VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
Aplinkos inžinerijos fakultetas
Pastatų energetikos katedra
Pastato energetinių ir mikroklimato sistemų laboratorija

TYRIMO ATASKAITA

Užsakovas: UAB „Projektų rengimo centras“

Temos pavadinimas:

Klaipėdoje (Vyturio g. 25) esančio daugiabučio gyvenamojo namo atitvarų faktinių šilumos perdavimo koeficientų, patalpų oro temperatūros, CO_2 koncentracijos tyrimas

Mokslo sritis: Technologijos mokslai T000

2019 m. sausio 22 d. Sutartis Nr.

Temos vadovas Giedrius Šiupšinskas
(vardas, pavardė, parašas)

Autorių sąrašas:

Vadovas: Pastato energetinių ir mikroklimato sistemų laboratorijos vedėjas Giedrius Šiupšinskas

Parengė: doc. dr. Giedrius Šiupšinskas, dr Juozas Bielskus.

TURINYS

1. Darbo objektas ir tikslas 3
2. Matavimo priemonės ir metodika 3
2.1 Matavimo priemonės 3
2.2 Matavimo metodika 6
2.3 Skaičiavimo metodika 7
2.3.1 Reikalavimai faktiniam šilumos perdavimo koeficiento nustatymui 8
2.3.2 Pastato išorinių atitvarų norminiai reikalavimai 9
2.3.3 Reglamentuojamos patalpų mikroklimato vertės 9
3. Matavimo rezultatai 10
3.1 Išorinių atitvarų ir patalpų mikroklimato rodikliai 11
3.1.1 Išorinės sienos (38 butas) šiluminės charakteristikos 11
3.1.2 Lango stiklo paketo (38 butas) šiluminės charakteristikos 12
3.1.3 Palėpės perdangos (38 butas) šiluminės charakteristikos 12
3.1.4 Išmatuotų atitvarų faktiniai šiluminiai rodikliai 13
3.1.5 Patalpų vidaus temperatūra 14
3.1.6 Patalpų vidaus santykinė drėgmė 16
3.1.7 Patalpų vidaus CO2 koncentracijos kitimas 17
Išvados 18
Priedas (Pastato termografinė analizė) 21

1. Darbo objektas ir tikslas

Darbo objektas yra modernizuotas daugiabutis gyvenamasis namas, adresu Klaipėda, Vyturio g. 25.



1 pav. Analizuojamo daugiabučio gyvenamojo namo nuotrauka

Darbo tikslas – realiomis sąlygomis nustatyti minėto pastato išorinių atitvarų (sienos, lango stiklo paketo ir stogo arba stogo perdangos) faktinius šilumos perdavimo koeficientus. Taip pat atlikti šių pastatų išorinių atitvarų termografines nuotraukas, patalpų oro temperatūros, santykinės drėgmės ir CO_2 koncentracijos matavimus.

Pastatų išorinių atitvarų termografinės nuotraukos, šilumos perdavimo koeficientai bei patalpų mikroklimato rodikliai matuoti „Pastato energetinių ir mikroklimato sistemų laboratorijos“ (PEMS) įranga.

Atitvarų šilumos perdavimo koeficientai nustatomi vokiečių firmos „AHLBORN“ įranga, patalpų oro temperatūrai ir santykinei drėgmei ir CO_2 koncentracijai matuoti naudojami JAV firmos „Onset computer corporation“ jutikliai, lauko temperatūrai matuoti naudojami Didžiosios Britanijos firmos „TINYTAG“ jutikliai, o atitvarų vientisumas įvertinamas JAV firmos „FLIR” B-660 termovizoriumi.

2. Matavimo priemonės ir metodika

Šiame skyriuje aprašomos naudojamos matavimo įrangos specifikacijos, šilumos perdavimo koeficiento nustatymo metodika ir šilumos perdavimo koeficiento norminiai dydžiai.

2.1 Matavimo priemonės

Šilumos perdavimo koeficientui nustatyti 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" (2 pav.). Duomenų kaupiklis gali būti naudojamas, kai aplinkos oro temperatūra nuo -10 ºC iki +50 ºC ir santykinė oro drėgmė nuo 10 % iki 90 % [1].



2 pav. 9 kanalų duomenų kaupiklis „Almemo 2890-9" [1]

Prie duomenų kaupiklio prijungiami pageidaujami matavimo zondai. Šiuo atveju prijungiamos šilumos srauto plokštelės „ZA 9007-FS" (3 pav.). Šilumos srauto plokščių matavimo ribos nuo 0 W/m^2 iki 5200 W/m^2 [2].



3 pav. Šilumos srauto tankio matavimo plokštelė [2]

CO_2 koncentracija temperatūra ir santykinė drėgmė fiksuojama HOBO MX1102 prietaisu (4 pav.). Prietaiso CO2 matavimo riba nuo 0 iki 5000 ppm, o matavimo tikslumas ±50 ppm 5 %, temperatūra nuo 0 ºC iki 50 ºC, tikslumas ±0,21 ºC, santykinė drėgmė nuo 1 % iki 90 % ±0,2 %.



4 pav. Temperatūros, santykinės drėgmės ir CO_2 koncentracijos matavimo ir kaupimo įrenginys HOBO MX1102 [3]

- Patalpų oro temperatūros ir santykinės drėgmės registravimas atliekamas JAV gamintojų „Onset Computer Corporation“ duomenų kaupikliais „Hobo U12-012“ (5 pav.). Duomenų kaupiklis gali registruoti (ir kaupti) šiuos parametrus: oro temperatūrą, santykinę drėgmę ir apšvietimą (priklausomai nuo to ar buvo pasirinktos papildomos funkcijos matavimo laikotarpiu). Temperatūros reikšmes fiksuoja nuo -20 ºC iki 70 ºC, santykinę drėgmę – 5 ÷ 95 %, o apšvietą – 1 ÷ 3000 lux. Temperatūros matavimo tikslumas ± 0,35 ºC (nuo 0 iki 50 ºC), santykinės drėgmės ± 2,5 % (nuo 0 iki 90 %) [4].



5 pav. Duomenų kaupiklis Hobo U12-012 [4]

- Lauko oro temperatūros registravimas atliekamas Didžiosios Britanijos gamintojų „Tinytag“ duomenų kaupikliu TPG-4510 (6 pav.). Duomenų kaupiklis gali registruoti aplinkos ir paviršiaus (prijungiamas papildomas jutiklis) temperatūras. Duomenų kaupiklio veikimo ribos yra nuo -40 ºC iki 85 ºC, be to, jis yra atsparus drėgmės poveikiui, todėl gali būti naudojamas lauke [4].



6 pav. Duomenų kaupiklis TGP-4510 [4]

- Termografinė analizė atliekama JAV gamintojo „FLIR“ B-660 serijos infraraudonųjų spindulių kamera – termovizoriumi (7 pav.). Termovizoriaus temperatūros matavimo ribos yra nuo -40 ºC iki 120 ºC, matavimo paklaida - ± 1 %. Šio matavimo rezoliucija yra 640 x 400 pikselių [5].

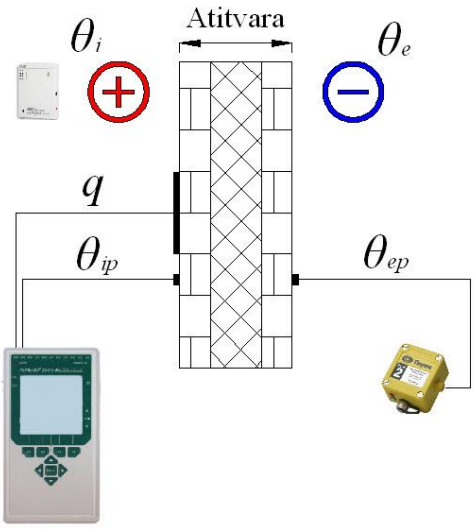


7 pav. Termovizorius „Flir B660“

Analizuoto pastato fasadų termografinė analizė su rezultatų komentarais pateikiama šios ataskaitos priede.

2.2 Matavimo metodika

Matavimo metodika remiasi AHLBORN įrangos gamintojų rekomendacijomis ir aprašymu [7]. Paviršių temperatūros ir šilumos srauto tankio matavimo zondų išdėstymo schema ir šilumos perdavimo koeficiento matuojami dydžiai pateikiami žemiau esančiame paveiksle – schemoje.



8 pav. Zondų išdėstymo vieta ir matuojami kintamieji dydžiai. Duomenų kaupimo įranga

Aukščiau pateiktame paveiksle pliuso ženklas apibūdina matuojamos patalpos vidaus, o minuso ženklas – lauko išorės parametrus. Matuojamos patalpos ar pastato viduje įrengiami atitvaros šilumos srauto tankį fiksuojanti plokštelė q ir vidaus paviršiaus temperatūrą θ_{ip} matuojantis zondas. Išorinėje atitvaros paviršiaus dalyje montuojamas temperatūrą θ_{ep} matuojantis zondas. Matuojamos vidaus θ_i ir lauko θ_e oro temperatūros. 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 temperatūros taip pat šilumos srauto tankis, buvo kaupiami atitinkamu intervalu (kaupimo intervalas 15 minučių, kiekvieno taško matavimo intervalas ne trumpesnį kaip 1 paros intervalą). 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 kitimui, ypač tai juntama dienos metu, kai atitvarą šildo saulė. Todėl tiksliausi atitvaros šilumos perdavimo koeficiento matavimo rezultatai pasiekiami tamsiuoju paros metu, kai išoriniai ir vidiniai pritekiai turi mažiausią įtaką rezultatams.

2.3 Skaičiavimo metodika

Skaičiavimams atlikti naudojama duomenų kaupimo įrangos gamintojų rekomenduojama metodika [2, 7]. Skaičiavimai atliekami naudojant išmatuotą šilumos srauto tankį, patalpos ir lauko oro temperatūrą, bet galima vietoje oro temperatūrų naudoti paviršių temperatūras, tik papildomai turi būti pridedami išorės ir vidaus paviršių šiluminės varžos R_{si} ir R_{se}. Šiame darbe dėl ypač sudėtingų sąlygų pritvirtinant lauko paviršiaus temperatūros

jutiklius, naudojamos tik patalpų vidaus ir lauko išorės temperatūrų bei paviršių šilumos srautų matavimas. Faktinis šilumos perdavimo koeficientas šiame darbe

Faktiniai[1] šilumos perdavimo koeficientai gali būti vertinami taip [8, 7]:

$$U_f = \frac{1}{R_{si}} + \frac{q}{\left(\theta_{ip} - \theta_{ep}\right)} + \frac{1}{R_{se}}, W/\left(m^2 \cdot K\right) \quad (1)$$

arba

$$U_f = \frac{q}{\left(\theta_i - \theta_e\right)}, W/\left(m^2 \cdot K\right) \quad (2)$$

čia: θ_{ip} – pasirinkto patikimo laiko intervalo vidutinė vidinio paviršiaus temperatūra, ^oC;

θ_{ep} – pasirinkto patikimo laiko intervalo vidutinė išorinio paviršiaus temperatūra, ^oC;

θ_i – pasirinkto patikimo laiko intervalo vidutinė vidaus oro temperatūra, ^oC;

θ_e – pasirinkto patikimo laiko intervalo vidutinė išorės oro temperatūra, ^oC;

q – pasirinkto patikimo laiko intervalo vidutinis šilumos srauto tankis, W/m^2;

R_{si} – vidaus paviršiaus šiluminė varža, $m^2 \cdot K/W$ (horizontali $R_{si} = 0{,}13$ $m^2 \cdot K/W$, šilumos srautas aukštyn $R_{si} = 0{,}10$ $m^2 \cdot K/W$) [8];

R_{se} – išorės paviršiaus šiluminė varža, $m^2 \cdot K/W$, (visomis kryptimis $R_{se}=0{,}04$ $m^2 \cdot K/W$) [8].

Faktinė atitvaros šiluminė varža yra atvirkštinis dydis *faktiniam* šilumos perdavimo koeficientui:

$$R_f = \frac{1}{U_f}, \quad m^2 \cdot K/W \quad (3)$$

Šiame darbe faktinis šilumos perdavimo koeficientas vertinamas pagal 2, o faktinė varža pagal 3 formules.

2.3.1 Reikalavimai faktiniam šilumos perdavimo koeficiento nustatymui

Atsižvelgiant į išmatuotą šilumos srautą ir temperatūrų skirtumą, matavimai turi būti atliekami atsižvelgiant į šias sąlygas [2, 7]:

1. Temperatūrų skirtumas tarp vidaus ir lauko aplinkų oro temperatūrų privalo būti pakankamai dideli. Rekomenduojamas atitvarai su normalia šilumine izoliacija $\Delta\theta >$ 10 K, o su didele šilumine izoliacija – $\Delta\theta >$ 30 K*;*
2. Temperatūrų svyravimai visą matavimo laikotarpį turėtų būti kuo mažesni;

[1] **Pastaba:** Čia vartojamas terminas nėra oficialiai patvirtintas ir naudojamas tik šiame darbe.

3. Išmatuotos vertės turi būti registruojamos pakankamai ilgą laiką (pvz. dvi ar net keletą dienų) ir apskaičiuojama, remiantis vidutine verte;
4. Matavimai turi būti atliekami tuomet, kai patalpoje yra pastovi temperatūra (rekomenduojama apie 20 ºC);
5. Tiesioginės saulės spinduliuotės, drėgmės ir kitų veiksnių įtaka turi būti sumažinta iki minimumo (pvz. matuoti naktį, matuoti kai sausas oras ir ant sausų paviršių).

2.3.2 Pastato išorinių atitvarų norminiai reikalavimai

Šiame skyriuje pateikiami šiuo metu galiojančių norminių reikalavimų vertės. Faktinės atitvarų šilumos perdavimo koeficientų reikšmės pateikiamos 4 skyriuje bei jos palyginamos su dabar galiojančiais reikalavimais pagal [8]. Šiuo metu galiojančios norminės gyvenamosios paskirties pastatų atitvarų šilumos perdavimo koeficiento vertės [8]:

1 lentelė. Gyvenamųjų pastatų atitvarų šilumos perdavimo koeficientų vertės skirtingo energinio naudingumo klasės pastatams

Atitvaros rūšis	D*	C, B*	C, B	A
Stogas	0,25	~ 0,17	0,15	0,14
Sienos	0,35	~ 0,21	0,18	0,15
Langas (visa konstrukcija)	1,85	~ 1,61	1,4	1,0·

Pastabos:

- šilumos perdavimo koeficientai D, C ir B energinio naudingumo klasės atvejais su žvaigždute atitinka 2013-12-09 STR redakciją;
- šilumos perdavimo koeficientai C, B ir A energinio naudingumo klasės be žvaigždutės atitinka 2019-02-01 STR redakciją [8].

2.3.3 Reglamentuojamos patalpų mikroklimato vertės

Statybos techninis reglamentas [9] apibrėžia CO_2 koncentracijos ribinius dydžius tik negyvenamosios paskirties pastatams. Pasirinktos patalpų oro kokybės kategorijos leidžiamo lygio negyvenamosios paskirties patalpose:

- kategorija IDA 1, aukštas oro kokybės lygis – iki 400 ppm CO_2 daugiau negu CO_2 koncentracija lauko ore;
- kategorija IDA 2, vidutinis oro kokybės lygis – iki 600 ppm CO_2 daugiau negu CO_2 koncentracija lauko ore;
- kategorija IDA 3, pakankamas oro kokybės lygis – iki 800 ppm CO_2 daugiau negu CO_2 koncentracija lauko ore;

- kategorija IDA 4, žemas oro kokybės lygis – per 1000 ppm CO_2 daugiau negu CO_2 koncentracija lauko ore.

Šiuo atveju nesant aiškių ribojimų gyvenamosios paskirties pastatams, oro kokybės lygis vertinamas pagal IDA 4 kategorijos reikalavimus, t. y. CO_2 koncentracija patalpose turi neviršyti 1000 ppm (400 ppm lauko CO_2 koncentracijos reikšmė+600 ppm CO_2 didesnė negu CO_2 koncentracija lauko ore.)

Higienos normos [10] pateikia gyvenamųjų bei viešojo naudojimo pastatų reglamentuojami oro temperatūros ir santykinės drėgmės ribinius dydžius.

1 lentelė. Gyvenamųjų patalpų ir lankytojams skirtų visuomeninių patalpų mikroklimato parametrų ribinės vertės [10]

Eil. Nr.	Mikroklimato parametrai	Ribinės vertės	
		Šaltuoju metų laikotarpiu	Šiltuoju metų laikotarpiu
1.	Oro temperatūra, °C	18–22	18–28
3.	Santykinė oro drėgmė, %	35–60	35–65

Šiame darbe priimta, kad šildymo sezono *ribinės sąlygos* patalpoje bus kai:

- CO_2 koncentracija patalpoje neviršija 1000 ppm;
- Santykinė drėgmė yra nuo 35 % iki 60 %;
- Patalpos oro temperatūra yra nuo 18 ºC iki 22 ºC.

Komfortinės sąlygos šaltuoju laikotarpiu [9]:

- Santykinė drėgmė yra nuo 40 % iki 60 %;
- Patalpos oro temperatūra yra nuo 20 ºC iki 24 ºC.

3. Matavimo rezultatai

Matavimo metu kiekviename pastate buvo analizuojami išorinės sienos, lango stiklo paketo ir stogo šiluminės charakteristikos. Matavimai buvo atliekami su matavimų įranga, kuri yra aprašyta 2.2 poskyryje. Matavimai pradėti nuo 2019-01-22 ir baigti 2019-01-29, duomenų kaupimo intervalas 15 minučių. Rezultatai plačiau aptarti žemiau esančiuose skyreliuose.

Siekiant išvengti tiesioginės saulės spinduliuotės įtakos šilumos perdavimo koeficiento matavimui, skaičiavimuose naudojami tik nakties rezultatai nuo 00:00 iki 05:00 valandos.

3.1 Išorinių atitvarų ir patalpų mikroklimato rodikliai

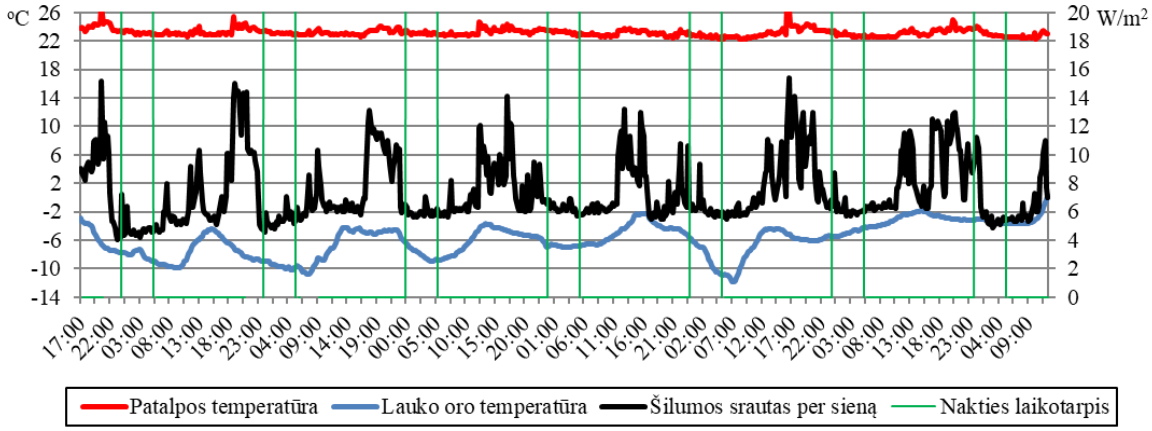
Toliau esančiame paveiksle (9 pav.) pateikiama pastato matavimo vietų nuotraukos.



9 pav. Matuotų išorinių atitvarų (palėpės perdanga, siena ir lango stiklo paketas) nuotraukos

3.1.1 Išorinės sienos (38 butas) šiluminės charakteristikos

Analizuotos išorinės atitvaros šilumos perdavimo koeficientas apskaičiuotas pagal žemiau esančio grafiko pavaizduotų intervalų duomenis.



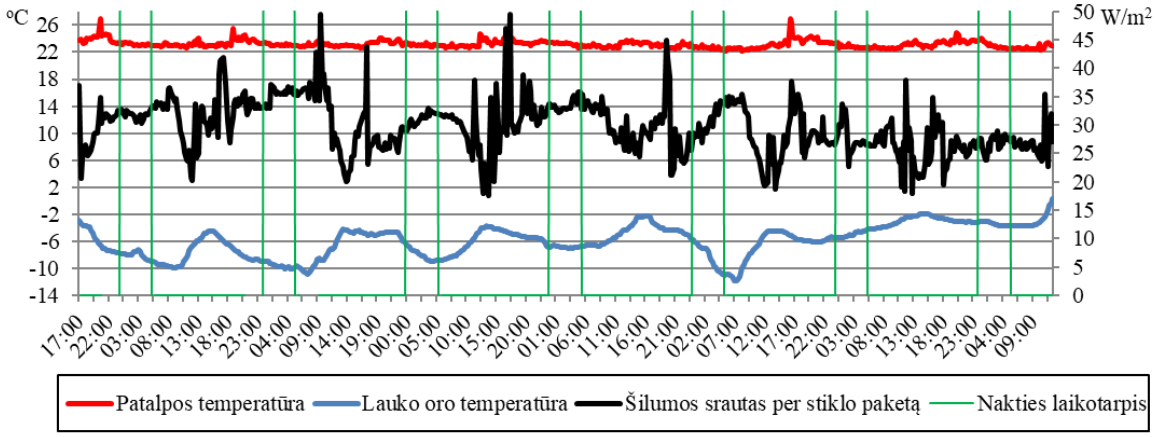
10 pav. Išorinės sienos 38 bute rodiklių matavimo rezultatai

10 pav. pateikti viso laikotarpio matavimų rezultatai. Čia vaizduojama šilumos srautas, vidaus ir lauko temperatūros. Žaliomis vertikaliomis linijomis išskiriami laikotarpiai, kurių duomenys bus naudojami šilumos perdavimo koeficiento skaičiavimuose (kitų atitvarų

paveikslų su matavimų duomenimis žymėjimas vienodas). Šilumos srautas yra žymimas juoda spalva ir turi antrą skalę (paveikslo dešinėje), o išmatuotos temperatūros – skalę kairėje. Matavimo duomenys kaupti pagal metodikoje rekomenduojamą laiką, todėl imtis yra pakankama, kad rezultatai būtų patikimi. Šilumos perdavimo koeficientų skaičiavimui naudojamas nakties laikotarpis nuo 00:00 iki 05:00 val. Taip pat galima pastebėti, kad nakties metu šilumos srautas yra pakankamai stabilus, o temperatūrų svyravimas nedidelis. To pakanka, kad būtų užfiksuotas stabilus procesas.

3.1.2 Lango stiklo paketo (38 butas) šiluminės charakteristikos

Analizuotos išorinės atitvaros šilumos perdavimo koeficientas apskaičiuotas pagal žemiau esančio grafiko pavaizduotų intervalų duomenis.



11 pav. Lango stiklo paketo 38 bute rodiklių matavimo rezultatai

11 pav. pateikti viso laikotarpio matavimų rezultatai, čia vaizduojama šilumos srautas, vidaus ir lauko temperatūros. Vertikaliomis linijomis išskiriami laikotarpiai, kurių duomenys bus naudojami šilumos perdavimo koeficiento skaičiavimuose. Šilumos perdavimo koeficientų skaičiavimui naudojamas nakties laikotarpis nuo 00:00 iki 05:00 val.

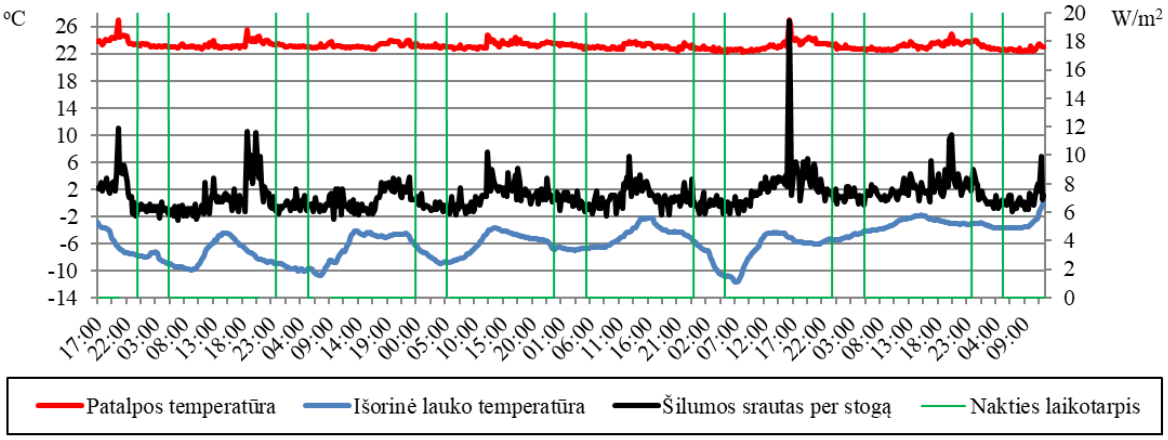
Daugelio pastatų atveju beveik visi langai yra pakeisti jau prieš modernizavimą. Šilumos perdavimo koeficientas apibūdina tik stiklo paketą, tuo tarpu visa lango konstrukcija nėra vertinama. Tikėtina, kad rėmo charakteristikos bus artimos stiklo paketo šilumos perdavimo koeficiento reikšmėms.

3.1.3 Palėpės perdangos (38 butas) šiluminės charakteristikos

Stogo šilumos perdavimo koeficiento matavimas yra sudėtingesnis nei kitų išorinių atitvarų, nes visuomet būtinas patekimas į viršutinį daugiabučio butą (tai įgyvendinti ne visuomet pavyksta). Taip pat reikėtų atkreipti dėmesį, kad vertinant stogo šilumos perdavimo

koeficientą reikia atsižvelgti į tam tikras galimas paklaidas. Jos gali atsirasti dėl sniego, kuris gali būti susikaupęs ant stogo arba dėl pakabinamų lubų, tapetų ir pan. įrengtu patalpoje. Dėl šių priežasčių šilumos perdavimo koeficiento reikšmė gali būti mažesnė („geresnė“). Iš kitos pusės ne visuomet plokštelė gali būti pakankamai tvirtai pritvirtinama, laikui bėgant nuo savo svorio ji gali atsiklijuoti arba ne pakankamai tvirtai kontaktuoja su matuojamu paviršiumi. Konkrečiame objekte fiksuotas šilumos srautas per perdenginį į techninį aukštą, bet šilumos perdavimo koeficientas vertintas visai stogo konstrukcijai. Įvertinus minėtas galimų paklaidų priežastis rekomenduotina šį rodiklį vertinti rezervuotai, kaip signalinį dydį.

Analizuotos išorinės atitvaros šilumos perdavimo koeficientas apskaičiuotas pagal žemiau esančio grafiko pavaizduotų intervalų duomenis.

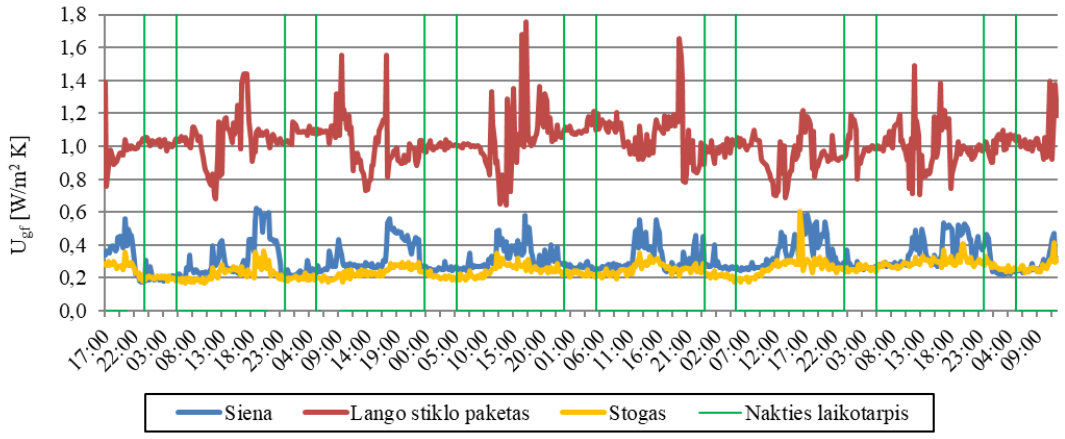


12 pav. Stogo perdangos 38 bute rodiklių matavimo rezultatai

12 pav. pateikti viso laikotarpio matavimų rezultatai, čia vaizduojama šilumos srautas, vidaus ir lauko temperatūros. Vertikaliomis linijomis išskiriami laikotarpiai, kurių duomenys bus naudojami šilumos perdavimo koeficiento skaičiavimuose. Šilumos perdavimo koeficientų skaičiavimui naudojamas nakties laikotarpis nuo 00:00 iki 05:00 val.

3.1.4 Išmatuotų atitvarų faktiniai šiluminiai rodikliai

Pagal jau aptartus sienos, lango stiklo paketo ir palėpės perdangos atitvarų charakteristikų matavimo duomenis apskaičiuotas faktinis šilumos perdavimo koeficientas (naudota 2 formulė). Vidutinė šių dydžių reikšmė nustatyta pagal didžiausio patikimumo laikotarpio duomenis (nuo 00:00 iki 05:00). Faktinės šilumos perdavimo koeficientų reikšmės pateikiamos žemiau esančiame paveiksle.



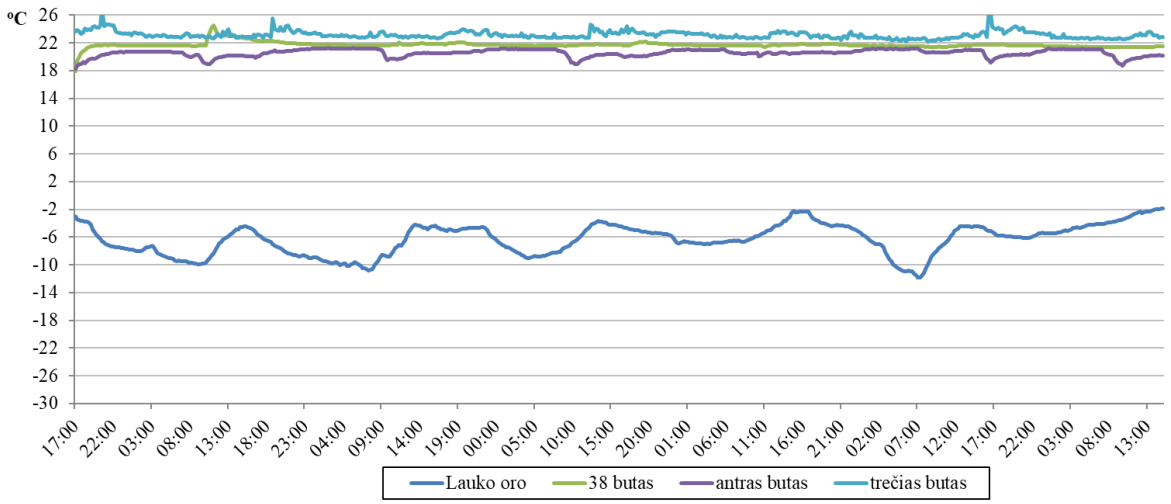
13 pav. Išorinės sienos, lango stiklo paketo ir palėpės perdangos šilumos perdavimo koeficiento kitimas per analizuotą laikotarpį

Kaip matome iš aukščiau esančio paveikslo didžiausi šilumos perdavimo koeficientų reikšmių svyravimai stebimi dienos metu, tam turėjo įtakos išoriniai (saulė) ir vidiniai pritekiai, todėl tikrai negalima naudoti šio laikotarpio matavimo rezultatų.

Faktinis vidutinis nakties didžiausio patikimumo intervalo (nuo 00:00 iki 05:00 valandos) išorinės sienos šilumos perdavimo koeficientas pagal formulę (2) $\boldsymbol{U_f}$ **= 0,26 W/(m²·K)** (R_f = 3,92 m²·K/W), lango stiklo paketo - $\boldsymbol{U_f}$ **= 1,03 W/(m²·K)** (R_f = 0,97 m²·K/W), stogo visos konsktrukcijos - $\boldsymbol{U_f}$ **= 0,22 W/(m²·K)** (R_f = 4,45 m²·K/W).

3.1.5 Patalpų vidaus temperatūra

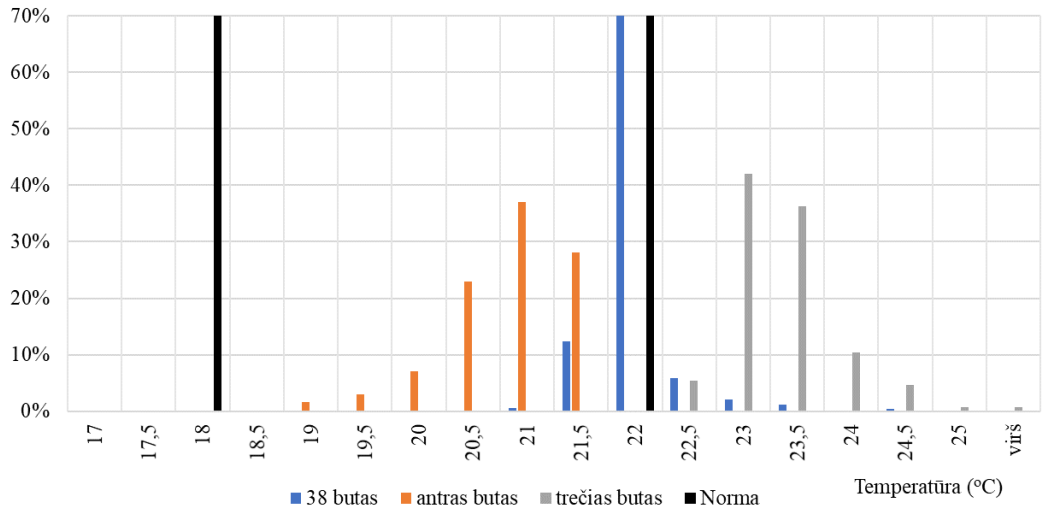
Atliekant pastato energijos balanso skaičiavimus ir siekiant įvertinti patalpose pasiekiamą mikroklimatą, per analizuotą laikotarpį, trijuose atskiruose butuose buvo matuojama oro temperatūra. Duomenys buvo kaupiami 15 minučių intervalu. Matavimų paskirtis ne tik įvertinti užtikrinamą patalpų temperatūrų lygį, bet ir išanalizuoti esamos šildymo sistemos reguliavimo galimybes. Butai, kuriuose buvo fiksuojamos temperatūros yra išdėstyti skirtinguose aukštuose, tokiu būdu siekiama įvertinti bendrą pastato šildymo sistemos reguliavimo lygį.



14 pav. trijų matuotų butų patalpų temperatūrų kitimas per analizuotą laikotarpį

Sukauptų duomenų kiekis yra didelis, todėl išvadų pateikimas turi apimti statistinę šių duomenų analizę. Ši analizė leidžia įvertinti kokios temperatūros, santykinio drėgnio ir CO_2 reikšmės buvo per analizuotą laikotarpį su 95 % patikimumu. Faktinių reikšmių histograma leidžia įvertinti atskirų patalpų mikroklimato rodiklius ir jų pasiskirstymą pagal užduotą rodiklio žingsnį. Tokiu būdu identifikuojamas mikroklimato rodiklių atitikimas norminėms reikšmėms ir nustatomas jų nuokrypis (jei toks pasitaiko).

Skaičiavimų rezultatai pateikiami grafiškai žemiau esančiuose paveiksluose. 15 pav. pateikiama 3 duomenų kaupiklių matavimo laikotarpio histograma. Šiame paveiksle taip pat apibrėžiamos pagal reikalavimus ribinio mikroklimato temperatūros šildymo (nuo 18 °C iki 22 °C) sezono metu [10].



15 pav. trijų matuotų butų temperatūrų pasiskirstymas matavimo metu

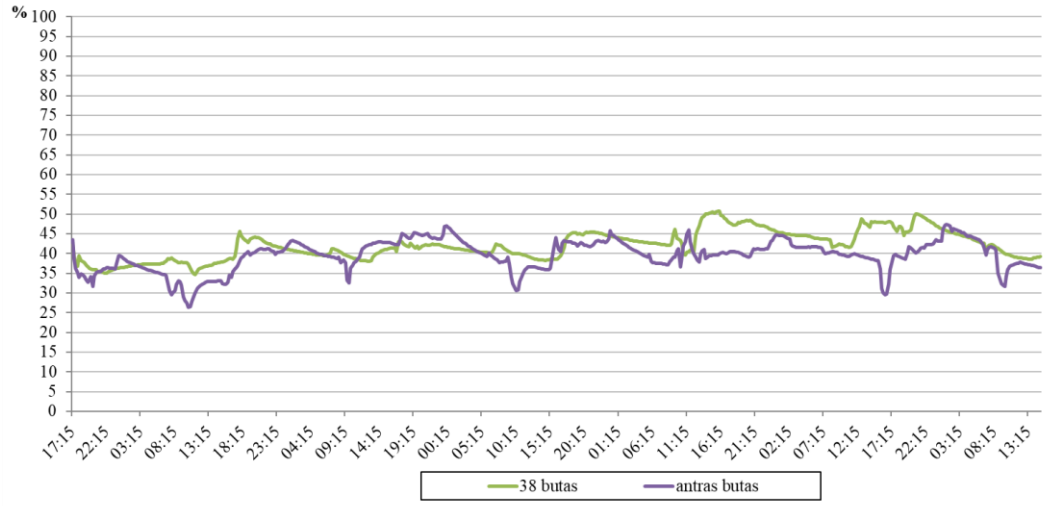
15 pav. ir kitose histogramose juodos vertikalios linijos parodo normines mikroklimato parametrų reikšmes. Aukščiau esančiame paveiksle galima matyti, kad matavimo metu antrame ir 38 butuose patalpų temperatūra buvo normos (18 ^{o}C iki 22 ^{o}C) ribose. Tuo tarpu pirmame bute matuota patalpa buvo peršildoma, nes visą laiką temperatūra viršijo 22 ^{o}C. Tai rodo galimybę taupyti šilumą sumažinant patalpų vidaus temperatūrą.

Bendra visų matuotų patalpų vidutinė temperatūra per analizuotą laikotarpį sudarė 21,4 ^{o}C, o tai atitinka norminius reikalavimus. Atskirai butuose vidutinės temperatūros buvo atitinkamai 21,7 ^{o}C, 20,6 ^{o}C ir 23,2 ^{o}C. Temperatūrų analizė rodo, kad praktiškai visą laiką patalpose buvo palaikoma aukštesnė nei žemutinė 18 ^{o}C riba. Po modernizavimo gyventojai linkę palaikyti aukštesnę patalpų temperatūrą artimą komforto temperatūroms (nuo 20 ^{o}C iki 24 ^{o}C ribose). Vidutiniškai skaičiuojama, kad sumažinus patalpų vidaus vidutinę temperatūrą 1 ^{o}C galima sutaupyti iki 5 % šilumos.

Pastaba: analizuojant temperatūros, santykinės drėgmės ir CO_2 koncentracijos matavimų duomenis naudotasi panašiu rezultatų pateikimo ir duomenų apdorojimo principu. Todėl analizuojant kitų objektų rezultatus ši informacija nėra kartojama, o tiesiog pateikiami pasiekti rezultatai.

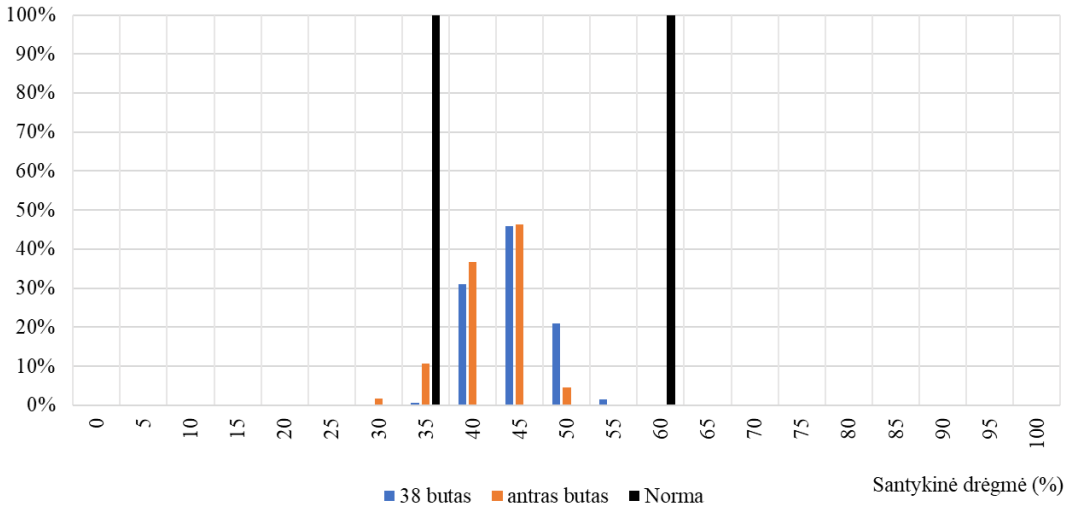
3.1.6 Patalpų vidaus santykinė drėgmė

Tie patys įrenginiai, kurie matavo ir kaupė temperatūrą vykdė ir santykinės drėgmės reikšmių matavimą. Kaune esančio daugiabučio gyvenamojo namo atveju buvo kaupiami dviejų butų santykinės drėgmės rodikliai. Matavimo duomenys pateikiami 16 pav.



16 pav. dviejų matuotų butų santykinės drėgmės kitimas per analizuotą laikotarpį

Sukauptų duomenų pasiskirstymas pagal išmatuotą laiką ir užsiduotą intervalą pateikiamas 17 pav.



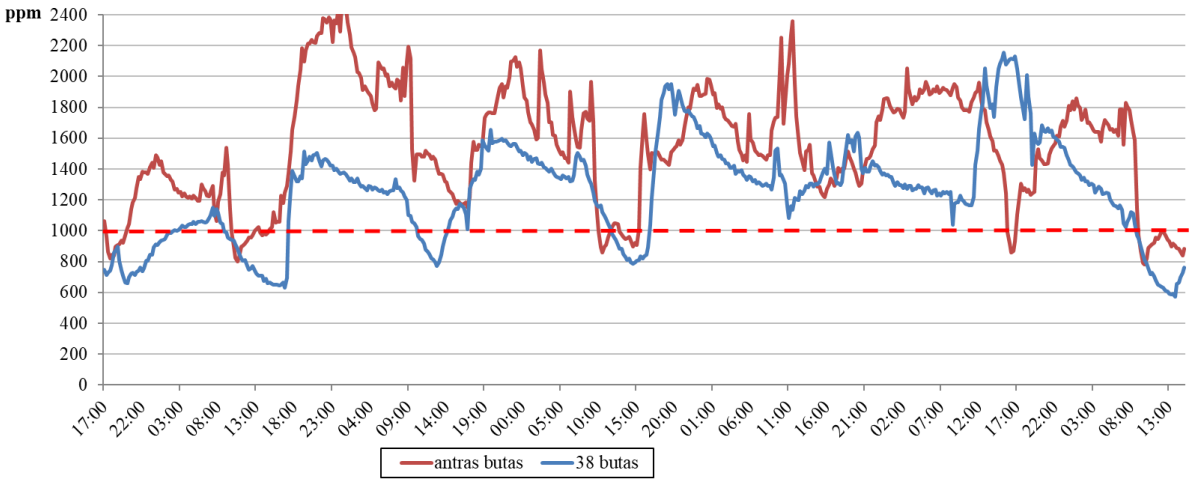
17 pav. 2 matuotų butų santykinės drėgmės histograma

17 pav. matyti, kad abiejų butų santykinės drėgmės reikšmės beveik visą matuotą laiką patenka į normuojamą intervalą.

Bendra vidutinė matuotų patalpų santykinė drėgmė per analizuotą laikotarpį sudarė 40,8 % o tai atitinka norminius reikalavimus. Techniniai sprendimai, kurie leistų padidinti drėgmės kiekį ore yra finansiniu požiūriu brangūs ir energijai imlūs.

3.1.7 Patalpų vidaus CO2 koncentracijos kitimas

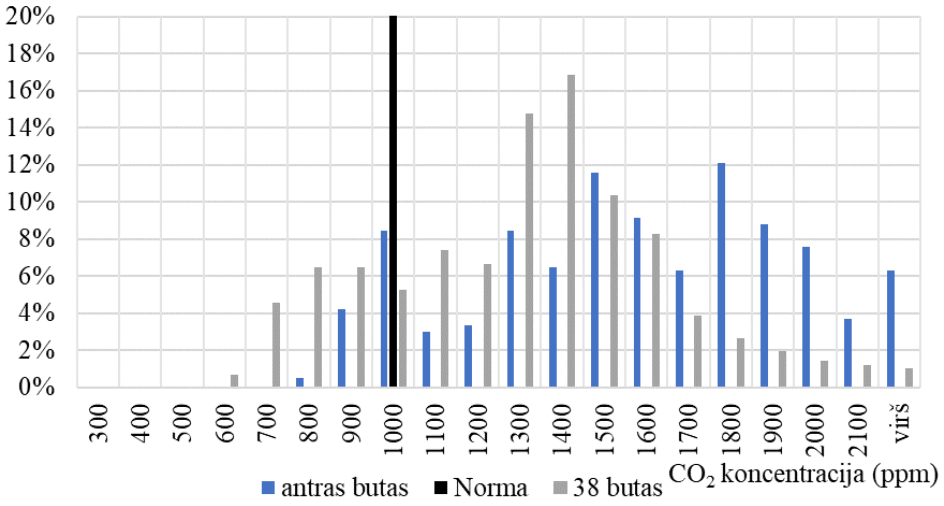
Siekiant įvertinti oro kokybę patalpose buvo matuojamas CO_2 koncentracijos lygis ir gauti rezultatai palyginti su minimaliais reikalavimais. Čia CO_2 koncentracija buvo fiksuota dvejuose butuose. Sukauptų duomenų analizė pateikiama žemiau esančiame paveiksle.



18 pav. Abiejų butų CO_2 koncentracijos kitimas per analizuotą laikotarpį

18 pav. vaizduojamas CO_2 koncentracijos kitimas vertinamuoju laikotarpiu, o 19 pav. šių duomenų histograma (atskirų reikšmių intervalo pasikartojimas per visą analizuotą

laikotarpį). Vertikali juoda linija, kuri yra ties 1000 ppm, nurodo norminę CO_2 koncentracijos ribą. Ją peržengus į dešinę (didesnę) pusę patalpose neužtikrinamas reikiamas švaraus oro kiekis.



19 pav. Abiejų butų CO_2 koncentracijos duomenų analizės histograma

Statistinė CO_2 koncentracijos atskirame bute analizė rodo, kad vidutinė reikšmė matavimo metu abiejuose butuose buvo 1398 ppm. Tai rodo prastą patalpos mikroklimatą. Galima stebėti, kad kai gyventojai yra patalpose matuojamo dydžio koncentracija viršija beveik visada normų žemutinę ribą. Pagal tai kaip koncentracijos reikšmė tolygiai mažėjo nakties metu galima daryti išvadą, kad matuotoje patalpoje žmonių nebuvo. Faktinės išmatuotos CO_2 reikšmės svyravo nuo minimalios 573 iki 2471 ppm reikšmių. Nors pastate įrengta mechaninė centrinė oro ištraukimo sistema su organizuotu šviežio oro patekimu į patalpą, kodėl tokios aukštos CO_2 koncentracijos stebimos matavimo metu atsakyti gana sudėtinga. Matavimo metu lauko temperatūros buvo neigiamos, todėl tikėtina, kad oro padavimo orlaidės buvo uždarytos ir šviežio oro kiekis sumažėjęs. Rekomenduojama atlikti detalesnę įrengtos sistemos analizę ir pamokyti gyventojus kaip su tokiomis sistemomis elgtis.

Išvados

- *Faktinis* vidutinis nakties didžiausio patikimumo intervalo (nuo 00:00 iki 05:00 valandos) išorinės sienos šilumos perdavimo koeficientas pagal formulę (2) $\boldsymbol{U_f}$ **= 0,26 W/(m²·K)** (R_f = 3,92 m²·K/W), lango stiklo paketo - $\boldsymbol{U_f}$ **= 1,03 W/(m²·K)** (R_f = 0,88 m²·K/W), stogo konstrukcijos - $\boldsymbol{U_f}$ **= 0,22 W/(m²·K)** (R_f = 4,45 m²·K/W). Atlikus matavimus galima pastebėti, kad nakties metu šilumos srautas yra pakankamai stabilus, o temperatūrų

svyravimas nedidelis. To pakanka, kad būtų užfiksuotas stabilus procesas ir rezultatai būtų pakankamai patikimi. Lyginant matuotų atitvarų pasiektus rodiklius galima teigti, kad stogo konstrukcijos ir sienos charakteristika yra artima C energinio naudingumo klasei, o lango stiklo paketo yra labai aukšta tarp B ir A. Išmatuotų charakteristikų reikšmės labai artimos techniniame projekte pateikiamoms reikšmėms.

- Galima matyti, kad matavimo metu antrame ir 38 butuose patalpų temperatūra buvo normos (18 ^{o}C iki 22 ^{o}C) ribose. Tuo tarpu pirmame bute matuota patalpa buvo peršildoma, nes visą laiką temperatūra viršijo 22 ^{o}C. Tai rodo galimybę taupyti šilumą sumažinant patalpų vidaus temperatūrą. Bendra visų matuotų patalpų vidutinė temperatūra per analizuotą laikotarpį sudarė 21,4 ^{o}C, o tai atitinka norminius reikalavimus. Atskirai butuose vidutinės temperatūros buvo atitinkamai 21,7 ^{o}C, 20,6 ^{o}C ir 23,2 ^{o}C. Temperatūrų analizė rodo, kad praktiškai visą laiką patalpose buvo palaikoma aukštesnė nei žemutinė 18 ^{o}C riba. Po modernizavimo gyventojai linkę palaikyti aukštesnę patalpų temperatūrą artimą komforto temperatūroms (nuo 20 ^{o}C iki 24 ^{o}C ribose). Vidutiniškai skaičiuojama, kad sumažinus patalpų vidaus vidutinę temperatūrą 1 ^{o}C galima sutaupyti iki 5 % šilumos.
- Bendra vidutinė matuotų patalpų santykinė drėgmė per analizuotą laikotarpį sudarė 40,8 % o tai atitinka norminius reikalavimus. Techniniai sprendimai, kurie leistų padidinti drėgmės kiekį ore yra finansiniu požiūriu brangūs ir energijai imlūs.
- Statistinė CO_2 koncentracijos atskirame bute analizė rodo, kad vidutinė reikšmė matavimo metu abiejuose butuose buvo 1398 ppm. Tai rodo prastą patalpos mikroklimatą. Galima stebėti, kad kai gyventojai yra patalpose matuojamo dydžio koncentracija viršija beveik visada normų žemutinę ribą. Pagal tai kaip koncentracijos reikšmė tolygiai mažėjo nakties metu galima daryti išvadą, kad matuotoje patalpoje žmonių nebuvo. Faktinės išmatuotos CO_2 reikšmės svyravo nuo minimalios 573 iki 2471 ppm reikšmių. Nors pastate įrengta mechaninė centrinė oro ištraukimo sistema su organizuotu šviežio oro patekimu į patalpą, kodėl tokios aukštos CO_2 koncentracijos stebimos matavimo metu atsakyti gana sudėtinga. Matavimo metu lauko temperatūros buvo neigiamos, todėl tikėtina, kad oro padavimo orlaidės buvo uždarytos ir šviežio oro kiekis sumažėjęs. Rekomenduojama atlikti detalesnę įrengtos sistemos analizę ir pamokyti gyventojus kaip su tokiomis sistemomis elgtis.

Literatūra

1. Data Logger ALMEMO 2890-9. Operating instructions. [interaktyvus]. Žiūrėta 2017 sausio 5 d. Prieiga per internetą: http://www.clarksol.com/PDF/Almemo%202890-9.pdf
2. AHLBORN. 2009. ALMEMO Manual 8 th revised edition. Germany.
3. https://www.onsetcomp.com/co2 (žiūrėta 2019 m. sausį).
4. HOBO U12 Temperature/Relative Humidity/Light/External Data Logger - U12-012 [interaktyvus]. Žiūrėta 2017 sausio 5 d. Prieiga per internetą: http://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/u12-012
5. Tinytag Plus 2 [interaktyvus]. Žiūrėta 2017 sausio 5 d. Prieiga per internetą: http://www.geminidataloggers.com/data-loggers/tinytag-plus-2/tgp-4510
6. FLIR. FLIR B660 specifications [interaktyvus]. Žiūrėta 2017 sausio 5 d. Prieiga per internetą: http://www.flir.com/cs/emea/en/view/?id=41957.
7. https://www.ahlborn.com/en_UK/heat-flux-measurement
8. STR 2.01.02:2016. Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas
9. STR 2.09.02:2005. Šildymas, vėdinimas ir oro kondicionavimas
10. HN 42:2009. Gyvenamųjų ir visuomeninių pastatų patalpų mikroklimatas

Priedas (Pastato termografinė analizė)