

Environmental engineering Aplinkos inžinerija

MODERNIZUOTŲ DAUGIABUČIŲ NAMŲ MIKROKLIMATO RODIKLIŲ IR ATITVARŲ ŠILUMINIŲ CHARAKTERISTIKŲ TYRIMAS

Juozas BIELSKUS, Giedrius ŠIUPŠINSKAS*

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

Gauta 2018 m. birželio 10 d.; priimta 2018 m. birželio 25 d.

Santrauka. Tyrimo tikslas buvo atlikti modernizuotų 12 daugiabučių namų mikroklimato rodiklių ir atitvarų šiluminių charakteristikų analizę įvertinant jų įtaką sutaupytam šilumos kiekiui. Darbo aktualumas susijęs su pastebimu neatitikimu tarp teoriškai sumodeliuoto ar apskaičiuoto sutaupyto šilumos kiekio po modernizavimo ir faktinių užfiksuotų skaitiklių reikšmių. Darbe atlikus sukauptų duomenų statistinę analizę buvo nustatyta vidutinė patalpų vidaus temperatūra, santykinis drėgnis, CO₂ koncentracija bei įvertintas reikšmių pasiskirstymo dažnis. Aptarti pagal gamintojų rekomenduojamą metodiką matuotų sienų, lango paketo ir lango rėmo šilumos perdavimo koeficientai. Gauti rezultatai palyginti su šiuo metu galiojančiais mikroklimatui keliamais reikalavimais. Rezultatai atskleidė, kad tirtuose pastatuose po modernizavimo patalpų svorinė vidutinė temperatūra buvo aukštesnė nei norminė, tačiau oro kokybė yra nepakankama. Oro kokybės gerinimo priemonės didina šilumos poreikį ir mažina tikėtiną sutaupyto šilumos kiekį.

Reikšminiai žodžiai: daugiabučių namų modernizavimas, monitoringas, mikroklimatas, faktinis šilumos perdavimo koeficientas.

Įvadas

Pasaulyje, 2015 metų duomenimis, pastatai suvartoja beveik trečdalią visos galutinės energijos (International Energy Agency, 2018). Energijos vartojimo ir šiltnamio dujų emisijos mažinimas yra nacionalinis Europos Sąjungos narių prioritetas. Gyvenamasis sektorius yra pagrindinė ES šalių nacionalinių energijos efektyvumo didinimo programų tikslinė grupė. Daugiau kaip 50 % Europos populiacijos gyvena daugiabučiuose (S. Paraschiv ir L. S. Paraschiv, 2017). Didžioji dalis daugiabučių yra seni, prieš 30 ar daugiau metų statyti pastatai, todėl, norint užtikrinti aukštus šiuo metu galiojančius energinio efektyvumo reikalavimus, būtinas šių pastatų modernizavimas. Mokslinių straipsnių ir galimybių studijų apžvalga parodė, kad dažniausiai didžiausias dėmesys yra nukreiptas į pastato modernizavimo energinius ir finansinius sutaupymus (Hamid, Farsater, Wahistrom ir Wallenten, 2018). Skirtingos šalys siekia spartinti modernizavimo procesą tobulindamos jau egzistuojančius skatinimo mechanizmus (Kuusk ir Kalamees, 2016) bei pasirinkdamos įvairias energijos taupymo priemonių kombinacijas, skirtingus modernizavimo lygius ir finansavimo modelius (Loga, Stein ir Diefenbach, 2016; Basinska, Koczyk ir Szczechow-

wiak, 2015). Kompleksinės modernizavimo priemonės yra brangios, o galimas atsipirkimo laikas yra labai ilgas, todėl ypač svarbu tinkamai įvertinti, sumodeliuoti galimus modernizavimo sutaupymus.

Moksliniuose darbuose pastebima, kad gana dažnai teoriniu būdu nustatyti galimi sutaupymai skiriasi nuo išmatuotų (Lambie et al., 2017). Autoriai pastebi, kad rezultatų patikimumą labiausiai lemia tinkamos faktinės padėties prieš modernizavimą ir jį atlikus įvertinimas. Energinio efektyvumo rodiklių įvertinimo patikimumui didžiausią įtaką turi faktinė patalpų vidaus temperatūra, vartotojų elgsena, vėdinimo sistemos veikimas (La Fleur, Moshfegh ir Rohdin, 2017; Guerra-Santin et al., 2017).

Mokslinėje literatūroje akcentuojama, kad, be energinio efektyvumo, pastatų modernizavimas turi įtakos pastato fizinės būklės atnaujinimui, patalpų mikroklimatui (Martinaitis, Kazakevičius ir Vitkauskas, 2007; Hamid et al., 2018). Tačiau šių kriterijų naudos įvertinimas sudėtingas ir reikalauja nuolatinės esamos padėties stebėsenos. Darbe (Hamid et al., 2018) daroma išvada, kad mokslinių straipsnių, apimančių modernizuotų pastatų faktinių rodiklių matavimą, t. y. stebėseną, yra labai mažai.

*Autorius susirašinėti. El. paštas giedrius.siupsinskas@vgtu.lt

Šiame darbe detaliau aptariami 12 modernizuotų daugiabučių namų mikroklimato ir atitvarų šilumos perdavimo koeficientų rodiklių matavimo rezultatai ir jų įtaka sušildyti šilumos kiekiui. Šių pastatų energijos taupymo rezultatai detaliau išnagrinėti kitame straipsnyje (Rogoža, Štupšinskas, Valančius ir Mikučionienė, 2017).

1. Matavimų priemonės (įranga)

Šiame skyriuje aprašomos naudojamos matavimo įrangos specifikacijos.

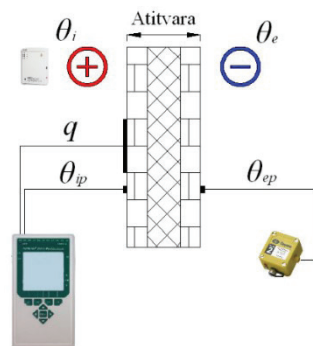
Šilumos perdavimo koeficientui nustatyti buvo naudojami šie matavimo prietaisai:

- Šilumos srautui per atitvarą nustatyti naudojama vokiečių kompanijos „AHLBORN“ matavimo įranga. Duomenų registravimas atliekamas naudojant 9 kanalų duomenų kaupiklį „Almemo 2890-9“. Duomenų kaupiklis gali būti naudojamas, kai aplinkos oro temperatūra svyruoja nuo $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ iki $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$, o santykinė oro drėgmė – nuo 10 % iki 90 % (Ahlborn ALMEMO Manual, 2009).
- Prie duomenų kaupiklio „Almemo 2890-9“ prijungiami pageidaujami matavimo zondai. Šiuo atveju prijungiamos šilumos srauto plokštelės „ZA 9007-FS“. Šilumos srauto plokščių matavimo ribos yra nuo 0 W/m^2 iki 5200 W/m^2 (Ahlborn ALMEMO Manual, 2009).
- Papildomai prie duomenų kaupiklio jungiamas CO_2 koncentracijos jutiklis „FYA600CO2“. Prietaiso matavimo riba yra nuo 0 iki 25 000 ppm, o matavimo tikslumas $\pm 2\%$ (Ahlborn ALMEMO Manual, 2009). Patalpų oro temperatūros ir santykinės drėgmės registravimas atliekamas JAV gamintojų „Onset Computer Corporation“ duomenų kaupikliais „Hobo U12-012“. Duomenų kaupiklis gali registruoti ir kaupti oro temperatūrą ir santykinę drėgnį. Temperatūros reikšmės fiksuoja nuo $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ iki $70\text{ }^{\circ}\text{C}$, santykinę drėgmę – 5–95 %. Temperatūros matavimo tikslumas yra $\pm 0,35\text{ }^{\circ}\text{C}$ (nuo 0 iki $50\text{ }^{\circ}\text{C}$), santykinės drėgmės yra $\pm 2,5\%$ (nuo 0 iki 90 %) (Onset Computer Corporation, 2016).
- Lauko oro temperatūra registruojama Didžiosios Britanijos gamintojų „Tinytag“ duomenų kaupikliu TPG-4510. Duomenų kaupiklis gali registruoti aplinkos ir paviršiaus (prijungiamas papildomas jutiklis) temperatūrą. Duomenų kaupiklio veikimo ribos yra nuo $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ iki $85\text{ }^{\circ}\text{C}$. Be to, jis yra atsparus drėgmės poveikiui, todėl gali būti naudojamas lauke (Tinytag, 2018).

2. Matavimų metodika

Šiame skyriuje aprašoma šilumos perdavimo koeficiento nustatymo metodika ir naudotos statistinės analizės metodai. Paviršių temperatūros ir šilumos srauto tankio matavimo zondų išdėstymo schema bei šilumos perdavimo koeficiento matuojami dydžiai pateikiami 1 paveiksle.

1 paveiksle pliuso ženklas apibūdina matuojamos patalpos vidaus, o minuso ženklas – lauko išorės parametrus. Matuojamos patalpos ar pastato viduje įrengiama atitvaros



1 paveikslas. Zondų išdėstymo vieta ir matuojami kintamieji dydžiai. Duomenų kaupimo įranga
Figure 1. The location of probes and the measured variables. Data storage equipment

šilumos srauto tankį q fiksuojanti plokštelė ir vidaus paviršiaus temperatūrą θ_{ip} matuojantis zondas. Išorinėje atitvaros paviršiaus dalyje montuojamas temperatūrą θ_{ep} matuojantis zondas. Matuojama vidaus θ_i ir lauko θ_e oro temperatūra. Išmatuoto šilumos srauto tankio santykis su konstrukcijos elemento paviršių temperatūrų skirtumu parodo faktinį šilumos perdavimo koeficientą.

Kiekvieno taško matavimo duomenys, išorės ir vidaus oro bei paviršių temperatūra, taip pat šilumos srauto tankis buvo kaupiami atitinkamu intervalu (kaupimo intervalas 15 minučių, kiekvieno taško matavimo intervalas apima 7 paras). Gauti kiekvieno matavimo duomenys analizuojami grafiškai, išskiriant nakties didžiausio patikimumo matavimų intervalą, kuriame stebimi mažiausi fiksuotų reikšmių svyravimai, nes vidiniai ir išoriniai šilumos pritekiai turi didelę įtaką šilumos srauto matavimo patikimumui, o ypač tai pastebima dienos metu, kai atitvarą šildo saulė. Todėl tiksliausi atitvaros šilumos perdavimo koeficiento matavimo rezultatai pasiekiami tamsiuoju paros metu, kai išoriniai ir vidiniai pritekiai daro mažiausią įtaką rezultatams.

Skaiciavimams atlikti taikoma duomenų kaupimo įrangos gamintojų rekomenduojama metodika (Ahlborn almemo manual, 2009). Skaiciavimai atliekami naudojant išmatuotą šilumos srauto tankį, patalpos ir lauko oro temperatūrą ir (arba) paviršių temperatūrą (papildomai reikia įvertinti išorės ir vidaus paviršių šilumines varžas R_{si} ir R_{se}).

Faktiniai šilumos perdavimo koeficientai ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$) vertinami taip (Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija, 2016):

$$U_f = \frac{1}{R_{si}} + \frac{q}{(\theta_{ip} - \theta_{ep})} + \frac{1}{R_{se}} = \frac{q}{(\theta_i - \theta_e)}, \quad (1)$$

čia θ_{ip} – nagrinėjamo laiko intervalo vidutinė vidinio paviršiaus temperatūra, $^{\circ}\text{C}$; θ_{ep} – pasirinkto patikimo laiko intervalo vidutinė išorinio paviršiaus temperatūra, $^{\circ}\text{C}$; θ_i – pasirinkto patikimo laiko intervalo vidutinė vidaus oro temperatūra, $^{\circ}\text{C}$; θ_e – pasirinkto patikimo laiko intervalo vidutinė išorės oro temperatūra, $^{\circ}\text{C}$; q – pasirinkto patikimo laiko intervalo vidutinis šilumos srauto tankis, W/m^2 ; R_{si} – vidaus paviršiaus šiluminė varža, $\text{m}^2\cdot\text{K/W}$ (horizontaliai $R_{si} = 0,13\text{ m}^2\cdot\text{K/W}$, aukštyn $R_{si} = 0,10\text{ m}^2\cdot\text{K/W}$) (Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija, 2016); R_{se} – išorės pavir-

šiaus šiluminė varža, $m^2 \cdot K/W$, ($R_{se} = 0,04 m^2 \cdot K/W$) (Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija, 2016).

Faktinė atitvaros šiluminė varža ($m^2 \cdot K/W$) yra atvirktinis dydis faktiniam šilumos perdavimo koeficientui:

$$R_f = \frac{1}{U_f}. \quad (2)$$

Faktinę atitvaros šiluminę varžą apibūdina matuojant nustatytą vidaus ir lauko išorės paviršių temperatūrų skirtumą bei atitvaros šilumos srauto tankio santykis, t. y. atitvaros sluoksnių suminė varža R_s , kurios reikšmė neapima išorinių paviršiaus varžų, o tik vertina konstrukcijos sluoksnių fizikines ir šilumines charakteristikas. Na o atitvarų paviršiaus varžos R_{si} , R_{se} priklauso nuo įvairių aplinkos faktorių (oro judrumo, vėjo greičio, temperatūros ir t. t.) ir matuojant gali kisti, todėl skaičiuojant naudojamos jų vidutinės reikšmės iš Lietuvos Respublikoje galiojančio statybos reglamento (Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija, 2016).

2.1. Reikalavimai faktiniam šilumos perdavimo koeficiento nustatymui

Atsižvelgiant į išmatuotą šilumos srautą ir temperatūrų skirtumą, matavimai turi būti atliekami pagal gamintojų rekomendacijas (Ahlborn ALMEMO Manual, 2009).

Sukauptų duomenų kiekis yra didelis, todėl turi būti atlikta statistinė duomenų analizė. Faktinių reikšmių statistinė analizė leidžia įvertinti atskirų zonų mikroklimato rodiklius ir jų nuokrypius nuo statistinio aritmetinio vidurkio.

Statistinė analizė atlikta vadovaujantis metodikos nurodymais, kuriuose aprašomi statistinės analizės pagrindai bei principai (Čekanavičius, 2011; Čekanavičius ir Murauskas, 2000, 2002).

Išmatuoto dydžio x galutinis rezultatas apibūrinamas kaip aritmetinio vidurkio \bar{x} ir neapibrėžties suma (3), nurodant pasiklovimo tikimybę:

$$x = \bar{x} \pm \Delta x_p, \quad (3)$$

čia \bar{x} – imties aritmetinis vidurkis; Δx_p – matuojamo dydžio neapibrėžties sandas.

Taigi, pagrindinis fizikiniam dydžiui x matuoti keliamas reikalavimas – nustatyti verčių intervalą

$\bar{x} - \Delta x_p < x_i < \bar{x} + \Delta x_p$ ir nurodyti šio intervalo pasiklovimo tikimybę $P (0,95)$, kai tikrojo matuojamo dydžio vertė yra tame intervale.

Naudojantis lentelėmis randamas Studento koeficientas $t_{n,P}$ esant tikimybei P ir tam tikram intervalų skaičiui. Šis koeficientas randamas naudojantis lentelėmis (Čekanavičius ir Murauskas, 2000). Tuomet Studento koeficientas, kai pasiklovimo dydis $P = 0,95$, o imties dydis >120 (atliktų matavimų imtis viršija 500), yra $t_{n,P} = 1,645$.

2.2. Reglamentuojamos patalpų mikroklimato vertės

Toliau pateikiami norminiai reikalavimai pastato išorinėms atitvaroms, patalpų oro temperatūrai, santykinėi drėgmei bei CO_2 koncentracijai.

Statybos techninis reglamentas (Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija, 2005) apibrėžia CO_2 koncentracijos ribinius dydžius tik negyvenamosios paskirties pastatams. CO_2 koncentracija apibūdinama keturiais lygiais, t. y. aukštas oro kokybės lygis (IDA 1 – iki 400 ppm), vidutinis (IDA 2 – iki 600 ppm), pakankamas (IDA 3 – iki 800 ppm) ir žemas (IDA 4 – iki 1000 ppm). Šiuo atveju nesant aiškių ribojimų gyvenamosios paskirties pastatams, oro kokybės lygis vertinamas pagal IDA 2 kategorijos reikalavimus, t. y. CO_2 koncentracija patalpose neturi viršyti 1000 ppm.

Normose (Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministerija, 2009) pateikiami gyvenamųjų bei viešojo naudojimo pastatų reglamentuojami oro temperatūros ir santykinės drėgmės ribiniai dydžiai. Šildymo sezono patalpų oro temperatūra turi būti nuo $18^\circ C$ iki $22^\circ C$, o santykinė drėgmė – nuo 35 % iki 60 %. Komfortinės sąlygos šaltuoju laikotarpiu (Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija, 2005) apibrėžiamos oro temperatūra, kuri yra nuo $20^\circ C$ iki $24^\circ C$, bei santykinė drėgmė – nuo 40 % iki 60 %.

3. Tyrimų objektai

Šiame darbe išanalizuoti 12 modernizuotų daugiabučių namų, kuriuos VŠĮ Būsto energijos taupymo agentūra atrinko modernizavimo kokybei vertinti. Pagrindiniai šių pastatų rodikliai pateikiami 1 lentelėje.

1 lentelė. Modernizuotų daugiabučių namų techninės ir energinės charakteristikos
Table 1. The technical and energy characteristics of the residential multi-storey buildings

Adresai	Miklūsėnų g. 33, Alytus	Pulko g. 34, Alytus	Sodo g. 7, Akmenė	Kęstučio g. 2, Akmenė	Žemaičių g. 13, Varkalių k.	Daržų g. 22, Rietavas	K. Škirpos g. 15, Kaunas	Pušelės g. 9, Valkininkai	Marinkonių g. 12, Varėna	Vasario 16-osios g. 56, Ignalina	Statybininkų g. 15, Anykščiai	Ažubalių g. 14A, Molėtai
Šildomas plotas, m^2	3124	1257	971	700	762	1052	3656	1047	2255	609	1203	533
Šilumos nuostoliai prieš renovaciją, kWh/m^2	93,5	128,8	134,4	138,2	136,3	115,8	131,1	148,3	108,2	175,6	122,7	229,0
Šilumos nuostoliai po renovacijos, kWh/m^2	33,6	54,9	35,5	33,9	41,3	42,8	44,9	59,2	32,8	63,7	40,4	93,3
Sutaupymai esant norminėms sąlygoms, %	64,1	57,4	73,6	75,5	69,7	63,1	65,7	60,1	69,7	63,7	67,1	59,2

Visi lentelėje pateikti daugiabučiai buvo modernizuoti kompleksiskai: apšiltintos sienos, stogas, rūšio perdanga, pakeisti seni langai, durys, įstiklinti balkonai. Kai kuriuose namuose modernizuotos šildymo ir karšto vandens ruošimo sistemos. Varėnoje ir Kaune buvo įrengti saulės kolektoriai karštam vandeniui ruošti, o Alytuje (Pulko g. 34) ir Varėnoje – gruntiniai šilumos siurbliai. Akmenėje (Sodo g. 7) įrengta dalinė individuali mechaninė vėdinimo sistema, o Alytuje (Pulko g. 34) – centrinė mechaninė vėdinimo sistema.

4. Matavimų rezultatai

Matuojant kiekviename pastate buvo analizuojamos išorinės sienos, lango rėmo ir stiklo paketo šiluminės charakteristikos, patalpų oro temperatūra, santykinis drėgnis bei CO₂ koncentracija. Tyrimai vykdyti 2017 metų sausio ir vasario mėnesiais. Kiekviename pastate duomenų kaupimo įranga buvo paliekama ne trumpesniai kaip 7 dienų laikotarpiui (duomenų kaupimo intervalas buvo 15 minučių). Siekiant tikslesnių reprezentacinių faktinių temperatūros ir santykinio drėgnio reikšmių, matavimai kiekviename iš namų buvo atliekami keliuose butuose.

Toliau esančiame paveiksle pateikiamas bendras visų pastatų temperatūros ir santykinio drėgnio (RH – angl. *relative humidity*) reikšmių dažnių pasiskirstymas pagal pasirinktus intervalus.

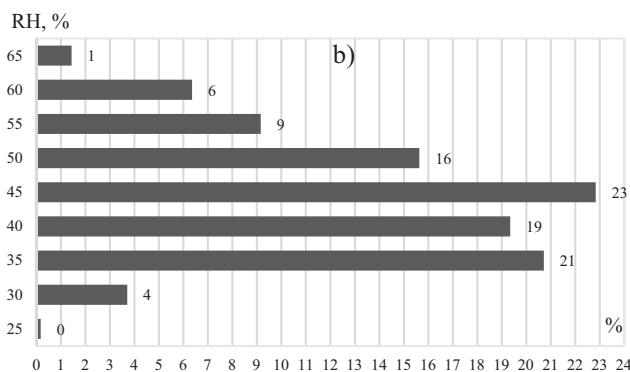
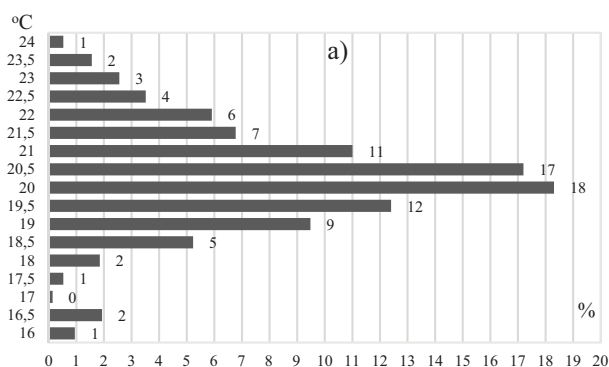
Matavimo duomenų detali statistinė analizė rodo, kad vidutinė svorinė (pagal pastatų plotą) patalpų vidaus temperatūra per analizuotą laikotarpį buvo 20,4 °C. Išmatuotų reikšmių pasiskirstymas buvo tolygus ir tik labai trumpą laikotarpį (apie 4 % laiko) temperatūra buvo žemesnė nei 18 °C (2 paveikslas, a). Didžiąją laiko dalį patalpose fiksuota 20 °C ir aukštesnė temperatūra. Tai rodo, kad patalpose praktiškai viso tyrimo metu buvo užtikrinamos norminės temperatūros. Jei vertintume, kad bazinė norminė patalpų vidaus temperatūra yra 18 °C, tuomet tektų teigti, kad patalpos buvo peršildomos (vidutiniškai 2,4 °C), tai lėmė didesnius šilumos poreikius šildymui ir vėdinimui. Jei vertintume, kad bazinė patalpų vidaus temperatūra

yra 20 °C, tuomet matavimo metu gauti duomenis rodo 0,43 °C aukštesnę temperatūrą. 1 lentelėje pateiktuose vertinimuose sutaupymai po modernizavimo vertinti, kai patalpų norminė temperatūra yra 18 °C, tuomet perskaičiuoti energijos sutaupymai išmatuotoje faktinėje vidutinėje temperatūroje (20,43 °C) yra apie 7,5 % mažesni. Jei patalpose būtų palaikoma vidutinė komfortinė 20 °C temperatūra, šilumos sutaupymai esant norminėms klimato sąlygoms būtų 6,2 % mažesni, nei nurodyta 1 lentelėje. Iš šios analizės matyti tikėtinos priežastys, kodėl faktinės šilumos sąnaudos dažniausiai rodo mažesnius sutaupytus šilumos kiekius, nei tai prognozuojama teoriniais skaičiais.

Santykinio drėgnio išmatuotų reikšmių dažnių pasiskirstymas (2 paveikslas, b) rodo, kad praktiškai visu matavimo laikotarpiu (su labai retomis išimtimis apie 5 % laiko) jis buvo nuo 35 % iki 60 %. Tai yra pakankamos santykinio drėgnio požiūriu mikroklimato sąlygos patalpose po modernizavimo analizuojamu laikotarpiu.

Siekiant įvertinti oro kokybę patalpose, buvo matuojama CO₂ koncentracija ir gauti rezultatai palyginti su IDA 2 minimaliais reikalavimais (1000 ppm). Sukaupytų duomenų analizė pateikiama 3 paveiksle.

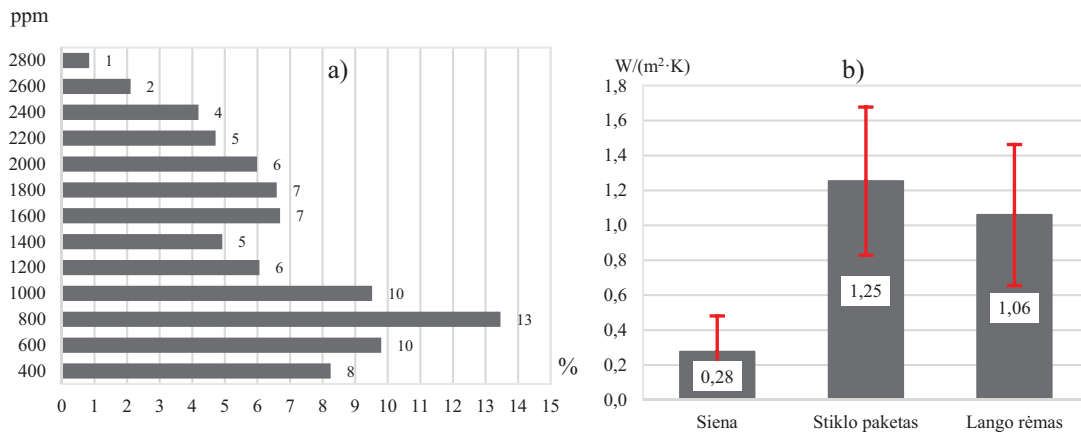
3 paveiksle, a, vaizduojamas CO₂ koncentracijos kitimo pasiskirstymas visuose pastatuose vertinamuoju laikotarpiu. Patalpose peržengus 1000 ppm neuztikrinamas reikiamas švaraus oro kiekis. Analizė rodo, kad daugiau kaip pusė analizuoto laikotarpio patalpose buvo viršyta rekomenduotina CO₂ koncentracijos riba. Didelę laiko dalį, kai buvo užtikrinamas reikiamas CO₂ koncentracijos lygis, gyventojų patalpose nebuvo. Rekomenduotinas CO₂ koncentracijos lygis buvo viršijamas tada, kai gyventojai būdavo namuose. Siekiant pagerinti oro kokybę modernizuotuose daugiabučiuose, būtina spręsti vėdinimo klausimą. Tuo atveju, kai norminis šviežio oro patekimas yra organizuojamas be šilumos atgavimo, tuomet šilumos poreikis vėdinimui gali išaugti du kartus ir net daugiau, todėl faktiniai modernizavimo nulemti sutaupymai gali mažėti. Tuo atveju, kai vėdinimo sistema turi šilumos atgavimo sprendinius, tada šilumos poreikis, esant norminėms są-



2 paveikslas. Visų pastatų reikšmių dažnių pasiskirstymas pagal pasirinktus intervalus:

a – matuotos patalpų temperatūros; b – santykinio drėgnio (RH)

Figure 2. The distribution of value frequency according to chosen intervals of a) measured indoor temperature and b) relative humidity



3 paveikslas. Visų pastatų CO₂ koncentracijos reikšmių dažnių pasiskirstymas pagal pasirinktus intervalus (a); šilumos perdavimo koeficiento vidurkis ir pasiskirstymas pasikliautinajame intervale (b)
Figure 3. a) Distribution of the CO₂ concentration values according to the selected intervals and b) the distribution of the measured values of the heat transfer coefficient

lygoms po modernizavimo, išliktų toks pats, koks buvo vertintas 1 lentelėje.

Vertinant visų 12 pastatų išorinių sienų, langų stiklo paketų ir langų rėmų šilumos perdavimo koeficientų matavimo rezultatus (3 paveikslas, b), matyti, kad *faktinis* vidutinis nakties didžiausio patikimumo intervalo (nuo 00:00 iki 04:00 valandos) išorinės sienos šilumos perdavimo koeficientas pagal (2) formulę yra $U_f = 0,28 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, lango stiklo paketo – $U_f = 1,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, lango rėmo – $U_f = 1,06 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Atkreiptinas dėmesys, kad gautų rezultatų statistinė analizė rodo gana žymų šilumos perdavimo koeficiento reikšmių pasklidimą – fiksuotos reikšmės svyruoja plačioje amplitudėje. Tą iš dalies lemia leidžiami skirtingi modernizavimo reikalavimai, t. y. gana nedideli šiluminių charakteristikų reikalavimai (pasiekti bent D arba C energinio efektyvumo klasę). Be to, langų bendras šilumos perdavimo koeficientas yra mažesnis nei tas, kurį reikėdavo pasiekti pagal modernizavimo reikalavimus. Šis rodiklis mažina pastato šilumos nuostolius ir didina sutaupytą šilumos kiekį.

Išvados

Matavimo duomenų detali statistinė analizė rodo, kad vidutinė svorinė patalpų vidaus temperatūra per analizuotą laikotarpį buvo 20,4 °C. Išmatuotų reikšmių pasiskirstymas gana tolygus, ir tik labai trumpą laikotarpį – apie 4 % laiko – temperatūra buvo žemesnė nei 18 °C. Tai rodo, kad patalpose beveik viso tyrimo metu buvo užtikrinamos norminės temperatūros sąlygos.

Laikant, kad bazinė norminė patalpų vidaus temperatūra yra 18 °C, galima teigti, kad patalpos buvo peršildomos (vidutiniškai 2,4 °C). Kai bazinė patalpų vidaus temperatūra yra 18 °C, perskaičiuoti energijos sutaupymai išmatuotoje faktinėje vidutinėje temperatūroje (20,4 °C) yra mažesni 7,5 %.

Santykinio drėgno išmatuotų reikšmių dažnių pasiskirstymas rodo, kad beveik visu matavimo laikotarpiu (su išimtimis apie 5 % laiko) jis buvo nuo 35 % iki 60 %. Tai rodo pakankamas santykinio drėgno požūriū mikroklimato sąlygas patalpose po modernizavimo per analizuojamą laikotarpį.

CO₂ koncentracijos kitimo pasiskirstymas visuose pastatuose vertinamuoju laikotarpiu rodo, kad daugiau kaip pusė analizuoto laikotarpio patalpose buvo viršyta rekomenduojama 1000 ppm CO₂ koncentracijos riba. Tai atitinka prastą oro kokybę. Tuo atveju, kai norminio šviežio oro patekimas organizuojamas be šilumos atgavimo sistemos, šilumos poreikis vėdinimui gali išaugti du kartus ir net daugiau, todėl faktiniai modernizavimo nulemti sutaupymai gali mažėti.

Vertinant visų 12 pastatų išorinių sienų, lango stiklo paketų ir lango rėmų šilumos perdavimo koeficientų matavimo rezultatus, vidutinis išorinės sienos šilumos perdavimo koeficientas buvo $U_f = 0,28 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, lango stiklo paketo – $U_f = 1,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, lango rėmo – $U_f = 1,06 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Mažas langų bendras šilumos perdavimo koeficientas mažina pastato šilumos nuostolius ir didina sutaupytą šilumos kiekį.

Literatūra

- Ahlborn ALMEMO Manual. (2009). *Fundamentals of measuring technology, Sensor programming, for measuring instruments up to version 6* (8th ed.). Germany: Holzkirchen.
- Basinska, M., Koczyk, H., & Szczechowiak, E. (2015). Sensitivity analysis in determining the optimum energy for residential buildings in Polish conditions. *Energy and Buildings*, 107, 307-318. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.08.029>
- Čekanavičius, V. ir Murauskas, G. (2000). *Statistika ir jos taikymai I*. Vilnius: TEV.
- Čekanavičius, V. ir Murauskas, G. (2002). *Statistika ir jos taikymai II*. Vilnius: TEV.

- Čekanavičius, V. (2011). *Taikomoji regresinė analizė socialiniuose tyrimuose*. Retrieved from http://www.lidata.eu/files/mokymai/trast/Regesine_Analize_soc_tyrimuose.pdf.
- Guerra-Santin, O., Boess, S., Konstantinou, T., Romero Herrera, N., Klein, T., & Silvester, S. (2017). Designing for residents: building monitoring and co-creation in social housing renovation in the Netherlands. *Energy Research & Social Science*, 32, 164-179. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.03.009>
- Hamid, A. A., Farsater, K., Wahistrom, A., & Wallenten, P. (2018). Literature review on renovation of multifamily buildings in temperate climate conditions. *Energy and Buildings*, 172, 414-431. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.04.032>
- International Energy Agency. (2018). *World balance (2015)*. Retrieved from <https://www.iea.org/Sankey/#?c=World&s=Final%20consumption>
- Kuusk, K., & Kalamees, T. (2016). Estonian grant scheme for renovating apartment buildings. *Energy Procedia*, 96, 628-637. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.113>
- La Fleur, L., Moshfegh, B., & Rohdin, P. (2017). Measured and predicted energy use and indoor climate before and after a major renovation of an apartment building in Sweden. *Energy and Buildings*, 146, 98-110. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.04.042>
- Lambie, E., Senave, M., Van de Vyner, I., & Saelens, D. (2017). Experimental analysis of indoor temperature of residential buildings as an input for building simulation tools. *Energy Procedia*, 132, 123-128. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.657>
- Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija. (2016). *Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas* (STR 2.01.02:2016). Lietuvos statybos techninis reglamentas. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/2c182f10b6bf11e6aae49c0b9525cbbb>
- Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija (2005). Šildymas, vėdinimas ir oro kondicionavimas (STR 2.09.02:2005). Lietuvos statybos techninis reglamentas. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.1F3FB56815CB/ceqlwKNcLd>
- Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministerija. (2009). *Gyvenamųjų ir visuomeninių pastatų patalpų mikroklimatas* (HN 42:2009). Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.362676>
- Loga, T., Stein, B., & Diefenbach, N. (2016). TABULA building typologies in 20 European countries-making energy-related features of residential building stocks comparable. *Energy and Buildings*, 132, 4-12. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778816305837?via%3Dihub>
- Martinaitis, V., Kazakevičius, E., & Vitkauskas, A. (2007). A two-factor method for appraising building renovation and energy efficiency improvement projects. *Energy Policy*, 35, 192-201. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.11.003>
- Onset Computer Corporation. (2016). *HOBO U12 Logger*. Retrieved from <http://www.onsetcomp.com/files/data-sheet/Onset%20HOBO%20U12%20Data%20Loggers.pdf>
- Paraschiv, S., & Paraschiv, L. S. (2017). A review on interactions between energy performance of the buildings, outdoor air pollution and the indoor air quality. *Energy Procedia*, 128, 179-186. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.039>
- Rogoža, A., Šiupšinskas, G., Valančius, K., & Mikučionienė, R. (2017). Modernizuotų daugiabučių namų monitoringo rezultatų analizė. *Mokslas – Lietuvos ateitis*, 9(4), 482-487. <https://doi.org/10.3846/mla.2017.1071>
- Tinytag. (2018). *Tinytag Plus 2 temperature logger with integral sensor and for thermistor probe*. Retrieved from <http://gemi-ni2.assets.d3r.com/pdfs/original/3249-tgp-4510.pdf>

ANALYSIS OF MICROCLIMATE INDICATORS AND THERMAL CHARACTERISTICS OF ENVELOPE OF RESIDENTIAL MULTI-STOREY BUILDINGS

J. Bielskus, G. Šiupšinskas

Abstract

The purpose of the study was to analyse the thermal characteristics of the microclimate parameters and envelope of the renovated 12 residential multi-storey buildings by assessing their impact on heat savings. The relevance of this work is related to a significant discrepancy between the theoretically simulated / estimated heat savings after the renovation and the actual measured values of heat meters. After the statistical analysis of the accumulated data, the average indoor temperature of the premises, relative humidity, and CO₂ concentration were determined, and the distribution of frequency was assessed. The heat transfer coefficients of the walls, window glasses and window frames, measured according to the manufacturer's recommended methodology, are reviewed in this work. The results are compared with the current requirements for microclimate. The results revealed that in the investigated buildings after the renovation the weighted average temperature of the premises was higher than the temperature under standard conditions, but the air quality (CO₂ concentration) was insufficient. The air quality improvement measures increase heat demand and reduce the expected heat savings.

Keywords: renovation of residential buildings, monitoring, microclimate, actual heat transfer coefficient.