

Nestacionarios pastato šiluminės būklės įtaka patalpų šilumos poreikiams

Kęstutis Valančius,

Vytautas Stankevičius

Kauno technologijos universitetas,

Statybinių medžiagų katedra,

Studentų g. 48, LT-51367 Kaunas

El. paštas: kestitis.valancius@ap.vgtu.lt;

v.stankevicius@ktu.lt

Straipsnyje pristatomas vienas galimų nestacionarių šilumos procesų pastatuose sprendimo būdų, panaudojant pastato aktyviosios šiluminės talpos sampratą. Apibūdinama aktyviosios šiluminės talpos ir protarpinio šildymo efekto įtaka patalpų mikroklimatui bei šilumos poreikiams.

Raktažodžiai: pastatas, nestacionarieji šilumos mainai, aktyvioji šiluminė talpa, mikroklimatas, šilumos poreikiai, protarpinis (periodinis) šildymas

1. ĮVADAS

Eksplotacijos sąlygomis šilumos mainų procesai pastatuose visada yra nestacionarūs. Praktiniams šilumos perdavimo procesų pastatuose skaičiavimams dažniausiai naudojamos metodikos pagrįstos stacionarių procesų lygtimis. Kaip rodo natūriniai stebėjimai ir teoriniai tyrimai, nors ir esant pažangiam šiuo metu mikroklimato sistemų (MKS) valdymui, dažnai stebimi nepažeidjami patalpų šiluminės būklės pokyčiai, kurie neigiamai veikia patalpų šiluminį komfortą, sąlygoja kartais žymų neatitinkimą tarp realių ir skaičiuotųjų pastato energijos poreikių.

Neįvertinus pastato nestacionarios šiluminės būklės neįmanoma palaikyti pastovias šiluminio komforto sąlygas ir efektyviai jame naudoti šiluminę energiją. Dažnai, ypač pastato eksploatavimo metu, pastebima ir neracionaliai instaliuota šiluminė galia, t. y. neįvertinus šilumos pritekėjimų kartais ji esti pernelyg didelė, kita vertus, taikant protarpinį šildymą ji nepakankama norimam patalpų prisildymui. Dėl šių priežasčių dažnai pasitaiko atvejų, kai pastatai yra neracionaliai eksploatuojami, patalpų mikroklimato sąlygos neatitinka higienos reikalavimų, o energija taupoma kartais žmonių sveikatos sąskaita.

Problemą lemia veiksniai, turintys įtakos nestacionariam pastato šiluminei būklei, o jos sprendimas susideda iš šių veiksnių identifikavimo ir kiekybinio įvertinimo. Tai leistų numatyti ir sumažinti nepažeidjamą minėtų veiksnių įtaką pastato šiluminiam komfortui ir energijos sąnaudoms.

2. TEORINIAI ASPEKTAI

Logiškai išplaukiantis nestacionarių šilumos mainų uždavinių sprendimas yra paremtas termodinamikos dėsniais, o dar tiksliau sukonkrečius – energijos tvermės dėsnio uždaram tūriui pagrindu.

Termodinamikos ir šilumos mainų mokslai yra labai glaudžiai susiję tarpusavyje. Šilumos mainus, kadangi jie nagrinėja

pernešamą šilumos kiekį, galima apibrėžti kaip termodinamikos mokslo sudėtinę dalį. Kita vertus, daugeliui šilumos mainų uždavinių pirmas termodinamikos dėsnis (energijos tvermės dėsnis uždaram tūriui) dažnai yra vienintelis sprendimo būdas [1]. Taigi remiantis minėtu dėsniu bet kuriuo laiko momentu turi būti šiluminės energijos srautų apibrėžtoje sistemoje balansas, išreikštas J/s (W). Jei priimamas laiko intervalas Δt (s), tada balansas aprašomas energijos kiekiais (J) sistemoje.

Bendruoju atveju stacionariomis sąlygomis:

$$\dot{E}_{in} + \dot{E}_g - \dot{E}_{out} = \frac{dE_{st}}{dt} \equiv \dot{E}_{st}. \quad (1)$$

Nestacionariomis sąlygomis:

$$E_{in} + E_g - E_{out} = \Delta E_{st}; \quad (2)$$

čia E_{in} , E_g , E_{out} , ΔE_{st} – atitinkamai įeinanti, sugeneruota (paprastai lygi 0), išeinanti ir sukaupta energijos.

Papildant žinomą šiluminių ryšių pastate schemą [2, 3] ir aprašant ją energijos tvermės dėsniu uždaram tūriui pagrindu, sudaromas šiluminės energijos srautų balansas (1 pav.). Tokiu būdu nustatomi šiluminiai atskirų apibrėžtų sistemų ryšiai ir, bet kuriuo laiko momentu sudarant energijos balansą, apskaičiuojami ieškomi dydžiai [4].

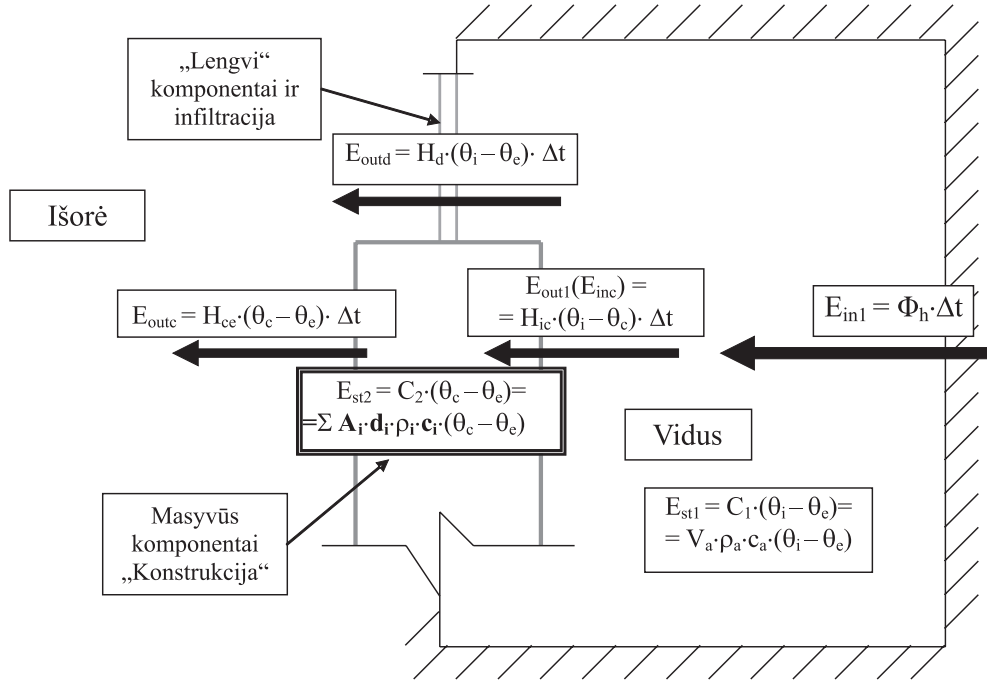
Energijos balansas sudaromas tarp dviejų termodinamiškai susijusių sistemų, sąlyginai pavadintų „vidus“ bei „konstrukcija“, su įeinančios, išeinančios bei sukauptos energijos kiekiais.

Įeinančios energijos į sistemą „vidus“ išraiška:

$$E_{in1} = \Phi_h \cdot \Delta t; \quad (3)$$

čia Φ_h – patalpų šildymo galia (W), Δt – pasirinktas laiko žingsnis (s).

Išeinančios energijos iš sistemos „vidus“ (įeinančios į sistemą „konstrukcija“) išraiška:



1 pav. Šiluminės energijos srautų balanso schema pastatui

$$E_{outl}(E_{inc}) = H_{ic} \cdot (\theta_i - \theta_c) \cdot \Delta t; \quad (4)$$

čia H_{ic} – savitieji šilumos nuostoliai iš patalpos oro į „konstrukciją“ (W/K), θ_i , θ_c – atitinkamai vidaus oro ir „konstrukcijos“ temperatūros (°C).

Tiesiogiai išeinanti energija (per lengvus pastato komponentus bei infiltracijos būdu) iš sistemos „vidus“ į išorę:

$$E_{outd} = H_d \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot \Delta t; \quad (5)$$

čia H_d – savitieji šilumos nuostoliai per lengvus pastato komponentus bei dėl infiltracijos, θ_e – išorės oro temperatūra (°C).

Išeinanti energija iš sistemos „konstrukcija“ į išorę:

$$E_{outc} = H_{ce} \cdot (\theta_c - \theta_e) \cdot \Delta t; \quad (6)$$

čia H_{ce} – savitieji šilumos nuostoliai iš „konstrukcijos“ į išorinę aplinką (W/K).

„Viduje“ sukaupta energija:

$$E_{st1} = C_1 \cdot (\theta_i - \theta_e); \quad (7)$$

„Konstrukcijoje“ sukaupta energija:

$$E_{st2} = C_2 \cdot (\theta_c - \theta_e); \quad (8)$$

Čia vidaus oro šiluminė talpa:

$$C_1 = V_a \cdot \rho_a \cdot c_a; \quad (9)$$

čia V_a , ρ_a , c_a – atitinkamai vidaus oro tūris (m³), tankis (kg/m³) ir savitoji šiluma (J/kg · K).

Bendroji aktyvioji „konstrukcijos“ šiluminė talpa:

$$C_2 = \sum_{i=1}^n A_i \cdot d_i \cdot \rho_i \cdot c_i; \quad (10)$$

čia A_i – masyvių atitvarų plotas (m²), d_i – atitvaros storis (aktyvusis) (m), ρ_i , c_i – atitinkamai atitvaros medžiagos(-ų) tankis (kg/m³) ir savitoji šiluma (J/kg · K).

Laiko žingsnis Δt (s) parenkamas, kai

$$Fo_{\Delta} = \frac{d_i^2 c_i \rho_i}{2\lambda_i} < \frac{1}{2}; \quad (11)$$

čia λ_i – medžiagos(-ų) šilumos laidumo koeficientas (W/m · K). Pradiniu laiko momentu išorės temperatūra $\theta_e = const$.

Tada abiejų sistemų energijos balansai per pasirinktą laiko žingsnį:

$$E_{inl} - E_{outl} - E_{outd} = \Delta E_{st1}; \quad (12)$$

$$E_{inc} - E_{outc} = \Delta E_{st2}; \quad (13)$$

Sukauptos energijos pokyčiai ΔE_{st1} ir ΔE_{st2} lygūs nuliui esant stacionarioms sąlygoms.

Remiantis (12) ir (13) formulėmis išreiškiamas temperatūrų pokytis nestacionariomis sąlygomis po pasirinkto laiko žingsnio Δt :

Vidaus oro temperatūros pokytis po laiko žingsnio Δt :

$$\theta_i(\Delta t) = \frac{E_{st1} + \Delta E_{st1}}{C_1} + \theta_e = \theta_i + \frac{[\Phi - H_{ic} \cdot (\theta_i - \theta_e) - H_d \cdot (\theta_i - \theta_e)] \cdot \Delta t}{C_1}; \quad (14)$$

„Konstrukcijos“ temperatūros pokytis pakitus vidaus oro temperatūrai ir po laiko žingsnio Δt :

$$\theta_c(\Delta t) = \frac{E_{st2} + \Delta E_{st2}}{C_2} + \theta_e = \theta_c + \frac{[H_{ic} \cdot (\theta_i - \theta_e) - H_{ce} \cdot (\theta_c - \theta_e)] \cdot \Delta t}{C_2}; \quad (15)$$

3. NESTACIONARAUS ŠILUMINIO PROCESO PASTATE TYRIMAS

Tiriamąjį objektą duomenys: šildomas plotas – 9144 m², šildomas tūris – 30176 m³, norminė skaičiuojamoji vidaus temperatūra – +20°C, norminė skaičiuojamoji išorės temperatūra – –23°C, temperatūra sumažinto šildymo režimo metu – +17°C.

Šiuose skaičiavimuose priimta, kad pastato atitvaros atitinka šiuolaikinius techninius reglamentus, todėl savitieji pastato šilumos nuostoliai sudaro 9395 W/K, lyginamieji šilumos nuostoliai – 44W/m², sumažinto šildymo laikas per parą – 10 val., išorės skaičiuojama temperatūra – –0,7°C (šildymo sezono vidutinė temperatūra), o konstrukcijos charakteristikos: $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$; $c = 8400 \text{ J/kgK}$; $A = 5036 \text{ m}^2$.

Taip pat, remiantis ankstesniais tyrimais [5, 6], aktyvusis atitvarų sluoksnio storis $d_{\text{aktyvusis}} = 0,05 \text{ m}$.

Rezultatai gauti modeliuojant kompiuterine skaičiuokle Microsoft Excel taikant baigtinių skirtumų metodą bei pasirinkus laiko žingsnį $\Delta t = 6 \text{ min}$.

Toliau pateikiami šios analizės rezultatai. Paveiksluose nurodoma sutaupyta šilumos dalis kWh. Dydžiu Δ žymima papildoma pastato šiluminė galia, norint per atitinkamą laiką – 2 valandas – „atstatyti“ norminę vidaus oro temperatūrą.

Kad nesumažinto šildymo periodu (darbo valandomis) būtų palaikoma pastovi vidaus oro temperatūra, skaičiavimuose priimta, jog pastato šilumos šaltinis „reaguoja“ į vidaus oro temperatūros daviklį. Šitaip papildomas šilumos kiekis gali būti sutaupytas palaikant pastovią vidaus oro temperatūrą ir sumažinto šildymo periodu. Būtent toks šildymo sistemos valdymo būdas yra priimtas tolesniuose skaičiavimuose. Praktikoje toks šildymo sistemos veikimas yra galimas tik naudojant modernius valdymo įtaisus.

Toliau pateikiami pastato protarpinio šildymo analizės rezultatai, kai aktyvioji („konstrukcijos“) šiluminė talpa:

$$1) C_2 = \sum \chi_j A_j = \sum_j \sum_i \rho_{ij} c_{ij} d_{ij} A_j = 2,1 \text{ GJ/K}; d_{\text{aktyvusis}} = 0,05 \text{ m.}$$

$$2) C_2 = \sum \chi_j A_j = \sum_j \sum_i \rho_{ij} c_{ij} d_{ij} A_j = 1,1 \text{ GJ/K}; d_{\text{aktyvusis}} = 0,025 \text{ m.}$$

t. y. priimama, kad pastatas yra 2 kartus mažesnis.

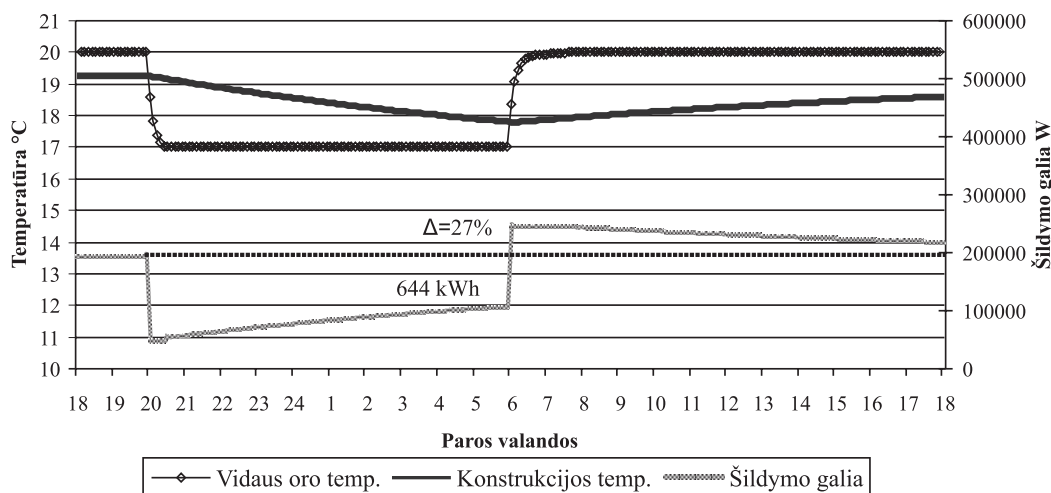
$$3) C_2 = \sum \chi_j A_j = \sum_j \sum_i \rho_{ij} c_{ij} d_{ij} A_j = 0,2 \text{ GJ/K}; d_{\text{aktyvusis}} = 0,005 \text{ m.}$$

Šiuo atveju priimamas „lengvas“ pastatas, išivaizduojant šiuolaikinius stiklo išorinių atitvarų pastatus (2, 3 pav.).

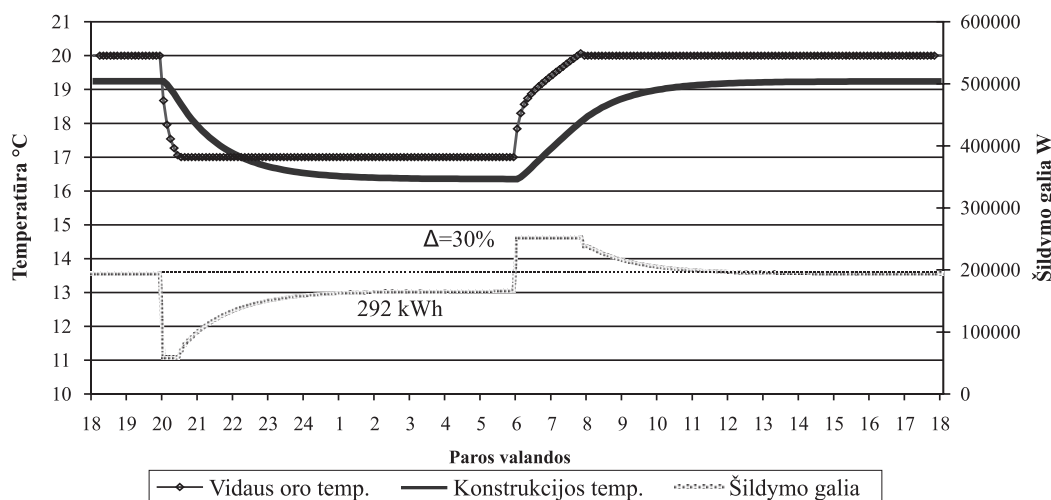
Akivaizdu, kad didžioji pastato aktyviosios šiluminės talpos dalis yra sukaupta masyviose išorės atitvarose.

Esant 2 kartus mažesnei pastato aktyviajai talpai sumažėja sutaupyta šilumos kiekis bei padidėja reikiama papildoma šilumos galia.

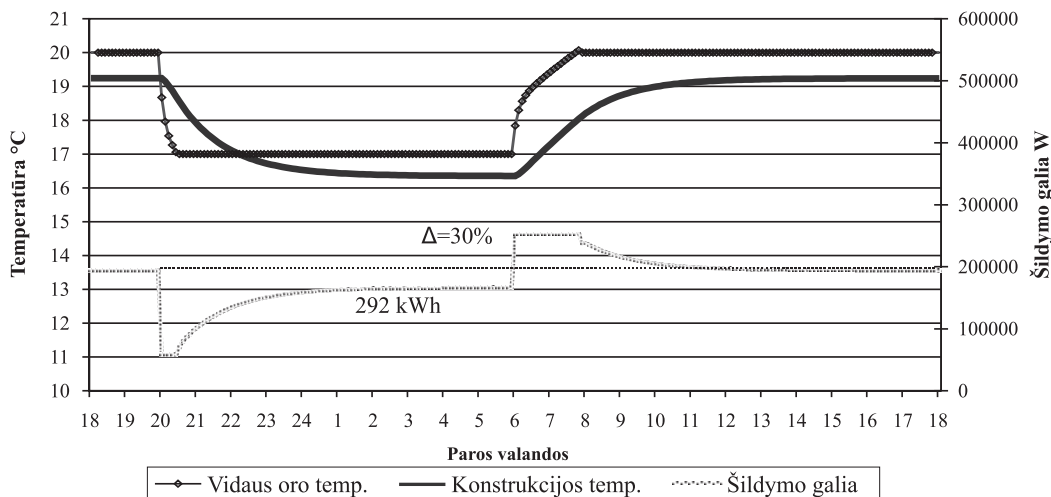
Naudojant protarpinį šildymo režimą nemasyviame pastate (4 pav.) sutaupyta šilumos kiekis yra daugiau nei 2 kartus



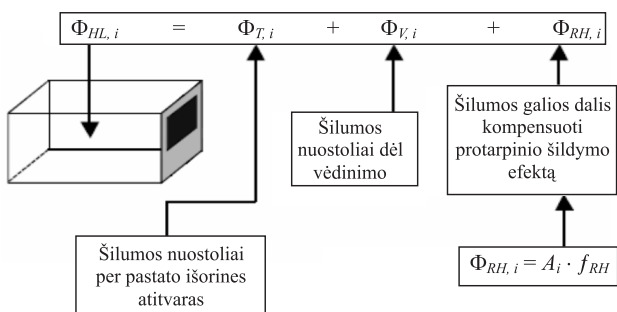
2 pav. Sumažintos šildymo galios būklė palaikant 3°C žemesnę temperatūrą ne darbo metu ir per 2 valandas „atstatant“ norminę vidaus oro temperatūrą; $d_{\text{aktyvusis}} = 0,05 \text{ m}$



3 pav. Sumažintos šildymo galios būklė palaikant 3°C žemesnę temperatūrą ne darbo metu ir per 2 valandas „atstatant“ norminę vidaus oro temperatūrą; $d_{\text{aktyvusis}} = 0,025 \text{ m}$



4 pav. Sumažintos šildymo galios būklė palaikant 3°C žemesnę temperatūrą ne darbo metu ir per 2 valandas „atstatant“ norminę vidaus oro temperatūrą; $d_{aktyvusis} = 0,005$ m



5 pav. Prof. Klausio Sommerio metodikos schema patalpų šildymo galiai nustatyti. Čia A_i – patalpos(-ų) šildomas plotas m^2 ; f_{RH} – „pašildymo“ veiksnys W/m^2

mažesnis, nei masyvaus pastato atveju (2 pav.), dėl išorinių ativarų spartaus atvėsimo.

Bene paprasčiausią būdą apskaičiuoti pastato šildymo galios padidėjimą (dalį) siūlo prof. Klausas Sommeris [7] (5 pav.). Pažymėtina, kad nors ši metodika yra įtraukta į Europos stan-

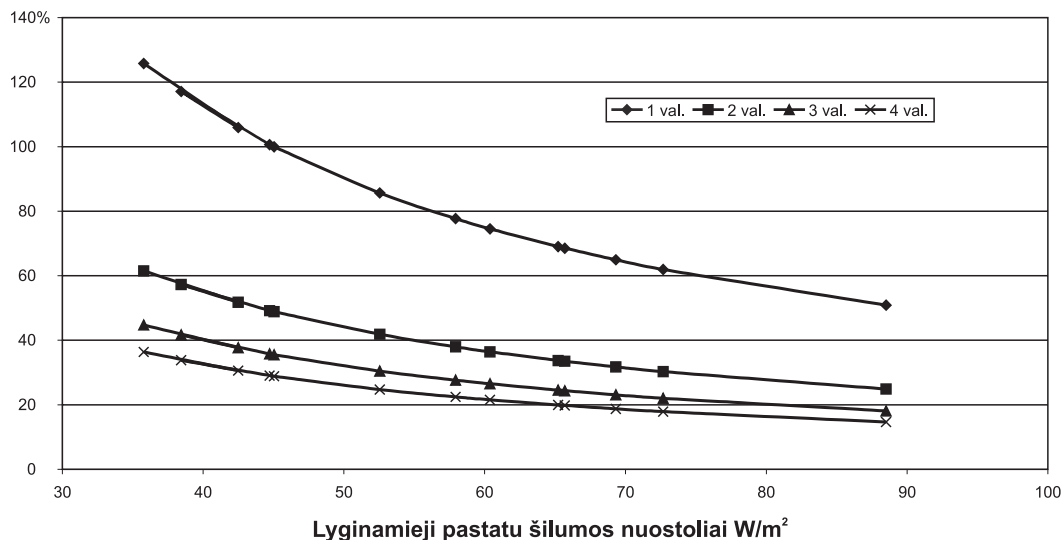
dartą EN ISO 12831 [8], autoriaus teigimu, jis daugiausia vadovosi savo praktiniais stebėjimais.

„Pašildymo“ veiksnys f_{RH} kinta nuo 2 iki 45 (W/m^2) ir priklauso nuo reikalingo panaikinti temperatūrų skirtumo ir patalpos priešildymo iki norminės temperatūros laiko [8].

6 paveiksle pateikiama šiluminės galios (%) padidėjimas panaikinant 3K temperatūros skirtumą pastatams su skirtingais lyginamaisiais šilumos nuostoliais, priimtais pagal vidutinius ribinius pastatų savituosius šilumos nuostolius.

Papildoma šiluminė galia, reikalinga panaikinti protarpinio (periodinio) šildymo būklės efektą, didėja mažėjant lyginamiesiems pastato nuostoliams. Šis šiluminės galios poreikis kinta nuo 18 iki 125% ir priklauso nuo vidaus oro temperatūros „atstatymo“ iki projektinės laiko. Pagal šiuos (6 pav.) rezultatus, tiriamojo pastato šildymo būklės atveju, kai pastato lyginamieji šilumos nuostoliai lygūs $44 W/m^2$ ir 3K temperatūrų skirtumas panaikinamas per 2 valandas, reikiamas papildomos galios poreikis yra apie 50%.

Būtina akcentuoti, kad esamiems pastatams, ypač gaunantiems šilumą iš šilumos tinklų, kurie neturi šiluminės galios „atsargos“, minėtas šilumos taupymo būdas yra nepriimtinas.



6 pav. Pastato šiluminės galios padidėjimas panaikinant 3K temperatūros skirtumą, atsižvelgus į lyginamuosius pastato šilumos nuostolius

4. IŠVADOS

1. Naujai projektuojamiems ir esamiems pastatams turi būti atlikta nuodugni protarpinio šildymo naudojimo galimybės bei kitų nestacionarių šiluminių veiksnių įtakos analizė. Nestacionarių šilumos mainų uždaviniui spręsti siūloma naudoti energijos tvermės dėsnį uždaram tūriui, pavartojant aktyviosios šiluminės talpos sąvoką ir priimant aktyvųjį sluoksnio storį kaip nekintamą dydį.

2. Nustatyta, kad naudojant protarpinį patalpų šildymą, norint pasiekti komfortinę vidaus oro temperatūrą per nustatytą laiką, be vidinių šilumos pritekėjimų įtakos, visada reikia padidintos patalpų šildymo galios. Šiluminės galios padidėjimas dėl protarpinio šildymo, atsižvelgus į temperatūrų perkričio ir komfortinės temperatūros „atstatymo“ laiką skirtingiems pastatams, gali kisti nuo 18 iki 125%. Todėl skaičiuotinos šiluminės galios padidėjimas dėl protarpinio šildymo įtakos turi būti optimaliai parenkamas atsižvelgiant į galimus energijos sutaupymus bei investicijų dydį.

Gauta 2007 12 20

Priimta 2008 01 16

Literatūra

1. Incropera F. P., DeWitt D. P., Introduction to Heat Transfer. Third Edition. New York: Wiley, 1996. P. 12–41.
2. EN ISO 13790:2004. Thermal Performance of Buildings – Calculation of Energy Use for Space Heating. Sweden, 2004. P. 10–31.
3. EN 832:2000. Thermal Performance of Buildings – Calculation of Energy Use for Space Heating. Brussels, Belgium, 2000. P. 33–39.
4. Valancius K., Paulauskaite S. Energy conservation law appliance for intermittent heating analysis // The 6th International Conference “Energy for Buildings” Proceedings. Vilnius: Technika, 2004. P. 540–547.
5. Паулаускайте С., Валанчюс К. Некоторые аспекты анализа нестационарных теплообменных процессов в здании // Теоретические основы теплогазоснабжения и

вентиляции. Сборник докладов. Москва: МГСУ, 2005. С. 57–60.

6. Valancius K., Skrinska A. K., Paulauskaitė S. Investigation of unsteady heat transfer process in an one-cell building // Journal of Civil Engineering and Management. 2006. Vol. 12. No. 1. P. 97–101.
7. Sommer K. The European method for calculation of design heat load // International HVAC+R Technology Symposium. Istanbul, 2002. P. 10.
8. EN 12831:2003. Heating Systems in Buildings. Method for Calculation of the Design Heat Load. Brussels. Belgium, 2003. P. 33, 73.

Kęstutis Valančius, Vytautas Stankevičius

INFLUENCE OF UNSTEADY THERMAL REGIME OF A BUILDING ON ENERGY DEMAND IN PREMISES

Summary

The paper presents one of the methods of solving unsteady heat transfer problems in buildings, based on the active heat capacity conception. The influence of active heat capacity and the intermittent heating effect on the microclimate in premises and thermal energy consumption were estimated.

Key words: building, unsteady heat transfer, active heat capacity, microclimate, energy use, intermittent heating

Кястутис Валанчюс, Витаутас Станкявичюс

ВЛИЯНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ЗДАНИЯ НА ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЕ В ПОМЕЩЕНИЯХ

Резюме

Представлен один из способов решений задач нестационарной теплопередачи в здании, применяя понятие активной теплоемкости. Установлено влияние активной теплоемкости здания и периодического отопления на микроклимат и теплотребление в помещениях.

Ключевые слова: здание, нестационарная теплопередача, активная теплоемкость, микроклимат, теплотребление, периодическое отопление