

Environmental engineering Aplinkos inžinerija

EKSPLOATUOJAMŲ GYVENAMOSIOS VIENO AR DVIEJŲ BUTŲ PASKIRTIES PASTATŲ SANDARUMO MATAVIMŲ ANALIZĖ

Rokas KLABIS , Violeta MOTUZIENĖ *, Rūta MIKUČIONIENĖ 

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

Gauta 2021 m. liepos 13 d.; priimta 2021 m. rugsėjo 3 d.

Santrauka. Siekiant Europos Sąjungos (ES) energijos vartojimo efektyvumo tikslų visose šalyse narėse yra įvestas privalomas naujai statomų ar parduodamų pastatų energinio naudingumo sertifikavimas. Sertifikuojant pastatus yra nustatyti reikalavimai aukštesnio energinio efektyvumo pastatams išlaikyti tam tikrą sandarumo rodiklį. Tačiau didesnė problema slypi esamuose senesnės statybos gyvenamuosiuose pastatuose, kurie yra energetiškai neefektyvūs ir jiems sertifikavimas neprivalomas. Čia pastebėtas nepanaudotas energijos taupymo potencialas susijęs su vienbučių ir dvibučių gyvenamųjų namų sandarumu ir su juo susijusiu energijos efektyvumu. Todėl šiame darbe yra analizuojamas D ir žemesnės energinio naudingumo klasės pastatų sandarumas, remiantis faktiniais sandarumo matavimais, ir vertinamas galimas energijos taupymo potencialas, susijęs su sandarumo didinimo priemonių taikymu, remiantis vieno neefektyvaus vienbučio namo pavyzdžiu. Rezultatai rodo, kad tokiuose pastatuose sandarumą padidinus iki 3 h^{-1} , galima būtų energijos sąnaudas, susijusias su sandarumu, Lietuvos mastu 10 metų laikotarpiu sumažinti 0,17 TWh per metus.

Reikšminiai žodžiai: energijos taupymo potencialas, gyvenamieji vieno ar dviejų butų paskirties pastatai, oro infiltracija, pastatų sandarumas.

Įvadas

Energijos vartojimo efektyvumo ir atsinaujinančių energijos šaltinių naudojimo didinimas pastatuose yra vienas iš esminių Europos Sąjungos (ES) tikslų siekiant iki 2050 m. neutralizuoti poveikį klimatui (Europos Komisija, 2018). Naujai statomiems gyvenamosios paskirties pastatams Lietuvoje keliami reikalavimai pagal STR 2.01.02:2016, kur A energinio naudingumo klasės pastatai turi atitikti sandarumo rodiklį $n_{50} \leq 1,00 \text{ h}^{-1}$ (naudojamas oro apykaitos pastate rodiklis n_{50} nurodo oro pasikeitimo dažnį patalpoje per valandą esant 50 Pa slėgio skirtumui (bandymo sąlygomis), o A+ ir A++ energinio naudingumo klasės pastatų sandarumo rodiklis turi būti mažesnis už $0,60 \text{ h}^{-1}$ (Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija, 2016), tačiau pastaruoju metu tampa akivaizdu, kad problema ir didelis neišnaudotas energijos taupymo potencialas slypi esamuose pastatuose ir į tai atkreipia dėmesį Direktyva 2018/844 (Europos Parlamentas ir Europos Sąjungos Taryba, 2018) bei 2020 m. Tarptautinės energetikos agentūros paskelbta ataskaita (International Energy Agency, 2020), kuri rodo, kad energijos efektyvumą reglamentuojantys teisės aktai nespėja vyti augančio pastatų ploto, o renovacijos tempas

per lėtas. Todėl bendras pastatų sektoriuje suvartojamas energijos kiekis ES praktiškai nekinta ir išlieka apie 40 % galutinės energijos ES (Europos Parlamentas ir Europos Sąjungos Taryba, 2010).

Lietuvoje per paskutinį penkmetį namų ūkyje buvo suvartota 15,66–17,49 TWh energijos per metus ir tai sudaro 27–28 % bendro šalies energijos suvartojimo (Lietuvos statistikos departamentas, 2019). Iš šio skaičiaus vieno ar dviejų butų paskirties pastatuose energijos suvartojimas sudaro apie 9,84 TWh ir šildymui tenka 82,52 % šio suvartojimo.

Vieno ar dviejų butų gyvenamųjų namų iš viso Lietuvoje yra daugiau kaip 0,5 mln. (Valstybės įmonė Registrų centras, 2020) ir tik 17,65 % iš jų turi energinio naudingumo sertifikatus (PENS), kurie yra privalomi naujai statomiems ar rekonstruojamiems pastatams bei namo pardavimo sandorio metu. Kaip matyti 1 paveiksle, didžioji dalis šių pastatų yra sertifikuoti kaip E, F, G klasės (tipiniai butų sertifikatai, kurie atliekami neatsižvelgiant į pastato charakteristikas, šioje diagramoje nėra įtraukti) ir apibūdinami kaip neefektyviai energiją vartojantys pastatai ir tik 6 % gyvenamųjų vieno ar dviejų butų paskirties pastatų

*Autorius susirašinėti. El. paštas violeta.motuziene@vilniustech.lt

sertifikuoti A ir aukštesne energinio naudingumo klase (Statybos produkcijos sertifikavimo centras, 2020).

Didžiąją šilumos nuostolių dalį energiška neefektyviuose pastatuose sudaro nuostoliai per atitvaras ir dėl oro apykaitos patalpose. Kaip rodo skirtingi šaltiniai, energijos dalis, skirta šilumos nuostoliams dėl oro apykaitos padengti, gali sudaryti 24–31 % (Liu et al., 2019), o kai kur net apie 61 % visų pastato šilumos nuostolių (La Fleur et al., 2017). Pastatuose, kuriuose nėra įrengta mechaninė vėdinimo sistema, oro pritekėjimai į patalpas vyksta kontroliuojamai per langus, duris ir kitas žmonių varstomas atitvaras ir nekontroliuojamai, kai oras į patalpas priteka (infiltruojasi) per nesandarumus pastato apvalkale. Pastatų sandarumo gerinimas yra viena pigiausių pastato energijos efektyvumo didinimo priemonių. Pavyzdžiui (Miszczyk, 2017), išnagrinėjęs du panašius pastatus, nustatė, kad energijos sąnaudos skyrėsi 14 kWh/m², kai pirmo pastato sandarumas buvo $n_{50} = 2,53 \text{ h}^{-1}$, o antro $n_{50} = 3,29 \text{ h}^{-1}$. Šadauskienė ir kt. (Šadauskienė et al., 2016) išnagrinėjo dvidešimt septynis Lietuvoje nuo 2007–2011 m. pastatytus gyvenamuosius pastatus, kurie priskiriami A, B ir C energinio naudingumo klasės pastatams, ir nustatė, kad C energinio naudingumo klasės pastatai suvartoja (sertifikuotose pateiktos apskaičiuotos energijos sąnaudos) 255 kWh/m², B energinio naudingumo klasės pastatai suvartoja 180 kWh/m², o A energinio naudingumo klasės pastatai suvartoja 2,48 karto mažiau energijos nei C energinio naudingumo klasės pastatai. Kaip vienas iš esminių parametrų, kuris sukuria energijos suvartojimo skirtumą, įvardijamas pastato sandarumo rodiklis (n_{50}), kuris nustatytas: A klasės pastatuose $< 1,00 \text{ h}^{-1}$; B energinio naudingumo klasės pastatuose $4,17\text{--}8,05 \text{ h}^{-1}$; C energinio naudingumo klasės pastatuose $4,45\text{--}7,60 \text{ h}^{-1}$ (Šadauskienė et al., 2014).

Šiuo aspektu neefektyvūs (D, E, F, G energinio naudingumo klasės) pastatai nevertinami, nors sudaro 51 % visų sertifikuotų pastatų ir tai leidžia daryti prielaidą, kad energijos taupymo potencialas šiuose pastatuose, įvedus

pastatų sandarumo rodiklio reikalavimus, sudarytų reikšmingą dalį.

Šio tyrimo tikslas – remiantis atliktais matavimais ir surinktais sandarumo matavimo duomenimis įvertinti neišnaudotą, su sandarumu susijusį energijos taupymo potencialą pastatuose Lietuvos mastu.

1. Metodika

Šio darbo tyrimas apima tris etapus: referencinio slėgio, energiška neefektyvaus pastato sandarumo ir energijos poreikių nustatymą bei potencialo, susijusio su energijos taupymu Lietuvos mastu, įvertinimą.

Referencinio slėgio nustatymas. Referencinis slėgis nustatomas tam, kad būtų galima įvertinti oro infiltraciją per pastato nesandarumus normaliomis sąlygomis, kai pastato vidaus ir išorės slėgių skirtumas nėra sukuriamas dirbtinai. Jis šiame darbe nustatomas iš surinktų sandarumo matavimų protokolų.

Energiškai neefektyvaus pastato sandarumo ir energijos poreikių nustatymas. Sandarumas yra matuojamas esamai situacijai ir pritaikius sandarumo didinimo priemones.

Siekiant nustatyti šilumos kiekį ($Q_{inf.(p)}$), reikalingą padengti pastovios pastato infiltracijos padarinius, taikoma (1) formulė.

$$Q_{inf.(p)} = c \cdot \rho \cdot L_{inf.(p)} \cdot (\theta_{in} - \theta_{ex}) \cdot z, \quad (1)$$

čia c – savitoji oro šiluma, Wh/kgK; ρ – oro tankis, kg/m³; $L_{inf.(p)}$ – infiltruojamo oro debitas, m³/h; θ_{in} – pastato vidaus oro temperatūra; θ_{ex} – vertinamo laikotarpio lauko oro temperatūra; z – valandų skaičius per vertinamą laikotarpį.

Siekiant įvertinti infiltruojamo oro debitą per pastato apvalkalo nesandarumus, esant normalioms išorės klimato sąlygoms, atliekamas valandinis infiltruojamo oro debito skaičiavimas pagal LNBL (Lawrence Berkely National Laboratory) metodą (2):

$$L_{inf.} = n(t) \cdot V, \quad (2)$$

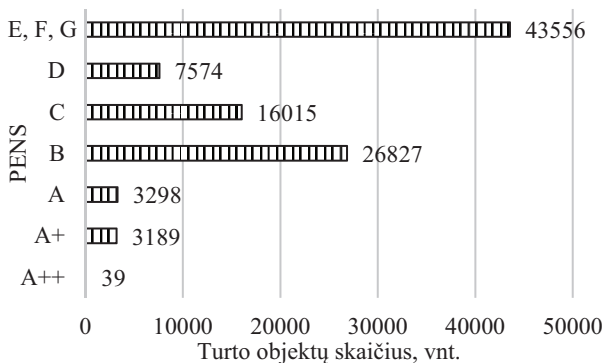
čia $n(t)$ – valandinis pastato sandarumo rodiklis normaliomis sąlygomis; V – pastato šildomas tūris, m³.

Pastato sandarumo rodiklis n_{50} nustatomas remiantis LST EN ISO 9972:2015 (Lietuvos standartizacijos departamentas, 2015) metodika, atliekant „pučiančių durų“ testą (kai naudojant ventiliatorius sukuriamas 50 Pa slėgių skirtumas tarp pastato vidaus ir išorės). n_{50} nustatomas pagal (3) formulę.

$$n_{50} = \frac{L_{vent.}}{V}; n_{\Delta p} = \frac{L_{vent.}}{V}, \quad (3)$$

čia $L_{vent.}$ – ventiliatoriaus sukuriamas oro srautas, m³/h.

Toks sukuriamas slėgių skirtumas reikalingas tam, kad būtų galima nepaisyti vėjo ir temperatūros sukuriamos paklaidos. Nustačius sandarumo rodiklį esant 50 Pa atliekamas sandarumo rodiklio perskaičiavimas normaliomis sąlygomis. Daugumoje mokslinių straipsnių slėgių skirtumas, kuriam esant perskaičiuojamas išmatuotas sandarumo rodiklis, yra 4 Pa (Zheng et al., 2019; Turner et al., 2012), tačiau iš surinktų matavimo duomenų Lietuvoje



1 paveikslas. PENS pasiskirstymas pagal energinio naudingumo klases. Sudaryta autorių pagal SPSC duomenis (Statybos produkcijos sertifikavimo centras, 2020)
Figure 1. Buildings' energy efficiency classes distribution. Compiled by the author according to SPSC data (Statybos produkcijos sertifikavimo centras, 2020)

nustatyta, kad momentinis referencinis slėgis (Δp_r) yra apie 1 Pa. Šis dydis apskaičiuotas pagal tipinius meteorolinius metus Lietuvoje, vertinant temperatūrų ir vėjo įtaką. Referencinio slėgio statistinių duomenų analizė pateikiama rezultatų poskyryje.

Pastato oro kaitos perskaičiavimas normaliomis sąlygomis atliekamas pagal (4) formulę:

$$n(t) = \frac{ELA \cdot s(t)}{V} \cdot 3600, \quad (4)$$

čia ELA – efektyvusis nesandarumų plotas (angl. *Effective leakage area*), m^2 ; $s(t)$ – savitasis valandinis infiltruojamas oro debitas, m^3/s .

Efektyvusis nesandarumų plotas – tai dydis, nusakantis konkretaus pastato nesandarumo plotą atitvaruose. Jis apskaičiuojamas:

$$ELA = \frac{n_{50} \cdot V}{\Delta p_{50}^k \cdot 3600} \cdot \Delta p_r^{k-1/2} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{2}}, \quad (5)$$

čia k – empirinė laipsninė eksponentė, kurią nusako konkretaus pastato plyšių ir angų formos bei dydžiai; Δp_r – referencinis slėgis, Pa.

Empirinė laipsninė eksponentė k konkretaus pastato atveju yra vis kitokia, tačiau pasirenkamas tyrimų ir bandymų metu nustatytas statistinis vidurkis, kuris yra 0,65 (Jaraminienė, 2008).

Pastato pozicionavimas sklype ir jį supanti aplinka taip pat turi įtakos pastato sandarumui, nes oro temperatūra ir vėjas yra įtaką darantys klimato veiksniai, todėl savitasis valandinis infiltruojamo oro debitas nustatomas atsižvelgiant į temperatūros ir vėjo įtaką konkrečiu paros laiku:

$$s(t) = \sqrt{f_s^2 \cdot \Delta\theta(t) + f_w^2 \cdot v^2(t)}, \quad (6)$$

čia f_s – traukos faktorius; f_w – vėjo faktorius; $\Delta\theta(t)$ – valandinis oro temperatūros abipus pastato atitvarų skirtumas, $^{\circ}C$; $v(t)$ – išmatuotas valandinis vėjo greitis, m/s .

Traukos faktorius – dydis, kurio vertė priklauso nuo konkretaus pastato plyšių pasiskirstymo atitvarose ir „kamino efekto“, kuris susidaro dėl temperatūrų skirtumo ir yra apskaičiuojamas pagal (7) formulę.

$$f_s = \left(\frac{1+R}{3} \right) \cdot \left(1 - \frac{X^2}{(2-R)^2} \right)^{3/2} \cdot \left(\frac{g \cdot H}{\theta_{in}} \right)^{1/2}, \quad (7)$$

čia R – grindyse ir lubose esančių nesandarumų dalis nuo visų pastato išorinėse atitvarose esančių nesandarumų; X – santykis tarp lubose ir grindyse esančių nesandarumų ploto; g – laisvojo kritimo pagreitis, m/s^2 ; H – pastato aukštis, m .

Vėjo faktoriui nustatyti pagrindinis kintamasis dydis yra pastato užuovėjos koeficientas, kuris priklauso nuo pastato užstatymo. Jis apskaičiuojamas:

$$f_w = C' \cdot (1-R)^{1/3} \cdot A \cdot \left(\frac{H}{10} \right)^B, \quad (8)$$

čia A – traukos koeficientas (0,85); B – vėjo koeficientas; (0,20); C' – pastato užuovėjos koeficientas.

Yra išskiriami 5 pagrindiniai pastato užstatymo būdai (Sherman, 1986), kuriems priskiriamos atitinkamos pastato užuovėjos koeficiento vertės. Šiame tyrime laikoma, kad dažniausiai pasitaikantis pastato užuovėjos apibūdinimas Lietuvoje gyvenamuosiuose vieno ar dviejų butų paskirties pastatuose atitinka III lygį (Mažai kliūčių ir vidutinė užuovėja) ir koeficientas atitinkamai – 0,240.

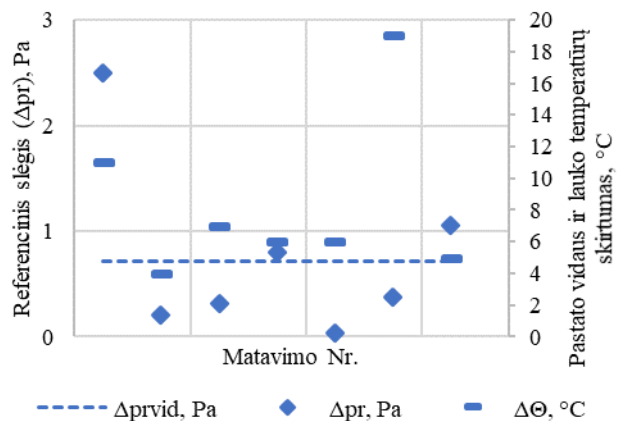
Potencialo, susijusio su energijos taupymu Lietuvos mastu, įvertinimas. Šiame etape, remiantis statistiniais duomenimis apie energiška neefektyvius vieno ir dviejų butų namus bei atliktais pastato sandarumo matavimais, vertinama, kiek energijos galima būtų sutaupyti Lietuvos mastu, jei būtų įvesti privalomi sandarumo reikalavimai D ir žemesnio energinio naudingumo klasės pastatams.

2. Rezultatai

Iš surinktų pastato sandarumo matavimų protokolų nustatyta, kad šildymo sezono metu surinktų duomenų referencinio slėgio rodiklio aritmetinis vidurkis yra 0,71 Pa (2 pav., punktyrinė linija).

Dėl trumpo laiko tarpo, kurio metu atliekamas matavimas, skaičiavimuose tikslingiau naudoti aritmetiškai nustatomą referencinį slėgį, kuris gali būti nustatomas vadovaujantis LST EN 16798-7:2017 (Lietuvos standartizacijos departamentas, 2017) metodika, o tipiniais meteorologiniais metais vidutinio gyvenamojo vieno ar dviejų butų paskirties pastato apskaičiuotas referencinis slėgis yra 1,48 Pa.

Buvo nustatyta, kad didžiąją dalį energijos būsto šildymui suvaratoja D ir žemesnės energinio naudingumo klasės pastatai, kuriems nėra keliami pastato sandarumo reikalavimai. Todėl siekiant įvertinti potencialą, kiek energijos būtų galima sutaupyti Lietuvos įstatymų bazėje įtraukus privalomą pastato sandarumo rodiklį gyvenamiesiems vieno ar dviejų butų paskirties neefektyviems pastatams, atliekamas sandarumo matavimas energetiškai nesertifikuotame gyvenamajame pastate. Nagrinėjamas objektas – 1991 metais pastatytas gyvenamasis pastatas Šiaulių rajone. Pastatas yra dviejų aukštų, bendras šildomų patalpų tūris yra 298,40 m^3 , o pastato apvalkalo



2 paveikslas. Referencinis slėgis šildymo sezono metu
Figure 2. Reference pressure during the heating season

plotas – 318,20 m². Pastatas šildomas kietojo kuro katilu. Šis pastatas nėra sertifikuotas, tačiau atlikus modeliavimą su sertifikavimo programa „NRGpro6“ nustatyta, kad jo energinio naudingumo klasė būtų G.

Pasirinktas pastatas atitinka standartinio 1990–2000 metais pastatyto, Lietuvoje eksploatuojamo pastato apibūdinimą – mūrinis, šilumos šaltinis – kietojo kuro katilas, vidutinė užuovėja, todėl sandarumo matavimo atlikimas tokiame pastate leidžia parodyti problemą, kad dėl didelio pastatų nesandarumo energija nėra tinkamai panaudojama.

Atliekant pastatų sandarumo bandymus vėjo intensyvumas pagal Boforto skalę apibūdinamas kaip lengvas oras ($v = 0,3-1,5$ m/s), o nustatyta pastato vidaus temperatūra 15 °C ir lauko oro temperatūra –12 °C. Pirmojo sandarumo matavimo metu „pučiančių durų“ metodu pagal (3) formulę, pateiktą metodikos dalyje, nustatytas pastato sandarumo rodiklis parodė 15,28 kartų oro kaitą pastate per valandą (1 lentelė).

Naudojant dūmus atlikta pastatų nesandarumo defektų paieška ir nustatyta, kad pagrindinės problemos yra langų perimetro sandarinimas; neteisingas elektros instaliacijos įrengimas; netinkamai atliktas inžinerinių sistemų sandarinimas; rūšio durų sandarinimas.

Siekiant išsiaiškinti, kokią įtaką sandarumo rodikliui turi rūšio durys, buvo atliekamas pakartotinis sandarumo matavimas užsandarinus rūšio duris (1 lentelė, II bandymas). Rezultatai parodė, kad n_{50} rodiklis sumažėjo nuo 15,28 h⁻¹ iki 14,29 h⁻¹. Iš surinktų duomenų apie pastato sandarumą pagal metodinės dalies (1) formulę atlikta pastato energijos sąnaudų analizė tipiniais meteorologiniais metais. Įvertinus pastato sandarumo įtaką energijos sąnaudoms šildymui, gauta, kad siekiant visame pastate palaikyti 15 °C temperatūrą, faktinės energijos sąnaudos dėl oro infiltracijos per pastato apvalkalo nesandarumus yra

61,24 kWh/m² esant apskaičiuotam 1,73 Pa referenciniam slėgiui. Pašalinus vieną iš defektų – užsandarinus rūšio duris, energijos suvartojimas šildymui dėl nesandarumų pastato apvalkale sumažėtų nuo 61,24 iki 57,27 kWh/m² per metus, t. y. apie 6 %. Taip pat gali būti taikomos ir kitos sandarumą didinančios priemonės. Jų įtaka vertinama teoriškai atsižvelgiant į eksperimento metu gautus rezultatus ir skaičiavimo metu nustatytą efektyvaus nesandarumo plotą (ELA). Prognozuojami poreikiai įgyvendinus priemonę pateikiami 2 lentelėje.

Iš 2 lentelėje pateiktų rodiklių matoma, kad didžiausias sandarumo rodiklio sumažėjimas yra užsandarinus inžinerinių sistemų įrengimo vietose paliktus nesandarumus, pokytis 2,70 h⁻¹. Ši priemonė leistų sumažinti suvartotos energijos kiekį per 10,82 kWh/m². Dėl mažo nesandaraus ploto mažiausias sutaupyta energijos kiekis nustatytas įgyvendinus kištukinių elektros lizdų sandarinimo priemonę – 3,20 kWh/m².

Pagrindinis iššūkis siekiant įvertinti pastato sandarumo įtaką Lietuvos energijos balansui – tai sandarumo matavimų, atliktų neefektyviuose pastatuose, trūkumas. Todėl projektuojant dešimtmečio planą, kuriame vertinamas suvartojamos energijos kiekis, daromos prielaidos, nustatytos naudojantis literatūros apžvalga, statistiniais duomenimis arba bandymų metu gautais dydžiais:

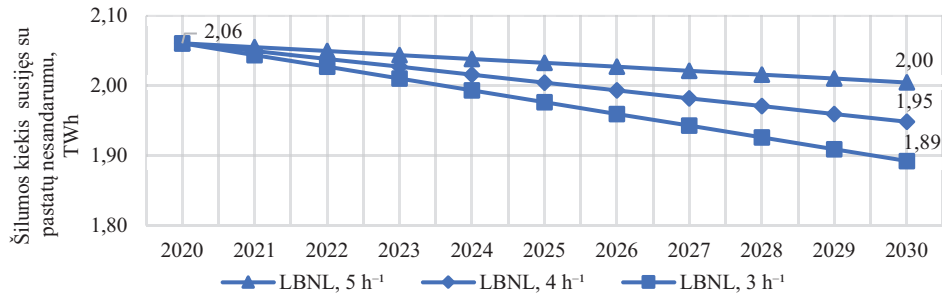
- iki 2030 metų vidutiniškai D ir žemesnės energinio naudingumo klasės pastatų per metus sertifikuojama 6326 turtiniai vienetai;
- D ir žemesnės energinio naudingumo klasės pastatų per metus suvartotas energijos kiekis, skirtas padengti oro infiltracijos nuostoliams dėl pastato nesandarumo, apskaičiuotas pagal LNBL metodą – 2,06 TWh;
- vidutinio pastato parametrai: tūris – 503,10 m³, aukštų skaičius – 2, pastato aukštis – 7,68 m;

1 lentelė. Sandarumo matavimo duomenys
Table 1. Data of the airtightness tests

	I bandymas			II bandymas		
	Rezultatai (n_{50}), h ⁻¹	Paklaidos ribos		Rezultatai (n_{50}), h ⁻¹	Paklaidos ribos	
Neigiamas slėgis	12,83	12,51	13,16	12,48	12,02	12,94
Viršslėgis	17,73	17,26	18,20	16,10	15,64	16,56
Vidurkis	15,28			14,29		

2 lentelė. Pastato energijos sąnaudos įgyvendinus sandarumo gerinimo priemones
Table 2. Building's energy demand after application of energy efficiency measures

Sandarumo gerinimo priemonė	n_{50} , h ⁻¹	L_{inf} , m ³ /h	$n(t)$, h ⁻¹	ELA, m ²	Q_{inf}	
					kWh	kWh/m ²
Esama situacija	15,28	286,47	0,96	0,087	6137	61
Durų perimetro sandarinimas	14,29	267,91	0,90	0,081	5739	57
Langų perimetro sandarinimas	12,50	234,35	0,79	0,071	5020	50
Kištukinių elektros lizdų sandarinimas	11,70	219,35	0,74	0,067	4699	47
Inžinerinių sistemų sandarinimas	9,00	168,73	0,57	0,051	3614	36



3 paveikslas. Energijos sutaupymai būstui šildyti neefektyviuose pastatuose įvedus norminius sandarumo rodiklius
Figure 3. Heating energy savings related to the increase of airtightness requirements

- vidutinio pastato vidaus temperatūra – 18,0 °C;
- vidutinio neefektyvaus pastato sandarumo rodiklis $n_{50} = 6,0 \text{ h}^{-1}$;
- vidutinio pastato užuovėjos koeficientas – III lygis;
- empirinė eksponentė (k) – 0,65;
- referencinis slėgis šildymo sezono metu – 1,48 Pa;
- vertinant energijos sutaupymus, pagal pasirinktas prielaidas tipiniais meteorologiniais metais (European Commission, 2020) nustatomos vidutinio pastato energijos sąnaudos šildymui dėl infiltracijos per pastato nesandarumus naudojantis anksčiau pateikta metodika.

Iš viso vertinami 387479 D ir žemesnės klasės pastatai (atmetami nešildomi ir neeksploatuojami pastatai), kurių apskaičiuotas energijos kiekis, reikalingas padengti dėl oro infiltracijos susidarancius šilumos nuostolius, yra 2,06 TWh. Nagrinėjami 3 scenarijai, numatant, kad persertifikuojami neefektyvūs pastatai turi tenkinti norminio sandarumo reikalavimus nuo $n_{50} = 5 \text{ h}^{-1}$ iki $n_{50} = 3 \text{ h}^{-1}$. Prognozuojamų sutaupymų grafikas D ir žemesnės klasės pastatams pateiktas 3 paveiksle.

Per prognozuojamą 10 metų laikotarpį būtų sertifikuota 63 260 neefektyvių pastatų, tai reiškia, kad nesertifikuotų neefektyvių pastatų liktų 324 tūkst. arba sumažėtų 16 % nuo 2020 metų duomenų. Priklausomai nuo įvesto norminio sandarumo rodiklio ir skaičiavimo metodikos, energijos sutaupymai galėtų būti nuo 0,056 TWh iki 0,168 TWh, tai sudaro 0,31–1,00 % nuo bendro Lietuvos suvartoto energijos kiekio namų ūkio sektoriuje arba 0,43–1,40 % nuo būstui šildyti suvartotos galutinės energijos 2019 metais.

Apibendrinant galima teigti, kad nagrinėtas objektas parodė problemą, susijusią su pastatų sandarumu. Teorinio energijos taupymo potencialo skaičiavimas atsižvelgiant tik į pastatų sandarumo rodiklį gali turėti didelę įtaką pastato energijos suvartojimui ir galėtų būti vertinamas šalies mastu.

Išvados

1. Namų ūkyje suvartojamas galutinės energijos kiekis sudaro – 27–28 % viso Lietuvos energijos balanso, o 82,65 % nesertifikuotų gyvenamųjų vieno ar dviejų butų paskirties pastatų leidžia daryti prielaidą, kad energijos taupymo potencialas namų ūkio sektoriuje dar yra neišnaudotas.

2. Siekiant įvertinti energijos taupymo potencialą Lietuvos mastu svarbu ne tik nustatyti vidutinio gyvenamojo vieno ar dviejų butų paskirties pastato geometrinius matmenis (šildomas plotas – 126,68 m², šildomas tūris – 503,10 m³, vidutinis aukštis – 7,94 m), bet ir nustatyti normines sąlygas, kuriomis atliekama pastato sandarumo rodiklio analizė energijos vartojimo atžvilgiu. Pagrindinis dydis, dėl kurio vyksta oro infiltracija ar eksfiltracija per pastato atitvaras, tai referencinis slėgis, kuris šildymo sezonu atliktų bandymų metu nustatytas 0,71 Pa, o apskaičiuavus 1,48 Pa.
3. Atlikus pastato sandarumo bandymą G energinio naudingumo klasės pastate, nustatytas sandarumo rodiklis – 15,28 h⁻¹ ir identifikuoti 4 pagrindiniai defektai. Užsandinus rūšio duris atliktas papildomas sandarumo matavimas, kurio rezultatai parodė pastatų sandarumo rodiklio sumažėjimą iki 14,29 h⁻¹.
4. Įvertinus energijos taupymo potencialą D ir žemesnės energinio naudingumo klasės pastatams 10 metų laikotarpiui nustatyta, kad nustčius jiems privalomą sandarumo rodiklį 3,0 h⁻¹ galima būtų energijos sąnaudas, susijusias su sandarumu, Lietuvos mastu sumažinti 0,17 TWh per metus. Taip pat šie reikalavimai galėtų būti taikomi ir aukštesnės – B ir C – energinio naudingumo klasės pastatams.

Literatūra

- European Commission. (2020). *JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)*. <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>
- Europos komisija. (2018). *Komisijos komunikatas Europos parlamentui, Europos vadovų tarybai, tarybai, Europos ekonomikos ir socialinių reikalų komitetui, regionų komitetui, ir Europos investicijų bankui*. Briuselis.
- Europos Parlamentas ir Europos Sąjungos Taryba. (2010). *Europos Parlamento ir Tarybos direktyva (ES) 2010/31/ES dėl pastatų energinio naudingumo*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=CELEX%3A32010L0031>
- Europos Parlamentas ir Europos Sąjungos Taryba. (2018.). *Europos Parlamento ir Tarybos direktyva (ES) 2018/844*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32018L0844&from=EN>
- International Energy Agency. (2020). *Tracking building 2020*. <https://www.iea.org/reports/tracking-buildings-2020>
- Jaraminienė, E. (2008). *Oro infiltracijos pastatuose tyrimas taikant neapibrėžties analizę* [Daktaro disertacija, Vilniaus Gedimino technikos universitetas]. Technika. <http://talpykla>.

- elaba.lt/elaba-fedora/objects/elaba:1810687/datastreams/MAIN/content
- 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>
- Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija. (2016). *Įsakymas „Dėl statybos techninio reglamento STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ patvirtinimo“*. Vilnius.
- Lietuvos statistikos departamentas. (2019). *Rodiklių duomenų bazė*. <https://www.stat.gov.lt/>
- Lietuvos standartizacijos departamentas. (2015). *Šiluminės pastatų charakteristikos. Pastatų pralaidumo orui nustatymas. Ventiliatorinis slėgių skirtumo metodas* (LST EN ISO 9972:2015). <https://www.lsd.lt/>
- Lietuvos standartizacijos departamentas. (2017). *Energinės pastatų charakteristikos. Pastatų vėdinimas. 7 dalis. Skaičiavimo metodai oro tūrio srautui pastatuose, įskaitant infiltraciją, nustatyti (M5-5 modulis)* (LST EN 16798-7:2017). <https://www.lsd.lt/>
- Liu, W., Yu, Z., Wu, J., Li, H., Gao, C., & Gong, H. (2019). Influence of building air tightness on energy consumption of ventilation system in nearly zero energy residential buildings. *E3S Web of Conferences*, 111, 03074. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911103074>
- Miszczuk, A. (2017). Influence of air tightness of the building on its energy-efficiency in single-family buildings in Poland. *MATEC Web of Conferences*, 117, 00120. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201711700120>
- Sherman, M. (1986). *Exegesis of proposed ASHRAE Standard 119: Air leakage performance for detached single-family residential buildings*. https://www.researchgate.net/publication/236547492_Exegesis_of_Proposed_ASHRAE_Standard_119_Air_Leakage_Performance_for_Detached_Single-Family_Residential_Buildings
- Statybos produkcijos sertifikavimo centras. (2020). *Pastatų energinio naudingumo sertifikatai*. http://www.spsc.lt/cms/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=288&lang=lt
- Šadauskienė, J., Šeduikytė L., Paukštys, V., Banionis, K., & Gailius, A. (2016). The role of air tightness in assessment of building energy performance: Case study of Lithuania. *Energy for Sustainable Development*, 32, 31–39. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2016.02.006>
- Šadauskienė, J., Paukštys, V., Šeduikytė L., & Banionis, K. (2014). Impact of air tightness on the evaluation of building energy performance in Lithuania. *Energies*, 7(8), 4972–4987. <https://doi.org/10.3390/en7084972>
- Turner, W. J. N., Sherman, M. H., & Walker, I. S. (2012). Infiltration as ventilation: Weather-induced dilution. *HVAC and R Research*, 18(6), 1122–1135.
- Valstybės įmonė Registrų centras. (2020). *NTR įregistruoti objektai*. <https://www.registrucentras.lt/p/1074#gra9>
- Zheng, X., Cooper, E. W., Mazzon, J., Wallis, I., & Wood, C. J. (2019). Experimental insights into the airtightness measurement of a house-sized chamber in a sheltered environment using blower door and pulse methods. *Building and Environment*, 162, 106269. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106269>

ANALYSIS OF THE AIRTIGHTNESS MEASUREMENT IN SINGLE OR DOUBLE APARTMENT HOUSE

R. Klabis, V. Motuzienė, R. Mikučionienė

Abstract

The mandatory energy performance certification of new buildings or buildings for sale has been introduced in all Member States in order to achieve European Union's energy efficiency goals. The certification of buildings sets mandatory requirements for higher energy efficiency buildings' level of airtightness. However, a bigger problem lies in existing older residential buildings, which are energy inefficient and do not require certification. The unused potential for energy savings observed here is related to the airtightness of single and double apartment residential buildings and energy efficiency related to airtightness of them. Therefore, this work analyses the airtightness of energy class D and lower buildings based on actual airtightness measurements and evaluates the possible energy saving potential associated with the application of airtightness measures based on the example of one inefficient single apartment building. The results show that increase of the airtightness in such buildings to 3 h^{-1} enables to reduce the energy costs related to the airtightness in Lithuania over a period of 10 years by 0.17 TWh per year.

Keywords: energy saving potential, single and double apartment buildings, air infiltration, building air tightness.