

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Romanas Savickas

KARŠTO VANDENS TIEKIMO SISTEMŲ PASTATUOSE
EFEKTYVUMAS

Daktaro disertacija
Technologijos mokslai, energetika ir termoinžinerija (06 T)

Vilnius, 2007

Disertacija rengta 2002–2006 metais Vilniaus Gedimino technikos universitete.

Mokslinis vadovas:

Prof. habil. dr. Alfonsas Kazys Skrinska (Vilniaus Gedimino Technikos Universitetas, technologijos mokslai, energetika ir termoinžinerija – 06 T)

TURINYS

SANTRUMPOS	4
PAGRINDINIAI ŽYMĖJIMAI	5
1. ĮVADAS.....	6
2. LITERATŪROS APŽVALGA	11
2.1 Centralizuoto karšto vandens tiekimo sistemų pastatuose efektyvumo, kaip mokslinio tyrimo objekto, apžvalga.....	11
2.1.1 Centralizuoto šilumos ir karšto vandens tiekimo sistemos samprata.....	11
2.1.2 Centralizuoto šilumos ir karšto vandens tiekimo sistemos raida bei efektyvumo tyrimai Lietuvoje.....	14
2.1.3 Centralizuoto šilumos ir karšto vandens tiekimo sistemos raida bei efektyvumo tyrimai užsienio šalyse	24
2.1.4 Baktericidiniam pavojui palankių karšto vandens temperatūrų apibūdinimas.....	31
2.1.5 Kūno nudegimams palankių karšto vandens temperatūrų apibūdinimas	34
2.1.6 Karšto vandens tiekimo paslaugų vieta BVP sukūrimo procese.....	35
2.2 Karšto vandens tiekimo teisiniai pagrindai ir tiekimo kontrolė	36
2.3 Pagrindiniai šio darbo tikslai ir uždaviniai bei autoriaus indėlis į nagrinėjamą problemą	37
3. KARŠTO VANDENS TIEKIMO SISTEMŲ PASTATUOSE EFEKTYVUMO TYRIMO METODAI	38
3.1 Tyrimo priemonės	38
3.2 Vartotojų grupės ir duomenų bazės įvertinimas.....	40
3.3 Tyrimų metodas.....	41
4. KARŠTO VANDENS VARTOJIMO NETOLYGUMO BEI JĮ SĄLYGOJANČIŲ VEIKSNIŲ TYRIMO REZULTATAI	44
4.1 Karšto vandens suvartojimo duomenų apskaitos analizė.....	44
4.1.1 Karšto vandens suvartojimo duomenų įvertinimas atsižvelgiant į apskaitos netikslumus.....	44
4.1.2 Karšto vandens suvartojimo duomenų įvertinimas atsižvelgiant į temperatūrų skirtumus.....	49
4.2 Karšto vandens suvartojimo įvertinimas socialiniu požiūriu	50
4.3 Karšto vandens suvartojimo tikimybinės analizės įvertinimas visuomeniniuose pastatuose	52
4.3.1 Karšto vandens suvartojimo objektų grupės pasirinkimas	52
4.3.2 Karšto vandens suvartojimo bendros objektų grupės tyrimas.....	52
4.3.3 Karšto vandens suvartojimo tyrimas mokyklinio ugdymo įstaigų grupėje.....	56
4.3.4 Karšto vandens suvartojimo tyrimas ikimokyklinio ugdymo įstaigų grupėje.....	60
4.3.5 Karšto vandens suvartojimo tyrimas atsižvelgiant į objekto plotą.....	64
4.3.6 Karšto vandens suvartojimo per parą bei per laiko vienetą analizė. Paros bei valandinių suvartojimo pikų analizė	65
4.4 Karšto vandens suvartojimo tikimybinės analizės įvertinimas gyvenamuosiuose pastatuose	67
4.4.1 Karšto vandens suvartojimo tikimybinei analizei objektų grupės pasirinkimas	67
4.4.2 Karšto vandens suvartojimo bendros objektų grupės tikimybinės analizės tyrimas.....	68
4.4.3 Karšto vandens suvartojimo netolygumo tyrimas daugiabučiame pastate.....	72
5. KARŠTO VANDENS TEMPERATŪROS ANALIZĖ KARŠTO VANDENS TIEKIMO SISTEMOSE SU NUOLATINE CIRKULIACIJA	76
5.1 Karšto vandens temperatūros analizė atsižvelgiant į baktericidinį pavojų	76
5.1.1 Karšto vandens temperatūrų netolygumo tyrimas cirkuliaciniame kontūre.....	76
5.1.2 Karšto vandens temperatūrų netolygumo analizė atšakoje nuo cirkuliacijos kontūro iki maišytuvo	81
5.2 Karšto vandens temperatūros analizė atsižvelgiant į automatikos darbo režimo nustatymą	82
6. REKOMENDACIJOS IR PASIŪLYMAI	87
7. DARBO GALUTINĖS IŠVADOS	92
8. LITERATŪROS SĄRAŠAS	94

SANTRUMPOS

BVP – bendrasis vidaus produktas,

CŠT – centralizuotas šilumos tiekimas,

CŠTS – centralizuotos šilumos tiekimo sistemos,

ES – Europos Sąjunga,

JAV – Jungtinės Amerikos valstijos,

KVTS – karšto vandens tiekimo sistema,

LR – Lietuvos Respublika,

LRS – Lietuvos Respublikos seimas,

LŠTA – Lietuvos šilumos tiekėjų asociacija

NEVEDP – Nacionalinė energijos vartojimo efektyvumo didinimo programa,

ŠTS – šilumos tiekimo sistema,

TSRS – Tarybų Socialistinių Respublikų Sąjunga,

VEI – Valstybinė energetikos inspekcija,

VŠTS – vietinės šilumos tiekimo sistemos,

PAGRINDINIAI ŽYMĖJIMAI

a – gyvenamųjų pastatų karšto vandens norma per parą vienam žmogui, l,

b – visuomeninių pastatų karšto vandens norma per parą vienam žmogui, l,

c – vandens specifinė šiluma, kJ/(kgK),

cfu – vienos arba kelių bakterijų koncentracija, sudarančių vieną koloniją (anglų k., colony-forming units),

$d_{i\bar{s}}$ – išorinis vamzdžio skersmuo, m,

G – vandens kiekis, m³,

k_v – karšto vandens sąnaudų valandinis netolygumo koeficientas,

m – vandens masė, kg,

n – karšto vandens vartojimo valandų skaičius per parą, h,

N – čiaupų skaičius pastate, vnt.,

Q – šilumos kiekis, Wh,

Q_n – nominalus karšto vandens srautas, m³/h,

$Q_{\max}$ – maksimalus karšto vandens srautas, m³/h,

$Q_{\min}$ – minimalus karšto vandens srautas, m³/h,

Q_{start} – pradinė karšto vandens srauto reikšmė, nuo kurios karšto vandens skaitikliai pradeda fiksuoti pratekantį karštą vandenį, m³/h,

Q_t – pereinamasis karšto vandens srautas, m³/h,

q_{pt}^k – būdingojo čiaupo karšto vandens skundinis srautas, l/s,

pH – vandens rūgštingumas,

R – varža, m²·°C/W,

S – standartinis nuokrypis,

T – temperatūra, °C,

V – vandens tūris, m³,

μ – parametras, apsprendžiantis maksimalaus tikimybės tankio vietą x ašyje, todėl nuo jo priklauso, ties kuria x reikšmė bus susitelkęs didžiausias tikimybės tankis,

σ – parametras, nulemiantis tikimybės tankio kreivės aukštį ir jos suglaustumo laipsnį,

ρ – vandens tankis, kg/m³,

v – šilumnešio greitis, m/s,

η – naudingumo koeficientas.

1. ĮVADAS

Atkūrus Lietuvos Respublikos nepriklausomybę jos šilumos ūkis buvo neefektyvus, šilumos gamybos, tiekimo bei paskirstymo įrenginiai buvo žemo technologinio lygio. Buvo dideli šilumos nuostoliai gaminant ir tiekiant karštą vandenį įstaigoms ir gyventojams, suvartotos šilumos apskaita buvo netiksli arba visai nebuvo daroma. Įstaigų ir gyvenamųjų namų šilumos ūkiui reikėjo daug naftos, dujų ir kito kuro. Juos reikėjo importuoti iš kaimyninių šalių, todėl iškilo šiluminės energijos taupymo problema.

Sovietiniu laikotarpiu energijos išteklių vidinės rinkos nebuvo, jie buvo centralizuotai tiekiami žemesnėmis nei pasaulinės rinkos kainomis. Vidinės rinkos nebuvimas lėmė šilumos ūkio iškrypimą pasaulinės technologijos atžvilgiu. Esant žemai fiksuotai valstybinei kuro išteklių kainai, valstybė neturėjo strateginių tikslų investuoti intelektualiuosius žmogiškuosius išteklius į efektyvesnių kuro transformavimo į šiluminę energiją, transportavimo bei paskirstymo įrenginių kūrimą. Tai sąlygojo, kad visi šiluminės energijos gamybos, tiekimo bei paskirstymo įrenginiai neatitiko pasaulinio technologinio lygio ir niekas nebuvo suinteresuotas šiuos įrenginius tobulinti. Atkūrus nepriklausomybę importuojamo kuro išteklių kaina sparčiai pradėjo didėti link pasaulinių rinkos kainų, todėl žemesnio technologinio lygio Lietuvos šilumos tiekimo ūkį reikėjo kuo sparčiau vystyti. Atskleisti trūkumai trukdė šalies pramonės plėtrai ir kėlė problemų buityje, todėl mes buvome priversti susimąstyti apie aukštesnio technologinio lygio bei efektyvesnius šilumos gamybos, tiekimo bei paskirstymo įrenginius. Valstybės lygiu buvo nuspręsta sparčiai didinti atsinaujinančių ir vietinių energijos išteklių vartojimo potencialą, kurių galimybės iki šiol buvo naudojamos nepakankamai. Tai patvirtina Lietuvos Respublikos 2002 m. spalio 10 d. Seimo nutarimas Nr. IX-1130 „Dėl nacionalinės energetikos strategijos patvirtinimo“. Šie procesai apėmė tiek katilinių, šilumos trasų, tiek ir šilumos punktų rekonstrukciją. Pastaruoju metu tobulinant šilumos tiekimo ir karšto vandens ruošimo sistemas, atsisakoma grupinių šilumos punktų ir diegiami šiuolaikiniai individualūs šilumos punktai pastatuose. Šie veiksniai sąlygojo, kad šiai dienai Lietuvoje yra rekonstruota apie 2/3 visų šilumos punktų. Įrengus šilumos punktus sumažinami šilumos nuostoliai, nes nelieka karšto vandentiekio lauko tinklų, tačiau įrengus naujus individualius šilumos punktus, išlieka didelės šilumos karštam vandeniui ruošti ir tiekti sąnaudos. Siekiant sistemų tobulumo reikia įvertinti esamų sistemų darbą, todėl atsiranda poreikis moksliskai pagrįsti jų efektyvumą ir priemones jam gerinti. Karšto vandens tiekimo sistemų pastatuose efektyvumas šiame darbe suprantamas kaip šios veiklos veiksmingumas, rezultatyvumas, išreiškiamas veikla pasiekto rezultato ir sąnaudų jam pasiekti santykiu. Pagrindiniai šiame darbe minimo efektyvumo vertinimo kriterijai yra šiluminės energijos ir karšto vandens suvartojimo sąnaudos, karšto vandens ruošimo įrenginių kapitalinių

įdėjimų dydis bei šių įrengimų darbo kokybė. Visų šių kriterijų paieška ir įvertinimas kelia šilumos ir karšto vandens tiekimo sistemų pastatuose efektyvumo tyrimui papildomų uždavinių.

Aktualumas

Šiluminės energijos sąnaudos karštam vandeniui ruošti sudaro apie 25 % nuo viso Lietuvoje centralizuotu būdu pagaminamo šilumos kiekio pastatams šildyti arba atitinkamai apie 250 mln. litų per metus. Šią sumą Lietuvos gyventojai išleidžia karšto vandens ruošimui. Todėl racionalus karšto vandens naudojimas ir tiekimo techninių problemų sprendimas leidžia sumažinti Lietuvos gyventojų išlaidas šiluminei energijai bei kapitalinių įdėjimų dydį.

Karštas vanduo pastate yra naudojamas gyventojų higieniniams ir buitiniams poreikiams tenkinti. Žmonės karštą vandenį naudoja tiesiogiai arba žmonių vartojimo poreikiai yra tenkinami dirbant su karšto vandens įrenginiais (skalbimo mašinomis, indaplovėmis ir pan.) virtuvėse, voniose arba sanitariniuose mazguose. Netinkamų parametrų karšto vandens naudojimas gali sukelti rimtų sveikatos problemų. Esant palankioms sąlygoms įsivyravusių legionella bakterijų sukeltos ligos gali būti mirtinos karšto vandens vartotojui. Pastaraisiais mėnesiais Lietuvoje užregistruotas rimti susirgimo legionella bakterijomis atvejai, dėl legionella pavojaus net gi buvo uždaryta keletas didelių sporto klubų, todėl Lietuvoje į karšto vandens temperatūros parinkimo problemą turi būti kreipiamas rimtas dėmesys. Karšto vandens temperatūros parinkimo svarbą įtakoja daugelis veiksnių. Iš vienos pusės vartotojas pageidauja karšto vandens temperatūrą turėti kuo žemesnę, kad sumažinti jo paruošimui bei nustatytos temperatūros palaikymui reikalingos šiluminės energijos išlaidas. Iš kitos pusės karšto vandens temperatūra turi būti ne per žema, kad tenkintų vartotojo poreikius, ne per aukšta, kad nebūtų buitinių nelaimingų atsitikimų dėl per aukštos karšto vandens temperatūros ir turi būti tam tikrose apibrėžtose siaurose ribose, kad išvengti mirtinai pavojingų bakterijų poveikio.

Sparčiai augant šiluminės energijos kainai vis labiau aktualu tampa tikslus karšto vandens suvartojimo kiekio ir jo parametrų nustatymas bei prognozavimas. Esamas karšto vandens suvartojimas yra žymiai mažesnis už projektinį 92 l žmogui per parą suvartojimą, todėl projektuojant karšto vandens sistemas gali būti parinkti nepagrįstai dideli ir galingi įrenginiai. Tai didina pradinę sistemos įrengimo kainą ir reikalauja labai daug lėšų remontui, nes vietoj sugedusio įrenginio reikės sumontuoti tokio paties dydžio ir galios kaip ir buvęs. Minėtas karšto vandens normatyvinis suvartojamas kiekis yra priimtas Lietuvai dar esant TSRS sudėtyje pagal tuo metu galiojančias normas, kai karšto vandens apskaitos nebuvo. Buvusioje TSRS buvo nustatyta 95 ir daugiau l per parą karšto vandens suvartojimo norma žmogui, dabar Rusijoje yra apie 68–92, šiuo metu Suomijoje yra apie 85, Norvegijoje apie 70, JAV 46–85 litrų per parą

karšto vandens suvartojimo norma žmogui. Lietuvos ir kitų šalių praktika rodo, kad esant tiksliai apskaitai karšto vandens suvartojimo normos yra mažesnės, tačiau Lietuva, Latvija ir Estija yra besivystančios šalys, todėl tiesiogiai taikyti vakarų Europos valstybių, kurios skiriasi savo klimatine zona, normų negalime. Taip pat žinome, kad karšto vandens suvartojimas priklauso nuo vartotojų pragyvenimo lygio, kurį apibūdina BVP. Lietuva, Latvija ir Estija sparčiai vežasi Skandinavijos šalis, tačiau neturi tiek kuro atsargų kiek jos. Racionalaus šiluminės energijos vartojimo problemos Lietuvoje, Latvijoje ir Estijoje visada bus aštresnės. Vertinant karšto vandens suvartojimą Lietuvoje, Latvijoje ir Estijoje trūksta išsamių ir patikimų duomenų, todėl iškyla poreikis atlikti specializuotus susijusius tyrimus.

Tyrimo objektas

Tyrimo objektas yra vidutinio gyventojų socialinio sluoksnio daugiabučiai gyvenamieji ir visuomeninės paskirties pastatai (mokyklos ir darželiai). Taip pat šiame darbe tyrimo objektas yra detalizuotos šių daugiabučių gyvenamųjų namų ir visuomeninės paskirties pastatų karšto vandens tiekimo sistemos bei jų darbo pagrindiniai principai. Karšto vandens tiksli apskaita yra labai svarbi tiek vartotojui, tiek ir tiekėjui, todėl tai taip pat yra tyrimo objektas. Karšto vandens temperatūra įtakoja šiluminės energijos sąnaudas, riziką dėl susirgimo legionella ir nusideginimo karštu vandeniu, todėl karšto vandens vartojimo netolygumai, minimalus, vidutinis ir maksimalus karšto vandens suvartojimas bei karšto vandens temperatūra yra labai svarbus tyrimo objektas.

Tyrimo tikslai ir uždaviniai

Tyrimo tikslai yra įvertinti šiuolaikinių bei iki šiol veikiančių senesnių karšto vandens tiekimo sistemų bei jų įrenginių darbą, surinkti ir susisteminti jų veikimo duomenis ir atlikti jų analizę, nustatyti faktinius karšto vandens poreikius daugiabučiuose ir administracinės paskirties objektuose, nustatyti karšto vandens suvartojimo netolygumo dėsningumus bei sąlygas, kurios užtikrintų sveiką ir energetiškai racionalų vandens vartojimą. Pagrindiniai šiam darbui keliami uždaviniai yra:

1. Surinkti įvadinių bei gyventojų buitinių apskaitos prietaisų rodmenis ir atlikti jų analizę. Atlikti skaitiklių darbo analizę ir nustatyti jų paklaidas.
2. Atlikus pastato įvadinių bei gyventojų buitinių karšto vandens skaitiklių apskaitos analizę, nustatyti karšto vandens vartojimo netolygumus ir pateikti siūlymus apskaitos tikslinimui.

3. Patikimai nustatyti faktinius karšto vandens suvartojimus gyvenamosios bei visuomeninės paskirties pastatuose. Įvertinti jų kitimo kalendorinių metų bėgyje pobūdį. Surinkti duomenis karšto vandens suvartojimo normų tikslinimui.
4. Nustatyti faktinius karšto vandens suvartojimo standartinius nuokrypius gyvenamosios bei visuomeninės paskirties pastatuose. Įvertinti jų kitimo kalendorinių metų bėgyje tendencijas.
5. Atlikti karšto vandens suvartojimo tikimybės tankio funkcijos ekstremumo analizę gyvenamosios ir viešosios paskirties pastatuose.
6. Nustatyti karšto vandens temperatūros svyravimo ribas cirkuliaciniame kontūre dėl įrenginių darbo bei temperatūras naktinio pažeminimo metu ir įvertinti, ar tai vyksta palankių legionella bakterijų dauginimuisi temperatūrų riboje.
7. Įvertinti ikimokyklinio ugdymo įstaigų karšto vandens tiekimo sistemos darbą ir pateikti rekomendacijas jos tobulinimui.

Tyrimo metodika

Naudodamasis nuotoline duomenų surinkimo sistema stebėjau, surinkau bei susisteminau karšto vandens faktinio suvartojimo duomenis. Išaiškinau, kad pastato įvadinio bei gyventojų suminių skaitiklių rodmenų suma nesutampa. Iškilus klausimui, kuriais skaitikliais vadovautis, buvo užfiksuoti pastato įvadinių bei gyventojų butuose esančių skaitiklių rodmenys. Sistemos ir prie jos prijungtų įrenginių principinė schema pateikta tolimesniuose skyriuose.

Faktinių duomenų įvertinimui naudota statistinė duomenų analizė. Statistinė duomenų analizė yra plačiai naudojama tiriant pastatų šiluminės energijos ir karšto vandens vartojimą. Tyriau surinktų duomenų normaliojo skirstinio dėsningumus.

Mokslinis naujumas

Mokslinį naujumą sudaro karšto vandens tiekimo sistemų pastatuose efektyvumo analizė karšto vandens vartotojo požiūriu. Surinkta didelė duomenų bazė, tyrimo rezultatų analizei pirmą kartą panaudota nuotolinio duomenų surinkimo ir monitoringo sistema, leidžianti gauti ypatingai tikslius duomenis. Naudojant šiuos duomenis atlikta daugiabučių gyvenamųjų pastatų bei ugdymo įstaigų vartotojų grupės karšto vandens tiekimo sistemų pastatuose darbo analizė. Pilni visų vartotojų grupių duomenys leido atlikti statistinę analizę. Atlikta karšto vandens tiekimo sistemų pastatuose temperatūros analizė atsižvelgiant į rizikos faktorius vartotojui.

Darbo aprobavimas

Disertacijos tema yra paskelbti 5 straipsniai, iš kurių 3 mokslo periodiniuose leidiniuose. Darbas aprobuotas 4 mokslinėse konferencijose:

1. Šilumos sistemų valdymas ir priežiūra naudojant „Rubisafe“ nuotolinę duomenų perdavimo sistemą. Respublikinė konferencija „Inžinerinės sistemos“. 2004 m. vasario 27 d.. Vilniaus Gedimino technikos universitetas.
2. Šiluminės energijos, pateikiamos pastatams, nuotolinis apskaitos efektyvumas. Doktorantų ir jaunųjų mokslininkų konferencija „Jaunoji energetika 2005“. 2005 m. birželio 2 d.. Lietuvos energetikos institutas.
3. Biudžeto karšto vandens ruošimui prognozavimas pagal statistinius karšto vandens suvartojimo duomenis. Konferencija „Šilumos energetika ir technologijos“. 2006 m. vasario 2–3 d.. Kauno technologijos universitetas.
4. Šiluminės energijos sąnaudų karštam vandeniui ruošti tendencijų nustatymas. Doktorantų ir jaunųjų mokslininkų konferencija „Jaunoji energetika 2006“. 2006 m. birželio 8 d.. Lietuvos energetikos institutas.

2. LITERATŪROS APŽVALGA

2.1 Centralizuoto karšto vandens tiekimo sistemų pastatuose efektyvumo, kaip mokslinio tyrimo objekto, apžvalga

2.1.1 Centralizuoto šilumos ir karšto vandens tiekimo sistemos samprata

Centralizuotos šilumos ir karšto vandens tiekimo sistemos yra vienos svarbiausių energetinių sistemų. Šilumos tiekimas susideda iš trijų pagrindinių procesų: šilumnešio paruošimo šilumos šaltinyje, šilumnešio transportavimo ir jo šilumos panaudojimo. Visiems šiems procesams užtikrinti reikalingi įrenginiai: šilumos šaltiniai, šilumos tiekimo tinklai ir vietinės šilumos panaudojimo sistemos (šildymo, vėdinimo, karšto vandens tiekimo ar technologiniai įrenginiai). Šių įrenginių glaudus derinys ir sudaro centralizuoto šilumos tiekimo sistemos (ŠTS) sampratą. Šilumos tiekimo sistemos klasifikuojamos pagal galią, šilumos šaltinio tipą ir šilumnešio rūšį. Šilumos tiekimo sistemos galia leidžia spręsti apie šilumos tiekimo atstumą ir šilumos vartotojų skaičių. ŠTS gali būti vietinės (VŠTS), kurios šiluma aprūpina vieną ar kelis objektus ir centralizuotos (CŠTS), kurios šiluma aprūpina miestų rajonus ir gyvenvietes. Pagal šilumnešio rūšį šilumos tiekimo sistemas galima suskirstyti į vandens ir garo sistemas.

Šilumos vartotojus sąlyginai galima suskirstyti į sezoninius ir nuolatinus. Sezoniniai šilumos vartotojai – tai pastatų šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo sistemos, kurių šilumos poreikiai daugiausia priklauso nuo išorės oro temperatūros. Šių vartotojų šilumos poreikiai paros bėgyje beveik pastovūs, o metiniai labai kinta. Nuolatiniai šilumos vartotojai yra karšto vandens ir technologiniai vartotojai, kurių šilumos poreikiai nuo lauko oro temperatūros beveik nepriklauso, bet priklauso nuo karšto vandens vartojimo ir technologinio proceso režimo.

Yra daug metodikų, leidžiančių įvertinti maksimalius ar nominalius šilumos poreikius. Šiems poreikiams nustatyti ankstesniais metais būdavo naudojamos ganėtinai nesudėtingos formulės. Vėliau šios metodikos kasmet tobulėjo ir darėsi vis sudėtingesnės. Projektuojant naujus gyvenamuosius rajonus dažniausiai nežinoma, kiek bus visuomeninių ir gyvenamųjų pastatų ir kokia bus šių pastatų konstrukcija. Karšto vandens vartotojų šilumos poreikiai šiuose pastatuose yra nepastovūs, įvairuoja savaitės dienomis bei paros bėgyje, yra didelis karšto vandens vartojimo netolygumas. Todėl tokių rajonų vidutiniai karšto vandens šilumos poreikiai (kW) gali būti apskaičiuojami pagal formulę:

$$Q_{k.v.}^{vid} = \frac{1,2mc(a+b)(t_{k.v.} - t_{v.v.})}{3600n}. \quad (2.1)$$

Čia 1,2 – šilumos perdavimo nuo karšto vandens vamzdinių patalpoms (vonios patalpos šildymas, skalbinių džiovinimas) koeficientas; m – žmonių skaičius; c – vandens specifinė šiluma (kJ/(kgK)); a – gyvenamųjų pastatų karšto vandens norma l per parą vienam žmogui; b – visuomeninių pastatų karšto vandens norma l per parą vienam žmogui, $t_{k.v.}$ – karšto vandens temperatūra (°C), $t_{v.v.}$ – šalto vandens temperatūra (°C), n – karšto vandens vartojimo valandų skaičius per parą.

Gyvenvietės arba miesto rajono maksimalūs šilumos poreikiai karštam vandeniui (kW) apskaičiuojami pagal formulę:

$$Q_{k.v.}^{\max} = (2...2,5) \cdot Q_{k.v.}^{vid} . \quad (2.2)$$

Visuomeninių, gyvenamųjų bei pramoninių pastatų arba vieno tipo pastatų grupės šilumos poreikiai karštam vandeniui sustambintais rodikliais apskaičiuojami pagal formules:

$$Q_{k.v.}^{vid} = \frac{1,2mac(t_{k.v.} - t_{v.v.})}{3600n} , \quad (2.3)$$

$$Q_{k.v.}^{\max} = k_v \cdot Q_{k.v.}^{vid} . \quad (2.4)$$

Čia k_v – karšto vandens sąnaudų valandinis netolygumo koeficientas, priklausantis nuo karšto vandens vartotojų skaičiaus objekte (apytiksliai gyvenamiesiems ir visuomeniniams pastatams svyruoja 1,7–2,0 ribose, įmonėms lygus 1); n – karšto vandens vartojimo valandų skaičius per parą (visuomeniniams ir gyvenamiesiems pastatams $n = 24$ h).

Pagal $Q_{k.v.}^{vid}$ gali būti skaičiuojamas vandens šildytuvų našumas, kurie turi akumuliacines talpas arba yra jungiami prie šilumos tinklų. Pagal $Q_{k.v.}^{\max}$ gali būti skaičiuojamas vandens šildytuvų našumas, kuomet akumuliacinės talpos nenaudojamos.

Metiniai šiluminės energijos poreikiai karštam vandeniui gali būti apskaičiuojami pagal lygybę:

$$Q_{k.v.}^m = 10^{-3} \cdot 24 \cdot Q_{k.v.}^{vid} [n_s + 0,8(350 - n_s)] . \quad (2.5)$$

Čia 0,8 – koeficientas, kuriuo įvertinami mažesni karšto vandens poreikiai vasarą (netaikomas pastovaus vartojimo objektams, pvz., įmonėms); 350 – karšto vandens vartojimo trukmė paromis per kalendorinius metus; n_s – karšto vandens vartojimo periodas paromis per metus.

Projektuojant naujus pastatus projektavimo užduotyse dažnai yra netikslūs pradiniai duomenys, karšto vandens plokštelių šilumokaičių galios nurodomos mažesnės. Vadovaujantis šiuo metu Lietuvos Respublikoje galiojančiu Statybos techniniu reglamentu STR 2.09.01:1998, projektinis maksimalus šilumos srautas (W) karšto vandens ruošimui nustatomas pagal maksimalų valandinį karšto vandens srautą maksimalaus apkrovimo metu pagal formulę [1]:

$$Q_{k.v.}^{\max} = 2,4 \frac{1,2m(a+b)(t_{k.v.} - t_c)}{24 \cdot 3,6} c_v. \quad (2.6)$$

Čia m – gyventojų skaičius pastate; a – karšto vandens norma vienam gyventojui per parą gyvenamuose namuose litrų per parą (šiuo metu $a = 92$ l/p gyventojui); b – karšto vandens norma vienam gyventojui per parą visuomeniniuose pastatuose (l/p); t_c – šaltojo vandentiekio vandens temperatūra ($^{\circ}C$); $t_{k.v.}$ – karšto vandens temperatūra ($^{\circ}C$); c_v – vandens specifinė šiluma (kJ/(kgK)).

Ši formulė tinka skaičiuojant naujai projektuojamo gyvenamojo rajono šilumos poreikius, kuriuose yra gyvenamųjų namų ir visuomeninio poreikio pastatų, nes tuomet karšto vandens poreikio grafikas išsilygina. Tačiau ši formulė netinka mažo pastato karšto vandens poreikių skaičiavimui. Tuo galime įsitikinti apskaičiavę karšto vandens šiluminę galią individualiam namui, turinčiam 5 gyventojus. Įstatę reikšmes gautume, kad $Q_{k.v.}^{\max} = 3,21$ kW [2].

Remiantis projektavimo normomis nustatyta, kad pastate turint vieną čiaupą turi būti užtikrinamas minimalus 0,09 l/s karšto vandens srautas, o tokiam karšto vandens kiekiui pašildyti reikalinga 18,9 kW momentinė šiluminė galia.

Aukščiau pateikti skaičiavimai rodo didelį nesutapimą. Patirtis leidžia teigti, kad projektuojant šilumos punktus be akumuliacinių vandens talpų šilumokaičius reikia parinkti pagal momentinę galią.

Suomijos šilumos tiekėjai [2] apskaičiuodami pastato karšto vandens šilumokaičio galią (kW), kai jame yra N butų, naudoja formulę:

$$Q = 29 + 20\sqrt{4N - 2}. \quad (2.7)$$

Atlikę įvairių skaičiavimo metodikų palyginimą, J. Gudzinskas ir S. Šinkūnas teigia [2], kad STR 2.09.01:1998 nurodyti karšto vandens galingumai yra sumažinti, ypač jie sumažinti mažiems pastatams. Apskaičiavus 50 butų namo karšto vandens galingumą rezultatai priartėja prie suomių taikomos metodikos gaunamų rezultatų. Šilumokaičių galias nustatant pagal butų

ekvivalentinių vartotojų skaičių, gaunamos padidintos reikšmės ir ypačingai tai akivaizdu, kai šis skaičius lygus 2,5.

2.1.2 Centralizuoto šilumos ir karšto vandens tiekimo sistemos raida bei efektyvumo tyrimai Lietuvoje

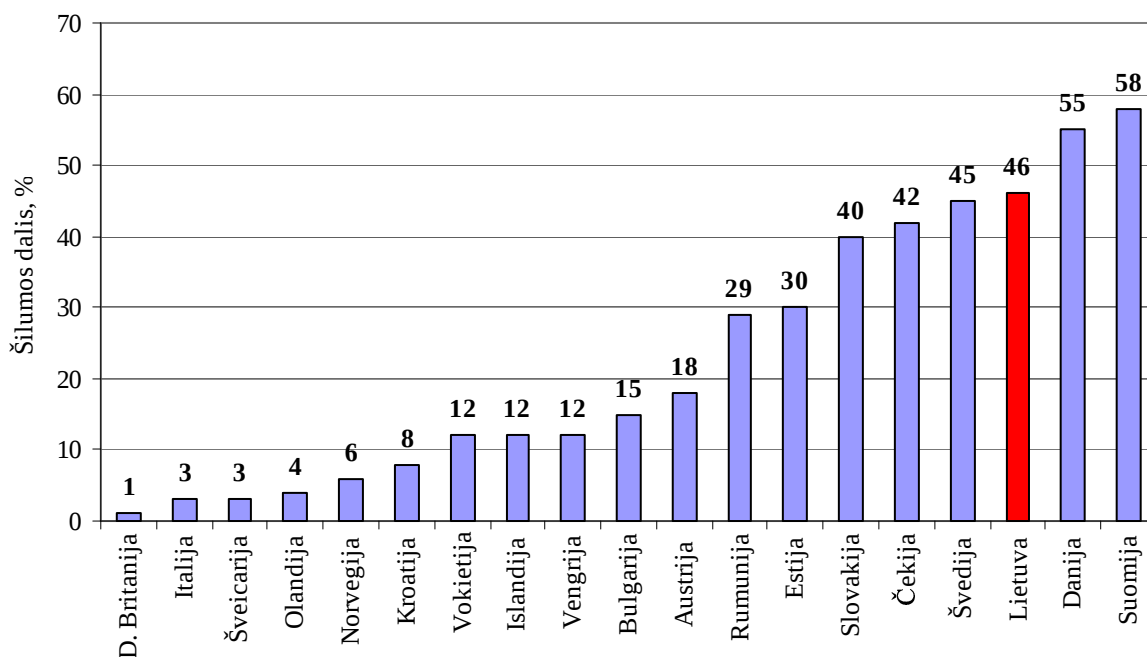
Lietuvoje CŠT pradžia galima laikyti 1903 metus, kada Vilniaus centrinėje elektrinėje buvo įrengtas žemo slėgio centrinis garinis šildymas [110]. Intensyvesnė CŠT plėtra Lietuvoje prasidėjo 1947 metais, kuomet Kaune iš Petrašiūnų elektrinės turbinų garas buvo pradėtas tiekti popieriaus fabriko technologiniams ir buitiniams poreikiams tenkinti. 1957 metais CŠTS pradėjo veikti Vilniuje ir iki 1990 m. sparčiai vystėsi visoje Lietuvoje, mažai kreipiant dėmesį į jos efektyvumą. Didelė dalis miesto tinklų priklausė pramonės įmonėms, todėl šilumos tinklų ilgis 1990 m. pasiekė net 2800 km [3]. 1955–1960 metais centralizuotai tiekiamą šilumą naudojo jau apie 90 tūkst. gyventojų, o šeštojo dešimtmečio pabaigoje centralizuotai tiekti šilumą pradėta rajonų centrų bei kitų miestų komunaliniams pastatams.

Septintajame dešimtmetyje centralizuotas šilumos tiekimas toliau sparčiai vystėsi. Per šį dešimtmetį šilumos tinklai pailgėjo 4,7 karto, apie 32 % išaugo šilumos tinklų perdavimo galia, prie šilumos tinklų pajungtų vartotojų skaičius išaugo iki 30 %. Pagrindiniai šilumos vartotojai buvo pramonės įmonės, kurios sudarydamos 4 % visų vartotojų vartojo 48 % visos centralizuotai tiekiamos šilumos energijos. Buitiniai vartotojai sudarė 65 %, komunaliniai 31 %, tačiau jų vartojimas tesudarė 29 % Lietuvos energetikos sistemos patiektos šiluminės energijos.

Nuo aštuntojo dešimtmečio pradėtos eksploatuoti 900 mm, o nuo devintojo – 1200 mm skersmens šiluminės trasos. Didesniuose Lietuvos miestuose, o nuo devinto dešimtmečio ir mažesniuose miesteliuose, sparčiai išaugo CŠTS. Dauguma CŠTS priklausė valstybei, jų valdymas buvo sutelktas dviejose pagrindinėse įmonėse – VĮ „Lietuvos energetikos sistema“ ir VĮ „Šiluma“. VĮ „Lietuvos energetikos sistema“ 1990 metais eksploatavo 18 miestų CŠTS ir centralizuotai aprūpino 80 % šių miestų gyvenamojo fondo [4].

Lietuvos Respublika, atkūrusi nepriklausomybę, paveldėjo plačiai išplėtotą, bet neefektyvų CŠT ūkį, kuris nebuvo išvystytas rinkos ekonomikos sąlygomis. Gyvenamieji namai, pastatyti iki 1992 metų, buvo suprojektuoti pagal buvusios TSRS normas SN ir T II-3-79 „Statybinė šiluminė technika“ [5], todėl jų šilumos bei karšto vandens sistemos nebuvo suderintos su inžinerinėmis sistemomis ir negalėjo efektyviai veikti. Iki 1997 metų veikė viena monopolinė įmonė AB „Lietuvos energija“, kurią sudarė šilumos tiekimo bendrovės. 1998 metais buvo priimtas „Specialiosios paskirties akcinės bendrovės „Lietuvos energija“ reorganizavimo bei šilumos ūkio ir jo valdymo perdavimo savivaldybėms įstatymas“, kuris leido pagreitinti

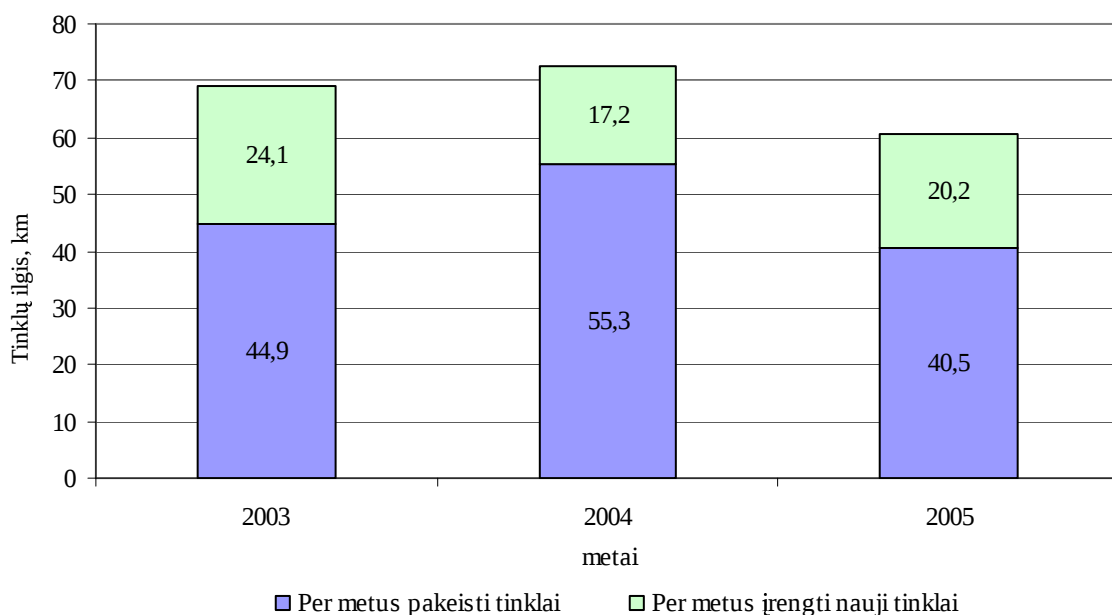
regioninių šilumos tiekimo specialiosios paskirties bendrovių reorganizavimą, atskirdamas miestų bei rajonų šilumos ūkį. Savivaldybės perėmė bendrovių akcijas ir įgijo valdymo savarankiškumą. Šiai dienai dalis šilumos tiekimo bendrovių yra išnuomota privačioms įmonėms ilgalaikių nuomos sutarčių pagrindų. 2000 metų duomenimis centralizuotai tiekiamos šilumos gamybos šaltinių galia buvo daugiau nei 10 000 MW, šilumos tinklų vamzdynų ilgis apie 2,5 tūkst. km., o pagamintos šilumos metinė apyvarta siekė 1 mlrd. litų. 2001 metais Lietuva pagal centralizuotu būdu pagamintos šilumos dalį bendroje šilumos gamybos rinkoje Europoje stovėjo greta Švedijos ir Danijos (2.1 pav.).



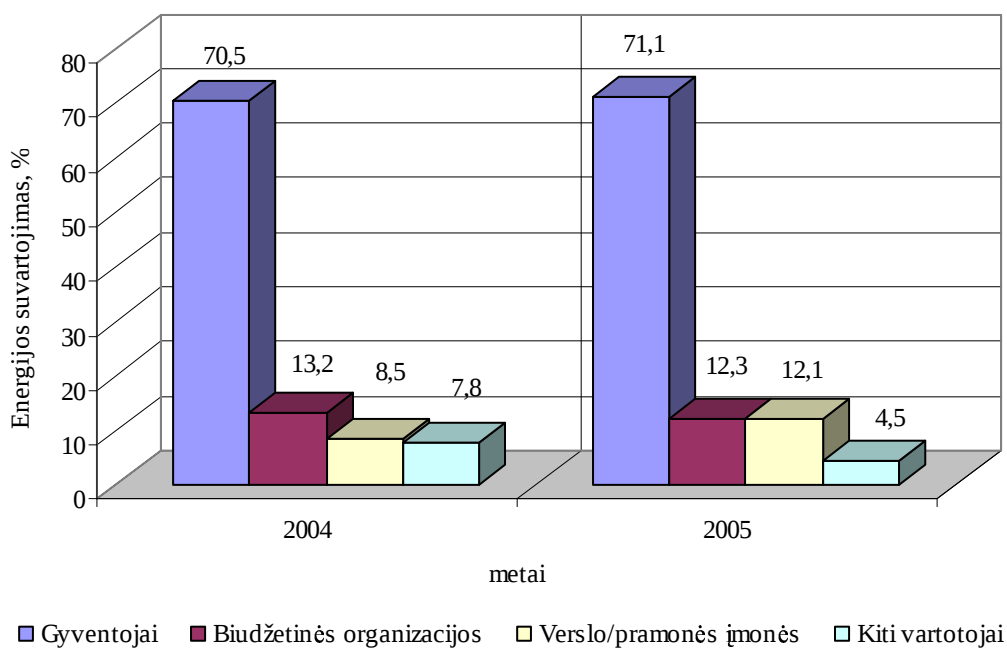
2.1 pav. Centralizuotu būdu pagaminamos šilumos dalis bendroje šilumos gamybos rinkoje Europoje 2001 metais [110]

Pastaraisiais metais Lietuvoje vis dar tęsiamas naujų šilumos tiekimo tinklų įrengimas bei keičiami seni tinklai. 2.2 paveiksle yra pateikta jų kitimo tendencija, kuri pakankamai stabili, bet nuo 2005 metų pastebimas darbų sumažėjimas. Lyginant 1996–2005 metus aiškiai matoma šilumos tinklų technologinių nuostolių mažėjimo tendencija Lietuvoje.

Centralizuotai tiekiamos šiluminės energijos kainos dinamika 1996–2005 metais didėjo, tačiau galima teigti, kad šiluminės energijos vartojimas Lietuvoje nemažėja. Tai matome 2.3 paveiksle, kuriame matyti skirtingų vartotojų grupių šiluminės energijos suvartojimas 2004–2005 metais.



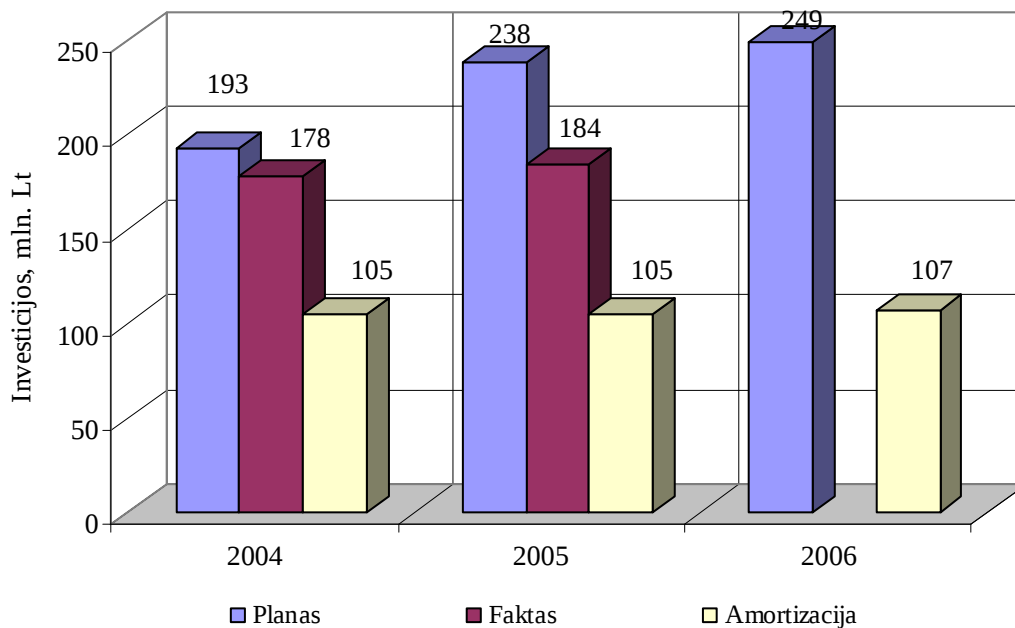
2.2 pav. Naujai įrengti ir renovuoti tinklai 2003–2005 metais [6]



2.3 pav. Šiluminės energijos suvartojimas 2004–2005 metais [7]

Šiuo metu LR vyraujančioje šilumos tiekimo įmonių valdymo struktūroje akivaizdžiai dominuoja savivaldybės: 41 savivaldybė valdo 57 % įmonių, 14 privačių operatorių valdo 43 % įmonių. Šilumos ūkio modernizacijai yra reikalingos investicijos, kurių kiekį stengiamasi išlaikyti stabilų. Kaip rodo praktika investicijų įsisavinimo faktas visada yra mažesnis už planą

(2.4 pav.), tačiau jos duoda teigiamą efektą dėl išmetamų į atmosferą teršalų, kurių kiekis dėl modernizacijos kasmet mažėja.



2.4 pav. Investicijos į šilumos ūkį ir jų įsisavinimas 2004–2005 metais [7]

Karšto vandens vartojimo charakteristika kiekvienam pastatui yra skirtinga. Individualieji gyvenamieji namai karštą vandenį vartoja skirtingu laiku, dažnumu ir intervalais nei daugiabučiai gyvenamieji namai, o pastarieji skirtingai nei administracinės ar visuomeninės paskirties pastatai. Tačiau juos analizuodami galime rasti bendras vartojimo tendencijas, kuriose yra didelis pikų, minimumų ir maksimumų skaičius [8], sudarantis vartojimo charakteristiką. Analizuojant karšto vandens vartojimo dėsningumus, galima nustatyti kiek projektinės normos nukrypsta nuo faktinių poreikių ir koki tikimybinį lygį užtikrina projektiniai įrenginiai – ar jie mažesni nei faktiškai reikia, o gal atvirkščiai – per dideli.

Centralizuotas karšto vandens tiekimas technologiškai susietas su šilumos tiekimu. Faktinis šilumos suvartojimo 1999–2002 m. duomenų tyrimas Klaipėdoje parodė, kad jis yra gerokai žemesnis už projektinį [9]. Tačiau esami šilumos sąnaudų pastatuose tyrimai yra fragmentiški, nes Lietuvoje nėra šilumos rinkos analizei reikalingų statistikos duomenų surinkimo sistemos [9]. M. Nagevičiaus teigimu įvairaus aukštingumo pastatuose karšto vandens lyginamasis suvartojimas didėja, didėjant pastatų aukštingumui [10]. Tuo tarpu faktinio šilumos suvartojimo duomenų sklaida Klaipėdos mieste yra žymiai didesnė už projektinę [9]. Karšto vandens tiekimo sistemų efektyvumo tyrimas dar yra svarbus tuo, kad nuo karšto vandens suvartojimo priklauso bendras pastato šiluminės energijos suvartojimo rodiklis. Siekiant gauti šilumos sąnaudas tik

šildymui, reikia žinoti suvartotą karšto vandens kiekį, kad iš jo būtų galima atimti šilumą karštam vandeniui ruošti, kuri yra proporcinga suvartoto karšto vandens kiekiui [11]. Vasaros sezonu pastatuose šiluma vartojama tik karšto vandens poreikiams tenkinti [9]. Vasaros sezono šilumos poreikiai, kaip rodo Lietuvos ir kitų šalių tyrimų duomenys, daugiausia priklauso nuo gyventojų skaičiaus, tenkančių gyvenamojo ploto vienetui ir nuo gyventojų amžiaus. Mažesnės karšto vandens ruošimui suvartotos šiluminės energijos sąnaudos yra pastatuose, kuriuose vienam žmogui tenka didesnis suvartojamo karšto vandens kiekis. Visiškai nevartojant karšto vandens, visa šiluma būtų suvartojama tik vamzdinių šilumos nuostoliams cirkuliaciniame karšto vandens žiede kompensuoti [12]. Sudarant energijos poreikių prognozes administraciniuose ir gyvenamuosiuose pastatuose, galimi įvairūs modeliai, kurių taikymas įmanomas tik įvertinus karšto vandens dedamąją visoje energijos vartojimo grupėje [13]. Tačiau energijos poreikių prognozės reikalingos ne tik vartotojams, bet ir tiekėjams, kurie numato kintančias tiekiamos šilumos apkrovas bei tiekiamo šalto vandens kiekį, o karšto vandens dedamoji vasaros laikotarpiu lieka vienintelė ir svarbiausia [8].

Dr. K. Paulionis [14], išanalizavęs karšto vandens vartojimo problemas teigia, kad daugiabučiame pastate, skaičiuojant 730 valandų darbo laiką per mėnesį, iš karšto vandentiekio stovo į aplinką gali būti atiduodamas 37–118 kWh/mėn. šilumos kiekis. Tai sudaro 45 % buto karštam vandentiekiiui priskaičiuoto šilumos kiekio, kuris priklauso nuo tiekiamų stovų skaičiaus, vamzdinių skersmens, patalpų aukščio ir kt. Juos sumažinti galima izoliuojant stovus. Į aplinką atiduodamos šilumos kiekis nuo karšto vandens cirkuliacinio stovo sudaro 11–27 kWh/mėn. arba 5,5–18 % šilumos kiekio. Šilumos kiekis nuo karšto vandentiekio tiekiamųjų ir cirkuliacinių magistralių namo rūsyje gali sudaryti 14–50 kWh/mėn. arba 7–14 % nuo bendro šilumos kiekio. K. Paulionis teigia, kad šilumos kiekis nuo rankšluosčių džiovintuvų vonioje gali sudaryti 51–163 kWh/mėn. arba 32–66 %. Bendras priskiriamas šilumos kiekis butui susideda iš visų minėtų šilumos kiekių ir gali būti 147–260 kWh/mėn. Šis dydis nuo minimalios iki maksimalios galimos reikšmės keičiasi beveik dvigubai, todėl galima teigti, kad yra daug karšto vandens sistemų efektyvumo faktorių. Daroma išvada, kad buto 1 m³ karštam vandeniui reikalingas šilumos kiekis nedaug priklauso nuo suvartojamo karšto vandens kiekio bei nuo suvartojamo ir cirkuliuojančio vandens kiekių santykio, todėl šilumos sąnaudų karšto vandens tiekimo sistemose įvertinimas, nustatant mokesčius tik pagal suvartoto karšto vandens kiekį bute arba pašildyto šalto vandens kiekį šilumokaityje, yra netikslus.

Centralizuotu būdu tiekiamos šilumos patalpų šildymui bei karšto vandens tiekimo sistemų efektyvumu ne kartą domėjosi E. Tuomas. Jis savo darbuose yra detalai išnaginėjęs tiek šildymo [12], tiek ir karšto vandens tiekimo sistemas. Atliktų tyrimų metu jis nustatė, kad šilumos kiekiai karšto vandens sistemose skiriasi: Vilniaus miesto Lazdynų rajone karštam

vandeniui tenka 96,75 kWh/m³, Justiniškėse 111,28 kWh/m³, Fabijoniškėse 112,78 kWh/m³ [15]. Jo teigimu tik karštam vandeniui sušildyti nuo 9 °C iki 55 °C reikia 53,5 kWh/m³, o likęs šilumos kiekis yra šilumos energija, prarandama vamzdynuose, šilumos punktuose bei vonių patalpose. Atlikus tyrimus nustatyta, kad centriniuose šilumos punktuose dėl šiluminės energijos nuostolių į aplinką prarandama apie 7–8 %, skirstomuosiuose karšto ir cirkuliacinio vandens tinkluose 4–5 %, vonių patalpoms sušildyti 22–23 %, pastato magistralėse ir neizoliuotuose stovuose 65 % šilumos. Iš šių rezultatų matyti, kad labai didelė šilumos energijos dalis, suvartojama karšto vandens tiekimo sistemoje, visiškai neįvertinama, nes 1 m³ karšto vandens skiriama 74,91 kWh šilumos energijos [15]. Šios išvados rodo, kad karšto vandens tiekiamos temperatūros bei vartojamos energijos stabilumui didelę įtaką turi karšto vandens tiekimo sistemos šilumos nuostoliai.

Karšto vandens tiekimo stabilių parametrų užtikrinimui bei sistemos efektyvumui didelę įtaką turi karšto vandens tiekimo sistemos izoliacija. Atlikę išorinių veiksnių, sąlygojančių centralizuotai tiekiamos šilumos poreikius gyvenamuose namuose analizę, J. Grigonienė, V. Kveselis, A. Lisauskas bei M. Tamonis [85] skaitmeniniu modeliavimu parodė, kad vasarą karšto vandens tiekimo vamzdynų santykiniai šilumos nuostoliai iki rekonstrukcijos sudarė 18 % visos tiekiamos šilumos. Šių specialistų vertinimais, realūs šilumos nuostoliai karšto vandens tiekimo iš kolektyvinio ruošos punkto į pastatus galėjo būti kur kas didesni dėl blogos šilumos izoliacijos ir išteklėjimų. Atlikti skaičiavimai rodo, kad šilumos nuostoliai šildymo sezono metu sumažėjo nuo 13 % iki 7 %, todėl metiniai šilumos nuostoliai sumažėjo [11]. Pagrindinis šilumos tiekimo nuostolių sumažėjimo faktorius yra karšto vandens tiekimo vamzdynų atjungimas.

Kitame savo darbe E. Tuomas atliko šilumos nuostolių analizę šilumos tiekimo grandyje ir nustatė, kad šilumos nuostoliai pastatų karšto vandens tiekimo sistemose sudaro 17 %. Šilumos nuostoliai dėl prarasto karšto vandens siekia 16 % visų šilumos nuostolių [16]. Šilumos nuostolių karšto vandens tiekimo sistemose susidarymo priežastys yra blogai izoliuoti karšto vandens tiekimo vamzdynai magistralių rūsiuose, neizoliuoti stovai ir nuostoliai vonių gyvatukuose. Iš atliktų skaičiavimų matyti, kad skirtinguose pastatuose su vienodos konstrukcijos sistemomis šilumos sąnaudos karštam vandeniui yra skirtingos. Akivaizdu, kad turėtų iškilti klausimas dėl karšto vandens sistemos darbo efektyvumo įvairiuose pastatuose, tačiau E. Tuomas į šį klausimą atsakymų nepateikia. Šilumos nuostoliai dėl karšto vandens būna vamzdynuose, nutiestuose iš grupinių šilumos punktų iki pastatų, pastatuose ir jų karšto vandens tiekimo sistemose. Nuostoliai karšto vandens tiekimo vamzdynuose sudaro iki 3,5 % [17], o didelė dalis karšto vandens prarandama pastate.

Šilumos nuostolių šiluminiai skaičiavimai grindžiami vamzdynais atiduodamo šilumos srauto (W) nustatymu nuo 1 m ilgio cilindro paviršiaus per valandą (Wh) ir bendruoju atveju apskaičiuojami pagal formulę:

$$q = \frac{t_f - t_a}{R}. \quad (2.8)$$

Čia t_f – šilumnešio temperatūra (°C); t_a – aplinkos temperatūra (°C); R – terminė varža, (m°C/W).

Karšto vandens tiekimo kokybės užtikrinimas kintant apkrovai yra labai svarbus sistemos efektyvumo veiksnys, todėl tai tyrė S. Masaitis ir V. Kveselis [8]. Jie savo darbe teigia, kad mažesni šilumnešio greičiai vamzdynuose, kuomet šilumos poreikis yra mažiausias (pavyzdžiui, vasaros naktį), sąlygoja didesnę temperatūros sumažėjimą, o nutolusius karšto vandens vartotojus šilumnešis gali pasiekti žemesnės temperatūros, neatitinkantis karšto vandens ruošimo standartų [8]. Autoriai savo darbe įvertino vieno vartotojo (daugiabučio gyvenamojo namo) šilumos poreikio per parą kitimo modelį, kuris yra gana sudėtinga kreivė, turinti daug pikų, minimumų ir maksimumų. Nustatyta, kad mažiausia tiekimo temperatūra yra vartotojo įvade, kurio šilumos poreikiai mažiausi, o vamzdynai ilgi. Vartotojai, turintys didesnius šilumos poreikius, gauna tokios temperatūros šilumnešį, kurios užtenka pašildyti karštą vandenį iki sanitarinių normų dieną ir tik anksti ryte temperatūra gali būti per žema. Didėjant šilumos poreikiui nuo 6 val. ryto, tiekimo temperatūra greitai auga iki 57–59 °C ir tokia išlieka visą dieną. Yra pastebima skirtinga laiko trukmė, kol vartotojus pasiekia reikiamos temperatūros vanduo po naktinio tiekimo režimo. Toli esantiems vartotojams tam reikia 3–6 valandų. Iš ryto jie gaus žemesnės temperatūros karštą vandenį [18], todėl karšto vandens vartojimo netolygumas bus per didelis, o sistemos efektyvumas mažas. Tiekiamo šilumnešio temperatūra tiesiogiai įtakoja karšto vandens sistemos darbą, o karšto vandens paruošimas vykdomas šalto vandens temperatūrą padidinant šilumokaičiu. Yra žinoma, kad šilumos atidavimo nuo sienelės šildomam vandeniui koeficientas α_1 , esant turbulentiniam tekėjimui, skaičiuojamas [19]:

$$\alpha_1 = 1,16 \cdot (1210 + 18\tau_{md}^2) \cdot \omega_1^{0,8} / d_1^{0,2}. \quad (2.9)$$

Šilumos priėmimo nuo sienelės šildomam vandeniui koeficientas α_2 , esant laisvai konvekcijai:

$$\alpha_2 = \left[(90 + 10\tau_{md}^{0,75}) \sqrt[3]{\Delta t} \right] 1,16. \quad (2.10)$$

Čia τ_{md} – šildančio vandens temperatūra ($^{\circ}\text{C}$); t_{md} – šildomo vandens temperatūra ($^{\circ}\text{C}$); ω_1 – šildančio vandens greitis; ω_2 – šildomo vandens greitis; d_1 – ekvivalentinis hidraulinis skersmuo; Δt – šildomo ir šildančio vandens temperatūrų skirtumas ($^{\circ}\text{C}$).

Šilumos perdavimas šilumokaityje mažėja krentant vandens tekėjimo greičiui ir mažėjant temperatūrų skirtumui tarp šildomo ir šildančio vandens, todėl tiekiamo karšto vandens tiekimo sistemos efektyvumas gali sumažėti [20].

Karšto vandens tiekimo problemas nagrinėjo J. Grigonienė, V. Kveselis ir M. Tamonis [9], kurie teigia, kad vasaros sezono šilumos poreikiai, kaip rodo Lietuvos ir kitų šalių tyrimų duomenys, daugiausiai priklauso nuo gyventojų skaičiaus, tenkančių gyvenamojo ploto vienetui [21] bei nuo gyventojų amžiaus [22]. Šilumos tiekėjai neturi duomenų apie gyventojų amžių ir apie butų dydžius daugiabučiuose gyvenamuosiuose pastatuose, todėl šilumos poreikius vasaros sezonu galime analizuoti taikant formulę:

$$q_{kv,j} = a_{1,j} \cdot B \cdot \ln \left(\frac{GS_j}{A_j \cdot GSA_o} \right)^{a_2}. \quad (2.11)$$

Čia A_j – j-tojo pastato šildomas plotas (m^2); GS_j – j-tojo pastato ploto ir gyventojų skaičiaus santykis; B – vidutinis buto plotas, (m^2); GSA_o – vidutinis gyventojų skaičius, tenkantis gyvenamojo ploto vienetui, (gyv/m^2).

Vadovaujantis statistikos duomenimis priimta $B = 53 \text{ m}^2$, $GSA_o = 0,007 \text{ gyv.}/\text{m}^2$, o šios lygties parametrai a_1 ir a_2 buvo nustatyti remiantis turimais faktinio vartojimo duomenimis per metus. Analizė rodo, kad regresijos parametras $a_2 = 0,25$ ir nepriklauso nuo laiko ar išorės oro temperatūros. Autorių atlikti tyrimai rodo, kad Klaipėdoje vidutinė balansinė temperatūra nagrinėtu laikotarpiu kito $15,1\text{--}17^{\circ}\text{C}$ ribose, o šilumos sąnaudų karšto vandens ruošai galios vidurkis sudarė $8,3 \text{ W}/\text{m}^2$.

Ištyrę šilumos mainus ir energijos sąnaudas gyvenamuosiuose pastatuose A. Skrinska ir E. Tuomas [23] padarė išvadas, kad Lietuvos gyventojai patalpų šildymui ir karštam vandeniui ruošti suvartoja apie 55 % visos patiekto šiluminės energijos. Išanalizavus elevatorinių šilumos bei karšto vandens tiekimo sistemų veikimą nustatyta, kad rudenį ir pavasarį, kai lauko oro temperatūra yra dar gana aukšta (šildymo sezono pradžioje ir pabaigoje) šiluminių sistemų efektyvumas sumažėja. Tuo metu į pastato vidaus šildymo sistemą galėtų būti tiekiamas žemesnės temperatūros termofikacinis vanduo nei reikėtų šildymo sistemai, tačiau šilumos punkte kartu ruošiant karštą vandenį, termofikacinio vandens temperatūros negalima mažinti. Ji

turi būti tokia, kurios užtektų paruošti reikiamos temperatūros karštą vandenį ir todėl yra aukštesnė nei reikėtų šildymo poreikiams. Šilumos tiekėjai privalo užtikrinti efektyvų karšto vandens tiekimą bei jo temperatūrą, todėl negali palaikyti šildymui reikalingos tiekiamo šilumnešio temperatūros pagal kokybinio šilumnešio reguliavimo grafiką.

Atliekant analitinius tyrimus, įvairiuose darbuose duomenys dažnai analizuojami taikant standartinę tiesinės regresijos funkciją lygties logaritminei transformacijai, kuri plačiai naudojama įvairių veiksnių poveikio statistinėje analizėje [24]:

$$\ln q = \ln q_o + \sum \alpha_i \cdot \ln K_i . \quad (2.12)$$

Šilumos sąnaudų analizę ruošiant karštą vandenį individualiuose šilumos punktuose atliko E. Tuomas [25]. Jis nustatė, kad šilumos nuostoliai pastato karšto vandens sistemose sudaro 17 %, o šilumos nuostoliai dėl prarasto karšto vandens sudaro 16 % visų šilumos nuostolių šilumos tiekimo grandyje, pradedant riba „šilumos šaltinis – šilumos tiekimo tinklai“ ir baigiant galine šilumos arba šilumnešio vartojimo riba. Šiuos nuostolius bandoma įvairiomis priemonėmis kompensuoti, tačiau iš daugelio darbų matyti, kad to nepakanka [26, 27]. Nuostoliai vamzdynuose sudaro iki 3,5 %, o didžioji dalis karšto vandens prarandama pastate. Karšto vandens nuostolių pastate esminė priežastis yra netiksliai įvertintas suvartoto vandens kiekis dėl pagrindinių ir butuose esančių skaitiklių rodmenų skirtumo, nes atsiskaitoma pagal buto skaitiklius ir tik nedidelė dalis karšto vandens prarandama per įvairius nesandarumus sistemoje. Tuo remiantis E. Tuomas teigia, kad vidutiniškai ne mažiau 30 % visos šilumos prarandama pastatuose dėl karšto vandens sistemų netobulumo. Įrengus naujus šilumos punktus sąnaudos karštam vandeniui ruošti išlieka didelės.

Įvertinant atskirus karšto vandens sistemos efektyvumą apibūdinančius rodiklius būtina žinoti karšto, šalto ir cirkuliacinio vandens temperatūras. Jos nuolat svyruoja, todėl pradedant skaičiavimus laisvai pasirenkama fiktyvi karšto vandens temperatūra t_f , vienoda visam tyrimui. Fiktyvus šilumos kiekis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$Q_f = c \sum_{i=1}^n G_{kvi} (t_{kvi} - t_f) \cdot t_h . \quad (2.13)$$

Čia i – duomenų registracijos eilės numeris; G_{kvi} – suvartoto vandens kiekis per laiko vienetą (kg/s).

Aukščiau minėtą šilumos kiekį galima išreikšti kitokia formule:

$$Q_f = c \cdot G_{k.v.} \cdot (t_{k.v.}^{vid} - t_f). \quad (2.14)$$

Čia G_{kv} – suvartoto vandens kiekis per laiko vienetą (kg/s).

Suvartoto vandens kiekį per laiko vienetą formulėje išreiškus kubiniais metrais ir joje įrašius Q_f reikšmę, galima apskaičiuoti karšto vandens vidutinę temperatūrą:

$$t_{kv}^{vid} = \frac{3600Q_f}{c\rho_{kv}V_{kv}} + t_f. \quad (2.15)$$

Panašiu principu apskaičiuojamos ir šalto bei cirkuliacinio vandens temperatūros.

Toliau analizuodamas karšto vandens sistemų netolygumo priežastis E. Tuomas padarė išvadą, kad pagal šilumos kiekių balanso kontrolę šalto vandens temperatūros negalima laikyti pastoviu dydžiu ir jos įtraukti į apskaitos prietaisų integruojantį bloką kaip konstantą. Jis teigia, kad skirtumas tarp patiektos šilumos iš šilumos tinklų ir perduotos karštam vandeniui šilumos yra neigiamas ir savo absoliučia reikšme didesnis už galimą dėl prietaiso leistinių paklaidų. Tiekiamo karšto vandens netolygumas viename iš tirtų pastatų lėmė jo temperatūros svyravimus nuo +51 °C iki +53 °C, neatsižvelgiant į retesnius didesnio nuokrypio atvejus, todėl vandens temperatūrą galima laikyti stabilia. Kitame pastate gauti rezultatai rodo, kad karšto vandens temperatūra svyravo labai plačiame intervale, nuo +46 °C iki +56 °C ir tai neatitinka norminių sąlygų.

Apibendrinamas savo darbą E. Tuomas teigia, kad karšto vandens tiekimo sistemų efektyvumą lemia: 1) temperatūrų skirtumas tarp šalto ir karšto vandens; 2) temperatūrų skirtumas tarp karšto ir cirkuliacinio vandens; 3) cirkuliacinio ir suvartoto karšto vandens srautų santykis.

E. Tuomas daugkartinių tyrimų metu pastebėjo, kad šilumos poreikiai karštam vandeniui ruošti atskiruose šilumos punktuose labai skiriasi. Tai galima paaiškinti skirtingu įrengimų veikimo intensyvumu ir nevienodu sistemų suregulavimu. Tyrimų rezultatai įrodė, kad ruošiant karštą vandenį, apie 40–50 % šilumos prarandama cirkuliaciniame žiede. Visos prarastos šilumos vadinti nuostoliais negalime, nes dalis jos sunaudojama rankšluosčių džiovintuvams, šildantiems vonios patalpas. Viena iš pagrindinių priežasčių, dėl kurios susidaro dideli šilumos nuostoliai, yra labai didelis cirkuliacinis srautas, 30–80 kartų viršijantis normalų, nes šilumos sąnaudos karštam vandeniui ruošti beveik nepriklauso nuo metų sezono. Padarytos išvados, kad karšto

vandens ruošimas individualiame šilumos punkte sudaro galimybes tiksliau įvertinti karšto vandens sąnaudas, tačiau jų nesumažina.

Karšto vandens vartojimo netolygumui didelę įtaką daro karšto vandens vartotojas, kuris tam tikrais laiko intervalais atsuka arba užsuka vandens maišytuvą. Skaičiuotini debitai karštajam vandentiekiiui be cirkuliacijos nustatomi įvertinant karštojo vandentiekio reikmes tenkinančių čiaupų veikimo tikimybę [28]:

$$P^k = \frac{q_{hmax}^k \cdot U}{q_{pt}^k \cdot N \cdot 3600} . \quad (2.16)$$

Čia q_{hmax}^k – didžiausia galima valandinė vieno vartotojo vandens suvartojimo norma (l/h); U – vartotojų skaičius pastate; q_{pt}^k – būdingojo čiaupo (būdingasis yra čiaupas, kurio normatyvas didžiausias) karšto vandens sekundinis srautas (l/s); N – čiaupų skaičius pastate.

Karštasis vandentiekis su cirkuliacija skaičiuojamas ėmimo režimu ir cirkuliacijos režimu. Debitai ėmimo režimui nustatomi kaip ir aukščiau paminėtoje formulėje, išskyrus ruožus iki atšakos į pirmą skirstymo stovą. Šių ruožų skaičiuotinas srautas (l/s):

$$q_{cir} = q^k (1 + K_{cir}) . \quad (2.17)$$

Čia K_{cir} – koeficientas, įvertinantis apytakinio vandens debito q_{cir} įtaką karšto vandens tekėjimui minėtuose ruožuose, pastate esant didžiausiam vandens vartojimui.

Iš visų apžvelgtų Lietuvos autorių karšto vandens sistemų efektyvumo tiriamųjų analitinių darbų matyti, kad ši problema Lietuvoje yra aktuali. Ja nuolat domimasi, pastoviai atliekami nauji tyrimai ir eksperimentai, siekiant tiksliau įvertinti karšto vandens tiekimo sistemų efektyvumą, bei kitas aktualias šilumos ūkio problemas.

2.1.3 Centralizuoto šilumos ir karšto vandens tiekimo sistemos raida bei efektyvumo tyrimai užsienio šalyse

Daugelis ES miestų tenkina šildymo bei karšto vandens ruošimo poreikius naudojant centralizuotas tiekimo sistemas. Europos Sąjungos valstybėse šiuo metu yra apie 22 mln. centralizuoto šilumos tiekimo vartotojų, o apyvarta viršija 10 mlrd. eurų [29]. Iš ES valstybių

plačiausiai CŠT būdas paplito Danijoje, Suomijoje, Švedijoje. Šildymas kartu su elektros energijos gamyba panaudoja žymiai geriau kuro energiją, todėl ES tai yra skatinama. 1998 m. gruodžio 18 d. Europos Taryba rekomendacinės direktyvos OJ C 4/01 (1998) sprendimu nustatė, kad valstybės narės turėtų aktyviai skatinti kombinuotą šilumos ir elektros gamybą savo šalyse bei šalinti rinkos barjerus [30].

Mokesčių sistema yra vienas iš pagrindinių instrumentų, leidžiančių vykdyti tinkamą valstybės politiką dėl teršalų emisijos ir įtakos klimato pokyčiams. Suomijos šilumos tiekėjai veikia nereguliuojami jokios valstybinės kainų kontrolės institucijos, neturi monopolinių teisių, tačiau dirba pelningai, nors šilumos tarifai yra žemi [31]. Kyoto (Japonija) protokolą 1997 m. gruodį pasirašė pritariančios klimato pasikeitimo konvencijai šalys, kurios numatė konkrečius CO₂ mažinimo žingsnius. Vykdydamos Kyoto protokolo reikalavimus šalys savo mokesčių sistemos pagalba skatina atsinaujinančių energijos šaltinių ir biomasės naudojimą, pirminės energijos taupymą. Iki šiol neteko surasti informatyvaus darbo, modeliuojančio teršalų koncentracijų išsiskyrimą, miesto centre įrengus didesnę ar mažesnę dujinių katilų skaičių [32].

Centralizuoto šilumos bei karšto vandens tiekimo istorija pasaulyje turi galias šaknis. Jos vystymąsi lėmė rinkos ekonomikos sąlygos. Dar 1876 metais Niujorke (JAV) įrengta pirmoji CŠTS [33]. Neužilgo Vokietijoje Hamburge buvo sukonstruota ir Europoje pastatyta pirmoji kombinuotos šilumos ir elektros energijos gamybos elektrinė. Vėlesniais metais CŠT vystymasis sparčiai plėtėsi, o mūsų kaimyninėje Lenkijoje Varšuvoje pirmoji termofikacinė jėgainė pradėjo veikti 1954 metais. Tais pačiais metais įsikūrė tarptautinė centralizuoto šilumos tiekimo, šaldymo ir kombinuotos šilumos bei elektros energijos gamybos asociacija Euroheat&Power, kurios tikslas yra skatinti centralizuoto šilumos tiekimo, šaldymo ir termofikacijos plėtrą ES šalyse.

Europos Sąjungoje 40 % pirminės energijos yra naudojama pastatų šildymo bei karšto vandens ruošimo poreikiams [34]. Vieni iš autorių, besidominančių karšto vandens tiekimo sistemų pastatuose efektyvumo problematika, yra M. Hart ir R. De Dear, kurie atliko išsamią pastato inžinerinių sistemų darbo analizę [35]. Tirdami karšto vandens suvartojimą jie nustatė stipresnę ryšį tarp karšto vandens vartojimo ir lauko oro temperatūros vasarą nei žiemą. Tiriamuoju periodu vasarą R^2 reikšmė gauta $R^2 = 0,30$, o žiemą $R^2 = 0,05$. Priklausomai nuo karšto vandens tiekimo režimo nuo 30 % iki 48 % kasdienės karštam vandeniui reikalingos šiluminės energijos buvo siejama su lauko oro temperatūros svyravimais. Kaip kiti įtakojantys faktoriai yra minima pati karšto vandens vamzdynų sistema, izoliacijos būklė, vartotojų elgesys ir pan. Kaip pavyzdys yra pateikiamas atvejis, kai lauke esant dideliems karščiams, vartotojai gali pageidauti vėsesnės temperatūros karšto vandens dušo, kas tiesiogiai sąlygoja mažesnę suvartotą karšto vandens kiekį.

Mėnesinio karšto vandens kiekio analizės metu B. Bohm ir P. O. Danig atliko šalto vandens, reikalingo pašildyti karštą vandenį, analizę ir padarė išvadą, kad kitimo ribos yra didelės ir nesudaro dėsningumų [36]. Jų tiriamo pastato karštam vandeniui suvartojama šiluma buvo skaidoma į tiesiogiai karštam vandeniui reikalingo šilumos kiekio bei karšto vandens tiekimo sistemos šilumos nuostoliams kompensuoti. Gauti rezultatai, kad per mėnesį šie nuostoliai tiriamajame pastate kinta 4,5–9,3 MWh ribose, kas atitinka 6–12,5 kW galią. Šilumos nuostoliai karšto vandens tiekimo sistemoje sudaro 65 % visos karštam vandeniui skirtos šiluminės energijos. Nustatyta, kad tiriamojo pastato šildymo sistemos šilumokaitis yra parinktas 3–4,5 karto didesnis nei faktiškai reikėtų, o karšto vandens du kart per mažas ir tai Danijoje turėtų būti ne pavienis atvejis [37]. Šie neatitikimai tiesiogiai prisideda prie karšto vandens tiekimo sistemų pastatuose galutinio efektyvumo.

Autorių grupė (G. Branco, B. Lachal, P. Gallinelli, W. Weber) [34], ištyrusi karšto vandens inžinerinių sistemų darbą nustatė, kad karštam vandeniui buvo suvartota 77 MJ/m² šiluminės energijos per metus, tiekiant 48 °C karštą vandenį. Tai atitinkamai sudarytų 53 litrus žmogui per parą. Karšto vandens vartojimo mėnesinė analizė parodė, kad mažiausias karšto vandens suvartojimas yra vasaros periodu, kuomet dauguma gyventojų atostogauja. Karšto vandens cirkuliaciniai nuostoliai tiriamiesiems pastatams yra maži ir sudarė 6 MJ/m² per metus arba atitinkamai 8 %. Šie nuostoliai vasarą, kuomet karšto vandens suvartojimas mažesnis, yra didesni.

S. Deng nuodugniai tyrė viešbučių Hong Konge inžinerinių sistemų darbą, tačiau atlikęs karšto vandens suvartojimo analizę, gavo, kad karšto vandens vartojimo tikimybės R^2 reikšmė yra labai maža, jos reikšmių išsibarstymas labai didelis ir svyruoja 0,3–0,5 ribose, todėl konkrečių dėsningumų jam nustatyti nepavyko [38].

Grupė autorių, C. A. Balaras, K. Droutsas, A. A. Argiriou, K. Wittchen karšto vandens tiekimo sistemų pastatuose problemas dėl akumuliacinių talpų siūlo spręsti įrengiant karšto vandens šilumokaičius [39]. Vienas iš nesudėtingų karštam vandeniui suvartojamos šiluminės energijos sutaupymo būdų yra karšto vandens temperatūros sumažinimas. Autorių teigimu kiekvienam 6 °C temperatūros pažeminimui karšto vandens akumuliacinėje talpoje tenka 3–5 % sutaupytos energijos, o vietoj karšto vandens akumuliacinės talpos įrengus nuolatinio srauto karšto vandens šilumokaitį galima būti sutaupyta apie 20–60 % šilumos.

C. Cheng Li atliko tyrimą, kurio tikslas buvo nustatyti santykį tarp šiluminės energijos kiekio ir karšto vandens suvartojimo kitimo [40]. Jis savo darbe stengėsi įvertinti konkretaus karšto vandens vartojimo temperatūrą, ir nustatė, kad dažniausiai žmonės dušo poreikiams naudoja 42 °C vandenį. Kadangi nagrinėjamame pastate karšto vandens temperatūra buvo nustatyta 55 °C, šilumos kiekio, reikalingo vandenį paruošti iki šių temperatūrų, dinamika ir

buvo nagrinėjama. Išvadose pateiktas šilumos kiekis, kuris prarandamas karšto vandens vandentiekyje per mėnesį priklausomai nuo vartojimo periodiškumo.

D. Gillet, tirdama karšto vandens tiekimo sistemų pastatuose efektyvumą, darbo tema pasirinko elektra ir saulės energija šildomo vandens nestacionarumo tyrimą [41]. Kadangi saulės spinduliuotės tankis yra kintantis dydis, kaip ir karšto vandens apkrova, todėl autorei buvo svarbu ištirti karšto vandens suvartojimo dinamiką ir parinkti tinkamus reguliavimo mechanizmus elektriniam boileriui bei saulės kolektoriui ir gauti jų optimalų režimą.

J. Meyer atliko daugiau nei 770 gyvenamųjų namų karšto vandens suvartojimo tyrimus vienerių 1996 kalendorinių metų laikotarpyje išsivysčiusiose bei besivystančiose Afrikos šalyse ir pateikė dviejų tipų rezultatus – karšto vandens suvartojamą kiekį žmogui per parą skirtingais metų mėnesiais ir per valandą suvartojamą karšto vandens kiekį kaip funkcija nuo metų sezono ir savaitės dienų [42]. Lygindamas suvartojamą karšto vandens kiekį skirtingose pasaulio vietose jis nustatė, kad JAV gyventojai naudoja iki 7 kartų daugiau karšto vandens nei išsivysčiusios vidurio Europos šalys, o karšto vandens suvartojimą įtakoja kultūriniai, socialiniai bei ekonominiai faktoriai. Jis tiriamuosius pastatus suskirstė į tris grupes: mažo apgyvendinamojo tankio, vidutinio bei didelio. Apgyvendinimo tankis visose šalyse yra tiesiogiai susijęs su pragyvenimo lygiu. Gauti rezultatai rodo, kad miestuose karšto vandens suvartojimas yra žymiai didesnis nei rajonuose. Tai dalinai susiję su tuo faktu, kad vanduo į rajonus yra tiekiamas žymiai tolimesnį atstumą, be to ten gyvena žemesnio socialinio sluoksnio gyventojai. Nustatyti dėsningumai, kad vidutinis karšto vandens suvartojimas vasaros mėnesiais yra mažiausias, o viduržiemį didžiausias ir išauga iki 70 % daugiau nei vasarą, pateikiami vartojimo tipiniai grafikai. Atlikęs analizę J. Meyer padarė išvadą, kad karšto vandens vartojimo periodai turi būti padalinti į 4 periodus: vasaros darbo dienas, vasaros savaitgalius, žiemos darbo dienas ir žiemos savaitgalius. Didžiausi pikai yra darbo dienomis žiemą. Visi šie periodai tarpusavyje skiriasi skirtingu karšto vandens vartojamu kiekiu, skirtingais pikais bei jų periodais. Maksimalus karšto vandens suvartojimo reikšmių nukrypimas tarp žiemos mėnesių yra $\pm 17\%$, o vasaros mėnesiais sudaro $\pm 30\%$. Išvadose teigiama, kad žemo apgyvendinamojo tankio vietovėse gyvenantys žmonės vartoja iki 3,6 karto mažiau karšto vandens, nes čia gyvena žemesnes pajamas gaunantys žmonės. Taip pat padaryta išvada, kad egzistuoja du pikai žiemą – ryte ir vakare, kurie yra panašaus dydžio. Rytinis karšto vandens suvartojimo pikas didelio apgyvendinamojo tankio rajonuose yra nuo 6:00, o mažo tankio rajonuose nuo 8:00 valandų ryto. Vakarinis pikas atitinkamai prasideda didelio tankio rajonuose nuo 18:00, o mažo apgyvendinamojo tankio nuo 20:00 valandos vakaro. Skirtumas tarp pikų sudaro 2 valandas. Galimas skirtingas pikų prasidėjimo laikas yra paaiškintas skirtingu laiku, kuris reikalingas nuvykti į darbą. Nustatyta,

kad mažesnio apgyvendinamo tankio rajonuose gyvenantys žmonės dirba žymiai toliau, todėl jiems reikia daugiau laiko nuvykti iki darbovietės, o atitinkamai ir anksčiau keltis.

Karštą vandenį savo tyrimų objektui pasirinko ir W. D. Abrams [52], tyręs karšto vandens tiekimo sistemų efektyvumą metų bėgyje bei kaip karšto vandens šiluminę apkrovą įtakoja kintanti šalto vandens temperatūra. Tyrimo metu nustatyta, kad karšto vandens suvartojimo kitimas kalendorinių metų bėgyje stipriai kinta tiek administracinės, tiek gyvenamosios paskirties pastatuose. Nustatyta, kad šalto vandens temperatūra šiliniuose kalendorinių metų bėgyje yra sąlyginai pastovi, o iš centralizuoto vandentiekio tiekiamą šalto vandens temperatūrą metų bėgyje kinta ženkliai, todėl ir karšto vandens apkrovą tai įtakoja ženkliai. Karšto vandens apkrovą įtakoja ir įrengimų naudojimas, kurių karšto vandens vartojimo dėsninumus tyrė A. Lowenstein [43]. Jis bandė suskirstyti karšto vandens vartotojus į žmonių grupę ir įrengimų grupę (skalavimo mašinos, indaplovės ir pan.) ir pagal tai identifikuoti vartojimo tikimybę, tačiau atliktas tyrimas nebuvo išsamus, visapusiškas ir nors gautos tipinės vartojimo kreivės, nepasiūlyta jokios metodikos karšto vandens vartojimo tikimybės įvertinimui. C. Hiller teigimu didžiausią įtaką karšto vandens tiekimo sistemų efektyvumui turi dideli ir dažni karšto vandens nuleidžiami kiekiai per trumpą laiko tarpą, o reti ir nedideli karšto vandens nuleidimai turi mažai įtakos [44].

Savo pagrindinį dėmesį H. Fanney skyrė karšto vandens temperatūros nestacionarumo tyrimui priklausomai nuo karšto vandens pašildytuvo šilumos izoliacijos. Tuo tarpu W. Winiarski tyrimų rezultatai rodo, kad šiluminės izoliacijos storio parinkimo kritinis parametras yra darbo valandų skaičius, todėl vamzdyno izoliacijos lygis turi būti susietas su vamzdyno storio ir darbo valandų skaičiumi [45]. Karšto vandens šilumokaičio šiluminis efektyvumas yra apibūdinamas lygtimi [46]:

$$\eta_{th} = \frac{Q_{hw}}{\frac{Q_{hw} + Q_l + Q_{stored}}{\eta_r}} . \quad (2.18)$$

Čia Q_{hw} – šilumos kiekis, kurio netenka karšto vandens pašildytuvas (kW); Q_l – šilumos kiekis, kurį atiduoda karštas vanduo aplinkai (kW); Q_{in} – bendras šiluminės energijos suvartojimas (kW); Q_{stored} – karšto vandens pašildytuvo išsaugotas šilumos kiekis (kW); η_r – priimtas efektyvumo koeficientas (0,98).

Bendras izoliacijos šilumos laidumo koeficientas yra apskaičiuojamas remiantis šilumos balanso lygtimi:

$$Q_{in} = Q_l + Q_{hw} + Q_{stored} . \quad (2.19)$$

Tuomet bendras šilumos laidumo koeficientas gali būti surastas iš lygybės:

$$\int_0^t P_{in} dt = \int_0^t \lambda (T_t - T_a) dt, \quad (2.20)$$

arba

$$\lambda = \frac{\int_0^t P_{in} dt}{\int_0^t (T_t - T_a) dt}. \quad (2.21)$$

Čia λ – šilumos laidumo koeficientas ($W/^\circ C$); P_{in} – karšto vandens šilumokaičiui suteikta galia (W); T_t – vidutinė karšto vandens temperatūra ($^\circ C$); T_a – aplinkos temperatūra ($^\circ C$); t – laikas (h).

Dujomis šildomo karšto vandens pašildytuvo per dieną suvartojamos šilumos kiekį karštam vandeniui ruošti J. D. Lutz apibūdina lygtimi [47]:

$$Q_{in} = \frac{V \cdot \rho \cdot Cp \cdot (T_{tank} - T_{in})}{R_E} \cdot \left(1 - \frac{\lambda \cdot (T_{tank} - T_{amb})}{P_{ON}} \right) + 24 \cdot \lambda \cdot (T_{tank} - T_{amb}). \quad (2.22)$$

Čia Q_{in} – bendras šiluminės energijos suvartojimas (kW); R_E – atstatomasis efektyvumas, P_{ON} – patiekiamą galia (W); λ – stacionaraus šilumos laidumo koeficientas ($W/^\circ C$); T_{tank} – vidutinė karšto vandens temperatūra ($^\circ C$); T_{in} – šalto vandens temperatūra ($^\circ C$); T_{amb} – aplinkos temperatūra ($^\circ C$); V – per parą suvartoto karšto vandens kiekis (m^3/d); ρ – karšto vandens tankis ($993 \text{ kg}/m^3$); Cp – specifinė karšto vandens šiluma ($4190 \text{ J}/(\text{Kg K})$).

Atlikęs analizę J. D. Lutz įvertino vidutinį karšto vandens vartojimą per parą ir padarė išvadą, kad vartotojai, kuriems yra tiekiamas žemesnės temperatūros šaltas vanduo karšto vandens ruošimui, nustato ir palaiko aukštesnę karšto vandens temperatūrą, o tai tiesiogiai atsiliepia karšto vandens bei šiluminės energijos suvartojimui.

Šiluminė energija karšto vandens tiekimo sistemoje taip pat gali būti prarandama ir karšto vandens tiekimo vamzdynuose, todėl tai įtakoja ir karšto vandens temperatūrą. Šilumos nuostoliai pastovaus srauto karšto vandens vandentiekyje gali būti paskaičiuojami remiantis formule [48, 49]:

$$Q = m \cdot c_p \cdot (T_i - T_o). \quad (2.23)$$

Čia Q – šilumos kiekis (W); m – vandens masė (kg); c_p – vandens specifinė šiluma (J/(Kg K)); T_i – pradinė vandens temperatūra (°C); T_o – galutinė vandens temperatūra (°C).

Kai vandens srauto nėra (vanduo neteka), šilumos nuostoliai yra nustatomi naudojant temperatūros gradientą pagal Fourier dėsnį:

$$Q = k \cdot A \cdot (dT / dx). \quad (2.24)$$

Kiekvienam komponentui, t.y. vandeniui, vamzdynui, izoliacijai ir pan. šiluminės energijos lygtis temperatūrai $T(x, r, t)$ bei ribinės sąlygos yra:

$$\rho c_p (\partial T / \partial t + u \partial T / \partial x) = k \left((1/r) (\partial T / \partial r) (\partial T / \partial r) + (\partial^2 T / \partial x^2) \right). \quad (2.25)$$

Ribinės ir pradinės sąlygos yra:

$$T(0, 0 \rightarrow r_p, t) = T_i, \quad (2.26)$$

$$\partial T(x, 0, t) / \partial r = 0, \quad (2.27)$$

$$\partial T(0, r_p \rightarrow r_o, t) / \partial x = 0, \quad (2.28)$$

$$T(L, r, t) = T(L, r, t), \quad (2.29)$$

$$k \partial T(x, r_o, t) / \partial r = h_o (T(x, r_o, t) - T_\infty), \quad (2.30)$$

$$T(x, r, 0) = T_\infty. \quad (2.31)$$

Čia T_i – pradinė vandens temperatūra (°C); L – vamzdyno ilgis (m); u – vandens greičio profilis laminariniam arba turbulentiniam srautui, nustatomas:

laminariniam srautui:

$$u / u_m = 2 \left(1 - (r / r_i)^2 \right), \quad (2.32)$$

turbulentiniam srautui:

$$u / u_m = 1,5 \left(1 - (r / r_i)^{0,15} \right). \quad (2.33)$$

Čia u_m – vidutinis vandens greitis (m/s).

Karšto vandens tiekimo sistemų pastatuose efektyvumu, vartojimo netolygumais, karštam vandeniui reikalingos šilumos bei karšto vandens temperatūros analizėmis taip pat domėjosi B. A. Lekov [50], D. J. Lutz [51], W. D. Abrams [52], A. Lowenstein [53], F. Goldner [54] bei kiti autoriai.

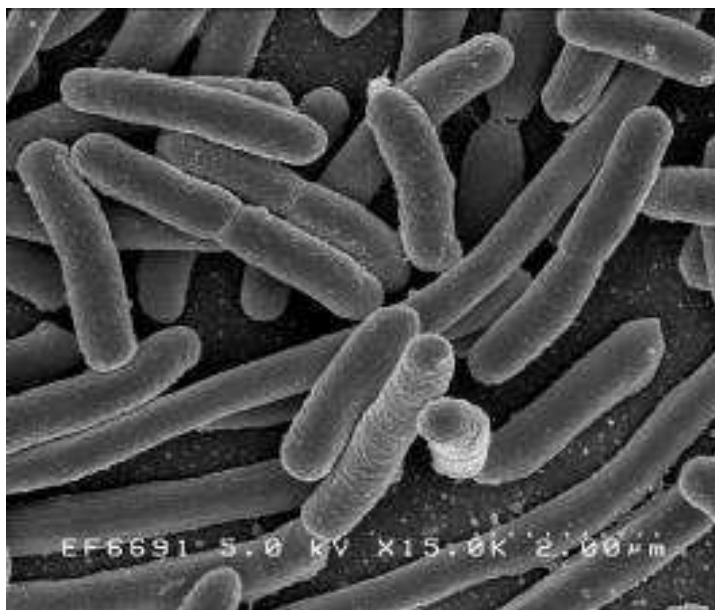
2.1.4 Baktericidiniam pavojui palankių karšto vandens temperatūrų apibūdinimas

Įvairių temperatūrų šiltame vandenyje turi galimybę daugintis įvairiausių rūšių bakterijos. Tokia egzistavimo galimybė yra ir karšto vandens tiekimo sistemoje. Viena iš tokių nepageidaujamų bakterijų yra legionella pneumophila. Legionella pneumophila pirmą kartą 1977 metais identifikavo JAV daktaras J. McDade [55], tirdamas 1976 metais įvykusį paslaptingos ligos protrūkį, kuris Filadelfijoje nusinešė 34 žmonių gyvybes. Yra nustatytos daugiau nei 34 legionella bakterijų rūšys ir daugiau nei 20 iš jų sukelia ligas. Legionella bakterijų sukelta liga vadinama legioneliozė. Atradus bakterijas nustatyta, kad vienintelis galimas būdas užsikrėsti šia liga yra įkvėpus aerozolių (vandens lašelių), turinčių nemažą legionella bakterijų kiekį [115, 56, 57]. Lašelių dydis svyruoja nuo 1 iki 10 μm . Infekcija negali būti perduodama nuo žmogaus žmogui. Žmonės su nusilpusia imunine sistema sudaro didžiausią rizikos grupę. Taip pat vyrų rizika užsikrėsti šia liga yra 2,5 karto didesnė nei moterų. Legioneliozės inkubacinis periodas sudaro 2–10 dienų [58]. Pradiniai simptomai pasireiškia nuo lengvo kosulio, nestipraus galvos skausmo, raumenų diegimo, karščiavimo, persimeta į įvairius vidaus organus ir staigiai progresuoja iki komos. Vėlesni simptomai yra aukšta temperatūra, sausas kosulys ir dusulys. Tik 5 % infekuotų žmonių suserga šia liga, iš kurių 10–30 % miršta, t.y. iš užsikrėtusių 200 žmonių tikimybė mirti yra 1–3 žmonėms.

Legionella yra strypo formos judri bakterija, kuri natūraliai atsiranda paviršiniuose ir požeminiuose vandenyse. Jų ilgis yra 2–20 μm , o skersmuo 0,3–0,9 μm . Legionella bakterija yra legionellaceae šeimos narys, kuri apima 42 rūšis, įskaitant ir legionella pneumophila (2.5 pav.), kuri sukelia didžiausią pavojų ir į kurią toliau bus akcentuojamas dėmesys (toliau tekste – legionella).

Yra apibrėžiama daug veiksnių, sąlygojančių Legionella dauginimąsi, tačiau tik dalis iš jų yra pagrindiniai ir esminiai, atsakingi už lemtingus Legionella dauginimosi skatinimo veiksnus. Pagrindiniai šie veiksniai yra: 1. Vanduo (Legionella gyvena tik vandenyje, be vandens žūtų labai greitai). 2. Deguonis (Legionella yra aerobinė bakterija, be deguonies žūtų labai greitai). 3. Vandens temperatūra (Legionella dauginasi 20–50 °C temperatūrų ribose, o pati palankiausia dauginimosi temperatūra yra 30–40 °C, aukštesnėje nei 60 °C vandens temperatūroje bakterijos labai greitai žūna). 4. Gyvavimo trukmė (ilgas palankių temperatūrų buvimo laikas sąlygoja

dideles bakterijų koncentracijas). 5. Nejudrumas (stovintis ar mažai judantis vanduo sudaro palankiausias dauginimuisi sąlygas, *Legionella* dauginasi nejudriame vandenyje. Vamzdyno ar sistemos dalis, kuria neprateka vanduo, sudaro puikias sąlygas dauginimuisi). 6. Rūgštingumas (*Legionella* gali daugintis, kai aplinkos vandens rūgštingumas, t.y. pH svyruoja tarp 5,5 ir 9,2, o esant $\text{pH} = 2,2$ išgyventų tik 2 minutes). 7. Nuosėdos ir plėvelės (nuosėdos ir plėvelės yra palanki dauginimosi terpė).



2.5 pav. *Legionella pneumophila*, padidinta 10^6 kartų [111]

Kaip jau minėta, esant įvairioms temperatūroms bakterijų elgesys yra skirtingas. 2.1 lentelėje yra pateikta apibendrinta informacija, kaip aplinkos, temperatūra veikia bakterijų elgesį. Šaltame vandenyje (temperatūra žemiau $20\text{ }^{\circ}\text{C}$) legionella nesidaugina ir tik išgyvena, aukštesnėje temperatūroje dauginimasis pradeda spartėti, prie $30\text{--}35\text{ }^{\circ}\text{C}$ pasiekia palankiausią dauginimosi temperatūrą, tuomet dauginimasis pradeda lėtėti, prie $50\text{--}55\text{ }^{\circ}\text{C}$ sustoja, o prie $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ bakterijos jau greitai žūva.

2.1 lentelė. *Legionella* elgesys priklausomai nuo vandens temperatūros [55]

Karšto vandens temperatūra, $^{\circ}\text{C}$	<i>Legionella</i> bakterijų elgesys
$60\text{ }^{\circ}\text{C}$	Greitai žūna
$55\text{ }^{\circ}\text{C}$	Nesidaugina
$50\text{ }^{\circ}\text{C}$	Nesidaugina
$45\text{ }^{\circ}\text{C}$	Lėtai dauginasi
$40\text{ }^{\circ}\text{C}$	Greitai dauginasi
$35\text{ }^{\circ}\text{C}$	Palankiausia dauginimuisi temperatūra
$30\text{ }^{\circ}\text{C}$	Palankiausia dauginimuisi temperatūra
$25\text{ }^{\circ}\text{C}$	Greitai dauginasi
$20\text{ }^{\circ}\text{C}$	Lėtai dauginasi
$< 20\text{ }^{\circ}\text{C}$	Išgyvena

Kiekviename vandenyje yra legionella bakterijų ir jų kiekis iki absoliutaus nulio niekada nesumažėja, todėl visuotinai reikėjo nustatyti ribą, nuo kurios būtų laikoma, kad legionella bakterijų jau yra. Yra priimta, kad legionella bakterijų yra, kai nustatoma bent mažiausias 50 cfu/l (cfu = colony – forming units, vienos arba kelių bakterijų koncentracija, sudarančių vieną koloniją) kiekis.

Norint sumažinti legionella bakterijų egzistavimą, vandens temperatūra turi išlikti žemesnė nei 20–25 °C (įmanomas tik minimalus legionella augimas) arba virš 50 °C (dauginimasis neįmanomas). Esant aukštesnei temperatūrai nei 60 °C, legionella žūna, tačiau visgi tikslinga šią temperatūrą išlaikyti bent 2–3 minutes. Esant tam tikromis baktericidinės rizikos aplinkybėms yra naudojamos tokios prevencinės priemonės kaip vandens iš maišytuvo ar dušo galvutės nuleidimas arba pašildymas iki nustatytos temperatūros. 2.2 lentelėje yra pateikta, kurį laikotarpį tokias priemones ir esant kokiai temperatūrai reikia taikyti. Pavyzdžiui, galima prevenciškai kartą per savaitę atsukti karšto vandens stovo, kuris neturi cirkuliacijos, karšto vandens maišytuvą ir, jei vanduo yra 60 °C, jį laikyti atsuktą 20 minučių, o jei norime cirkuliacinį kontūrą bakterijų kiekį sumažinti, reikia pakelti cirkuliuojančią karšto vandens temperatūrą iki 60 °C ir išlaikyti šią temperatūrą 10 minučių.

2.2 lentelė. Vandens nuleidimo ir pašildymo laikotarpio priklausomybė nuo temperatūros [55]

Temperatūra, °C	Vandens nuleidimo laikotarpis, kai vanduo nuleidžiamas kartą per savaitę	Pašildyto vandens išlaikymo laikas
60	20 min.	10 min.
65	10 min.	1 min.
70	5 min.	10 s.

Praktikoje dažnai naudojamos žymiai aukštesnės temperatūros. Kai kuriuose vandens pramogų parkuose vamzdynai valomi kiekvieną savaitę karšto vandens garais, o kaitinant vandenį iki 60–70 °C, ši temperatūra palaikoma žymiai ilgiau, nei nurodyta 2.2 lentelėje. Vandens apdorojimas terminiu būdu nėra vienintelė priemonė, tai galima atlikti ir cheminiu būdu, pavyzdžiui, naudojant ultravioletinius spindulius, sodos hipochloridą, chlorodioksidą ir kitas medžiagas [59, 60, 61], tačiau ši analizė yra orientuota į legionella bakterijų rizikos sumažinimą karšto vandens tiekimo sistemos pastate priemonėmis.

LR ir ES teisės aktai bei kiti normatyviniai dokumentai, susiję su karšto vandens gamyba, tiekimu bei vartojimu, turėtų numatyti ir įvertinti legionella rizikos laipsnį. Rizikos laipsnį apibūdina bakterijų kiekis, kuris gali būti pateiktas sutartiniais simboliais (2.3 lentelė).

Karšto vandens temperatūra, priklausomai nuo temperatūros buvimo laiko, sukelia skirtingą legionella rizikos laipsnį ir tai yra pateikta 2.4 lentelėje.

2.3 lentelė. Legionella rizikos įvertinimo simboliai [55]

Simbolis	Reikšmė
0	Neutrali reikšmė < 50 cfu/l (absoliuti)
+	10 kartų mažiau
++	100 kartų mažiau
+++	1000 kartų mažiau
-	< 10 ³ cfu/l
--	< 10 ⁴ cfu/l
---	< 10 ⁵ cfu/l

2.4 lentelė. Rizikos laipsnio įvertinimas priklausomai nuo temperatūros ir laiko [55]

Rizikos faktoriai						
Temperatūra, °C	Temperatūros buvimo laikas	Rizikos laipsnis (+ mirimas; - augimas)	Temperatūros buvimo laikas	Rizikos laipsnis (+ mirimas; - augimas)	Temperatūros buvimo laikas	Rizikos laipsnis (+ mirimas; - augimas)
< 20	Neribojamas	0				
20–25	Neribojamas	0				
25–45	< 2 paros	0	> 2 paros < 1 savaitė	-	> 1 savaitė	---
45–50	Neribojamas	--				
50–55	Neribojamas	0				
55–60	> 1 val.	+	> 2 val.	++	> 3 h	+++
60–65	> 3 min.	+	> 5 min.	++	> 10 min.	+++
65–70	> 20 s.	+	> 40 s.	++	> 1 min.	+++

2.1.5 Kūno nudegimams palankių karšto vandens temperatūrų apibūdinimas

Aukščiau išdėstytos informacijos pagrindinis dėmesys yra sutelktas į legionella riziką, tačiau yra ir kitų faktorių, į kuriuos reikia atkreipti dėmesį pasirenkant karšto vandens temperatūrą. Pavyzdžiui, labai padidinus karšto vandens temperatūrą, padidės šiluminės energijos sąnaudos, be to iškyla realus pavojus nusideginti su per karštu vandeniu. Lietuvoje nudegimų dėl karšto vandens statistika nevedama, žinomi tik pavieniai atvejai. Tačiau vadovaujantis kitų stambių valstybių, pavyzdžiui, tokios kaip JAV patirtimi galime pastebėti, kad beveik ketvirtadalį visų nudegimų, dėl kurių vaikai būna atvežami į ligoninę, sukelia per daug karštas vanduo iš čiaupo. Pasak daktaro Collin Goto [62], vaikų oda yra plonesnė ir labiau pažeidžiama nei suaugusių, todėl gali nudegti net ir prie tokių temperatūrų, kurios suaugusiajam atrodo komfortabilios. Nudegimų prevenciją galima užtikrinti sumažinus tiekiamo karšto vandens temperatūrą iki 49 °C [62], atitinkamai nustatant karšto vandens pašildytuvo temperatūrą arba įrengiant termostatinis pamaišymo vožtuvus. Tuomet kodėl gi negalima tiekti 49 °C karšto vandens? Dalis atsakymo į šį klausimą susijusi su legionella ir žemesne nei 60 °C karšto vandens temperatūra. Nusprendus sumažinti karšto vandens temperatūrą, reikėtų palyginti riziką užsikrėsti legionella bakterijomis su rizika rimtai nusideginti.

Dauguma nudegimų prevencijos šalininkų 49 °C temperatūrą pripažįsta kaip optimalią karšto vandens tiekimui. Esant tokiai temperatūrai suaugusiųjų nudegimas įvyksta per 5–10

minučių, tuo tarpu kai prie 60 °C per 2–6 sekundes [62]. Vaikų oda yra žymiai jautresnė ir esant 54 °C karštam vandeniui pilnas odos sluoksnio nudegimas įvyksta per 10 sekundžių, o esant 60 °C per 1 sekundę [63]. 1983 m. JAV Vašingtone buvo priimtas normatyvinis dokumentas, pagal kurį karšto vandens reguliatorių bei buitinių boilerių temperatūra turi būti nustatyta 49 °C. Tai sąlygojo, kad ligoninėse gydomų nudegimų dėl karšto vandens sumažėjo 50 % [62].

Viena iš pagrindinių priežasčių palaikyti aukštesnę temperatūrą yra legionella bakterijos. Daug tyrimų rodo ženklų bakterijų skaičiaus sumažėjimą esant apie 50 °C, tačiau kitų tyrimų metu legionella buvo rasta ir esant 66 °C [62]. Todėl galima palaikyti labai aukštą karšto vandens temperatūrą, tačiau nepavyks sumažinti legionella bakterijų iki absoliutaus nulinio lygio. Taigi, reikia įvertinti, kokią temperatūrą reikia palaikyti norint išvengti legionella, arba teisingiau, koks yra rizikos santykis užsikrėsti legionella naudojant žemesnės temperatūros vandenį su nedegimų rizika naudojant labai karštą vandenį.

2.1.6 Karšto vandens tiekimo paslaugų vieta BVP sukūrimo procese

Tiriant karšto vandens suvartojimą pastate reikia įvertinti, kad jis yra glaudžiai susijęs su socialine visuomenės gerove, vartotojų pragyvenimo lygiu, klimatinėmis sąlygomis. Pasaulyje yra susiformavę skirtingi karšto vandens vartojimo įpročiai, todėl skiriasi ir karšto vandens suvartojimo normos įvairiose šalyse. Racine T. A. Prado ir Orestes M. Goncalves savo tiriamajame darbe teigia, kad žmogaus suvartotas karšto vandens kiekis priklauso nuo geografinės padėties, klimato zonos, pajamų ir karšto vandens sistemos tipo [64]. A. ILeri ir S. Moshiri nurodo, kad Turkijoje žmogus suvartoja 45 litrus [65], N. Milligan nustatė 79 litrų kiekį žmogui per dieną [66], JAV D. Colliver pateikė, kad karšto vandens suvartojama nuo 56,8 iki 75,8 litrų [67], o F. Goldner pateikė didžiausią suvartojimą žmogui per parą, kuris svyruoja nuo 119,0 iki 283,5 litrų [68]. Šiuo metu Lietuvoje vyrauja tendencija, kad žemesnes pajamas gaunantys vartotojai vartoja sąlyginai mažiau karšto vandens vienam gyventojui. Tai yra susiję su vartotojų elgsenos įpročiais bei su karšto vandens apskaitos netikslumais. Tačiau vertindami suvartotą karšto vandens kiekį, tenkantį vienam kvadratiniam pastato metrui, gali būti gautas atvirkščiai – didesnis sąlyginis suvartojimas, nes mažesnes pajamas gaunančių žmonių tankis į ploto vienetą yra didesnis. Atlikus įvadinio pastato karšto vandens skaitiklio parodymų skirtumo su gyventojų buitinais skaitikliais tyrimą skirtinguose pagal socialinį sluoksnį pastatuose, žemesnes pajamas gaunančiuose butuose šis skirtumas dėl nesąžiningo vartotojų elgesio yra didesnis negu leistinos skaitiklių paklaidos. Kiekvienas Lietuvos miestas turi skirtingą socialinį žmonių spektrą, tačiau bendros karšto vandens vartojimo tendencijos yra panašios.

Karšto vandens vartojimo lygis priklauso nuo vartotojų gaunamų pajamų arba bendrojo vidaus produkto (BVP) augimo/nuosmukio, todėl šių pajamų dedamoji įtakoja karšto vandens vartojimą priklausomai nuo BVP dinamikos. Bendruoju atveju BVP yra apibūdinamas kaip visų galutinio vartojimo prekių ir paslaugų, pagamintų šalyje per tam tikrą laikotarpį, vertė. BVP gali būti apskaičiuotas trim pagrindiniais metodais: gamybos metodu, pajamų metodu ir išlaidų metodu [69], o karšto vandens tiekimo veiklai galima taikyti vektorinės produkcijos pasiskirstymo ir vertės sukūrimo lygtis [70].

Lietuvoje stabiliai augant bendrajam vidaus produktui, yra pastebimas ir karšto vandens suvartojamo kiekio prieaugis. BVP augimo tendencijos Lietuvoje yra teigiamos, todėl galima pabandyti rasti BVP ir karšto vandens vartojimo sąlyginius ryšius.

2.2 Karšto vandens tiekimo teisiniai pagrindai ir tiekimo kontrolė

Lietuvos Respublikoje energetinė veikla yra griežtai reglamentuota. Dokumentų teisėkūra, vykdymas bei kontrolė yra pavesta specializuotoms institucijoms, kurios veikia vadovaudamosi priimtų teisės aktų nuostatomis [1, 71–79, 93, 94, 111, 112].

1948 metais pradėjo veikti kontroliuojanti institucija, kuri nuo 1966 metų, įsteigus šilumos inspekciją, pradėjo vykdyti vartotojų šilumos įrenginių valstybinę priežiūrą. Šiuo metu ji vadinama Valstybine energetikos inspekcija (VEI) [113]. Pagrindinis VEI tikslas – atlikti fizinių ir juridinių asmenų energetikos įrenginių valstybinę kontrolę, kad būtų užtikrintas patikimas, efektyvus ir saugus energetikos išteklių tiekimas bei vartojimas. Kita institucija, Valstybinė kainų ir energetikos kontrolės komisija, įkurta 1997 m. vasario mėn. 10 d., nustato ir kontroliuoja elektros energijos, centralizuotai tiekiamos šilumos, karšto ir šalto vandens bei gamtinių dujų kainas, tvirtina šilumos energijos karštam vandeniui ruošti bei jo temperatūrai palaikyti kiekio normas, šiluminės energijos patalpoms šildyti kiekio normas, kuro sunaudojimo šilumos ir elektros energijai gaminti normas [112].

Šios aukščiau minėtos pagrindinės institucijos savo darbą vykdo vadovaudamosi LR teisės aktų normomis. Vienas iš pagrindinių LR seimo (LRS) nutarimų yra susijęs su nacionaliniu energetikos strategijos formavimu, o pagrindinės nuostatos yra šios [71, 72]: parengti savivaldybių šilumos ūkio plėtros planus, suderintus su nacionaliniais energetikos prioritetais, šilumos ūkį tvarkyti pagal savivaldybių patvirtintus šilumos ūkio plėtros planus, skatinti šilumos gamybą iš vietinių ir atsinaujinančių energijos išteklių, nuosekliai modernizuoti šilumos tiekimo sistemas ir kita. Kitas aktualus yra Energetikos įstatymas, apibūdinantis energetikos veiklą ir valdymą, energetikos sektoriaus plėtojimą (nacionalinė energetikos strategija, energetikos agentūra, energetikos veikla ir pan.), energetikos sektoriaus reguliavimą (kainos, licenzijos ir

leidimai, valstybinė kainų ir energetikos kontrolės komisija, energetikos valstybinė kontrolė, energijos apskaita ir pan.), ekstremalią energetikos padėtį, skundų nagrinėjimą ir t.t. [73]. Šilumos ūkio įstatymas apibūdina šilumos ūkio valdymą, planavimą, šilumos tiekimą, daugiabučių namų šildymą bei kitas svarbias sritis [74]. Šiluminės energijos tiekimas yra viena iš svarbiausių sričių užtikrinant efektyvų karšto vandens tiekimą ir tai reglamentuoja šilumos tiekimo ir vartojimo taisyklės, privalomos šilumos ir karšto vandens tiekėjams, šilumos ir karšto vandens vartotojams, bei šių sistemų prižiūrėtojams [75], o taip pat reglamentuoja šilumos tinklų ir šilumos vartojimo įrenginių priežiūros (eksploatavimo) taisyklės, nustatančios, kaip turi būti naudojamos šilumos tinklais ir šilumos vartojimo įrenginiais bei atliekama jų priežiūra [76]. Karšto vandens tiekimo sistemų pastatuose efektyvumas yra glaudžiai susijęs su inžinerinių sistemų darbu. Šiomis sistemomis turi būti rūpinamasi vadovaujantis daugiabučio namo šildymo ir karšto vandens sistemos privalomaisiais reikalavimais [77] bei pastato šildymo ir karšto vandens sistemos priežiūros tvarka [78]. Viso LR teisės aktai apima 67 tiesiogiai susijusius bei visą eilę dalinai su šilumos sektoriumi susijusių teisės aktų rinkinį.

2.3 Pagrindiniai šio darbo tikslai ir uždaviniai bei autoriaus indėlis į nagrinėjamą problemą

Atlikęs mokslinių tyrimų apžvalgą galiu daryti išvadas, kad karšto vandens tiekimo sistemų pastatuose efektyvumas yra aktuali problema tiek Lietuvoje, tiek ir visame pasaulyje. Karšto vandens tiekimo sistemų darbo stabilumas susijęs su daugeliu kriterijų, nuo kurių priklauso visos sistemos darbas – tai karšto vandens temperatūros, suvartojimai, temperatūros režimai bei kiti parametrai. Daugelis literatūros apžvalgoje minėtų autorių atlieka mokslinius tyrimus ir sprendžia klausimus tik labai siauroje ir specializuotoje srityje, tačiau nė vienas autorius nenagrinėja karšto vandens tiekimo sistemų efektyvumo visapusiškai bei kaip visumos, o ieško atsakymų tik į atskirus klausimus.

Visa tai lėmė, kad šio darbo pagrindiniai tikslai yra išnagrinėti visapusiškai karšto vandens tiekimo sistemų pastatuose efektyvumą, surinkti apskaitos prietaisų rodmenis, atlikti jų analizę bei pateikti siūlymus apskaitos tikslinimui, nustatyti karšto vandens suvartojimo netolygumo dėsningumus bei standartinius nuokrypius, nustatyti karšto vandens tiekimo temperatūras, įvertinti karšto vandens tiekimo sistemų bei jų įrengimų darbo analizę, nustatyti faktinius karšto vandens poreikius daugiabučiuose ir administracinės paskirties objektuose, surinkti duomenis karšto vandens suvartojimo normų tikslinimui.

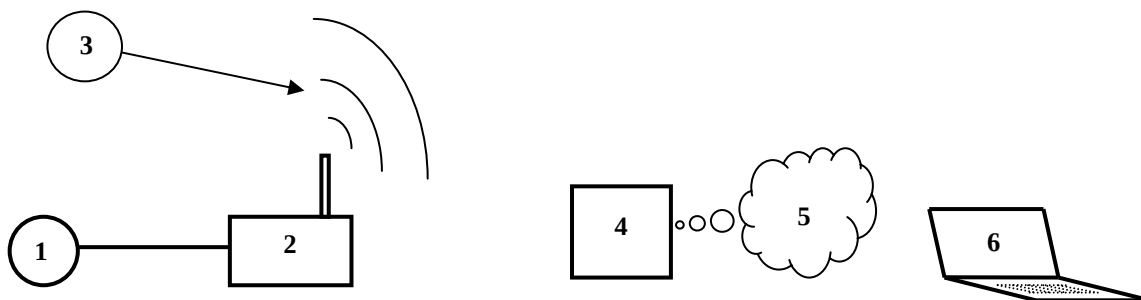
3. KARŠTO VANDENS TIEKIMO SISTEMŲ PASTATUOSE EFEKTYVUMO TYRIMO METODAI

3.1 Tyrimo priemonės

Karštas vanduo ruošiamas šilumos punkte naudojant centralizuotai tiekiamą šilumą pagal nepriklausomą karšto vandens ruošimo schemą priklausomai nuo galingumo su vieno arba dviejų laipsnių karšto vandens ruošimo šilumokaičių, pavarų, vožtuvų, automatikos bei kitų įrengimų pagalba. Šilumos punktas – įrenginys, prijungtas prie šilumos tinklo, kuris su gaunamu šilumnešiu gautą šilumą transformuoja ir skirsto objekto šildymo, vėdinimo, karšto vandens ir kitoms šilumą naudojančioms sistemoms [79]. Šiame darbe nagrinėjamas naujai įrengtas arba rekonstruotas šilumos punktas bei jo darbas. Nerekonstruotas šilumos punktas turi daug minusų, šilumnešio temperatūra dėl karšto vandens tiekimo pavasarį negali būti žemesnė nei 70 °C, o dėl to prarandama 2,3 % viso šildymui sunaudoto šilumos kiekio [80]. Šilumos punkto rekonstrukcijos pagrindinis tikslas yra suteikti vartotojui galimybę reguliuoti šilumos suvartojimą ir padidinti aptarnavimo kokybę, tai leidžia sumažinti sistemos eksploatacijos ir aptarnavimo išlaidas, išvengti šilumos ir vandens nuostolių ir pateikia techninį sprendimą, leidžiantį išvengti komercinių nuostolių tiekiant buitinį karštą vandenį [81], pakelia pastato šiluminio komforto lygį [82]. Šilumos punkto automatika dėl karšto vandens temperatūros tikslesnio reguliavimo atsiperka per 4 metus [83]. Principinė karšto vandens ruošimo schema pateikta 3.2 paveiksle. Karštas vanduo ruošiamas plokštelinio šilumokaičio pagalba. Karštas vanduo turi cirkuliacinį kontūrą, o vandens temperatūra yra reguliuojama automatikos pagalba, kuri atitinkamai atidaro arba uždaro karšto vandens vožtuvą. Nuo karšto vandens cirkuliacinio kontūro yra paskirstytos atšakos į karšto vandens maišytuvus. Šiose atšakose cirkuliacija nevyksta, vanduo pasikeičia tik tuomet, kai yra vartojamas karštas vanduo. Karšto vandens temperatūra yra fiksuojama iš kart po karšto vandens ruošimo šilumokaičio. Visi analizuojami duomenys yra fiksuojami nuotolinės duomenų surinkimo sistemos pagalba.

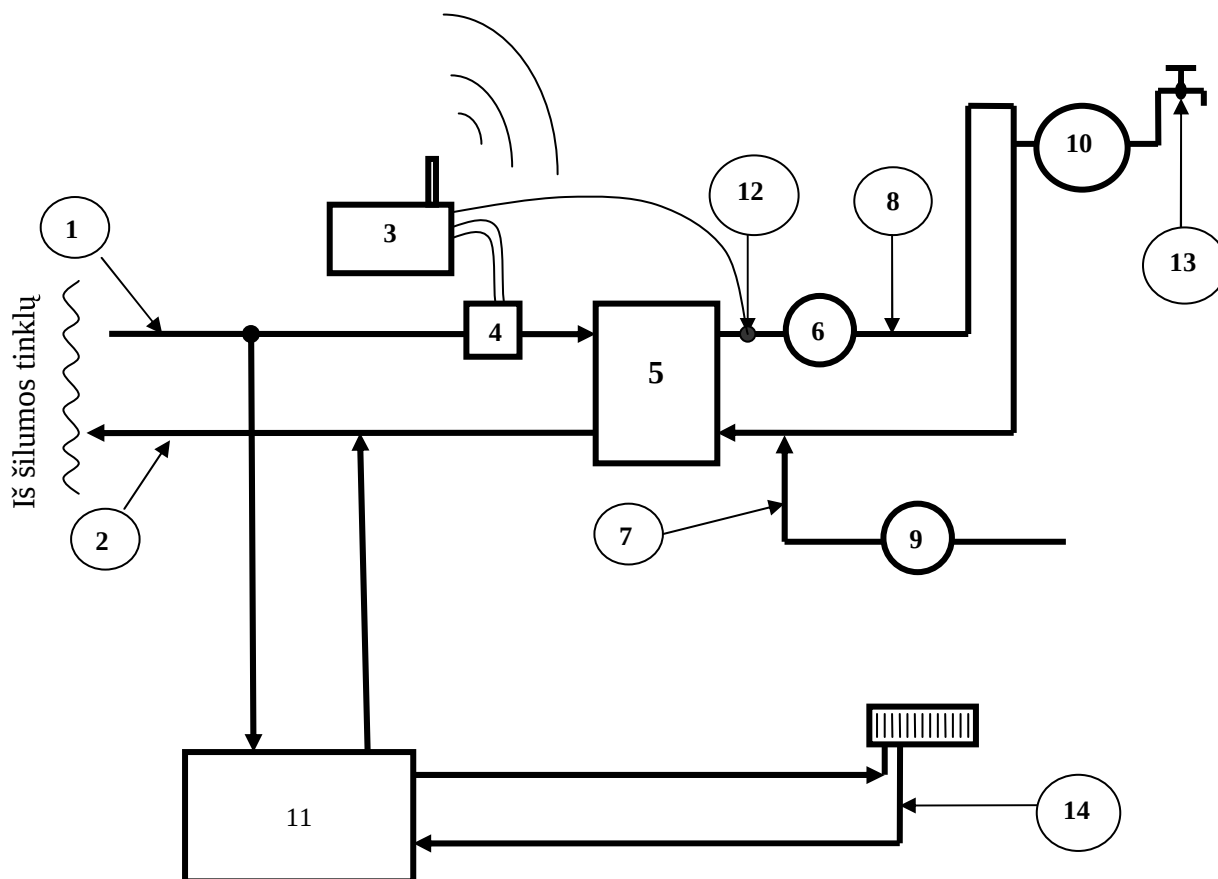
Tyrimui buvo pasirinkti visuomeninės paskirties objektai (darželiai ir mokyklos) bei daugiabučiai gyvenamieji namai, turintys nepriklausomą šildymo bei karšto vandens ruošimo sistemą bei turintys cirkuliacinę karšto vandens tiekimo liniją. Visi šie objektai yra lokalizuoti Vilniaus mieste.

Karšto vandens suvartojimo duomenų analizei gali būti naudojamas „popieriaus ir pieštuko“ metodas [84], tačiau esant dideliems duomenų kiekiams jis yra nepatogus, todėl karšto vandens faktinio suvartojimo duomenys buvo fiksuojami nuotolinės duomenų surinkimo sistemos bei jos prietaisų pagalba [114]. Nuotolinės duomenų surinkimo sistemos prietaiso ir prie jo prijungtų įrengimų principinės schemos pateiktos 3.1 ir 3.2 paveiksluose.



3.1 pav. Rubisafe prietaiso ir prie jo prijungtų įrengimų principinė schema

Čia 1 – karšto vandens impulsinis skaitiklis; 2 – šilumos tiekimo sistemos valdiklis; 3 – GSM ryšys; 4 – duomenų priėmimo centras; 5 – pasaulinis interneto tinklas; 6 – vartotojo kompiuteris.



3.2 pav. Karšto vandens ruošimo bei apskaitos principinė schema

Čia 1 – tiekiamo šilumnešio srautas; 2 – grįžtamo šilumnešio srautas; 3 – šilumnešio tiekimo sistemos valdiklis; 4 – karšto vandens vožtuvas su pavara; 5 – karšto vandens šilumokaitis; 6 – karšto vandens siurblys; 7 – šaltas vanduo; 8 – karšto vandens cirkuliacinė sistema; 9 – pastato įvadinis karšto vandens skaitiklis; 10 – gyventojų butinis karšto vandens skaitiklis; 11 – šildymo sistemos šilumokaitis; 12 – karšto vandens temperatūros jutiklis; 13 – karšto vandens maišytuvas; 14 – šildymo sistema.

3.2 Vartotojų grupės ir duomenų bazės įvertinimas

Karšto vandens tiekimo sistemų pastatuose efektyvumo tyrimui buvo pasirinktos 3 grupės: daugiabučiai gyvenamieji namai bei tam tikra visuomeninės paskirties objektų grupė – mokyklinio ir ikimokyklinio ugdymo įstaigos. Kiekviena iš šių objektų grupių turi savitą vartojimo specifiką, ir sudarydami didelę dalį bendro šalies karšto vandens suvartojimo gali būti nagrinėjami atskirai. Šiluminė energija šiai objektų grupei tiekama centralizuotai. Visuose nagrinėjamuose pastatuose šiluminiai punktai yra rekonstruoti pagal nepriklausomą šilumos bei karšto vandens tiekimo sistemas, priklausomai nuo galingumo su vieno arba dviejų laipsnių karšto vandens ruošimo plokšteliniais šilumokaičiais.

Daugiabučių gyvenamųjų pastatų karšto vandens tyrimui buvo paimti tipiniai Vilniaus miesto pastatai, sudarantys pagrindinę pastatų Vilniaus mieste grupę. Šių pasirinktų objektų skaičius sudaro 84 pastatus. Visi jie yra parinkti ne iš vieno gyvenamojo rajono, tačiau iš viso spektro Vilniaus miesto rajonų: Antakalnio, Baltupių, Fabijoniškių, Grigiškių, Justiniškių, Karoliniškių, Lazdynų, Naujamiesčio, Pašilaičių, Salininkų, Senamiesčio, Šeškinės, Šnipiškių, Verkių, Viršuliškių, Žirmūnų ir Žvėryno. Tai leidžia teigti, kad pasirinkta vartotojų grupė atitinka ir atspindi bendrą Vilniaus miesto vartotojų grupės tendenciją. Pastatų tipai taip pat yra skirtingi ir apima tipinius penkiaaukščius, devyniaaukščius bei kitus vienos, dviejų ar keletos laiptinių pastatus. Butų skaičius šiuose pastatuose skiriasi, tačiau vidutiniškai vienam pastatui tenka 50 butų.

Karšto vandens kiekio apskaita šiuose pastatuose galima pastato įvadinio karšto vandens skaitiklio pagalba bei gyventojų skaitiklių pagalba, susumavus gyventojų skaitiklių parodymus. Karšto vandens kiekio apskaita vykdoma nuotolinės duomenų surinkimo sistemos bei impulsinių karšto vandens skaitiklių pagalba, todėl visų skaitiklių duomenys yra užfiksuojami tuo pačiu laiku. Tai leidžia išvengti duomenų apskaitos netikslumo dėl nesavalaikiai gyventojų deklaruojamo karšto vandens suvartojamo kiekio. Taip pat yra atmetami karšto vandens apskaitos netikslumai, atsirandantys dėl gyventojų nesąžiningo elgesio su karšto vandens skaitikliais, kai siekiant sumažinti karšto vandens skaitiklio parodymus ant skaitiklių statomi

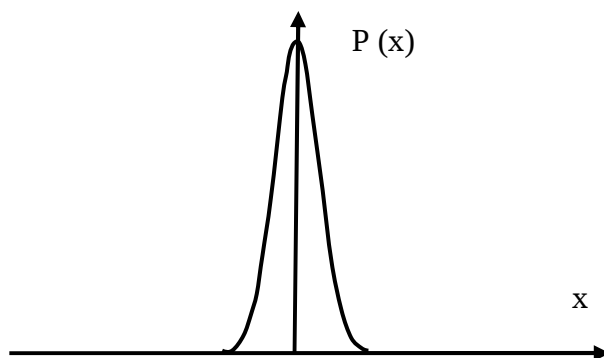
magnetai bei atliekami kiti nesankcionuoti veiksmai. Dėl šių aukščiau išvardintų priežasčių duomenų bazę galima įvertinti kaip bazę, sudarytą iš didelio kiekio ir ypatingai tikslių bei analogų neturinčių duomenų.

Mokyklinio ir ikimokyklinio ugdymo įstaigų faktinio karšto vandens suvartojimo tyrimas atliktas visose Vilniaus miesto įstaigose, kuriose šiluminė energija tiekama centralizuotu būdu. Vilniaus mieste yra objektų, šiluminę energiją gaunančių necentralizuotu būdu. Jie šiluminę energiją gauna kūrendami dujas ar malkas, tačiau šių objektų skaičius sudaro tik kelis procentus nuo visų objektų ir bendros tyrimo grupės tendencijų jie neiškreipia. Šie objektai traktuojami kaip netipiniai vienetiniai atvejai su savo vartojimo specifika, nes vasaros sezono metu dalis jų karštą vandenį ruošia elektrinių pašildytuvų pagalba. Ugdymo įstaigos sudaro dvi pagrindines grupes – mokyklinio ir ikimokyklinio ugdymo įstaigos. Jos viena nuo kitos stipriai skiriasi, todėl vertos nagrinėti kiekviena atskirai. Taip pat šias grupes galima suskirstyti pagal pastatų plotus, žmonių skaičių objekte ir pan..

3.3 Tyrimų metodas

Faktinių duomenų tyrimui yra naudota statistinė duomenų analizė. Statistinė duomenų analizė yra plačiai taikoma tiriant pastatų šiluminės energijos ir karšto vandens vartojimą [85]. Duomenys gali būti pasiskirstę pagal Binominį, normalųjį (kartais jis siejamas su vokiečių matematiko Karlo Friedricho Gauso [Gauss; 1777–1855] vardu ir vadinamas Gauso pasiskirstymu) ir kitus dėsnius [86].

Normalusis pasiskirstymas (3.3 pav.) svarbus tiek teoriniuose tikimybių moksluose, kur šiuo pasiskirstymu grindžiama daugelis teorinių išvadų bei formulų, nes į jį artėja dauguma kitų pasiskirstymų, tiek ir realiajame pasaulyje, gamtoje. Konkretų Gauso pasiskirstymo pavidalą apsprendžia funkcijos tikimybės tankio maksimumo vieta x ašies atžvilgiu ir varpo pavidalo kreivės glaustumas bei funkcijos tikimybės tankio maksimumo padėtis y ašies atžvilgiu, arba kitais žodžiais – maksimumo „aukštis“ [115].



3.3 pav. Gauso (normaliojo) pasiskirstymo tikimybės tankio vaizdas [115]

Tuo remiantis normaliojo pasiskirstymo atveju tikimybės tankio kreivės formai bei padėčiai apibūdinti yra reikalingi du parametrai, kuriuos įprasta žymėti raidėmis μ (dažnai dar žymima a arba m) ir σ (arba σ^2). Parametras μ apsprendžia maksimalaus tikimybės tankio vietą x ašyje, todėl nuo jo priklauso, ties kuria x reikšmė bus susitelkęs didžiausias tikimybės tankis. Parametras σ nulemia tikimybės tankio kreivės aukštį ir jos suglaustumo laipsnį: abu tie kreivės matmenys – aukštis ir glaustumas – tarpusavyje glaudžiai susiję, nes bet kuriuo atveju plotas, susidarantis tarp x ašies ir tankio grafiko kreivės, turi išlikti pastovaus dydžio, visada vienodas ir masteliu lygus tikimybės vienetui. Keičiant σ galima tankio grafiko viršūnę patempti aukštyn arba nuspausti žemyn, bet tuo pačiu atitinkamai persiorientuos ir šoninių linijų išlinkimas, kad minėtasis plotas nepasikeistų. Kai parametras $\sigma_Y = 1$, funkcijos tikimybės tankio aukštis ties vidurkiu yra maksimalus ir lygus 0,39894. Labai svarbi yra trijų sigma taisyklė, kuri teigia, kad jeigu atsitiktinis dydis yra pasiskirstęs pagal normalųjį dėsnį, tai stebimosios jo reikšmės, nuo vidurkio nutolusios daugiau kaip per 3 vidutinius kvadratinus nuokrypius, bus praktiškai labai retos, pasitaikys tik maždaug 3 kartus iš tūkstančio. O jeigu jos pasitaiko žymiai dažniau, tai tokio dydžio jau nėra pagrindo laikyti esant pasiskirsčiusiu pagal normalųjį dėsnį. Kitaip tariant, absoliuti didžiuma (99,73 %) tikimybės tankio susikoncentruoja x reikšmių ruože nuo -3 iki 3 (bendru atveju nuo -3σ iki 3σ) arba kai $[\mu+1\sigma_Y; \mu-1\sigma_Y]$, funkcija apima 68,27 % duomenų, kai $[\mu+2\sigma_Y; \mu-2\sigma_Y]$, funkcija apima 95,45 % duomenų, kai $[\mu+3\sigma_Y; \mu-3\sigma_Y]$, funkcija apima 99,73 % duomenų. Inžineriniuose skaičiavimuose dažniausiai naudojama 2σ taisyklė, kurią taikant žinome, kad 95,45 % reikšmių patenka į tiriamą intervalą. Pageidaujant turėti kitą patikimumo lygį, galime atitinkamai nustatyti σ reikšmę, kad gauti pageidaujamą tikimybės lygį. Pavyzdžiui, norint turėti 50 % reikšmių, reikia imti intervalą $\mu \pm 0,674\sigma_Y$, pageidaujamų 90 % reikšmių yra intervale $\mu \pm 1,960\sigma_Y$, o 95 % reikšmių yra intervale $\mu \pm 2,576\sigma_Y$.

Normalinis skirstinys svarbus tuo, kad:

- daugelis skirstinių artėja link normalinio,
- daugelio požymiu (net ryškiai nenormalinių) pasiskirstymų vidurkių įverčiai pagal imtis gerai aprašomi normaliniu skirstiniu, kurio vidurkis lygus generalinės aibės vidurkiui, o dispersija – σ^2/N , čia σ^2 – generalinės aibės dispersija.
- požymių pasiskirstymai neretai artimi būtent normaliniam skirstiniui.

Jei požymis pasiskirstęs normaliai, negalima atmesti hipotezės, kad priežasčių yra daug, kad jos sumuojasi ir yra apytiksliai vienodai reikšmingos. Nukrypimas nuo normaliojo skirstinio rodo, kad požymį gali veikti kiti veiksniai, pvz., atranka, specifinis valdymas. Dviviršūniškumas

dažnai rodo dvi susiplakusias imtis. Normaliajam skirstiniui asimetrija ir ekscesas lygūs nuliui. Kai asimetrija nelygi nuliui, vidurkis ir mediana nesutampa. Kai asimetrija teigiama – kreivės viršūnė kairėn, nuolaidusis šlaitas dešinėn. Kai asimetrija neigiama – kreivės viršūnė dešinėn, nuolaidusis šlaitas kairėn.

Šiame tyrime duomenys analizuojami pagal normalųjį arba Gauso skirstinį, nes pastebėta, kad normalioji (Gauso) kreivė skirtingo tipo objektuose ir skirtingais laikotarpiais skiriasi:

$$f(x) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} * e^{\frac{-x^2}{2}}. \quad (3.1)$$

Lygtyje (3.1) standartinio parametro X reikšmė turi prasmę:

$$x = \frac{(G - \bar{G})}{S}. \quad (3.2)$$

Čia G – faktinis karšto vandens vartojimas analizuojamuoju laikotarpiu (m^3); $\bar{G}$ – faktinio karšto vandens vartojimo svorinis vidurkis analizuojamuoju laikotarpiu (m^3); S – standartinis nuokrypis analizuojamuoju laikotarpiu (m^3).

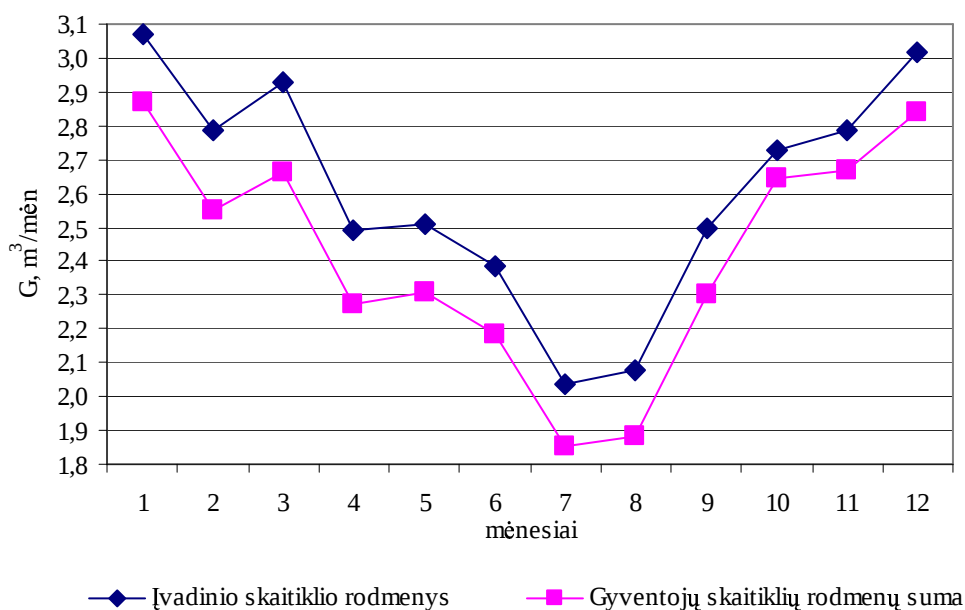
Atliekant statistinę duomenų analizę naudotas Microsoft Office programinis paketas Microsoft Excel. Ši programa pasirinkta todėl, kad ji puikiai tinka didelio kiekio duomenų perkėlimui iš nuotolinio duomenų surinkimo sistemos, kuri pasirinktas ataskaitas generuoja txt arba xls priimtiniu formatu. Duomenų analizei MS Excel taip pat suteikia labai plačias galimybes, kurios leidžia tiek analizuoti, tiek ir vaizdžiai grafiškai pateikti net gi daug kartų sudėtingesnius rezultatus nei pateikiami šiame darbe.

4. KARŠTO VANDENS VARTOJIMO NETOLYGUMO BEI JĮ SĄLYGOJANČIŲ VEIKSNIŲ TYRIMO REZULTATAI

4.1 Karšto vandens suvartojimo duomenų apskaitos analizė

4.1.1 Karšto vandens suvartojimo duomenų įvertinimas atsižvelgiant į apskaitos netikslumus

Atliktas Vilniaus miesto daugiabučių gyvenamųjų namų gyventojų karšto vandens suvartojimo tyrimas. Šio tyrimo metu nustatytas visos karšto vandens vartojimo grupės kiekvieno atskiro mėnesio vidutinis karšto vandens suvartojimas m^3 per mėnesį bute. Suvartojimas nustatytas pagal pastato pagrindinį skaitiklį vandens apskaitos įvade ir pagal gyventojų suminius buitinius karšto vandens skaitiklius butuose. Šiais skaitikliais fiksuojami tyrimui naudoti duomenys, kurie registruojami nuotolinės duomenų surinkimo sistemos pagalba. Tai leidžia išvengti netikslumų, atsirandančių dėl gyventojų netikslaus bei nesavalaikio duomenų deklaravimo bei dėl gyventojų nesąžiningos elgsenos su tikslu, kad skaitikliai parodytų mažesnius parodymus nei yra iš tikrųjų. Tokiu atveju tyrimo atlikti praktiškai būtų neįmanoma. Šios nuotolinės duomenų surinkimo sistemos pagalba visi parodymai, tiek įvadinio pastato skaitiklio, tiek visų gyventojų buitinių skaitiklių, yra užfiksuojami vienodu laiku. Karšto vandens suvartojimo rodmenys rodo aiškias vartojimo charakteristikas kalendorinių metų bėgyje (4.1 pav.).



4.1 pav. Daugiabučių gyvenamųjų namų karšto vandens vidutinis suvartojimas 1–12 mėn. pagal pastato įvadinį skaitiklį ir pagal gyventojų skaitiklių parodymų sumą, $\text{m}^3/\text{mėn.}$

Iš šių tendencijų matome, kad minimalus $2,03 \text{ m}^3/\text{mėn.}$ karšto vandens suvartojimas bute pagal pastato įvadinį skaitiklį yra vasarą liepos mėnesį, o pagal gyventojų buitinių skaitiklių parodymų sumą taip pat yra liepos mėnesį ir lygus $1,86 \text{ m}^3/\text{mėn.}$ Šios reikšmės nesutampa ir liepos mėnesį skiriasi $8,77 \%$, todėl galime teigti, kad viena iš šių reikšmių mažiau tiksli. Kyla klausimas, kuria reikšme reikėtų vadovautis ir priimti kaip tikslesnę. Tuo tarpu dar 1997 m. gruodžio 31 d. LR Vyriausybės nutarime Nr. 1507 numatyta, kad už suvartotą karštą vandenį gyventojai atsiskaitys pagal butuose įrengtų skaitiklių rodmenis. Tačiau atsiskaityti už karštą vandenį yra kur kas sudėtingiau: reikėtų matuoti vandens kiekį ir temperatūrą kiekviename bute. Ankstesnio tipo karšto vandens dvivamzdėse sistemose, sudarytose iš tiekimo ir cirkuliacinės linijų, galėdavome susidurti su faktu, kad jei paduodamas srautas yra $1 \text{ m}^3/\text{h}$, vartojamo vandens srautas yra $0,1 \text{ m}^3/\text{h}$, cirkuliacinis srautas $0,9 \text{ m}^3/\text{h}$ ir skaitikliai turės $\pm 3 \%$ paklaidą, tai galimas atvejis, kad skaitiklis tiekimo linijoje matuos $+3 \%$ paklaidą ($1,03 \text{ m}^3/\text{h}$), o cirkuliacinėje linijoje su -3% ($0,873 \text{ m}^3/\text{h}$). Tuo atveju skirtumas bus net $1,03 - 0,873 = 0,157 \text{ m}^3/\text{h}$ [87]. Galime daryti išvadą, kad visiškai nevartojant karšto vandens tokie skaitikliai gali simuliuoti karšto vandens vartojimą net iki 6% tiekiamo vandens kiekio. Be to tokie skaitikliai matuoja tūrio, o ne masės vienetais, todėl dėl temperatūrų skirtumo vartotojo nenaudai susidaro papildoma paklaida. Šio tyrimo metu išnagrinėta karšto vandens tiekimo sistema pagal nepriklausomą karšto vandens ruošimo tipą plokšteline šilumokaityje, todėl šių apskaitos problemų galime išvengti. Atlikus kalendorinių metų karšto vandens suvartojimo analizę matome, kad metų bėgyje parodymų skirtumas tarp įvadinio pastato ir gyventojų buitinių skaitiklių parodymų sumos kinta nuo $3,09 \%$ spalio mėnesį iki $9,06 \%$ kovą, o vidutinis skirtumas metų bėgyje sudaro apie $7,39 \%$. Galime pastebėti akivaizdų dėsningumą, kad gyventojų skaitiklių parodymų suma visada yra mažesnė nei pastato įvadinio skaitiklio parodymas. Karšto vandens skaitiklių gamintojų deklaruojamos paklaidos priklausomai nuo pratekančio vandens srauto svyruoja nuo $\pm 3 \%$ iki $\pm 5 \%$. Karšto vandens tiekėjai yra suinteresuoti teisingais parodymais, skaitikliams reguliariai yra atliekamos metrologinės patikros, todėl galima teigti, kad tiek įvadinio, tiek gyventojų buitinių karšto vandens skaitiklių parodymai šiuo atveju yra teisingi, o esanti didesnė nei gamintojų deklaruojama paklaida turėtų būti susijusi su gyventojų skaitiklių naudojimo ypatumais. Pasaulyje nėra tokios karšto vandens skaitiklių gamybos technologijos, kuri būtų visapusiškai priimtina abiems, tiek tiekėjo, tiek ir vartotojo pusėms [88]. Yra žinoma, kad dalis gyventojų neatlieka savo buitinių karšto bei šalto vandens skaitiklių metrologinių patikrų ir jos nuo skaitiklio pastatymo laiko jau seniai yra pasibaigusios. Tai galėtų būti šio netiksrumo tarp skaitiklių priežastis, tačiau šią hipotezę reikia atmesti, nes šiuo atveju visi skaitikliai buvo neseniai pastatyti ir jų metrologinės patikros laikotarpis yra dar nepasibaigęs.

Viena iš šio netikslumo tarp pastato įvadinio ir gyventojų buitinių skaitiklių parodymų priežasčių gali būti ta, kad kai gyventojas, pageidaudamas šalto vandens, atsuka vandens maišytuvo rankeną, ji nebūtinai būna ties kraštutine šalto vandens riba ir praleidžia šiek tiek ir karšto vandens. Šis vandens kiekis gali būti pakankamai mažas, kad gyventojų skaitikliai jo neužfiksuočiau.

Karšto vandens butuose parodymai fiksuojami vandens skaitikliais, kurių diametras $d = 15$ mm, nominalus srautas yra $Q_n = 1,5$ m³/h, pereinamasis srautas $Q_t = 150$ l/h, mažiausias srautas $Q_{min} = 60$ l/h, jautrio slenkstis yra 30 l/h. Karšto vandens kiekio santykinė matavimo paklaida yra ne didesnė kaip ± 5 %, kai vandens srautas nuo $Q_{min} = 60$ l/h iki $Q_t = 150$ l/h, o kai srautas nuo $Q_t = 150$ l/h iki maksimalaus srauto $Q_{max} = 3$ m³/h, tuomet santykinė matavimo paklaida yra ± 3 %. Jei skaitiklio diametras $d = 20$ mm, mažiausio srauto riba yra dar didesnė ir išauga iki 100 l/h, tačiau tokie skaitikliai butuose montuojami labai retai, o tiriamuosiuose pastatuose jų nebuvo. Apibendrintos tiriamųjų karšto vandens skaitiklių charakteristikos pateiktos 4.1 lentelėje.

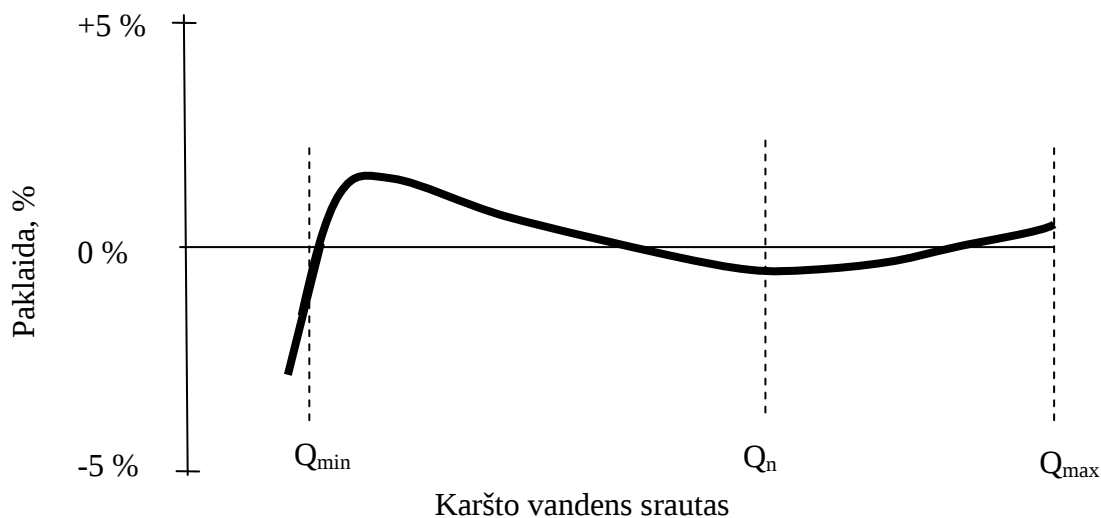
4.1 lentelė. Karšto vandens skaitiklių charakteristikos

Karšto vandens srautas	Žymėjimas	Karšto vandens srauto dydis
Maksimalus srautas	Q_{max}	3 m ³ /h
Nominalus srautas	Q_n	1,5 m ³ /h
Pereinamasis srautas	Q_t	150 l/h
Mažiausias srautas	Q_{min}	60 l/h
Jautrio slenkstis	-	30 l/h

Šios gamintojų deklaruojamos karšto vandens skaitiklių paklaidos leidžia teigti, kad kuo karšto vandens srautas yra mažesnis, tuo santykinė matavimo paklaida yra didesnė, o srautui esant mažesniui nei 60 l/h, paklaida yra didesnė nei ± 5 %. Įvairių pasaulio karšto vandens skaitiklių gamintojų deklaruojamos paklaidos šiek tiek skiriasi vienos nuo kitų, tačiau kadangi skaitiklių veikimo principai yra panašūs, visų gamintojų deklaruojamų paklaidų elgesio charakteristikos turi tas pačias priklausomybės nuo debito tendencijas [89]. Šios tendencijos yra pateiktos 4.2 paveiksle.

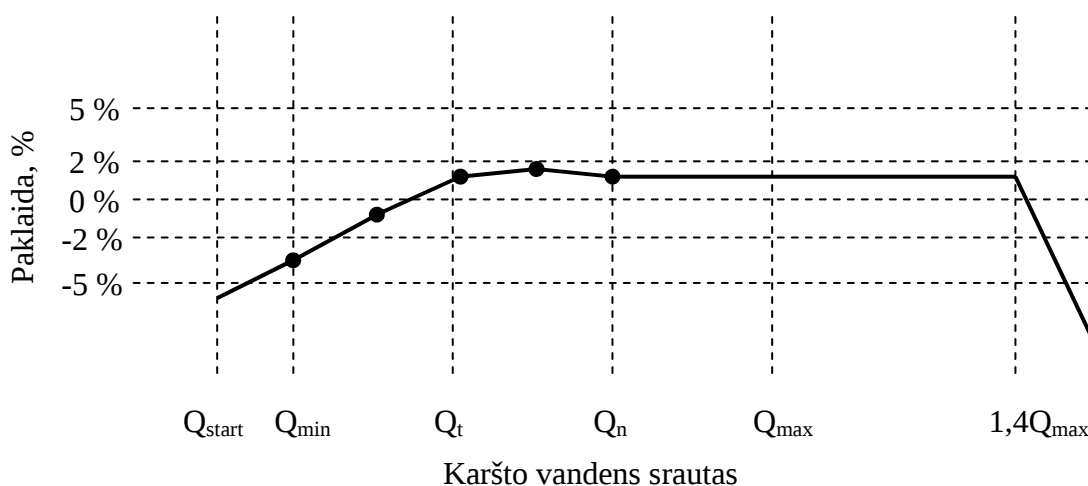
Išanalizavę 4.2 paveikslą galime padaryti išvadą, kad kuomet per karšto vandens skaitiklį teka nominalus srautas Q_n , paklaida sudaro minus 0,5 %, o srautui keičiantis į didesnę ar į mažesnę pusę paklaida artėja link nulinės reikšmės. Kai karšto vandens srautas pasiekia maksimalią Q_{max} ribą, paklaida yra teigiama ir sudaro plus 0,5 %. Tuo tarpu karšto vandens skaitiklio debitui mažėjant ir artėjant prie minimalios Q_{min} srauto reikšmės, paklaida nuo minus 0,5 % keičiasi į teigiamą pusę, kerta nulinę ašį, tuomet vis tolygiai didėdama pasiekia 1,5 % ribą

ir netoli Q_{min} reikšmės stabilizuojasi, pakeičia kryptį ir pradeda staigiai mažėti, vėl kerta nulinę ašį ir esant minus 1,5 % reikšmei pasiekia minimalaus srauto Q_{min} ribą.



4.2 pav. Tipinės karšto vandens skaitiklių gamintojų deklaruojamos paklaidos priklausomybės nuo srauto kreivė [89]

Kadangi ši karšto vandens skaitiklių paklaidos kreivė turi pakankamai sudėtingą formą, ji gali būti supaprastinta ją modifikuojant ir fiksuojant tik aktualių taškų reikšmes, o tarpinės reikšmės nustatomos tiesinės interpoliacijos pagalba du taškus sujungiant tiese. Tuomet karšto vandens skaitiklio paklaidos ir srauto priklausomybė yra pateikiamos sekančiai kaip 4.3 paveiksle [90].



4.3 pav. Modifikuotos karšto vandens skaitiklių paklaidos priklausomybės nuo karšto vandens srauto kreivė [90]

Nuo minimalaus srauto Q_{min} iki pereinamojo srauto Q_t ribos paklaida yra išmatuojama viename taške ir gautos reikšmės sujungiamos tiesėmis. Tokie patys veiksmi, siekiant gauti kreivę, atliekami ir tarp pereinamojo srauto Q_t ir nominalaus srauto Q_n reikšmių. Virš Q_n reikšmės yra priimama, kad debitui didėjant paklaidos reikšmė išlieka pastovi iki Q_{max} reikšmės ir tęsiasi iki $1,4Q_{max}$ reikšmės. $1,4Q_{max}$ reikšmė yra priimta laikyti tokią reikšmę, kuri parodo ribą, iki kurios matuojant karšto vandens srautą nebus prarastas matavimo tikslumas. Taip pat yra priklausomybė, kad $1,4Q_{max} = 2,8Q_n$, nes maksimalaus srauto Q_{max} reikšmė yra du kartus didesnė nei nominalaus srauto Q_n reikšmė.

Iš aukščiau pateiktų paveikslų galime teigti, kad mažėjant karšto vandens srautui, paklaida sparčiai auga į neigiamą pusę ir pasiekus pradinę Q_{start} reikšmę ji jau viršija 5 % ribą. Iš to galima daryti išvadą, kad jei karšto vandens srautas dažnai būna žemiau pradinės Q_{start} reikšmės, tokiu atveju gyventojų skaitiklių parodymų reikšmė visuomet bus mažesnė nei pastato įvadinio skaitiklio. Tai patvirtina ir 4.1 paveikslas, kuriame matome, kad gyventojų karšto vandens skaitiklių parodymai visada yra mažesni nei pastato įvadinio skaitiklio, o vidutinė paklaida per metus yra apie minus 7,39 %. Tai patvirtina, kad gyventojų naudojami debitai dažnai būna mažesni nei Q_{start} reikšmė. Tačiau ypač mažiems karšto vandens srautams yra priimta, kad karšto vandens skaitiklis nefiksuoja jokio srauto iki pradinės Q_{start} ribos [90], kuri lygi:

$$Q_{start} = Q_{min} / 4. \quad (4.1)$$

Galime įvertinti ir mūsų nagrinėjamu atveju, kokia turėtų būti karšto vandens srauto pradinė reikšmė, nuo kurios karšto vandens skaitikliai jau pradeda fiksuoti pratekantį karšto vandens srautą:

$$Q_{start} = Q_{min} / 4 = 60 / 4 = 15 \text{ l/h.}$$

Gauta 15 l/h karšto vandens srauto riba yra lygi 250 ml per minutę srautui arba kitaip tariant tokiu srautu tekantis vanduo per vieną minutę pribėgtų į pilną stiklinę vandens, o tai tikrai yra realus karšto vandens srautas, kuris gali būti vartojamas buityje.

Apibendrinus galime daryti išvadą, kad atliekant buitinio karšto vandens suvartojimo analizę pastatuose duomenis reikėtų vertinti ne pagal gyventojų įvadinių skaitiklių sumą, tačiau pagal pastato įvadinio skaitiklio parodymus, arba gyventojų skaitiklių parodymus padidinti apie 7,39 % reikšmė.

4.1.2 Karšto vandens suvartojimo duomenų įvertinimas atsižvelgiant į temperatūrų skirtumus

Skirtumas tarp ankstesniame skyriuje nustatyto karšto vandens skaitiklių gamintojų deklaruojamo $\pm 5\%$ pastato karšto vandens įvadinio skaitiklio ir gyventojų buitinių karšto vandens skaitiklių $7,39\%$ reikšmės sudaro $2,39\%$. Šis skirtumas yra dėl mažesnio karšto vandens srauto vartojimo nei Q_{start} reikšmė, tačiau kita priežastis yra tiekiamo karšto vandens temperatūrų skirtumas vietose tarp pastato įvadinio karšto vandens skaitiklio ir gyventojų buitinių karšto vandens skaitiklių. Pastato šilumos punkte šaltas vanduo prateka pro karštam vandeniui skirtą matuoti apskaitos prietaisą, pašildomas karšto vandens ruošimo šilumokaityje ir tiekiamas cirkuliacine karšto vandens tiekimo linija iki gyventojų apskaitos prietaiso (3.2 pav.) [91]. Tekėdamas šį atstumą karšto vandens srautas fiksuojamas įvadiniam pastato skaitiklyje būdamas apie $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ [92], tuomet pašildomas karšto vandens šilumokaityje priklausomai nuo gyventojų pageidavimo iki norimos temperatūros, dažnai $44\text{ }^{\circ}\text{C}$ [93, 94]. Tekėdamas iki gyventojų buitinio karšto vandens skaitiklio jis atvėsta priklausomai nuo karšto vandens vartojimo pikų pastate – jei vartojimas yra didelis labai nežymiai, o jei vartojimo nėra, tuomet šiek tiek daugiau, taip pat priklausomai nuo karšto vandens tiekimo cirkuliacinės linijos ilgio.

Galime paskaičiuoti, kokią įtaką pastato įvadinio ir gyventojų buitinių karšto vandens skaitiklių parodymų skirtumui sudaro šis temperatūrų skirtumas. Šiems skaičiavimams priimame, kad gyventojų buitinių karšto vandens skaitiklių galutinai pasiekia $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūros karštas vanduo. Tokios temperatūros vandens tankis yra $\rho = 988,0\text{ kg/m}^3$ [95]. 1 m^3 vandens masę galime apskaičiuoti pagal formulę [95]:

$$m = \rho \cdot V = 988,0 \cdot 1,0 = 988,0\text{ kg.} \quad (4.2)$$

Čia m – vandens masė (kg); ρ – vandens tankis (kg/m^3); V – vandens tūris (m^3).

Pastato šilumos punkto įvade šalto vandens masė yra ta pati, kaip ir iki gyventojų atitekėjusio karšto vandens, o skiriasi tik tūris, kuris dėl žemesnės temperatūros pastato įvade yra mažesnis. Kadangi šalto vandens prieš karšto vandens šilumokaitį tankis yra $\rho = 999,8\text{ kg/m}^3$, tuomet jo tūris yra lygus:

$$V = m / \rho = 988,0 / 999,8 = 0,988\text{ m}^3.$$

Čia V – šalto vandens tūris prieš karšto vandens šilumokaitį (m^3); 988,0 – šalto vandens masė prieš karšto vandens šilumokaitį (kg); 999,8 – šalto vandens prieš karšto vandens šilumokaitį tankis (kg/m^3).

Vadinasi, kai pastato gyventojas suvartoja $1,000 \text{ m}^3$ karšto vandens, įvadinio pastato karšto vandens skaitiklio prieš šilumokaitį parodymas bus mažesnis ir lygus $0,988 \text{ m}^3$. Skirtumas sudaro $0,012 \text{ m}^3$ arba 1,17 %. Tai reiškia, kad dėl vandens temperatūrų skirtumo pastato įvadinis karšto vandens skaitiklis parodo 1,17 % mažesnius karšto vandens suvartojimo parodymus nei gyventojų buitinis karšto vandens skaitiklis. Kad sumažinti šią paklaidą, pastato įvadinio karšto vandens apskaitos prietaisą tikslinga statyti ne ant dar nepašildyto šalto vandens vamzdyno atšakos, tačiau už karšto vandens šilumokaičio.

Išnagrinėtos karšto vandens apskaitos ypatybės leidžia daryti išvadas, kad nors gyventojų buitiniai karšto vandens skaitikliai rodo didesnę karšto vandens suvartojimą apie 1,17 % nei yra pratekėjęs faktinis karšto vandens srautas, tačiau net ir tai įvertinus gyventojų buitinių karšto vandens skaitiklių suma yra apie 7,39 % mažesnė nei pastato įvadinio skaitiklio. Perkėlus pastato įvadinį karšto vandens apskaitos prietaisą nuo šalto vandens vamzdyno prieš karšto vandens šilumokaitį už šilumokaičio, skirtumas tarp apskaitos prietaisų papildomai išaugtų apie 1,17 % nuo gyventojų skaitiklių karšto vandens tiekėjo nenaudai ir būtų lygus:

$$7,39 \% + 1,17 \% = 8,56 \ \%.$$

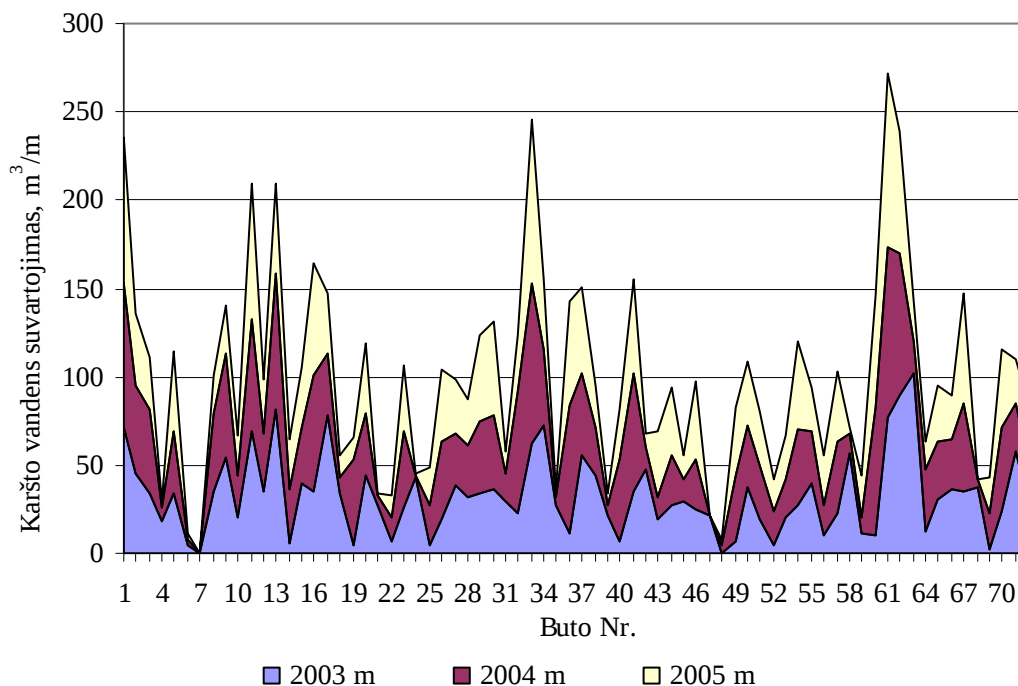
Galime daryti išvadą, kad karšto vandens apskaitos netikslumai dėl karšto vandens skaitiklių sudaro ne apie 7,39 % , o apie 8,56 %. Vadinasi, karšto vandens tiekėjui apskaitos netikslumai padidėtų iki apie 8,56 %, o šiuos veiksmus jam atlikti yra netikslinga.

Apibendrinus visų kalendorinių mėnesių karšto vandens suvartojimo duomenis ir atsižvelgdami į aukščiau gautas išvadas, tolimesnis karšto vandens suvartojimo dėsningumų tyrimas bus atliekamas vadovaujantis pastato įvadinių karšto vandens skaitiklių parodymų reikšmėmis.

4.2 Karšto vandens suvartojimo įvertinimas socialiniu požiūriu

Karšto vandens suvartojamas kiekis yra glaudžiai susijęs su bendru pragyvenimo lygiu Lietuvos Respublikoje, kurį pakankamai tiksliai apibūdina bendrasis vidaus produktas. Bendrasis vidaus produktas (BVP) yra galutinis rezidentų (visų šalies teritorijoje veikiančių ūkinių vienetų) gamybinės veiklos rezultatas [96–106]. Bendrojo vidaus produkto augimą lemia žemės ūkio, pramonės ir statybos produkcijos, prekybos, viešbučių bei asmeninio vartojimo paslaugų

apimčių didėjimas [107]. Augant bendrajam vidaus produktui, auga ir karšto vandens suvartojimo lygis, nes vartotojo vartojimui vis mažesnę įtaką daro karšto vandens kaina.



4.4 pav. Karšto vandens metinio suvartojimo augimas 2003–2005 metais butuose

4.4 paveiksle yra pateiktas metinis karšto vandens suvartojimas 2003–2005 metais kiekviename bute. Iš šio paveikslo matome, kad visuose butuose karšto vandens suvartojimas kiekvienais metais tolygiai didėja. Vadinasi, pastato karšto vandens suvartojimo augimas nėra sąlygotas kurio nors vieno buto vartojimo padidėjimu, o yra įtakotas visos vartojimo grupės.

Pastaraisiais metais Lietuvoje BVP auga. Tai atsispindi ir 4.3 lentelėje, kurioje pateiktos BVP vertės 1996–2005 metais.

4.3 lentelė. Pagrindiniai ekonominės ir socialinės raidos rodikliai 1996–2005 metais [96–106]

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Bendras vidaus produktas, veikusiomis kainomis, mln. Lt	32290	39378	44377	43359	45848	48563	51948	56772	62440	71084
Bendras vidaus produktas, tenkantis vienam gyventojui, veikusiomis kainomis, Lt	8965	11014	12503	12303	13101	13950	14975	16436	18174	20819

Palyginę BVP augimą ir karšto vandens suvartojimą galėtume daryti prielaidą, kad bendrojo vidaus produkto, tenkančio vienam gyventojui, augimas susijęs su karšto vandens suvartojimo augimu, o augant bendrajam vidaus produktui, didėja ir karšto vandens suvartojamas kiekis, tačiau kuris pasiekus tam tikrą lygį turėtų stabilizuotis.

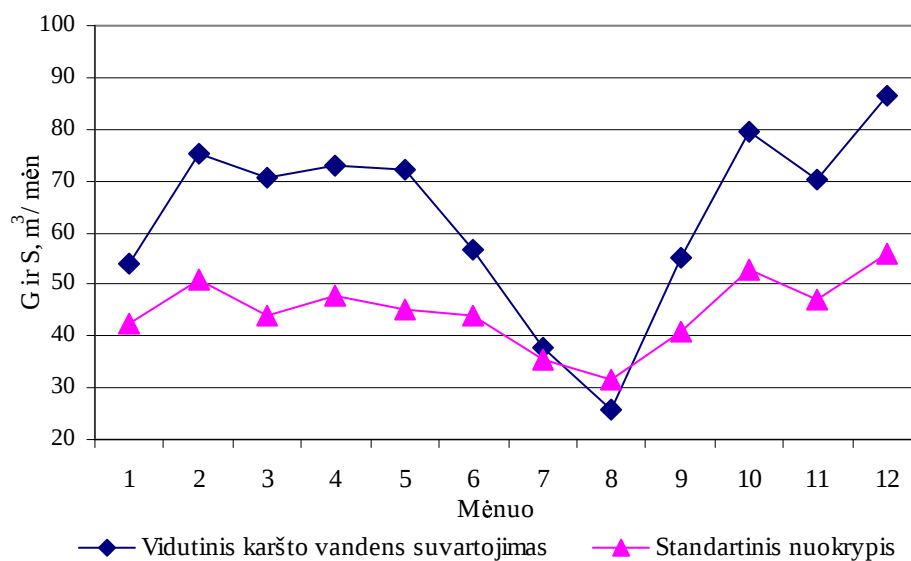
4.3 Karšto vandens suvartojimo tikimybinės analizės įvertinimas visuomeniniuose pastatuose

4.3.1 Karšto vandens suvartojimo objektų grupės pasirinkimas

Faktinio karšto vandens suvartojimo tyrimas atliktas 245 visuomeninės paskirties objektuose – mokyklinėse ir ikimokyklinėse įstaigose. Šie objektai turi skirtingas charakteristikas, todėl jie yra suskirstyti į dvi karšto vandens vartotojų grupes – į mokyklų grupę ir į darželių grupę. Atliekant gilesnę analizę šias grupes galima suskirstyti pagal pastatų plotus, žmonių skaičių objekte ir panašiai. Tyrimas atliekamas bendrai pastatų grupei, apimančiai tiek mokyklinio, tiek ir ikimokyklinio ugdymo įstaigas.

4.3.2 Karšto vandens suvartojimo bendros objektų grupės tyrimas

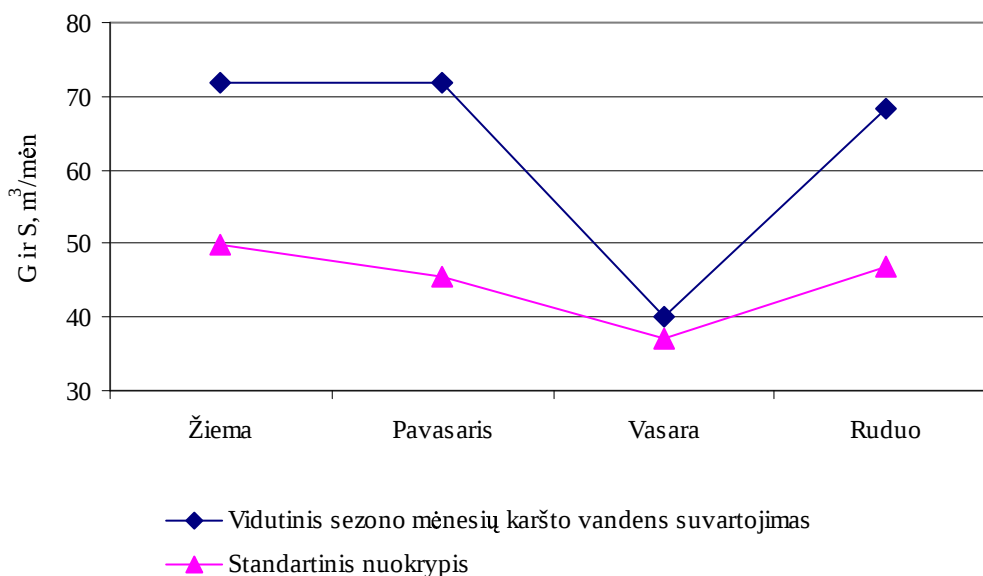
Atlikus tyrimą nustatytas bendros pastatų grupės objektų vidutinis mėnesinis karšto vandens suvartojamas kiekis (G) ir atitinkamai visų bendros pastatų grupės objektų kiekvieno mėnesio standartinis nuokrypis (S). Vidutinis mėnesinis karšto vandens suvartojamas kiekis, tenkantis vienai ugdymo įstaigai, yra $63,0 \text{ m}^3$ arba atitinkamai $0,087 \text{ l/m}^2$. Siekdami gauti šių dydžių kalendorinių metų pasiskirstymo dėsnius, 4.5 paveiksle nubrėžiame priklausomybių nuo laiko funkcijos t grafikus $G = f(t)$ ir $S = f(t)$.



4.5 pav. G ir S priklausomybės nuo laiko funkcijos t grafikas $G = f(t)$ ir $S = f(t)$ priklausomai nuo metų mėnesio ugdymo įstaigose

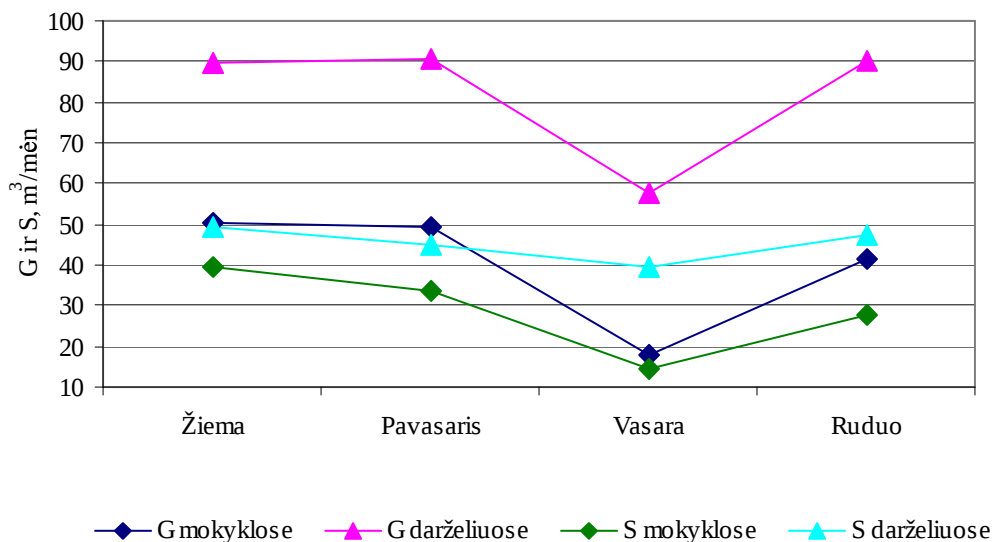
Vidutinis karšto vandens suvartojimas ugdymo įstaigoje kalendorinių metų bėgyje nėra pastovus dydis ir yra pastebimas ryškus kitimo pobūdis (4.5 pav.). Žiemos mėnesiais karšto vandens suvartojimas yra didžiausias ir maksimali $86,6 \text{ m}^3$ arba atitinkamai $0,119 \text{ l/m}^2$ reikšmė yra gruodžio mėnesį. Vasaros mėnesiais jis yra mažiausias ir minimali $25,8 \text{ m}^3$ arba $0,036 \text{ l/m}^2$ reikšmė yra rugpjūčio mėnesį. Tai galima paaiškinti objektų darbo specifiška, nes mokyklose vasarą mokiniai nesimoko, lieka dirbti tik administracijos personalas, mokinių skaičius yra lygus nuliui. Darželiuose vaikų skaičius vasarą taip pat sumažėja, tačiau netampa lygus 0, o dalis darželio grupių dėl mažesnio vaikų skaičiaus sujungiamos į vieną.

Žiemos ir pavasario mėnesiais vidutinis karšto vandens vartojimas (4.6 pav.) yra beveik lygus ir didžiausias metų bėgyje. Žiemos ir pavasario vartojimas skiriasi tik 0,1 %. Nors žiemą ir pavasarį vidutinis karšto vandens vartojimas toks pats, tačiau skiriasi reikšmių išsibarstymas šiais mėnesiais. Didžiausias mėnesinių karšto vandens vartojimo reikšmių išsibarstymas yra žiemą ir maksimali žiemos mėnesio suvartojimo $86,6 \text{ m}^3$ reikšmė yra gruodžio mėnesį, o minimali $53,9 \text{ m}^3$ sausio mėnesį, todėl sausį vidutinis karšto vandens vartojimas nukrenta 37,7 % žemiau gruodžio vartojimo. Mažiausias mėnesinių karšto vandens suvartojimo reikšmių išsibarstymas yra pavasarį ir maksimali pavasario mėnesio $73,0 \text{ m}^3$ reikšmė yra gegužės mėnesį, o minimali $70,6 \text{ m}^3$ kovo mėnesį, todėl kovą vidutinis karšto vandens vartojimas nukrenta tik 3,28 % žemiau gegužės vartojimo. Lyginant visus metų mėnesius, didžiausias reikšmių išsibarstymas yra vasaros mėnesiais – nuo $25,8 \text{ m}^3$ rugpjūtį iki $56,8 \text{ m}^3$ birželį, o skirtumas sudaro 54,5 %. Rudenį karšto vandens suvartojimas mažesnis už žiemos 4,9 %, o išsibarstymas pats mažiausias (4.6 pav.).



4.6 pav. Mėnesiniai G ir S priklausomybių nuo laiko funkcijos t grafikai $G = f(t)$ ir $S = f(t)$ skirtingu metų sezono laiku ugdymo įstaigose

Vasaros mėnesių mažesnę karšto vandens suvartojimą galima paaiškinti, tačiau iš 4.6 paveikslo mažesnę vidutinę karšto vandens suvartojimą rudenį paaiškinti negalima. Tam tikslui 4.7 paveiksle pavaizduojame atskirai vidutinę karšto vandens suvartojimo mokyklinėse ir ikimokyklinėse ugdymo įstaigose priklausomybę nuo laiko funkcijos t grafikus $G = f(t)$ ir $S = f(t)$ priklausomai nuo metų sezono mokyklose ir darželiuose.



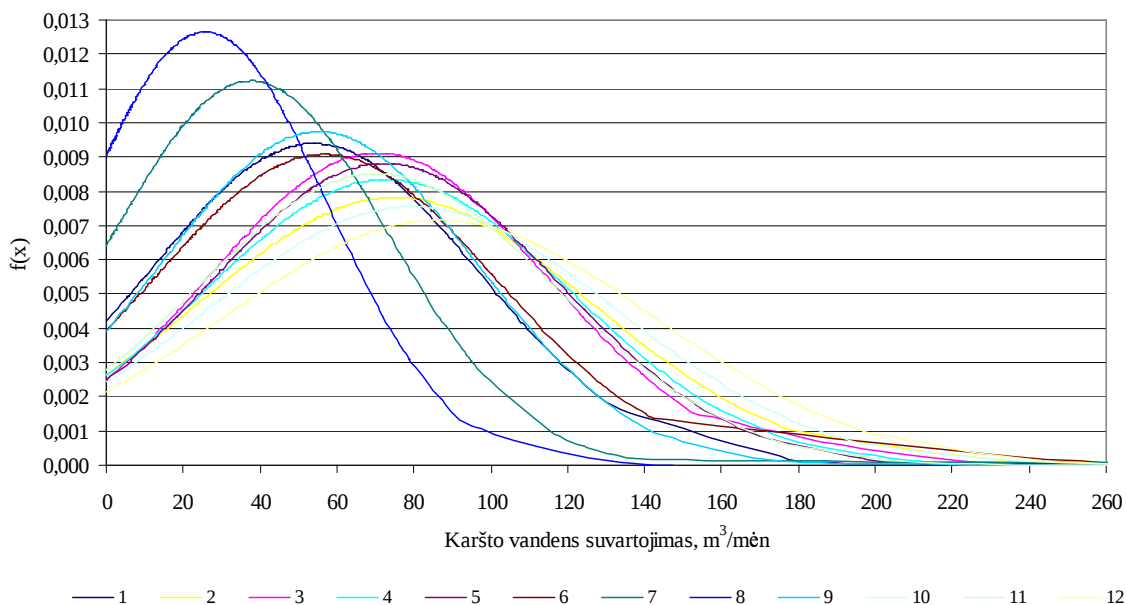
4.7 pav. Mėnesiniai G ir S priklausomybės nuo laiko funkcijos t grafikai $G = f(t)$ ir $S = f(t)$ skirtingu metų sezono laiku mokyklose ir darželiuose

Iš 4.7 paveikslo matome, kad ikimokyklinėse įstaigose vidutinis karšto vandens suvartojimas yra 2,1 karto didesnis nei mokyklinėse. Bendra vartojimo tendencija kalendorinių metų bėgyje tiek mokyklose, tiek darželiuose išlieka tokia pati, tik kreivės yra lygiagrečiai persistūmusios. Analizuodami 4.7 paveikslą galime daryti išvadą, kad žiemą karšto vandens vidutinis suvartojimas tolygus tiek darželiuose, tiek mokyklose, o už mažesnę karšto vandens suvartojimą vasarą yra atsakingi abu objektų tipai. Iš 4.7 paveikslo matome, kad abi kreivės iki mažesnio vasaros suvartojimo leidžiasi lygiagrečiai, todėl abiejuose objektų tipuose karšto vandens suvartojimas sumažėja beveik tokia pačia skaitine reikšme, nes vasaros suvartojimas mokyklose mažesnis už žiemos $32,6 \text{ m}^3$, o darželiuose $31,6 \text{ m}^3$. Tačiau kadangi abi kreivės nėra išsidėstę vienodame aukštyje, procentine išraiška ikimokyklinių įstaigų karšto vandens suvartojimas sumažėja $35,3 \%$, o mokyklinėse net $64,6 \%$, tai yra beveik dvigubai daugiau nei ikimokyklinėse įstaigose. Bendras abiejų objektų tipų rudens suvartojimas yra skirtingas nei žiemos ir pavasario, o kuri objektų grupė už tai atsakinga, taip pat matome 4.7 paveiksle. Šiame paveiksle matome, kad už mažesnę karšto vandens suvartojimą rudenį tiesiogiai yra atsakingos mokyklos, nes darželiuose vidutinis karšto vandens suvartojimas rudenį yra toks pats kaip ir

žiemą bei pavasarį. Darželiuose rudens vartojimas nuo žiemos suvartojimo skiriasi tik 0,6 %, o mokyklose net 17,5 %. Galime iškelti klausimą, kodėl ikimokyklinėse įstaigose šio skirtumo nėra, o mokyklinėse yra? Tai galima paaiškinti tik objektų darbo specifika – mokyklose lapkričio mėnesį vienai savaitei mokiniams yra suteikiamos atostogos, todėl sumažėja ir karšto vandens suvartojimas. Detaliau mokyklinių įstaigų karšto vandens suvartojimas išanalizuotas sekančiame skyriuje.

Iš 4.5 paveiksle pateikto standartinio nuokrypio kitimo kalendorinių metų bėgyje matome, kad jis, kaip ir vidutinis karšto vandens vartojimas, vasaros mėnesiais mažiausias, minimali $31,5 \text{ m}^3/\text{mėn.}$ reikšmė rugpjūčio mėnesį, didžiausias žiemos mėnesiais, maksimali $55,8 \text{ m}^3/\text{mėn.}$ reikšmė gruodžio mėnesį, o vidutinis yra $44,8 \text{ m}^3/\text{mėn.}$ ($0,0021 \text{ l/m}^2$ per parą). Iš 4.6 paveikslo matome, kad pavasario sezono standartinis nuokrypis S yra 8,4 %, o rudens mėnesių standartinis nuokrypis yra 5,8 % mažesnis nei žiemos. Vasarą standartinis nuokrypis yra mažiausias ir už žiemos standartinį nuokrypį mažesnis 25,6 %. Lygindami karšto vandens suvartojimo ir standartinio nuokrypio kreives 4.5 paveiksle matome, kad standartinio nuokrypio kreivė kalendorinių metų bėgyje tik nežymiai pakartoja karšto vandens suvartojimo kreivės tendencijas. Vasarą mažėjant karšto vandens suvartojimui mažėja ir standartinis nuokrypis, o žiemą didėjant karšto vandens vartojimui didėja ir standartinio nuokrypio S reikšmė. Santykinai didelė S reikšmė lyginant su karšto vandens vartojimu rodo, kad yra pakankamai didelis vidutinio karšto vandens suvartojimo reikšmių išsibarstymas lyginant tarp objektų, todėl galime daryti išvadą, kad norėdami suprognozuoti tam tikro konkretaus objekto karšto vandens suvartojimą, gautume pakankamai didelį galimų reikšmių spektrą. Iš 4.7 paveikslo, kuriame pateikti standartiniai nuokrypiai atskirai ikimokyklinio ir mokyklinio ugdymo įstaigose matome, kad vasarą sumažėjus karšto vandens suvartojimui ikimokyklinėse įstaigose, standartinis nuokrypis sumažėja tik nedaug, o mokyklinėse – pakankamai ženkliai. Šias tendencijas galima paaiškinti tuo, kad vasarą visose mokyklose proporcingai sumažėja mokinių skaičius, o darželiuose vaikų skaičius sumažėja neproporcingai – dalis darželių vasaros metu visiškai uždaromi, jų vaikai perkeliama į kitus darželius ir jų karšto vandens suvartojimas tampa artimas nuliui, kitoje darželių dalyje uždaromos tik kelios grupės, o dar kita lieka veikti pilnu pajėgumu.

4.8 paveiksle yra pateiktas karšto vandens suvartojimo standartinis normalusis (Gauso) skirstinys 1–12 mėnesiais. Normaliojo skirstinio formą apibūdina funkcijos tikimybės tankio maksimumo vieta x ašies atžvilgiu, varpo pavidalo kreivės glaustumas ir funkcijos tikimybės tankio maksimumo padėtis y ašies atžvilgiu arba kitaip tariant maksimumo „aukštis“. Kaip jau buvo minėta ankstesniuose puslapiuose, mažiausias standartinis nuokrypis yra rugpjūčio mėnesį.



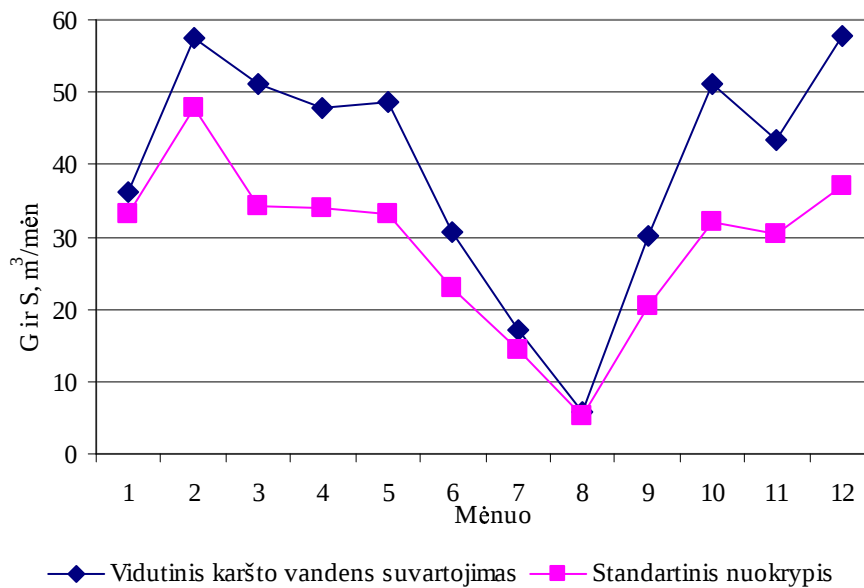
4.8 pav. Karšto vandens mėnesinio suvartojimo m³/mėn. standartinis normalusis (Gauso) skirstinys 1–12 mėnesiais

Tai patvirtina ir 4.8 paveikslas – iš visų kalendorinių metų mėnesių kreivių rugpjūčio mėnesio kreivė yra pati siauriausia ir aukščiausia (funkcijos ekstremumas yra 0,013), o gruodžio mėnesio yra plačiausia ir žemiausia (funkcijos ekstremumas yra 0,007), jos sklaida didžiausia. Galime daryti išvadą, kad kuo didesnis yra karšto vandens vartojimas, tuo žemesnis yra funkcijos ekstremumas ir tuo didesnė reikšmių sklaida. Rugpjūčio mėnesį normaliojo pasiskirstymo kreivė yra siauriausia ir aukščiausia, vadinasi, rugpjūtį karšto vandens suvartojimo reikšmių išsibarstymas mažiausias ir lengviausiai prognozuojamas, o gruodžio mėnesį didžiausias ir sunkiausiai prognozuojamas.

4.3.3 Karšto vandens suvartojimo tyrimas mokyklinio ugdymo įstaigų grupėje

Atlikus mėnesinę karšto vandens vartojimo analizę mokyklinio ugdymo įstaigose nustatytas visų šių objektų bendras vidutinis mėnesinis karšto vandens suvartojamas kiekis ir atitinkamai kiekvieno mėnesio standartinis nuokrypis. 4.9 paveiksle pateikti jų metinių pasiskirstymų dėsniai, nubrėžti priklausomybių nuo laiko funkcijos t grafikai $G = f(t)$ ir $S = f(t)$.

Mokyklinio ugdymo įstaigose vidutinis karšto vandens suvartojimas kalendorinių metų bėgyje kinta, vasaros mėnesiais – liepą ir rugpjūtį jis yra mažiausias, o minimali 5,7 m³ reikšmė arba atitinkamai 0,011 l/m² yra rugpjūčio mėnesį, nes mokyklose liepos ir rugpjūčio mėnesiais mokiniai nesimoko.

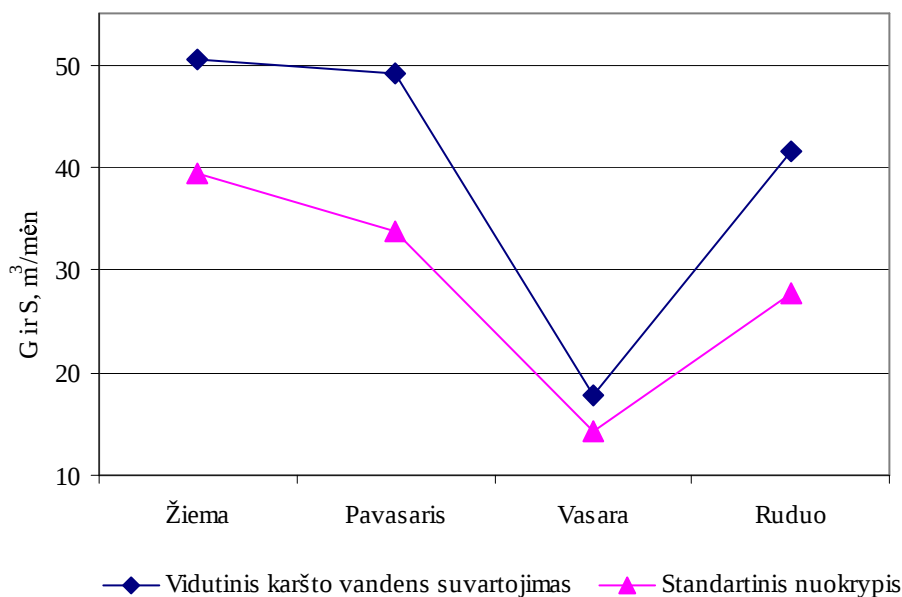


4.9 pav. G ir S priklausomybių nuo laiko funkcijos t grafikai $G = f(t)$ ir $S = f(t)$ priklausomai nuo metų mėnesio mokyklose

Kadangi mokyklose šiais mėnesiais mokinių skaičius lygus 0, o karšto vandens suvartojimas netampa lygus 0, galima būtų teigti, kad už šį suvartotą karšto vandens kiekį yra tiesiogiai atsakingas objekto administracijos personalas, kuris vasarą savo veiklos nesustabdo. Administracijos personalą sudaro toks objekto priežiūrą bei ūkinius reikalus tvarkantis personalas kaip valytojos, kuris vasaros metu taip pat dirba bei toks už pedagogiką ir ugdymą atsakingas personalas kaip mokytojai bei jų vadovai. Mokytojai liepos ir rugpjūčio mėnesiais atostogauja, valgyklos nedirba ir maisto neruošia, vadinasi, visas suvartotas karšto vandens kiekis tenka ūkiniams poreikiams tenkinti.

Liepos mėnesį vidutinis suvartotas karšto vandens kiekis yra $17,1 \text{ m}^3$ arba $0,033 \text{ l/m}^2$, rugpjūčio mėnesį $5,7 \text{ m}^3$ arba $0,011 \text{ l/m}^2$. Tai atitinkamai sudaro 42,9 % ir 14,4 % nuo bendro metinio $39,8 \text{ m}^3$ arba atitinkamai $0,078 \text{ l/m}^2$ vidutinio karšto vandens suvartojimo per mėnesį. Matome, kad šiais mėnesiais vartojama mažiau nei pusė bendro metinio vidutinio karšto vandens kiekio. Galima teigti, kad metų bėgyje $5,7\text{--}17,1 \text{ m}^3$ karšto vandens yra nuolatos suvartojama ūkiniams poreikiams tenkinti. Galėtume iškelti prielaidą, kad liepos ir rugpjūčio mėnesiais karšto vandens suvartojimas sumažėja todėl, kad dalis mokyklų visai nebevartoja karšto vandens, o tokiose mokyklose kaip specialiosios karšto vandens suvartojimas išlieka nepakitęs ir todėl bendras vidurkis sumažėja. Tačiau visų šių objektų vartojimas buvo peržiūrėtas atskirai ir nustatyta, kad šių objektų vartojimo principai yra tokie patys kaip ir kitų mokyklų. Tai leidžia

daryti išvadą, kad ši prielaida neteisinga ir specialiosios įstaigos bendro vartojimo vidurkio neiškreipia.

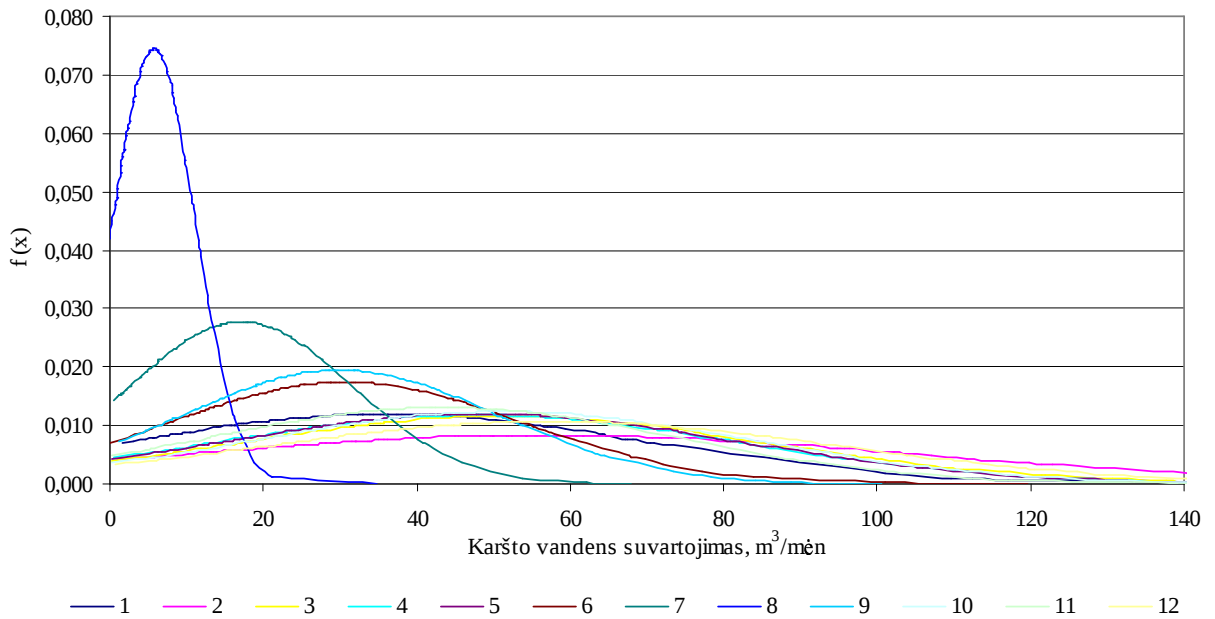


4.10 pav. Mėnesiniai G ir S priklausomybių nuo laiko funkcijos t grafikai $G = f(t)$ ir $S = f(t)$ skirtingu metų sezono laiku mokyklose

Žiemos mėnesiais karšto vandens suvartojimas didžiausias ir maksimali $57,7 \text{ m}^3$ arba $0,133 \text{ l/m}^2$ reikšmė yra gruodžio mėnesį. Tačiau nubraižę 4.10 paveiksle grafiką priklausomai nuo metų sezono laikotarpio matome, kad žiemos ir pavasario mėnesinis vartojimas beveik toks pats ir skiriasi tik 2,5 %, o rudens vartojimas mažesnis už žiemos 17,5 %. 4.9 paveiksle pavaizduotas standartinis nuokrypis, beveik idealiai atkartodamas vidutinį karšto vandens suvartojimą kalendorinių metų bėgyje, vasaros mėnesiais yra mažiausias, minimali 5,4 reikšmė yra rugpjūčio mėnesį, žiemos mėnesiais didžiausias, maksimali 37,2 reikšmė yra gruodžio mėnesį. Santykinai didelė standartinio nuokrypio reikšmė lyginant su karšto vandens suvartojimo reikšme rodo, kad yra pakankamai didelis vidutinio karšto vandens suvartojimo reikšmių išsibarstymas lyginant tarp mokyklinio ugdymo įstaigų tipo.

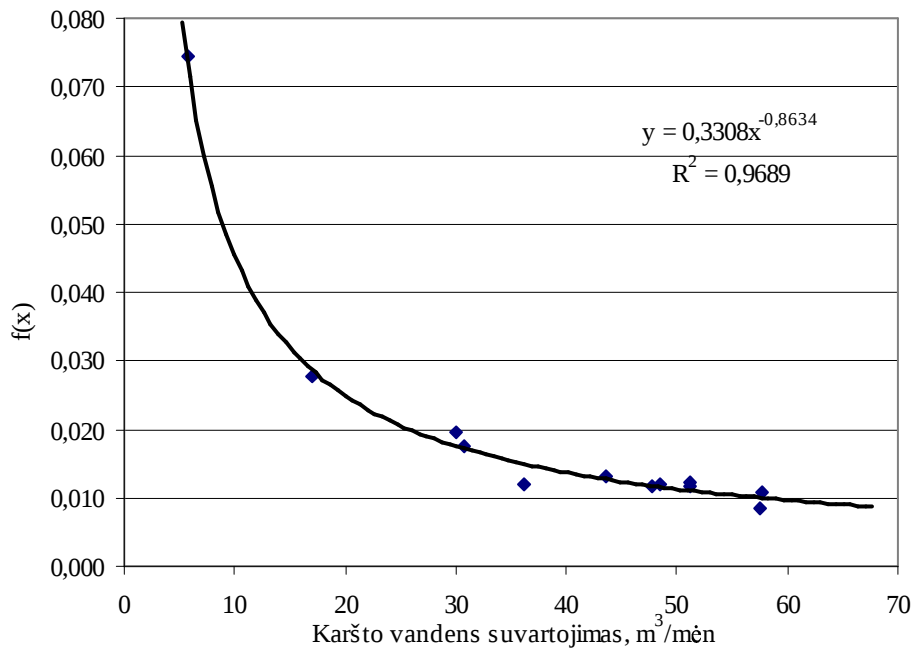
4.11 paveiksle yra pateiktas mokyklinio ugdymo įstaigų mėnesinio karšto vandens suvartojimo m^3 standartinis normalusis (Gauso) skirstinys sausio – gruodžio mėnesiais. Mažiausias standartinis nuokrypis yra rugpjūčio mėnesį – rugpjūčio mėnesio kreivė yra siauriausia ir aukščiausia (funkcijos ekstremumas yra 0,074), o gruodžio mėnesio plačiausia ir žemiausia (funkcijos ekstremumas yra 0,011), jos sklaida didžiausia. Taip pat galime apibendrinti, kad kuo didesnis yra karšto vandens vartojimas, tuo žemesnis yra funkcijos ekstremumas ir tuo didesnė sklaida, o kuo mažesnis karšto vandens suvartojimas, tuo didesnis

tikimybės tankio funkcijos ekstremumas, t.y. karšto vandens suvartojimo prognozavimas tuo tikslesnis, kuo mažiau yra vartojama karšto vandens.



4.11 pav. Karšto vandens mėnesinio suvartojimo m^3 standartinis normalusis (Gauso) skirstinys 1–12 mėnesiais mokyklose

Tikimybės tankio funkcijos ekstremumo priklausomybė nuo karšto vandens suvartojimo pateikta 4.12 paveiksle.



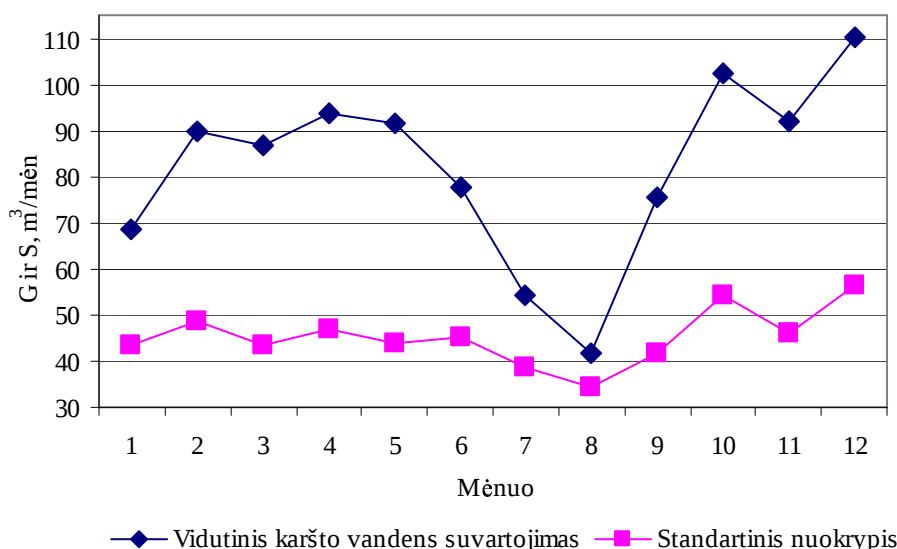
4.12 pav. Tikimybės tankio funkcijos ekstremumo priklausomybė nuo mėnesinio karšto vandens suvartojimo mokyklose

Nubrėžę tarp tikimybės funkcijų ekstremumo taškų bendrą kreivės tendenciją matome, kad $R^2 = 0,9689$, o kreivės lygtis mokykloms yra nusakoma funkcija:

$$y = 0,3308 x^{-0,8634}. \quad (4.3)$$

4.3.4 Karšto vandens suvartojimo tyrimas ikimokyklinio ugdymo įstaigų grupėje

Atlikus darželių mėnesinio karšto vandens vartojimo tyrimą nustatytas visų ikimokyklinio ugdymo įstaigų bendras vidutinis mėnesinis karšto vandens suvartojamas kiekis ir kiekvieno atitinkamo mėnesio standartinis nuokrypis. 4.13 paveiksle pateikti jų metinių pasiskirstymų dėsniai, nubrėžti priklausomybių nuo laiko funkcijos t grafikai $G = f(t)$ ir $S = f(t)$.

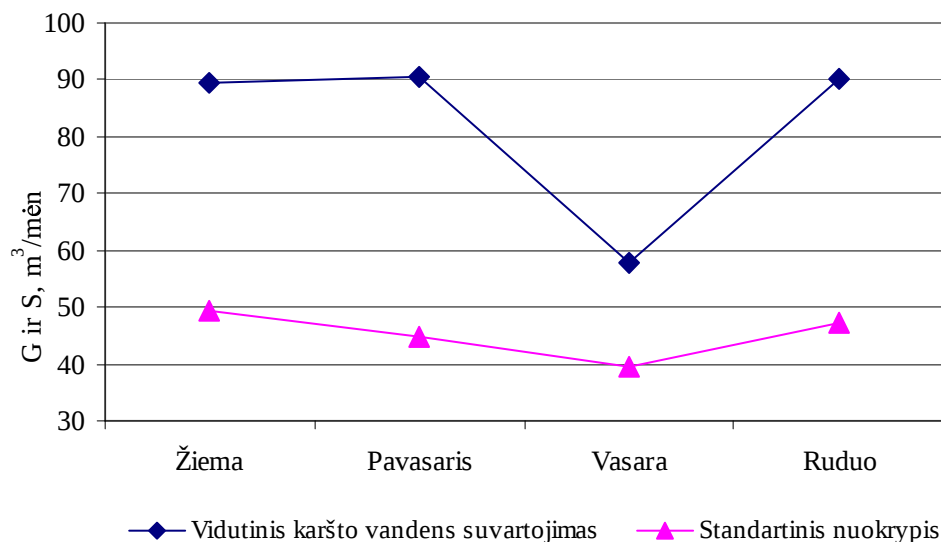


4.13 pav. Vidutinis darželių G ir S priklausomybių nuo laiko funkcijos t grafikai $G = f(t)$ ir $S = f(t)$ priklausomai nuo metų mėnesio darželiuose

Darželiuose kaip ir mokyklose vidutinis karšto vandens vartojimas kalendorinių metų bėgyje kinta. Vasaros mėnesiais jis yra mažiausias ir minimalios reikšmės taip pat yra liepos ir rugpjūčio mėnesiais, kuriais vaikų skaičius darželiuose sumažėja. Mokyklose šiais mėnesiais vaikų skaičius tampa lygus 0, tačiau darželiuose dalis vaikų vis tiek lieka. Liepos mėnesį vidutinis suvartotas karšto vandens kiekis yra $54,1 \text{ m}^3$ arba $0,106 \text{ l/m}^2$, rugpjūčio mėnesį $41,8 \text{ m}^3$ arba $0,082 \text{ l/m}^2$. Tai atitinkamai sudaro 66,0 % ir 50,9 % nuo bendro metinio $82,0 \text{ m}^3$ arba $0,160 \text{ l/m}^2$ karšto vandens suvartojimo. Jei mokyklose vasarą karšto vandens suvartojimas nuo bendro vidutinio suvartojimo rugpjūtį nukrenta ir tampa tik 14 %, tai darželiuose rugpjūtį lieka net 50,9 % arba beveik 3 kartus didesnis procentinis suvartojimas nei mokyklose, nes vaikų

skaičius darželiuose iki 0 nesumažėja. Kadangi svariausias karšto vandens suvartojimo sumažėjimo kriterijus yra vaikų skaičius, teigti, kad rugpjūčio mėnesį darželiuose vaikų skaičius taip pat sumažėja iki 50,9 %, negalime, nes vaikų skaičiui sumažėjus iki 0, suvartojimas nesumažėja iki 0, kaip rodo karšto vandens suvartojimo tyrimas mokyklose.

Žiemos mėnesiais karšto vandens suvartojimas didžiausias ir maksimali $110,2 \text{ m}^3$ arba $0,215 \text{ l/m}^2$ reikšmė yra gruodžio mėnesį, tačiau nubraižius grafiką priklausomai nuo metų sezono laikotarpio 4.14 paveiksle matome, kad žiemos ir pavasario vartojimas toks pats ir skiriasi tik 1,2 %, o rudens vartojimas mažesnis už žiemos tik 0,6 %. 4.13 paveiksle pavaizduotas standartinis nuokrypis S , kuris, priešingai nei mokyklose, metų bėgyje praktiškai neatkartoja karšto vandens vartojimo kreivės. Galime pastebėti tik nežymią tendenciją, kad vasarą rugpjūčio mėnesį standartinio nuokrypio 34,4 reikšmė yra mažiausia, o gruodžio mėnesį 56,6 reikšmė didžiausia, tačiau kaip matome 4.14 paveiksle vasaros mėnesių standartinis nuokrypis tik 20,5 % mažesnis už žiemos, kai karšto vandens vartojimas mažesnis 35,3 %. Taigi, standartinio nuokrypio dydis savo skaitine reikšme nėra toks artimas vidutiniam nuokrypiui kaip mokyklose. Tai reiškia, kad darželiuose standartinis nuokrypis yra mažesnis nei mokyklose, o atitinkamai ir karšto vandens vartojimo reikšmių išsibarstymas mažesnis lyginant tarp darželių. Vadinas, atliekant karšto vandens prognozavimą darželiuose, jis būtų atliktas žymiai tiksliau nei mokyklose.



4.14 pav. Mėnesiniai G ir S priklausomybių nuo laiko funkcijos t grafikai $G = f(t)$ ir $S = f(t)$ skirtingu metų sezono laiku darželiuose

4.15 paveiksle yra pateiktas mėnesinio karšto vandens suvartojimo m^3 standartinis normalusis (Gauso) skirstinys 1–12 mėnesiais ikimokyklinio ugdymo įstaigose. Mažiausias standartinis nuokrypis kaip ir mokyklose yra rugpjūčio mėnesį (4.15 pav.) – rugpjūčio mėnesio

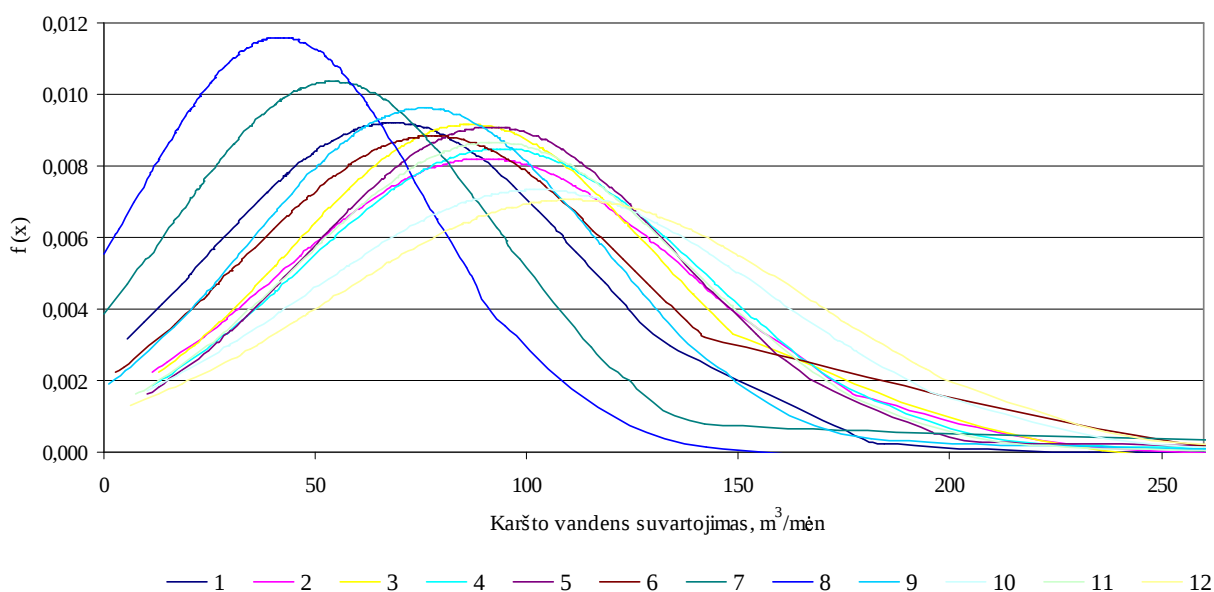
kreivė yra siauriausia ir aukščiausia (funkcijos ekstremumas yra 0,012), o gruodžio mėnesio plačiausia ir žemiausia (funkcijos ekstremumas yra 0,007), jos sklaida didžiausia. Analizuodami minėtą kreivę galime padaryti išvadą, kad kuo didesnis yra karšto vandens suvartojimas, tuo žemesnis yra funkcijos ekstremumas ir tuo didesnė sklaida, o kuo mažesnis karšto vandens suvartojimas, tuo didesnis tikimybės tankio funkcijos ekstremumas, o karšto vandens suvartojimo prognozavimas tuo tikslesnis, kuo mažiau yra vartojama karšto vandens.

Tikimybės tankio funkcijos ekstremumo priklausomybė nuo karšto vandens suvartojimo darželiuose pateikta 4.16 paveiksle. Iš šio paveikslo matome, kad nėra tokios griežtos funkcijos ekstremumo tendencijos kaip mokyklose – mokyklose, kuriose $R^2 = 0,9689$, o darželiuose tai sudaro tik $R^2 = 0,835$. Funkcijos ekstremumo tendencijos kreivės lygtis ikimokyklinio ugdymo įstaigoms yra apibūdinama:

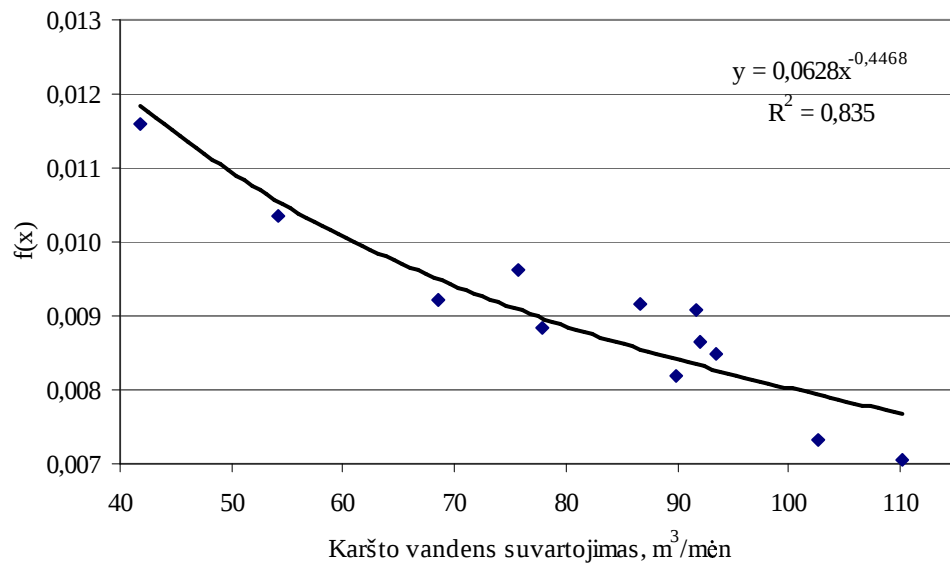
$$y = 0,0628 x^{-0,4468}. \quad (4.4)$$

Kodėl skiriasi mokyklinių ir ikimokyklinių grupių R^2 reikšmė, galima būtų pateisinti duomenų netikslumu, tačiau kodėl skiriasi kreivės lygtys, galime nustatyti, nubrėždami mokyklinių ir ikimokyklinių įstaigų tikimybės tankio ekstremumo priklausomybės nuo karšto vandens suvartojimo 4.12 ir 4.16 paveiksluose pavaizduotas kreives viename 4.17 paveiksle. Iš 4.17 paveikslo matome, kad abi šios kreivės yra vienos bendros kreivės sudėtinės dalys, kurios $R^2 = 0,9456$, o lygtis yra apibūdinama:

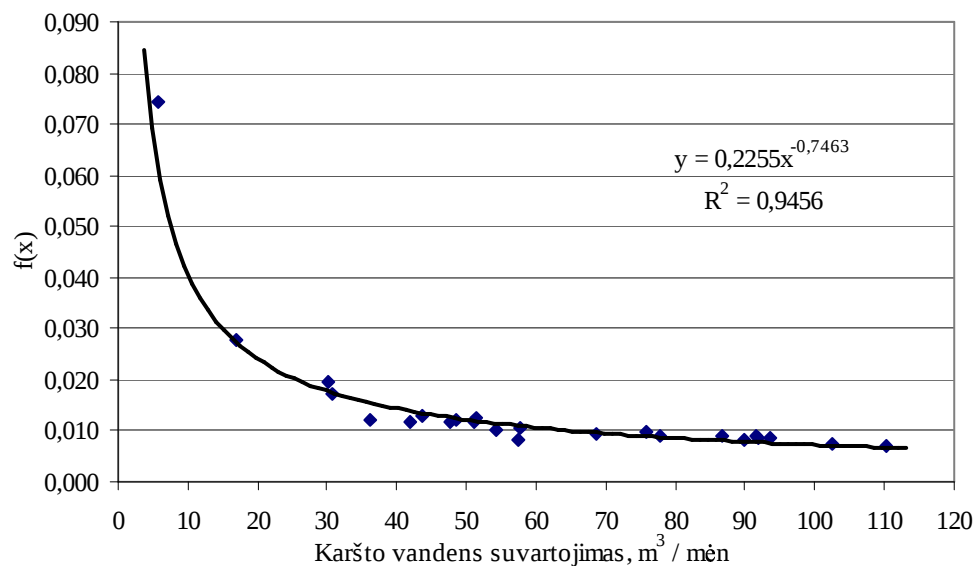
$$y = 0,2255 x^{-0,7463}. \quad (4.5)$$



4.15 pav. Mėnesinio karšto vandens suvartojimo m^3 standartinis normalusis (Gauso) skirstinys 1–12 mėnesiais darželiuose



4.16 pav. Tikimybės tankio funkcijos ekstremumo priklausomybė nuo mėnesinio karšto vandens suvartojimo ikimokyklinėse įstaigose

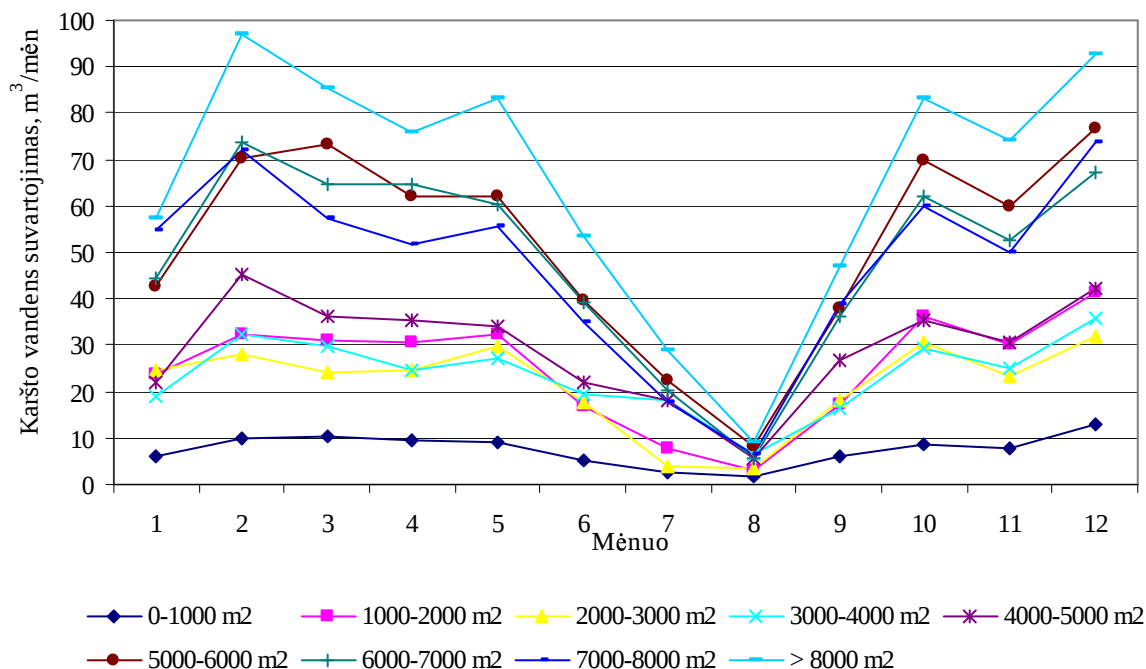


4.17 pav. Tikimybės tankio funkcijos ekstremumo priklausomybė nuo mėnesinio karšto vandens suvartojimo ikimokyklinio ir mokyklinio ugdymo įstaigose

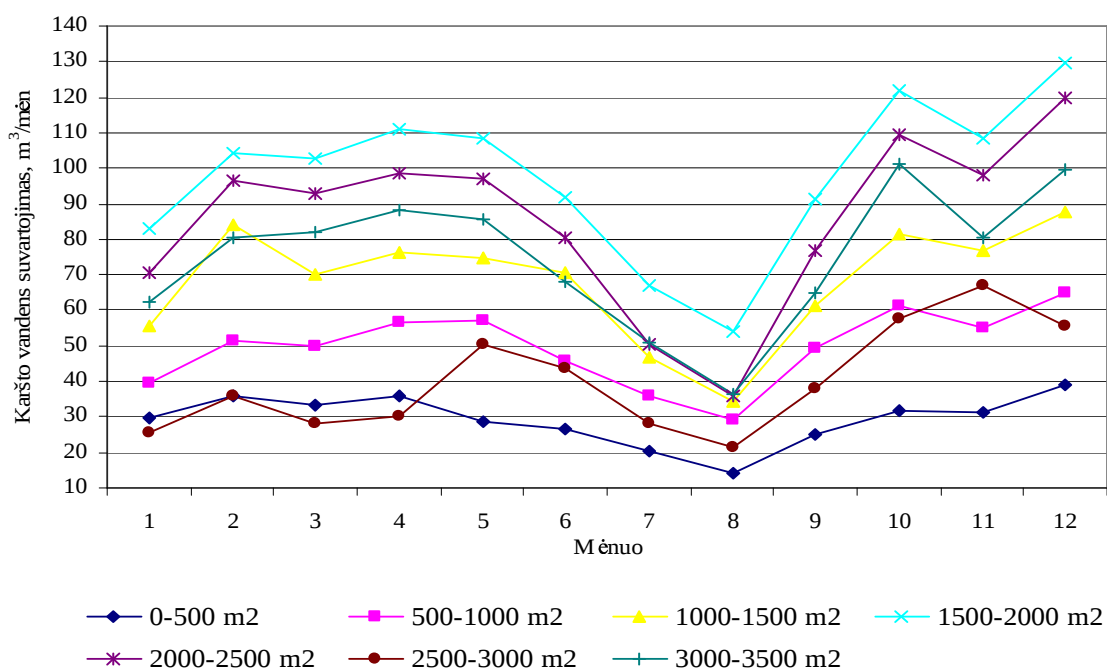
Taigi, galime daryti išvadą, kad tiek mokyklinių, tiek ikimokyklinių įstaigų tikimybės tankio ekstremumo priklausomybė karšto vandens suvartojimo yra ta pati, ir kuo didesnis yra karšto vandens suvartojimas, tuo žemesnis yra funkcijos ekstremumas ir tuo didesnė sklaida, o kuo mažesnis karšto vandens suvartojimas, tuo didesnis tikimybės tankio funkcijos ekstremumas, t.y. karšto vandens suvartojimo prognozavimas tuo tikslesnis, kuo mažesnis yra karšto vandens suvartojimas.

4.3.5 Karšto vandens suvartojimo tyrimas atsižvelgiant į objekto plotą

4.18 ir 4.19 paveiksluose pateikti vidutiniai karšto vandens suvartojimai kalendorinių metų bėgyje objektuose, juos suskirsčius į grupes pagal plotus atskirai mokyklinėse ir ikimokyklinėse įstaigose.



4.18 pav. Vidutinis mėnesinis karšto vandens suvartojimas metų bėgyje skirtingose objektų grupėse pagal plotą mokyklose



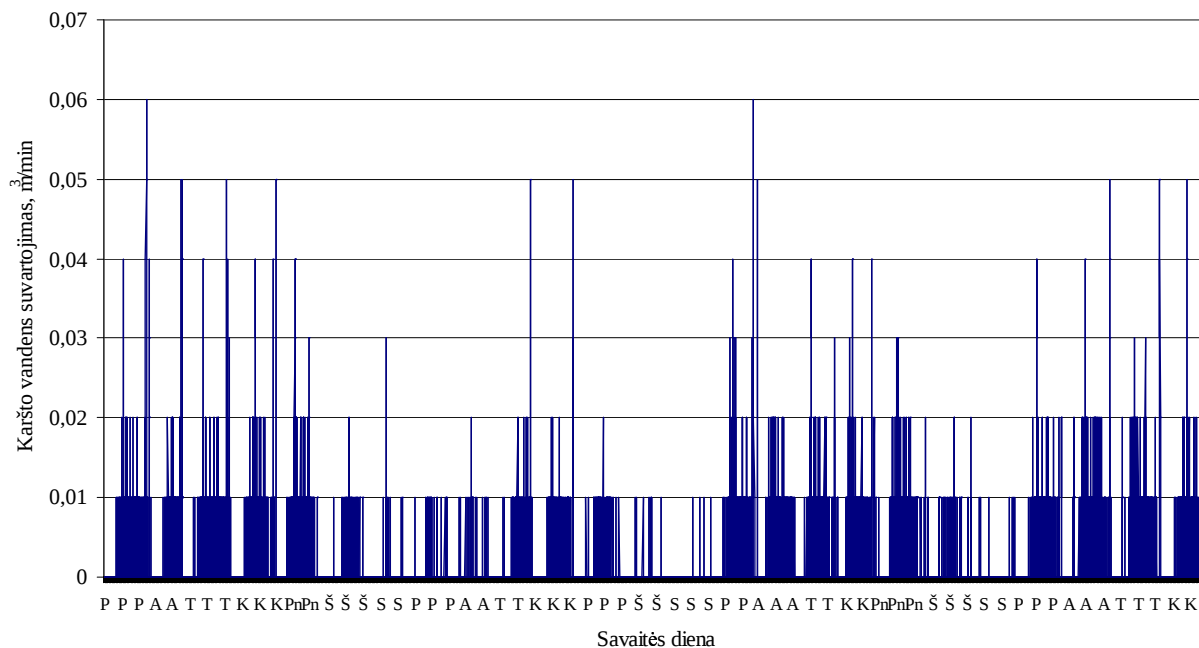
4.19 pav. Vidutinis mėnesinis karšto vandens suvartojimas metų bėgyje skirtingose objektų grupėse pagal plotą ikimokyklinio ugdymo įstaigose

Lygindami kreives galime pastebėti, kad mokyklinėse įstaigose vidutinis karšto vandens suvartojimas skirtingo ploto objektuose gali būti apibūdintas kreivėmis, kurios yra lygiagrečiai persistūmusios aukštyr arba žemyn priklausomai nuo objekto ploto, tačiau nepriklausomai nuo objektų ploto visos kreivės vasarą rugpjūčio mėnesį susiveda į vieną tašką, kuris tampa lygus visuose objektuose. Ikimokyklinio ugdymo įstaigose vidutinis karšto vandens suvartojimas skirtingo ploto objektuose gali būti apibūdintas kreivėmis, kurios yra lygiagrečiai persistūmusios aukštyr arba žemyn priklausomai nuo objekto ploto, tačiau skirtingai nei mokyklinio ugdymo įstaigose darželiuose vartojimas vasarą į vieną tašką nesusiveda, o objektų kreivės turi panašias tendencijas ir yra persistūmę vertikaliai aukštyr arba žemyn. Taip yra todėl, kad mokyklose mokinių skaičius vasarą sumažėja iki nulio, o darželiuose vaikų skaičius sumažėja tik tam tikra procentine dalimi visuose objektuose, nepriklausomai nuo jų ploto, bet ne iki nulio. Mokyklose rugpjūčio mėnesį karšto vandens suvartojama 14,4 %, mokinių skaičius lygus 0, todėl šis skaičius priskirtinas mokyklos ūkiniams poreikiams tenkinti. Galima daryti išvadą, kad ir darželiuose, jei vaikų skaičius taptų 0, karšto vandens suvartojimas taptų 14,4 % arba atitinkamai $11,8 \text{ m}^3/\text{mėn. objektui}$. Vadinasi, galime išvesti procentinį dydį, kiek procentų vaikų skaičius sumažėja vasarą. Vidutinis karšto vandens suvartojimas darželiuose yra $82,0 \text{ m}^3$. Tuomet už likusį $82,0 - 11,8 = 70,2 \text{ m}^3$ karšto vandens kiekį tiesiogiai yra atsakingi vaikai darželiuose. Darželiuose rugpjūtį suvartojama $41,8 \text{ m}^3$, o už $41,8 - 11,8 = 30,0 \text{ m}^3$ atsakingi tiesiogiai vaikai. $30,0 \text{ m}^3$ sudaro 42,7 % nuo $70,2 \text{ m}^3$, todėl galime teigti, kad darželiuose vasaros metu vaikų skaičius nukrenta ne iki 0 kaip mokyklose, o vidutiniškai iki 42,7 %.

4.3.6 Karšto vandens suvartojimo per parą bei per laiko vienetą analizė. Paros bei valandinių suvartojimo pikų analizė

Visuomeninės paskirties pastatai buvo projektuojami pagal sovietmečiu galiojančius karšto vandens tiekimo normatyvus [28]. Tačiau sudarinėjant anuometines normas nebuvo galimybės atlikti tikslių matavimų ir pasiūlyti karšto vandens vartojimo normas pagrįstas faktiniais matavimais dėl tokio masto tyrimui reikalingų priemonių ir duomenų nebuvimo. Šiuolaikinės šilumos punktų valdymo bei monitoringo sistemos leidžia atlikti tikslius matavimus. Tuo tikslu mokyklinio ugdymo įstaigoje buvo atliktas eksperimentinis tyrimas, kurio metu buvo siekiama įvertinti karšto vandens vartojimo netolygumus mėnesio, savaitės, paros bei valandos bėgyje. Tyrimui pasirinkta vidutinio dydžio 1980 metų statybos 4737 m^2 ploto mokyklinio ugdymo įstaiga. Šio objekto instaliuotas galingumas šildymui yra 471 kW, karštam vandeniui ruošti 146 kW. Projektuojant karšto vandens tiekimo sistemas yra svarbu žinoti valandinį karšto vandens suvartojimą ir kokiose ribose bei koku dažnumu jis kinta. Taip pat labai svarbu žinoti

maksimalius karšto vandens vartojimo pikus, nes jie gali parodyti, kokio maksimalaus dydžio įrengimai galėtų būti ir virš kurios ribos galingesni įrengimai yra ekonomiškai nenaudingi. Ankstesniuose skyriuose buvo minėta, kad maksimalus karšto vandens suvartojimas kalendorinių metų bėgyje yra žiemos mėnesiais, todėl ir šio objekto tyrimui buvo paimti žiemos mėnesio, kuriuo yra daugiausiai vartojama karšto vandens, duomenys. 4.20 paveiksle yra pateiktas mėnesio, kuriuo yra daugiausiai suvartojama karšto vandens, karšto vandens suvartojimo per minutę kiekiai.



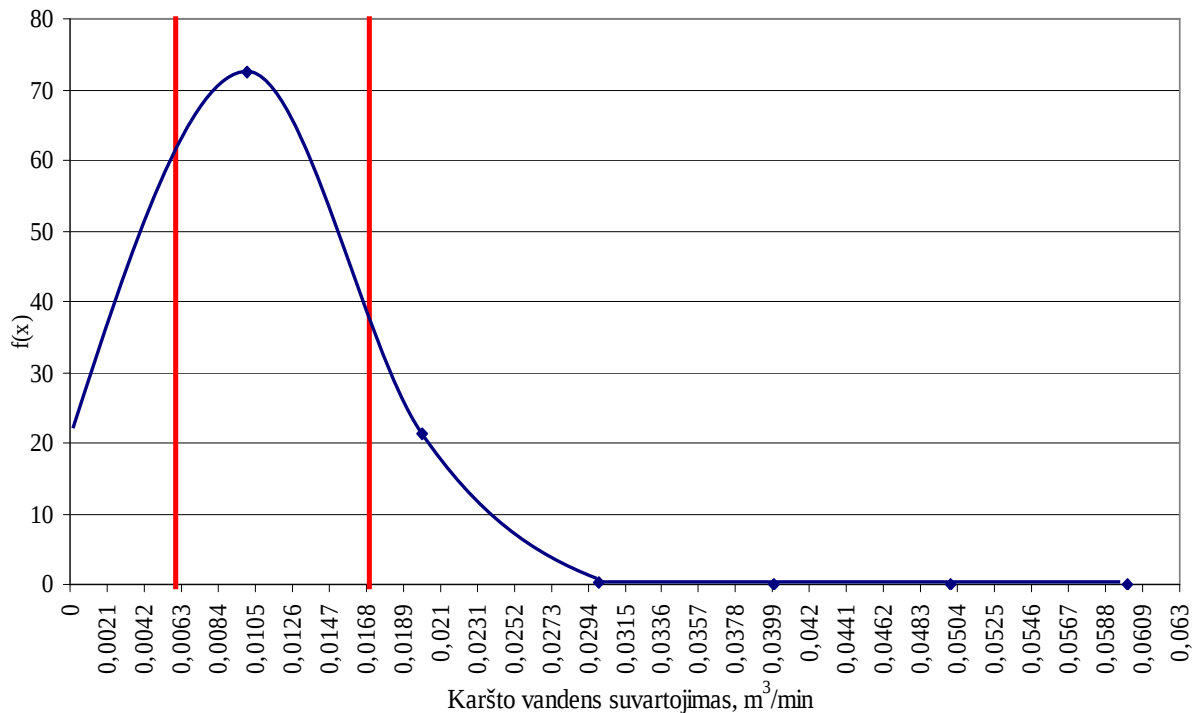
4.20 pav. Karšto vandens suvartojimas objekte, m³/min

Iš šio paveikslo matome, kad dažniausiai įstaigoje per minutę yra suvartojamas 0,01 m³ karšto vandens kiekis, žymiai rečiau 0,02 m³ kiekis, o maksimalus 0,06 m³ suvartotas karšto vandens kiekis pasitaikė tik du kartus per mėnesį.

Norėdami įvertinti per minutę suvartojamo karšto vandens kiekio vartojimo tikimybę objekte 4.21 paveiksle brėžiame karšto vandens suvartojimo m³/min tikimybės funkcijos grafiką. Iš šio paveikslo matome, kad maksimalus tikimybės 72,4 tankis yra tuomet, kai karšto vandens suvartojimas yra 0,01 m³/min, kai suvartojimas lygus 0,02 m³/min, tikimybės tankis staigiai mažėja iki 21,2 ir esant 0,03 m³/min ir didesniam karšto vandens suvartojimui tikimybės tankis jau lygus 0.

4.21 paveiksle raudonomis linijomis yra pažymėta $-2S$ ir $+2S$ ribos, kurios apima 95,45 % reikšmių ir virš kurių vartojimo tikimybė stipriai sumažėja. Iš aukščiau išdėstytų faktų galime

daryti išvadą, kad karšto vandens projektinis galingumas, kuris užtikrintų $0,02 \text{ m}^3/\text{min}$ karšto vandens poreikį, yra daugiau nei pakankamas.



4.21 pav. Karšto vandens suvartojimo m^3/min tikimybės tankio funkcija objekte

Šį $0,02 \text{ m}^3/\text{min}$ karšto vandens suvartojimą pavertus į per valandą suvartojamą kiekį gauname $1,2 \text{ m}^3/\text{h}$ reikšmę. Tokiam kiekiui karšto vandens, jei jį pašildyti 44°C , reikia $51 \text{ kWh}/\text{m}^3 \cdot 1,2 \text{ m}^3 = 61,2 \text{ kWh}$, o tuo tarpu šio pastato įrengtas projektinis galingumas karštam vandeniui yra 146 kW , todėl galime daryti išvadą, kad dabartinių karšto vandens sistemų galingumas ženkiai viršija realius poreikius.

4.4 Karšto vandens suvartojimo tikimybės analizės įvertinimas gyvenamuosiuose pastatuose

4.4.1 Karšto vandens suvartojimo tikimybinei analizei objektų grupės pasirinkimas

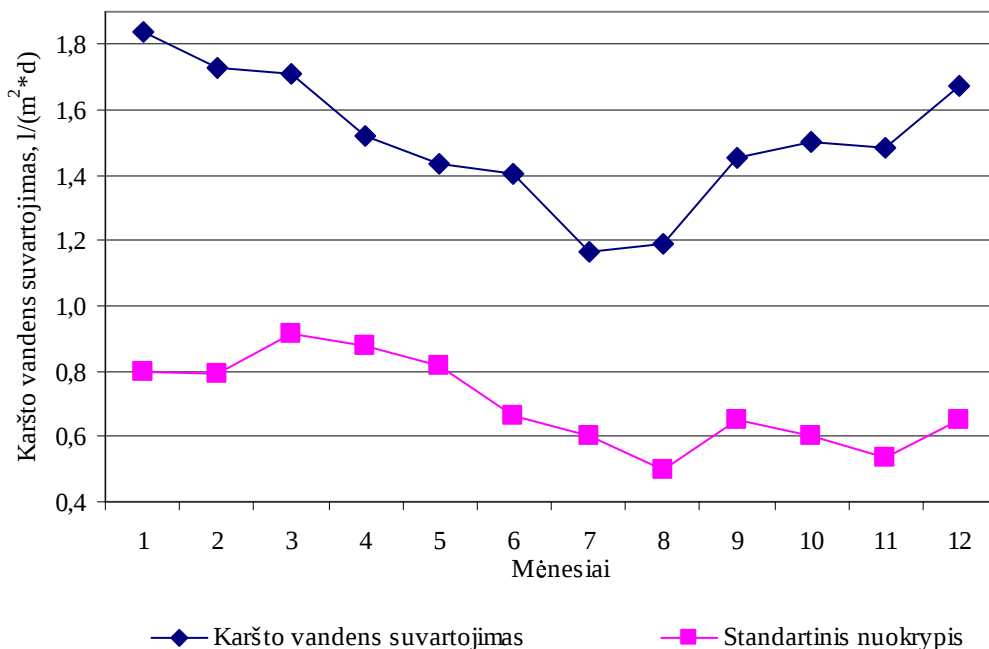
Gyvenamosios paskirties objektų tyrimui yra pasirinkti tipiniai daugiabučiai gyvenamieji namai Vilniaus mieste, sudarantys pagrindinę pastatų Vilniaus mieste grupę. Šią grupę sudaro 84 pastatai, tolygiai išsidėstę po visą miestą, todėl pasirinkta vartotojų grupė atitinka ir atspindi bendrą Vilniaus miesto daugiabučių gyvenamųjų namų vartotojų grupės tendenciją. Šių daugiabučių gyvenamųjų pastatų gyventojai patenka į vidutinį socialinį sluoksnį. Pastatai apima

tipinius penkiaaukščius, devyniaaukščius bei kitus vienos, dviejų ar keletos laiptinių pastatus. Vidutiniškai viename pastate yra apie 50 butų. Tyrimas atliekamas pagal pastato įvadinio karšto vandens skaitiklio duomenis.

4.4.2 Karšto vandens suvartojimo bendros objektų grupės tikimybinės analizės tyrimas

Atlikus daugiabučių gyvenamųjų pastatų grupės karšto vandens suvartojimo analizę, nustatytas kiekvieno atskiro mėnesio vidutinis karšto vandens suvartojimas vienam kvadratiniam metrui litrais per parą ir karšto vandens suvartojimo standartinis nuokrypis.

Iš 4.22 paveiksle matome, kad vidutinis karšto vandens suvartojimas G kalendorinių metų bėgyje nėra pastovus ir yra pastebima ryški kitimo tendencija. Žiemos mėnesiais karšto vandens suvartojimas yra didžiausias ir maksimali $1,84 \text{ l/m}^2$ per parą ($42,3 \text{ l/gyventojui per parą}$) reikšmė yra sausio mėnesį. Nuo sausio mėnesio karšto vandens suvartojimas krenta žemyn iki liepos, nukrisdamas iki $1,16 \text{ l/m}^2$ per parą ($26,7 \text{ l/gyventojui per parą}$) reikšmės, šiek tiek stabilizuojasi rugpjūtį ($1,19 \text{ l/m}^2$ arba $27,4 \text{ l/gyventojui per parą}$) ir nuo rugpjūčio kyla aukštyn vėl iki sausio mėnesio. Šias tendencijas galima būtų paaiškinti gyventojų poilsio, švenčių šventimo, gyvenamos ir mobilumo įpročiais. Vidutiniškai per kalendorinius metus vienam kvadratiniam pastato metrui tenka $1,51 \text{ l/m}^2$ per parą ($34,7 \text{ l/gyventojui per parą}$) karšto vandens suvartojimas.

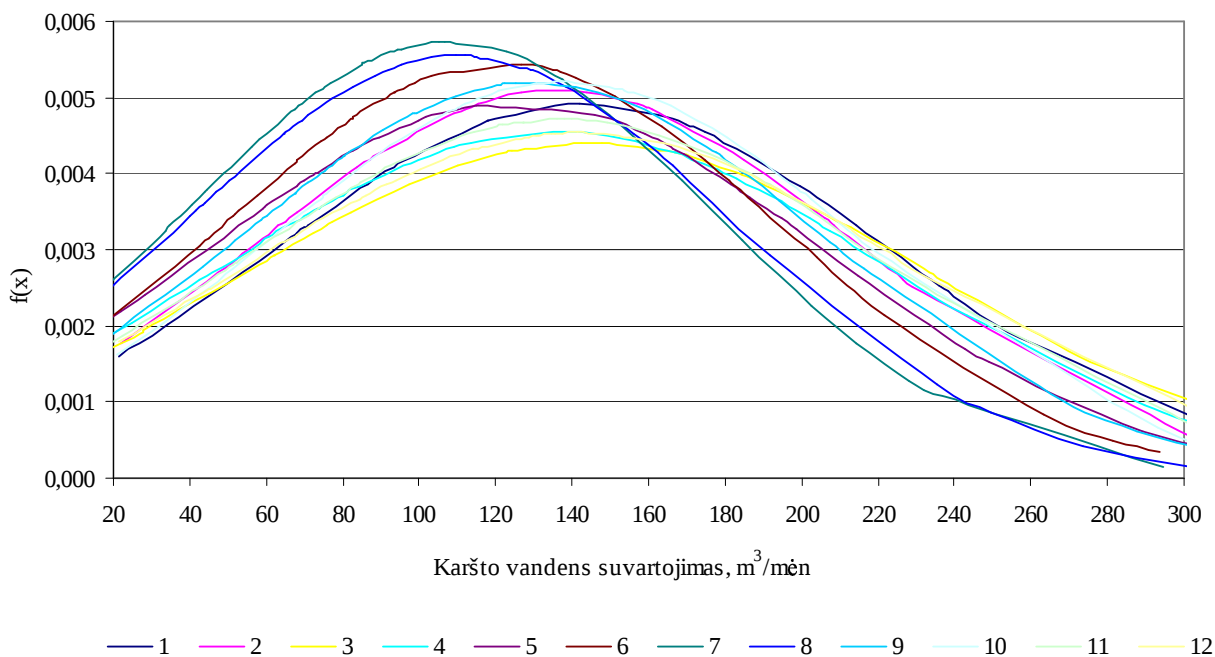


4.22 pav. G ir S priklausomybių nuo laiko funkcijos t grafikai $G = f(t)$ ir $S = f(t)$ priklausomai nuo metų mėnesio daugiabučiuose gyvenamuosiuose namuose per parą vienam kvadratiniam metrui

Skirtingai nei ugdymo įstaigose, kuriose karšto vandens suvartojimas žiemą toks pats kaip ir pavasarį, daugiabučiuose gyvenamuosiuose pastatuose suvartojimas tolygiai kinta kiekvieną mėnesį. Pavasarį karšto vandens suvartojama 10,98 %, vasarą 28,22 %, o rudenį 15,37 % mažiau nei žiemą.

Analizuojant 4.22 paveikslą ir jame pateiktą standartinio nuokrypio kitimą kalendorinių metų bėgyje matome, kad nors jis, kaip ir vidutinis karšto vandens vartojimas, vasaros mėnesiais mažiausias, minimali 0,50 reikšmė yra rugpjūčio mėnesį, tačiau galime stebėti tik nežymią tendenciją kalendorinių metų bėgyje, kad standartinis nuokrypis atkartoja karšto vandens suvartojimą. Tai gali būti susiję su tuo, kad ir pats karšto vandens suvartojimas metų bėgyje lyginant su ugdymo įstaigomis kinta švelniai. Standartinis nuokrypis kalendorinių metų bėgyje kinta 0,50–0,91 ribose, o vidutinė jo reikšmė yra lygi 0,70.

Santykinai nedidelė standartinio nuokrypio reikšmė lyginant su karšto vandens suvartojimu rodo, kad yra pakankamai nedidelis vidutinio karšto vandens suvartojimo reikšmių išsibarstymas lyginant tarp objektų, todėl galime daryti išvadą, kad norėdami suprognozuoti tam tikro konkretaus objekto karšto vandens suvartojimą, gautume pakankamai tikslią prognozę.



4.23 pav. Daugiabučių gyvenamųjų pastatų mėnesinio karšto vandens suvartojimo $\text{m}^3/\text{mėn}$ standartinis normalusis (Gauso) skirstinys 1–12 mėnesiais

4.23 paveiksle yra pateiktas karšto vandens suvartojimo daugiabučiuose gyvenamuosiuose namuose standartinis normalusis (Gauso) skirstinys 1–12 mėnesiais. Normaliojo skirstinio forma yra apibūdinama funkcijos tikimybės tankio maksimumo vieta x ašies atžvilgiu, varpo pavidalo

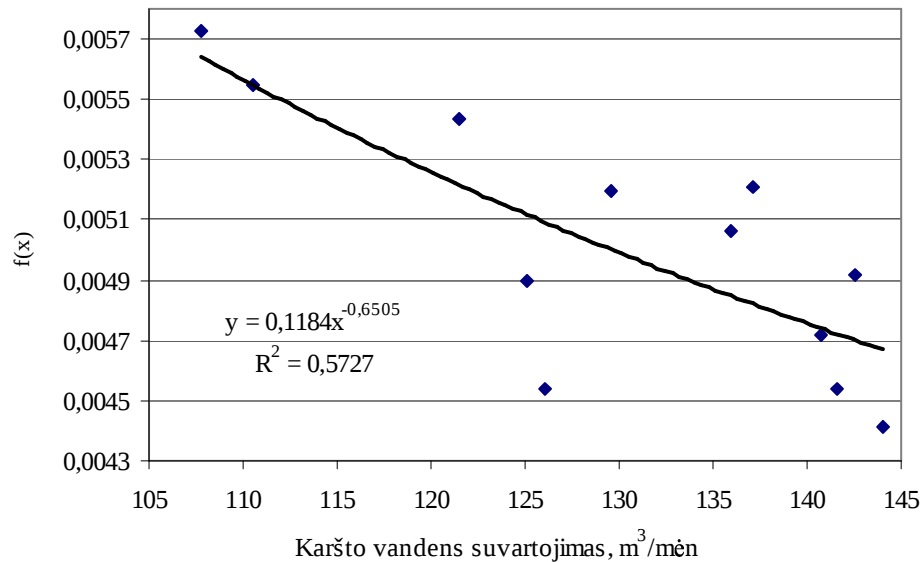
kreivės glaustumu ir funkcijos tikimybės tankio maksimumo padėtimi y. Kaip ir ugdymo įstaigose mažiausias standartinis nuokrypis yra vasarą, tačiau ne rugpjūčio, o liepos mėnesį. Tai patvirtina ir 4.23 paveikslas – iš visų kalendorinių metų mėnesių kreivių liepos mėnesio kreivė yra siauriausia ir aukščiausia (funkcijos ekstremumas yra 0,0057), o kovo mėnesio yra žemiausia (funkcijos ekstremumas yra 0,0044), jos sklaida didžiausia. Ugdymo įstaigose šios kiekvieno atskiro mėnesio kreivės stipriai skiriasi, matomas didelis skirtumas tarp labai siauros ir aukštos rugpjūčio ir labai žemos bei plačios gruodžio mėnesio kreivės, tačiau daugiabučių gyvenamųjų pastatų kiekvieno atskiro mėnesio kreivės nedaug skiriasi viena nuo kitos, jos visos pakankamai plačios ir žemos – t.y. skirtumas tarp ekstremumo taškų nėra didelis. Tačiau galime daryti išvadą, kad kaip ir ugdymo įstaigose, kuo didesnis yra karšto vandens suvartojimas, tuo žemesnis yra funkcijos ekstremumas ir tuo didesnė reikšmių sklaida. Liepos mėnesį normaliojo pasiskirstymo kreivė iš visų kitų yra siauriausia ir aukščiausia, vadinasi, liepą karšto vandens suvartojimo reikšmių išsibarstymas mažiausias ir lengviausiai prognozuojamas, o kovo mėnesį didžiausias ir sunkiausiai prognozuojamas.

Tikimybės tankio funkcijos ekstremumo priklausomybė nuo mėnesinio karšto vandens suvartojimo daugiabučiuose gyvenamuosiuose pastatuose pateikta 4.24 paveiksle. Analizuodami šį paveikslą galime daryti išvadą, kad nėra tokios griežtos funkcijos ekstremumo tendencijos kaip ugdymo įstaigose, kuriose $R^2 = 0,9456$, o daugiabučiuose gyvenamuosiuose pastatuose jis lygus tik $R^2 = 0,5727$. Funkcijos ekstremumo tendencijos kreivės lygtis daugiabučiuose gyvenamuosiuose pastatuose yra apibūdinama:

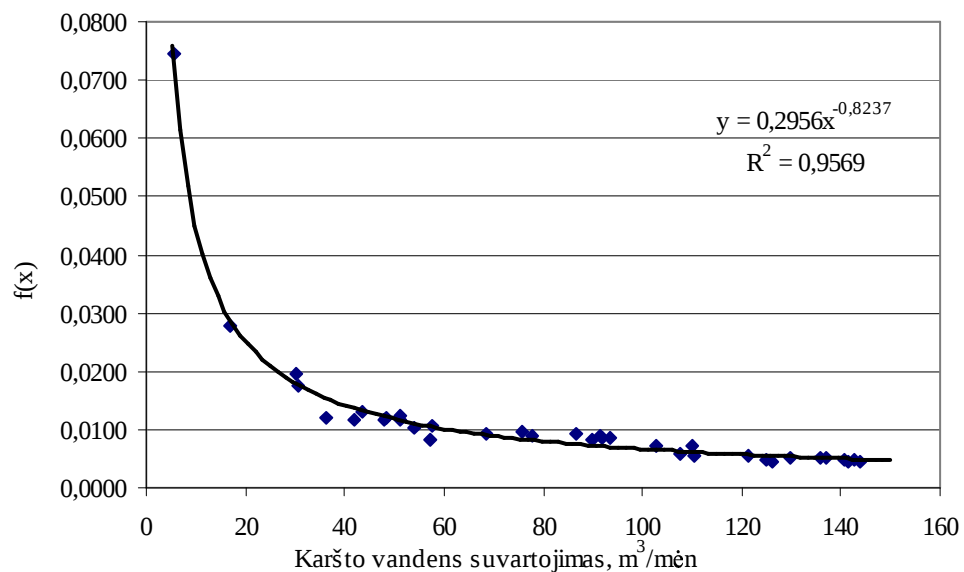
$$y = 0,1184x^{-0,6505} . \quad (4.6)$$

Lygindami 4.24 ir 4.17 paveikslus pastebime, kad karšto vandens suvartojimo reikšmės 4.24 paveiksle prasideda nuo tos vietos, kurioje baigiasi 4.17 paveikslo reikšmės, todėl gali būti, kad $y = 0,1184x^{-0,6505}$ lygtis gali būti $y = 0,2255 x^{-0,7463}$ lygties tęsinys. Šiai prielaidai patikrinti, reikia nubrėžti ugdymo įstaigų ir daugiabučių gyvenamųjų namų tikimybės tankio ekstremumo priklausomybės nuo karšto vandens suvartojimo 4.17 ir 4.24 paveiksluose pavaizduotas kreives viename 4.25 paveiksle, o jei prielaida teisinga 4.25 paveiksle pavaizduota kreivė turės turėti pakankami aukštą R^2 reikšmę. Iš 4.25 paveikslo matome, kad abi šios kreivės yra vienos bendros kreivės sudėtinės dalys, kurios $R^2 = 0,9569$, o lygtis yra apibūdinama:

$$y = 0,2956x^{-0,8237} . \quad (4.7)$$



4.24 pav. Tikimybės tankio funkcijos ekstremumo priklausomybė nuo mėnesinio karšto vandens suvartojimo daugiabučiuose gyvenamuosiuose pastatuose



4.25 pav. Tikimybės tankio funkcijos ekstremumo priklausomybė nuo mėnesinio karšto vandens suvartojimo ugdymo įstaigose ir daugiabučiuose gyvenamuosiuose pastatuose

Galime pastebėti, kad jei prieš palyginimą R^2 reikšmė buvo lygi $R^2 = 0,9456$, tai sujungus abi kreives R^2 reikšmė ne tik kad išliko tokia pati, tačiau dar ir išaugo iki $R^2 = 0,9569$ reikšmės. Tai leidžia daryti išvadą, kad visų vartojimo grupių (ugdymo įstaigų ir gyvenamųjų pastatų) tikimybės tankio funkcijos priklausomybės nuo karšto vandens suvartojimo yra apibūdinama (4.7) lygtimi ir 4.25 paveiksle pateiktu grafiku. Statant naujus pastatus yra įvertinamos pastato

kapitalinių įdėjimų bei būsimos priežiūros išlaidos, nuo kurių santykio parinkimo tiesiogiai priklauso racionalus energijos vartojimas pastate bei bendra pastato vertė. Vadovaujantis aukščiau pateikta išvada galima įvertinti būsimą su karštu vandeniu susijusios energijos vartojimo tikimybinį lygį. Projektuojant naują pastatą, pradžioje pasirenkama, kokiam socialiniam sluoksniui (žemiausio pragyvenimo lygio, vidutinio ar aukščiausio) bus statomas pastatas. Aukščiausio pragyvenimo lygio vartotojui sistemos gali būti projektuojamos ir įrengiamos aukštesnio komforto lygio, todėl iš 4.25 paveikslo matome, kad projektuojant pastatą su sąlyginai dideliu karšto vandens suvartojimo lygiu, vartojimas nėra tiek tiksliai įvertinamas kaip kad nedidelio vartojimo pastatuose, todėl aukštesnio komforto lygio karšto vandens tiekimo sistemos galėtų būti projektuojamos su didesniu atsargos koeficientu. Tuo tarpu nedidelio vartojimo pastatuose net ir aukščiausio pragyvenimo lygio vartotojų poreikiai bus tolygiau užtikrinami.

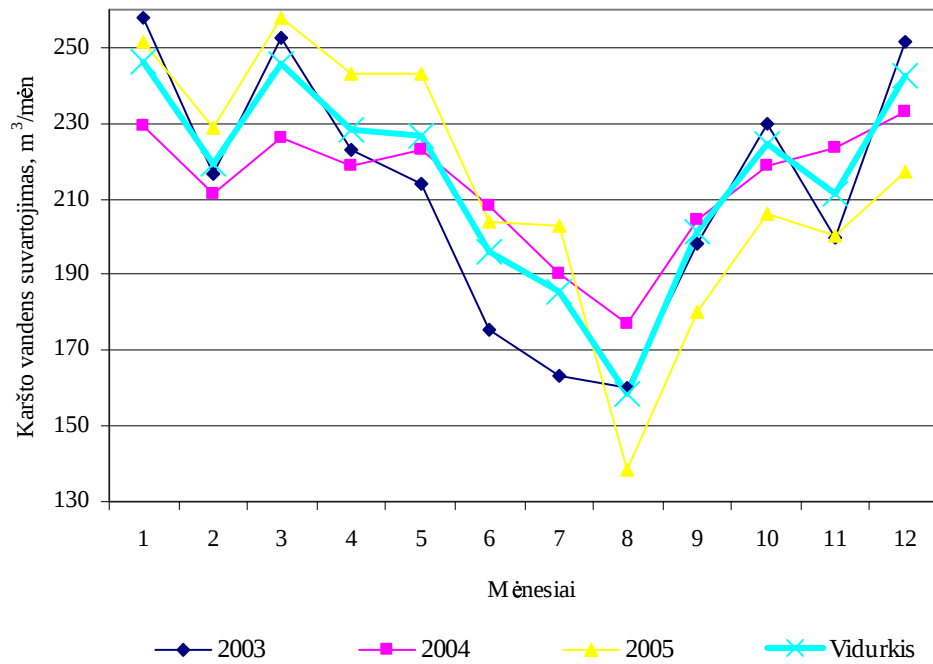
4.4.3 Karšto vandens suvartojimo netolygumo tyrimas daugiabučiame pastate

Karšto vandens suvartojimo netolygumo tyrimui buvo paimtas vienas dviejų laiptinių 9 aukštų gyvenamasis pastatas Vilniaus mieste. Kiekviena jo laiptinė turi po 36 butus, o kiekvienas aukštas po 4 butus. Yra žinoma, kad karšto vandens poreikiai priklauso nuo daugelio faktorių, vienas kurių – buto gyventojų skaičius [108]. Pastato plotas yra 3740 m². Butuose yra įrengta individuali šilumos bei karšto vandens vartojimo nuotolinė apskaita. Kiekviename bute įrengti antimagnetiniai impulsiniai karšto vandens skaitikliai, o ant šildymo prietaisų šilumos dalikliai.

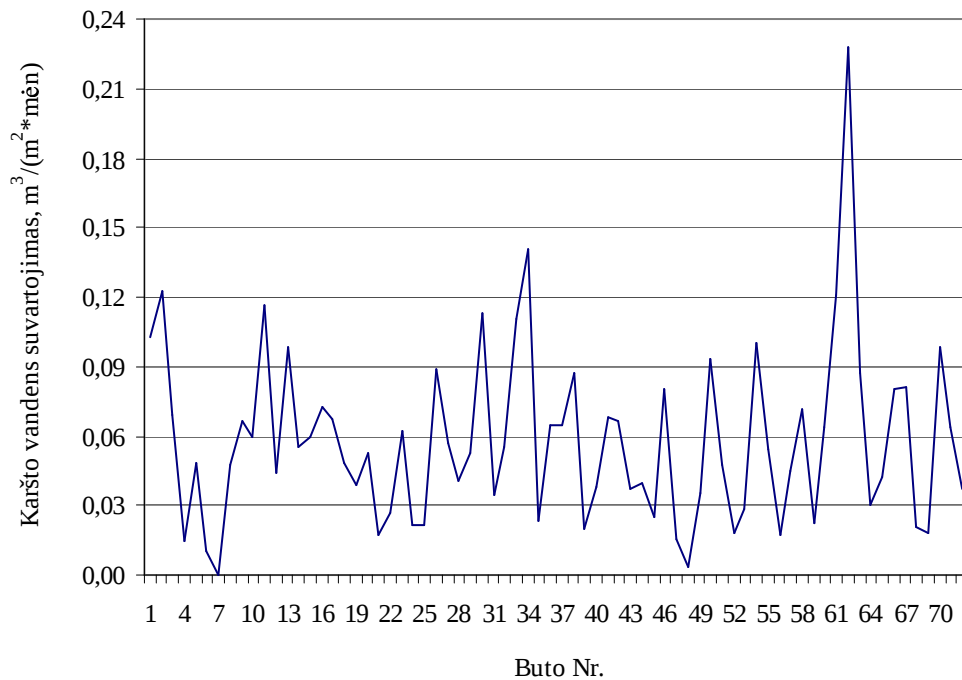
Vidutinis karšto vandens suvartojimas šiame pastate yra 215,4 m³ per mėn. (44,2 l/gyventojui per parą) ir svyruoja 158,5–246,4 m³ (32,5–50,5 l/gyventojui per parą) per mėn. ribose (4.26 pav.). Gyventojų karšto vandens suvartojimas turi sezoniškumą – žiemą sausio mėnesį vartojama daugiausiai 246,4 m³ (50,5 l/gyventojui per parą) per mėn., vėliau suvartojimas mažėja iki rugpjūčio mėnesio 158,5 m³ (32,5 l/gyventojui per parą) per mėnesį ir vėl kyla iki maksimalaus žiemos suvartojimo.

Vieno tipinio daugiabučio gyvenamojo pastato karšto vandens suvartojimo pasiskirstymas pagal atskirus butus, įvertintas karšto vandens suvartojimu m³ per mėnesį 1 m² buto plotui, yra pateiktas 4.27 paveiksle. Iš šio paveikslo matome, kad vidutinis per kalendorinį mėnesį 1 m² buto plotui tenkantis karšto vandens suvartotas kiekis yra 0,058 m³/m² (44,2 l/gyventojui per parą) ir šis dydis svyruoja pakankamai apibrėžtose 0,02–0,14 m³/m² (15,3–107,3 l/gyventojui per parą) ribose, išskyrus kelias išimtis. Šiame pastate yra 2 butai, kurių karšto vandens suvartojimas ištikus kalendorinius metus yra 0 m³/m², o taip pat vienas savo dideliu karšto vandens

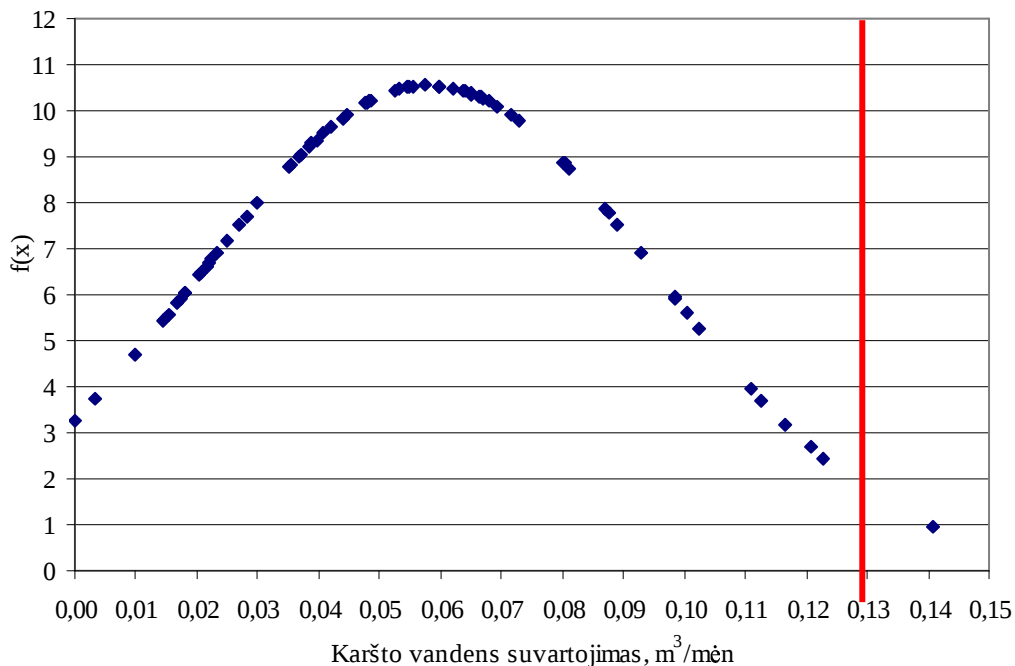
suvartojimu išsiskiriantis vieno kambario butas, kurio suvartojimas siekia net $0,23 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ($176,3 \text{ l/gyventojui per parą}$).



4.26 pav. Mėnesinis karšto vandens suvartojimas $\text{m}^3/\text{mėn.}$ 9 aukštų, 72 butų pastate 2003–2005 metais



4.27 pav. Vidutiniai pastato butų karšto vandens suvartojimai, m^3/m^2 per mėnesį

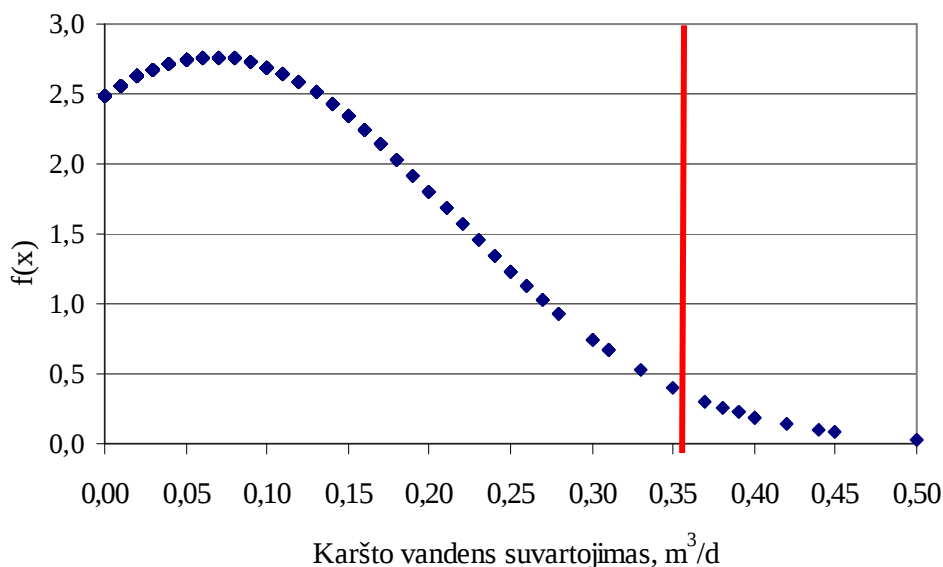


4.28 pav. Karšto vandens suvartojimo m^3/m^2 per mėn. standartinis normalusis skirstinys pastatui

4.28 paveiksle yra pateiktas mėnesinio karšto vandens suvartojimo m^3 , tenkančio 1 m^2 buto ploto, normalusis skirstinys pastatui. Iš šio paveikslo matome, kad tikimybės tankio funkcijos ekstremumas yra lygus 10,5 ir yra ties $0,058 \text{ m}^3/\text{m}^2$ per mėnesį ($44,2 \text{ l/gyventojui per parą}$) vidutine karšto vandens suvartojimo reikšme. Statistinėje analizėje yra labai svarbi yra trijų sigma taisyklė, kuri teigia, kad jeigu atsitiktinis dydis yra pasiskirstęs pagal normalųjį skirstinį, tuomet jo reikšmės, nuo vidurkio nutolusios daugiau kaip per 3 vidutinius kvadratinus nuokrypius, bus praktiškai labai retos ir pasitaikys tik maždaug 3 kartus iš tūkstančio, arba kitaip tariant, absoliuti dauguma, t.y. 99,73 % tikimybės tankio susikoncentruoja reikšmių ruože nuo $-3S$ iki $3S$.

Inžineriniuose skaičiavimuose dažniausiai naudojama 2S taisyklė, kurią pritaikę žinome, kad 95,45 % reikšmių patenka į tiriamą intervalą. Pritaikę 2S taisyklę 4.28 paveiksle matome, kad į teigiamą pusę nukreipta 2S reikšmė yra lygi $0,13 \text{ m}^3/\text{m}^2$ per mėnesį, o į neigiamą pusę $-2S$ lygi $-0,02 \text{ m}^3/\text{m}^2$ per mėnesį. Kadangi neigiamas karšto vandens suvartojimas negali būti, kaip pačią artimiausią nagrinėjamą žemutinę 2S reikšmę reikia priimti nulinę reikšmę. Tačiau projektuojant karšto vandens tiekimo sistemas aktualiausi yra karšto vandens suvartojimo maksimalūs pikai ir jų pasireiškimų tikimybė, todėl labiausiai aktuali yra viršutinė 2S reikšmė, kurios reikšmė lygi $0,13 \text{ m}^3/\text{m}^2$ per mėnesį. Ši reikšmė reiškia, kad didesnis karšto vandens suvartojimas nei $0,13 \text{ m}^3/\text{m}^2$ per mėnesį bus ypatingai retai, o šio teiginio patikimumas yra apibrėžtas 95,45 % tikimybe. Vadinas, galime daryti išvadą, kad projektuojant šio daugiabučio

gyvenamojo pastato karšto vandens tiekimo sistemą, reikėtų imti $0,13 \text{ m}^3/\text{m}^2$ karšto vandens suvartojimo mėnesinę reikšmę kaip aukštutinę ribą, virš kurios didesnis karšto vandens suvartojimas bus mažai tikėtinas. 4.28 paveiksle yra pateiktas normalusis skirstinys su visomis 100 % reikšmėmis, o kad atskirti 2S ribą, 4.28 paveiksle yra nubrėžta raudona linija.



4.29 pav. Karšto vandens suvartojimo m^3 per parą bute standartinis normalusis skirstinys

4.29 paveiksle yra pateiktas karšto vandens suvartojimo m^3 per parą bute Nr. 1 normalusis skirstinys. Tikimybės tankio funkcijos ekstremumas šiame bute yra 2,76 ir yra ties $0,067 \text{ m}^3$ vidutine karšto vandens suvartojimo reikšme per parą. Pritaikę 2S taisyklę 4.29 paveiksle matome, kad į teigiamą pusę nukreipta 2S reikšmė yra lygi $0,36 \text{ m}^3$, o į neigiamą pusę -2S lygi $-0,22 \text{ m}^3$ per parą. Viršutinė 2S reikšmė, kurios reikšmė lygi $0,36 \text{ m}^3$ reiškia, kad didesnis karšto vandens vartojimas šiame bute bus ypatingai retai, o šio teiginio patikimumas yra apibrėžtas 95,45 % tikimybe.

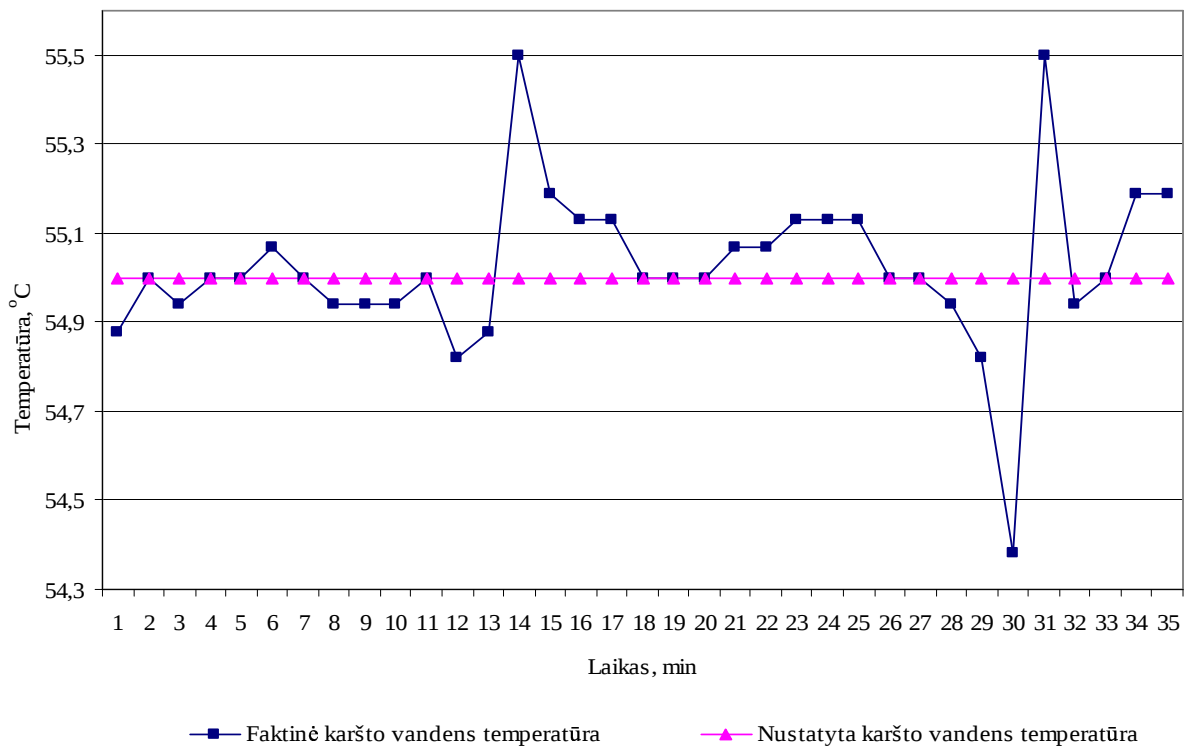
5. KARŠTO VANDENS TEMPERATŪROS ANALIZĖ KARŠTO VANDENS TIEKIMO SISTEMOSE SU NUOLATINE CIRKULIACIJA

5.1 Karšto vandens temperatūros analizė atsižvelgiant į baktericidinį pavojų

5.1.1 Karšto vandens temperatūrų netolygumo tyrimas cirkuliaciniame kontūre

Stambaus visuomeninės paskirties pastato, pavyzdžiui, tokio kaip viešbutis, darbo ar ugdymo įstaiga, gyventojai bei darbuotojai, neteisingai eksploatuodami karšto vandens tiekimo sistemą, gali susirgti legionelioze. Vadovaujantis 2.4 lentelės duomenimis, jei karšto vandens temperatūra sistemoje aukštesnė nei 55 °C ir yra pastovi, jokios rizikos nėra. Tačiau dažnai šiuolaikinė automatika suteikia galimybę karštą vandenį tiekti tik pageidaujamu laiku, ir, pavyzdžiui, administraciniame pastate tiekti karštą vandenį tik darbo valandomis. Todėl iškyla klausimas, ar tokiu atveju atsiranda rizika dėl legionella. Norėdami tai įvertinti, turime atlikti faktinių administracinio pastato karšto vandens temperatūrų analizę.

Karšto vandens temperatūrų analizei buvo paimtas didesnis nei pusės valandos laiko intervalas, kurio metu karšto vandens pastate niekas nevartojo. Duomenys buvo fiksuojami 1 minutės dažnumo intervalu. Nustatytos karšto vandens reguliavimo automatikos ir faktinė tiekiamo karšto vandens temperatūros, kai karšto vandens suvartojimas yra lygus nuliui, pateiktos 5.1 paveiksle. Šiame paveiksle matome, kad šiuolaikinė automatika leidžia užtikrinti beveik idealiai pastovią karšto vandens temperatūrą, kuri svyruoja tik $\pm 0,5$ °C ribose. Tokia pastovi temperatūra gaunama tik pastovaus darbo režimo atveju, kai tiekiamo termofikacinio vandens ir karšto vandens pavaros ir vožtuvo darbas yra nusistovėjęs tam tikroje stacionarioje pozicijoje. Karšto vandens vožtuvas šiuo atveju nejuda ir yra atidarytas tiek, kad pro jį pratekančio termofikacinio vandens kiekio užtektų kompensuoti nedidelius cirkuliacinius karšto vandens sistemos šilumos nuostolius. Atsižvelgdami į temperatūros svyravimus ir 2.4 lentelėje pateiktus duomenis galime daryti išvadą, kad kai 55 °C karšto vandens temperatūra svyruoja $\pm 0,5$ °C ribose, toks temperatūros svyravimas gali vykti neribotą laiką be jokios rizikos, tuo metu legionella yra neutralioje stadijoje – nesidaugina, bet ir nemiršta (neutrali reikšmė < 50 cfu/l (absoliuti)). Atsukus karšto vandens maišytuvą, esamo termofikacinio vandens kiekio, kad palaikyti nustatytą cirkuliacinę temperatūrą ir pašildyti šaltą vandenį iki karšto, nebeužtenka ir karšto vandens temperatūra ima kristi. To pasėkoje karšto vandens vožtuvas palaipsniui pradeda atsidarinėti. Kai karšto vandens temperatūra pasiekia automatikos nustatytą reikšmę, vožtuvas pradeda užsidarinėti.



5.1 pav. Karšto vandens faktinė ir reguliatoriumi nustatytos temperatūros, kai karštas vanduo nevartojamas

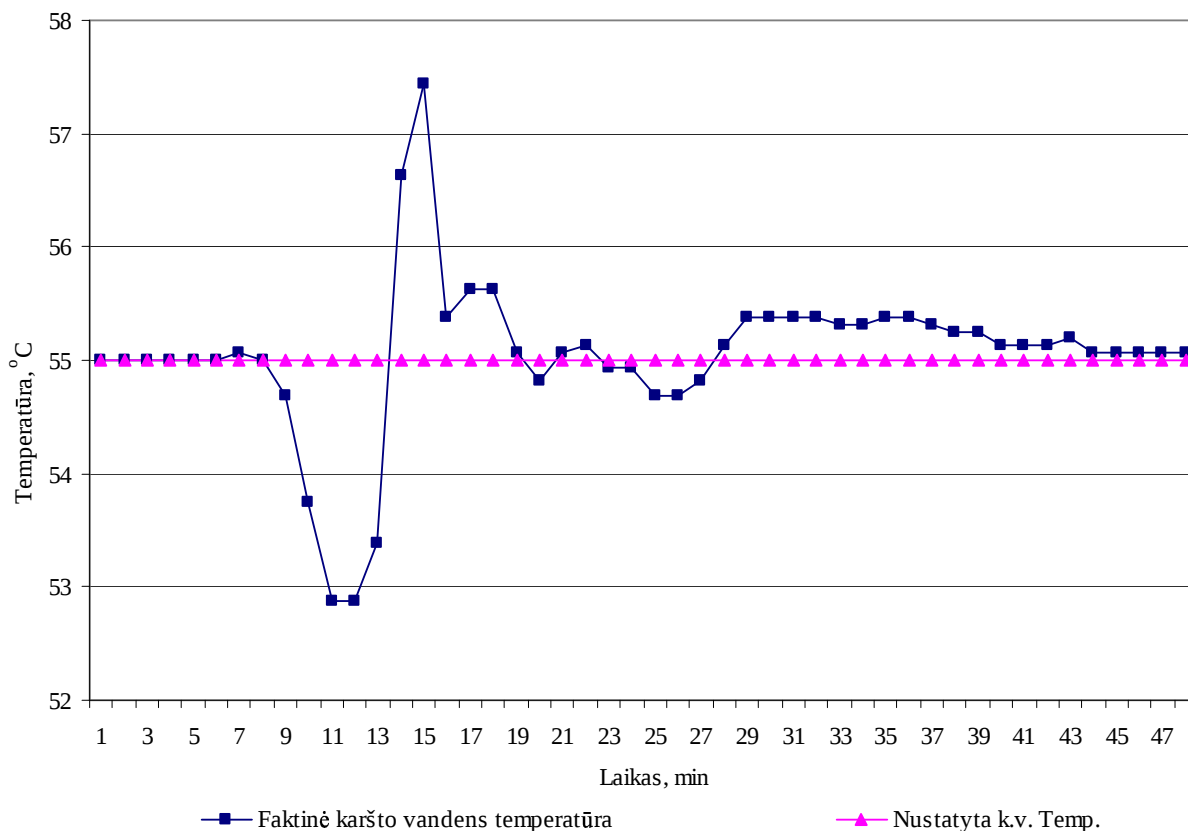
Kadangi karšto vandens pavara ir vožtuvas dirba nustatytu ribotu greičiu su tam tikra inercija, karšto vandens temperatūra viršija nustatytą reikšmę ir tik tuomet pradeda mažėti, kol sumažėja iki nustatytos reikšmės. Dėl pavaros ir vožtuvo darbo greičio šiek tiek nukrenta žemiau nustatytos reikšmės ir vėl pradeda kilti. Taip ciklas mažėdamas kartojasi, kol yra sureguliuojama nustatyta temperatūra (5.2 pav.).

Užsukus karšto vandens maišytuvą procesas kartojasi ir vyksta atgaline tvarka. Esant nedideliame karšto vandens suvartojimui (1 l/min) temperatūros svyravimas jau kinta ± 2 °C ribose (5.3 pav.), o esant didesniame nei 1 l/min vartojimui ± 4 °C ribose ir daugiau (5.4 pav.).

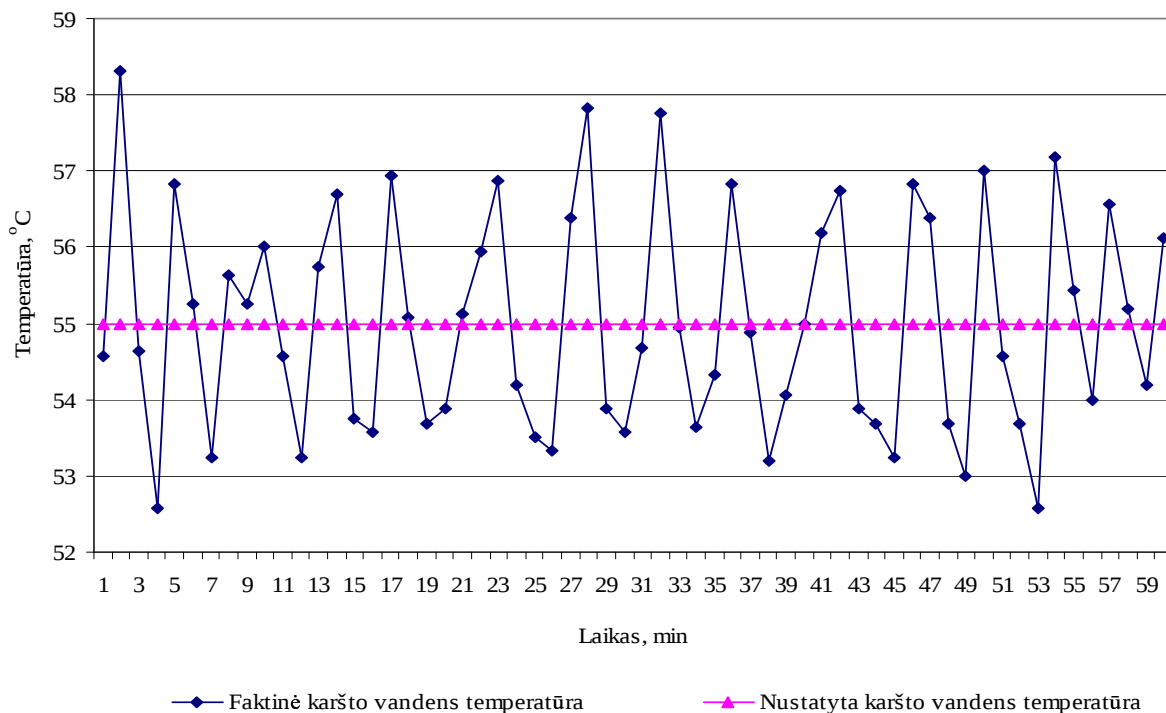
Atsižvelgdami į temperatūros svyravimus 5.3 ir 5.4 paveiksluose bei 2.4 lentelėje pateiktus duomenis galime daryti išvadą, kad kai nustatyta karšto vandens temperatūra yra 55 °C ir yra karšto vandens suvartojimas, temperatūrai svyruojant net apie ± 4 °C ribose, toks temperatūros svyravimas gali vykti neribotą laiką, ir tuomet legionella bus mažiau nei 10^4 cfu/l.

Pagal 2.4 lentelės duomenis didesnę riziką sukeltų temperatūros sumažėjimas žemiau 45 °C ir esant ne žemesnei nei 25 °C. Esant tokiai temperatūrai ne ilgiau 2 parų legionella bus neutralioje stadijoje – nesidaugina, bet ir nemiršta (Neutrali reikšmė < 50 cfu/l (absoliuti)), esant ilgiau nei 2 paros, bet trumpiau nei 1 savaitė, rizikos laipsnis išaugs iki 10^3 cfu/l, o esant ilgiau

nei 1 savaitei, rizika išaugs iki 10^5 cfu/l. Galima daryti išvadą, kad neilgi karšto vandens temperatūrų svyravimai dėl automatikos darbo režimo nesukelia jokios rizikos.

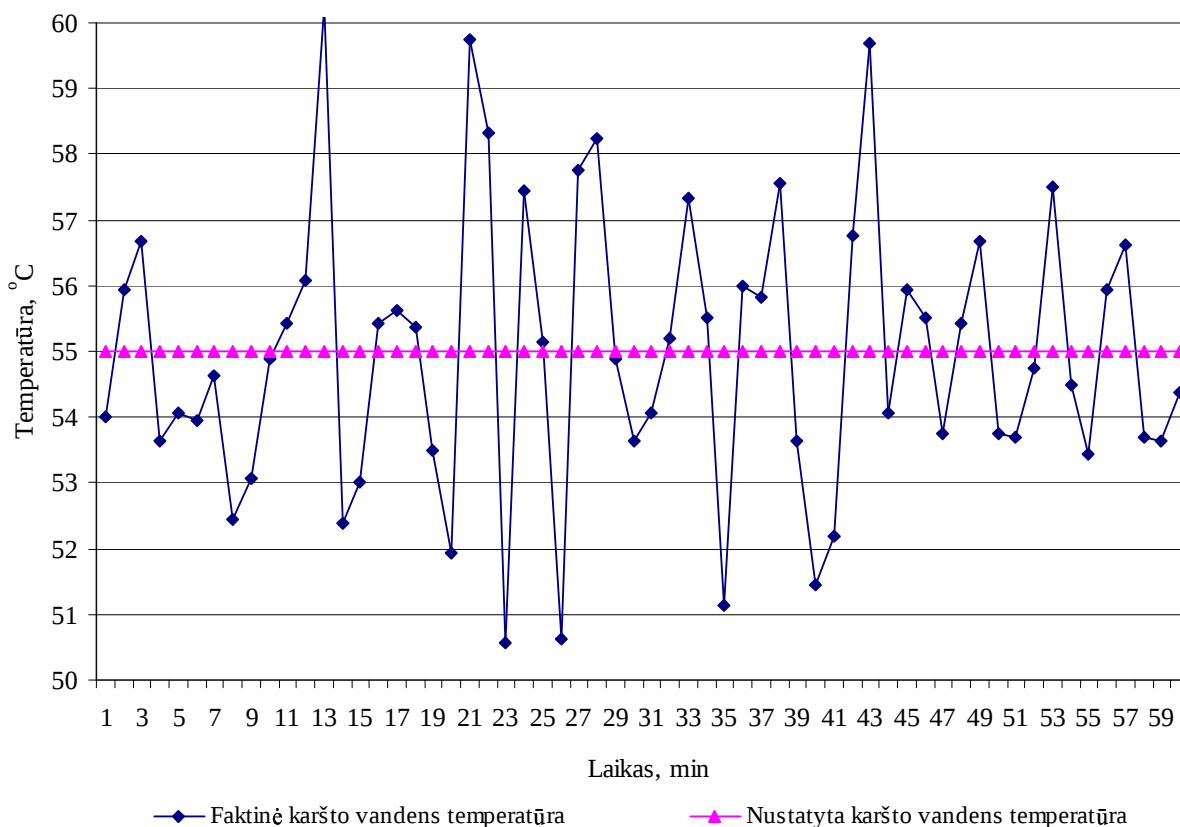


5.2 pav. Karšto vandens faktinė ir reguliatoriumi nustatyta temperatūros, atsukus maišytuvą



5.3 pav. Karšto vandens faktinė ir nustatyta temperatūros, esant nedideliame karšto vandens vartojimui (1 l/min)

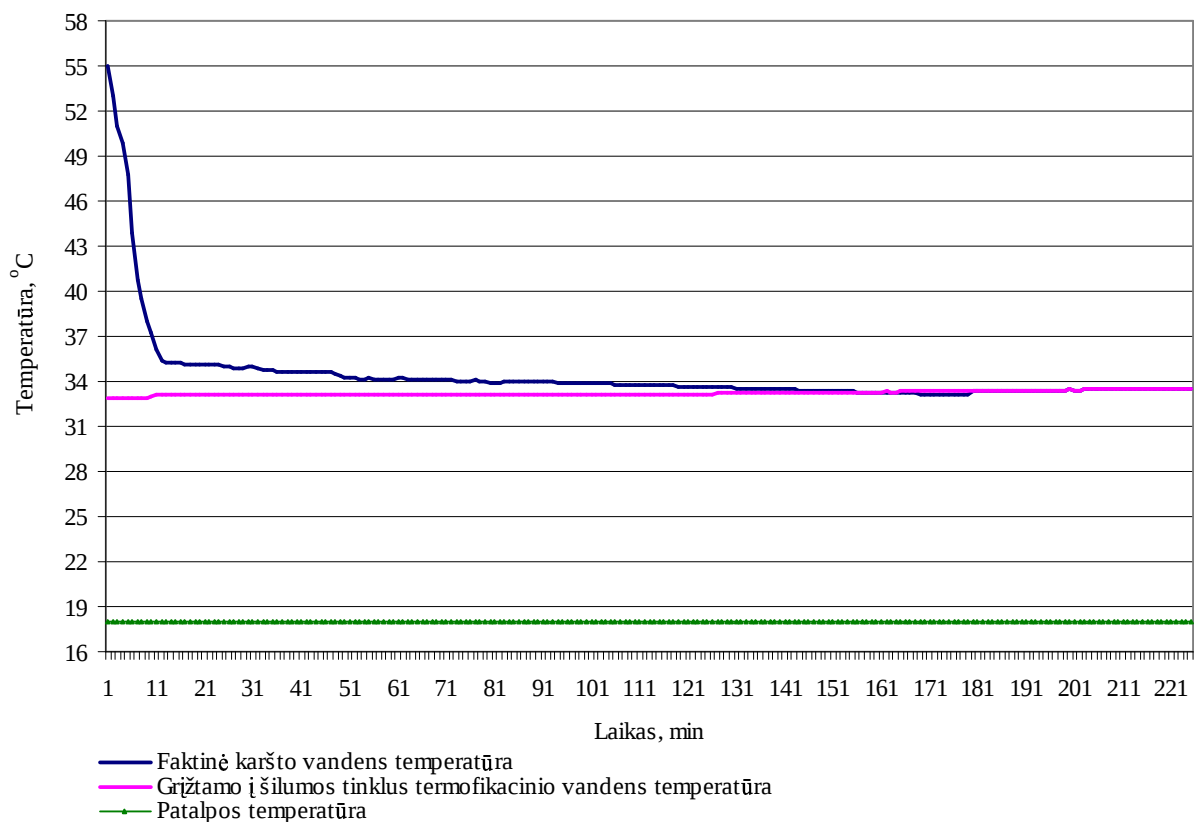
Jeigu nedideli karšto vandens temperatūros svyravimai nesukelia rizikos, galime atlikti analizę, ar temperatūros pažeminimas nakčiai arba savaitgaliais gali padidinti riziką dėl legionella. Galima būtų iškelti hipotezę, kad išjungus karšto vandens pašildymą, vandens temperatūra turėtų vidutiniškai nukristi iki patalpų temperatūros. Iš 2.4 lentelės matome, kad temperatūrai esant 25 °C ir žemesnei, tokios temperatūros buvimas neribojamas ir legionella augimo nesukelia. Vadinasi, temperatūrą galime žeminti bet kuriam laikui. Taip yra esant vieno laipsnio karšto vandens šilumokaičiui arba esant dviejų laipsnių karšto vandens šilumokaičiui ne šildymo sezono metu. Šildymo sezono metu, kai karšto vandens sistema turi dviejų laipsnių šilumokaitį, faktinė karšto vandens temperatūra yra kita.



5.4 pav. Karšto vandens faktinė ir nustatyta temperatūros, esant 1–60 l/min karšto vandens vartojimui

Iš šildymo sistemos grįžtantis termofikacinis vanduo pašildo pirmo laipsnio karšto vandens šilumokaitį, o antro laipsnio karšto vandens šilumokaitis pašildo iki trūkstamos temperatūros. Karšto vandens vožtuvas reguliuoja termofikacinio vandens padavimą į antrąjį šilumokaitį. Esant naktiniam karšto vandens temperatūros sumažinimui (šioje analizėje yra priimama, kad yra du karšto vandens temperatūriniai režimai: dieninis, kurio metu tiekama nustatyta 55 °C karšto vandens temperatūra ir naktinis, kurio metu karšto vandens pašildymas išjungiamas ir karštas vanduo atvėsta) yra uždaromas karšto vandens vožtuvas, tačiau iš šildymo sistemos grįžtantis

termofikacinis vanduo lieka cirkuliuoti. Dėl šių priežasčių esant naktiniam režimui grįžtantis iš šildymo sistemos termofikacinis vanduo dalinai pašildo karštą vandenį, o karšto vandens temperatūra nukrenta ne iki vidaus patalpų temperatūros, tačiau iki grįžtamos iš šildymo sistemos termofikacinio vandens temperatūros, kuri svyruoja priklausomai nuo lauko oro temperatūros. Lauke esant minus 20 °C grįžtama iš šildymo sistemos termofikacinio vandens temperatūra gali būti apie 60 °C ir šios temperatūros užtenka karštą vandenį pašildyti iki reikiamos temperatūros ir jam cirkuliuoti (neužtektų tik tuo atveju, jeigu būtų atsuktas karšto vandens maišytuvas ir šilumos poreikis stipriai išaugtų). 5.5 paveiksle matome karšto vandens temperatūros kitimą, kai prasideda pažemintas režimas ir jo metu, kai lauke yra apie +4 °C šilumos. Faktinė karšto vandens temperatūra nukrito iki apie 34 °C ir priklauso nuo grįžtančios į šilumos tinklus, o pastaroji priklauso nuo lauko oro temperatūros. Didžiausią riziką 2.4 lentelės duomenimis sukelia 25–45 °C karšto vandens temperatūra, tačiau nuo 25 iki 45 °C karšto vandens temperatūros buvimas iki 2 parų bakterijų augimo nesukelia, todėl jei tai yra naktinis temperatūros pažeminimas, tuomet galime daryti išvadą, kad rizikos dėl legionella nėra. Grįžtama termofikacinio vandens temperatūra 45 °C ir žemesnė yra lauke esant iki minus 5 °C, todėl esant žemesnei oro temperatūrai nei minus 5 °C rizika dar yra mažesnė arba išnyksta visai.



5.5 pav. Karšto vandens faktinė temperatūra, esant naktiniam režimui

5.1.2 Karšto vandens temperatūrų netolygumo analizė atšakoje nuo cirkuliacijos kontūro iki maišytuvo

Ankstesniame skyriuje išnagrinėta karšto vandens temperatūra ir įvertinta rizika dėl legionella karšto vandens cirkuliaciniame kontūre, kuriame tiek karšto vandens temperatūra, tiek legionella dauginimasis yra prognozuojami ir įvertinami dydžiai. Tačiau nuo karšto vandens cirkuliacinio kontūro yra pajungtos atšakos su maišytuvais (3.2 pav.). Šiose atšakose nuolatinė cirkuliacija nevyksta, todėl retai naudojant karštą vandenį, jis šioje atšakoje atvėsta ir priklausomai nuo atvėsimo temperatūros ir atšakos ilgio iškyla pavojus dėl legionella. Remiantis aukščiau išdėstyta informacija, trumpalaikiai karšto vandens vartojimai, kurių metu naudotojas atsuka karštą vandenį pakankamai trumpam laiko intervalui ir karštas vanduo nespėja sušilti iki 45 °C ar aukštesnės temperatūros, nesvarbu kiek dažnai taip vanduo vartojamas, tačiau tokiu būdu karštas vanduo turi būti vartojamas ne ilgiau nei 2 paros, nes vartojant ilgiau nei 2 paros, bet trumpiau nei 1 savaitę, legionella dauginasi ir jos reikšmė išauga iki 10⁴ cfu/l, o vartojant ilgiau nei 1 savaitę, legionella reikšmė išauga iki maksimalaus 10⁵ cfu/l kiekio. Tai sukelia rimtą pavojų, todėl ne vėliau kaip po 2 parų karštas vanduo turi būti nuleistas tol, kol jo temperatūra pasieks aukštesnę nei 55 °C temperatūrą, kurios metu bakterijos ima žūti, ir palaikomas pakankamą laiko tarpą (temperatūros išlaikymo intervalas priklauso nuo karšto vandens temperatūros, kuri pateikta 2.2 lentelėje). Galime daryti išvadą, kad perdėtas karšto vandens taupymas gali vykti tik kartu su rizika dėl žmonių gyvybės.

Karšto vandens vartotojams galima pateikti rekomendacijas, kad ilgą laiką negyvenant patalpose netikslinga retkarčiais profilaktiškai šiek tiek nuleisti karšto vandens, arba vandenį nuleisti pakankamai ilgą laiko tarpą (2.2 lentelė). Tai turėtų būti aktualu viešbučius administruojančiam personalui. Daugiabučių gyvenamųjų namų gyventojai ir viešbučių administratoriai turėtų įvertinti, kad karštą vandenį atsukus reikia palaukti, kol vanduo pasieks maksimalią temperatūrą ir tik šiek tiek dar palaukus galima užsukti vandenį. Priešingu atveju po 2 parų reikės nuleisti karštą vandenį pagal 2.2 lentelės duomenis. Žinoma, tai ypatingai taikytina ir sistemoms, kurios neturi cirkuliacinio kontūro. Pavyzdžiui, viename iš tipinių Vilniaus miesto Fabijoniškių rajono 5 aukštų daugiabutyje nėra cirkuliacinio karšto vandens kontūro, todėl karšto vandens reikia laukti apie 10 minučių. Dažniausiai žmonės šiuolaikinėmis plovimo priemonėmis per žymiai trumpesnį laiko tarpą išsiplauna lėkštę ar puoduką su nepilnai šiltu vandeniu. Tai sąlygoja, kad karštas vanduo praktiškai niekada nepasiekia maksimalios nustatytos reikšmės, o rizika dėl legionella tampa maksimali.

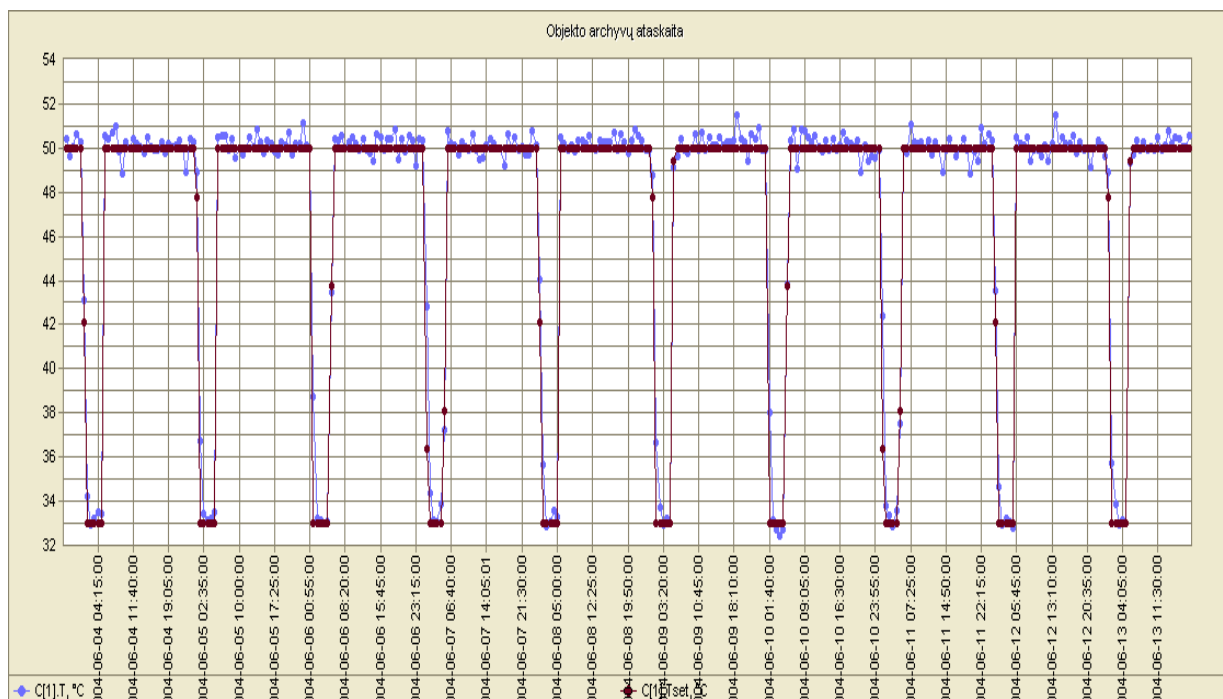
Atsižvelgiant į nudegimų dėl karšto vandens riziką yra rekomenduojama 49 °C karšto vandens temperatūra, tuo tarpu dėl legionella nebesidaugina tik nuo 50 °C. Vaikų oda yra žymiai

jautresnė nei suaugusiųjų ir esant 54 °C karštam vandeniui pilnas odos sluoksnio nudegimas įvyksta per 10 sekundžių, o esant 60 °C tik per 1 sekundę. Atsižvelgiant į pavojų dėl nudegimo karštu vandeniu ir rizikos dėl legionella, tikslinga palaikyti ne mažesnę nei 50 °C karšto vandens temperatūrą ir ne aukštesnę nei 54 °C.

5.2 Karšto vandens temperatūros analizė atsižvelgiant į automatikos darbo režimo nustatymą

Karšto vandens automatikos darbo režimo bei temperatūros parinkimas vaidina lemiamą vaidmenį apsprendžiant automatikos tarnavimo laiką. Suregulius karšto vandens automatiką labai tiksliai, nustatytos sąlygos bus išlaikomos puikiai, tačiau karšto vandens reguliavimo įrengimai dirbs intensyvesniu darbo režimu, todėl tarnaus trumpesnį darbo laiką. Sumažinus automatikos darbo jautrumo diapazoną pablogės nustatytų parametrų išlaikymas, tačiau įrengimai tarnaus žymiai ilgiau. Todėl iškyla klausimas, kokiai temperatūrai turi būti nustatytas automatikos darbo režimas, kad būtų išlaikytas komforto bei ekonomiškumo sąlygų derinys.

Tyrimas atliktas visuomeninės paskirties pastate. Pastate yra įrengta nepriklausoma šilumos bei karšto vandens ruošimo sistema. Duomenys yra registruojami nuotolinės duomenų surinkimo sistemos pagalba.



5.6 pav. Karšto vandens nustatyta ir faktinė temperatūros, esant nustatytam režimui

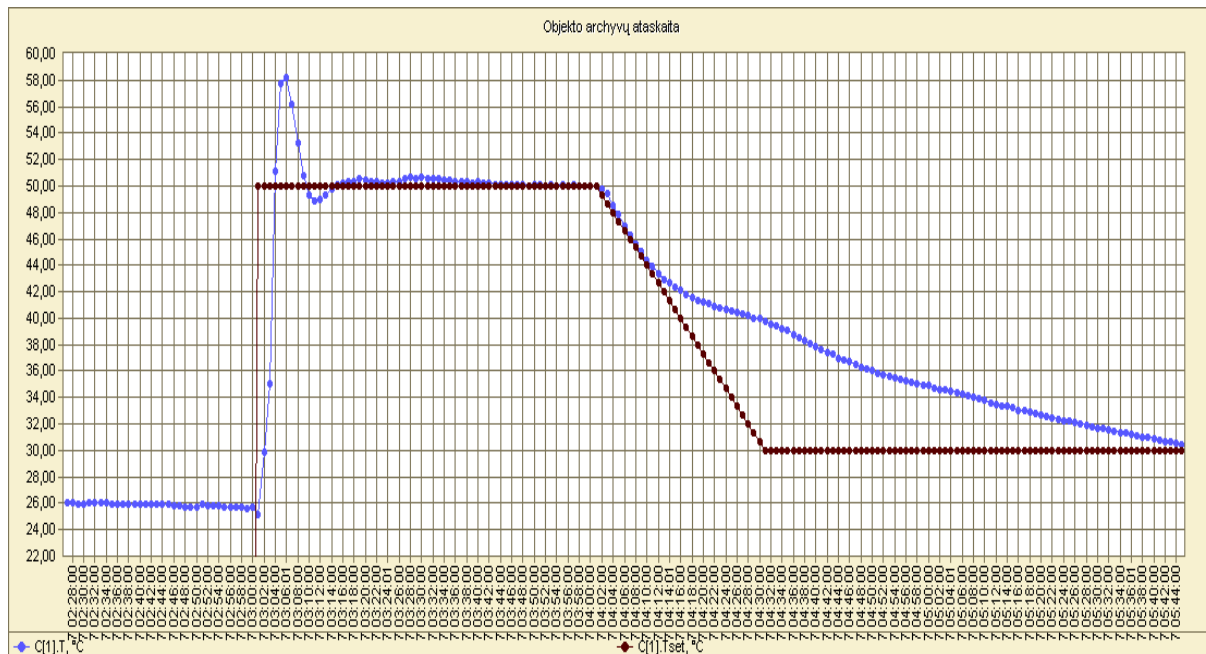
Tyrimo metu buvo pasirinkta nustatyti 50 °C karšto vandens ruošimo temperatūrą. Karštas vanduo eksperimentiniais tikslais nustatytas, kad ištisą parą būtų ruošiamas 50 °C, ir tik nakties metu, siekiant sumažinti cirkuliacinius nuostolius, nuo 1⁰⁰ iki 5⁰⁰ valandos, karšto vandens temperatūra nustatyta 33 °C (5.6 pav.).

Įsijungus naktiniam darbo režimui karšto vandens tiekama temperatūra nuo 50 °C iki 33 °C nukrenta per 1 h 30 minučių. Vadinasi, norint gauti ženklų šiluminės energijos sutaupymą, karšto vandens pažeminimo laikas turi būti žymiai ilgesnis. Šio tyrimo metu karšto vandens automatikos jautrumo riba buvo pasirinkta ± 1 °C. Iš 5.6 paveikslą matome, kad nustatytą karšto vandens temperatūrą automatika palaiko ± 1 °C tikslumu. Tai nėra pati jautriausia automatikos jautrumo riba – šį dydį galima keisti mažinant karšto vandens svyravimo ribas arba didinant pavyzdžiui iki ± 2 °C.

Karšto vandens automatika suteikia galimybę nustatyti ir labai mažas temperatūros svyravimo ribas. Karšto vandens pavara, kai karšto vandens temperatūra nustatyta 50 °C ir, pavyzdžiui, esant nustatytai ± 2 °C jautrumo ribai, pasiekusi 52 °C temperatūrą, palaipsniui pradeda užsidarinėti, o pasiekusi 48 °C temperatūros ribą pradeda atsidarinėti. Kuo mažesnė jautrumo riba – tuo dažniau pavara užsidaro ir atsidaro, ir kuo didesnė – tuo rečiau. Jei karšto vandens temperatūros svyravimo riba bus nustatyta labai didelė (pavyzdžiui 10 °C), karštas vanduo dažnai bus tiekiamas per karštas, o sekantį momentą per šaltas ir t.t. Dėl šių priežasčių gali padidėti cirkuliaciniai nuostoliai, o už per aukštos temperatūros patiektą karšto vandens kiekį gyventojai vis tiek mokės tą pačią piniginę sumą. Esant labai mažai jautrumo ribai karšto vandens pavara, stengdamasi tiksliai palaikyti nustatytą temperatūrą, labai dažnai užsidarinės ir atsidarinės, todėl ji greičiau susidėvės. Kad nustatyti temperatūros svyravimo ribą, reikia žinoti karšto vandens pavaros gamintojų nustatytą užsidarymo/atsidarymo ciklą skaičių ir praktiškai paskaičiuoti, koks ciklo skaičius yra ekonomiškai naudingiausias. Esant ± 1 °C nustatytam temperatūros tikslumui faktinis eksperimentiniu būdu per 12 val. nustatytas ciklo skaičius yra 45–50.

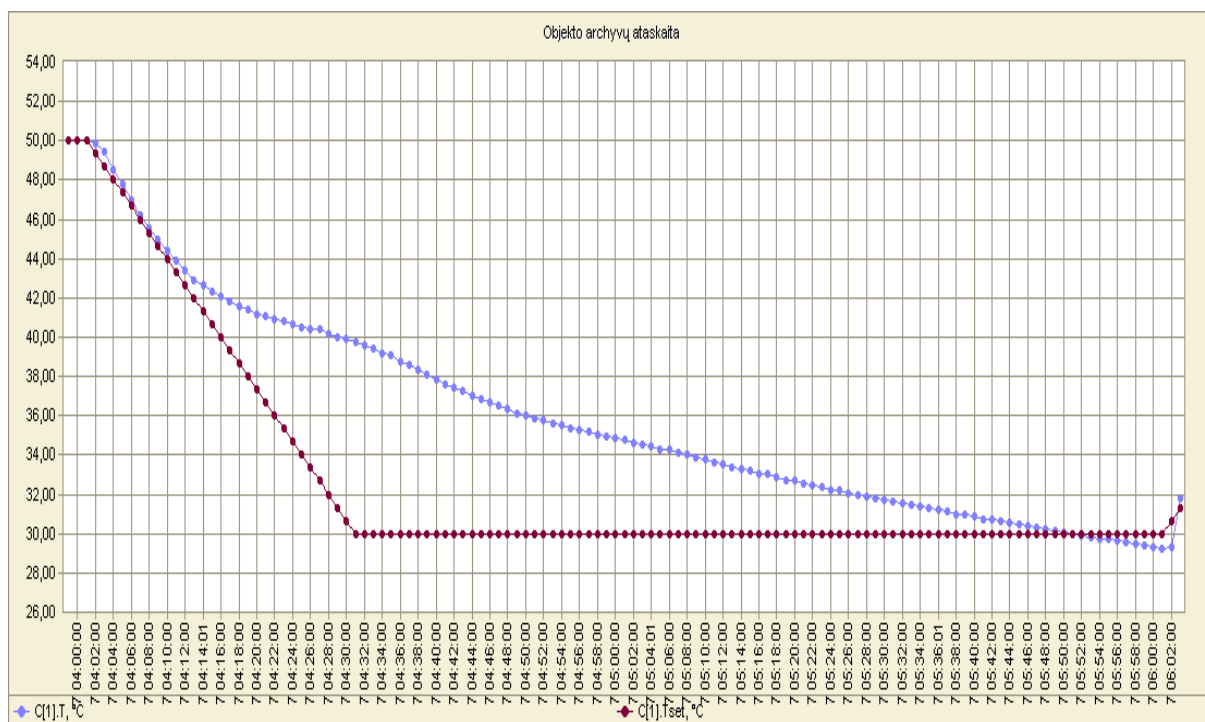
Karštas vanduo, po naktinio karšto vandens temperatūros pažeminimo įsijungus nustatytam 50 °C režimui, savo nustatytą reikšmę pasiekia per 5 minutes (5.7 pav.). Pradiniu momentu įsijungus dieniniam režimui karšto vandens pavara atsidaro iki galo ir lieka šioje pozicijoje, kol pasiekia nustatytą reikšmę. Pasiekusi nustatytą reikšmę karšto vandens pavara pradeda užsidarinėti, tačiau kadangi ji užsidarinėja ribotu greičiu (pavaros užsidarymo greitis yra nustatytas gamintojų), karšto vandens temperatūra tampa per aukšta, vėliau per žema, kol po 10 minučių nuo įjungimo svyravimo amplitudė tampa $\pm 0,5$ °C ir tai tęsiasi iki 45 minutės, kol svyravimai tampa praktiškai nepastebimi. Tai reiškia, kad vartotojui karšto vandens temperatūra

jokiu būdu nebus užtikrinta pradinės 5 minutes, o karšto vandens pavara po 45 minučių nusistovi pastovioje padėtyje ir nebejuda.



5.7 pav. Karšto vandens nustatyta ir faktinė temperatūros, esant dieniniam darbo režimui

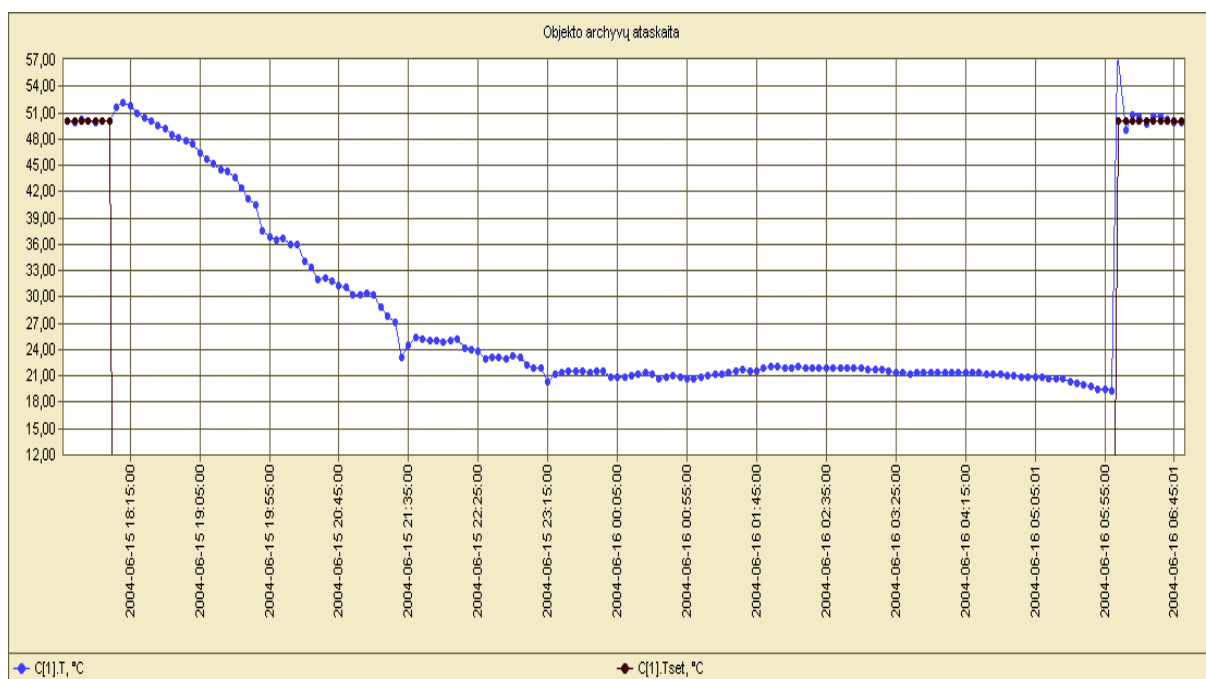
Ijungus naktinį karšto vandens temperatūros pažeminimą nuo 50 °C iki 30 °C, cirkuliuojančio karšto vandens temperatūra 30 °C pasieks tik po 1 h 50 minučių (5.8 pav.).



5.8 pav. Karšto vandens nustatyta ir faktinė temperatūros, esant pereinamajam temperatūros režimui

Tai reiškia, kad 1 h 50 minučių šiluminės energijos suvartojimas bus lygus 0, o vėliau reikės tokio šilumos kiekio, kuris užtikrintų 30 °C temperatūros palaikymą. Vadinasi, galime daryti išvadą, kad iki 1 h 50 minučių nėra jokio skirtumo, ar karšto vandens režimas bus nustatytas visai atjungiantis karštą vandenį, ar bus pažemintas iki 30 °C. Tuo tarpu kalbant apie vartotoją, jei jam kada nors prireiktų šilto vandens, jis turėtų galimybę gauti šiltą 30 °C, o ne visai šaltą vandenį.

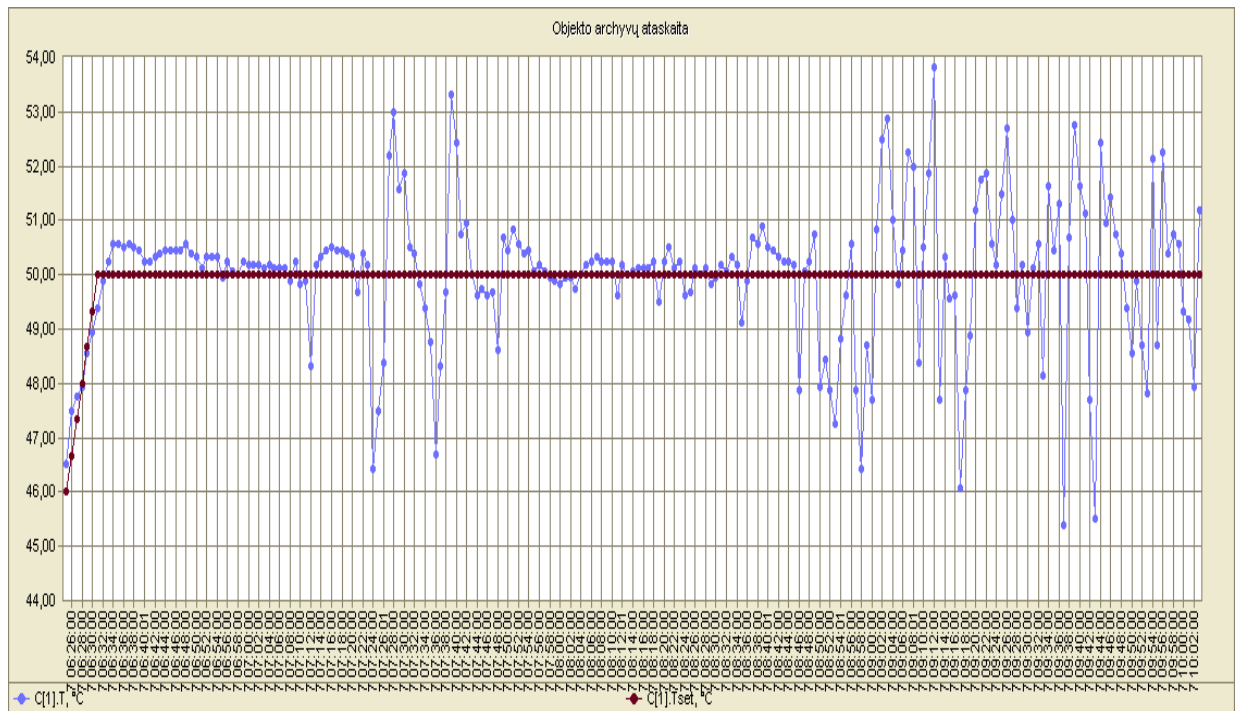
[Įvedus naktinį karšto vandens visišką atjungimą, nuo 50 °C iki 20 °C karšto vandens temperatūra objekte nesant karšto vandens cirkuliacijos, kai ji yra visiškai atjungta, atvėsta per 4 h 15 minučių (5.9 pav.).



5.9 pav. Karšto vandens nustatyta ir faktinė temperatūros nakties metu

Esant dieniniam režimui karšto vandens pavara randa atitinkamą padėtį ir karšto vandens temperatūra palaikoma gana tiksliai, tačiau esant karšto vandens vartojimui, karšto vandens pavaros padėtis nebeužtikrina reikiamo šilumos kiekio ir turi vėl surasti naują padėtį (5.10 pav.).

Iš 5.10 paveikslo matome, kad kai dažnai atsukami/užsukami karšto vandens maišytuvai, karšto vandens temperatūra nebepalaikoma taip tiksliai ir jau svyruoja ± 2 °C ribose, o esant didesniui suvartojimui ir kartais pasiekia ir ± 4 °C ribą. Karšto vandens vartotojui ± 4 °C riba komforto atžvilgiu jau yra per didelė. Tai reiškia, kad jei karštas vanduo bus atsukinėjamas dažniau nei kas 5 minutes, jis niekada neras konkrečios vienos padėties. Tai yra aktualu pastatams, kuriuose yra dažnas karšto vandens vartojimas.

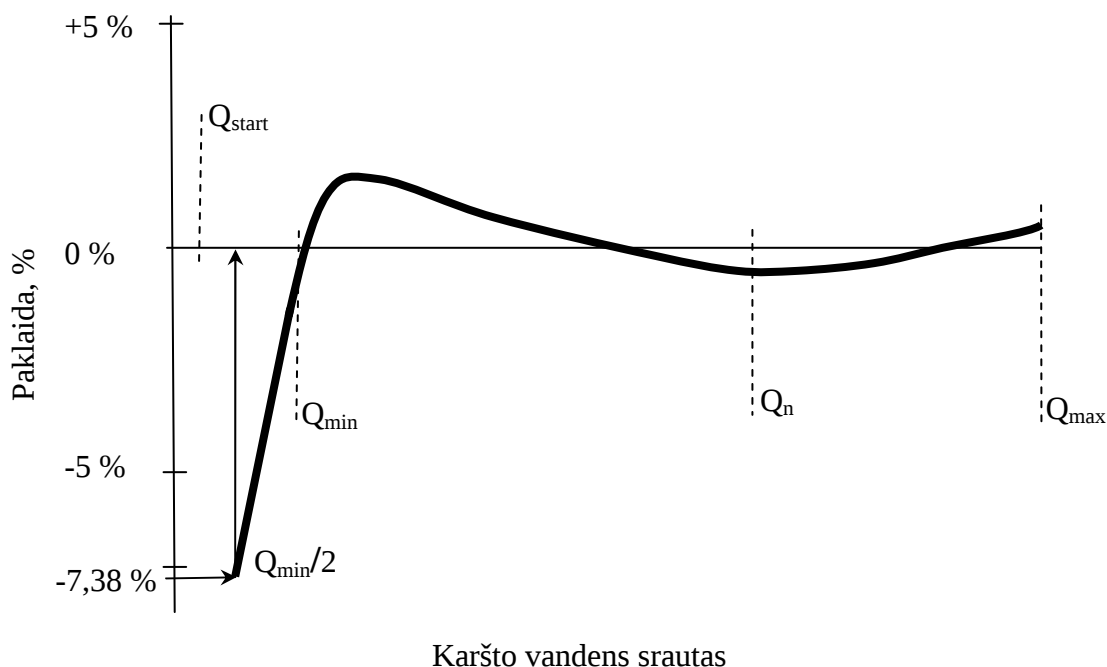


5.10 pav. Karšto vandens nustatyta ir faktinė temperatūros, esant karšto vandens vartojimui

Kad išvengti šių pasekmių, dažno karšto vandens vartojimo pastatuose (mūsų nagrinėjamu atveju pastatuose, kuriuose karštas vanduo atsukamas ir užsukamas dažniau nei kas 5 minutės) reikia nustatyti mažesnę ± 1 °C karšto vandens jautrumo diapazoną, nors tai ir sutrumpintų įrengimų darbo laiką, o pastatuose, kuriuose karštas vanduo vartojamas retai, karšto vandens jautrumo riba gali būti ± 2 °C.

6. REKOMENDACIJOS IR PASIŪLYMAI

Atlikti plataus masto tyrimai daugelyje karšto vandens tiekimo sistemų parodė, kad karšto vandens skaitiklių rodmenų suma butuose mažesnė nei pastato įvadinio skaitiklio rodmenys. Nustatyta, kad Vilniaus mieste šis skirtumas yra apie 7,39 %. Šio skirtumo susidarymo priežastis gali būti ta, kad dažnai pro skaitiklį tekantis karšto vandens srautas būna mažesnis nei butuose naudojamų skaitiklių minimalus srautas. Sprendžiant pagal skaitiklių gamintojų deklaruojamą paklaidų priklausomybę nuo srauto dydžio (4.2 pav.), jei vandens srautas mažesnis už Q_{min} , ši paklaida staigiai didėja. Tokiu atveju šią paklaidą galima sumažinti parenkant skaitiklius, turinčius mažesnę nominalų srautą. Maksimalų karšto vandens srautą gyventojai vartoja labai retai. Iš 6.1 paveikslą matome, kad skaitiklio paklaida yra apie 7,39 % tuomet, kai skaitiklio srautas yra apie du kartus mažesnis nei minimalus skaitiklio srautas Q_{min} ir apytiksliai lygus $Q_{min}/2$ (jei ekstrapoliuojant kreivę, kai vandens srautas mažesnis už Q_{min}). Todėl galime teigti, kad pro skaitiklį tekantis $Q_{min}/2$ dydžio srautas į skaitiklio matavimo $Q_{min}-Q_{max}$ intervalą nepatenka. Vadinasi, parinkdami skaitiklį, kurio Q_{min} reikšmė būtų apie du kartus mažesnė nei esamų skaitiklių reikšmė, sumažintume paklaidą, o pastato įvadinio skaitiklio ir gyventojų buitinių skaitiklių parodymų reikšmės būtų artimesnės.



6.1 pav. Ekstrapoliuota karšto vandens skaitiklių paklaidos priklausomybės nuo srauto kreivė

Šiuo metu naudojamų karšto vandens skaitiklių charakteristikos yra pateiktos 4.1 lentelėje. Iš jos matome, kad $Q_{min} = 60$ l/h, o siekiant, kad pastato įvadinio skaitiklio parodymai būtų artimesni gyventojų buitinių skaitiklių parodymams ir būtų sumažinta esama paklaida, šį srautą reikia sumažinti apie du kartus iki apie $Q_{min} / 2 = 60 / 2 = 30$ l/h.

Šiuo metu galiojančiose karšto vandens sistemų įrengimo taisyklėse [109] nustatyta, kad karšto vandens apskaitos prietaisą reikia parinkti pagal didžiausio vartojimo laikotarpio vidutinį valandinį srautą, apskaičiuojamą pagal šių taisyklių formulę:

$$G_T = \frac{q_u U}{1000T}. \quad (6.1)$$

Čia G_T – vidutinis valandinis srautas intensyviausio naudojimo laikotarpiu (m^3/h); q_u – karšto vandens suvartojimo norma vienam naudotojui per intensyviausio naudojimo laikotarpį (l); T – intensyviausio naudojimo trukmė valandomis (h); U – naudotojų skaičius (vnt.).

Jei naudotojai yra skirtingų grupių, tuomet vidutinis valandinis srautas (m^3/h) intensyviausio naudojimo laikotarpiu apskaičiuojamas pagal formulę:

$$G_T = \frac{\sum_{i=1}^n (q_u U)}{1000T}. \quad (6.2)$$

Kadangi gyventojų buitiniai karšto vandens skaitikliai rodo mažesnius parodymus nei pastato įvadinis skaitiklis, o siekiant sumažinti šią paklaidą esamą srauto reikšmę reikia sumažinti apie du kartus, todėl siūlyčiau (6.1) ir (6.2) formulėse pateiktus dydžius sumažinti apie du kartus ir vietoj vardiklyje esančio koeficiento 1000 panaudoti koeficientą 2000. Siūlyčiau vidutinį valandinį srautą skaičiuoti pagal formulę:

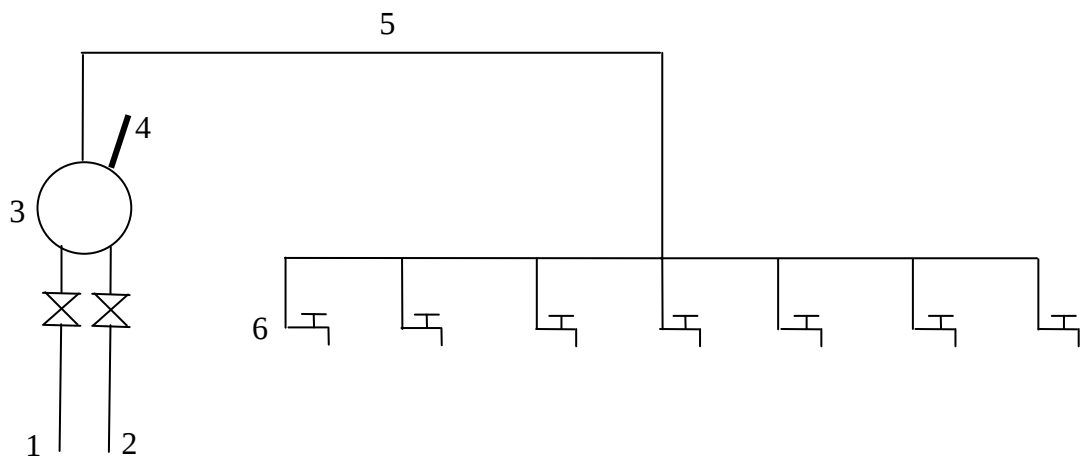
$$G_T = \frac{q_u U}{2000T}. \quad (6.3)$$

Jei naudotojai yra skirtingų grupių, siūloma vidutinį valandinį srautą (m^3/h) intensyviausio naudojimo laikotarpiu skaičiuoti pagal formulę:

$$G_T = \frac{\sum_{i=1}^n (q_u U)}{2000T}. \quad (6.4)$$

Taip pat aukščiau minėtose taisyklėse [109] teigiama, kad karšto vandens apskaitos prietaisai įrengiami šalto vandens atšakoje į šilumokaitį. Ketvirtame šio darbo skyriuje nustatyta, kad dėl karšto vandens temperatūrų skirtumo susidaro paklaida. Siekiant sumažinti šią paklaidą, siūlau karšto vandens apskaitos prietaisus įrengti ant jau iki nustatytos temperatūros pašildyto karšto vandens vamzdžio atšakos, vandeniui pratekėjus karšto vandens šilumokaitį.

Ikimokyklinio ugdymo įstaigose karšto vandens temperatūra praustuvų ir dušų vandens ėmimo čiaupuose turi būti 37 °C [109], kuri palaikoma taikant 6.2 paveiksle pateiktą karšto vandens ruošimo schemą.

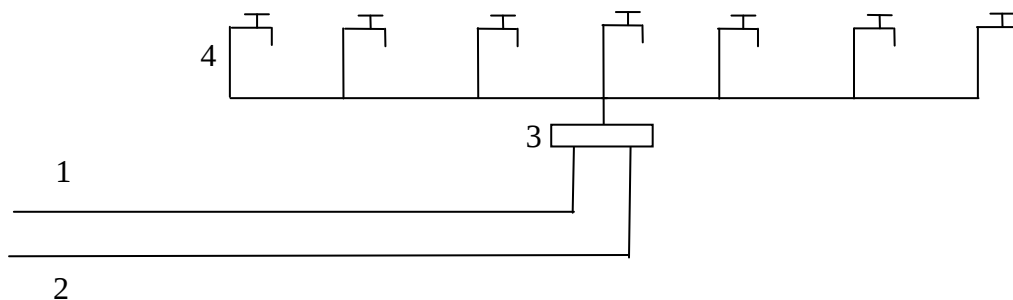


6.2 pav. Esama principinė karšto vandens ruošimo schema ikimokyklinio ugdymo įstaigų voniose

Čia 1 – tiekiamas karštas vanduo; 2 – tiekiamas šaltas vanduo; 3 – pamaišymo indas; 4 – termometras; 5 – karšto vandens atšaka į maišytuvus; 6 – maišytuvų pajungimo vietos.

Atlikus tiekiamo karšto vandens temperatūrų analizę nustatyta, kad karštą vandenį vartojant dažniau nei kas 5 min intervalais, jo temperatūra kinta ± 4 °C ribose, todėl ikimokyklinio ugdymo įstaigose ji gali svyruoti 33–41 °C ribose. Kadangi ugdančiam personalui yra pakankamai sunku 3 ir 4 sklendžių ir 6 termometro pagalba tiksliai nustatyti 37 °C temperatūrą, ji gali svyruoti dar platesnėse nei 33–41 °C ribose. Toks didelis temperatūros svyravimas neatitinka šiuolaikinių poreikių, o vaikai gali gauti arba per vėsų arba per karštą vandenį. Ketvirtame šio darbo skyriuje išnagrinėtos ir pateiktos temperatūros bei sąlygos, kurioms esant legionella bakterijų dauginimasis yra palankiausias ir kurioms esant rizikos nėra. Remiantis

gautais rezultatais galima teigti, kad šios principinės schemos taikymas yra pavojingas vaikų gyvybei, nes 6.2 paveiksle 7 atšakoje nuo 5 pamaišymo indo iki 8 maišytuvų, karšto vandens temperatūra būna apie 37 °C, niekada nepasiekia aukštesnės ir yra palankiausia legionella bakterijų dauginimuisi. Tuo remiantis siūloma technologinę karšto vandens schemą pakeisti į 6.3 paveiksle pateiktą.



6.3 pav. Rekomenduojama principinė karšto vandens ruošimo schema ikimokyklinio ugdymo įstaigų voniose

Čia 1 – tiekiamas karštas vanduo; 2 – tiekiamas šaltas vanduo; 3 – termostatinis maišytuvas; 4 – maišytuvų pajungimo vietos.

6.3 paveiksle pateiktos schemos pagrindinis privalumas yra tas, kad panaikinama 6.2 paveiksle pavaizduota atkarpa nuo 3 pamaišymo indo iki atsišakojimo į maišytuvus, kur temperatūra būna palankiausia legionella dauginimuisi. 6.3 paveiksle pateiktoje schemoje temperatūrą vietoj 6.2 paveiksle pavaizduotų karšto vandens sklendžių Nr. 3 ir Nr. 4 reguliuoja termostatinis maišytuvas, sumažinantis temperatūrų svyravimus.

Viešbučių, daugiabučių gyvenamųjų bei visuomeninės paskirties pastatų karšto vandens tiekimo sistemose, kurios neturi karšto vandens cirkuliacinio kontūro, yra palankios sąlygos daugintis legionella bakterijoms. Siekiant sumažinti riziką dėl legionella bakterijų siūloma atsukus vandens maišytuvą palaukti ne trumpesnę laiko tarpą, nei kol karšto vandens temperatūra pasieks nustatytą reikšmę. Priešingu atveju po 2 parų reikia nuleisti karštą vandenį pagal 2.2 lentelės duomenis.

Nuo karšto vandens tiekimo sistemų įrengimų darbo režimo parinkimo tiesiogiai priklauso, kiek laiko šie įrengimai tarnaus bei nustatytų parametrų palaikymo kokybė. Atliktas karšto vandens tiekimo sistemų įrengimų darbo režimų tyrimas ir nustatyta, kad pastatuose, kuriuose karštas vanduo atsukamas ir užsukamas dažniau nei kas 5 minutės, siūloma nustatyti ne didesnę nei ± 1 °C karšto vandens svyravimo diapazoną, nors tai ir sutrumpintų įrengimų darbo laiką.

Pastatuose, kuriuose karštas vanduo vartojamas rečiau, karšto vandens jautrumo ribą siūloma nustatyti ± 2 °C, o tai prailgintų įrengimų darbo laiką.

7. DARBO GALUTINĖS IŠVADOS

1. Atlikus gautų eksperimentinių duomenų analizę nustatyta, kad faktinis karšto vandens suvartojimas yra apie du kartus mažesnis už daug metų galiojantį norminį 92 l/parą vienam gyventojui suvartojimą. Tuo remiantis, vienam gyventojui tikslinga nustatyti apie du kartus mažesnę karšto vandens suvartojimo normą. Esant šiai normai tikslinga naudoti apie du kartus mažesnę daugiabučių gyvenamųjų pastatų karšto vandens šilumokaičio bei kitų susijusių įrenginių galią. Tai padidintų karšto vandens tiekimo sistemų efektyvumą pastatuose.
2. Atlikus gautų duomenų analizę nustatyta, kad minimalus 0,036 l/m² karšto vandens suvartojimas ugdymo įstaigose yra vasarą rugpjūtį, vidutinis mėnesinis karšto vandens suvartojimas yra 0,087 l/m², o maksimalus 0,119 l/m² mėnesinis karšto vandens suvartojimas yra žiemą gruodį. Nustatyta mėnesinio karšto vandens suvartojimo kitimo tendencija kalendorinių metų bėgyje.
3. Gautų duomenų analizė parodė, kad vidutinė standartinio nuokrypio reikšmė ugdymo įstaigose yra 0,0021 l/m² per parą, daugiabučiuose pastatuose 0,70 l/m² per parą. Standartinio nuokrypio kreivė kalendorinių metų bėgyje atkartoja karšto vandens vartojimo kreivės tendencijas. Ugdymo įstaigų karšto vandens suvartojimo reikšmių išsibarstymas lyginant su jų suvartojimu yra didesnis negu daugiabučių gyvenamųjų pastatų.
4. Nustatyta, kad kuo didesnis yra karšto vandens suvartojimas, tuo žemesnis yra Gauso skirstinio tikimybės tankio funkcijos ekstremumas ir tuo didesnė reikšmių sklaida, o karšto vandens suvartojimo prognozavimas tuo tikslesnis, kuo mažiau yra suvartojama karšto vandens. Nustatyta, kad tikimybės tankio funkcijos ekstremumų priklausomybės nuo karšto vandens suvartoto kiekio tendencija ugdymo įstaigoms bei daugiabučiams gyvenamiesiems pastatams yra išreiškiama (4.7) lygtimi. Remiantis šia lygtimi galima įvertinti būsimą su karštu vandeniu susijusios energijos vartojimo tikimybinių lygį pastate.
5. Nustatytos karšto vandens tiekimo sistemos cirkuliacinio kontūro temperatūrų kitimo ribos dėl įrenginių darbo. Šie temperatūrų svyravimai vyksta nepalankiose legionella dauginimuisi temperatūrų ribose ir gali vykti neribotą laiką. Karšto vandens temperatūros pažeminimas nakties metu nesudaro palankių sąlygų legionella bakterijų dauginimuisi, jei likusiu laiku palaikoma nustatyta temperatūra.
6. Nustatyta, kad ikimokyklinio ugdymo įstaigų karšto vandens tiekimo schema netobula, sistemoje esančios palankios legionella dauginimuisi temperatūros gali paveikti vaikų sveikatą. Siekiant pašalinti karšto vandens tiekimo schemos trūkumus dėl palankių legionella dauginimuisi temperatūrų, karšto vandens tiekimo sistemą siūlau įrengti pagal 6.3 paveiksle pateiktą karšto vandens ruošimo schemą.

7. Gautų tyrimo duomenų apibendrinimas parodė, kad pastato įvadinio karšto vandens skaitiklio parodymai yra didesni nei gyventojų buitinių karšto vandens skaitiklių parodymų suma. Tyrimo metu nustatyta, kad apskaitos prietaisų techninės charakteristikos ir karšto vandens temperatūrų skirtumas yra viena iš šio nesutapimo priežasčių. Atliktas tyrimas parodė, kad skirtumas tarp pastato įvadinio ir gyventojų buitinių skaitiklių Vilniuje buvo 7,39 %, kuri sudaro –8,56 % dėl apskaitos prietaisų techninių charakteristikų ir +1,17 % dėl temperatūrų skirtumo. Norint turėti tikslesnę karšto vandens suvartojimo apskaitą, siūlau vadovautis pastato įvadinio karšto vandens skaitiklio rodmenimis.
8. Atlikus visapusišką apskaitos prietaisų analizę nustatytas neatitikimas tarp pastato įvadinio ir gyventojų buitinių skaitiklių rodmenų, todėl siūlau gyventojams butuose naudoti karšto vandens skaitiklius, kurių esamas minimalus srautas Q_{min} būtų apie du kartus mažesnis nei šiuo metu naudojamų skaitiklių ir lygus apie 30 l/h. Siekiant sumažinti paklaidą dėl temperatūrų skirtumo, pastato įvadinį karšto vandens apskaitos prietaisą siūlau statyti ne ant šalto vandens vamzdžio atšakos, bet ant jau iki nustatytos temperatūros pašildyto karšto vandens vamzdžio atšakos, vandeniui pratekėjus karšto vandens šilumokaitį.

8. LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. LR Aplinkos ministerija. Šilumos tiekimo tinklai ir šilumos punktai. Statybos techninis reglamentas. STR 2.09.01:1998. Vilnius: Rekona, 2002 kovo 19 d., 21 p.
2. Gudzinskas J., Šinkūnas S. Karštojo vandentiekio šilumokaičių galios parinkimo ypatumai. Šiluminė technika. ISSN 1392-4346. Vilnius: LŠTA, 1999, nr. 5, p. 5.
3. Minkštimas R. Srautinių energijos tiekimo tinklų bei jų elementų skaitmeninis modeliavimas ir darbo režimų tyrimas. Daktaro disertacija. Technologijos mokslai, energetika ir termoinžinerija. Kaunas, Lietuvos energetikos institutas, 2000, p. 37–45.
4. Žilinskas A., Martusevičius J., Stumbras A., Juška A., Kutas V. ir kt. Lietuvos energetika. 2 dalis. Lietuvos energetikų mokslo ir technologijos draugija, 1992 m. p. 14.
5. Stankevičius R., Karbauskaitė J. Kodėl brangiai mokame už pastatų šildymą? Šiluminė technika. ISSN 1392-4346. Vilnius: LŠTA, 2001, nr. 4, p. 12–14.
6. Valstybinė kainų ir energetikos kontrolės komisija. 2005 metų veiklos ataskaita. 2005, p. 24–27.
7. Lietuvos šilumos tiekėjų asociacija. 2005 m. ūkinės veiklos apžvalga. 2005, 8 p.
8. Masaitis S., Kveselis V. Karšto vandens tiekimo kokybės užtikrinimas kintant apkrovai. Energetika. ISSN 0235-7208. Vilnius: Lietuvos mokslų akademija, 2004, nr. 4, p. 36–39.
9. Grigonienė J., Kveselis V., Tamonis M. Šilumos poreikių gyvenamuosiuose pastatuose analizė pagal šilumą tiekiančios įmonės duomenis. Energetika. ISSN 0235-7208. Vilnius: Lietuvos mokslų akademija, 2004, nr. 4, p. 29–35.
10. Nagevičius M. Kokios apimties turėtų būti optimalios investicijos į šilumos taupymą pastatuose? Šiluminė technika. ISSN 1392-4346. Vilnius: LŠTA, 2003, nr. 2, p. 18–20.
11. Strazdas D., Kveselis V., Urbonas P. Šilumos ir karšto vandens tiekimo sistemos rekonstrukcija. Energetika. ISSN 0235-7208. Vilnius: Lietuvos mokslų akademija, 2004, nr. 1, p. 78–83.
12. Tuomas E. Šildymas. Šiluminė technika. ISSN 1392-4346. Vilnius: LŠTA, 2001, nr. 2, p. 10–13.
13. Miškinis V., Konstantinavičiūtė I., Norvaiša E., Deksnys R. Energijos poreikių namų ūkių sektoriuje prognozės. Energetika. ISSN 0235-7208. Vilnius: Lietuvos mokslų akademija, 2004, nr. 1, p. 17–24.
14. Paulionis K. Šilumos sąnaudų karštojo vandentiekio sistemoje analizė. Šiluminė technika. ISSN 1392-4346. Vilnius: LŠTA, 2000, nr. 6, p. 8–9.
15. Tuomas E. Apie šilumos sąnaudas karštajam vandentiekui ir kainas. Šiluminė technika. ISSN 1392-4346. Vilnius: LŠTA, 1998, nr. 2, p. 5.

16. Tuomas E. Vilniaus šilumos tinklų techninių rodiklių apibendrinimas. Užsakomojo darbo ataskaita. Energetika. ISSN 0235-7208. Vilnius: Lietuvos mokslų akademija, 2000, p. 27.
17. Tuomas E. Rehabilitation of heating and domestic hot water systems connected to district heating network. Tarptautinės konferencijos “IV International building installation, science and technology symposium” medžiaga. Transactions. Istanbul, 2000, p. 373–380.
18. Minkštimas R., Kveselis V., Strazdas D. Improvement of heat supply and distribution efficiency at too high permeability of pipelines. Tarptautinės konferencijos „Energy Efficiency, Energy Markets and Environmental Protection in the New Millennium“ medžiaga. Vengrija, Sopron, 2001 birželio 13–15 d., p. 23.
19. Чистиков Н.Н. Грудзинский М.М., Ливчак В.У. Повышение эффективности работы систем горячего водоснабжения. Москва, 1988, p. 43–52.
20. Tališauskas R. J. Visuomeninių pastatų centralizuoto šildymo automatizavimo problemos. Energetika. ISSN 0235-7208. Vilnius: Lietuvos mokslų akademija, 1997, nr. 4, p. 46–49.
21. Grigonienė J., Kveselis V. Tarptautinės konferencijos „Energija pastatams“ pranešimų medžiaga. Vilnius, 2002 m gegužės 24 d., p. 58-62.
22. Energy informatikon Administration. The National Energy Modelling system: An Overview. DDE/EIA-0589. 1994 gegužė, p. 5.
23. Skrinska A., Tuomas E. Šilumos mainai ir energijos sąnaudos gyvenamuosiuose namuose. Energetika. ISSN 0235-7208. Vilnius: Lietuvos mokslų akademija, 1998, nr. 2, p. 99–107.
24. LR Ūkio statistika. Teorijos ir praktikos apybraižos. Vilnius, 1995, 137 p.
25. Tuomas E. Šilumos sąnaudų ruošiant karštą vandenį individualiuose šilumos punktuose analizė. Energetika. ISSN 0235-7208. Vilnius: Lietuvos mokslų akademija, 2001, nr. 1, p. 66–73.
26. Tuomas E., Skrinska A. An Exploration of heat consumption for production of domestic hot water in central heat substations. Statyba. ISSN 1392-1525. 1998, 4 tomas, nr. 3, p. 196–201.
27. Tuomas E. Centralizuoto šilumos ir karšto vandens tiekimo problemos ir būdai joms spręsti. Energetika. ISSN 0235-7208. Vilnius: Lietuvos mokslų akademija, 1997, nr. 4, p. 40–45.
28. Paulauskienė Z. Pastatų vandentiekio ir nuotėkų tinklų skaičiavimas. Mokomoji knyga. Vilnius: Technika, 2002, p. 5–6.
29. Laurinavičius L. Centralizuotas šilumos tiekimas (vėsinimas) Europos sąjungos valstybėse ir Lietuvoje. Šiluminė technika. ISSN 1392-4346. Vilnius: LŠTA, 2002, nr. 1, p. 15–17.
30. Cicėnas R., Zabarauskas R. Šilumos ūkio reguliavimas. Šiluminė technika. ISSN 1392-4346. Vilnius: LŠTA, 2001, nr. 3 (11), p. 6–7.

31. Kveselis V., Tamonis M. Analizuojamos šilumos tiekimo perspektyvos mažuose Lietuvos miestuose. Šiluminė technika. ISSN 1392-4346. Vilnius: LŠTA, 2003, nr. 3, p. 4–6.
32. Šuksteris V. Centralizuoto šilumos tiekimo problemos. Atsijungti ar ne? Šiluminė technika. ISSN 1392-4346. Vilnius: LŠTA, 2003, nr. 1, p. 17–20.
33. Centralizuoto šilumos tiekimo istorija. Šiluminė technika. ISSN 1392-4346. Vilnius: LŠTA, 2002, nr. 1, p. 5.
34. Branco G., Lachal B., Gallinelli P., Weber W. Predicted versus observed heat consumption of a low energy multifamily complex in Switzerland based on a long – term experimental data. Energy and buildings. ISSN 0378-7788. 2004 birželis, 36 tomas, nr. 6, p. 543.
35. Hart M., Dear R. Weather sensitivity in household appliance energy end – use. Energy and buildings. ISSN 0378-7788. 2004 vasaris, 36 tomas, nr. 2, p. 172–173.
36. Bohm B., Danig P.O. Monitoring the energy consumption in a district heated apartment building in Copenhagen, with specific interest in the thermodynamic performance. Energy and buildings. ISSN 0378-7788. 2004 kovas, 36 tomas, nr. 3, p. 231, 235–236.
37. Danish District Heating Association. Annual Statistics. Taip pat galima surasti <http://www.fjernvarmen.dk>, Dokumentation, Statistik.
38. Deng S. Energy and water uses and their performance explanatory indicators in hotels in Hong Kong. Energy and buildings. ISSN 0378-7788. 2003, 35 tomas, nr. 8, p. 780.
39. Balaras C. A., Droutsas K., Argiriou A. A., Wittchen K. Assessment of energy and natural resources conservation in office buildings using TOBUS. Energy and buildings. ISSN 0378-7788. 2002, 34 tomas, nr. 2, p. 149.
40. Cheng Li Cheng. Study of the inter – relationship between water use and energy conservation for a building. Energy and buildings. ISSN 0378-7788. 2002, 34 tomas, nr. 3, p. 261–266.
41. Prud'homme T., Gillet D. Advanced control strategy of a solar domestic hot water system with a segmented auxiliary heater. Energy and buildings. ISSN 0378-7788. 2001, 33 tomas, nr. 5, p. 149.
42. Meyer P. J. Domestic Hot Water Consumption of the Developed and Developing Communities in South Africa. ASHARE Transactions. 1999, 2 tomas, p. 173–178.
43. Lowenstein A. Disagregating Residential Hot Water Use. ASHARE Transactions. 1996, 1 tomas, p. 1019–1027.
44. Hiller C. Water Heater First – Hour Rating Vs. In Field performance. ASHARE Transactions. 1996, 1 tomas, p. 1054.

45. Winiarski D. W., Somasundaram S. Analysis of Cost – effective Pipe Insulation Requirements. *Energy Engineering. Journal of the association of energy engineers*. ISSN: 0199-8595. 1997, p. 32.
46. Fanney H. A. Thermal performance of Residential Electric Water Heaters Using Alternative Blowing Agents. *ASHARE Transactions*. 2000, 2 tomas, p. 377–389.
47. Lutz J. A Monte Carlo Approach to the Calculation of Energy Consumption for Residential Gas – fired Water Heaters. *ASHARE Transactions*. 2000, 2 tomas, p. 892–893.
48. Stewart W. E. Evaluation of Service Hot Water Distribution System Losses in Residential and Commercial Installations: Part 1 – Field / laboratory Experiments and simulation model. *ASHARE Transactions*. 1999, 1 tomas, p. 237–246.
49. Stewart W. E. Evaluation of Service Hot Water Distribution System Losses in Residential and Commercial Installations: Part 2 – Field / laboratory Experiments and simulation model. *ASHARE Transactions*. 1999, 1 tomas, p. 247–261.
50. Lekov. B. A. Cost of Increased Energy efficiency for Residential Water Heaters. *ASHARE Transactions*. 2000, 2 tomas, p. 875–891.
51. Lutz D. J. WHAM: Simplified Tool for Calculating Water Heater Energy Use. *ASHARE Transactions*. 1999, 1 tomas, p. 1005–1015.
52. Abrams W. D. Effect of Seasonal Changes in Use Patterns and Cold Inlet Water Temperature on Water – Heating Loads. *ASHARE Transactions*. 1996, 1 tomas, p. 1038–1052.
53. Lowenstein A. Hot Water Use at Coin Laundries. *ASHARE Transactions*. 1999, 1 tomas, p. 1023–1029.
54. Goldner F. S. Control strategies for Domestic Hot Water Recirculation System. *ASHARE Transactions*. 1999, 1 tomas, p. 1030–1046.
55. Warmerdam J, Renee C. Proceedings IEA Workshop of Legionella. International Energy Agency. Olandija, 2001, p. 24.
56. Puckorius R. P. Update on Legionnaire’s Disease and Cooling Systems: Case History Reviews – What Happened/What To Do and Current Guidelines. *ASHARE Transactions*. 1999, 2 tomas, p. 587.
57. Broadbend R. C. Control of Legionionnaire’s Disease – An Australian Perspective. *ASHARE Transactions*. 1999, 2 tomas, p. 595.
58. AWT Board of Directors. Legionella 2003: An Update and Statement by the Association of Water Technologies (AWT). 2003, p. 18.
59. Richard W., Gilpin T., Susan B., Keyser P., Androkites A., Berube M., Carpendale N., Skorina J., Hurley J. Disinfection of circulating water systems by ultraviolet light and halogenation. *Water Resources*. 1985, 19 tomas, nr. 7, p. 839–848.

60. Crosby M. A. Review of Methodologies for Potable Water Disinfection in Buildings and a Discussion of current Issues Regarding Legionella Risk Assessment and monitoring. ASHARE Transactions. 2003, 1 tomas, p. 339–345.
61. Gao Y. Efficacy of DBNPA Against Legionella Pneumophila: Experimental Results in a Model Water System. ASHARE Transactions. 2001, 1 tomas, p. 184–190.
62. Alberta center for injury control and research. Hot Water Safety: Preventing Tap Water Scald Injuries. 2003, p. 7.
63. Jaye C., Simpson J. C., Langely J. D. Barriers to safe hot tap water: results from a national study of New Zealand plumbers. Injury Prevention. 2001, 7 tomas, p. 302–306.
64. Racine T. A. Prado Orestes M. Goncalves Water heating through electric shower and energy demand. Energy and buildings. ISSN 0378-7788. 1998, 29 tomas, nr. 1, p. 77.
65. Ileri A., Moshiri S. Effects of common fuel and heating system options on the energy usage, pollutant emissions and economy. Energy and buildings. ISSN 0378-7788. 1996, 24 tomas, nr. 1, p. 11–18.
66. Perlman M., Milligan N. H. Hot water and energy use in apartment buildings, ASHARE Transactions 94 (1). 1998, p. 1087–1098.
67. Colliver D. G., Murphy W. E., Taraba J. L. Residential water heater electrical usage and demand reduction using reduced element sizes and time clock controls. ASHARE Transactions 94 (1). 1998, p. 1110–1122.
68. Goldner F. S. DHW System sizing criteria for multifamily buildings. ASHARE Transactions: Symposia 100 (1). 1994, p. 963–977.
69. Nacionalinės sąskaitos. Bendrasis vidaus produktas (BVP). Finansų ministerijos mokymų centras. 2006, p. 11.
70. Martišius S., Molienė O., Markelevičius J., Kropienė R., Čepulienė M., Kasnauskienė G., Valkauskas R. Ūkio statistika. 1995, p. 26.
71. Lietuvos Respublikos Seimas. 2002 m. spalio 10 d. nutarimas Nr. IX-1130 „Dėl nacionalinės energetikos strategijos patvirtinimo“. Vilnius. 2002 m. spalio 10, p. 6.
72. Lietuvos Respublikos Seimas. Dėl nacionalinės energetikos strategijos patvirtinimo. Nutarimas Nr. IX-1130. Aktuali redakcija. Vilnius. 2006, p. 8.
73. Lietuvos Respublikos Prezidentas. Energetikos įstatymas. Įstatymas Nr. IX-884. Vilnius, 2002 gegužės 16, p. 4.
74. Lietuvos Respublikos Prezidentas. Šilumos ūkio įstatymas. Įstatymas Nr. IX-1565. Vilnius, 2003 gegužės 20, p. 9.
75. Lietuvos Respublikos ūkio ministerija. Šilumos tiekimo ir vartojimo taisyklės. Įsakymas Nr. 4–258. Vilnius, 2003 birželio 30, p. 14.

76. Lietuvos Respublikos ūkio ministerija. Šilumos tinklų ir šilumos vartojimo įrenginių priežiūros (eksploatavimo) taisyklės. Įsakymas Nr. 4–291. Vilnius, 2005 rugpjūčio 05, p. 22.
77. Lietuvos Respublikos ūkio ministerija. Daugiabučio namo šildymo ir karšto vandens sistemos privalomieji reikalavimai. Įsakymas Nr. 326. Vilnius, 2003 birželio 30, p. 10.
78. Lietuvos Respublikos ūkio ministerija. Pastato šildymo ir karšto vandens sistemos priežiūros tvarka. Įsakymas Nr. 4–258. Vilnius, 2003 birželio 30, p. 16.
79. Lietuvos Respublikos ūkio ministerija. Šilumos tiekimo ir vartojimo taisyklės. ISBN 9986-858-08-9. LŠTA. Vilnius: Puntukas, 2000, p. 9.
80. Tuomas E. Nors šiluma kaulų nelaužo... Šiluminė technika. ISSN 1392-4346. Vilnius: LŠTA, 2000, nr. 8, p. 8–9.
81. Vilniaus šilumos tinklai. Vilniaus centralizuotos šildymo sistemos modernizacijos projektas. Galimybių studija. 11 ataskaita. Strateginis planavimas ir investicinė programa. Švedija: AF – International AB. 2001, p. 63.
82. Savickas R. Gyvenamųjų namų šilumos ūkio atnaujinimo problemos. Baigiamasis magistro darbas. Vilnius, VGTU, 2002, p. 8–9.
83. Vilniaus šilumos tinklai. Vilniaus centralizuotos šildymo sistemos modernizacijos projektas. Galimybių studija. 4 ataskaita. Strateginis planavimas ir investicinė programa. Švedija: AF – International AB. 2000, p. 71.
84. Kojelinė I., Logminienė I. Energetikos vadyba. VĮ „Energetikos agentūra“ Efektyvios energetikos centras. Vilnius: VĮ „Energetikos agentūra, 2001, p. 32–43.
85. Grigonienė J., Kveselis V., Lissauskas A., Tamonis M. Išorinių veiksnių, sąlygojančių centralizuotai tiekiamos šilumos poreikius gyvenamuosiuose namuose, analizė. Energetika. ISSN 0235-7208. Vilnius: Lietuvos mokslų akademijos leidykla, 2005, nr. 2, p. 28–35.
86. Aksomaitis A. Tikimybių teorija ir statistika. ISBN 9986-13-893-0. Kaunas: Technologija, 2000, p. 189–195.
87. Balčikonis R. Šilumos ir karšto vandens apskaitos problemos. Šiluminė technika. ISSN 1392-4346. Vilnius: LŠTA, 1998, nr. 1, p. 5–6.
88. JP Building Engineers (Espoo/Finland), Center for Energy Efficiency in Buildings (Beijin/China), The World Bank, The Ministry of Construction People's Republic of China. Heat Metering and Billing: Technical Options, Policies and Regulations. 2002 vasaris, p. xi.
89. Aquametro AG Hot water ruby Technical information, 2005, p. 7.
90. Ingimundarson A, Wollerstrand J., Arvastson L. On sizing of flow meters used in customer accounting devices in district heating systems. 2005, p. 4.
91. Gedgaudas M., Šležas A., Kvedarauskas J., Tuomas E. Šilumos tiekimas. Kaunas: Aušra, 1992, p. 61–87.

92. Stankevičius V., Karbauskaitė J. Gyvenamųjų namų šilumos nuostoliai. ISBN 9986-13-739-X. Kaunas: Technologija, 2000, p. 134–135.
93. Valstybinė kainų ir energetikos kontrolės komisija Dėl centralizuotos šilumos kainų taikymo, nustatant mokėjimus už patalpų šildymą ir karšto vandens tiekimą daugiabučio gyvenamojo namo butams tvarkos tvirtinimo. Nutarimas Nr. 85. Vilnius, 1999 spalio 19, p. 5.
94. Valstybinė kainų ir energetikos kontrolės komisija Dėl 1999 m. spalio 19 d. nutarimu Nr. 85 patvirtintos centralizuotos šilumos kainų taikymo, nustatant mokėjimus už patalpų šildymą ir karšto vandens tiekimą daugiabučio gyvenamojo namo butams, tvarkos dalinio pakeitimo. Vilnius. Nutarimas Nr. O3-75. 2003 m. spalio 28 d, p. 6.
95. Švenčianas P., Narbutas T. Šiluminė technika. Technologija, 1998, p. 124.
96. Lietuvos statistikos departamentas prie Lietuvos Respublikos vyriausybės. Statistika. Ūkis ir finansai (makroekonomika). BVP. 2006, 14 p.
97. Lietuvos statistikos metraštis 1996. Vilnius: Metodinis leidybinis centras, 1996, 11 p.
98. Lietuvos statistikos metraštis 1997. Vilnius: Metodinis leidybinis centras, 1997, 14 p.
99. Lietuvos statistikos metraštis 1998. Vilnius: Metodinis leidybinis centras, 1998, 12 p.
100. Lietuvos statistikos metraštis 1999. Vilnius: Metodinis leidybinis centras, 1999, 10 p.
101. Lietuvos statistikos metraštis 2000. Vilnius: Metodinis leidybinis centras, 2000, 9 p.
102. Lietuvos statistikos metraštis 2001. Vilnius: Metodinis leidybinis centras, 2001, 8 p.
103. Lietuvos statistikos metraštis 2002. Vilnius: Metodinis leidybinis centras, 2002, 12 p.
104. Lietuvos statistikos metraštis 2003. Vilnius: Metodinis leidybinis centras, 2003, 15 p.
105. Lietuvos statistikos metraštis 2004. Vilnius: Metodinis leidybinis centras, 2004, 14 p.
106. Lietuvos statistikos metraštis 2005. Vilnius: Metodinis leidybinis centras, 2005, 16 p.
107. Lisauskas A. Šilumos ūkio įmonių veiklos raidos tyrimas ir efektyvumo vertinimas. Kaunas: Lietuvos energetikos institutas, 2004, p. 23–24.
108. Grigonienė J., Kveselis V. Miesto gyvenamojo sektoriaus pastatų šilumos poreikių statistinė analizė. Pastatų aprūpinimas šiluma. 5-osios tarptautinės konferencijos „Aplinkos inžinerija“, įvykusios 2002 m. gegužės 23–24 d., moksliniai pranešimai. ISBN 9986-05-525-3. Vilnius: Technika, 2002, p. 47.
109. LR Ūkio ministerija. Pastatų karšto vandens sistemų įrengimo taisyklės. 2005 m. birželio 28 d. įsakymas Nr. 4-253. Vilnius: Rekona, 2005, p. 5–9, 14–15.

Kiti šaltiniai

110. Lietuvos šilumos tiekėjų asociacija. Centralizuoto šilumos tiekimo istorija. 2006 m. <http://www.lsta.lt>.

111. Legionella pneumophila vaizdas, padidintas 10^6 kartų. 2006 m. http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/3/32/EscherichiaColi_NIAID.jpg
112. Valstybinė kainų ir energetikos kontrolės komisija. Darbo reglamentas. 2006 m. <http://www.regula.is.lt>.
113. Valstybinė energetikos inspekcija. Pagrindinės funkcijos. Istorija. 2006 m. <http://www.vei.lt>.
114. Nuotolinė duomenų perdavimo sistema Rubisafe. 2006 m. <http://www.rubisafe.lt>.
115. Normalinio pasiskirstymo dėsnis. 2006 m. <http://mathworld.wolfram.com/NormalDistribution.html>.

Disertacijos tema autoriaus paskelbtų straipsnių sąrašas

- 1A. Savickas R., Skrinska A. Legionella pneumophila rizikos įvertinimo analizė karšto vandens tiekimo sistemoje su nuolatine cirkuliacija. Energetika. ISSN 0235-7208. Vilnius: Lietuvos mokslų akademija, 2006, nr. 2, p. 57–62.
- 2A. Savickas R., Skrinska A. Karšto vandens vartojimo netolygumo tikimybinė analizė. Energetika. ISSN 0235-720. Vilnius: Lietuvos mokslų akademija, 2006, nr. 4, p. 50–58.
- 3A. Savickas R., Skrinska A. Daugiabučių gyvenamųjų pastatų karšto vandens apskaitos efektyvumas bei vartojimo neapibrėžtumo analizė. Energetika. ISSN 0235-720. Vilnius: Lietuvos mokslų akademija, (priimta spausdinimui).
- 4A. Savickas R. Šilumos sistemų valdymas ir priežiūra naudojant „Rubisafe“ nuotolinę duomenų perdavimo sistemą. Respublikinė konferencija „Inžinerinės sistemos“, Konferencijos, įvykusios 2004 m. vasario 27 d. Vilniaus Gedimino technikos universitete, medžiaga (ISBN 9986-05-712–4). Vilnius: Technika, 2004, p. 66–69.
- 5A. Savickas R. Šiluminės energijos sąnaudų karštam vandeniui ruošti tendencijų nustatymas. Doktorantų ir jaunųjų mokslininkų konferencija „Jaunoji energetika 2006“. Konferencijos, įvykusios 2006 m. birželio 8 d., medžiaga (ISBN 9986-492-92-0), 8 psl., CD–rom (ISBN 9986-492-91-2). Kaunas: Lietuvos energetikos institutas, 2006.