

ADMINISTRACINIO PASTATO VĒDINIMO SISTEMOS VEIKIMO EFEKTYVUMO VERTINIMAS

Gustas VIGANAUSKAS*, Violeta MOTUZIENĖ

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Aplinkos inžinerijos fakultetas,

Pastatų energetikos katedra, Vilnius, Lietuva

**El. paštas gustas.viganauskas@stud.vilniustech.lt*

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

Santrauka. Europai susiduriant su energetine krize, kylant energijos kainoms, vartotojai ieško būdų kaip efektyviau panaudoti energiją ir sumažinti jos sąnaudas. Vienas iš pagrindinių Europos Sąjungos žaliojo kurso tikslų yra siekti statyti ir projektuoti aukštos energinės klasės pastatus su efektyviai veikiančiomis šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo (ŠVOK) bei pastato valdymo sistemomis. Šiuo metu pastatuose didžiausią energijos dalį suvartoja ŠVOK sistemos ir dažnai atvejais jos suvartoja daugiau energijos nei planuota projektavimo / modeliavimo etape. Tokie atvejai galimi tuomet, kai projektuojant sistemas yra priimtos netinkamos prielaidos, sistemų valdymas nėra tinkamai sureguliuojamas ir apribojamas vartotojams. Straipsnyje analizuojamas realus administracinis pastatas ir remiantis ilgalaikiais stebėjimo rezultatais vertinamas jo vėdinimo sistemų efektyvumas. Išanalizavus patalpų CO₂ užterštumo reikšmes stebėjimo laikotarpiu buvo pasiūlytos kelios valdymo priemonės, kurios padėtų sutaupyti energijos.

Reikšminiai žodžiai: administracinis pastatas, mikroklimatas, patalpų komforto sąlygos, vėdinimo sistemos veikimas.

1. Įvadas

Pastatų eksploatacija sudaro net 30 % visos pasaulyje suvartojamos energijos ir yra atsakinga už 26 % visų šiltnamio efektą sukeliančių teršalų (8 % yra tiesioginis kiekis pastatuose išmetamų teršalų, o 18 % – netiesioginis išmetimas gaminant elektrą ir šilumą pastatams) (Delamstro ir Chen, 2023). Teigiama, kad Europoje pastatai atsakingi už 40 % galutinio energijos suvartojimo ir paskleidžia į aplinką 36 % šiltnamio efektą sukeliančių dujų (European Union, 2023).

Didelę dalį negyvenamųjų pastatų energijos suvartoja eksploatuojami administracinio tipo pastatai. Administracinio tipo pastatai įvairiose šalyse suvartoja šią dalį galutinės energijos: JAV – 19 %, Australijoje – 25 %, JK – 22 %. Šios sąnaudos administracinio tipo pastatuose apima energiją, reikalingą šildymo, vėdinimo, oro kondicionavimo (ŠVOK) sistemoms eksploatuoti, apšvietimui, elektros prietaisams, karštam vandeniui ruošti, maistui gaminti (Allouhi et al., 2015). Trys pagrindinės energiją naudojančios sistemos (ŠVOK, apšvietimas ir elektros prietaisai) kartu sudaro apie 85 % visų biuro pastatų energijos sąnaudų (Pérez-Lombard et al., 2008).

ŠVOK sistemos teikia pastatuose daugiausiai energijos (apie 50 % administracinio pastato energijos sąnaudų) sunaudojančias paslaugas, kurioms išsivysčiusiose šalyse sunaudojama 10–20 % visos galutinės energijos (Pérez-Lombard et al., 2008). ŠVOK sistemų energijos naudojimo efektyvumo rodiklių apibrėžimas, matavimas ir tobulinimas yra esminiai sėkmingos, į energijos vartojimo administraciniuose pastatuose efektyvumą nukreiptos, energetikos politikos elementai (Pérez-Lombard et al., 2012).

Dauguma žmonių iki 90 % savo laiko praleidžia patalpose. Tam didelę įtaką daro jų geografinė padėtis, darbo reikalavimai, metų laikas ir amžius (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2001). Patalpų aplinkos kokybė turi didelę įtaką darbuotojų komfortui ir produktyvumui biuruose, todėl patalpų aplinkos ir jos kokybės gerinimas gali žymiai padidinti darbuotojų produktyvumą ir organizacijos pelną (Fisk et al., 2012). Fizinę patalpų aplinką sudaro įvairūs veiksniai, iš kurių pagrindiniai yra šiluminis komfortas ir patalpų oro kokybė (Kaushik et al., 2020).

Patalpų oro kokybei užtikrinti pastatuose reikalingos vėdinimo sistemos. Vėdinimas – tai patalpų oro keitimas

švarių lauko oru, siekiant užtikrinti sveiką ir švarią patalpų erdvę, t. y. užteršto patalpų oro praskiedimą (Persily, 2016). Patalpų oro kokybei užtikrinti vėdinant įprasta stebėti CO₂ koncentraciją patalpose ir tai panaudoti kaip rodiklį vėdinimo intensyvumui ir oro srautui patalpoje kontroliuoti (Persily ir de Jonge, 2017). Patalpų CO₂ koncentracija rodo oro kokybės priimtumą ir šviežio oro pakankamumą pastatų patalpose. Tipiška vidutinė CO₂ koncentracija biuruose svyruoja nuo 800 iki 1000 ppm (Azuma et al., 2018). Ši CO₂ koncentracija atitinka IDA2 oro kokybės kategoriją (Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija, 2005).

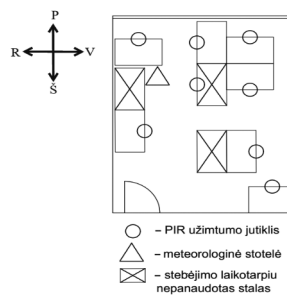
Straipsnio tikslas – atlikus administracinio biuro tipo pastato patalpų mikroklimato stebėseną, įvertinti mikroklimato parametrus patalpose ir vėdinimo sistemos energijos taupymo potencialą.

2. Tyrimo objektas ir metodika

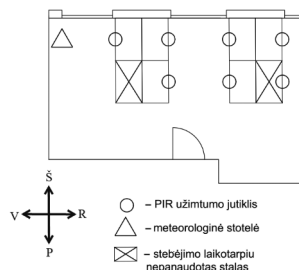
Darbe yra atliekama ilgalaikė administracinio pastato dviejų biuro patalpų stebėseną, kuria remiantis yra identifikuojama, kaip palaikomos mikroklimato sąlygos patalpose, bei koks yra faktinis patalpos užimtumas. Atlikus matavimo duomenų apdorojimą ir jų susistemimą gauti rezultatai palyginami su Lietuvos higienos normose HN 69:2003 „Šiluminis komfortas ir pakankama šiluminė aplinka darbo patalpose (Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministerija, 2003). Parametrų norminės vertės ir matavimo reikalavimai“ ir statybiniame reglamente STR 2.09.02:2005 „Šildymas, vėdinimas ir oro kondicionavimas“ nurodytomis norminėmis reikšmėmis. Atsižvelgiant į palyginimo metu aptiktas mikroklimato spragas, kai patalpų mikroklimato parametrai neatitinka Lietuvos higienos normų reikšmių, siūlomi galimi variantai, kaip reiktų patobulinti esamos vėdinimo sistemos veikimą arba į ką reiktų atkreipti dėmesį norint turėti efektyvesnę vėdinimo sistemą ir sutaupyti energijos.

Vėdinimo sistemos efektyvumo ir energijos sutaupymo galimybėms modernizavus esamą sistemą ar ją pakeitus nauja nustatyti naudojamas „Siemens“ gamintojų sukurtas sistemų energinio naudingumo klasifikatoriaus įrankis „EPC-Tool“, ši programa sistemoms klasifikuoti remiasi EN ISO 52120 standartu (EPC-Tool, & Siemens, n.d.)

Stebėjimai atliekami A energinės klasės administracinio tipo pastate. Stebėjimams pasirenkamos dvi biuro paskirties patalpos, toliau žymimos kaip biuras Nr. 1 ir biuras Nr. 2. Biuras Nr. 1 yra 45,95 m² ploto, o jo tūris – 125,67 m³. Šioje patalpoje yra 10 darbo vietų, tačiau naudojamos tik 7, t. y. darbo vietų daugiau negu darbuotojų. Patalpa turi tik vieną išorinę sieną, kuri orientuota į pietus. Biuras Nr. 2 yra 56,52 m² ploto ir 143,78 m³



1 paveikslas. Įrangos išdėstymo biure Nr. 1 planas



2 paveikslas. Įrangos išdėstymo biure Nr. 2 planas



3 paveikslas. Meteorologinė stotelė biure Nr. 1

tūrio. Patalpoje yra 8 darbo vietos, tačiau naudojamos tik 6. Patalpa turi tik vieną išorinę sieną, kuri orientuota į šiaurę. Patalpose sumontuoti nevarstomi langai. Darbuotojai darbo vietose pastoviai nebūna: kiekvienas darbuotojas gali dirbti pagal jam tinkantį grafiką, darbo metu vyksta susitikimai, kuriems įrengtos atskiros patalpos.

Patalpų stebėseną buvo vykdoma 128 dienas – nuo 2022-11-24 iki 2023-03-31. Stebėsenos tikslas – nustatyti pagrindinius mikroklimato parametrus ir patalpoje vyraujančią oro kokybę. Tyrimo metu matuojama temperatūra (°C), CO₂ koncentracija (ppm), santykinė drėgmė (%). Duomenys buvo kaupiami 5 minučių intervalu, tačiau atlikus duomenų apdorojimą buvo nustatyti valandiniai vidurkiai, kurie pateikiami grafiškai.

Darbuotojų užimtumo grafikui nustatyti darbo vietoje sumontuojami PIR (pasyvus infraraudonųjų spindulių

jutiklis) jutikliai, kurie fiksuoja darbuotojo buvimą darbo vietoje. Duomenų analizė atliekama 1 valandos intervalu. Naudotos matavimo įrangos specifikacijos pateikiamos 1 lentelėje.

Įrangos išdėstymo planas pateikiamas 1 ir 2 paveiksluose. Identiškos meteorologinės stotelės (3 paveikslas) patalpose statomos taip, kad duomenis kauptų 1,2 m darbo zonos aukštyje, darbuotojams neutralioje vietoje. Atsižvelgiant į darbuotojų nepastovumą, PIR jutikliai įrengiami po visais darbo stalais.

Rezultatams gauti atliekami keli kiekybinių duomenų apdorojimo metodai: duomenų valymas, duomenų formatavimas ir duomenų vizualizavimas. Gauti rezultatai pateikiami grafiškai.

1 lentelė. Patalpų stebėjimo įrangos suvestinė

Prietaisas	Matuojamas parametras	Charakteristikos
TABLEAIR jutiklis	Darbo vietos užimtumas	PIR jutiklis Judėsio jutiklis Duomenų perdavimas 4.0LE; WIFI 2,4 GHz
Meteorologinė stotelė – HOBO MX1102A	Oro temperatūros, santykinės drėgmės ir CO ₂ koncentracijos fiksavimas ir kaupimas	Oro temperatūra: – Paklaida ± 0,21 °C; – Matavimo diapazonas nuo 0 °C iki +50 °C; Santykinė drėgmė: – Matavimo diapazonas nuo 1 iki +90 %; – Paklaida ± 2 %; CO ₂ koncentracija: – Matavimo diapazonas nuo 0 iki 5000 ppm; – Paklaida ± 50 ppm.

3. Rezultatai

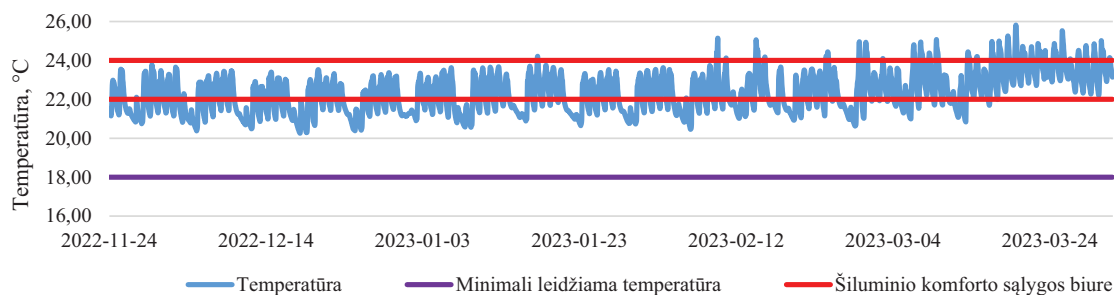
Apdorojant stebėjimo duomenis buvo pastebėta neatitikimų ar duomenų spragų, todėl dalis duomenų nėra patikimi ir šiam tyrimui nėra naudojami. Patikimi duomenys susisteminti ir pateikti grafiškai.

4 ir 5 paveiksluose pateikiami patalpų oro temperatūrų grafikai stebėjimo laikotarpiu. Nustatyta, kad darbo metu patalpose vyrauja 22–24 °C temperatūra, o naktimis ir savaitgaliais – 20–22 °C. Biure Nr. 1 iki kovo mėnesio temperatūros svyruoja stabiliai, tačiau nuo kovo 6 dienos darbo metu patalpoje temperatūra pradeda svyruoti nuo 24 °C iki 26 °C ir viršija komfortinių sąlygų ribą (4 pav.).

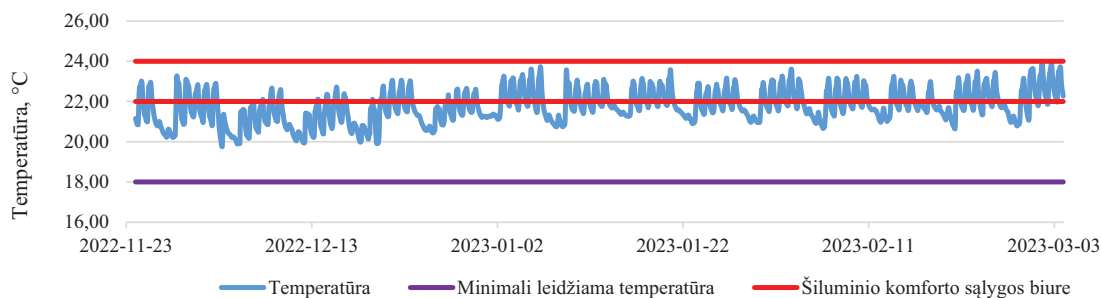
Tam įtakos galėjo turėti lauko oro temperatūrų svyravimas, kai dienos buvo šiltos, o naktys šaltos, arba įvyko valdymo sistemos klaida. Biure Nr. 2 stebėjimo laikotarpiu pastebima, kad pirmomis gruodžio savaitėmis kelias dienas patalpoje buvusi temperatūra buvo mažesnė nei šiluminio komforto minimali riba. Be to, gruodžio mėnesio temperatūros buvo žemesnės nei likusiu tyrimo laikotarpiu. Patalpos yra peršildomos, nes didžiąją laiko dalį temperatūra svyruoja tarp 23–24 °C. Beje, nei darbo dienomis, nei savaitgaliais netaikomas temperatūros pažeminimas.

Stebėto laikotarpio CO₂ kitimo grafikai pateikiami 6 ir 7 paveiksluose. Grafikuose pateikiamos atskirų savaitių CO₂ kitimo linijos bei visų savaitių vidurkio linija. Grafikuose žaliai pažymėta linija rodo oro kokybės lygį IDA 1. Toks oro kokybės lygis yra laikomas aukštu ir jo ribinė CO₂ koncentracijos vertė yra 800 ppm.

Visu stebėjimo laikotarpiu oro kokybė yra aukštos kategorijos ir niekada neviršijama aukštos oro kokybės



4 paveikslas. Biuro Nr. 1 temperatūrų grafikas nuo 2022-11-24 iki 2023-03-31



5 paveikslas. Biuro Nr. 2 temperatūrų grafikas nuo 2022-11-24 iki 2023-03-03

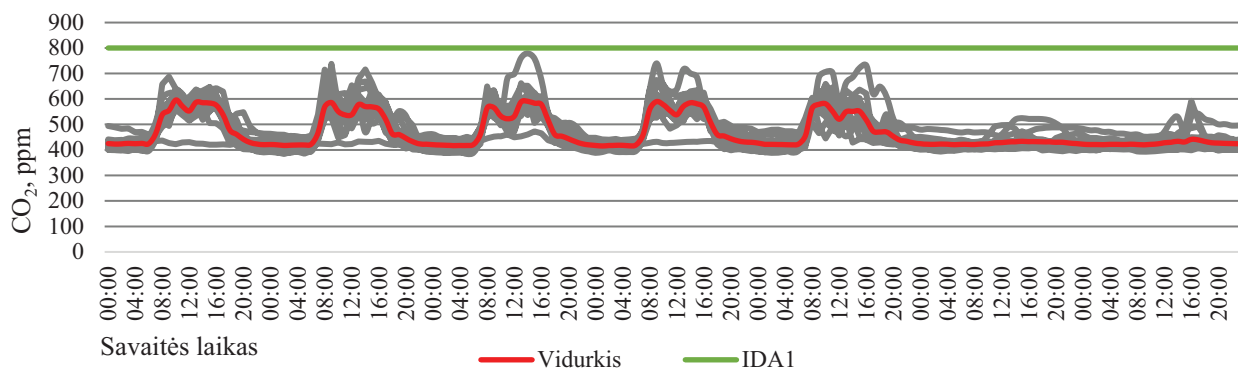
ribinė vertė. Tai, kad vidutinė CO₂ koncentracija yra mažesnė nei 800 ppm, rodo, kad net norint palaikyti aukštą komforto lygį nebūtina tiek vėdinti ir vėdinimo oro kiekiai gali būti mažinami siekiant taupyti elektros energiją visus metus ir šilumos energiją žiemos metu (kai orą dar reikia ir pašildyti).

Iš grafikų (6 ir 7 pav.) matyti, kad didžiausia CO₂ koncentracija patalpose būna nuo 8:00 val. iki 11:00 val. ir nuo 13:00 val. iki 16:00 val., t. y. darbo valandomis, o esant pietų pertraukai patalpose CO₂ koncentracija sumažėja. Vidutinė CO₂ koncentracijos vertė darbo valandomis svyruoja nuo 550 iki 600 ppm, o pietų pertraukos metu sumažėja iki 500–550 ppm. Ne darbo metu biuruose CO₂ koncentracija yra apie 400 ppm.

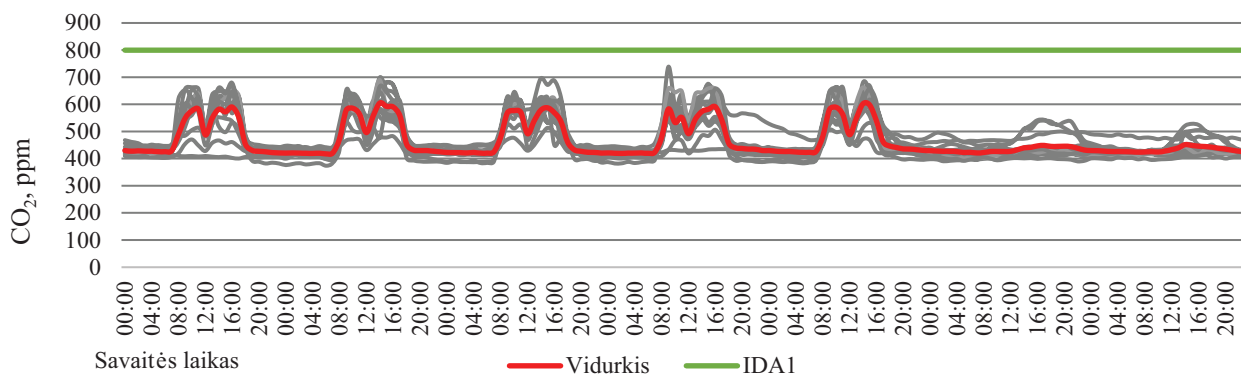
Iš 6 pav. esančio grafiko matyti, kad per visą stebėjimo laikotarpį biure Nr. 1 maksimali vidutinė valandinė

CO₂ koncentracija darbo metu buvo 790 ppm. Iš 7 pav. esančio grafiko matyti, kad per visą stebėjimo laikotarpį biure Nr. 2 maksimali vidutinė valandinė CO₂ koncentracija darbo metu buvo 739 ppm.

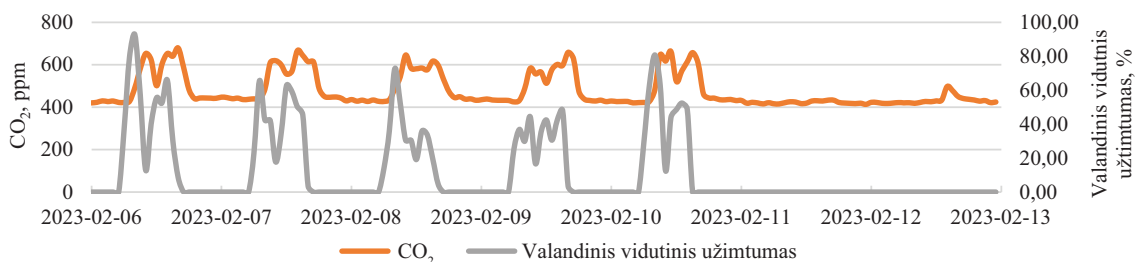
Dėl techninių kliūčių iš gautų užimtumo duomenų patikimi tik biuro Nr. 2 2023 metų vasario mėnesio duomenys. Trijų savaitių CO₂ koncentracijos priklausomybės nuo patalpos užimtumo grafikai pateikiami 8, 9, 10 paveiksluose. Biuro Nr. 2 100 proc. užimtumas būtų tada, kai visi (6) patalpos darbuotojai savo darbo vietoje išbūtų visą valandą. Didžiausias užimtumas patalpoje buvo 2023 metų vasario 6–12 dienomis. Vasario 16 dieną (nedarbo diena) matyti, kad užimtumas visą parą buvo 0 %, tačiau ir kitais ketvirtadieniais, palyginti su kitomis darbo dienomis, pastebimas užimtumo sumažėjimas. Grafikuose ryškiai matoma CO₂ koncentracijos



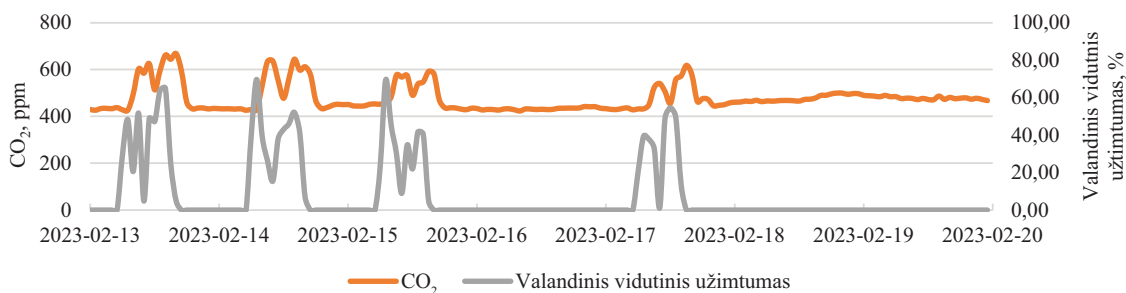
6 paveikslas. Biuro Nr. 1 CO₂ kitimo grafikas tiriamuoju laikotarpiu nuo 2022-11-28 iki 2023-03-27



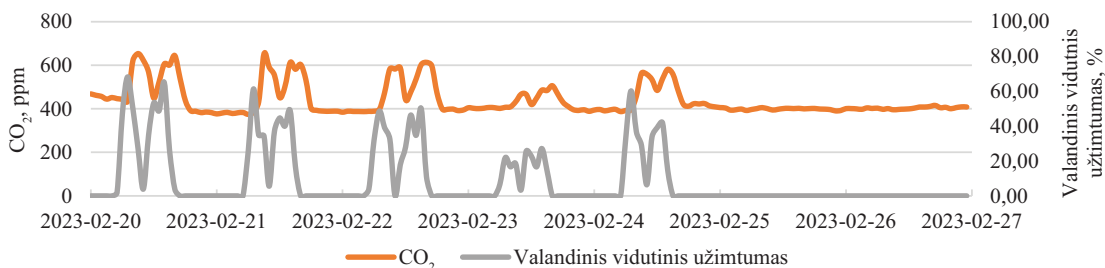
7 paveikslas. Biuro Nr. 2 CO₂ kitimo grafikas tiriamuoju laikotarpiu nuo 2022-11-28 iki 2023-02-26



8 paveikslas. Biuro Nr. 2 CO₂ koncentracijos priklausomybė nuo patalpos užimtumo nuo 2023-02-06 iki 2023-02-13



9 paveikslas. Biuro Nr. 2 CO₂ koncentracijos priklausomybė nuo patalpos užimtumo nuo 2023-02-13 iki 2023-02-20



10 paveikslas. Biuro Nr. 2 CO₂ koncentracijos priklausomybė nuo patalpos užimtumo nuo 2023-02-20 iki 2023-02-27

	Today	Future	Savings potential
HVAC plant			
Ventilation and air conditioning	C - B	A	
electrical:	0.97	0.72	26%

11 paveikslas. Esamos ir naujos vėdinimo sistemos palyginimas „EPC-Tool“ programoje

priklausomybė nuo užimtumo: esant intensyvesniam užimtumui per valandą CO₂ patalpoje pakyla, o užimtumui sumažėjus, atvirkščiai, – nusileidžia. Taip pat iš grafikų matome, kad patalpoje esant 50 % valandiniam užimtumui CO₂ koncentracija padidėja virš 600 ppm.

Siekiant sumažinti energijos vartojimą pastate siūloma peržiūrėti esamos ŠVOK sistemos valdymo režimus, optimizuoti darbo grafikus. Rekomenduojama atkreipti dėmesį į patalpų temperatūros palaikymo grafikus, kad nedarbo metu būtų palaikoma ne didesnė nei 18 °C, o darbo metu ne didesnė nei 22 °C temperatūra (pastaba: apytikriai yra vertinama, kad vienu laipsniu sumažinus patalpos temperatūrą galima sutaupyti 5 proc. energijos, reikalingos patalpai šildyti).

Įvertinus pastate esančią vėdinimo sistemą su „Siemens“ gamintojų sukurta sistemų energinio naudingumo klasifikatoriaus programa „EPC-Tool“, gaunama, kad sistema atitinka C-B energinę klasę (11 pav.).

Pakeitus sistemos valdymą iš pastovaus oro srauto į daugiapakopį, pastarasis valdymas galėtų keisti vėdinimo sistemos tiekiamo oro kiekį priklausomai nuo poreikio (patalpų užimtumo), būtų pasiekta A sistemos klasė ir tai leistų per metus sutaupyti iki 26 % elektros energijos.

4. Išvados

1. Pastato patalpų stebėjimo duomenys rodo, kad patalpų oro temperatūra ir patalpų oro kokybė atitinka Lietuvos higienos normose ir statybiniuose reglamentuose nurodytas reikšmes. Patalpų oro kokybė per stebėjimo laikotarpį buvo aukščiausio kokybės lygio (IDA1).
2. Siekiant sumažinti energijos sąnaudas reiktų atkreipti dėmesį į šildymo sistemos valdymą, išnaudoti temperatūrinį pažeminimą nakties metu ir savaitgaliais arba paieškoti optimalaus šildymo sistemos veikimo grafiko, nesukuriant temperatūrinio diskomforto.
3. Analizuojamame administraciniame pastate patalpos yra pervėdinamos, vėdinimo sistema tiekia per didelį šviežio oro kiekį į patalpas.
4. Naudojamos pastovaus oro srauto vėdinimo sistemos be papildomų oro srauto reguliavimo priemonių negali prisitaikyti prie dinamiško patalpų naudojimo grafiko. Įvedus vėdinimo sistemos kontrolę pagal užimtumą ar CO₂ koncentraciją būtų galima sumažinti elektros energijos sąnaudas iki 26 %.

Literatūra

- Allouhi, A., El Fouih, Y., Kousksou, T., Jamil, A., Zeraoui, Y., & Mourad, Y. (2015). Energy consumption and efficiency in buildings: Current status and future trends. *Journal of Cleaner Production*, 109, 118–130. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2015.05.139>
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2001). *ASHRAE handbook: Fundamentals*. ASHRAE.
- Azuma, K., Kagi, N., Yanagi, U., & Osawa, H. (2018). Effects of low-level inhalation exposure to carbon dioxide in indoor environments: A short review on human health and psychomotor performance. *Environment International*, 121, 51–56. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.08.059>
- Delamstro, C., & Chen, O. (2023). *Buildings*. International Energy Agency. <https://www.iea.org/energy-system/buildings>
- European Union. (2023). *Infographics – Fit for 55: Making buildings in the EU greener*. <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/fit-for-55-making-buildings-in-the-eu-greener/>
- EPC-Tool, & Siemens. (n.d.). *Energy performance classification tool*. <https://epc.bt.siemens.com/epc/>
- Fisk, W. J., Black, D., & Brunner, G. (2012). Changing ventilation rates in U.S. offices: Implications for health, work performance, energy, and associated economics. *Building and Environment*, 47(1), 368–372. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2011.07.001>
- Kaushik, A., Arif, M., Tumula, P., & Ebohon, O. J. (2020). Effect of thermal comfort on occupant productivity in office buildings: Response surface analysis. *Building and Environment*, 180, Article 107021. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2020.107021>
- Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija. (2005). *Dėl statybos techninio reglamento STR 2.09.02:2005 “Šildymas, vėdinimas ir oro kondicionavimas” patvirtinimo* (2005, birželio 9, Nr. D1-289). <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.257930/asr>
- Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministerija. (2003). *Dėl Lietuvos higienos normos HN 69:2003 “Šiluminis komfortas ir pakankama šiluminė aplinka darbo patalpose. Parametų norminės vertės ir matavimo reikalavimai” patvirtinimo* (2003, gruodžio 24, Nr. V-770). <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.230880>
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., Maestre, I. R., & Coronel, J. F. (2012). Constructing HVAC energy efficiency indicators. *Energy and Buildings*, 47, 619–629. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2011.12.039>
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, 40(3), 394–398. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2007.03.007>
- Persily, A., & de Jonge, L. (2017). Carbon dioxide generation rates for building occupants. *Indoor Air*, 27(5), 868–879. <https://doi.org/10.1111/ina.12383>
- Persily, A. K. (2016). Field measurement of ventilation rates. *Indoor Air*, 26(1), 97–111. <https://doi.org/10.1111/ina.12193>

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF THE VENTILATION SYSTEM IN AN ADMINISTRATIVE BUILDING

G. VIGANAUSKAS, V. MOTUZIENĖ

Abstract. Facing the energy crisis in Europe and the rise in energy prices, consumers are seeking ways to more efficiently use energy and reduce its costs. In the European Union's green agenda, one of the main goals is to aim at constructing and designing high-energy class buildings with efficiently operating heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) and building management systems. Currently, HVAC systems consume the largest portion of energy in buildings, and in many cases, they consume more energy than planned during the design/modeling stage. Such cases occur when incorrect assumptions are made during system design, system management is unregulated, and users are not restricted in system management. The article analyzes a real administrative building and evaluates the efficiency of its ventilation systems based on long-term monitoring results. After analyzing the levels of CO₂ pollution in the premises during the monitoring period, several management measures were proposed to help save energy.

Keywords: administrative building, microclimate, indoor comfort conditions, operation of ventilation systems.