



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

**Audrius Bartkus**

**TRANSPORTUOJAMŲ DVIRAČIŲ ĮTAKA LENGVOJO  
AUTOMOBILIO AERODINAMIKAI IR DEGALŲ SAŪNAUDOMS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

Doc. dr. Rolandas Makaras

**KAUNAS, 2016**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

**TRANSPORTUOJAMŲ DVIRAČIŲ ĮTAKA LENGVOJO  
AUTOMOBILIO AERODINAMIKAI IR DEGALŲ SAŪNAUDOMS**

Baigiamasis magistro projektas  
Transporto priemonių inžinerija (621E20001)

**Vadovas**

(parašas) Doc. dr. Rolandas Makaras  
(data)

**Recenzentas**

(parašas) Doc. dr. Vidmantas Nenorta  
(data)

**Projektą atliko**

(parašas) Audrius Bartkus  
(data)

**KAUNAS, 2016**





**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

(Fakultetas)

**Audrius Bartkus**

(Studento vardas, pavardė)

Transporto priemonių inžinerija, 621E20001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Transportuojamų dviračių įtaka lengvojo automobilio  
aerodinamikai ir degalų sąnaudoms“

**AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA**

20 16 m. gegužės 17 d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Audriaus Bartkaus**, baigiamasis projektas tema „Transportuojamų dviračių įtaka lengvojo automobilio aerodinamikai ir degalų sąnaudoms“ 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)

Bartkus, Audrius. Transportuojamų dviračių įtaka lengvojo automobilio aerodinamikai ir degalų sąnaudoms. Magistro baigiamasis projektas, vadovas doc. dr. Rolandas Makaras; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas. Mokslo kryptis ir sritis: Technologijos mokslai, Transporto inžinerija (03T) Reikšminiai žodžiai: *Dviračiai, laikikliai, transportavimas, aerodinamika, automobilis, degalų sąnaudos.* Kaunas, 2016. 61 p.

## SANTRAUKA

Planuojant savo atostogas ar keliones lengvuoju automobiliu didžiausia išskylanti problema – tai daiktų ar dviračių gabenimas. Transportuojant daiktus išorėje automobilio susiduriame su papildomomis išlaidomis, skirtoms degalams. Darbe išanalizuojami automobilių dviračių laikiklių tipai bei jų konstrukcijos. Pateikiami kiekvieno dviračių laikiklio tipo privalumai, trūkumai ir paaiškunami dviračių transportavimo reikalavimai remiantis Lietuvos Respublikos įstatymais. Magistro baigiamojo projekto metu nustatyti pagrindiniai aerodinaminiai elementai, darantys didžiausią įtaką aerodinaminei pasipriešinimo jėgai. Šiame projekte atlikta oro srauto aptekėjimo apie skirtingus automobilio kūbulus analizė. Naudojant „SolidWorks“ programą parengti tikslūs automobilio, dviračių, dviračių laikiklių ir skersinių skaitiniai modeliai.

Projekte išanalizuotas europinis važiavimo ciklas ir sukurtas universalus kompiuterinis skaičiavimo algoritmas. Sukurtas algoritmas imituoja važiavimą užmiestyje ir skaičiuoja degalų sąnaudas. Naudojantis „SolidWorks Flow Simulation“ programa atlikta automobilio su skirtingais dviračių laikikliais aerodinaminių jėgų analizė ir gauti aerodinaminiai pasipriešinimo koeficientai.

Kompiuteriniame skaičiavimo algoritme naudojant gautus aerodinaminius pasipriešinimo koeficientus apskaičiuotos teorinės degalų sąnaudos. Algoritmo tikslumui patikrini atliktas lengvojo automobilio degalų sąnaudų nustatymo eksperimentas pagal europinį važiavimo ciklą užmiestyje. Transportuojant dviračius skirtingais būdais buvo gautos eksperimentinės degalų sąnaudos. Transportuojant dviračius ant stogo gauta – 5,17 l/100 km degalų sąnaudos, o vežant ant automobilio kablo – 4,35 l/100 km. Magistro baigiamojo projekto pabaigoje atliktas teorinių ir gautų eksperimentinių rezultatų palyginimas.

Bartkus, Audrius. *Influence of Bicycle Transportation on Aerodynamics and Fuel Consumption of Vehicle*.

Master's thesis, supervisor assoc. prof. Rolandas Makaras.

The Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Technological Science, Transport Engineering (03T)

Key words: *bicycles, racks, transportation, aerodynamics, vehicle, fuel consumption*.

Kaunas, 2016. 61 p.

## SUMMARY

The transportation of items or bicycles is the biggest problem while planning your holidays or trips by vehicle. When items are transported on the exterior of the vehicle, drivers face with additional fuel costs. The types of bicycle racks for vehicles and their structures are analysed in the paper. The paper also reveals advantages and disadvantages of each type of bicycles racks for vehicles and explains bicycles transportation requirements based on the laws of the Republic of Lithuania. The main aerodynamic elements which have the major impact on the aerodynamic drag force have been also defined in the master's degree paper. The analysis of air flow around different vehicle bodies has been made in the paper as well. SolidWorks programme has helped to prepare accurate digital models of the vehicle, bicycles, bicycle racks for vehicles and the crossbars.

The European driving cycle has been analysed and universal computer calculation algorithm has been created. The algorithm simulates the driving on the highway and estimates fuel consumption. SolidWorks Flow Simulation programme has helped to carry out the analysis of aerodynamic drag force of different bicycle racks for vehicles and obtain aerodynamic resistance coefficients.

The theoretical fuel consumption has been estimated using aerodynamic resistance coefficients in the computer calculation algorithm. In order to check the accuracy of the algorithm, the experiment on the establishment of fuel consumption values of the vehicle based on the European driving cycle on a highway has been performed. Experimental fuel consumption values were obtained while carrying bicycles in different ways. When bicycles are transported on the roof of the vehicle, fuel consumption is 5.17 litres per 100 km. Meanwhile, fuel consumption is 4.35 l/100 km when bicycles are transported using a vehicle hook. A comparison of theoretical and experimental results is made in the final part of the master's degree paper.

# Turinys

|  |    |
|--|----|
| ĮVADAS .....   | 9  |
| 1. LITERATŪROS APŽVALGA .....  | 11 |
| 1.1 Automobilinių dviračių laikiklių analizė .....                                   | 11 |
| 1.2 Automobilio aerodinaminė analizė .....   | 14 |
| 1.2.1 Pagrindinių automobilių formų analizė .....                                    | 15 |
| 1.2.2 Pasipriešinimo koeficiento priklausomybės nuo automobilio formos analizė ..... | 17 |
| 1.2.3 Transporto priemonių aerodinamikos reikšmė .....                               | 19 |
| 1.2.4 Lengvojo automobilio aerodinaminis pasipriešinimas .....                       | 21 |
| 1.2.5 Oro srauto mechanikos aplink transporto priemonę analizė .....                 | 21 |
| 1.2.6 Stogo bagažinių ir dviračių vežimo įtaka degalų sąnaudoms .....                | 27 |
| 1.3 Degalų ekonomiškumas .....   | 28 |
| 1.3.1 Automobilio degalų sąnaudų nustatymas .....                                    | 28 |
| 1.3.2 Europinis važiavimo ciklas .....   | 30 |
| 2. PROJEKTO METODIKA .....   | 31 |
| 2.1 Automobilio degalų sąnaudų nustatymo metodika .....                              | 31 |
| 2.2 Teorinis automobilio degalų suvartojimo skaičiavimas .....                       | 32 |
| 2.3 Eksperimentams atlikti naudota įranga .....                                      | 34 |
| 2.3.1 VW Passat B5 automobilis .....   | 34 |
| 2.3.2 Automobiliniai dviračių laikikliai .....                                       | 36 |
| 2.3.3 Dviračių laikiklio skersinis .....   | 37 |
| 2.3.4 Eksperimentui naudojami dviračiai .....  | 38 |
| 2.3.5 Automobilio masės nustatymui naudojamos svarstyklės .....                      | 38 |
| 2.3.6 Degalų kiekio nustatymui naudojamos svarstyklės .....                          | 39 |
| 2.3.7 Programinė įranga .....  | 40 |
| 3. ANALITINIAI IR EKSPERIMENTINIAI REZULTATAI, JŲ APTARIMAS .....                    | 42 |
| 3.1 Automobilio bei įrangos skaitinių modelių sukūrimas .....                        | 42 |
| 3.2 Skaitinio modelio skaičiavimo rezultatai .....                                   | 43 |

|   |    |
|---|----|
| 3.3 Kompiuterinio skaičiavimo algoritmo sukūrimas .....                   | 45 |
| 3.4 Kompiuterinio skaičiavimo algoritmo rezultatai .....                  | 47 |
| 3.5 Pasirengimas eksperimentiniam degalų sąnaudų nustatymui.....          | 51 |
| 3.6 Degalų sąnaudų nustatymo eksperimento rezultatai .....                | 53 |
| 3.7 Teoriškai apskaičiuotų ir eksperimentinių rezultatų palyginimas ..... | 55 |
| 3.8 Ekonominiai skaičiavimai .....  | 56 |
| 4. DARBO APIBENDRINIMAS IR REZULTATŲ PALYGINIMAS .....                    | 57 |
| IŠVADOS .....   | 58 |
| LITERATŪROS SĄRAŠAS .....   | 59 |



## ĮVADAS

Ruošiantis į kelionę automobiliu norima sudėti daug reikalingų daiktų, tik ne visi jie telpa. Tuomet ant stogo montuojamos stogo bagažinės, kraunami daiktai ir dviračiai, tačiau ne visada pagalvojama, kiek tai daro įtakos automobilio degalų sąnaudoms. Norint gabenti dviračius automobiliu reikalingi laikikliai. Tai speciali konstrukcija ant automobilio, skirta pritvirtinti ir gabenti dviračius. Dviračių laikiklius galima rinktis iš kelių skirtingų tipų. Renkantis laikiklius svarbu įvertinti transportavimo patogumą, bendrą automobilio aukštį, ilgį, tvirtinimo vietą, nuo to priklauso automobilių veikiančių aerodinaminių jėgų reikšmės.

Automobilio aerodinamika tampa vienas iš reikšmingiausių dalykų tiriant automobilio dinamiškumą. Aerodinaminis pasipriešinimo koeficientas turi įtakos daugeliui faktorių. Kuo mažesnis automobilio aerodinaminio pasipriešinimo koeficientas, tuo mažesnę pasipriešinimą jis patiria. Dėl šios priežasties naudojama mažiau energijos, taupomi degalai, mažiau teršiama aplinka. Transportuojant dviračius neišvengiamas pasipriešinimo koeficiento didėjimas.

Darbo metu, naudojantis „SolidWorks“ programa, sukurtas skaitinis automobilio modelis. Sukurtas kompiuterinis skaičiavimo algoritmas imituojantis europinį važiavimo ciklą užmiestyje. Remiantis europiniu važiavimo ciklu užmiestyje atliktas automobilio degalų sąnaudų nustatymo eksperimentas naudojant skirtingus dviračių laikiklius. Projekto pabaigoje atliktas teorinių ir gautų eksperimentinių rezultatų palyginimas.

### **Darbo aktualumas ir naujumas**

Planuojant savo atostogas ar keliones lengvuoju automobiliu didžiausia išskylanti problema – tai daiktu ar dviračių gabenimas. Transportuojant daiktus išorėje automobilio susiduriame su papildomomis išlaidomis, skirtoms degalams. Šio baigiamojo projekto tikslas yra ištirti, kaip gali būti įtakojamos degalų sąnaudos transportuojant dviračius skirtingais būdais. Atlikus šį tyrimą nustatomas ekonomiškiausias dviračių transportavimo būdas.

Panašaus pobūdžio tyrimai buvo atliekami ir anksčiau, tačiau šiuose tyrimuose nėra sukonkretinta eksperimentų eiga bei tikslumas, eksperimentai buvo atliekami pagal skirtingas metodikas. Šiame darbe eksperimentai bus atliekami remiantis Europos nustatytomis direktyvomis, imituojančiomis europinį važiavimo ciklą. Projekte sudarytos metodikos nustatyti degalų sąnaudas bei išsiaiškinti faktorius labiausiai įtakojančius rezultatus.

**Darbo tikslas:**

Atlikti automobilio degalų sąnaudų tyrimą transportuojant dviračius ir parengti universalų degalų sąnaudų nustatymo algoritmą.

**Darbo uždaviniai:**

- Išnagrinėti automobilinių dviračių laikiklių tipus ir konstrukcijas;
- Nustatyti automobilio aerodinaminis elementus, darančius didžiausią įtaką aerodinaminėms pasipriešinimo jėgoms;
- Sudaryti universalų kompiuterinį skaičiavimo algoritmą, imituojantį europinį važiavimo ciklą užmiestyje, leidžiantį nustatyti degalų sąnaudas;
- Sukurti automobilio skaitinį modelį ir atlikti automobilio su skirtingais dviračių laikikliais aerodinaminę pasipriešinimo jėgų analizę naudojant „SolidWorks Flow Simulation“ programą;
- Remiantis „Solidworks Flow Simulation“ programos rezultatais ir universaliu degalų nustatymo algoritmu apskaičiuoti teorines degalų sąnaudas;
- Algoritmo tikslumui patikrinti atlikti automobilio degalų sąnaudų nustatymo eksperimentą naudojant skirtingus dviračių laikiklius;
- Palyginti teoriškai apskaičiuotus ir eksperimentiškai gautus rezultatus.

# 1. LITERATŪROS APŽVALGA

## 1.1 Automobilinių dviračių laikiklių analizė

Kelionės dviračiu tampa neatsiejamu aktyvų gyvenimo būdą gyvenančių žmonių pomėgiu. Važinėti dviračiu galima visur, kur tik įrengti dviračių takai, tačiau jų tinklas Lietuvoje dar labai ribotas. Norint dviračius gabenti automobiliu, reikalingi dviračių laikikliai. Tai speciali konstrukcija ant automobilio, skirta pritvirtinti ir gabenti dviračius. Dviračių laikikliai pagal tai, kurioje automobilio vietoje tvirtinami, gali būti skirstomi į tvirtinamus ant automobilio stogo, galinio dangčio ar ant automobilio kablo. Šiame skyriuje apžvelgiami galimi dviračių vežimo būdai bei laikiklių tipai.

Automobiliniai dviračių laikikliai gali būti skirstomi į 3 tipus:

**I tipas.** Dviračių laikikliai skirti dviračius vežti ant stogo. Šis principas pagrįstas dviračio montavimui ant automobilio stogo su papildomais tvirtinimo elementais (1.1 pav.).



1.1 pav. Dviračio vežimas ant automobilio stogo (Dviračių vežimas ant stogo, 2016)

Norint vežti dviračius šiuo būdu papildomai reikalingi skersiniai, kurie montuojami ant automobilio stogo laikiklių (1.2 pav.).



1.2 pav. Dviračių vežimo ant stogo: a – skersinis; b – laikiklis (Bagažinės, dviračių laikiklio skersinis ant stogo, 2016)

Naudojant šio tipo laikiklius patogiau vežti nuo 1 iki 3 dviračių. Dviračio ratai įstatomi į griovelį ir pritvirtinami specialiais diržais, jo rėmas atskirai pritvirtinamas prie kronšteino, kuris dažniausia būna su užraktu (1.2 pav. b).

Dviračių vežimo ant automobilio stogo privalumai:

- Lengvai pritvirtinami ant abiejų mašinos stogo pusių;
- Nepakinta automobilis ilgis, dėl to lengviau automobilį pastatyti stovėjimo vietoje;
- Netrukdomai galima prieiti prie automobilio bagažinės.

Trūkumai:

- Esant aukštam automobiliui ar sunkiam dviračiui sunku pritvirtinti dviratį ar jį pasiukti;
- Didesnė automobilio suraižymo galimybė, montuojant dviračius gali būti pažeidžiami automobilio dažai;
- Padidėja automobilio aukštis, dėl šios priežasties padidėja automobilio pasipriešinimo koeficientas;
- Padidėja šoninio vėjo įtaka automobilio aerodinamikai.

**II tipas.** Dviračių laikikliai skirti vežti dviračius ant automobilio galinio dangčio. Dviračio laikiklių rėmas montuojamas ant galinio dangčio su specialiais tvirtinimo elementais (1.3 pav.).



1.3 pav. Dviračių vežimas pritvirtinus ant galinio dangčio (Dviračių vežimas ant bagažinės, 2016)

Naudojant šio tipo laikiklius galima vežti nuo 1 iki 4 dviračių. Dviračio rėmas pritvirtinamas prie laikiklio rėmo specialiais elementais ir priveržiamas diržais, taip dviratis neturi galimybės judėti. Priklausomai nuo dviračio laikiklio konstrukcijos dviračiai gali būti sustatomi taip, kad neuždengtų automobilio šviesos signalų bei valstybinių numerių.

Dviračių vežimo ant automobilio galinio dangčio privalumai:

- greitai sumontuojamas ir sulankstomas dviračių laikiklis, todėl neužims daug vietos norint įdėti į automobilio bagažinę;
- Lengvas dviračių tvirtinimas, nereikia aukštai jų kelti;
- Dviračiai nekontaktuoja su automobilio paviršiumi.

Trūkumai:

- Padidėja automobilio ilgis, dėl šios priežasties pasikeičia automobilio oro srauto aptekėjimas;
- Sunkesnis parkavimasis stovėjimosi aikštelėse, dėl padidėjusio automobilio pločio;
- Gali būti uždengiami automobilio valstybiniai numeriai bei šviesos signalai.

**III tipas.** Dviračių laikikliai skirti vežti dviračius ant automobilio kablio. Dviračio laikiklių rėmas montuojamas ant automobilio kablio (1.4 pav.).



1.4 pav. Dviračių vežimo laikiklis pritvirtintas prie automobilio kablio (Dviračių vežimas ant kablio, 2016)

Naudojant šio tipo laikiklius galima vežti nuo 1 iki 4 dviračių. Dviračio rėmas pritvirtinamas prie laikiklio rėmo specialiais elementais ir priveržiamas diržais, taip dviratis neturi galimybės judėti. Naudojant šio tipo laikiklius patogiu atidaryti galinį dangtį. Dviračio laikiklis ties automobilio kabliu turi vartymosi funkciją.

Dviračių vežimo ant automobilio kablio privalumai:

- Nesudėtingas naudojimas, nes greitai sumontuojamas ir sulankstomas dviračių laikiklis;
- Lengvas dviračių tvirtinimas, dviračių nereikia aukštai kelti;
- Nėra dviračio laikiklio kontakto su automobilio paviršiumi, taip apsaugomas automobilis nuo išorinių pažeidimų.

Trūkumai:

- Pasikeičia automobilio ilgis, automobilis pailgėja dėl išsikišusių dviračių galinėje automobilio dalyje;
- Sunkesnis parkavimasis stovėjimosi aikštelėse, dėl padidėjusio automobilio pločio ir ilgio;
- Reikalingi papildomi šviesos signalai bei „Regitros“ išduoti valstybiniai numeriai skirti vežti dviračiams.

Naudojant dviračio laikiklius sumontuotus ant kablio ar sumontuotus ant galinio dangčio, kurie uždengia valstybinius numerius yra reikalingi papildomi šviesos signalai bei vieta numerių tvirtinimui (1.5 pav.).



1.5 pav. Lentelė su valstybiniais numeriais ir šviesos signalais (Delfi, 2016)

„2014 metais įsigaliojo įstatymas, kad tuo atveju, kai vežamas prie motorinės transporto priemonės ir (ar) priekabos galinės dalies pritvirtintas dviratis (dviračiai) uždengia registracijos numerio ženklą, motorinės transporto priemonės ir (ar) priekabos gale gerai matomoje vietoje turi būti pritvirtinta valstybės įmonės „Regitra“ išduota lentelė su valstybiniu numeriu. Valstybinių numerių uždengimas vežant dviračius pagal kelių eismo taisykles traktuojamas kaip valstybinių numerių maskavimas. Kelių eismo taisyklėse už valstybinių numerių maskavimą numatyta bauda nuo 231 iki 347 eurų arba teisės vairuoti atėmimas nuo 6 mėnesių iki 1 metų“ (Eismas, 2016).

Transportuojant dviračius reiktų nepamiršti kelių svarbių dalykų. Dviračių vežimas išorėje automobilio kėbulo padidina aerodinaminį pasipriešinimo koeficientą, kuris veikia ir kitus automobilio aerodinaminius parametrus. Dėl padidėjusios pasipriešinimo jėgos padidėja ir degalų sąnaudos. Taigi visi šie dalykai bus apžvelgiami kituose skyreliuose.

## 1.2 Automobilio aerodinaminė analizė

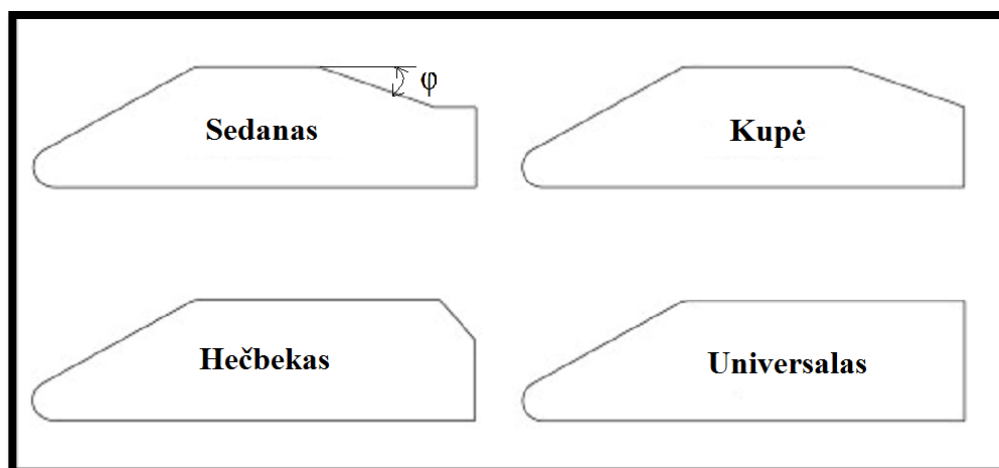
Degalų efektyvumo gerinimas ir toliau išlieka pagrindinis automobilių tobulinimo klausimas. Automobiliai yra stačių bei kampuočių formų. Daugumos automobilių pasipriešinimo koeficientai yra tarp 0.3 ir 0.4. (Wang et al, 2013). Automobilui važiuojant keliu jį veikia pasipriešinimo jėgos, taip atsiranda jėgos ir momentai veikiantys automobilį (Gillespie, 1992). Automobilui judant oru yra labai svarbu, kaip kiekviena iš šių jėgų veikia važiavimą. Aerodinaminė forma transporto priemonėms padeda sumažinti pasipriešinimo koeficientą (Carr, 1983). Kelių transporto priemonių aerodinaminis pasipriešinimas yra veikiamas formos ir slėgio pasipriešinimo. Tai labiausia priklauso nuo to, kaip tekdamas oras atsiskiria nuo transporto priemonės kėbulo galo (Bappa, 2015). Skirtingo dizaino automobiliai, turintys panašų priekinės dalies plotą, gali turėti labai skirtingas formas/slėgio koeficientus (Happian-smith, 2001, p. 113). Pasipriešinimo koeficientas transporto priemonėse dažnai kyla iš nesugebėjimo visiškai atkurti slėgį srauto zonoje. Transporto priemonės pasipriešinimo koeficiento sumažinimas padeda taupyti degalus. Taip yra dėl to, kad automobilio supaprastinta forma

padeda lengviau judėti oru (Littlewood and Passmore, 2012). Supaprastinta automobilio forma įrodo, kad kuo mažesnis pasipriešinimo koeficientas, tuo didesnę greitį automobilis gali pasiekti. Tai pagrindžia, kad transporto priemonė lengviau juda oru (Concept2creation, 2016).

Bėgant metams skaičiuojamoji fluidų dinamika tapo svarbi padedant suteikti daugiau aerodinaminių formų transporto priemonių kūbulams (Bijlani et al, 2013). Be to, padėjo numatyti tokias aerodinamines jėgas, kaip: pasipriešinimo ir kėlimo koeficientai, oro srautas, slėgio ir greičio pasiskirstymas aplink transporto priemonės kūbulą. Siekiant gauti daugiau tikslios aerodinaminio jėgų prognozės, aerodinamikos specialistai lygina rezultatus, gautus programomis ir vėjo tunelio testais (Bappa, 2015).

### 1.2.1 Pagrindinių automobilių formų analizė

Pagrindinės automobilių galų formos yra keturios: sedanas, kupė, universalas, hečbekas. Šios keturios automobilio kūbulo formos pateiktos 1.6 paveiksle.



1.6 pav. Automobilio galinių kūbulo dalių formos (Bappa, 2015)

Šie visi modeliai skiriasi galinės automobilio bazės kampu  $\varphi$ . Kupė nuo sedano skiriasi tuo, kad kupė be galinio bagažinės dangčio. Be to, universalas yra kupė, tik su 0 galinės automobilio bazės kampu (Richards, 2002). Automobilio galo forma turi didelę įtaką aerodinaminėms automobilio savybėms. Šios savybės atsispindi aerodinaminės jėgos koeficiente. Geresni aerodinaminiai pasipriešinimo bei kėlimo koeficientai įvairiems automobilių galams gali būti pasiekti toliau tobulinat automobilio formas.

Keturios pagrindinės automobilių galų formos paaiškintos šiuolaikiniais automobiliais.

### **Sedanas:**

Tai vienas populiariausių naujųjų automobilių kėbulų tipų. Sedano tipo automobilis yra keleivinis automobilis su 2 sėdimomis eilėmis, turintis pakankamai vietos gale suaugusiam žmogui. Automobilis turi atskirą bagažinę, kuri yra nepriklausoma nuo galinio stiklo kaip matyti 1.7 paveiksle.



1.7 pav. VW Passat Sedanas (Top2017cars, 2016)

### **Kupė:**

Kupė būdinga tik dviem durimis, nuo salono atribota bagažinė (panašiai kaip sedano) bei nuolaidi stogo linija (1.8 pav.). Nuo sedanų skiriasi tuo, kad turi mažiau erdvę galinę salono dalį. Kupė laikomi automobiliai, kurių galinis nuolydžio kampas yra 25 laipsniai ir mažiau (Heisler, 2002).



1.8 pav. Porsche 911 kupė (Rusavtoplus, 2016)

### **Hečbekas:**

Populiarus lengvojo automobilio tipas pagal kėbulą Europoje. Tai keleivinis automobilis su sėdynėmis dviejose eilėse. Nuo sedanų skiriasi tuo, kad automobilio galinis stiklas atsidaro kartu su bagažine ir automobilio stogas tolygiai žemėja link bagažinės pabaigos arba netoli jos (1.9 pav.). Hečbeku yra laikomos transporto priemonės, kurių galinis nuolydžio kampas yra tarp 50 ir 25 laipsnių (Heisler, 2002).





1.9 pav. Chevrolet Cruze hečbekas (15min, 2016)

### **Universalas:**

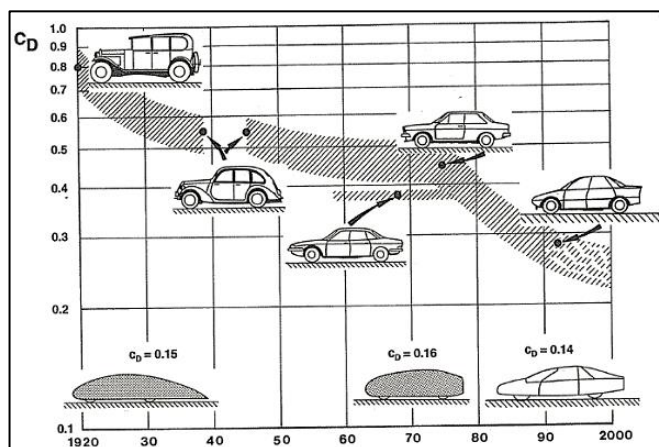
Universalu yra laikomos transporto priemonės, kurių galinis nuolydžio kampas yra tarp 90 ir 50 laipsnių (Heisler, 2002). Šie automobiliai turi saloną sujungtą su automobilio bagažine. Automobiliai talpesni negu prieš tai išvardinti, tačiau salone sunkiau palaikyti mikroklimatą (1.10 pav).



1.10 pav. Vw Passat universalas (VW Passat B5, 2016)

### **1.2.2 Pasipriešinimo koeficiento priklausomybės nuo automobilio formos analizė**

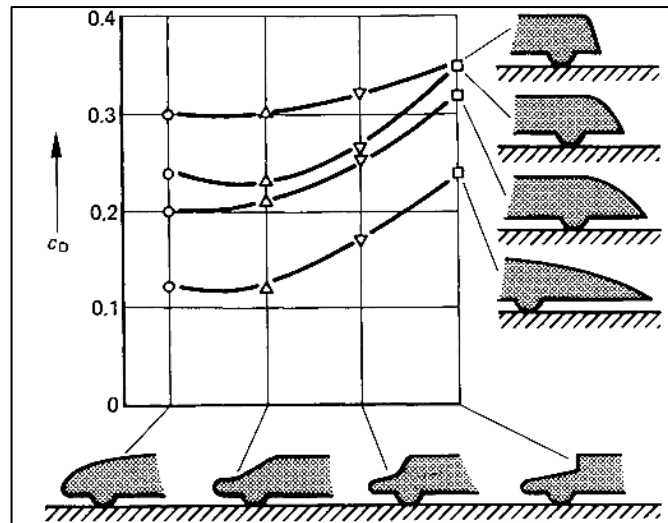
Aerodinaminis pasipriešinimas yra didžiausia ir svarbiausia jėga, kurią patiria judėdama transporto priemonė. Ši jėga yra priešinga judėjimo kryptčiai. Automobilio kėbulo pasipriešinimo koeficientas didėja, didėjant paviršiaus plotui, kurį apteka oras (1.11 pav.).



1.11 pav. TP pasipriešinimo koeficiento kitimas bėgant metams (Laha, 2015)

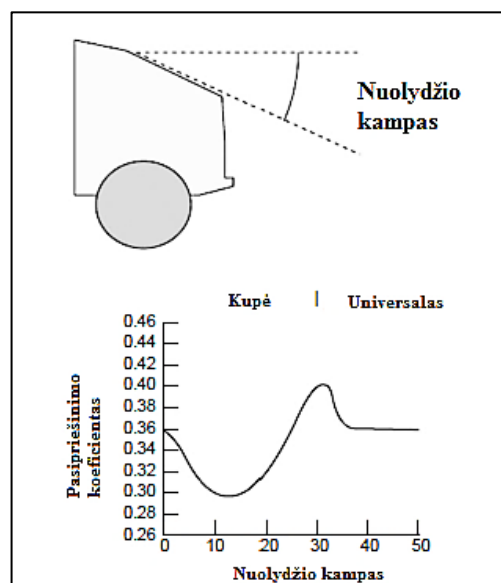
1.11 paveiksle matoma, kad bėgant metams keitėsi gaminamų automobilių formos. Formos tapo apvalesnės, mažesni transporto priemonių modelio plotai. Šie dalykai padėjo sumažinti pasipriešinimo koeficientą.

Sekantis svarbus dalykas, kuris veikia transporto priemonės pasipriešinimo koeficientą, yra transporto priemonės galo forma (1.12 pav).



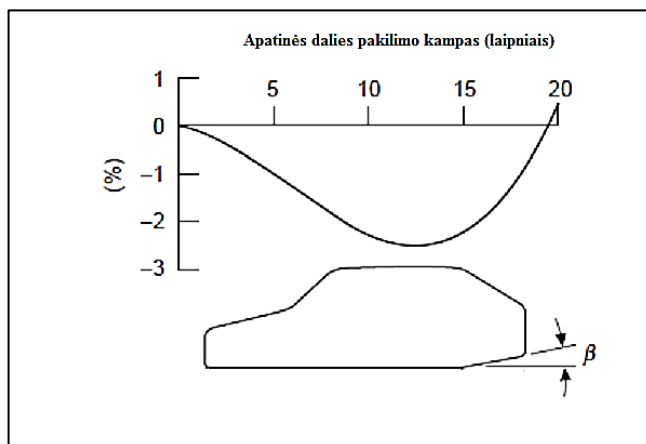
1.12 pav. Automobilio kėbulo galo ir priekio formos įtaka aerodinaminio pasipriešinimo koeficientui (Bappa, 2015)

Pateiktame 1.12 paveiksle matoma, kaip pasipriešinimo koeficientui įtakos turi automobilio forma. Automobiliui esant aptakiam ir turint ilgą smailėjantį galą, koeficiento reikšmė yra 0,1. Trumpėjant automobilio galui ir tampant jam statesniam, pasipriešinimo koeficientas didėja iki 0,3.



1.13 pav. Nuolydžio kampo įtaka aerodinaminio pasipriešinimo koeficientui (Bappa, 2015)

1.13 paveiksle matoma, kaip yra veikiamas pasipriešinimo koeficientas, kintant nuolydžio kampui. Geriausias rezultatas pasiekiamas, kai nuolydžio kampas yra 15 laipsnių. Viršijus 35 laipsnių kampa, pasipriešinimo koeficientas ženkliai nesikeičia ir išlieka 0,35.



1.14 pav. Apatinės dalies pakilimo kampo įtaka (Bappa, 2015)

1.14 paveiksle matoma, kad apatinės automobilio dalies pakilimo kampas taip pat turi įtakos pasipriešinimo koeficientui. Kampui esant apie 13 laipsnių, pasipriešinimo koeficientas gali būti sumažinamas iki 3 procentų.

### 1.2.3 Transporto priemonių aerodinamikos reikšmė

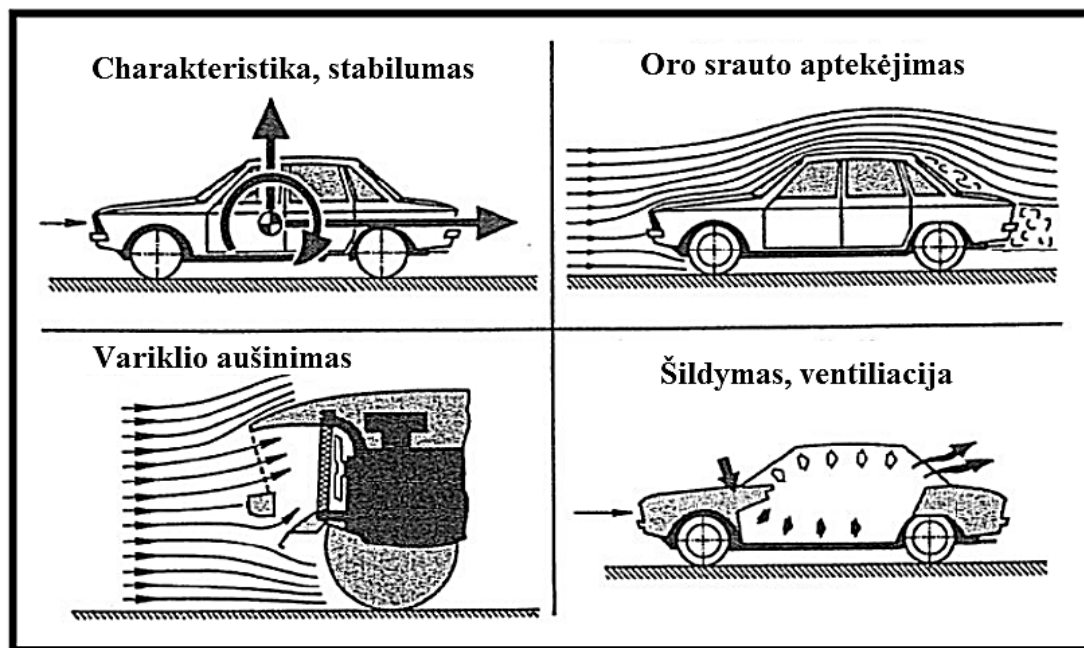
Aerodinamika yra pirmalaikis faktorius, kuris turi įtakos automobilio dizainui. Pagrindinės yra šios aerodinaminės automobilio savybės: aušinimas, komfortas, stabilumas, matomumas, tačiau svarbiausias yra aerodinaminis pasipriešinimas (1.15 pav). Tai yra dėl to, kad aerodinaminis pasipriešinimas turi įtakos automobilio charakteristikoms, degalų ekonomiškumui, emisijai bei dinamiškumui (Hucho, 1998).



1.15 pav. Aerodinamikos svarba automobiliui (Audi, 2016)

Aerodinaminės jėgos transporto priemonėse turi mažesnę įtaką, lyginant su orlaiviais. Orlaiviuose aerodinaminės jėgos yra esminis dalykas, išlaikantis orlaivį ore. Išskiriami šie keturi pagrindiniai dalykai, kurie išlieka vis dar svarbūs automobilių aerodinamikoje (1.16 pav.):

- Oro srauto aptekėjimas;
- Aerodinaminės jėgos ir momentai (charakteristikos ir stabilumas);
- Variklio aušinimas;
- Šildymas, ventiliacija, garsas (Bappa, 2015).

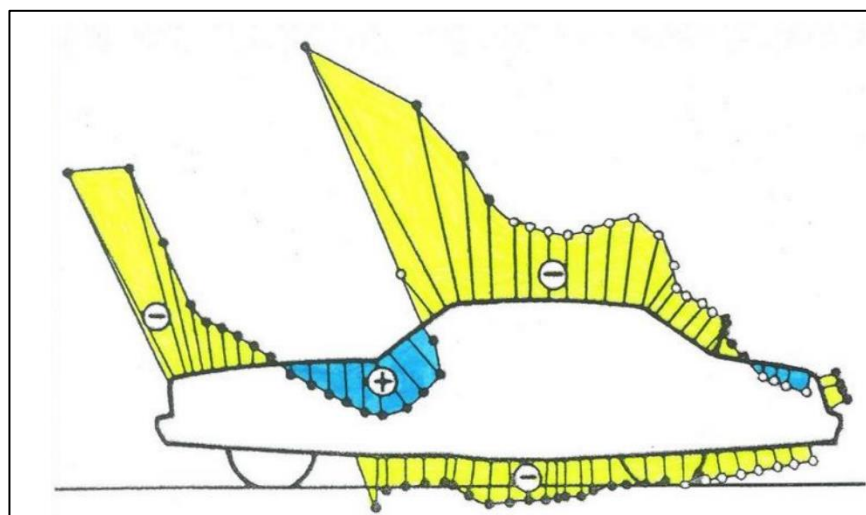


1.16 pav. Aerodinaminiai objektai automobiliuose (Bappa, 2015)

Oro srauto aptekėjimas atskleidžia išsamų srauto laukų aplink transporto priemonės kūbulą aptekėjimą, kurie padeda nustatyti, kur ir kaip toliau gerinti aerodinaminę transporto priemonės formą. Be to, srauto laukas detaliai padeda nustatyti atsiskyrusius srautus, kurie didina pasipriešinimo jėgą bei triukšmo lygį. Srauto laukas padeda nustatyti srautą į variklio aušinimo angas bei įvairius trikdžius tarp įvairių automobilio elementų. Automobilio charakteristikos ir stabilumas yra pagrindinės savybės, kurios veikiamos aerodinamikos, taip pat nuo šių savybių labai priklauso ir automobilio degalų ekonomiškumas. Degalų ekonomiškumą galima sumažinti mažinant transporto priemonių aerodinaminį pasipriešinimo koeficientą. Tai turi didelę įtaką važiuojant dideliu greičiu. Šildymas ir vėdinimas salone gali būti antraeilis dalykas, bet gali būti labai svarbus, prabanguose automobiliuose labai svarbu vairuotojo ir keleivių komfortas. Galiausiai, variklio aušinimas yra labai svarbus dėl variklio darbo ir patvarumo, nes tai veikia tolimesnę automobilio eksploataciją bei detalių patvarumą (Bappa, 2015).

## 1.2.4 Lengvojo automobilio aerodinaminis pasipriešinimas

Yra atlikta daug eksperimentų tyrimų, analizuojančių automobilio aerodinaminį pasipriešinimą. Tačiau nuoseklios jį pagrindžiančios teorijos nėra. 1.17 paveiksle pateiktas supaprastintas slėgio pasiskirstymas automobilio viršutinėje ir apatinėje dalyje.



1.17 pav. Slėgio pasiskirstymas automobilio paviršiuje (Laha, 2015)

Paveiksle matyti, kad automobilio paviršiuje yra trys taškai, kuriuose visiškai srautas stabdomas: automobilio priekyje, prieš priekinį stiklą ir automobilio užpakalinėje briaunoje. Apatinėje automobilio dalyje srauto slėgis mažai keičiasi. Tik kai automobilio dugnas yra labai arti kelio paviršiaus, apatinėje automobilio dalyje gali atsirasti ženklesnis neigiamas slėgis. Ties priekinio automobilio stiklo apatine briauna srautas taip pat sustabdomas. Ties viršutine priekinio automobilio stiklo briauna slėgis sparčiai mažėja. Toliau artėjant prie automobilio užpakalinės briaunos, srautas pradeda visiškai stabdyti. Suminė slėgio (teigiamo ir neigiamo) jėga viršutinėje automobilio pusėje yra didesnė negu apatinėje. (Paknys, 1999).

## 1.2.5 Oro srauto mechanikos aplink transporto priemonę analizė

### 1.2.5.1 Laminarinis ir turbulencinis srautas

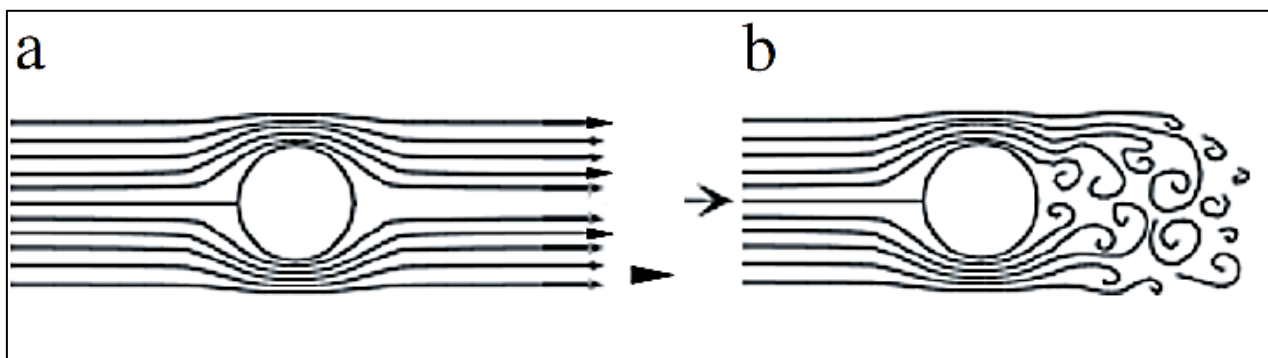
Automobiliui judant oru dėl oro klampumo ir aptekamo automobilio paviršiaus šiurkštumo oro srauto greitis prie aptekamo kūno paviršiaus lygus nuliui. Tolstant nuo kūno paviršiaus, srauto greitis didėja ir pasiekia nesuardyto srauto greitį. Aptekamą kūną supantis aplinkos sluoksnis, kuriame srauto greitis kinta nuo  $v = 0$  iki  $v_{\infty}$ , yra vadinamas pasienio sluoksniu (Genta, 2009).

Aptekantis srautas gali būti dvejopas:

Laminarinis, arba sluoksninis – kai srauto sluoksnis išsidėsto dėsningai ir tarpusavyje nesimaišo. Toks srauto judėjimas būdingas esant nedideliems greičiams (1.18 pav.a).

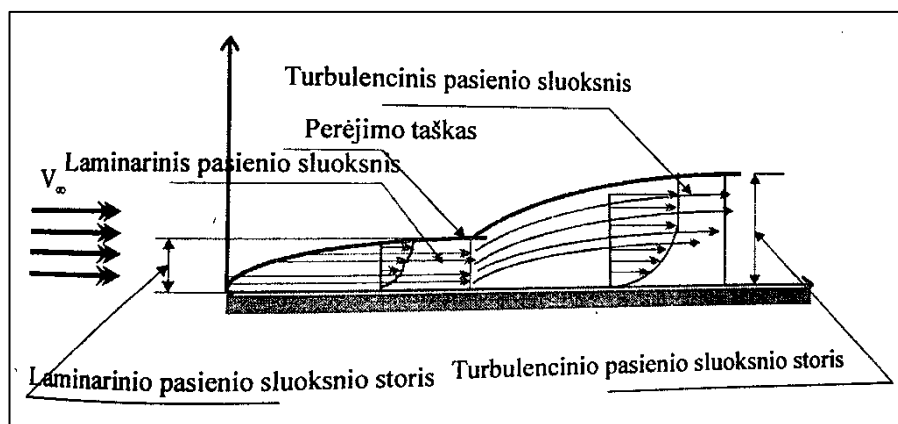
Turbulencinis – kai srauto sluoksnis judėdamas maišosi, esant pulsacinei greičio dedamajai. Toks srautas atsiranda esant dideliems greičiams (1.18 pav. b).

Mišrus – turintis tiek laminarinio judėjimo, tiek turbulencinio judėjimo savybių.



1.18 pav. Srautai: a – laminarinis; b – turbulencinis

„Laminarinio ir turbulencinio srauto greitį nagrinėjo O. Reynoldsas. Jis nustatė, kad, iki tam tikros greičio reikšmės nusistovėję srauto tekėjimas yra laminarinis. Kai srauto greitis viršija tam tikrą kritinę reikšmę, tekėjimas tampa nenusistovėjęs. Tuo metu greitis įgauna pulsacines ir išilginiam greičiui statmenas dedamąsias. Reynoldsas nustatė, kad tekėjimo pobūdis nusako bedimensinis dydis, kuris vėliau buvo pavadintas Reinoldso skaičiumi“ ( Paknys, 1999).

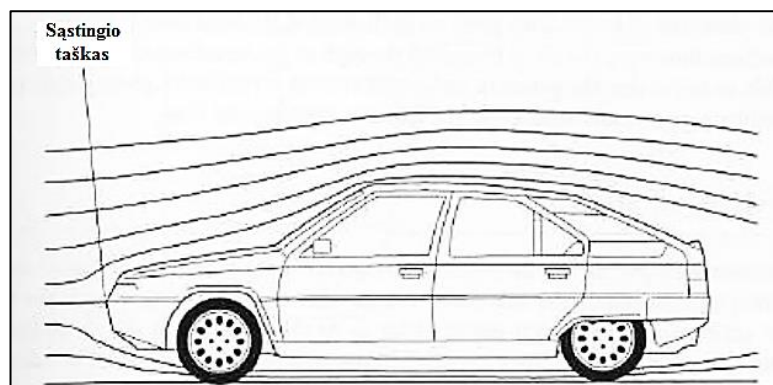


1.19 pav. Laminarinio tekėjimo perėjimas į turbulencinį (Paknys, 1999)

Kaip teigia autorius: „Laminarinis tekėjimas apima tik tam tikrą aptekamo kūno dalį. Dėl trinties pasipriešinimo jau nuo priekinės dalies kūną aptekancio srauto kinetinė energija mažėja. Tam tikrame kūno taške laminarinis tekėjimas pereina į turbulencinį. Šis perėjimo taškas priklauso nuo srauto greičio ir aplinkos klampumo. Šių dydžių tarpusavio ryšį nusako Reinoldso skaičius“ ( Paknys, 1999).

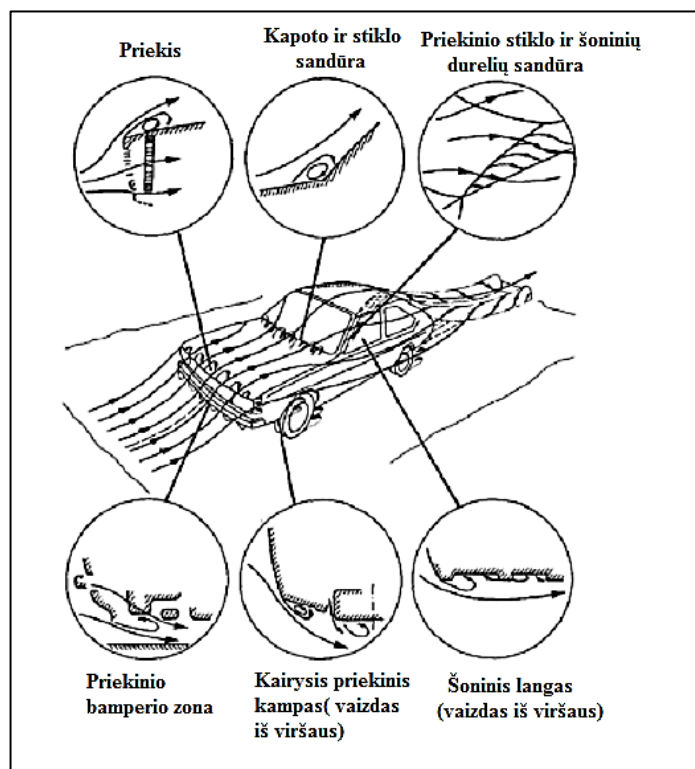
### 1.2.5.2 Išorinis srautas aplink transporto priemonės kėbulą

Orui aptekant automobilį, didžiausią spaudimą patiria priekinė automobilio dalis, kuri yra labiausiai išsikišusi priekyje. Tame sąstingio taške aptekančio srauto greitis yra lygus nuliui. Taip pat šiame taške aptekantis srautas skyla į dvi dalis ir pasiskirsto tarp apatinės ir viršutinės automobilio dalies (1.20 pav.). Šio taško padėtis ar oro srauto pasiskirstymas yra visiškai neveikianti automobilio galo formos (Bappa, 2015).



1.20 pav. Sąstingio taškas priekinėje automobilio dalyje (Bappa, 2015)

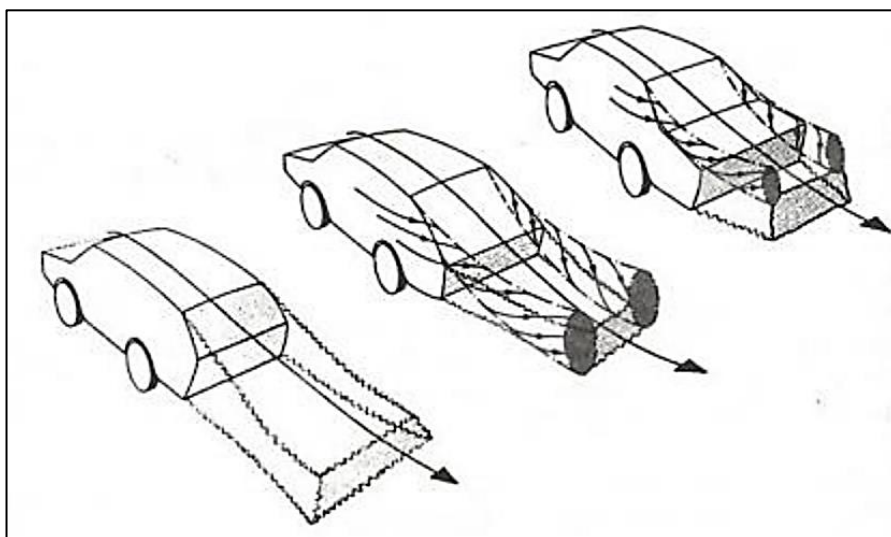
Toliau 1.21 paveiksle pateikiami pagrindiniai konstrukciniai automobilio elementai ties kuriais atitrūksta oro srautas.



1.21 pav. Aptekamo automobilio būdingos srauto zonos (Paknys, 1999)

Automobilio variklio kapoto priekinėje briaunoje srautas atitrūksta, o paskui vėl priglunda prie automobilio paviršiaus. Atitrūkimo zonoje susidaro atitrūkimo sūkurys. Atitrūkimo zonos ilgis priklauso nuo priekinio automobilio dangčio posvyrio kampo. Tokio pat pobūdžio atitrūkimo srautas susidaro ties priekinio kapoto ir priekinio stiklo sandūra. Atitrūkimo zonos ilgis priklauso nuo priekinio kapoto ir priekinio stiklo tarpusavio kampo. Tokį pat srauto atitrūkimo pobūdį galime sudaryti ir automobilio šoninio lango ir durų arba kėbulo rėmo sandūroje. Šiuo atveju atitrūkimo zonos ilgis priklauso nuo durų arba kėbulo detalių aukščio iki stiklo paviršiaus. Kuo didesnis aukštis, tuo didesnis atitrūkimo zonos ilgis. Priekinio stiklo ir šoninių durelių sandūros zonoje esančio srauto negalime pavadinti dvimačiu, nes ties priekinio stiklo rėmu ir ties šoninėmis durimis jis užlinksta ne tik šoninėje plokštumoje, bet viršutinėje ( Paknys, 1999).

Esant tam tikram automobilio užpakalinės dalies nuolydžio kampui, už automobilio užpakalinės dalies susidaro sūkurinis pėdsakas, primenantis išstėtą vamzdį ( 1.22 pav.).

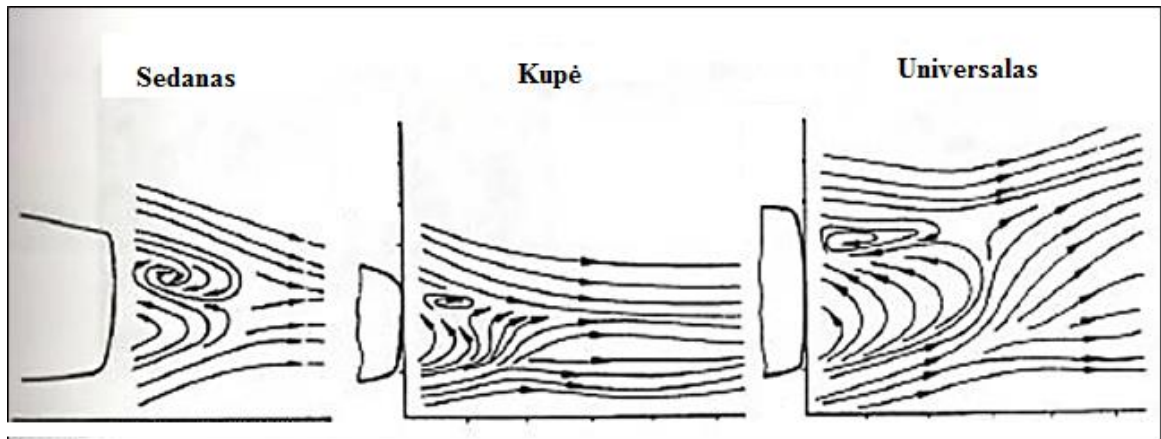


1.22 pav. Sūkuriniai pėdsakai automobilio gale (Bappa, 2015)

Šiame paveiksle palygintos trys automobilio galų formos. Tai būtų sedanas, kupė, universalas. Stebint šį 1.22 paveikslą matyti, kad sedano formos automobilyje sūkuriai susidaro viršutinėje automobilio galo dalyje. Kupė automobilio sūkuriai formuojasi aplink galinius automobilio kampus. Universalio automobilio kėbulo sūkurių pėdsakas išlieka ilgiausias, lyginant su kitais pateiktais automobiliais.

Kaip matoma 1.23 paveiksle, kupė automobilio gale esančios srauto linijos iš apačios automobilio linksta į viršų, tačiau ateinantis srautas iš viršaus šias linijas ištiesina. Taip nesudaro sūkuriai, kurie veikia automobilio aerodinamiką.



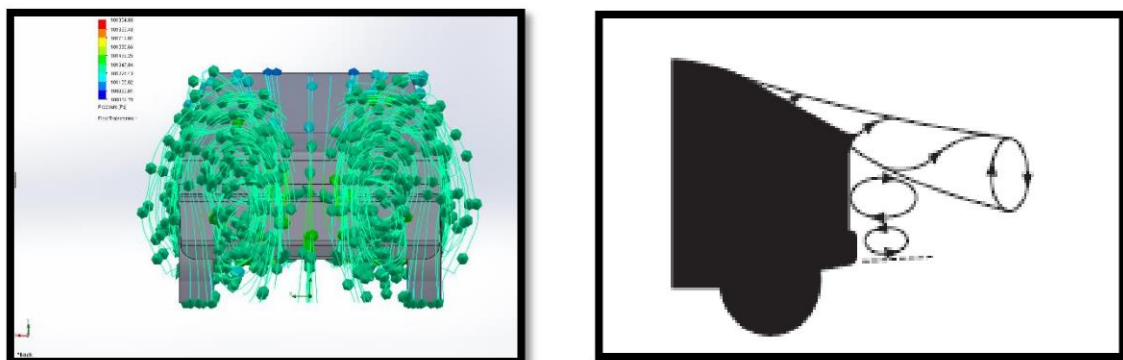


1.23 pav. Sūkurių formos (šoninėje projekcijoje) automobilio gale (Bappa, 2015)

Stebint sedano formos automobilį, gale matyti susidarančios dvi didelės sūkurių zonos, kurių sukimosi kryptys skirtingos. Universalso kėbulą aptekantis srautas sudaro didelį srauto užlinkimą, kylantį iš apatinės automobilio dalies ir mažesnių sūkurių – iš viršutinės kėbulo dalies.

Kituose paveiksluose pateiktas teorinių sūkurių susidarymas bei jų palyginimas, naudojantis kompiuterinėmis programomis.

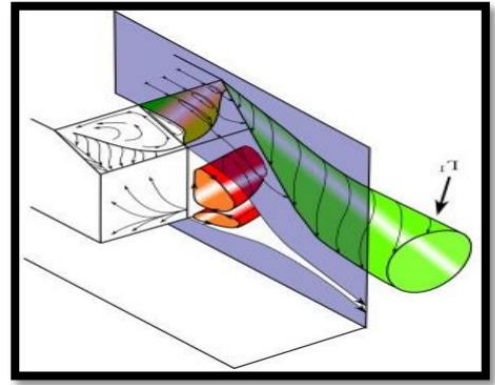
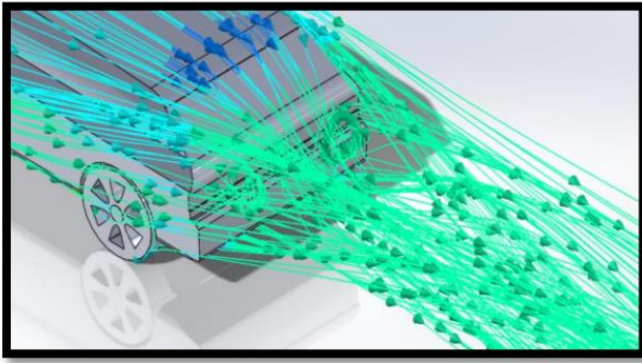
Srauto trajektorijos rodo, kaip oras apteka automobilio kėbulą. 1.24 paveiksle matyti srauto trajektorijos aplink kupė kėbulo automobilį.



1.24 pav. Kupė srauto linijų ir sūkurių palyginimas (Bappa, 2015)

Nuožulnus kėbulo kampas garantuoja ir mažesnę pasipriešinimo koeficientą. Taigi lyginant šiuos du paveikslėlius matyti, kad kompiuterinėmis programomis atliktas oro srauto aptekėjimas sutampa su teoriškai nustatytais.

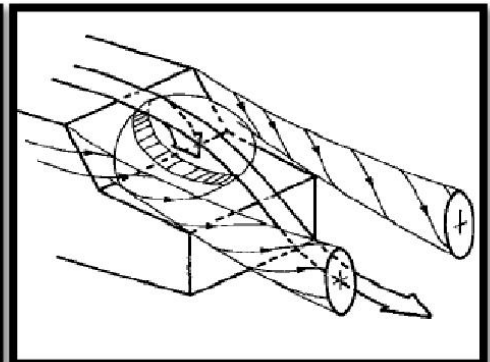
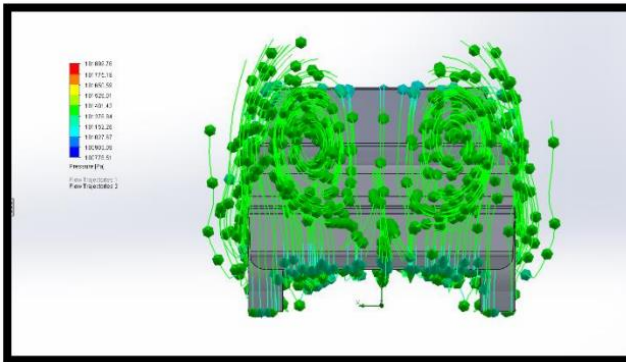
1.25 paveiksle pateikiamas hečbeko kėbulo palyginimas.



1.25 pav. Hečbeko srauto linijų ir sūkurių palyginimas (Bappa, 2015)

Matoma, kad galinėje kėbulo dalyje susidaro oro srauto sūkurius, kurie pažymėti raudona spalva. Taip iš kraštu pastebima, kad formuojasi cilindro formos srautų linijos.

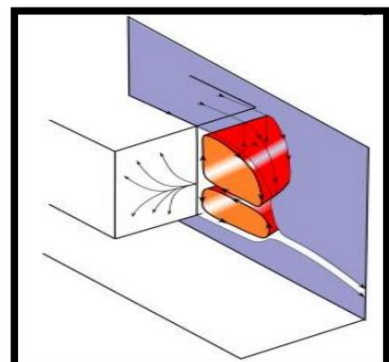
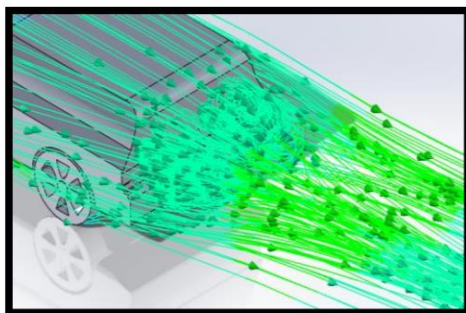
1.26 paveiksle matyti oro srauto trajektorijos aplink sedano kėbulą automobilį.



1.26 pav. Sedano srauto linijų ir sūkurių palyginimas (Bappa, 2015)

Matyti, kad kaip ir teoriškai nustatyta, sūkurius susidaro viršutinėje automobilio galo dalyje. Taip pat pastebėta, kad sūkurius susidaro ir ties galinio lango plotu.

1.27 paveikslas pateikia oro srauto aptekėjimo trajektorijas aplink universalso kėbulą turintį automobilį. Aptekantis oro srautas aplink automobilį labai skiriasi, lyginant su kupė, hečbeku ar sedanu.



1.27 pav. Universalso srauto linijų ir sūkurių palyginimas (Bappa, 2015)

To priežastis yra, kad automobilis neturi nuožulnios galinės dalies arba ji yra labai maža. Kampuota kėbulo forma turi įtakos srauto atsiskyrimui, dėl to srautas atsiskiria vėliau, o tai sukelia slėgio kritimą. Slėgio kritimas turi didelę įtaką automobilio gale susidarantiems sūkuriams.

### 1.2.6 Stogo bagažinių ir dviračių vežimo įtaka degalų sąnaudoms

Lengvieji automobiliai ir keleiviniai sunkvežimiai yra pagrindiniai naftos vartotojai ir daugiausia išmeta šiltnamio efektą sukeliančių dujų. Strategijos, siekiančios sumažinti degalų sunaudojimą ir lengvųjų automobilių išmetamąsias dujas, turi apimti naujausias technologijas ir politinius veiksnius, susijusius su automobiliais. Daugelyje šalių vyriausybės reguliuoja išmetamųjų dujų kiekį. Taip pat yra atitinkamos asociacijos, kurios kiekvienais metais siekia sumažinti degalų sunaudojimą bei išmetamųjų dujų kiekį, taikydamos sankcijas automobilių gamintojams bei vartotojams (Yuche Chen, 2015).

Šiuo metu stogo bagažinės bei dviračių laikikliai yra vieni iš populiariausių komponentų, pritvirtinamų prie transporto priemonių. Kadangi jie dažnai naudojami, yra labai svarbu suprasti visų šių komponentų įtaką degalų sąnaudoms (Yuche Chen, 2015).

Stogo bagažinės ar dviračių laikikliai gali būti montuojami ant stogo ar bagažinės. Stogo bagažinių forma priklauso nuo poreikio, tačiau visada jos padidina transporto priemonės aerodinaminį pasipriešinimo koeficientą, kuriam reikia papildomos energijos pasiekti reikiamą greitį. Aerodinaminis koeficientas padidėja dėl to, nes padidėja automobilio priekinės dalies plotas (Yuche Chen, 2015).

Pateiktame 1.28 paveiksle matyti, kaip stogo bagažinė bei dviračių laikiklis montuojamas ant automobilio stogo.



1.28 pav. Stogo bagažinės ir dviračių montavimas ant stogo (Stogo-bagazines, 2016)

Buvo atlikti keturi skirtingi bandymų tipai, skirti išsiaiškinti degalų sunaudojimą transportuojant stogo bagažines bei dviračius ant automobilio stogo. Pirmas bandymas buvo atliktas su tuščia stogo bagažine, automobiliui važiuojant mažu greičiu. Atlikus šį bandymą buvo nustatyta, kad degalų

sąnaudos ženkliai nepakito važiuojant nedideliais greičiais. Toliau sekė antras bandymas, kurio metu stogo bagažinė buvo visiškai pakrauta. Bandymas taip pat buvo atliekamas važiuojant mažais greičiais. Tačiau atlikus šį bandymą buvo nustatytas 8 % degalų sunaudojimo kilimas. Atliekant trečią bandymą automobiliu su visiškai pakrauta stogo bagažine, buvo važiuojama greitkeliu 112 km/h greičiu. Rezultatų suvestinė parodė, kad degalų sąnaudos padidėjo 24,8 %. Paskutinis, ketvirtasis, bandymas buvo atliekamas su tuščia stogo bagažine važiuojant greitkeliu. Rezultatai parodė, kad degalų sunaudojimas didėjo nuo 6,6 % iki 11,3 % (Yuche Chen, 2015).

Kaip matoma iš Jungtinėse Amerikos Valstijose atliktų bandymų, stogo bagažinių bei dviračių transportavimas ant transporto priemonių stogų turi didelę įtaką degalų sunaudojimui, o kartu ir išmetamųjų dujų kiekiui.

### **1.3 Degalų ekonomiškumas**

Automobilio eksploatacinės savybės tai dinamiškumas, degalų ekonomiškumas, valdomumas, pastovumas, pravažumas, važiavimo komfortas, patikimumas ir ilgaamžiškumas.

Degalų ekonomiškumas tai automobilio gebėjimas efektyviai išnaudoti degalų energiją judėjimui. Išlaidos degalams sudaro žymią pervežimų savikainos dalį, dėl to, kuo mažesnės automobilio degalų sąnaudos, tuo mažesnės eksploatacinės išlaidos. Automobilio konstrukcijos efektyvumą apibrėžia degalų kiekis sunaudotas tam tikram kelio ruožo atstumui įveikti.

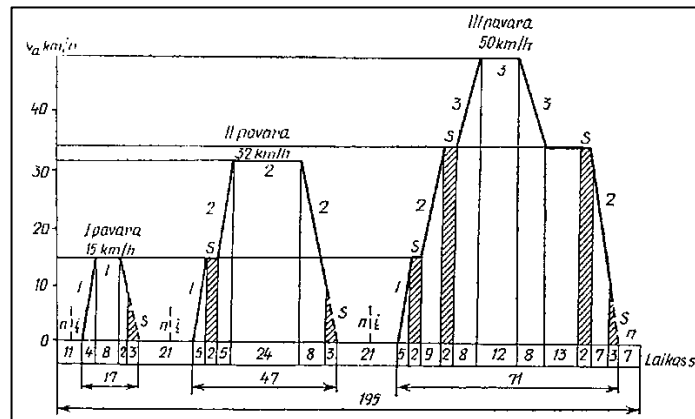
Efektyvus degalų naudojimas – viena iš svarbiausių šiuolaikinių autotransporto problemų. Tai ne tik ekonominė, bet ir aplinkosaugos problema. Degalų sąnaudų mažinimo automobilių transporte problemos tyrimas rodo jos sudėtingumą bei kompleksiskumą. Degalai dažniausiai pereikvojami dėl blogos transporto priemonių techninės būklės, sunkių eksploatacinių sąlygų, žemos vairuotojų kvalifikacijos, taip pat dėl to, kad ne iki galo panaudojamos organizacinės ir technologinės priemonės. Prie pastarųjų priskiriama degalų sąnaudų matavimas ir normavimas. Automobilių techninė būklė turi lemiamos reikšmės degalų sąnaudoms, todėl yra labai svarbu laiku ir kokybiškai atlikti automobilių techninę priežiūrą bei remontą. Analizuojant eksploatacinių sąlygų įtaką degalų sąnaudoms turime įvertinti daug veiksnių: kelio sąlygas (priklauso nuo kelio dangos tipo ir kokybės, kalvotumo), važiavimo sąlygas (miestas, užmiestis, eismo intensyvumas), klimatinės sąlygas (temperatūra, slėgis, drėgnumas) ir pan. (Mickūnaitis, 2005).

#### **1.3.1 Automobilio degalų sąnaudų nustatymas**

Šiame skyrelyje išdėstytos kokios yra automobilių degalų sąnaudų nustatymo ir normavimo metodikos. Degalų sąnaudos gali būti nustatomos atliekant šiuos metodus:

- Ciklas, imituojantis važiavimą mieste

Šie bandymai atliekami specialiais stendais, kur ciklai suskirstyti atitinkamais laikais (1.29 pav.).

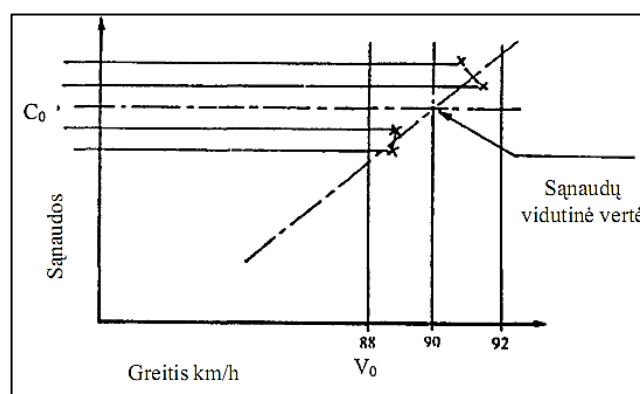


1.29 pav. Automobilių stendinių bandymų ciklas: n – pavarų dėžės neutrali padėtis; i – pavarų įjungimas; s – pavarų I, II, III, perjungimo momentas (Mickūnaitis, 2005)

Vidutinis greitis bandymo metu yra 19 km/h, faktinis judėjimo laikas – 195s, teorinis atstumas, nueitas per ciklą – 1,013 km. Atstumas, ekvivalentiškas nueitam atstumui per vieną bandymą (4 ciklai), - 4,052 km.

- Bandymas esant pastoviam 90 km/h arba 120 km/h greičiui

Šiuos bandymus galima atlikti dinamometriniame stende arba kelyje. Maršrutas turi būti toks, kad būtų galima palaikyti pastovų greitį. Maršruto ilgis  $\tilde{n}$  ne mažesnis kaip 2 km. Maršrutas turi būti uždaras, o kelio danga yra geros būklės. Galima naudoti ir tiesų kelio ruožą, kurio ilgis į abu galus būtų lygus 2 km. Nuolydis tarp dviejų bet kurių taškų neturi viršyti  $\pm 2\%$  (Mickūnaitis, 2005).



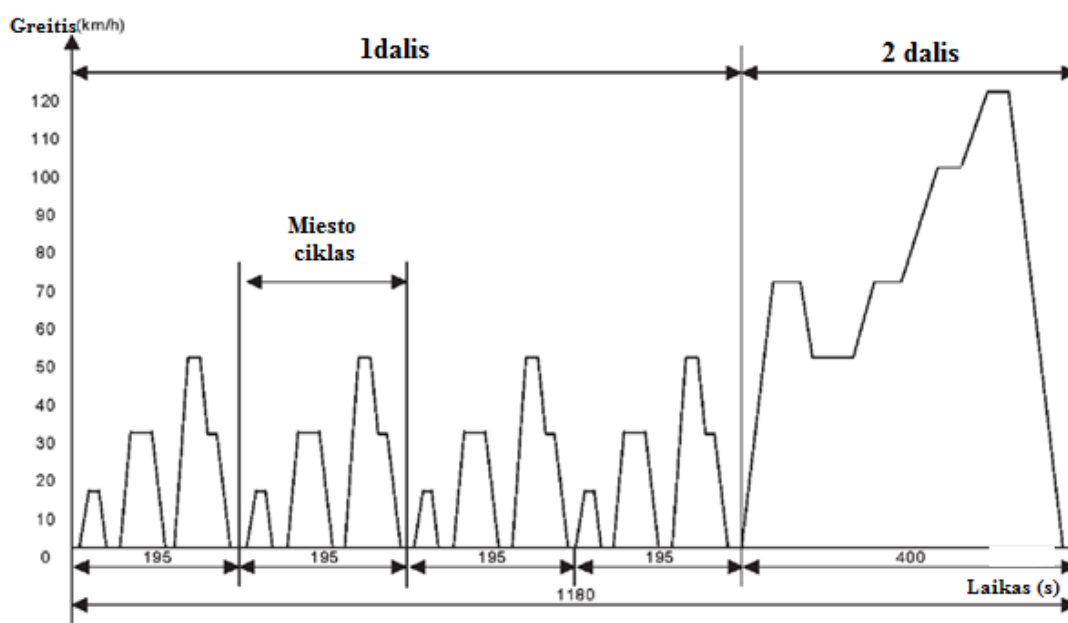
1.30 pav. Vidutinių degalų sąnaudų apskaičiavimas esant pastoviam 90 km/h greičiui (Mickūnaitis, 2005)

Kaip matoma 1.30 paveiksle matuojant degalų sąnaudas, esant pastoviam kontroliniam greičiui, reikalinga atlikti keturis bandymus: du, kai vidutinis greitis yra mažesnis negu kontrolinis ir du, kai vidutinis greitis yra didesnis negu kontrolinis (Mickūnaitis, 2005).

### 1.3.2 Europinis važiavimo ciklas

Europoje degalų sąnaudos nustatomos taikant Europos bendrijos priimtą automobilių važiavimo ciklą. Šis ciklas yra patvirtintas „EEC Directive 90/C81/01“ direktyvoje.

Šis ciklas naudojamas nustatant naujų automobilių degalų sąnaudas ir išmetamų deginių kiekius tikėtinose eksploatacijos sąlygose. Be to, šis ciklas apibrėžia minimalius reikalavimus automobilio judėjimo dinamikai. Judėjimo ciklą sudaro keturi paeiliui besikartojantys judėjimą mieste atspindintys ciklai (1 dalis) ir vienas užmiesčio ciklas (2 dalis) (1.31 pav.) (Dieselnet, 2016).



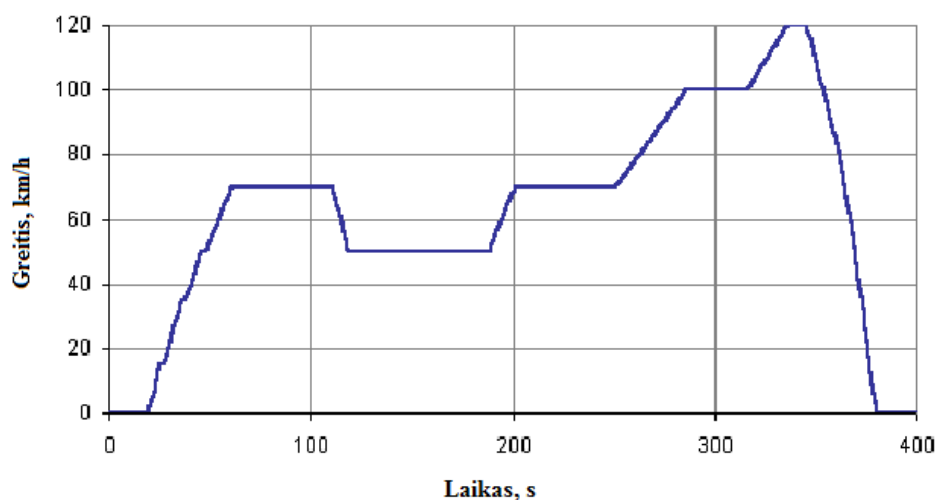
1.31 pav. Europinis važiavimo ciklas (Toyota, 2016)

Vienas imitacinis judėjimo mieste ciklas trunka 196 s, nuvažiuojamas atstumas 0,99 km, maksimalus greitis  $v_{\max}= 50$  km/h. Užmiesčio ciklas trunka 400 s, nuvažiuojamas atstumas 6,95 km, maksimalus greitis  $v_{\max}= 120$  km/h.

## 2. PROJEKTO METODIKA

### 2.1 Automobilio degalų sąnaudų nustatymo metodika

Skyrelyje 1.3.1 buvo apžvelgtos automobilių degalų sąnaudų nustatymo metodikos. Šiame skyrelyje plačiau apžvelgiama sąnaudų nustatymo metodika, kuri bus naudojama eksperimentams atlikti. Eksperimentas atliekamas pritaikant Europos važiavimo ciklo 2 dalį, važiuojant užmiešio keliu. Plačiau apžvelgiamas šis ciklas (2.1 pav.).



2.1 pav. Europinis užmiešio ciklas (Dieselnet, 2016)

2.1 paveiksle matoma greičio priklausomybė nuo laiko. Europinis užmiešio ciklas prasideda iš laisvos eigos stovint, toliau vyksta greitėjimas iki 70 km/h, važiavimas pastoviu greičiu, stabdymas iki 50 km/h ir važiavimas šiuo greičiu, greičio didinimas iki 70 km/h, nuvažiavus atkarpą greitis didinamas iki 100 km/h, važiuojama trumpą laiką ir pagreitinama iki 120 km/h greičio, toliau seka stabdymas iki 0 km/h ir stovima laisva eiga 20 s.

2.1 lentelėje pateikiamos svarbiausios ciklo savybės.

2.1 lentelė

Europinio važiavimo ciklo duomenys (Dieselnet, 2016)

| Nr. | Charakteristika             | Reikšmė                |
|-----|-----------------------------|------------------------|
| 1   | Atstumas                    | 6,95 km                |
| 2   | Bendras laikas              | 400 s                  |
| 3   | Laisvos eigos laikas        | 39 s                   |
| 4   | Vidutinis važiavimo greitis | 69,36 km/h             |
| 5   | Didžiausias greitis         | 120 km/h               |
| 6   | Vidutinis pagreitis         | 0,354 m/s <sup>2</sup> |
| 7   | Didžiausias pagreitis       | 0,833 m/s <sup>2</sup> |

2.1 lentelėje matoma, svarbiausios charakteristikos, kurios apibūdina užmiesčio ciklą. Atsižvelgiant į jas pasirenkama kelio atkarpa.

## 2.2 Teorinis automobilio degalų suvartojimo skaičiavimas

Automobilio degalų suvartojimas priklauso nuo automobilio darbo režimo, važiavimo greičio, pasipriešinimo jėgų bei daugybės kitų parametru. Pagrindinės jos apžvelgiamos šiame skyrelyje.

### Oro pasipriešinimo jėga

Oro pasipriešinimo jėga apskaičiuojama pagal išraišką:

$$F_{oro} = 1/2 \cdot C_x \cdot F_M \cdot \rho \cdot v^2; \quad (1)$$

čia:

$C_x$  – automobilio aerodinaminio pasipriešinimo koeficientas. Paprastai jis nurodomas automobilio techniniuose charakteristikose;

$F_M$  – automobilio midelio plotas, (m<sup>2</sup>);

$v$  – važiavimo greitis, (m/s);

$\rho$  – oro tankis, (kg/m<sup>3</sup>).

### Kelio pasipriešinimo jėga

Kelio pasipriešinimo jėga apskaičiuojama:

$$F_{kel} = G(f_a \cdot \cos \alpha + \sin \alpha); \quad (2)$$

čia:

$\alpha$  – įkalnės kampas (skaičiuojant priimama  $\alpha = 0^\circ$ );

$G$  – automobilio svorio jėga, (N);

$f_a$  – rato pasipriešinimo riedėjimui koeficientas, kai automobilis rieda asfaltbetonių ar cementbetonių.

$$f_a = \frac{0,0085 \cdot v}{v} + \frac{0,018 \cdot v}{p \cdot v} + \frac{1,59 \cdot 10^{-6}}{p} \cdot v^2; \quad (3)$$

čia:

$p$  – slėgis padangoje, (bar);

$v$  – automobilio greitis, (m/s) (Genta, 2009).



### **Inercijos pasipriešinimo jėga**

Inercijos pasipriešinimo jėga apskaičiuojama:

$$F_i = m \cdot a; \quad (4)$$

čia:

$m$  – automobilio masė, (kg);

$a$  – automobilio pagreitis, ( $m/s^2$ ).

### **Jėgų balanso lygtis**

Bendra suminė pasipriešinimo jėga apskaičiuojama pagal išraišką:

$$F_{sum} = F_{oro} + F_{kel} + F_i + F_{trans}; \quad (5)$$

čia:

$F_{oro}$  – oro pasipriešinimo jėga, (N);

$F_{kel}$  – kelio pasipriešinimo jėga, (N);

$F_i$  – inercijos pasipriešinimo jėga, (N);

$F_{trans}$  – transmisijos pasipriešinimo jėga (tolimesniuose skaičiavimuose jie nevertinami), (N).

### **Galios apskaičiavimas**

Galia reikalingai pasipriešinimo jėgai nugalėti gaunama pagal išraišką:

$$P = v \cdot F_{sum}; \quad (6)$$

čia:

$F_{sum}$  – suminė pasipriešinimo jėga, (N);

$v$  – važiavimo greitis, (m/s);

### **Automobilio degalų suvartojimas**

Automobilio degalų suvartojimas priklausomai nuo variklio darbo režimo apskaičiuojamas pagal išraišką:

$$Q = N \cdot b_e; \quad (7)$$

čia:

$b_e$  – nominalus dyzelino suvartojimas (dyzeliniam varikliui – 190 ÷ 230 g/kWh);

$N$  – galia, (kW).

### **Teorinis degalų suvartojimas automobiliui stovint**

Degalų kiekis apskaičiuojamas automobiliui stovint laisvoje eigoje:

$$Q_{te} = (0,35 \cdot V_{vdv} + 0,33) \cdot 0,95; \quad (8)$$

čia:

$V_{vdv}$  – vidaus degimo variklio tūris, (l) (Genta, 2009).

## Degalų kiekis litrais

Apskaičiuoti degalų tūrį litrais naudojame šią išraišką:

$$V = \frac{m}{\rho}; \quad (9)$$

$m$  – degalų kiekis kilogramais, (kg);

$\rho$  – dyzelino tankis ( $840 \text{ kg/m}^3$ ).

## 2.3 Eksperimentams atlikti naudota įranga

### 2.3.1 VW Passat B5 automobilis

Tiriant degalų sąnaudas buvo pasirinktas VW Passat B5 automobilis. Automobilio išorinis vaizdas pateikiamas 2.2 paveiksle.



2.2 pav. VW Passat B5 automobilis

Svarbiausi automobilio matmenys ir duomenys pateikiami 2.2 lentelėje.

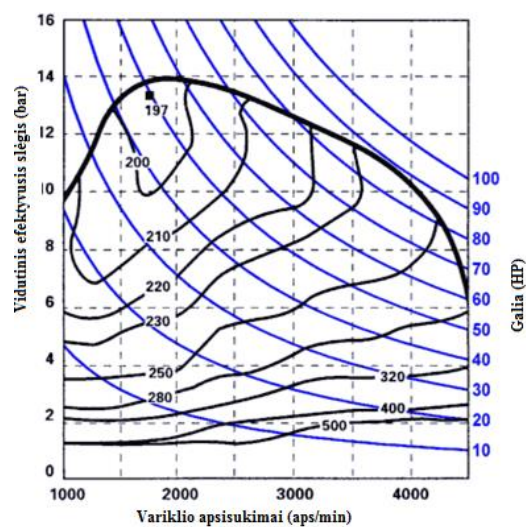
2.2 lentelė

VW Passat B5 techniniai duomenys (Ultimatespecs, 2016)

| Nr. | Techniniai duomenys               | Reikšmė |
|-----|-----------------------------------|---------|
| 1   | Automobilio ilgis                 | 4669 mm |
| 2   | Automobilio plotis                | 1740 mm |
| 3   | Automobilio aukštis               | 1496 mm |
| 4   | Automobilio bazė                  | 2703 mm |
| 5   | Automobilio tarpvežė priekyje     | 1498 mm |
| 6   | Automobilio tarpvežė gale         | 1500 mm |
| 7   | Aerodinaminis pasipriešinimo koef | 0,27    |

| Nr. | Techniniai duomenys            | Reikšmė              |
|-----|--------------------------------|----------------------|
| 8   | Variklio darbinis tūris        | 1896 cm <sup>3</sup> |
| 9   | Maksimali galia                | 81 kW                |
| 10  | Maksimalus sukimo momentas     | 235/1900 aps.        |
| 11  | Degalų tipas                   | Dyzelinas            |
| 12  | Automobilio masė               | 1340 kg              |
| 13  | Automobilio vidinio plotas     | 2,17 m <sup>2</sup>  |
| 14  | Automobilio maksimalus greitis | 190 km/h             |

VW Passat 1,9 TDI automobilio degalų suvartojimo žemėlapis pateikiamas 2.3 paveiksle.



2.3 pav. Automobilio degalų suvartojimo žemėlapis (Ecomodder, 2016)

Naudojant 2.3 paveiksle pateiktu automobilio degalų sąnaudų sunaudojimo žemėlapiu apskaičiuojamos teorinės degalų sąnaudos naudojantis kompiuteriniu skaičiavimo algoritmu.

Pavarų perdavimo santykiai pateikiami 2.3 lentelėje.

2.3 lentelė

#### Pavarų perdavimo santykiai

| Nr. | Pavara            | Perdavimo santykis |
|-----|-------------------|--------------------|
| 1   | I Pavara          | 3,50               |
| 2   | II Pavara         | 1,94               |
| 3   | III Pavara        | 1,23               |
| 4   | IV Pavara         | 0,84               |
| 5   | V Pavara          | 0,68               |
| 6   | Atbulinė pavara   | 3,44               |
| 7   | Pagrindinė pavara | 3,70               |

### 2.3.2 Automobiliniai dviračių laikikliai

#### „Thule“ firmos dviračio laikiklis

Tyrimams atlikti buvo naudojamas „Thule“ firmos dviračių laikiklis. Jis skirtas vežti 3 dviračius. Šio laikiklio nuotrauka pateikiama 2.4 paveiksle. Dviračių laikiklis tvirtinamas ant automobilio kablio. Dviračiai greitai ir patikimai tvirtinasi prie laikiklio, specialiais diržais. Dviračiai yra patogiam aukštyje nuo žemės. Laikiklis sulankstomas ir užima mažai vietos.



2.4 pav. „Thule“ firmos 3 dviračių laikiklis (Auto, 2016)

Sekančioje 2.4 lentelėje pateikiami šio dviračio laikiklio pagrindiniai techniniai duomenys.

2.4 lentelė

„Thule“ firmos laikiklio duomenys (Dviračiai, 2016)

| Nr. | Techniniai duomenys           | Vertė      |
|-----|-------------------------------|------------|
| 1   | Didžiausias dviračių skaičius | 3          |
| 2   | Krovumas                      | 45 kg      |
| 3   | Didžiausia dviračio masė      | 15 kg      |
| 4   | Masė                          | 7,2 kg     |
| 5   | Dydis                         | 470x540 mm |

Dviračio laikiklis gali atlaikyti didžiausią 45 kg masę. Taigi 3 dviračių svoris neturėtų viršyti nurodyto. Dviračių laikiklio masė 7,2 kg.

### **Dviračių laikiklis ant stogo**

Tyrimams atlikti buvo naudojamas „Amos Alu“ firmos dviračių laikiklis. Jis skirtas vežti 1 dviračiui. Šio laikiklio nuotrauka pateikiama 2.5 paveiksle. Dviračių laikiklis tvirtinamas ant stogo. Dviračiai greitai ir patikimai tvirtinasi prie laikiklio.



2.5 pav. Dviračio laikiklis ant stogo (Pigu, 2016)

Dviračių laikiklis greitai fiksuojamas skirtingiems dviračių rėmo dydžiams iki 80 mm. Rakinama: dviratis prie dviračio laikiklio, o šis – prie krovinių laikiklio. Greito atleidimo ratų tvirtinimo diržai, kurie yra pritaikomi įvairaus dydžio ratams.

### **2.3.3 Dviračių laikiklio skersinis**

Eksperimentams atlikti naudojamas universalus dviračių laikiklių skersinis montuojamas ant automobilio. Šis skersinis pateikiamas 2.6 paveiksle.



2.6 pav. Automobilio stogo skersinis (Stogo skersinis ant automobilio, 2016)

Stogo skersinio ilgis 1350 mm. Skersinis tinka įvairiems automobiliams bei yra rakinamas. Didžiausias atstumas tarp išorinių automobilio stogo skersinių (ragų) – 1070 mm, didžiausias krovumas – 90 kg.

### 2.3.4 Eksperimentui naudojami dviračiai

Eksperimentams atlikti buvo naudojami 2 dviračiai. Dviračiai pateikiami 2.7 paveiksle.



2.7 pav. Dviratis naudotas eksperimento metu

Dviračių techniniai duomenys pateikiami 2.5 lentelėje.

2.5 lentelė

Dviračio techniniai duomenys

| Nr. | Techniniai duomenys | Vertė   |
|-----|---------------------|---------|
| 1   | Ilgis               | 2650 mm |
| 2   | Aukštis             | 1200 mm |
| 3   | Masė                | 15 kg   |
| 4   | Ratų skersmuo       | 689 mm  |

### 2.3.5 Automobilio masės nustatymui naudojamos svarstyklės

Svarstyklės skirtos sverti automobiliams bei ratinei technikai. 2.8 paveikslėlyje matoma šios skaitmeninės svarstyklės. 2.8 paveikslo (a) dalyje pateiktas skaitmeninių svarstyklių padas, ant kurio bus užvaromas automobilis. Svarbiausia nesumaišyti, kuris padėklas, kuriam ratui skirtas.



2.8 pav. „Longacre Computerscales“ skaitmeninės svarstyklės: a – svarstyklių padas; b – svarstyklių ekranas

2.8 paveikslas (b) tai skaitmeninių svarstyklių ekranas, kuriame galima matyti kaip išsiskirstęs sveriamo automobilio svoris. Taip pat galima pamatyti procentinį svorio pasiskirstymą ir visą automobilio svorį. Šių svarstyklių techniniai duomenys pateikiame 2.6 lentelėje.

2.6 lentelė

Longacre Computerscales Skaitmeninių svarstyklių parametrai (Longaceracing, 2016)

| Nr. | Techniniai duomenys      | Vertė             |
|-----|--------------------------|-------------------|
| 1   | Gamintojas               | Racing Products   |
| 2   | Svarstyklių tipas        | Elektroninės      |
| 3   | Padėklo medžiaga         | Aliuminis         |
| 4   | Padėklo sveriamas svoris | 1100 kg           |
| 5   | Padėklo ilgis            | 305 mm            |
| 6   | Padėklo plotis           | 305 mm            |
| 7   | Padėklo aukštis          | 63,5 mm           |
| 8   | LCD ekranas              | Taip              |
| 9   | Apšvietimas              | Taip              |
| 10  | Kabelio ilgis            | 6096 mm           |
| 11  | Tikslumas                | 0,1 % (nuo masės) |

### 2.3.6 Degalų kiekio nustatymui naudojamos svarstyklės

Norint tiksliai pasverti eksperimento metu sunaudotą degalų kiekį naudojamos „Adler“ firmos svarstyklės. Svarstyklių svarbiausi parametrai pateikiami 2.7 lentelėje.

## Svarstyklių duomenys (Candletales, 2016)

| Nr. | Techniniai duomenys | Vertė        |
|-----|---------------------|--------------|
| 1   | Tipas               | Elektroninės |
| 2   | Didžiausias svoris  | 5 kg         |
| 3   | Tikslumas           | 0,001 kg     |
| 4   | Padėklo skersmuo    | 100 mm       |

### 2.3.7 Programinė įranga

#### „Race technology DL1“ duomenų kaupiklis

DL1 duomenų kaupiklis yra kompaktiškas duomenų kaupimo sistema, skirta automobilių, laivų ar motociklų sportui norint stebėti ir gerinti vairuotojo ir transporto priemonės dinamines charakteristikas. DL1 turi galimybę saugoti duomenis iš įvairių šaltinių įskaitant ir GPS ar akcelerometrus. Vienas iš pagrindinių privalumų naudojant šią sistemą yra aukšto tikslumo 5HZ GPS sistema ir 3-ašių akcelerometras, kurie labai pagerina kelio kartografavimą ir suteikia daug tikslios greičio matavimo informacijos. DL1 taip pat gali gauti duomenis iš 8 išorinių analoginių daviklių. Visa gaunama informacija saugoma SD kortelėje, kuri gali būti iki 32 GB. DL1 sistema yra suderinta su „Windows“ programine įranga. Programa leidžia tiksliai sekti žemėlapius bei palyginti duomenis iš skirtingų 10 duomenų rinkinių vienu metu (Demont-weeks, 2016).



2.9 pav. DL1 duomenų kaupiklis (Demont-weeks, 2016)

2.10 pav. matomas duomenų kaupiklis, kuris montuojamas į automobilį, kurio pagalba išsaugomi važiavimo duomenys, reikalingi eksperimentams palyginti.



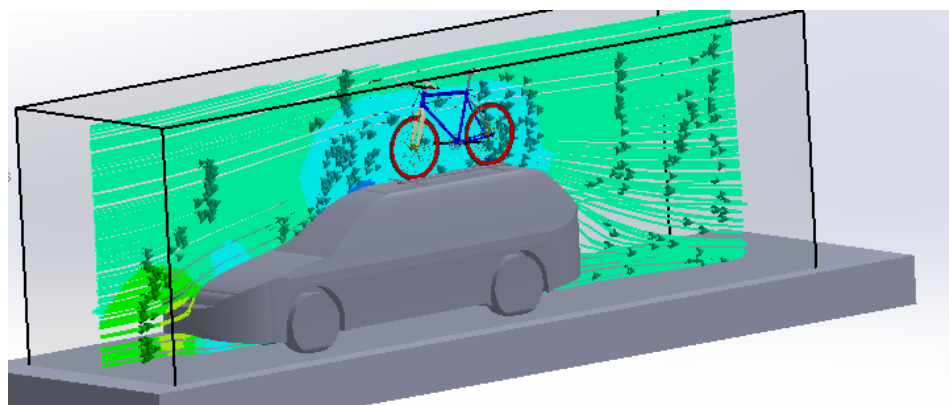
## „SolidWorks FlowSimulation“ dujų srautų modeliavimo ir analizės programa

„Flow Simulation“ yra integruota į „SolidWorks“ darbo aplinką. Asocijacija su „SolidWorks“ geometriniais modeliais. Automatinis nurodytų modelio sričių užpildymas fluidu (skystis/dujos). Šia programa lengva naudotis ir yra lengvai įsisavinama. Programa dirba su įvairiais CAD modeliais.

„SolidWorks Flow Simulation“ gali spręsti įvairius realių techninių problemų modeliavimo uždavinius:

- nespūdžių terpių (skysčių ar dujų) bei spūdžių terpių (dujų) klampiojo tekėjimo skirtingais greičiais: nedideliais greičiais, artimais garso greičiui ir viršgarsiniais;
- išorinių (aptekėjimo) ir vidinių (uždaruose kanaluose) srautų;
- ne niutoninių (kintamos klampos) skysčių srautų (pvz., kraujo);
- laminarinių ir turbulentinių srautų (automatiškai pereinant iš vieno režimo į kitą);

„SolidWorks Flow Simulation“ dažnai naudojama daugelyje sričių: elektronika, pramonės inžinerija, statybos inžinerija, aerokosminė pramonė, automobilinė pramonė (Inre, 2016).



2.10 pav. Oro srautas aplink automobilį

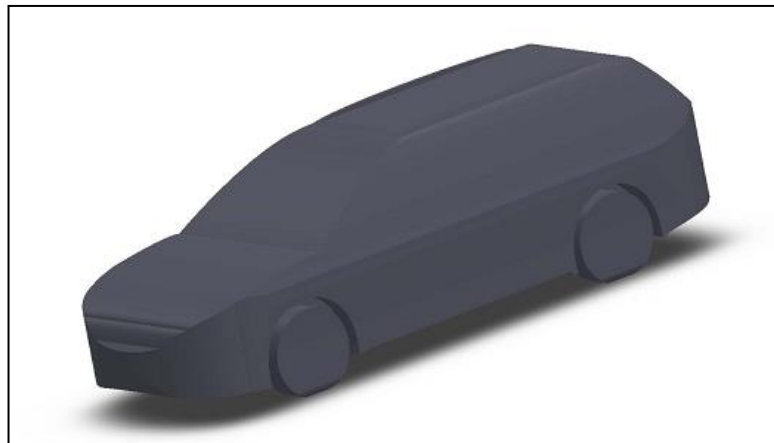
### Automobilinėje pramonėje plačiai paplitę šie tyrimo objektai:

- Keleivių komfortas, kabinų ventiliavimas bei oro kondicionavimas;
- Variklių, jų komponentų bei elektronikos komponentų aušinimas;
- Hidraulinių bei degalų sistemų skaičiavimas;
- Stabdžių sistemos;
- Degalų/oro mišinių skaičiavimas;
- Aerodinamikos uždaviniai;
- Variklių įpurškimo / aušinimo / išmetimo sistemos ir kiti komponentai;
- Transporto priemonių darbinųjų charakteristikų nustatymas (Inre, 2016).

### 3. ANALITINIAI IR EKSPERIMENTINIAI REZULTATAI, JŲ APTARIMAS

#### 3.1 Automobilio bei įrangos skaitinių modelių sukūrimas

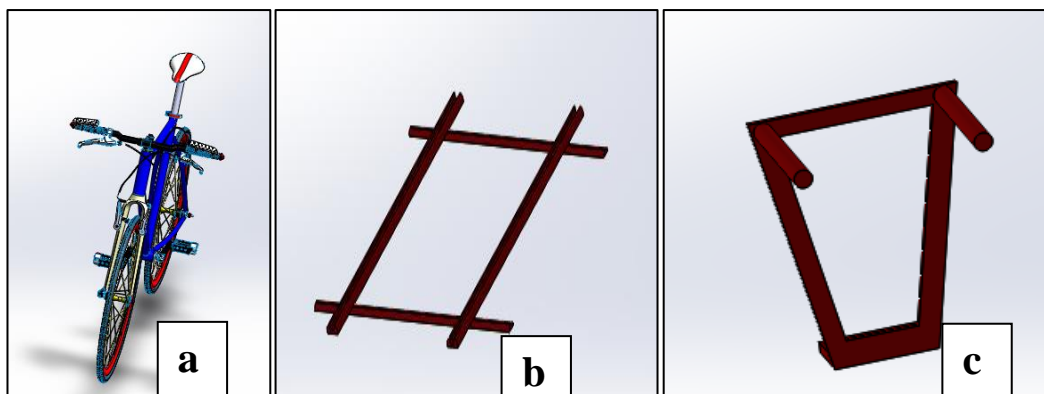
Naudojantis „SolidWorks“ programa sukuriamas VW Passat B5 modelis (3.1 pav.)



3.1 pav. Skaitinis automobilio modelis

Modelis kuriamas atsižvelgiant į daugumą automobilio nelygumų ir išlinkimų. Stengiamasi, kad modelis savo forma būtų kiek įmanoma panašesnis į tikrąjį automobilį. Skaitinis modelis sukuriamas masteliu M1:1.

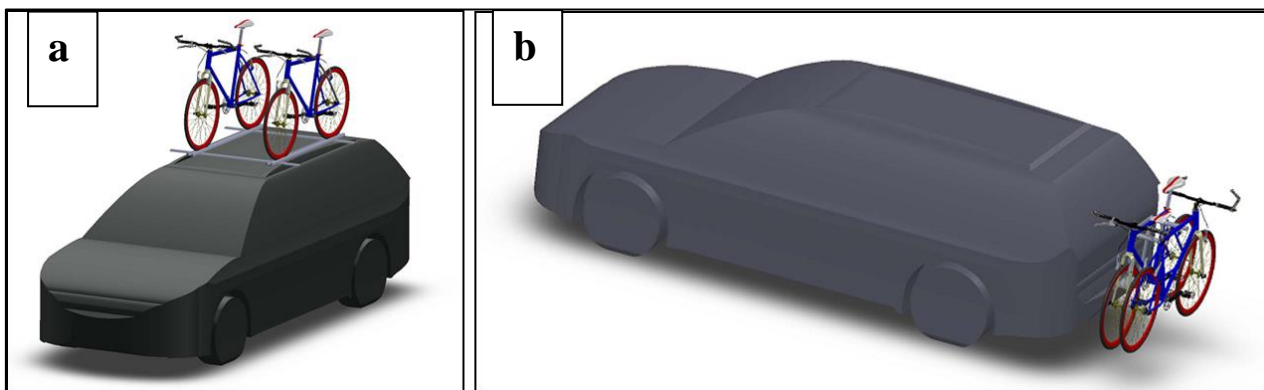
Toliau modeliavimo etapuose sukuriami skaitiniai visų reikiamų komponentų modeliai: dviračiai, stogo skersiniai, dviračių laikikliai ant automobilio stogo ir galo (3.2 pav.).



3.2 pav. Skaitiniai modeliai: a – dviratis; b – laikiklis ant stogo; c – laikiklis ant kablo

Turint visus reikiamus komponentus toliau sudaromi skaitiniai modeliai atlikti tyrimo skaičiavimams.

Sukurti modeliai pateikti 3.3 paveiksle.



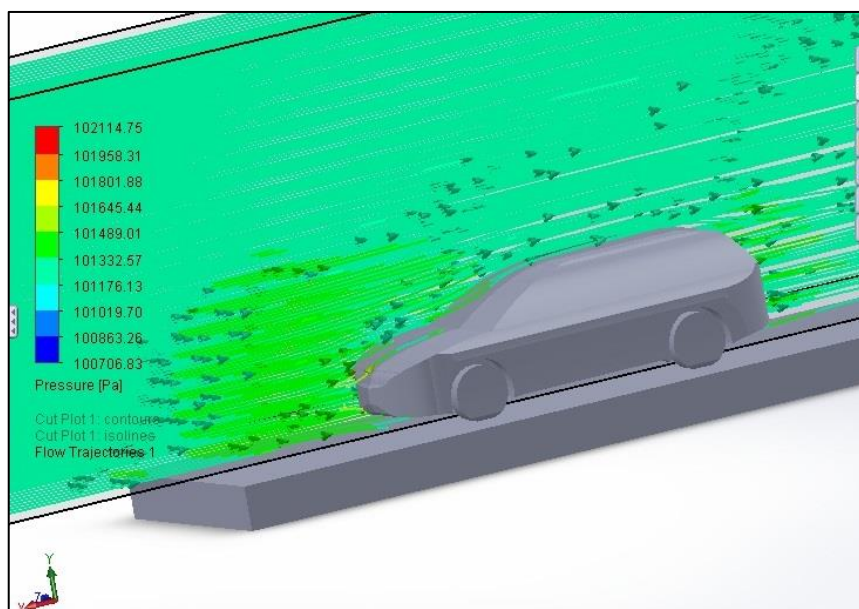
3.3 pav. Automobilio skaitiniai modeliai su dviračiais: a – ant stogo; b – ant kablio

Naudojantis šiais 3.1 ir 3.3 paveiksluose pateiktais modeliais bus atliekami tyrimai naudojantis „Solid Works Flow Simulation“.

### 3.2 Skaitinio modelio skaičiavimo rezultatai

Naudojantis „Flow Simulation“ programa atliekami pateiktų modelių tyrimai. Apibrėžiamos sąlygos, tokios kaip aptekamų dujų tankis, greitis, slėgis, temperatūra.

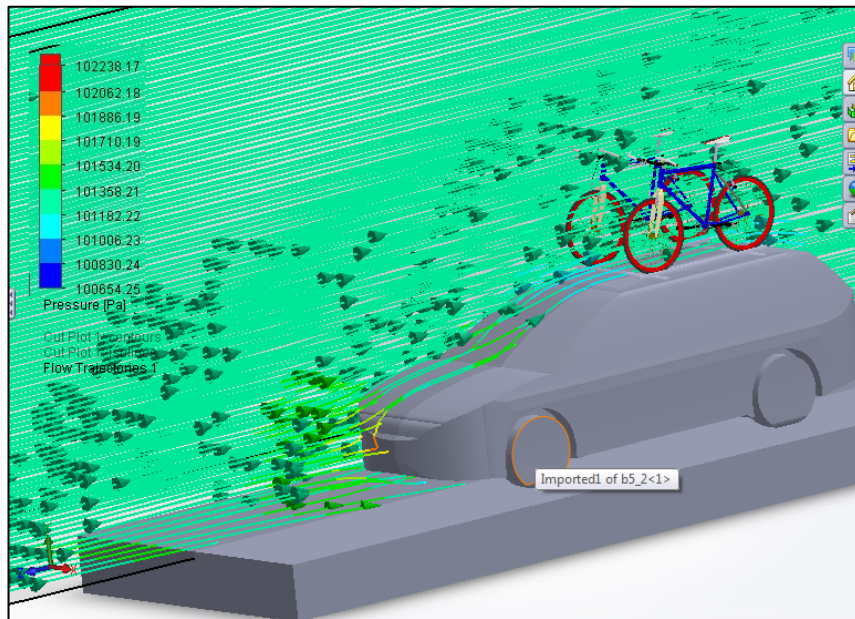
Gaunami VW Passat modelio rezultatai (3.4 pav).



3.4 pav. VW Passat automobilio modelio pasipriešinimo jėgų analizė

Atlikus tyrimą naudojantis „Flow Simulation“ gauta, kad esat 28 m/s vėjo greičiui pasipriešinimo jėga gaunama – 302 N. Aerodinaminis pasipriešinimo koeficientas gaunamas – 0,27.

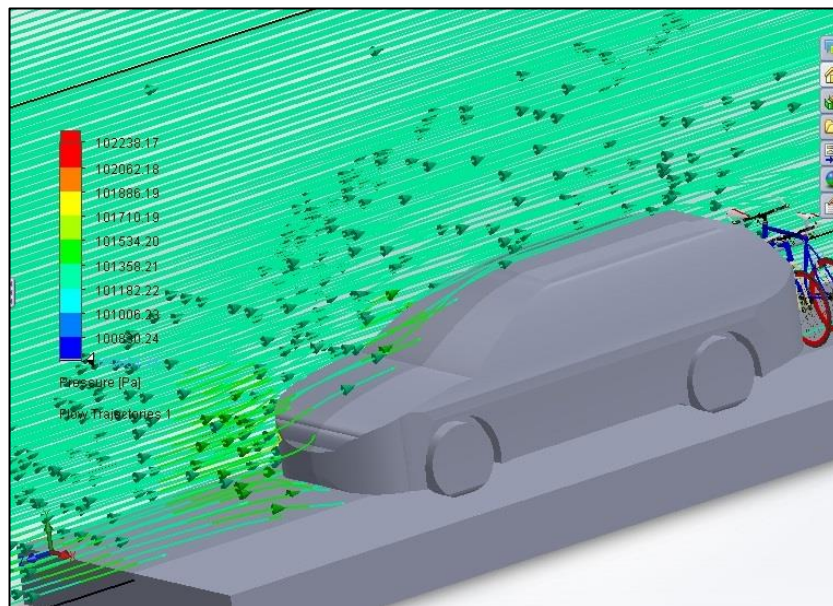
Toliau atliekamas modeliavimas, kai ant VW Passat automobilio yra transportuojami dviračiai ant stogo (3.5 pav).



3.5 pav. Pasipriešinimo jėgų analizė su dviračiais ant automobilio stogo

Atlikus tyrimą gauta, kad esant tam pačiam 28 m/s vėjo greičiui pasipriešinimo jėga gaunama – 445 N. Aerodinaminis pasipriešinimo koeficientas gaunamas – 0,37.

Paskutinis tyrimas atliekamas, kai dviračiai ant VW Passat automobilio transportuojami ant automobilio kablio (3.6 pav.).

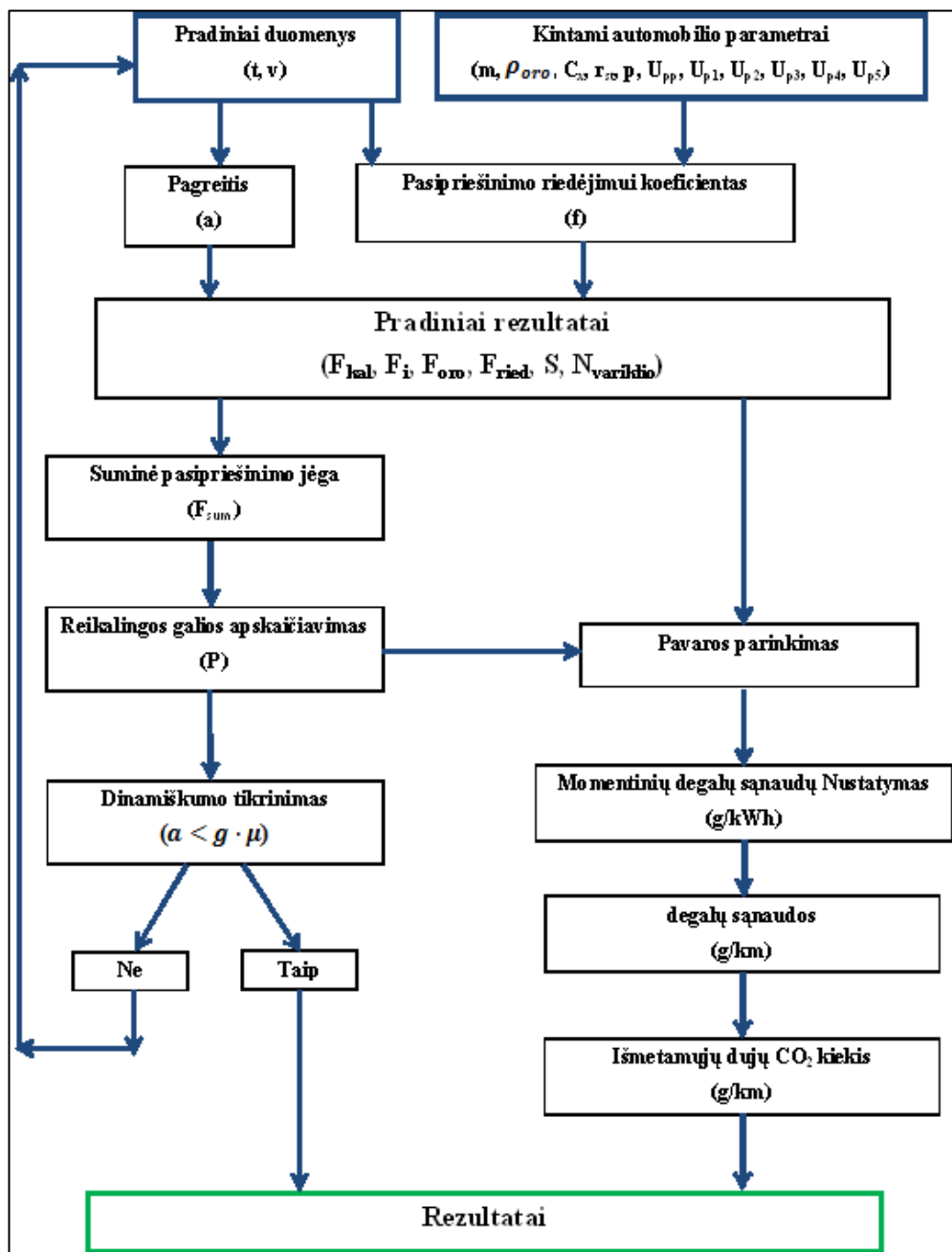


3.6 pav. Pasipriešinimo jėgų analizė su dviračiais ant automobilio kablio

Tyrimo metu gauta, kad esant tam pačiam 28 m/s vėjo greičiui pasipriešinimo jėga gaunama – 351 N. Aerodinaminis pasipriešinimo koeficientas gaunamas – 0,30.

### 3.3 Kompiuterinio skaičiavimo algoritmo sukūrimas

Norint apskaičiuoti teorines degalų sąnaudas remiantis „SolidWorks Flow Simulation“ gautais rezultatais sukuriamas skaičiavimo algoritmas. kompiuterinio skaičiavimo algoritmo blokinė schema pateikiama 3.7 paveiksle. Universalus skaičiavimo algoritmas sudaromas remiantis Europinio važiavimo ciklo schema (žr. 1.3.2 skyrius). Laikai, greičiai ir pagreičiai parenkami taip, kad identiškai atitiktų Europinį važiavimo ciklą.



3.7 pav. Blokinė algoritmo skaičiavimo schema

Pateiktame 3.7 paveiksle matoma kompiuterinio skaičiavimo blokinė algoritmo schema. Ši schema sudaryta iš pradinių duomenų ir kintamųjų automobilio parametrų. Toliau seka pagreičio ir

pasipriešinimo riedėjimui koeficiento apskaičiavimas. Įvertinus visus šiuos duomenis gaunami pradiniai rezultatai: automobilį veikiančios pasipriešinimo jėgos, variklio apsisukimai, nuvažiuojamas atstumas. Turint šiuos duomenis toliau programa apskaičiuoja suminę pasipriešinimo jėgą, reikalingą galią bei pavarą. Pavara parinkinėjama atsižvelgiant į automobilio naudojamą galią, taip galima apskaičiuoti momentines degalų sąnaudas. Turint momentines degalų sąnaudas apskaičiuojamos degalų sąnaudos įveikti atkarpą bei nustatomas išmetamųjų CO<sub>2</sub> dujų kiekis. Iš gautų rezultatų pateikiami grafikai, įrodantys skirtumus tarp skirtingų dviračio transportavimo būdų.

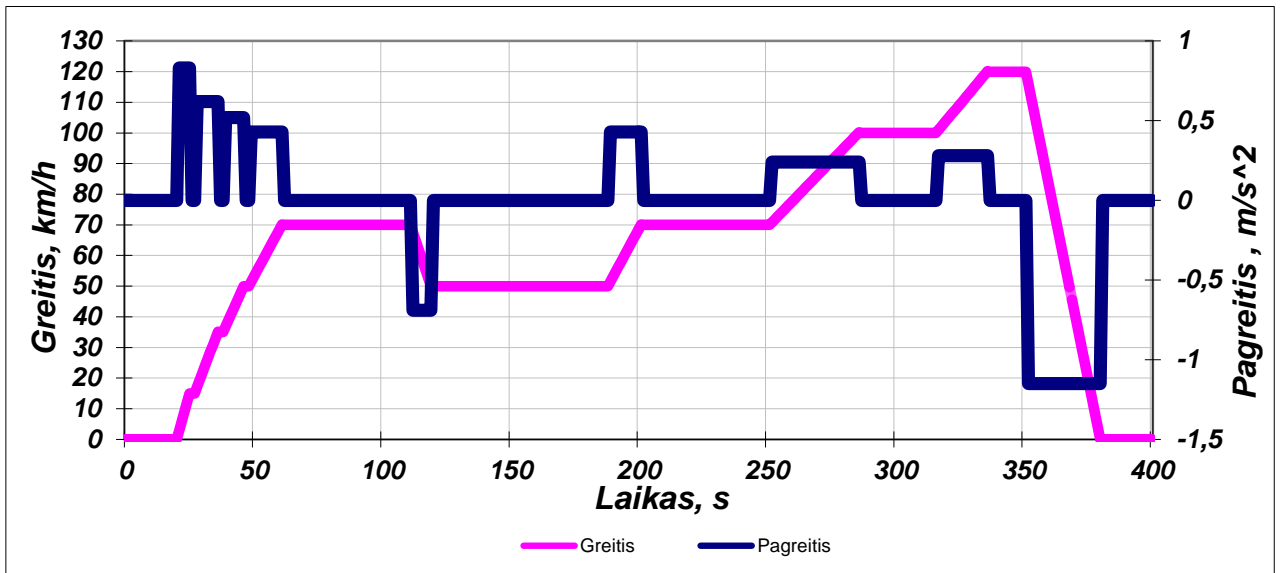
Naudojant blokinę algoritmo schemą sudaromas skaičiavimo programa. Jos vaizdas pateikiamas 3.8 paveiksle. Šioje programoje suvedami pagrindiniai kintami parametrai: automobilio svoris, pasipriešinimo koeficientas, automobilio videlio plotas, oro tankis, pagrindinės pavaros perdavimo santykis, kiekvienos pavaros perdavimo santykis. Šie parametrai kiekvieno automobilio atveju gali būti skirtingi.

| A     | B              | C                             | D             | E          | F        | G      | H         | I        | J       | K        | L             | M           | N           | O     | P        | Q             | R           | S      | T |
|-------|----------------|-------------------------------|---------------|------------|----------|--------|-----------|----------|---------|----------|---------------|-------------|-------------|-------|----------|---------------|-------------|--------|---|
| t (s) | Greitis (km/h) | Pagreitis (m/s <sup>2</sup> ) | Greitis (m/s) | Fin (N)    | Foro (N) | f      | Fried (N) | Fsum (N) | N (kW)  | Q (g/s)  | Q (g) bendras | CO2 bendras | m           | 1650  | S (m)    | S (m) bendras | V (aps/min) | Pavara |   |
| 1     | 0              | 0                             | 0             | 0          | 0        | 0,0000 | 0         | 0        | 0       | 0,000262 | 0,000262      | 0,000585755 | q           | 1,225 | 0        | 0             | 0           | 0      |   |
| 2     | 1              | 0                             | 0             | 0          | 0        | 0,0000 | 0         | 0        | 0       | 0,000262 | 0,000524      | 0,00117151  | Cx          | 0,27  | 0        | 0             | 820         | 0      |   |
| 3     | 2              | 0                             | 0             | 0          | 0        | 0,0000 | 0         | 0        | 0       | 0,000262 | 0,000786      | 0,001757264 | A           | 2,17  | 0        | 0             | 820         | 0      |   |
| 4     | 3              | 0                             | 0             | 0          | 0        | 0,0000 | 0         | 0        | 0       | 0,000262 | 0,001048      | 0,002343019 | Upp         | 3,7   | 0        | 0             | 820         | 0      |   |
| 5     | 4              | 0                             | 0             | 0          | 0        | 0,0000 | 0         | 0        | 0       | 0,000262 | 0,001311      | 0,002928774 | Up1         | 3,5   | 0        | 0             | 820         | 0      |   |
| 6     | 5              | 0                             | 0             | 0          | 0        | 0,0000 | 0         | 0        | 0       | 0,000262 | 0,001574      | 0,003514529 | Up2         | 1,94  | 0        | 0             | 820         | 0      |   |
| 7     | 6              | 0                             | 0             | 0          | 0        | 0,0000 | 0         | 0        | 0       | 0,000262 | 0,001837      | 0,004100284 | Up3         | 1,23  | 0        | 0             | 820         | 0      |   |
| 8     | 7              | 0                             | 0             | 0          | 0        | 0,0000 | 0         | 0        | 0       | 0,000262 | 0,002100      | 0,004686038 | Up4         | 0,84  | 0        | 0             | 820         | 0      |   |
| 9     | 8              | 0                             | 0             | 0          | 0        | 0,0000 | 0         | 0        | 0       | 0,000262 | 0,002363      | 0,005271793 | Up5         | 0,68  | 0        | 0             | 820         | 0      |   |
| 10    | 9              | 0                             | 0             | 0          | 0        | 0,0000 | 0         | 0        | 0       | 0,000262 | 0,002626      | 0,005857548 |             |       | 0,833    | 0,833         | 820         | 1      |   |
| 11    | 10             | 0                             | 0             | 0          | 0        | 0,0000 | 0         | 0        | 0       | 0,000262 | 0,002889      | 0,006443303 |             |       | 1,666    | 2,499         | 703,91687   | 1      |   |
| 12    | 11             | 0                             | 0             | 0          | 0        | 0,0000 | 0         | 0        | 0       | 0,000262 | 0,003152      | 0,007029058 |             |       | 2,499    | 4,998         | 1055,8753   | 1      |   |
| 13    | 12             | 0                             | 0             | 0          | 0        | 0,0000 | 0         | 0        | 0       | 0,000262 | 0,003415      | 0,007574213 |             |       | 3,332    | 8,33          | 1407,8337   | 1      |   |
| 14    | 13             | 0                             | 0             | 0          | 0        | 0,0000 | 0         | 0        | 0       | 0,000262 | 0,003678      | 0,008129368 |             |       | 4,165    | 12,495        | 1759,7922   | 1      |   |
| 15    | 14             | 0                             | 0             | 0          | 0        | 0,0000 | 0         | 0        | 0       | 0,000262 | 0,003941      | 0,008694523 |             |       | 4,166667 | 16,666667     | 820         | 0      |   |
| 16    | 15             | 0                             | 0             | 0          | 0        | 0,0000 | 0         | 0        | 0       | 0,000262 | 0,004204      | 0,009259678 |             |       |          |               |             |        |   |
| 17    | 16             | 0                             | 0             | 0          | 0        | 0,0000 | 0         | 0        | 0       | 0,000262 | 0,004467      | 0,009824833 |             |       |          |               |             |        |   |
| 18    | 17             | 0                             | 0             | 0          | 0        | 0,0000 | 0         | 0        | 0       | 0,000262 | 0,004730      | 0,010390038 |             |       |          |               |             |        |   |
| 19    | 18             | 0                             | 0             | 0          | 0        | 0,0000 | 0         | 0        | 0       | 0,000262 | 0,004993      | 0,010955243 |             |       |          |               |             |        |   |
| 20    | 19             | 0                             | 0             | 0          | 0        | 0,0000 | 0         | 0        | 0       | 0,000262 | 0,005256      | 0,011520448 |             |       |          |               |             |        |   |
| 21    | 20             | 0                             | 0             | 0          | 0        | 0,0000 | 0         | 0        | 0       | 0,000262 | 0,005519      | 0,012085653 |             |       |          |               |             |        |   |
| 22    | 21             | 2,9988                        | 0,83          | 0,833      | 1370     | 0,249  | 0,163     | 264,262  | 1634,01 | 1,36113  | 0,075618      | 0,080862408 | 0,18064662  |       |          |               |             |        |   |
| 23    | 22             | 5,9976                        | 0,83          | 1,666      | 1370     | 0,996  | 0,163     | 264,27   | 1634,77 | 2,72352  | 0,151307      | 0,232169085 | 0,518665736 |       |          |               |             |        |   |
| 24    | 23             | 8,9964                        | 0,83          | 2,499      | 1370     | 2,2411 | 0,163     | 264,293  | 1636,03 | 4,08845  | 0,227136      | 0,45930519  | 1,026087794 |       |          |               |             |        |   |
| 25    | 24             | 11,9952                       | 0,83          | 3,332      | 1370     | 3,9842 | 0,163     | 264,332  | 1637,82 | 5,4572   | 0,303178      | 0,76248318  | 1,703387424 |       |          |               |             |        |   |
| 26    | 25             | 14,994                        | 0,83          | 4,165      | 1370     | 6,2253 | 0,163     | 264,386  | 1640,11 | 6,83107  | 0,379504      | 1,141988818 | 2,551198534 |       |          |               |             |        |   |
| 27    | 26             | 15                            | 0             | 4,16666667 | 0        | 6,2303 | 0,163     | 264,456  | 270,687 | 1,12786  | 0,062659      | 1,204645744 | 2,691178591 |       |          |               |             |        |   |

3.8 pav. Kompiuterinis skaičiavimo algoritmas

Suvedus šiuos parametrus programa apskaičiuoja pasipriešinimo jėgas tenkančias automobiliui, taip pat gaunamos pasipriešinimo riedėjimui jėgos, variklio apsisukimų skaičius esant skirtingiems greičiams, nuvažiuojamas atstumas, reikalinga automobilio galia. Programa paruošiama taip, kad galėtų skaičiuoti momentines degalų sąnaudas atsižvelgiant į automobilio naudojamą galią bei variklio apsisukimus. Iš to gaunamos degalų sąnaudos bei išmetamųjų dujų kiekis reikalingas nuvažiuoti atkarpą.

Programos pateikiama greičio ir pagreičio priklausomybė nuo laiko (3.9 pav.).

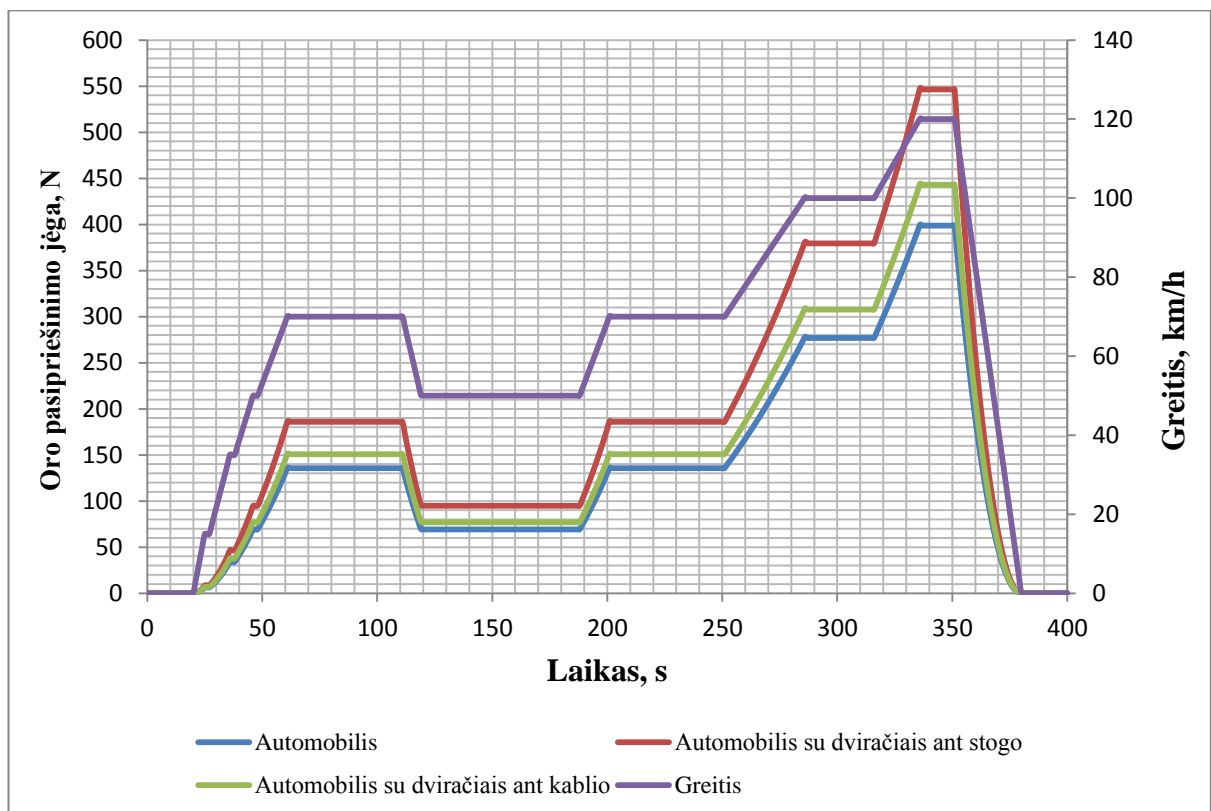


3.9 pav. Greičio ir pagreičio priklausomybė nuo laiko

### 3.4 Kompiuterinio skaičiavimo algoritmo rezultatai

Įvertinus gautus rezultatus iš „SolidWorks Flow Simulation“ programos ir suvedus į kompiuterinį skaičiavimo modelį gaunami teoriniai degalų sąnaudų suvartojimo rezultatai. Gauti rezultatai pateikiami 3.10 – 3.14 paveiksluose.

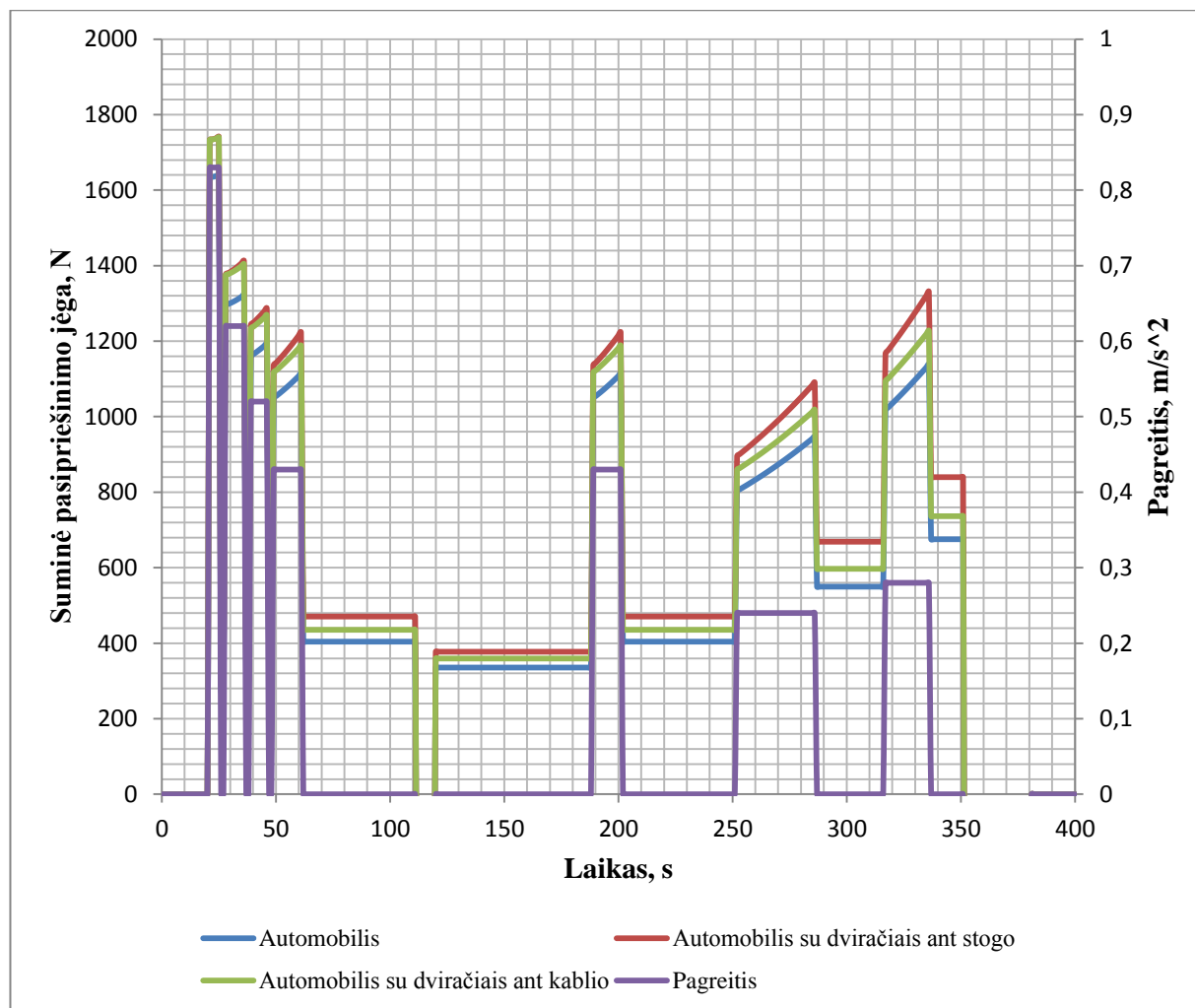
Oro pasipriešinimo jėgos priklausomybė nuo laiko pateikiama 3.10 paveiksle.



3.10 pav. Oro pasipriešinimo jėgos priklausomybė nuo laiko

Pateiktame 3.10 paveiksle matoma oro pasipriešinimo jėgos ir automobilio greičio priklausomybė nuo laiko. Ši jėga pasiekia didžiausią reikšmę – 550 N esant dviračiams ant automobilio stogo bei esant didžiausiam važiavimo greičiui – 120 km/h. Iš to daroma išvada, kad oro pasipriešinimo jėga tiesiogiai proporcinga važiavimo greičiui. Automobiliiui važiuojant su dviračiais ant kablo pasiekiamas didžiausia – 440 N jėga esant 120 km/h greičiui. Važiuojant automobiliu be dviračių išsvystoma oro pasipriešinimo jėga – 400 N.

Suminės pasipriešinimo jėgos priklausomybė nuo laiko pateiktos 3.11 paveiksle.



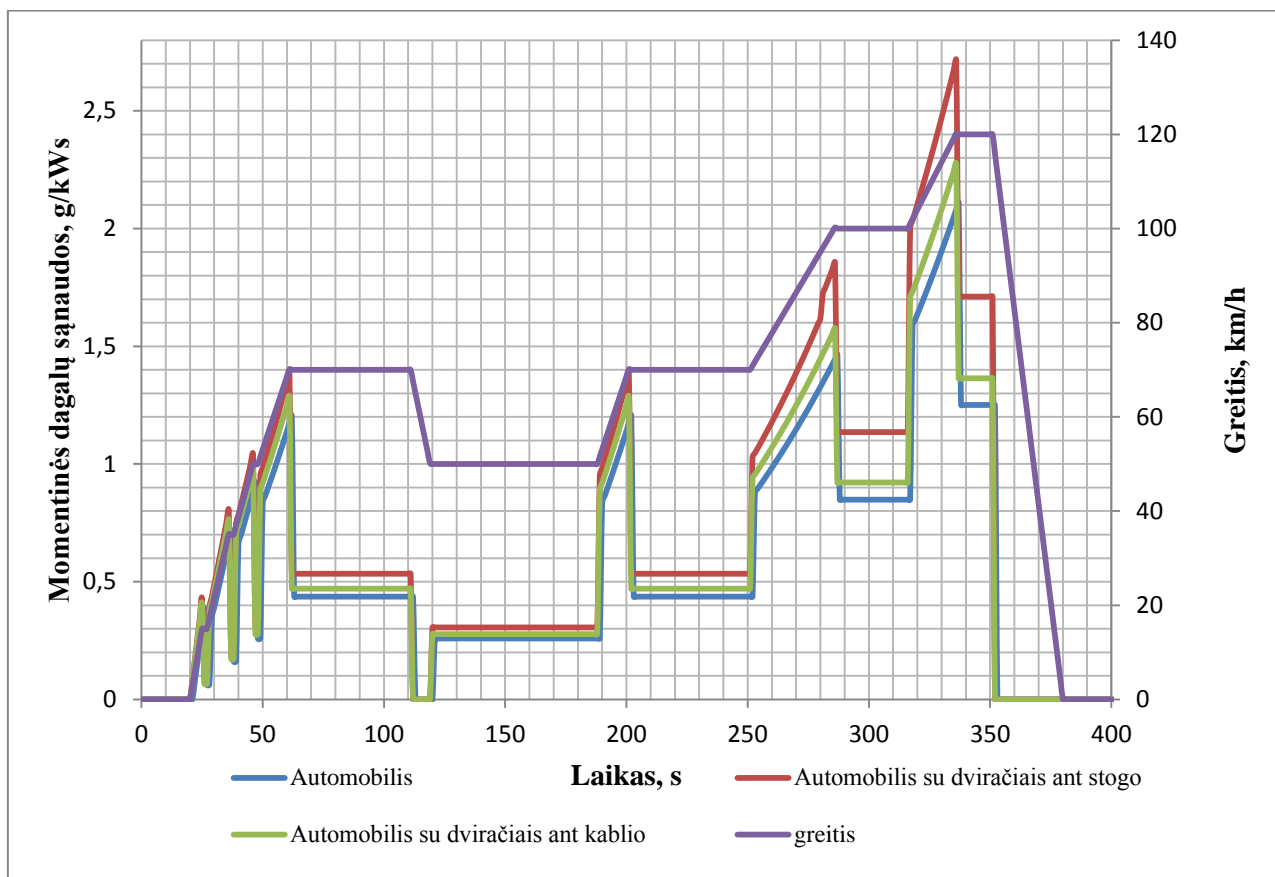
3.11 pav. Suminės pasipriešinimo jėgos priklausomybė nuo laiko

Pateiktame 3.11 paveiksle matoma suminės pasipriešinimo jėgos ir automobilio pagreičio priklausomybė nuo laiko. Suminė pasipriešinimo jėga yra didžiausia važiavimo ciklo pradžioje, tuo metu kai automobilis greitėja nuo 0 iki 70 km/h greičio. Tuo metu yra didžiausi greitėjimo pagreičiai, dėl to ir didžiausia pasipriešinimo jėga. Iš pateikto grafiko matoma, kad automobilis su dviračiais ant stogo patiria didžiausias pasipriešinimo jėgas lyginant su kitais dviračių vežimo būdais.



Nustačius automobilio sumines pasipriešinimo jėgas, galimas tolimesnis reikalingos galios apskaičiavimas. Žinodami tikslias reikalingos galios judėjimui reikšmes, galima bus apskaičiuoti momentines degalų sąnaudas.

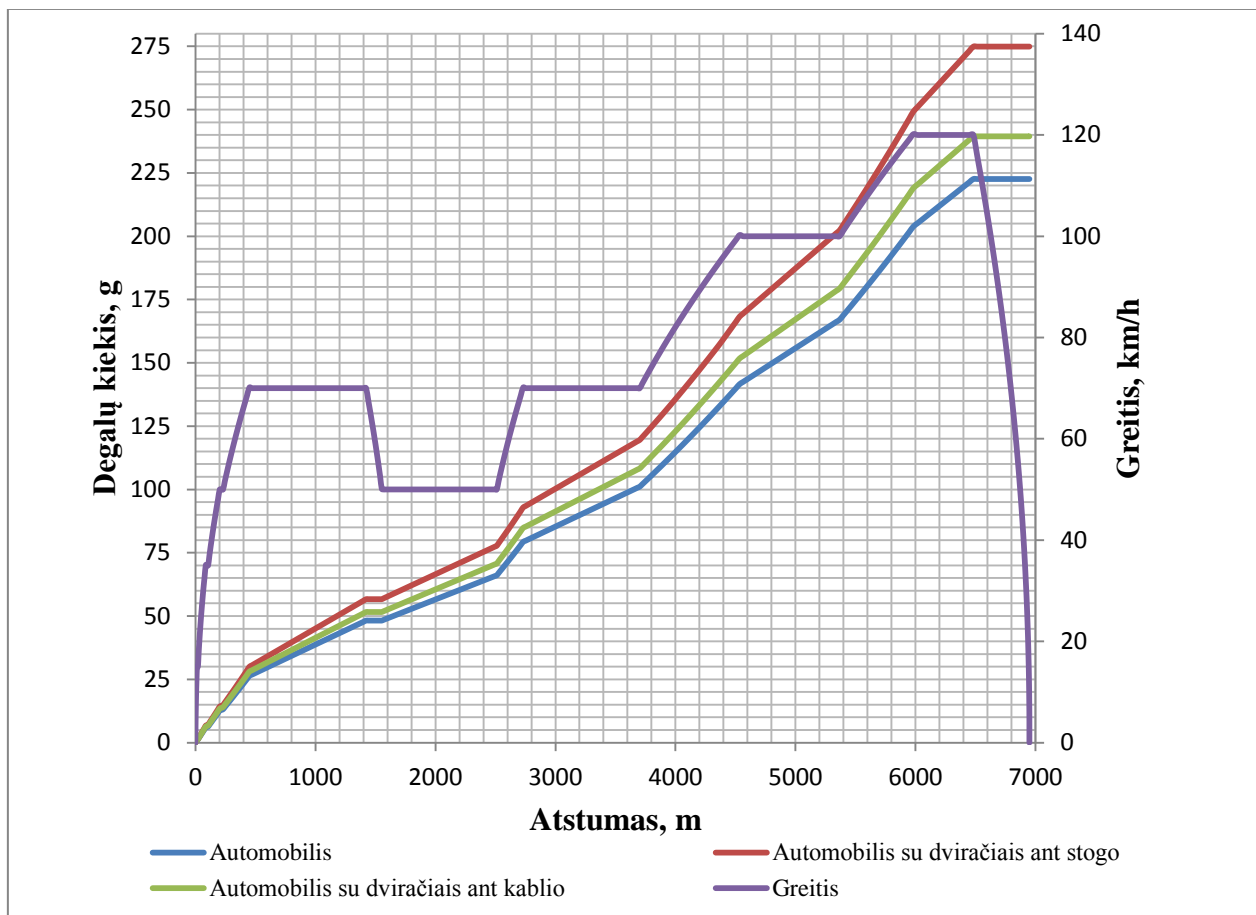
Momentinių degalų sąnaudų priklausomybė nuo laiko pateikiama 3.12 paveiksle.



3.12 pav. Momentinių degalų sąnaudų priklausomybė nuo laiko

Pateiktas 3.12 paveikslas parodo, kad momentinės degalų sąnaudos yra didžiausios esant didžiausiam važiavimo greičiui – 120 km/h. Automobiliui lėtėjant jo momentinių degalų sąnaudų reikšmė gaunama nulinė, nes tuo metu uždaromas vožtuvas ir degalai nepaduodami į degimo kamerą, dėl to automobilis nenaudoja degalų.

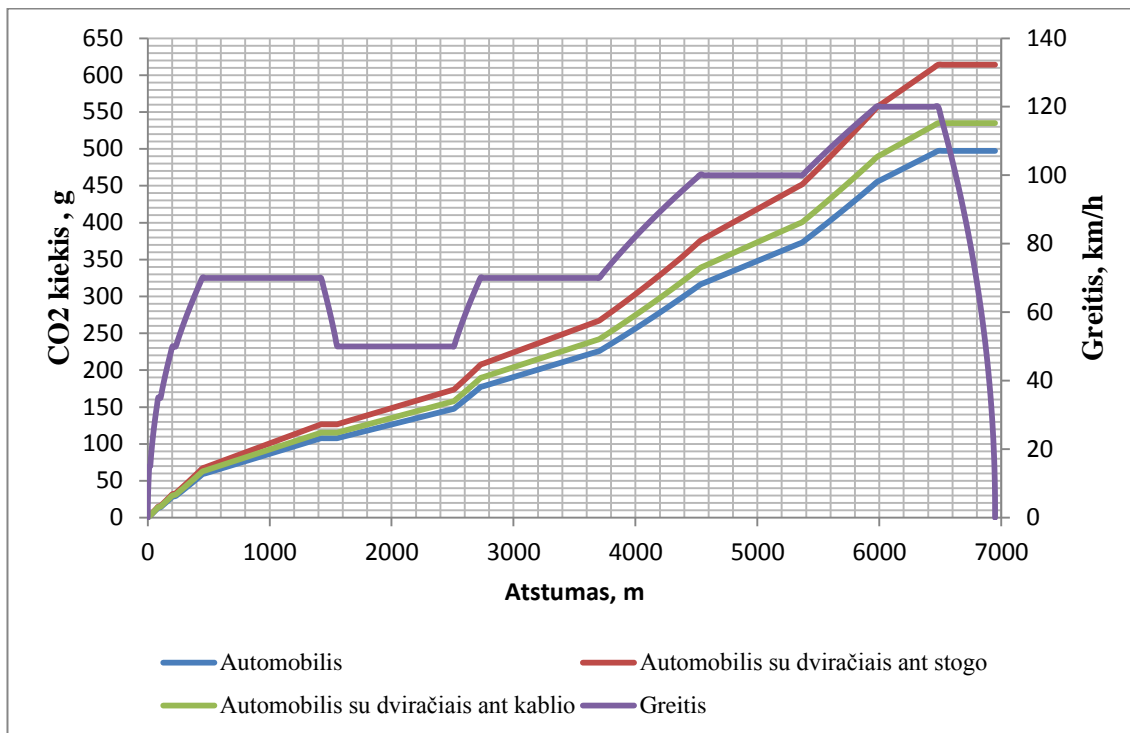
Degalų sąnaudų priklausomybė nuo laiko pateikiama 3.13 paveiksle.



3.13 pav. Degalų kiekio priklausomybė nuo nuvažiuoto atstumo

3.13 paveiksle pateikiama automobilio degalų sąnaudų bei greičio priklausomybė nuo nuvažiuoto atstumo. Nuvažiuojamas atstumas yra 6,95 km. Iš šio grafiko matoma, kad tuščias automobilis pravažiavus šį ciklą teoriškai sunaudoja – 220 g dyzelino. Atitinkamai 100 km nuvažiuoti, pagal šį ciklą sunaudoja 3165 g dyzelino ( 3,77 l). Transportuojant dviračius ant stogo nuvažiuoti tą patį atstumą teoriškai sunaudojama – 275 g dyzelino. Nuvažiuoti 100 km, pagal šį ciklą sunaudoja 3956 g dyzelino ( 4,71 l). Automobilis su dviračiais ant kablo nuvažiuoti šį atstumą sudegina – 239 g dyzelino, o 100 km pagal šį ciklą sudegins 3438 g dyzelino (4,09 l).

Žinant sunaudojamą degalų kiekį tam tikro atstumo nuvažiavimui, galima apskaičiuoti ir išmetamo anglies dioksido CO<sub>2</sub> kiekį. Gautas grafikas pateikiamas 3.14 paveiksle.



3.14 pav. Išmetamo CO<sub>2</sub> kiekio priklausomybė nuo nuvažiuoto atstumo

Pateiktame 3.14 paveiksle matoma, kad didžiausią CO<sub>2</sub> išmetamųjų dujų kiekį išmeta automobilis su dviračiais ant stogo – 614 g. Taigi, nuvažiavus 100 km atstumą pagal šį ciklą automobilis išmes – 8,82 kg CO<sub>2</sub> dujų. Automobilis su dviračiais ant kablo ir gauta, kad nuvažiavus 100 km atstumą automobilis išmes į aplinką – 7,68 kg CO<sub>2</sub> dujų. Mažiausiai į aplinką CO<sub>2</sub> dujų išmes automobilis važiuodamas be dviračių – 7,15 kg CO<sub>2</sub> dujų.

### 3.5 Pasirengimas eksperimentiniam degalų sąnaudų nustatymui

Prieš atliekant eksperimentą pasveriamas VW Passat B5 automobilis, naudojantis „Longacre Computerscales“ skaitmeninėmis svarstyklėmis (3.15 pav.).



3.15 pav. Automobilio svėrimas

Pasvėrus automobilį šiomis svarstyklėmis gauta, kad tuščias automobilis be krovinių ir vairuotojo sveria 1447 kg.

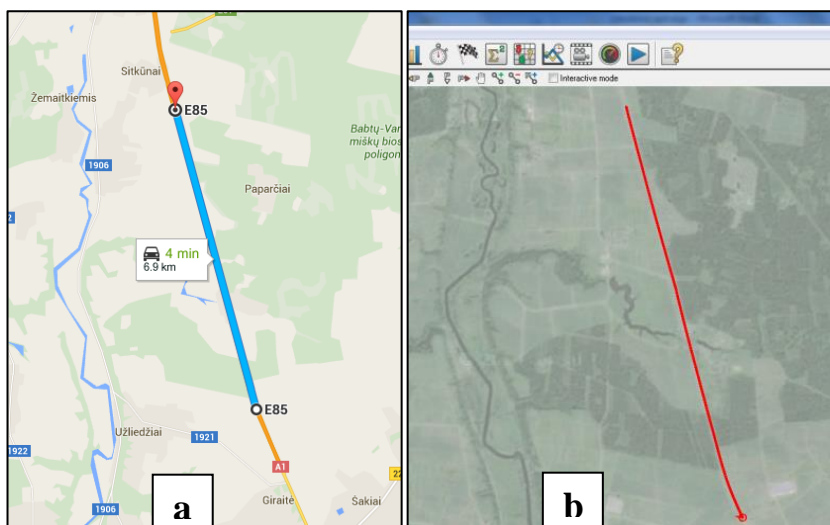
Sekantis etapas tai reikiamos įrangos dyzelio svėrimui VW Passat B5 automobilyje sumontavimas. (3.16 pav.).



3.16 pav. Dyzelino svėrimo įrangos montavimas

Automobilyje prie variklio grįžtamo ir paduodamo kuro vamzdelių užmontuojamos atskiros žarnos per kurias bus naudojamas dyzelinas iš atskiros degalų talpyklos.

Eksperimentas buvo atliekamas realiomis sąlygomis automobiliu važiuojant tiesia kelio trasa ir matuojant sunaudotą degalų kiekį. Eksperimento atlikimas vykdytas magistraliniame kelyje A1 (E85) Vilnius – Kaunas – Klaipėda 106 – 113 km ruože tarp Giraitės ir Sitkūnų.



3.17 pav. Eksperimento atlikimo maršrutas: a – žemėlapis (Google, 2016); b – DL1 duomenų kaupiklis

Visi eksperimentai atliekami tuo pačiu maršrutu kartojant kiekvieną jų 5 kartus.

### 3.6 Degalų sąnaudų nustatymo eksperimento rezultatai

Eksperimentų atlikimas:

1 *Eksperimentas*. Važiuojama pasirinkta atkarpa, pagal europinį važiavimo ciklą tuščiu automobiliu be dviračių. Atliekami 5 bandymai, po kiekvieno atskirai pasveriant sunaudotą dyzelino kiekį.

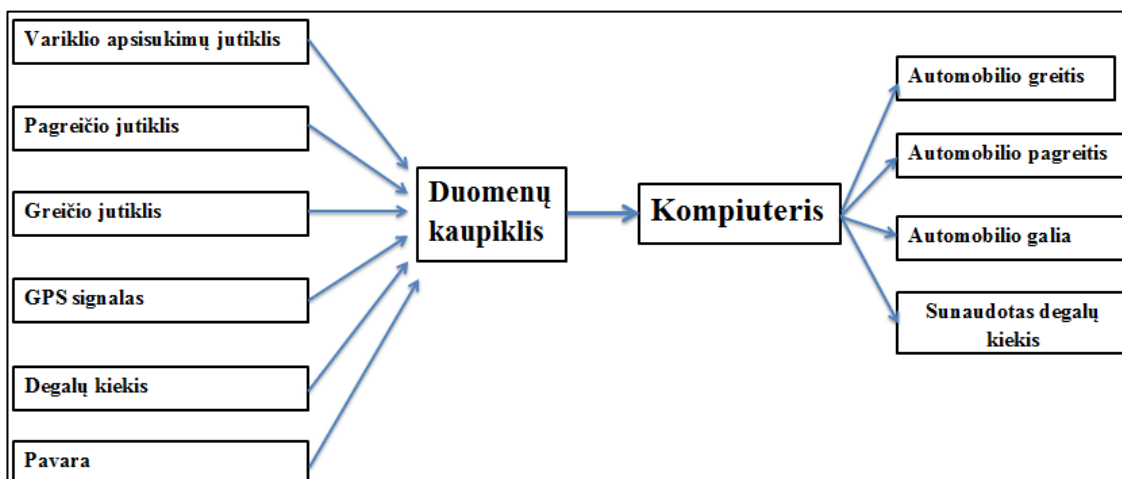
2 *Eksperimentas*. Važiuojama ta pati pasirinkta atkarpa, kartojant tas pačias sąlygas, tačiau eksperimento metu ant automobilio stogo transportuojami dviračiai (3.18 pav. a). Taip pat atliekami 5 bandymai, po kiekvieno atskirai pasveriant sunaudotą dyzelino kiekį.



3.18 pav. Automobilis su dviračiais: a – ant stogo; b – ant kablio

3 *Eksperimentas*. Važiuojama ta pati pasirinkta atkarpa, kartojant tas pačias sąlygas, tačiau eksperimento metu ant automobilio kablio transportuojami dviračiai (3.18 pav. b). Taip pat atliekami 5 bandymai, po kiekvieno atskirai pasveriant sunaudotą dyzelino kiekį.

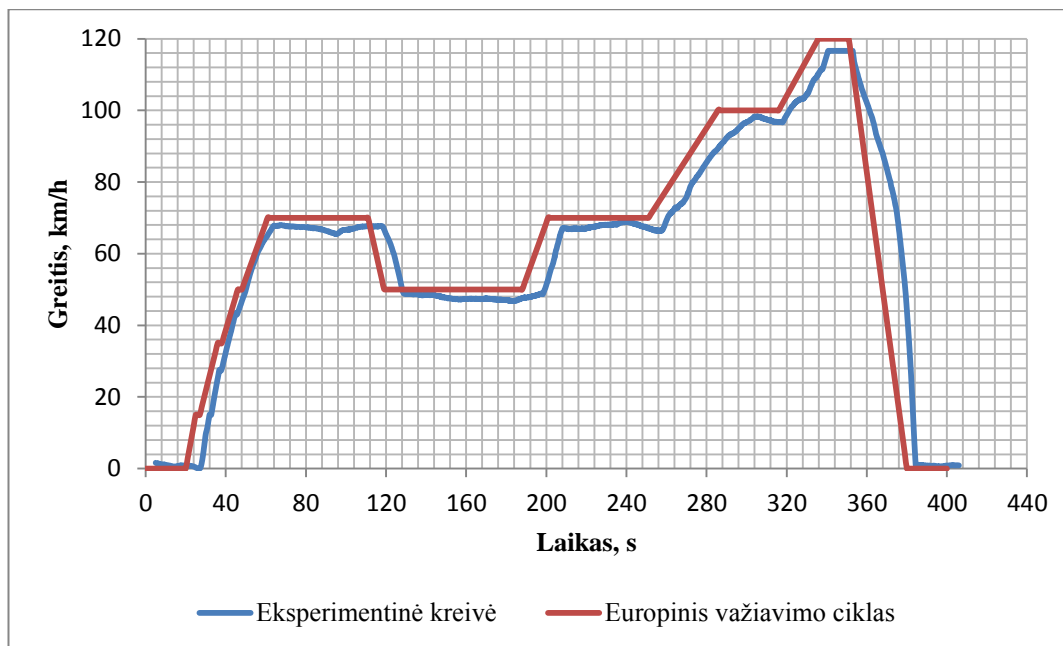
Eksperimentams atlikti sudaromas algoritmas, kurio pagalba gaunami galutiniai eksperimento rezultatai (3.19 pav).



3.19 pav. Algoritmo schema

Duomenų kaupikliu fiksuojami pagrindiniai automobilio parametrai: Variklio apsisukimų skaičius, pagreitis, greitis, padėtis žemėlapyje, degalų kiekis, naudojama pavara. Gauti duomenys iš duomenų kaupiklio (DL1) perkeliama į kompiuterines programas. Apdorojus gautus duomenis gaunami eksperimentiniai rezultatai: automobilio greitis, pagreitis, galia, sunaudotas degalų kiekis nuvažiuotam atstumui.

Eksperimento metu stengiamasi kuo tiksliau atkartoti europinį važiavimo ciklą. 3.20 paveiksle pateikiama greičio priklausomybė nuo laiko remiantis algoritmu.



3.20 pav. Greičio ir pagreičio priklausomybės nuo laiko palyginimas

Gautas grafikas parodo, kad eksperimentai buvo identiška atlikti pagal europinį važiavimo ciklą. Eksperimentinė greičio priklausomybė nuo laiko atitinka europinį važiavimo ciklą.

Gauti rezultatai pateikiami 3.1 lentelėje.

3.1 lentelė

Eksperimentiniai rezultatai

| Nr. | Eksperimentas                        | Dyzelino kiekis,<br>(g/ ciklui) | Dyzelino kiekis,<br>(g/ 100km) | Dyzelino kiekis,<br>(l/ 100km) |
|-----|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 1   | Automobilis (be dviračių)            | 232                             | 3335                           | 3,97                           |
| 2   | Automobilis su dviračiais ant stogo  | 302                             | 4345                           | 5,17                           |
| 3   | Automobilis su dviračiais ant kablio | 254                             | 3655                           | 4,35                           |

Iš gautų rezultatų matoma, kad transportuojant dviračius ant stogo automobilis nuvažiuoti 100 km pagal šį ciklą sunaudos 5,17 l dyzelino, tuo tarpu transportuojant ant automobilio kablo gaunama – 4,35 l dyzelino. Taigi, daroma išvada, kad transportuojant dviračius automobiliu ant kablo sunaudojama 15,9 % degalų mažiau negu ant stogo. Lyginant dyzelino kiekį sunaudotą transportuojant dviračius ant stogo ir nevežant dviračių gaunama, kad degalų kiekis sunaudotas 100 km nuvažiuoti yra 23,2 % mažesnės.

### 3.7 Teoriškai apskaičiuotų ir eksperimentinių rezultatų palyginimas

Atlikus eksperimentus bei teorinius degalų sąnaudų skaičiavimus, pateikiama duomenų 3.2 lentelė, kurioje matyti skirtumai tarp teorinių ir eksperimentinių rezultatų.

3.2 lentelė

Apskaičiuoti ir eksperimentiniai rezultatai

| Nr. | Eksperimentas                       | Teorinės degalų sąnaudos, (l/ 100 km) | Eksperimentinės degalų sąnaudos, (l/ 100km) | Skirtumas, (l/ 100km) | Skirtumas, (%) |
|-----|-------------------------------------|---------------------------------------|---|-----------------------|----------------|
| 1   | Automobilis( be dviračių)           | 3,77                                  | 3,97  | 0,2                   | 5,0            |
| 2   | Automobilis su dviračiais ant stogo | 4,71                                  | 5,17  | 0,46                  | 8,9            |
| 3   | Automobilis su dviračiais ant kablo | 4,09                                  | 4,35  | 0,26                  | 5,9            |

Pateiktoje 3.2 lentelėje pastebima, kad važiuojant automobiliui be dviračių eksperimentinės degalų sąnaudos nuo teoriškai apskaičiuotų skiriasi 0,2 l/100 km, o tai yra 5 %. Transportuojant dviračius ant automobilio stogo degalų sąnaudos skiriasi 0,46 l/100 km (8,9 %). Vežant dviračius ant automobilio kablo gaunamas 0,26 l/100 km degalų sąnaudų skirtumas (5,9 %). Toks skirtumas yra pagrindžiamas tuo, kad kompiuterinis skaičiavimo algoritmas neįvertina automobilio variklio generatoriaus apkrovos.

### 3.8 Ekonominiai skaičiavimai

Įvertinus 2016 gegužės 21 d. vidutinę dyzelino kainą (0,931 €/l) pateikiama išlaidų, skirtų dyzelinui, suvestinė (3.3 lentelė).

3.3 lentelė

Išlaidų skirtų dyzelinui suvestinė

| Nr. | Ekspertas                              | Ekspertinės<br>degalų sąnaudos,<br>(l/ 100km) | Išlaidos,<br>(€/ 100km) | Išlaidos,<br>(€/ 10000km) | Išlaidų<br>padidėjimas,<br>(%) |
|-----|--|---|-------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| 1   | Automobilis (be dviračių)              | 3,97  | 3,69                    | 369                       | -                              |
| 2   | Automobilis su dviračiais<br>ant stogo | 5,17  | 4,81                    | 481                       | 23,2                           |
| 3   | Automobilis su dviračiais<br>ant kablo | 4,35  | 4,05                    | 405                       | 9                              |

Iš pateiktos 3.3 lentelės matoma, kad geriausia transportuoti dviračius automobilio viduje. Tačiau jeigu tai neįmanoma, transportuojant dviračius ant stogo 10000 km išlaidos degalams siekia – 481 € (23,2 % daugiau). Vežant juos ant automobilio kablo gaunama – 405 €. Taigi, transportuojant dviračius ant automobilio kablo 10000 km išlaidos sumažėja 76 €.



#### 4. DARBO APIBENDRINIMAS IR REZULTATŲ PALYGINIMAS

Darbo metu buvo išanalizuoti dviračio laikiklių tipai ir konstrukcijos. Apibrėžti faktoriai turintys daugiausia įtakos aerodinaminei pasipriešinimo jėgai. Sukurti tiriamų objektų skaitiniai modeliai ir atlikta aerodinaminių pasipriešinimo jėgų analizė naudojant „SolidWorks Flow Simulation“ programą. Remiantis europiniu važiavimo ciklu sukurtas universalus skaičiavimo algoritmas, kuriame gaunamos teorinės degalų sąnaudos. Algoritmo tikslumui patikrinti atliktas automobilio degalų sąnaudų nustatymo eksperimentas. Nustatyta, kad eksperimentinės automobilio degalų sąnaudos važiuojant pagal europinį važiavimo ciklą yra 3,97 l/100km. Transportuojant dviračius ant automobilio stogo gauta, kad automobilis sąnaudos – 5,17 l/100km, o vežant dviračius ant automobilio kablio – 4,35 l/100km.

Panašūs eksperimentai buvo atliekami ir ankščiau, tačiau kitų tyrėjų eksperimentai buvo atliekami pagal skirtingas metodikas. Kiti tyrėjai eksperimentą atliko važiuojant 30 km atkarpą mieste ir automagistralėje. Degalų sąnaudas nustatinėjo automobilyje integruotu borto kompiuteriu. Transportuojant dviračius ant stogo tyrėjai gavo – 8 l/100km. Baigiamojo projekto metu transportuojant dviračius ant stogo buvo gauta – 5,17 l/100km. Transportuojant dviračius ant kablio kiti tyrėjai gavo – 7,6 l/100km. Projekto metu gauti rezultatai ženkliai mažesni – 4,35 l/100km. Eksperimentiniai rezultatai skiriasi dėl to, kad kiti tyrėjai naudojo didesnę automobilį bei degalų sąnaudas nustatė tik borto kompiuteriu. Kiti tyrėjai eksperimentą atliko važiuojant didesniu greičiu, ilgesnes atkarpas bei važiavo miesto gatvėmis.

## IŠVADOS

1. Darbe buvo išanalizuota automobilinių dviračių laikiklių tipai, jų konstrukcijos, privalumai ir trūkumai. Nustatyta, kad dažniausia dviračiai transportuojami naudojant dviračių laikiklius ant automobilio stogo ar kablo.

2. Šiame projekte nustatyti pagrindiniai lengvojo automobilio aerodinaminiai elementai, kurie turi daugiausia įtakos aerodinaminei pasipriešinimo jėgai. Daugiausia šią jėgą įtakoja lengvojo automobilio kėbulo priekinės bei galinės dalies forma. Taip pat įtakos turi automobilio kėbulo galinės dalies nuolydžio kampas.

3. Išanalizuotas europinis važiavimo ciklas, kurio pagrindu sukurtas universalus pasipriešinimo jėgų ir degalų sąnaudų skaičiavimo algoritmas.

4. Naudojantis „SolidWorks Flow Simulation“ programa parengti tikslūs automobilio, dviračių, dviračių laikiklių, skersinių skaitiniai modeliai bei atlikta automobilio, su skirtingais dviračių laikikliais, aerodinaminių jėgų analizė. Gauta, kad esant 28 m/s greičiui, tiriamojo automobilio aerodinaminis pasipriešinimo koeficientas – 0,27, su dviračiais ant stogo – 0,37, ant kablo – 0,3.

5. Remiantis „SolidWorks Flow Simulation“ programos rezultatais ir universaliu automobilio degalų nustatymo algoritmu gautos teorinės degalų sąnaudos. Nustatyta, kad automobilis be dviračių važiuojantis pagal šį ciklą teoriškai sunaudoja 3,77 l/100 km. Automobilio su dviračiais ant stogo degalų sąnaudos – 4,71 l/100km, o vežant dviračius ant kablo – 4,09 l/100km.

6. Algoritmo tikslumui patikrinti atliktas automobilio degalų sąnaudų nustatymo eksperimentas, transportuojant dviračius skirtingais būdais. Nustatyta, kad eksperimentinės automobilio degalų sąnaudos važiuojant pagal europinį važiavimo ciklą yra 3,97 l/100km. Transportuojant dviračius ant automobilio stogo gauta, kad automobilis sąnaudos – 5,17 l/100km, o vežant dviračius ant automobilio kablo – 4,35 l/100km.

7. Atliktas teorinių ir gautų eksperimentinių rezultatų palyginimas. Gauta, kad važiuojant automobiliu be dviračių eksperimentiniai rezultatai didesni už teoriškai apskaičiuotus – 5,0 %. Transportuojant dviračius ant stogo gauta, kad eksperimentiniai rezultatai – 8,9 % didesni už teoriškai apskaičiuotus. Transportuojant dviračius ant automobilio kablo gautas – 5,9 % nesutapimas.

## LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. AUDI, 2016. Aerodinamikos svarba automobiliui [Interaktyvus]. [žiūrėta 2016-03-25] Prieiga per internetą: <http://www.audi.com/index.html>
2. AUTO, 2016. „Thule“ firmos dviračių laikiklis [Interaktyvus]. [žiūrėta 2016-04-25] Prieiga per internetą: <http://auto.plius.lt/skelbimai/dviracio-laikiklis-thule-974-vezti-ant-kablo-3-dviraciams-4132471.html>
3. BAGAŽINĖS, DVIRAČIŲ LAIKIKLIO SKERSINIS ANT STOGO, 2016. Dviračių laikiklio skersinis ant stogo [Interaktyvus]. [žiūrėta 2016-04-02] Prieiga per internetą: <http://www.bagazines.lt/noriu-pirkti/stogo-skersiniai/thule-wingbar-stogui-su-tvirtinimo-taskais.html>
4. BAPPA Mohammed, 2015. Aerodynamic simulation of vehicle design. A thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the award of Master of Engineering Degree in Mechanical Engineering.
5. BIJLANI, B., RATHOD, P. P. ir SORTHIYA, S. A., 2010. Experimental and computational drag analysis of Sudan and square-back car. International Journal of Advanced Engineering Technology. ISSN 0976-3945.
6. CANDLETALES, 2016. „Adler“ firmos svarstyklės [Interaktyvus]. [žiūrėta 2016-04-27] Prieiga per internetą: <http://candletales.lt/krautuvele/priemones-zvakiu-gamybai/papildomos-priemones/virtuvines-svarstykles-adler-ad-313/>
7. CARR, G. W., 1983. Potential for aerodynamic drag reduction in car design, International Journal of Vehicle Design, Technological Advances in Vehicle Design series, SP3, Impact of Aerodynamics on Vehicle Design, p. 44-56. ISBN 9783319201214.
8. CONCEPT2CREATION, 2016. Aerodynamics & Wind Tunnels [Interaktyvus]. [žiūrėta 2016-04-02] Prieiga per internetą: [http://www.concept2creation.com.au/xstd\\_files/TASK%20%20Aerodynamics%20%26%20Car%20Design.pdf](http://www.concept2creation.com.au/xstd_files/TASK%20%20Aerodynamics%20%26%20Car%20Design.pdf)
9. DELFI, 2016. Lentelė su valstybiniais numeriais [Interaktyvus]. [žiūrėta 2016-04-02] Prieiga per internetą: <http://www.delfi.lt/auto/patarimai/vezantiems-dviracius-speciali-lentele-arba-bauda-iki-1200-lt.d?id=63601882>
10. DEMONT – WEEKS, 2016. DL1 duomenų kaupiklis [Interaktyvus]. [žiūrėta 2016-06-25] Prieiga per internetą: <http://www.demon-tweeks.co.uk/motorsport/data-logging-dash-loggers-loggers/race-technology-dl1-data-logger>
11. DIESELNET, 2016. Europinis važiavimo ciklas [Interaktyvus]. [žiūrėta 2016-04-25] Prieiga per internetą: [https://www.dieselnet.com/standards/cycles/ece\\_eudc.php](https://www.dieselnet.com/standards/cycles/ece_eudc.php)

12. DVIRAČIAI, 2016. Dviračio laikiklio duomenys [Interaktyvus]. [žiūrėta 2016-04-25] Prieiga per internetą: <http://www.dviraciai.lt/thule-hangon-974>
13. DVIRAČIŲ VEŽIMAS ANT BAGAŽINĖS, 2016 [Interaktyvus]. [žiūrėta 2016-04-02] Prieiga per internetą: <http://www.bagazines.lt/noriu-pirkti/dviracių-laikikliai/aguri-advans-3-silver.html>
14. DVIRAČIŲ VEŽIMAS ANT KABLIO, 2016 [Interaktyvus]. [žiūrėta 2016-04-02] Prieiga per internetą: <http://www.bagazines.lt/noriu-pirkti/dviracių-laikikliai/thule-velocompact.html>
15. DVIRAČIŲ VEŽIMAS ANT STOGO, 2016 [Interaktyvus]. [žiūrėta 2016-04-02] Prieiga per internetą: <http://www.bagazines.lt/noriu-pirkti/dviracių-laikikliai/thule-freeride.html>
16. ECOMODDER, 2016. Automobilio degalų sunaudojimo žemėlapis [Interaktyvus]. [žiūrėta 2016-04-30] Prieiga per internetą: <http://ecomodder.com/forum/showthread.php/bsfc-chart-thread-post-em-if-you-got-1466-26.html>
17. EISMAS, 2016. Nuobaudos už KET pažeidimus [Interaktyvus]. [žiūrėta 2016-04-02] Prieiga per internetą: <http://eismas.eu/index.php/ketnuobaudos>
18. GENTA Giancarlo, MORELLO Lorenzo, 2009. The Automotive Chassis. Volume 2: System Design. ISBN 978-1-40208-673-1.
19. GILLESPIE, T., 1992. Fundamentals of vehicle dynamics. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers. ISBN 978-1-56091-199-9.
20. GOOGLE, 2016. Eksperimento atlikimo atkarpa [Interaktyvus]. [žiūrėta 2016-03-25] Prieiga per internetą: <https://www.google.lt/maps/dir/55.0278459,23.8278373/54.9671902,23.8580497/@54.9983416,23.7942842,12z>
21. HAPPIAN-SMITH, J., 2001. An introduction to modern vehicle design. Oxford: Butterworth-Heinemann., psl 113. ISBN 0750650443.
22. HEISLER, H., 2002. Advanced Vehicle Technology. 2ND ed. Oxford: Butterworth-Heinemann.
23. INRE, 2016. „SolidWorks Flow Simulation“ [Interaktyvus]. [žiūrėta 2016-04-25] Prieiga per internetą: <http://inre.lt/solidworks/wp-content/uploads/sites/6/2014/05/05-SolidWorks-Flow-Simulation-2010.pdf>
24. YUCHE CHEN AlanMeier, 2015. Fuel consumption impactso auto roof racks. Prieiga per: [doi:10.1016/j.enpol.2016.02.031](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.02.031)
25. LAHA Dibyajyoti, 2015. Computational aerodynamic analysis of a rear spoiler on a car in two dimensions.
26. LITTLEWOOD R. P. ir PASSMORE M. A., 2012. Aerodynamic drag reduction of a simplified squareback vehicle using steady blowing. Experiemtns in fluids. p. 519 -529. Prieiga per: [doi:10.1007/s00348-012-1306-4](https://doi.org/10.1007/s00348-012-1306-4).

27. LONGACRERACING, 2016. Pagrindinei „Longacre Computerscales“ skaitmeninių svarstyklių parametrai [Interaktyvus]. [žiūrėta 2016-05-08] Prieiga per internetą: <http://www.longacreracing.com/products.aspx?prodid=7143>
28. MICKŪNAITIS V., PIKŪNAS A., 2005. Automobilių degalų sąnaudų nustatymo ir normavimo metodikos. Vilnius, 2005.
29. PAKNYŠ Leopoldas, 1999. Knyga: Transporto priemonių aerodinamikos pagrindai. Kaunas. Aleph ID: KTU01-000021289.
30. PIGU, 2016. Dviračių laikiklis ant stogo [Interaktyvus]. [žiūrėta 2016-05-07] Prieiga per internetą: [http://pigu.lt/auto\\_prekes/autoturizmo\\_reikmenys/dviracių\\_laikikliai/automobilinis\\_dviracių\\_laikiklis\\_ant\\_stogo\\_amos\\_alu?id=4891924](http://pigu.lt/auto_prekes/autoturizmo_reikmenys/dviracių_laikikliai/automobilinis_dviracių_laikiklis_ant_stogo_amos_alu?id=4891924)
31. RUSAVTOPLUS, 2016. Porsche automobilis [Interaktyvus]. [žiūrėta 2016-03-25] Prieiga per internetą: <http://rusavtoplus.ru/porsche-911-carrera-vii-991-kupe.html>
32. STOGO – BAGAZINES, 2016. Stogo bagažinės ir dviračių montavimas ant stogo [Interaktyvus]. [žiūrėta 2016-04-25] Prieiga per internetą: <http://stogo-bagazines.lt/>
33. STOGO SKERSINIS ANT AUTOMOBILIO, 2016 [Interaktyvus]. [žiūrėta 2016-04-25] Prieiga per internetą: <http://www.bagazines.lt/noriu-pirkti/stogo-skersiniai/aguri-runner-juodi-ant-reilingu.html>
34. TOYOTA, 2016. Europinio važiavimo ciklo grafikas [Interaktyvus]. [žiūrėta 2016-04-25] Prieiga per internetą: <http://blog.toyota.co.uk/how-official-fuel-economy-figures-are-calculated>
35. TOP2017CARS, 2016. VW Passat sedanas [Interaktyvus]. [žiūrėta 2016-03-25] Prieiga per internetą: <http://top2017cars.com/2016/2016-volkswagen-passat-sedan-exterior/>
36. ULTIMATESPECS, 2016. VW Passat automobilio duomenys [Interaktyvus]. [žiūrėta 2016-04-25]. Prieiga per internetą: <http://www.ultimatespecs.com/car-specs/Volkswagen/42199/Volkswagen-Passat-B5-Variant-Comfortline-19-TDI-115HP.html>
37. VW PASSAT B5, 2016. Universalas [Interaktyvus]. [žiūrėta 2016-03-25] Prieiga per internetą: <http://skelbimai.kasvyksta.lt/kaunas/volkswagen-passat-b5-universalas-7180/#!nuotrauka1>
38. WANG, Y., XIN, Y., GU, Z., WANG, S., DENG, Y. ir YANG, X., 2014. Numerical and Experimental Investigations on the Aerodynamic Characteristic of Three Typical Passenger Vehicles. International Journal of Engineering Technology and Advanced Engineering. ISSN 1735 – 3572.
39. HUCHO Wolf – Heinrich, 1990. Aerodynamics of Road Vehicles From Fluid Mechanics to Vehicle Engineering. ISBN: 978-0-7506-1267-8.
40. 15MIN, 2016. Chevrolet Cruze automobilis [Interaktyvus]. [žiūrėta 2016-03-25] Prieiga per internetą: <http://www.15min.lt/gazas/naujiena/naujoves/naujasis-hecbekas-dar-vienas-sekmingos-cruze-istorijos-puslapis-219-114334>