



## AKUSTINIŲ ŽALIUZIŲ AERODINAMINIO PASIPRIEŠINIMO MODELIAVIMAS

Tomas VILNIŠKIS<sup>1</sup>, Tomas JANUŠEVIČIUS<sup>2</sup>

*VGTV AIF Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedra*

*El. paštas: <sup>1</sup>tomas.vilniskis@vgtu.lt; <sup>2</sup>tomas.janusevicius@vgtu.lt*

**Anotacija.** Akustinės žaliuzės yra skirtos įrenginių, kuriems reikalingas vėdinimas bei oro įtraukimas-išmetimas, triukšmui slopinti. Iš įrenginių išeinantis oro srautas pereina per konstrukcijos plokštes, kurios sugeria iš įrenginių sklindantį triukšmą. Tačiau konstrukcijos plokštės pratekančiam orui sukelia aerodinaminį pasipriešinimą, dėl kurio gali atsirasti neigiamas efektas: susidaro per dideli slėgiai, oras negali laisvai judėti ir tai trukdo įrenginių veikimui. Todėl norint išspręsti šį uždavinį, buvo pasitelkta modeliavimo programa *SimScale*, kuria, naudojant tarptautinį kodą CFD, skirtą fluidų dinamikos modeliavimui, buvo sumodeliuotas aerodinaminis konstrukcijos pasipriešinimas, plokštės pakreipiant skirtingais kampais. Modeliavimo metu buvo nustatyta, kuriose vietose susidaro didžiausi slėgiai, taip pat kur atsiranda turbulentinis oro judėjimas. Modeliavimo metu buvo nustatyta, jog didinant konstrukcijos plokščių pasvirimo kampą, slėgis prie konstrukcijos padidėja nuo 45 Pa iki 9 kPa, oro greitis, praėjęs pro konstrukciją, pakinta nuo 13 m/s iki 70 m/s.

**Reikšminiai žodžiai:** aerodinaminis pasipriešinimas, akustinės žaliuzės, slėgis, greitis, oro srautas.

### Įvadas

Konstrukcija su kintamąja garso izoliacija numatoma panaudoti slopinant generatorių, ventiliatorių ir kitų įrenginių sukiamą triukšmą. Viena iš problemų, jog tokių įrenginių negalima visiškai uždengti, nes jų veikimui reikalingas oras, kuris turi lengvai patekti į įrenginius ir būti pašalintas. Todėl kuriant konstrukciją, turi būti atsižvelgta į tai, kokį aerodinaminį pasipriešinimą sukuria konstrukcija. Konstrukcijos plokštės veikiant oro srautui susidaro aerodinaminis pasipriešinimas. Pastaraisiais metais, didėjant kompiuterių galingumui, fluidų dinamikos modeliavimas (angl. *computational fluid dynamics* – CFD) tapo ypač svarbiu įrankiu spręsti aerodinaminio pasipriešinimo uždavinius įvairioms konstrukcijoms (Seok Shim, Young-Nam ir Kwang-Yong, 2017). Pasitelkiant fluidų dinamikos modeliavimą gali būti atlikti įvairiausi uždaviniai. Pavyzdžiui, lenktyninių automobilių aerodinaminio pasipriešinimo efektas jų aerodinamikai yra aprašytas daugelio mokslininkų (Kieffer, Moujaes ir Armbya, 2006; Kuya, Takeda, Zhang, Beeton ir Pandaleon, 2009; Kuya, Takeda ir Zhang, 2010; Kai kurie autoriai (Marinho, 2009; Hayati, Ghaffari ir Shams, 2015) analizavo žmogaus aerodinaminį pasipriešinimą vandenyje, plaukiant įvairiomis pozicijomis. Žinoma darbų

(Defraeye, Blocken, Koninckx, Hespel ir Carmeliet, 2010), kuriuose buvo tyrinėjamas dviratinių aerodinaminis pasipriešinimas, jiems važiuojant skirtingomis pozicijomis naudojant CFD modeliavimą ir pilno dydžio vėjo tunelius. Taip pat buvo aprašytas aerodinaminio pasipriešinimo efektas, automobiliui (Blocken ir Toparlar, 2015) arba motociklui (Blocken, Toparlar ir Andrienne, 2016) važiuojant už kito automobilio. Visais atvejais buvo nustatyta, jog modeliavimo rezultatai atitinka eksperimentinius matavimus, todėl modeliavimas gali būti vertingas metodas, norint gauti daugiau informacijos, kas sukelia pasipriešinimą ir kaip jį spręsti. Fluidų dinamikos modeliavimas (CFD) gali būti plačiai panaudotas inžinerijoje, nes tai sutaupo daug laiko ir resursų, norinti išsiaiškinti įvairių konstrukcijų aerodinaminį efektyvumą (Lee, Park ir Kim, 2012). Taip pat kai kurie mokslininkai (Bibby ir Hodgson, 2014) tyrinėjo ventiliatorių grotelių akustines savybes. Tyrimo metu šie mokslininkai, naudodami ventiliatorius, leido oro srautą per skirtingas konstrukcijas, kurios turėjo skirtingo dydžio ertmes, per kurias galėdavo pereiti oras. Buvo nustatyta, jog, esant mažesnėms ertmėms, susidaro didesni slėgiai prieš konstrukciją, dėl to gali stipriai padidėti pratekančio oro greitis ir

atsirasti didesnis garso lygis. Todėl konstrukcija buvo padengta garsą sugeriančiomis medžiagomis ir dėl to buvo gautos geresnės konstrukcijų akustinės savybės.

Straipsnio tikslas – nustatyti, kaip keičiant konstrukcijos plokščių pasvirimo kampą kinta aerodinaminis oro pasipriešinimas ir kuriose vietose padidėja slėgiai bei oro judėjimo greitis.

### Metodika

Konstrukcijos aerodinaminio pasipriešinimo modeliavimui buvo pasirinkta modeliavimo programa *SimScale*. *SimScale* platforma suteikia galimybę modeliuoti sudėtingus skysčių dinamikos uždavinius. Naudojantis šia programa gali būti atliekami skirtingi fluidų dinamikos uždaviniai:

- Laminarinio ir turbulentinio fluido judėjimo modeliavimas;
- Masės judėjimo kartu su fluido srautu modeliavimas;
- Viengubų ir daugiafazių fluido srautų modeliavimas;
- Spūdžių ir nespūdžių fluidų tekėjimo modeliavimas.

Sprendžiant konstrukcijos aerodinaminio pasipriešinimo uždavinį buvo panaudotas spūdžių ir nespūdžių fluidų tekėjimo modeliavimas. Platforma suteikia prieigą prie sprendinių, skirtų matematiškai modeliuoti mažo greičio, žemos temperatūros fluidų srautus. Naudojant šiuos sprendinius galima modeliuoti oro srautus aplink lėktuvų sparnus, įvairius pastatus ar automobilių elementus.

Analizuojant tekėjimo lauką apie konstrukciją, erdvinė fluido judėjimo lygtis buvo sprendžiama naudojant tarptautinį CFD kodą. Skaitiniai sprendiniai buvo gauti naudojant baigtines masės ir pagreičio lygtis, kurios gali būti aprašomos taip:

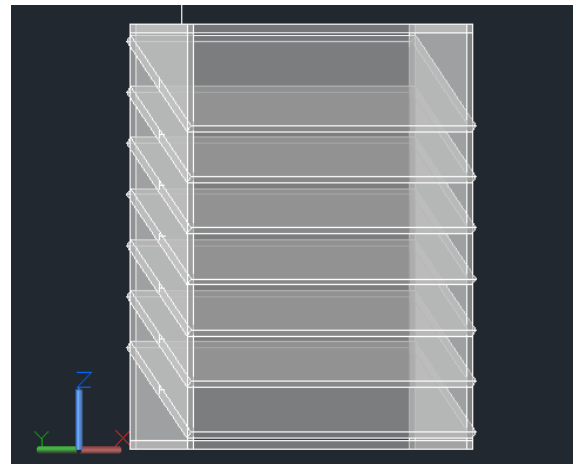
$$\frac{\delta u_i}{\delta x_i} = 0; \quad (1)$$

$$p \left[ \frac{\delta u_i}{\delta t} + \frac{\delta u_i u_j}{\delta x_j} \right] = \frac{\delta}{\delta x_j} \left[ (\mu + \mu_t) \frac{\delta u_i}{\delta x_j} \right] - \frac{\delta p}{\delta x_i}, \quad (2)$$

kur  $u_i$  ir  $p$  atitinkamai yra vidutinio greičio komponentas ir slėgis. Koeficientai  $\mu$  ir  $\mu_t$  atitinka absoliutųjį ir turbulentinį klampumą (Shim, Lee ir Kim, 2017).

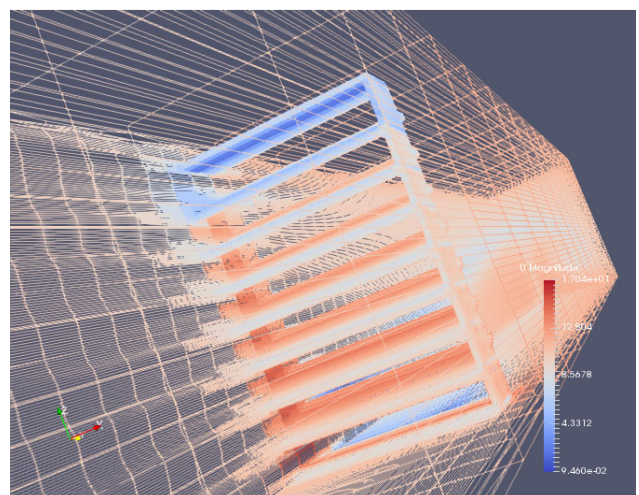
Skaitiniam modeliavimui atlikti buvo sukurtos 7 skirtingos geometrijos naudojant *AutoCad* programą. Kiekviena geometrija viena nuo kitos skiriasi plokščių

pasvirimo kampų, kuris kito nuo  $0^\circ$  iki  $45^\circ$  į abi puses, kampą keičiant  $15^\circ$  (1 paveikslas).



1 paveikslas. Geometrija, nubraižyta *AutoCad* programa

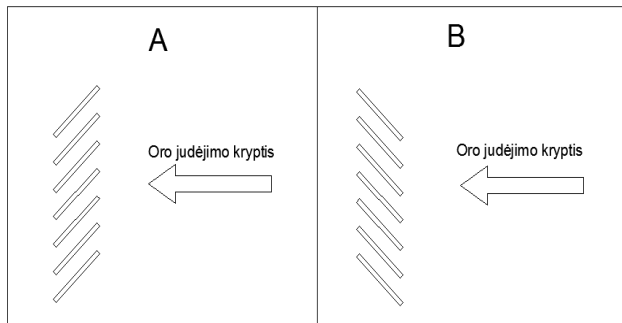
Geometrijos buvo įkeltos į programą *SimScale*, kurioje buvo sukurtas skaičiavimo tinklelis, kurį sudaro tiriamoji konstrukcija, bei apibrėžta erdvė, kurioje yra skaičiuojamasis paviršius. Prieš pradėdant modeliavimą buvo įvesti du papildomi duomenys – turbulentinės kinetinės energijos vertė [ $m^2/s^2$ ], kuri lygi 0.24 ir specifinė sklaidos sparta [1/s], kurios vertė 1.78. Oro judėjimo greitis y ašimi – 10 m/s. Taip pat buvo nustatyta, jog gumos plokštės dalelių dydis yra 1 mm, porų dydis – 0,5 mm. Matavimai atlikti atsižvelgiant į medžiagos šiurkštumą esant  $1,5 \cdot 10^5$  Reinoldso skaičiui. Įvedus reikiamus parametrus, programa automatiškai generuoja fluidų judėjimo lygtis. Baigus skaičiavimus gaunamas modelis, kuriame gali būti pavaizduotas oro judėjimo greitis ir slėgis, kuris susidaro oro srautui pereinant per konstrukciją (2 paveikslas).



2 paveikslas. Modeliuojamasis paviršius

Atlikus modeliavimą, rezultatai yra pateikiami pjūviu y ašimi, iš kurių galima matyti, kaip pasiskirsto oro judėjimo greitis ir slėgis skersai z ašies.

Modeliavimo metu buvo išanalizuotos 7 skirtingos konstrukcijos. Kiekviena konstrukcija nuo kitos skiriasi plokščių pasvirimo kampu. Buvo modeliuotos konstrukcijos, kurių plokštės buvo pakreiptos 0° kampu, 15°, 30° ir 45° kampu į generuojamo oro judėjimo kryptį ir 15°, 30° ir 45° kampu nuo generuojamo oro judėjimo krypties (3 paveikslas).

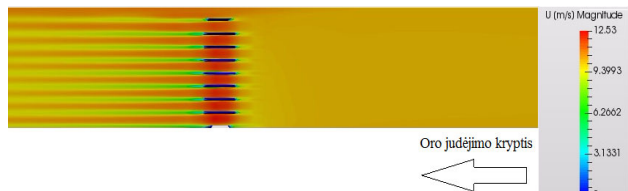


3 paveikslas. A – plokštės, pakreiptos nuo generuojamo oro judėjimo krypties; B – plokštės, pakreiptos į generuojamo oro judėjimo kryptį

Kiekviena konstrukcija buvo sudaryta iš 20 mm storio, 300 mm pločio ir 1000 mm ilgio plokščių, išdėliotų 20 mm storio ir 200 mm pločio rėme. 20 mm storio plokštės atitinka iš abiejų pusių 10 mm storio gumos plokštėmis padengtą konstrukciją.

### Rezultatai ir jų analizė

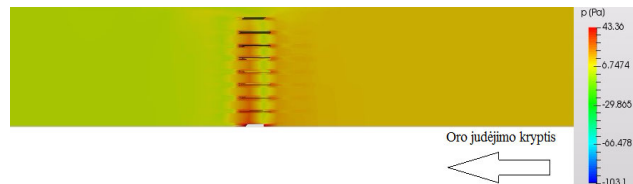
Naudojantis programa *SimScale* buvo sumodeliuotas oro pasipriešinimas konstrukcijai, kurios plokštės pakreiptos 00 kampu. Buvo gauti oro judėjimo greičio (4 paveikslas) ir oro slėgio (5 paveikslas) rezultatai.



4 paveikslas. Oro, pratekančio pro konstrukciją, judėjimo greičio pasiskirstymas z ašyje

Pagal 5 paveiksle pateiktus rezultatus nustatyta, jog tekant oro srautui pro tiriamąją konstrukciją 10 m/s greičiu, už konstrukcijos susidaro laminarinis oro tekėjimas, kurio greitis sulėtėja iki 4 m/s tik zonose už konstrukcijos plokščių. Taip pat galima pastebėti, jog tarpuose tarp konstrukcijų plokščių susidaro didesnis oro judėjimo

greitis iki 12 m/s, kurį lemia tai, jog oro srautas, susidūręs su plokšte, ją apeina ir tuo metu dėl atsiradusio didesnio slėgio greitis padidėja.

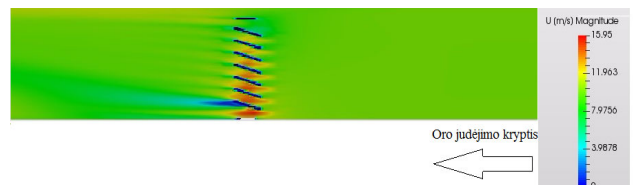


5 paveikslas. Oro, pratekančio pro konstrukciją, slėgio pasiskirstymas z ašyje

Pagal 6 paveiksle pateiktus slėgio pasiskirstymo rezultatus, galima matyti, jog slėgis padidėja tose zonose, kur oro srautas atsimuša į konstrukcijos plokštes, taip pat dėl oro sūkurių didesnis oro slėgis pastebimas ir plokščių gale, kur jis padidėja iki 40 Pa.

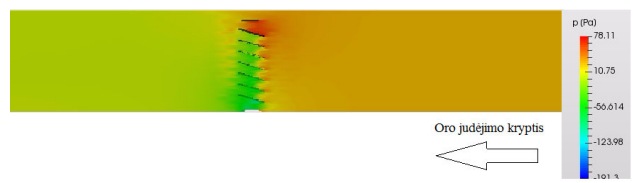
Iš pateiktų rezultatų galima teigti, jog konstrukcija, kurios plokštės yra horizontalioje pozicijoje, mažai lemia oro judėjimo greitį ir slėgį, aerodinaminis pasipriešinimas yra menkas ir nedaro didelės įtakos pratekančiam orui.

Atlikus konstrukcijos oro pasipriešinimo modeliavimą, kai plokštės pakreiptos 15° kampu į generuojamo oro kryptį, buvo gauti oro judėjimo greičio (6 paveikslas) ir oro slėgio (7 paveikslas) rezultatai.



6 paveikslas. Oro, pratekančio pro konstrukciją, slėgio pasiskirstymas z ašyje

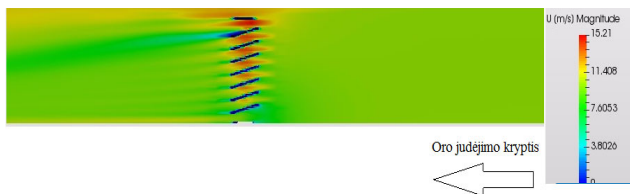
Padidinus konstrukcijos plokščių pasvirimo kampą 15 laipsnių, nustatyta, jog didžiausi greičiai susidaro tarpuose tarp plokščių. Tai priklauso nuo to, jog susidūrus oro srautui su konstrukcija oro srautas stengiasi ją apeiti ir susidaro sūkurių, kurie lemia didesnį oro judėjimo greitį, kuris padidėja iki 15 m/s. Taip pat galima pastebėti, jog dėl konstrukcijos plokščių pasvirimo kampo, apatinėje dalyje oro srauto greitis priartėja prie 0 m/s, o tai reiškia, jog toje vietoje oro srautas nepraeina.



7 paveikslas. Oro, pratekančio pro konstrukciją, slėgio pasiskirstymas z ašyje

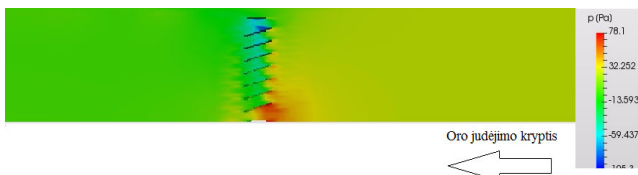
Analizuojant slėgio pasiskirstymą z ašyje, galima pastebėti, jog didžiausi slėgiai susidaro prieš konstrukciją tose vietose, kur oro srautas susiduria su konstrukcijos plokštėmis. Taip pat slėgis stipriai padidėja viršutinėje konstrukcijos dalyje, kur tarpas tarp plokštės ir konstrukcijos korpuso yra mažiausias, nes čia slėgis siekia iki 70 Pa.

Atlikus konstrukcijos oro pasipriešinimo modeliavimą, kai plokštės pakreiptos 15° kampu nuo generuojamo oro krypties, buvo gauti oro judėjimo greičio (8 paveikslas) ir oro slėgio (9 paveikslas) rezultatai.



8 paveikslas. Oro, pratekančio pro konstrukciją, judėjimo greičio pasiskirstymas z ašyje

Pakreipus plokštes priešinga kryptimi 15° kampu, pastebimos panašios tendencijos, kaip ir pakreipus plokštes į oro judėjimo kryptį, kai didžiausi greičiai taip pat susidaro tarp konstrukcijos plokščių ir siekia iki 15 m/s. Tačiau galima pastebėti, jog pakreipus plokštes į kitą pusę tokiu pačiu kampu, oro judėjimo greitis esant 0 m/s priartėja viršutinėje konstrukcijos dalyje.

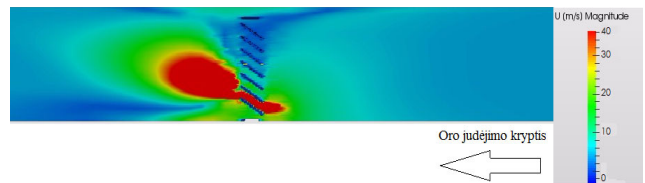


9 paveikslas. Oro, pratekančio pro konstrukciją, slėgio pasiskirstymas z ašyje

Kaip ir analizuojant oro judėjimo greičio rezultatus, taip ir slėgio rezultatai panašūs į konstrukcijos, kurios plokštės pakreiptos į oro judėjimo kryptį, rezultatus. Tik šiuo atveju didžiausi slėgiai susidaro apatinėje konstrukcijos dalyje, nes šiuo atveju mažiausias tarpas tarp konstrukcijos plokštės ir korpuso yra apačioje, nes šioje vietoje slėgis siekia iki 78 Pa.

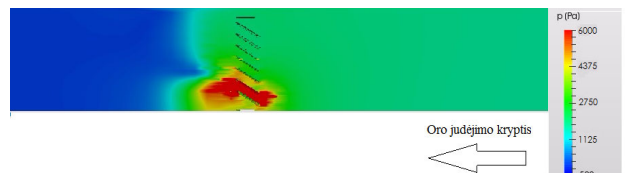
Atlikus konstrukcijos oro pasipriešinimo modeliavimą, kai plokštės pakreiptos 30° kampu į generuojamo oro kryptį, buvo gauti oro judėjimo greičio (10 paveikslas) ir oro slėgio (11 paveikslas) rezultatai.

Padidinus plokščių pasvirimo kampą dar 150 iki 30 laipsnių buvo nustatyta, jog dėl konstrukcijos charakteristikų per konstrukciją perėjęs oro srautas už jos sukuria



10 paveikslas. Oro, pratekančio pro konstrukciją, judėjimo greičio pasiskirstymas z ašyje

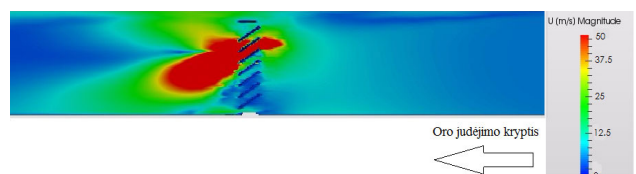
turbulentinį oro judėjimą, dėl to atsiranda oro sūkurių, padidėja oro judėjimo greitis. Pagal pateiktus rezultatus matoma, jog oras apatinėje dalyje pereina per konstrukcijos plokštes ir sukuria už jos sūkurius, kuriuose oro judėjimo greitis siekia 40 m/s, tačiau viršutinėje dalyje oro judėjimo greitis dėl sumažėjusio oro slėgio labai sulėtėja ir priartėja prie 0 m/s.



11 paveikslas. Oro, pratekančio pro konstrukciją, slėgio pasiskirstymas z ašyje

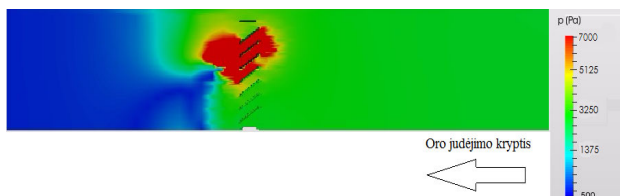
Analizuojant oro slėgio rezultatus galima pastebėti, jog didžiausias slėgis yra apatinėje konstrukcijos dalyje, nes šioje vietoje tarpas tarp konstrukcijos plokštės ir korpuso yra mažiausias. Kadangi slėgis išauga iki 6 kPa, susidaro didesnis oro judėjimo greitis ir dėl to atsiranda turbulentinis oro judėjimas.

Atlikus konstrukcijos oro pasipriešinimo modeliavimą, kai plokštės pakreiptos 30° kampu nuo generuojamo oro krypties, buvo gauti oro judėjimo greičio (12 paveikslas) ir oro slėgio (13 paveikslas) rezultatai.



12 paveikslas. Oro, pratekančio pro konstrukciją, judėjimo greičio pasiskirstymas z ašyje

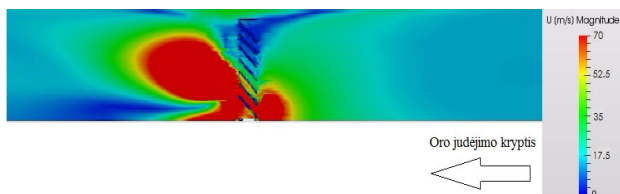
Pakreipus plokštes 30° kampu į priešingą pusę nustatyta, jog didžiausi greičiai susidaro viršutinėje konstrukcijos dalyje, o oras, praėjęs pro konstrukcijos plokštes, sudaro turbulentinį oro judėjimą, todėl oro judėjimo greitis išauga iki 50 m/s. Dėl atsiradusių oro sūkurių apatinėje konstrukcijos dalyje sumažėja oro judėjimo greitis, jis priartėja prie 0 m/s, todėl visas oras pereina tik per viršutinę konstrukcijos dalį.



13 paveikslas. Oro, pratekančio pro konstrukciją, slėgio pasiskirstymas z ašyje

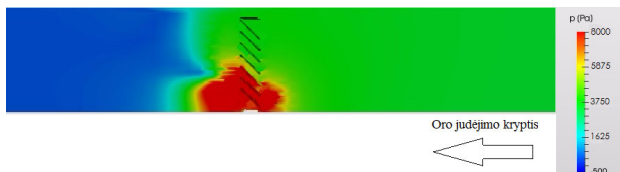
Analizuojant slėgio pasiskirstymą, nustatyta, jog slėgis didžiausias viršutinėje konstrukcijos dalyje, kur tarpas tarp konstrukcijos plokštės ir korpuso yra mažiausias. Šioj vietoje slėgis siekia iki 7 kPa. Dėl didelio slėgio oras, pereidamas per konstrukcijos plokštės, pagreitėja, sudaro sūkurius, dėl kurių atsiranda turbulentinis oro judėjimas.

Atlikus konstrukcijos oro pasipriešinimo modeliavimą, kai plokštės pakreiptos 45° kampu į generuojamo oro kryptį, buvo gauti oro judėjimo greičio (14 paveikslas) ir oro slėgio (15 paveikslas) rezultatai.



14 paveikslas. Oro, pratekančio pro konstrukciją, judėjimo greičio pasiskirstymas z ašyje

Modeliuojant konstrukcijos akustinį pasipriešinimą, kai plokštės buvo pakreiptos į generuojamo oro judėjimo kryptį, buvo nustatyta, jog dėl plokščių pasvirimo kampo susidaro turbulentinis oro judėjimas už konstrukcijos. Dėl šios priežasties išauga oro judėjimo greitis, kadangi susidaro turbulentiniai sūkuriiai. Oro judėjimo greitis už konstrukcijos išauga iki 7 m/s, tačiau viršutinėje konstrukcijos dalyje dėl mažo slėgio oro judėjimo greitis stipriai sumažėja ir priartėja prie 0 m/s.

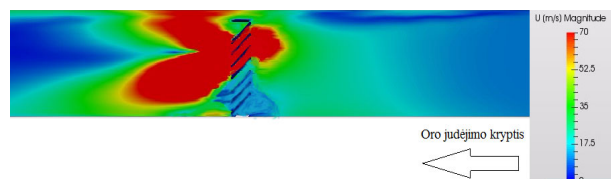


15 paveikslas. Oro, pratekančio pro konstrukciją, slėgio pasiskirstymas z ašyje

Analizuojant slėgio pasiskirstymo rezultatus, nustatyta, jog didžiausi slėgiai susidaro apatinėje konstrukcijos dalyje, nes šioje vietoje tarpas tarp plokštės ir konstrukcijos korpuso yra labai mažas. Šioje vietoje slėgiai išauga iki 8 kPa. Dėl didelio slėgio oras, praeidamas pro kons-

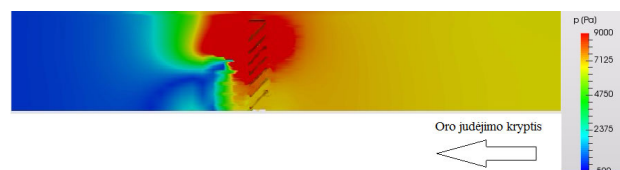
trukcijos plokštės, pagreitėja ir sukuria turbulentinį oro judėjimą.

Atlikus konstrukcijos oro pasipriešinimo modeliavimą, kai plokštės pakreiptos 45° kampu nuo generuojamo oro krypties, buvo gauti oro judėjimo greičio (16 paveikslas) ir oro slėgio (17 paveikslas) rezultatai.



16 paveikslas. Oro, pratekančio pro konstrukciją, judėjimo greičio pasiskirstymas z ašyje

Modeliuojant konstrukcijos aerodinaminį pasipriešinimą, kai plokštės pakreiptos 45° kampu nuo generuojamo oro judėjimo krypties, nustatyta, jog didžiausi greičiai šiuo atveju susidaro viršutinėje konstrukcijos dalyje, nes viršuje tarpas tarp konstrukcijos plokštės ir korpuso yra mažas. Pro konstrukciją praėjęs oras dėl plokščių pasvirimo kampo sukuria turbulentinį oro judėjimą, dėl to stipriai padidėja oro judėjimo greitis, kuris siekia iki 70 m/s, tuo tarpu apatinėje konstrukcijos dalyje dėl mažo slėgio oras juda lėčiau.



17 paveikslas. Oro, pratekančio pro konstrukciją, slėgio pasiskirstymas z ašyje

Oro slėgio pasiskirstymo rezultatai rodo, jog viršutinėje dalyje, kurioje tarpas tarp plokštės ir korpuso yra mažiausias, slėgiai padidėja iki 9 kPa. Dėl šios priežasties per šią konstrukcijos vietą perėjęs oras įgauna pagreitį, dėl to už konstrukcijos susidaro turbulentinis oro judėjimas.

Atlikus modeliavimą buvo nustatyta, jog, kaip ir teigta mokslininkų (Bibby ir Hodgson, 2014), didinant plokščių pasvirimo kampą, mažėja tarpas tarp plokščių, dėl to padidėja slėgis ir stipriai išauga oro judėjimo greitis. Pastebėta, jog esant mažam plokščių pasvirimo kampui, susidaro laminarinis oro judėjimas, oro greičiai yra maži (13–15 m/s), slėgiai taip pat siekia tik 45–80 Pa. Iš to galima teigti, jog didelio oro pasipriešinimo nėra. Padidinus plokščių pasvirimo kampą iki 30–45°, susidaro turbulentinis oro judėjimas, slėgiai stipriai padidėja, o ypač tose vietose, kur plokštė liečiasi prie konstrukcijos

korpuso. Nustatyta, jog padidėjus slėgiui iki 6–9 kPa, stipriai išauga ir oro judėjimo greitis iki 40–70 m/s, kur dėl turbulencijos konstrukcijoje gali atsirasti struktūrinės vibracijos, plokštės pradėti rezonuoti ir išaugti garso lygis. Tačiau remiantis mokslininkų (Bibby ir Hodson, 2014) rezultatais, garso lygis stipriai išaugdavo esant didesniems slėgiams (>150 kPa), todėl galima teigti, jog pakreipus plokštės 45° kampu, nors ir atsiranda didesni oro judėjimo greičiai, jie didelės įtakos konstrukcijos akustinėms savybėms neturi, tačiau konstrukcijos absorbcinės savybės dėl padidėjusio garsą sugeriančio paviršiaus pagerėja.

## Išvados

1. Modeliuojant konstrukcijas, kurios plokštės yra horizontalioje padėtyje, buvo nustatyta, jog oras, perėjęs per konstrukcijos plokštės, nesukuria didelio slėgio, jis siekia iki 45 Pa, dėl to už konstrukcijos lieka laminarinis oro tekėjimas, kuris siekia 13 m/s greitį.

2. Pakreipus konstrukcijos plokštės 15° kampu nuo ir į generuojamojo oro kryptį, buvo nustatyta, jog oras, perėjęs per šias konstrukcijas, neįgauna didelio greičio, nes už konstrukcijos lieka laminarinis oro judėjimas, kurio greitis abiem atvejais siekia 15 m/s, o slėgis – iki 80 Pa.

3. Modeliuojant konstrukciją, kurios plokštės buvo pakreiptos 300 kampu į abi puses, buvo nustatyta, jog dėl konstrukcijos charakteristikų susidaro slėgiai iki 6–7 kPa, dėl to yra sukuriamas turbulentinis oro judėjimas. Dėl šios priežasties oro judėjimo greitis išauga iki 40–50 m/s.

4. Iš modeliavimo rezultatų buvo nustatyta, jog pakreipus plokštės 450 kampu į abi puses už konstrukcijos susidaro turbulentinis oro judėjimas. Slėgiai dėl konstrukcijos ypatumų išauga iki 8–9 kPa, o greitis dėl susidariusių turbulentinių sūkurinių išauga iki 70 m/s.

## Literatūra

- Bibby, C., & Hodgson, M. (2014). Laboratory measurement of the acoustical and airflow performance of interior natural-ventilation openings and silencers. *Applied Acoustics*, 82, 15-22. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2014.02.015>
- Blocken, B., & Toparlar, Y. (2015). A following car influences cyclist drag: CFD simulations and wind tunnel measurements. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 145, 178-186. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2015.06.015>
- Blocken, B., Toparlar, Y., & Andrianne, T. (2016). Aerodynamic benefit for a cyclist by a following motorcycle. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 155, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2016.04.008>
- Defraeye, T., Blocken, B., Koninckx, E., Hespel, P., & Carmeliet, J. (2010). Aerodynamic study of different cyclist

positions: CFD analysis and full-scale wind-tunnel tests. *Journal of Biomechanics*, 43(7), 1262-1268. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2010.01.025>

- Hayati, A. N., Ghaffari, H., & Shams, M. (2015). Analysis of free-surface effects on swimming by the application of the computational fluid dynamics method. In *Proceeding of the institutio of Mechanical Engineers*, 230(3), 135-148.
- Kieffer, W., Moujaes, S., & Armbya, N. (2006). CFD study of section characteristics of formula Mazda race car wings. *Mathematical and Computer Modelling*, 43(11-12), 1275-1287. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2005.03.011>
- Kuya, Y., Takeda, K., & Zhang, X. (2010). Computational investigation of a race car with vortex generators in ground effect. *ASME Journal of Fluids Engineering*, 132(1), 021102. <https://doi.org/10.1115/1.4000741>
- Kuya, Y., Takeda, K., Zhang, X., Beeton, S., & Pandaleon, T. (2009). Flow separation control on a race car wing with vortex generators in ground effect. *ASME Journal of Fluids Engineering*, 131(4), 121102. <https://doi.org/10.1115/1.4000420>
- Lee, K. D., Park, M. J., & Kim, K. Y. (2012). Optimization of ski jumper's posture considering lift-to-drag ratio and stability. *Journal of Biomechanics*, 45(12), 2125-2132. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2012.05.036>
- Marinho D. A. (2009). *The study of swimming propulsion using computational fluid dynamics (PhD dissertation)*. Department of Sport Sciences. University of Trás-os-Montes and Alto Douro, UTAD. Vila Real, Portugal.
- Seok Shim, H., Young-Nam, L., & Kwang-Yong, K. (2017). Optimization of bobsleigh bumper shape to reduce aerodynamic drag. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 164, 108-118. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2017.02.012>
- Shim, H. S., Lee, Y. N., & Kim, K. Y. (2017). Optimization of bobsleigh bumper shape to reduce aerodynamic drag. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 164, 108-118.

## MODELLING OF ACOUSTIC LOUVERS AERODYNAMIC DRAG

T. Vilniškis, T. Januševičius

### Summary

Acoustic louvers are intended for equipment which requires ventilation or air supply-exhaust. The air from the equipment passes through the construction plates which absorb noise emitted by the equipment. However, plates of the construction cause aerodynamic drag to the flowing air, which may result in overpressure; thus, air will not be able to move freely and this will interfere with the operation of the equipment. To solve this, the modelling program SimScale was used, which uses the international computational fluid dynamics (CFD) code. The aerodynamic drag of the construction was modelled when construction plates were tilted at different angles. During the modelling, it was determined at which locations the biggest pressures were generated, where turbulent air movement arises. The results show that as the angle of construction plates increases, pressure increases from 45 Pa to 9 kPa, speed of air flow increases from 13 m/s to 70 m/s.

**Keywords:** aerodynamic drag, acoustic louvers, pressure, speed, air flow.