

## MOKSLO PASKIRTIES PASTATO ŠILUMOS PRITĖKIŲ IR VĖSINIMO POREIKIŲ ANALIZĖ

Dovilė VAIŠNORAITĖ\*, Rasa DŽIUGAITĖ-TUMĖNIENĖ

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Aplinkos inžinerijos fakultetas,

Pastatų energetikos katedra, Vilnius, Lietuva

\*El. paštas [dovile.vaisnoraite@stud.vilniustech.lt](mailto:dovile.vaisnoraite@stud.vilniustech.lt)

Gauta 2024 m. kovo 4 d.; priimta 2024 m. kovo 18 d.

**Santrauka.** Šildymui ir vėsinimui sunaudojama beveik 50 % visos galutinės ES energijos, iš kurių 80 % sunaudojama pastatuose reikalingam patalpų mikroklimatui užtikrinti. Šiame straipsnyje analizuojami mokslo paskirties pastato šilumos pritekiai ir jų įtaka pastato vėsinimo poreikiui, siekiant integruoti į pastato fasadą saulės elementus. Tyrimas atliekamas naudojantis dinaminio energinio modeliavimo programa IDA ICE. Tiriamojo pastato energinis modelis sukurtas remiantis realaus mokslo paskirties pastato projektine dokumentacija bei faktiniais šilumos ir elektros apskaitos duomenimis. Modelio rezultatai lyginami su faktiniais duomenimis. Tyrimo metu nustatyta, jog nesąryšis tarp normalizuotų sąnaudų ir apskaičiuotų poreikių yra 4 %.

**Reikšminiai žodžiai:** pastato šilumos pritekiai, pastato faktiniai duomenys, vėsinimo poreikis, vėsinimo galia, IDA ICE, pastato energinis modeliavimas, saulės spinduliuotės įtaka.

### 1. Įvadas

Šiuolaikiniuose tiek gyvenamuosiuose, tiek visuomeniniuose pastatuose šildymo, vėdinimo ir vėsinimo įranga yra būtina. Paprastai trečdalis visos metinės elektros energijos visame pasaulyje sunaudojama orui pastatuose kondicionuoti ir šaldyti (Li & Wang, 2016).

Tyrimo tikslas – išanalizuoti pastato šilumos priteklius, siekiant integruoti į pastato fasadą saulės elementus, ir įvertinti, kokią įtaką šilumos pritekiai turi pastato vėsinimo poreikiui.

### 2. Tiriamasis objektas

Tyrimo objektas – Vilniaus Gedimino technikos universiteto mokslo ir administracijos centras, esantis Saulėtekio al. 11, Vilniuje. Remiantis statybos sektoriaus vystymo agentūros (2011) duomenimis, tiriamojo pastato energinio naudingumo klasė – B. Pastato patalpų šildymo, tiekiamo oro pašildymo ir karšto vandens ruošimo šilumos šaltinis – šilumos mazgas, kuris įrengtas rūsyje.

Pastato atitvarų šilumos perdavimo koeficientai pateikti 1 lentelėje.

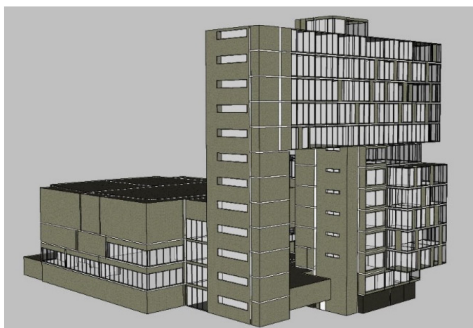
Projektinė pastato vidaus temperatūra nešildymo sezono metu – 24 °C, šildymo sezono metu – 21 °C.

1 lentelė. Atitvarų šilumos perdavimo koeficientai

Išorės atitvaros pavadinimas	Šilumos perdavimo koeficientas, W/(m <sup>2</sup> K)
Grindys	0,300
Grindys ant grunto	0,300
Sienos	0,300
Sienos, besiribojančios su gruntu	0,300
Stogas	0,220
Durys	1,953
Langai	0,833

### 3. Tyrimo metodika

Pastato energinis dinaminis modelis sukurtas naudojantis IDA ICE programa (EQUA Simulation Technology Group, 2009). Tai yra dinaminio energinio modeliavimo programa, kuri leidžia analizuoti pastato energinį naudingumą ir optimizuoti alternatyvius sprendinius. Pastato modelio geometrija kuriama remiantis dvimačiais architektūriniais planais, pjūviais bei trimačiu pastato modeliu (1 pav.). IDA ICE programos aplinkoje yra nustatoma darbo patalpų oro apykaita, apskaičiuota pagal atliktus faktinius anglies dvideginio koncentracijos matavimus. Oro apykaitos nustatymas pateiktas 3.1 poskyryje.



1 paveikslas. Pastato energinis modelis IDA ICE aplinkoje

Sukūrus pastato geometrinį modelį, IDA ICE programoje įvedami duomenys apie patalpų mikroklimato parametrus, atitvarų šilumines savybes, darbo grafikus.

Atlikus šiuos pagrindinius žingsnius, programoje pradedamas modeliavimas ir gaunami pirminiai pastato energijos poreikių rezultatai. Pagal gautus šildymo poreikių duomenis yra normalizuojami pastato faktiniai ir apskaičiuoti duomenys.

### 3.1. Oro kartotinumumo patalpoje nustatymas

Oro kartotinumumo patalpoje skaičiavimams atlikti buvo išmatuota anglies dvideginio koncentracija patalpoje, esančioje Saulėtekio al. 11.

Matavimai buvo atliekami 13 dienų, matavimo prietaisas buvo paliktas ant patalpoje esančios lentynos. Matavimų pradžia – 2023-10-18 16:00 valanda, pabaiga – 2023-10-30 15:00 valanda.

Oro kartotinumumas patalpoje apskaičiuojamas pagal formulę:

$$n = \frac{\left( \ln(c_p - c_e) - \ln(c_g - c_e) \right) \times 3600}{t}, \quad (1)$$

čia  $c_p$  – pradinė išmatuota CO<sub>2</sub> koncentracija, ppm;  $c_g$  – galinė išmatuota CO<sub>2</sub> koncentracija, ppm;  $c_e$  – lauko CO<sub>2</sub> koncentracija, ppm;  $t$  – matavimo laikas, s.

Vidutinė anglies dvideginio koncentracija patalpoje darbo metu – 561,67 ppm, nedarbo metu – 405,23 ppm.

Oro kartotinumumas patalpoje nustatomas pagal didžiausią anglies dvideginio koncentraciją darbo metu. Pradinė išmatuota CO<sub>2</sub> koncentracija – 788 ppm, galinė išmatuota CO<sub>2</sub> koncentracija – 483 ppm.

Išmatuota lauko oro CO<sub>2</sub> koncentracija – 306 ppm.

Apskaičiuotas oro kartotinumumas patalpoje yra 0,19 h–1. Oro kartotinumumo reikšmė yra įrašoma į energinio modeliavimo programą.

### 3.2. Pastato faktiniai, normalizuoti bei modeliavimo duomenys

Pastato energijos sąnaudų normalizavimas – energijos sąnaudų perskaičiavimas norminėmis sąlygomis, kai

patalpų ir lauko oro temperatūros yra tokios, kaip nustatyta tai reglamentuojančiuose dokumentuose (Martinaitis et al., 2012). Pagal pastato šilumos faktinius duomenis yra normalizuojami apskaičiuoti duomenys. Norminiai duomenys yra perskaičiuojami pagal IDA ICE programoje pateiktus klimatinis duomenis.

Faktinės šildymo sezono pabaigos data – 2019-04-19, sezono pradžios data – 2019-10-01. Šildymo sezono trukmė – 212 dienų.

Vidaus faktinė temperatūra – 21 °C.

Šildymo dienolaipsnių skaičius pateiktas 2 lentelėje.

2 lentelė. Norminiai duomenys

Mėn.	Vid. mėnesio temperatūra, °C	Dienų sk.	Vidaus norminė temperatūra, °C	Dienolaipsniai, DL(n)	Šilumos sąnaudos, MWh
10	7,8	31	21	409,2	<b>36,62</b>
11	1,1	30	21	597,0	<b>92,16</b>
12	-2,8	31	21	737,8	<b>118,01</b>
1	-5,5	31	21	821,5	<b>121,87</b>
2	-3,9	28	21	697,2	<b>195,86</b>
3	0,2	31	21	644,8	<b>70,26</b>
4	6,7	30	21	429,0	<b>45,39</b>
	<b>0,51</b>	<b>212</b>		<b>4336,5</b>	<b>680,18</b>

Vidutinė šildymo periodo temperatūra – 0,51 °C.

Nesąryšis tarp pastato faktinių ir apskaičiuotų duomenų gali būti iki 10 % (Lietuvos Respublikos valstybės kontrolė, 2010).

### 3.3. Pastato energinis modeliavimas

Sukūrus pastato energinį modelį bei gavus nesąryšį tarp pastato faktinių ir apskaičiuotų duomenų (iki 10 %), nustatyti pastato vėsinimo poreikiai bei galios. Vėsinimo galiai nustatyti yra sudaromas šilumos pritekčių balansas (Pikelytė & Paulauskaitė, 2010).

Šilumos pritekėjimų balanso formulė:

$$\Phi_{\text{šil.}} = \Phi_{\text{vid.}} + \Phi_{\text{rad.}} + \Phi_{\text{vėd.}}, \quad (2)$$

čia  $\Phi_{\text{vid.}}$  – į patalpą patekusi šiluma nuo dirbtinio apšvietimo, buitinių prietaisų ir žmonių metabolizmo išspinduliuotas šilumos srautas, kW;  $\Phi_{\text{rad.}}$  – dėl saulės spinduliuotės į patalpą patekusi šiluma, kW;  $\Phi_{\text{vėd.}}$  – į patalpą patekusi šiluma su tiekiamu lauko oru, kW.

Skaičiuojamosios tiekiamo į patalpas oro kiekio reikšmės priimtos pagal projektinę dokumentaciją ir atitinka STR 2.09.02:2005 „Šildymas, vėdinimas ir oro kondicionavimas“ reikalavimus.

Žmonių tankis administraciniame pastate priimtas pagal projektinę dokumentaciją ir atitinka STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo

projektavimas ir sertifikavimas“ reikalavimus (Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija, 2016). Darbuotojai pastate dirbs 5 darbo dienas per savaitę, nuo 7:00 val. iki 18:00 val. 3 lentelėje pateikiamos vidinių šilumos pritekčių vertės, kurios naudojamos modeliavimo metu.

3 lentelė. Vidinių šilumos pritekčių vertės

Patalpos paskirtis	Šilumos pritekčiai nuo žmonių	Šilumos pritekčiai nuo apšvietimo	Šilumos pritekčiai nuo el. prietaisų
[dimensija]	[žm./m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]
Liftų holas, vestibulius, fojė	0,25	2	5
Pasitarimų kambarys	0,5	2	5
Techninė patalpa, sandėlis, koridorius ir t. t.	0	2	0
Darbo kambarys	0,1667	2	13,5
Virtuvėlė	0,4	2	7,5
Salė, auditorija	1,1	2	7,5

Remiantis LST EN 16798-1:2019 pateiktais pastato vidaus aplinkos kokybės kategorijoms keliamais reikalavimais, nustatomi šildymo, vėdinimo, vėsinimo ir kitų elektros įrenginių veikimo grafikai.

#### 4. Tyrimo rezultatai

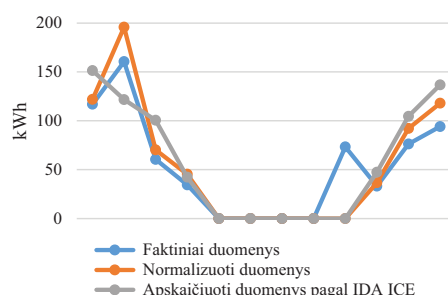
Šiame skyriuje analizuojamos 2019 metų faktinės, normalizuotos šilumos sąnaudos ir su IDA ICE programa sumodeliuoti patalpų šildymo, vėdinimo ir karšto vandens ruošimo poreikiai.

Pastato 2019 metų faktinių šilumos sąnaudų duomenys, gauti nuskaičius duomenis iš šilumos skaitiklių, pateikiami 4 lentelėje.

4 lentelė. Pastato faktiniai duomenys

Mėnuo	Q, MWh
10	33,18
11	76,27
12	94,11
1	116,91
2	160,62
3	60,50
4	34,46
S	576,05

Bendros pastato 2019 metų faktinės šilumos sąnaudos šildymo sezono metu – 576,05 MWh.



2 paveikslas. Faktinės, normalizuotos ir apskaičiuotos pastato šilumos sąnaudos 2019 metais

Iš 2 paveikslo matyti, kad didžiausios šilumos sąnaudos yra vasario mėn. Naudojant energinio modeliavimo programą IDA ICE, gauti pastato metiniai patalpų šildymo bei tiekiamo oro pašildymo poreikiai. Siekiant užtikrinti energinio modelio rezultatų patikimumą, modeliavimo duomenys lyginami su normalizuotais faktiniais šilumos sąnaudų duomenimis, kurie gauti panaudojus IDA ICE programoje pateiktus klimatinius duomenis. Rezultatai pateikiami 5 lentelėje.

5 lentelė. Faktiniai, normalizuoti ir modeliavimo duomenys

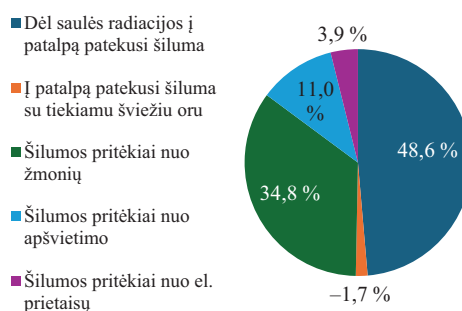
	Faktinės	Normalizuotos	Sumodeliuotos
Šilumos sąnaudos, MWh	576,05	680,18	704,67

Nesąryšis tarp sumodeliuotų šilumos poreikių ir faktinių šilumos sąnaudų – 4 %.

Kadangi nesąryšis tarp sumodeliuotų ir faktinių šilumos sąnaudų yra mažesnis nei 10 %, galima daryti prielaidą, jog modelis atitinka realius suvartojimus ir yra tinkamas vėsinimo galioms bei poreikiams analizuoti.

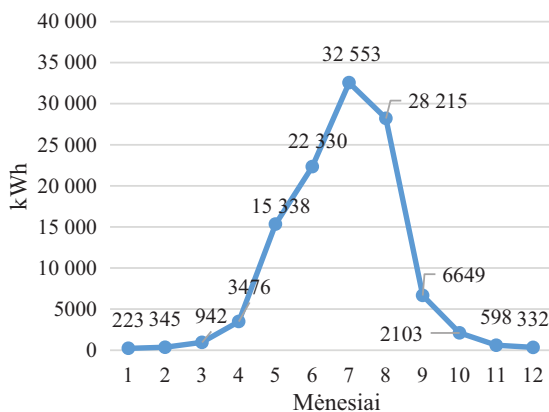
#### 4.1. Vėsinimo galios ir poreikiai

Šiame skyriuje pateikiami modeliavimo metu gauti pastato šilumos pritekčiai, kuriuos lemia vidiniai ir išoriniai šilumos šaltiniai ir kurių procentalus pasiskirstymas pateiktas 3 paveiksle. Modeliavimas atliekamas ne šildymo sezono metu – nuo gegužės mėnesio pradžios iki rugsėjo mėnesio pabaigos.



3 paveikslas. Pastato šilumos pritekčiai

Dėl saulės spinduliuotės į patalpą patekusi šiluma yra 231 kW, su tiekiamu šviežiu oru į patalpą patekusi šiluma yra 8 kW. Šilumos pritekčiai nuo žmonių – 166 kW, šilumos pritekčiai nuo apšvietimo – 52 kW, šilumos pritekčiai nuo el. prietaisų – 18 kW. Bendra pastato vėsinimo galia – 459 kW.

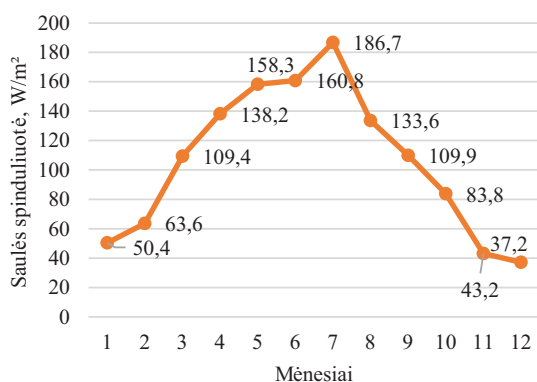


4 paveikslas. Metiniai pastato vėsinimo poreikiai

Iš 4 paveikslo matyti, kad didžiausias vėsinimo poreikis yra liepos mėn. – 32,55 MWh. Metinis vėsinimo poreikis – 113,10 MWh.

#### 4.2. Saulės spinduliuotės įtaka pastato šilumos balansui ir saulės elementų sistemos integravimui

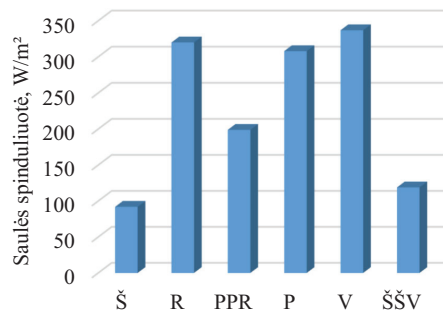
Pagal IDA ICE programoje įvestus Vilniaus miesto klimatinis duomenis analizuojama metinės saulės spinduliuotės įtaka pastato šilumos balansui.



5 paveikslas. Metinė saulės spinduliuotės įtaka pastato šilumos balansui, W/m<sup>2</sup>

Iš 5 paveikslo matyti, jog didžiausia saulės spinduliuotė yra liepos mėn. Siekiant padidinti tiriamojo pastato energinį efektyvumą, siūloma pastate integruoti saulės elementų sistemą, kuri generuotų elektros energiją. Iš 5 paveikslo matyti, kad didžiausias saulės elementų efektyvumas bus liepos mėn.

Tyrimo metu analizuojamas saulės spinduliuotės dydis skirtingose fasado pusėse.



6 paveikslas. Saulės spinduliuotė pagal fasado orientaciją

Iš 6 paveikslo matyti, jog didžiausia saulės spinduliuotė tenka rytinei, pietinei ir vakarinei pastato fasado pusėms. Kaip rodo turimi duomenys, efektyviausia saulės elementus pastate integruoti į rytinę, pietinę bei vakarinę fasado puses.

## 5. Išvados

Siekiant integruoti į pastato fasadą saulės elementus normalizuotos faktinės pastato šilumos sąnaudos ir naudojant IDA ICE programą sumodeliuoti tiriamojo pastato šilumos ir vėsinimo poreikiai. Kaip rodo pastato faktiniai šilumos sąnaudų duomenys, nesąryšis tarp sumodeliuotų šilumos poreikių ir faktinių šilumos sąnaudų siekia 4 %, tad galima teigti, jog pastato energinis modelis yra tinkamas vėsinimo galioms ir poreikiams analizuoti.

Bendra pastato vėsinimo galia – 459 kW (85 W/m<sup>2</sup>), didžiausias vėsinimo poreikis yra liepos mėnesį – 32,55 MWh (6,06 kWh/m<sup>2</sup>).

Didžiausia saulės spinduliuotė yra liepos mėn. (186,7 W/m<sup>2</sup>), daugiausiai saulės spinduliuotė veikia rytinę, pietinę bei vakarinę pastato fasado puses.

## Literatūra

- EQUA Simulation Technology Group. (2009). *IDA ICE 4: Getting started*. [http://www.equaonline.com/iceuser/new\\_documentation.html](http://www.equaonline.com/iceuser/new_documentation.html)
- Europos standartizacijos komitetas. (2019). *Pastatų energinis naudingumas. Pastatų vėdinimas. 1 dalis. Pastatų energinio naudingumo projektavimo ir vertinimo vidaus aplinkos įvesties parametrai, susiję su patalpų oro kokybe, šilumine aplinka, apšvietimu ir akustika. M1-6 modulis* (LST EN 16798-1:2019).
- Li, Y., & Wang, R. Z. (2016). *Photovoltaic-powered solar cooling systems*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100301-5.00010-2>
- Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija. (2016). *Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas* (STR 2.01.02:2016). <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/15767120a80711e68987e8320e9a5185/asr>
- Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija. (2005). *Šildymas, vėdinimas ir oro kondicionavimas* (STR 2.09.02:2005). <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.257930>

- Lietuvos Respublikos valstybės kontrolė. (2010). *Valstybinio audito ataskaita. Daugiabučių namų atnaujinimas (modernizavimas)*. Vilnius.
- Martinaitis, V., Rogoža, A. ir Šiupšinskas, G. (2012). *Energijos vartojimo pastatuose auditas*. Technika.  
<https://doi.org/10.3846/1299-S>
- Pikelytė, V., & Paulauskaitė, S. (2010). The analysis of needs for heating and cooling energy in the administrative building with big glazing facades. *Mokslas – Lietuvos ateitis*, 2(5), 75–80. <https://doi.org/10.3846/mla.2010.095>
- Statybos sektoriaus vystymo agentūra. (2011). *Išrašas iš pastatų energinio naudingumo sertifikatų registro*. [https://www.ssva.lt/registrai/pensreg/pensert\\_view.php?editid1=5793](https://www.ssva.lt/registrai/pensreg/pensert_view.php?editid1=5793)

#### ANALYSIS OF THE HEAT GAIN AND COOLING DEMAND OF A SCIENCE BUILDING AND NORMALISATION OF ACTUAL AND CALCULATED DATA

D. VAIŠNORAITĖ,  
R. DŽIUGAITĖ-TUMĖNIENĖ

**Abstract.** Heating and cooling account for almost 50% of the EU's total final energy consumption, 80% of which is used to provide the indoor climate needed for the latter. This paper analyses the heat loads of a science building and their impact on the cooling demand of the building in order to integrate solar cells into the façade of the building. The study is carried out using the dynamic energy modelling software IDA ICE. The energy model of the investigated building is based on the design documentation of a real science building and on actual heat and electricity metering data. The model results are compared with the actual data. The study found a discrepancy of 4% between the normalised costs and the calculated demand.

**Keywords:** building internal heat gains, cooling demands, cooling loads, IDA ICE, building energy modelling, solar radiation.