



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

Nerijus Sutkus

**Degalų suvartojimo priklausomybė nuo stilistinių
aerodinaminių elementų**

Magistro baigiamasis darbas

Kaunas, 2015



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS KATEDRA

Degalų suvartojimo priklausomybė nuo stilistinių aerodinaminių elementų

Magistro baigiamasis darbas

Autorius N.Sutkus
(parašas, data)

Vadovas doc. dr. V.Lukoševičius
(parašas, data)

Recenzentas doc. dr.
(parašas, data)

Kaunas, 2015
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS KATDERA

Suderinta:

2014 m. _____ mėn. __ d.

MAGISTRO BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS

Išduota studentui: Nerijui Sutkui

Darbo tema: LT Degalų suvartojimo priklausomybė nuo stilistinių aerodinaminių elementų
EN Car fuel consumption dependence on stylistic aerodynamic elements

Patvirtinta: 2014 m. gruodžio mėn. 15 d. dekanų įsakymu Nr. ST17-F-11-23

2. Darbo tikslas: Darbo tikslas yra išanalizuoti aerodinaminius automobilio komponentus ir įvertinti kaip keičiasi automobilio pasipriešinimo koeficiento reikšmė priklausomai nuo šių elementų formos ir didumo.

3. Darbo uždaviniai ir reikalavimai:

- Išnagrinėti automobilių aerodinaminių bandymų specifiką
- Parengti automobilio modelį naudojant CAD programomis
- Išnagrinėti bazinio modelio aerodinamines savybes naudojantis „Solidworks Flow Simulation“ programiniu paketu
- Naudojant „Solidworks Flow Simulation“ programiniu paketu išanalizuoti skirtumus tarp bazinio modelio ir modelio su aerodinaminiais pakitimais
- Apskaičiuoti važiavimui reikalingos energijos pokyčius
- Įvertinti degalų suvartojimo pasikeitimus
- Įvertinti aerodinaminių pakeitimų turinčio modelio degalų suvartojimą ekonominiu aspektu

5. Užduoties išdavimo terminas: 2014 m. rugsėjo mėn. 5 d.

Užbaigto darbo pateikimo terminas: 2015 m. birželio mėn. 08 d.

Vadovas: _____
(vardas, pavardė)

(parašas)

Užduotį gavau_____: _____
(studento vardas, pavardė)

(parašas)



KAUNAS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING AND DESIGN
DEPARTMENT OF TRANSPORT ENGINEERING

Master final project

Car fuel consumption dependence on stylistic aerodynamic elements

Nerijus Sutkus

SUMMARY

In this project are stylistic aerodynamic elements of car researched. There are force of car air resistance measured and drag calculated. In this project was researched what negative influence stylistic aerodynamic elements develop in car fuel consumption depending on these elements shape and size. In the conclusion there are economic losses represented.

Keywords: Drag, economic losses, aerodynamic elements, fuel consumption.

Turinys

Įvadas	7
Darbo tikslas	8
Darbo uždaviniai	8
1. Automobilių bandymai vėjo tunelyje.....	9
1.1. Sausumos transportas	9
1.2. Aerodinamines jėgos ir momentai.....	9
1.3. Šaldymo tekėjimas: varikliui ir stabdžiams.....	10
1.4. Vėjo triukšmas.....	10
1.5. Vėjo tunelio reikšmė automobilių industrijoje.....	11
2. Automobilio kūrimo etapai	12
2.1. Preliminarus modelis.....	12
2.2. Pagrindinio modelio formų tobulinimo etapas.....	13
2.3. Aksesuarų tobulinimas, maketai, pirmieji prototipai	13
2.4. Finaliniai apdorojimai, prototipai ir produkcinis modelis.....	14
3. Lenktyniniai automobiliai	14
3.1. Vėjo tunelio metodai taikomi lenktyniniams automobiliams.....	15
4. Sistemos skirtos sausumos transporto eksperimentams.....	18
4.1. Pagrindo įtaka ir jo traktavimas vėjo tuneliuose	18
4.1.1. Fonas	18
4.2 Fundamentalaus srauto įtaka.....	19
5. Sistemos naudojamas paviršiaus simuliacijai	20
5.1. Paprastos nejudančios grindys.....	20
5.2. Simetrija	21
5.3. Pakeltos grindys	21
5.3.1. Pakeltos grindys: ištraukimo anga priekinėje dalyje.....	22

5.4. Judančios grindys	22
5.5. Ratų sukimasis.....	23
5.5.1. Besisukantys ratai ant stacionarių grindų.....	23
6. Modelio dydžio pasirinkimas.....	24
6.1. Paviršiaus simuliacija	26
6.2. Detalizavimas	26
7. Pagrindo efektas lenktyniniuose automobiliuose.....	26
8. Aerodinaminis elementas – galinis spoileris.....	28
9. Kelio apkrovos pagrindai	30
10. Pasipriešinimo koeficientas.....	33
11. Galios poreikio skaičiavimas	37
12. Degalų suvartojimas.....	40
12.1. Specifinis kuro suvartojimas.....	40
12.2. Kuro suvartojimas važiuojant su apkrova.....	41
12.3. Skaičiavimo pavyzdys	41
12.4. Pasipriešinimo koeficiento įtaka degalų sąnaudoms	42
13. Tiriamojo modelio degalų sąnaudų skaičiavimas	42
13.1. Ekonominiai nuostoliai patiriami naudojant netinkamus aerodinامينius elementus	45
Išvados	47
Literatūros sąrašas.....	48

Įvadas

Šiuolaikinėje visuomenėje yra labai svarbus išskirtinumas. Daugelis nori išsiskirti iš minios savo stiliumi. Neretai tokias tendencijas pastebime ir tarp automobilių mylėtojų. Siekiant padaryti savo automobilį labiau traukiančiu dėmesį pasitelkiamos įvairios priemonės. Tai gali būti garso aparatūros montavimas, ne kasdiena sutinkami ratlankių dizainai, automobilio išdažymo elementai ir taip pat įvairios papildomos detalės.

Aerodinaminių elementų naudojimas labiausiai yra akcentuojamas automobilių sporte, taip pat gaminant sportinius automobilius. Dėka tokių aerodinaminių elementų kaip spoileriai automobilis tampa stabilesnis, padidėja jo sukibimas su keliu. Tačiau neretas automobilių entuziastas, net nesuvokdamas šių aerodinaminių elementų įtakos ir svarbos dažnai pablogina automobilio aerodinamines savybes, dėl ko gali ženkliai išaugti degalų suvartojimas.

Darbo tikslas

Darbo tikslas yra išanalizuoti aerodinaminius automobilio komponentus ir įvertinti kaip keičiasi automobilio pasipriešinimo koeficiento reikšmė priklausomai nuo šių elementų formos ir didumo.

Darbo uždaviniai

- Išnagrinėti automobilių aerodinaminių bandymų specifiką
- Parengti automobilio modelį naudojant CAD programomis
- Išnagrinėti bazinio modelio aerodinamines savybes naudojantis „Solidworks Flow Simulation“ programiniu paketu
- Naudojant „Solidworks Flow Simulation“ programiniu paketu išanalizuoti skirtumus tarp bazinio modelio ir modelio su aerodinaminiais pakeitimais
- Apskaičiuoti važiavimui reikalingos energijos pokyčius
- Įvertinti degalų suvartojimo pasikeitimus
- Įvertinti aerodinaminių pakeitimų turinčio modelio degalų suvartojimą ekonominiu aspektu

1. Automobilių bandymai vėjo tunelyje

1.1. Sausumos transportas

Per pastaruosius kelis dešimtmečius, vėjo tunelis tapo pagrindiniu įrankiu kuriant automobilio dizainą. Dėl daugybės priežasčių ir poreikio suprasti oro judėjimo fenomeną vėjo tunelio būtinybė, kuriant įvairias sausumos transporto priemones, labai išaugo. Dabar vėjo tunelis naudojamas projektuojant visoms transporto priemonėms, pradedant dviračiu, baigiant lenktyniniais automobiliais, ar viešuoju transportu.

Vėjo tunelių skaičius, skirtas sausumos transportui, ženkliai pakilo. Nauji tuneliai kuriami iš karto atsižvelgiant į poreikius susijusius su sausumos transportu. Dauguma vėjo tunelių buvo sukurta specialiai automobilių kompanijoms. Dauguma yra sukonzentruoti į produkcijai skirtų automobilių gamybą, tačiau yra keletas, kurie specializuojasi lenktyninių automobilių testavime. Vėjo tuneliai, kurie buvo sukurti automobiliams dažniausiai yra taip pat tinkami ir kitam sausumos transportui, kas labai padidina pačio tunelio galimybes ir gaunamą iš jo naudą.

1.2. Aerodinaminės jėgos ir momentai

Aerodinaminės jėgos ir momentai, kuriuos gauname vėjo tunelyje bandymų metu yra patys svarbiausi dydžiai automobilių projektavimo etape, tačiau vėjo tunelis be kitą ko taip pat užtikrina ir kontroliuojamą, ir pasikartojančią aplinką, kurioje galima atlikti testavimus. Jėgos ir momento matavimai yra svarbūs visam sausumos transportui. Kitiems gamintojams svarbi yra ir pasipriešinimo koeficientas, kuris atsispindi į galios poreikį. Sportinių automobilių gamintojams momentas, kėlimas ir šoninės jėgos yra ne ką mažiau svarbios nei pasipriešinimo koeficientas, nes šie dydžiai turi labai didelę įtaką automobilio stabilumui ir saugumui.

Pasipriešinimo koeficientas ir kėlimo jėgos yra sukuriamos didelio greičio testavimuose, pvz.: kai reikia patikrinti automobilio saugumą, maksimalų greitį ir visas kitas priežastis (kelionės laikas, kuro sąnaudos) kas galiausiai priveda prie kainos. Motocikluose jėgos ir momentai sukurti važiuojant tiesia linija, ir veikiant šoniniam vėjui, sudaro labai didelę įtaką į tai kaip transporto priemonė veiks, o dar svarbiau vairuotojo saugumui. Pasipriešinimo koeficientas dažniausiai akcentuojamas kaip dominuojantis efektas kuro sąnaudoms, esant konkrečioms greičiams.

Kėlimo jėga turi labai didelę įtaką, jei kalbėsime apie sportinius automobilius. Nuo šios jėgos priklauso automobilio valdymas, kuris tampa labai kritišku esant dideliame greičiui. Kėlimas dažniausiai susideda iš priekinio ir galinio kėlimo. Tai yra ekvivalentu kėlimo ir išilginiam momentui. Kitos aerodinaminės jėgos ir momentai taip pat turi labai didelę reikšmę sausumos transporto valdymui prie didelių greičių. Šoninė jėga, sukimo momentas ir vertimo momentas, esant šoniniam vėjui ar prasilenkiant su kitu automobiliu, yra svarbūs veiksniai saugumo ir komforto klausimu

standartiniuose automobiliuose, o sportiniuose ir lenktyniniuose automobiliuose konkurencingumo atžvilgiu.

1.3. Šaldymo tekėjimas: varikliui ir stabdžiams

Automobiliams, kurių variklis yra įmontuotas labai kompaktiškai reikalingos kruopščios šaldymo sistemos veikimo studijos. Norint sukurti optimalią automobilio aušinimo temperatūra būtina naudotis vėjo tuneliu. Tokie vėjo tuneliai, kurių paskirtis yra aušinimo sistemos yra vadinami „aplinkos vėjo tuneliais“, nes jie yra pritaikyti konkrečiai aušinimo sistemų bandymams. Yra vos keletas vėjo tunelių, kurie būtų pritaikyti tiek aušinimo sistemoms tiek ir automobilio kėbulo projektavimui. Eksperimentai vėjo tunelyje, kai variklis dirba su apkrova, o vėjo srautas yra pastovaus greičio ir temperatūros, leidžia išsiaiškinti apie aušinimo sistemos veikimo parametrus. Taip greičiau išrenkami tinkami aušinimo sistemos komponentai ir ženkliai sumažinama testavimų keliuose būtinybė. Automobilio bandymo kelyje atsisakyti neįmanoma, bet šie bandymai skirti atlikti tik minimaliems sistemos pakoregavimas, kai didžioji darbų dalis jau būna atlikta vėjo tunelio eksperimentų metu. Svarbiausia yra tai, kad duomenys yra gaunami iš kontroliuojamos vėjo tunelio aplinkos ir galima atlikti daug kruopštesnes analizes ateičiai.

Kalbant apie autobusus, čia visi komponentai yra didesni, taip pat ir pats šilumos šaltinis, todėl svarbu ne tik užtikrinti optimalią variklio temperatūrą, bet ir kaip nukreipti temperatūrą nuo keleivių.

Stabdžiai yra elementas, kuris taip pat kelia didelę temperatūrą, todėl šioje vietoje yra irgi svarbus šilumos išsklaidymas. Tiesa sakant stabdžiai turi pastoviai absorbuoti energiją daug greičiau, nei variklis įdiegtas į konkretų automobilį galėtų sukurti. Yra pasitaikę atvejų kai norint sumažinti pasipriešinimo koeficientą sukuriamas toks oro aptekėjimas apie automobilį, kad oro srautas, kuris eina apie stabdžius yra nepakankamas, tas turi didelę įtaką stabdžių veikimui ir jų ilgaamžiškumui.

1.4. Vėjo triukšmas

Dėl komforto, dėl aplinkosaugos nuostatų ir vis labiau dėl marketingo priežasčių dėmesys yra atkreipiamas į triukšmo sukėlimo šaltinius automobiliuose. Daugybė automobilių klasių žemą triukšmo lygį sieja su aukšta kokybe. Keletas vėjo tunelių nagrinėjančių lėktuvų ir automobilių aerodinamines savybes yra pašaline pašalinius garsus, sukeliamus pačio vėjo tunelio turbinų, ir įdiegia triukšmo lygio matuoklius, tam, kad būtų ieškoma elementų iššaukiančių šia nepageidaujamą savybę. Per pastaruosius metus buvo pritaikyta daug technologijų triukšmo lygiui mažinti automobiliuose ir kitose sausumos transporto priemonėse. Triukšmo sukėlimo šaltiniai buvo suskirstyti į tris pagrindinius kriterijus:

1. Variklis ir transmisija

2. Padangos
3. Vėjo aerodinamika

Dešimtmečiais pirmosios dvi buvo tokios svarbios, kad į paskutiniąją dėmesio net nebuvo kreipiama. Per paskutiniuosius pora dešimtmečių ir trečiais kriterijus tapo svarbus. Vėjo tunelis šiuo metu yra geriausias įmanomas įrankis aerodinaminio triukšmo mažinimui. Kai šis klausimas patapo svarbus sausumos transporte jis tuo pat metu pasidarė aktualus ir vėjo tunelio savininkams, kurie turi tobulinti ir įdiegti papildomą įrangą ir taip gerinti savo testavimo galimybes. Tačiau dar ne visi vėjo tuneliai gali pasigirti tokiais parametrais. Kurie leistų atlikti ir aerodinaminio triukšmo testavimus.

1.5. Vėjo tunelio reikšmė automobilių industrijoje

Aerodinaminė evoliucija, kuri turi didelę įtaką šiuolaikinio automobilio formoms yra viena iš daugelio skirtingų sričių, į kurias reikia atkreipti dėmesį kuriant automobilį. Aerodinaminis modeliavimas prasideda nuo koncepcinio modelio etapo ir vykdomas iki pilno automobilio paruošimo produkcijai. Nors aerodinamika yra tik vienas iš daugelio transporto priemonės etapų, tai yra ir vienas iš nedaugelio etapų, kurie eina nuo pačios pradžios iki pačios automobilio paruošimo pabaigos. Nors kompiuterinės simuliacijos ir automobilio testavimai kelyje yra svarbūs, tačiau eksperimentai vėjo tunelyje kol kas yra labai reikalingas ir plačiai naudojamas procesas. Tai yra dėl to, kad tai yra pats tiksliausias ir produktyviausias automobilio aerodinaminių savybių simuliacinio tikrinimas.

Lėktuvų gamyboje, kai tikslas yra nustatomas, aerodinaminių savybių pasiekimas atitinkantis pagrindinę užduoties sąlyga yra kone pats pagrindinis inžinierių tikslas. Automobilių pramonėje, tai praktiškai niekada nėra išpildoma. Aerodinaminių savybių laipsnis, kuris bus pasiektas pagamintame automobilyje, priklauso nuo keleto veiksnių.

- Aerodinaminių savybių svarbumas priklauso nuo automobilio klasės. Pvz.: dvivietis sportinis automobilis ir šešiavietis vienatūris turės visiškai kitokius reikalavimus. Pirmajame pasipriešinimo ir kėlimo jėgos, kurios yra sukuriamos yra kritinės, ypač esant dideliems greičiams, o antrajame salono aušinimas, vėjo keliamas triukšmas ir purvo kaupimasis ant langų bus labiau akcentuojamas.
- Kuro sąnaudos skiriasi priklausomai nuo gamintojo. Daugelyje europietiško ir azijietiško gamintojų automobilių kuro sąnaudos yra labai svarbios dėl mokesčio už kurą. Šiuo atveju pasipriešinimo koeficiento mažinimas yra siekiamybė.
- Daugelyje valstybių aerodinaminės savybės tampa marketingo sritimi. Ypač kalbant apie sedanus, kai akcentuojamos naujo automobilio aerodinaminių savybių konkurencinės savybės.
- Vyriausybės nuostatai taip pat yra dažnas kriterijus.

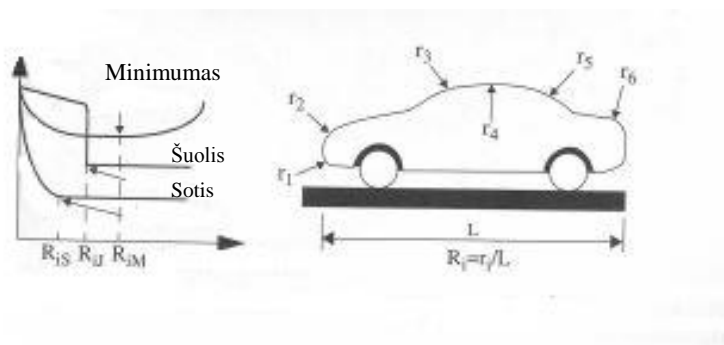
Remiantis šiais ir kitais faktoriais vėjo tunelio rolė vis tiek išlieka svarbi. Tačiau per pastaruosius tris dešimtmečius, rinkai keliant reikalavimus dėl geresnių kuro sąnaudų Europoje ir Azijoje dėl kuro kainų kilimo ir naftos krizes, susirūpinimo dėl kuro švaistymo, oro užterštumo ir globalinio atšilimo Jungtinėse Amerikos Valstijose aerodinamikos vystymasis ir vėjo tunelio taikymas eksperimentams tampa vis labiau ir labiau standartinė automobilių gamybos dalimi. Tendencijos rodo, kad vėjo tunelio naudojimas ateityje tik augs, o viena iš pagrindinių jo taikymų sričių bus vėjo triukšmo mažinimas.

2. Automobilio kūrimo etapai

2.1. Preliminarus modelis

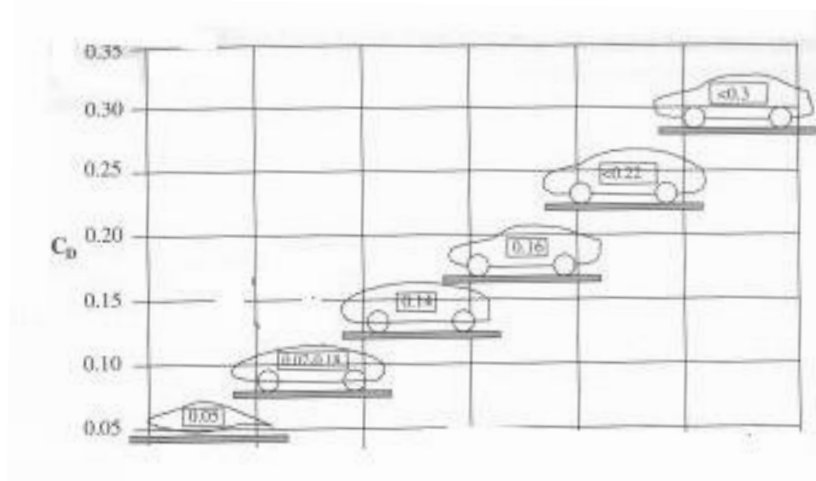
Pradedant kurti automobilį visų pirma nepuolama gaminti tikslaus modelio. Pirmojo etapo metu yra sukuriama elementarios formos modelis ir atliekami bandymai naudojant jį. Šio etapo metu svarbu atrasti kokio didumo ir modelis bus ir kokios bus pagrindinės jo formos.

Yra sukurtos dvi pagrindinės strategijos, kuriomis galima remtis kuriant automobili: detalių optimizavimas ir formos optimizavimas. Detalių optimizavimo metu dažniausiai bus optimizuojamos būsimo modelio detalės, gali būti paimamas ir jau esamas modelis. Turint modelį paimamos kelios atskiros jo dalys ir keičiami jų parametrai ieškant geriausio įmanomo sprendimo (1 pav.).



1 pav. Schematinė geometrijos ir pasipriešinimo koeficiento priklausomybė

Formos optimizavimo atveju yra paimama bazinė aerodinaminė forma ir ji keičiama pamažu kol pasieks tokią, kokios buvo tikimasi (2 pav.)



2 pav. Formos optimizavimo schema [1]

Tradiciškai sumažinti modeliai yra pasirenkami atlikti tokiems tobulinimams, kadangi jie kainuoja mažiau ir yra greičiau pagaminami. Tačiau yra kompanijų, kurios nuo pat pradžių dirba su realaus dydžio modeliais. Toks pasirinkimas turi savų privalumų:

- Geometrinės tolerancijos yra lengviau pasiekiamos negu sumažintame modelyje.
- Egzistuojančio automobilio platforma gali būti aplipinta moliu, tai leidžia atlikti išankstini optimizavimą su šaldymo oro srove ir automobilio dugno struktūros elementais, kartais be papildomos kainos.
- Aeronautikos kūrime galime turėti daugiau pasitikėjimo pradiniuose etapuose.

Pirmųjų etapų metu yra naudojamas molis kaip pagrindinė medžiaga kurti automobilio dizainui. Kadangi jis yra minkštas, inžinieriai gali lengvai keisti modelio formą. Taip pat yra naudojamas modeliavimo programos. Jomis sukurtą modelį galime išbandyti, tačiau tai vis tiek nebus taip tikslu kaip atliekant bandymus vėjo tunelyje.

2.2. Pagrindinio modelio formų tobulinimo etapas

Kai yra pasiekiamos pagrindinės norimo modelio formos, ateina metas smulkesnėms automobilio detalėms būti tobulinamoms. Šis tobulinimo procesas kaip ir prieš tai buvęs yra kuriamas pasitelkiant į pagalbą molį. Šio etapo metu paprastai yra keičiamos buferių, veidrodėlių, ortakių, galinės dalies formos ir kiti kėbulo linijų elementai.

2.3. Aksesuarų tobulinimas, maketai, pirmieji prototipai

Šio etapo metu dizaino fazė yra visiškai baigta, šiuo metu yra ieškoma esminių klaidų, kurios galėjo koku nors būdu būti nepastebėtos ir turėtų esminę įtaką tolimesniam modelio vystymuisi. Šiuo metu tikrinama ar vėjas atlieka savo darbą, t.y. ar jis pakankamai gerai atlieka aušinimo darbą, ar nėra įtakos valytuvams, žiūrima, kad purvas nebūtų tiesiogiai nukreipiamas ant šoninių langų esant lietui ar sningant.

Šis etapas dažniausiai eina paraleliai su pirmuoju važiuojančio realaus dydžio prototipo gamyba. Vyksta duomenų keitimasis tarp bandymų vėjo tunelyje ir bandymų kelyje, siekiant pasiekti kuo mažesnes kainas ir laiko sąnaudas.

Šio etapo metu yra atsižvelgiama ir į aeroakustikos tyrimus. Daugybė testų atliekama tiek ir išorinių matavimų tiek ir matavimu salone metu.

Atliekami labai svarbūs šoninio vėjo bandymai, Vėjo tunelyje šių bandymų rezultatai ne visada atitinka realias sąlygas, kadangi gamtoje nėra pastovumo, taigi tai pirmoji proga kai galima vertimo ir išilgines jėgas patikrinti natūraliomis sąlygomis.

2.4. Finaliniai apdorojimai, prototipai ir produkcinis modelis

Šiame etape pakeitimai daromi reikalingi kosmetikai, marketingo tikslais arba veikimo tobulinimui. Kuriami įvairūs prietaisai dėl to jų veikimas turi būti patikrinamas. Pavyzdžiui, kuriami aerodinaminiai veidrodėliai, mažinama prošvaisa, skirtingi buferiai, sparnai arba spoileriai, slenksčiai ir kt. Su šiomis patobulinto dizaino detalėmis taip pat atliekami testavimai, tam, kad būtų įsitikinta, jog jie nedaro jokios neigiamos įtakos automobilio stabilumui. Atlikus visus bandymus ir įsitikinus, kad visi aerodinaminiai elementai dirba be priekaištų automobilis leidžiamas į produkciją.

3. Lenktyniniai automobiliai

Nors kuriant lenktynėms skirto automobilio aerodinamiką naudojami praktiškai tokie patys principai ir technologijos, tačiau lenktyninio automobilio aerodinaminės savybės dažniausiai yra skirtingos. Šio tipo automobiliuose aerodinaminės savybės yra dominuojantis faktorius, jei kalbėsime apie automobilio pasisėkimą varžybų metu. Taigi aerodinaminiai matavimai atliekami kuriant aerodinaminius elementus tokiems automobiliams yra itin svarbūs ir gali turėti kritinę reikšmę trasoje. Šiuo metu yra daugybė automobilių sporto rūšių, bet tik kelios yra susitelkusios į automobilio aerodinaminius „sugebėjimus“. Kaip, pvz., galime paminėti: Formulė 1, ištvermės lenktynės, GT serijos lenktynės, NASCAR vykstančio Jungtinėse Amerikos Valstijose, ir gamyklinių komandų turizmo lenktynės vykstančios Europoje. Skirtumai kiekvienos klasės lenktynių bolidų aerodinamikoje atsispindi į jų siekius lenktynių metu. Automobilio aerodinamika turi būti pritaikyta ne tik pačiam sporto rūšiai, bet net ir skirtingam trasos išdėstymui. Kaip bebūtų pats pagrindinis visų šių tipų lenktyninių bolidų tikslas greitis tiesiojoje. Tai dažniausiai reikalauja minimalaus pasipriešinimo koeficiento, bet didelės prispaudžiamosios jėgos subalansuojant galia tarp priekinių ir galinių ratų. Kiekviena klasė turi reglamentą, kuris riboja tam tikras formas ir matmenis.

Norint pasiekti šiuos rezultatus atliekami kombinuoti bandymai vėjo tuneliuose ir trasose. Šie darbai dažniausiai atliekami ne sezono metu, kai vyksta pasiruošimo fazė.

Aerodinaminį automobilio paruošimą riboje taisyklės, kurios nusako iš kokių medžiagų, kokių matmenų, kokių svorių turi būti atlikti pakeitimai automobiliuose. Dėl didelės įtakos pasisekimui, kurią gali lemti net ir mažiausios smulkmenos, kūrėjai dažniausiai atlieka daugybę eksperimentų.

Lenktyninio automobilio aerodinaminiai darbai gali būti skirstomi į du etapus: Preliminarus plėtojimas. Šio proceso metu yra išnagrinėjama daugybė skirtingų automobilio nustatymų, dizaino galimybių. Suplanuojama daugybė eksperimentų ir jie yra vykdomi. Preliminarios išvados yra priimamos kokie nustatymai būtų geresni vienai ar kitai situacijai. Vėjo tunelio testai ir kelio bandymai yra atliekami. Vėjo tunelio bandymai turi didelį įtaką tiriant įvairias situacijas ir jas lyginant pasirenkami priimtinausi automobilio nustatymai. Tokie testai yra labai naudingi, nes jie gali būti dažnai kartojami.

Šie testai dažnai atliekami ir su sumažintais modeliais. Lenktyninis sumažintas modelis gaminamas daug tiksliau negu produkcijai skirtas molinis modelis. Lenktyniniai modeliai yra gaminami su vidaus struktūra, tam, kad būtų galima ištirti vidinį oro tekėjimą ir pakankamai stiprūs, kad atlaikytų didžiausią įmanomą vėjo tunelio greitį

Optimizacija lenktynių sezono metu. Sezono metu eilė pakeitimų yra atliekama dėl mažesnių negu optimalių rezultatų arba dėl taisyklių pasikeitimo. Taisyklių pasikeitimas dažniausiai yra daromi dėl saugumo sumetimų arba dėl taisyklių, kurios sukelia tam tikrus nepatogumus. Tokiu atveju vėl yra naudojami vėjo tuneliai.

Šiuo metu komandos renkasi tarp sumažinto modelio, realaus dydžio modelio ir tikro bolido. Dauguma NASCAR komandų bandymus atlieka naudodami realaus dydžio modelius arba pačius automobilius, retais atvejais yra naudojami sumažinti modeliai. Formulės 1 komandos dažniausiai renkasi sumažinto dydžio modelius.

Privalumas naudojant modelius yra tas, kad nebūtina turėti tikro bolido vėjo tunelyje, taip sudarant puikias sąlygas atlikti paralelius bandymus. Sportui ruošiamų automobilių bandymai dažniausiai atliekami įstaigose, kurios turi judančio pagrindo funkciją (juostinis konvejeris). Uždarų ratų modeliams didelę reikšmę turi prošvaisa, o atvirų ratų modeliams aerodinamines savybes turi įtaką patys ratai, todėl naudojant vėjo tunelį su stacionariomis grindimis į tai labai svarbu atkreipti dėmesį.

3.1. Vėjo tunelio metodai taikomi lenktyniniams automobiliams

Yra trys pagrindinės lenktyninių automobilių grupės: atvirų ratų tipo (3pav.) LEMANO/GT tipo (4pav) ir produkciniai automobiliai perdaryti į lenktyninius (5pav.).

Visiems šiems sportinių automobilių tipams paviršiaus plotas prie grindų turi labai didelę įtaką. Atvirų ratų modeliams besisukantis ratas turi daug didesnę įtaką nei automobiliams, kurių ratai yra paslėpti kėbulo.

Pagrindo simuliacijos yra tokios pačiosm nepriklausomai kokio tipo automobilį tiriame. Tačiau tikslesni skaičiavimo metodai yra reikalingi, kai automobilio prošvaisa sumažinama arba kai transporto priemonės greitis yra didelis. Reikalavimai sportinėms mašinoms yra patys didžiausi, norint atlikti tinkamus ir produktyvius eksperimentus.

Kaip taisyklė vėjo tunelio rezultatai yra labai reikšmingi keliui arba trasai. Net jeigu vėjo tunelio eksperimentai tėra simuliacijos tai kol kas yra dažniausiai naudojamas aerodinamikos tobulinimo elementas naudojamas lenktyninių automobilių kūrime. Paprastai geri rezultatai vėjo tunelyje reiškia gerus rezultatus trasoje ir yra reikalingi tik smulkūs pakabos patobulinimai, kurie priderinami prie jau gautų duomenų bandymuose.



3 pav. atvirų ratų tipo sportinis automobilis [21]



4 pav. Lemano/Gt tipo sportinis automobilis [22]



5 pav. gamyklinio tipo sportinis automobilis

Vis dažniau ir dažniau lenktyninių automobilių kūrėjai kuria savo vėjo tunelius skirtus tik jų pačių naudojimui. Tai bene didžiausia priežastis kodėl vystosi tokios brangios sporto šakos kaip Formulė 1.

4. Sistemos skirtos sausumos transporto eksperimentams

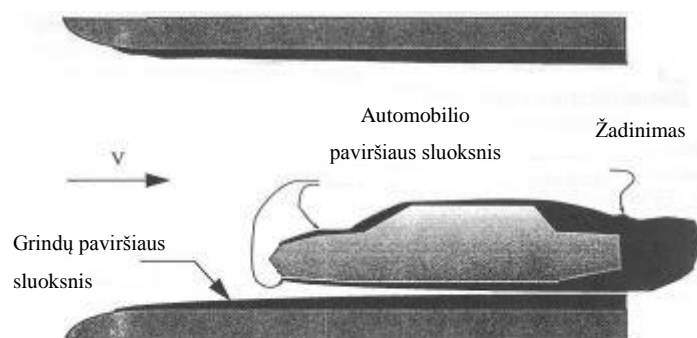
4.1. Pagrindo įtaka ir jo traktavimas vėjo tuneliuose

4.1.1. Fonas

Automobiliai, sunkvežimiai, motociklai ir t.t. važiuoja mažu atstumu nuo žemės. Tarpas nuo paviršiaus kinta priklausomai nuo transporto priemonės paskirties ir svyruoja tarp 12–15cm. Tai atstotų maždaug 10 % automobilio aukščio ir apytikriai 3 % ilgio. Sportinių automobilių aukštis nuo žemės yra toks mažas kaip tai leidžia reglamento nustatymai. Kartais šis atstumas būna nulinis kraštuose pasitelkiant į pagalbą lanksčias medžiagas. Pasienio sluoksnis, kuris yra po automobiliu turi labai didelę įtaką kaip oro srautas tekės aplink automobilį, dėl to jis yra labai svarbus automobilių aerodinamikoje.

Tiriant lėktuvus, jie yra pastatomi vėjo tunelio centre, todėl neturi jokio sąlyčio su pasienio sluoksniu. Sienų ir pačio lėktuvo pasienio sluoksniai yra atitolę toli vienas nuo kito, todėl jie traktuojami kaip neturintys didelės įtakos simuliacijoms. O automobilis yra statomas ant žemės, ko pasekoje atsiranda labai didelė pasienio sluoksnio įtaka bandymams. Tai gali būti pašalinama tokiu atveju kai pagrindas, ant kurio stovi mašina, judės tokiu pat greičiu kaip ir tekės oras, tai yra pasiekama automobili pastatant ant judančiu girdų (juostinis transporteris). Tačiau tai yra labai sudėtingas techninis sprendimas, nors apie jį jau kalbama per 60m, taigi dauguma aerodinaminių bandymų vėjo tunelyje iki šiol atliekami ant stacionarių grindų.

Ši situacija yra pavaizduota (6 pav.) čia parodytas mašinos vidurio pjūvis su labai schematiškai susupaprastintu paviršinio sluoksnio efektui. Automobiliui važiuojant keliu, nepaisant šoninių vėjų ir sūkurių, sukuria savo pasienio sluoksnį panašų kaip gauname vėjo tunelyje., bet vėjo tunelyje atsiranda ir pasienio sluoksnis apie pačias grindis ko realiame kelyje neatsiranda.

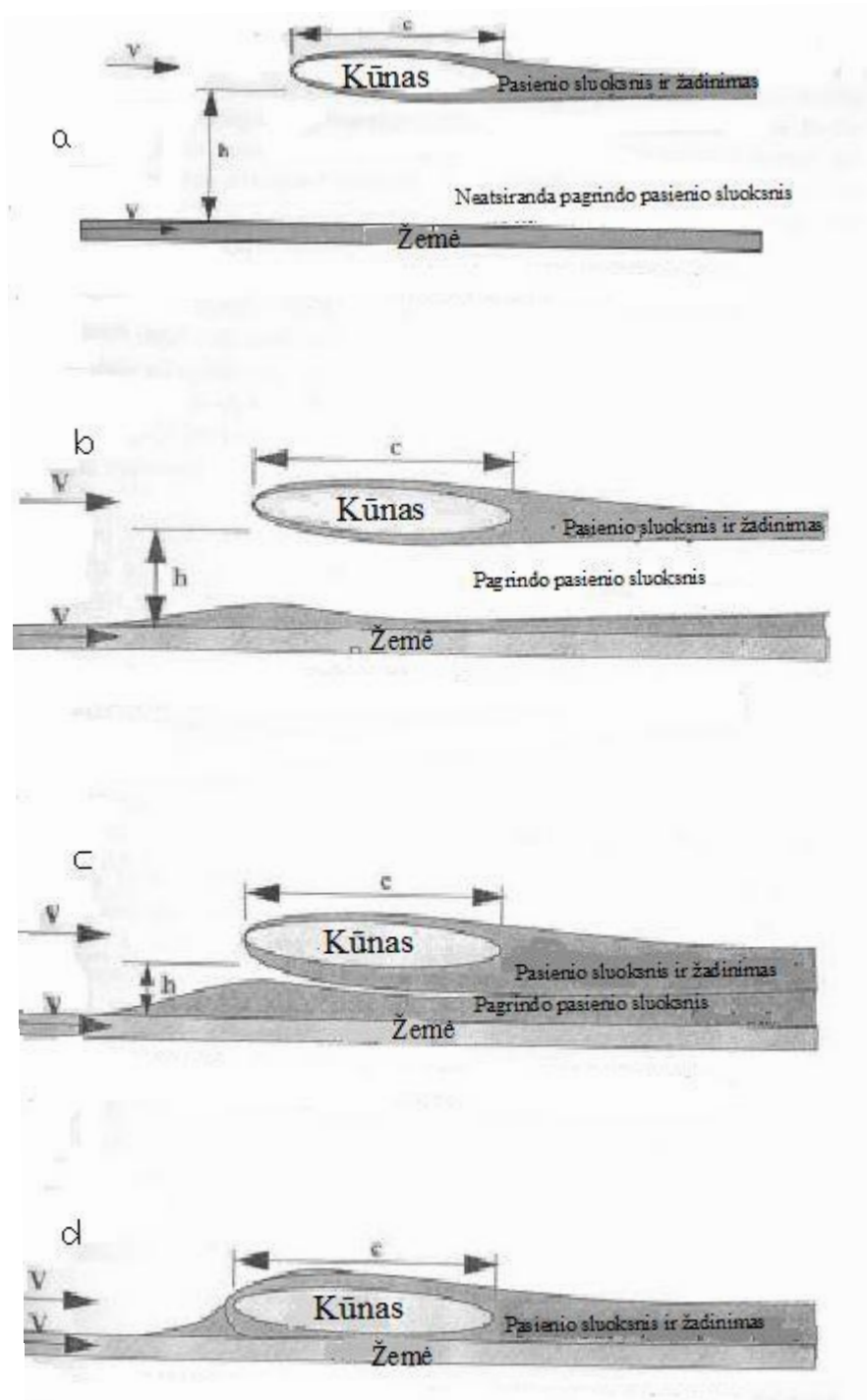


6 pav. Schematinis automobilio ir vėjo tunelio vaizdas [1]

Pasirodo, kad kėbulo įtaka, tipinėmis sąlygomis, vėjo tunelyje mažina grindų pasienio sluoksnį netoli automobilio, lyginant su grindų pasienio sluoksniu kai automobilio išvis nenaudojame.

4.2 Fundamentalaus srauto įtaka

Atsižvelkime į kūno judėjimą per fluidą esant skirtingam jo atstumui nuo paviršiaus. Priimsime, kad fluidas esantis toli nuo kūno išlieka ramios būsenos prie sienio. Visus fluido srauto pasiskirstymus matome paveikslėlyje (7 pav. a.).



7 pav. atstumo nuo kūno ir pagrindo paviršiaus sukuriamas pasienio sluoksnis

Tamsiau pažymėtos zonos reiškia sukuriavimą, kuris yra ne nulinis. Nepažymėtos zonos yra tokios, kuriose srautas išlieka nepakitęs ir teka beveik ideale tėkme.

Sekančiose dalyse (7 pav. b) c) d)) matomas situacija, kai kūnas juda per fluidą, kuris laikomas stovinčiu lyginat paviršiaus plokštumai. Tas pats gali būti su tobulai judančiomis grindimis, kurių greitis yra suderintas su vėjo judėjimo greičiu. Mes aptarsime keturis variantus, kuriuos pasiūlė Videmanas^{xx} (Wiedemann) .

- Didelis atstumas tarp kūno ir žemės (7 pav. a.). Pagrindo buvimas efektyviai paveikia srauto klampumą prie kūno. Yra maža įtaka, dėl kurios susikuria pasienio sluoksnis ant kūbulo. Tariamas srautas prie pagrindo yra pakankamai mažas, kad formuotųsi pasienio sluoksnis.
- Vidutinis atstumas tarp kūno ir pagrindo (7 pav. b). Dėl esamo atstumo matoma įtaka pasienio sluoksnio susidarymui tiek ant automobilio tiek ant pačio pagrindo. Atsiranda turbulencinis oro tekėjimas aplink automobili ir prie pagrindo.
- Mažas atstumas tarp kūno ir pagrindo (7 pav. c.). Atsiranda ryškūs pasienio sluoksnio susidarymo faktorius. Pasienio sluoksnis susidarantis ant automobilio pradeda liestis su pasieniniu sluoksniu ant žemės, dėl to atsiranda didelės turbulencijos.
- Itin mažas atstumas tarp kūno ir pagrindo (7 pav. d.) Tai yra ribinė situacija, klampumo jėgos įtakoja judėjimą tarp kūno ir pagrindo. Konvekcinės sąlygos tampa labai mažos ir srautas iš esmės išlinksta.

Šiuolaikiniai automobiliai dažniausiai dirba dviejuose viduriniuose atstumuose. Standartiniai automobiliai dažniausiai būna vidutiniu atstumu, o sportiniai beveik visada mažu atstumu nuo žemės.

5. Sistemos naudojamas paviršiaus simuliacijai

5.1. Paprastos nejudančios grindys

Savaime aišku kur yra nejudančios sienos ten susidaro ir pagrindo paviršiaus sluoksnis, priklausantis nuo simuliacijos parametrų. Taip reikia atsižvelgti ir į greičių skirtumus (8 pav.) kurie atsiranda dėl atstumo tarp žemės ir kūbulo.

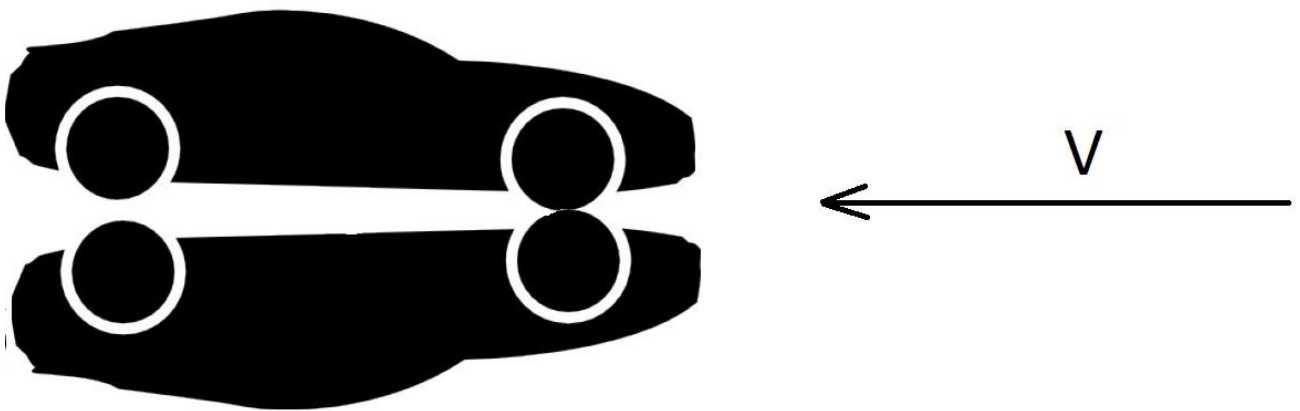


8 pav. kūnas esantis vėjo tunelyje su nejudančiomis grindimis

Šiame paveiksle matomas aiškus skirtumas paviršiaus sluoksnio ir vėjo greičio priklausančio nuo prošvaisos. Matomi akivaizdūs kritiniai parametrai atsirandantys dėl prošvaisos (h) ir automobilio ilgio santykio (c). Kai pagrindo pasienio sluoksnis yra palyginti storas su prošvaisa jis potencialiai gali daryti įtaką srauto tekėjimui apie automobilio kėbulą. Visų pirma tai yra mažos energijos fluidas, kuris lengvai gali pereiti į pasienį sluoksnį aplink automobilį ir automobilio kėlimą. Visų antra pagrindo pasienio sluoksnio storio pasiskirstymas bus modifikuojamas dėl slėgio lauko einančio apie automobilį, kuris sukels srauto kampuotumą, kuris keisis pagal srovės koordinatę. Daugybė bandymų būdavo atliekama su stovinčiomis grindimis, todėl yra labai svarbu įvertinti šį reiškinį kruopščiai. Šiuo metu tokie bandymai nėra rekomenduojami, dėl to, kad norint gauti tikslius duomenis reiktų juos susieti su realių testų kelyje gautais rezultatais.

5.2. Simetrija

Šio principo esmė naudoti du tokius pačius modelius sudėtus kaip vieną kūną (9 pav.). Dėl geometrijos ir Reinoldso skaičiaus, kuris nusako tiesų srauto tekėjimą tai yra tinkamas metodas nagrinėti judančiam paviršiui esant dideliai ir vidutiniai automobilio prošvaisai.



9 pav. Simetrinis skaičiavimo modelis, kuriuo siekiama eliminuoti pasienio sluoksnio įtaką

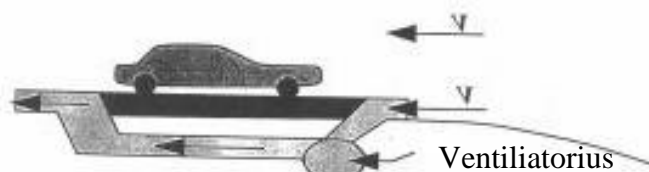
Tačiau yra pora trūkumų. Dėl srauto tekėjimo ir geometrinių savybių sunku užtikrinti simetrinį srauto tekėjimą visą laiką. Kitad trūkumas yra toks, jei prošvaisa bus tokia, kad susidarys pasienio sluoksnis tada matavimo rezultatai nebus efektyvūs. Šis metodas nebėra taikomas automobilių pramonėje.

5.3. Pakeltos grindys

Šio metodo esmė tokia, kad yra įmontuojamos papildomos grindys virš vėjo tunelio grindų, tam kad būtų atskirtas pasienio sluoksnis susidarantis ant grindų. Šių grindų ilgis dažniausiai būna toks koks yra testuojamas objektas. Šių grindų aukštis paprastai būna 3-5 kartus didesnis negu pagrindo pasienio sluoksnis. Tuomet atsiranda naujas, bet šiuo atveju mažesnis pasienio sluoksnis. Nors šitas būdas yra labai paprastas, bet turi savo trūkumų. Vienas iš trūkumų yra tas, kad pasienio sluoksnis nėra visiškai sunaikinamas, o tik pakeičiamas kitu. Naujas, bet plonesnis sluoksnis vis tiek gali formuoti testo rezultatus. Taip pat gali atsirasti ir srauto išsikraipymai, kurie nusitęs per visą naujos plokštumos ilgį. Didžiausias trūkumas yra tas, kad atsiranda srauto perskirimai iš abiejų plokštumos pusių, ir jis turi labai didelę reikšmę rezultatams. Dėl to yra sunkiau nustatyti tinkama vėjo greitį. Taip pat automobilio įtvirtinimo klausimas yra keblus, ypač, jeigu naudojamas realaus dydžio modelis. Šis bandymų modelis buvo dažnai naudojamas aštuntajame dešimtmetyje, tačiau retai pasitaiko šiais laikais.

5.3.1. Pakeltos grindys: ištraukimo anga priekinėje dalyje

Šiuo metodu naudojasi „General Motors“ kompanija. Jo esmė ištraukti žemos energijos fluidą nuo testavimo grindų paviršiaus sluoksnio (10 pav.).



10 pav. vėjo tunelis su juostinio transporterio „keliu“

Metodas yra labai panašus į prieš tai buvusį, tik šiuo atveju, kai grindys yra pakeltos, pūstuvo pagalba oras yra traukiamas priekinėje modelio dalyje ir išpučiamas už modelio. Šis metodas turi du didelius privalumus. Pirmas yra tas, kad ateinančio vėjo srautą galime kontroliuoti naudodami pūstuvą. Jis sureguliuoja srauto slėgį ir jį padaro vienodą ir prie žemės, ir prie lubų. Antra, efektyvi testavimo dalis yra labai mažai paveikta, kitaip nei esant pakeltų grindų atveju. Jo dėka pasienio sluoksnis yra toks pat arba dar mažesnis nei pačio vėjo tunelio pradžioje.

5.4. Judančios grindys

Šiuo atveju yra naudojamas juostinis transporteris. Automobilis yra pastatomas ant jo, taip yra imituojamas kelias. Tai geriausias būdas atlikti tiksliems bandymams. Tačiau šis būdas turi trūkumų taip pat. Vienas iš jų šis transporteris negali pasiekti tokių greičių, kad prilygtų vėjo greičiui t.y.

100+m/s kitas didelis trūkumas tas, kad automobilis negali tiesiog būti pastatomas ant šio transporterio jis turi būti prilaikomas arba iš viršaus, arba iš šonų. Dėl to neįmanoma nustatyti automobilį veikiančių jėgų įtakos.

Kitas svarbus veiksnys yra tas, jog šis transporteris negali palaikyti savo formos ir būti visą laiką plokščias, tai yra sunku įgyvendinti dėl žemo oro slėgio, kuris yra po pačia transporterio juosta. Šis slėgis sukelia siurbimą, kuris juostą išklaipo.

Ši sistema yra labai galinga. Nors judančių grindų konceptas yra laikomas labai brangiu, atimančiu daug laiko ir sudėtingu, bet jis vis dar yra labiausiai naudojamas lenktyninių automobilių kūrėjų.

5.5. Ratų sukimasis

Dauguma sausumos transporto aerodinaminių bandymų buvo atliekami, kai ratai nesisukdavo. Tai taikoma tiek realaus dydžio modeliams tiek sumažintiems. Tai yra akivaizdus nesutapimas su tuo kokiomis sąlygomis yra veikiamas automobilis realiai. Faktas dėl, kurio buvo gaunami tikslingi rezultatai yra tas, kad didžiausias dėmesys buvo skiriamas viršutiniai automobilio daliai. Ir buvo vertinama tik viena veikianti jėga tai pasipriešinimo koeficientas. Šiuo metu pradedama skirti daugiau dėmesio ir kitiems elementams, tokiems kaip: aušinančio oro tekėjimui, oro tekėjimui po automobiliu ar besisukančio rato įtakai.

Judančios grindys buvo ilgą laiką traktuojamas kaip labai reikalingas testavimo sektoriaus atributas, tačiau dėl savo sudėtingumo buvo nenaudojamas ankstesniuose vėjo tunelio bandymuose. Bet jei norime atlikti pilnus bandymus vėjo tunelyje šis elementas yra būtinas. Toliau aptarsime keletą besisukančio rato būdų naudojamų aerodinaminio tunelio sektoriuje.

5.5.1. Besisukantys ratai ant stacionarių grindų

Sistema kai yra naudojamas grindys visada naudoja ratų tvirtinimus tai gali būti atramos arba specialus laikikliai. Jei ratas turi suktis, o grindys turi stovėti tuo atveju yra naudojami besisukantys skridiniai, panašūs kaip stabdžių tikrinimo arba automobilio galios matavimo stenduose (11 pav.).



11 pav. vėjo tunelis su modeliu, kurio ratai yra pastatomi ant besisukančių volų [24]

Šie skridiniai yra labai mažai iškilę virš pagrindo paviršiaus ir laiko automobilio ratus. Varikliu valdomi skridiniai yra sumontuoti su balansavimo sistema ir yra labai patikimi. Turi būti šio toks tarpas tarp vėjo tunelio grindų ir skritulių sistemų.

Antroji sistema skirta automobiliui įtvirtinti, kai ratai sukasi. Paprastai šios sistemos būna už rato arba pačiame rate. Šiam tvirtinimui reikalingas šio toks atstumas tarp rato ir grindų. Kadangi atstumas turi būti labai mažas jį nustatyti yra ganėtinai sunku.

6. Modelio dydžio pasirinkimas

Tiriant sausumos transportą yra daugybė vėjo tunelių, kurie gali tirti realaus dydžio automobilius įvairiais greičiais, taip pat yra galimybė gauti gerus Reinoldso skaičius naudojant modelius, kurių dydžiai svyruoja nuo 1:1 iki 1:3 dar didesniame vėjo tunelių skaičiuje. Turimų formulų dėka mes galime tikėtis palankių rezultatų tol kol Reinoldso skaičius bus nepakitęs nesvarbu kokio dydžio modelį naudotumėme, svarbiausia, kad geometrinės formos būtų išlaikomos. Taigi kas nusako modelio dydžio pasirinkimą? Mes priimame, kad pagrindiniai reikalavimai yra techniniai. Pasirinkimas turi būti techniškai tikslus. Ir išsiaiškinus kokios techninės charakteristikos bus reikalingos pasirenkame patį ekonomiškai tinkamiausią variantą. Kaip jau buvo minėta prieš tai įmanoma gauti teisingas formules tol kol geometrinės charakteristikos atitiks keliamus reikalavimus. Kaina gali būti vertinama kaip vėjo tunelio kainos ir modelio kainos suma. Kuo didesnis vėjo tunelis

tuo didesnė kaina yra už laiką praleistą vėjo tunelyje. Modelio kaina savo ruožtu gali svyruoti labai plačiai priklausomai nuo daug priežasčių, dydis yra tik viena iš daugelio.

Kiekvienas automobilių gamintojas per savo egzistavimo laiką yra susiduriąs su sumažintų modelių naudojimu. Tai dažniausiai yra daroma pradinėje modelio gamyboje, kai yra naudojami molio modeliai tiek kuriant dizainą tiek atlikinėjant aerodinaminius bandymus. Yra keletas privalumų naudojant sumažintus modelius šitoje produkcijos stadijoje. Tai yra kur kas pigiau nei gaminti realaus dydžio modelį iš molio. Dauguma bandymų galima atlikti su tokiais modeliais, o tai byloja apie nedideles išlaidas vėjo tunelyje. Transportavimo kaštai yra kur kas mažesni negu pilno dydžio modelio.

Bėgant laikui modelių gamyba brangsta, bet patys modeliai yra gaminami greičiau dėl tobulėjančių technologijų. Atsiradus stereografijai modelių gamyba tapo daug paprastesnė, atliekama greičiau ir yra tikslesnė nei senesni modelių pirtakai.

6.1. Paviršiaus simuliacija

Pasienio sluoksnis vėjo tuneliuose, kuris yra geometriškai panašus, priklauso nuo jo didumo. Tai reiškia, kad sistema naudojama pagrindo simuliacijai yra tokio pat mastelio. Jei norime atlikti sumažinto modelio simuliacija dideliame vėjo tunelyje, kuriame atliekami bandymai su realaus dydžio modeliais, turime atlikti pagrindo mastelio keitimo darbus. Tačiau tai nėra labai dažnai taikoma kuriant keleivinius automobilius, kartais tai yra atliekama naudojant pasienio sluoksnio mažinimo techniką. Šios sistemos paprastai optimizuojamos realaus dydžio modeliams tirti. Taigi labai svarbu suderinti pasienio sluoksnio stori, kuris atitiktų sumažinto modelio prošvaisą, priešingu atveju galime gauti labai netikslius rezultatus.

6.2. Detalizavimas

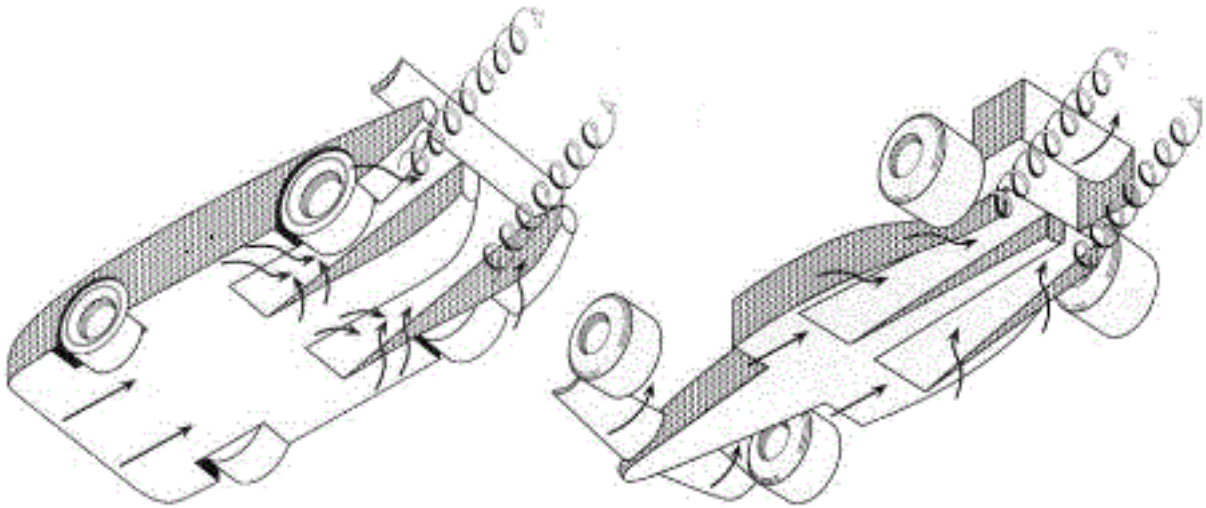
Vienintelis svarbus faktorius norint gauti tinkamus rezultatus atliekant bandymus su sumažintu modeliu yra geometrijos tikslumas. Tai yra savaime aišku, kai srauto struktūra, slėgio praradimai, ir visi kiti aspektai susieja su srauto judėjimu aplink automobilį priklauso nuo geometrinių detalių ir jų tikslumo.

7. Pagrindo efektas lenktyniniuose automobiliuose

Didžiausias susirūpinimas lenktyniniuose automobiliuose keliamas kėlimo efekto nagrinėjimui. Pasikeitimas netoli žemės esančiame režime gali turėti labai didelę įtaką kėlimo jėgai. Norint eliminuoti šia atsirandančią jėgą lenktyninių automobilių kūrėjai dažnai naudoja sparnus esančius nedideliu atstumu nuo žemės, arba suformuoja apatinę automobilio dalį taip, kad gautų naudos iš pagrindo efekto.

Abu avėjai labai svarbūs tiriant automobilį vėjo tunelyje. Jautrumas atliekant aerodinaminius bandymus, kurie priklauso nuo pagrindo efekto, iškelia ypatingai didelio tikslumo reikalaujančius šio efekto testavimus.

Lygi apatinė kėbulo dalis kartu su nuožulniais užkilimais, kurie yra su pertvaromis gale paverčia automobilio galine dalį į tunelių sistemą (12 pav.). Ši pertvarų sistema gali būti gaminama tiek iš lanksčių tiek iš standžių medžiagų.



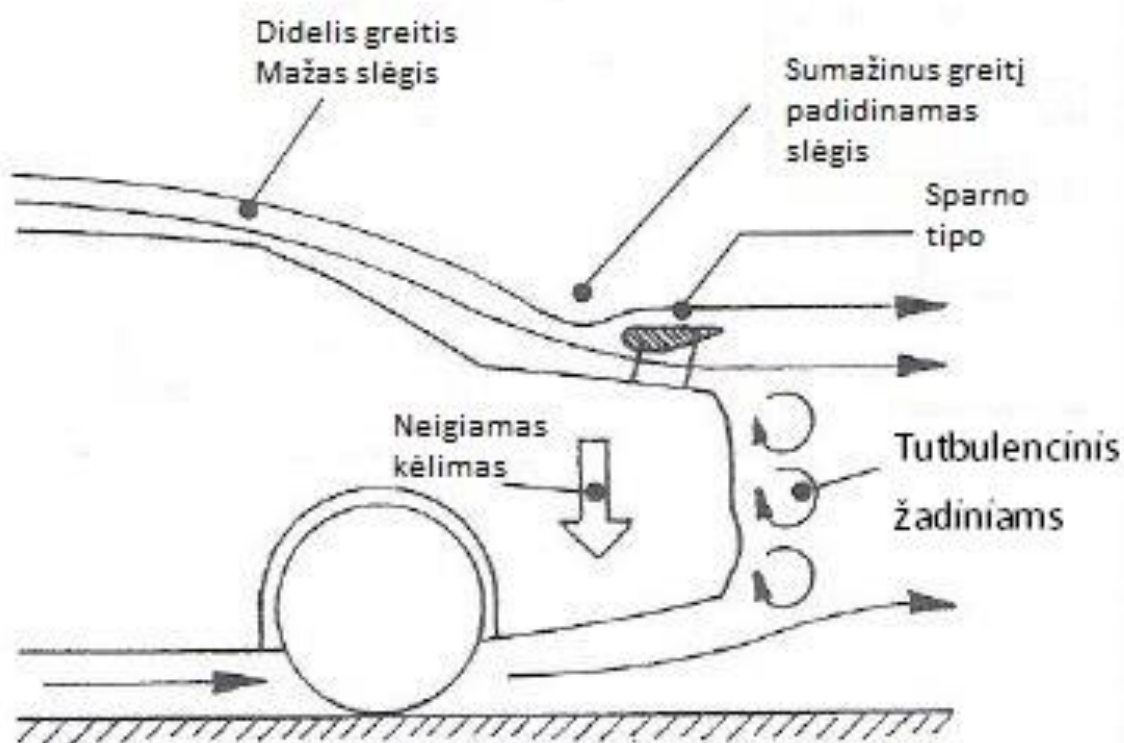
12 pav. tunelių sistema automobilio apačioje [1]

Toks aerodinaminis sprendimas lemia žemesnio slėgio susidarymą galinėje automobilio dalyje. Priekinėje automobilio dalyje kur dugnas yra plokščias oro tekėjimo greitis yra didesnis, tada jis patenka į šiuos kanalus ir taip greitis yra sumažinamas ir įvyksta slėgio kritimas. Taip yra sukuriama prispaudžiamoji jėga.

Šis oro judėjimo slėgių skirtumas labai priklauso nuo pagrindo efekto, todėl norint gauti puikius rezultatus būtina naudoti vėjo tunelį su judančiomis grindimis.

8. Aerodinaminis elementas – galinis spoileris

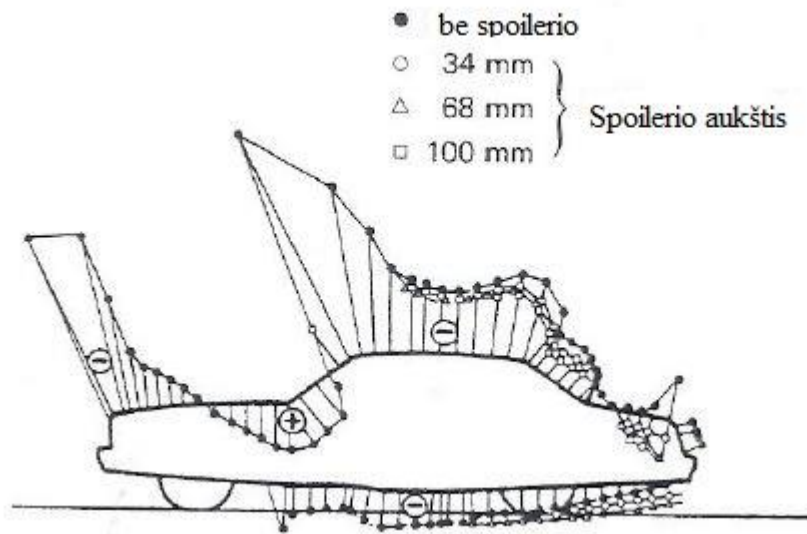
Spoileris yra aerodinaminis elementas, kuris yra tvirtinamas prie automobilio galinio dangčio. jo paskirtis yra suardyti nepageidaujamą oro judėjimą einantį per automobilio kėbulą. Spoileriai yra plačiai naudojami sedano tipo automobiliuose, tokiuose kaip NASCAR. Šis aerodinaminis patobulinimas sukuria prispaudžiamąją jėgą. Taip spoileris pagerina automobilio stabilumą sumažindamas kėlimą arba pasipriešinimo koeficientą dėl ko automobilis gali tapti neprognozuojamai kontroliuojamas esant dideliems greičiams. Spoileriai dažniausiai naudojami lenktiniuose automobiliuose, nors jų naudojimas tampa įprastas reiškinys ir standartiniuose automobiliuose. Spoileris ant galinio automobilio dangčio gali būti naudojamas dėl keleto priežasčių. Nukreipdamas oro srautą į viršų spoileris padidina galinės dalies slėgį, taip sukurdamas prispaudžiamąją jėgą. Galinis boileris gali sukurti tris efektus. Jis gali sumažinti pasipriešinimo koeficientą, sumažinti galinės ašies kėlimą ir sumažinti purvo kaupimąsi ant galinės automobilio dalies. Visų pirma naudojant spoilerį dėmesys yra kreipiamas į pasipriešinimo koeficiento mažinimą, bet vis daugiau dėmesio dabar yra skiriama neigiamo kėlimo didinimui (13 pav).



13. Galinio spoilerio veikimo principas

Aukščiau esančiame paveiksle parodyta kaip funkcionuoja galinis spoileris.

Kaip atsiranda kėlimas ir pasipriešinimo koeficientas apsprendžia galinio spoilerio aukštis (14 pav.).

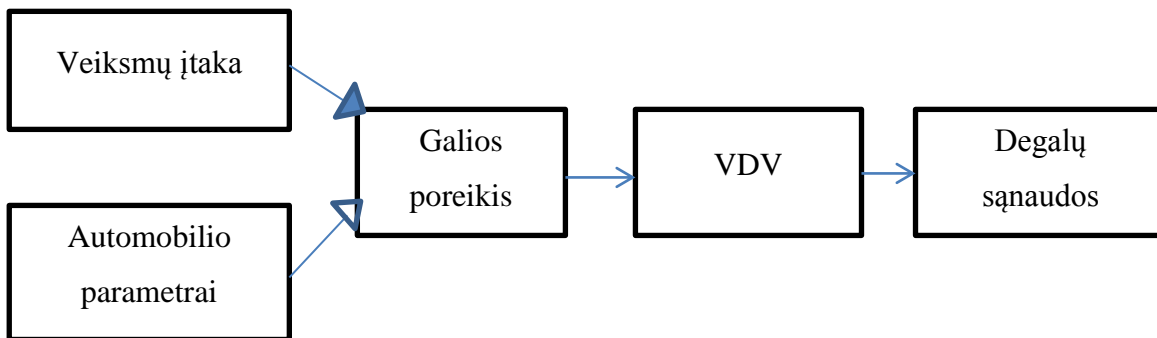


14 pav. Slėgio priklausomybė nuo spoilerio aukščio

Viršuje mes matome kaip pasiskirsto slėgis. Galimybė sumažinti pasipriešinimo koeficientą yra labai nedidelė. Sportiniuose automobiliuose, o tuo labiau lenktyniniuose, pasipriešinimo koeficientas yra padidinamas siekiant sumažinti galinės ašies kėlimą.

9. Kelio apkrovos pagrindai

Schemoje matome priklausomybę degalų suvartojimui nuo įvairių faktorių (15 pav).



15 pav. Veiksniai atsiliepiantys degalų suvartojimui

Reikalingas energijos suvartojimas priklauso nuo tokių faktorių kaip: inercija, kelio būklė, padangų trintis su keliu ir aerodinaminių nuostolių. Ši metodologija buvo sukurta Sovrano (Sovran) ir Bono (Bohn) 1914m..

Galios poreikis (vatais) yra vadinamas stabdymo jėga 1.

$$P_b = mv[a(1 + \varepsilon) + g \cdot Kb + gC_R] + 0,5\rho C_d A_f v^3 \quad (1.)$$

Čia:

v - automobilio greitis;

a - automobilio akceleracija;

ε - besisukančios masės faktorius ($\sim 0,1$);

g - laisvo kritimo pagreitis ($9,8\text{m/s}^2$);

Kb - kelio būklė;

C_r - riedėjimo pasipriešinimas ($\sim 0,009$);

ρ - oro tankis ($\sim 1,2\text{ kg/m}^3$);

C_d - aerodinaminis pasipriešinimo koeficientas;

A_f - priekinis automobilio plotas (m^2);

m - automobilio masė tonomis.

Besisukančios masės terminas, ε , yra prilyginamas 0,1. Tačiau jis gali pakilti, jei bus naudojamos mažesnės pavaros. Riedėjimo trintis radialinėms padangoms, C_r , gali svyruoti tarp 0,008 – 0,013 daugeliui keleivinių automobilių. Šio koeficiento reikšmė gali pakilti priklausomai nuo to, kiek bus pripūstos padangos, temperatūros, kelio paviršiaus tipo ir greičio (labai nedidelė įtaka). Aerodinaminis pasipriešinimo koeficientas, C_d , kinta priklausomai nuo automobilio formos. Jis kartais būna

pateikiamas gamintojo. Automobilio priekio plotas, A_f , taip pat kartais būna pateikiamas. Dažniausiai skaičiavimams būna naudojama 93 % automobilio aukščio ir pločio sandaugos. Formulė naudojama apskaičiuoti automobilio priekio plotą yra tokia 2.:

$$A_f = (H - GC) \cdot W \cdot 0,93 \quad (2.)$$

Čia: H yra automobilio aukštis

GC – prošvaisa

W - plotis

Kaip alternatyvą formulei 1. galime naudoti šią formulę 3.:

$$P_b = Av + Bv^2 + Cv^3 + mv[a + g \cdot Kb] \quad (3.)$$

Čia koeficientai A, B ir C yra riedėjimo, sukimosi ir aerodinaminiai pasipriešinimo koeficientai. Jie yra nustatomi atliekant važiavimo keliu bandymo metu ir yra pasiekiami EPA sertifikuotose duomenų bazėse. Koeficientas „ A “ grubiai nusako padangos riedėjimo priklausomybę. Koeficientas „ B “ yra labai mažas ir nusako didesnės eilės riedėjimo pasipriešinimo faktorius, priklausančius nuo mechaninio sukimosi trinties nuostolių. Koeficientas „ C “ nusako oro pasipriešinimo įtaką. Šios pateiktos formulės nebūtinai bus identiškai vienodos rezultatų atžvilgiu. Kai įmanomą reikia naudoti antrąją formulę, nes duomenys gauti iš testų yra tikslesni. Senesni automobiliai (iki 2000m.) turėjo tik kelio apkrovos arklio galiomis (KAAG) reitingą pateikiamą gamintojų. Todėl koeficientai A, B ir C turėjo būti išskaičiuojami 4.:

$$\begin{aligned} A &= (0,35/50) \cdot KAAG (hp / mph) \\ B &= (0,10/50) \cdot KAAG (hp / mph^2) \\ C &= (0,55/50) \cdot KAAG (hp / mph^3) \end{aligned} \quad (4.)$$

Galia yra paskirstoma 35 %, 10 %, ir 55 % kiekvienai iš trijų kategorijų.

Benzininiai VDV

Vidaus degimo varikliai paverčia cheminę energiją į mechaninę. Šis degimo procesas, taip pat kaip ir nuo jo neatskiriami nuostoliai, yra kritinis elementas kuriant automobilius. Pagrindiniai VDV modeliai turi tiesioginį ryšį tarp stabdymo galios ir degalų suvartojimo, abu šie dydžiai išreiškiami efektinio vidutinio slėgio (evs barais) vienetais. Kuro galios formulė 5.:

$$P_f = FR * LHV \quad (5.)$$

Čia FR – degalų suvartojimo norma gramais per sekundę

LHV – žemiausia degalų šildymo temperatūra (apytiksliai 43.7kJ/g benzino)

Efektinis vidutinis slėgis [kPa] išreiškiamas 6. formule:

$$EVS = 2000 \cdot P_f / (VN) \quad (6.)$$

Čia V – variklio litražas

N variklio greitis (aps/min)

Gavę šias reikšmes toliau galime statyti jas į formulę 7.:

$$EVS = k + bEVS / \eta$$

arba

$$EVS = (EVS + bEVS) / \eta \quad (7.)$$

Čia k yra variklio trintis, o η variklio terminio efektingumo matas, t.y. kuri degalų energijos dalis yra pakeičiama į naudingą darbą. $bEVS$ yra stabdymo jėgos efektinė vidutinė reikšmė. Šis efektyvumas nusako variklio nustatymus tokius kaip: suspaudimo laipsnis, degalų mišinys, degalų tipas, cilindro temperatūra, vožtuvų atidarymo laikas, uždegimo laikas, degimo kameros geometrija ir kt. Idealiausiu atveju šios reikšmės yra ribojamas variklio temperatūros ciklo ir antrojo termodinamikos dėsnio.

Aprašomas termodinaminis efektyvumas neturėtų būti maišomas su „mechaniniu“ efektyvumu, ar net „bendru“ variklio efektyvumu. k ir kuro EVS atspindi mechaninius nuostolius variklyje dažniausiai priklausančius nuo trynimosi, siurbimo, ir pagalbinės veiklos neigiamos įtakos. Tiksliau trynimo nuostoliai atsiranda nuo vožtuvų, pavarų, stūmoklio žiedų, tepalų, stūmoklių, alkūninio veleno ir t.t. Siurbimo nuostolius nusako skirtumas tarp cilindro įsiurbimo ir aplinkos slėgių. Droselio sklendė ir įsiurbimo kanalai, išmetimas ir vožtuvų geometrija sukelia šiuos tūrinio efektyvumo nuostolius. Kai variklis „kvėpuoja“ laisviau siurbimo nuostoliai sumažėja ir tūrinis efektyvumas padidėja. Todėl variklis turintis 4 vožtuvus cilindru dirba daug geriau nei tas, kuris turi tik po 2 vožtuvus cilindru. Dyzeliniai automobiliniai neturi droselinės sklendės dėl to jų tūrinis efektyvumas yra geresnis nei benzininių automobilių.

Norint rasti visą automobilio efektyvumą reiktų įvertinti transmisijos ir pagrindinės pavaros nuostolius. Įvairūs komplektacijos priedai taip pat turi didelę reikšmę automobilio efektyvumui ir degalų energijos kiekio pavertimo naudingumu darbu 8.:

$$Efektyvumas = \frac{IšeinantiEnergija}{ĮeinantiEnergija} = \frac{Pb}{degalųegalis \cdot LHV} \quad (8.)$$

10. Pasipriešinimo koeficientas

Pasipriešinimo koeficientas priklauso nuo atstojamojo fluido judėjimo greičio, kūno paviršiaus ploto ir fluido tankio. Savo darbe skaičiavimus atlikau supaprastintam automobilio „Aston Martin DB9“ modeliui. Norėdamas rasti pasipriešinimo koeficientą naudojausi Solidworks Flow Simulation aplinką. Pasipriešinimui apskaičiuoti naudojama 9. formulė.

$$F_D = 0,5 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot C_D \cdot A \quad (9.)$$

Čia F_D – fluido jėga veikianti kūną;

ρ – fluido tankis, šiuo atveju oro normaliomis sąlygomis: $1,225 \text{ kg/m}^3$;

v – fluido atstojamasis greitis. (Kvadratas reikalingas vertinant turbulentinį fluido (oro) tekėjimą);

C_D – pasipriešinimo koeficientas;

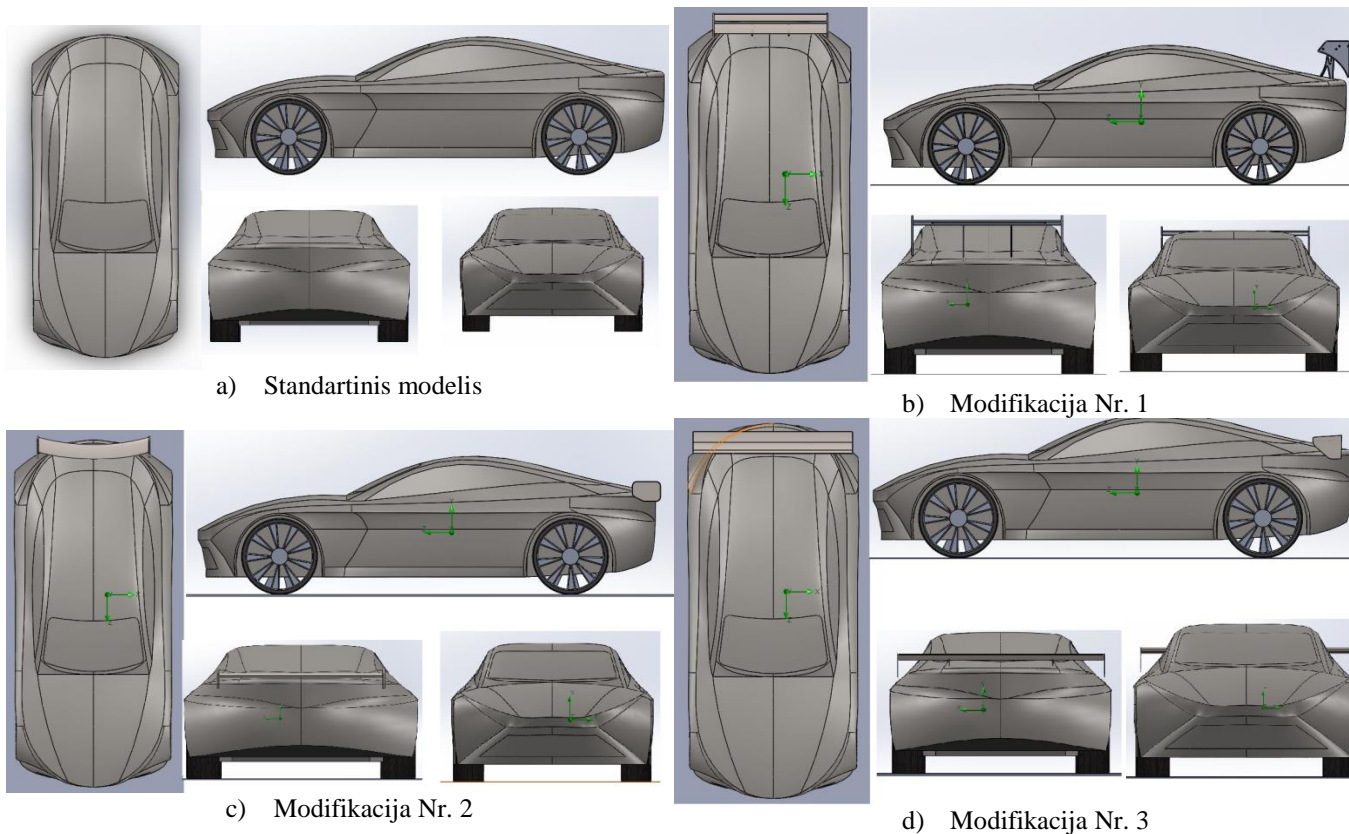
A – paviršiaus plotas (93 % apie automobilio kontūrą apibrėžto stačiakampio ploto).

Išreiškiame pasipriešinimo koeficientą C_D formule 10.

$$C_D = \frac{F_D \cdot 2}{\rho \cdot v^2 \cdot A} \quad (10.)$$

Žinodami pasipriešinimo koeficiento formulę galime atlikti bandymus Solidworks Flow Simulation aplinkoje.

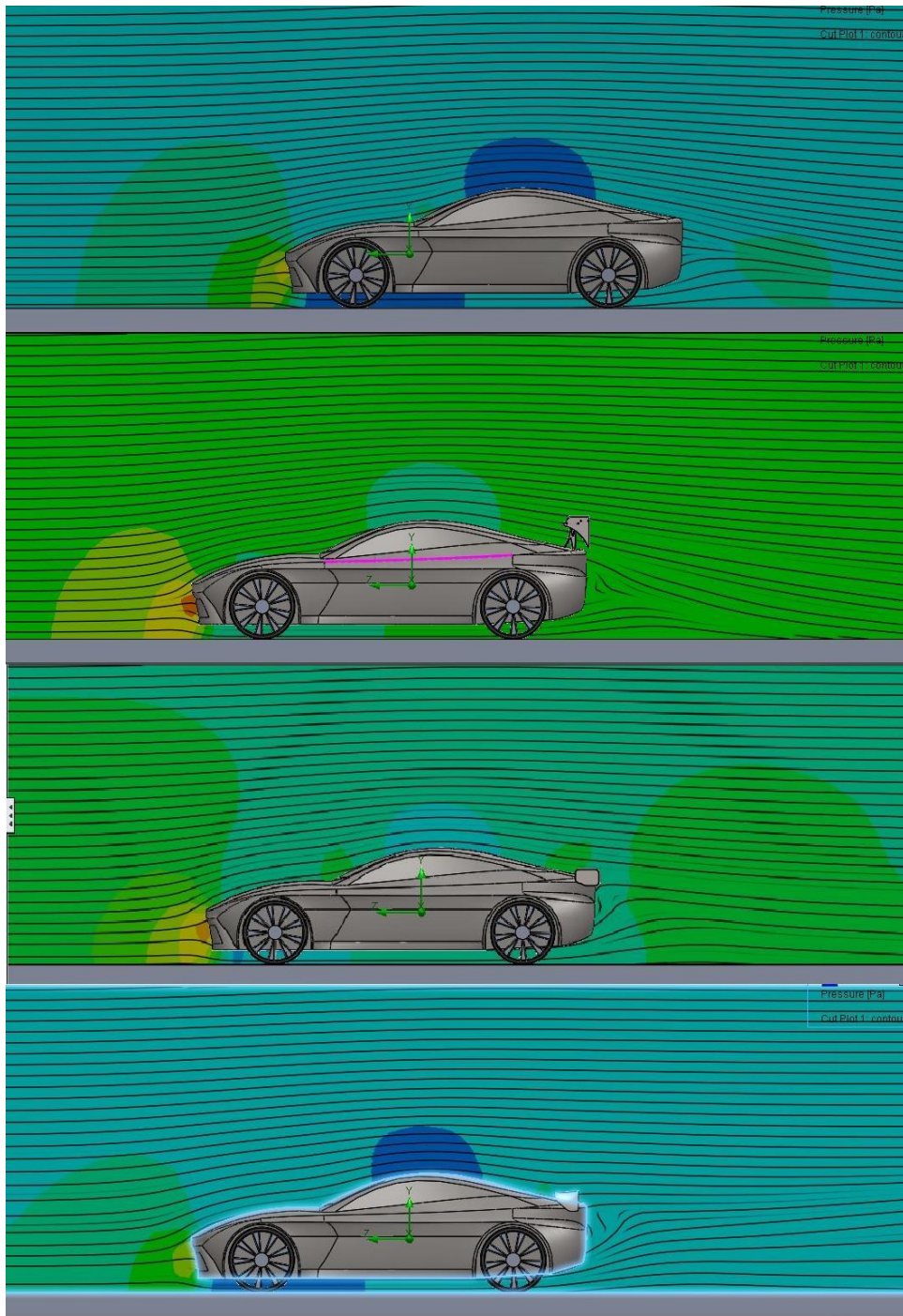
Bandymai atliekami naudojant 4 skirtingas automobilio kėbulo modifikacijas (16 pav.).



16 pav. Automobilio kėbulo modifikacijos

Bandymo metu buvo gautos šios pasipriešinimo jėgos automobilio judėjimo kryptčiai reikšmės. Kiekvienas iš modelių buvo skaičiuojamas keturiais skirtingais oro judėjimo greičiais t.y. 50km/h (13,89m/s), 70km/h (19,4m/s), 100km/h (28m/s) ir 130km/h (36,1 m/s).

Srauto tekėjimo rezultatai gauti naudojantis „Solidworks flow simulation“ programiniu paketu, pateikiami paveiksle (17 pav.)



17 pav. srauto aptekėjimo linijos

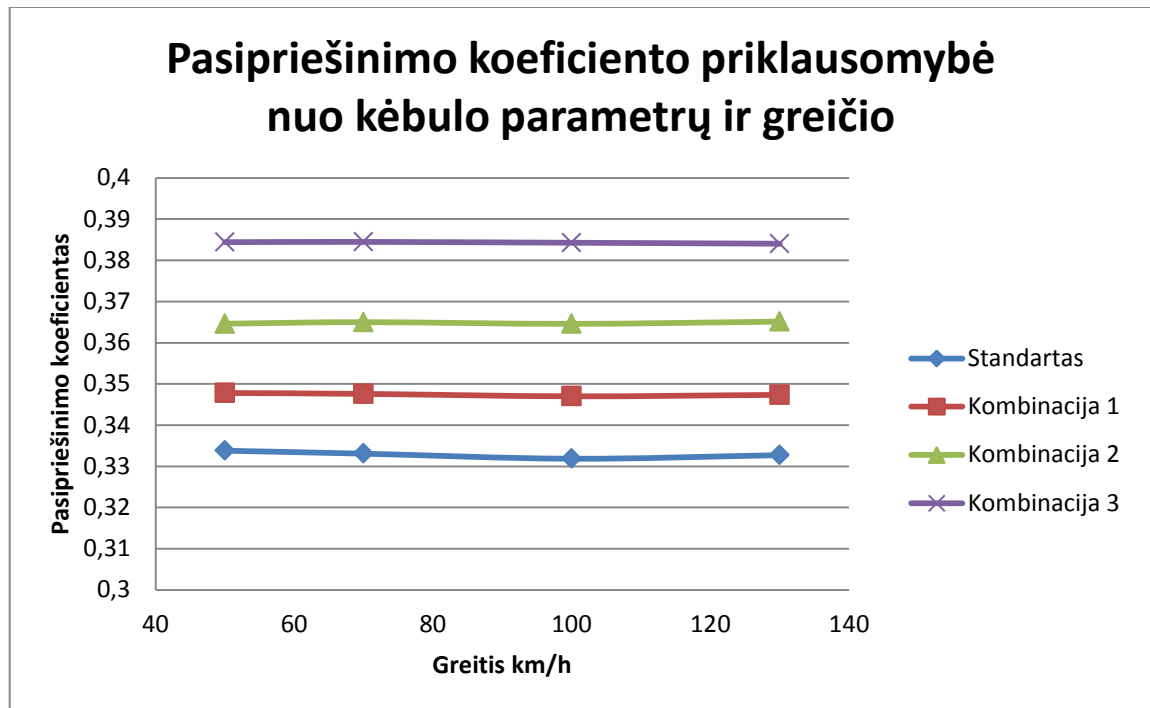
Atlikus bandymus ir atlikus skaičiavimus, kaip ir buvo tikėtasi, pasipriešinimo koeficiento reikšmės kito nežymiai, dėl programoje sudaromo modelio tinklelio nevienodumo (1. lentelė).

1. lentelė

Gautas pasipriešinimo koeficientas

Kombinacija \ V, km/h	50 km/h	70km/h	100km/h	130km/h
Standartinis modelis	0,3337943	0,333085	0,3318494	0,3327167
Kombinacija 1	0,3478058	0,3475928	0,3470058	0,3473531
Kombinacija 2	0,3646213	0,3649977	0,3645916	0,3651249
Kombinacija 3	0,3844071	0,3844815	0,3842742	0,3840434

Duomenys pateikiami grafiškai (18 pav.).



18 pav. pasipriešinimo koeficiento svyravimai priklausantys nuo greičio ir kėbulo modifikacijų

Randame kiekvieno iš šių pasipriešinimo koeficientų vidutinę reikšmę, kurią naudosime tolimesniuose skaičiavimuose (3lentelė).

3. lentelė

Gautos pasipriešinimo koeficientų vertės

Kėbulo modifikacijos	Vidutinė pasipriešinimo koeficiento reikšmė
Standartinė	0,332861
Kombinacija 1	0,347439
Kombinacija 2	0,364834
Kombinacija 3	0,384302

Atlikus priminius skaičiavimus matome, kaip šie, papildomi, aerodinaminiai elementai ženkliai padidina automobilio pasipriešinimo koeficientą.

11. Galios poreikio skaičiavimas

Galios poreikio priklausomybė nuo pasipriešinimo koeficiento yra lygi 11. Formulei:

$$P_D = 0,5 \cdot \rho \cdot v^3 \cdot C_D \cdot A \quad (11.)$$

Čia P_D – galia priklausanti nuo pasipriešinimo koeficiento ir greičio.

Naudodamiesi šia formulę apskaičiuosime kokios galios reikia norint važiuoti tam tikru greičiu su skirtingomis automobilio stilistinėmis aerodinaminėmis konfigūracijomis.

Gauname štai tokius galios poreikio rezultatus (4 lentelė):

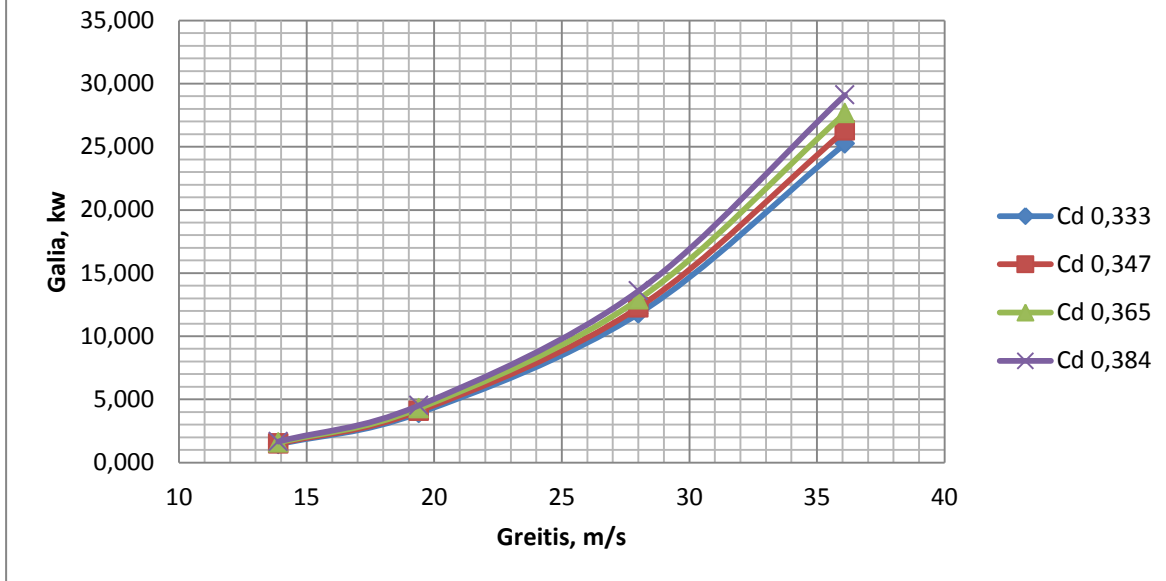
1. lentelė

Galios poreikio judėjimui lentelė (kw)

$v, \text{ m/s}$ \ C_D	0,333	0,347	0,365	0,384
13,89	1,438	1,498	1,576	1,658
19,4	3,917	4,081	4,293	4,516
28	11,776	12,271	12,907	13,579
36,1	25,236	26,297	27,662	29,101

Rezultatai pateikiami grafiškai (19 pav.).

Galios priklausomybė nuo pasipriešinimo koeficiento ir greičio



19 pav. galios pasiskirstymo grafikas

Norint įvertinti ralio automobilio galios poreikius turime naudotis formule 1.. Tam mums bus reikalingi šie automobilio ir kelio parametrai (5 lentelė):

5. lentelė

Reikalingi duomenys apskaičiuoti reikalingai galiai

Automobilio greitis, v (m/s)	13,89; 19,4; 28; 36,1
Automobilio akceleracija, a (m/s ²)	0 (tirsime pastoviu greičiu važiuojančio automobili parametrus)
Besisukančios masės faktorius, ϵ	~ 0,1
Laisvo kritimo pagreitis, g (m/s ²)	9,8
Kelio būklė, K_b	1
Oro tankis, ρ (kg/m ³)	1,225
Aerodinaminis pasipriešinimo koeficientas, C_D	0,317; 0,357; 0,355; 0,381
Automobilio priekinis plotas, A_f (m ²)	2,63
Automobilio masė, m (t)	1,785
Riedėjimo pasipriešinimas, C_r	~0,0009

Gauname šiuos patikslintus rezultatus (6 lentelė):

6. lentelė

Perskaičiuotos galios rezultatų lentelė

$V, m/s \backslash C_D$	0,333	0,347	0,365	0,384
13,89	1,681	1,741	1,819	1,901
19,4	4,256	4,421	4,633	4,856

28	12,266	12,761	13,397	14,069
36,1	25,868	26,929	28,294	29,734

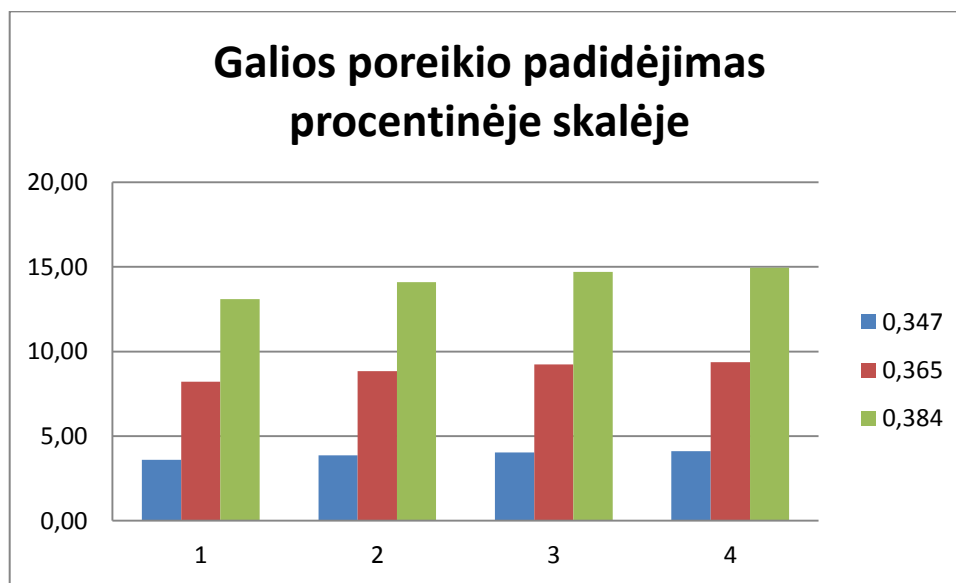
Siekiant išsiaiškinti, koks yra galios poreikio padidėjimas priklausomai nuo aerodinaminių modifikacijų išreiškiame šiuos dydžius procentais (7 lentelė):

7. lentelė

Galios poreikio padidėjimas procentais

V, m/s \ C _D	0,347	0,365	0,384
13,89	3,60	8,22	13,10
19,4	3,87	8,84	14,09
28	4,04	9,23	14,70
36,1	4,10	9,37	14,94

Duomenys pateikti grafiškai (20 pav.).



20 pav. galios poreikio išaugimas procentais

Svarbu paminėti tai, kad matavimai yra atliekami idealiomis sąlygomis. T.y. nevertinama vėjo įtaka, automobilio inercija bėgėjantis, kelio būklė.

12. Degalų suvartojimas

Degalų suvartojimas automobiliui važiuojant tam tikrą laiko tarpą T paprastai apibūdinamas kaip santykis 12 :

$$B = \frac{\int_0^T \dot{b} dt}{\int_0^T V dt} \quad (12.)$$

Čia \dot{b} yra kuro kiekio norma per laiko tam tikrą laiko tarpą.

Kuro kiekis paprastai matuojamas L/100km.

Nagrinėdami atvejį kai variklis išvysto traukos galią $F_T > 0$, reikalingas šios jėgos kiekis skaičiuojamas pagal formulę 13.:

$$P_T = F_T V \quad (13.)$$

Traukos jėga prilyginama variklio galiai 15. :

$$P_T = P_{b,T} \eta_D \quad (15.)$$

Čia η_D yra važiuoklės naudingumo koeficientas.

Tokiu atveju kuro kiekį išreiškiame taip 16.:

$$\dot{b} = \frac{b_e}{\rho_{kuro} \eta_D} P_T = \frac{b_e}{\rho_{kuro} \eta_D} F_T V \quad (16.)$$

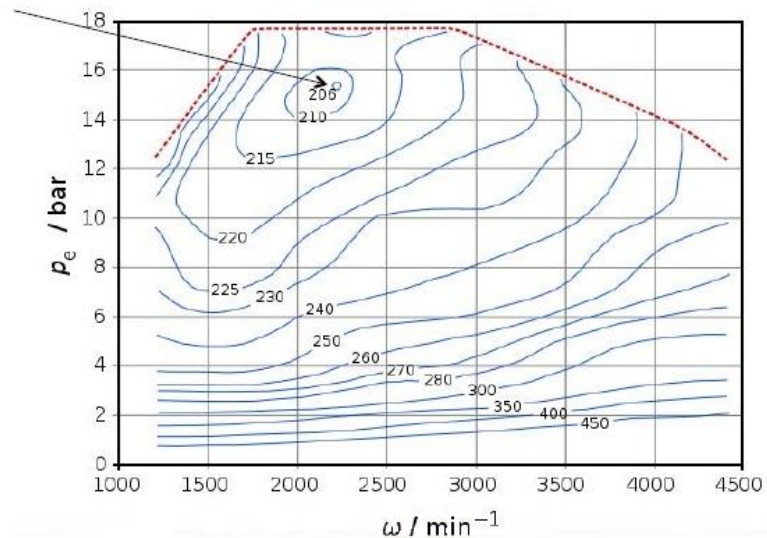
Čia b_e yra specifinis kuro suvartojimas.

12.1. Specifinis kuro suvartojimas

Specifinis kuro suvartojimas yra aprašomas taip 17.:

$$b_e = \frac{\dot{m}_{kuro}}{P_{b,T}} = \rho_{kuro} \frac{\dot{b}}{P_{b,T}} \quad (17.)$$

Specifinis kuro suvartojimas nėra pastovus, jis priklauso nuo variklio apsisukimų skaičiaus. Tačiau minimalus specifinis kuro suvartojimas daugeliui variklių svyruoja nuo 200 iki 300 g/Kwh (21.pav.).



21 pav. Specifinis kuro suvartojimas priklausantis nuo variklio apsisukimų

12.2. Kuro suvartojimas važiuojant su apkrova

Kuro suvartojimas važiuojant su apkrova išreiškiamas formule 18.:

$$B = \frac{1 \int_0^T \frac{b_e}{\eta_D} F_T V dt}{\rho_{kuro} \int_0^T V dt} \quad (18.)$$

Važiuojant pastoviu greičiu ant lygaus kelio ir nevertinant automobilio masės pasikeitimo dėl kuro sumažėjimo, gauname tokią išraišką 19.:

$$B = \frac{b_e}{\rho_{kuro} \eta_D} F_T \quad \text{arba} \quad B = \frac{b_e}{\rho_{kuro} \eta_D} \left(\frac{1}{2} \rho V^2 C_D S + (a_2 V^2 + a_1 V + a_0) mg \right) \quad (19.)$$

12.3. Skaičiavimo pavyzdys

Priimame, kad ši formulė yra taikoma prabangiam automobiliui, kurio $S=2\text{m}^2$, $m=1500\text{kg}$ ir $V=150\text{km/h}$ ($f_R=0,018$). Sustatome reikšmes į formulę ir gauname tokią išraišką 20.:

$$B = \frac{b_e mg}{\rho_{kuro} \eta_D} (0,94 C_D + 0,018) \quad (20.)$$

Supaprastiname gautą išraišką įvertinę, kad $0,94 C_D \gg 0,018$ ir $0,94 \approx 1$ 21.:

$$B = \frac{b_e mg}{\rho_{kuro} \eta_D} C_D \quad (21.)$$

12.4. Pasipriešinimo koeficiento įtaka degalų sąnaudoms

Šis paprastas pavyzdys įrodo, kad visi faktoriai turintys įtaką kuro suvartojimui išlieka nepakitę, todėl pasipriešinimo koeficientas yra tiesiogiai proporcingas degalų suvartojimui. Todėl sumažinus pasipriešinimo koeficientą 10% kuro sąnaudos taip pat sumažėtų apie 10%. Siekiant apskaičiuoti tikslesnį degalų suvartojimo pasikeitimą naudojame šias formules 22.:

$$\frac{\Delta B}{B} = 0,40 \frac{\Delta C_D}{C_{D0}} \text{ benzininiam automobiliui}$$

$$\frac{\Delta B}{B} = 0,50 \frac{\Delta C_D}{C_{D0}} \text{ dyzeliniam automobiliui} \quad (22.)$$

Išvedame formule norėdami surasti degalų suvartojimo pokytį l/100km 23.:

$$\Delta B = B \cdot 0,40 \frac{\Delta C_D}{C_{D0}} \text{ benzininiam automobiliui}$$

$$\Delta B = B \cdot 0,50 \frac{\Delta C_D}{C_{D0}} \text{ dyzeliniam automobiliui} \quad (23.)$$

13. Tiriamojo modelio degalų sąnaudų skaičiavimas

Tarkime mūsų tiriamas automobilis standartiškai 100km suvartoja 8l degalų. Tokiu atveju įvertiname, koks bus degalų pokytis. Kadangi automobilio pasipriešinimo koeficientas padidėjo visais atvejais degalų sąnaudos taip pat bus padidėjusios. Sudarome lentelės degalų sąnaudų prieaugiui (8.1.lentelė, 8.2. lentelė):

8.1.lentelė

Papildomai suvartotas benzinas

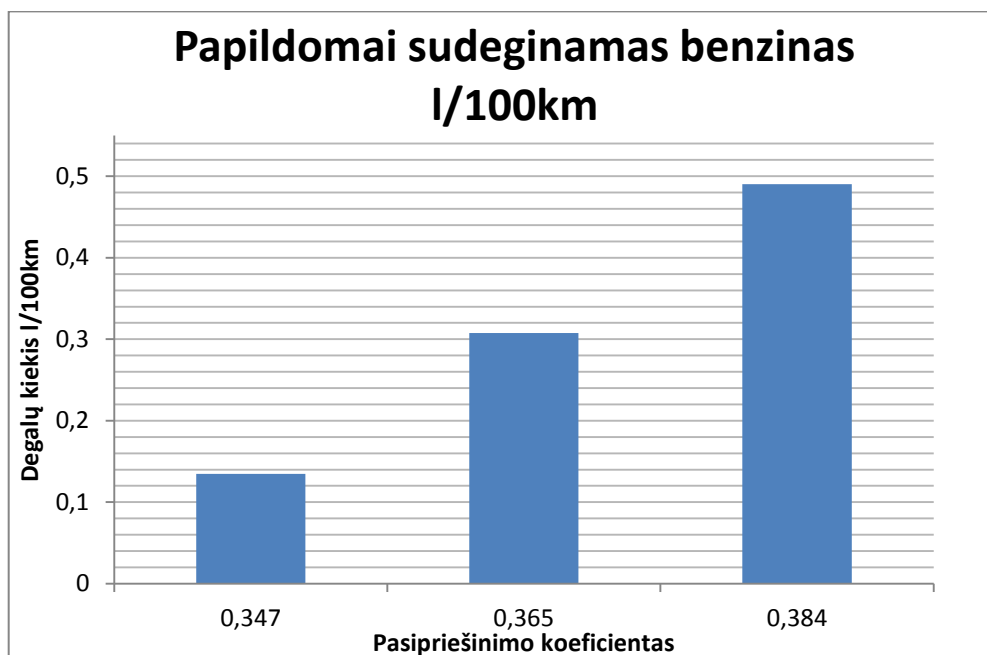
C_D	+ l/100km
0,347	0,135
0,365	0,308
0,384	0,490

8.2.lentelė

Papildomai suvartotas dyzelinas

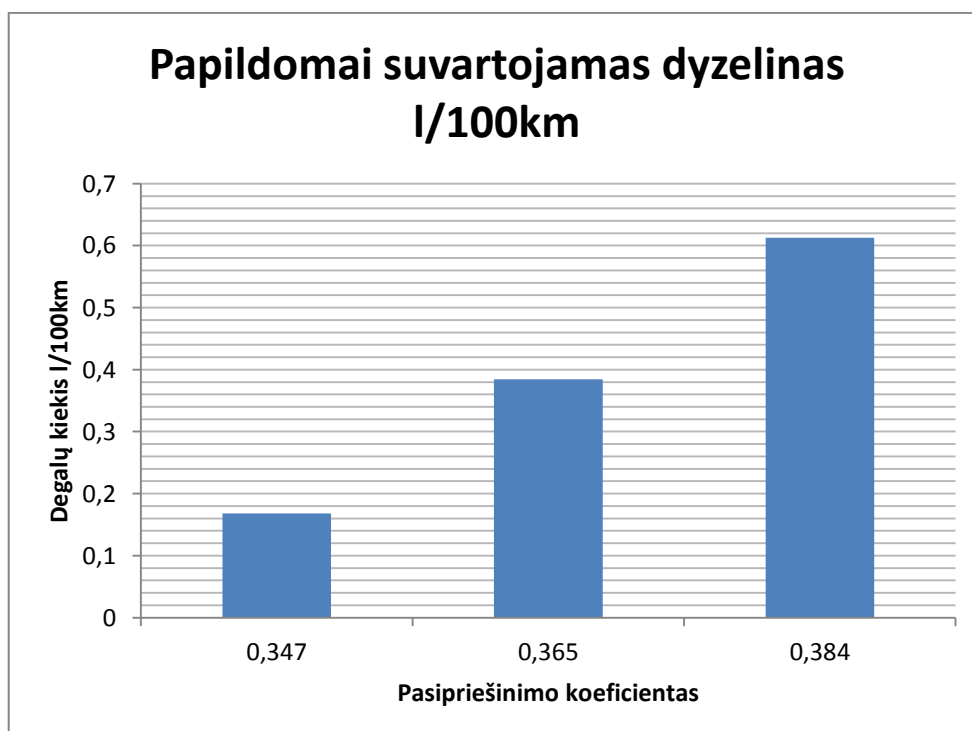
C_D	+ l/100km
0,347	0,168
0,365	0,384
0,384	0,613

Lentelėse pateiktuose duomenyse matyti, kaip aerodinaminių elementų paveiktas pasipriešinimo koeficiento padidėjimas neigiamai veikia automobilio kuro sąnaudas l/100km. Šie duomenys pavaizduoti šiuose grafikuose (22 pav., 23 pav.).



22 pav. Papildomai suvartoto benzino kiekis l/100km priklausomai nuo padidėjusio pasipriešinimo koeficiento

Benzininių automobilio degalų sąnaudos su šiais aerodinaminiais elementais pakinta nuo 0,135l/100km iki 0,49 l/100km



23 pav. Dyzelinio automobilio papildomos degalų sąnaudos l/100km priklausomai nuo pasipriešinimo koeficiento

Dyzelino suvartojimas naudojant šiuos ne gamyklinius aerodinaminius elementus pakyla nuo 0,168 l/100km iki 0,613 l/100km.

Suskaičiuojame kiek vairuotojas suvartotų degalų per metus arba 15000km eksploatuodamas automobilį su jam nepritaikytais aerodinaminiais pakitimais. Gautus rezultatus surašome į lenteles (9.1. lentelė, 9.2. lentelė)

9.1. lentelė

Per metus papildomai suvartoto benzino kiekis

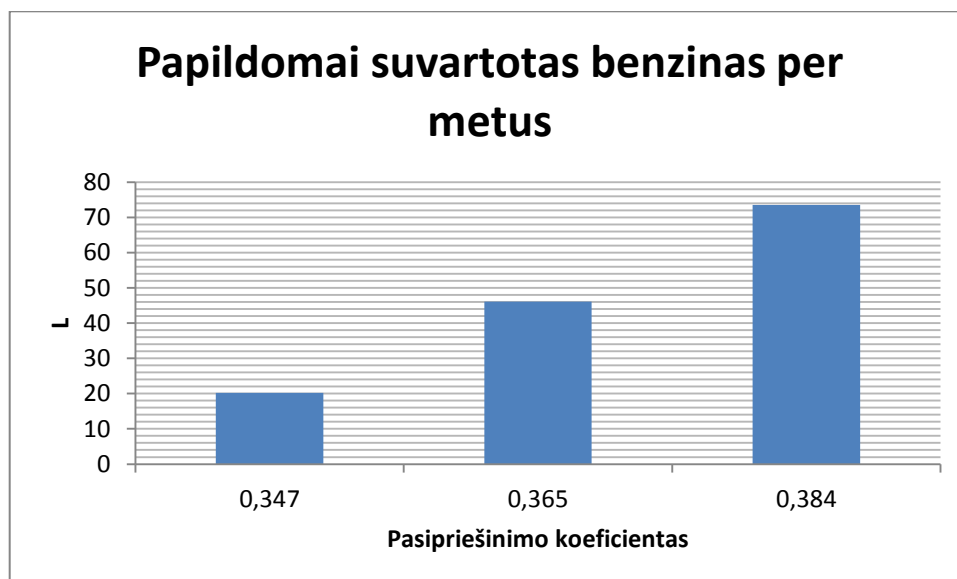
C_D	L
0,347	20,18
0,365	46,13
0,384	73,51

9.2. lentelė

Per metus papildomai suvartoto dyzelino kiekis

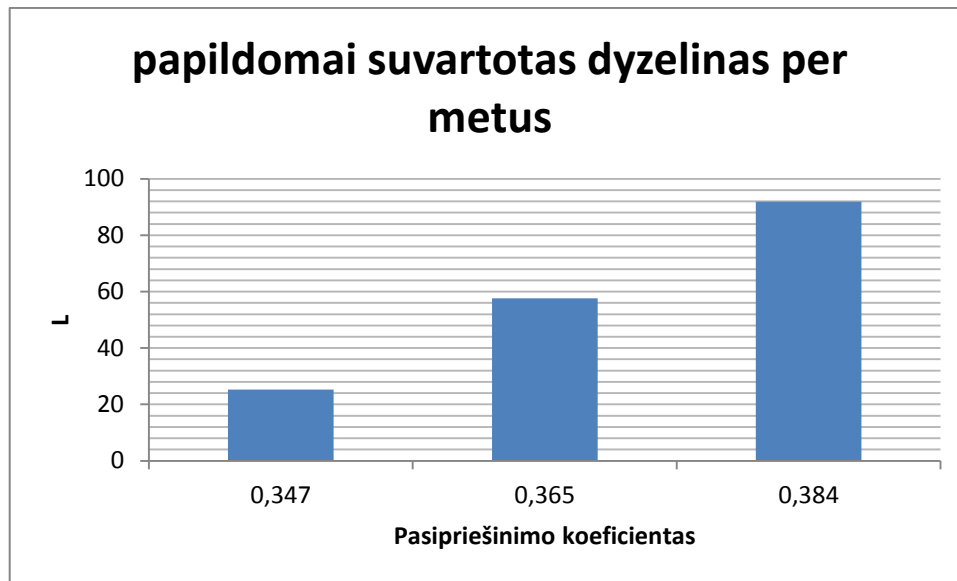
C_D	L
0,347	25
0,365	57,66
0,384	91,89

Gautus rezultatus pateikiame grafikuose (24 pav., 25 pav.).



24 pav. Benzinas suvartotas papildomai naudojant nepritaikytus aerodinaminius elementus

Benzino suvartojimas per metus naudojant spoilerį, kuris padidina aerodinamini pasipriešinimo koeficientą iki 0,384 siekia 75,51 L.



25 pav. Per metus papildomai suvartoto dyzelino kiekis

Dyzelino suvartojimas automobiliui su „didžiausią įtaką turinčiu, spoileriu per metus papildomai išauga iki 91,89 l.

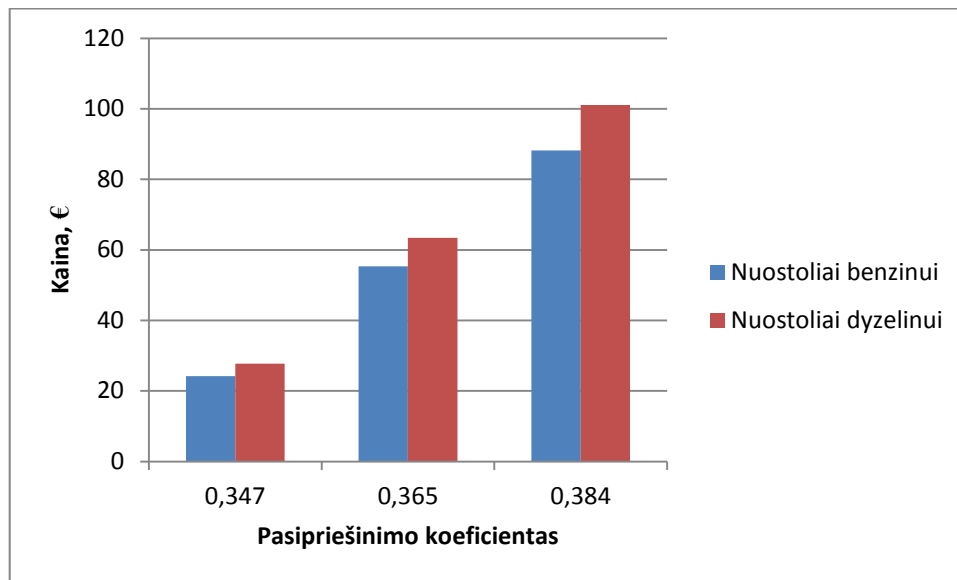
13.1. Ekonominiai nuostoliai patiriami naudojant netinkamus aerodinaminius elementus

Naudojant nepritaikytus aerodinaminius elementus, kurie iššaukia neigiamą pasipriešinimo koeficiento padidėjimą, atsiranda ekonominiai nuostoliai. Vairuotojas per vienerius automobilio eksploatavimo metus papildomai gali prarasti didelę sumą pinigų (10. lentelė)

10. lentelė
Benzininio ir dyzelinio automobilių su aerodinaminiais pakeitimais ekonominių nuostolių lentelė vieneriems metams

C_D	0,347	0,365	0,384
Nuostoliai degalams	0,347	0,365	0,384
Nuostoliai su benzininiu automobiliu, €	24,22	55,35	88,22
Nuostoliai su dyzeliniu automobiliu, €	27,77	63,42	101,08

Gauti rezultatai pateikiami grafike (26 pav.)



26 pav. Benzininio ir dyzelinio automobilio ekonominiai nuostoliai

Vairuotojas naudodamas 3 nagrinėjamo tipo spoilerį, kuris pasipriešinimo koeficientą padidina iki 1,15 karto, per metus gali atitinkamai prarasti nuo 88,22 € (benzininiu automobiliu) iki 101,08 € (dyzeliniu automobiliu).

Išvados

1. Išnagrinėta automobilių aerodinaminių bandymų specifika;
2. Sumodeliuotas bazinis automobilio modelis
3. „Solidworks Flow Simulation“ programiniu paketu nustatytas bazinio modelio pasipriešinimo koeficientas $C_D = 0,333$.
4. „Solidworks Flow Simulation“ programiniu paketu patikrinta ir nustatyta automobilio su skirtingais spoileriais pasipriešinimo koeficientai: $C_{D1} = 0,347$, $C_{D2} = 0,365$, $C_{D3} = 0,384$
5. Apskaičiuoti įvairiais greičiais važiuojančio bazinio modelio energijos poreikiai, kuris kinta nuo 3,6 iki 14,96 %
6. Įvertintas suvartojamų degalų padidėjimas, kuris 0,135l/100km iki 0,49 l/100km benzininiam automobiliui ir nuo 0,168 l/100km iki 0,613 l/100km dyzeliniam automobiliui.
7. Įvertinti metiniai ekonominiai nuostoliai, kurie siekia iki 88,22 € per metus su benzininiu automobiliu ir 101,08€ dyzeliniam automobiliui.

Literatūros sąrašas

1. Jewel B. Brlow, William H. Rae, Jr. Alan Pope. Low- Speed wind tunnel testing. Third edition. John Wiley and Sons, INC. 1999. 713p.
2. V. Sladek and J.Sladek, Elimination Of the Boundary layer effect in BEM computation of stresses. 1991.
3. Michael Risch0 Janson. Gas Mileage Dependence on Area and Drag Coefficient. 2007m.
4. Educational Wind Tunnel (EWT) operations Manual. 2013m.69p.
5. Rudolph W. Hensel. Rectangular-Wind-Tunnel Blocking corrections using the velocity – ratio method. National Advisory Committee For Aeronautics 1951m. 43p.
6. Edward K. Nam, Robert Giannelli. Fuel onsumption Modeling of Conventional and Advanced Technology Vehicles in the Physical Emission Rate EsTimator (PERE). Draft. United States Environmental Protection Agency, EPA. 2005. 124p.
7. Tamas Lajos. Basics of vehicle aerodynamics. University of Rome „La Sapienza“ 2002.
8. A. Irimescu, L. MiHon, G. Padure. Automotive transmissions efficiency measurement using a chassis dynamometer. International Journal of Automotivie Technology. 2011, 5p.
9. G. Dimitriadis , Vehicle Aerodynamics , Performance and stability
10. Sportinio automobilio aerodinaminis optimizavimas, priklausantis nuo sportinės klasės taisyklių. [Žiūrėta 2015 03 15] Prieiga per internetą:
<http://www.gmecca.com/byorc/dtipsaerodynamics.html>
11. Patys aerodinamiškiausi šiuo metu gaminami automobiliai. [Žiūrėta 2015 05 10]. Prieiga per internetą. <http://motorburn.com/2014/01/12-of-the-most-aerodynamic-cars-in-production-right-now/>
12. Pasipriešinimo koeficiento skaičiavimai [žiūrėta 2015-03-16]. Prieiga per internetą <http://www.theoil drum.com/node/5912>
13. Kuro sąnaudos priklausančios nuo pasipriešinimo koeficiento. [žiūrėta 2015-03-16]. Prieiga per internetą. <http://ecomodder.com/forum/tool-aero-rolling-resistance.php>
14. Vidaus degimo variklio efektingumas [žiūrėta 2015-04-20]. Prieiga per internetą. http://en.wikipedia.org/wiki/Internal_combustion_engine#Energy_efficiency
15. Degalų efektingumas. [žiūrėta 2015-04-20]. Prieiga per internetą. http://en.wikipedia.org/wiki/Gasoline_gallon_equivalent
16. Formulės reikalingos apskaičiuoti kuro suvartojimą. [žiūrėta 2015-04-21]. Prieiga per internetą. <http://www.posterus.sk/?p=14506>
17. Degalų sąnaudos ir emisijos Aston Martin DB9. [žiūrėta 2015-05-21]. Prieiga per internetą. http://cararac.com/fuel_consumption/aston-martin/db9.html

18. Degalų kainos Lietuvoje [žiūrėta 2015-05-22]. Prieiga per internetą.
<http://www.degalukainos.lt/>
19. Dagalų charakteristikos [žiūrėta 2015-05-22]. Prieiga per internetą.
20. Aerodinaminio pasipriešinimo mažinimas siekiant gauti geresnius ekonominius kuro suvartojimo rodiklius. [žiūrėta 2015-05-22]. Prieiga per internetą.
<https://illuminate.usc.edu/252/drag-reduction-the-pursuit-of-better-fuel-economy/>
21. Atvirų ratų tipo modelis [žiūrėta 2015-04-21]. Prieiga per internetą <http://formula-one-racing-guide.blogspot.com/2008/08/f1-wind-tunnel-chief.html>
22. Lemano/ GT tipo automobilio vėjo tunelio bandymas [žiūrėta 2015-04-21]. Prieiga per internetą
http://i.ytimg.com/vi/4wEmoR_iJh8/hqdefault.jpg
23. Gamyklinio automobilio ruošiamo lenktynėms bandymai vėjo tunelyje [žiūrėta 2015-04-21]. Prieiga per internetą <http://www.touringcartimes.com/2012/04/30/pics-and-video-wind-tunnel-testing-for-tta-cars/>
24. Vėjo tunelis su įmontuotais besisukančiais volais [žiūrėta 2015-05-01]. Prieiga per internetą
<http://www.seriouswheels.com/2011/klm/2011-Mercedes-Benz-SLS-AMG-Roadster-Development-Climate-and-Wind-Tunnel-1920x1440.htm>