

AERODINAMINIŲ MODIFIKACIJŲ TYRIMAS

Marius Bajorinas

VGTU AGAI Aviacinės mechanikos katedra

El. p. mbajorinas@yahoo.com

Santrauka. Straipsnyje aprašyti aerodinaminių modifikacijų, pritaikytų antžeminiam transportui, privalumai, apžvelgtos naudotos programos. Pateikiami bandymo rezultatai ir tolimesnė tyrimo kryptis.

Reikšminiai žodžiai: aerodinamika, modifikacijos, automobiliai, kompiuteriniai skaičiavimai, vėjo tunelis, aerodinaminis vamzdis.

1. Įvadas

Šių laikų motorizuoto komercinio transporto priemonių industrijoje aerodinamikos mokslas tampa vis aktualesnis. Senkant neatsinaujantiems kuro šaltiniams transporto priemonės reikia gaminti kuo efektyvesnes. Vienas iš būdų efektyvumui padidinti yra aerodinaminio pasipriešinimo mažinimas. Tačiau gamybos procese iškyla keletas problemų: transporto priemonė turi gabenti krovinį, todėl kūno aerodinaminės savybės visada yra kompromisas tarp jos krovinio gabenimo galimybių ir jos aerodinaminių savybių. Kita problema, su kuria susiduriama, yra šio kompromiso ieškojimo kaina – reikia labai daug lėšų norint įrengti jame aerodinaminį tunelį ir atlikti tyrimus. Bet pastaruoju metu sparčiai tobulėjant kompiuterinei technikai, didžioji dalis šių tyrimų gali būti perkelta į virtualią erdvę, o gauti rezultatai patikrinti empiriniu būdu.



1 pav. Bandymui pasirinktas Citroen ZX

Fig. 1. Car chosen for the experiment Citroen ZX

2. Tyrimo metodai

2.1. Oro srauto parametrų nustatymas naudojant kompiuterines programas

CFD tipo programos apskaičiuoja oro srauto greitį ir slėgį visuose modelio taškuose. Norint gauti tokius rezultatus, programa turi atlikti labai daug skaičiavimų. Ryšys tarp slėgio, klampumo ir judesio kiekio momento jėgų yra paremtas Navier-Stokes lygtimis. Oro srautui reikalinga

pakankamai vietos aplink modelį, kad nekiltų netikrovų nukrypimų (Happian-Smith 2002).

2.2. Siūlinis metodas

Kompiuterine programa apskaičiuotus rezultatus galima patikrinti naudojant aerodinaminiam vamzdyje oro srauto parametrus nustatyti taikytinus metodus; tiriamasis objektas apklijuojamas siūlais ir yra stebimi bei registruojami vaizdai iš vidaus arba iš šalies. Siūlai tiesiogiai atspindi oro srauto judėjimą toje vietoje: tiesūs siūlai, esantys išilgai srauto, rodo esant laminarinį srautą; besiplaistantys ar net apsisukę prieš srautą – turbulentinį (Stone, Ball 2004).

2.3. Empirinis metodas

Alternatyvus metodas – apskaičiuoti pasipriešinimo koeficientą atliekant riedėjimo lėtėjimo bandymus. Šiuos bandymus reikia atlikti tiesioje ir horizontalioje kelio atkarpose nevėjuotą dieną. Norint gauti tikslus rezultatus, tą patį bandymą reikia atlikti iš abiejų pusių. Bandymas pradedamas, kai automobilis pasiekia pradinį greitį 60 km/val. (v_1) ir laisva pavara rieda iki tol, kol pasieks 55 km/val (v_2) greitį. Tada išmatuojamas lėtėjimo laikas, per kurį automobilio greitis sumažėjo nuo pradinio v_1 iki v_2 . Ši informacija naudojama apskaičiuoti vidutinį lėtėjimo tempą a_1 ir a_2 (Pukalskas 2011).

Vidutinis greitis apskaičiuojamas taip:

$$v_1 = \frac{v_{a1} + v_{b1}}{2} = [km/h] \quad (1)$$

Tuomet apskaičiuojamas vidutinis lėtėjimas:

$$a_1 = \frac{v_{a1} - v_{b1}}{t_1} = \left[\frac{km/h}{s} \right] \quad (2)$$

čia t_1 yra lėtėjimo laikas.

Bandymą pakartojus lėtėjant nuo 15 km/val (v_{a1}) iki 10 km/val. (v_{b2}), gauti rezultatai sudedami į 5 formulę ir gaunamas pasipriešinimo koeficientas:

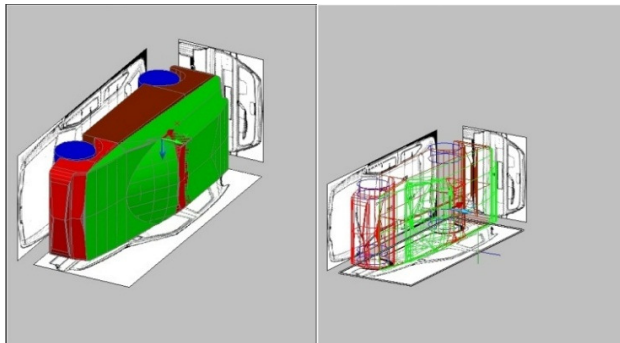
$$C_d = \frac{6 \cdot m (a_1 - a_2)}{A \cdot (v_1^2 - v_2^2)}, \quad (3)$$

čia m yra automobilio masė kg, A – automobilio skerspjūvio plotas m^2 .

3. Tyrimo eiga

3.1. Kompiuterinė dalis

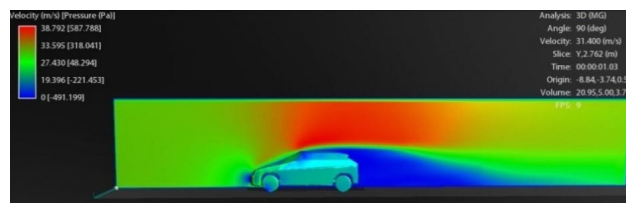
Programa *Autocad* pagal automobilio brėžinius atkuriamą virtuali kopija.



2 pav. Programa *Autocad* atkurtas virtualus modelis

Fig. 2. Virtual model created with *Autocad*

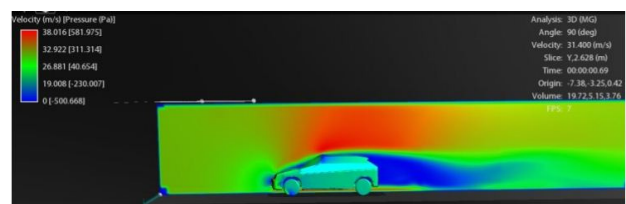
Tokį modelį galima kelti tiesiai į programą *Project Falcon*. Modelio pasipriešinimas įvertinamas 0,37 (3 pav.).



3 pav. Modelio, įkelto į programą *Project Falcon*, grafinis oro greičio ir slėgio pasiskirstymas

Fig. 3. Model in *Project Falcon* graphical air flow and pressure distribution

Programa *Autocad* suprojektuojama pirmoji modifikacija – uždengiamas dugnas. Programa rodo oro pagreitėjimą po automobiliu ir C_d sumažėjimą iki 0,36 (4 pav.).



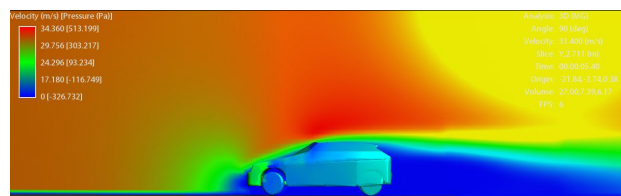
4 pav. Modelio su uždengtu dugnu analizė

Fig. 4. Analysis of model with covered underside

Kita nesudėtingai suprojektuojama modifikacija yra uždaros galinės arkos. Pasipriešinimo koeficientas lieka toks pat, kaip standartinio modelio 0,37 (5 pav.).

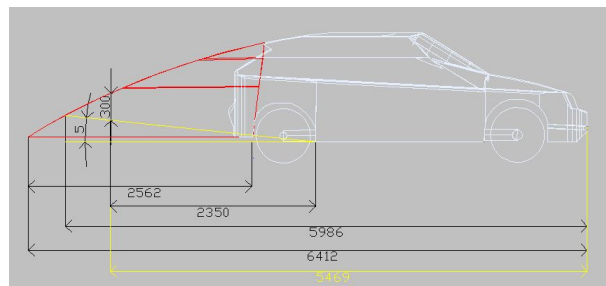
Toliau kuriamas profiliuotas galas siekiant sumažinti slėginį pasipriešinimą (6 pav.). Įvertinami H. Heisler ir J. Y. Wong aprašyti vėjo tunelių bandymai.

Modifikuotas modelis perkeliamas į programą *Project Falcon* (7 pav.).



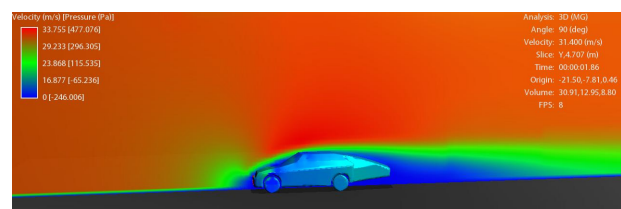
5 pav. Modelio su uždarytų galinių arkų modifikacija analizė

Fig. 5. Analysis of model with covered rear wheel arches



6 pav. *Citroen ZX* profiliuoto galo projektavimas programa *Autocad*

Fig. 6. Designing a streamlined back for the *Citroen ZX*



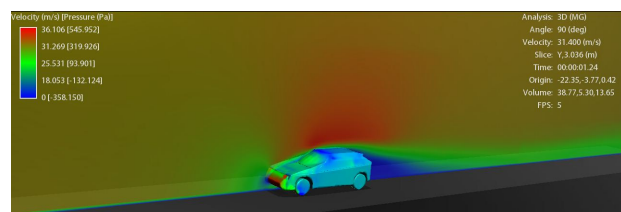
7 pav. Modelio su profiliuoto galo modifikacija analizė

Fig. 7. Analysis of model with streamlined back modification

Grafiniame piešinyje matyti, kad žemo slėgio zona už automobilio yra mažesnė. Tą patvirtina ir trimis šimtosiomis sumažėjęs pasipriešinimo koeficientas.

Automobilio priekis turi daug įtakos tam, kuria kryptimi judės didžioji dalis srauto; nuo to priklauso, ar srautas liks laminariniu, ar virs turbulentine.

Apžvelgus visus galimus priekių tipus ir įvertinus tai, jog automobilio dugnas bus lygus, projektuojamas priekis tarp centrinio ir nukreipto žemyn (8 pav.).

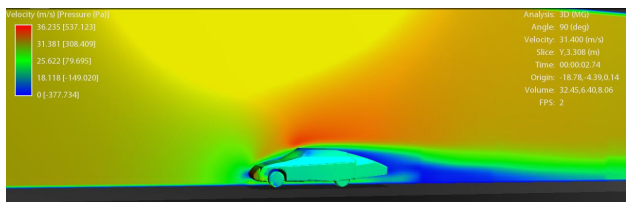


8 pav. Modelio su priekio modifikacija analizė

Fig. 8. Analysis of model with front modification

Pasipriešinimo koeficientas sumažėjo viena šimtąja, o tai reiškia, jog priekio forma nukreipia srautą teisinga linkme.

Atlikus ir atskirai ištyrus visas modifikacijas, kurios gali būti tiriamos programomis *Project Falcon* ir *Autocad*, sukuriamas modelis su visomis modifikacijomis (9 pav.).



9 pav. Modelio su visomis tirtomis modifikacijomis analizė
Fig. 9. Analysis of model with all assayed modifications

Pasipriešinimo koeficientas sumažėja iki 0.23. Tiek pagal C_d , tiek ir pagal grafinės analizės matyti, jog modifikacijos papildo viena kitą.

3.2. Eksperimentinis tyrimas

Pirmiausia atliekamas siūlinis tyrimo metodas. Automobilis apklijuojamas kontrastingais baltais ir juodais vilniais, kad būtų galima pamatyti oro srauto kryptį. Įsibėgėjama iki 113km/val. ir iš kito automobilio fiksuojami rezultatai filmuojant (10 pav.).

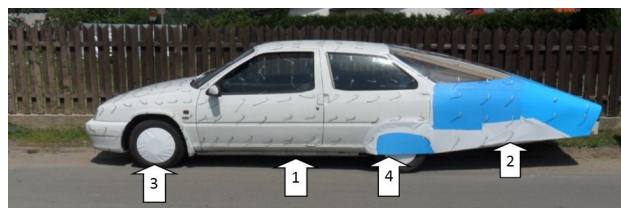


10 pav. Automobilis tiriamas siūliniu metodu
Fig. 10. Car is being tuft tested

Geltonai apvestose zonose matyti, kad siūlai netvarkingai pasisukę į skirtingas puses. Tai rodo, jog tose vietose vyrauja turbulentinis srautas. Pagrindiniai šio srauto sukėlėjai yra besisukantys ratai, aukšto slėgio oro srautas, besiveržiantis iš po automobilio apačios į viršų bei ties stogo pabaiga atitrūkstantis laminarinis srautas. Nežymus turbulentinis srautas matyti ir už veidrodėlio.

Pasipriešinimo koeficiento reikšmė skaičiuojama empiriniu metodu. Pirmą įvertinama pakrauto automobilio masė: turimas pilnas bakas degalų (56 l) bei viduje sėdintys du žmonės. Kuro tankis prie 20°C yra 0,721kg/m³ (Gastila 1981). Pamatuojami lėtėjimo laikai ir visos reikšmės sustatomos į 3 formulę. Gaunamas pasipriešinimo koeficientas 0.32.

Taigi įvertinus skaitmeniniu aerodinaminiu vamzdžiu bei siūliniu metodu gautus rezultatus, automobilis yra modifikuojamas (11 pav.).



11 pav. Automobilis su dugno (1), profiliuoto galo (2), lygių ratų gaubtų (3), uždengtų galinių arkų (4) ir priekinio bamperio modifikacijomis iš šono

Fig. 11. Car with underside (1), streamlined back (2), flush hub caps (3), covered rear wheel arches (4) and front bumper modifications seen from the side

Paveiksle matyti lygių ratų gaubtų modifikacija, kuri turi sumažinti tiek interferencinį pasipriešinimą, tiek ir ratų keliamus sukurius. Toliau atliekamas tyrimas siūliniu metodu (12 pav.). Matyti, jog netvarkingai išsیدėsčiusių siūlų, liudijančių apie turbulentinį srautą, yra vos keletas.



12 pav. Modifikuotas automobilis tiriamas siūliniu metodu
Fig. 12. Modified car being tuft tested

Modifikuotą automobilį ištirus empiriniu metodu, gautas pasipriešinimo koeficientas 0.28.

4. Tyrimo rezultatai

- Empiriniu metodu gautas originalaus modelio C_d atitinka gamintojo nurodytą dydį, o kompiuteriniu metodu gautas C_d yra 15.6% didesnis.
- Dugno modifikacija C_d sumažino 2.7%, tai yra 12.3% mažiau nei numatyta Heisler.
- Kompiuteriniu metodu tirtas automobilis su visomis modifikacijomis parodė 38% C_d sumažėjimą, o empiriniu – 12.5%.

5. Išvados

1. Pradinis programos Autocad 2007 modelis nėra pakankamai tikslus, reikalauja tobulinimo.
2. Skaitmeninio skaičiavimo tyrimo metu gauti rezultatai rodo, kad profiliuotas galas ženkliai sumažina už automobilio susidarančią turbulentinę žemo slėgio zoną ir yra efektyviausia modifikacija.

3. Nejudantys ratai nesukuria sūkurių, kuriuos turėtų sumažinti uždarnos galinės arkos, todėl programa jokio pakitimo neregistruoja ir skaičiuoja tokį pat C_d , kaip ir standartinio automobilio (0,37).
4. Dėl skaitmeniniame aerodinaminiame vamzdyje nejudančio kelio modelio atžvilgiu negalima tiksliai ištyrėti lygaus dugno modifikacijos.
5. Kombinuotos aerodinaminės modifikacijos pasitvirtino tiek teoriškai, tiek ir praktiškai kaip veiksmingos priemonės didinant transporto priemonės efektyvumą bei sumažinant reikalingą kuro kiekį oro varžai įveikti.

Pastaba

Automobilio aerodinamika ir toliau yra tobulinama bei tiriama. Daugiau informacijos galima rasti per internetinę prieigą: www.facebook.com/flylowLT.

Literatūra

- Happian-Smith, J. 2002. *An Introduction to Modern Vehicle Design*. Massachusetts, USA: Reed Educational and Professional Publishing. 600 p. ISBN 07506 5044 3
- Heisler, H. 2002. *Advanced Vehicle Technology*. 2nd ed. Reed Educational and Professional Publishing. 663 p. ISBN 0-7506-5131-8
- Pukalskas, S. 2011. Transporto priemonės. Pratybos. VGTU. Vilnius: Technika.
- Stone, R.; Ball J., K. 2004. *Automotive Engineering Fundamentals*. Pennsylvania, USA: SAE international. 636 p. ISBN 0-7680-0987-1
- Wong, J. Y. 2001. *Theory of Ground Vehicles* 3rd. Ottawa, Canada: John Wiley and Sons Inc. 558 p. ISBN 0-471-35461-9

AERODYNAMIC MODIFICATIONS TESTING

M. Bajorinas

Summary

This article describes the benefits of aerodynamic modifications done to a ground vehicle. Current results and conclusions are reviewed.

Keywords: aerodynamics, modifications, automobiles, computer calculations, wind tunnel.