

ADMINISTRACINIO PASTATO MIKROKLIMATO SĄLYGŲ ĮTAKOS ENERGINIO MODELIAVIMO REZULTATAMS ANALIZĖ

Greta MICKŪNĖ*, Kęstutis ČIUPRINSKAS

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Aplinkos inžinerijos fakultetas,

Pastatų energetikos katedra, Vilnius, Lietuva

*El. paštas greta.mickune@stud.vilniustech.lt

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

Santrauka. Tyrimas atliekamas naudojant dinaminio energinio modeliavimo programą IDA ICE. Tyrimo objekto, administracinės paskirties pastato, modelis sukurtas remiantis realiais duomenimis. Pastato energijos sąnaudos normalizuojamos, modelis kalibruojamas. Atlikti oro matavimai parodė, kad pastate susiduriama su sausu patalpų oru – tai didžiausia nagrinėjamo pastato mikroklimato problema. Pirminė simuliacija parodė, kad modelio rezultatai koreliuoja su atliktais matavimais. Žemos santykinės drėgmės problemai spręsti modelyje vėdinimo įrenginių oro tiekimo būdas pakeičiamas iš pastovaus oro srauto į kintamojo oro srautą su drėgmės reguliavimu. Pakeitus įvesties duomenis metinės energijos poreikis sumažėjo 6 MWh, o nepatenkintų žmonių kiekis (PPD) sumažėjo 3 %.

Reikšminiai žodžiai: patalpų mikroklimatas, dinaminis energinis modeliavimas, IDA ICE, santykinė oro drėgmė.

1. Įvadas

Įvairiais tyrimais apskaičiuota, kad žmogus patalpoje praleidžia vidutiniškai 80 % laiko, o tai reiškia, kad didžiąsą dienos dalį jis yra veikiamas pastate suprojektuotų šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo sistemų. Pasaulio sveikatos organizacijos duomenimis, 2012 metais dėl prasto patalpų oro anksčiau laiko mirė apie 4,3 milijonai žmonių (World Health Organization, 2022).

Įvairios pastato inžinerinės sistemos, pavyzdžiui, vėdinimo įrenginiai, reguliuoja aplinkos oro temperatūrą ir cirkuliaciją pagal suprogramuotus parametrus ir taip sukuria išpažiūros jaukią aplinką, tačiau senos statybos namuose, ypač daugiabučiuose, tokių sistemų nėra, todėl daugelis ne tik senos statybos, bet ir netinkamai suprojektuotų pastatų gyventojų kenčia nuo prastos oro kokybės ir „nesveiko pastato sindromo“ (angl. *sick building syndrome*).

Kadangi prastas pastatų mikroklimatas yra plačiai paplitusi problema, vienas iš tikslų, projektuojant bet kurios paskirties pastatą, – sumažinti neigiamą mikroklimato poveikį žmonių sveikatai ir darbingumui (Daukšys, 2021). Mikroklimato sąvoka vartojama tam tikram žmogų supančios aplinkos fizinių parametru deriniui

nusakyti. Vertinant pastato ar jo patalpų mikroklimatą nagrinėjamos keturios aplinkos parametru grupės: šiluminė aplinka, oro kokybė, akustika ir apšvieta, tačiau dažnu atveju nagrinėjant ar optimizuojant mikroklimato padėtį susitelkiama ties atskirais komfortą lemiančiais parametrais, neatsižvelgiant į visumą. Tai gali turėti neigiamos įtakos pastato naudotojų komfortui, ypač kai projektuojami ar modernizuojami energetiškai efektyvūs pastatai.

Lietuvos teisės aktai, tokie kaip statybos techniniai reglamentai, labiau atsižvelgia į energijos naudojimo efektyvumo gerinimą ir energijos taupymą, tačiau mažai dėmesio skiria mikroklimato kokybei gerinti. Tuo tarpu tarptautinės gairės, pavyzdžiui, *The Chartered Institution of Building Services Engineers* (CIBSE, 2024), didelę dalį dėmesio skiria mikroklimatui nagrinėti ir gerinti, atskirai nagrinėjami įvairūs kriterijai, susiję su komfortu. Įvairios CIBSE gairės siekia užtikrinti, kad projektuojamuose pastatuose būtų sukurtas patogus ir sveikas mikroklimatas, nes jis yra tiesiogiai susijęs su energijos vartojimo ir žmonių darbo efektyvumu.

Daug išlaidų nereikalaujantis metodas mikroklimatui nagrinėti yra pastato energinis dinaminis modeliavimas. Dinaminio modeliavimo programos, pavyzdžiui, IDA

ICE, nurodo laiką valandomis, kuomet nebūna užtikrintas šildymo ir vėsinimo poreikis bei nurodo šiluminiu komfortu nepatenkintų žmonių kiekį procentais. Pastarasis skaičius taip pat naudingas ir įvertinant perkaitimo riziką vasaros laikotarpiu ar net žiemą.

Kitų valstybių praktika rodo, kad energetinio modeliavimo įtraukimas į pastatų projektavimo procesą jau yra įprastas reiškinys. Jis padeda ne tik geriau suprasti pastato mikroklimatą, bet ir efektyviau valdyti energijos vartojimą. Ši sėkminga kitų šalių praktika galėtų paskatinti svarstyti teisės aktų atnaujinimą arba naujų gairių įvedimą Lietuvoje, siekiant pritaikyti šią praktiką šalies statybos sektoriui. Visapusišką požiūrį į mikroklimatą ir energijos vartojimą užtikrintų ne tik teisiniai reikalavimai, bet ir energinio dinaminio modelio įtraukimas į projektinius dokumentus.

Tyrimo tikslas – įvertinti administracinio pastato mikroklimato sąlygų įtaką energinio modeliavimo rezultatams.

2. Tyrimo objektas

Tyrimo objektas, pavaizduotas 1 paveiksle, – administracinės paskirties pastatas Vilniuje. Didžiąją dalį pastato sudaro biuro patalpos, biblioteka, pastate taip pat įrengta didelė renginių auditorija / salė. Pastatą sudaro 14 aukštų, įskaitant rūšį ir cokolinį aukštą. Pastato energinio naudingumo klasė – B. Pastatui šilumą tiekia AB „Vilniaus šilumos tinklai“. Šilumos šaltinis – rūsyje suprojektuotas šiluminis mazgas, naudojamas šildymui, vėdinimui ir karšto vandens ruošimui. Pastate įrengtas vienas bendras šilumos ir karšto vandens skaitiklis. Pagal turimus duomenis, pastatas nenaudoja jokių atsinaujinančių šaltinių.

Iš šiluminio mazgo, suprojektuoto rūsyje, vėdinimo sistemos įrenginiams, konvektoriniam ir radiatoriniam šildymui šilumnešis tiekiamas plieniniais izoliuotais vamzdžiais. Šildymo prietaisai: plieniniai apatinio pajungimo pastatomi konvektoriai, radiatoriai, rankšluosčių džiovintuvai. Biuro paskirties patalpoms vėsinimas tiekiamas vėsinimo kasetėmis iš šalčio mašinų. Pastate taip pat įrengti vėdinimo įrenginiai, kurie pagal technines



1 paveikslas. Tiriamas objektas – VILNIUS TECH centriniai rūmai (Blaževič, 2021)

dokumentacijas atlieka rekuperatoriaus funkcijas. Tiekiamas oras pašildomas arba atvėsinaamas iki tam tikros temperatūros. Vėdinimo įrenginiai tiekia orą pastovaus oro srauto (CAV) sistema be santykinės drėgmės reguliavimo. Pastato atitvarų šiluminių charakteristikų duomenys pateikiami 1 lentelėje.

1 lentelė. Atitvarų šilumos perdavimo koeficientai

Atitvara	Šilumos perdavimo koeficientas U $W/(m^2K)$
Grindys ant grunto	0,3
Sienos	0,3
Rūsio sienos	0,3
Stogas	0,22
Durys	1,2
Langai, g vertė – 0,8	0,83

3. Tyrimo metodika

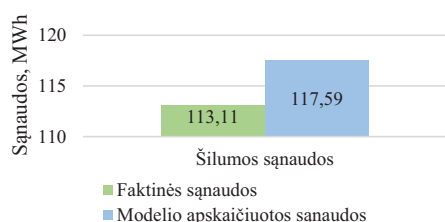
Nagrinėjamo pastato dinaminis modelis sukurtas naudojantis IDA ICE programa. Pirmiausia sudaroma pastato modelio geometrija, remiantis „Revit“ modeliu ir dvimačiais architektūriniais planais. Sukūrus pastato geometriją, įvedami duomenys apie patalpų mikroklimato rodiklius, atitvarų savybes, sukuriama darbo grafikai ir nurodomi pritekį nuo žmonių, apšvietimo ir įrangos kiekiai. Taip pat sukuriama šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo sistemų schema bei suvedami sistemų parametrai, tokie kaip šilumogrąžos efektyvumas, vėsinimo įrenginių našumo koeficientas, savitosios ventiliatorių galios ir kiti. Šie pagrindiniai žingsniai leidžia įvertinti pirminius energijos poreikių rezultatus.

Pastato energijos poreikiams skaičiuoti dinaminio modeliavo programa IDA ICE naudoja ASHRAE klimatinius duomenis IWEC 2 (*International Weather for Energy Calculation*). Šiuos klimatinius duomenis sudaro dvylika tipiškų mėnesių iš skirtingų galimų metų – šie mėnesiai yra sujungiami tam, kad būtų sukurti standartiniai klimatiniai metai. Kitaip tariant, apskaičiuojant energijos poreikius modeliavimo programa jie iš esmės yra normalizuojami, kad atitiktų standartinius klimatinius metus, panašiai kaip nurodoma STR 2.01.02:2016 (Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija, 2024). Dėl šios priežasties – kad modelis būtų tinkamai kalibruotas – faktinės energijos sąnaudos normalizuojamos dienolaipsnius apskaičiuojant, pasitelkus IDA ICE klimatinius duomenis, o ne remiantis minėtu STR.

Tyrimo analizuojamas laikotarpis – 2019–2021 metai, tačiau ankstesnio teiginio teisingumui įvertinti atliktas realių 2019–2020 metų šildymo sezono klimatinių duomenų palyginimas su IDA ICE klimatinių duomenimis. Rezultatai pateikiami 2 paveiksle.

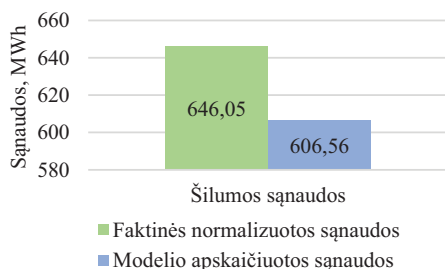
ar nesupaprastinto modelio rezultatai atitinka faktinius duomenis. Taip pat reikia patikrinti nesupaprastinto ir supaprastinto modelio įvesties duomenų įtaką rezultatams. Supaprastintas modelis turi kuo tiksliau atspindėti pilno modelio veikimą.

Dėl modelio sudėtingumo ir rezultato generavimo laiko pasirinkta rezultatus lyginti ir modelį kalibruoti remiantis vieno mėnesio duomenimis. Pasirinktas temperatūrų atžvilgiu gana ekstremalus mėnuo – 2019 metų gruodis. Gruodžio mėnesio faktinės normalizuotos sąnaudos lyginamos su to pačio mėnesio modelio apskaičiuotomis sąnaudomis. Pirminiai rezultatai pateikiami 6 paveiksle, jie parodo, kad modelis tinkamai sukalibruotas: šilumos sąnaudų skirtumas – 3,42 %.



6 paveikslas. 2019 metų gruodžio mėnesio faktinių ir modelio apskaičiuotų energijos sąnaudų palyginimas

Nesąryšis tarp energijos sąnaudų nesiekia 10 %, todėl galima teigti, kad modelis yra teisingai sukalibruotas, ir galima jį paprastinti – panaikinti tipines patalpas, pritaikyti *zone multiplier* funkciją. Pagreitinus simuliacijos laiką, atliekamas visų metų energijos sąnaudų palyginimas. Rezultatai pateikiami 7 paveiksle – nesąryšis yra 6,11 %, todėl galima teigti, kad supaprastintas modelis atspindi realaus pastato ir pilno modelio veikimą.



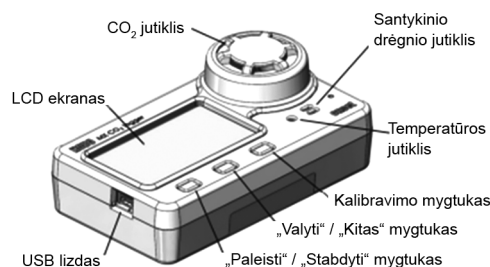
7 paveikslas. Faktinių ir modelio apskaičiuotų energijos sąnaudų palyginimas

4. Atlikti matavimai

Pastato infiltracijos duomenys nebuvo pateikti projekciniuose dokumentuose, todėl buvo atlikti oro infiltracijos dėl natūralaus ir mechaninio vėdinimo matavimai. Oro infiltracija yra ne tik energiniui modeliui būtinas įvesties rodiklis, bet ir tai, kas padeda nustatyti pastate vyraujančias mikroklimato problemas. Šiuo atveju buvo atlikti vienos iš Centrinųjų rūmų biuro patalpų anglies

dvideginio, temperatūros ir drėgmės matavimai.

Matavimai atlikti su duomenų registratoriumi „HOBO Carbon Dioxide/Temp/RH Data Logger“ (8 paveikslas). Prietaiso ir matavimo duomenys pateikti 2 lentelėje. Matavimai buvo atliekami nuo 2023-10-18 16:08 val. iki 2023-10-30 14:48 val.



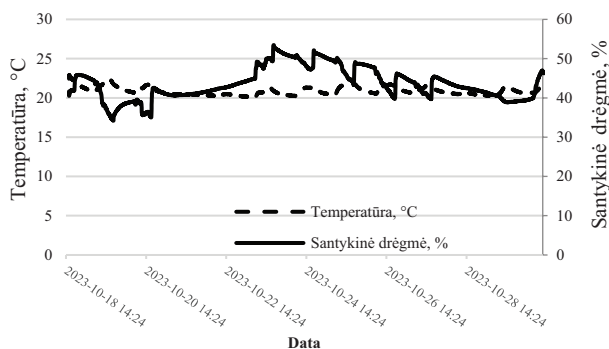
8 paveikslas. Matavimo metu naudotas prietaisas (OnsetComp, 2023)

Kadangi gautas didelis duomenų kiekis, temperatūros ir santykinės drėgmės santykis pateikiami grafiniu būdu 9 paveiksle.

2 lentelė. Naudoto matavimo prietaiso techninės charakteristikos

Nr.	Informacija apie prietaisą	Matuoti parametrai ir matavimo vienetai	Prietaiso paklaidos dydis
1.	„HOBO Carbon Dioxide/Temp/RH Data Logger“	Anglies dvideginis CO ₂ , ppm Santykinė drėgmė, RH, % Patalpos temperatūra, °C Data ir laikas, matuojama kas 5 min	±0.21 °C nuo 0° iki 50 °C

Iš 9 paveikslo galima pastebėti mažos santykinės drėgmės tendenciją – žema santykinė drėgmė arba, paprasčiau, sausas oras yra nagrinėjamame pastate jau žinoma problema. Žemiausia santykinė drėgmė per matavimo laikotarpį buvo 34 %.



9 paveikslas. Išmatuota VILNIUS TECH centrinių rūmų biuro patalpos temperatūra ir santykinė drėgmė

Iš išmatuotų duomenų apskaičiuotas ir oro kartotinumumas patalpoje, kuris, kaip minėta anksčiau, yra 0,19. Šis rodiklis taip pat buvo reikalingas savitiesiems pastato šilumos nuostoliams tikslingai suskaičiuoti.

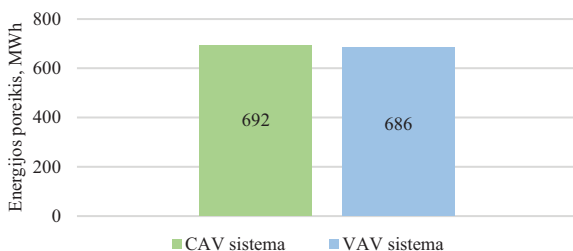
5. Rezultatų ir esamos padėties mikroklimato analizė

Kaip minėta ankstesniuose skyriuose, pastato vėdinimo sistemos tiekia orą pastoviu srautu (CAV). Naudojant tokias sistemas oro temperatūra gali būti reguliuojama, bet oro srautas lieka nepakitęs, nepriklausomai nuo to, kiek individualių zonų reikalauja oro. Be to, šią sistemą paprasčiau ir pigiau įdiegti, nes jai nereikia sudėtingų reguliuojamųjų įrenginių ir sistemų valdymo. Tačiau tokių sistemų naudojimas gali prisidėti prie didesnių energijos sąskaitų ir pabloginti pastato patalpų mikroklimatą. CAV naudojimas gali taip pat prisidėti ir prie žemo patalpų drėgmės lygio – ši problema ir pastebima nagrinėjamame pastate.

Pastate siūloma įdiegti kintamojo oro srauto (VAV) su drėgmės reguliavimu vėdinimo sistemą. Vėdinimo sistemos, kurios tiekia orą kintamojo oro srautu, leidžia ne tik efektyviau valdyti energijos naudojimą, bet ir užtikrinti geresnį mikroklimatą patalpose.

Toliau atliekama pastato energijos poreikių simuliacija (apskaičiavimas), kurioje biuro patalpų vėdinimo būdas pakeičiamas iš CAV į VAV su santykinės drėgmės reguliavimu. Pakeičiami ir įvesties duomenys – įvedamas optimalus drėgmės lygis nuo 55 % iki 65 %.

Rezultatai parodė, kad tiekiamo oro srautą biuro patalpose pakeitus iš CAV į VAV su drėgmės reguliavimu, metinis energijos poreikis sumažėjo 0,94 %, t. y. 6 MWh (10 paveikslas).



10 paveikslas. Metinių energijos poreikių palyginimas. CAV ir VAV sistemos

Pradiniai rezultatai parodė, kad netgi žiemos laikotarpiu, šildymo sezono metu, atsiranda 40 MWh vėdinimo poreikis, o tai reiškia, kad pastatas stipriai perkaista net šaltuoju metų laiku. Šis skaičius nepasikeitė atlikus vėdinimo sistemos pakeitimus.

Atlikti matavimai taip pat koreliuoja su modelio rezultatais: kaip minėta, matavimuose pastebimas per

mažas kai kurių patalpų drėgmės lygis – tai yra jau žinoma vyraujanti nagrinėjamo pastato mikroklimato problema.

Modelis taip pat apskaičiuoja šiluminiu komfortu nepatenkintų žmonių skaičių procentais. Stebima, kad mikroklimatu nepatenkintų žmonių dalis pagal bazinį modelį – 21 %, o pakeitus įvesties duomenis šis skaičius nukrenta iki 18 %. Nepatenkintų žmonių skaičius arba PPD tiesiogiai priklauso nuo vidaus temperatūros – ten, kur vidaus temperatūra viršija 27 °C, nepatenkintų žmonių kiekis atitinkamai didesnis. Tai reiškia, kad vėdinimo įrenginiai, kurie orą tiekia kintamuoju oro srautu kartu su drėgmės reguliavimu, padeda efektyviau pasiekti ir pageidaujamas patalpų temperatūras.

6. Išvados

1. Darbui surinkti visi prieinami nagrinėjamo pastato duomenys, atlikti oro matavimai, kurie leidžia nustatyti vyraujančias mikroklimato problemas.
2. Iš atliktų matavimų nustatyta, kad pastatas susiduria su nepakankamu patalpų drėgmės lygiu, o pirminiai energinio modelio rezultatai koreliuoja su matavimais.
3. Nepakankamo drėgmės lygio problemai spręsti vėdinimo įrenginių sistema modelyje pakeičiama iš CAV į VAV su drėgmės reguliavimu.
4. Šio tyrimo tikslas – įvertinti administracinio pastato mikroklimato sąlygų įtaką energinio modeliavimo rezultatams. Atsižvelgus į nagrinėjamo pastato mikroklimato problemas, t. y. į nepakankamą drėgmės lygį, ir energiniame modelyje įdiegus mikroklimato gerinimo priemones, paaiškėjo, kad antrosios simuliacijos rezultatai skiriasi nuo bazinio modelio rezultatų.
5. Pakeitus vėdinimo sistemą iš CAV į VAV su drėgmės reguliavimu, modelio apskaičiuotas metinis energijos poreikis sumažėjo 6 MWh, o nepatenkintų žmonių kiekis sumažėjo 3 %.

Literatūra

- Blaževič, E. (2021, liepos 2). *Skelbiamas „Vilnius Tech“ rektoriaus konkursas*. <https://www.lrt.lt/naujienos/lietuvoje/2/1443878/skelbiamas-vilnius-tech-rektoriaus-konkursas>
- Daukšys, K. (2021). *Biurų paskirties pastatų fasadų analizė darnaus pastato kontekste* [Magistro baigiamasis darbas, Vilniaus Gedimino technikos universitetas]. Lietuvos akademinė elektroninė biblioteka. <https://vb.vgtu.lt/object/elaba:97496344/>
- Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija. (2024). *Statybos techninis reglamentas STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“*. Vilnius.
- Martinaitis, V., Rogoža, A. ir Šiupšinskas, G. (2012). *Energijos vartojimo pastatuose auditas*. Technika. <https://doi.org/10.3846/1299-S>

OnsetComp. (2023). *HOBO MX CO₂ Logger (MX1102A)* [Apparatus]. <https://www.onsetcomp.com/resources/documentation/22504-mx1102a-manual>

The Chartered Institution of Building Services Engineers. (2024). *CIBSE guides*. <https://www.cibse.org/knowledge-research/knowledge-resources/engineering-guidance/cibse-guides>

World Health Organization. (2023). *Household air pollution*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health>

ANALYSIS OF THE IMPACT OF INDOOR CLIMATE CONDITIONS ON OFFICE BUILDING ENERGY MODELING RESULTS

G. MICKŪNĖ, K. ČIUPRINSKAS

Abstract. The study is conducted using the dynamic energy modeling program IDA ICE. The model of the office building under investigation is created based on real data. The building's energy consumption is normalized, and the model is calibrated. Air measurements have shown that the building is experiencing dry indoor air – this is the biggest microclimate issue of the building under investigation. The primary simulation has shown that the model results correlate with the conducted measurements. To address the low relative humidity issue, the ventilation system's air supply mode is changed from constant air volume to variable air volume with humidity control. By changing the input data, the annual energy demand decreased by 6 MWh, and the percentage of dissatisfied people (PPD) also decreased by 3%.

Keywords: indoor climate, dynamic energy modeling, IDA ICE, relative humidity.