

## MOKOMASIS AERODINAMINIS VAMZDIS

Juozas Bielskus<sup>1</sup>, Egidijus Saulius Juodis<sup>2</sup>

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: <sup>1</sup>juozas.bielskus@vgtu.lt; <sup>2</sup>egidijus.juodis@vgtu.lt

**Santrauka.** Straipsnyje nagrinėjamas Vilniaus Gedimino technikos Pastatų energetikos katedros (PEK) mokomasis aerodinaminis vamzdis, su kuriuo galima atlikti laboratorinius darbus ir nesudėtingus mokslinius tyrimus. Pateikta PEK aerodinaminio vamzdžio darbinės kameros įtekėjimo ir ištekėjimo greičių projekcija, taip pat atliktas faktinis triukšmo lygio matavimas, kuris lyginamas su ventiliatoriaus gamintojų pateiktu triukšmo lygiu. Siekiant įvertinti kompiuterinės programos patikimumą, atliktas kompiuterinis modeliavimas programa PHOENICS. Modeliavimo tikslas – sumodeliuoti bandomąjį modelį, gautus rezultatus palyginti su analogiško bandymo rezultatais, pateiktais moksliniuose straipsniuose.

**Reikšminiai žodžiai:** aerodinaminis vamzdis, PHOENICS, triukšmo lygis, greičių projekcija.

### Įvadas

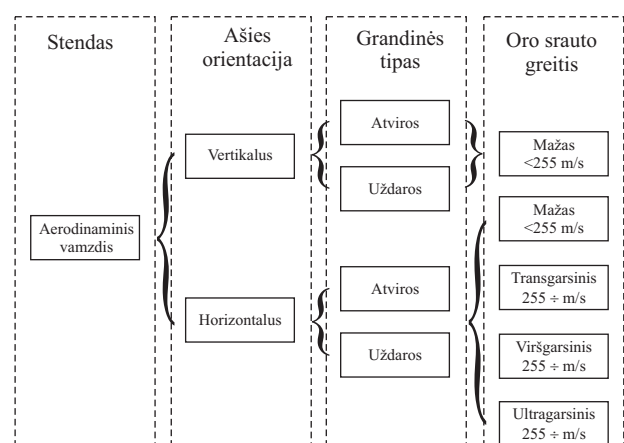
Aerodinaminis vamzdis yra svarbi priemonė atliekant inžinerinius ir mokslinius tyrimus bei tikrinant kompiuterinių (CFD) programų skaičiavimų patikimumą. Lietuvos ūkis ir aplinkosauga pasiektų didelį efektą, jei ne vien skaičiavimais, bet ir bandymais galėtų patikrinti teršalų sklaidimo atvejus. Aerodinaminio vamzdžio privalumas yra tas, kad eksperimentiniai bandymai, atliekami gerai valdomoje srauto aplinkoje, suteikia galimybę pamatyti vaizdžius oro judėjimo trajektorijų pasikeitimus, kai kelyje srautas sutinka kliūtį. Tyrimai realioje aplinkoje yra komplikuoti ir brangūs, be to, ne visada įmanomi, o modeliavimas kompiuterinėmis programomis neretai yra nepatikimas.

Aerodinaminį vamzdį yra brangu įrengti, todėl jį dažniausiai keičia modeliavimas kompiuterinėmis programomis. Modeliuoti kompiuterinėmis programomis yra pigiau, paprasčiau, tai nereikalauja didelių patalpų ir nekelia triukšmo. Kompiuterinis modeliavimas būtinas – visi lėktuvai, automobiliai projektuojami kompiuteriu, bet jie privalo būti išbandomi aerodinaminiuose vamzdžiuose, kuriuose patikrinami kompiuterinių programų pateikti rezultatai ir tikslinamos jų sudarymo prielaidos. Būsimieji inžinieriai privalo įsivaizduoti aerodinaminius reiškinius, pvz., kaip vėjas veikia pastatus, jų vėdinimo sistemas, kaip sklinda teršalai atmosferoje, o tai įmanoma tik aerodinaminiame vamzdyje. Aerodinaminis vamzdis suteikia retą galimybę oro srauto reiškinius vizualizuoti ir patikrinti, ar studentas moka tinkamai naudotis kompiuterinėmis programomis. Bent kiek susijęs su aerodinamika šiuolaikinis universitetas privalo turėti aerodinaminį vamzdį. Tačiau dėl skirtingų poreikių, tyrimų paskirties ir kitų vietinių aplinkybių tin-

kami moksliniams tyrimams aerodinaminiai vamzdžiai yra unikalūs.

### Aerodinaminių vamzdžių klasifikacija

Aerodinaminis vamzdis – tai įrenginys, kuris sukuria dirbtinį nusistovėjusį oro srautą, apiplaukiantį tiriamojo modelio paviršių. Aerodinaminis vamzdis buvo išrastas tam, kad padėtų žmogui skraidyti, o vėliau pritaikytas ir kitose srityse (pastatų aerodinaminėms savybėms, teršalų sklaidimui tirti ir t. t.). 1 paveiksle vaizduojama galima aerodinaminių vamzdžių tipų klasifikacija.



1 pav. Aerodinaminių vamzdžių klasifikacijos schema

Fig. 1. Scheme for the classification of the wind tunnel

Lyginant aerodinaminius vamzdžius pagal ašies padėtį, moksliniams tyrinėjimams tinkamiausi yra horizontalieji aerodinaminiai vamzdžiai, o vertikalieji – naudojami norint sukurti žmonių laisvąjį kritimą.

Vertinant aerodinaminius vamzdžius pagal grandines, atvirojo tipo vamzdžiai dažniausiai būna nedidelių matmenų. Jie naudojami mažose laboratorijose, nedideliams moksliniams tyrimams, kurie nereikalauja itin tikslų rezultatų, ir (ar) demonstraciniams bandymams. Uždarąjo tipo aerodinaminių vamzdžių būna įvairių matmenų. Jie naudojami mažose ir didelėse laboratorijose. Tačiau uždarąjo tipo aerodinaminis vamzdis yra pranašesnis už atvirojo, nes energijos suvartojimas, aerodinaminiai nuostoliai ir triukšmo lygis yra mažesni. Pagrindinis atvirojo tipo vamzdžio įrengimo privalumas yra mažesnis patalpos erdvės ir išlaidų poreikis. Taip pat daroma mažesnė įtaka rezultatams dėl temperatūros pokyčių (patalpos tūris daug didesnis negu aerodinaminio vamzdžio) ir ventiliatoriaus, įrengto vamzdžio gale, neveikia sutrikdytas srautas iš darbinės kameros (Bell, Mehta 1989).

### Tiriamasis modelis ir prielaidos

PEK tyrimų sritis – pastatų aerodinamikos savybių nagrinėjimas ir oro srautų tekėjimas aplink statinius. Kaip bandinys pasirenkamas pastato modelis, nes PEK katedra nagrinėja pastatų aptekėjimo savybes. Norint tinkamai sumodeliuoti pasirinktą pastatą aerodinaminiam vamzdyje reikia nustatyti tinkamus įvairių kriterijų parametrus, t. y. vėjo greitį, modelio dydį. Šiems dydžiams tinkamai įvertinti yra naudojami įvairūs panašumo kriterijai, šiuo atveju aerodinaminiam vamzdžiui modeliuoti pasirenkamas **Reinoldso panašumo kriterijus**. Reinoldso panašumo kriterijus pasirinktas todėl, kad jis nagrinėja tekėjimo reiškinį. Reinoldso kriterijaus išraiška turi atitikti tiek realius objektus, tiek modelius, o ją galima užrašyti taip:

$$Re = \frac{v_m \cdot l_m}{\nu_m} = \frac{v_n \cdot l_n}{\nu_n}, \quad (1)$$

čia:  $v_m, v_n$  – vėjo greitis modelyje ir realioje aplinkoje, m/s;  $l_m, l_n$  – pastato būdingasis matmuo modelyje ir realioje aplinkoje, m;  $\nu_m, \nu_n$  – kinematinis klampumas, m<sup>2</sup>/s.

Norint tinkamai sumodeliuoti kompiuterine programa ar aerodinaminio vamzdžiu reikia priimti šiuos kriterijus (Chavez *et al.* 2011):

a) Analizuojamo pastato forma atitinka Vilniuje esančio generalinės prokuratūros pastatą, kurio matmenys yra 30×30×30 m. Modeliuojant pastato modelį aerodinaminiam vamzdyje turi būti išlaikytas geometrinis panašumas tarp realaus pastato ir modelio. Šiuo atveju dažniausiai taikomas 1:200 mastelis. Esant šiam santykiui modelio matmenys bus išreikšti iš (2) formulės:

$$M_l = \frac{l_m}{l_n}. \quad (2)$$

Iš (2) formulės išreiškiamame modelio matmenis, kurie yra 15×15×15 cm. Šių matmenų modelis modeliuojamas aerodinaminiam vamzdyje.

b) Kai pastato Reinoldso skaičius (Re) > 11 000, tada tekėjimo pobūdis nusistovi ir nepriklauso nuo Re, šis reiškinys vadinamas automodelišku. Taigi, tekėjimo greitis modelyje gali būti bet koks, tačiau turi atitikti šias sąlygas (Chavez *et al.* 2011):

- tekėjimas turi būti automodeliškas,
- greitis aerodinaminiam vamzdyje turi būti toks, kad jį būtų galima patikimai išmatuoti.

Skaičiuojant natūralaus dydžio Re skaičių pagal (1) formulę, reikia įvertinti lauko oro temperatūrą, šiuo atveju ji laikoma 18 °C. Oro temperatūra modelyje ir natūroje priimta tokia pati (18 °C), tuomet kinematinis klampumas lygus 1,488·10<sup>-5</sup> m<sup>2</sup>/s.

Laikoma, kad vėjo greitis, kuris veikia pastato atitvaras, yra 5 m/s, o pastato būdingasis matmuo – pastato aukštis – yra 30 m. Tada  $Re = 1,008 \cdot 10^7 > 11\,000$ . Taigi, tekėjimas yra automodeliškas ir oro srauto greitis, kuris aptekės pastatą reikia imti tokį, kad būtų patogiu išmatuoti. Oro srauto greitis aerodinaminiam vamzdyje ir kompiuterinėje programoje nustatomas 10 m/s.

c) Taip pat reikia atsižvelgti į aplinkos paviršiaus šiurkštumą. Šio koeficiento nustatymo metodika yra aprašyta (Guoliang Liu *et al.* 2003), bet šiuo atveju laikoma, kad šis koeficientas yra 0,66 m. Tuomet pasinaudodami geometrinio panašumo koeficientu gauname, kad aerodinaminiam vamzdyje paviršiaus šiurkštumas yra 0,0033 m (Chavez *et al.* 2011).

Pastato modelio dydis yra svarbus matavimų tikslumo ir patogumo požiūriu. Žinant modelio matmenis ir tai, kad modelis negali užimti daugiau kaip 10 % darbinės kameros skerspjūvio, yra projektuojamas aerodinaminis vamzdis.

### PEK aerodinaminio vamzdžio konstrukcija

PEK atsižvelgiant į išlaidas ir pritaikomumą pastatų aerodinaminėms savybėms tirti buvo nuspręsta įrengti pirmąjį Lietuvoje mokomąjį mažo greičio atvirojo tipo aerodinaminį vamzdį (2 pav.). Aerodinaminį vamzdį suprojektavo ir sumontavo PEK antrosios pakopos studentas.

PEK aerodinaminis vamzdis yra sudarytas iš:

- **Prieškamerio**, kurio susiaurėjimo santykis 7,5:1 (t. y. skerspjūvio plotas srauto stabilizavimo srityje yra 1,875 m<sup>2</sup>);
- **Srautą tiesinančių grotelių**, kurios yra kvadrato formos. Jų vidiniai matmenys 8 mm, sienelės storis 0,7 mm, ilgis apie 48 mm;
- **Turbulencijos mažinimo ekranų**. Šių tinklų akucijų skersmuo 6 mm, o vielos storis 1 mm;



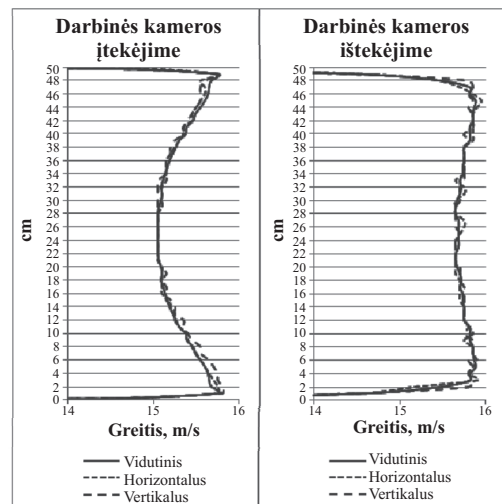
2 pav. PEK atvirojo tipo aerodinaminis vamzdis  
Fig. 2. Open type wind tunnel in Building Energetics

- **Darbinės kameros**, kurios matmenys yra 500×500×1000 mm;
  - **Difuzoriaus**, kurio ilgis 1,206 m, įtekėjimo skerspjūvis kvadratinis (500×500 mm), ištekėjimo skerspjūvis apskritas, diametras 711 mm;
  - **Ašinio ventiliatoriaus**, kurio skersmuo 711 mm. Jis skirtas 13 500 m<sup>3</sup>/h ir 200 Pa slėgio skirtumui sukurti.
- PEK aerodinaminis vamzdis atitinka tyrimams keliamus reikalavimus. Keliami šie reikalavimai:
- Oro srauto greitis turi būti 15 m/s;
  - Greičio profilio netolygumas turi būti mažesnis negu 5 %.

Atlikti PEK aerodinaminiam vamzdyje matavimai, kurių tikslas nustatyti, ar laikomasi iškeltų reikalavimų. Nustatyta, kad maksimalus pasiekiamas oro srauto greitis yra 19 m/s. Realus greitis yra didesnis negu projektinis, o tai liudija, kad aerodinaminė skaičiuoklė ar ventiliatoriaus charakteristikos nepakankamai tikslios. Aerodinaminio vamzdžio pagrindinė funkcija – užtikrinti pasirinktą turbulentiškumą ir priimtina pasienio sluoksnio storį. Taip pat svarbu greičio tolygumas darbinėje kameroje. Todėl buvo atlikti darbinės kameros įtekėjimo ir ištekėjimo matavimai. Matavimo tikslas – nustatyti greičių profilį vertikaliame ir horizontaliame pjūvyje, kai oro srauto greitis įtekėjimo skerspjūvio centre  $15,0 \pm 0,05$  m/s. Matavimai atlikti naudojantis AHLBORN matavimo įranga (AHLBORN 2012), kurią sudaro:

- daugiakanalis duomenų kaupiklis „Almemo 2890-9“;
- diferencinio slėgio matuoklis „FDA602S1K“;
- PITOT vamzdelis „FD991296VA“.

Matavimo rezultatai pateikiami tolesniuose paveiksluose.



3 pav. Darbinės kameros įtekėjimo ir ištekėjimo greičio profiliai  
Fig. 3. Speed profiles of the inlet and outlet of the working chamber

3 paveiksle pateikiamos vertikalaus ir horizontalaus pjūvio greičio projekcijos, taip pat ir vidutinio greičio projekcija. Iš paveikslų galime pastebėti, kad įtekėjimo ir ištekėjimo greičio projekcijos skiriasi.

Maksimalus oro srauto įtekėjimo greitis yra 15,76 m/s, minimalus greitis – 15,05 m/s, o vidutinis – 15,41 m/s. Taigi, darbinės kameros įtekėjimo greičių profilio netolygumas, lyginant su vidurkiu, yra apie 2,3 %. Maksimalus ištekėjimo greitis yra 15,88 m/s, minimalus – 15,46 m/s, vidutinis – 15,68 m/s. Tuomet ištekėjimo greičių profilio netolygumas yra apie 1,3 %. Įtekėjimo profilio netolygumą padidino nepalanki aerodinaminio vamzdžio vieta. Norint greičių pasiskirstymo netolygumą sumažinti, reikia sumontuoti įtekėjimo papildomą oro srauto turbulencijos tinklą.

3 paveiksle galime pastebėti įtekėjimo ir ištekėjimo pasienio sluoksnio storį. Įtekėjimo pasienio sluoksnio storis yra apie 1 cm, o ištekėjimo – apie 3 cm. Oro srautui tekant per darbinę kamerą pasienio sluoksnis padidėjo 2 cm, todėl tik apie 15 % modelio patenka į pasienio sluoksnį. Tai leidžia tvirtinti, kad aerodinaminis vamzdis apskaičiuotas teisingai ir jį galima naudoti aerodinaminiam tyrimams.

### Triukšmo slopinimas

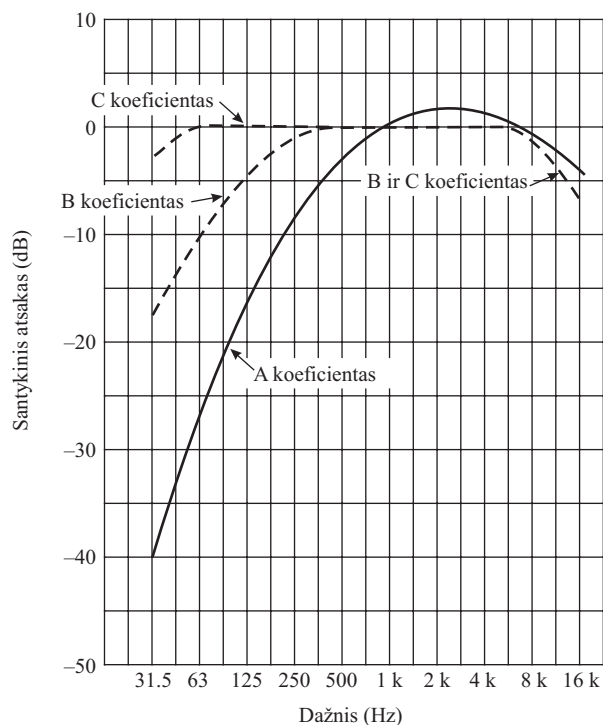
Visų aerodinaminio vamzdžių trūkumas – keliamas didelis triukšmas. Aerodinaminio vamzdžių gamintojai triukšmo lygį mažina ventiliatoriaus korpusą padengdami garso izoliuojamą medžiaga, tačiau paprastai aerodinaminiai vamzdžiai neizoliuojami. PEK tikslas – aerodinaminiam vamzdyje sumažinti triukšmo lygį tiek, kiek leidžia papildomos priemonės – triukšmo slopintuvai ir ventiliatoriaus korpuso izoliavimas. Triukšmo slopintuvai bus montuo-

jami prieš ventiliatorių ir už ventiliatoriaus. Triukšmo lygio sumažėjimas vertinamas pagal bendrąjį triukšmo lygį. Bendrasis triukšmo lygis vertinamas pagal (3) formulę (Single Value Representation of Sound Spectrum 2012):

$$L_b = 10 \cdot \log \left( \sum_{i=1}^n 10^{(L_{pi}+F)/10} \right), \text{dB}, \quad (3)$$

čia:  $L_b$  – bendrasis triukšmo lygis, dB;  $L_{pi}$  – triukšmo lygis esant skirtingai oktavai, dB;  $F$  – korekcijos faktorius, dB.

Korekcijos koeficientas parenkamas pagal tai, koks svartinis garso slėgio lygis (A, B, C ar D) naudojamas. Svertiniai garso slėgio lygiai vertinami pagal triukšmo lygį, tai A – triukšmo lygis mažesnis negu 55 dB, B – nuo 55 iki 85 dB, C – daugiau kaip 85 dB, o D – dideliems triukšmo lygiams (Single Value Representation of Sound Spectrum 2012) nustatyti. A, B ir C svartinių garso slėgio lygių koreliacijos koeficientai pateikti 4 paveiksle.



**4 pav.** Dažnių diapazonas A, B ir C logaritminėje skalėje (Single Value Representation of Sound Spectrum 2012)

**Fig. 4.** Frequency response to A, B and C weighting networks

Taikydami korekcijos koeficientus vertinsime, iki koki triukšmo lygio bus sumažintas ventiliatoriaus skleidžiamas triukšmas, kai naudojami triukšmo slopintuvai. PEK ventiliatoriaus sukuriamas triukšmo lygis, esant skirtingoms oktavoms, pateikiamas 1 lentelėje (Systemair 2012).

Šioje lentelėje pateiktas triukšmo lygis, kai ventiliatorius yra įstatomas į kanalą, šiuo atveju – į areodinaminį vamzdį. Bendrasis triukšmo lygis yra 94 dBA.

**1 lentelė.** Ventiliatoriaus akustinės savybės

**Table 1.** Acoustic characteristics of the fan

Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L <sub>w</sub> , dB	66	76	84	89	89	86	75	94

Ateityje planuojama triukšmo lygį mažinti naudojant „FlaktWoods“ triukšmo slopintuvus. Šio gamintojo slopintuvai skirti jungti su ventiliatoriumi per flanšinę jungtį. Jie yra dviejų tipų: su pertvara ir be jos. Parenkami slopintuvai, kurių vidinis skersmuo 710 mm, o ilgis 710 mm su pertvara viduje, nes pasiekiamas didesnis triukšmo slopinimo efektyvumas. Šio triukšmo slopintuvų slopinamas triukšmo lygis skirtingose oktavose pateikiamas 2 lentelėje (FlaktWoods).

**2 lentelė.** Triukšmo slopintuvo akustinės savybės

**Table 2.** Acoustic characteristics of the silencer

Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L <sub>w</sub> -dB	3	5	8	15	19	15	14	12

2-oje lentelėje pateiktos slopintuvų triukšmo slopinimo vertės esant skirtingoms oktavoms. Sumontavus slopintuvus prieš ventiliatorių ir už ventiliatoriaus šių parametru vertės skiriasi, jos pateiktos 3 lentelėje.

**3 lentelė.** Ventiliatoriaus su triukšmo slopintuvu akustinės savybės

**Table 3.** Acoustic characteristics of the fan and silencer

Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L <sub>w</sub> -dB	63	71	76	74	70	71	61	82

3 lentelėje matome triukšmo lygius esant skirtingoms oktavoms. Bendrą triukšmo lygį skaičiuosime taikydami (3) formulę ir naudodamiesi 3 lentelės charakteristikomis. Tada galime užrašyti formulę:

$$L_b = 10 \cdot \log \cdot (10^{(63-0,8)/10} + 10^{(71-0,2)/10} + 10^{(76-0)/10} + 10^{(74-0)/10} + 10^{(70-0)/10} + 10^{(71-0,2)/10} + 10^{(61-0,8)/10} + 10^{(82-3)/10}) = 82,6 \text{ dB}.$$

**Pastaba:** Atliekant skaičiavimus taikomas C koeficientas, nes ventiliatoriaus skleidžiamas bendrasis triukšmo lygis yra didesnis negu 85 dB.

Įdiegus triukšmo slopintuvus, triukšmo lygis sumažinamas 11,4 dB.

Triukšmo lygio sumažėjimo dėl ventiliatoriaus korpuso izoliavimo nevertiname, nes pagrindinis triukšmas sklinda iš triukšmo slopintuvų.

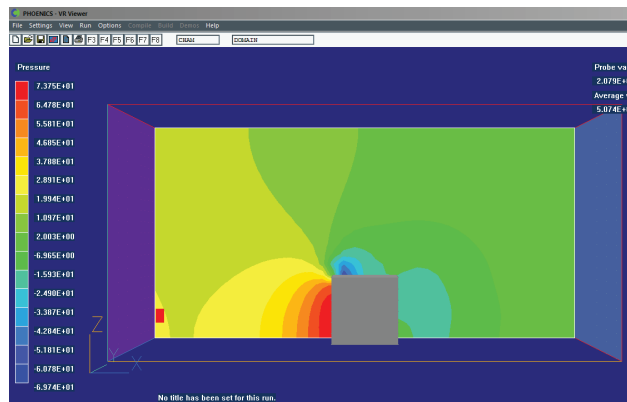
Gamintojai teigia, kad bendrasis triukšmo lygis 1 metro atstumu nuo ventiliatoriaus yra 94 dBA. Buvo atliktas



triukšmo lygio matavimas su integralaus garso lygio matuokliu „EXTECH 407764“. Didžiausias triukšmo lygis aptiktas prie pat ventiliatoriaus oro srauto išmetimo kanalo, tai yra 93,1 dBA, o 1 m atstumu – 86,2 dBA. Triukšmo lygis nuo pateikto gamintojų 1 m atstumu skiriasi 7,8 dBA, o tai rodo, kad gamintojų ventiliatoriaus charakteristikos nėra tikslios arba matavimo sąlygos nesutampa su gamintojų sąlygomis.

### PHOENICS kompiuterinės modeliavimo programos rezultatai

Kompiuterinis modeliavimas buvo atliekamas kompiuterine programa PHOENICS, kuri grindžiama baigtinių tūrių metodu (PHOENICS 3.5.1). Šio modeliavimo tikslas yra sumodeliuoti aerodinaminio vamzdžio darbinę kamerą ir ją įdėti į pastato modelį, o tolesniuose darbuose kompiuterinės programos rezultatus palyginti su aerodinaminio vamzdžio pateiktais rezultatais. 5 paveiksle pateiktas PHOENICS kompiuterinės programos rezultatas, o šis rezultatas lyginamas su pateiktu 6 pav. 6 paveikslas yra gautas naudojant kompiuterinę programą, kuri pagrįsta skaitmeninio modeliavimo DNS metodu (Yakhot *et al.* 2006).

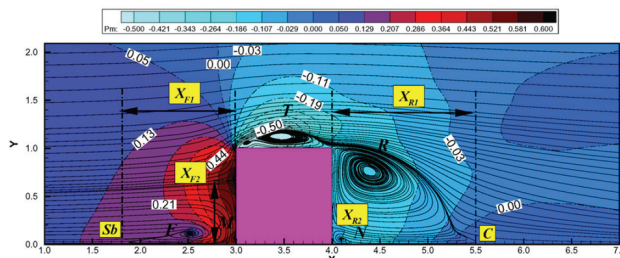


5 pav. Grafinis sumodeliuotas slėgio pasiskirstymas ties kubo centru (iš šono)

Fig. 5. Graphically simulated distribution of pressure at the center of the cube (side view)

5 paveiksle matome, kad teigiamo slėgio pasiskirstymo epifiros plačiausia vieta yra prie pat pastatymo vietos (žemės). Iš šio paveikslo matome, kad kai vėjo greitis yra 10 m/s, tai pastato fasadą, kuris nukreiptas į vėjo pusę, veikia didžiausias slėgis, lygus beveik 74 Pa. Kompiuterinė programa PHOENICS pateikė klaidingą rezultatą, nes aerodinaminis koeficientas yra 1,23, o tai apie 1,5 karto didesnis, negu gaunama panašiais realiais bandymais.

Minusinio slėgio zonos yra ant pastato stogo ir pastato užuovėjoje. Didžiausias neigiamas slėgis  $-7$  Pa yra ant stogo. Tokiu atveju per priekinės fasado dalies nesandarias



6 pav. Grafinis slėgio pasiskirstymas, vaizdas iš šono ties kubo centru (Yakhot *et al.* 2006)

Fig. 6. Graphical pressure distribution at the center of the cube (side view)

vietas oras patektų į patalpas, o per stogą ir užuovėją oras iš pastato ištekėtų. Tolesniame paveiksle pateikiamas slėgio pasiskirstymas iš šono ties kubo centru. 5 paveikslas yra paimtas iš mokslinio straipsnio, kuris nagrinėja turbulentinį srautą skaitmeninės analizės metodu (Yakhot *et al.* 2006).

6 paveiksle modeliuojamas kubas, taikant DNS metodą srautų modeliavimo kompiuterinę programą. Šiame paveiksle oro srautai skiriasi nuo pateiktų 5 paveiksle. Norint nustatyti, kodėl rezultatai skiriasi, reikia nuodugnesnės PHOENICS programos analizės arba pasirinkti tinkamesnę kompiuterinę programą.

Literatūroje rašoma, kad didžiausia eksfiltracija vyksta toje zonoje, kur aptekancio oro srautas atitrūksta nuo pastato. Taigi, šio modeliavimo rezultatas yra tas pats, kaip ir aprašyta literatūroje, t. y. didžiausia neigiamo slėgio vieta yra ta dalis, kur oro srautas atitrūksta nuo modelio.

### Išvados

1. Pastatų energetikos katedroje įrengtas pirmasis aerodinaminis vamzdis Lietuvoje, kuriame projektinis srauto greitis yra 15 m/s. Nustatyta, kad aerodinaminio vamzdžio charakteristikos atitinka reikalaujamas mokomiešiams aerodinaminiam bandymams.
2. Atlikus darbinės kameros modeliavimą kompiuterine programa PHOENICS ir gautus rezultatus palyginus su kitos programos pateiktais rezultatais, pastebimas nesutapimas. Todėl galima daryti prielaidą, kad taikyta metodika nėra tinkama nagrinėjamam procesui išreikšti. Būtų tikslinga išsamiau išnagrinėti ir kitų programinių paketų galimybes bei tinkamumą tokio tipo uždaviniams spręsti.
3. Aerodinaminio vamzdžio kūrimas rodo, kad susiejus praktiką su teorija studentų jėgomis galima suprojektuoti ir pagaminti reto naudingumo įrangą.

## Literatūra

- AHLBORN [interaktyvus], [žiūrėta 2012 m. liepos 19 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.ahlborn.com/Almemo.html>
- Bell, J. H.; Mehta, R. D. 1989. *Boundary – Layer Predictions for Small Low- speed Contractions*. Washington: L'enfant promenade, 372–374.
- Chavez, M.; Hajra, B.; Stathopoulos, T.; Bahloul, A. 2011. *Near-field pollutant dispersion in the built environment by CFD and wind tunnel simulations*. Canada, 330–339.
- Flaktwoods. *Cylindrical & Splitter Silencers for fan systems*. Šveicarija. 12 p.
- Guoliang Liu; Jie Xuan; Soon-ung Park. 2003. *A new method to calculate wind profile parameters of the wind tunnel boundary layer*. Seoul, Seoul National University, South Korea, 1155–1162.
- PHOENICS 3.5.1 [interaktyvus], [žiūrėta 2012 m. gruodžio 19 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.cham.co.uk/ChmSupport/encindex.php>
- Single Value Representation of Sound Spectrum [interaktyvus], [žiūrėta 2012 m. rugsėjo 19 d.]. Prieiga per internetą: <http://personal.cityu.edu.hk/~bsapplec/single.htm>
- Systemair [interaktyvus], [žiūrėta 2012 m. rugsėjo 19 d.]. Prieiga per internetą: [http://www2.systemair.com/en-za/systemair\\_products\\_za/products\\_za/axial-fans/medium-pressure-axial-fans/axc/c710axc](http://www2.systemair.com/en-za/systemair_products_za/products_za/axial-fans/medium-pressure-axial-fans/axc/c710axc)
- Yakhot, A.; Liu, H.; Nikitin, N. 2006. *Turbulent flow around a wall-mounted cube: A direct numerical simulation*, 994–1009.

## EDUCATIONAL WIND TUNNEL

**J. Bielskus, E. S. Juodis**

### Abstract

The paper analyzes an educational wind tunnel produced by the Department of Building Energetics (DBE) of Vilnius Gediminas Technical University. The equipment could be used for performing laboratory works and simple research. The article presents the projection of inflow and outlet velocity in the working chamber of DBE wind tunnel and carries out actual noise level measurement. The received data are compared with information on the level of noise generated by the fan considering instructions provided by the manufacturer. In order to assess the reliability of the computer program, simulation applying PHOENICS software has been conducted. The aim of modeling is to simulate a pilot model and to compare the obtained results with those of an analogous test presented in scientific articles.

**Keywords:** wind tunnel, PHOENICS, sound level, velocity projection.