



Kauno technologijos universitetas
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

Sunkvežimio aerodinaminių savybių tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Tautvydas Paškūnas

Projekto autorius

Doc. Dainius Vaičiulis

Vadovas

Panevėžys, 2018



Kauno technologijos universitetas
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

Sunkvežimio aerodinaminių savybių tyrimas

Baigiamasis magistro projektas
Transporto priemonių inžinerija (621E20001)

Tautvydas Paškūnas
Projekto autorius

Doc. Dainius Vaičiulis
Vadovas

Recenzentas / Recenzentė

Panevėžys, 2018



Kauno technologijos universitetas
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas
Tautvydas Paškūnas

Sunkvežimio aerodinaminių savybių tyrimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Tautvydo Paškūno, baigiamasis projektas tema „Sunkvežimio aerodinaminių savybių tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETO
PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETO
TECHNOLOGIJŲ IR VERSLUMO KOMPETENCIJŲ CENTRAS**

TVIRTINU
TVKC vadovė
Nida Kvedaraitė

BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Diplomantui Tautvydui Paškūnui

Baigiamojo projekto tema:

lietuvių kalba SUNKVEŽIMIO AERODINAMINIŲ SAVYBIŲ TYRIMAS

anglų kalba RESEARCH OF THE TRUCK AERODYNAMIC CHARACTERISTICS

Patvirtinta 2018 m. kovo 30 d. dekanu potvarkiu Nr. V25-13-12-1.

Įrašo baigiamojo projekto pateikimo į TVKC terminas iki 2018 m. gegužės 31 d.

Duomenys, reikalavimai ir sąlygos baigiamajam projektui.

Tyrimus atlikti trimatėje erdvėje, naudoti Mercedes-Benz Actros 2646 sunkvežimio modelį. Taikyti CFD metodą.

Baigiamojo projekto turinys / struktūra (išvardinti pagrindines BP dalis / uždavinius / klausimus, kurie turi būti atskleisti baigiamajame projekte).

Ištirti, kaip sunkvežimio aerodinaminio pasipriešinimo jėga priklauso nuo naudojamų aptakumo elementų tipo ir geometrijos.

Vadovas doc. Dainius Vaičiulis
(parašas, pareigos, vardas, pavardė)

Užduotį gavau Tautvydas Paškūnas
(studento parašas, vardas, pavardė)

2018 m. balandžio 17 d.

Paškūnas Tautvydas. Sunkvežimio aerodinaminių savybių tyrimas. Transporto technologijų magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. Dainius Vaičiulis; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas, technologijų katedra.

Studijų kryptis ir sritis: Transporto inžinerija, Technologiniai mokslai

Reikšminiai žodžiai: Krovininis transportas, sunkvežimio aerodinamika, CFD.

Panevėžys, 2018. 49 p.

SANTRAUKA

Sunkvežimių gamintojams, siekiantiems patenkinti klientų poreikius ir neatsilikti nuo kintančių sunkiojo transporto eksploatavimo įstatymų, reikia nuolatos ieškoti būdų, kaip pagerinti vilkikų charakteristikas, taip pat ir aerodinamines savybes.

Šio darbo tikslas – išsiaiškinti, kaip sunkvežimio aerodinamines savybes veikia atskiri aerodinaminiai įtaisai ir bendras jų panaudojimas ant transporto priemonės. Siekiant atlikti užsibrėžtus tikslus, taikant SolidWorks programą, buvo pasirinktas vilkiko MercedesBenz Actros 2646 ir puspriekabės Swarchmuller modelis. Naudojantis šios programos Flow Simulation skaičiavimų paketu ir atlikus oro srauto aptekėjimo apie sunkvežimį be papildomų aerodinaminių įtaisų modeliavimą, nustatytos trys pagrindinės aerodinamiškai problemiškos vilkiko vietos: tarpas tarp vilkiko ir puspriekabės, nevienodas vilkiko ir puspriekabės aukštis bei vilkiko galas. Gauti rezultatai parodė, jog aerodinaminis vilkiko pasipriešinimas, naudojant atskirus aerodinaminius įtaisus, gali būti sumažintas iki 5%, naudojant visus tris aerodinaminius aptakus, galimas 10% aerodinaminių jėgų sumažėjimas, o naudojant ir papildomus aerodinaminius prietaisus, gaunamas 18% mažesnis aerodinaminis pasipriešinimas. Šoninio srauto tyrimai parodė dar didesnę aerodinaminių aptakų svarbą, kai vilkiką veikianti aerodinaminio pasipriešinimo jėga būna dar didesnė negu priešpriešiniu oro srauto metu. Todėl vilkikas su papildomais aerodinaminiais aptakais šoninio oro srauto bus veikiamas 22% mažesne jėga negu vilkikas be aptakų.

Paškūnas Tautvydas. Research of the truck aerodynamic characteristics: *Masters* thesis in transport technologies / supervisor doc. Dainius Vaičiulis. Kaunas University of Technology, Panevėžio Faculty of Business and Technologies, Department of Technology.

Study field and area: Transport Engineering, Technological Sciences.

Key words: Freight transport, truck aerodynamics, CFD.

Panevėžys, 2018. 49 p.

SUMMARY

Truck manufacturers seeking to meet customer needs and keep up with the changing laws of heavy vehicles exploitation, constantly needs to look for ways to improve the characteristics of the truck, as well as aerodynamics characteristics of the vehicle.

The aim of this project is to investigate how the aerodynamic properties of a truck are influenced by individual aerodynamic devices and their general use on the vehicle. In order to meet the set goals, using SolidWorks program, selected Mercedes-Benz Actros 2646 and Swarchmuller's semi-trailer model. Using the Flow Simulation package of this program and modeling the airflow of a truck without any additional aerodynamic devices, determined that there are three main areas of a truck that are aerodynamicly problematic: the space between the tractor and the semi-trailer, the height of the tractor and the semi-trailer, and the end of the semi - trailer. The results show that the aerodynamic drag performance of individual aerodynamic devices can reduce trucks aerodynamic forces up to 5%, using all three devices combined possible 10% reduction in aerodynamic forces, while using additional aerodynamic devices, an 18% of lower aerodynamic resistance is obtained. Lateral flow tests showed even greater aerodynamic importance of fairings when operating a truck in the cross-flow. As a result, the truck with additional airdeflectors will be exposed to a lateral airflow of 22% less than truck without fairings.

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

| | |
|--|----|
| 1 pav. Sunkiasvorių transporto priemonių skaičiaus kaita Europoje | 11 |
| 2 pav. Dyzelinio kuro kainų kaita Europos sąjungoje | 12 |
| 3 pav. Vilkiko variklio galia, reikalinga norint įveikti kylančias pasipriešinimo jėgas | 14 |
| 4 pav. Fouree naudotas supaprastintas automobilio modelis | 15 |
| 5 pav. Puspriekabės stogo ir galo aptakas, naudotas Hsu ir Davis tyrime | 17 |
| 6 pav. Modi naudotų aerodinaminių įtaisų eskizas..... | 18 |
| 7 pav. Modi gauti aerodinaminio pasipriešinimo, esant papildomiems įtaisams, rezultatai | 19 |
| 8 pav. Vilkiko Mercedes-Benz Actros su kietašone puspriekabe Swarchmuller geometriniai išmatavimai..... | 20 |
| 9 pav. Mercedes-Benz Actros 2646 tiriami aptakumo modeliai: a – vilkikas be aerodinaminių patobulinimų; b – vilkikas su standartiniais aerodinaminiais patobulinimais; c – vilkikas su papildomais aerodinaminiais patobulinimais | 21 |
| 10 pav. Modeliavimo erdvė su vėjo srauto kryptimi | 22 |
| 11 pav. Tyrinėjamo aptako kintamas geometrinis matmuo..... | 23 |
| 12 pav. Oro srauto greičio kitimas aplink modeliuojamą sunkvežimį su viršutiniu aerodinaminiu įtaisu, kai oro srauto greitis yra 30 m/s: a – aptakumo elementas su 15° kampu; b – aptakumo elementas su 20° kampu; c – aptakumo elementas su 25° kampu | 24 |
| 13 pav. Nagrinėjamo vilkiko stogo aptako aerodinaminės pasipriešinimo jėgos rezultatai..... | 25 |
| 14 pav. Tyrinėjamo aptako kintamas geometrinis matmuo..... | 26 |
| 15 pav. Oro srauto greičio kitimas aplink bazinį sunkvežimio modelį, kai oro srauto greitis yra 30m/s | 26 |
| 16 pav. Oro srauto greičio kitimas aplink modeliuojamą sunkvežimį su šoninio tarpo aerodinaminiu įtaisu, kai oro srauto greitis yra 30 m/s: a – 0,15m ilgio aptakumo elementas; b – 0,25 ilgio aptakumo elementas | 27 |
| 17 pav. Oro srauto greičio kitimo aplink modeliuojamą sunkvežimį su viršutinio aptakumo elementu rezultatai , kai oro srauto greitis yra 30 m/s: a – vilkikas su 0,35 m šoninio tarpo aptaku; b – vilkikas su 0,45 m šoninio tarpo aptaku..... | 28 |
| 18 pav. Nagrinėjamo vilkiko stogo aptako aerodinaminės pasipriešinimo jėgos rezultatai..... | 29 |
| 19 pav. Tyrinėjamo aptako kintamas geometrinis matmuo..... | 30 |
| 21 pav. Oro srauto greičio kitimas aplink modeliuojamą puspriekabės aptaką, kai oro srauto greitis yra 30 m/s: a – puspriekabė su aptaku 0,5m, kampas 30° aptaku ; b – puspriekabė su aptaku 0,5m, kampas 40° | 31 |

| | |
|--|----|
| 22 pav. Nagrinėjamo puspriekabės 0,5 galinio aptako aerodinaminės pasipriešinimo jėgos rezultatai | 32 |
| 23 pav. Oro srauto greičio kitimas aplink modeliuojamą puspriekabės aptaką, kai oro srauto greitis yra 30 m/s: : a – puspriekabė su 1m ilgio ir 20° kampo aptaku ; b – puspriekabė su 1m ilgio ir 30° kampo aptaku ; c– puspriekabė su 1m ilgio ir 40° kampo aptaku..... | 33 |
| 24 pav. Nagrinėjamo puspriekabės 1m galinio aptako aerodinaminės jėgos rezultatai | 34 |
| 25 pav. Oro srauto greičio kitimas aplink modeliuojamą puspriekabės aptaką, kai oro srauto greitis yra 30 m/s: : a – puspriekabė su 1,5m ilgio ir 20° kampo aptaku ; b – puspriekabė su 1,5m ilgio ir 30° kampo aptaku ; c– puspriekabė su 1,5m ilgio ir 40° kampo aptaku | 35 |
| 26 pav. Nagrinėjamo puspriekabės 1,5m galinio aptako aerodinaminės pasipriešinimo jėgos rezultatai | 36 |
| 27 pav. Oro srauto greičio kitimas aplink modeliuojamus vilkikų modelius, kai oro srauto greitis yra 30 m/s: a – vilkikas be aerodinaminių patobulinimų; b – vilkikas su standartiniais aerodinaminiais patobulinimais ir puspriekabės galo aptaku; c – vilkikas su papildomais aerodinaminiais patobulinimais | 37 |
| 28 pav. Nagrinėjamų modelių aerodinaminės pasipriešinimo jėgos rezultatai | 38 |
| 29 pav. Modeliavimo erdvė su vėjo srauto kryptimis | 39 |
| 30 pav. Šoninio oro srauto greičio kitimas aplink modeliuojamą bazinį vilkiko modelį, kai oro srauto greitis yra 30 m/s: b – srauto kampas 40°; c – srauto kampas 30°; srauto kampas 20°..... | 40 |
| 31 pav. Šoninio oro srauto greičio kitimas aplink modeliuojamą bazinį vilkiko modelį, kai oro srauto greitis yra 30 m/s srauto kampas 10° | 41 |
| 32 pav. Nagrinėjamų modelių aerodinaminės pasipriešinimo jėgos rezultatai | 41 |
| 33 pav. Šoninio oro srauto greičio kitimas aplink modeliuojamą vilkiko modelį su pagerintais aptakais, kai oro srauto greitis yra 30 m/s: : a – srauto kampas 40°; b – srauto kampas 30°; c – srauto kampas 20°..... | 42 |
| 34 pav.Šoninio oro srauto greičio kitimas aplink modeliuojamą vilkiko modelį su pagerintais aptakais, kai oro srauto greitis yra 30 m/s o srauto kampas 10° | 43 |
| 35 pav. Nagrinėjamų modelių aerodinaminės pasipriešinimo jėgos rezultatai | 43 |
| 36 pav. Šoninio oro srauto greičio kitimas aplink modeliuojamą vilkiko modelį su papildomais aptakais, kai oro srauto greitis yra 30 m/s: a – srauto kampas 40°; b – srauto kampas 30°; c – srauto kampas 20° | 44 |
| 37 pav. Šoninio oro srauto greičio kitimas aplink modeliuojamą vilkiko modelį su papildomais aptakais, kai oro srauto greitis yra 30 m/s, o kampas 10° | 45 |
| 38 pav. Nagrinėjamų modelių aerodinaminės pasipriešinimo jėgos rezultatai | 45 |

TURINYS

| | |
|--|----|
| ĮVADAS | 10 |
| 1. TEMOS AKTUALUMAS..... | 11 |
| 2. LITERATŪROS APŽVALGA | 13 |
| 3. SUNKVEŽIMIO AERODINAMINIŲ SAVYBIŲ TYRIMAS | 20 |
| 3.1. Geometrinio sunkvežimio modelio parinkimas | 20 |
| 3.2. Tiriamosios erdvės nustatymas | 22 |
| 3.3. Sunkvežimio aerodinaminių aptakų tyrimas..... | 23 |
| 3.3.1. Vilkiko stogo aptako aerodinaminis tyrimas..... | 23 |
| 3.3.2. Tarpo tarp vilkiko ir puspriekabės aerodinaminis tyrimas..... | 26 |
| 3.3.3. Puspriekabės galinio aptako aerodinaminis tyrimas | 30 |
| 3.4. Vilkiko modelio su skirtingomis aptakų konfigūracijomis aerodinaminis tyrimas | 37 |
| 3.5. Šoninio oro srauto įtaka vilkiko aerodinaminiam pauptiesinimui..... | 39 |
| 3.5.1. Tyriamosios erdvės nustatymas | 39 |
| 3.5.2. Bazinis tyrimas su vilkiku be aptakų..... | 40 |
| 3.5.3. Vilkiko tyrimas su pagerintais aerodinaminiais aptakais | 42 |
| 3.5.4. Vilkiko tyrimas su papildomais aerodinaminiais aptakais..... | 44 |
| IŠVADOS..... | 46 |
| LITERATŪROS SĄRAŠAS | 47 |
| PRIEDAI | 49 |
| P-1. Darbo viešinimas konferencijoje „Technologijų ir verslo aktualijos – 2018“ | 49 |

ĮVADAS

Transporto aerodinamika pradėjo tobulėti tuomet, kai kelių tinklas pasaulyje ėmė sparčiau vystytis ir transporto priemonės - pradėjo judėti greičiau. Tuomet buvo suvokta, jog aerodinaminės jėgos iš tiesų turi didžiulį poveikį greičiui ir degalų sunaudojimui.

Šiandienos rinkoje egzistuoja itin daug skirtingų tipų ir formų įtaisų, kurie sumažina sunkiųjų transporto priemonių aerodinaminį pasipriešinimą, nors jų naudojimas šiuolaikiniame sunkvežimių transporte yra vis paklausesnis ir naudingesnis, tačiau, skirtingai nei lengvieji, krovininiai automobiliai Europos Sąjungoje turi savo išmatavimų apribojimus, todėl aerodinaminėms vilkiko savybėms yra skiriama mažiau dėmesio.

Krovininių automobilių formos yra stačių kampų, kad būtų maksimaliai išnaudojamas transporto priemonės krovumas. Gerinti sunkvežimio aerodinamines savybes lieka labai nedaug erdvės, dėl to šiuolaikiniams vilkikams kurti yra pasitelkiami ne tik aerodinaminiai tuneliai, bet ir trimatėje erdvėje testuojami bei modeliuojami transporto modeliai.

Darbo tikslas:

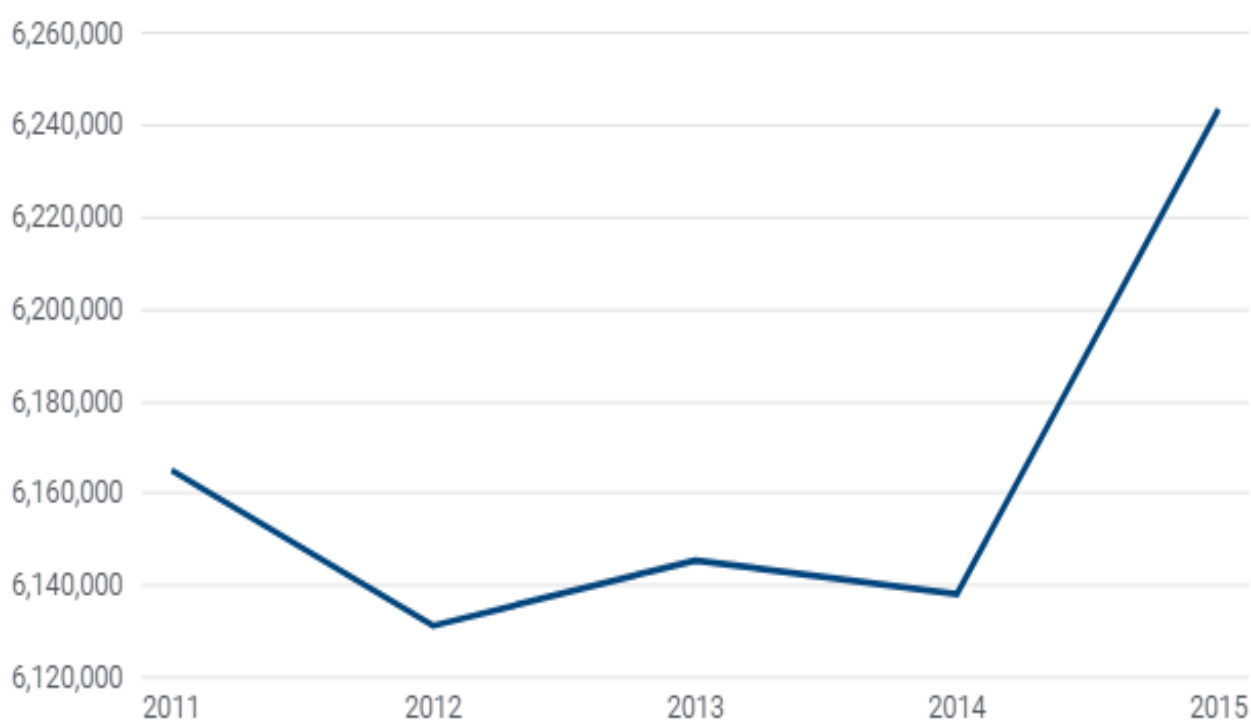
Ištirti kaip sunkvežimio aerodinaminio pasipriešinimo jėga priklauso nuo naudojamų aptakumo elementų tipo ir geometrijos.

Darbo uždaviniai:

1. Pateikti mokslinių publikacijų apie transporto aerodinamiką analizę.
2. Ištirti, kokią įtaką sunkvežimio aerodinamikai turi aerodinaminiai aptakai.
3. Išnagrinėti, kaip šoninio oro srautas veikia vilkiko modelį su skirtingais aerodinaminiais įtaisais.

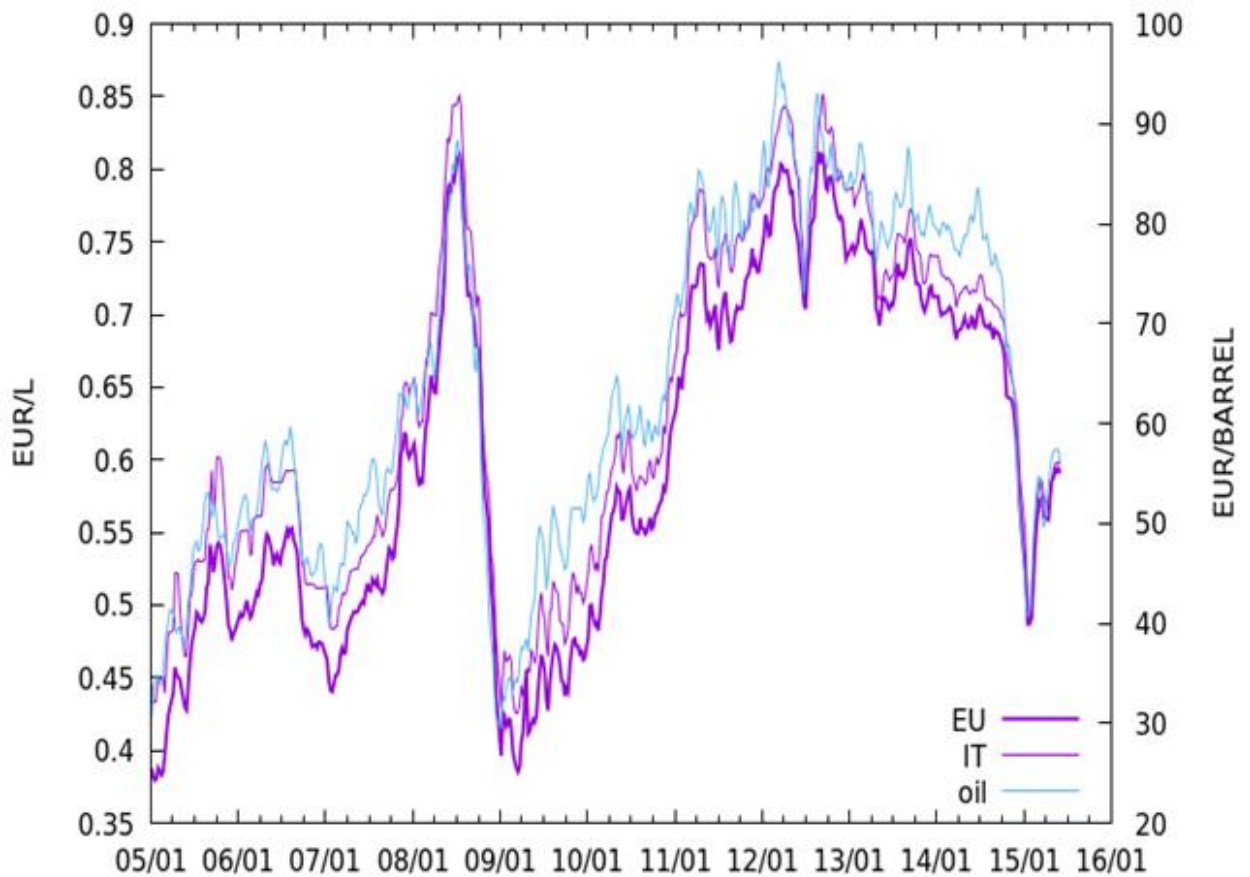
1. TEMOS AKTUALUMAS

Lyginant su kitomis transporto rūšimis, automobilių transportas turi nemažai privalumų, kurie sudaro jam galimybę būti nepakeičiamam atskirose transportinio darbo sferose. Svarbiausia kelių transporto savybė ir pranašumas – manevringumas. Didžiausias privalumas yra tas, kad krovinius galima pristatyti „nuo durų iki durų“. Daugeliu atvejų automobilių transportas užsienio prekyboje yra nepakeičiama priemonė kroviniams pristatyti, be jos vežimas būtų neįmanomas [1].



1 pav. Sunkiasvorių transporto priemonių skaičiaus kaita Europoje [2]

Vystantis ekonomikai, sunkvežimiai, kaip transportavimo būdas, vis dažniau naudojami nacionaliniame ūkyje. Didėjanti krovinių pervežimo paklausa skatina vežėjus plėsti transporto parkus – įsigyti daugiau transporto priemonių. Tačiau ši transportavimo rūšis dėl sunaudojamo kuro kiekio nėra labai efektyvi. Didėjantys komercinių automobilių greičiai sukelia stipresnę aerodinaminį pasipriešinimą, todėl didėja eksploatacinės išlaidos, kuro sąnaudos, CO₂ emisijos ir t.t.



2 pav. Dyzelinio kuro kainų kaita Europos sąjungoje [3]

Transporto srityje aerodinaminis pasipriešinimas itin svarbus, kadangi didžioji dalis kuro, panaudojamo transportuojant krovinius, yra sunaudojama aerodinaminio pasipriešinimo jėgoms įveikti. Esant dabartinėms ekonominėms bei politinėms sąlygoms, didėjant visuotiniam atšilimui ir vis labiau senkant iškastiniam kurui, mokslininkai ieško būdų, kaip sumažinti sunkiasvorių transporto priemonių kuro sąnaudas ir CO₂ emisijas. Krovininis transportas dėl savo geometrinių parametrų – didelio paviršiaus ploto ir stačių kampų – sunaudoja apie 50% kuro sąnaudų, kad įveiktų aerodinaminį pasipriešinimą. Kaip teigia Hsu ir Davisas, yra nustatyta, jog pagerinus vilkiko aerodinamines savybes 40%, būtų galima sutaupyti iki 9 tūkst. eurų išlaidų kurui per metus [4]. Tačiau toks esamų vilkikų pertvarkymas yra nepraktiškas sprendimas besivystančiose šalyse, kuriose ekonominės sąlygos yra vis dar prastos.

2. LITERATŪROS APŽVALGA

Vystantis ekonomikai, sunkvežimiai - vis labiau populiarėjantis transportavimo būdas nacionalinėje ekonomikoje. Tačiau šios transportavimo rūšies kuro sunaudojimo galimybės nėra 100 % efektyvios. Didėjantys komercinių automobilių greičiai sukelia didelį aerodinaminį pasipriešinimą, dėl to didėja eksploatacinės išlaidos, kuro sąnaudos, oro tarša ir t. t.

Kiekvienas vilkikų gamintojas, siekdamas pagerinti krovininės transporto priemonės aerodinamines savybes, turėtų atsižvelgti į šiuos aptakumo padidinimo patarimus [5]:

- suapvalinti transporto priemonės kampus;
- vilkiko kabina ir puspriekabė turėtų būti viename aukštyje;
- turėtų būti kuo mažesnis tarpas tarp vilkiko ir puspriekabės;
- turėtų būti kuo mažiau išsikišančių elementų.

Pagal trečiąjį Niutono dėsnį, kai kūnas juda per skystį, skystis priešinasi kūno judėjimui ir veikia kūną tokio paties stiprumo, tik priešinga jėga. Transporte ši jėga vadinama aerodinaminio pasipriešinimo jėga [6]:

$$F_D = \frac{1}{2} \rho V^2 C_D A; \quad (1)$$

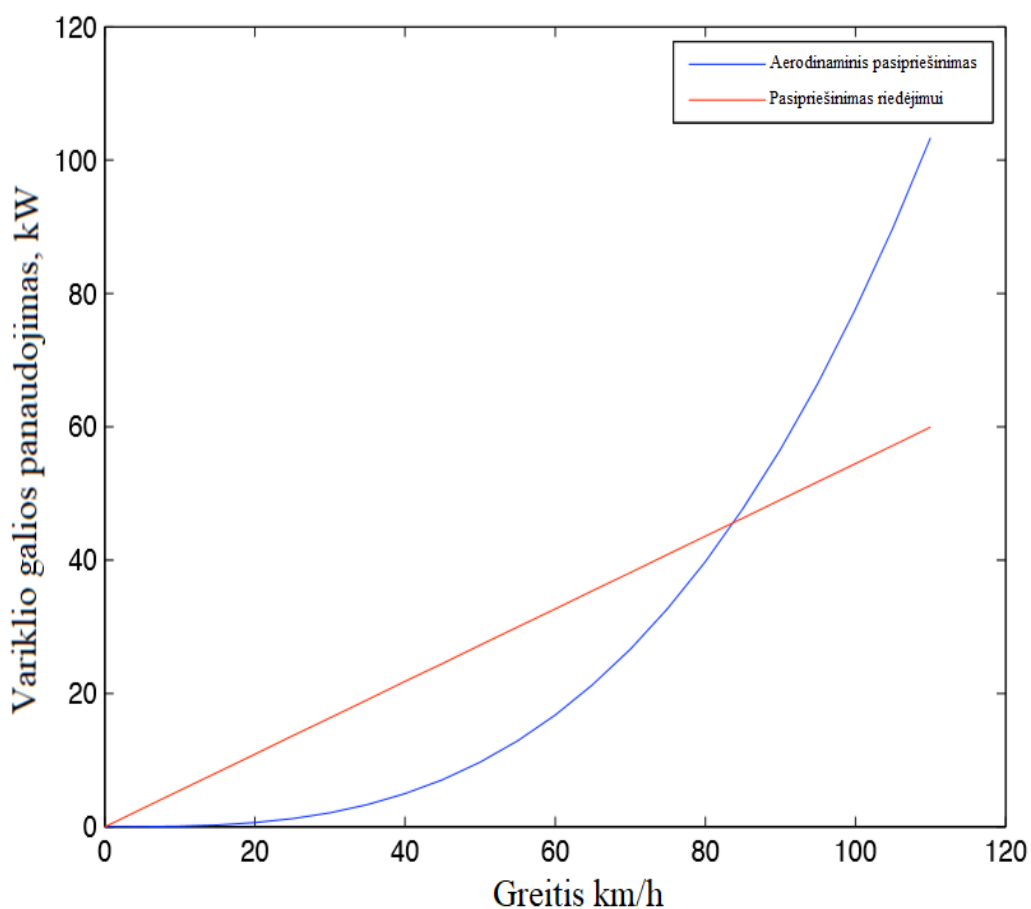
Čia: C_D – aerodinaminio pasipriešinimo koeficientas; ρ – oro tankis, kg/m^3 ; V – oro srauto greitis, m/s ; A – tiriamojo objekto kontūro projekcijos (į plokštumą, kuri statmena judėjimo kryptčiai) plotas, m^2 .

Nuo transporto priemonės formos priklauso, kaip oro srautas juda kūno paviršiumi: jeigu ji aerodinamiškai aptaki, oras „gražiai“ apgaubia formą ir keliauja toliau, jeigu ne – tai, aplenkdamas kūną, oras ima sukuriuoti už transporto priemonės. Tokiu atveju dalį energijos, skirtos judėjimui oro sraute, kūnas sunaudoja sukuriams „gaminti“. Tą patį atlieka ir paprastai sukonstruotas transporto priemonės kėbulas – kelia sukurius. Vienas iš pavyzdžių – paprasto vilkiko ir puspriekabės sąstato kėbulo forma, kadangi galinėje sąstato srityje susidaro sukuriiai [5].

Nuo 1970 metų mokslininkai ir inžinieriai stengiasi pagerinti lengvųjų automobilių, sunkvežimių ir kitų transporto priemonių aerodinamines savybes. Antžeminių transporto priemonių aerodinaminiam pasipriešinimui gerinti mokslininkai pasitelkė įvairius matavimo įtaisus, siekdami pagerinti formų aptakumo savybes. Tai pasiekti ankstyvaisiais aerodinamikos tyrimo metais mokslininkai naudojami vėjo tuneliais bei paprastomis erdvinėmis figūromis.

Nuo 2000 metų tyrėjai pradėjo naudoti sudėtingus skaičiavimo modelius įvairių tipų transporto priemonių aerodinaminėms jėgoms nagrinėti. Dėl vis didėjančios technologijų pažangos aerodinaminės formos gaminamos vis sudėtingesnių formų ir struktūrų. Aerodinaminis transporto optimizavimas vis dar yra itin prasmingas tyrimų laukas vilkikų kūrėjams.

Sunkiasvorės komercinės transporto priemonės dėl jų neaptakios formos aerodinaminiu požiūriu yra neefektyvios, palyginus su kitomis antžeminėmis transporto priemonėmis. Sunkiasvorė komercinė transporto priemonė, važiuojanti 90 km/h, sunaudoja maždaug pusę bendro degalų kiekio, siekdama įveikti aerodinaminį pasipriešinimą [5].



3 pav. Vilkiko variklio galia, reikalinga norint įveikti kylančias pasipriešinimo jėgas [7]

Lengvasis automobilis, esant tokioms pačioms važiavimo sąlygoms, sunaudoja keturis kartus mažiau kuro, kad įveiktų aerodinaminį pasipriešinimą. Dažniausiai sunkiojo transporto metinė rida gali svyruoti nuo 130 000 km iki 160 000 km, todėl bet koks aerodinaminių pasipriešinimo jėgų sumažinimas reikš mažesnes kuro sąnaudas, mažesnius šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekius. Nors per pastaruosius du dešimtmečius mokslininkų pastangos kuriant

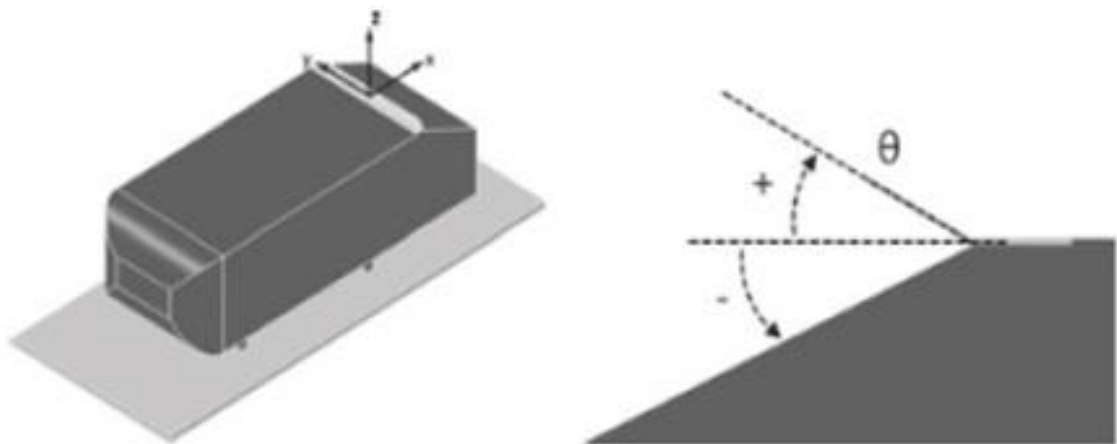
įvairius aerodinaminį pasipriešinimą mažinančius prietaisus didelės, tačiau vis dar yra galimybių toliau mažinti aerodinaminį jėgų keliamą pasipriešinimą [5].

Aerodinaminio pasipriešinimo mažinimo būdai yra keli: pasyvieji, kurie nereikalauja energijos sąnaudų, ir aktyvieji, kuriems reikalingas energijos šaltinis ir valdymo sistema. Šiuo metu yra siūlomi įvairūs įtaisai, gerinantys sunkvežimio aerodinamiką: vėdinamos ertmės, nukreipiamos ertmės, sūkuriniai generatoriai, paskirstymo plokštės, vilkiko ir puspriekabės aptakai. Šios modifikacijos gali pakeisti aplink vilkiką susidariusį oro srautą ir nukreipti jį toliau nuo transporto priemonės, sumažindamos sūkurių kiekį ir dydį.

Deflektoriai

Lee ir Ko (2009m.) ištyrė srovės lauką už perforuotų „Gurney“ tipo aptakų ir padarė išvadą, kad perforuoti įtaisai yra geresni nei įprasti, siekiant sumažinti aerodinaminio pasipriešinimo jėgą ir sukeliama sūkurių plotą. Tačiau tyrimas buvo atliktas vien tik su aerodinaminiais įtaisais, nenaudojant sunkvežimio modelio su įtaisu, sumontuotu ant vilkiko [9].

Gregoris Fouree ir kt.(2010m.) eksperimentiniame tyrime, kuriame naudojamas supaprastintas automobilio formos modelis, nustatė, kad automobilį veikiančią aerodinaminę jėgą galima sumažinti iki 9% naudojanti galinį deflektorių bei buvo nustatyta, jog rezultatai kinta priklausomai nuo jo kampo [10].



4 pav. Fouree naudotas supaprastintas automobilio modelis [10]

Beaudoin ir Aider (2008 m.) atliko eksperimentinį 3D tyrimą su supaprastinto kūno forma, vadinama „ahmed body“ (žr. 4 pav.) modeliu, dažniausiai naudojamu kaip 3D analizės lyginamuoju modeliu. Naudodami uždangas dviejų galinių paviršių kraštuose jie nustatė, kad labiausiai efektyvi

konfigūracija buvo aptakai ant užpakalinio šoninio krašto. Priklausomai nuo konfigūracijų, oro pasipriešinimas gali būti sumažintas iki 25% [11].

Abdellah Ait (2014 m.) atliko eksperimentinį tyrimą, kurio tikslas - sumažinti aerodinamines pasipriešinimo jėgas, naudojant viršutinį, žemyn nukreiptą aptaką ant sunkiasvorės transporto priemonės, pikapo, su atviru kėbulu. Jie nustatė, kad aerodinaminio pasipriešinimo koeficientas C_D buvo sumažintas, didėjant aptako ilgiui. Taip pat buvo padaryta išvada, kad panaudotas aptakas koregavo srauto kryptį už transporto priemonės, dėl to srautas buvo nukreipiamas nuo atviro kėbulo ir sudarė mažiau sūkurių jo viduje. Autoriai teigė, kad taip atsitinko todėl, kad kėbulo viduje susidarantis atbulinis slėgis didėjo, kai didėjo žemyn nukreiptas aptako kampas, kuris sumažino aerodinaminio pasipriešinimo koeficientą. Tačiau gauti rezultatai nebuvo pastovūs, keičiant žemyn nukreipto aptako kampą. Teigiama, kad šis aerodinaminis įtaisas turi būti optimaliai suprojektuotas taip, kad gautųsi atitinkamai pastovūs rezultatai [12]. Nagrinėdami puspriekabių užpakalinių aptakų naudojimą realaus dydžio sunkvežimių modeliuose, Muhammedas-Kassimasir Fillipponas (2009m.) nustatė 4-5% aerodinaminio pasipriešinimo sumažėjimą. Tai yra vienas iš nedaugelio didelės apimties sunkvežimio tyrimų, tačiau tyrėjai neatsižvelgė į aptako formą, konstrukciją ar formos matmenų optimizavimą, siekiant gauti geriausią rezultatą [13].

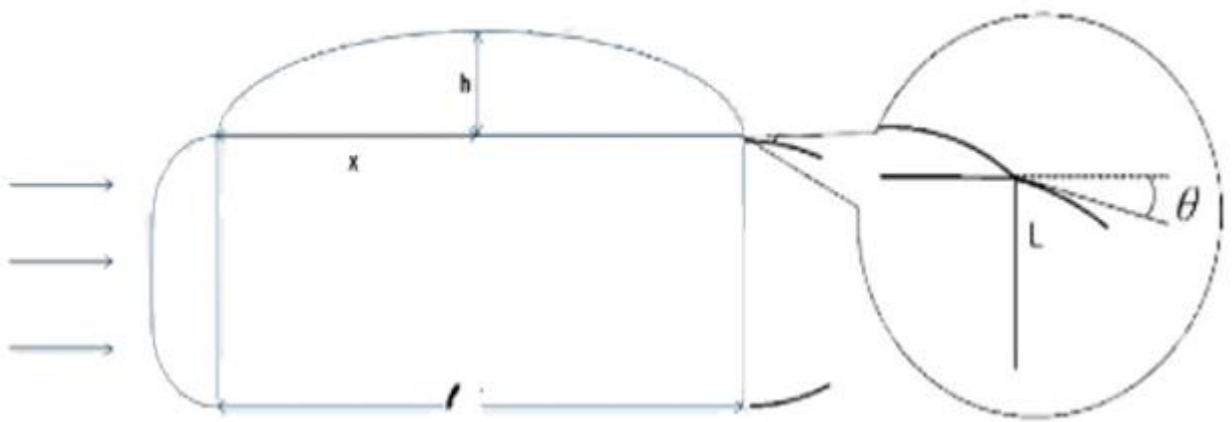
Puspriekabės galo aptakas

Wendis R. Lanseriris kt. ištyrė vilkiko puspriekabės galinio aptako efektyvumą NASA tyrimų centro vėjo tunelyje. Buvo padaryta išvada, kad pakitęs srautas dėl panaudoto puspriekabės įtaiso padidino slėgį virš bazinio ploto, todėl sumažėjo aerodinaminis vėjo pasipriešinimas [14]. Khalinghi ir kt. (2000 m.) išplėtė Lancerio ir jo komandos darbą, atlikdami skaičiavimų ir eksperimentinį tyrimą su kėbulais, su ir be aerodinaminį pasipriešinimą mažinančiais įtaisais. CFD (angl. *Computational Fluid Dynamics*) modeliavimas buvo atliktas naudojant ir pastovų, ir nestabilų Reynoldso vidurkinimo metodą Navier-Stokes (RANS). Nustatyta, kad vėjo pasipriešinimo koeficientas sumažintas 18% CFD modeliavimui; palyginus su 20% rezultatu, gautu eksperimentiniu būdu [15].

Esamų aptakų keitimas / optimizavimas

Hsu ir Davisas (2013 m.) tyrimo metu nustatė, kad virš puspriekabės užmontuojant aerodinaminį kupolą, priekabos apačioje ir (arba) šonuose – aerodinaminis aptakus (žr. 5 pav.), galima iki 50% sumažinti aerodinaminį pasipriešinimą. Tačiau toks aerodinaminis įtaisas naudojimo

metodas yra nepriimtinas dėl šiuolaikinių sunkvežimių eksploatavimo taisyklių [4]. Jing ir kt. (2011m.) padarė lyginamąjį komercinės paskirties sunkvežimio tyrimą su viršutiniu kupolu ir galiniu deflektoriumi, naudodami CFD ir vėjo tunelio bandymus. Jie padarė išvadą, kad aerodinaminis pasipriešinimas gali būti sumažintas apie 10%. Tačiau nepateikė naudojamų aptakų geometrinių duomenų [16]. Strachan ir kt. (2010 m.) vėjo tunelyje studijavo Ahmedo kūno praeinamąjį srautą su pridėtiniais aerodinaminiais įtaisais. Gauti rezultatai buvo palyginti su dviem anksčiau atliktais tyrimais. Tyrėjai nustatė, kad viršutiniai atraminiai statramsčiai sumažino sūkurių, o tai savo ruožtu lemia srauto atskyrimą anksčiau nei kritinis atgalinis kampas.



5 pav. Puspriekabės stogo ir galo aptakas, naudotas Hsu ir Davis tyrime [17]

Taip pat buvo padaryta išvada, kad žemės paviršiumi judantis modelis neturėjo jokios įtakos bendram rezultatui. Jie taip pat nustatė, kad netoli modelio grindų susidarė maži sūkurių (už modelio), apie kuriuos nebuvo pranešta ankstesniuose tyrimuose, greičiausiai, dėl montuoti naudojamų statramsčių trukdžių. Tačiau jie negalėjo tiksliai įvertinti atstumo, kiek sklinda sūkurių [17].

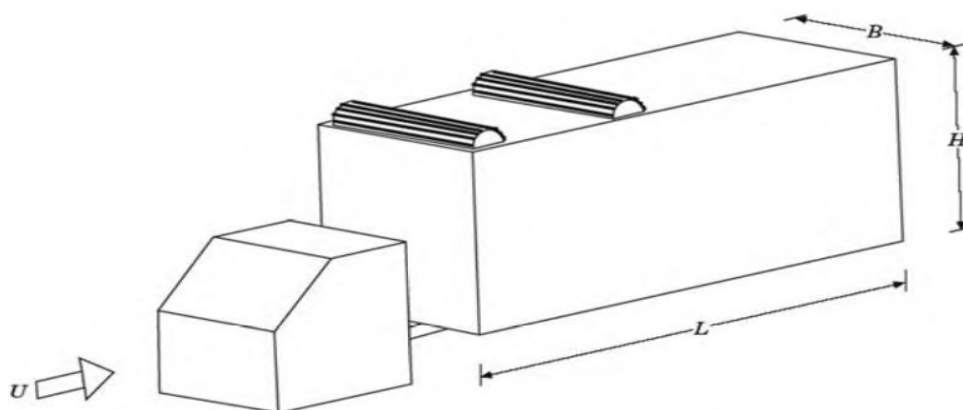
Ratų uždengimas

Pirmasis žinomas CFD tyrimas atskiruose ratuose, naudojant pastoviosios būsenos RANS skaičiuoklę, parodė aiškų vėjo srautų vaizdą (Axon, 1999 m.). Ratas buvo modeliuojamas kaip tvirtas diskas su grubiais kraštais. Tarp tyrėjo atliktų bandymų (Fackrell, 1974 m.) ir eksperimentinių tyrimų buvo panašumų. Nors bendras srauto plotas buvo panašus, tačiau modeliavimas parodė, kad atskyrimo zonose rezultatai skyrėsi.

Dimitriou ir Klussmann (2006 m.) atliko plačią bandymų seriją su vilkiku vėjo tunelyje, kad būtų galima tiksliai nustatyti vertikalią apkrovą, veikiančią izoliuotus ratus, taip pat aerodinaminius efektus. Autoriai teigė, kad esamais matavimo būdais neįmanoma lengvai išmatuoti kylančių jėgų dėl izoliuoto rato, o tai padidina rezultatų neapibrėžtumą bei netikslumą. Jie kuria naują metodą, kad būtų galima išmatuoti dėl slėgio paskirstymo susidarančias jėgas, o tai yra pagrindinė jų eksperimentų priežastis. Tuo pačiu metu buvo atlikti eksperimentai, skirti ratlankių kraštams, ratų gaubtų ir griovelių nustatymui.

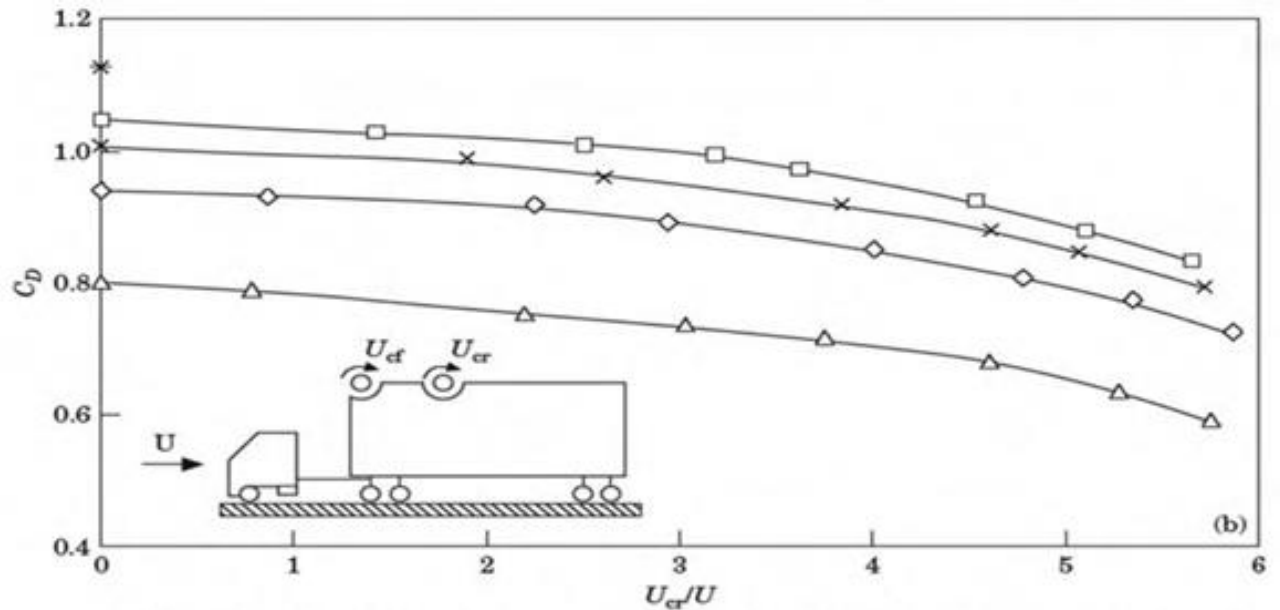
Judantys paviršiai

Modi (1997 m.) atliko vėjo tunelio bandymus su besisukančiais cilindrais ant puspriekabės stogo, siekdamas patikrinti šio įtaiso efektyvumą, mažinant sunkvežimių aerodinaminį pasipriešinimą. Eksperimentui atlikti buvo naudojamas sumažintas ir supaprastintas sunkvežimio modelis su dviem cilindrais ant puspriekabės stogo (žr. 6 pav.).



6 pav. Modi naudotų aerodinaminių įtaisų eskizas [18]

Nustatyta, kad cilindro paviršiaus šiurkštumas taip pat buvo svarbus, siekiant pagerinti jų veikimą. Autorius teigia, kad norint dar labiau pagerinti jų efektyvumą reikėtų iširti spiralinius arba plokščius griovelius, įtaisytus ant cilindro, nes tai gali turėti teigiamų rezultatų aerodinaminiam pasipriešinimui. Žymus pasipriešinimo sumažėjimas buvo pastebėtas keičiant įtaisų sukimosi greitį (žr. 7 pav.). Šie rezultatai yra reikšmingi, atsižvelgiant į ribotą cilindro veikimo spektrą ir modelio formą, kuri vizualiai skatina didelį srauto atskyrimą. Rotacinių cilindro našumas, keičiant srautą ir mažinant stačių kampų kūno aerodinaminį pasipriešinimą, taip pat buvo įrodytas eksperimentiniais ir skaitmeniniais tyrimais Singh ir kt. (2005 m.) ir Beaudoin ir kt. (2006 m.).



7 pav. Modi gauti aerodinaminio pasipriešinimo, esant papildomiems įtaisams, rezultatai [18]

Apibendrinant pateiktą literatūros analizę, matoma, jog antžeminio transporto aerodinamikos gerinimo sfera yra intensyviai nagrinėjama tema, mokslininkai iš viso pasaulio įdėjo daug darbo analizuodami šią temą ir toliau atranda naujų galimybių, kaip tobulinti vilkikų aerodinamiką.

Kaip minėta prieš tai, aerodinaminių savybių gerinimo būdai yra skirstomi į aktyvius ir pasyvius. Dėl savo paprastumo, ekonomiškumo ir lengvesnio įgyvendimo galimybių, pasyviųjų elementų metodai vilkikų transporte užima didesnę dalį šios sferos.

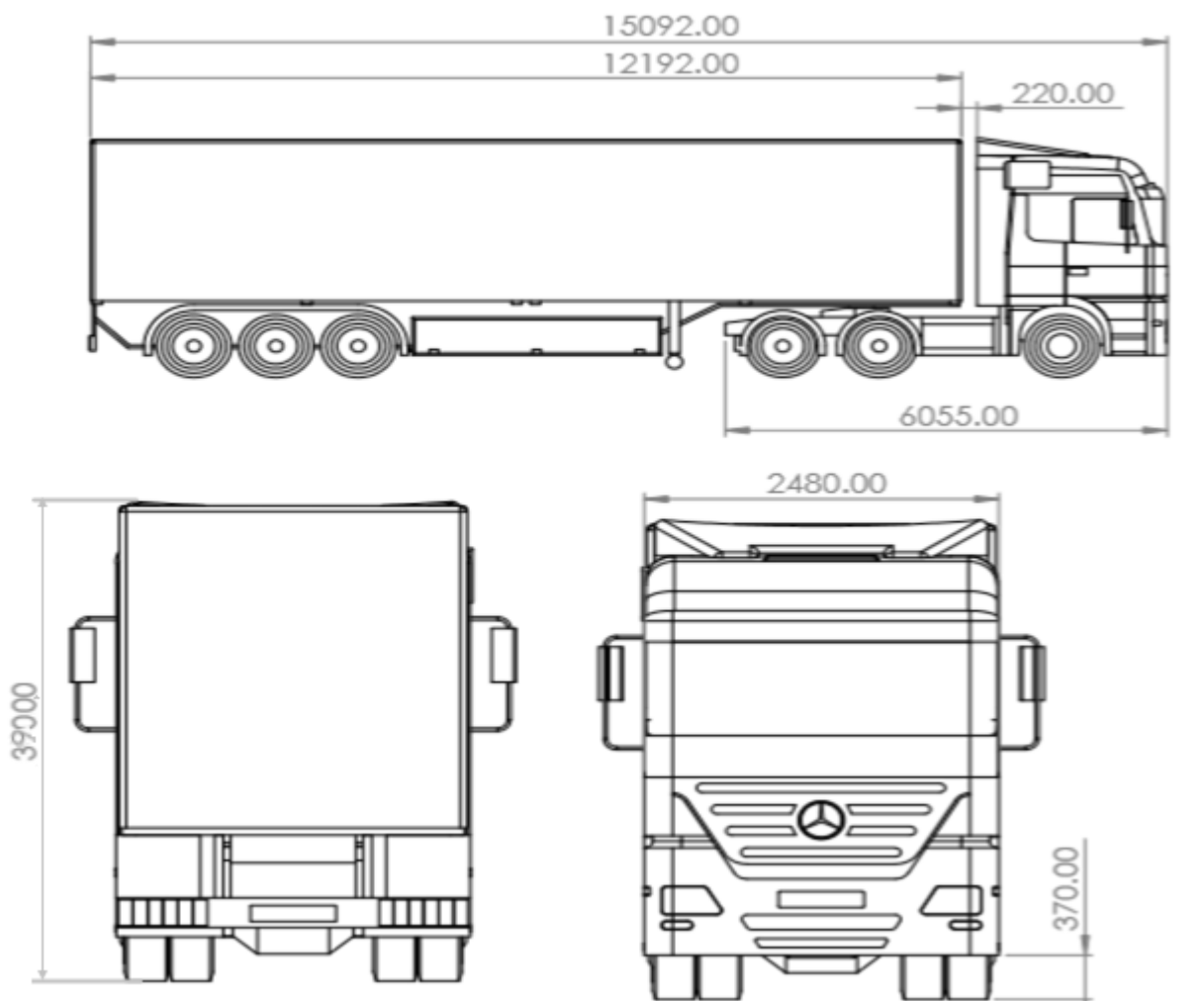
Tiriant sudėtingą trimatį kūną pastebima, kad susidarantis oro srautas yra daug sudėtingesnis ir reikalauja daug gilesnio supratimo negu tiriant paprastų formų modelius. Iš pateiktų mokslinių darbų analizės matoma, kad keletas jų jau yra plačiai naudojami sunkiasvorių transporto priemonių versle: deflektoriai, sklendės, įvairūs aerodinaminiai aptakai ir t.t. Tačiau kai kurių aerodinaminių aptakų naudojimas laikomas nepraktišku ar negalimu dėl įvairių teisinių reglamentavimų, fizinių trukdžių, pvz. galinis puspriekabės aerodinaminis aptakas. Dėl to ne visi aerodinaminiai aptakai yra išanalizuoti.

Todėl šio tyrimo tikslas bus pratęsti mokslininkų pradėtą nagrinėti vilkiko aerodinamiką, aptarti, kaip kinta vilkiko aerodinaminės savybės nuo įvairių vilkiko aptakų geometrijos, papildomų aerodinaminių įtaisų poveikio vilkiko aerodinaminėms savybėms, pučiant priešpriešiniam ir šoniniam vėjui.

3. SUNKVEŽIMIO AERODINAMINIŲ SAVYBIŲ TYRIMAS

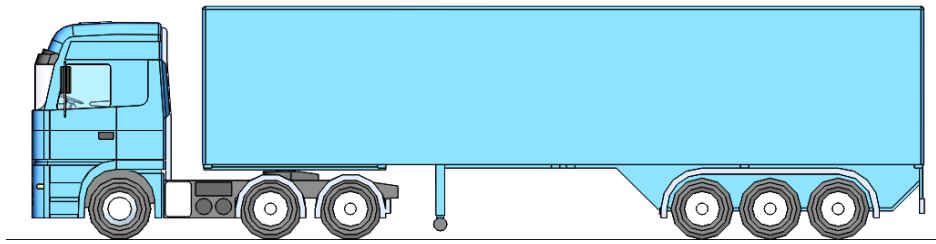
3.1. Geometrinio sunkvežimio modelio parinkimas

Tyrimui atlikti pasirinktas vilkiko Mercedes-Benz Actros 2646 ir kietišonės puspriekabės Swarchmuller realaus dydžio trimatis modelis, kurio bendro sąstato ilgis 15,092 m, plotis 2,48m, o aukštis 3,9 m. Vilkiko standartinis modelis turi šiuos pagrindinius aptakumo elementus: vilkiko stogo aptaką, tarpo tarp vilkiko ir puspriekabės aptaką ir uždengtą erdvę prieš puspriekabės ratus.

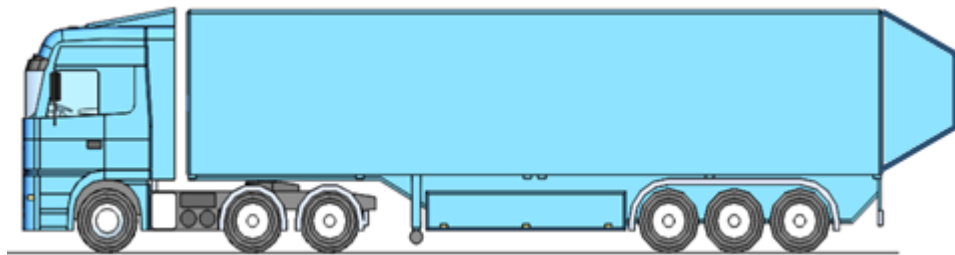


8 pav. Vilkiko Mercedes-Benz Actros su kietišone puspriekabe Swarchmuller geometriniai išmatavimai

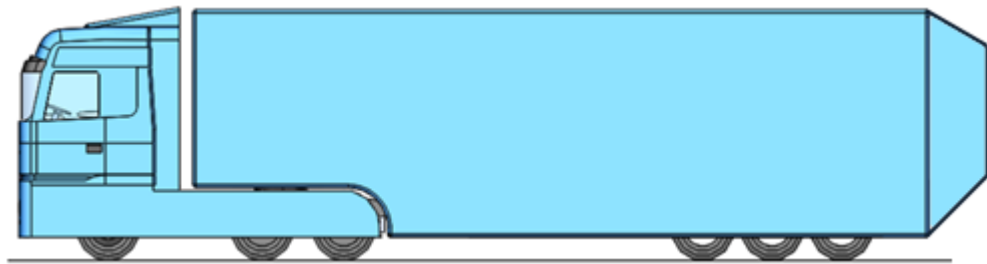
Šiame tyriamajame darbe nagrinėjami aerodinaminių aptakumo elementų patobulinimai bus lyginami su pasirinktu baziniu Mercedes-Benz Actros sunkvežimio ir puspriekabės Swarchmuller modeliu, kuris neturi jokių sunkvežimio aerodinamiką gerinančių įtaisų.



a



b



c

9 pav. Mercedes-Benz Actros 2646 tiriami aptakumo modeliai: a – vilkikas be aerodinaminių patobulinimų; b – vilkikas su standartiniais aerodinaminiais patobulinimais; c – vilkikas su papildomais aerodinaminiais patobulinimais

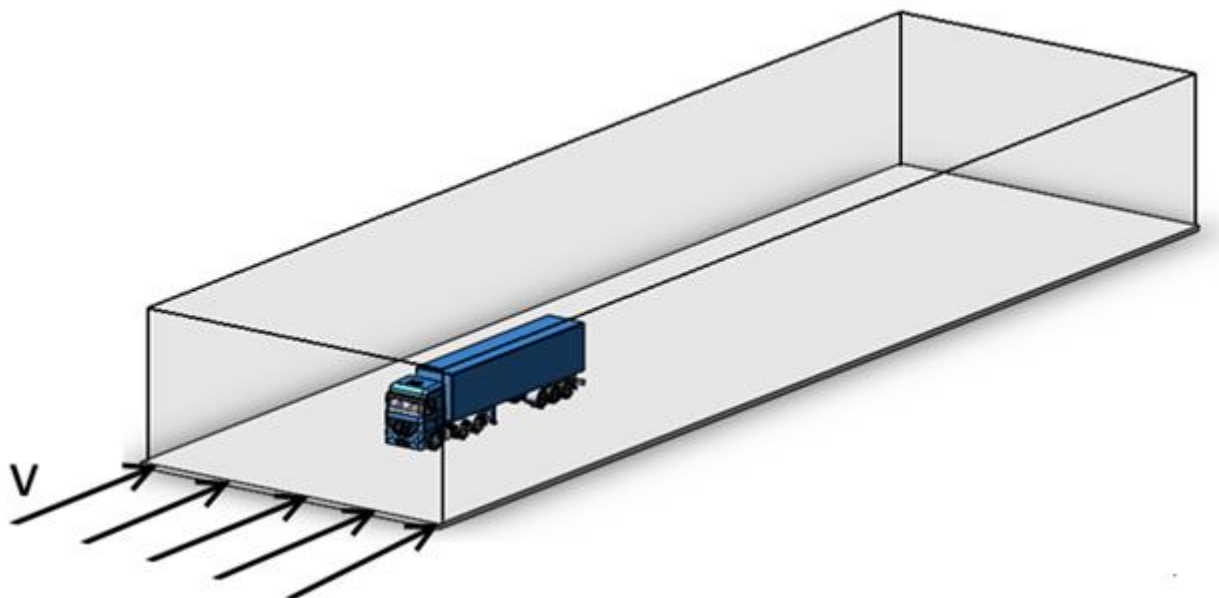
Pasirinktos trys vilkiko aptakumo konfigūracijos:

- be papildomų aerodinaminių kėbulo pagerinimų, vilkikas be šoninių ar stogo aptakų, be puspriekabės dugno aptako;
- su vilkiko stogo bei šoninio tarpo aptakais bei puspriekabės dugno ir galo aptaku;
- atsisakius kai kurių sunkvežimio kėbulo detalių (durų rankenėlių, šoninių galinio vaizdo veidrodėlių, apatinių grotelių ir t.t.) bei su ratų išoriniais aptakais ir dugno bei važiuoklės uždengimais.

3.2. Tiriamosios erdvės nustatymas

Tyrimas atliekamas naudojantis SolidWorks programa ir Flow Simulation skaičiavimų paketu.

Realiomis sąlygomis tiriant transporto priemones, jų aerodinamines savybės būna nagrinėjamos vėjo tuneliuose, kurių gabaritai būna itin dideli. Kai transporto priemonių aerodinaminės savybės tiramos naudojantis kompiuterinėmis programomis, išlaikyti vėjo tunelių gabaritinius matmenis tyrimų erdvės nusakymui būtų netikslinga, kadangi be reikalo būtų eikvojami kompiuterio resursai ir laikas.



10 pav. Modeliavimo erdvė su vėjo srauto kryptimi

Todėl šioje tyrimo dalyje naudojama skaičiavimo erdvė buvo nustatyta eksperimentiniu būdu, kai naudojant tą patį sunkvežimio modelį erdvė aplink vilkiką buvo po truputį plečiama ir po kiekvieno erdvės padidinimo analizuojami gauti aerodinaminio pasipriešinimo rezultatai. Gaunami rezultatai nustojo kisti ties matmenimis $15\text{ m} \times 65\text{ m} \times 12\text{ m}$ buvo priimta, jog tyrimosios erdvės matmenys bus $20\text{ m} \times 70\text{ m} \times 15\text{ m}$.

Modeliavimui naudoti duomenys pateikti 1 lentelėje. Tyrime daromos prielaidos:

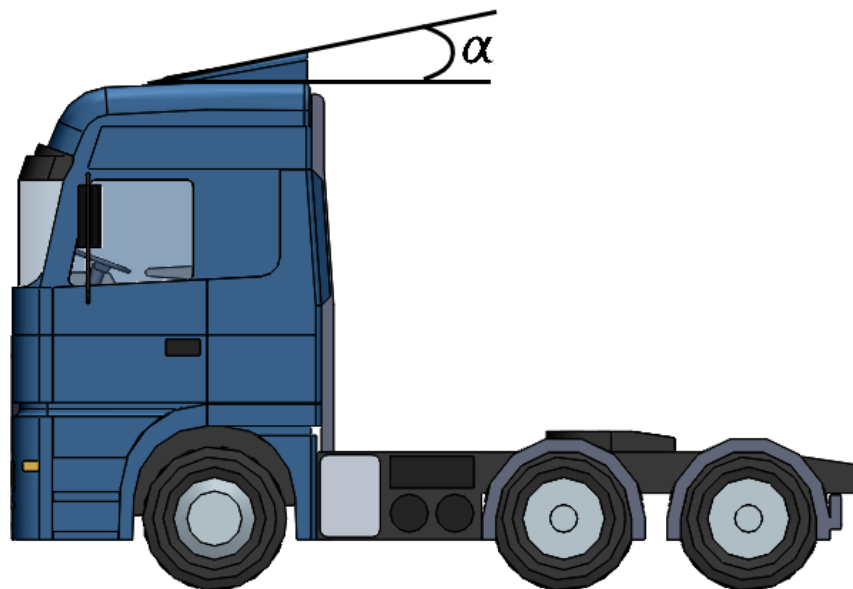
- oras yra nespūdas;
- galimas aplinkos temperatūros kitimas nevertinamas;
- sprendžiamas laminarinio tekėjimo, kuris gali „pereiti“ į turbulentinį, uždavinys;
- sunkvežimio paviršių šiurkštumas nebuvo vertinamas.

Modeliavimo sąlygos

| Rodiklis | Rodiklio vertė | Matavimo vienetai |
|--|--------------------|-------------------|
| Oro srauto greitis | 30; 25; 20; | m/s |
| Oro srauto kampas | 0°;10°;20°;30°;40° | - |
| Sunkvežimio priekinės projekcijos plotas | 9,7; 9,6; 9,6 | m ² |
| Temperatūra | 293,2 | K |
| Atmosferinis slėgis | 101 325 | Pa |
| Oro tankis | 1,204 | kg/m ³ |
| Sąlyginis tinklelio tankis (labai grubiam tinkleliui šis rodiklis lygus 1, o ypatingai smulkiam – 7) | 6 | – |

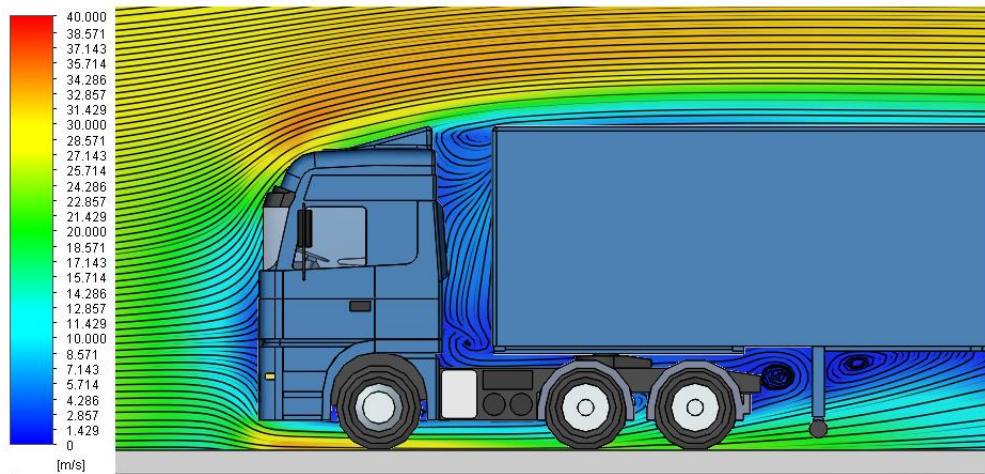
3.3. Sunkvežimio aerodinaminių aptakų tyrimas

3.3.1. Vilkiko stogo aptako aerodinaminis tyrimas



11 pav. Tyrinėjamo aptako kintamas geometrinis matmuo

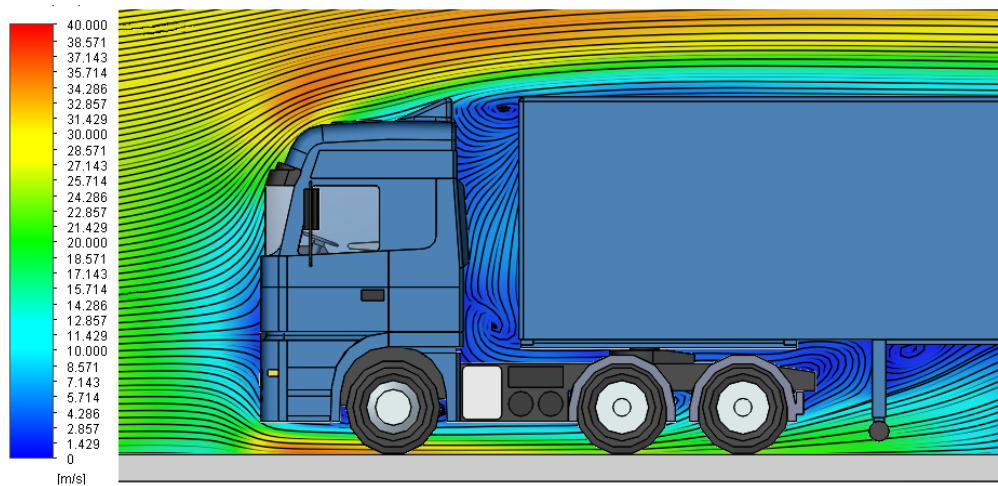
Nagrinėjamas vilkiko modelis su kintamu viršutiniu aerodinaminiu aptaku, tiriami 3 aerodinaminio įtaiso kampai: 15°; 20°; 25°. Aerodinaminio aptako aukščio matmuo nekinta, kadangi laikomasi taisyklės, kad vilkiko ir puspriekabės aukštis turi būti vienodas.



a

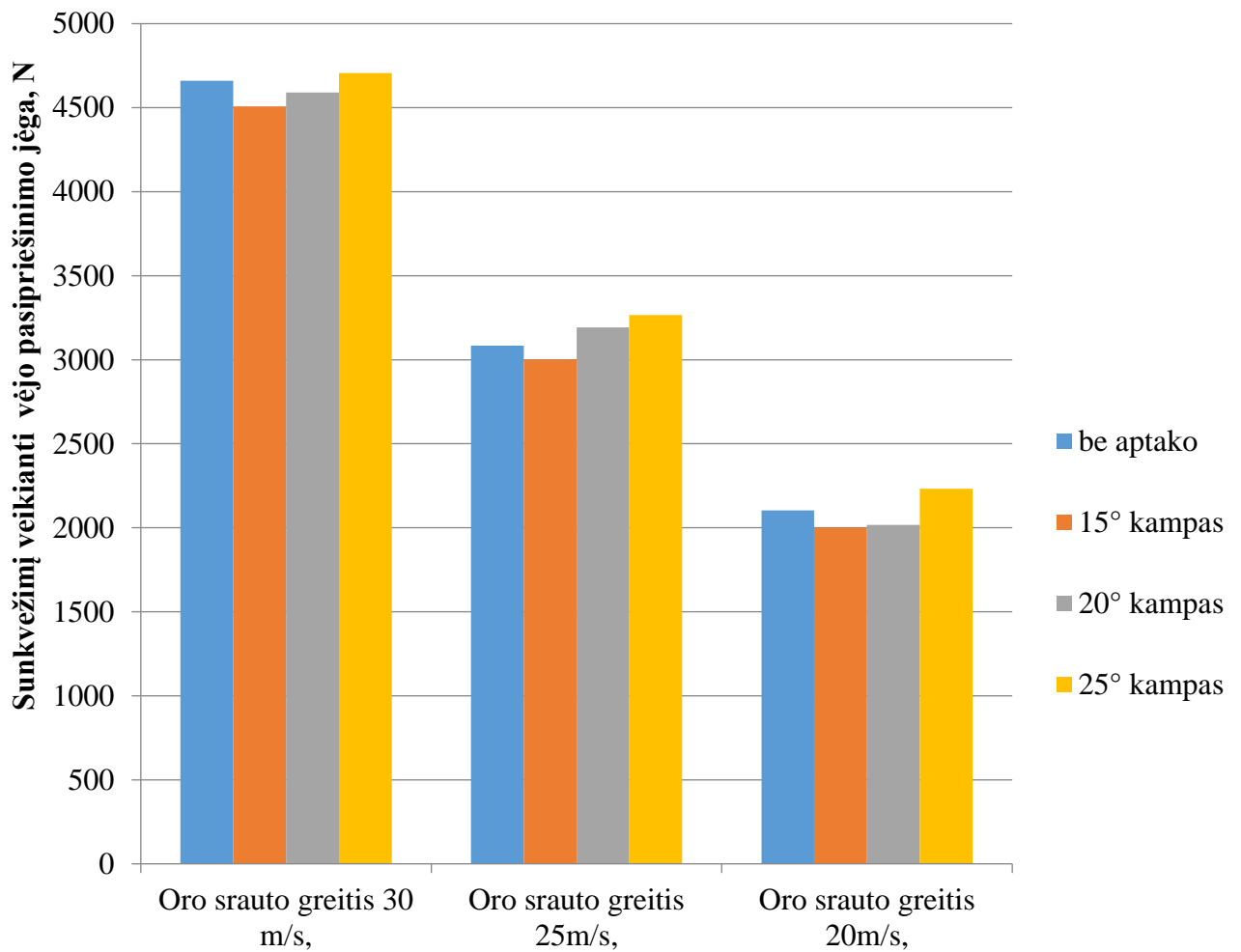


b



c

12 pav. Oro srauto greičio kitimas aplink modeliuojamą sunkvežimį su viršutiniu aerodinaminiu įtaisu, kai oro srauto greitis yra 30 m/s: a – aptakumo elementas su 15° kampu; b – aptakumo elementas su 20° kampu; c – aptakumo elementas su 25° kampu



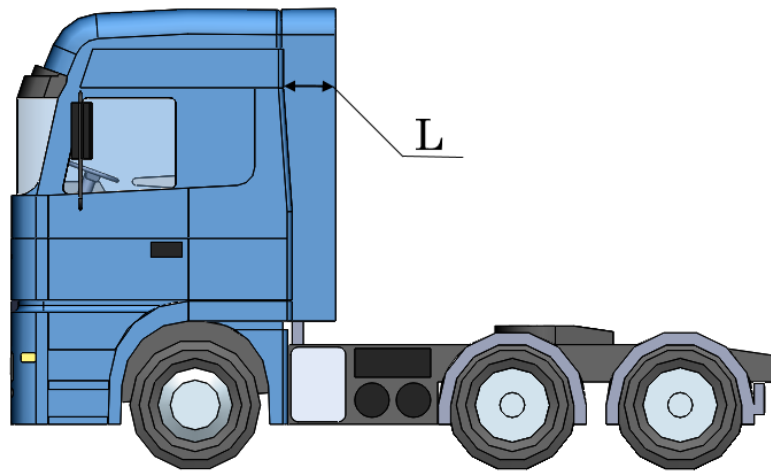
13 pav. Nagrinėjamo vilkiko stogo aptako aerodinaminės pasipriešinimo jėgos rezultatai

Analizuodami gautus oro srauto greičius (žr. 12 pav.), matome, kad pakitimai, padaryti nagrinėjamo aptako kampui, turi įtakos oro tėkmei, judančiai sunkvežimio stogu.

Išanalizavus gautus aerodinaminės pasipriešinimo jėgos rezultatus (žr. 13 pav.) matyti, jog papildomas aerodinaminis įtaisas, pateiktas 12a pav., pagerina sunkvežimio aerodinamines savybes 5%, lyginant su standartiniu Mercedes-Benz Actros vilkiku be aerodinaminių įtaisų (9a pav.).

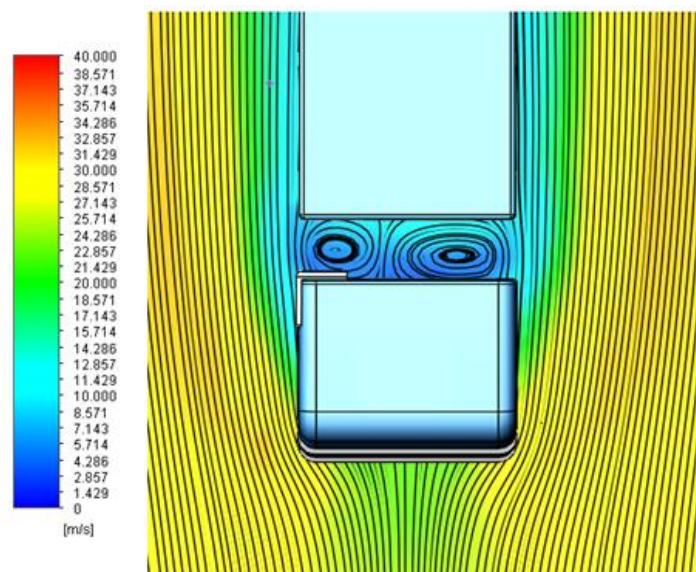
Kiti du aerodinaminiai įtaisai parodė prastesnius aerodinaminio pasipriešinimo rezultatus, 20° kampas, kai vėjo srauto greitis 30 ir 20 m/s, nustatytas 2% aerodinaminių jėgų sumažinimas o su 25° kampu nustatytas aerodinaminių jėgų padidėjimas. Galima prielaida, jog kuo viršutinio vilkiko aptako kampas mažesnis, tuo mažesnė aerodinaminė jėga veiks vilkiką.

3.3.2. Tarpo tarp vilkiko ir puspriekabės aerodinaminis tyrimas

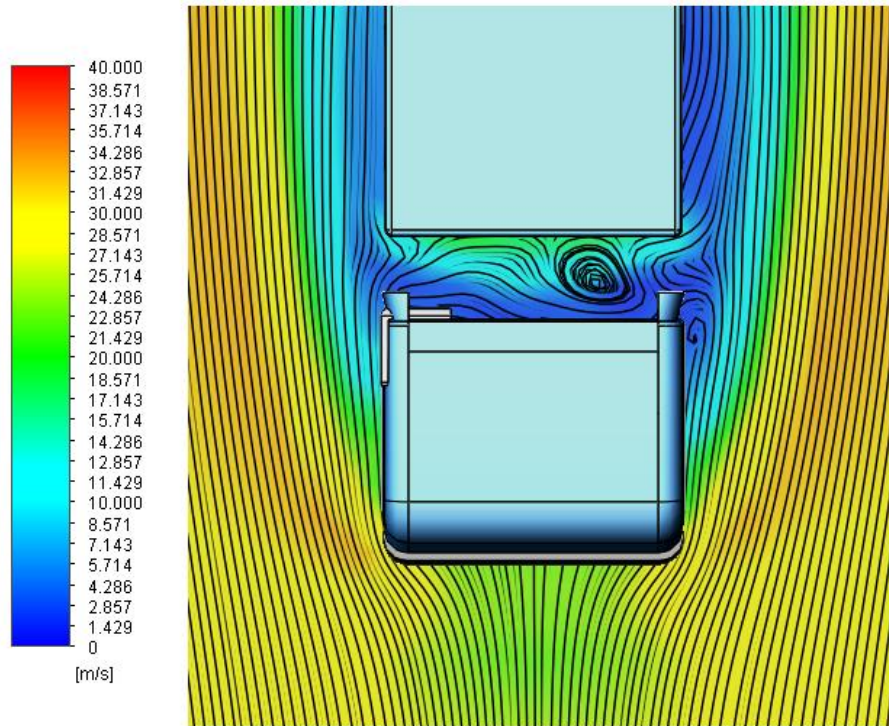


14 pav. Tyrinėjamo aptako kintamas geometrinis matmuo

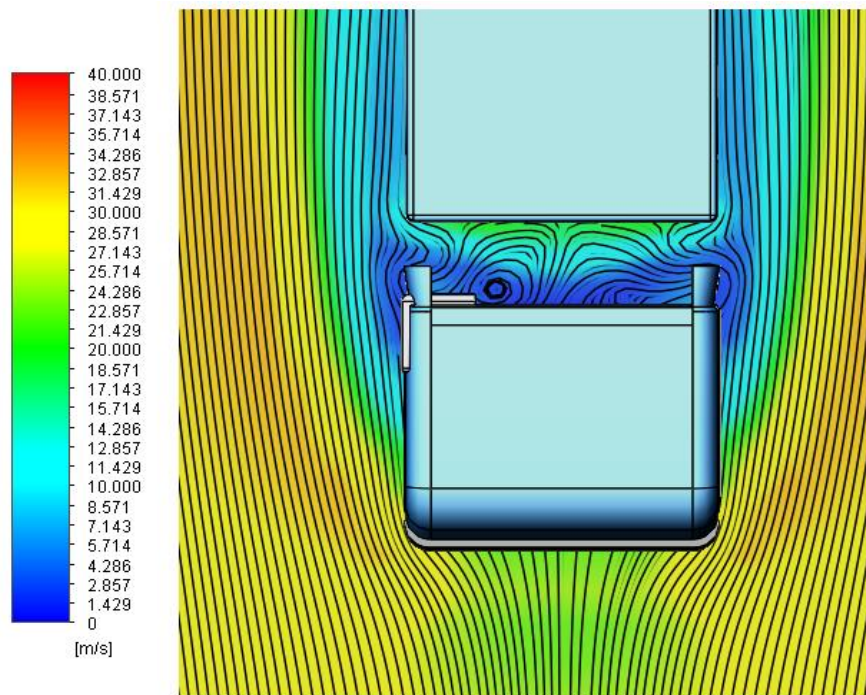
Nagrinėjamas vilkiko modelis su kintamu vilkiko ir puspriekabės tarpo šoniniu aptaku, tiriami 4 aerodinaminio įtaiso matmenys L : 0,45 m; 0,35 m; 0,25 m ir 0,15 m. Priimta, jog aerodinaminiai įtaisai turi netrukdyti sunkvežimio pagrindinėms funkcijoms, t.y. jog didžiausias šoninio aptako matmuo nekontaktuos su puspriekabe, kai transporto priemonė atliks posūkio manevrą.



15 pav. Oro srauto greičio kitimas aplink bazinį sunkvežimio modelį, kai oro srauto greitis yra 30m/s

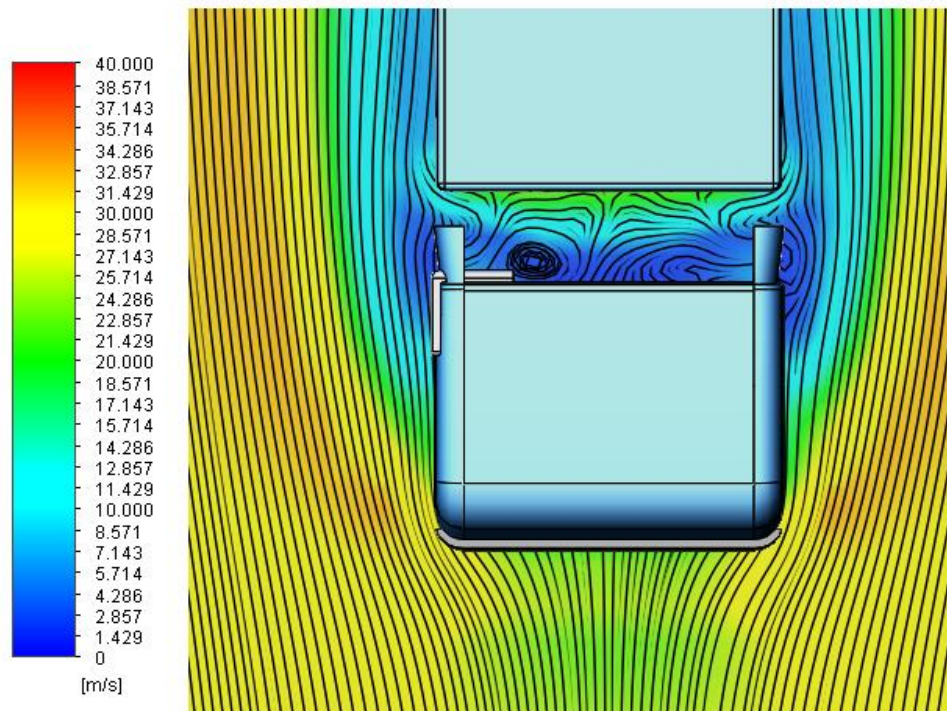


a

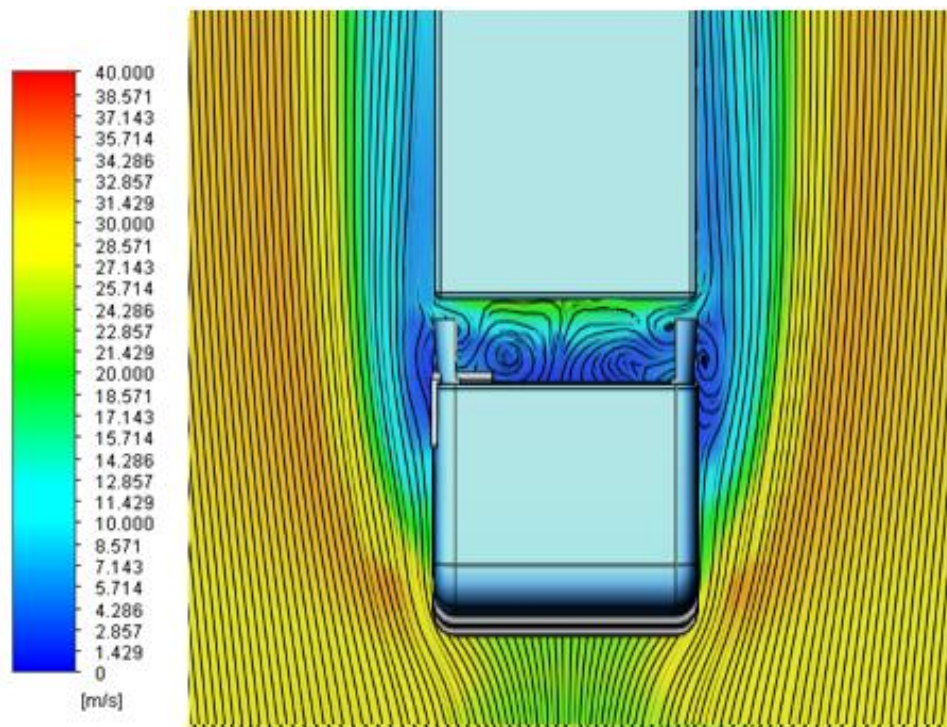


b

16 pav. Oro srauto greičio kitimas aplink modeliuojamą sunkvežimį su šoninio tarpo aerodinaminiu įtaisais, kai oro srauto greitis yra 30 m/s: a – 0,15m ilgio aptakumo elementas; b – 0,25 ilgio aptakumo elementas

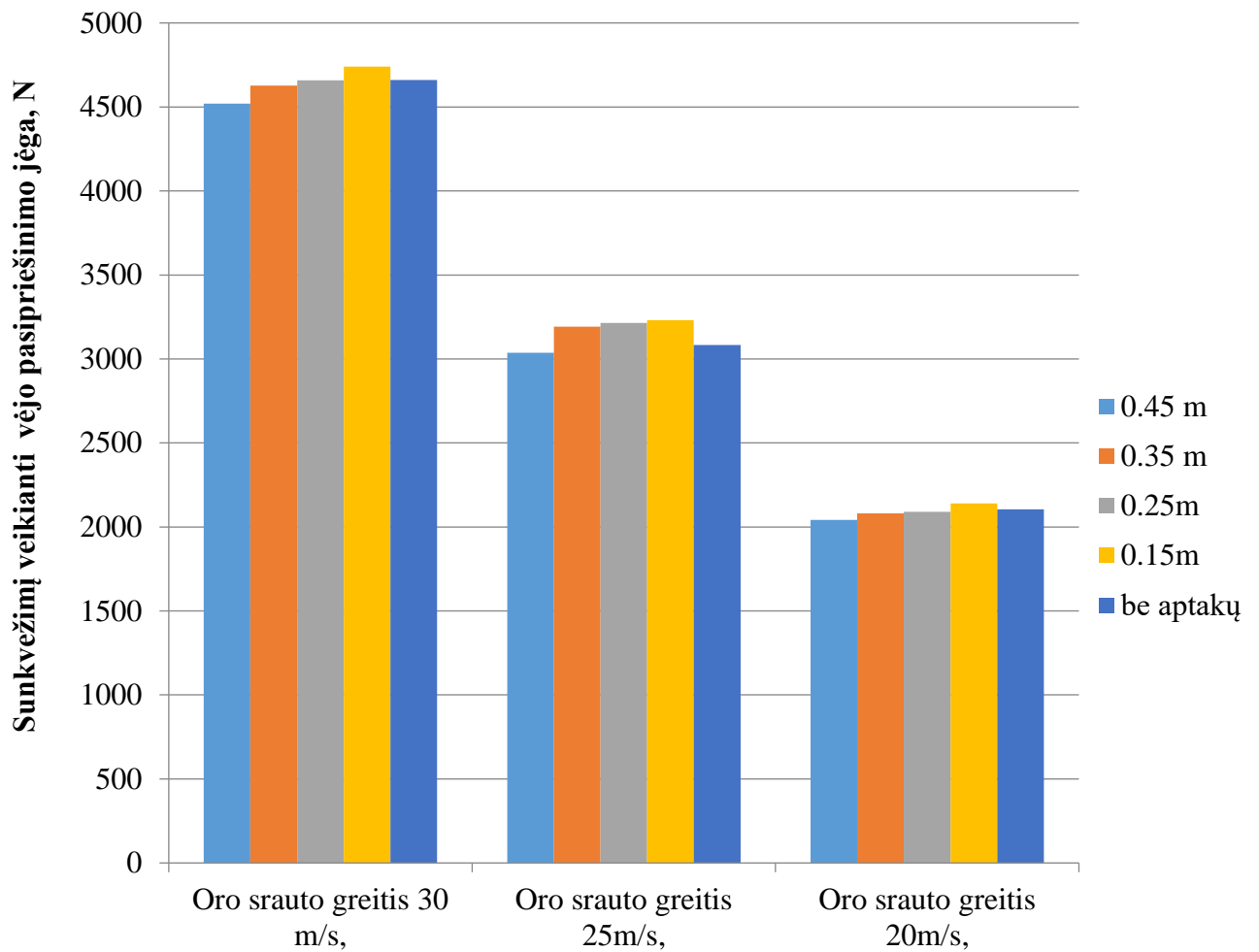


a



b

17 pav. Oro srauto greičio kitimo aplink modeliuojamą sunkvežimį su viršutinio aptakumo elementu rezultatai , kai oro srauto greitis yra 30 m/s: a – vilkikas su 0,35 m šoninio tarpo aptaku; b – vilkikas su 0,45 m šoninio tarpo aptaku



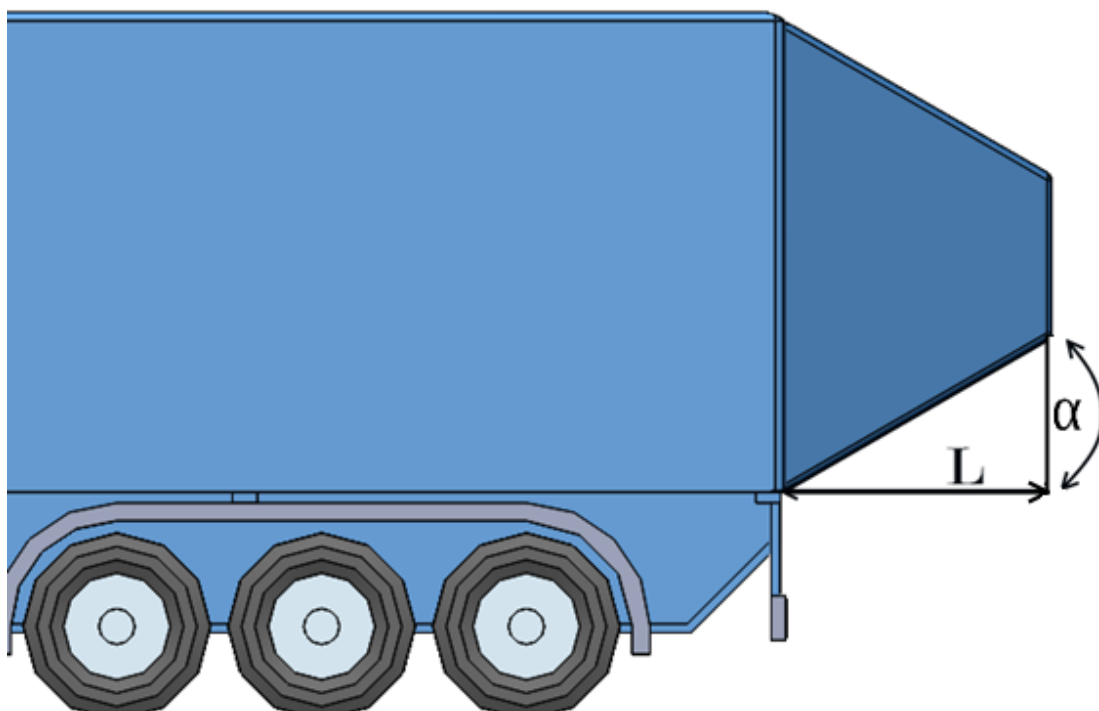
18 pav. Nagrinėjamo vilkiko stogo aptako aerodinaminės pasipriešinimo jėgos rezultatai

Analizuodami gautus oro srauto greičius (žr. 15, 16 ir 17 pav.), matome, kad pakitimai, padaryti nagrinėjamo aptako ilgiui, turi įtakos oro tėkmei, judančiai tarpe tarp vilkiko ir puspriekabės. Kuo pavaizduotose paveiksluose oro sūkuriai vaizduojami tankesni ir tamsesni, tuo oro turbulencija toje vietoje yra didesnė.

Išanalizavus gautus aerodinaminės pasipriešinimo jėgos rezultatus (žr. 18 pav.), matyti, jog papildomas aerodinaminis įtaisas, pateiktas 17b pav., pagerina sunkvežimio aerodinamines savybes 4%, lyginant su standartiniu Mercedes-Benz Actros vilkiku be aerodinaminių įtaisų (9a pav.).

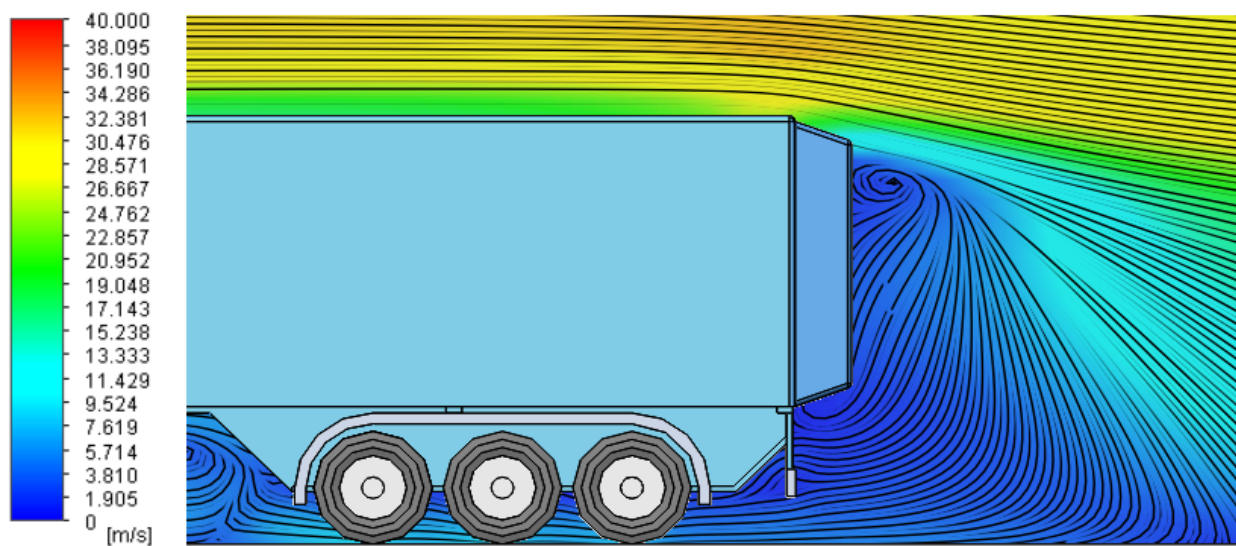
Kiti aerodinaminiai įtaisai parodė palaipsniui mažėjančius aerodinaminio pasipriešinimo rezultatus.

3.3.3. Puspriekabės galinio aptako aerodinaminis tyrimas

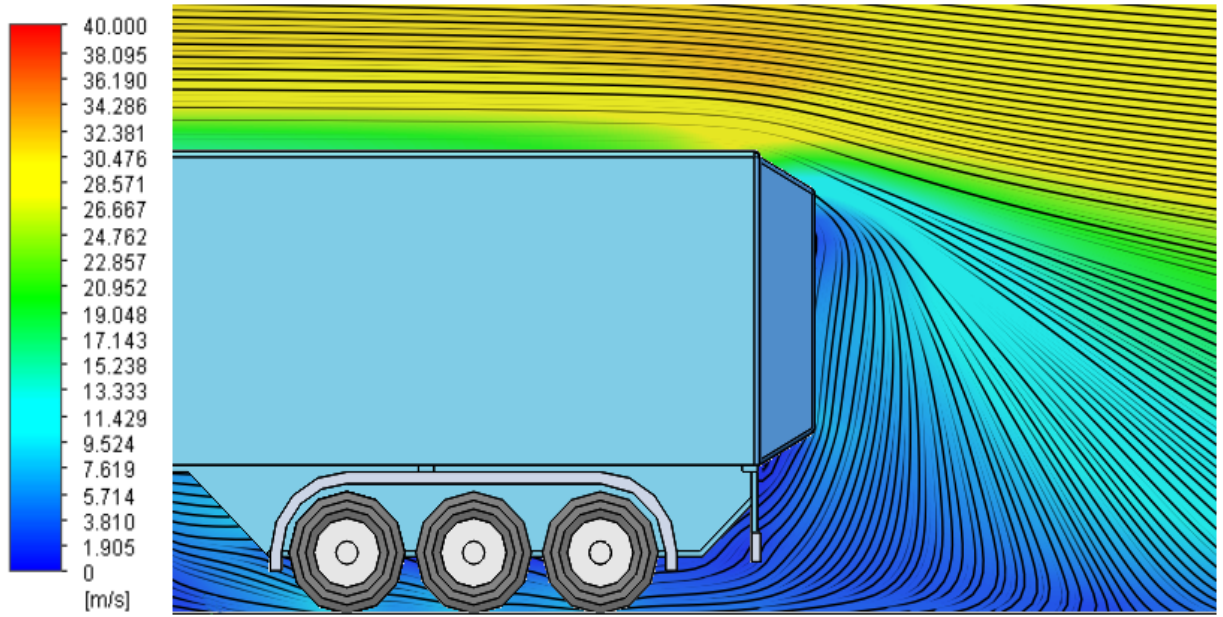


19 pav. Tyrinėjamo aptako kintamas geometrinis matmuo

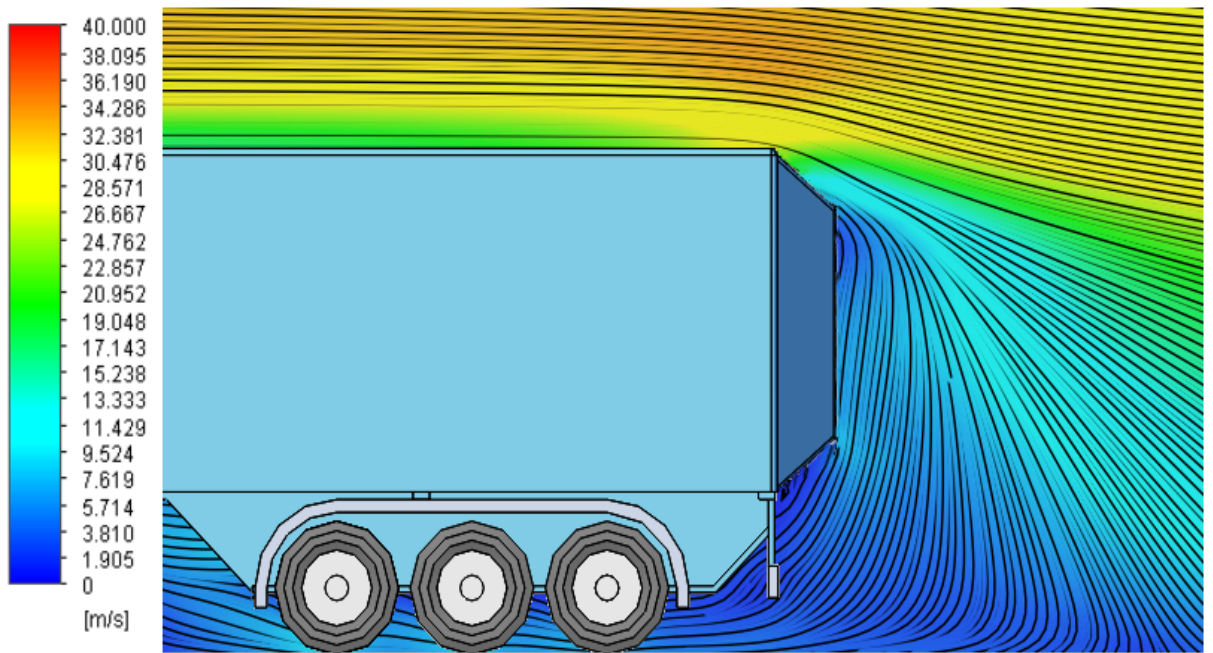
Nagrinėjamas puspriekabės modelis su kintamu galo aptaku, tiriami 3 aerodinaminio įtaiso matmenys L : 0,5 m; 1 m; 1,5 m. Laikoma, jog tyrimas bus vykdomas su 3 kintamais aerodinaminio įtaiso kampais α : 20°; 30°; 40°.



20 pav. Oro srauto greičio kitimas aplink modeliuojamą puspriekabės aptaką, kurio ilgis 0,5m, kampas 20°, kai oro srauto greitis yra 30 m/s

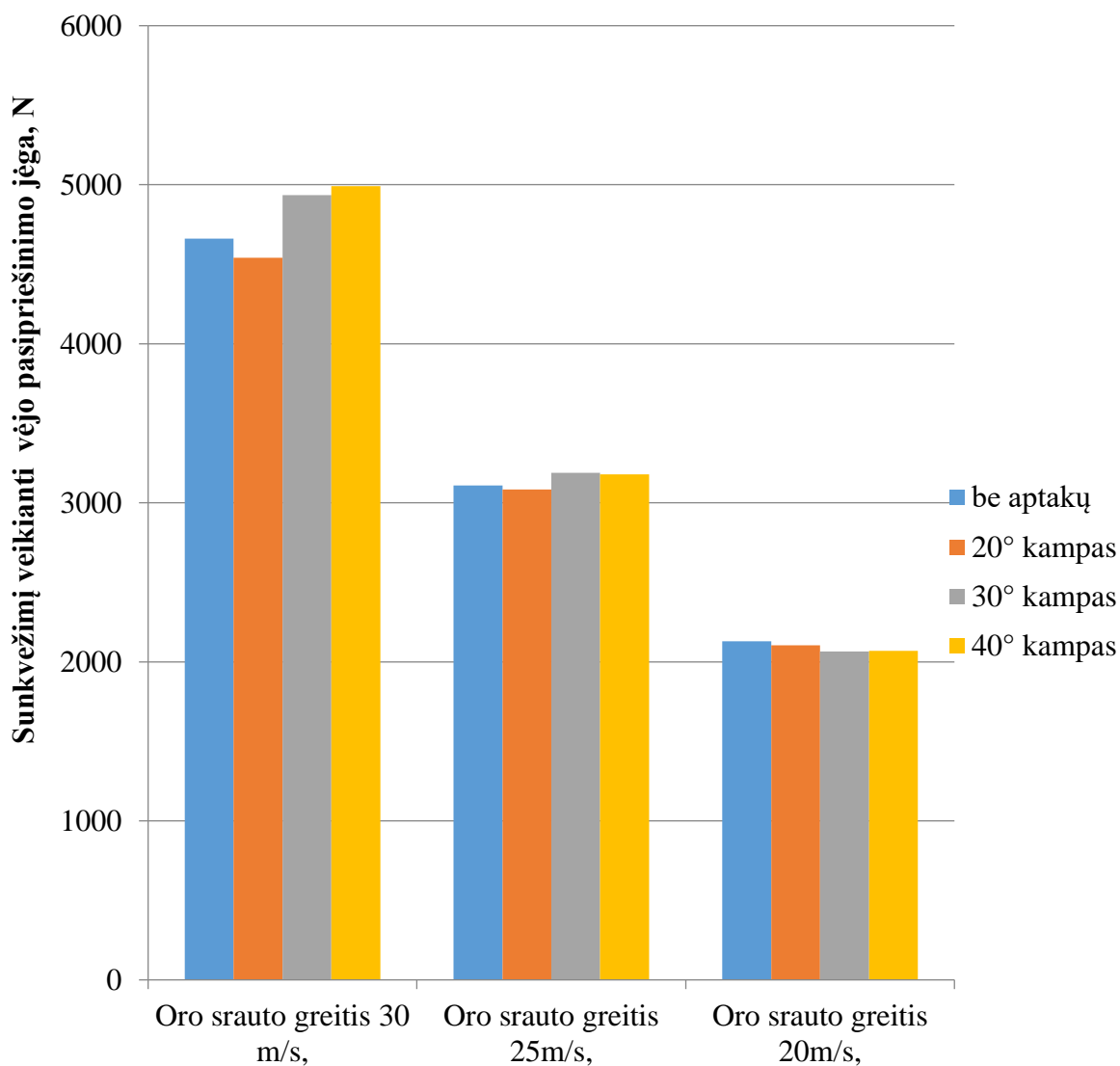


a



b

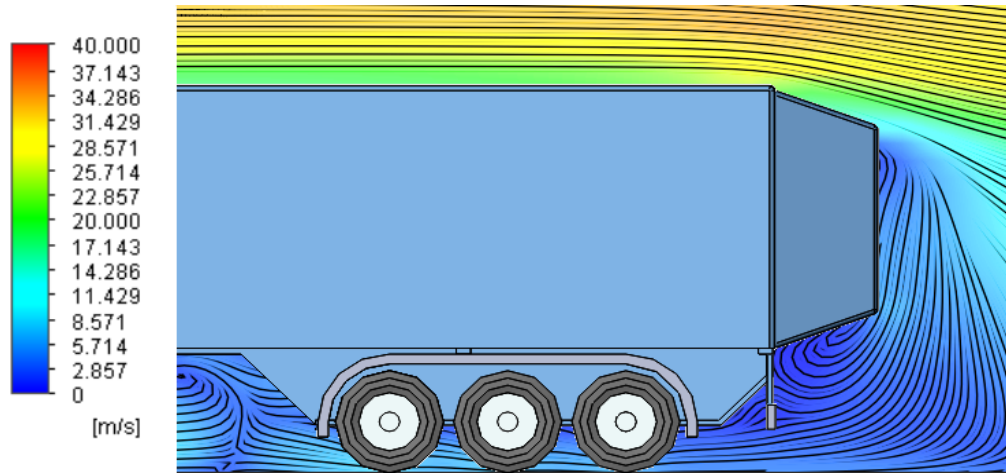
21 pav. Oro srauto greičio kitimas aplink modeliuojamą puspriekabės aptaką, kai oro srauto greitis yra 30 m/s: a – puspriekabė su aptaku 0,5m, kampas 30° aptaku ; b – puspriekabė su aptaku 0,5m, kampas 40°



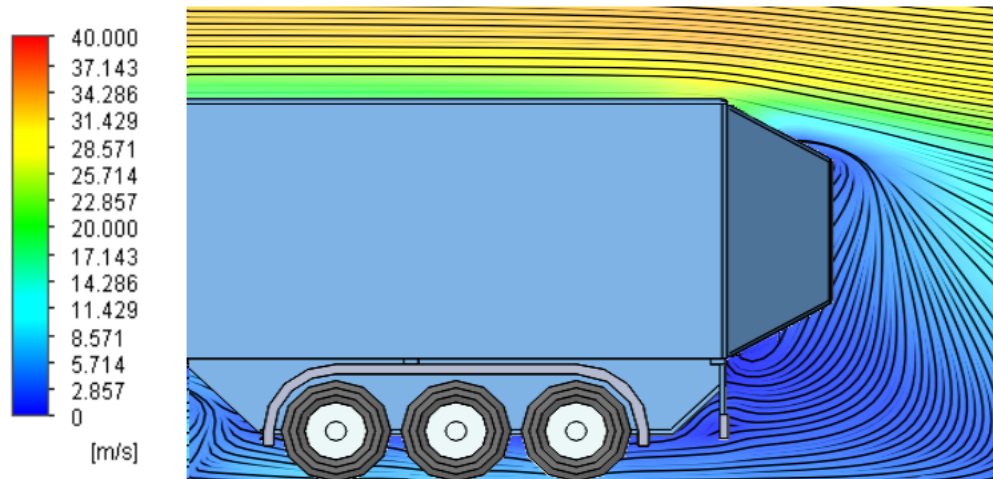
22 pav. Nagrinėjamo puspriekabės 0,5 galinio aptako aerodinaminės pasipriešinimo jėgos rezultatai

Analizuojant gautus oro srauto greičius (žr. 20,21 pav.), matoma, kad pakitimai, padaryti nagrinėjamo aptako kampui, turi įtakos oro tėkmei, judančiai po galiniu aptaku ir už puspriekabės galo, tai sukelia papildomą oro sukuriavimą, padidinantį oro pasipriešinimą. Nagrinėjant oro srauto aptekėjimą aplink puspriekabės galinį aptaką matyti jog 30° ir 40° kampų aptakai sukuria oro srautų turbulencija prie pat puspriekabės galinio aptak, o 20° sudaro oro sukūrį šiek tiek toliau nuo puspriekabės galo ir nukreipia didesnę dalį viršumi tekančio oro, nuo transporto priemonės.

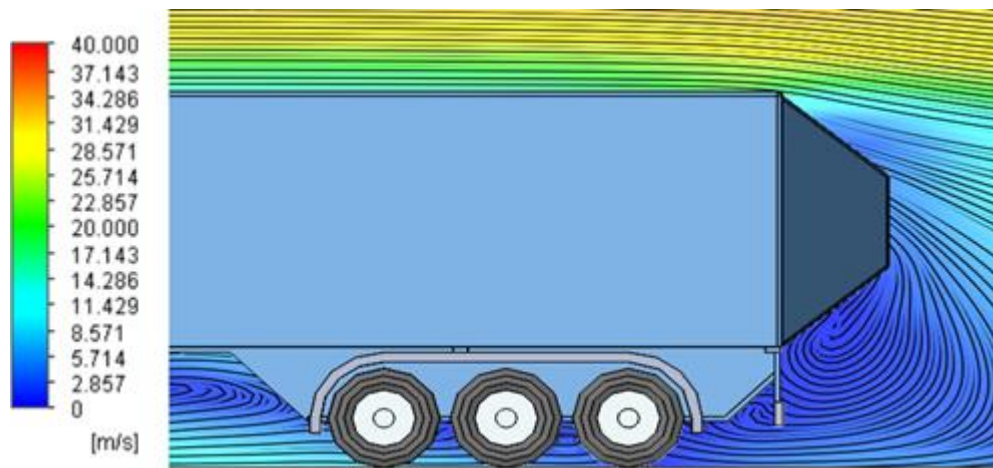
Išanalizavus gautus aerodinaminės pasipriešinimo jėgos rezultatus (žr. 22 pav.), matyti, jog papildomas aerodinaminis įtaisas, pateiktas 20 pav., pagerina sunkvežimio aerodinamines savybes 3%, lyginant su standartiniu Mercedes-Benz Actros vilkiku be aerodinaminių įtaisų (9a pav.).



a

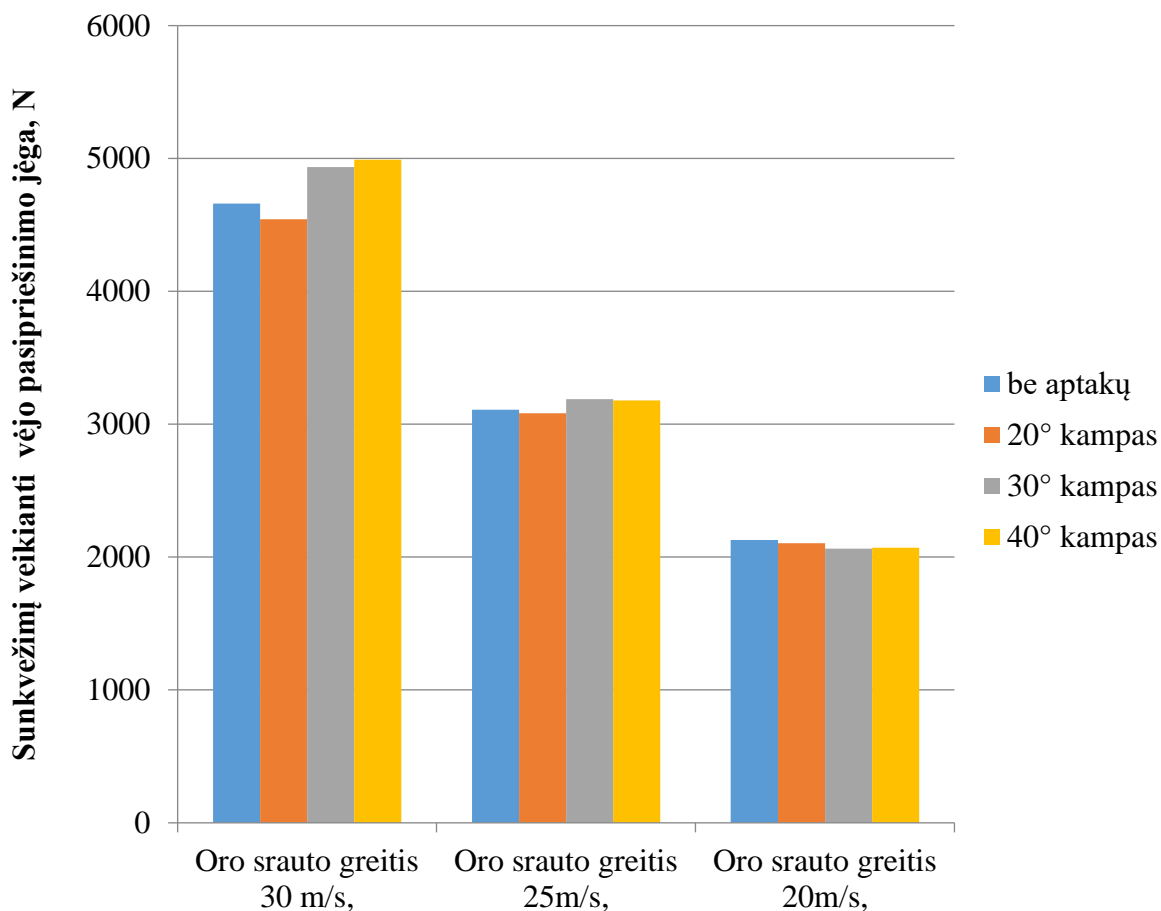


b



c

23 pav. Oro srauto greičio kitimas aplink modeliuojamą puspriekabės aptaką, kai oro srauto greitis yra 30 m/s: a – puspriekabė su 1m ilgio ir 20° kampo aptaku; b – puspriekabė su 1m ilgio ir 30° kampo aptaku; c – puspriekabė su 1m ilgio ir 40° kampo aptaku

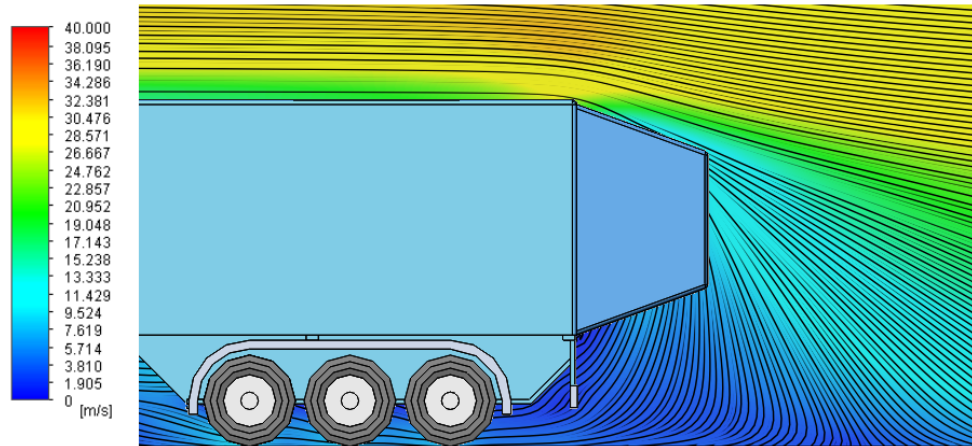


24 pav. Nagrinėjamo puspriekabės 1m galinio aptako aerodinaminės pasipriešinimo jėgos rezultatai

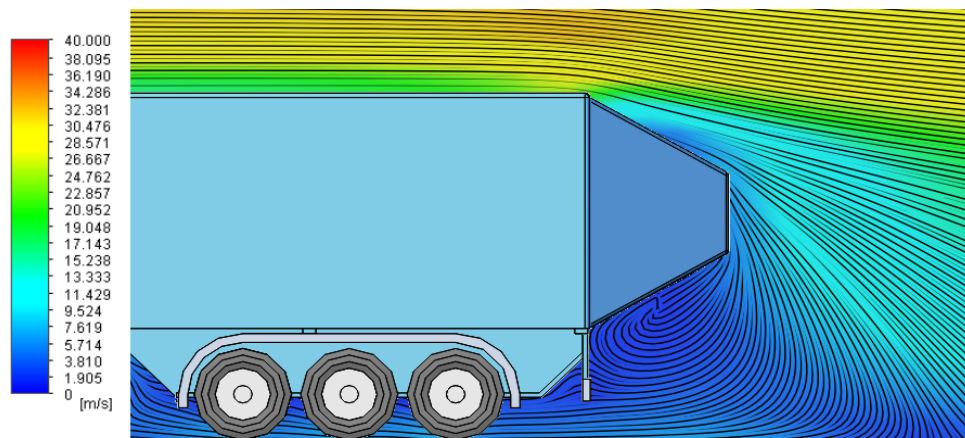
Anilizuojami aerodinaminiai aptakai pateikti (žr. 23 pav.), nuo prieštai panaudotų aptakų (žr. 21,22 pav.) skiriasi savo ilgiu, kuris yra 0,5m ilgesni, tačiau iš aerodinaminių pasipriešinimo jėgų grafikų (žr. 22,24 pav.), matyti jog šiuoatvėju ,aptakų ilgis aerodinaminio pasipriešinimo jėgai didelės įtakos neturėjo.

Analizuojant gautus oro srauto greičius (žr. 23 pav.), matoma, kad pakitimai, padaryti nagrinėjamo aptako kampui ir ilgiui, turi įtakos oro tėkmei, judančiai po galiniu aptaku, pateiktuose paveiksluose matomas sukurių formavimasis po apatine aptako dalimi. Iš nagrinėjamų trijų aptakų tipų matome jog puspriekabės su 1 m ilgio ir 40° kampo aptaku (žr. 23c pav.), sudaro didžiulį oro srauto sukurių po aptaku, nes oras keliaujantis nuo transporto priemonės viršaus nukreipiamas į apačią kur maišosi su oru keliaujančiu po transporto priemonės apačia.

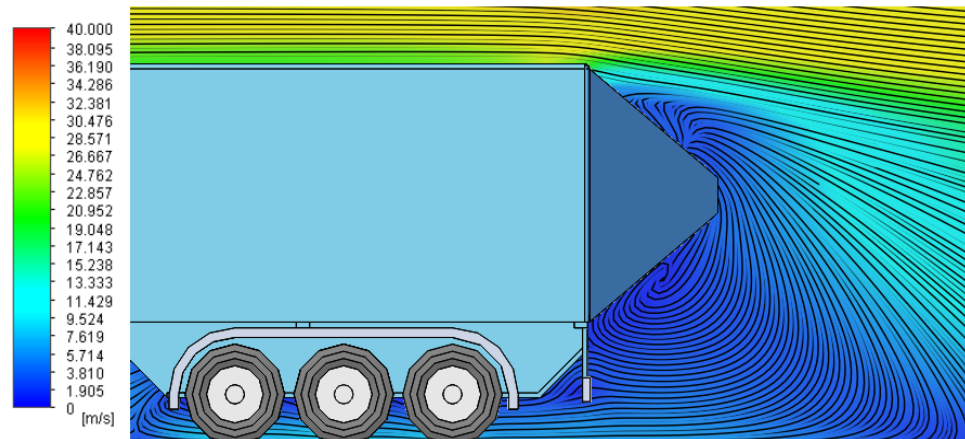
Išanalizavus gautus aerodinaminės pasipriešinimo jėgos rezultatus (žr. 24 pav.), matyti, jog papildomas aerodinaminis įtaisas, pateiktas 23a pav., minimaliai pagerina sunkvežimio aerodinamines savybes, tačiau kiti du aptakai sukelia didesnę aerodinaminę pasipriešinimą negu bazinis modelis be aerodinaminio aptako.



a

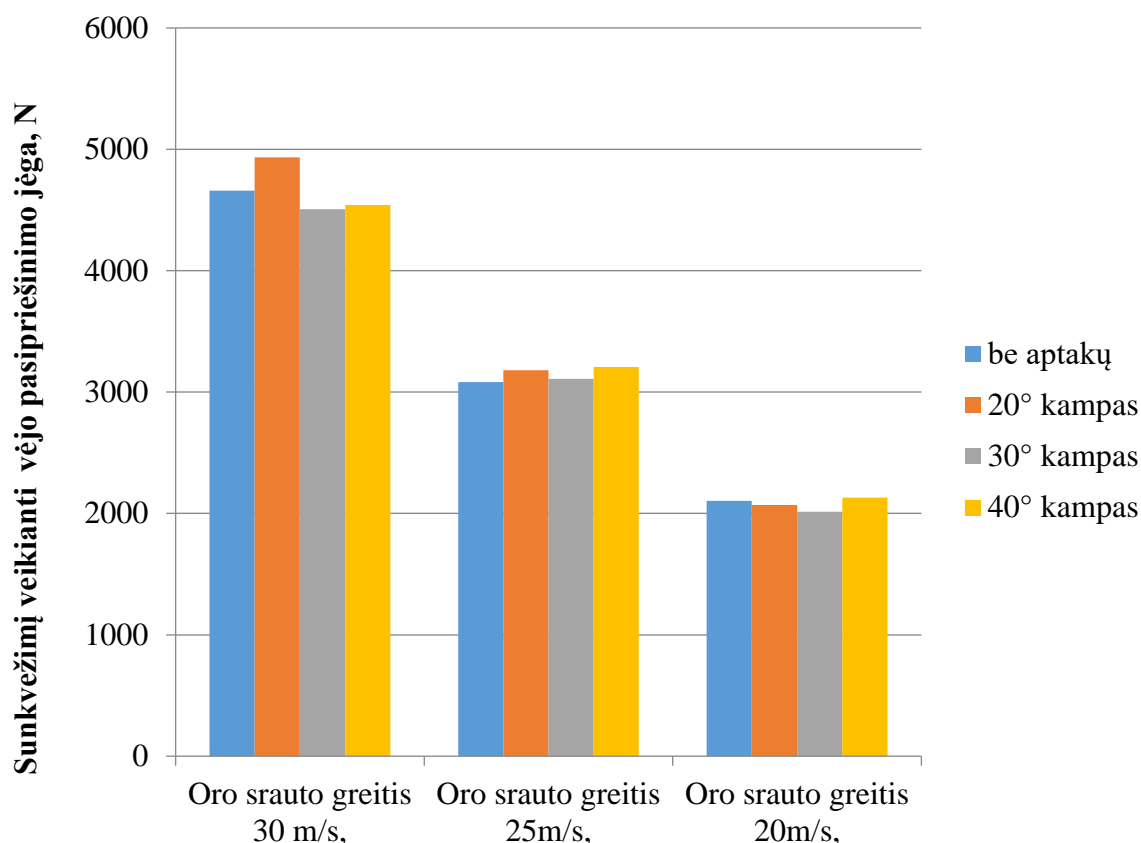


b



c

25 pav. Oro srauto greičio kitimas aplink modeliuojamą puspriekabės aptaką, kai oro srauto greitis yra 30 m/s: : a – puspriekabė su 1,5m ilgio ir 20° kampo aptaku ; b – puspriekabė su 1,5m ilgio ir 30° kampo aptaku ; c– puspriekabė su 1,5m ilgio ir 40° kampo aptaku



26 pav. Nagrinėjamo puspriekabės 1,5m galinio aptako aerodinaminės pasipriešinimo jėgos rezultatai.

Nagrinėjant gautus aerodinaminių pasipriešinimo jėgų rezultatus pateiktus (žr. 22,24,26 pav.), matyti jog aerodinaminiai aptakai (žr. 25 pav.), turėjo kitokius aerodinaminio pasipriešinimo jėgos rezultatus, nei prieštai tirtų trumpesnių matmenų aptakai, t.y., šiuo atveju aptakas su 30° kampu turi geriausia aerodinaminio pasipriešinimo rezultatus.

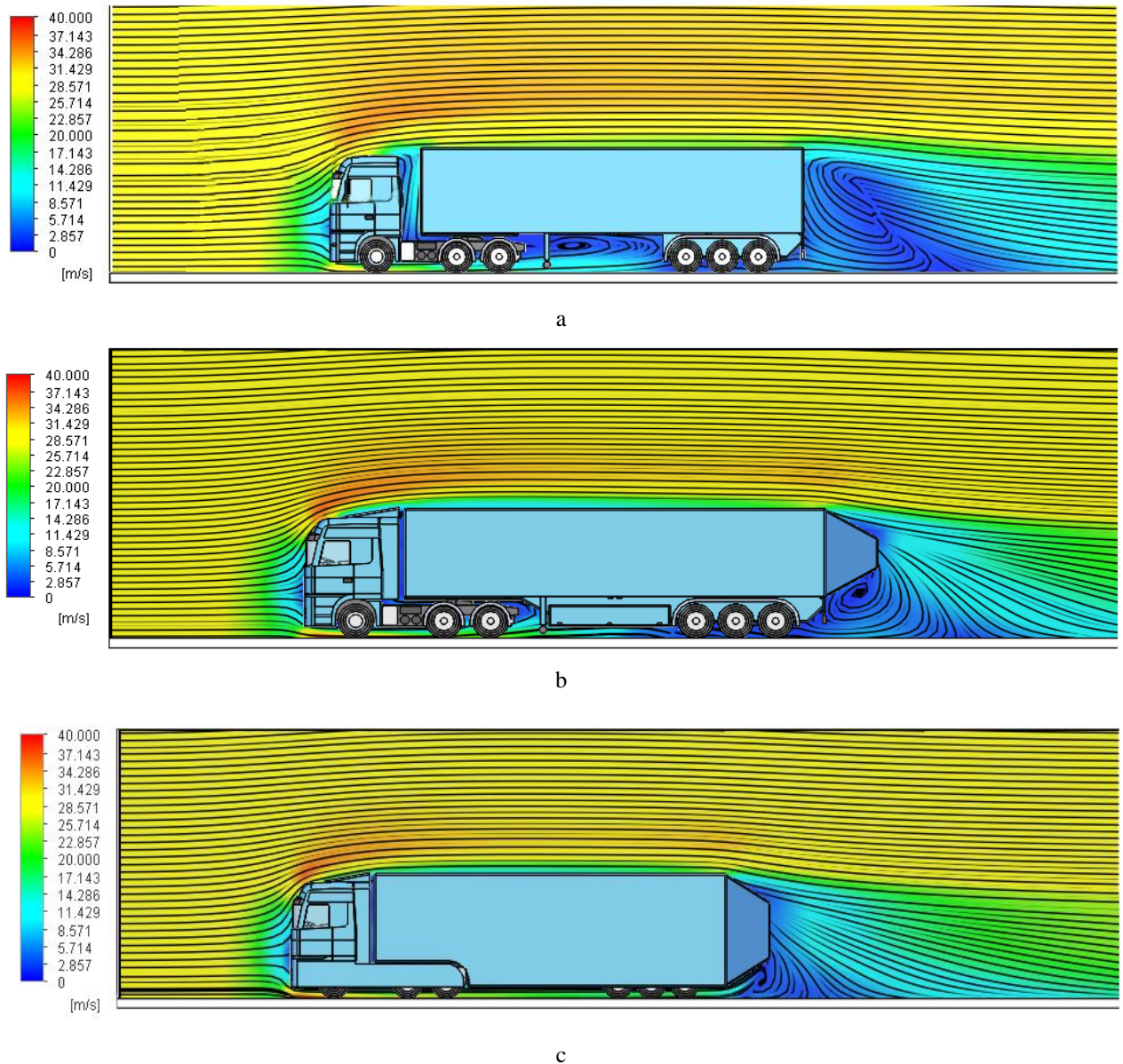
Išanalizavus gautus aerodinaminės pasipriešinimo jėgos rezultatus (žr. 26 pav.), matyti, jog papildomas aerodinaminis įtaisas, pateiktas 25b pav., 5% pagerina sunkvežimio aerodinamines savybes, tačiau kiti du aptakai sukelia didesnę aerodinaminę pasipriešinimą negu bazinis modelis be aerodinaminio aptako.

Analizuojant gautus oro srauto greičius (žr. 25 pav.), matoma, kad pakitimai, padaryti nagrinėjamo aptako kampui ir ilgiui, turi įtakos oro tėkmei, judančiai po galiniu aptaku, pateiktuose paveiksluose matomas sūkurių formavimasis po apatine aptako dalimi. Iš pateiktų trijų variantų matoma jog paskutinis puspriekabės su 1.5 metro ilgio ir 40° kampo aptako (žr. 25c pav.), turi prasčiausius rezultatus, kadangi perdidelis kampo nuožulnumas leidžia formuotis oro srauto sūkuriams virš aptako ir po juo.

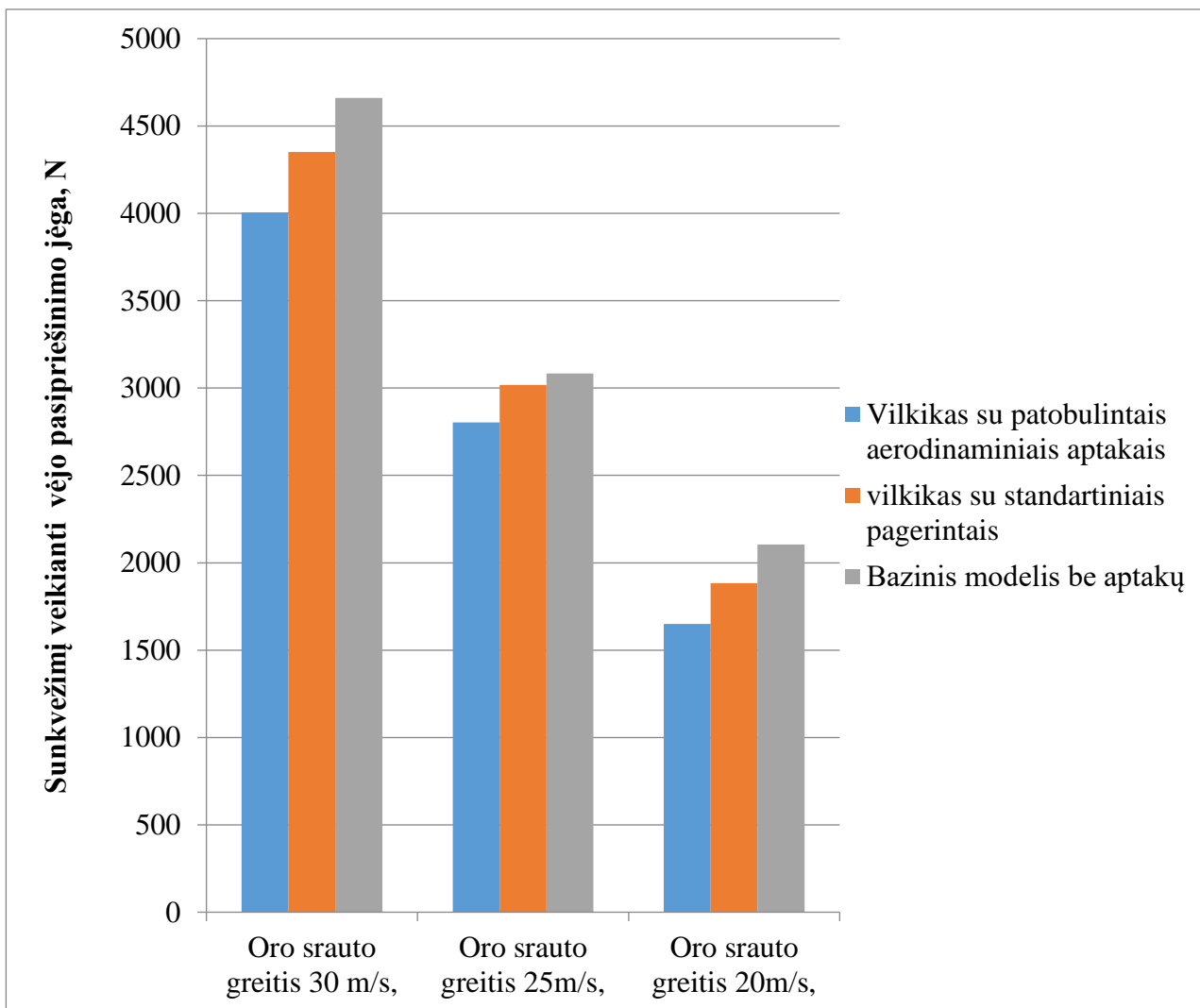
Taip pat autotraukinio su tokio tipo aptaku bendras ilgis yra 16.5 m, tai yra 0.5 daugiau negu leidžia Europos Sąjungos nustatytos krovinių vežimo normatyvos.

3.4. Vilkiko modelio su skirtingomis aptakų konfigūracijomis aerodinaminis tyrimas

Ištyrus atskirų detalių aerodinamines savybes, panaudojami visi trys aptakai su geriausiais aerodinaminio pasipriešinimo rezultatais ant dviejų modelių su skirtingais greičiais, esant priešpriešiniam oro srautui.



27 pav. Oro srauto greičio kitimas aplink modeliuojamus vilkikų modelius, kai oro srauto greitis yra 30 m/s: a – vilkikas be aerodinaminių patobulinimų; b – vilkikas su standartiniais aerodinaminiais patobulinimais ir puspriekabės galo aptaku; c – vilkikas su papildomais aerodinaminiais patobulinimais



28 pav. Nagrinėjamų modelių aerodinaminės pasipriešinimo jėgos rezultatai

Ištyrus tris sunkvežimių modelius su skirtingais aerodinaminiais aptakų modeliais gauta, jog bazinis vilkiko modelis, veikiamas oro srauto, kurio greitis 30 m/s, turės 0,90 aerodinaminio pasipriešinimo koeficientą, tokiomis pačiomis sąlygomis vilkikas su standartiniais pagerintais aptakais turės 0,83 koeficientą, o vilkikas su patobulintais aerodinaminiais aptakais – 0,74 aerodinaminio pasipriešinimo koeficientą. Galima teigti, jog vilkiko su patobulintais aerodinaminiais aptakais aerodinaminės savybės pagerėjo 18%, o vilkiko modelio su standartiniais pagerintais aerodinaminiais aptakais 9%, lyginant su baziniu vilkiko modeliu.

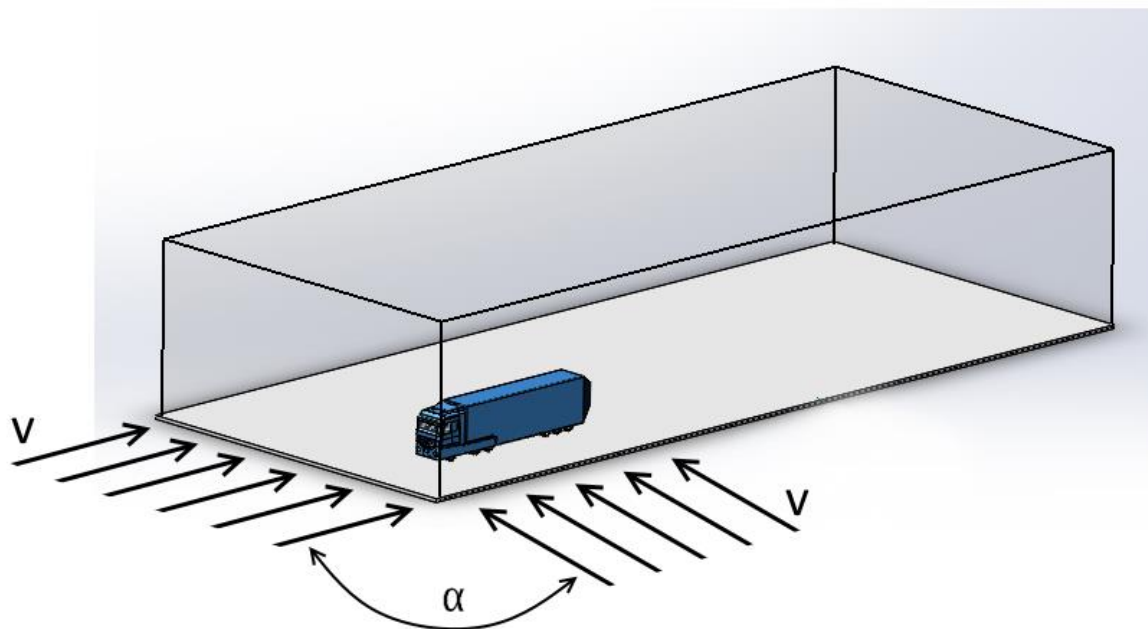
3.5. Šoninio oro srauto įtaka vilkiko aerodinaminiam paipriešinimui

Kai šoninis vėjas pučia įstrižai per vilkiką, jis sukelia ne tik papildomas oro srautų turbulencijas aplink vilkiką, bet ir aukšto bei žemo slėgio zonas, dėl kurių atsiranda papildomos keliamosios jėgos, o transporto sąstatas gali tapti sunkiau valdomas arba tiesiog apverstas.

Siekdami išvengti tokių padarinių, krovininių transporto priemonių gamintojai gamina aptakesnesnius sunkvežimius su plačiais šoniniais sparnais, kurie uždengia didžiąją dalį puspriekabės apačios ir sumažina aerodinaminį pasipriešinimo koeficientą.

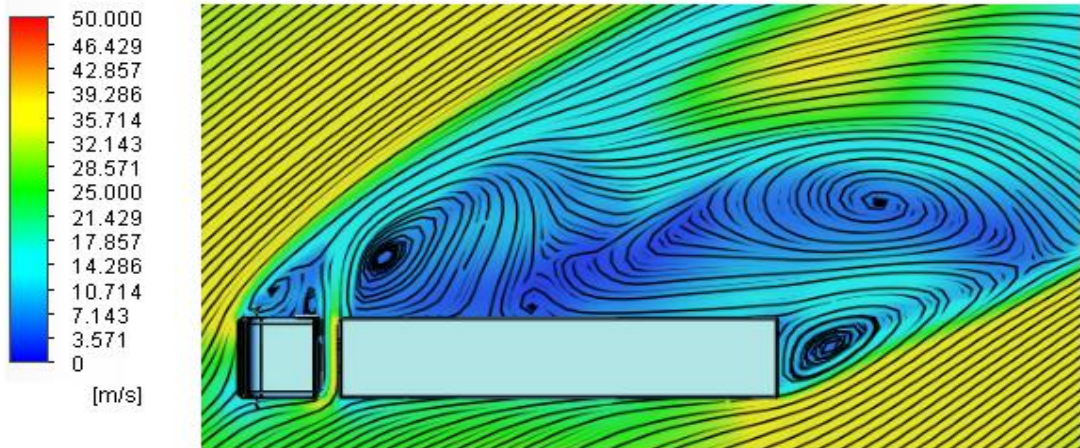
3.5.1. Tyriamosios erdvės nustatymas

Oro srauto apie sunkvežimį modeliavimo erdvės ilgis yra 70 m, plotis – 30 m, o aukštis – 15 m (žr. 29 pav.). Tyrimo erdvei nustatyti taikytas toks pats eksperimentinis metodas kaip ir priešpriešiniam vėjui, tik šiuo atveju buvo eksperimentuojama su 40° kampu į šoną nukreiptu oro srautu.

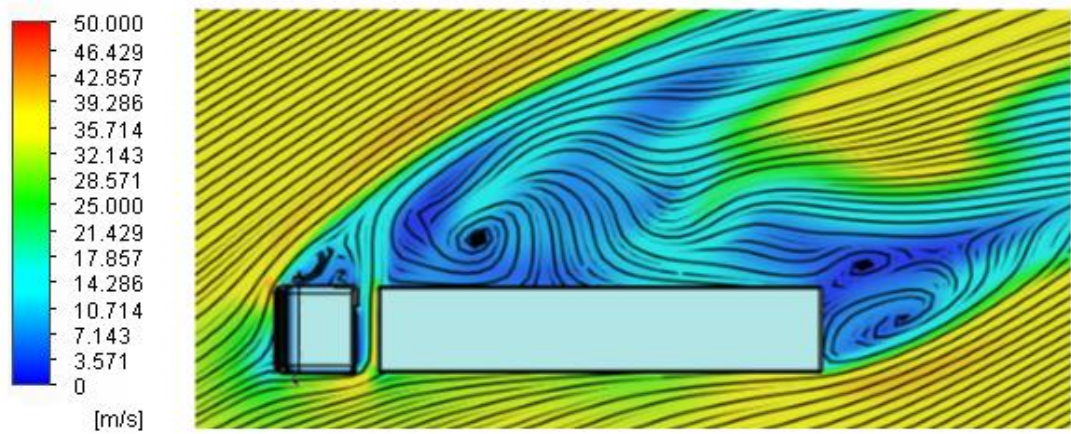


29 pav. Modeliavimo erdvė su vėjo srauto kryptimis

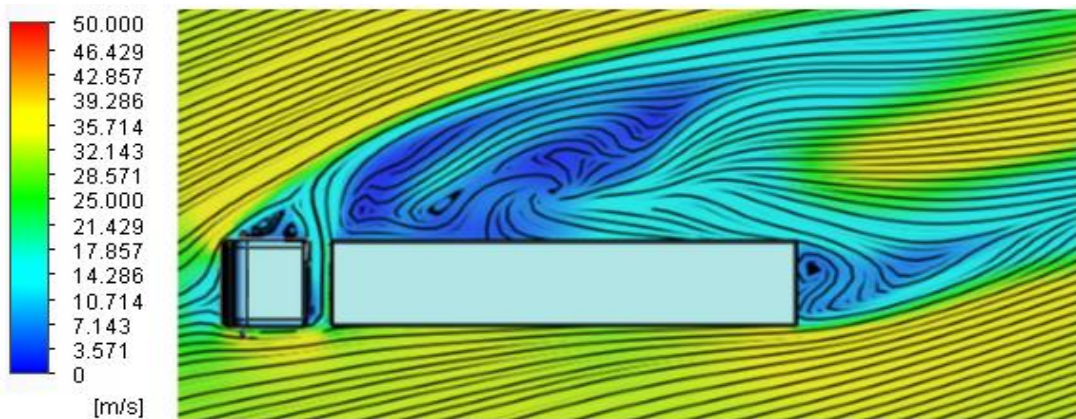
3.5.2. Bazinis tyrimas su vilkiku be aptakų



a

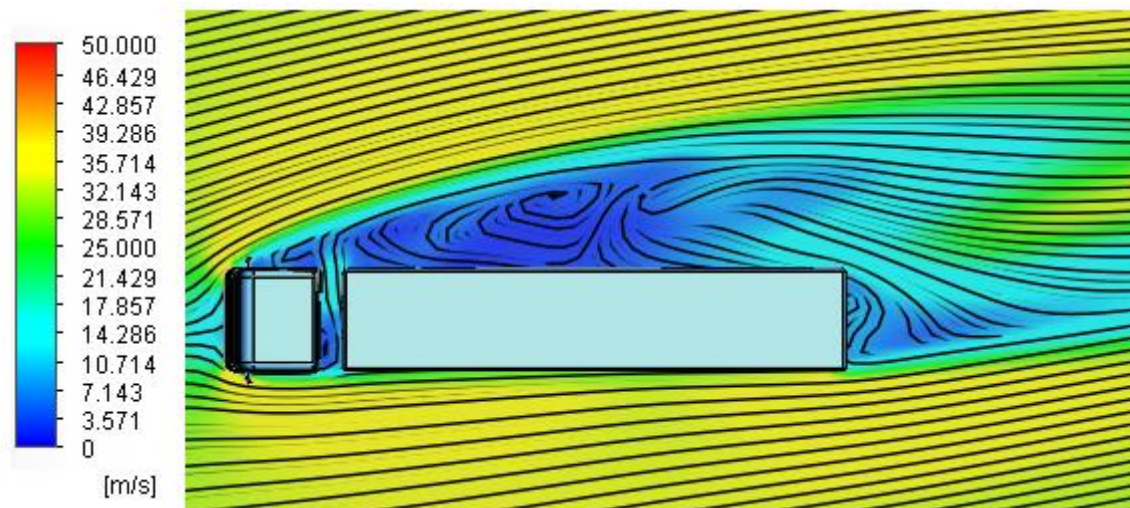


b

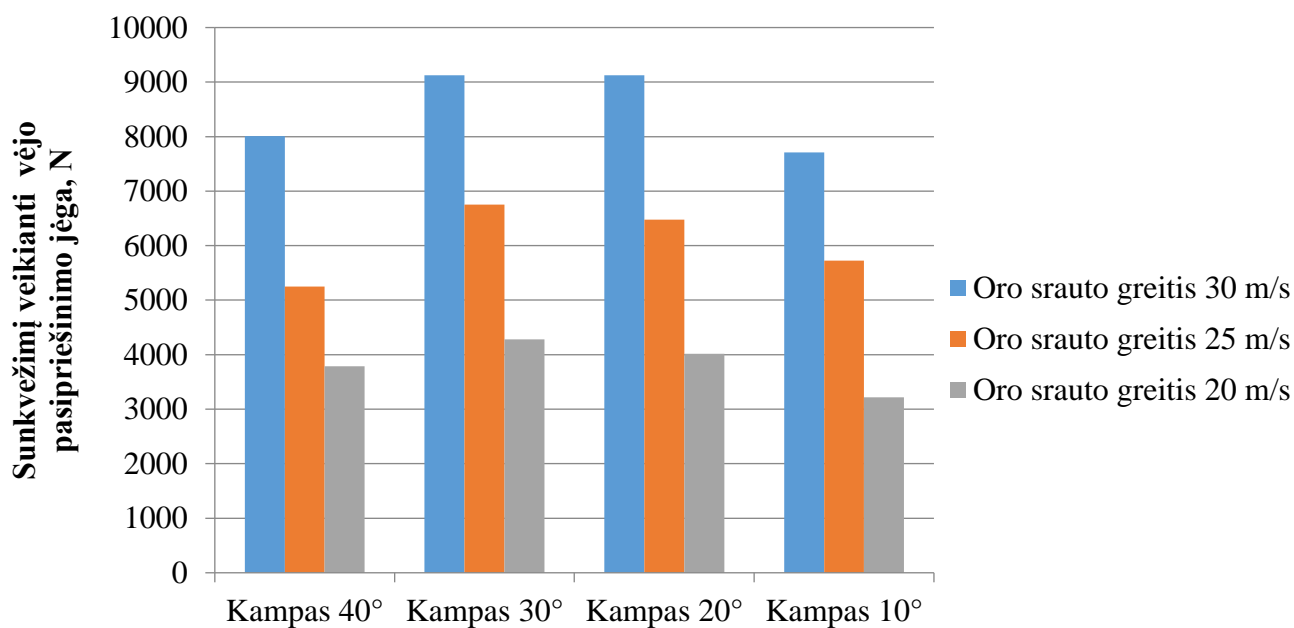


c

30 pav. Šoninio oro srauto greičio kitimas aplink modeliuojamą bazinį vilkiko modelį, kai oro srauto greitis yra 30 m/s: b – srauto kampas 40°; c – srauto kampas 30°; srauto kampas 20°



31 pav. Šoninio oro srauto greičio kitimas aplink modeliuojamą bazinį vilkiko modelį, kai oro srauto greitis yra 30 m/s, srauto kampas 10°

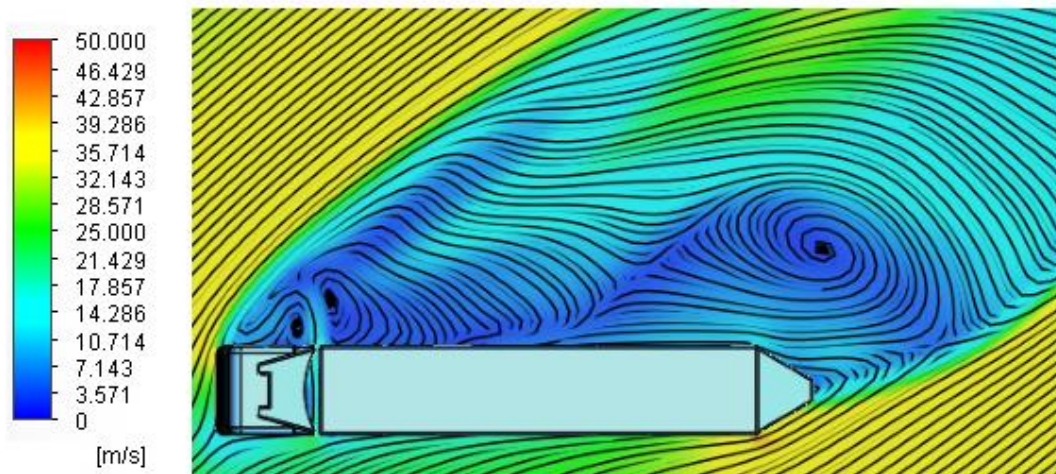


32 pav. Nagrinėjamų modelių aerodinaminės pasipriešinimo jėgos rezultatai

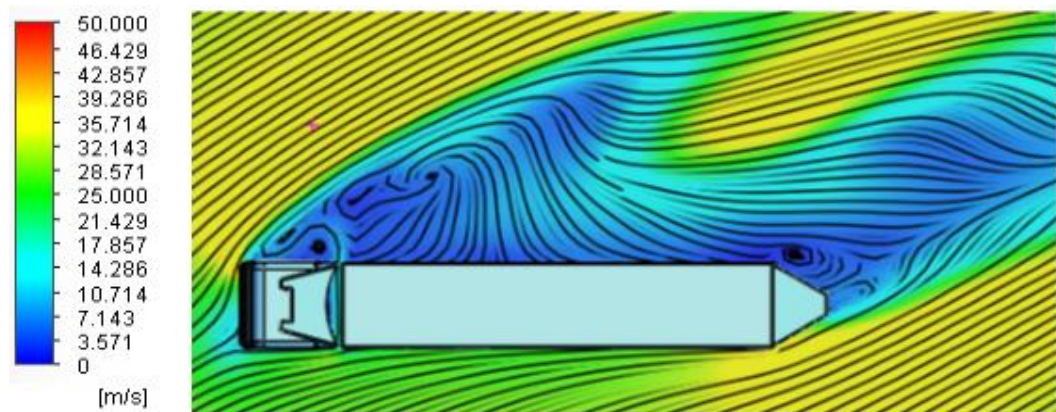
Analizuodami gautus oro srauto greičius (žr. 32 pav.), matome, kad didelis kiekis sūkurių susidaro už vilkiko ir puspriekabės tarpo kur nėra aptako.

Išanalizavus gautus aerodinaminės pasipriešinimo jėgos rezultatus (žr. 34 pav.) matyti, jog didžiausias aerodinaminis pasipriešinimas kyla tarp 30° ir 20° kampų, kai oro srautas laisviau prateka pro puspriekabės ir vilkiko tarpo aptaką ir sudaro oro srauto sūkurius kitoje transporto priemonės pusėje.

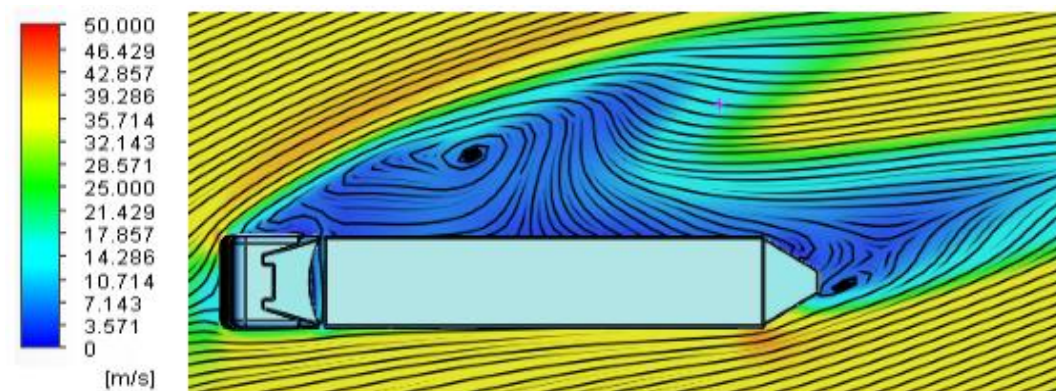
3.5.3. Vilkiko tyrimas su pagerintais aerodinaminiais aptakais



a

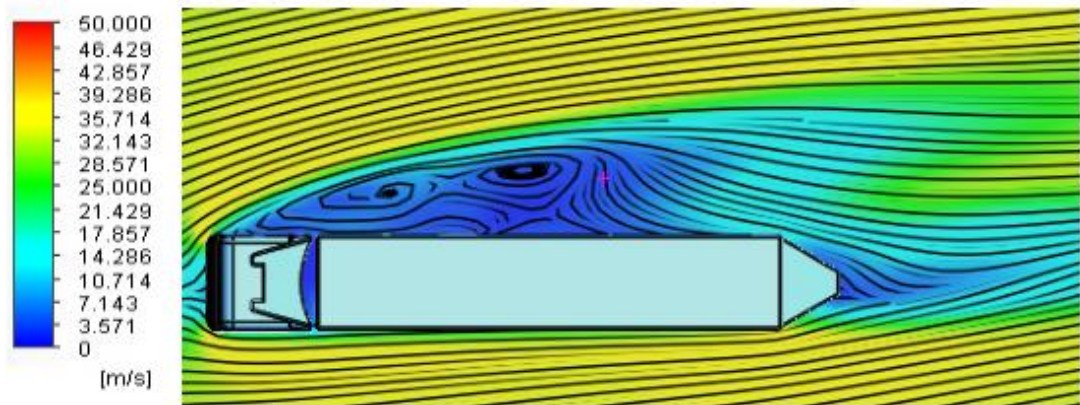


b

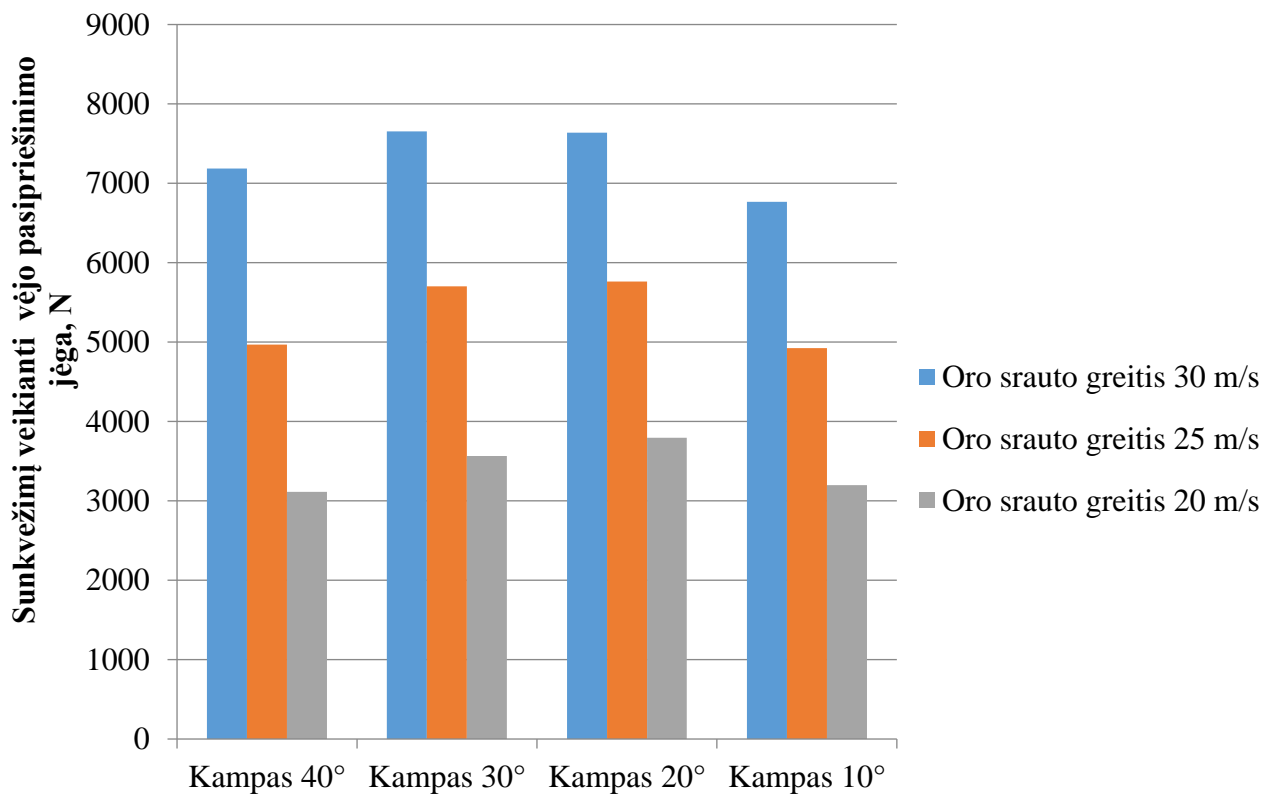


c

33 pav. Šoninio oro srauto greičio kitimas aplink modeliuojamą vilkiko modelį su pagerintais aptakais, kai oro srauto greitis yra 30 m/s: a – srauto kampas 40°; b – srauto kampas 30°; c – srauto kampas 20°



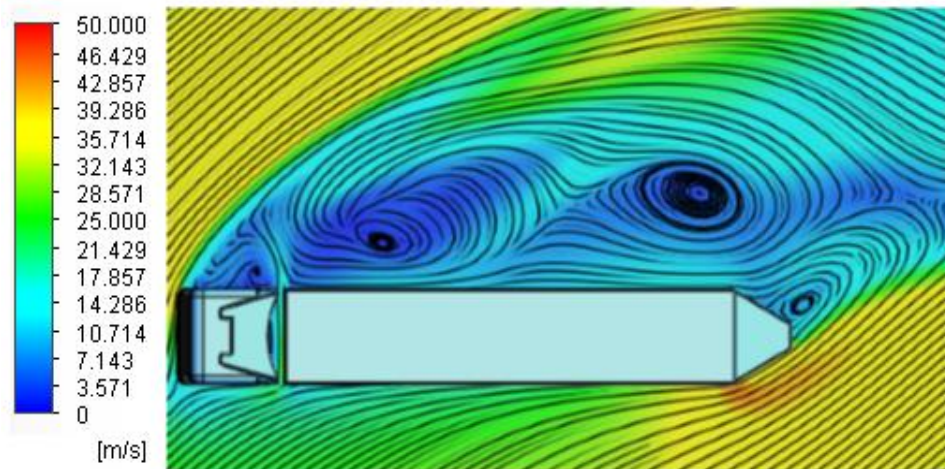
34 pav. Šoninio oro srauto greičio kitimas aplink modeliuojamą vilkiko modelį su pagerintais aptakais, kai oro srauto greitis yra 30 m/s, o srauto kampas 10°



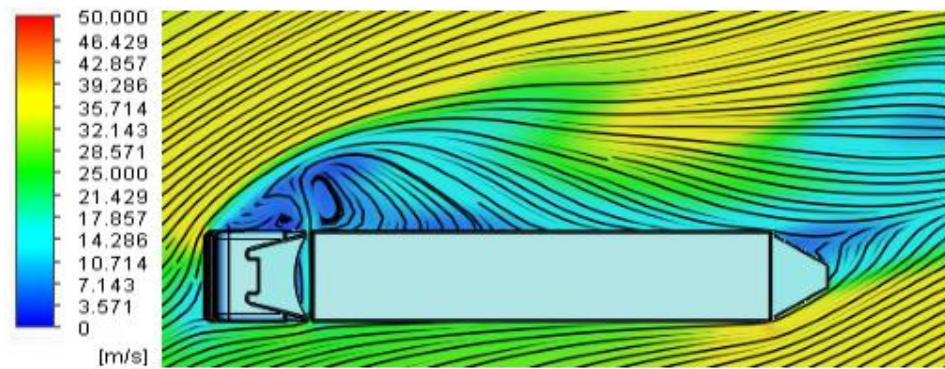
35 pav. Nagrinėjamų modelių aerodinaminės pasipriešinimo jėgos rezultatai

Analizuodami gautus oro srauto greičius (žr. 35,36 pav.), matome, kad pakitimai, padaryti nagrinėjamam modeliui, turi įtakos oro tėkmei, judančiai per vilkiką. Vilkiko ir puspriekabės tarpo, ir puspriekabės galo aptakai sumažinio oro turbulencijos kiekį, o išanalizavus aerodinaminis pasipriešinimo rezultatus matyti, aerodinaminis jėgų sumažėjimas (vietomis iki 18% aerodinaminio pasipriešinimo sumažėjimas), per visus bandymų rezultatus, žvelgiant į srautų greičių kitimus taipogi matomas sukuriavimų sumažėjimas.

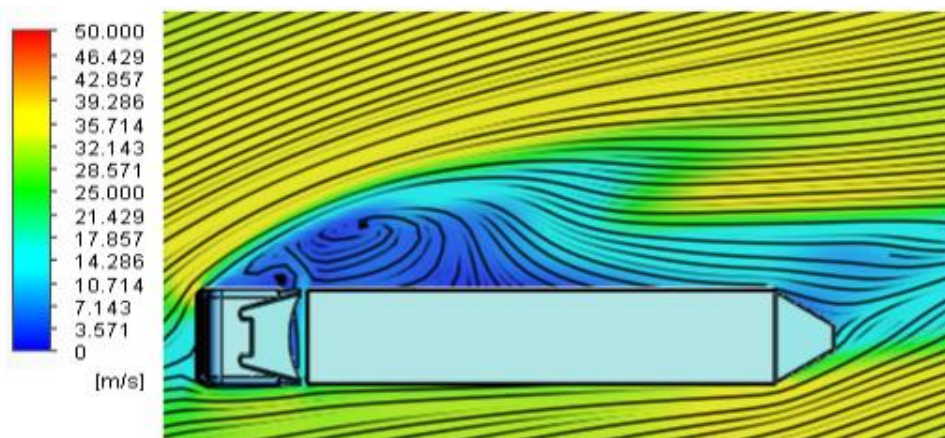
3.5.4. Vilkiko tyrimas su papildomais aerodinaminiais aptakais



a

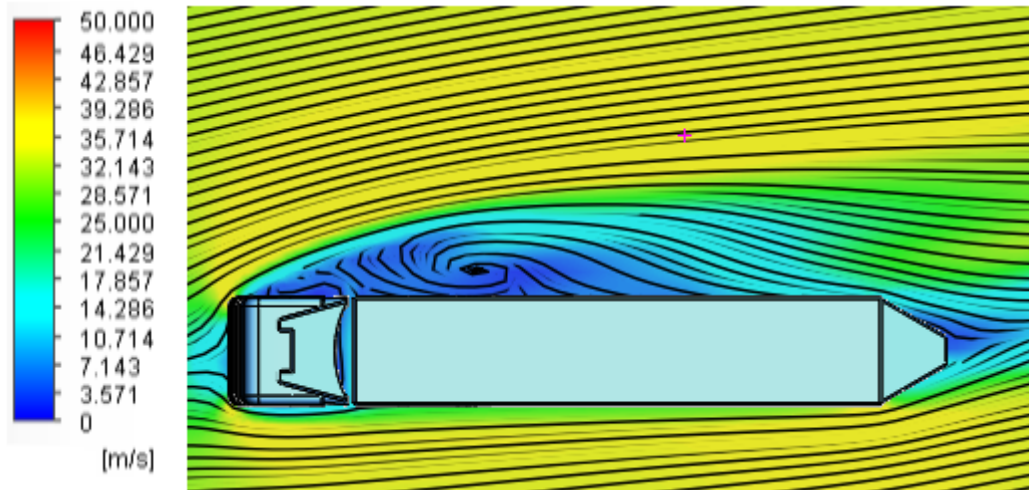


b

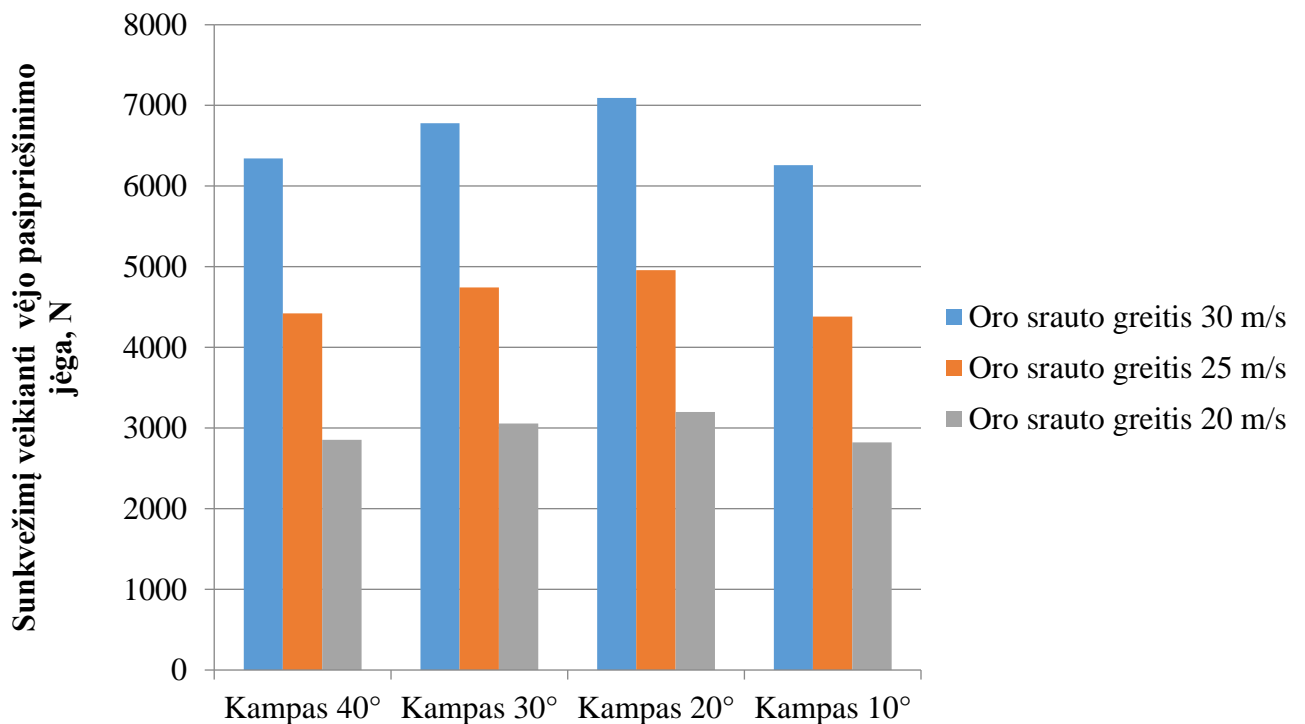


c

36 pav. Šoninio oro srauto greičio kitimas aplink modeliuojamą vilkiko modelį su papildomais aptakais, kai oro srauto greitis yra 30 m/s: a – srauto kampas 40°; b – srauto kampas 30°; c – srauto kampas 20°



37 pav. Šoninio oro srauto greičio kitimas aplink modeliuojamą vilkiko modelį su papildomais aptakais, kai oro srauto greitis yra 30 m/s, o kampas 10°



38 pav. Nagrinėjamų modelių aerodinaminės pasipriešinimo jėgos rezultatai

Išanalizavus aerodinaminės pasipriešinimo jėgos rezultatus matyti, didelis aerodinaminių jėgų sumažėjimas (vietomis siekiantis 22% aerodinaminio pasipriešinimo, lyginant su baziniu modeliu), visuose bandymų rezultatuose, žvelgiant į srautų greičių kitimus, matomas nemažas sukurių zonos sumažėjimas kurį įtakojo šoninių ratų, dugno aptakų panaudojimas.

IŠVADOS

1. Atlikus oro srauto aptekėjimo apie pasirinktą sunkvežimio modelį be papildomų aerodinaminių įtaisų tyrimą, nustatytos trys pagrindinės aerodinamiškai problemiškos vilkiko vietos: tarpas tarp vilkiko ir puspriekabės, nevienodas vilkiko ir puspriekabės aukštis bei vilkiko galas. Todėl atsižvelgiant į nustatytas problemines vietas buvo iširtos 3 aptakumo detalės, : vilkiko stogo, tarpo tarp vilkiko ir puspriekabės ir puspriekabės galo aptakas. Pagal gautus aerodinaminio pasipriešinimo jėgų rezultatus, tiriant atskiras aptakumo detales matyti jog, viršutinio vilkiko aptako geometrinis kampas turi įtakos vilkiką veikiančiai aerodinaminio pasipriešinimo jėgai t.y. kuo mažesnis aptako kampas tuo ir vilkiką veikianti aerodinaminio pasipriešinimo jėga bus mažesnė. Šiuo atveju mažiausias vilkiko stogo aptako kampas yra 15° o vilkiką veikianti aerodinaminė pasipriešinimo jėga bus sumažinta 5%. Šoninio tarpo tarp vilkiko ir puspriekabės aptako aerodinaminis tyrimas parodė jog kuo didesnis aptako ilgis L, tuo vilkiką veikianti aerodinaminė jėga bus mažesnė. Su ilgiausiu šoninio tarpo aptaku kurio ilgis L yra 0,45m vilkiką veikianti aerodinaminė pasipriešinimo jėga bus sumažinta 4%. Puspriekabės galo aptakas su skirtingais geometriniais parametrais rodė skirtingus aerodinaminio pasipriešinimo jėgos rezultatus. Pirmais dviem bandymais kuomet aptakų ilgiai yra 0,5 m ir 1m rezultatai gaunami panašūs ir geriausias rezultatas gaunamas su 20° kampo aptakais. O tiriant su ilgiausiu galo aptaku kurio ilgis yra 1,5m gaunamas geriausias rezultatas su 30° kampo aptaku, kuomet vilkiką veikianti aerodinaminio pasipriešinimo jėga sumažėja 5%.
2. Sunkvežimio stogo ir šoninio tarpo tarp vilkiko ir puspriekabės aptakai priešpriešinio oro srauto bandymo metu, sumažina vilkiko aerodinaminio pasipriešinimo jėgą apie 9 %. Sunkvežimio modelis su stogo bei puspriekabės ir vilkiko tarpo aptaku bei papildomais aerodinaminiais patobulinimais (autotraukinio dugno nulyginimas, veidrodėlių bei kabinos laiptų paslėpimas, ratų uždengimas) aerodinaminio pasipriešinimo jėgą sumažina iki 18 %.
3. Tiriant sunkvežimių modelius, veikiamus šoninio oro srauto, nustatyta, jog aerodinaminis pasipriešinimas veikia žymiai didesne jėga negu modelius, veikiamus priešpriešinio oro srauto. Nustatyta jog didžiausios aerodinaminės jėgos vilkiką veikia 20° ir 30° kampu, kai judantis oro srautas patenka į vilkiko ir puspriekabės tarpą. Panaudojus minėto tarpo aptaką smarkiai sumažėjo priekinėje vilkiko dalyje kylančių oro srauto sūkuriamųjų. Vilkikų modeliai su aerodinaminiais patobulinimais parodė teigiamus aerodinaminis rezultatus: vilkikas su pagerintais aerodinaminiais aptakais turi iki 18%, o su papildomais aptakais iki 22% geresnius aerodinaminis rodiklius.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Transporto privalumai. Prieiga per internetą: < http://talpykla.elaba.lt/elaba-fedora/objects/elaba:1801998/datastreams/ATTACHMENT_1802006/content > [žiūrėta 2018-05-20].
2. Transporto priemonių skaiči. Prieiga per internetą: < <http://www.acea.be/statistics/article/vehicles-in-use-europe-2017> > [žiūrėta 2018-05-20].
3. Dyzelinio kuro kainos Europos sąjungoje. Prieiga per internetą: < http://cafim.sssup.it/~giulio/other/fuel_report/history_diesel.png > [žiūrėta 2018-05-20].
4. Fu-Hung Hsu, Roger Davis. Vilkiko aerodinaminio pasipriešinimo mažinimas naudojant optimizuotus aerodinaminius įtaisus. Prieiga per internetą: https://www.researchgate.net/publication/245356887_Drag_Reduction_of_Tractor-Trailers_Using_Optimized_Add-On_Devices [žiūrėta 2018-05-05].
5. Paknys L. Transporto priemonių aerodinamikos pagrindai. – Kaunas: Technologija, 1999. – 123 p.
6. Aerodinaminio pasipriešinimo koeficientas. Prieiga per internetą: < http://en.wikipedia.org/wiki/Drag_coefficient > [žiūrėta 2018-04-20].
7. Harun Chowdhury. A Study on Aerodynamic Drag of a Semi-trailer. Prieiga per internetą:< https://www.researchgate.net/publication/257726376_A_Study_on_Aerodynamic_Drag_of_a_Semi-trailer_Truck > [žiūrėta 2018-04-20].
8. Vilkiko variklio galia, reikalinga norint įveikti kylančias pasipriešinimo jėgas. Prieiga per internetą:<https://www.researchgate.net/publication/282506951_Driving_Electric_Vehicles_as_Green_as_the_Grid/figures?lo=1> [žiūrėta 2018-04-20].
9. Tim Lee ir L.S. Ko Srovės lauko tyrimas už perforuotų „Gurney“ tipo aptakų Prieiga per internetą:<https://www.researchgate.net/publication/226343617_PIV_investigation_of_flow_field_behind_perforated_Gurney-type_flaps> [žiūrėta 2018-04-25].
10. Gregor Fouree. Supaprastintos formos automobilio tyrimas. Prieiga per internetą: < https://www.researchgate.net/publication/225264528_Bluff-body_drag_reduction_using_a_deflector > [žiūrėta 2018-04-25].
11. Beaudoin ir Aider, Aerodinaminio pasipriešinimo sumažinimas naudojant aerodinaminius įtaisus. Prieiga per internetą: < https://www.researchgate.net/publication/226210472_Drag_and_lift_reduction_of_a_3D_bluff_body_using_flaps > [žiūrėta 2018-05-20].

12. Abdellah Ait. Aerodinaminio pasirpeišinimo sumažinimas, naudojant kabinos aptakus. Prieiga per internetą: < <http://downloads.hindawi.com/journals/je/2015/789475.pdf>> [žiūrėta 2018-05-20].
13. Mohamed-Kassim, Antonio Filippone. Vilkiko kuro sąnaudų mažinimas, pasitelkian aerodinaminius pagerinimus. Prieiga per internetą: <<https://sci-hub.tw/https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920910000301>> [žiūrėta 2018-04-25].
14. Wendy R. Lanser. Galinio puspriekabės aptako tyrimas. Prieiga per internetą: <https://www.researchgate.net/publication/23581725_Aerodynamic_performance_of_a_drag_reduction_device_on_a_full-scale_tractortrailer> [žiūrėta 2018-04-25].
15. Bahram Khalighi. Eksperimentis aerodinamikos tyrimas aplink kampuotą kūną. Prieiga per internetą.<https://www.researchgate.net/publication/225264528_Bluff-body_drag_reduction_using_a_deflector> [žiūrėta 2018-04-25].
16. Jing, C. Komercinių transporto priemonių aerodinaminių savybių tyrimas. Prieiga per internetą: < <https://pdfs.semanticscholar.org/e438/251ec0274038ea4127b5f7fcaecbd1afbe8e.pdf> > [žiūrėta 2018-04-25].
17. R.K. Strachan. Aerodinaminių ahmedo kūno sąvybių tyrimas. Prieiga per internetą: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00348-007-0270-x>> [žiūrėta 2018-04-25].
18. Modi V.J Judančių paviršių sluoksnio-ribų kontrolė. Prieiga per internetą: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0889974697900980>> [žiūrėta 2018-04-25].

PRIEDAI

P-1. Darbo viešinimas konferencijoje „Technologijų ir verslo aktualijos – 2018“

T E C H N O
L O G I J Ų
I R
V E R S L O
A K T U A _
_ L I J O S
— 2 0 1 8



PAŽYMĖJIMAS

Tautvydui Paškūnui,

Už dalyvavimą studentų mokslinėje konferencijoje
„Technologijų ir verslo aktualijos - 2018“ ir skaitytą
pranešimą tema
„Sunkvežimio aerodinaminių savybių tyrimas“.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'D. Žostautienė', written over a horizontal line.

KTU Panevėžio technologijų ir verslo fakulteto
Dekanė prof. Daiva Žostautienė

2018 m., gegužės 4 d., Panevėžys