

# THE ANALYSIS OF UNFIXED BALANCE IN THERMAL EXCHANGE

J. Juodvalkis PhD , E. Blaževičius PhD & R. A. Vipartas

To cite this article: J. Juodvalkis PhD , E. Blaževičius PhD & R. A. Vipartas (2000) THE ANALYSIS OF UNFIXED BALANCE IN THERMAL EXCHANGE, *Statyba*, 6:1, 32-38, DOI: [10.1080/13921525.2000.10531561](https://doi.org/10.1080/13921525.2000.10531561)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/13921525.2000.10531561>



Published online: 26 Jul 2012.



Submit your article to this journal [↗](#)



Article views: 50



Citing articles: 1 View citing articles [↗](#)

---

## NESTACIONARIŲ ŠILUMOS MAINŲ PASTATUOSE BALANSO ANALIZĖ

J. Juodvalkis, E. Blaževičius, R. A. Vipartas

### 1. Įvadas

Praktiniuose pastatų energetinio įvertinimo skaičiavimuose laikoma, kad pastato šilumos mainų su aplinka kiekybinius santykius lemia tik atitvarinių pastato konstrukcijų šiluminė varža.

Pageidaujama temperatūra patalpose gaunama, kai išyla ne tik šildymo prietaisai, bet ir pastato konstrukcijos bei patalpose esantys kiti objektai, t. y. kai tam tikrą šilumos kiekį akumuliuoja pats pastatas. Pasikeitus lauko oro arba šildymo prietaisų temperatūrai, kinta ir pastato konstrukcijų, ir vidaus objektų temperatūros, t. y. šiluma patalpos viduje migruoja. Nuo šios šilumos migracijos priklauso, kaip intensyviai šiluma atiduodama į aplinką.

Šiame straipsnyje kalbama apie tai, ar racionaliai panaudojama pastatų šiluminė inercija. Žinoma, kad reguliuojant oro temperatūrą patalpose pagal sudarytus paros, savaitės, sezono temperatūrinius grafikus galima sutaupyti iki 20% energijos, reikalingos pastatams šildyti, palyginti su pastovios patalpų oro temperatūros palaikymo atveju. Šilumą galima taupyti didinant atitvarų šiluminę varžą arba įrengiant šiluminio režimo valdymo sistemas. Apčiuopiamų šilumos taupymo rezultatų galima pasiekti tik tinkamai suderinus pastatų konstrukcinius sprendimus su šildymo sistemų tipais ir galia, įvertinant nestacionarinį šilumos mainų pobūdį.

Ypatingą dėmesį tektų atkreipti į pramoninius pastatus, kurių tolesnė eksploatacija nepakeitus esminių energetinių charakteristikų neapsimoka.

Rengiant pastatų renovacijos projektus reikia atlikti visapusišką energetinių pastato savybių analizę ir parinkti optimalų projekto variantą.

Šiuo metu pastatų renovacijos tendencija yra vienpusiška – didinama atitvarinių konstrukcijų šiluminė varža, bet neatsižvelgiama į patalpų temperatūros reguliavimo galimybes.

### 2. Metodika

Siūlomoji metodika pastatą nagrinėja kaip heterogeninį kūną, kurio  $\infty > Bi > 0$ . Šilumos mainams tarp šio kūno elementų ir aplinkos imamos 3-ios rūšies ribinės sąlygos. Pastato šilumos balanso lygtis gali būti diferencialinė:

$$\frac{dT}{dt} + \mu_s \frac{d\theta}{d\tau} + \mu_1 \frac{dt_1}{d\tau} + \dots + \mu_n \frac{dt_n}{d\tau} + m_a T + m_1 t_1 + \dots + m_n t_n = k, \quad (1)$$

čia  $T$  – apibendrinta šilumos šaltinio temperatūra, K;  $\theta$  – patalpos oro apibendrinta temperatūra, K;  $t_1, \dots, t_n$  – pastato atitvarinių elementų (sienų, durų, langų ir t. t.) apibendrintos temperatūros, K;  $\mu$  – dydis, rodantis, kurią akumuliuotos šilumos dalį sudaro kiekvienas nagrinėjamas kūnas (pastato elementas) šilumą atiduodančio kūno (šilumos šaltinio) atžvilgiu, esant vieno laipsnio temperatūrų skirtumui, t. y. kūno šiluminės inercijos rodiklis (bevardis „masyvumas“);  $m_a$  – šilumos šaltinio aušimo greitis, 1/s;  $m_1, \dots, m_n$  – šilumos šaltinio aušimo greitis, jei jo šilumos atidavimo intensyvumas būtų lygus nagrinėjamo kūno šilumos atidavimo intensyvumui, 1/s;  $k$  – šilumos šaltinio kaitimo intensyvumas, K/s;  $\tau$  – laikas, s.

Šios balanso lygties sprendimo rezultatas yra kiekvieno heterogeninio kūno elemento temperatūros kitimo dėsnio nustatymas:

$$T = f_a(\tau); \theta = f_s(\tau); t_1 = f_1(\tau); t_n = f_n(\tau). \quad (2)$$

Šio uždavinio sprendimas buvo suformuluotas remiantis [1–7].

Heterogeninio kūno, susidedančio iš baigtinio elementų skaičiaus, komponentus galima sugrupuoti į tris pagrindines grupes: šilumos šaltinis (šildymo sistema), vidaus konstrukcijos bei vidaus įranga ir atitvarinės konstrukcijos. Pastato nevienalytes atitvarines konstrukcijas, susidedančias iš baigtinio elementų skaičiaus, pagal žinomą metodiką galima pakeisti ekvivalentiniu vienalyčiu

kūnu, turinčiu, kaip matyti iš lygybės, ekvivalentines šilumines savybes:

$$\bar{\alpha}F(\vartheta - t) = \sum \bar{\alpha}_{in}F_i(\vartheta - t_i), \quad i = 1, \dots, n, \quad (3)$$

kur

$$t = \frac{\sum V_i \rho_i c_i t_i}{\sum V_i \rho_i c_i}, \quad i = 1, \dots, n, \quad (4)$$

čia  $\bar{\alpha}$  – redukuotos šilumos atidavimo koeficientas;  $F$  – konstrukcijos, elemento, šildymo prietaiso plotas, per kurį vyksta šilumos mainai,  $m^2$ ;  $t$  – apibendrinta išorinių pastato atitvarų temperatūra K;  $V_i \rho_i c_i$  – atskirų išorinės pastato sienos elementų entalpija, kJ/K;  $t_i$  – apibendrinto kiekvieno išorės pastato sienos elemento temperatūra, K.

Tuomet pastato šilumos balanso lygtį galima išreikšti lygčių sistema:

$$\begin{cases} \frac{dT}{d\tau} = k - m_a(T - \vartheta) \\ \frac{d\vartheta}{d\tau} = \frac{1}{\mu_s} [m_a(T - \vartheta) - \mu_1 m_1(\vartheta - t)] \\ \frac{dt}{d\tau} = m_1(\vartheta - t) - m_{il}(t - t_o) \\ t_o = U \sin \frac{\pi}{V} \tau. \end{cases} \quad (5)$$

Pastato nestacionarių šilumos mainų balansinėje lygčių sistemoje yra įvertinti šie veiksniai:

- šilumos šaltinio galia, jo šilumos talpa, šilumos atidavimo intensyvumas;
- pastato vidaus konstrukcijų (vidaus įrangos bei pertvarų), vidaus oro šilumos imlumas, šilumos mainų intensyvumas;
- pastato išorės atitvarų šiluminė varža, šilumos imlumas, šilumos mainų su lauko oru intensyvumas.

Išsprendus šią lygčių sistemą, galima nustatyti šiuos parametrus:

- kokia šildymo sistema yra tinkamiausia energetiniu požiūriu (orinė, vandens, akumuliacinė ir pan.);
- kokios patalpų oro temperatūros reguliavimo galimybės;
- kokia optimali šilumos šaltinio galia;
- koks turi būti šilumos šaltinio darbo režimas;
- kokią įtaką pastato šiluminiam režimui ir energijos sąnaudoms turi vienokios arba kitokios statybinių konstrukcijų medžiagos;
- kokią įtaką pastato energetinei charakteristikai turi sluoksnių išdėstymo tvarka atitvarose, šilumos atidavimo į aplinką intensyvumas – vėjo įtaka.

### 3. Pastatų šilumos balanso analizė

#### 3.1. Patalpų šiluminio komforto įvertinimas

Gamybinėse, visuomeninės paskirties bei gyvenamosiose patalpose oro temperatūra yra reglamentuojama normatyviniais dokumentais. Tačiau dažnai leidžiama keisti vidaus oro temperatūrą per parą, savaitę, sezoną. Iš patirties žinome, kad staigus oro temperatūros pakeitimas patalpose be papildomų energijos sąnaudų yra neįmanomas. Ši metodika leidžia tiksliai nustatyti, koku greičiu vyksta oro temperatūros svyravimai patalpose, reguliuojant šilumos šaltinio darbo režimą.

Pastato įšilimo ir aušimo greitis

$$m = \frac{\bar{\alpha}_{is}F}{\sum V_i \rho_i c_i} - 1 / \text{sek} \quad (6)$$

nepriklauso nuo šaltinio galios. Dydis  $\bar{\alpha}_{is}F$  W/K reiškia pastato šilumos nuostolius, tenkančius vienam laipsniui temperatūrų skirtumo;  $\sum V_i \rho_i c_i$  – pastato entalpija, J/K. Kadangi pastatų šiluminė varža yra reglamentuojama normatyviniais dokumentais, tai dydis  $\bar{\alpha}_{is}F$  gali būti mažinamas. Norint keisti vadinamąją „šiluminę inerciją“, tenka operuoti dydžiu  $\sum V_i \rho_i c_i$  – pastato entalpija.

Kuo didesnis pastato šilimo ir aušimo greitis, t. y. kuo lengvesnės pastato konstrukcijos, tuo pastato šiluminis režimas bus lengviau reguliuojamas.

1 pav. pateiktas patalpoje pageidautinos temperatūros grafikas (a b c d e f) ir faktinės temperatūros kreivė  $\vartheta = f(\tau)$ . Užbrūkšniuoti plotai, rodo, kiek patalpos temperatūra nukrypsta nuo pageidautinų sąlygų per parą. Patalpos oro temperatūros reikšmės, esančios virš pageidautinos temperatūros grafiko, rodo patalpos perkaitinimą, o esančios žemiau šio grafiko – patalpos neprišildymą. Nurodyta patalpos temperatūra būna tik tam tikrais momentais (taškai 1, 2, 3, 4).

Grafike pavaizduotos pageidautinos temperatūros laužtinės linijos (a b c d e f) ir išorės oro temperatūros linijos  $t_{sk}$  apribotas plotas yra proporcingas skaičiuotiniams patalpos šilumos nuostoliams. Faktinė temperatūros kitimo kreivė  $\vartheta = f(\tau)$  su abscise  $t_{sk}$  apriboja plotą  $S_g$ , proporcingą faktiniams šilumos nuostoliams. Ši kreivė yra sudarytų diferencialinių lygčių sprendimo rezultatas atitinkamomis ribinėmis sąlygomis. Jei plotas

$$S_g \int_0^{24} \vartheta d\tau, \quad \text{Kh}, \quad (7)$$

tai patalpa per parą yra neprišildoma. Jei plotas

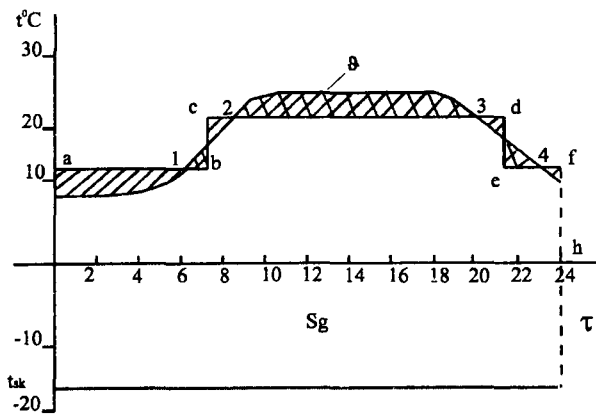
$$S_g \left( \int_0^{24} \vartheta d\tau, Kh, \right) \quad (8)$$

tai patalpa yra perkaitinta.

Iš perkaitinimo, ir neprišildymo atvejais nukrypstanta nuo pageidautinų terminio komforto sąlygų. 1 pav. užbrūkšniuoti plotai tarp pageidautino grafiko linijos ir faktinės oro temperatūros kreivės bus proporcingi neoptimaliai komforto požiūriu panaudotam šilumos kiekiui. Santykis

$$\eta = \frac{S_g}{S_g + S_d} \quad (9)$$

apibūdins nukrypimą nuo komfortinių sąlygų.



1 pav. Patalpų oro temperatūros grafikas, esant nustatytam patalpų temperatūros režimui

Fig 1. Temperature chart of air in premises of suggested thermal regime

Patalpos perkaitinimui sunaudota šiluma per parą:

$$Q_p = \frac{\bar{\alpha}_v \cdot \bar{\alpha}_{i\bar{s}}}{\bar{\alpha}_v + \bar{\alpha}_{i\bar{s}}} \cdot \frac{FS_p}{1000} \quad \text{kWh.} \quad (10)$$

Šilumos deficitas patalpose:

$$Q_n = \frac{\bar{\alpha}_v \cdot \bar{\alpha}_{i\bar{s}}}{\bar{\alpha}_v + \bar{\alpha}_{i\bar{s}}} \cdot \frac{FS_n}{1000} \quad \text{kWh.} \quad (11)$$

Bendras neracionaliai panaudotos šilumos kiekis:

$$Q_d = Q_p + Q_n, \quad \text{kWh.} \quad (12)$$

### 3.2. Vėjo poveikio ir infiltruojamo oro įvertinimas

Labai dažnai kyla klausimas, kaip įvertinti vėjo įtaką pastatų šiluminiam režimui. Vėjuotu oru pastebimai pasikeičia šilumos atidavimo koeficientas nuo atitvarų išorės išorinių paviršių (gali padidėti keliariopai) ir padidėja oro

infiltracija į patalpas. Kriterijaus dydis  $Bi$  padidėja, kartu pasikeičia ir pastato šilimo ir aušimo greitis  $m$  – lemiantis veiksnys nestacionarių šilumos mainų procese. Siūlomas nestacionarių šilumos mainų pastatuose skaičiavimo metodas leidžia tiksliai įvertinti vėjo įtakos absoliutinį dydį, t. y. šilumos nuostolių pasikeitimą.

Jei šilumos režimas yra stacionarus, tai galia, kurios reikia infiltruojamam orui pašildyti, nustatoma pagal žinomą išraišką:

$$N_i = \frac{1000}{3600} n_i V_o \rho_o c_o (\vartheta - t_o) W. \quad (13)$$

Jei šilumos mainų režimas yra kintamas, tai infiltruojamam orui pašildyti reikalinga galia yra kintamasis dydis. Todėl šilumos balanso lygtis gali būti išreiškia diferencialine forma:

$$dQ_i = \frac{1000}{3600} n_i V_o \rho_o c_o (\vartheta - t_o) d\tau J. \quad (14)$$

Bet kuriuo nagrinėjamu momentu infiltruojamam orui pašildyti reikalinga galia yra išreiškia:

$$\frac{dQ_i}{d\tau} = N_i = \frac{1000}{3600} n_i V_o \rho_o c_o (\vartheta - t_o) W, \quad (15)$$

čia  $N_i$  – galia, kurios reikia infiltruotam orui pašildyti,  $W$ ;  $n_i$  – oro pasikeitimo patalpoje dažnis,  $1/h$ ;  $n_i V_o$  – infiltruoto oro tūris,  $m^3/h$ ;  $\rho_o$  – infiltruoto oro tūrinė masė,  $kg/m^3$ ;  $c_o$  – infiltruoto oro specifinė šiluma,  $J/kgK$ ;  $\vartheta$  – patalpos oro apibendrinta temperatūra,  $K(^{\circ}C)$ ;  $t_o$  – išorės oro temperatūra,  $K(^{\circ}C)$ .

Bendruoju atveju ir vidaus oro temperatūra  $\vartheta$ , ir lauko oro temperatūra  $t_o$  yra nepastovios. Kintamasis dydis yra ir infiltruojamo oro pasikeitimų skaičius per valandą  $n_i$ .

Energijos sąnaudos infiltruojamam orui pašildyti tam tikram laikui gali būti apskaičiuojamos pagal išraišką:

$$Q_i = V_o \rho_o c_o \int_0^{\tau} n_i (\vartheta - t_o) d\tau \quad \text{kJ}, \quad (16)$$

čia  $\int_0^{\tau} n_i (\vartheta - t_o) d\tau$  – išreiškia plotą, apribotą dviejų temperatūrų kreivėmis,  $Kh$ .

Vertinant pasikeitusį šilumos atidavimo koeficientą ir padidėjusią oro infiltraciją vėjuotu oru, energijos sąnaudos pastatui (patalpai) šildyti nustatomos iš šios išraiškos:

$$Q_s = Q_n + Q_i = N \sum \Delta\tau + \frac{V_o \rho_o c_o}{3600} \int_0^{\tau} n_i (\vartheta - t_o) d\tau \quad \text{kWh.} \quad (17)$$

### 3.3. Šilumos šaltinio galios įtaka energijos sąnaudoms, skirtoms pastatui šildyti

Kūnų šilimo ir aušimo greitis  $m$  nepriklauso nuo šilumos šaltinio galios, jei šilumos mainų režimas yra reguliarus. Kūno šilimo greitis proporcingas šilumos šaltinio galiai, kai šiluma neatiduodama nuo kūno paviršiaus, o kūno aušimo greitis nuo šilumos šaltinio galios jau nepriklauso, t. y. kūno aušimo greitis  $dt/dt$  yra proporcingas temperatūrų skirtumui tarp apibendrintos kūno ir aplinkos temperatūrų. Iš esmės pastato iššildymo ir aušimo procesas gali būti kontroliuojamas tik per pašildymo fazę, t. y. pastatų (patalpų) terminis komfortas gali būti reglamentuojamas tik per šilumos šaltinio galią.

Iš pirmo žvilgsnio paradoksaliai atrodo, kad didinant šilumos šaltinio galią, energijos sąnaudos patalpoms iššildyti iki norimos temperatūros mažėja.

Jei šilumos šaltinio galia  $N_1$  kW, tai kūno (pastato) apibendrinta temperatūra  $T_1$  kyla pagal dėsnį:

$$T_1 = \frac{k_1}{m} [1 - \exp(-m\tau)], \text{ K}, \quad (18)$$

jei šilumos šaltinio galia  $N_2$  kW, tuomet:

$$T_2 = \frac{k_2}{m} [1 - \exp(-m\tau)], \text{ K}. \quad (19)$$

Šildant iki tos pačios temperatūros  $T_1 = T_2$ :

$$\frac{k_1}{m} [1 - \exp(-m\tau_1)] = \frac{k_2}{m} [1 - \exp(-m\tau_2)]. \quad (20)$$

Jei šilumos šaltinio galia  $N_2$ , tai kūno iššildymo trukmė:

$$\tau_2 = \frac{1}{m} \ln \frac{1}{1 - \frac{N_1}{N_2} [1 - \exp(-m\tau_1)]} \text{ h}. \quad (21)$$

Pirmuoju atveju energijos kiekis, sunaudotas kūnui iššildyti:

$$E_1 = N_1 \tau_1 \text{ kWh}, \quad (22)$$

antruoju:

$$E_2 = N_2 \tau_2 \text{ kWh}. \quad (23)$$

**Pavyzdys.** Kaitinamas kūnas, kurio  $m = 1 \frac{1}{h}$ , pirmuoju atveju naudojant šilumos šaltinį  $N_1 = 1 \text{ kW}$ , antruoju atveju –  $N_2 = 2 \text{ kW}$ . Per 1 h pirmuoju atveju kūnas įkais iki tam tikros temperatūros, o antruoju atveju iki tos pačios temperatūros iššils per:

$$\tau_2 = \frac{1}{1} \ln \frac{1}{1 - \frac{1}{2} [1 - \exp(-1)]} = 0,38 \text{ h}. \quad (24)$$

Pirmuoju atveju energijos bus sunaudota:

$$E_1 = 1 \cdot 1 = 1 \text{ kWh},$$

antruoju:

$$E_2 = 2 \cdot 0,38 = 0,76 \text{ kWh}.$$

Ekonomiškesnis yra kūno (pastato) šildymas galingesniu šilumos šaltiniu. Tai paaiškinama tuo, kad šildomas kūnas (pastatas) per trumpesnę šildymo laiko tarpą mažiau energijos atiduoda į aplinką. Todėl galima konstatuoti, kad, esant nestacionariam šilumos mainų režimui pastate, šilumos šaltinio optimalios galios nustatymas yra labai svarbus veiksnys energijos taupymo požiūriu.

Kita vertus, patalpų terminis komfortas būtų geresnis, jei pavyktų pagreitinti patalpų aušimą. Tačiau šiam procesui reikia papildomų energijos sąnaudų, t. y. patalpų oras turėtų būti papildomai aušinamas, norint sumažinti oro temperatūrą.

Jei paanalizuosime pirmąją lygtį iš (5) lygčių sistemos:

$$\frac{dT}{dt} = k - m_a(T - \vartheta), \quad (25)$$

tai konstanta  $k$ , nusakanti šilumos šaltinio kaitimo greitį, gali turėti ir neigiamą reikšmę, t. y. šilumos šaltinis pastato aušimo metu gali ir „sugerti“ šilumą. Tai reikštų, kad patalpa turėtų būti aušinama ( $T < \vartheta$ ). Tokiu atveju patalpos oro temperatūros kritimas gali būti pagreitintas dirbtinai. Šiuo atveju turėtų būti įrengta šaldymo įranga.

Tačiau kyla klausimas, ar panaudota energija termodinaminiam šaldymo mašinos cikle nebus didesnė už gautą energijos ekonomiją, priartinant patalpos oro temperatūrą prie pageidautinos. Šio uždavinio sprendimui reikia atskiro detalaus nagrinėjimo bei ekonominės analizės.

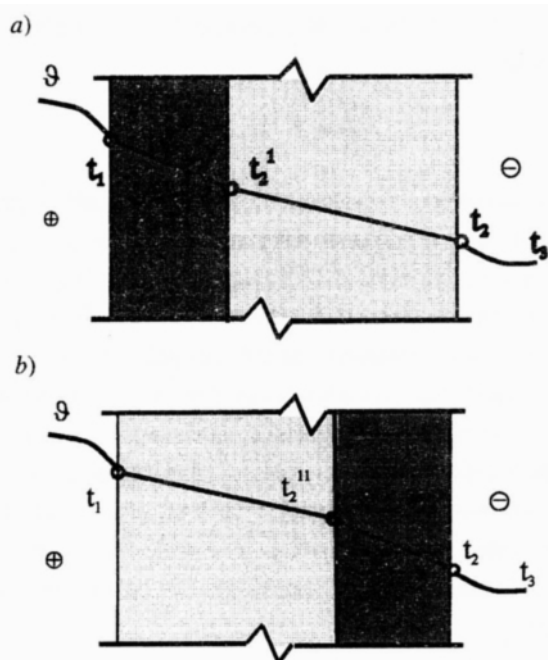
### 3.4. Konstrukcinių sprendimų įtaka pastato energetinei charakteristikai (apšiltinimo variantas)

Pagrindiniu pastato šiluminės charakteristikos kriterijumi yra laikoma atitvarinių konstrukcijų šiluminė varža. Projektuojant pastatų išorines atitvaras bei parenkant medžiagas vidaus konstrukcijoms, per mažai dėmesio skiriama jų masyvumui bei sluoksnių išdėstymo tvarkai atitvarose. Dažnai diskutuojama, kur tikslingiau įrengti šilti-

nantį sluksnį – atitvaros vidaus ar išorės pusėje. Nėra jokio skirtumo, jei skaičiuojama stacionarinėmis šilumos perdavimo sąlygomis. Tačiau, įvertinus tai, kad pastatuose faktiškai šilumos balansas yra kintamas, atitvarų masyvumo veiksnys įgyja didelę reikšmę. Įrengiant šiluminio režimo valdymo sistemas, tai būtina įvertinti. Siūloma metodika leidžia parinkti optimalius konstrukcinius pastato sprendimus ir tinkamas šildymo sistemas.

### 3.4.1. Pastato vidinių konstrukcijų ir vidaus įrangos masyvumo įtaka vidaus oro temperatūros reguliavimo lankstumui

Konkrečių pastatų kintamo šiluminio režimo tyrimai rodo, kad patalpose palaikant lankstų temperatūrų režimą per parą labai svarbu yra pastato vidinių konstrukcijų bei vidaus įrangos masyvumas. Kuo didesni šilumos kiekiai akumuluojami pastato viduje, tuo lėčiau keičiasi patalpos oro temperatūra, o tai reiškia, kad energijos ekonomija reguliuojant vidaus oro temperatūrą yra sunkiau gaunama.



2 pav. Pastato masyvios išorės atitvaros šiltinimo variantai  
Fig 2. Position of insulating layer for massive external wall

Panagrėkime ribinį atvejį, kai vidaus konstrukcijoje akumuluotos šilumos kiekis yra nežymus. Šiuo atveju bevardė vidaus konstrukcijų šilumos talpa  $\mu_s \rightarrow 0$ . Tokiam pastatui kintamo šilumos balanso lygčių sistema (5) bus tokia:

$$\begin{cases} \frac{dT}{dt} = k - m_a(T - \vartheta) \\ \vartheta \equiv \frac{m_a T + \mu_1 m t_1}{m_a + \eta_1 m_1} \\ \frac{dt_1}{dt} = m_1(\vartheta - t) - m_{il}(t - t_o) \\ t_o = U \sin \frac{\pi}{v} \tau. \end{cases} \quad (26)$$

Antroji šios lygčių sistemos lygtis rodo, kad vidaus oro temperatūros kaita priklauso tik nuo šilumos šaltinio ir pastato atitvarų apibendrintų temperatūrų  $T$  ir  $t_1$  kitimo dėsnų. Jei atitvarų vidaus konstrukcijose (įrangoje) yra akumuluotos šilumos, tai patalpos oro temperatūra bus lengviau reguliuojama ir bus gaunama didesnė energijos ekonomija, palyginti su tokiu pačiu pastatu, turinčiu masyvias vidaus konstrukcijas (masyvią įrangą).

### 3.4.2. Pastatų išorinių atitvarų konstrukcinių sprendimų įtaka pastato šiluminio režimo reguliavimo lankstumui

Iš patyrimo žinome, kad masyvių išorės atitvarų pastatai daug ilgiau išlaiko šilumą negu lengvų konstrukcijų statiniai, turintys tą pačią atitvarų šiluminę varžą. Jei pastate yra palaikomas sąlygiškai pastovus šiluminis režimas, tai pastato išorinių sienų konstrukciniai sprendimai praktiškai neturi įtakos energijos sąnaudoms, skirtoms šildymui. Tačiau jei norima patalpose palaikyti kintamą oro temperatūrą ir taupyti energijos sąnaudas šildymui, tai būtina įvertinti pastato galimybes, prisitaikyti prie pageidaujamo vidaus oro temperatūrų kaitos grafiko. Svarbu atsižvelgti į išorės atitvarų konstrukciją. Tai galima pailustruoti žemiau pateiktu pavyzdžiu. Teoriškai buvo išnagrinėti konkretaus pastato keli renovacijos variantai. Palyginimui pateikiami pastato su tokiu pačiu izoliaciniu sluoksniu du konstrukciniai variantai: 1 – apšiltinto iš lauko; 2 – apšiltinto iš vidaus.

Įrengus patalpų oro temperatūros valdymo sistemą, gaunama energijos ekonomija pastatui šildyti (lyginant su nereguliuojamo temperatūros režimo variantu) sudaro: pirmuoju atveju – (6,5–7,6)%; antruoju atveju – (3,8–4,8)%.

Šie rezultatai rodo, kad energetiniu požiūriu efektyvesnis yra pirmasis pastato variantas – kai jis apšiltinamas iš vidaus. Tai galima paaiškinti ir šia paprasta iliustracija: masyvi išorės pastato atitvara apšiltinama vienodo storio izoliacijos sluoksniu iš vidaus (2 a pav.) ir iš lauko (2 b pav.) pusės.

Sluoksnių paviršių temperatūros pavaizduotos esant nusistovėjusiam režimui. Pirmuoju atveju, kai šilumos izoliacija yra iš lauko, sienoje akumuliuotos šilumos kiekis išreiškiamas šia lygybe:

$$q_{ak}^1 = V_i \rho_i c_i \left( \frac{t_1 + t_2^1}{2} - t_0 \right) + V_m \rho_m c_m \left( \frac{t_2^1 + t_3}{2} - t_0 \right) \text{ kJ.} \quad (27)$$

Antruoju atveju, kai šilumos izoliacija iš vidaus, sienoje akumuliuotos šilumos kiekis išreiškiamas šia lygybe:

$$q_{ak}^{11} = V_m \rho_m c_m \left( \frac{t_1 + t_2^{11}}{2} - t_0 \right) + V_i \rho_i c_i \left( \frac{t_2^{11} + t_3}{2} - t_0 \right) \text{ kJ.} \quad (28)$$

Jei išorinės sienos yra masyvios, o izoliacinis sluoksnis turi didelę šiluminę varžą ir yra nedidelės masės, tai akivaizdu, kad antruoju atveju atitvaroje akumuliuotos šilumos kiekis yra didesnis negu pirmuoju:

$$q_{ak}^1 > q_{ak}^{11}. \quad (29)$$

Aišku, kad, esant tai pačiai atitvaros šiluminei varžai, atitvaroje akumuliuotos šilumos atidavimas į išorę antruoju atveju užtruks ilgiau negu pirmuoju. Tai reiškia, kad patalpos aušimas bus lėtesnis, ir norima temperatūra joje bus pasiekama lėčiau. Jeigu neįmanoma patalpoje greičiau pasiekti pageidaujamos oro temperatūros, energijos taupymo galimybės šildymui mažėja.

## Išvados

1. Pasiūlyta pastatų nestacionarių šilumos mainų režimų skaičiavimo metodika taikytina kompleksiniam naujai projektuojamų ir renovuojamų pastatų energetiniam vertinimui.

2. Galima sudaryti kiekvieno pastato (kiekvieno pastato renovacijos varianto) šilumos balanso lygtį diferencialine forma. Sudaryta lygčių sistema (5) apima visą informaciją apie pastato šilumines savybes. Atitinkamomis ribinėmis sąlygomis galima nustatyti pastato energetinius parametrus.

3. Siūlomos metodikos pagrindu galima nustatyti energetiniu požiūriu optimalų pastato statybos arba reno-

vacijos variantą, kompleksiskai įvertinant atitvarų struktūros bei patalpų oro temperatūros valdymo (reguliavimo) įrangos efektyvumą.

4. Apšiltinant masyvų pastatą iš lauko pusės, labai sumažėja patalpų oro temperatūros valdymo (reguliavimo) galimybės, taip pat ir energetinis efektyvumas, esant tiems patams šilumos nuostoliams.

5. Šilumos šaltinio galia bei tipas turi būti nustatoma optimizuojant kapitalinių įdėjinių ir eksploatacinių išlaidų santykį.

## Literatūra

1. В. И. Богословский. Строительная теплофизика. М.: Высшая школа, 1982. 415 с.
2. Г. Гребер, С. Эрк, У. Григуль. Основы учения о теплообмене / Пер. с немецкого. М.: Иностранная литература, 1958. 566 с.
3. И. Ф. Жеребятъев, А. Г. Лукьянов. Математическое моделирование уравнений типа теплопроводности с разрывными коэффициентами. М.: Энергия, 1968. 56 с.
4. Ф. М. Камья. Импульсная теория теплопроводности / Пер. с французского. М.: Энергия, 1954. 286 с.
5. К. Ф. Фокин. Строительная теплотехника ограждающих частей здания. М.: Стройиздат, 1973. 287 с.
6. J. Juodvalkis. Nestacionariųjų šilumos mainų pastatuose skaičiavimo metodika ir eksperimentinis patikrinimas: Techn. m. k. disertacija. K., 1992. 67 p.
7. J. Juodvalkis, R. A. Vipartas. Šiluminio režimo valdymas pastatuose // Energetika, 1997, Nr. 1, p. 48–51.

Įteikta 1999 09 10

## THE ANALYSIS OF UNFIXED BALANCE IN THERMAL EXCHANGE

J. Juodvalkis, E. Blaževičius, R. A. Vipartas

### Summary

Today the tendency of building renovation is one-sided, ie thermal resistivity of enclosure constructions is being increased ignoring the temperature control possibilities in flats. Appreciable heat savings may be achieved solely through a duly coordination of the constructive building solutions with the type and power of heating systems and by the evaluation of an unfixed character of heat exchange.

In the proposed method a building is treated as a heterogeneous body ( $\Rightarrow Bi > 0$ ). The conditions of the 3rd rate are accepted for the heat exchange between the elements of this body and the surroundings (1). The result of the equation solution is the determination of temperature alteration law in each element of a heterogeneous body (2). The non-monolithic enclosure constructions having a final number of elements may be changed by an equivalent monolithic body with equivalent thermal properties (3; 4).

The following factors in the unfixed heat exchange balance system of equations have been taken into consideration:

- the power of a heat source, its thermal capacity, the intensity of heat delivery;

- the receptivity of interior constructions of a building (its equipment and partitions) and of inner air, the intensity of heat exchange;
- thermal resistivity of exterior enclosures of a building, heat receptivity, the intensity of heat exchange with the outside air.

The solutions of this equation system gives the following parameters:

- the optimal thermal comfort for a particular building;
- the most suitable heating system from the point of view of energy;
- control possibilities of the inner temperature in a building;
- the optimal power of a heat source and the effect of the energy expenditure caused by the heating of a building;
- working conditions of a heating source;
- the rate of outside temperature fluctuation under control of the working conditions of a heating source;
- the effect of different materials on the working conditions of a building and on energy expenditure in building constructions;
- the effect on building energetic characteristics of the order of layer distribution in exterior enclosures as well as the intensity of heat delivery in the environment (wind effect).

---

**Jonas JUODVALKIS.** PhD. Head of the Laboratory of Heating Systems. Institute of Architecture and Construction. Tunelio 60, LT-3035 Kaunas, Lithuania.

Doctor (1992). Author of 39 papers, 5 inventions. Research interests: dynamic heat exchange in solid bodies, accumulative heating systems.

---

**Egidijus BLAŽEVIČIUS.** PhD. Director of the Institute of Architecture and Construction. Tunelio 60, LT-3035 Kaunas, Lithuania.

Doctor (1986). Author of over 50 publications. Research interests: heat exchange in premises, microclimate of premises, building climatology, alternative heat sources.

---

**Ramūnas Albertas VIPARTAS.** Research Fellow. Institute of Architecture and Construction. Tunelio 60, LT-3035 Kaunas, Lithuania.

Author of 23 papers, co-author of 4 Lithuanian regulations. Research interests: alternative heating sources accumulative heating systems, building climatology.