

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

Raimundas Endrikis

Paduodamos šilumos gyvenamajam namui valdymo tyrimas
įvertinant saulės ir vėjo duomenis

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Dr. Renaldas Urniežius

KAUNAS, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
AUTOMATIKOS KATEDRA

Paduodamos šilumos gyvenamajam namui valdymo tyrimas
įvertinant saulės ir vėjo duomenis

Baigiamasis magistro projektas

Valdymo technologijos (621H66001)

Vadovas

Dr. Renaldas Urniežius

Recenzentas

Projektą atliko

Raimundas Endrikis

KAUNAS, 2015



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos fakultetas

(Fakultetas)

Raimundas Endrikis

(Studento vardas, pavardė)

Valdymo technologijos, 621H66001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Paduodamos šilumos gyvenamajam namui valdymo tyrimas įvertinant saulės ir vėjo duomenis“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 ____ m. _____ d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Raimundo Endrikio** baigiamasis projektas tema „Paduodamos šilumos gyvenamajam namui valdymo tyrimas įvertinant saulės ir vėjo duomenis“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Endrikis, Raimundas. Paduodamos šilumos gyvenamajam namui valdymo tyrimas įvertinant saulės ir vėjo duomenis. Magistro baigiamasis projektas / vadovas Dr. Renaldas Urniežius; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Automatikos katedra.

Kaunas, 2015. 42 psl.

SANTRAUKA

Baigiamajame magistro darbe išanalizuotas centralizuotai tiekiamos šilumos valdymas gyvenamųjų namų šilumos punktuose. Tiriamuoju objektu pasirinktas tipinės statybos daugiabutis namas esantis Kaune, Šilainių mikrorajone. Apžvelgtas tiriamo objekto automatizavimo sistemos veikimo principas, darbo režimai bei nustatyti tokių automatizavimo sistemų trūkumai. Tiriomojo darbo rezultatai parodė, kad tam tikrų pereinamųjų procesų metu neužtikrinama higienos normas atitinkanti patalpų temperatūra. Siekiant optimizuoti tiekiamos šilumos valdymą gyvenamuosiuose namuose sudarytas matematinis modelis, įvertinantis saulės ir vėjo duomenis nagrinėjamu laikotarpiu. Tiriomojo darbo metu surasti namo šiluminės charakteristikas apibūdinantys koeficientai, o tyrimo rezultatai įrodo, kad galimas toks tiekiamos šilumos valdymas, kai patalpų temperatūra artima higienos normoms sunaudojant tokį patį šilumos kiekį kaip ir mažinant patalpų temperatūrą žemiau higienos normų ribos.

Reikšminiai žodžiai: šilumos punktas, optimizavimas, šiluminės charakteristikos, automatizavimas.

Endrikis, Raimundas. The investigation of heat supply control in residential house based on wind and solar data Master final work / supervisor Dr. Renaldas Urniežius; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronic Engineering, department of Automation.

Kaunas, 2015. 42 psl.

SUMMARY

In this master's thesis, the control of centrally supplied heat in heat stations of dwelling houses is analysed. A block of flat of a typical construction in Kaunas, Šilainiai district was chosen as a subject of the research. The operating principle and operating modes of the subject's automatization system were overviewed and weaknesses of such automatization systems were identified. The results of the empirical survey showed that during certain transitional processes the indoor temperature conforming to hygienic norms is not ensured. In order to optimize the control of supplied heat in dwelling houses, a mathematical model which assesses solar and wind data during the period of the research was created. During the empirical survey, coefficients which describe thermal properties of the house were found and the results of the research prove that it is possible to control the supplied heat and ensure indoor temperature which are close to hygienic norms using the same amount of heat as when reducing the indoor temperature below the level of hygienic norms.

Keywords: heatstations, automatization, optimization, thermal characteristics

TURINYS

ĮVADAS	7
1. DARBO TIKSLAS IR UŽDAVINIAI.....	8
2. ŠILUMOS PUNKTAI.....	9
3. PASTATŲ ŠILUMOS POREIKIAI IR ŠILUMINĖS SAVYBĖS.....	12
4. ŠILUMOS MAINŲ PASTATUOSE MODELIAVIO TAIKYMAS PASTATŲ DARBO REŽIMO VALDYMOI.....	14
5. TIRIAMAS OBJEKTAS.....	17
6. ŠILUMOS PUNKTO DARBO IR METEOROLOGINIŲ SĄLYGŲ PARAMETRŲ MATAVIMAS	20
7. KOEFICIENTŲ RADIMAS MAŽIAUSIŲ KVADRATŲ METODU	29
8. TIRIAMO OBJEKTO ŠILUMINIŲ CHARAKTERISTIKŲ SKAIČIAVIMAS	31
9. OPTIMIZAVIMO PROGRAMOS SUDARYMAS	34
10. TIEKIAMOS ŠILUMOS VALDYMO OPTIMIZAVIMAS	35
IŠVADOS.....	41
LITERATŪRA	42
PRIEDAI	43
PRIEDAS 1. PAŽYMA DĖL PASINAUDOJIMO KAUNO METEOROLOGIJOS STOTIES INFORMACIJA.....	43
PRIEDAS 2. NAGRINĖJAMO LAIKOTARPIO METEOROLOGINIAI DUOMENYS	44
PRIEDAS 3. NAGRINĖJAMU LAIKOTARPIU PASTATE SUNAUDOTAS ŠILUMOS KIEKIS	49
PRIEDAS 4. OPTIMIZAVIMO PROGRAMOS KODAS	50

IVADAS

Tobulėjant šiuolaikinėms sistemoms ir automatizavimo galimybėms, technologijos neaplenkė ir gyvenamųjų namų šilumos ūkio. Įdiegtos automatizavimo sistemos suteikė galimybę efektyviau reguliuoti karšto vandens ir į šildymo sistemą tiekiamo šilumnešio temperatūras. Patogus ir nesudėtingas reguliatorių valdymas, savaitinių grafikų nustatymo galimybė juos sparčiai išpopuliarino. Tačiau be minėtų valdymo sistemų privalumų, jos turi ir esminių trūkumų. Kadangi tipiniai šildymo sistemų reguliatoriai fiksuodami lauko oro temperatūrą pagal tiesinę priklausomybę parenka į šildymo sistemą tiekiamo šilumnešio temperatūrą, galimi tokie pereinamieji procesai, kai nepalaikoma higienos normas atitinkanti patalpų temperatūra. Taip pat galimas nekokybiškas patalpų šildymas dėl vėjo įtakos, nes automatizavimo sistemos lauko oro temperatūros daviklis fiksuoja tik faktinę temperatūrą, o pastato šilumos atidavimas dėl vėjo neįvertinamas.

Siekiant užtikrinti kokybišką tiekiamos šilumos valdymą bei higienos normas atitinkančią patalpų temperatūrą reikalingas valdymo modelis, įvertinantis šiluminės pastato charakteristikas bei vėjo ir saulės duomenis.

1. DARBO TIKSLAS IR UŽDAVINIAI

Darbo tikslas:

- Optimizuoti gyvenamajam namui tiekiamos šilumos valdymą.

Darbo uždaviniai:

- Išanalizuoti tiriamo objekto šilumos punkto automatizavimo sistemos darbo režimus.
- Įvertinti galios ir į šildymo sistemą tiekiamo šilumnešio temperatūros priklausomybę nuo lauko oro temperatūros.
- Nustatyti tiriamo objekto šilumines savybes.
- Optimizuoti tiekiamos šilumos gyvenamajam namui valdymą, įvertinant saulės ir vėjo duomenis.

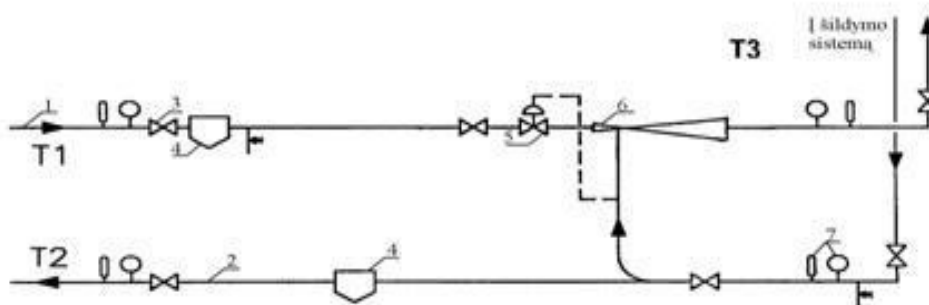
2. ŠILUMOS PUNKTAI

Šilumos punktai – centralizuotų šilumos tiekimo sistemų mazgai, kur šilumos vartotojai jungiami prie šilumos tinklų. Juose montuojami įrenginiai bei armatūra, kuri leidžia reguliuoti šilumnešio parametrus atsižvelgiant į vietinių sistemų poreikius. Čia taip pat įrengiami šilumnešio apskaitos prietaisai. Nuo šilumos punktų įrenginių panaudojimo priklauso, ar normaliai funkcionuos centralizuoto šilumos tiekimo sistema ir kokie bus jos techniniai bei ekonominiai rodikliai[3].

Netinkamai parinkus šilumos punktų įrenginius arba jų nesuderinus, netinkamai juos naudojant, dažnai sutrinka normalus šilumos tiekimas. Dėl to, parenkant šilumos punktų įrenginius bei jų schemas, reikia atsižvelgti į šilumnešio parametrus, vietinių šilumos vartotojų įrenginių paskirtį ir darbo režimą. Šie reikalavimai sudaro pagrindinius centralizuoto šilumos tiekimo sistemų projektavimo uždavinius.

Šilumos punktų įrengimų išdėstymo schema priklauso nuo pastate esančių šilumos vartotojų. Šiluma gali būti tiekama vien šildymui arba šildymui ir karštam vandeniui ruošti. Įrenginių tipai ir jų skaičius šilumos punktuose priklauso nuo šildymo bei karšto vandentiekio ir kitų sistemų prijungimo schemų, šilumnešio parametrų, šilumos vartojimo režimo ir kitų veiksnių.

Sovietinės statybos daugiabučiuose namuose plačiausiai buvo paplitusi tiesioginė jungimo schema su elevatoriumi (sroviniu siurbliu). Elevatoriaus principinė schema pavaizduota 1 pav.



1 pav. Principinė šilumos punkto su elevatoriumi schema

Iš tūtos dideliu greičiu, atsirandančiu dėl slėgių skirtumo tiekimo ir siurbimo atvamzdžiuose, išteka tiekiamo šilumnešio srovė, įgijusi didelę kinetinę energiją. Ši aktyvi srovė patraukia kartu su savimi pasyviąją šilumnešio masę, esančią siurbimo atvamzdyje, perduoda jai

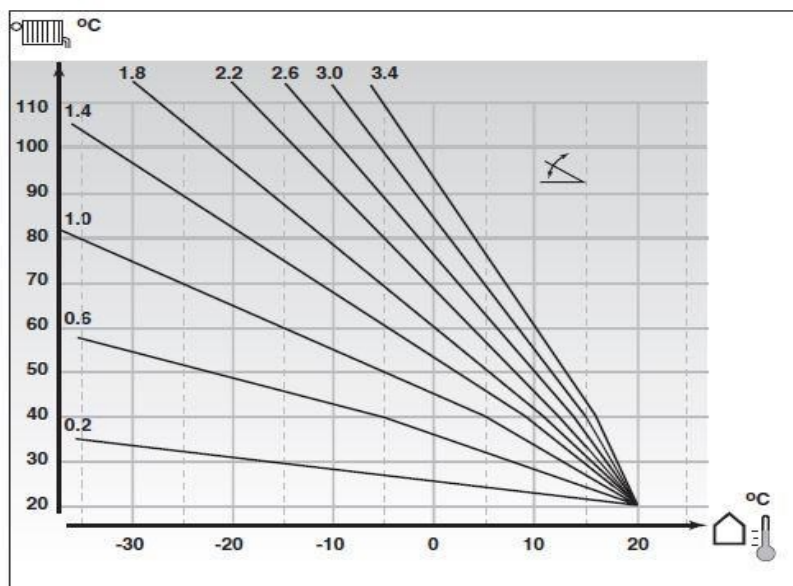
dalį energijos ir toliau jau bendras srautas teka sumaišymo kamera, kurioje srauto kinetinė energija iš dalies transformuojasi į statinį slėgį. Po to srautas patenka į difuzorių, jo greitis dar labiau sumažėja, o statinis slėgis padidėja. Pagrindinė elevatoriaus charakteristika yra jo sumaišymo koeficientas.

Tačiau, tobulėjant technologijoms, automatizavimo sistemos neaplenkė ir šilumos punktų. Elevatorinės šilumos punktų dalys buvo panaikintos, o vietoj jų įrengti sumaišymo siurbiai ir automatinės šilumos punktų valdymo sistemos. Tokios reguliavimo sistemos suteikė galimybę palaikyti į šildymo sistemą tiekiamo šilumnešio temperatūrą pagal lauko oro temperatūrą ir sudaryti temperatūros reguliavimo grafikus. Modernizuoto šilumos punkto nuotrauka pateikta 2 paveiksle.



2 pav. Modernizuotas šilumos punktas

Šiuolaikinės tipinės šilumos punkto automatizavimo sistemos veikimas pagrįstas santykio tarp lauko oro temperatūros ir į šildymo sistemą tiekiamo šilumnešio temperatūros parinkimu. Valdiklis gaudamas signalą iš lauko oro temperatūros daviklio automatiškai parenka šilumnešio temperatūrą. Į šildymo sistemą tiekiamo šilumnešio ir lauko oro temperatūros priklausomybė esant skirtingiems nustatymams pateikta 3 paveiksle.



3 pav. Lauko oro temperatūros ir į šildymo sistemą tiekiamo šilumnešio temperatūros priklausomybė [12].

Kauno mieste yra apie 2300 objektų, turinčių automatizuotus šilumos punktus, kuriems šiluma tiekama centralizuotai. Kadangi net pusė namų Kauno mieste turi automatizuotus šilumos punktus su tipiniais valdikliais, optimalus tokių valdymo sistemų suderinimas yra itin svarbus uždavinys.

3. PASTATŲ ŠILUMOS POREIKIAI IR ŠILUMINĖS SAVYBĖS

Kadangi Lietuva yra vėsiojo vidutinio klimato zonoje su vidutine šiluma vasaromis ir vidutinio šaltumo žiemomis, būtinas patalpų šildymas žiemos metu. Patalpose temperatūra turi būti palaikoma tokia, kad užtikrintų komfortiškas gyvenimo sąlygas [1].

Gyvenamosiose patalpose turi būti sukurtas žmonėms palankus ir komfortiškas klimatas.

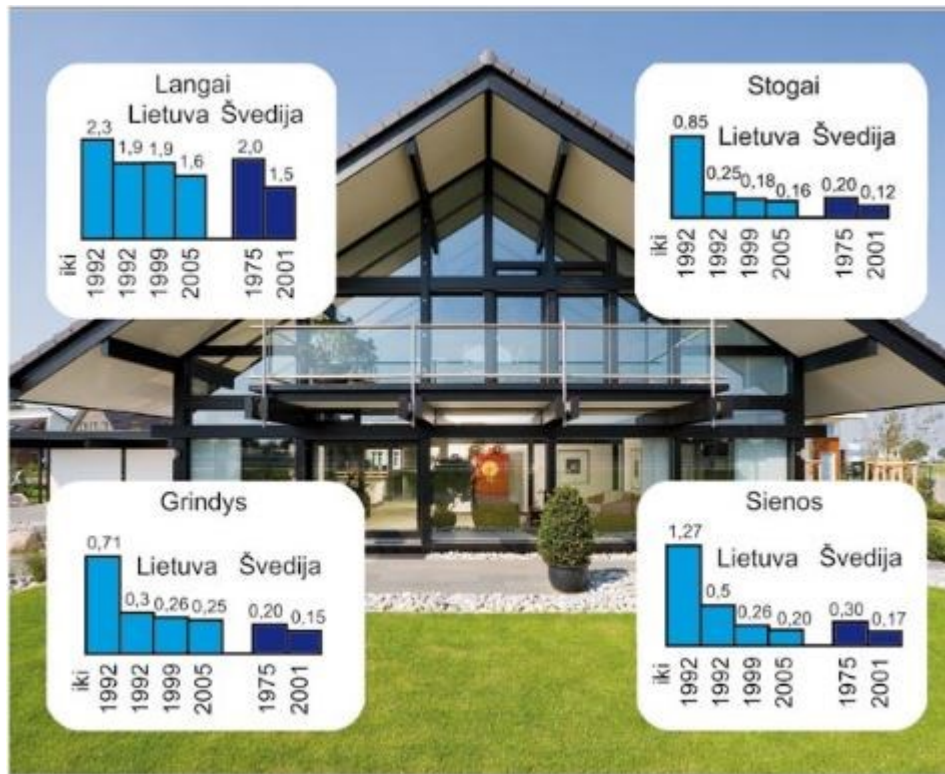
Šildymo sezono metu patalpoms šiluma turi būti tiekama dėl kelių priežasčių:

1. Kai lauko oro temperatūra lauke mažesnė nei patalpose, šiluma per sienas, langus, grindis, duris, stogus perduodama į lauką
2. Per natūralaus ar dirbtinio vėdinimo ortakius, sienų nesandarumus, šiltas oras iš patalpų skverbiasi į lauką, o patekęs į patalpą šaltas oras turi būti sušildytas iki reikiamos temperatūros.

Tokie šilumos poreikiai yra neišvengiami ir proporcingi temperatūrų skirtumui. Pastato šilumos poreikiams įtakos turi ne tik temperatūra, bet ir vėjo greitis. Tai ypač aktualu atvirose, aukštos vėjuotose teritorijose. Senos statybos namuose tokie nuostoliai didesnę įtaką turi ne per atitvarus perduodamai šilumai, o vėdinimo šilumos poreikiams. Vėjuotomis dienomis pastatuose turime perteklinį nekontroliuojamą vėdinimą, o kartu su juo ir padidėjusius šilumos nuostolius. Būtent todėl būtinas šių veiksnių įvertinimas tiekiamos šilumos valdymo sistemose.

Pastato sienos, stogas, langai ir kitos konstrukcinės dalys turi turėti tam tikras savybes, tarp jų ir šilumines. Būtent nuo šiluminių pastato savybių, šilumos perdavimo rodiklių ir priklauso šilumos kiekis, reikalingas pastatui šildyti. Šilumos laidumo koeficientas matuojamas $W/(m^2K)$. Kuo didesnė šilumos laidumo koeficiento reikšmė, tuo didesnis objekto šilumos srautas, perduodamas per tam tikrą ploto vienetą. Taip pat dažnai naudojama šiluminės varžos sąvoka. Šiluminė varža – tai atvirkščias dydis šilumos laidumo koeficientui ir matuojama $(m^2K)/W$. Kuo didesnė šiluminė varža, tuo mažiau šilumos perduodama esant tam pačiam plotui ir temperatūrų skirtumui.

Šiluminė varža ir šilumos laidumo koeficientas priklauso nuo konstrukcinę dalį sudarančių medžiagų ir jų storio. Kuo medžiaga storesnė, tuo jos šiluminė varža didesnė ir atvirkščiai. Tipinės statybos daugiabučių namų Lietuvoje šiluminė varža atitinka tuo metu vyravusias statybos normas. Nuo 1959 m. iki 1992 m. statytų namų išorinių sienų šilumos perdavimo koeficientas buvo nuo 0,9 iki 1,3 $W/(m^2K)$. Pavyzdžiui, tipinės statybos blokinių namų statybose naudota 300 mm keramzito betono plokštė su 25 mm išorės apdaila ir tinko sluoksniu iš vidaus turi šilumos perdavimo koeficientą lygų 1,1 $W/(m^2K)$ [1].



4 pav. Šilumos laidumo koeficiento kitimas privalomuosiuose reikalavimuose [5].

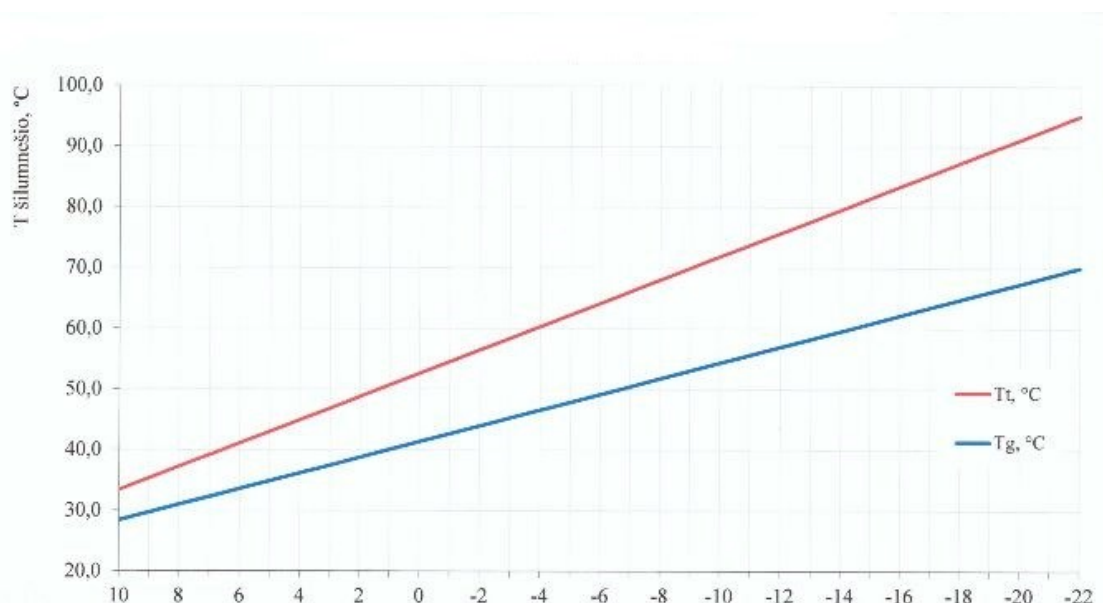
4 paveiksle pavaizduotas šilumos laidumo koeficiento kitimas privalomuosiuose reikalavimuose. Palyginimui pateikti ir Švedijos pastatų konstrukcijų šilumos laidumo koeficientai. Akivaizdu, kad anksčiau tokių šiluminių savybių pastatų konstrukcijos galėjo būti naudojamos tik esant itin mažoms kuro ir šilumos kainoms. Lietuvos nepriklausomybės metais šios normos buvo peržiūrėtos ir ženkliai sumažintos [1].

Tiriamąjį darbą metu bus nustatytas netik optimalus šilumos tiekiamas gyvenamajam namui valdymas, bet ir įvertintas pastato šilumos laidumo koeficientas arba šiluminė varža.

4. ŠILUMOS MAINŲ PASTATUOSE MODELIAVIO TAKYMAS PASTATŲ DARBO REŽIMO VALDYMUI

Padidėjus šilumos, skirtos pastatų šildymui, kainai, itin aktualia problema tapo tiekiamos šilumos valdymas. Optimalus tiekiamos šilumos valdymas netik gali padėti sumažinti šildymo išlaidas, bet ir pasiekti norimą komforto lygį. Vis didesniu iššūkiu tapo naujų skaitmeninių technologijų taikymas šilumos vartojimo įrenginiuose.

Daugumoje tipinės statybos daugiabučių namų taikomas kobybinis šilumos tiekimo reguliavimas, kai šildymo sistemoje cirkuliuoja vienodas kiekis šilumnešio, o keičiamas tik perduodamos šilumos kiekis į šildymo sistemą. Perduodamos šilumos kiekis tokiu atveju keičiamas pagal lauko oro temperatūros ir tiekiamo į šildymo sistemą šilumnešio temperatūros santykį. Į šildymo sistemą tiekiamo šilumnešio ir lauko oro temperatūros priklausomybės grafikas pateiktas 5 paveiksle.



5 pav. Lauko oro temperatūros ir tiekiamo į šildymo sistemą šilumnešio priklausomybė [4].

Šiuolaikinių valdiklių pagalba gali būti realizuojamos grįžtamojo ryšio, trikdžio kompensavimo arba kombinuotos reguliavimo sistemos. Populiariausiu atveju valdiklis matuoja lauko oro temperatūrą ir į šildymo sistemą tiekiamo šilumnešio temperatūrą. Tokiu atveju keičiant pirminiame kontūre pratekančio šilumnešio kiekį nuolatos turi būti išlaikytas santykis tarp lauko oro ir tiekiamo šilumnešio temperatūros, kad būtų užtikrinta reikiama patalpų temperatūra. Tokio tipo valdymo sistemose priklausomybę tarp lauko oro temperatūros ir tiekiamo į šildymo sistemą šilumnešio temperatūros galime aprašyti formule (1):

$$t_{išil.sist.} = t_1 + \left(\frac{t_2+t_3}{2} - t_1\right) \left(\frac{t_1-t_4}{t_1-t_5}\right) + \left(\frac{t_2+t_3}{2}\right) \left(\frac{t_1-t_4}{t_1-t_5}\right) \quad (1)$$

t_1 – Skaičiuojamoji šildomų patalpų oro temperatūra, °C.

t_2 – Skaičiuojamoji tiekiamo į šildymo sistemą šilumnešio temperatūra, °C.

t_3 – Skaičiuojamoji šildomų patalpų oro temperatūra, °C.

t_5 – Skaičiuojamoji lauko oro temperatūra, °C.

Daugiabučių namų šildymo sistemos buvo projektuojamos taip, kad užtikrintų tinkamą patalpų temperatūrą esant šalčiausiai stebėto penktadienio vidutinei temperatūrai. Skaičiuotina patalpų temperatūra yra 18 °C.

Šiuo metu plačiausiai paplitusiose valdymo sistemose naudojamos trikdžio kompensavimo automatinio reguliavimo sistemos, kurios tiekiamos šilumos kiekį gali valdyti tik pagal tiesinę lauko oro temperatūros ir tiekiamo šilumnešio priklausomybę. Tokiu atveju valdiklio darbo režimai pritaikomi konkrečiai šildymo sistemai, keičiant priklausomybės tarp lauko oro temperatūros ir tiekiamo į šildymo sistemą šilumnešio temperatūros santykį. Dėl tiesinės šių dviejų temperatūrų priklausomybės galimi tokie pereinamieji procesai, kai bus neužtikrinta reikiama patalpų temperatūra [7].

Palaikant patalpų temperatūrą pagal minėtą priklausomybę tarp lauko oro ir į šildymo sistemą tiekiamo šilumnešio temperatūras, dėl pastato šiluminės inercijos pereinamųjų procesų metu neužtikrinama reikiama patalpų temperatūra. Vienas iš sprendimų siekiant išvengti pereinamųjų procesų – reguliavimo metu įvertinti pastato atitvarų šiluminę inerciją. Galimas sprendimas siekiant įvertinti pastato atitvarų šiluminę inerciją – įvesti menamą lauko oro temperatūrą. Tokiu būdu reali lauko oro temperatūra skirtųsi nuo menamos tokiu dėsningumu, koku vyksta šilumos manai tarp patalpų ir lauko oro temperatūrų. Galimas toks menamos lauko oro temperatūros matematinis modelis įvertinant atitvarų šilumos inerciją:

$$T_e' \frac{dt_4'(\tau)}{d\tau} + t_4' = t_4'(\tau) = (1 - \delta)t_4(\tau), (2)$$

$$T_e'' \frac{dt_4'(\tau)}{d\tau} + t_4' = \delta t_4(\tau), (3)$$

Čia :

t_4' – menama lauko oro temperatūra;

δ – pastato įstiklinimo ir infiltracijos santykis su bendru atitvarų plotu;

T_e' ir T_e'' koeficientai nustatomi pagal sekančias formules:

$$T_e = \frac{c}{\alpha_{snl.e} + \alpha_{snl.i} + \alpha_{snl.e} * \alpha_{snl.i} + R} \quad (4)$$

Kur :

$\alpha_{snl.e}$ – Lauko atitvarų šilumos atidavimo koeficientas;

R – atitvarų šiluminė varža;

C – atitvarų šilumos imlumo koeficientas.

Pastato atitvarų šiluminė varža gali būti apskaičiuojama pagal formules:

$$R = \frac{\delta}{\lambda} \text{ arba } C = \delta c \rho \quad (5)$$

δ – Atitvaros storis, m;

λ – Atitvarų šilumos perdavimo koeficientas, W/(m² °C);

ρ – Atitvarų medžiagos tankis, kg/m³;

c – Atitvarų medžiagos šilumos imlumo koeficientas, J/(kg °C).

Kadangi tiekiamos šilumos valdymas pagal lauko oro ir tiekiamo šilumnešio temperatūrų tiesioginę priklausomybę sudaro tokias sąlygas, kad pereinamaisiais momentais neužtikrinama reikiama patalpų temperatūra, toks valdymo sistemos papildymas padėtų išvengti pereinamųjų procesų. Sistemos optimizavimas sudarytų reikiamas sąlygas optimaliam tiekiamos šilumos valdymui, tačiau gali būti sudėtinga sužinoti kai kuriuos nežinomuosius. Tokie dydžiai kaip atitvarų šilumos perdavimo koeficientai, atitvarų šilumos imlumo koeficientai, reikalingi pastato šiluminei varžai surasti, nėra žinomi ir konkretiems pastatams gali skirtis.

5. TIRIAMASIS OBJEKTAS

Tyrimui pasirinktas tipinės statybos gyvenamasis namas (6 paveikslas). Pagrindinės tiriamo objekto charakteristikos:

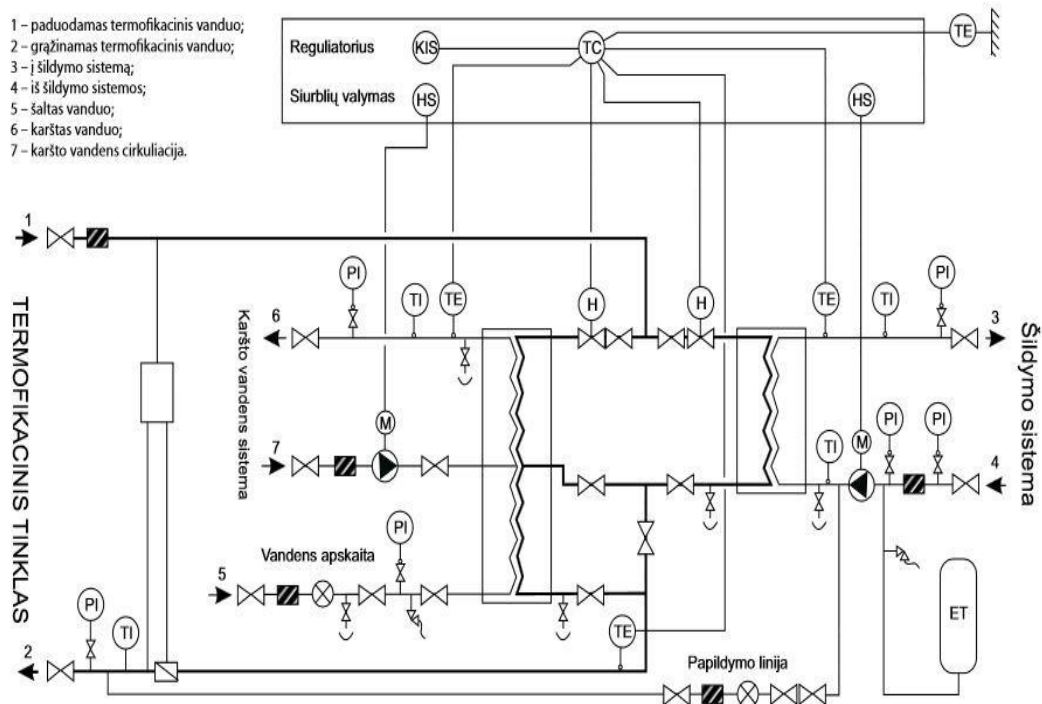
- 13 aukštų;
- 3890 m²;
- 48 butai;
- 1993 m. statyba.



6 pav. Tiriamo objekto nuotrauka

Pasirinktas tipinės statybos Kauno miesto Šilainių mikrorajono daugiabutis. Iš gelžbetonio blokų 1993 m. statyto namo bendras plotas 3890 m². Dauguma pastato langų pakeisti naujo tipo plastikiniais su stiklo paketu. Tokio tipo namas atitinka daugumos gyvenamųjų namų požymius. Pasirinkto objekto šilumos punktas jau papildytas automatine reguliavimo sistema, kurios darbą ir nagrinėsime.

Tiriamo objekto šilumos punkto jungimo schema nepriklausoma (7 paveikslas), šildymo sistema vienvamzdė apatinio paskirstymo.



7 pav. Tiriama objekto principinė šilumos punkto schema.[1]

Lietuvos Respublikos Aplinkos ministerijos duomenimis, Lietuvoje yra 45 tūkst. daugiabučių, kuriuose gyvena didžioji dalis šalies gyventojų. Tarp tokių gyvenamųjų namų, pastatytų iki 1995 m., plačiausiai paplitusios šildymo sistemos tipas yra vienvamzdė apatinio paskirstymo [5]. Todėl pasirinktas tiriamas namas atitinka tipinio daugiabučio savybes.



8 pav. Šilumos punkto automatizavimo sistemos įranga[12].

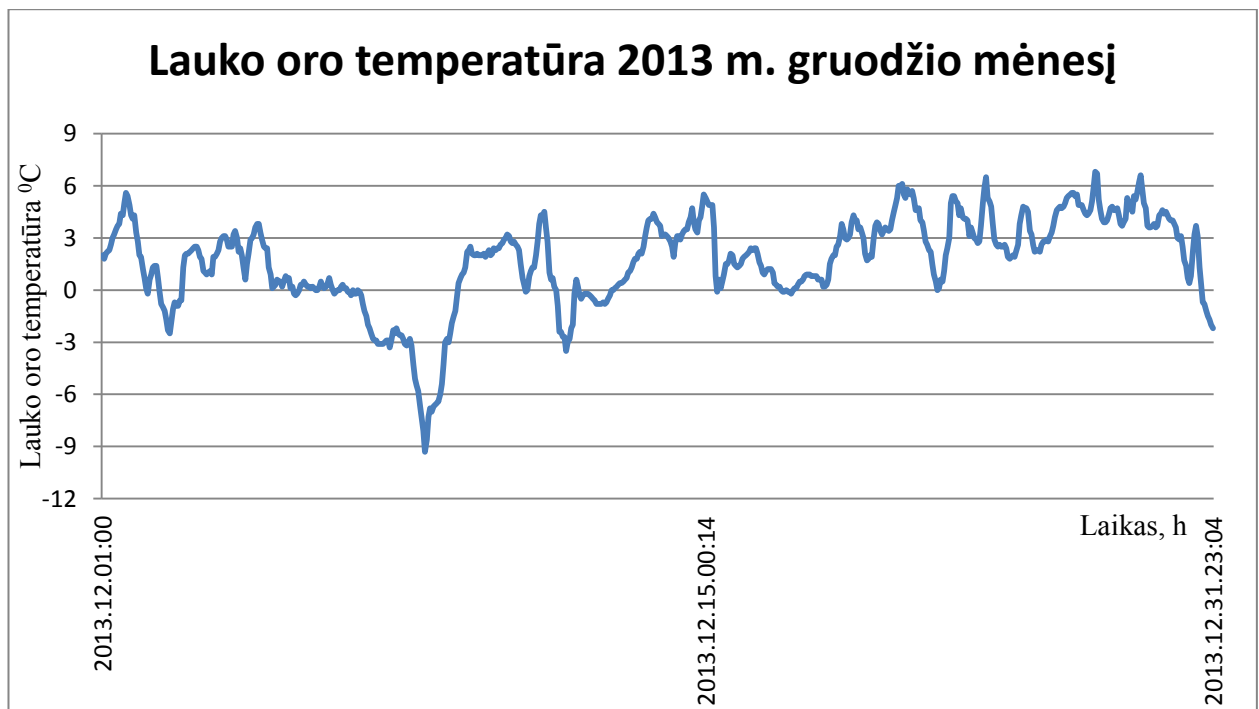
Šilumos punkto automatizavimo sistemą sudaro standartinė įranga pavaizduota 8 paveiksle: tiekiamo į šildymo sistemą šilumnešio, karšto vandens ir lauko oro temperatūros jutikliai, šildymo ir karšto vandens reguliavimo vožtuvai su pavaromis. Visi šie įtaisai sujungiami į bendrą valdiklį, kuris atsižvelgdamas į lauko oro temperatūrą ir karšto vandens temperatūrą valdo pavaras.

6. ŠILUMOS PUNKTO DARBO IR METEOROLOGINIŲ SĄLYGŲ PARAMETRŲ MATAVIMAS

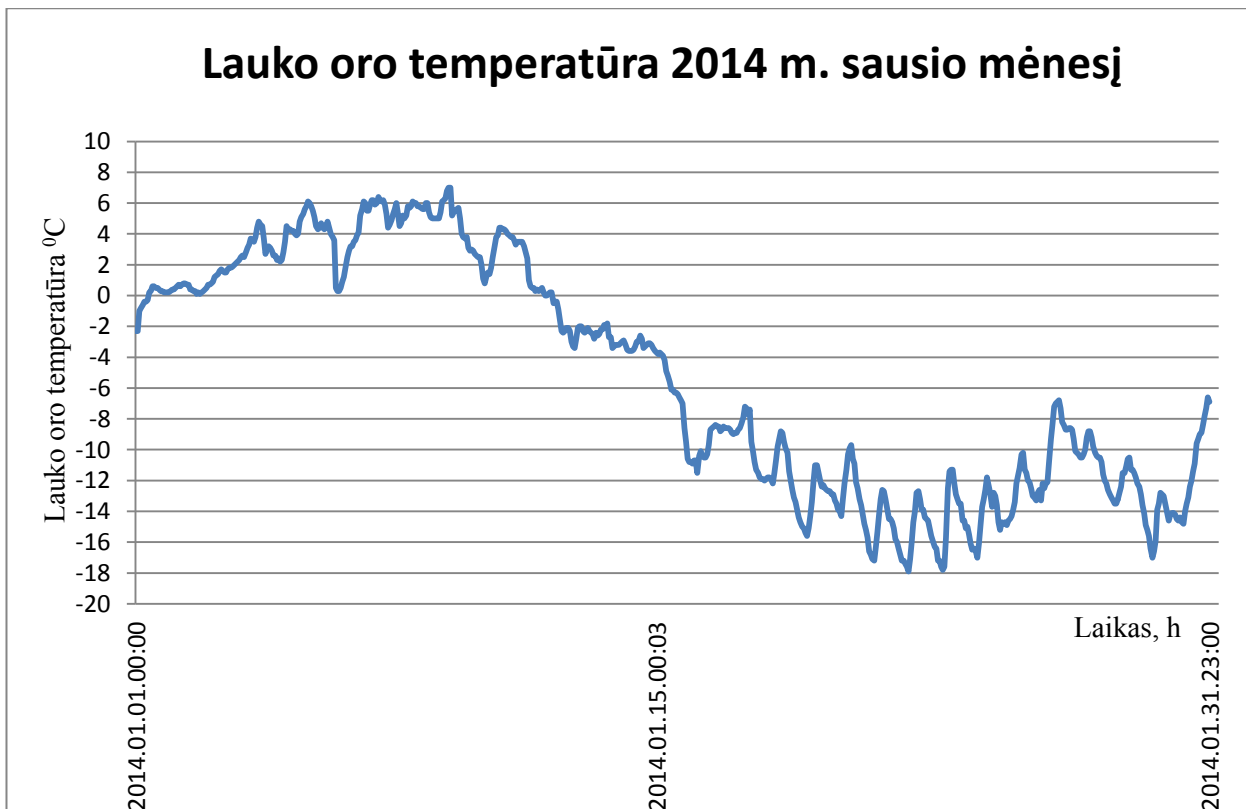
Matuojami šilumos punkto darbo parametrai, tolimesniam tiriamajam darbui atlikti:

- Tiekiamo šilumnešio temperatūra (°C);
- Gražinamo šilumnešio temperatūra (°C);
- Į namo šildymo sistemą tiekiamo šilumnešio temperatūra (°C);
- Momentinė galia šildymui (kW);
- Lauko oro temperatūra (°C).

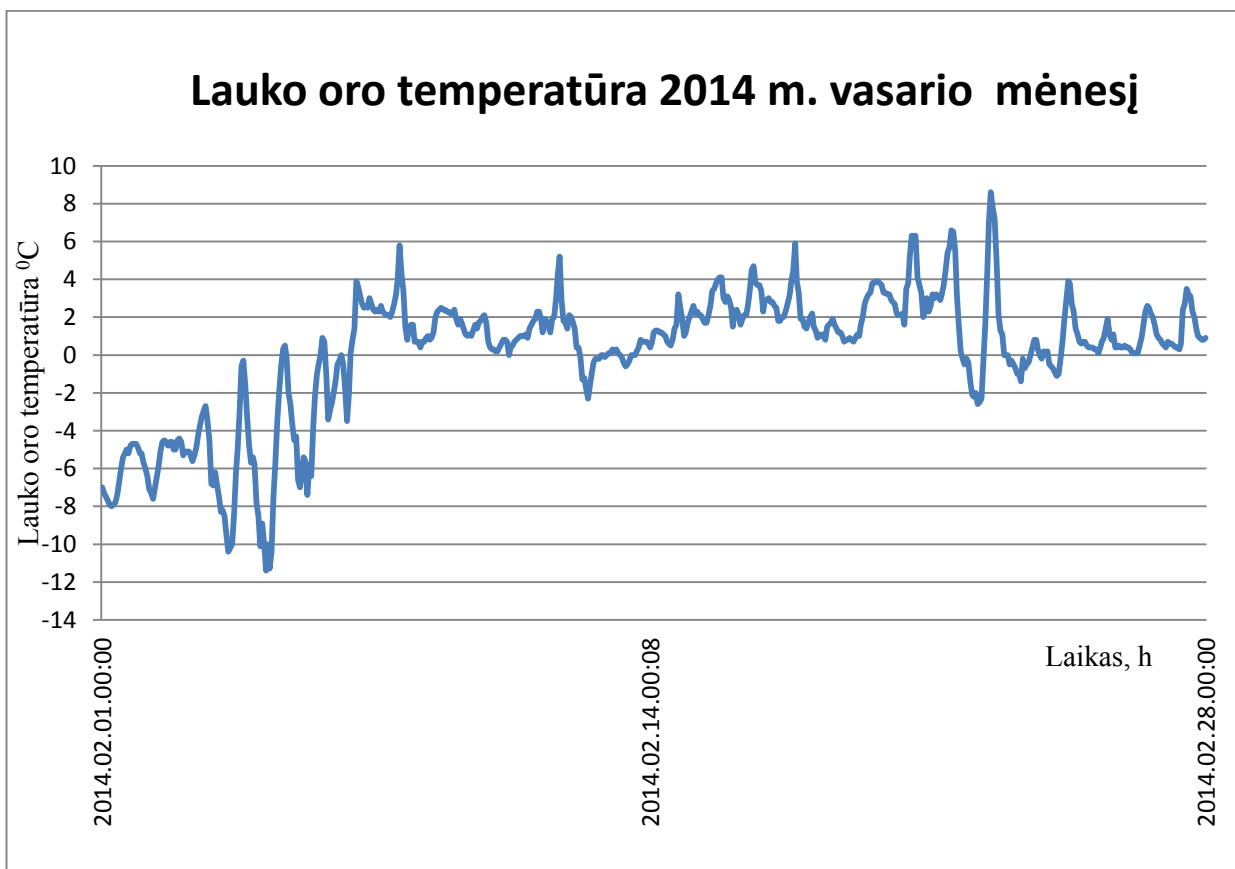
Į pastatą tiekiamo ir gražinamo šilumnešio temperatūros matuojamos šilumos punkto įvade. Matavimas atliekamas termoporomis, prijungtomis prie šilumos apskaitos prietaiso. Į namo šildymo sistemą tiekiamo šilumnešio temperatūra matuojama prigludžiamu davikliu. Lauko oro temperatūra matuojama davikliu, kurio rekomenduojama įrengimo vieta turėtų būti orientuota į šiaurę. Kadangi šio daviklio užfiksuoti duomenys nekaupiami, tyrimui panaudota informacija, gauta iš Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos. Pasirinktas tyrimo laikotarpis – 2013 – 12 mėn., 2014 – 01 mėn., 2014 – 02 mėn. Analizuojamo gruodžio mėnesio lauko oro temperatūros grafikas pateiktas 9 paveiksle, sausio mėnesio – 10 paveiksle ir vasario mėnesio – 11 paveiksle.



9 pav. 2013 m. gruodžio mėnesio lauko oro temperatūros kitimas [5].

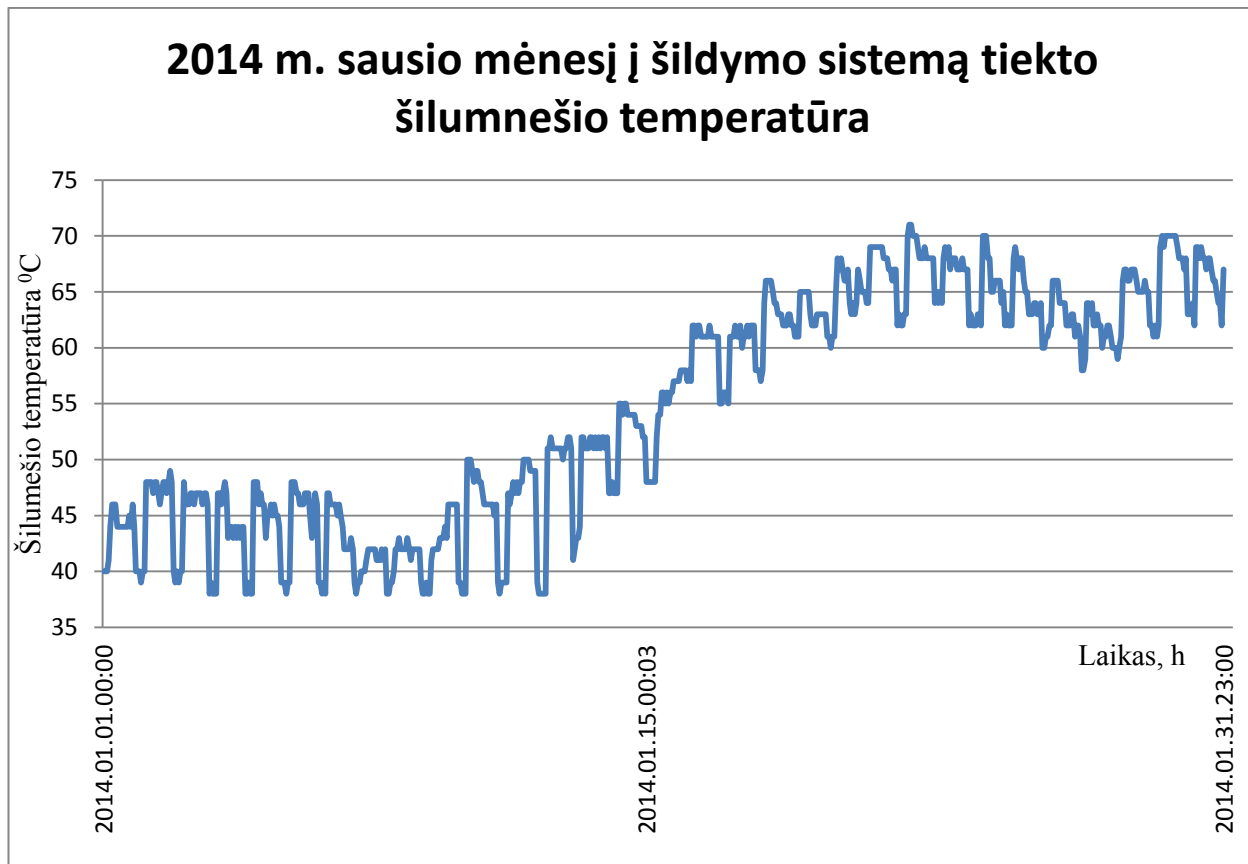


10 pav. 2014 m. sausio mėnesio lauko oro temperatūros kitimas.



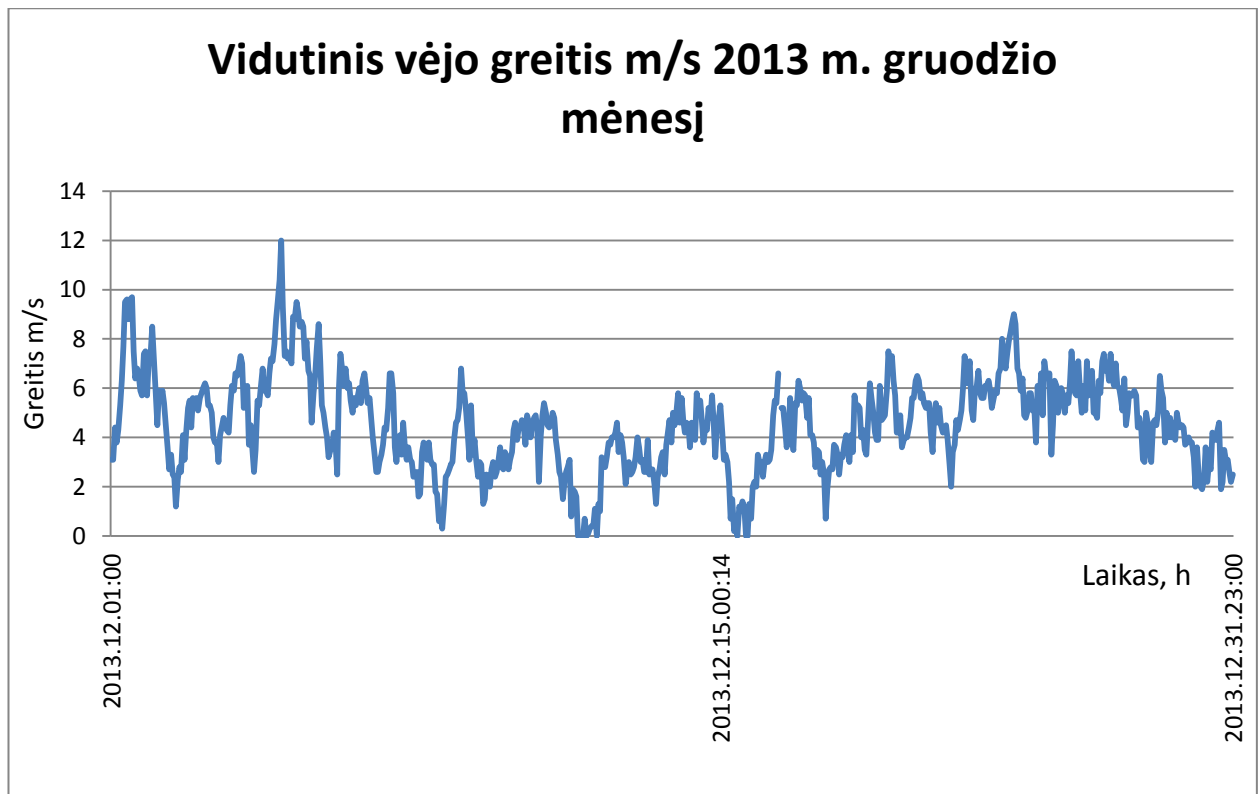
11 pav. 2014 m. vasario mėnesio lauko oro temperatūros kitimas.

Tiekiamo į šildymo sistemą šilumnešio temperatūros grafikas pateiktas 12 pav. Į šildymo sistemą tiekiamo šilumnešio temperatūra kinta priklausomai nuo lauko oro temperatūros ir valdiklyje nustatytų parametrų. Dažniausiai tai yra tiesinė priklausomybė.



12 pav. Į šildymo sistemą tiekiamo šilumnešio temperatūros kitimas.

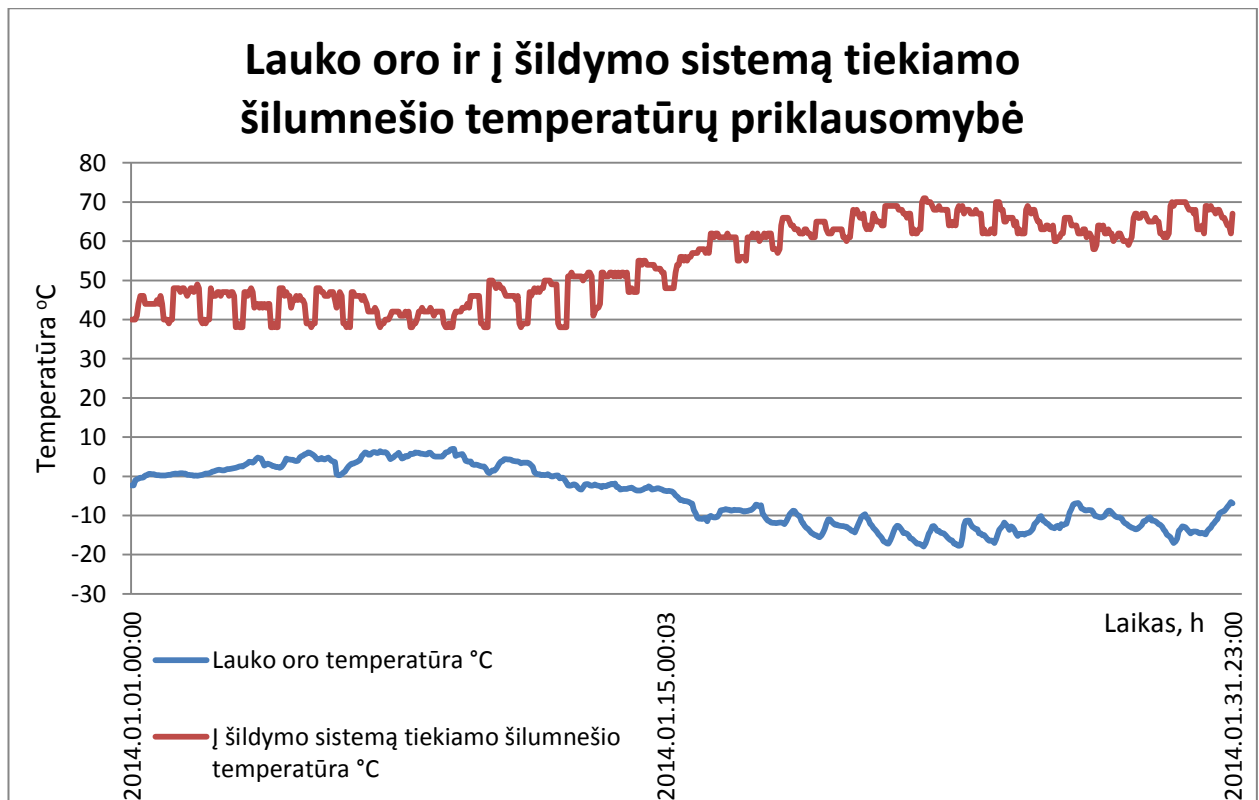
Grafike matomą temperatūros didėjimą lemia mažėjanti lauko oro temperatūra. Temperatūros svyravimai atsiranda dėl valdiklyje užprogramuojamų dieninių, naktinių ir savaitgalio režimų. Tokie režimai dažniausiai įvedami siekiant sumažinti į šildymo sistemą tiekiamo šilumnešio temperatūrą, kartu sumažinant šilumos sunaudojimą.



13 pav. Vėjo greitis m/s 2013 m. gruodžio mėnesį.

Skaičiavimams atlikti įvertintas vėjo greičio kitimas kiekvienu analizuojamu laikotarpiu. Vėjo greičio kitimas gruodžio mėnesį pateiktas 13 paveiksle. Skaičiavimuose vėjo greitis taip pat įvertintas ir sausio bei vasario mėnesį.

Priklausomybė tarp lauko oro temperatūros ir į šildymo sistemą tiekiamo šilumnešio sausio mėnesį pavaizduota 14 paveiksle.



14 pav. Priklausomybė tarp lauko oro temperatūros ir į šildymo sistemą tiekiamo šilumnešio temperatūros sausio mėnesį.

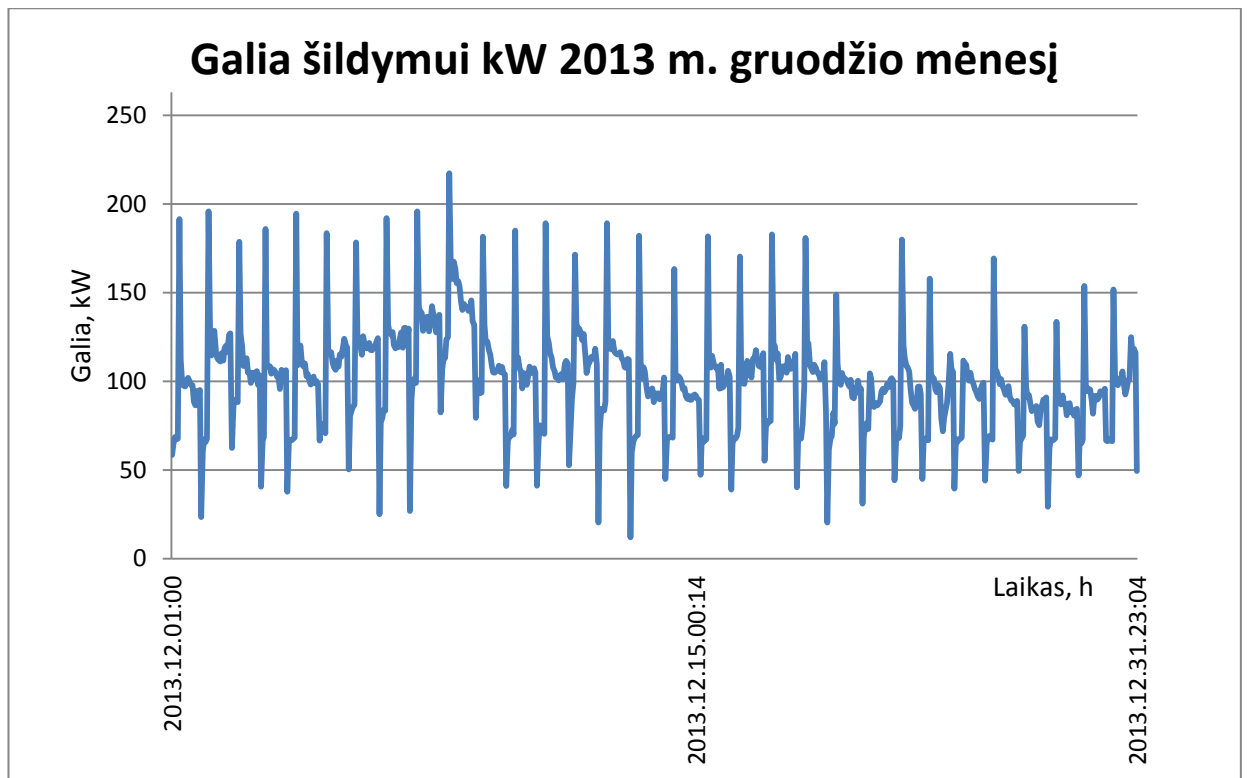
Iš pateikto grafiko matome, kad, krentant lauko oro temperatūrai, kyla į šildymo sistemą tiekiamo šilumnešio temperatūra. Priklausomybė tarp šių dviejų temperatūrų priklauso nuo valdiklyje nustatytų parametrų. Pagrindinis naudojamų tipinių šilumos punktų valdiklių minusas – nevertinami šilumos nuostoliai pastate dėl vėjo.

Pagrindinis parametras, įvertinantis šilumos poreikį pastato šildymui – galia, matuojama šilumos apskaitos prietaisu, įrengtu šilumos punkto įvade. Ultragarso skaitiklis impulsų pagalba išmatuoja pratekančio šilumnešio kiekį, o termoporos – temperatūrų skirtumą tarp tiekiamo ir grąžinamo šilumnešio. Įvertinant šiuos dydžius suskaičiuojamas šilumos kiekis ir momentinė galia. Šilumos apskaitos prietaiso duomenų registravimo lango pavyzdys pateiktas 15 paveiksle [4].

Nuskaitymo data	Darbo valandos	Šilumos kiekis, MWh	Šilumnešio kiekis skaičiuoklyje, m ³	T1, °C	T2, °C	ΔT, °C	Galia, kW	Momentinis šilumnešio srautas, l/h	P1, Barai	P2, Barai	Info kodas
2014.01.31 15:00:11	39981	2538,43	101233,9	101,77	49,37	52,4	190,2	3254	0	0	0
2014.01.31 14:00:11	39980	2538,23	101230,6	102,26	49,93	52,33	189,8	3254	0	0	0
2014.01.31 12:00:11	39978	2537,84	101223,7	102,46	51,35	51,11	204,3	3586	0	0	0
2014.01.31 11:00:10	39977	2537,63	101220,1	102,44	52,16	50,28	207,4	3701	0	0	0
2014.01.31 10:00:11	39976	2537,42	101216,3	102,28	53,09	49,19	213,2	3888	0	0	0
2014.01.31 09:00:10	39975	2537,21	101212,4	102,04	53,46	48,58	216,9	4003	0	0	0
2014.01.31 08:00:10	39974	2536,99	101208,4	100,5	53,63	46,87	213,1	4075	0	0	0
2014.01.31 07:00:11	39973	2536,78	101204,3	102,29	54,45	47,84	224,2	4205	0	0	0
2014.01.31 06:00:15	39972	2536,56	101200,1	101,68	54,33	47,35	221,3	4191	0	0	0
2014.01.31 05:00:15	39971	2536,32	101195,8	102,6	53,1	49,5	243,9	4421	0	0	0
2014.01.31 03:00:10	39969	2535,91	101188,6	101,2	49,64	51,56	193,8	3370	0	0	0
2014.01.31 02:00:10	39968	2535,72	101185,3	101,77	49,49	52,28	192,2	3298	0	0	0

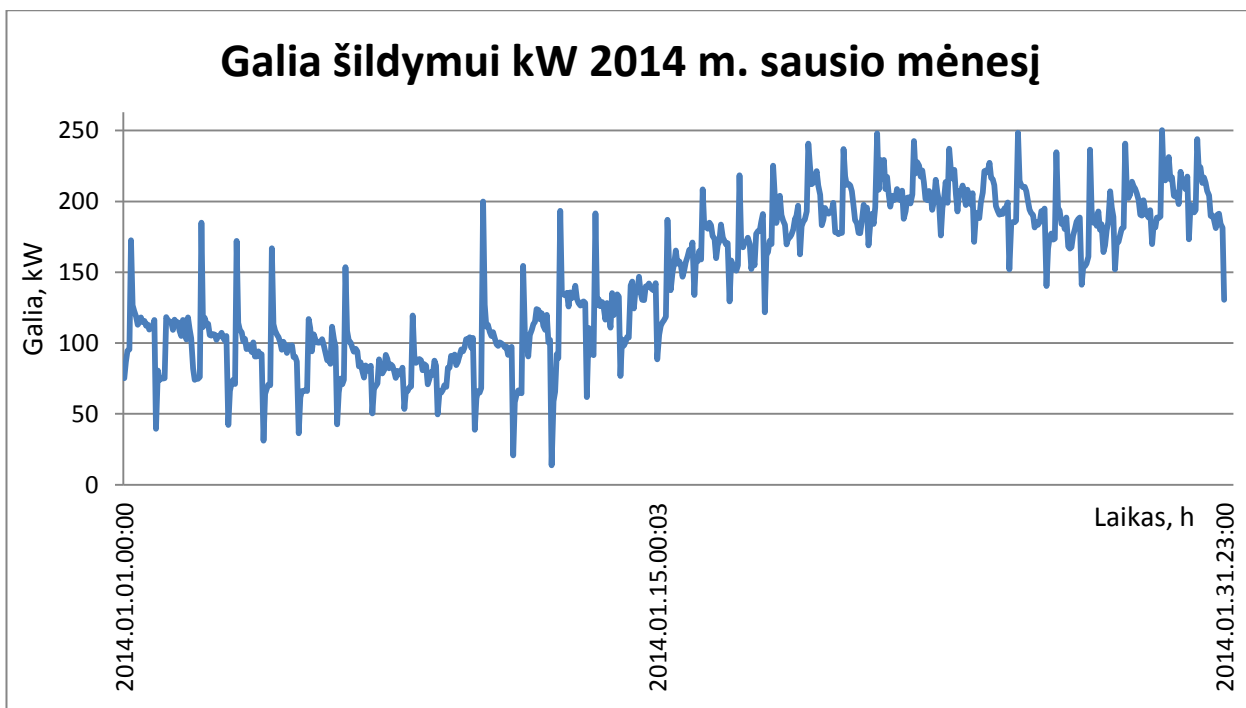
15 pav. Šilumos apskaitos prietaiso duomenų fiksavimo langas.

Darbe atliktiems skaičiavimams panaudoti duomenys, fiksuoti kas valandą. Šilumos apskaitos prietaiso fiksuojami duomenys yra: duomenų perdavimo laikas, suvartotos šilumos kiekis, pratekėjusio šilumnešio kiekis, paduodamo šilumnešio temperatūra, grąžinamo šilumnešio temperatūra, temperatūrų skirtumas, momentinė galia ir momentinis pratekančio šilumnešio kiekis.



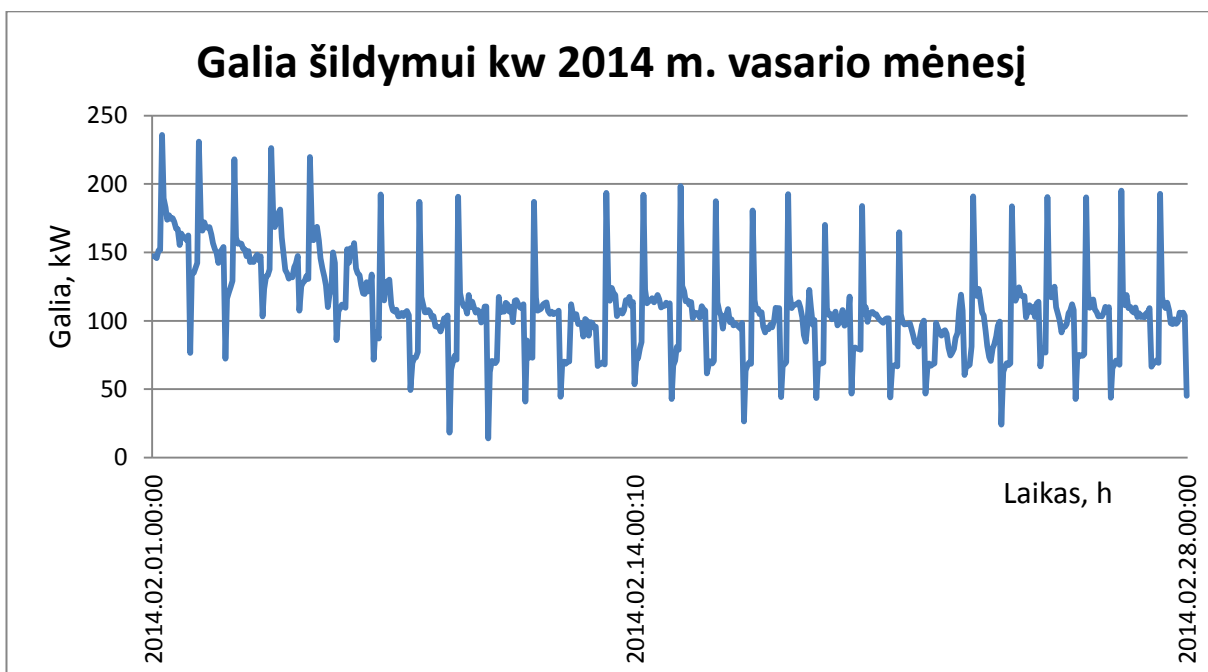
16 pav. Galios pokytis 2013 m. gruodžio mėnesį kintant lauko oro temperatūrai.

Tiriamo objekto šilumos poreikis kintant lauko oro temperatūrai gruodžio mėnesį pavaizduotas 16 paveiksle [4]. Galia didėja krentant lauko oro temperatūrai. Galios svyravimai atsiranda dėl automatizavimo sistemos darbo, t.y. dėl reguliatoriuje nustatytų šilumos taupymo režimų. Valdiklyje įsijungus naktiniam režimui, santykinė patalpų temperatūra sumažinama iki vartotojo nustatytos. Tuo pačiu sumažėja į šildymo sistemą tiekiamo šilumnešio temperatūra ir atitinkamai sumažėja galia reikalinga šildymui.



17 pav. Galios pokytis 2014 m. sausio mėnesį kintant lauko oro temperatūrai.

Sausio mėnesio galios šildymui pokytis pavaizduotas 17 paveiksle. Mėnesio pabaigoje matomą galios padidėjimą lemia sumažėjusi lauko oro temperatūra. Mėnesio bėgyje galios šildymui svyravimai atsiranda dėl skirtingų lauko oro temperatūrų, o galios padidėjimai – dėl dieninio ir naktinio patalpų temperatūros nustatymo.



18 pav. Galios pokytis 2014 m. vasario mėnesį kintant lauko oro temperatūrai.

18 paveiksle pateiktas galios šildymui grafikas, kaip ir anksčiau pavaizduoti gruodžio ir sausio mėnesių grafikai, vaizduoja galios šildymui kitimą dėl lauko oro temperatūros.

Visi tolimesniam darbui naudojami šilumos punkto ir meteorologinių sąlygų duomenys matuoti tris mėnesius kas valandą. Matavimo įranga atitinka meteorologinius reikalavimus.

7. KOEFICIENTŲ RADIMAS MAŽIAUSIŲ KVADRATŲ METODU

Matematinio modeliavimo metodais tyrinėdami įvairius procesus susiduriame su problema, kai nežinome kelių nagrinėjamo proceso parametru, kuriuos būtina įvertinti naudojant stebėjimo duomenis. Funkcija, kuri apibrėžia tiriamo proceso kitimo eigą, vadinama regresine priklausomybe. Vienas iš nežinomų parametru radimo būdu yra mažiausių kvadratų metodas, kai pasinaudojama stebėjimo duomenimis. Jeigu tirama priklausomybė yra netiesinė, pasinaudojus įvairiais matematiniais supaprastinimais siekiama ją tokia paversti.

Priimame, kad skaičiuotina patalpų temperatūra $T_C = 18 \text{ }^\circ\text{C}$.

Koeficientų a ir b , įvertinančių pastato šiluminį laidumą, radimui sudaroma tikslo funkcija:

$$\sum_{i=1}^{657} (P_i - (a + b * \delta_i) * (T_C - T_{apli}))^2 \quad (6)$$

Funkcija sprendžiama mažiausių kvadratų metodu.

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum (P_i - (a + b * \delta_i) * (T_C - T_{apli})) * (-(T_C - T_{apli})) = 0 \\ \sum (P_i - (a + b * \delta_i) * (T_C - T_{apli})) * (-\delta_i * (T_C - T_{apli})) = 0 \end{array} \right\} \quad (7)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} a \sum (T_C - T_{apli})^2 + b * \sum \delta_i * (T_C - T_{apli})^2 = \sum P_i * (T_C - T_{apli}) \\ a \sum \delta_i * (T_C - T_{apli})^2 + b * \sum \delta_i^2 * (T_C - T_{apli})^2 = \sum P_i * \delta_i * (T_C - T_{apli}) \end{array} \right\} \quad (8)$$

Lygčių sistemos nežinomuosius pasižymime:

$$(T_C - T_{apli})^2 - A$$

$$\sum \delta_i * (T_C - T_{apli})^2 - B$$

$$\sum P_i * (T_C - T_{apli}) - C$$

$$\sum \delta_i^2 * (T_C - T_{apli})^2 - D$$

$$\sum P_i * \delta_i * (T_C - T_{apli}) - E$$

Sudarome lygčių sistemą:

$$\begin{cases} a * A + b * B = C \\ a * B + b * D = E \end{cases} \text{(9)}$$

Išsireiškiame a ir b koeficientus:

$$a = \frac{C - b * B}{A}$$

$$b = \frac{EA - BC}{DA - B^2}$$

$$\frac{BC - b * B^2}{A} + b * D = E$$

$$a = \frac{C - b * B}{A} = \frac{C}{A} - \frac{EA - BC}{DA - B^2} = \frac{CDA - CB^2 - EAB + B^2C}{A * (DA - B^2)} = \frac{CD - EB}{DA - B^2} = \frac{EB - CD}{B^2 - DA}$$

Pasinaudoję mažiausių kvadratų metodu gausime parametrus, įvertinančius pastato šilumos laidumo koeficientą ir vėjo įtaką kiekvienam tiriamam periodui. Šie parametrai bus reikalingi norint sudaryti pastatui tiekiamos šilumos valdymo matematinį modelį ir surasti optimalų tiekiamos šilumos valdymą.

8. TIRIAMO OBJEKTO ŠILUMINIŲ CHARAKTERISTIKŲ SKAIČIAVIMAS

Siekiant sudaryti tiriamo objekto matematinį modelį pirmiausia randami pastato šilumos laidumą apibūdinantys koeficientai. Nagrinėjamu atveju procesas vertinamas kaip stacionarus.

Tiriamo objekto šiluminės galios poreikis išreiškiamas formule:

$$P = (a + b * \delta) * (T_c - T_{apl}) - P_s * k_1 + C \frac{dT}{dt} \text{(10)};$$

P – galia šildymui W;

P_s – bendrosios saulės spinduliuotės intensyvumas W/m^2 ;

a– koeficientas, įvertinantis pastato šiluminį laidumą $W/^\circ C$;

b – koeficientas, įvertinantis pastato šiluminį laidumą esant vėjui $\frac{W*s}{^\circ C*m}$;

k_1 – saulės spinduliuotės intensyvumo įtakos pastato šilumos poreikiui koeficientas;

δ – vėjo greitis m/s;

T_c – skaičiuotina patalpų temperatūra $^\circ C$.

T_{apl} – lauko oro temperatūra $^\circ C$.

Reikiamų koeficientų radimui sudaroma tikslo funkcija (6), kuri toliau sprendžiama mažiausių kvadratų metodu.

Mažiausių kvadratų metodu išsprendę sudarytą tikslo funkciją, randame pastato šiluminį laidumą apibūdinančius koeficientus a, b ir k_1 :

1 lent. Pastato šilumos laidumo koeficientai a, b ir koeficiento k_1 skirtingais mėnesiais.

Pastato šilumos laidumo koeficientai			
Koeficientas/Mėnesis	Gruodis	Sausis	Vasaris
a, $W/^\circ C$	6079	6067	5590
b, $\frac{W*s}{^\circ C*m}$	10,3	46,76	128,9
k_1	-0,108	-0,081	-0,083

Koeficientai a ir b apibūdina pastato šilumos laidumą ir pastato šilumos nuostolius dėl vėjo įtakos. Koeficientas k_1 apibūdina saulės spinduliuotės intensyvumo įtaką pastato šilumos poreikiui. Iš pateiktos 1 lentelės matome, kad pastato šilumos laidumo koeficientas a skirtingais mėnesiais yra panašus. Skirtumas gali atsirasti dėl natūralių procesų, tokių kaip šilumos nuostoliai dėl vėdinimo. Koeficientas b parodo, kokią įtaką pastato šilumos atidavimui kiekvieną mėnesį turėjo vėjas.

Pirmu atveju nevertiname vėjo įtakos (laikome, kad vėjo greitis 0 m/s), todėl koeficientas b pasinaikina. Tuomet iš 10 formulės išsireiškiame šilumos laidumo koeficientą λ :

$$\lambda = \frac{P}{(T_c - T_{api}) * S_{namo}} = \frac{a}{5053} = \frac{6067,32}{5053} = 1,2 \frac{W}{^{\circ}C * m^2} \quad (11);$$

čia:

S_{namo} – tiriamo objekto bendras sienų ir stogo plotas m^2

$$S_{namo} = S_{stogo} + S_{sienų} = 490 + 4563 = 5053 \text{ m}^2$$

Tiriamas objektas statytas iš gelžbetonio blokų. Literatūroje pateikiama, kad betono šilumos laidumas yra $1 - 1,8 \frac{W}{^{\circ}C * m^2}$. Todėl galime teigti, kad pastato šilumos laidumo koeficientas paskaičiuotas teisingai.

Turėdami šilumos laidumo koeficientą randame vidutinę pastato šiluminę varžą:

$$R = l * \frac{1}{\lambda}, \frac{m^2 * ^{\circ}C}{W} \quad (12)$$

Čia :

l = tiriamo objekto sienos storis, m.

$$l = 0,3 \text{ m.}$$

$$R = 0,3 * \frac{1}{1,2} = 0,25 \frac{m^2 * ^{\circ}C}{W} \quad (13)$$

Šilumos laidumo koeficientas darant prielaidą, kad vėjo greitis 10 m/s, o lauko oro ir patalpų temperatūros tokios pat, kaip ir prieš tai nagrinėtu atveju:

$$\lambda = \frac{P}{(T_c - T_{apl}) * S_{namo}} = \frac{a + b * \delta}{5053} = \frac{6067,32 + 467,6}{5053} = 1,29 \frac{W}{\text{°C} * m^2}$$

Papildomai įvertinus 10 m/s vėjo greitį gauname, kad pastato šilumos laidumas padidėja 7 %. Surasti pastato šilumos laidumo koeficientas ir pastato šiluminė varža leidžia netik sudaryti teisingą matematinį modelį, bet ir įvertinti tiriamojo objekto šiluminės savybes.

9. OPTIMIZAVIMO PROGRAMOS SUDARYMAS

Suradus reikiamas tiriamo objekto šilumines charakteristikas, t.y. pastato šilumos laidumo koeficientus, vėjo bei saulės įtaką pastato šilumos nuostoliams į aplinką, sudaryta programa tiekiamos šilumos pastatui valdymo optimizavimui. Programos langas pateiktas 19 paveiksle.

Form1

Atsakymas:

P Skaiciuoti

k1

Ps Apdoroti duomenis

a

Tapl Nuskaityti duomenis iš

b

gama Prognozuoti

x

T0 Optimizavimas

13 secs from Excel, energija buvo 64316,8 kWh,
temp deviacija 0,825 °C, vid temp 17,483 °C

16,69
16,43
16,18
17,13
17,28
17,39
17,55
17,7
17,66
17,55
17,44
17,37
17,29
17,23
17,28
17,31
17,38
17,42
16,88

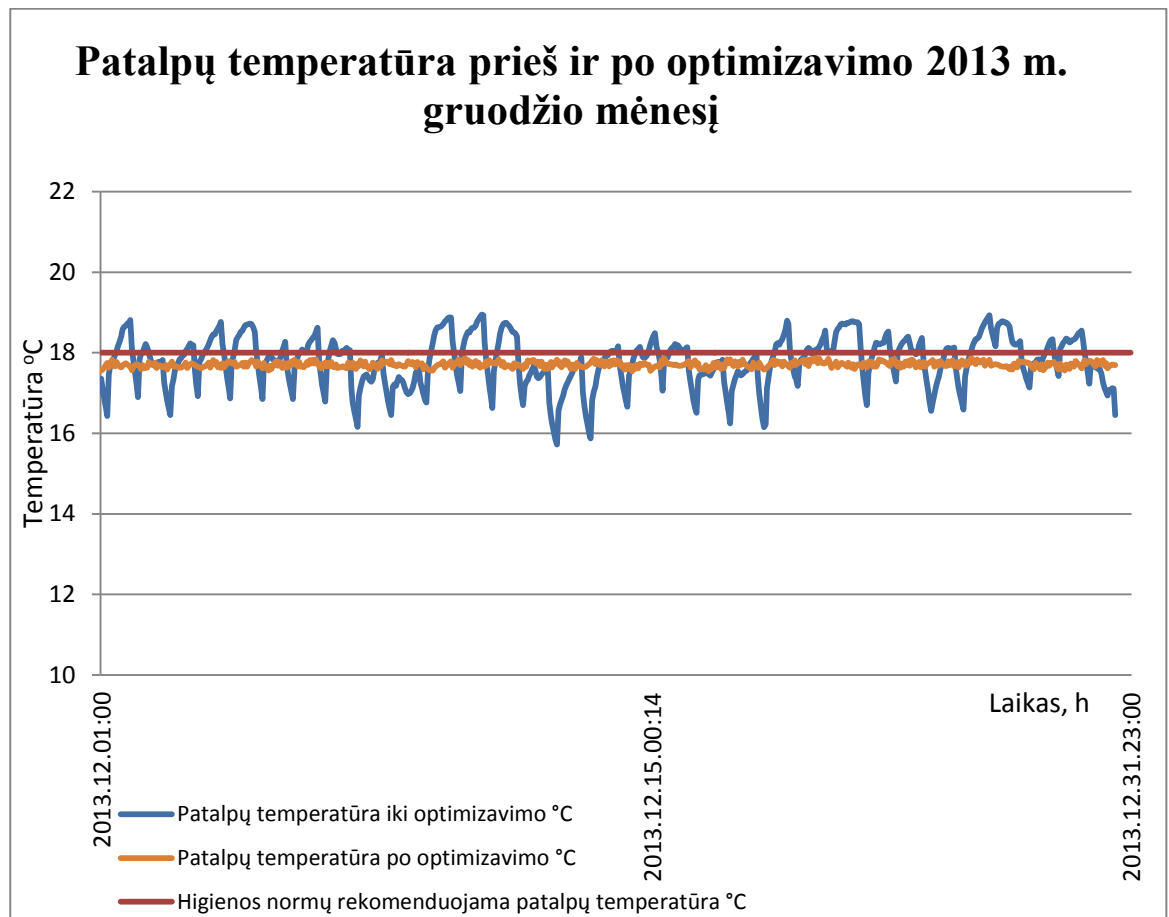
19 pav. Sudarytos optimizavimo programos langas

Nagrinėjamas periodas – trys šildymo sezono mėnesiai, o duomenys imami kas valandą. Programa nuskaity saulės intensyvumo, vėjo greičio, į pastatą tiekiamos šilumos galią, lauko oro temperatūrą nuskaity iš Microsoft Excel duomenų failo, sudaryto remiantis tiriamojo objekto darbo parametrų išmatuotais dydžiais.

Parašytos programos tikslas – surasti tokį tiekiamo šilumos pastatui valdymą, kad patalpų temperatūra būtų kuo artimesnė vidutinei patalpų temperatūrai iki optimizavimo. Pasinaudodama sudarytu tiriamo objekto matematiniu modeliu, saulės intensyvumo bei vėjo greičio duomenimis programa apskaičiuoja patalpų temperatūrą po optimizavimo ir tiekiamos šilumos galios kitimą, reikalingą tai temperatūrai palaikyti.

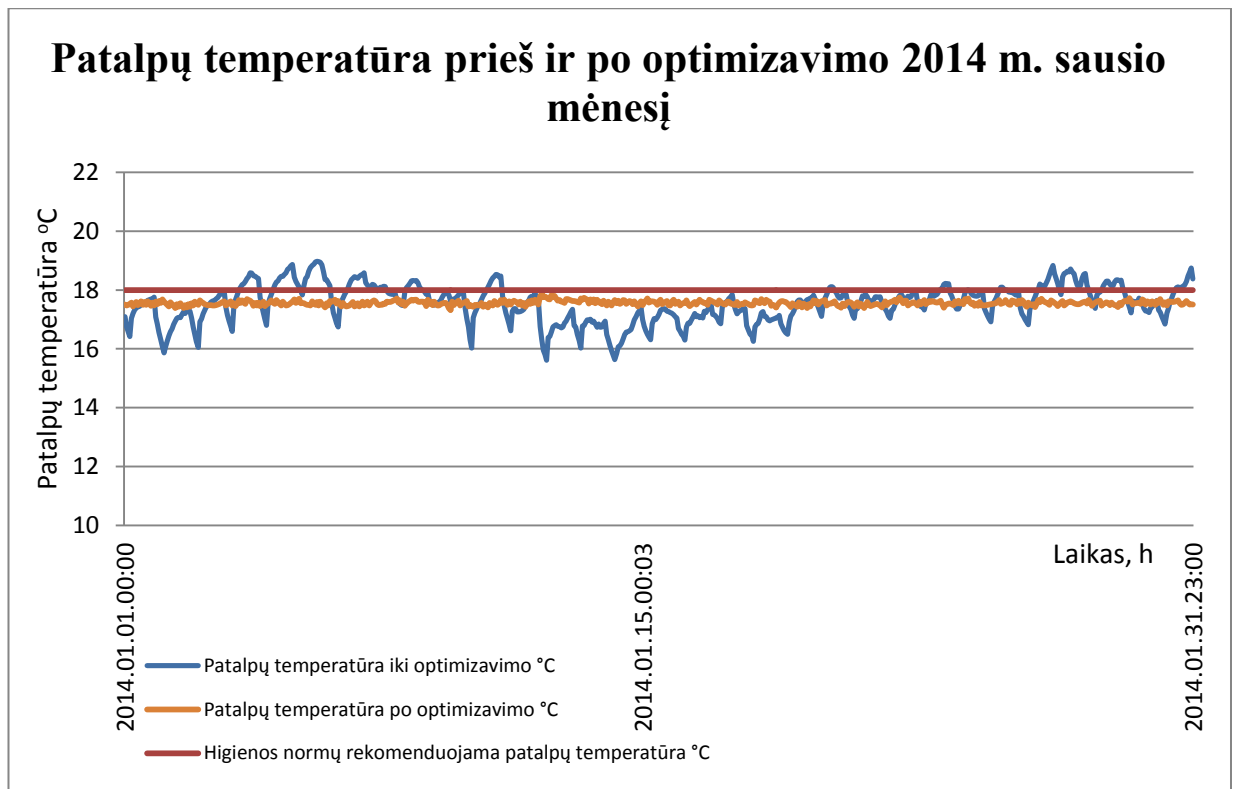
10. TIEKIAMOS ŠILUMOS VALDYMO OPTIMIZAVIMAS

Siekiant nustatyti optimalų tiekiamos šilumos gyvenamajam namui valdymą, atlikti šilumos punkto darbo matavimai ir pastato šiluminių charakteristikų skaičiavimai. Iš gautų duomenų sudarytas algoritmas tiekiamos šilumos valdymo optimizavimui. Gruodžio mėnesio patalpų temperatūros grafikas pateiktas 20 paveiksle.



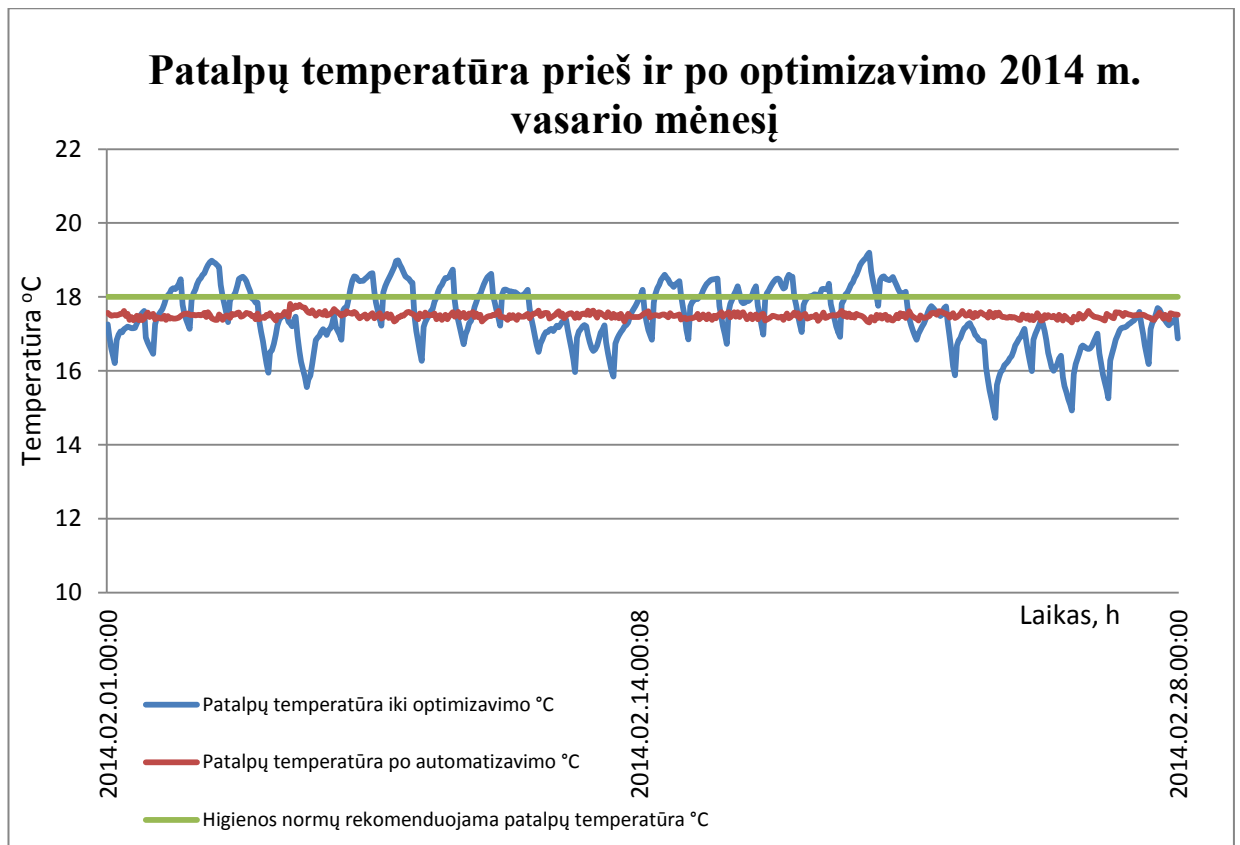
20 pav. Patalpų temperatūra prieš ir po optimizavimo 2013 m. gruodžio mėnesį.

Iš pateikto grafiko matome, kad patalpų temperatūra iki tiekiamos šilumos valdymo optimizavimo labai dažnai neatitinka higienos normų keliamų reikalavimų. Atlikus tiekiamos šilumos valdymo optimizavimą, patalpų vidutinė temperatūra artima higienos normų keliamiems reikalavimams esant tokiam pačiam šilumos sunaudojimui kaip ir iki tiekiamos šilumos valdymo optimizavimo.



21 pav. Patalpų temperatūra prieš ir po optimizavimo 2014 m. sausio mėnesį.

Sausio mėnesio patalpų temperatūros grafikas taip pat parodo tiekiamos šilumos pastatui valdymo problemą iki optimizavimo. Patalpų temperatūra didžiąją nagrinėjamo mėnesio dalį yra gerokai žemesnė nei 18 °C. Nors vidutinė patalpų temperatūra prieš ir po optimizavimo yra vienoda, naujojo valdymo algoritmas sudarytų galimybę palaikyti patalpų temperatūrą artimesnę higienos normų reikalavimams.

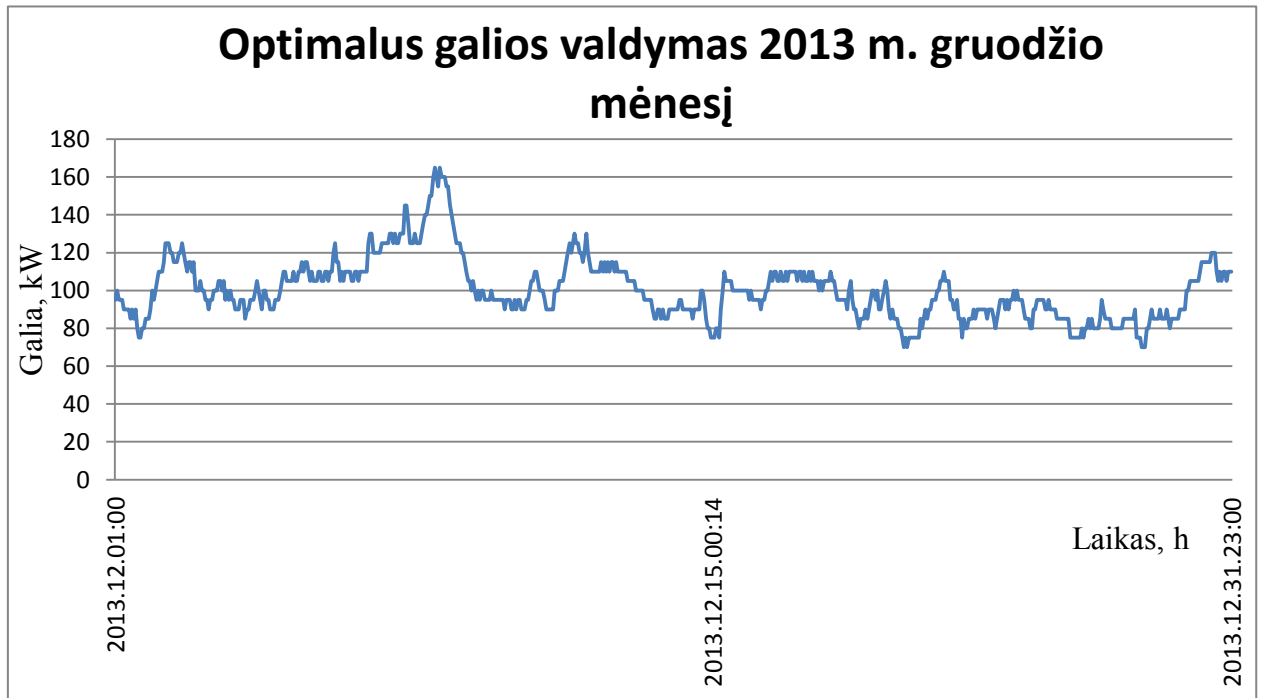


22 pav. Patalpų temperatūra prieš ir po optimizavimo 2014 m. vasario mėnesį.

Pateiktame vasario mėnesio patalpų temperatūrų prieš ir po optimizavimo grafike (22 paveikslas) matome, kad esant šaltoms ir vėjotoms dienoms patalpų temperatūra krenta žemiau 16 °C, o toks reguliavimas nėra tinkamas siekiant užtikrinti reikiamą patalpų temperatūrą.

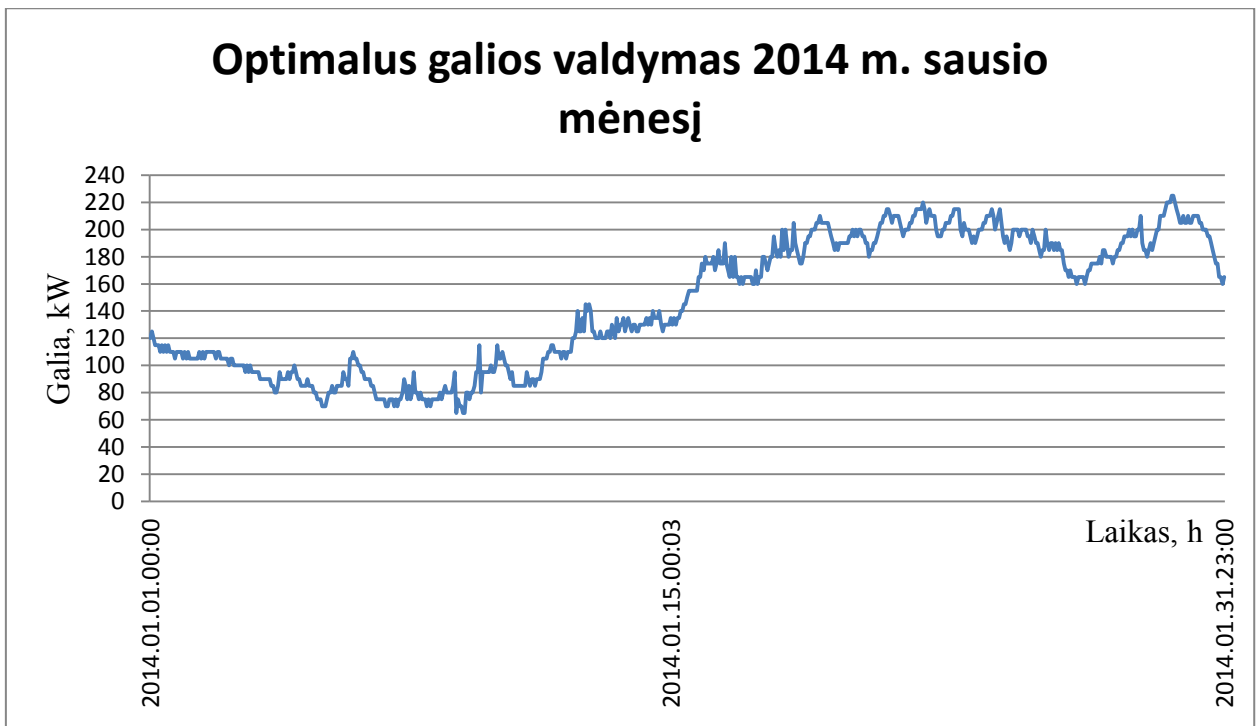
11. OPTIMALUS GALIOS VALDYMAS

Sudarius tiriamojo objekto matematinį modelį ir apskaičiavus šilumines pastato savybes, tiekiamos šilumos gyvenamajam namui optimizavimo programos pagalba sudaryti mėnesiniai šiluminės energijos valdymo grafikai. Pateiktame 23 paveiksle galios šildymui grafikas po valdymo optimizavimo, kuriame galių svyravimai mėnesio eigoje priklauso nuo lauko oro temperatūros ir vėjo stiprumo įtakos.

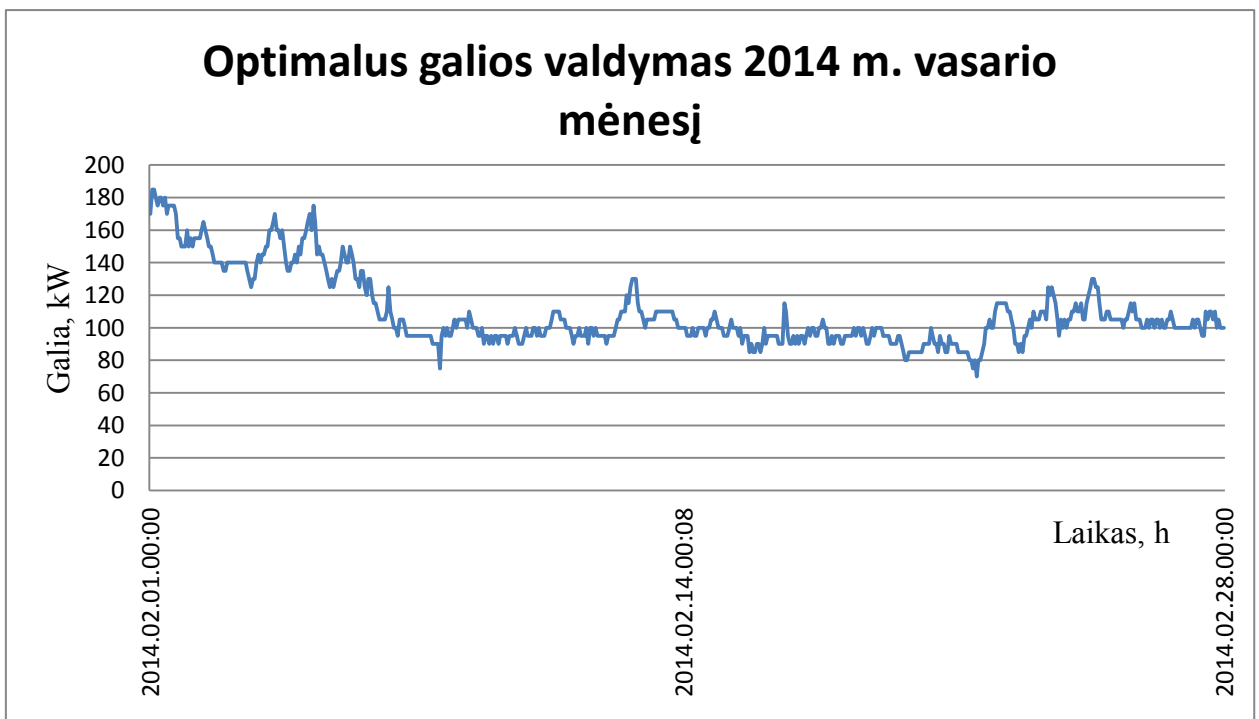


23 pav. Optimalus galio valdymas 2013 m. gruodžio mėn.

24 paveiksle pateiktas sausio mėnesio galios šildymui grafikas po optimizavimo. Mėnesio antroje pusėje matomą padidėjusią galią šildymui lemia sumažėjusi lauko oro temperatūra. Lyginant galios šildymui grafikus prieš ir po optimizavimo pastebima, kad po optimizavimo nelieka galios šuolių.



24 pav. Optimalus galios valdymas 2014 m. sausio mėnesį.



25 pav. Optimalus galios valdymas 2014 m. vasario mėnesį.

25 paveiksle pateiktas 2014 m. vasario mėnesio šilumos galios valdymo grafikas po valdymo optimizavimo. Po valdymo optimizavimo sumažėjo galios pikai.

Atlikus tiekiamos šilumos gyvenamajam namui valdymo tyrimą panaudojant saulės ir vėjo duomenis gauti galios grafikai trimis nagrinėjamiems periodams. Panaudojus tokį tiekiamos šilumos galios valdymą, būtų išvengta pereinamųjų procesų, kai neužtikrinama reikiama patalpų temperatūra, atitinkanti higienos normas.

IŠVADOS IR REZULTATAI

- Tyrimo metu apskaičiuotas pastato šilumos laidumo koeficientas $1,2 \text{ W/K}\cdot\text{m}^2$ atitinka STR 2.01.09:2012 standarte pateiktą diapazoną $0,9\text{-}1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.
- Patalpų temperatūros svyravimo diapazonas iki optimizavimo yra $4 \text{ }^\circ\text{C}$, optimizavus tiekiamos šilumos valdymą patalpų temperatūra svyruoja $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$.
- 10 m/s stiprumo vėjas 7% padidina pastato šilumos nuostolius į aplinką.
- Sukurtas valdymo algoritmas leidžia įvertinti papildomus šilumos nuostolius dėl pastato nesandarumo ir palaikyti temperatūrą artimą higienos normoje HN 42:2009 pateiktai $18 \text{ }^\circ\text{C}$ gyvenamųjų patalpų temperatūrai.

LITERATŪRA

1. Juozas Gudzinskas, Valdas Lukoševičius, Vytautas Martinaitis, Edvardas Tuomas, „Šilumos vartotojo vadovas“, Vilnius 2011.
2. „Šilumos energetika ir technologijos“ Kauno technologijos universitetas, Kaunas 2013.
3. Petras Švenčianas, „Šiluminė technika“, Kaunas 1993.
4. www.kaunoenergija.lt
5. www.lsta.lt
6. Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos archyviniai duomenys.
7. Stasys Šinkūnas, Mantas Morkvėnas, Juozas Gudzinskas, Romaldas Morkvėnas, „Šilumos mainų pastatuose matematiniai modeliai ir jų taikymo pastatų šildymo sistemų darbo režimo valdymui galimybių tyrimas“, Kauno technologijos universitetas, Kaunas 2013.
8. Aurimas Lisauskas, „Saulės energijos integravimas į centralizuotas šilumos tiekimo sistemas“, Lietuvos energetikos institutas, Kaunas 2013.
9. Statybos techninis reglamentas STR 2.05.01:2005
10. Vytautas Jasaitis, Darius Kriščiūnas, „Gyvenamojo namo šildymo ir vėdinimo valdymo sistemos modelio tyrimas“, Kauno technologijos universitetas.
11. www.lrs.lt
12. www.danffos.lt
13. Rasa Džiugienė – Tumėnienė „Integruotų pastato energetinių sistemų optimizavimo metodai“ Kaunas 2013
14. Frontczak M., and Wargocki P. Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments, Building and Environment, 2011.
15. „Heating, ventilating and Air – Conditioning systems and equipments“, American Society of Heating, Refrigerating and Air – Conditioning Engineers.
16. Domestic heating compliance guide, Department for communities and Local Government, London, 2008.
17. <http://www.draytoncontrols.co.uk>, „Controls for domestic central heating and hot water.
18. Justas Rutkauskas, „Modernizuotų šildymo sistemų rezultatai ir reguliavimo svarba“, Vilnius, 2013.
19. Stambiaplokščių gyvenamųjų namų revovacija Vilniaus mieste, Vilnius 2007.
20. Lietuvos šilumos tiekėjų asociacija, „Šilumos tinklų ir vartojimo įrenginių priežiūros taisyklės“, Vilnius 2005.

PRIEDAI

PRIEDAS 1. PAŽYMA DĖL PASINAUDOJIMO KAUNO METEOROLOGIJOS STOTIES INFORMACIJA



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETO ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

Viešoji įstaiga, K. Donelaičio g. 73, 44249 Kaunas.
Duomenys kaupiami ir saugomi Juridinių asmenų registre, kodas 111950581.
Fakulteto duomenys: Studentų g. 48, 51367 Kaunas, tel. (8 37) 30 02 50 / 30 05 00,
faks. (8 37) 45 43 29, eef.ktu.edu, el. p. eef@ktu.lt

Kauno meteorologijos stoties
Viršininkui
Vītui Laurinaičiui

2015-02-18 Nr. *DVI9-F-03-15*

DĖL STUDENTO R. ENDRIKIO GALIMYBĖS PASINAUDOTI KAUNO METEOROLOGIJOS STOTIES INFORMACIJA

Prašome suteikti galimybę KTU Elektros ir elektronikos fakulteto studentui Raimundui Endrikui, studijuojančiam magistrantūros II kurse pagal valdymo technologijų (621H66001) studijų programą, pasinaudoti Kauno meteorologijos stoties informacija (Stebėjimų laikotarpis 2013 m. 12 mėn. – 2014 m. 02 mėn. Ši informacija reikalinga ruošiant magistro baigiamąjį darbą.

Dekanas



Algimantas Valinevičius
Algimantas Valinevičius

Agnė Grigaliūnaitė, tel. (8 37) 30 02 50, el. p. agne.grigaliunaitė@ktu.lt

PRIEDAS 2. NAGRINĖJAMO LAIKOTARPIO METEOROLOGINIAI DUOMENYS

Bendrosios saulės spinduliuotės valandos intensyvumas, W/m²
Kauno MS (4301), 2013 m. 12 mėn.[6]

Diena	Valanda										Vid.	Maks.
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
1		8	11	27	32	37	22	21	5		20	37
2		35	125	200	236	227	175	91	13		138	236
3		12	29	65	56	51	37	13	3		33	65
4		6	25	23	28	28	17	11	3		18	28
5		13	75	82	111	92	37	23	4		55	111
6		16	27	30	39	42	47	17	6		28	47
7		19	59	91	154	81	56	20	5		61	154
8		15	40	125	219	173	117	47	6		93	219
9		10	79	197	213	154	104	39	6		100	213
10		24	130	99	120	118	66	36	8		75	130
11	2	8	22	36	36	31	24	14	5		20	36
12		5	14	24	28	30	24	13	5		18	30
13		4	22	56	85	107	101	68	8		56	107
14		18	50	136	202	146	104	37	6		87	202
15		4	11	22	26	22	20	26	5		17	26
16		7	22	40	49	39	42	25	5	2	26	49
17		7	54	63	82	155	137	44	7		69	155
18		7	22	33	41	34	45	33	8		28	45
19		10	25	53	68	79	47	25	5		39	79
20		6	23	33	33	32	34	19	5		23	34
21		6	23	30	38	128	149	33	8		52	149
22		5	31	93	160	168	86	13	3		70	168
23		3	13	19	24	28	38	51	7		23	51
24		7	34	103	164	155	111	52	8		79	164
25		11	76	146	185	185	144	71	6		103	185
26		8	35	47	56	49	51	10	5		33	56
27		11	38	58	43	69	59	31	6		39	69
28		8	19	55	147	168	153	79	14		80	168
29		10	33	76	76	83	54	29	7		46	83
30	3	6	34	55	38	57	34	16	7		28	57
31		10	84	136	196	196	150	75	11		107	196
Vid.	3	10	41	73	96	96	74	35	6	2	53	
Maks.	3	35	130	200	236	227	175	91	14	2		236

**Bendrosios saulės spinduliuotės valandos intensyvumas, W/m²
Kauno MS (4301), 2014 m. 01 mėn.**

Diena	Valanda											Vid.	Maks.
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
1			11	28	75	62	62	42	17	6		38	75
2			5	11	20	29	27	26	13	5		17	29
3			7	22	19	26	28	22	11	5		18	28
4			5	17	18	15	23	54	31	6		21	54
5			6	15	24	24	19	12	11	5		15	24
6			5	24	66	56	110	87	44	10		50	110
7			4	18	26	29	30	29	15	7		20	30
8			8	40	29	89	59	60	70	11		46	89
9			8	38	54	55	50	51	22	14		37	55
10			7	24	49	56	42	35	42	9		33	56
11		2	9	31	85	86	44	24	19	6		34	86
12		2	7	16	28	33	49	39	26	8	3	21	49
13			9	41	61	67	83	175	59	16	2	57	175
14			14	55	93	162	127	113	88	21		84	162
15		2	10	43	60	87	112	90	38	16	3	46	112
16		2	9	32	66	87	99	92	58	25	3	47	99
17		2	15	61	93	111	110	69	36	14	3	51	111
18		2	11	36	73	102	310	164	139	47	2	89	310
19			32	129	214	263	276	235	154	55	2	151	276
20			32	134	227	282	293	254	172	55	2	161	293
21			35	142	231	285	294	251	170	64	3	164	294
22		2	36	156	241	280	288	249	171	69	4	150	288
23			34	133	226	275	281	244	165	68	4	159	281
24		2	39	151	241	283	286	250	174	72	4	150	286
25		3	45	161	244	295	302	264	183	78	5	158	302
26		2	27	93	190	218	209	186	147	70	6	115	218
27			27	93	153	188	188	153	97	41	6	105	188
28			34	94	171	214	220	163	108	54	7	118	220
29			22	84	145	197	313	151	83	47	8	117	313
30		3	60	175	250	310	313	229	176	58	10	158	313
31	3	4	21	53	87	112	129	142	92	40	7	63	142
Vid.	3	2	19	69	115	141	154	128	85	32	4	83	
Maks.	3	4	60	175	250	310	313	264	183	78	10		313

**Bendrosios saulės spinduliuotės valandos intensyvumas, W/m²
Kauno MS (4301), 2014 m. 02 mėn.**

Diena	Valanda												Vid.	Maks.
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
1	3	5	27	88	174	197	275	247	156	71	11		114	275
2		5	42	106	82	75	70	97	106	50	12		65	106
3	4	5	36	63	110	128	111	100	99	51	11		65	128
4		8	83	220	301	345	356	318	228	121	22		200	356
5		5	56	205	289	348	359	322	238	124	22		197	359
6		4	72	165	270	304	278	233	250	107	18		170	304
7		5	28	61	134	135	239	238	167	62	16		109	239
8	3	4	23	64	71	106	113	183	193	36	15		74	193
9	3	5	20	37	45	40	35	31	33	20	10		25	45
10	3	5	25	51	69	53	48	51	53	22	7		35	69
11		10	36	55	70	95	65	40	33	34	5		44	95
12		8	90	164	196	278	299	291	141	52	14		153	299
13		8	33	61	97	106	116	128	67	29	13		66	128
14	3	6	29	27	38	53	95	71	46	24	11	4	34	95
15	3	8	19	35	60	78	185	262	121	91	24		81	262
16	3	4	15	32	47	91	69	43	39	59	30	3	36	91
17		8	31	72	176	377	268	134	68	36	16	2	108	377
18	3	7	36	106	165	245	310	315	291	197	70	2	146	315
19	3	8	24	47	76	92	67	62	49	25	7	3	39	92
20	3	6	19	22	47	75	59	78	57	28	12	4	34	78
21	3	11	57	102	122	148	163	301	236	132	84	4	114	301
22	3	6	17	42	68	136	97	127	155	118	44	4	68	155
23		20	102	193	323	413	454	416	281	176	85	5	224	454
24		43	130	92	127	122	123	105	61	36	22	5	79	130
25		45	194	325	407	464	469	418	337	223	93	7	271	469
26	2	11	28	66	93	157	143	113	118	81	42	6	72	157
27	3	15	46	68	99	139	168	203	102	61	30	6	78	203
28	3	11	31	91	288	220	206	152	116	64	33	5	102	288
Vid.	3	10	48	95	144	179	187	181	137	76	28	4	99	
Maks.	4	45	194	325	407	464	469	418	337	223	93	7		469

Stebėjimų laikas	Temperatūra [t]	Orai termino metu [ww_man, ww_aws / ww_comb]	Vidutinė vėjo kryptis termino metu [wd_10min]	Vidutinis vėjo greitis termino metu [ws_10min]	Maksimalus vėjo greitis termino metu [wg_10min]	Matomumo nuotolis [vis_man, vis_aws]
2013-12-01 00:00:00	2	0 / 0	245	3,1	5,2	10274
2013-12-01 01:00:00	1,8	10 / 10	234	3,1	4,7	8906
2013-12-01 02:00:00	2,1	10 / 10	236	4,4	6,6	6962
2013-12-01 03:00:00	2,2	81 / 80	241	3,8	6	7987
2013-12-01 04:00:00	2,3	81 / 80	229	4,3	6,8	10178
2013-12-01 05:00:00	2,6	81 / 80	229	5,3	7,9	11696
2013-12-01 06:00:00	3	81 / 80	235	6,3	11,3	18714
2013-12-01 07:00:00	3	81 / 80	228	7,1	11,3	20000
2013-12-01 08:00:00	3,2	21 / 21	228	7,7	13,2	20000
2013-12-01 09:00:00	3,5	0 / 0	232	9,5	15,5	20000
2013-12-01 10:00:00	3,7	61 / 61	234	9,6	16	6796
2013-12-01 11:00:00	3,8	81 / 80	235	8,8	16,3	18398
2013-12-01 12:00:00	4,4	81 / 80	239	9,6	15,5	4154
2013-12-01 13:00:00	4,3	61 / 61	244	9,7	17,1	6304
2013-12-01 14:00:00	5	62 / 63	254	7,5	10,8	11244
2013-12-01 15:00:00	5,6	23 / 21	263	6,4	11,3	20000
2013-12-01 16:00:00	5,8	0 / 0	275	6	10,1	19595
2013-12-01 17:00:00	5,4	0 / 0	273	6,8	10,8	20000
2013-12-01 18:00:00	5,1	0 / 0	269	5,9	9,2	20000
2013-12-01 19:00:00	4,9	0 / 0	276	6,5	11,1	20000
2013-12-01 20:00:00	4,3	0 / 0	278	5,9	9,8	20000
2013-12-01 21:00:00	4,1	0 / 0	272	5,7	9,3	20000
2013-12-01 22:00:00	4,3	0 / 0	301	7,4	13,6	20000
2013-12-01 23:00:00	3,3	0 / 0	305	7,5	12,5	20000
2013-12-02 00:00:00	2,8	81 / 80	310	5,7	10,3	20000
2013-12-02 01:00:00	2,1	23 / 21	315	6,8	12,9	20000
2013-12-02 02:00:00	2	0 / 0	313	7,4	11,8	20000
2013-12-02 03:00:00	1,9	0 / 0	318	7,4	13,2	20000
2013-12-02 04:00:00	1,2	0 / 0	333	8,5	14,5	20000

2013-12-02 05:00:00	0,7	0 / 0	325	7	11,8	20000
2013-12-02 06:00:00	0,1	0 / 0	321	5,8	10,2	20000
2013-12-02 07:00:00	-0,2	0 / 0	319	4,5	7,5	20000
2013-12-02 08:00:00	0,1	0 / 0	315	5,8	9	20000
2013-12-02 09:00:00	0,6	0 / 0	320	5,9	10,1	20000
2013-12-02 10:00:00	0,9	0 / 0	319	5,6	8,8	20000
2013-12-02 11:00:00	1,3	0 / 0	323	5,9	10,1	20000
2013-12-02 12:00:00	1,4	0 / 0	315	5,4	9,7	20000
2013-12-02 13:00:00	1,4	0 / 0	310	4,4	7,6	20000
2013-12-02 14:00:00	0,7	0 / 0	299	3,6	5,8	20000
2013-12-02 15:00:00	-0,1	0 / 0	285	2,7	4,3	18138
2013-12-02 16:00:00	-0,8	0 / 0	277	3,3	4,7	15093
2013-12-02 17:00:00	-1					
2013-12-02 18:00:00	-1,2	0 / 0	268	2,4	3,7	14949
2013-12-02 19:00:00	-1,7	0 / 0	259	1,2	2,7	19715
2013-12-02 20:00:00	-2,3	0 / 0	239	2,3	3,7	20000
2013-12-02 21:00:00	-2,5	0 / 0	236	2,8	4,1	20000
2013-12-02 22:00:00	-2,2	0 / 0	236	2,9	4,3	20000
2013-12-02 23:00:00	-1,8	0 / 0	230	2,6	4,6	20000
2013-12-03 00:00:00	-1,6	0 / 0	234	3,4	5,4	20000
2013-12-03 01:00:00	-1,1	0 / 0	233	4,1	6,7	20000
2013-12-03 02:00:00	-0,7	0 / 0	212	3,1	4,7	20000
2013-12-03 03:00:00	-0,9	0 / 0	221	4,2	6,6	20000
2013-12-03 04:00:00	-0,9	0 / 0	213	5,2	7,4	20000
2013-12-03 05:00:00	-0,6	0 / 0	215	5,5	7,8	20000
2013-12-03 06:00:00	-0,6	0 / 0	216	4,4	6,1	20000
2013-12-03 07:00:00	0,2	0 / 0	233	5,2	8,2	20000
2013-12-03 08:00:00	1,3	0 / 0	234	5,6	9	20000
2013-12-03 09:00:00	1,7	0 / 0	234	6	9,2	20000
2013-12-03 10:00:00	2	0 / 0	237	5,4	8,4	20000
2013-12-03 11:00:00	2,1	0 / 0	232	5,6	9,2	20000
2013-12-03 12:00:00	2,1	0 / 0	234	5,1	9,2	20000

PRIEDAS 3. NAGRINĖJAMU LAIKOTARPIU PASTATE SUNAUDOTAS ŠILUMOS KIEKIS

Nuotolinio nuskaitymo duomenys
2013.12.01 - 2013.12.05

BALTŲ PR. 139, Kaunas
1679600014_1
"BSB 6"

Nuskaitymo data	Skaitiklio darbo valandos	Šilumos kiekis [MWh]	Šilumnešio kiekis skaičiuoklėje [m ³]	Paduodama temperatūra [°C]	Grįžtama temperatūra [°C]	Temperatūrų skirtumas [°C]	Galia, kW	Srautas, l/h
2013.12.05 22:00	38620	2370,61	97119,1	68,28	37,68	30,6	98,6	2837
2013.12.05 21:00	38619	2370,51	97116,4	69,48	37,77	31,71	100,1	2779
2013.12.05 20:00	38618	2370,41	97113,6	69,09	37,79	31,3	98,8	2779
2013.12.05 19:00	38617	2370,31	97110,8	69,29	37,91	31,38	102,6	2880
2013.12.05 18:00	38616	2370,21	97108	68,4	37,72	30,68	100,9	2894
2013.12.05 17:00	38615	2370,11	97105,1	68,25	37,95	30,3	98,1	2851
2013.12.05 16:00	38614	2370,01	97102,2	68,24	38,15	30,09	100,4	2938

PRIEDAS 4. OPTIMIZAVIMO PROGRAMOS KODAS

```
publicdouble CalcCriterion()
{
double T0 = m_average_temp;
double sum = 0;
for (int i = 1; i <= C_VASARIO_COUNT; i++)
{
double P = m_P[i - 1];
double Ps = m_Ps[i - 1];
double Tapl = m_Tapl[i - 1];
double delta = m_delta[i - 1];

double curr_temp = funkcija(P, C_VASARIO_k1, Ps, C_VASARIO_a, Tapl, C_VASARIO_b,
delta, dt, T0, C_SILUMINE_TALPA);
sum += (curr_temp - m_average_temp) * (curr_temp - m_average_temp);

T0 = curr_temp;
}
return sum;
}

privatevoid button3_Click(object sender, EventArgs e)
{
Stopwatch watch = new Stopwatch();
watch.Start();
double sum = 0;
//for (int i = 0; i < 1000000; i++)
//{
sum = CalcCriterion();
//}
watch.Stop();
boxLog.AppendText(((double)(watch.ElapsedMilliseconds) / 1000d).ToString("0.###") + "
sekundes prognozavime, optimizavimo kriterijus yra " + sum.ToString("0.##") + "\n");
}

publicdouble Optimize()
{
int i, j;

for (i = 0; i < 1000; i++)
{
m_P[i] = 0;
}
double old_sum = CalcCriterion();
int candidate_j = -1;

booldone = false;
while (!done)
{
done = true;
for (j = 0; j < C_VASARIO_COUNT; j++)
```

```

        {
double prev_value = m_P[j];
m_P[j] += C_INCR_POWER;
double new_sum = CalcCriterion();
if (new_sum < old_sum)
    {
old_sum = new_sum;
candidate_j = j;
done = false;
    }
m_P[j] = prev_value;
    }
m_P[candidate_j] += C_INCR_POWER;
    }

```

```

return CalcCriterion();
    }

```

```

private void button4_Click(object sender, EventArgs e)
    {

```

```

Stopwatch watch = new Stopwatch();
watch.Start();
double sum = 0;
double was_temp = m_average_temp;
m_average_temp -= 0.01;
sum = Optimize();
watch.Stop();

```

```

m_energy_optimal = 0;
for (int i = 0; i < C_VASARIO_COUNT; i++)
    {
m_energy_optimal += m_P[i];
    }

```

```

double dev = 0;
double T0 = m_average_temp;
textBox11.Clear();
double vid_temp = 0;
for (int i = 1; i <= C_VASARIO_COUNT; i++)
    {

```

```

double curr_temp = funkcija(m_P[i - 1], C_VASARIO_k1, m_Ps[i - 1], C_VASARIO_a,
m_Tapl[i - 1], C_VASARIO_b, m_delta[i - 1], dt, T0, C_SILUMINE_TALPA);
        textBox11.AppendText(curr_temp.ToString("0.###") + "\n");
dev += (curr_temp - m_average_temp) * (curr_temp - m_average_temp);
vid_temp += curr_temp;
        T0 = curr_temp;
    }

```

```

vid_temp = vid_temp / (double)C_VASARIO_COUNT;
dev = Math.Sqrt(dev / (double)C_VASARIO_COUNT);

```

```
boxLog.AppendText(((double)(watch.ElapsedMilliseconds) / 1000d).ToString("0.###") + "
sekundes optimizavime, energija: " + m_energy_optimal.ToString("0.##") + " kWh, temp
deviacija " + dev.ToString("0.###") + " *C, vidtemp " + vid_temp.ToString("0.###") + " *C \n");
m_average_temp = was_tem
```