

Environmental engineering Aplinkos inžinerija

TURBOVENTILIATORIŲ, VEIKIANČIŲ BE VĖJO SRAUTO, EKSPERIMENTINIS TYRIMAS

Dovydas RIMDŽIUS*, Juozas BIELSKUS

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

Gauta 2018 m. birželio 10 d.; priimta 2018 m. birželio 25 d.

Santrauka. Šiuolaikinių pastatų vėdinimo sistemose naudojami ventiliatoriai sudaro didelę dalį pastato bendrojo energijos poreikio. Siekiant užtikrinti tinkamą oro kokybę ir aukštą vėdinimo sistemų efektyvumą, būtina ieškoti naujų sprendimų. Vienas iš galimų būdų – atsinaujinančią energiją naudojančių technologijų taikymas. Šiuo metu plačiai paplitęs būdas naudoti vėjo energiją turboventiliatoriuose. Didžioji dalis ankstesniuose moksliniuose tyrimuose atliktų eksperimentų susiję su skirtingų konstrukcijų turboventiliatorių bandymais, jų charakteristikų nustatymu ir rezultatų palyginimu. Visgi, vertinant esamą mokslinių tyrimų situaciją, pastebima, jog trūksta fundamentalių tyrimų nagrinėjant oro srautų sąveikos procesų įtaką turboventiliatorių efektyvumui. Be to, atliekamuose tyrimuose su hibridiniais tokio tipo įrenginiais tebeieškoma sprendimų, kaip padidinti vėdinimo funkcionalumą, kai nepakanka vėjo srauto įrenginiui veikti. Siekiant detaliau nustatyti minėtų procesų svarbą, pristatomame tyrime dviem skirtingais metodais eksperimentiškai bandomi du skirtingo tipo turboventiliatoriai. Vienu atveju jų rotorai sukami papildomu energijos šaltiniu, kitu atveju bandomi skirtingomis vėjo greičių sąlygomis. Tyrimų metu siekiama įvertinti ne tik bandomų įrenginių charakteristikas veikiant įprastomis sąlygomis, bet ir jų vėdinimo potencialą be vėjo srauto. Eksperimentinių tyrimų rezultatai parodė, jog įrenginiui veikiant įprastomis sąlygomis didelė dalis ištraukiamojo oro srauto veikiama rotorių sukimosi bei ežekcijos reiškinio. Straipsnyje pateiktos empirinės lygtys ir tyrimo rezultatai gali būti naudingi lyginant kitus eksperimentus bei tobulinant įrenginio funkcionalumą esant mažam vėjo greičiui.

Reikšminiai žodžiai: turboventiliatorius, vėjo energija, skirta vėdinti, eksperimentinis tyrimas, ištraukiamojo oro srautas, sukimosi dažnis, veiksmingumas.

Įvadas

Tarp vėjo energiją naudojančių vėdinimo technologijų plačiai paplitę turboventiliatoriai. Šio tipo įrenginiai pasižymi nesudėtingu įrengimu ir jų veikimui nėra svarbi vėjo kryptis. Tokių įrenginių konstrukcijos pagrindą sudaro rotorius, kuris veikia kaip turbina, bei ortakis su įmontuota sukimosi ašimi. Vėjo srautui pučiant į turboventiliatorių, pradeda sukis rotorius ir taip panaudota vėjo energija leidžia padidinti pastato vėdinimo intensyvumą.

Vėjo varomi turboventiliatoriai dažnai kombinuojami kartu su natūralia vėdinimo sistema sandėliuose, cechuose, pramoniniuose bei gyvenamuosiuose pastatuose. Taip padidinamas ištraukiamojo oro srautas, kai sudėtinga užtikrinti reikiamą vėdinimo angų kiekį. Dale ir Ackerman (1993) atlikta galimybių studija parodė, kad pastatą su įprasta natūralia vėdinimo sistema papildžius turboventiliatoriais, oro apykaitą pastate galima padidinti apie 15%. Vertinant įvairias vėjo energiją naudojančių vėdinimo sis-

temų technologijas nustatyta, kad turboventiliatoriai yra geriausias pasirinkimas įvertinus jų dydį, kainą bei vėdinimo veiksmingumą. Nors šių įrenginių projektavimas atrodo paprastas, oro srautų procesai turboventiliatoriuje yra sudėtingi, todėl tam atliekami kiekybiniai ir kokybiniai tyrimai (Lien ir Ahmed, 2010).

Aerodinaminiai turboventiliatorių tyrimai atskleidė, jog tokia vertikalios sukimosi ašies įrenginyje didesnis efektyvumas pasiekiamas esant mažesniai vėjo greičiui (Khan, Su, Riffat ir Biggs, 2008). Mokslininkų teigimu, pučiant stipriam vėjui, didelė dalis oro srauto atitrūksta nuo menčių, todėl į tai turėtų būti atkreiptas dėmesys optimizuojant įrenginio veikimą plačiame oro greičių diapazone. Norėdamas pagerinti vėdinimo efektyvumą Lai (2003) atliko eksperimentus su modifikuotu turboventiliatoriumi. Tyrimo autorius į įprastą turboventiliatorių įmontavo vidines mentes. Mokslininko teigimu, toks sprendimas leidžia padidinti ištraukiamojo oro srautą. Pasak autoriaus,

*Autorius susirašinėti. El. paštas dovydas.rimdzius@vgtu.lt

svarbiausi kriterijai parenkant vidines mentes yra jų medžiagų savybės ir forma.

Egzistuoja ir hibridiniai tokio tipo įrenginiai. Šiuo atveju tai turboventiliatoriai su papildomai įmontuotu oro ištraukimo ventiliatoriumi. Įprastai tokie įrenginiai kompleksiskai veikia su saulės elementais. Generuojama elektros energija gali būti naudojama papildomame oro ištraukimo ventiliatoriuje, kartu veikiant su vėjo varomu turboventiliatoriumi. Taip pat saulės elementų generuojama elektros energija gali būti kaupiama akumuliatoriuose, kuri, kai sukaupiama, naudojama tik papildomam oro ištraukimo ventiliatoriui, kai vėjo energijos neužtenka palaikyti reikiamam ištraukiamajam oro srautui. Lai (2006) atliko tyrimus su 500 mm rotoriaus skersmens turboventiliatoriumi, kuriame buvo įmontuotas 400 mm skersmens saulės elementų energija varomas išorinis ventiliatorius. Eksperimentų metu nustatyta, jog, vėjo greičiui neviršijant 5 m/s, tokios konfigūracijos įrenginys pastebimai padidina vėdinimo srautą. Visgi esant dideliame vėjo greičiui, tokia konstrukcija blogina vėdinimo efektyvumą, lyginant su įprastos konstrukcijos turboventiliatoriais. Shinde, Lavhale, Nair, Pawar ir Mahajan (2016) nagrinėjo turboventiliatorių kaip vėdinimo įrenginį ir vėjo jėgainę. Autoriai teigia, kad tokio įrenginio veiksmingumas priklauso nuo natūralios traukos ir rotoriaus sukčių. Sumažinus vėdinimo intensyvumą, įrenginį galima naudoti kaip elektros generatorių.

Esamų mokslinių tyrimų apžvalga rodo, jog bandant turboventiliatorius didelis dėmesys skiriamas siurbiamam oro srautui nustatyti bei skirtingos konstrukcijos įrenginių charakteristikoms palyginti. Analizuojant hibridinių sprendimų tyrimus pastebima, kad įprastai nagrinėjami įrenginiai su papildomu įmontuotu ventiliatoriumi, tačiau trūksta tyrimų, kuriuose vertinamas tik įrenginio rotoriaus sukimas papildomu energijos šaltiniu. Be to, vertinant esamą situaciją pastebima, jog trūksta mokslinių tyrimų, kuriuose nagrinėjami turboventiliatoriuose vykstantys fundamentalūs reiškiniai.

Atliekamo tyrimo tikslas – įvertinti dviejų skirtingo tipo turboventiliatorių veikimo potencialą be vėjo srauto, kai jų veikimas bandomas remiantis išcentrinio ventiliatoriaus principu. Bandymų metu taip pat nustatytos įrenginių charakteristikos, jiems veikiant įprastu režimu vėjo sraute. Eksperimentų metu nustatytos priklausomybės leidžia detalčiau suprasti įrenginyje vykstančius fundamentalius procesus ir jų įtaką oro siurbimo efektui. Pristatomi tyrimo rezultatai gali būti naudingi tobulinant įrenginio funkcionalumą, kai yra mažas vėjo greitis ir dėl to nepakankamai vėdinama.

1. Bandomi įrenginiai

Tyrimų metu bandomi du skirtingos konstrukcijos, tačiau vienodo veikimo principo turboventiliatoriai. Vieno iš jų rotoriaus konstrukciją sudaro tiesios mentės (1 paveikslas, kairėje), o kito įrenginio rotorius sudarytas iš lenktų menčių (1 paveikslas, dešinėje). Pirmasis įrenginys yra australų gamintojo „Edmonds“, modelis „Hurricane 100“.



1 paveikslas. Bandomų turboventiliatorių nuotraukos
Figure 1. Photos of tested turboventilators

Antrasis įrenginys lenktų įmonės, o jo modelis „SX-WO-130MAXAL/CENTRO“.

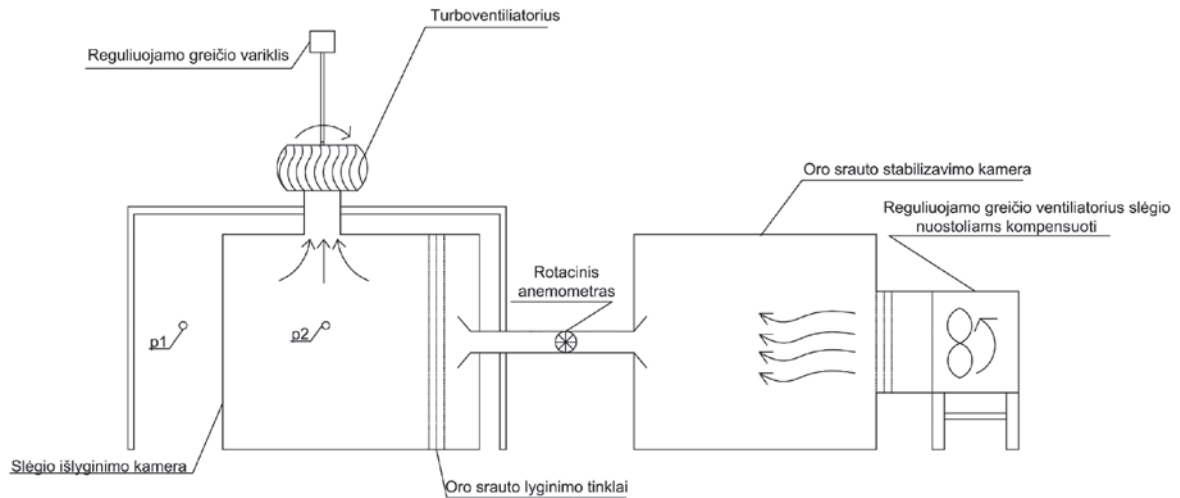
Bandomi turboventiliatoriai yra panašaus dydžio, tačiau dėl skirtingos konstrukcijos skiriasi kai kurie įrenginius charakterizuojantys matmenys. Turboventiliatorius su tiesiomis mentėmis turi didesnę rotorių. O turboventiliatoriaus su lenktomis mentėmis didesnis oro siurbimo kanalo skerspjūvio plotas. Įrenginio su tiesiomis mentėmis rotoriaus skersmuo 280 mm, rotoriaus aukštis 92 mm, oro siurbimo kanalo skersmuo 110 mm. Atitinkamai turboventiliatoriaus su lenktomis mentėmis matmenys: 190 mm, 130 mm bei 130 mm.

2. Tyrimo metodika

Eksperimentinio tyrimų stendo konstrukcija paremta standartu (AS/NZS 4740:2000) ir kitose publikacijose (Khan et al., 2008; Lai, 2003) pateiktų eksperimentinių stendų idėjomis. Stendo konstrukcijos pagrindą sudaro 2 paveiksle pavaizduotas reguliuojamo greičio elektrinis variklis bei bandomasis turboventiliatorius. Siekiant papildomu energijos šaltiniu sukurti bandomojo įrenginio sukimą, elektrinio variklio ašis metaliniu strypu sujungta su turboventiliatoriaus rotoriaus viršutine dalimi. Šiuo atveju elektrinio variklio sukimosi dažnis reguliuojamas naudojant atvirojo kodo „Arduino“ valdiklį, kuriuo keičiami greičio regulatoriaus parametrai (žr. 3 paveiksle kairėje apibrėžtą plotą).

Bandomasis turboventiliatorius ortakiu prijungiamas prie slėgio išlyginimo kameros, kurios paskirtis imituoti vėdinamą patalpą ir palaikyti reikiamą slėgio skirtumą tarp vidaus ir išorės. Slėgio matavimo taškai įrengti slėgio išlyginimo kameros sienelių vidinėje pusėje (p_2) bei eksperimentinio tyrimų stendo konstrukcijos išorėje (p_1). Siekiant padidinti matavimo tikslumą, slėgio išlyginimo kameroje įrengti matavimo taškai sujungti pjezometrinio žiedo principu.

Siurbiamam oro srautui matuoti tyrimų stende įrengti 5 vienodi rotaciniai anemometrai „Ahlborn FVAD15S140“, kurių skersmuo 1,85 cm, o oro greičio matavimo riba siekia iki 40 m/s. Rotaciniai anemometrai prijungti tarp slėgio išlyginimo ir oro srauto stabilizavimo kamerų. Pastaroji kamera yra prijungta prie reguliuojamo greičio ventiliatoriaus, kurio paskirtis kompensuoti slėgio nuostolius



2 paveikslas. Eksperimentinio stendo schema
Figure 2. Schematic of experimental setup

bei palaikyti reikiamą slėgį išlyginimo kameroje. Bandymų metu turboventiliatorių sukimosi dažnio matavimai atliekami optiniu tachometru „Extech RPM33“.

Veikiant turboventiliatoriui, slėgio išlyginimo kameroje sukuriama mažesnis slėgis nei bandymų patalpoje. Įrenginiui veikiant realiomis sąlygomis, toks reiškinys ypač priklauso nuo vėdinamos patalpos sandarumo, todėl tai apsunkina įrenginių veiksmingumo palyginimą. Dėl šios priežasties bandymai atliekami palaikant pastovias slėgių sąlygas. Šiuo atveju tai atliekama suvienodinant slėgius matavimų stendo išorėje ir slėgio išlyginimo kameroje ($p_1 = p_2$).

Eksperimentų metu taip pat atliekami bandymai įrenginiams veikiant įprastu režimu vėjo sraute. Šiam tikslui papildomai naudojamas aerodinaminio tunelio ventiliatorius su oro srauto lyginimo sekcija (žr. 3 paveikslą dešinėje apibrėžtą plotą). Vėjo srautas šiuo atveju nustatomas „Pitot“ vamzdeliu menamoje įrenginio montavimo padėtyje septyniuose tolygiai paskirstytuose taškuose. Atliekant bandymus vėjo srauto greitis siekė iki 9 m/s.

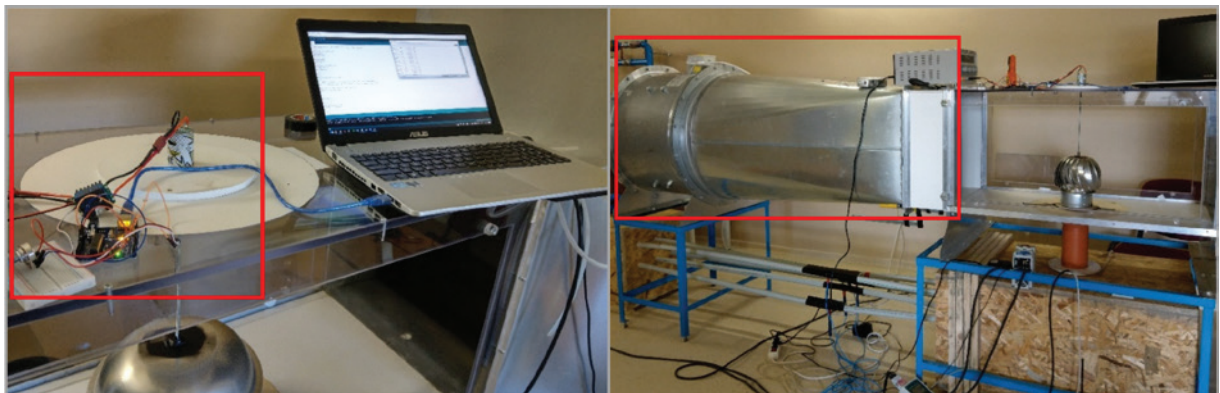
Tyrimo metu turboventiliatorių veiksmingumui palyginti taikomas ištraukiamojo oro srauto ir į rotorių pučiamo vėjo srauto santykio rodiklis (1):

$$\eta = \frac{Q}{v_w \cdot A_{imp} \cdot 3600}, \quad (1)$$

čia η – turboventiliatoriaus ištraukiamojo oro srauto ir vėjo srauto, nukreipto statmenai į rotoriaus skerspjūvio plotą, santykis; Q – ištraukiamasis oro srautas, m^3/h ; v_w – vėjo srauto greitis, m/s ; A_{imp} – turboventiliatoriaus projekcijos į vėjo srautą plotas, m^2 .

3. Eksperimentinio tyrimo rezultatai

Šiame skyriuje pateikiamas dviejų bandytų įrenginių ištraukiamojo oro srauto rezultatų palyginimas ir analizė, esant skirtingoms bandymų sąlygoms. Grafikuose (4 paveikslas ir 5 paveikslas) pateiktos empirinės lygtys galioja tik bandytiems turboventiliatoriams.



3 paveikslas. Eksperimentinio stendo nuotrauka
Figure 3. Photo of experimental setup

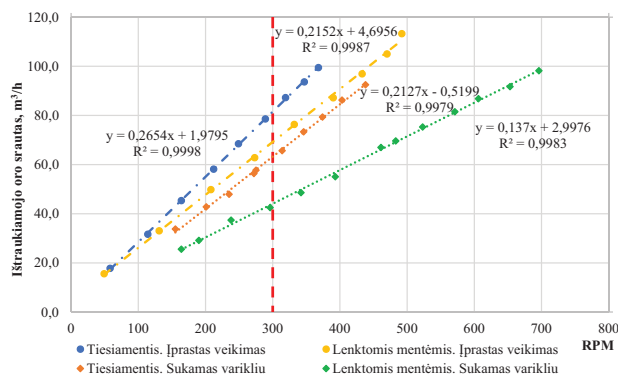
Pirmajame eksperimentinio tyrimo rezultatų grafike (žr. 4 paveikslą) vaizduojamos ištraukiamojo oro srauto priklausomybės esant skirtingiems turboventiliatorių rotorių sukimosi dažniams (angl. *Revolutions per minute (RPM)*). Grafike pavaizduotos kreivės rodo turboventiliatorių su tiesiomis ir lenktomis mentėmis skirtingus ištraukiamojo oro rezultatus, kai bandymai atliekami pučiant vėjo srautą į įrenginius (žymima „Įprastas veikimas“) bei jų rotorius sukant tik elektros varikliu (žymima „Sukamas varikliu“).

Analizuojant bandymų rezultatus matoma, kad, pasiekus vienodus sukimosi dažnius, didžiausią ištraukiamojo oro srautą sukuria turboventiliatoriai su tiesiomis mentėmis, kai įrenginys veikiamas tik vėjo srauto energijos. Šiuo atveju, rezultatams palyginti laisvai pasirinkus 300 sūkių per minutę atskaitą (žymima vertikalia brūkšnine linija), apskaičiuota, jog turboventiliatorius su tiesiomis mentėmis gali ištraukti apie 20 % daugiau oro srauto nei turboventiliatorius su lenktomis mentėmis, kai jų varomoji jėga yra tik vėjo srauto energija.

Pagal bandymus, atliktus be vėjo srauto, matoma, kad elektros varikliu sukant įrenginių rotorius abiem turboventiliatoriais pasiekta daug mažesnis ištraukiamojo oro srautas nei jiems veikiant įprastu būdu. Norint pasiekti vienodus ištraukiamojo oro srautus, įrenginius sukant varikliu reikalingas didesnis sukimosi dažnis nei sukant tik vėjo srautu. Vertinant ištraukiamųjų oro srautų santykį nustatyta, jog turboventiliatoriaus su tiesiomis mentėmis našumas yra apie 47 % didesnis nei identiškais sūkais varikliu sukamo kito tipo turboventiliatoriaus.

Lyginant vėjo energiją ir tik elektros varikliu pasiekiamus turboventiliatoriaus ištraukiamojo oro srautus matoma, kad vėjo srauto įtaka yra didesnė turboventiliatoriui su lenktomis mentėmis. Šiuo atveju, kai rotorius sukasi naudojant tik vėjo energiją, tokiu įrenginiu siurbiamas oro srautas yra didesnis apie 62 %. Na o turboventiliatoriuje su tiesiomis mentėmis skirtumas siekia 32 %.

Viena iš priežasčių, kodėl abiem atvejais pasiekta didesnis ištraukiamojo oro srautas tiesiamenčiu turboventiliatoriumi – didesnis įrenginio rotorius. Šiuo atveju, lyginant rotorių projekcijas statmenai vėjo srautui, jų plotai skiriasi apie 20 %. Kita vertus, vertinant tik oro



4 paveikslas. Ištraukiamojo oro srauto priklausomybės nuo sukimosi dažnių

Figure 4. Extracted air flow against rotational frequency

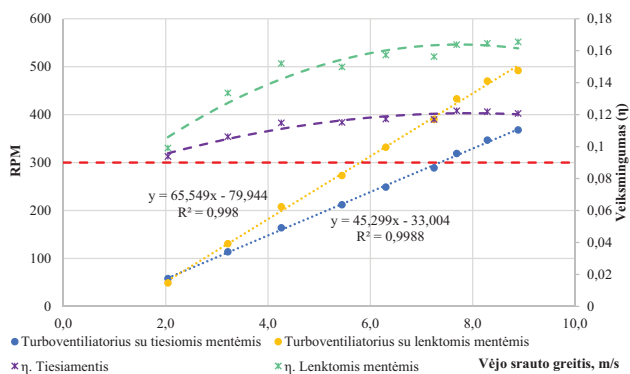
ištraukimo ortakių skerspjuvius, turboventiliatoriaus su lenktomis mentėmis siurbimo angos skerspjuvio plotas didesnis 40 %.

5 paveiksle pateikiami sukimosi dažnių rezultatai, kai turboventiliatoriai veikia tik nuo vėjo srauto.

Pagal turboventiliatorių sukimosi dažnių priklausomybių nuo vėjo greičio rezultatus (5 paveikslas) matomos kitokios kreivių kitimo tendencijos. Šiame grafike matyti, jog norint pasiekti vienodus sukimosi dažnius, turboventiliatoriui su lenktomis mentėmis reikalingas mažesnis vėjo greitis. Šiuo atveju analizuojant pagal tą pačią 300 sūkių per minutę atskaitą (žymima horizontalia brūkšnine linija), pastebima, kad turboventiliatorius su lenktomis mentėmis tokį rezultatą pasiekia, kai vėjo greitis yra apie 5,8 m/s. O turboventiliatoriui su tiesiomis mentėmis reikalingas apie 7,5 m/s vėjo greitis. Be to, eksperimentų metu pastebėta, jog turboventiliatorių rotoriai pradeda sukintis tik esant didesniai nei 2 m/s vėjo greičiui. Dėl šios priežasties, siekiant užtikrinti vėdinimo poreikį tokiomis sąlygomis, reikalingi papildomi vėdinimo sprendimai.

Tame pačiame grafike (5 paveikslas) papildomai pateikti vėjo energijos potencialo panaudojimo vėdinti skaičiavimo rezultatai. Pagal bandymų duomenis ir įrenginių geometrinius rodiklius, atlikus skaičiavimus taikant (1) lygtį nustatyta, jog pasirinkus bandymams atitinkamus vėjo greičius geresnis rezultatas pasiekiamas turboventiliatoriumi su lenktomis mentėmis. Rezultatų kreivės rodo, jog šis santykinis įrenginių veiksmingumą charakterizuojantis rodiklis yra panašus, kai vėjo greitis yra mažas, tačiau skirtumas didėja, iki pasiekiamas 6 m/s vėjo greitis. Esant didesniai vėjo greičiui, skirtumas tarp šių santykinų rodiklių išlieka panašus.

Visgi vertinant laikotarpius, kai rotoriams sukinti nepakanka vėjo greičio – norint pasiekti reikiamą siurbiamo oro srautą, turboventiliatoriui su tiesiomis mentėmis reikalingas mažesnis sukimosi dažnis. Be to, bandymus atlikus skirtingomis įrenginių veikimo sąlygomis aiškiai matoma, jog didelę dalį siurbiamo srauto veikia į rotorių patenkantis vėjo srautas. Patekęs vėjo srautas ežekcijos būdu pasiurbia oro srautą iš oro siurbimo kanalo ir taip pagerina įrenginio veikimą.



5 paveikslas. Sukimosi dažnių priklausomybės nuo vėjo srauto greičio

Figure 5. Rotational frequency against wind flow velocity

Išvados

1. Atlikus įrenginių bandymus dviem skirtingais metodais nustatyta, kad didesni ištraukiamojo oro srautai, esant vienodiems sukimosi dažniams, pasiekiami įrenginiams veikiant vėjo sraute. Šiuo atveju, vertinant absoliučiuosius rodiklius, apie 20 % didesnę rezultatą pasiekė turboventiliatorius su tiesiomis mentėmis.
2. Lyginant skirtingų turboventiliatorių veikimą vėjo sraute ir sukant tik papildomu elektros varikliu nustatyta, kad vėjo srauto įtaka yra didesnė turboventiliatoriui su lenktomis mentėmis. Norint pasiekti reikiamą ištraukiamojo oro srautą, kai nėra vėjo, tokiam įrenginiui naudojant energijos šaltinį reikalinga išvystyti daug didesnius sukčius.
3. Vertinant vėjo energijos potencialo panaudojimą vėdinti apskaičiuota, jog geresnis rezultatas pasiekiamas turboventiliatoriumi su lenktomis mentėmis. Šiuo atveju pagal ištraukiamojo oro srauto ir pučiamo vėjo srauto santykį apskaičiuota, kad tokie rodikliai turboventiliatoriams su tiesiomis ir lenktomis mentėmis atitinkamai gali siekti iki 0,12 ir 0,16, kai vėjo greitis yra apie 8 m/s.
4. Rezultatų analizė rodo, jog didelę įtaką ištraukiamojo oro debitui daro ne tik rotorių sukimasis, bet ir vėjo srauto sukuriamas ežekcijos efektas. Atliekant tokių įrenginių tobulinimą svarbu atkreipti dėmesį į šio reiškinio įtaką.
5. Siekiant detaliau ištirti turboventiliatorius pagal išcentrinio ventiliatoriaus veikimo principus, eksperimentų metu reikia atlikti sukimui reikalingos galios matavimus.

Literatūra

- AS/NZS 4740:2000. (2000). *Natural ventilators-classification and performance*. Australian/New Zealand Standard.
- Dale, J. D., & Ackerman, M. Y. (1993). Evaluation of the performance of attic turbine ventilators. *ASHRAE Transactions*, 99(1), 14-22.
- Khan, N., Su, Y. Y., Riffat, S. B., & Biggs, C. (2008). Performance testing and comparison of turbine ventilators. *Renewable Energy*, 33(11), 2441-2447. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.01.016>
- Lai, C. M. (2003). Experiments on the ventilation efficiency of turbine ventilators used for building and factory ventilation. *Energy and Buildings*, 35(9), 927-932. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(03\)00024-0](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(03)00024-0)

- Lai, C. M. (2006). Prototype development of the rooftop turbine ventilator powered by hybrid wind and photovoltaic energy. *Energy and Buildings*, 38(3), 174-180. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.06.004>
- Lien, S. T. J., & Ahmed, N. A. (2010). Numerical simulation of rooftop ventilator flow. *Building and Environment*, 45(8), 1808-1815. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.02.009>
- Shinde, R., Lavhale, V., Nair, A., Pawar, S., & Mahajan, R. (2016). Generation of electric power using turbo ventilators. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 6(6), 89-93.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF TURBOVENTILATORS OPERATING WITHOUT WIND FLOW

D. Rimdžius, J. Bielskus

Abstract

Fans used in modern buildings ventilation systems make up a large part of the building's total energy demand. In order to ensure proper air quality and high efficiency of ventilation systems, it is necessary to search new solutions. One of the possible ways is to use renewable energy technologies. Currently it is a widespread use of wind energy in turboventilators. Major part of previous researches are related to tests of different construction turboventilators, determination of their characteristics and analysis of results. However, assessment of the current researches situation indicates the lack of fundamental researches of air flows interaction processes impact to turboventilators efficiency. In addition, researchers on hybrid turboventilators still search for solutions to increase the ventilation functionality when there is not enough wind power for operation of these devices. In order to determine the significance of these processes in more detail, in the present study, two different types of turboventilators are experimentally tested in two different ways. In one case, their rotors are rotated by an additional source of energy, in another case they are tested under different wind speed conditions. The aim of research is to assess not only the characteristics of the testes devices under normal conditions, but also their ventilation potential without wind flow. The results of experimental investigation showed that under normal operation conditions of the device, a large part of the extracted air flow is impacted by rotor rotation and ejection phenomenon. Empirical equations and investigation results presented in the paper can be useful for comparing other experiments and improving the functionality of the device at low wind speeds.

Keywords: turboventilator, wind energy for ventilation, experimental investigation, extracted air flow, rotation frequency, efficiency.