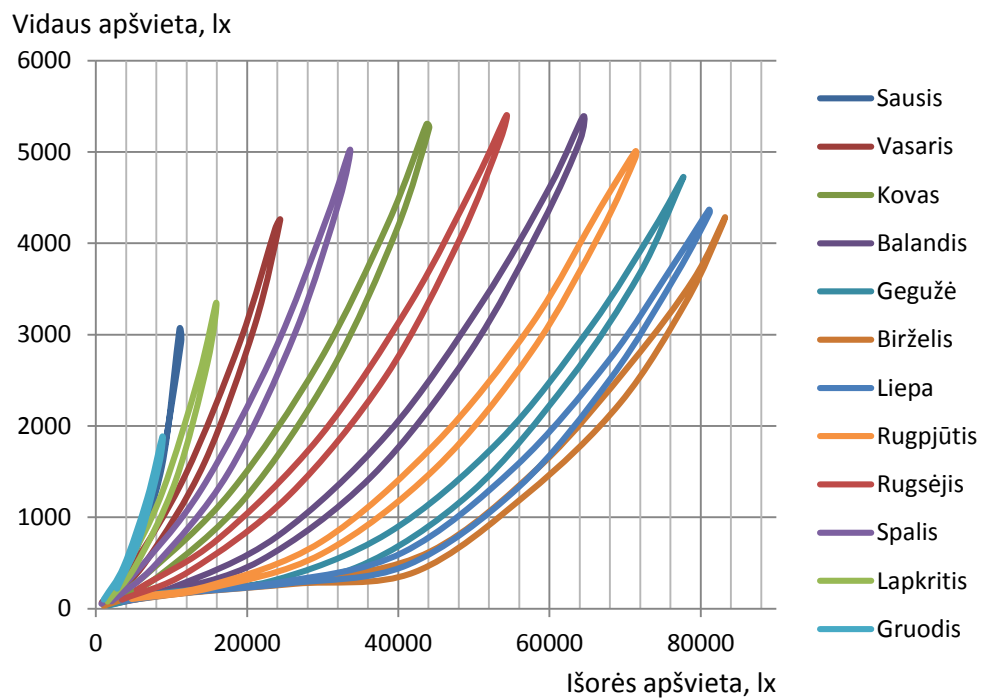


3.15 pav. Lauko apšvietos kaita metuose maksimaliai apsinaukusią dieną

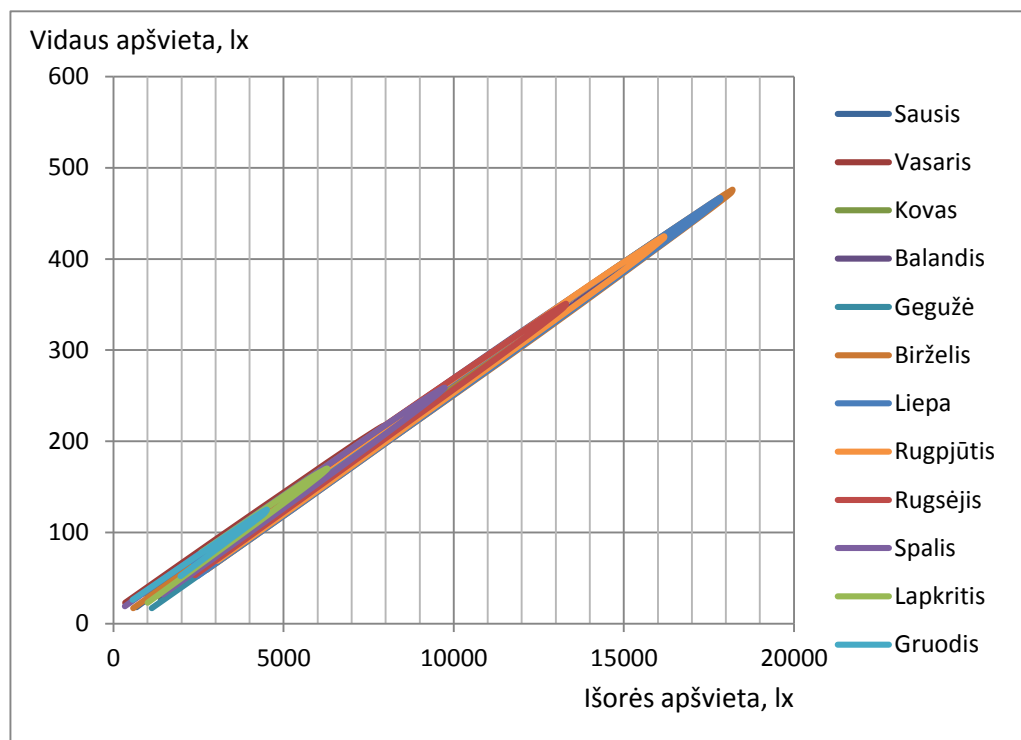


3.16 pav. Lauko apšvietos kaita 2010–01–15.

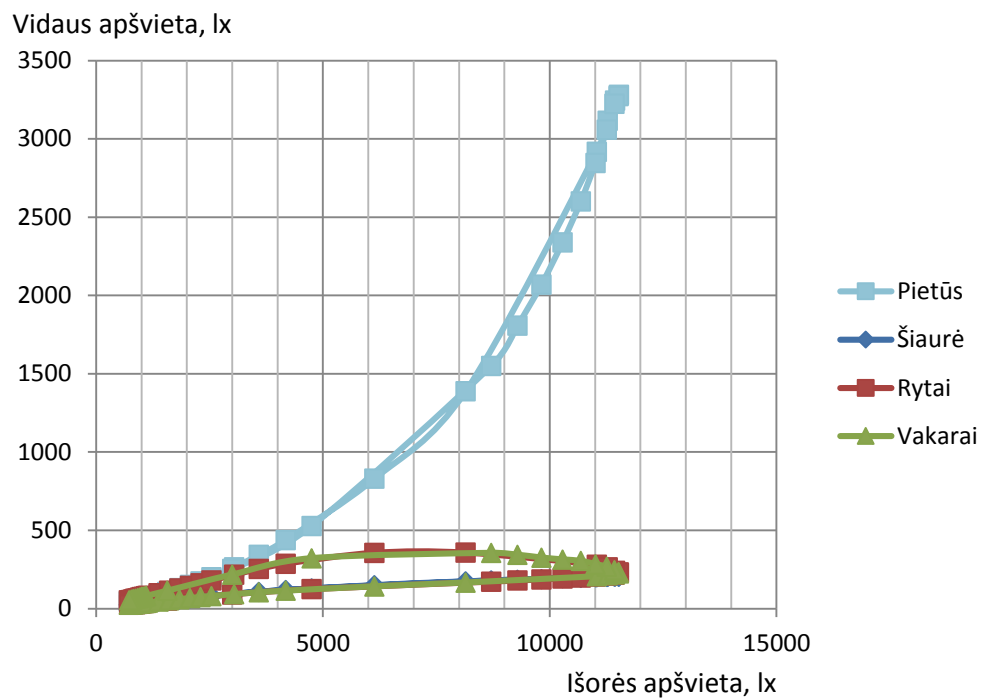
Antroje objekto dalyje lauko apšvietimo reikšmė eina į tris blokus. „Derivative“ ir „Sign“ blokai nustato lauko apšvietimo reikšmės pobūdį, didėja arba mažėja (rytas ar vakaras). Jeigu reikšmė kyla (taip imituojamas rytas), blokas „Switch (light)“ perjungia išėjimo signalą iš bloko „Morning“. Jeigu įeinanti reikšmė mažėja (vakaras), „Switch (light)“ blokas perjungia išėjimo signalą iš „Evening“ bloko. „Morning“ ir „Evening“ blokai rodo, kaip vidaus natūrali apšvieta keičiasi, keičiantis išorinei apšvietai. Duomenys šiems blokams buvo gauti, sukuriant patalpos modelį programoje „Dialux“ ir keičiant laiką buvo gauti vidutiniai apšvietos rezultatai patalpoje. Taip pat buvo keičiama lango orientacija į pietus, rytus, šiaurę ir vakarus. Šio modeliavimo rezultatų grafikai pavaizduoti 3.17 – 3.22 paveiksluose. 3.17 – 3.18 grafikuose atvaizduoti visų mėnesių modeliavimo rezultatų lauko apšvietos priklausomybė nuo vidaus apšvietos su objekto lango orientacija į pietus. Toliau, parinktam sausio mėnesiui, buvo imituojamas lango orientacijos kitimas ir pateiktos tos pačios priklausomybės 3.19 – 3.20 paveiksluose. Visi duomenys gauti, sudarant šiuos grafikus yra pateikti A priede.



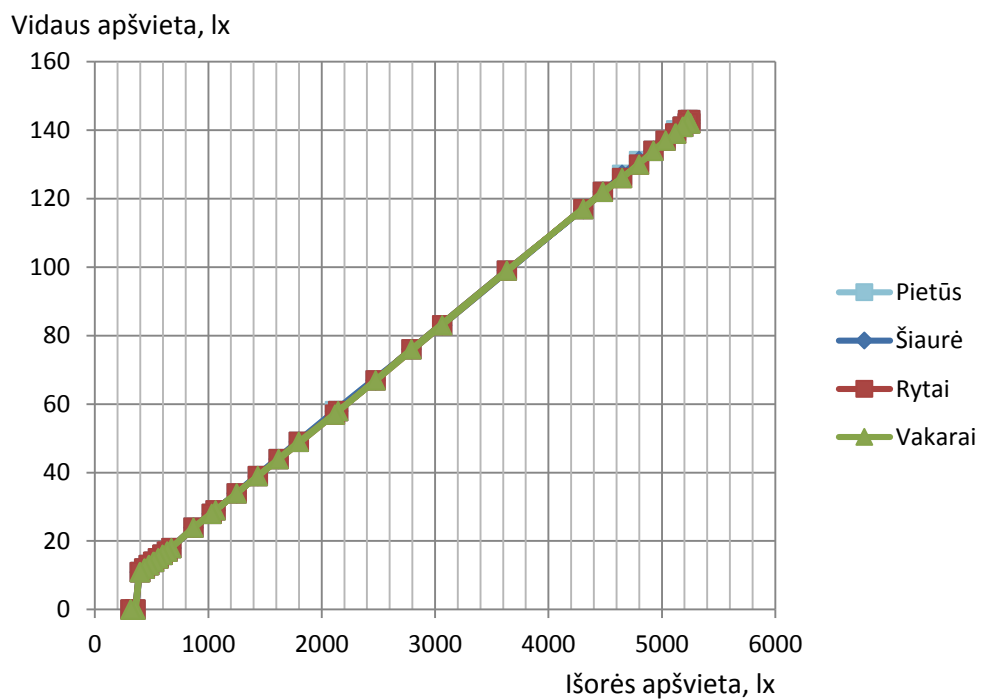
3.17 pav. Vidaus natūralios apšvietos priklausomybė nuo išorinės apšvietos idealiai giedrą dieną visus metus, kai lango orientacija į pietus



3.18 pav. Vidaus natūralios apšvietos priklausomybė nuo išorinės apšvietos maksimaliai apsiniaukusią dieną visus metus, kai lango orientacija į pietus



3.19 pav. Vidaus natūralios apšvietos priklausomybė nuo išorinės apšvietos sausio mėnesį idealiai giedrą dieną su skirtinga lango orientacija



3.20 pav. Vidaus natūralios apšvietos priklausomybė nuo išorinės apšvietos sausio mėnesį maksimaliai apsiniukusią dieną su skirtinga lango orientacija

3.19 paveiksle priklausomybės grafikas tarp orientacijos į vakarų ir rytų pusę praktiškai nežymiai skiriasi vienas nuo kito. Orientuotame objekte į rytus, ryte bus iki 10 lx didesnė apšvieta, negu objekte orientuotame į kitas pasaulio šalis. Šis pokytis nėra labai žymus,

todėl galima laikyti, jog grafikai panašūs. Orientuojant objektą į šiaurę praktiškai charakteristika tiesinė ir eina rytų ir vakarų priklausomybių apatine briauna pirmyn ir atgal.

3.20 paveiksle matyti, jog maksimaliai apsiniaukusią dieną objekto orientacija į tam tikras pasaulio šalis neturi įtakos ir priklausomybės grafikai bus identiški, o reikšmės itin mažos.

Iš gautų rezultatų matyti, jog į kambarį patenka mažiau nei 20% išorinio apšvietimo. Remiantis šiais duomenimis buvo parinkti „Morning“, „Morning1“, „Evening“ ir „Evening1“ parametrai. Jie pateikti 3.3 – 3.6 lentelėse.

3.3 lentelė. Į pietus orientuoto objekto parametrai

Blokas	Parametras	Parametro reikšmė
Morning	Table data	[0, 46, 49, 53, 56, 59, 62, 66, 69, 72, 76, 93, 111, 131, 152, 175, 202, 265, 344, 439, 831, 1389, 2919, 3116, 46, 82]
	Breakpoints 1	[0, 721, 768, 816, 863, 910, 957, 1004, 1051, 1098, 1145, 1377, 1607, 1837, 2067, 2301, 2539, 3042, 3587, 4176, 6135, 8146, 11034, 11276, 11441, 11523]
Morning1	Table data	[0, 46, 49, 52, 56, 59, 62, 65, 69, 72, 107, 254, 528, 1551, 1808, 2070, 2341, 2601, 2848, 3060, 25, 74]
	Breakpoints 1	[0, 727, 775, 822, 869, 917, 964, 1011, 1058, 1104, 1568, 2997, 4747, 8709, 9288, 9816, 10284, 10684, 11010, 11258, 11429, 11518]
Evening	Table data	[0, 8.50, 9.61, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 24, 29, 34, 39, 44, 49, 58, 67, 76, 99, 117, 140, 141, 142]
	Breakpoints 1	[0, 312, 353, 393, 434, 474, 514, 554, 594, 633, 673, 869, 1062, 1251, 1437, 1619, 1798, 2145, 2475, 2790, 36, 4308, 5125, 5188, 5250]
Evening1	Table data	[0, 8.66, 9.76, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 28, 58, 83, 122, 127, 131, 134, 137, 139, 141, 142, 143, 143]

3.3 lentelės tęsinys

Blokas	Parametras	Parametro reikšmė
Evening1	Breakpoints 1	[0, 318, 359, 399, 439, 480, 520, 560, 599, 639, 1029, 2115, 3063, 4480, 4649, 4797, 4925, 50, 5118, 5183, 5227, 5230, 5249]

3.4 lentelė. Į šiaurę orientuoto objekto parametrai

Blokas	Parametras	Parametro reikšmė
--------	------------	-------------------

Morning	Table data	[0, 25, 26, 28, 29, 31, 33, 34, 36, 37, 39, 46, 54, 61, 68, 75, 82, 95, 108, 119, 150, 174, 202, 204, 205, 206]
	Breakpoints 1	[0, 721, 768, 816, 863, 910, 957, 1004, 1051, 1098, 1145, 1377, 1607, 1837, 2067, 2301, 2539, 3042, 3587, 4176, 6135, 8146, 11034, 11276, 11441, 11523]
Morning1	Table data	[0, 25, 26, 28, 30, 31, 33, 34, 36, 37, 52, 94, 129, 180, 185, 190, 195, 198, 201, 203, 205, 206, 206]
	Breakpoints 1	[0, 727, 775, 822, 869, 917, 964, 1011, 1058, 1104, 1568, 2997, 4747, 8709, 9288, 9816, 10284, 10684, 11010, 11258, 11429, 11518, 11523]
Evening	Table data	[0, 8.50, 9.61, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 24, 29, 34, 39, 44, 49, 58, 67, 76, 99, 117, 140, 141, 142]
	Breakpoints 1	[0, 312, 353, 393, 434, 474, 514, 554, 594, 633, 673, 869, 1062, 1251, 1437, 1619, 1798, 2145, 2475, 2790, 36, 4308, 5125, 5188, 5250]
Evening1	Table data	[0, 8.66, 9.76, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 28, 58, 83, 122, 127, 131, 134, 137, 139, 141, 142, 143, 143]
	Breakpoints 1	[0, 318, 359, 399, 439, 480, 520, 560, 599, 639, 1029, 2115, 3063, 4480, 4649, 4797, 4925, 50, 5118, 5183, 5227, 5230, 5249]

3.5 lentelė. Į rytus orientuoto objekto parametrai

Blokas	Parametras	Parametro reikšmė
Morning	Table data	[0, 54, 57, 60, 64, 67, 70, 74, 77, 80, 83, 99, 115, 130, 146, 163, 180, 217, 254, 288, 357, 358, 281, 264, 243, 231]
	Breakpoints 1	[0, 721, 768, 816, 863, 910, 957, 1004, 1051, 1098, 1145, 1377, 1607, 1837, 2067, 2301, 2539, 3042, 3587, 4176, 6135, 8146, 11034, 11276, 11441, 11523]
Morning1	Table data	[0, 25, 27, 29, 30, , 33, 35, 37, 38, 53, 92, 12 5,1 73, 180, 187, 193, 199, 205, 211, 217, 233, 231]
	Breakpoints 1	[0, 727, 775, 822, 869, 917, 964, 1011, 1058, 1104, 1568, 2997, 4747, 8709, 9288, 9816, 10284, 10684, 11010, 11258, 11429, 11518, 11523]
Evening	Table data	[0, 8.50, 9.61, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 24, 29, 34, 39, 44, 49, 58, 67, 76, 99, 117, 140, 141, 142]

	Breakpoints 1	[0, 312, 353, 393, 434, 474, 514, 554, 594, 633, 673, 869, 1062, 1251, 1437, 1619, 1798, 2145, 2475, 2790, 36, 4308, 5125, 5188, 5250]
Evening1	Table data	[0, 8.66, 9.76, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 28, 58, 83, 122, 127, 131, 134, 137, 139, 141, 142, 143, 143]
	Breakpoints 1	[0, 318, 359, 399, 439, 480, 520, 560, 599, 639, 1029, 2115, 3063, 4480, 4649, 4797, 4925, 50, 5118, 5183, 5227, 5230, 5249]

3.6 lentelė. Į vakarus orientuoto objekto parametrai

Blokas	Parametras	Parametro reikšmė
Morning	Table data	[0, 25, 27, 28, 30, 31, 33, 35, 36, 38, 39, 47, 54, 61, 68, 75, 81, 93, 105, 115, 143, 167, 207, 213, 219, 225]

3.6 lentelės tęsinys

Blokas	Parametras	Parametro reikšmė
Morning	Breakpoints 1	[0, 721, 768, 816, 863, 910, 957, 1004, 1051, 1098, 1145, 1377, 1607, 1837, 2067, 2301, 2539, 3042, 3587, 4176, 6135, 8146, 11034, 11276, 11441, 11523]
	Table data	[0, 55, 58, 62, 65, 69, 72, 76, 79, 82, 115, 218, 2, 356, 344, 6, 314, 305, 284, 268, 247, 234]
Morning1	Breakpoints 1	[0, 727, 775, 822, 869, 917, 964, 1011, 1058, 1104, 1568, 2997, 4747, 8709, 9288, 9816, 10284, 10684, 11010, 11258, 11429, 11518, 11523]
	Table data	[0, 8.50, 9.61, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 24, 29, 34, 39, 44, 49, 58, 67, 76, 99, 117, 140, 141, 142]
Evening	Breakpoints 1	[0, 312, 353, 393, 434, 474, 514, 554, 594, 633, 673, 869, 1062, 1251, 1437, 1619, 1798, 2145, 2475, 2790, 36, 4308, 5125, 5188, 5250]
	Table data	[0, 8.66, 9.76, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 28, 58, 83, 122, 127, 131, 134, 137, 139, 141, 142, 143, 143]
Evening1	Breakpoints 1	[0, 318, 359, 399, 439, 480, 520, 560, 599, 639, 1029, 2115, 3063, 4480, 4649, 4797, 4925, 50, 5118, 5183, 5227, 5230, 5249]

Žvelgiant į schemą toliau blokas „Sin“ generuoja kintamuosius nuo 0 iki 1. Taip sukurdamas skaičių seką, kuri nusako visos dienos galimybių ribas tarp apsiniaukusios ir giedros

dienos. Blokas „Switch“ perjunginėja reikšmes tarp apsiniaukusios dienos reikšmės ir šviesios. Taip sukuriamas dinaminis dienos modelis, kuriame apšvietos reikšmė kinta apsiniaukusios ir giedros dienos diapazone.

Sausio mėnuo turi 31 dieną. Sausio 15 dieną dienos trukmė buvo 7 valandos 47 minutės (467 min.). 2010 metais sausio mėnesį buvo 61,8 valandos šviesaus paros laiko. Saulėtos dienos tikimybė apskaičiuojama pagal 3.6 formulę [13].

$$p = \frac{s}{d \cdot h}; \quad (3.6)$$

kur: s – saulėtos valandos, h;

d – dienų skaičius;

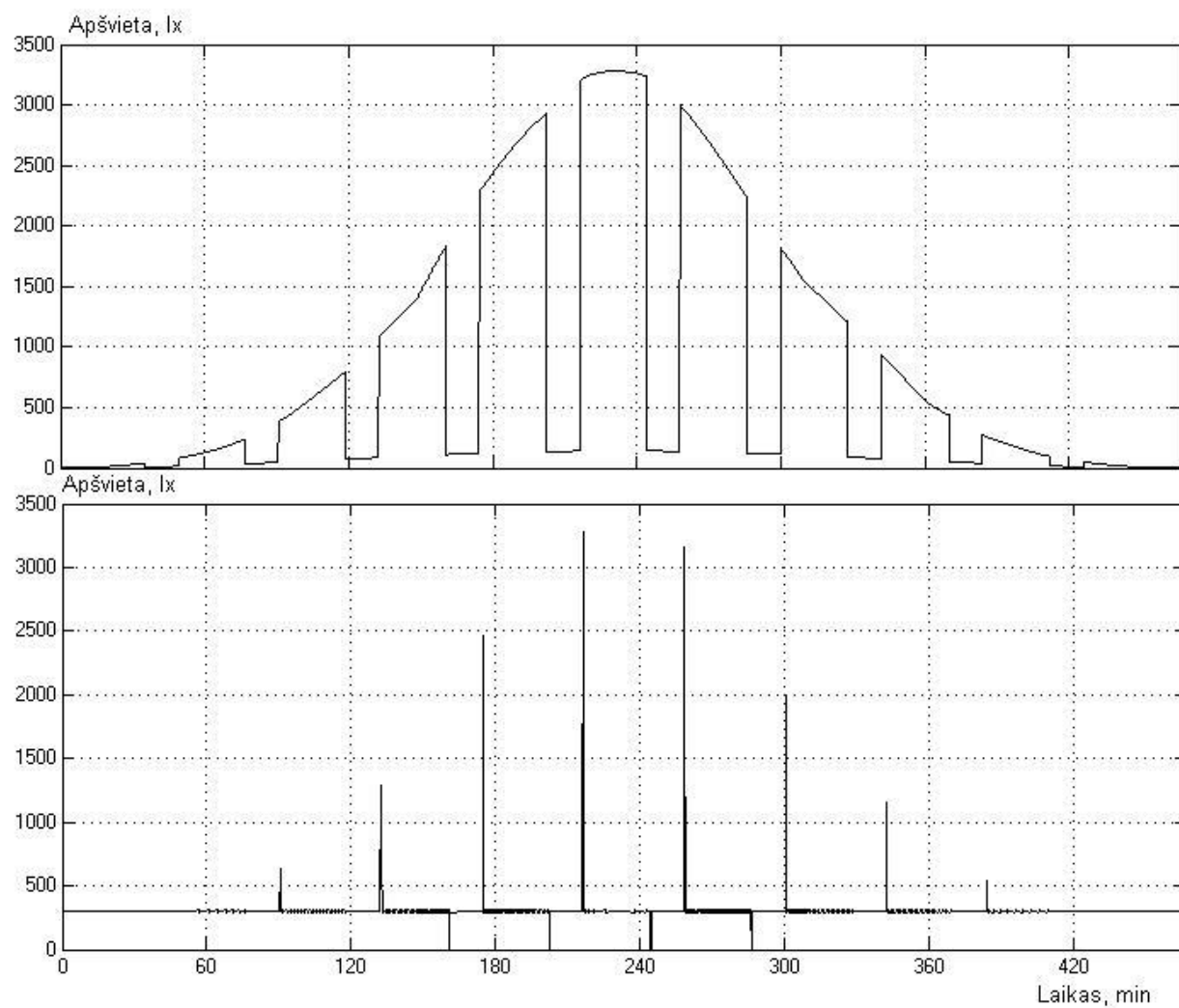
h – dienos ilgumas.

$$p = \frac{s}{d \cdot h} = \frac{61,8}{31 \cdot 7,78} = 0,256.$$

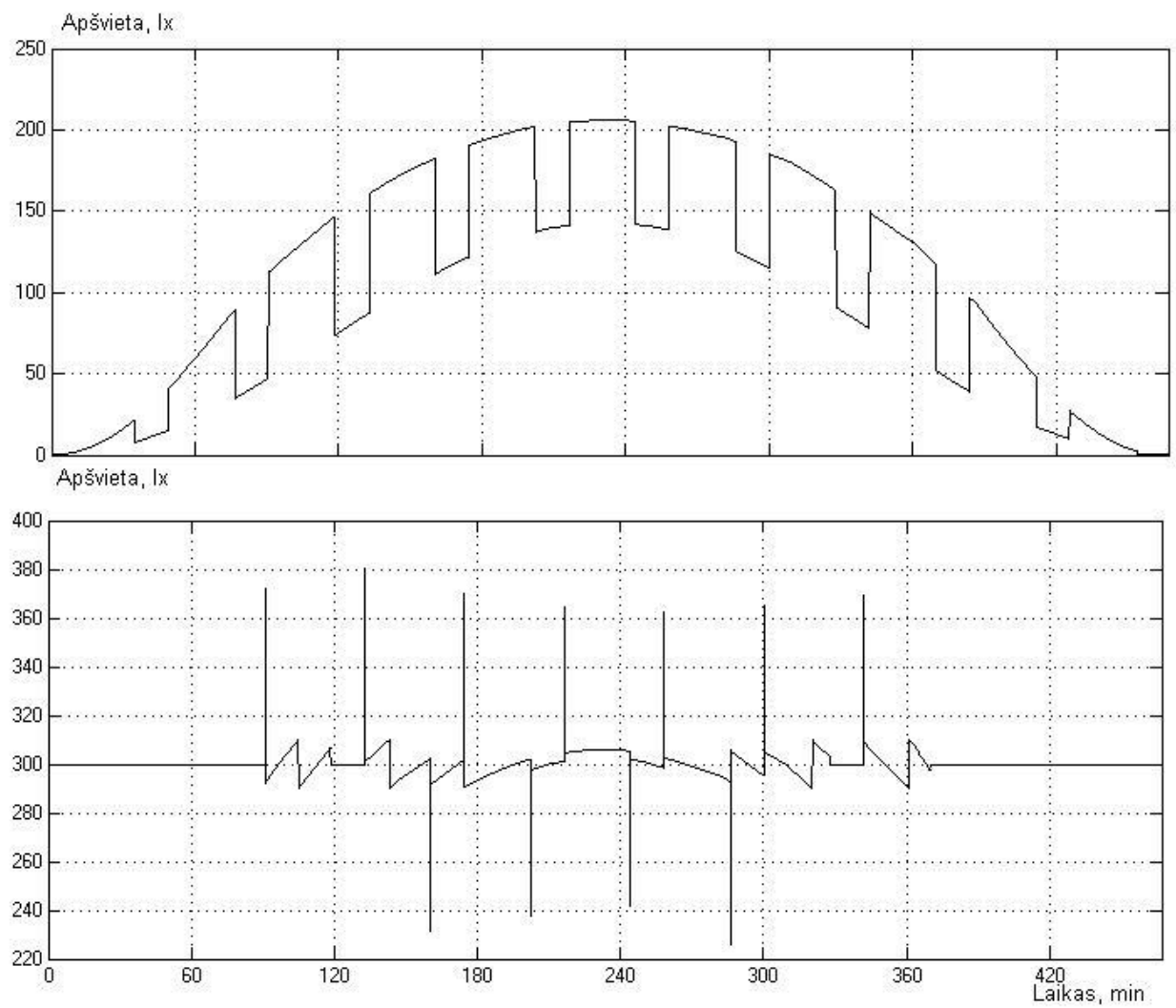
Bloko „Switch“ parametras Threshold 0.256. Ši reikšmė įvertina dienos metu iš išorės patenkančios apšvietos dinamiškumą. Iš bloko „Switch“ išeinantis signalas eina į kitą objekto dalį, kuri apriboja apšvietimą (žaliuzės). Tai trečioji objekto dalis. Ji skirta sumažinti patalpos apšvietą, esant per dideliame komforto sąlygas užtikrinančiam apšvietimui. Komfortiškos apšvietos reikšmingumo reikšmė įvedama į bloką „Constant“ ir yra lygi 300 lx. Ši reikmė perduodama į sumatorių, kuris palygina esamą patalpoje apšvietos reikšmę su norima. Gauta reguliavimo paklaida perduodama į blokus „Relay“ ir „Relay1“. Šių blokų parametrai: „Relay“ Switch on point 10, Switch off point 10, Output when on 1, Output when off 0; „Relay1“ Switch on point -10, Switch off point -10, Output when on 0, Output when off -1. Toliau signalas perduodamas į sumatorių ir sustiprinamas bloku „Gain“. Šio bloko stiprinimo koeficientas lygus 200. Sustiprintas signalas integruojamas, vėliau sudedamas su vidaus natūralios apšvietos reikšme ir paduodamas į bloką „Saturation“, kuris nustato apšvietimo ribas. Jos reikšmė yra 82 lx – tai maksimali reikšmė, kuri galėtų būti tą dieną patalpoje.

Ketvirta objekto dalis – dirbtinė apšvieta. Į bloką „Switch“ įeina 2 parametrai: kambario apšvieta, reguliuojant žaliuzes ir dirbtinės apšvietos reikšmė. Perjungimo sąlyga yra minimalus natūralios apšvietos lygis 100 lx, kai žaliuzės atidarytos. Jeigu paklaida bus teigiama blokas Switch įjungs dirbtinį apšvietimą.

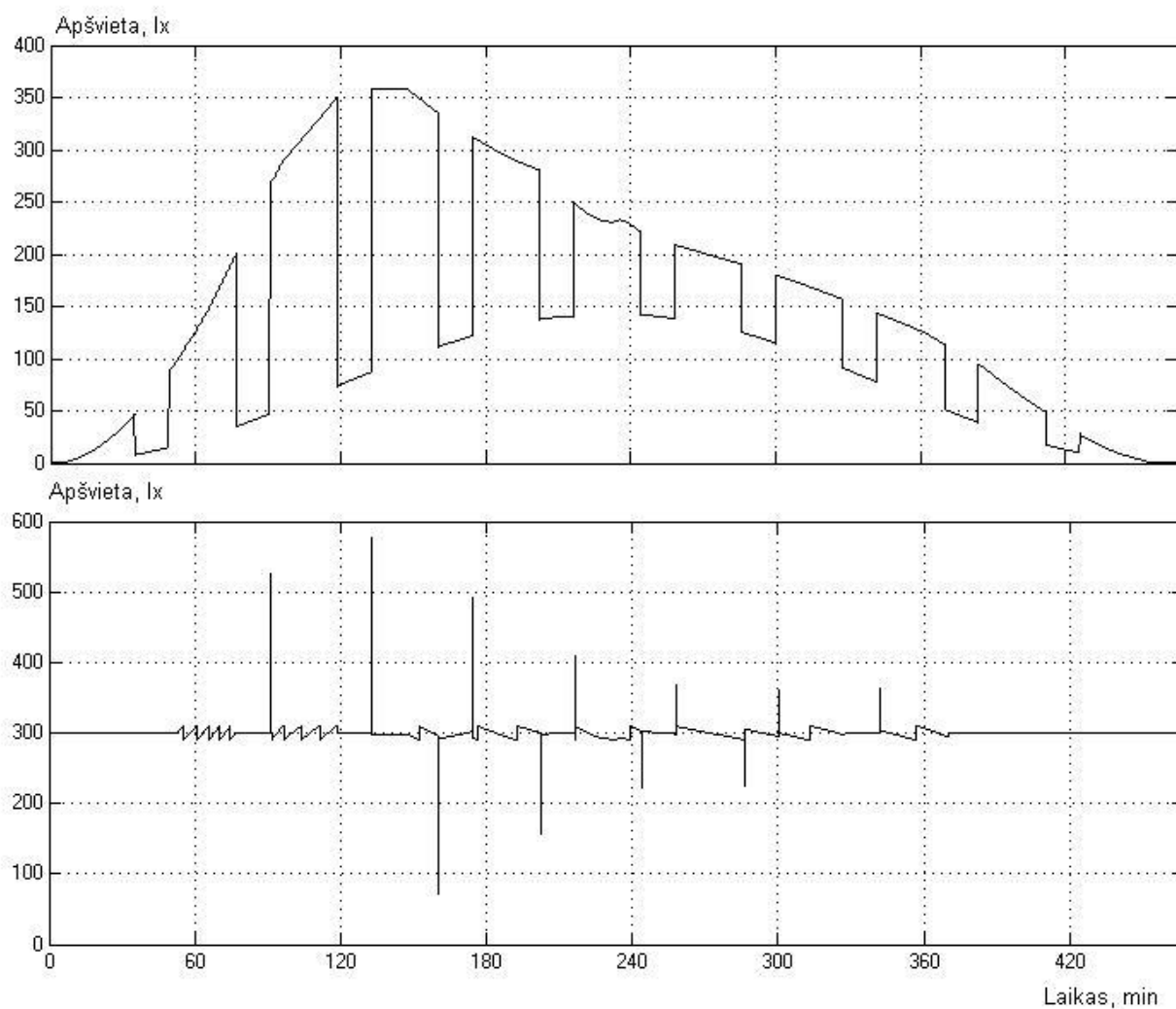
3.21 – 3.24 paveiksluose pavaizduota dienos apšvieta su jos maksimaliu dinamiškumu kambaryje be reguliavimo (viršuje) ir kambario apšvieta įjungus reguliavimą.



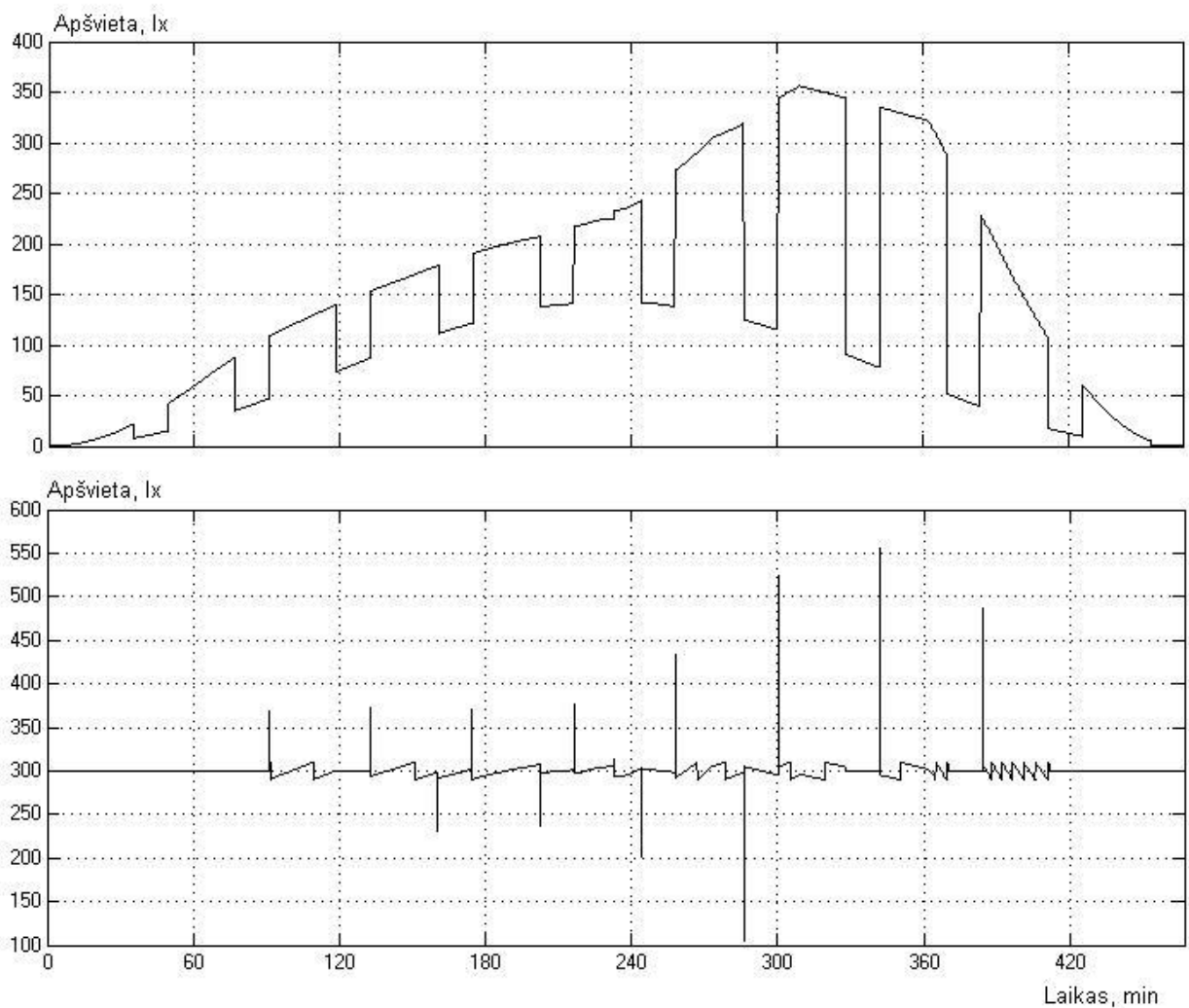
3.21 pav. Patalpos, orientuotos į pietus, vidaus apšvieta be reguliavimo (viršuje) ir su reguliavimu (apačioje)



3.22 pav. Patalpos, orientuotos į šiaurę, vidaus apšvieta be reguliavimo (viršuje) ir su reguliavimu (apačioje)



3.23 pav. Patalpos, orientuotos į rytus vidaus apšvieta be reguliavimo (viršuje) ir su reguliavimu (apačioje)



3.24 pav. Patalpos, orientuotos į vakarus vidaus apšvieta be reguliavimo (viršuje) ir su reguliavimu (apačioje)

3.21 – 3.24 paveiksluose viršutiniuose grafikuose dienos apšvieta keičiasi tarp natūralaus apšvietimo idealiai giedrą dieną ir maksimaliai apsiniaukusią dieną. Apatiniuose grafikuose pavaizduotas vidaus apšvietos kitimas, reguliuojant dirbtinį apšvietimą ir žaliuzes. Šiame grafike, esantys staigūs šuoliai rodo sistemos inertiškumą (jutiklio ir žaliuzių uždarymo ir atidarymo inertiškumas), kai apšvieta keičiasi staiga ir labai dideliame diapazone. Inertiškumas sudaro maždaug 6 sekundes. Realybėje lauko apšvietimo kitimas, o tuo pačiu ir vidaus yra daug mažesnis, todėl praktikoje, bandant tokią sistemą šių staigių pakitimų nebūtų.

3.4. Sistemos elementas, nusakantis komfortą

Šioje dalyje yra apžvelgiamas objektas, kuris nusako žmogaus savijautą, esant skirtingoms temperatūros, apšvietos patalpoje reikšmėms. Apžvelgiant kiekvieno objekto valdymą yra galimybė naudoti neraiškiosios logikos teoriją tam, kad aprašyti juose vykstančius procesus [31]. Tokio metodo naudojimas dar naudingesnis tokioms sistemoms, kurių išėjimo parametras yra žmogaus įvertinimas. Puikus pavyzdys yra gyvenamosios patalpos, kaip objekto, aprašomo neraiškiosios logikos metodais, tyrimas. Žmogaus komforto įvertinimui turi reikšmės daug faktorių: temperatūra, apšvieta, drėgmė, oro švara, garso izoliacija ir t.t.

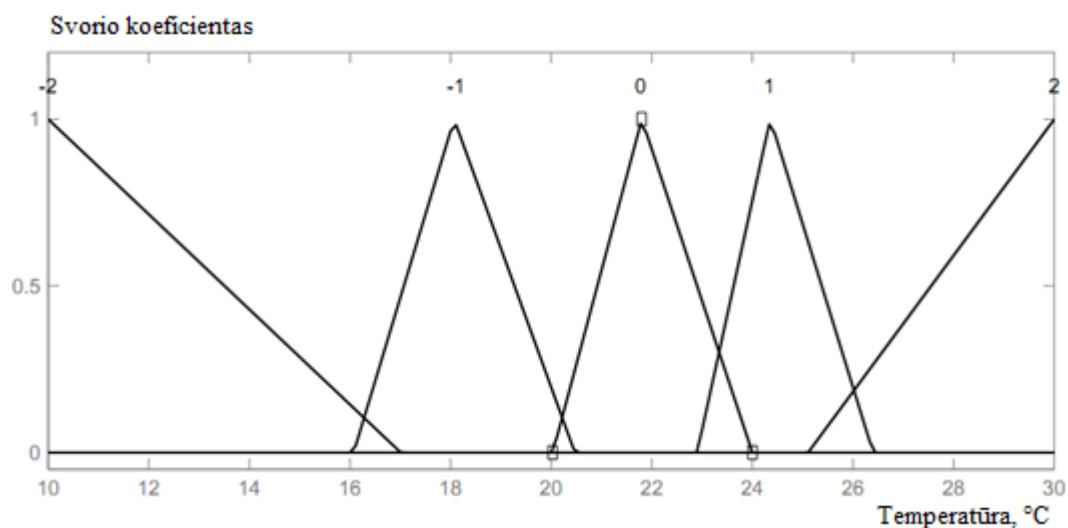
Pirmoje dalyje galima sakyti, kad gyvenamosios patalpos klimato parametrų žmogaus vertinimas nusakomas pagal Vėberio – Fechnerio dėsnį [32]. Šis dėsnis nusako, jog jutimo intensyvumas proporcingas stimulo intensyvumo logaritmui. Šį dėsnį galima paaiškinti tuo, kad cheminių reakcijų greičio konstantos, praeinančios pro receptorius, netiesiškai priklauso nuo cheminių trikdžių koncentracijos. Be to reikia paminėti, kad yra tam tikros Vėberio – Fechnerio dėsnio ribos, šis dėsnis galioja tik vidutinėms vertinimo reikšmėms.

Buvo sukurtas neraiškūs objektas su įeinančiais parametrais: patalpos temperatūra, apšvieta, o išėjimo parametras – žmogaus patalpos komforto įvertimas. Likusių įeinančių komforto parametrų buvo nuspręsta nevertinti ir laikyti, kad jų reikšmės yra idealios arba nedaug nukrypusios nuo idealių reikšmių.

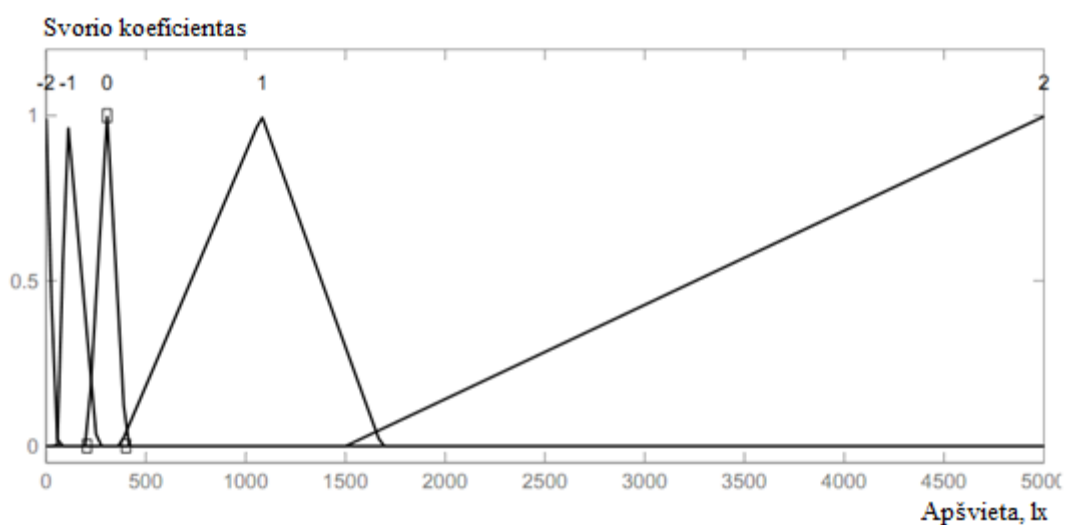
Neraiškūs objektas buvo sukurtas naudojant „Mamdani“ neraiškųjį modelį [28]. Sudarant šį modelį buvo rastos trikampės funkcijos visoms įėjimo reikšmėms: temperatūrai, apšvietai, pavaizduotoms 3.25 ir 3.26 paveiksluose. Aibė 0 naudojama aprašyti komforto sąlygos funkciją, neigiamų aibių reikšmės rodo nepakankamas sąlygas, teigiamos – per didelės parametrų reikšmės.

Sistemos įėjimo temperatūros parametro ribos buvo parinktos šiuo būdu: minimali reikšmė – tai minimali galima vidaus temperatūros reikšmė. Patalpos temperatūra negali nukristi žemiau negu $+10^{\circ}\text{C}$. Tai yra dėl to, jog esant žemesnei lauko temperatūrai negu $+10^{\circ}\text{C}$ tris dienas iš eilės, įjungiamas šildymas, o įskaitant pastato inerciją, būtent šios reikšmės vidaus temperatūra ir nepasieks. Maksimali reikšmė buvo parinkta įskaičiuojant patalpos perkaitinimą, ši reikšmė siekia $+30^{\circ}\text{C}$.

Įeinančio parametro „Apšvieta“ ribos buvo parinktos tokiu būdu: minimali reikšmė 0 lx. Ši reikšmė yra visiškos tamsos sąlygų galimybė. Maksimali reikšmė buvo parinkta žinant maksimaliai galimą apšvietos reikšmę 2010–01–15. Aibių pasiskirstymas buvo parinktas, naudojantis literatūros šaltinių rekomendacijomis ir higienos normomis [10, 33].

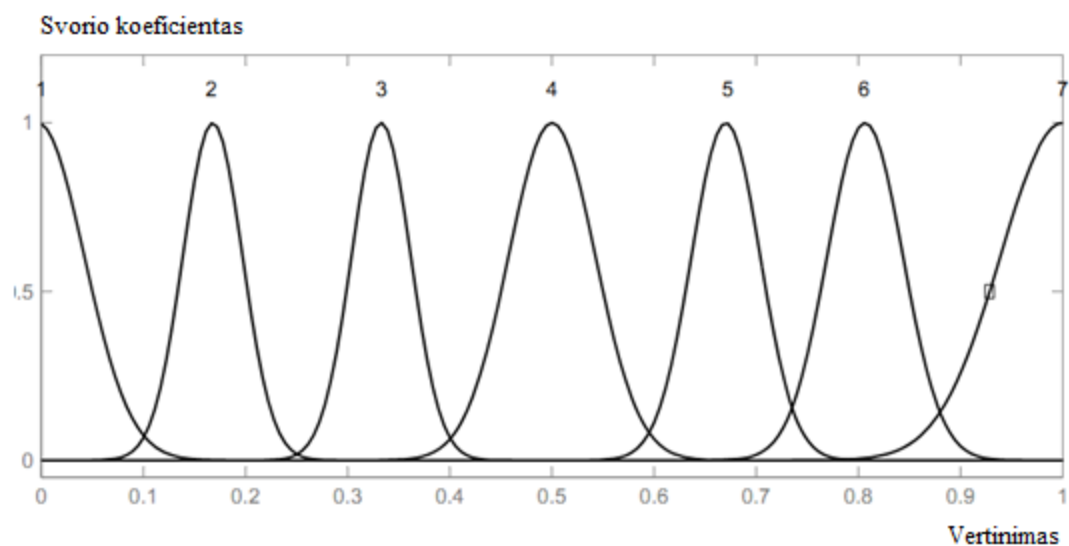


3.25 pav. Įėjimo parametro - „Temperatūra“ funkcijų pasiskirstymas



3.26 pav. Įėjimo parametro – „Apšvieta“ funkcijų pasiskirstymas

Išeinančio kintamojo aprašymui naudojamos septynios aibės [33]. Žmogaus komforto vertinimo grafinė funkcijų interpretacija, pavaizduota 3.27 paveiksle. Išėjimo parametrų aibės išsidėstę eilės tvarka ir keičiasi nuo 0 iki 1. Vidurinė aibė 4 yra šiek tiek platesnė, nes ji rodo, kad žmogaus savijauta dažniausiai vertinama kaip vidutiniška. Reikšmė 0 reiškia visiškai blogas komforto sąlygas ir blogą savijautą, 1 – idealias sąlygas ir puikų komforto vertinimą.

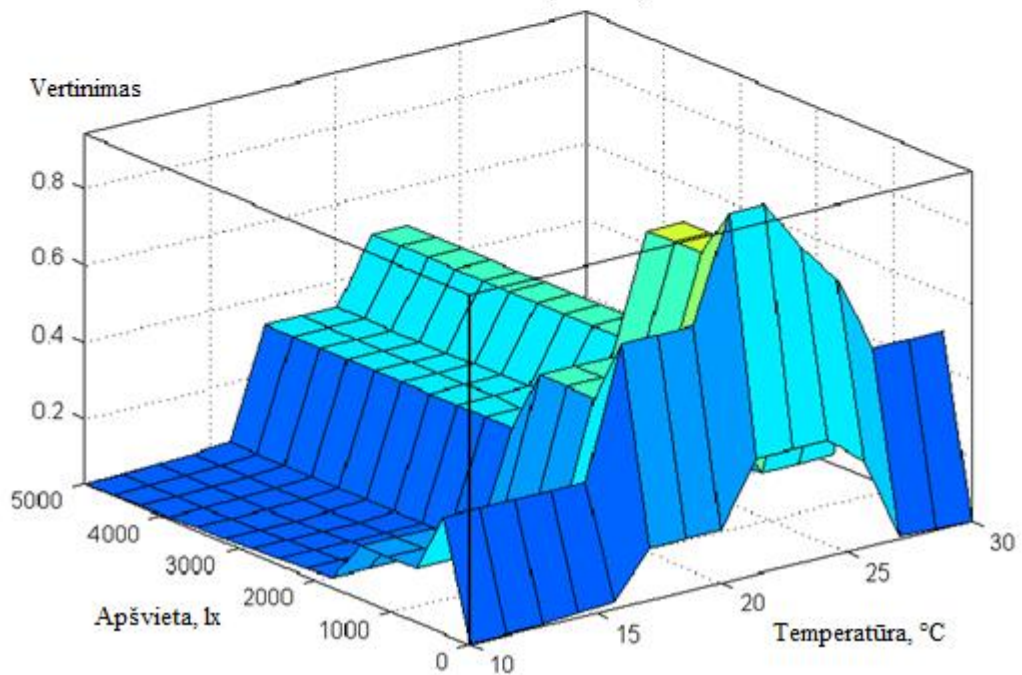
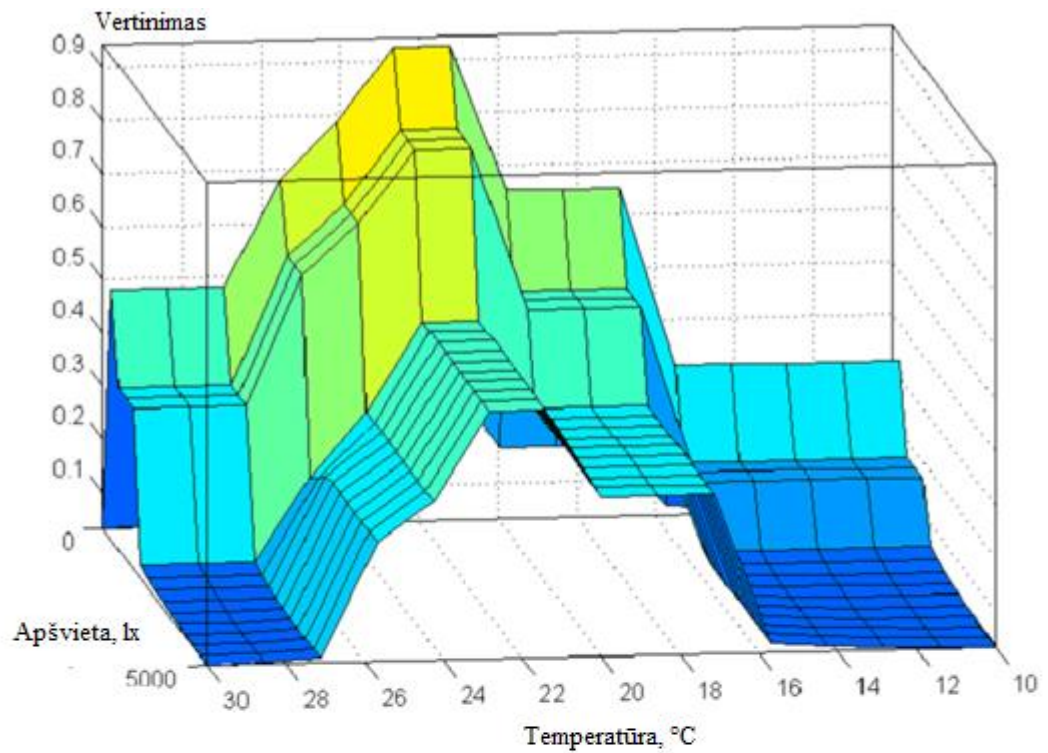


3.27 pav. Išėjimo kintamojo aibių pasiskirstymas.

Išanalizavus ryšius tarp įėjimo ir išėjimo parametrų buvo aprašytos taisyklės neraiškiajam modeliui. Grafinė naudojamų taisyklių interpretacija pavaizduota 3.28 paveiksle, o parinktos taisyklės aprašytos 3.3 lentelėje.

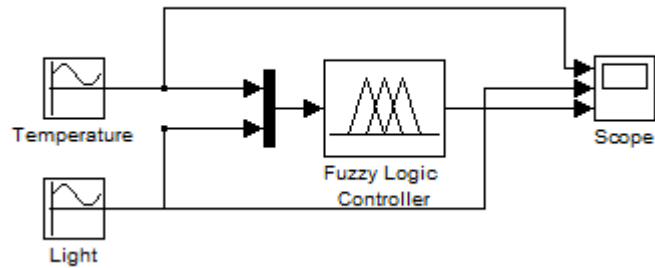
3.7. lentelė. Neraiškiojo objekto algoritmą aprašančios taisyklės

Temp. Apšvieta	-2	-1	0	1	2
-2	1	2	3	3	1
-1	2	3	5	4	3
0	3	5	7	6	4
1	2	4	6	5	3
2	1	3	4	3	1

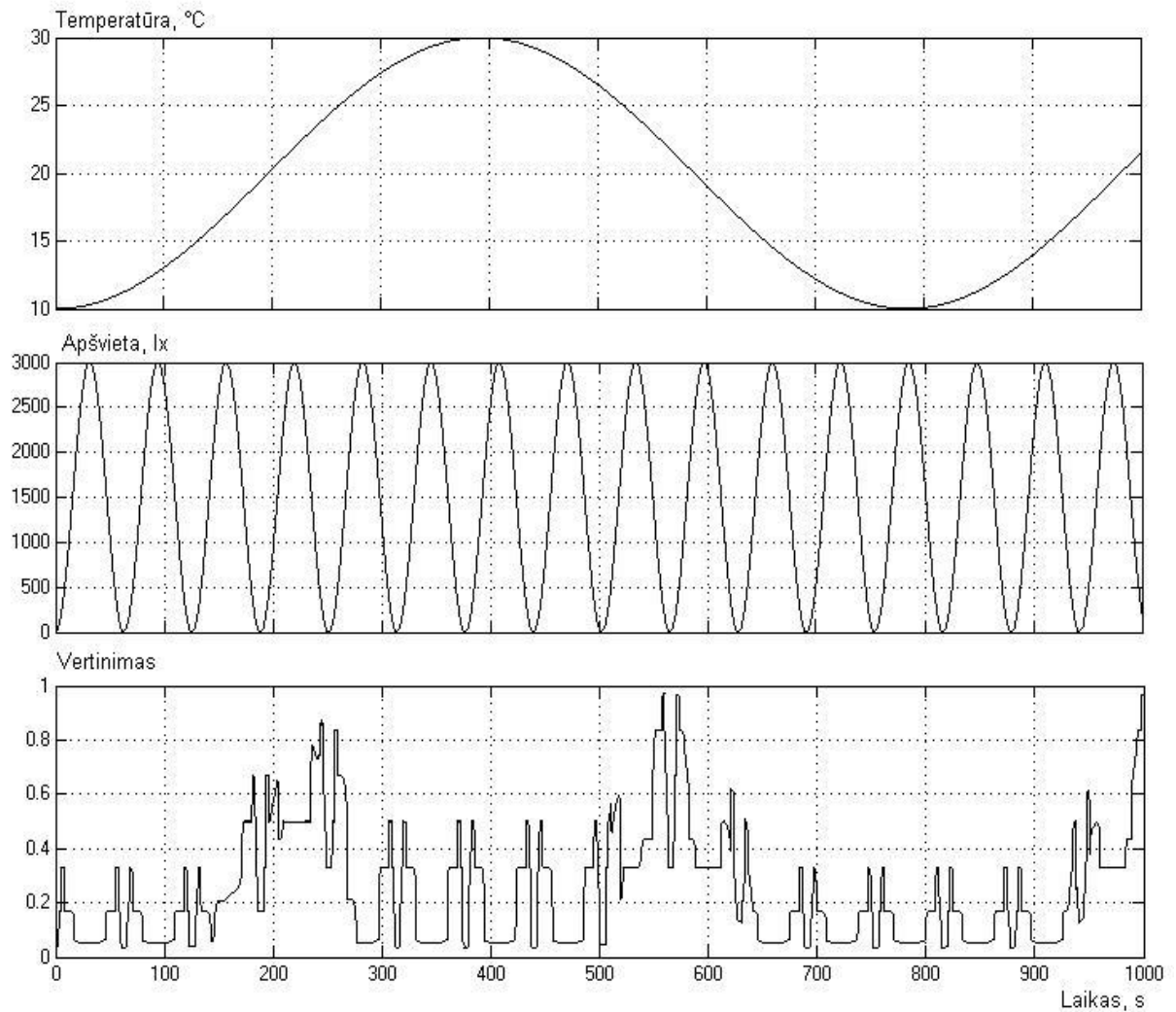


3.28 pav. Taisyklių grafinė interpretacija

Pagal viršuje pateiktas taisykles buvo sukurtas primitivus sistemos valdymo modelis (3.29 paveikslas) su skirtingais įeinamųjų parametrų svyravimais, tam kad būtų patikrintas sistemos komforto vertinimas, esant skirtingoms reikšmėms. Gauti šio modelio vertinimo rezultatai pateikti 3.30 paveiksle.

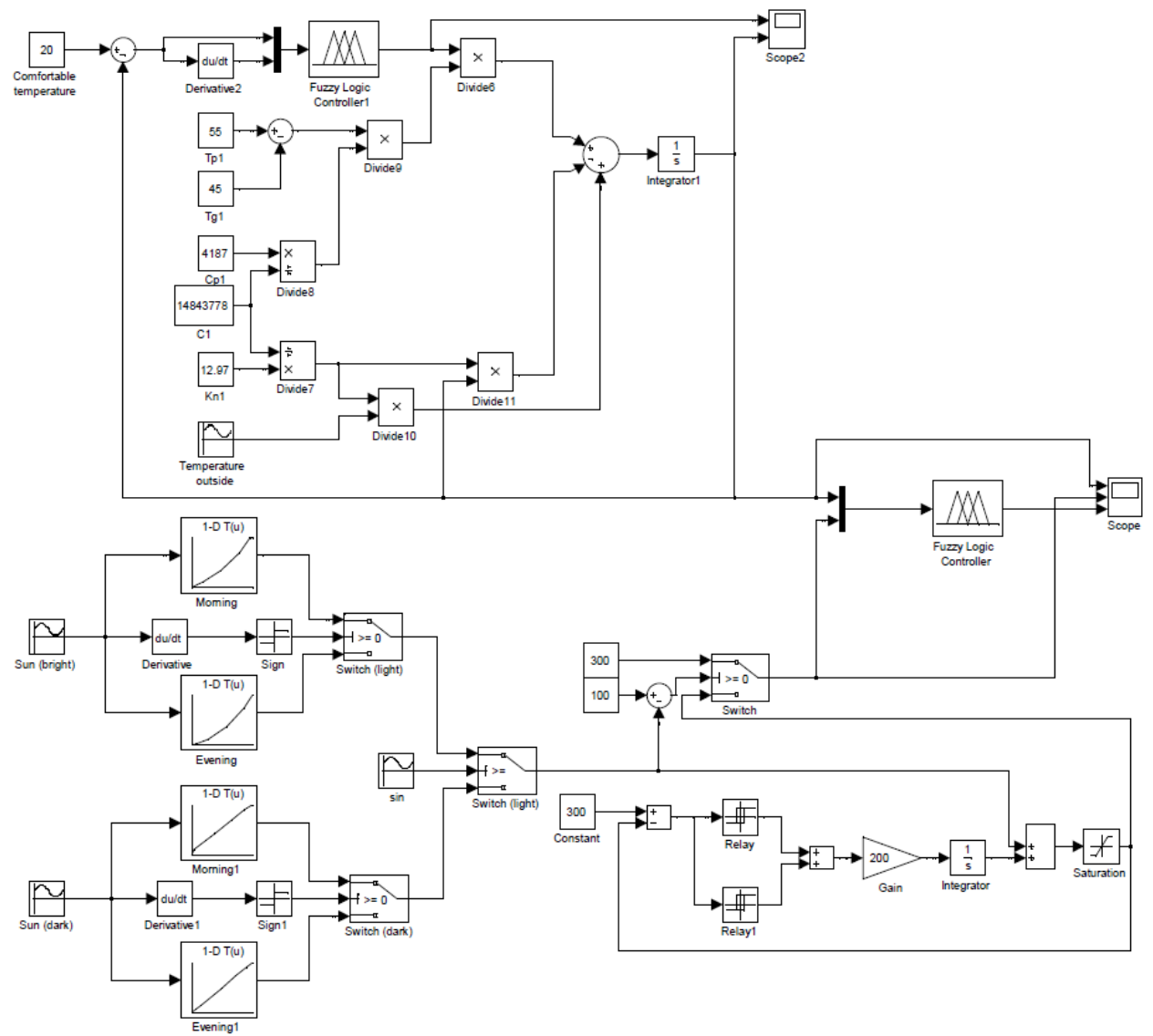


3.29 pav. Supaprastintas sistemos komforto vertinimo modelis

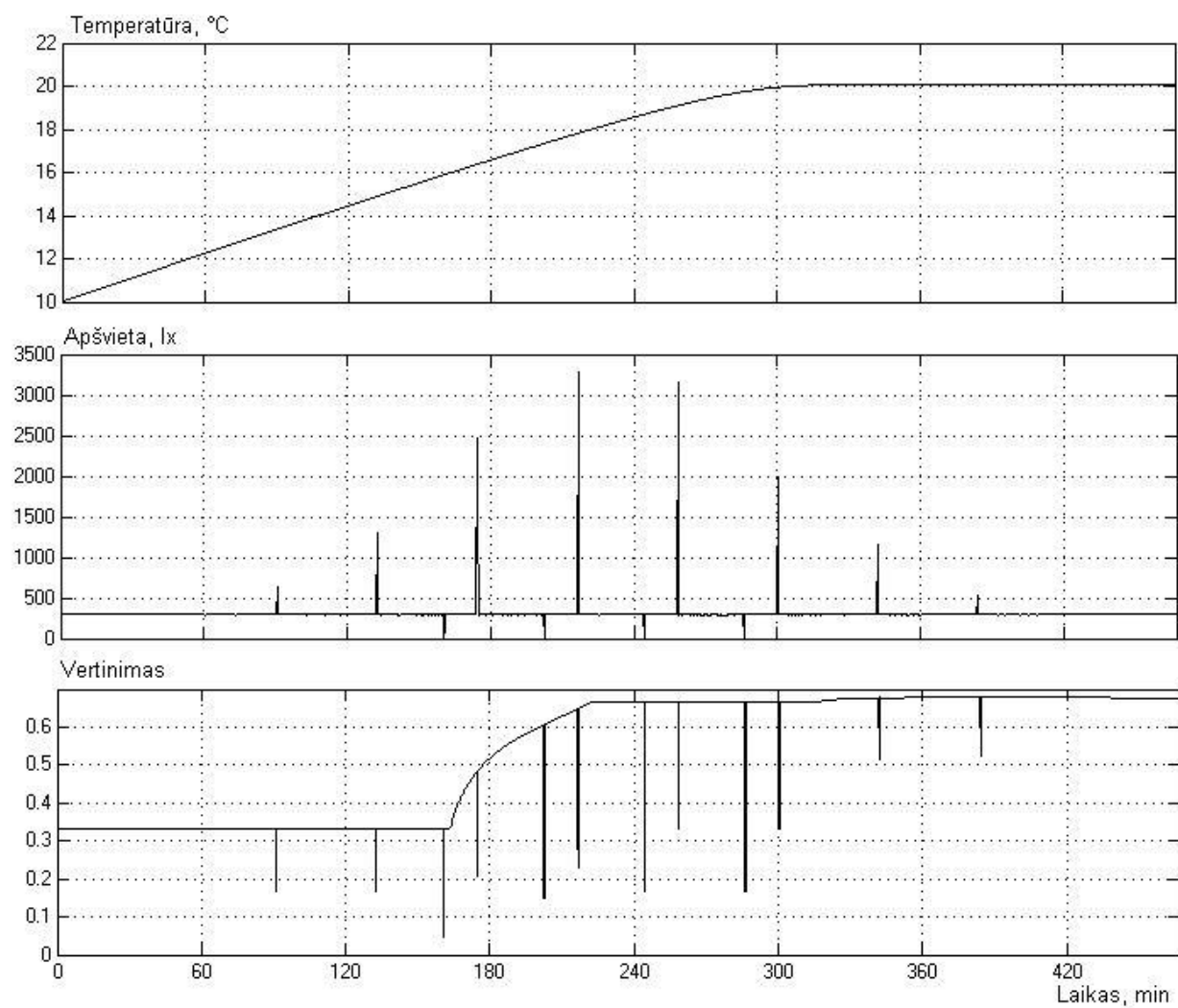


3.30 pav. Supaprastinto modelio mikroklimato vertinimas

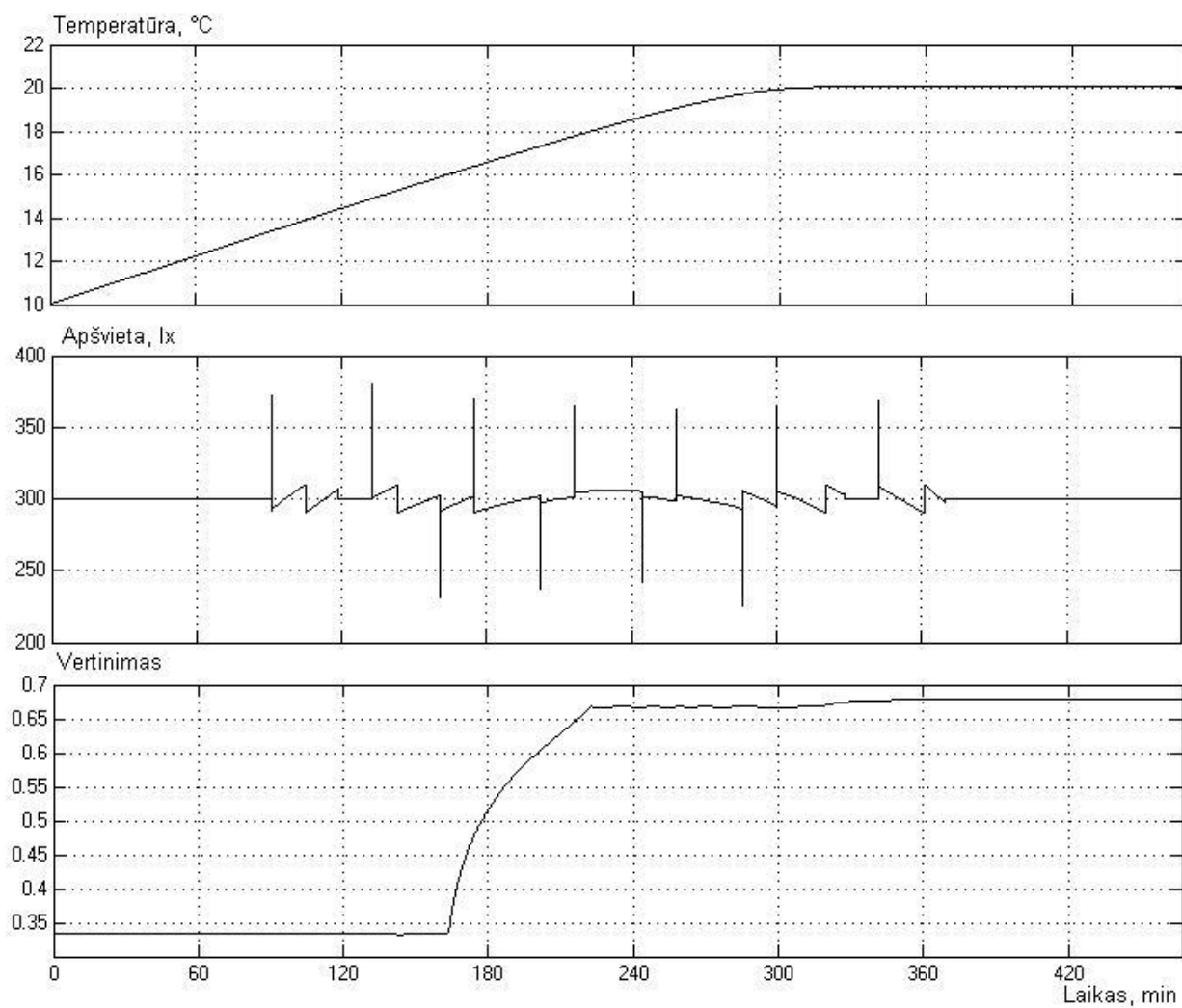
Rezultatai parodė, jog sukurtas neraiškusias objektas tinkamai įvertina mikroklimato sąlygas žmogui, todėl pilnam patalpos mikroklimato valdymo sistemos modeliui, pavaizduotam 3.31 paveiksle, buvo pritaikytos tos pačios mikroklimato vertinimo taisyklės. Rezultatai pateikti 3. – 3.35 paveiksle.



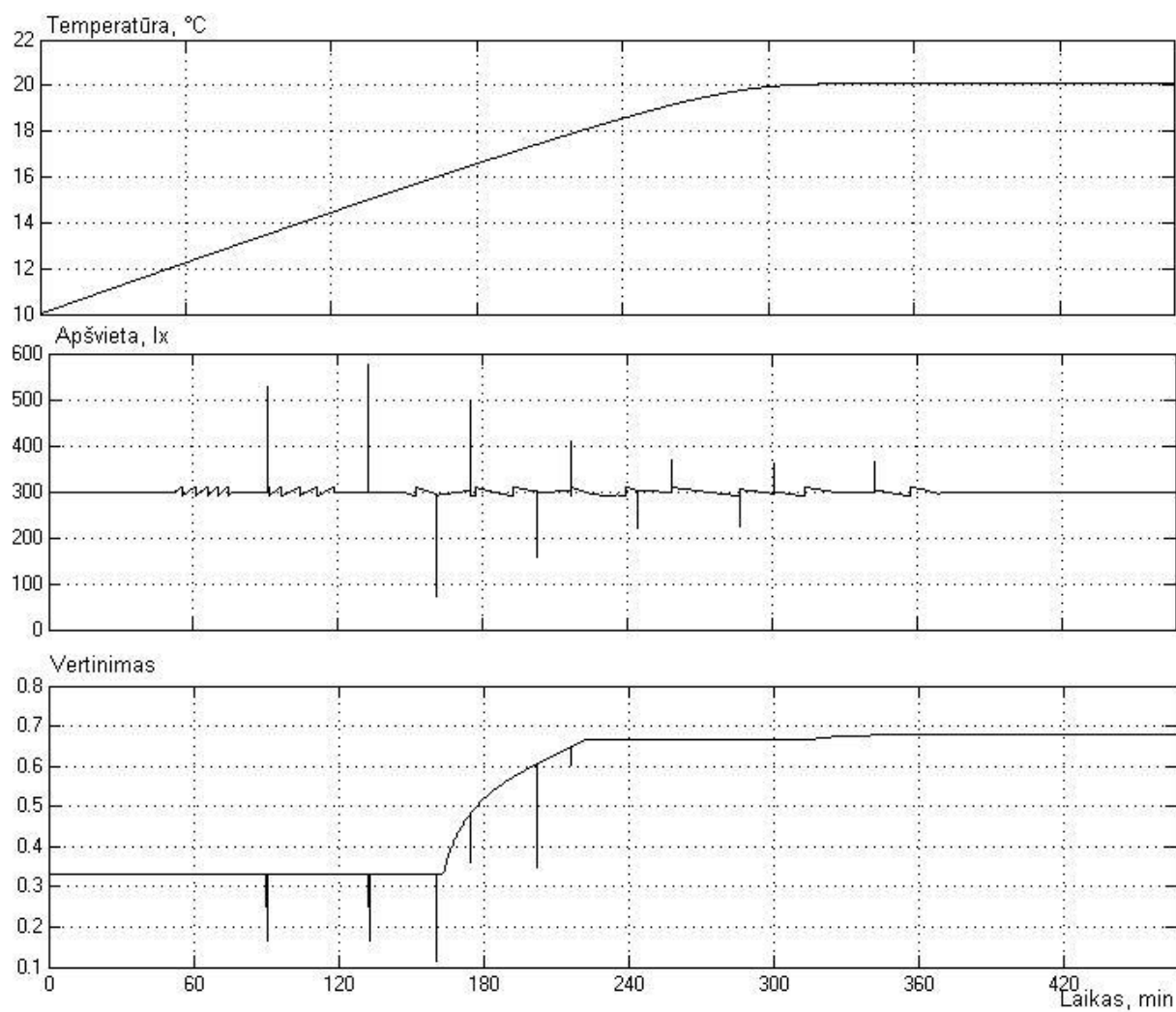
3.31 pav. Sistemos mikroklimato valdymo ir vertinimo schema



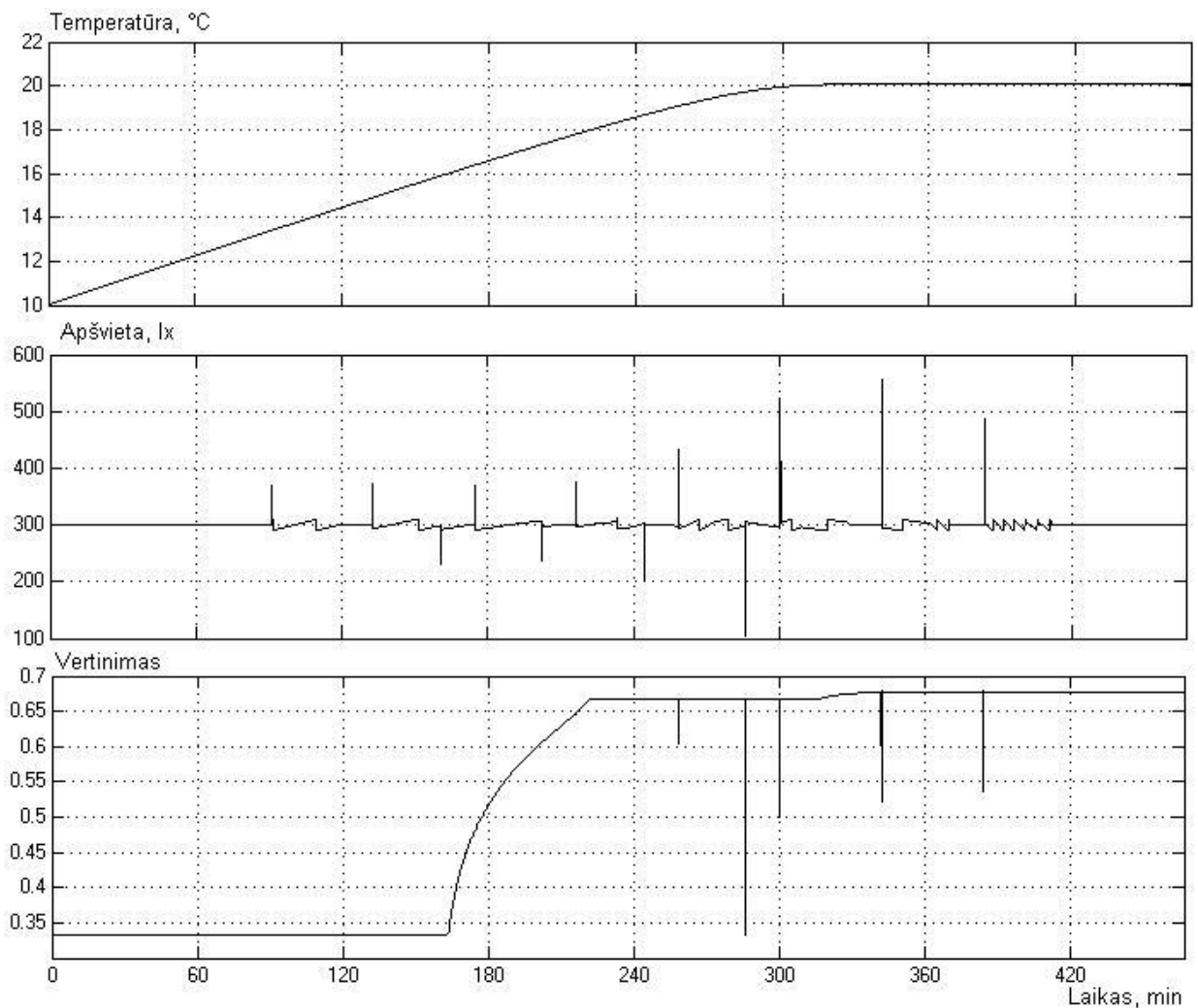
3. pav. Mikroklīmato valdymo sistemos vertinimo grafikas patalpai orientuotai į pietus



3.33 pav. Mikroklimato valdymo sistemos vertinimo grafikas patalpai orientuotai į šiaurę



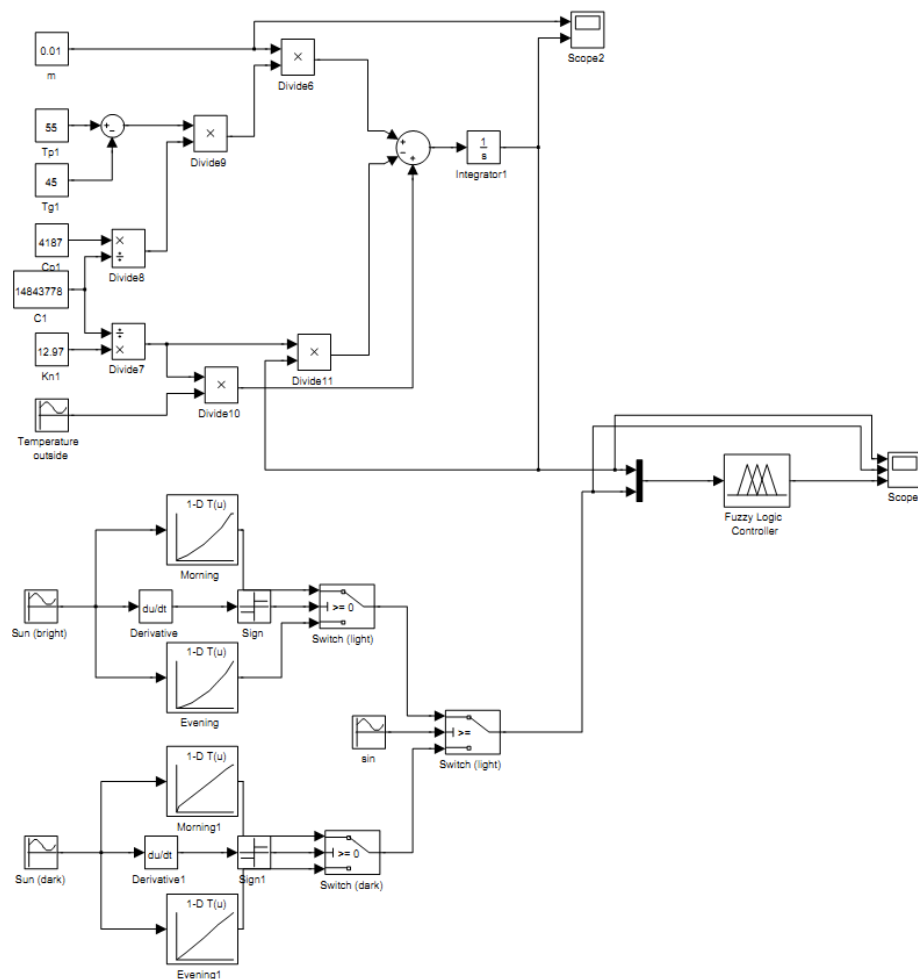
3.34 pav. Mikroklimato valdymo sistemos vertinimo grafikas patalpai orientuotai į rytus



3.35 pav. Mikroklimato valdymo sistemos vertinimo grafikas patalpai orientuotai į vakarus

Siūlomas sistemos valdymo modelis leidžia įvertinti patalpos mikroklimato komfortą, įskaitant neraiškias (fuzzy) sistemos savybes. 3. – 3.35 paveiksluose matyti, jog vertinimas pasiekia aukštesnę nei vidutinę vertę tada, kai temperatūra pakyla iki užduotos – žmogui komfortiškos temperatūros. Vertinimo kreivės šuoliai atsiranda dėl apšvietimo dinamiškumo, tačiau realioje sistemoje to nebus ir vertinimas bus stabilus todėl, kad lauko apšvietimo kitimas yra daugiau inertiškas. Todėl vidaus apšvietos reikšmė bus stabilesnė negu matematinio modelio rezultatuose.

Palyginti žmogaus komforto vertinimą, be klimato reguliavimo, buvo sukurtas sistemos modelis be reguliavimo. Sistemos modelio schema pavaizduota 3.36 paveiksle.

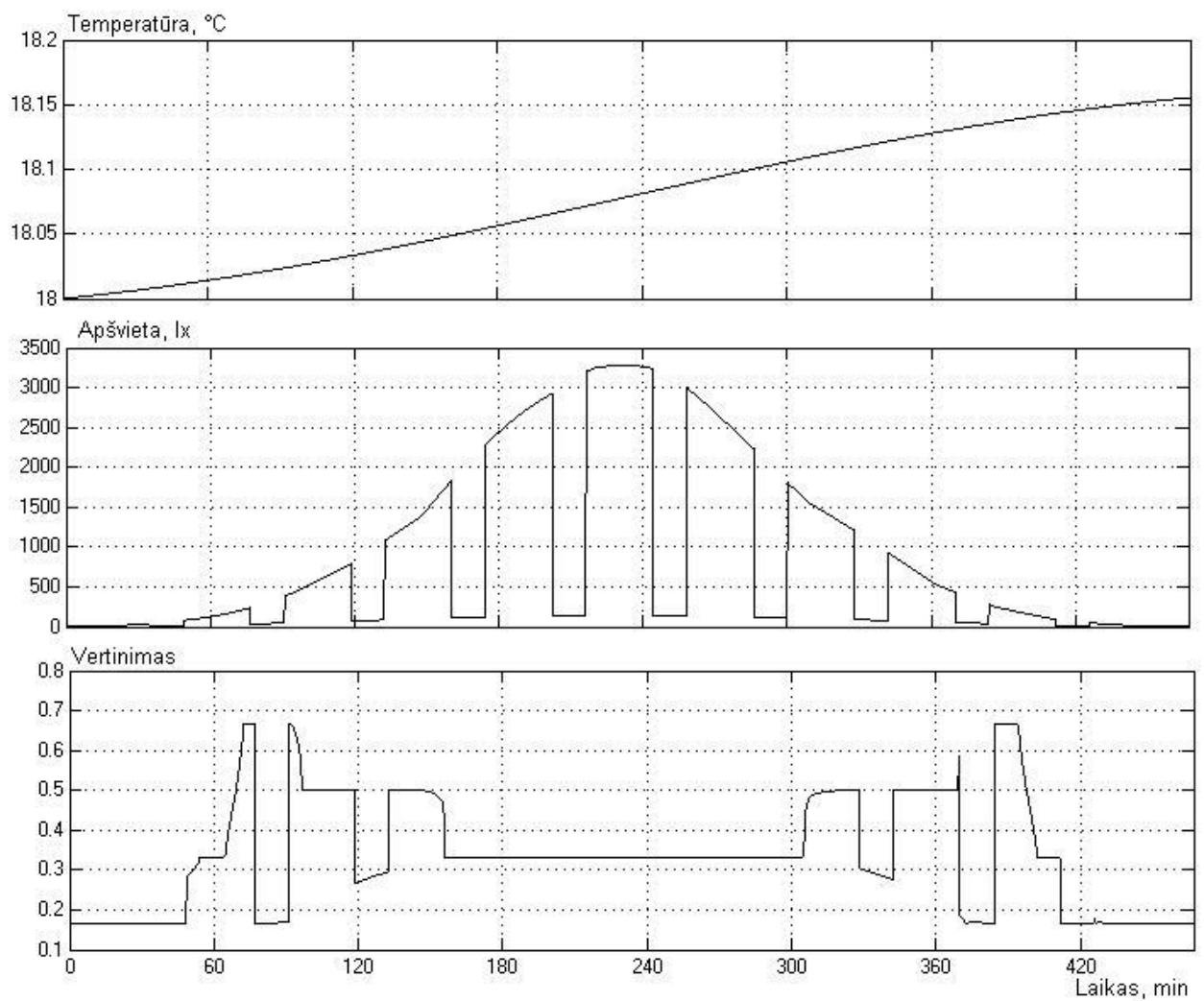


3.36 pav. Mikroklimato vertinimo sistema be reguliavimo

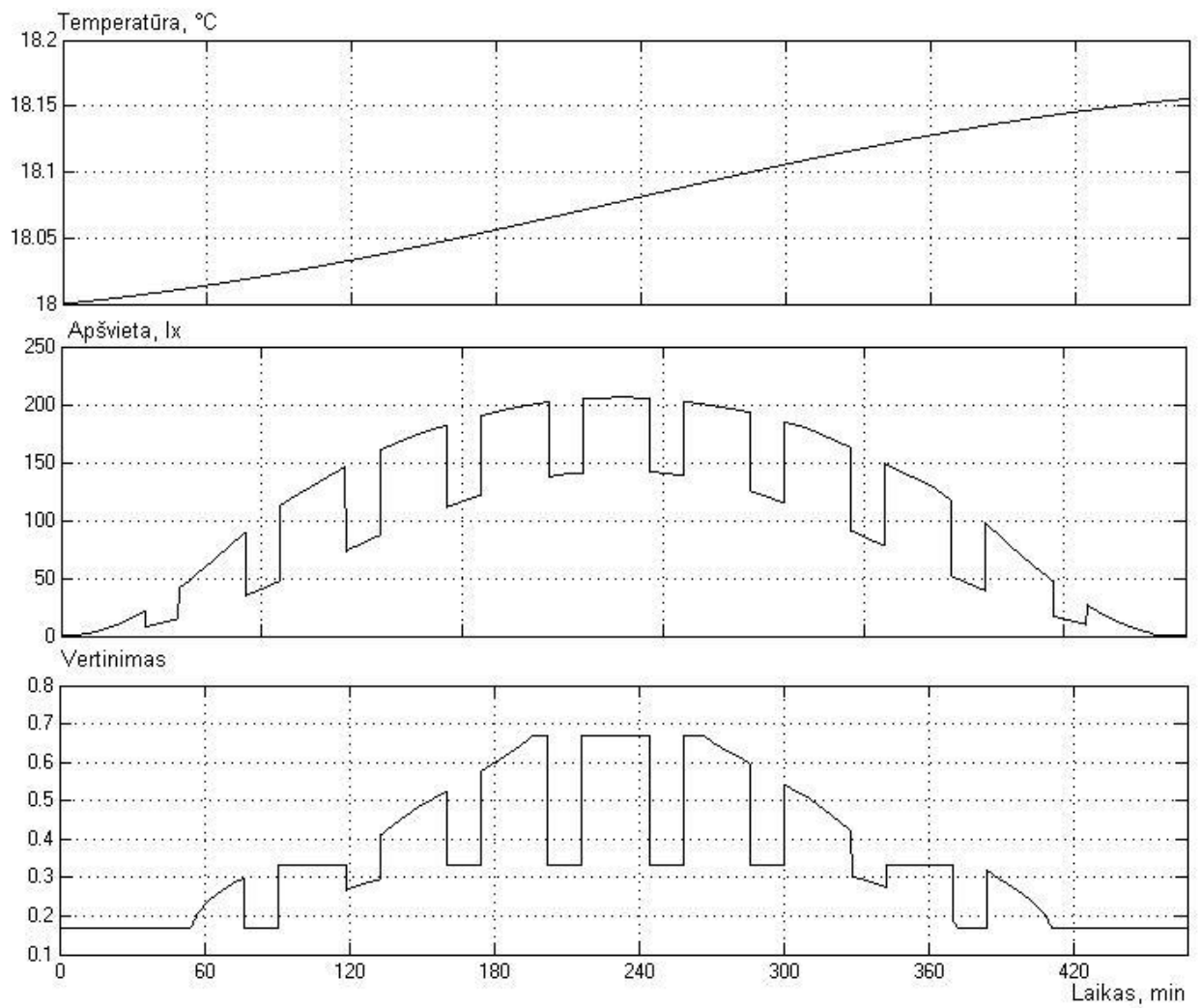
Nereguliuojant parametrų ir paduodant pastovų kiekį šilumnešio į radiatorių 0,01 kg/s, esant pradinei temperatūrai +10°C, temperatūra lėtai kils ir komforto sąlygas pasieks tik per daugiau nei parą laiko. Norint priartinti rezultatus prie tikrovės, pradinė temperatūra buvo parinkta 18°C. Ši temperatūra yra mažiausia, reikalaujama palaikyti pagal higienos normas. Nuolatinis šilumnešio tiekimas į radiatorius yra 0,01 kg/s. Jis buvo parinktas taip, kad palaikyti reikiamą temperatūrą prie pastovios lauko temperatūros.

Esant centralizuoto šildymo inercijai, galima teigti, jog, esant mažiems lauko temperatūros pakitimams, šilumnešio tiekimas į radiatorius nepasikeis, todėl 0,01 kg/s reikšmė buvo pasirinkta kaip pastovi. Gauti šios sistemos modeliavimo rezultatai pateikti 3.37 – 3.40 paveikslė.

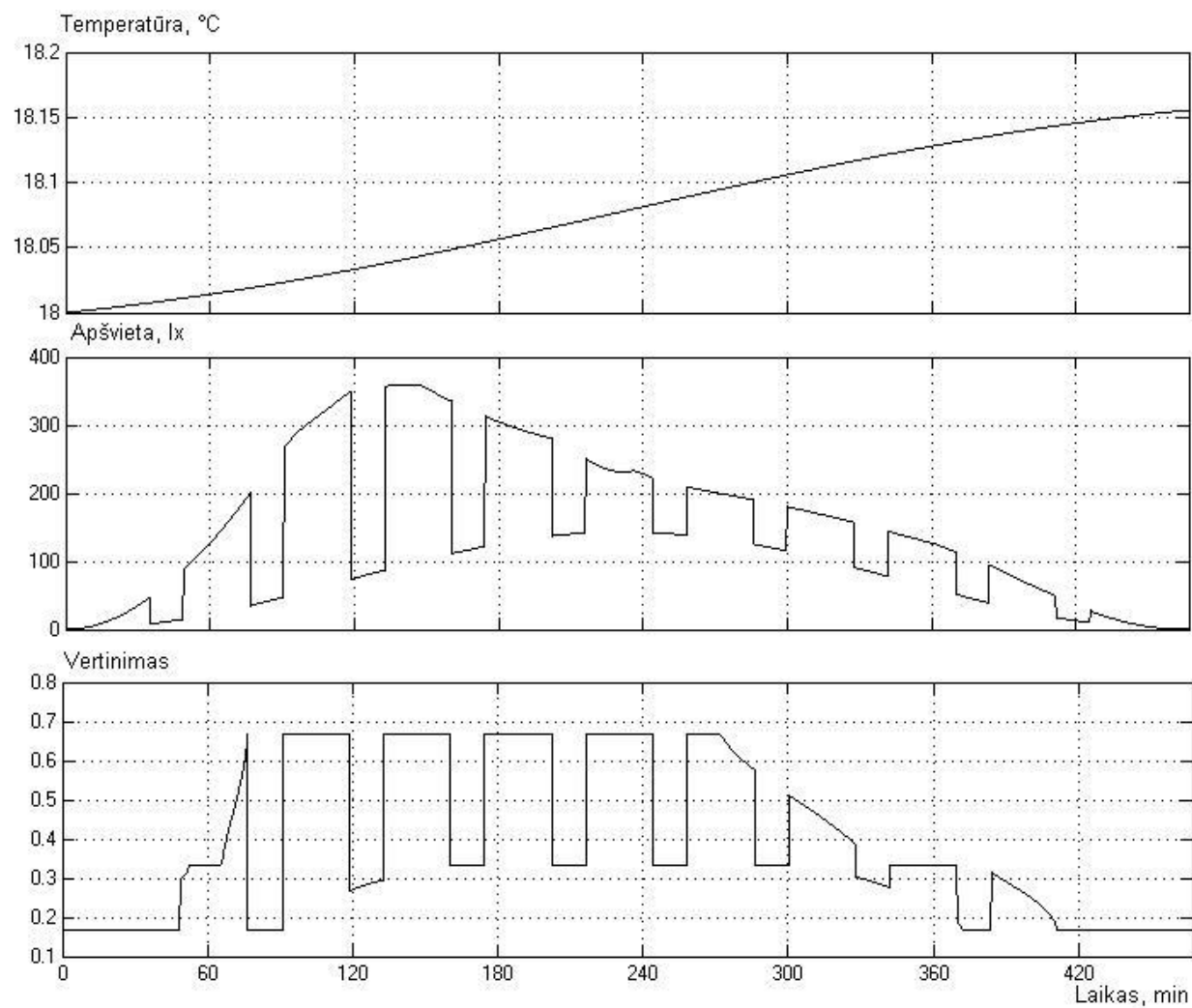
Nustačius pradinę nereguliuojamojo objekto vidaus temperatūrą 18°C buvo nuspręsta tas pačias sąlygas nustatyti ir reguliuojamojoje sistemoje tam, kad galima būtų palyginti reguliuojamos ir nereguliuojamos sistemos naudą. Reguluojamos sistemos su pradine 18 °C vidaus temperatūros reikšme rezultatai pateikti 3.41 – 3.44 paveiksluose.



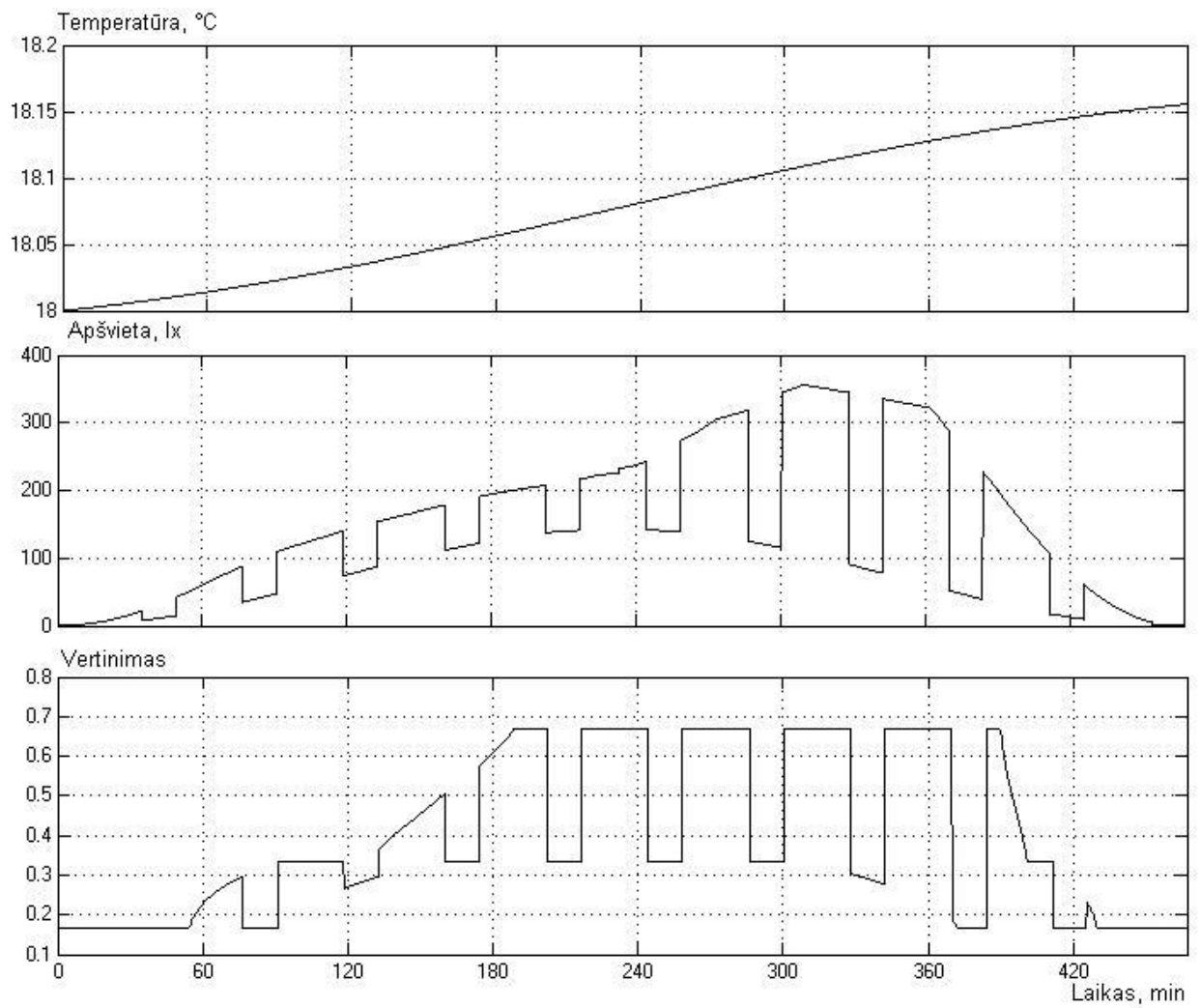
3.37 pav. Komforto vertinimas, neesant reguliavimui, kai patalpa orientuota į pietus



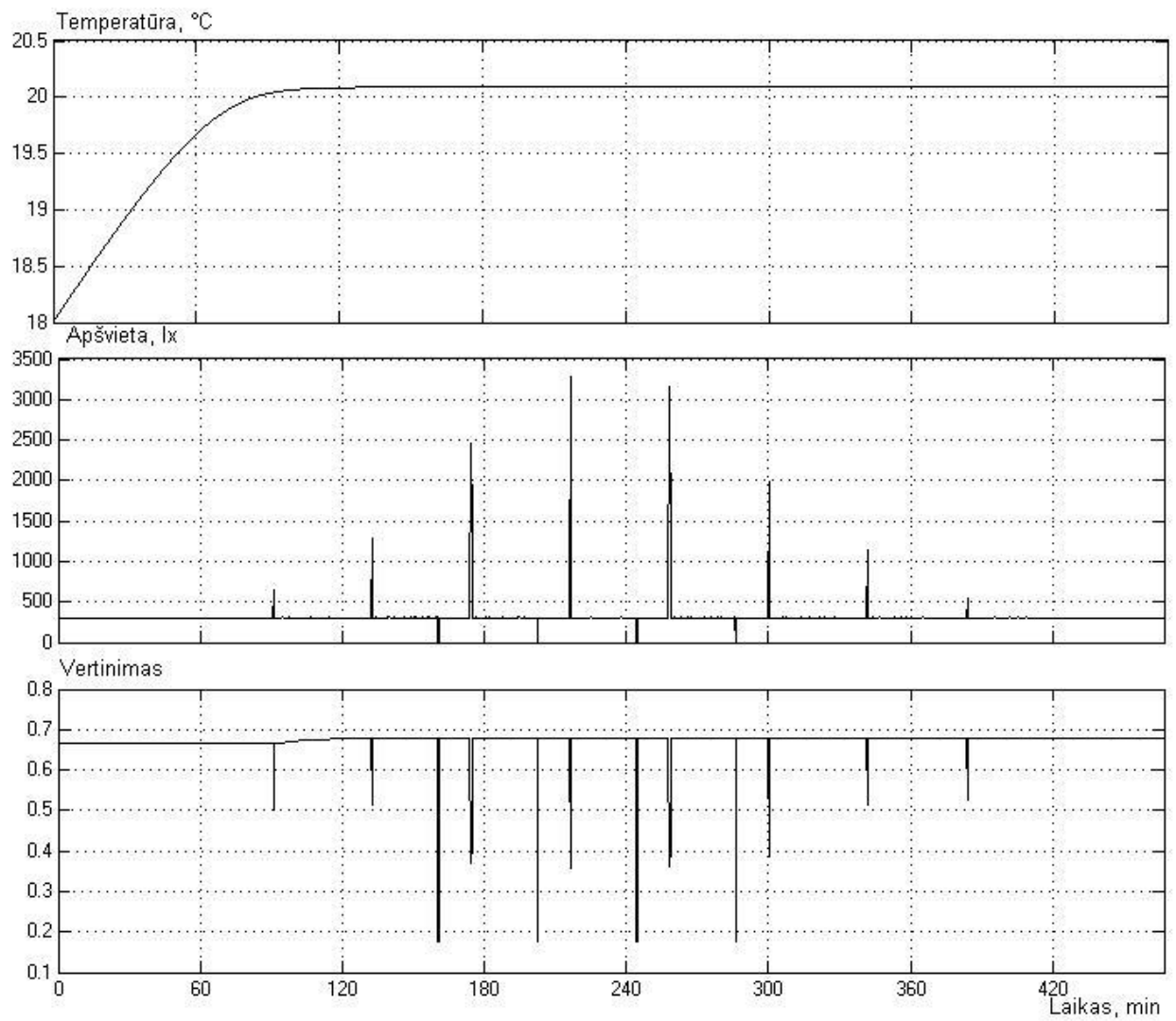
3.38 pav. Komforto vertinimas, neesant reguliavimui, kai patalpa orientuota į šiaurę



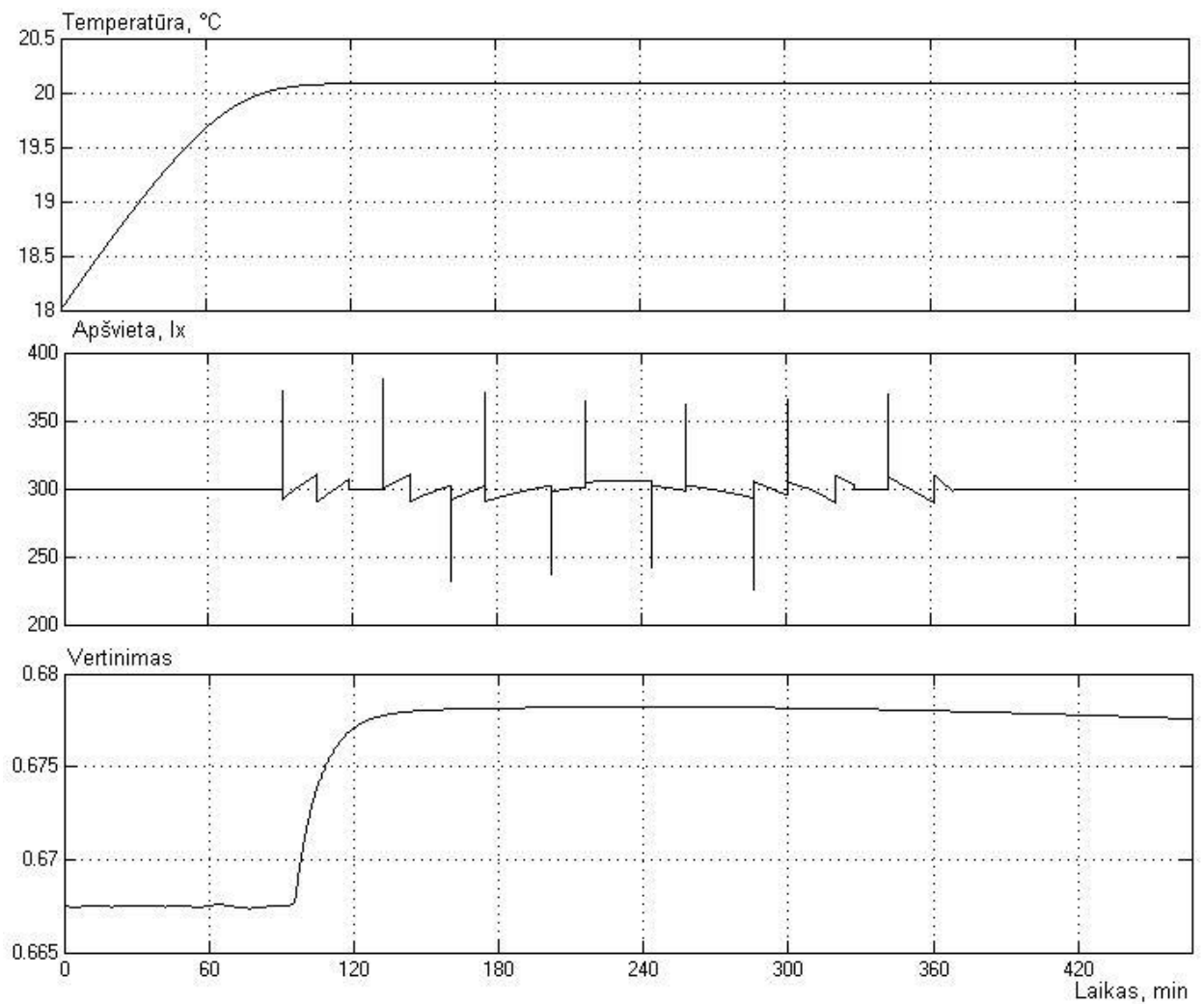
3.39 pav. Komforto vertinimas, neesant reguliavimui, kai patalpa orientuota į rytus



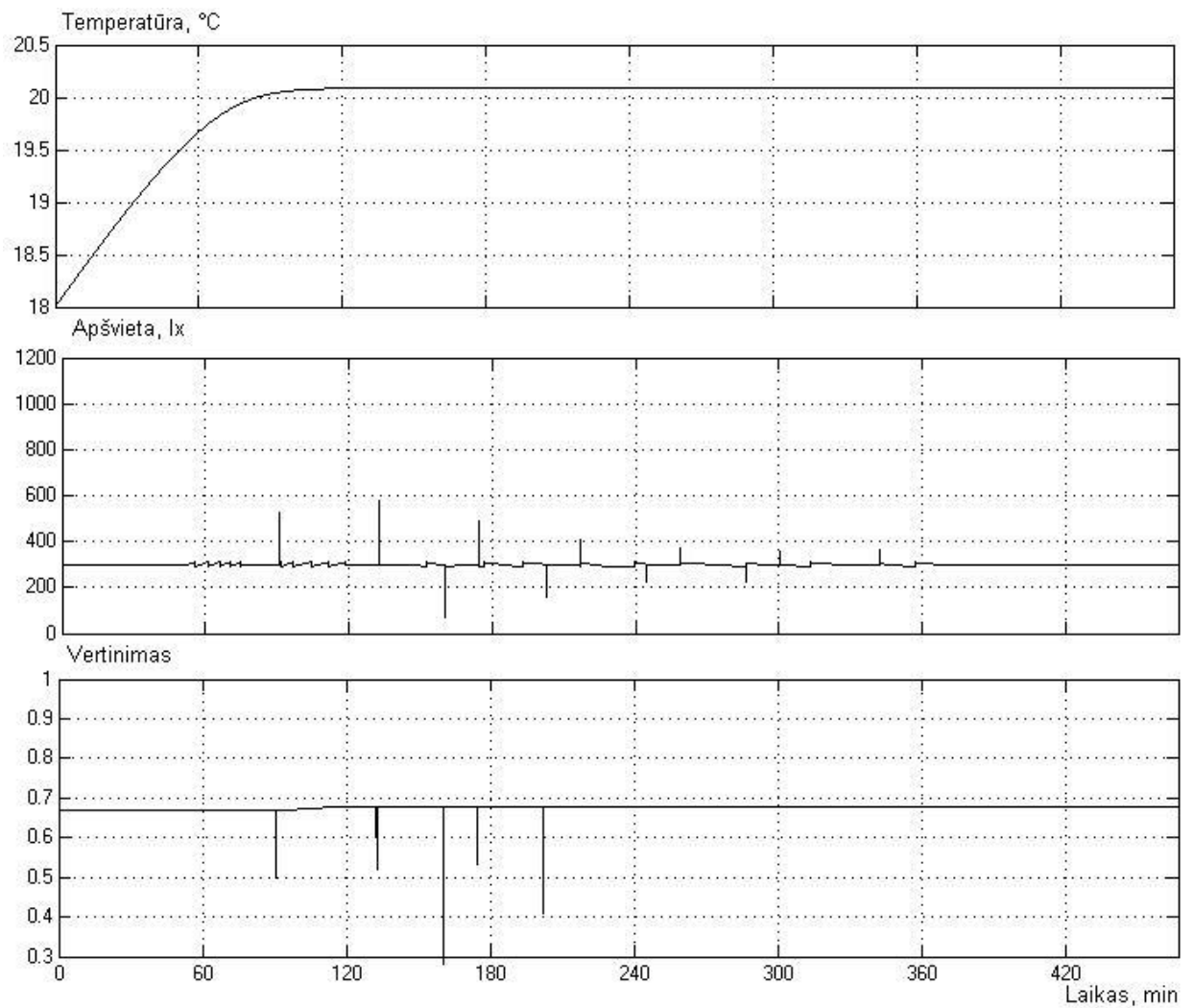
3.40 pav. Komforto vertinimas, neesant reguliavimui, kai patalpa orientuota į vakarus



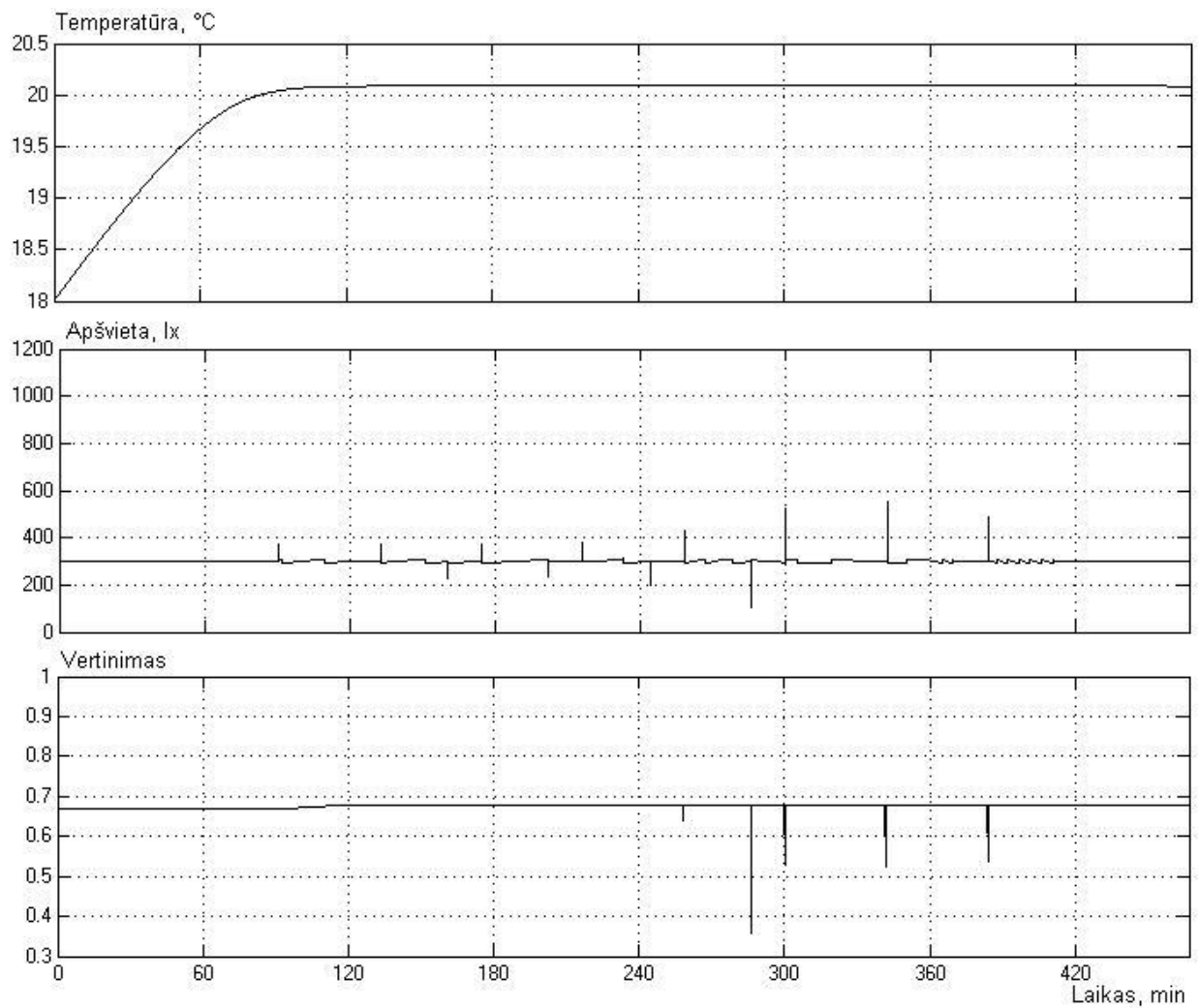
3.41 pav. Mikroklimato valdymo sistemos vertinimo grafikas patalpai, orientuotai į pietus, su pradine 18 °C vidaus temperatūros reikšme



3.42 pav. Mikroklimato valdymo sistemos vertinimo grafikas patalpai, orientuotai į šiaurę, su pradine 18 °C vidaus temperatūros reikšme

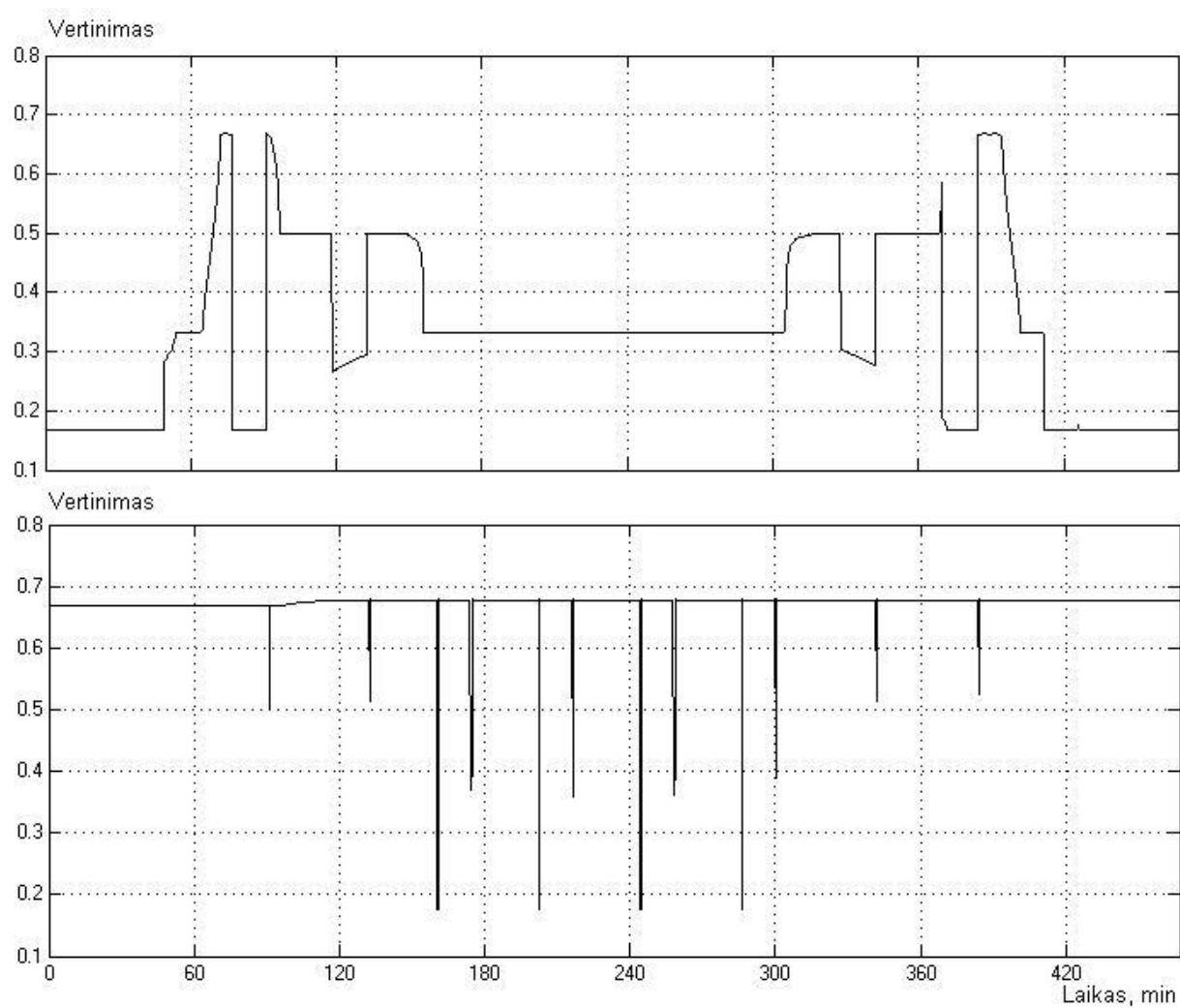


3.43 pav. Mikroklimato valdymo sistemos vertinimo grafikas patalpai, orientuotai į rytus, su pradine 18 °C vidaus temperatūros reikšme

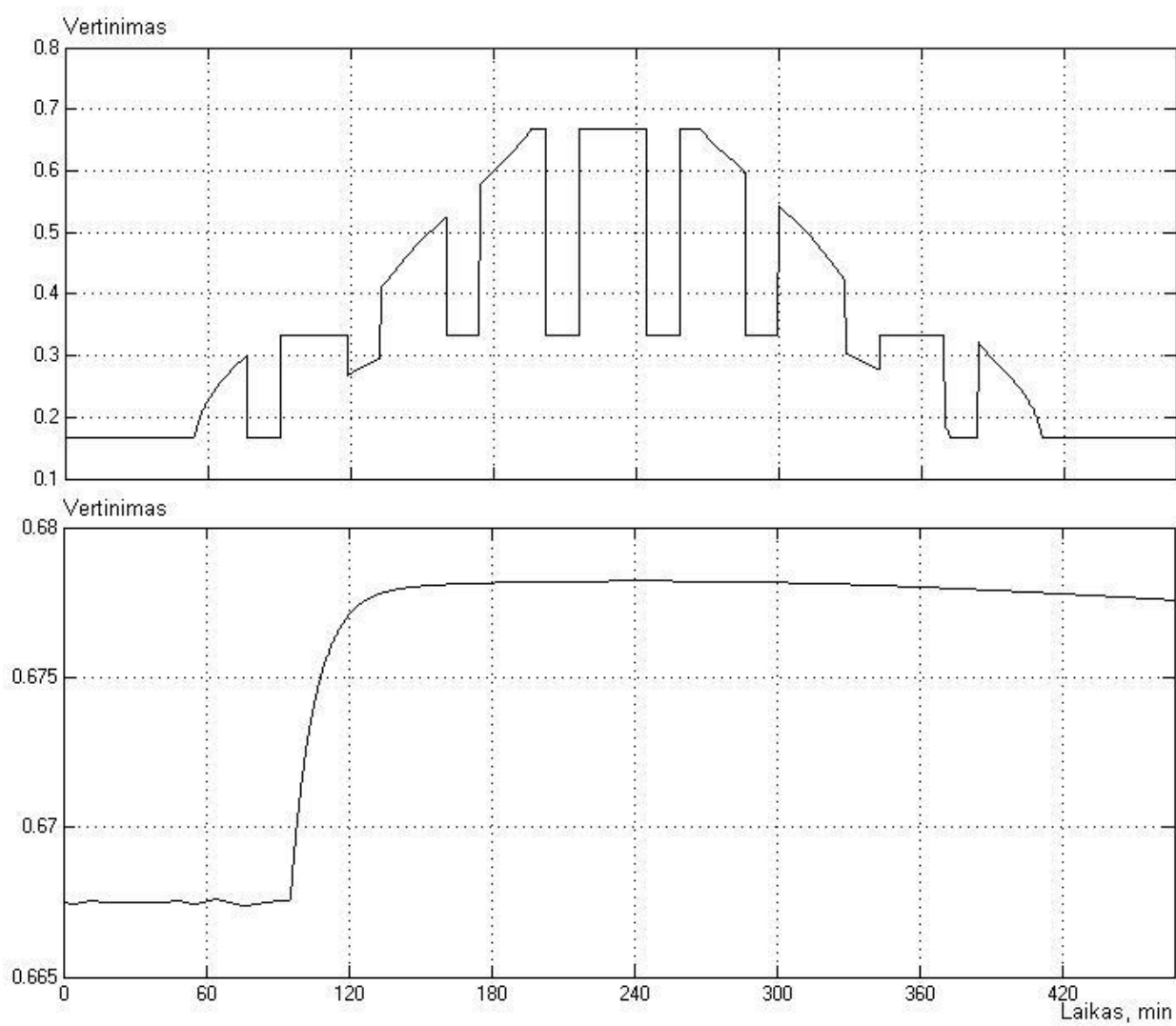


3.44 pav. Mikroklimato valdymo sistemos vertinimo grafikas patalpai, orientuotai į vakarus, su pradine 18 °C vidaus temperatūros reikšme

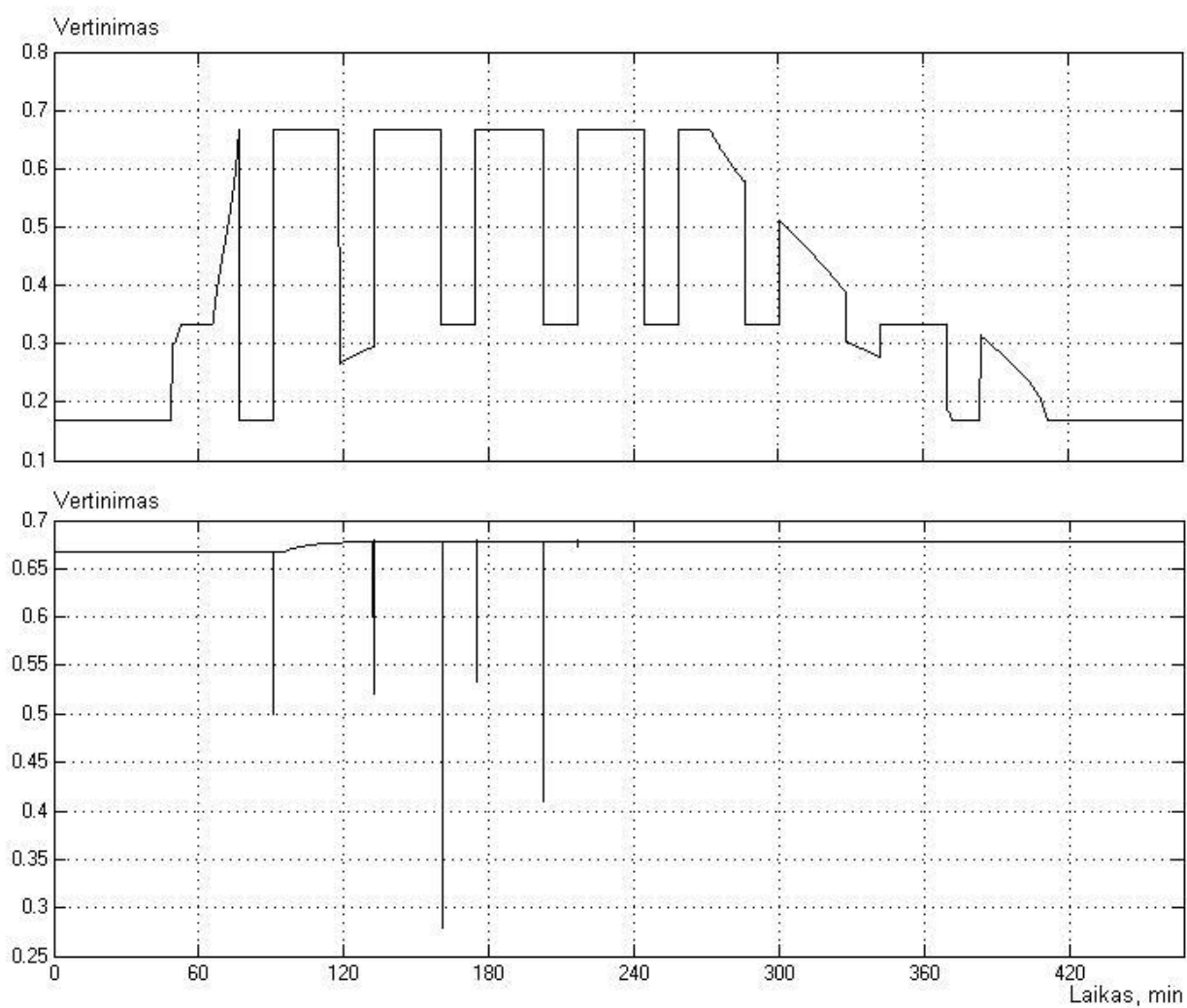
Gavus visus rezultatus buvo palygintas žmogaus vertinimas, esant nereguliuojamo ir reguliuojamo mikroklimato aplinkoje. Gauti rezultatai pateikti 3.45 – 3.48 paveikslė.



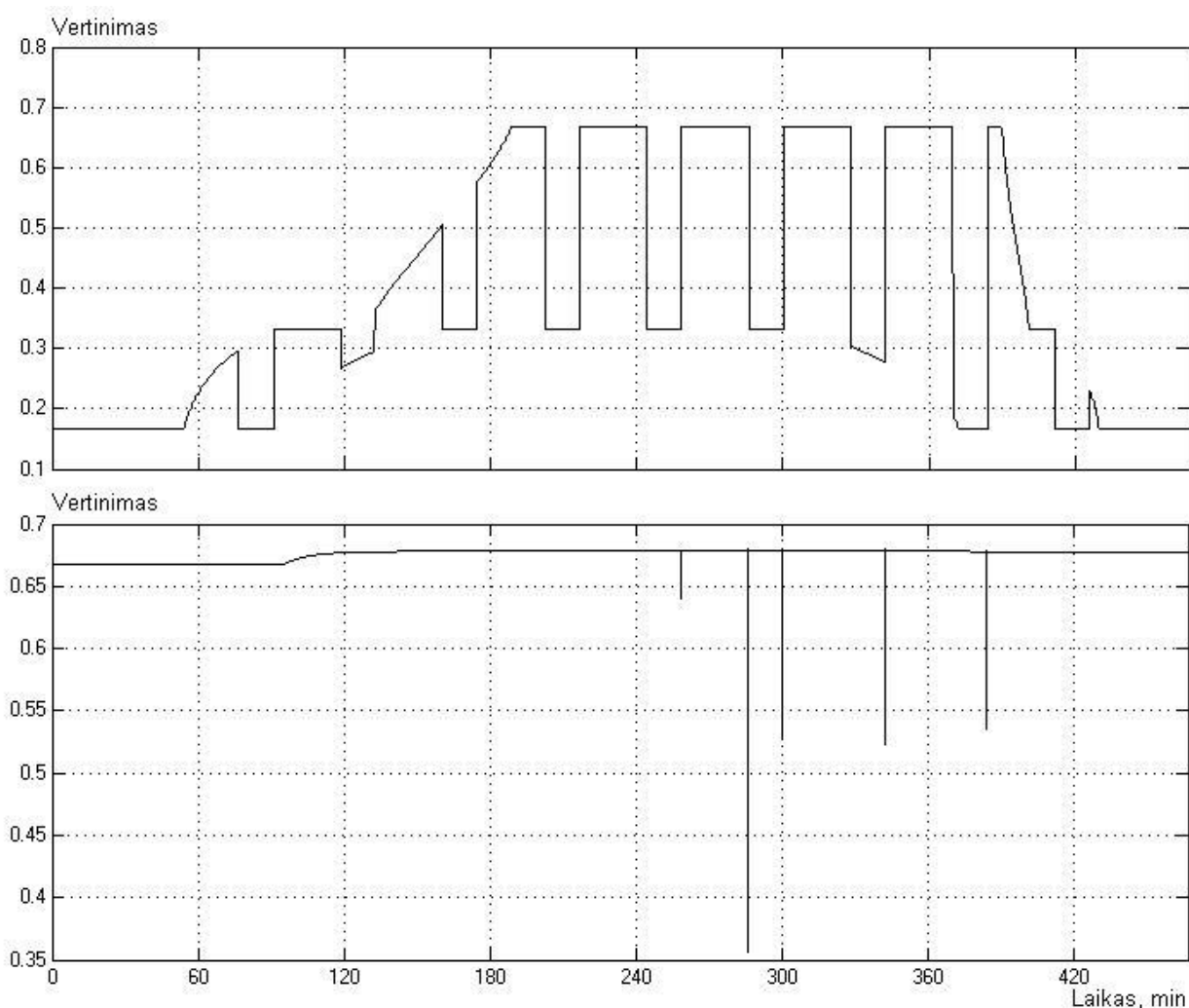
3.45 pav. Komforto vertinimas, nereguliuojamoje sistemoje ir reguliuojamoje, kai patalpa orientuota į pietus



3.46 pav. Komforto vertinimas, nereguliuojamoje sistemoje ir reguliuojamoje, kai patalpa į orientuota šiaurę



3.47 pav. Komforto vertinimas, nereguliuojamoje sistemoje ir reguliuojamoje, kai patalpa į orientuota rytus



3.48 pav. Komforto vertinimas, nereguliuojamoje sistemoje ir reguliuojamoje, kai patalpa į orientuota vakarus

Reguliuojamojoje mikroklimato sistemoje, kurio modeliavimo pradinė temperatūra 10°C , komforto vertinimas aukštesnis nei vidutinis tik tada, kai temperatūra pakyla virš 18°C . Toliau išlieka vidutiškai 0,68. Patalpos orientacija šalių atžvilgiu neturi reikšmės.

Nereguliuojamoje klimato sistemoje vertinimas labai priklauso nuo apšvietos, nes temperatūra nekinta labai dinamiškai ir tenkina minimalius higienos normų reikalavimus. Nereguliuojamoje sistemoje vertinimas labai priklausė nuo patalpos orientacijos. Geriausią vertinimą parodė objekto modelis, kuris orientuotas į šiaurę. Tai susiję su tuo, kad patalpa negauna tiesioginio apšvietimo, o norminius reikalavimus tenkina.

Lyginant reguliuojamą ir nereguliuojamą sistemas galima teigti, jog reguliuojamoje sistemoje mikroklimato vertinimas išlieka stabilus ir yra aukštesnis negu vidutinis – 0,68, nepriklausomai nuo patalpos orientacijos. Tai yra minimali gero vertinimo reikšmė: 0 – 0,33 blogas, 0,34 – 0,66 vidutinis, 0,67 – 1 geras. Tai yra dėl to, jog pasirinkta minimali žmogui

temperatūra, taip sutaupant energijos patalpos šildymui. Padidinus temperatūrą iki 22°C vertinimas būtų aukštesnis – 0,97.

4. IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

1. Sukurtas matematinis gyvenamojo namo kambario modelis, reguliuojantis temperatūrą, apskaičiuoti jo parametrai.
2. Pasirinktiems šilumos reguliatoriams, naudojamiems PI, PD, PID ir „Fuzzy“ valdymo funkcijas, buvo rasti optimalūs parametrai ir sukurtos valdymą aprašančios taisyklės. Ištyrus šiuos reguliatorius „Fuzzy“ reguliatorius parodė geriausias sistemos valdymo charakteristikas. Blogiausias valdymo charakteristikas parodė PID reguliatorius.
3. Sukurtas matematinis gyvenamojo namo kambario modelis, reguliuojantis apšvietą, surinkti duomenys apie lauko apšvietimo pobūdį ir apskaičiuoti modelio parametrai. Nustatyta, jog apsiniaukusią dieną objekto orientacija pasaulio šalių atžvilgiu neturi reikšmės.
4. Sukurtas neraiškasis objektas, nusakantis komforto lygį, vertinant apšvietą ir temperatūrą. Nustatyta, jog be reguliavimo vidutinė komforto reikšmė yra 0,45 – normalus pojūtis (0,34 – 0,66). Reguluojant sistemą komforto vertinimas išlieka pastovus ir nustačius parametrus 20°C ir 300 lx yra lygus 0,68, o tai atitinka minimalias gero vertinimo reikšmes (geras vertinimas – 0,67 – 1), o padidinus temperatūrą iki 22°C komforto vertinimą galima pasiekti iki 0,97.
5. Reguluojant sistemą lyginant s nereguliuojama, komfortą galima padidinti iki 2 kartų, o vertinimą gauti stabilesnį, tačiau apšvietimo reguliavimas neįvertina labai daug psichologinių faktorių. Fizikinių faktorių reikšmės tokios kaip drėgmė, oro švara ir pasikeitimas, triukšmas buvo laikomi kaip idealios ir į jas nebuvo atsižvelgta.
6. Tokias sistemas geriausia būtų naudoti didelio įstiklinimo patalpų be nuolatinės žmogaus veiklos, mikroklimatui reguliuoti, pvz., šiltnamiai, žiemos sodai.

5. LITERATŪRA

1. ALDRICH, F.K., „Smart Homes: Past Present and Future. In R. Harper (Ed.) Inside the smart home“, .London: Springer-Verlag UK, 2003.
2. Stauffer H.B., The Computer Applications Journal Issue, 1993.
3. Roubtsova E., Specifikation of Real-Time System in UML, 2000.
4. Головин Д. 2009. Умный дом“ [žiūrėta: 2012-05-02]. Prieiga per Internetą: <<http://zoom.cnews.ru/publication/item/18660>>.
5. Legrand A., Simon L. 2010. Системы «Умный дом» [žiūrėta: 2012-05-02]. Prieiga per internetą: <<http://ufa.shikremont.ru/gira/giraintellekt.php>>.
6. Elevel. Система «Умный дом» [žiūrėta: 2012-05-02]. Prieiga per internetą: <http://www.elevel.ru/solutions/automation/smart_house/>.
7. Гущенко С. 2011. «Умный дом» [žiūrėta: 2012-05-02]. Prieiga per internetą: <<http://www.iz-dom.ru/home/archive/news550.html>>.
8. Гончарук Е. И., Бардов В. Г., Гаркавий С. И., Яворовский А. П. ir kt.; red. Гончарука Е. И. — К.: Здоров'я, 2006. — 792 с.
9. Motuzienė V., Paulauskaitė S., Valančius K. „Pastato įstiklinimo charakteristikų įtaka šildymo, vėsinimo bei apšvietimo sistemų energijos poreikiams“, Energetika 2010.
10. Lietuvos higienos normos HN 42:2004 "Gyvenamųjų ir viešojo naudojimo pastatų mikroklimatas".
11. Romanas Andriuškevičius „Šilumos pastatams šildyti suvartojimo mažinimo galimybių įvertinimas“.
12. Perednis E., Kavaliauskas A., „Saulės energijos naudojimo šilumai gaminti Lietuvoje tyrimai“, Lietuvos energetikos institutas, 2005.
13. Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija „Aplinkos būklė 2010, tik faktai“, Vilnius 2011.
14. Perednis E., Katinas V., Tumosa A., “Pastatų vėsinimo tyrimai“ Energetika, 2007
15. Mikuckas A., Kazanavičius E., Mikuckienė I., Čeponis J., „Kompiuterizuoto būsto šiluminio balanso modeliavimas naudojant MATLAB“, Informacijos mokslai, 2009.
16. Mikuckas A., Kazanavičius E., Mikuckienė I., Čeponis J., „Kompiuterizuoto namo šildymo valdymo sistema“, Informacijos mokslai, 2005.
17. Ramanauskas J., Bliūdžius R., Stankevičius V. „Langų šiluminės savybės“, monografija, Technologija, Kaunas, 2005
18. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: «Мир» 1976. - 165 с.

19. Гостев В.И. Проектирование нечётких регуляторов для систем автоматического управления. - СПб.: БХВ-Петербург, 2011. - 416 с
20. Прикладные нечеткие системы: Пер с япон. / К. Асаи, Д. Ва-тада, С. Иваи и др.; под редакцией Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно. - М.: Мир, 1993.-368 с.
21. Алиев Р.А., Захарова Э.Г., Ульянов С.В. Нечеткие модели управления динамическими системами // Итоги науки и техники. Сер. Техническая кибернетика. - М.:ВИНИТИ, 1990. - Т.29. - С. 127-201.
22. Алиев Р.А., Захарова Э.Г., Ульянов С.В. Нечеткие регуляторы и интеллектуальные промышленные системы управления // Итоги науки и техники. Сер. Техн. кибернетика.- М.: ВИНТИ АН СССР, 1991, т., С. 233-313.
23. Сироджа И.Б., Соколов А.Ю., Калинин В.В. Иерархические интеллектуальные системы управления с нечеткой логикой // Системный анализ, управление и информационные технологии: Вестник Харьковского государственного политехнического университета. Сборник научных трудов. Вып. 70. Харьков: ХГПУ, 1999. - С. 187-193.
24. Олссон Г., Пиани Дж. Цифровые системы автоматизации и управления - СПб: Невский Диалект, 2001. - 557 с.
25. „Šilumos vartotojo vadovas“. J. Gudzinauskas, V. Lukoševičius, V. Martinaitis, E. Tuomas. Lietuvos šilumos tiekėjų asociacija. 2011.
26. A. Stakliūnas. Statyba ir apšiltinimas. „Radiatoriai „Hendrad“ [žiūrėta 2012 - 04 – 17]. Prieiga per internetą: <http://gilius.lt/straipsniai/plieniniai-radiatoriai--henrad>.
27. Meteorologijos statistika. 2010. [žiūrėta 2012 - 04 – 19]. Prieiga per internetą: <http://orai24.eu/statistika/menesio-temperatura/vilniuje/>.
28. Programinio paketo MATLAB vartotojo vadovas.
29. Карпович Д.С. , Мкртумян А. . Изучение жилого помещения как объекта с нечеткими параметрами. Материалы международной научно-технической конференции «Автоматический контроль и автоматизация производственных процессов». Мн.: БГТУ, 2012 — с.227-230.
30. Programinio paketo DIALux vartotojo vadovas.
31. Zadeh, L. A. Fuzzy sets /. L. A. Zadeh. Information and Control, Vol. 8, 1965, pp. 338–353.
32. Weber – Fechner dėsnis. [Internetinis šaltinis] http://ru.wikipedia.org/wiki/Закон_Вебера—Фехнера. Žiūrėta 2012 – 04 – 02.
33. Блюмин С.Л., Шуйкова И.А., Блюмин П.В. Нечеткая логика: алгебраические основы и приложения . – Липецк: ЛЭГИ, 2002. – 111 с.

34. Архангельский В.И., Богаенко И.Н., Грабовский Г.Г., Рюмшин Н.А. Нейронные сети в системах автоматизации . - К.: Техника, 1999.-364 с.
35. Терехов В.А., Ефимов Д.В., Тюкин И.Ю., Антонов В.Н. Нейросетевые системы управления. - СПб: Издательство С.-Петербургского университета, 1999. - 265 с.

6. PRIEDAI

6.1. Priedas A. Apšvietos duomenys

6.1 – 6.12 lentelėse pateikti išorės apšvietos ir vidaus apšvietos, kai objektas orientuotas į pietus, duomenys idealiai giedrą dieną ir maksimaliai apsiniaukusią dieną.

6.1 lentelė. Sausio mėnesio lauko ir vidaus apšvietos duomenys

Sausis				
Išorės apšvieta, lx			Vidaus apšvieta, lx	
Laikas	Giedrą dieną	Apsiniaukusią dieną	Giedrą dieną	Apsiniaukusią dieną
9.00	1145	673	76	18
10.00	4176	2790	439	76
11.00	8146	4308	1389	117
12.00	11258	5183	2919	140
13.00	11034	5125	3060	141
14.00	8709	4480	1551	122
15.00	4747	3063	528	83
16.00	1568	1029	107	28

6.2 lentelė. Vasario mėnesio lauko ir vidaus apšvietos duomenys

Vasaris				
Išorės apšvieta, lx			Vidaus apšvieta, lx	
Laikas	Giedrą dieną	Apsiniaukusią dieną	Giedrą dieną	Apsiniaukusią dieną
8.00	757	343	67	23
9.00	4744	3062	458	94
10.00	11804	52	1460	152
11.00	19098	6968	2930	194
12.00	23697	7888	4159	216
13.00	24363	8020	4251	217
14.00	20985	7355	3094	197
15.00	14366	5938	1601	158
16.00	6791	3865	536	101
17.00	1870	1278	88	31

6.3 lentelė. Kovo mėnesio lauko ir vidaus apšvietos duomenys

Kovas				
Išorės apšvieta, lx			Vidaus apšvieta, lx	
Laikas	Giedrą dieną	Apsiniaukusią dieną	Giedrą dieną	Apsiniaukusią dieną
7.00	1425	909	71	33
8.00	7083	3965	402	114
9.00	17916	6722	1283	185
10.00	29534	8992	2700	243
11.00	38671	10621	4221	284
12.00	437	11497	5301	305
13.00	44096	11561	5261	305
14.00	39744	10808	4135	283
15.00	31164	9290	2602	240
16.00	19777	7110	1212	181
17.00	8499	4417	366	109
18.00	2015	1394	62	28

6.4 lentelė. Balandžio mėnesio lauko ir vidaus apšvietos duomenys

Balandis				
Išorės apšvieta, lx			Vidaus apšvieta, lx	
Laikas	Giedrą dieną	Apsiniaukusią dieną	Giedrą dieną	Apsiniaukusią dieną
6.00	2628	1862	91	56
7.00	10440	4968	243	138
8.00	24006	7952	794	216
9.00	38617	10610	1921	285
10.00	51139	12762	3361	340
11.00	60000	14261	4614	377
12.00	64417	15005	5385	395
13.00	64058	14942	5133	391
14.00	58908	14078	4200	366
15.00	49428	12471	2807	1
16.00	36426	10230	1446	261
17.00	21749	7509	527	188
18.00	8751	4493	173	107
19.00	1995	1387	47	25

6.5 lentelė. Gegužės mėnesio lauko ir vidaus apšvietos duomenys

Gegužė				
Išorės apšvieta, lx			Vidaus apšvieta, lx	
Laikas	Giedrą dieną	Apsiniaukusią dieną	Giedrą dieną	Apsiniaukusią dieną
5.00	2648	1876	82	53
6.00	9768	4784	182	130
7.00	23063	7765	299	209
8.00	38643	10618	828	284
9.00	53399	13148	1840	349
10.00	65471	15182	3087	401
11.00	73737	16581	4148	436
12.00	77691	17251	4723	452
13.00	77065	17145	4598	447
14.00	71912	16271	3665	422
15.00	62540	14688	2495	378
16.00	49618	12505	1270	319
17.00	34394	9870	449	248
18.00	19064	6962	240	171
19.00	7126	3980	133	92
20.00	1686	1127	35	17

6.6 lentelė. Birželio mėnesio lauko ir vidaus apšvietos duomenys

Birželis				
Išorės apšvieta, lx			Vidaus apšvieta, lx	
Laikas	Giedrą dieną	Apsiniaukusią dieną	Giedrą dieną	Apsiniaukusią dieną
4.00	1037	582	33	17
5.00	4861	3114	120	84
6.00	14296	5922	210	159
7.00	28572	8815	313	235
8.00	44308	11596	629	308
9.00	58894	14075	1570	373
10.00	70809	16084	2687	424
11.00	79085	17485	3606	459
12.00	803	18184	4279	476
13.00	82896	181	4202	472
14.00	78178	17333	3371	449
15.00	69372	15841	2252	408
16.00	57013	13759	1254	351
17.00	42159	11227	400	283
18.00	26467	8419	274	209
19.00	12625	5526	177	1
20.00	4087	2745	89	59

6.7 lentelė. Liepos mėnesio lauko ir vidaus apšvietos duomenys

Liepa				
Išorės apšvieta, lx			Vidaus apšvieta, lx	
Laikas	Giedrą dieną	Apsiniaukusią dieną	Giedrą dieną	Apsiniaukusią dieną
5.00	3399	2366	96	65
6.00	11290	5190	189	140
7.00	24878	8118	295	218
8.00	40576	10951	613	292
9.00	55443	13493	1551	358
10.00	67795	15574	2712	411
11.00	76508	17050	3780	448
12.00	81084	17822	4365	467
13.00	81162	17836	4330	465
14.00	76754	17092	3655	443
15.00	68182	15640	2531	403
16.00	55952	13580	13	347
17.00	41147	11051	475	279
18.00	25448	8226	275	204
19.00	11710	5298	172	126
20.00	3571	2466	80	52

6.8 lentelė. Rugsjūčio mėnesio lauko ir vidaus apšvietos duomenys

Rugsjūtis				
Išorės apšvieta, lx			Vidaus apšvieta, lx	
Laikas	Giedrą dieną	Apsiniaukusią dieną	Giedrą dieną	Apsiniaukusią dieną
6.00	4716	3048	129	86
7.00	15074	6102	253	166
8.00	29854	9051	733	244
9.00	44879	11696	1804	312
10.00	57590	13856	3106	368
11.00	66665	15383	4381	406
12.00	71348	16175	5005	425
13.00	71351	16176	4934	423
14.00	66687	15387	4108	399
15.00	57624	13862	2813	357
16.00	44927	11704	1537	299
17.00	29902	9061	600	228
18.00	15126	6112	225	149
19.00	4736	3059	105	69

6.9 lentelė. Rugsėjo mėnesio lauko ir vidaus apšvietos duomenys

Rugsėjis				
Išorės apšvieta, lx			Vidaus apšvieta, lx	
Laikas	Giedrą dieną	Apsiniaukusią dieną	Giedrą dieną	Apsiniaukusią dieną
7.00	5402	3344	205	96
8.00	16181	6347	761	175
9.00	29614	9006	1881	244
10.00	41651	11140	3350	298
11.00	50199	12604	4680	335
12.00	54277	197	5398	351
13.00	53547	13173	5145	345
14.00	48054	12239	4033	318
15.00	387	10560	2541	272
16.00	25579	8250	1242	210
17.00	12382	5467	408	135
18.00	3454	2399	97	53

6.10 lentelė. Spalio mėnesio lauko ir vidaus apšvietos duomenys

Spalis				
Išorės apšvieta, lx			Vidaus apšvieta, lx	
Laikas	Giedrą dieną	Apsiniaukusią dieną	Giedrą dieną	Apsiniaukusią dieną
7.00	745	333	52	19
8.00	5215	68	390	96
9.00	13903	5830	1297	162
10.00	23475	7846	2794	214
11.00	30544	9177	4274	247
12.00	33631	9734	5025	259
13.00	205	9478	4466	250
14.00	26492	8426	3043	220
15.00	17585	6651	1494	171
16.00	8029	4273	492	107
17.00	2090	1454	79	

6.11 lentelė. Lapkričio mėnesio lauko ir vidaus apšvietos duomenys

Lapkritis				
Išorės apšvieta, lx			Vidaus apšvieta, lx	
Laikas	Giedrą dieną	Apsiniaukusią dieną	Giedrą dieną	Apsiniaukusią dieną
9.00	3761	2573	395	78
10.00	8764	4496	1271	127
11.00	13606	5762	2544	159
12.00	15898	6283	3347	170
13.00	14742	6024	2685	161
14.00	10575	5004	1408	1
15.00	5270	90	472	85
16.00	1533	1001	78	23

6.12 lentelė. Gruodžio mėnesio lauko ir vidaus apšvietos duomenys

Gruodis				
Išorės apšvieta, lx			Vidaus apšvieta, lx	
Laikas	Giedrą dieną	Apsiniaukusią dieną	Giedrą dieną	Apsiniaukusią dieną
9.00	1009	558	99	26
10.00	3664	2519	462	76
11.00	6781	3863	1209	110
12.00	8766	4497	1877	125
13.00	8372	4379	1588	119
14.00	58	3516	782	95
15.00	2778	1967	219	52

6.13 – 6.18 lentelėse pateikti sausio mėnesio patalpos apšvietos duomenys, palaipsniui uždariant žaliuzes, keičiant patalpos orientaciją pasaulio šalių atžvilgiu (Vakarai, Pietūs, Rytai, Šiaurė) ir saulės apšvietos reikšmės idealiai giedros dienos (giedr.) ir maksimaliai apsiniaukusios dienos (apsin.).

6.13 lentelė. Vidaus apšvietos duomenys, kai 100% atidarytos žaliuzės

Laikas		Vakarai giedr.	Pietūs giedr.	Rytai giedr.	Šiaurė giedr.	Vakarai apsin.	Pietūs apsin.	Rytai apsin.	Šiaurė apsin.
8	51	25	46	54	25	8.48	8.50	8.48	8.50
8	52	27	49	57	26	9.58	9.61	9.58	9.61
8	53	28	53	60	28	11	11	11	11
8	54	30	56	64	29	12	12	12	12
8	55	31	59	67	31	13	13	13	13
8	56	33	62	70	33	14	14	14	14
8	57	35	66	74	34	15	15	15	15
8	58	36	69	77	36	16	16	16	16
8	59	38	72	80	37	17	17	17	17
9	0	39	76	83	39	18	18	18	18
9	5	47	93	99	46	24	24	24	24
9	10	54	111	115	54	29	29	29	29
9	15	61	131	130	61	34	34	34	34
9	20	68	152	146	68	39	39	39	39
9	25	75	175	163	75	44	44	44	44
9	30	81	202	180	82	49	49	49	49
9	40	93	265	217	95	58	58	58	58
9	50	105	344	254	108	67	67	67	67
10	0	115	439	288	119	76	76	76	76
10	30	143	831	357	150	99	99	99	99
11	0	167	1389	358	174	117	117	117	117
12	0	207	2919	281	202	139	140	139	140
12	10	213	3116	264	204	141	141	141	141
12	30	225	82	231	206	143	143	143	143
12	50	247	25	217	205	142	142	142	142
13	0	268	3060	211	203	141	141	141	141
13	10	284	2848	205	201	139	139	139	139
13	30	314	2341	193	195	134	134	134	134
13	50	344	1808	180	185	126	127	126	127
14	0	356	1551	173	180	122	122	122	122
15	0	2	528	125	129	83	83	83	83
15	30	218	254	92	94	57	58	57	58
16	0	115	107	53	52	28	28	28	28
16	10	82	72	38	37	17	17	17	17
16	12	76	65	35	34	15	15	15	15
16	13	72	62	33	33	14	14	14	14
16	14	69	59		31	13	13	13	13
16	15	65	56	30	30	12	12	12	12
16	16	62	52	29	28	11	11	11	11
16	17	58	49	27	26	9.73	9.76	9.73	9.76
16	18	55	46	25	25	8.63	8.66	8.63	8.66

6.14 lentelė. Vidaus apšvietos duomenys, kai 80% atidarytos žaliuzės

Laikas		Vakarai giedr.	Pietūs giedr.	Rytai giedr.	Šiaurė giedr.	Vakarai apsin.	Pietūs apsin.	Rytai apsin.	Šiaurė apsin.
8	51	21	38	45	20	6.57	6.56	6.57	6.56
8	52	22	41	48	22	7.42	7.42	7.42	7.41
8	53	23	44	51	23	8.27	8.27	8.27	8.26
8	54	25	46	53	24	9.12	9.11	9.12	9.11
8	55	26	49	56	25	9.97	9.96	9.97	9.96
8	56	27	52	59	27	11	11	11	11
8	57	29	55	62	28	12	12	12	12
8	58	30	57	64	29	12	12	12	12
8	59	31	60	67	31	13	13	13	13
9	0		63	70		14	14	14	14
9	5	38	78	83	38	18	18	18	18
9	10	44	93	96	44	22	22	22	22
9	15	50	109	109	50	26	26	26	26
9	20	56	126	122	56	30	30	30	30
9	25	61	146	136	62	34	34	34	34
9	30	67	168	150	68	38	38	38	38
9	40	77	221	180	78	45	45	45	45
9	50	86	289	211	89	52	52	52	52
10	0	95	369	239	98	59	59	59	59
10	30	118	712	294	123	76	76	76	76
11	0	137	1228	292	143	91	91	91	91
12	0	170	2727	227	166	108	108	108	108
12	10	175	2934	215	168	109	109	109	109
12	30	185	3102	189	170	110	110	110	110
12	50	201	3046	178	169	110	110	110	110
13	0	218	2876	173	168	109	109	109	109
13	10	230	2656	168	166	108	108	108	108
13	30	254	2158	158	161	104	104	104	103
13	50	278	16	148	153	98	98	98	98
14	0	289	1382	142	148	94	94	94	94
15	0	267	446	102	106	64	64	64	64
15	30	181	212	76	77	44	44	44	44
16	0	96	89	44	43	22	22	22	22
16	10	69	60	31	31	13	13	13	13
16	12	63	54	29	28	12	12	12	12
16	13	60	52	28	27	11	11	11	11
16	14	58	49	26	26	10	10	10	10
16	15	55	46	25	24	9.24	9.23	9.24	9.23
16	16	52	43	24	23	8.39	8.39	8.39	8.38
16	17	49	41	22	22	7.54	7.54	7.54	7.53
16	18	46	38	21	20	6.69	6.68	6.69	6.68

6.15 lentelė. Vidaus apšvietos duomenys, kai 60% atidarytos žaliuzės

Laikas		Vakarai giedr.	Pietūs giedr.	Rytai giedr.	Šiaurė giedr.	Vakarai apsin.	Pietūs apsin.	Rytai apsin.	Šiaurė apsin.
8	51	16	30	35	15	4.55	4.56	4.55	4.56
8	52	17		37	16	5.14	5.15	5.14	5.15
8	53	18	34	39	17	5.73	5.74	5.73	5.74
8	54	19	36	41	18	6.	6.33	6.	6.33
8	55	20	38	44	19	6.91	6.92	6.91	6.92
8	56	21	40	46	20	7.49	7.50	7.49	7.50
8	57	22	42	48	21	8.07	8.09	8.07	8.09
8	58	23	44	50	22	8.65	8.67	8.65	8.67
8	59	24	47	52	23	9.23	9.25	9.23	9.25
9	0	25	49	54	24	9.81	9.82	9.81	9.82
9	5	29	60	64	29	13	13	13	13
9	10	34	72	74	34	15	15	15	15
9	15	38	84	84	38	18	18	18	18
9	20	42	98	94	43	21	21	21	21
9	25	47	113	105	47	24	24	24	24
9	30	51	131	116	51	26	26	26	26
9	40	58	173	139	60	31	31	31	31
9	50	65	226	163	67	36	36	36	36
10	0	72	292	184	75	41	41	41	41
10	30	89	582	225	94	53	53	53	53
11	0	104	1060	219	109	63	63	63	63
12	0	128	2154	169	127	75	75	75	75
12	10	1	2285	160	129	76	76	76	76
12	30	140	2357	143	130	77	77	77	77
12	50	152	2331	135	129	76	76	76	76
13	0	163	2250	131	128	76	76	76	76
13	10	172	2103	127	127	75	75	75	75
13	30	188	1784	120	123	72	72	72	72
13	50	206	1397	112	117	68	68	68	68
14	0	217	1196	108	113	65	65	65	65
15	0	206	355	78	81	45	45	45	45
15	30	140	165	58	59	31	31	31	31
16	0	74	69	33	33	15	15	15	15
16	10	53	46	24	23	9.31	9.33	9.31	9.33
16	12	49	42	22	21	8.15	8.17	8.15	8.17
16	13	47	40	21	20	7.57	7.58	7.57	7.58
16	14	45	38	20	19	6.99	7.00	6.99	7.00
16	15	43	36	19	18	6.40	6.41	6.40	6.41
16	16	40	34	18	17	5.82	5.82	5.82	5.82
16	17	38	31	17	16	5.23	5.23	5.23	5.23
16	18	36	29	16	15	4.63	4.64	4.64	4.64

6.16 lentelė. Vidaus apšvietos duomenys, kai 40% atidarytos žaliuzės

Laikas		Vakarai giedr.	Pietūs giedr.	Rytai giedr.	Šiaurė giedr.	Vakarai apsin.	Pietūs apsin.	Rytai apsin.	Šiaurė apsin.
8	51	10	20	24	10	2.61	2.61	2.61	2.61
8	52	11	22	25	11	2.95	2.95	2.95	2.95
8	53	12	23	27	11	3.28	3.29	3.28	3.29
8	54	12	24	28	12	3.62	3.63	3.62	3.63
8	55	13	26	30	13	3.96	3.97	3.96	3.97
8	56	14	27	31	13	4.29	4.30	4.29	4.30
8	57	14	29		14	4.62	4.64	4.62	4.64
8	58	15	30	34	15	4.96	4.97	4.96	4.97
8	59	16		35	15	5.29	5.30	5.29	5.30
9	0	16	33	37	16	5.62	5.63	5.62	5.63
9	5	19	41	44	19	7.26	7.27	7.26	7.27
9	10	22	49	50	22	8.87	8.89	8.86	8.89
9	15	25	57	57	25	10	10	10	10
9	20	28	67	64	28	12	12	12	12
9	25	31	77	71	31	14	14	14	14
9	30	33	89	78	34	15	15	15	15
9	40	38	119	94	39	18	18	18	18
9	50	43	159	110	45	21	21	21	21
10	0	47	209	124	50	23	23	23	23
10	30	59	452	150	62	30	30	30	30
11	0	68	816	142	73	36	36	36	36
12	0	84	1425	108	85	43	43	43	43
12	10	86	1480	102	86	43	43	43	43
12	30	91	1504	93	86	44	44	44	44
12	50	99	1504	87	86	44	44	44	44
13	0	105	1471	85	85	43	43	43	43
13	10	110	1399	83	84	43	43	43	43
13	30	120	1235	78	82	41	41	41	41
13	50	1	1013	73	78	39	39	39	39
14	0	140	893	70	75	37	37	37	38
15	0	140	257	51	54	26	26	26	26
15	30	95	113	38	39	18	18	18	18
16	0	51	46	22	22	8.59	8.61	8.59	8.61
16	10	36	31	16	15	5.34	5.35	5.34	5.35
16	12	34	28	14	14	4.67	4.68	4.67	4.68
16	13		27	14	13	4.34	4.35	4.34	4.35
16	14	31	25	13	13	4.00	4.01	4.00	4.01
16	15	29	24	12	12	3.67	3.68	3.67	3.68
16	16	28	23	12	11	3.33	3.34	3.33	3.34
16	17	26	21	11	11	2.99	3.00	2.99	3.00
16	18	25	20	11	10	2.66	2.66	2.66	2.66

6.17 lentelė. Vidaus apšvietos duomenys, kai 20% atidarytos žaliuzės

Laikas		Vakarai giedr.	Pietūs giedr.	Rytai giedr.	Šiaurė giedr.	Vakarai apsin.	Pietūs apsin.	Rytai apsin.	Šiaurė apsin.
8	51	4.74	9.64	12	4.61	0.90	0.90	0.90	0.90
8	52	5.04	10	12	4.91	1.02	1.01	1.02	1.01
8	53	5.34	11	13	5.20	1.14	1.13	1.14	1.13
8	54	5.64	12	14	5.50	1.25	1.25	1.25	1.25
8	55	5.93	12	14	5.80	1.37	1.36	1.37	1.36
8	56	6.23	13	15	6.09	1.49	1.48	1.49	1.48
8	57	6.52	14	16	6.39	1.60	1.59	1.60	1.59
8	58	6.82	15	16	6.68	1.72	1.71	1.72	1.71
8	59	7.10	15	17	6.97	1.83	1.82	1.83	1.82
9	0	7.39	16	18	7.26	1.95	1.93	1.95	1.93
9	5	8.80	20	21	8.70	2.51	2.50	2.51	2.50
9	10	10	24	24	10	3.07	3.05	3.07	3.05
9	15	11	28	27	12	3.62	3.59	3.62	3.60
9	20	13		31	13	4.15	4.13	4.15	4.13
9	25	14	38	34	14	4.68	4.65	4.68	4.65
9	30	15	45	38	15	5.20	5.17	5.20	5.17
9	40	17	62	46	18	6.20	6.16	6.20	6.16
9	50	20	88	55	20	7.15	7.11	7.15	7.11
10	0	22	124	64	23	8.06	8.02	8.06	8.02
10	30	27	267	78	29	10	10	10	10
11	0	31	424	68	33	12	12	12	12
12	0	38	624	48	39	15	15	15	15
12	10	39	644	46	39	15	15	15	15
12	30	41	662	42	40	15	15	15	15
12	50	44	654	39	40	15	15	15	15
13	0	47	640	38	39	15	15	15	15
13	10	49	619	37	39	15	15	15	15
13	30	54	583	35	38	14	14	14	14
13	50	57	505	33	36	13	13	13	13
14	0	64	456		34	13	13	13	13
15	0	74	155	23	24	8.85	8.80	8.85	8.80
15	30	48	58	17	18	6.11	6.08	6.11	6.08
16	0	25	22	10	9.81	2.97	2.96	2.97	2.96
16	10	18	15	7.21	6.96	1.85	1.84	1.85	1.84
16	12	17	13	6.62	6.38	1.62	1.61	1.62	1.61
16	13	16	13	6.33	6.09	1.50	1.49	1.50	1.49
16	14	15	12	6.03	5.80	1.39	1.38	1.39	1.38
16	15	14	11	5.73	5.50	1.27	1.26	1.27	1.26
16	16	14	11	5.43	5.21	1.15	1.15	1.15	1.15
16	17	13	10	5.13	4.91	1.04	1.03	1.04	1.03
16	18	12	9.40	5.13	4.62	0.92	0.91	0.92	0.91

6.18 lentelė. Vidaus apšvietos duomenys, kai 0% atidarytos žaliuzės

Laikas		Vakarai giedr.	Pietūs giedr.	Rytai giedr.	Šiaurė giedr.	Vakarai apsin.	Pietūs apsin.	Rytai apsin.	Šiaurė apsin.
8	51	0	0	0	0	0	0	0	0
8	52	0	0	0	0	0	0	0	0
8	53	0	0	0	0	0	0	0	0
8	54	0	0	0	0	0	0	0	0
8	55	0	0	0	0	0	0	0	0
8	56	0	0	0	0	0	0	0	0
8	57	0	0	0	0	0	0	0	0
8	58	0	0	0	0	0	0	0	0
8	59	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	5	0	0	0	0	0	0	0	0
9	10	0	0	0	0	0	0	0	0
9	15	0	0	0	0	0	0	0	0
9	20	0	0	0	0	0	0	0	0
9	25	0	0	0	0	0	0	0	0
9	30	0	0	0	0	0	0	0	0
9	40	0	0	0	0	0	0	0	0
9	50	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	30	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	10	0	0	0	0	0	0	0	0
12	30	0	0	0	0	0	0	0	0
12	50	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	10	0	0	0	0	0	0	0	0
13	30	0	0	0	0	0	0	0	0
13	50	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	30	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	10	0	0	0	0	0	0	0	0
16	13	0	0	0	0	0	0	0	0
16	14	0	0	0	0	0	0	0	0
16	15	0	0	0	0	0	0	0	0
16	16	0	0	0	0	0	0	0	0
16	17	0	0	0	0	0	0	0	0
16	18	0	0	0	0	0	0	0	0