



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

**Modestas Valtys**

**AKTYVAUS ANTISPARNO KŪRIMAS IR TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**  
Prof. Egidijus Dragašius

**KAUNAS, 2016**

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

TVIRTINU

Katedros vedėjas  
(parašas) Doc. dr. Kazimieras Juzėnas  
(data)

**AKTYVAUS ANTISPARNO KŪRIMAS IR TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas  
Mechatronikos studijų programa (kodas 612H73001)

**Vadovas**

(parašas) Prof. Egidijus Dragašius  
(data)

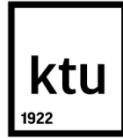
**Recenzentas**

(parašas) Doc. dr. Jurga Ilgakojoytė Bazarienė  
(data)

**Projektą atliko**

(parašas) Modestas Valtys  
(data)

**KAUNAS, 2016**



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

(Fakultetas)

Modestas Valtys

(Studento vardas, pavardė)

Mechatronika (kodas 621H73001)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Aktyvaus antisparno kūrimas ir tyrimas“  
**AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA**

20 \_\_\_\_ m. \_\_\_\_\_ d.

Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Modesto Valčio** baigiamasis projektas tema „Aktyvaus antisparno kūrimas ir tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o 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)

Valtys, Modestas. Aktyvaus antisparno kūrimas ir tyrimas. *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas prof. Egidijus Dragašius; Kauno technologijos universitetas, mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis: Gamybos inžinerija, Technologijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: Antisparnas, pasipriešinimas, prispaudimas, automobilių sportas

Kaunas, 2016. 49 p.

## **SANTRAUKA**

Šio darbo tikslas yra Suprojektuoti aktyvų antisparną, iširti jo aerodinamines savybes ir palyginti jas su fiksuotos padėties antisparnu. Darbas bus atliekamas išsiaiškinus minimalius reikalavimus tokio pobūdžio įrenginiui.

- Pirmame skyriuje apžvelgiami analogiški įrenginiai. Įvertinamas jų veikimo principas, kaina.
- Antrame skyriuje suprojektuojami mechaninė ir elektroninė dalis, pateikiami sistemos stipruminiai skaičiavimai
- Trečiame skyriuje pateikiami aktyvaus antisparno tyrimų rezultatai, bei palyginami su fiksuotos padėties antisparnu
- Projekto pabaigoje pateikiamos išvados ir literatūros sąrašas

Valtys, Modestas. *Research and development of active antiwing*: Master's thesis in mechatronics / supervisor assoc. prof. Egidijus Dragašius. The Faculty of mechanical engineering and design., Kaunas University of Technology.

Study area and field: Production and Manufacturing Engineering, Technological Sciences

Key words: Antiwing, drag, downforce, motoring

Kaunas, 2016. 49 p.

## **SUMMARY**

The aim of this project is to design active antiwing, make a research and compare active antiwing to stationary antiwing. This is done by analyzing minimal requirements for that kind of machine.

- The first chapter provides an overview of similar devices. Analyse operating principle, evaluate of its costs
- The second chapter is about mechanical and electrical parts developing, mechanical load calculation
- The third chapter provides research results of active antiwing which are compared to static antiwing
- At the end of the project the conclusions and references are presented

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

**Tvirtinu:**

Gamybos inžinerijos  
katedros vedėjas

\_\_\_\_\_  
(parašas, data)

Kazimieras Juzėnas

\_\_\_\_\_  
(vardas, pavardė)

**MAGISTRANTŪROS STUDIJŲ BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS  
Studijų programa MECHATRONIKA**

Magistrantūros studijų, kurias baigus įgyjamas magistro kvalifikacinis laipsnis, baigiamasis projektas yra mokslinio tiriamojo ar taikomojo pobūdžio darbas, kuriam atlikti ir apginti skiriama 30 kreditų. Šiuo projektu studentas turi parodyti, kad yra pagilinęs ir papildęs pagrindinėse studijose įgytas žinias, yra įgijęs pakankamai gebėjimų formuluoti ir spręsti aktualią problemą, turėdamas ribotą ir (arba) prieštaringą informaciją, savarankiškai atlikti mokslinius ar taikomuosius tyrimus ir tinkamai interpretuoti duomenis. Baigiamuoju projektu bei jo gynimu studentas turi parodyti savo kūrybingumą, gebėjimą taikyti fundamentines mokslo žinias, socialinės bei komercinės aplinkos, teisės aktų ir finansinių galimybių išmanymą, informacijos šaltinių paieškos ir kvalifikuotos jų analizės įgūdžius, skaičiuojamųjų metodų ir specializuotos programinės įrangos bei bendrosios paskirties informacinių technologijų naudojimo įgūdžius, taisyklingos kalbos vartosenos įgūdžius, gebėjimą tinkamai formuluoti išvadas.

1. Projekto tema Aktyvaus antisparno kūrimas ir tyrimas

Patvirtinta 2016 m. gegužės mėn. 3 d. dekanų įsakymu Nr. V25-11-7

2. Projekto tikslas Suprojektuoti aktyvų antisparną. Ištirti aktyvaus antisparno aerodinamines savybes ir palyginti su statinio antisparno aerodinaminėmis savybėmis.

3. Projekto struktūra Įvadas,

Aktyvių antisparnų apžvalga,

Projektinė dalis,

Tiriamoji dalis,

Ekonominiai paskaičiavimai,

Išvados

Literatūros sąrašas.

4. Reikalavimai ir sąlygos Įrenginio atsparumas aplinkos veiksniams.

Automatinis atakos kampo keitimas, priklausomai nuo važiavimo sąlygų.

5. Projekto pateikimo terminas 20\_\_ m. \_\_\_\_\_ mėn. \_ d.

6. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo projekto dalis

Išduota studentui Modestu Valčiui

Užduotį gavau Modestas Valtys

(studento vardas, pavardė)

\_\_\_\_\_  
(parašas, data)

Vadovas prof. Egidijus Dragašius

(pareigos, vardas, pavardė)

\_\_\_\_\_  
(parašas, data)

# TURINYS

ĮVADAS .....	8
1. AKTYVIŲ ANTISPARNŲ APŽVALGA .....	10
1.1. Pavyzdžiai serijiniuose automobiliuose: .....	10
1.2. Pavyzdys – nestandartinės įrangos gamintojų aktyvus antisparnas.....	11
1.3. Patentų pavyzdžiai.....	13
2. PROJEKTINĖ DALIS.....	15
2.1. Mechaninės dalies projektavimas .....	15
2.2. Valdymo sistemos projektavimas .....	20
2.2.1. Valdymo sistemos komponentai.....	22
2.2.2. Valdymo programos algoritmas .....	26
3. TIRIAMOJI DALIS .....	28
3.1. Geriausios antisparno pritvirtinimo padėties automobilio atžvilgiu paieška.....	30
3.2. Geriausių atakos kampų nustatymas skirtingoms važiavimo sąlygoms.....	34
3.3. Oro pasipriešinimo koeficiento priklausomybė nuo oro srauto greičio .....	37
3.4. Antisparno tyrimai Kačerginės „Nemuno žiedo“ trasoje .....	41
4. EKONOMINIAI SKAIČIAVIMAI.....	44
4.1. Rinkos poreikių analizė .....	44
4.2. Gaminio savikainos paskaičiavimas .....	45
IŠVADOS.....	47
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	48

## IVADAS

Aktyvus antisparnas – tai įrenginys skirtas sukurti papildomą prispaudžiamąją jėgą, priklausomai nuo važiavimo sąlygų (greičio, važiavimo krypties, akceleracijos ar stabdymo) nestandartiniams sportiniams automobiliams bei, kai kuriais atvejais, serijinės gamybos didelio galingumo automobiliams.

Aktyvūs antisparnai yra plačiai paplitę galinguose serijinės gamybos automobiliuose – Bugatti Veyron, Pagani Zonda, Koenigsegg Agera R ir t.t. Taipogi dalinai ši sistema naudojama ir formulės-1 lenktyniniuose boliduose (DRS sistema) bei Nascar serijos automobiliuose.

Projektuojant aktyvų antisparną būtina atsižvelgti į šiuos klausimus:

- Antisparno matmenys
- Reikalinga prispaudžiamoji jėga
- Kuo geresnis prispaudimo – oro pasipriešinimo santykis
- Adaptyvumas (galimybė lengvai pritaikyti bet kokiam lengvajam automobiliui)
- Veikiančios išorinės jėgos

Pagal šiuos kriterijus nustatomi įrenginio gabaritai, įvertinamos veikiančios jėgos, parenkama valdymo sistema, atliekami efektyvumo tyrimai ir, jeigu reikia, ieškomas geresnis (efektyvesnis) variantas.

Pagrindinės aktyvaus antisparno dalys:

- *Mechaninė*. Tai visa laikančioji konstrukcija, antisparnas, linijinės pavaros.
- *Elektroninė*. Tai valdymo dalis, skirta išmatuoti (atakos kampą, G jėgas, važiavimo greitį ir t.t.) ir reguliuoti antisparno padėtį, priklausomai nuo greičio ir kitų dinaminių faktorių, apdoroti gaunamus duomenis.



### **Tiriamąo darbo tikslas:**

Suprojektuoti aktyvų antisparną, iširti jo aerodinamines savybes ir palyginti jas su fiksuotos padėties antisparnu.

### **Darbo uždaviniai:**

1. Suprojektuoti aerodinamišką aktyviają antisparno dalį bei laikiklį šiam įrenginiui.
2. Atlikti stipruminius aktyviosios antisparno dalies ir jos įtvirtinimo skaičiavimus.
3. Parinkti greitai veikiančią elektromechaninę pavarą antisparno atakos kampo reguliavimui.
4. Suprojektuoti valdymo sistemą ir sudaryti valdymo algoritmą.
5. Nustatyti geriausią aktyvaus antisparno tvirtinimo vietą „Audi S2 avant“ automobiliui.
6. Rasti atakos kampus skirtingoms važiavimo sąlygoms.
7. Palyginti CAD modelio ir 24 kartus sumažinto modelio oro pasipriešinimo koeficientus.
8. Atlikti tyrimus Kačerginės „Nemuno žiedo“ trasoje.
9. Atlikti ekonominius skaičiavimus.

### **Baigiamajame darbe panaudota programinė įranga:**

1. „Microsoft Office 2016“
2. „SolidWorks 2016“
3. „AutoCAD 2012“
4. „TrackAddict“
5. „The Aerolab Educational Wind Tunnel“

# 1. AKTYVIŲ ANTISPARNŲ APŽVALGA

Automobiliuose aerodinaminiai elementai yra naudojami ne tik sukurti papildomą prispaudžiamąją jėgą automobilio galinei ašiai posūkiuose, bet ir sumažinti tą jėgą važiuojant dideliu greičiu tiesiojoje (sumažėja kuro sąnaudos, padangų dilimas, amortizacija ir t.t.). Kuriant automobilio aerodinamiką (konkrečiai antisparną) visada siekiama subalansuoti pasipriešinimo jėgą bei užtikrinti pakankamą prispaudžiamąją jėgą posūkiuose, esant dideliam greičiui. Šiuos tikslus pasiekti su fiksuoto atakos kampo antisparnais yra labai sunku ir beveik neįmanoma, tačiau prie paprastos mechaninės sistemos pridėjus valdymo bei matavimo įrenginius galima sukurti aktyvų aerodinaminį elementą. Šis antisparnas geba reaguoti į automobilio greitį, pagreitį (stabdant bei bėgėjantis), automobilio važiavimo trajektoriją bei kitus parametrus. Kadangi tai yra aktyvi sistema, ji realiu laiku gali pakeisti atakos kampą ir taip užtikrinti reikalingus dinامينius parametrus.

## 1.1. Pavyzdžiai serijiniuose automobiliuose:

„Lexus RC F“ – šiame automobilyje standartiškai įdiegtas aktyvus galinis antisparnas, kuris buvo suprojektuotas ir pagamintas naudojantis dešimties metų „Lexus“ automobilių tyrimų rezultatais. Šiame modelyje antisparnas „išlenda“ (atakos kampas  $\sim 20^\circ$ ) nuo 50 mylių per valandą greičio (apie 80 km/h), o įlenda atgal esant 25 mylių per valandą greičiui (apie 40 km/h). Toks didelis tarpas tarp pasikėlimo ir nusileidimo greičių yra parinktas dėl to, jog būtų išvengta pakartotinio pasikėlimo ir nusileidimo, kai mašinos greitis svyruoja apie 80 km/h.



1.1 pav. „Lexus RC F“ aktyvus antisparnas [1]

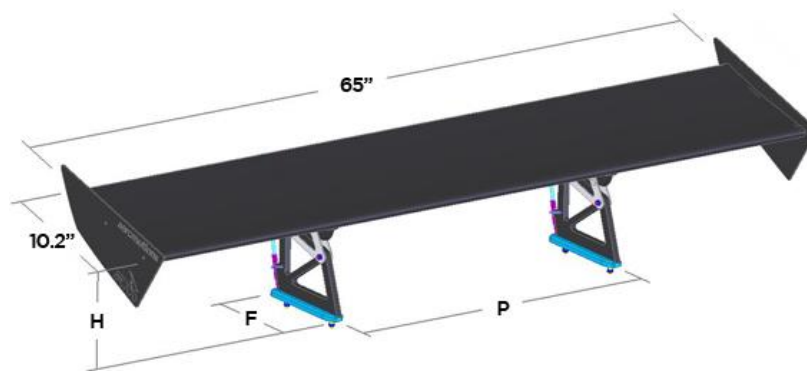
„Porsche Panamera“ – šiame automobilyje aktyvi aerodinamika taip pat priklauso standartinei įrangai. Aktyvus antisparnas turi keturias padėtis, priklausančias nuo automobilio greičio – iki 56 mylių per valandą greičio (apie 90 km/h) aptakas yra nuleistas, nuo 56 iki 100 mp/h (apie 90 - 160 km/h) atakos kampas nustatomas – -3 laipsniai. Važiuojant 100 - 127mp/h (160 - 204km/h) atakos kampas pasiekia +5 laipsnius ir esant greičiui didesniai nei 127 mp/h nustatomas maksimalus atakos kampas +14 laipsnių. Reikėtų atkreipti dėmesį, jog „Porsche“ aktyvaus antisparno atakos kampai gali skirtis nuo kitų gamintojų numatytų atakos kampų dėl išskirtinio „Porsche“ automobilių dizaino ir kėbulo linijų, kurios veikia aerodinamiką.



1.2 pav. „Porsche Panamera“ aktyvus antisparnas [2]

## 1.2. Pavyzdys – nestandartinės įrangos gamintojų aktyvus antisparnas

„Aeromotions“ įmonės gaminamas „S1.Dynamic“ aktyvus antisparnas[3] gali būti pritaikomas konkreitiems automobilių modeliams ir markėms, tokiems, kaip „Mitsubishi Lancer EVO“, „Nissan GT-R (R35)“ ir pan., ir visiems sedano bei kupė kėbulo automobiliams. Gamintojų teigimu [3], su šiuo aktyviu antisparnu buvo atlikti tyrimai Šiaurės Amerikoje įrengtame moderniam vėjo tunelyje (tunelio įrengimas atsiėjo 42 milijonus dolerių). Pasinaudojant šiuo tuneliu buvo bandoma išgauti tokią antisparno formą, kad būtų pasiektas kuo didesnis prispaudimas ir kuo mažesnis pasipriešinimas.



**1.3 pav.** „Aeromotions“ firmos „S1.Dynamic“ universalus aktyvus antisparnas[3]

**1.1 lentelė.** „Aeromotions“ firmos „S1.Dynamic“ aktyvaus antisparno charakteristikos

Patikimumas (iki tam tikro greičio), km/h	Aktyvaus antisparno konstrukcija	Rankinis atakos kampo valdymas	Atakos kampo duomenų rinkimas	Atakos kampo kitimo ribos, °	Svoris, kg	Kaina, \$
321	Vienos dalies sparnas	Taip	Taip	0 - 14	6,1	5999,0

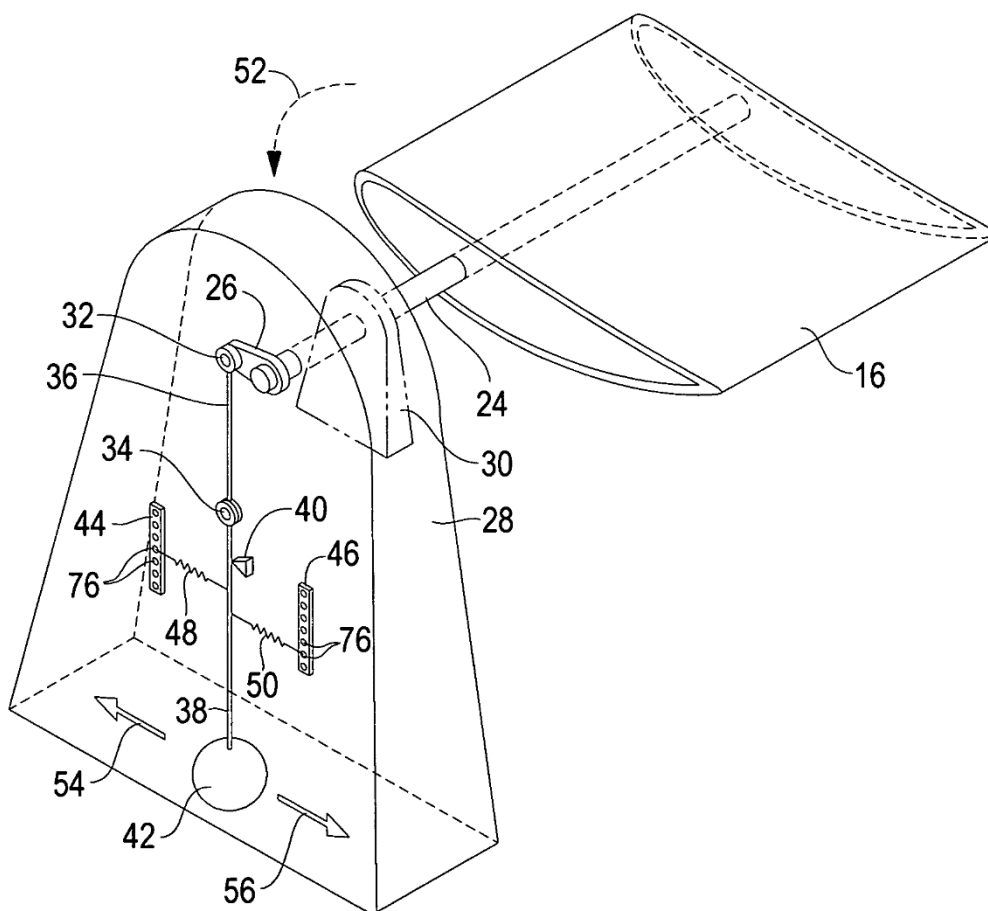
Antisparno matmenys pateikti 3 paveiksle coliais, kadangi jis yra universalus, parametrai H (aukštis), F (įtvirtinimų plotis) ir P (tarpas tarp įtvirtinimų) gali būti pasirenkami laisvai, kaip pageidauja užsakovas.

**Išvados:** Aktyvūs antisparnai dažnai montuojami galinguose serijiniuose automobiliuose kaip standartinė įranga. Jų atakos kampai, priklausomai nuo pačio aerodinaminio elemento, gali keistis nuo -3 iki +20 laipsnių. Didesni atakos kampai nesirenkami dėl per didelio oro pasipriešinimo ir neefektyvaus aerodinaminio elemento darbo. Dažniausiai aktyvus antisparnas „pradedą veikti“ nuo 80km/h greičio. Priklausomai nuo aktyvaus antisparno parametrų, jo kaina gali svyruoti nuo 3699\$ iki 8999\$.

### 1.3. Patentų pavyzdžiai

US7770962 B1 Dinaminis automobilio sparnas [5]

Šiame patente pateikiamas aktyvaus galinio antisparno modelis yra visiškai mechaninis (1.4 pav.). Darbinio paviršiaus atakos kampas yra reguliuojamas pasinaudojant specialia atsvara, kuri yra sujungta su antisparnu per seriją traukių, kurios padeda reguliuoti šį sparną, kai automobilis greitėja ir kai lėtėja. Priklausomai nuo automobilio dinamikos kinta ir antisparno atakos kampas ir taip sukuriama prispaudžiamoji jėga, skirta galiniams ratams..



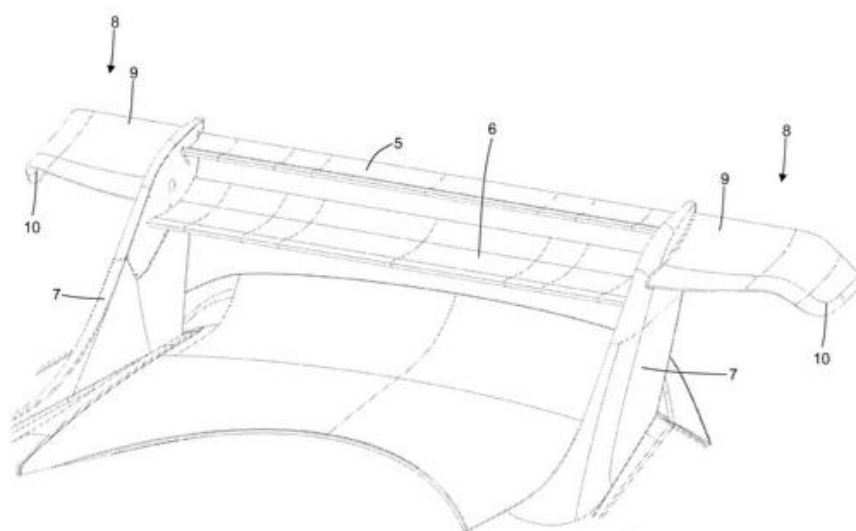
1.4 pav. US7770962 B1 patento schema[5]

16 – antisparnas, 24 – sukimosi ašis, 26 – sukimosi alkūnė, 28 – korpusas, 30 – sukimosi ašies laikiklis, 32 – viršutinė tarpinė jungtis, 34 – apatinė tarpinė jungtis, 36 – viršutinė tarpinė traukė, 38 – apatinė tarpinė traukė, 40 – atramos taškas, 42 – kontrolinė masė, 44 – akceleracijos spyruoklės reguliavimo taškas, 46 – stabdymo spyruoklės reguliavimo taškas, 48 – akceleracijos spyruoklė, 50 – stabdymo spyruoklė, 54 – stabdymo jėgos kryptis, 56 – akceleracijos jėgos kryptis, 76 – reguliavimo angos.

US 20130226414 A1 metodas skirtas kontroliuoti galingus serijinius automobilius su galiniu aktyviu antisparnu, turinčiu bent vieną reguliuojamą aerodinaminį profilį [6]

Šis metodas yra skirtas galingsiems serijiniams automobiliams, turintiems bent vieną reguliuojamą galinio antisparno paviršių. Šis metodas apima šiuos etapus:

- Automobilio tendencija posūkyje slysti priekiu (angl. Understeer) ar galu (angl. Oversteer).
- Atakos kampo keitimas į didesnę, tam kad būtų sukurta didesnė prispaudžiamąji jėgą, kurią sukuria galinis antisparnas, jei fiksuojamas galinių ratų slydimas posūkyje.
- Atakos kampo keitimas į mažesnę, siekiant sumažinti prispaudžiamąją jėgą, kurią sukuria galinis antisparnas, jei fiksuojamas priekinių ratų slydimas posūkyje.



**1.5 pav.** Patento US 20130226414 A1 schema[6]

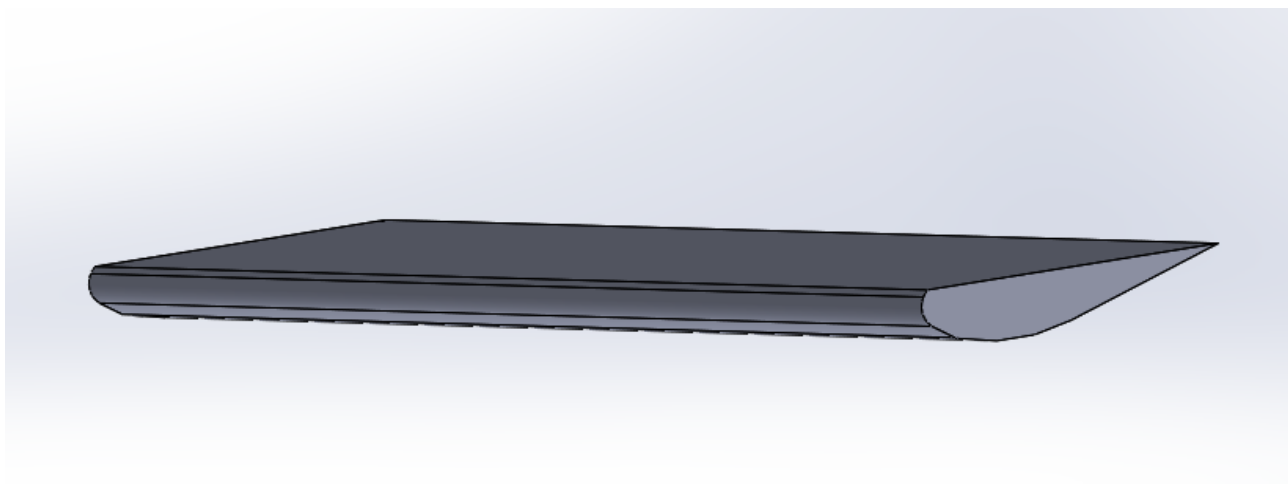
5 – aerodinaminis profilis, 6 – reguliuojamas aerodinaminis profilis, 7 – antisparno laikikliai, 8 – šoninis aerodinaminis elementas, 9 – viršutinė šoninio aerodinaminio elemento dalis, 10 – apatinė šoninio aerodinaminio elemento dalis.

**Išvados:** Iš aptartųjų patentų pavyzdžių, pirmasis yra techniškai pasenęs, nes aktyvaus antisparno valdymas atliekamas mechaniniu būdu. Antras pavyzdys yra šiuolaikiškas su elektroniniu valdymu, pagrindiniai parametrai, pagal kuriuos reguliuojamas atakos kampas – priekinės ar galinės ašies slydimas.

## 2. PROJEKTIŅĒ DALIS

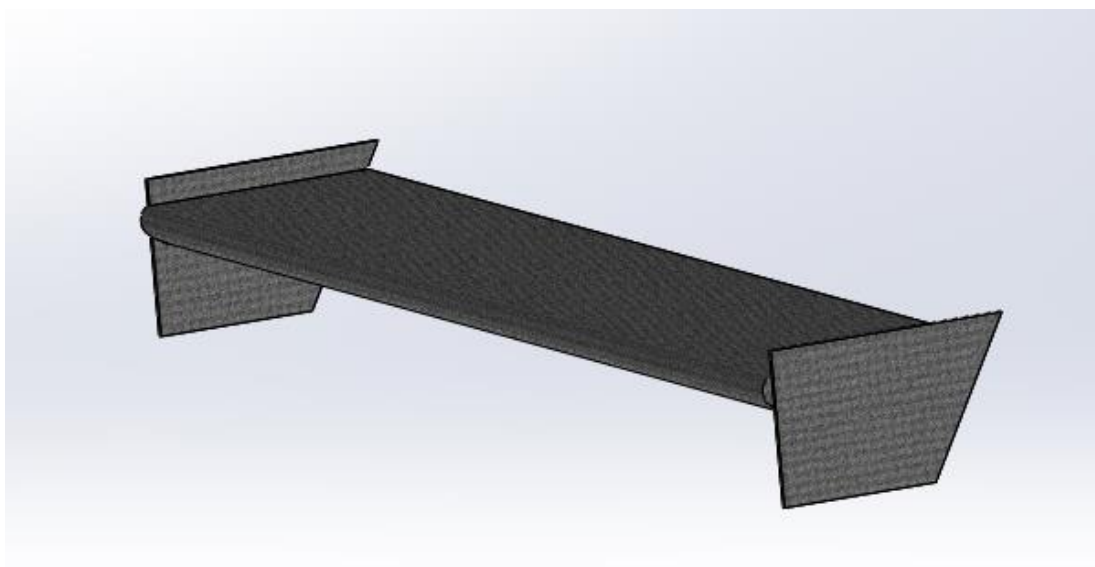
### 2.1. Mechaninės dalies projektavimas

Remiantis aprašytais [4] bei rinkoje esančiais antisparnų pavyzdžiais [1,2,3,5,6] priimamas pradinis „lašo“ formos antisparno profilis. Ši forma pasirinkta, nes norima išgauti kuo mažesnę oro srauto pasipriešinimą ir kuo didesnę prispaudžiamąją jėgą. 2.1 pav. pateiktas programoje SolidWorks suprojektuota aktyvaus antisparno aerodinaminė dalis.



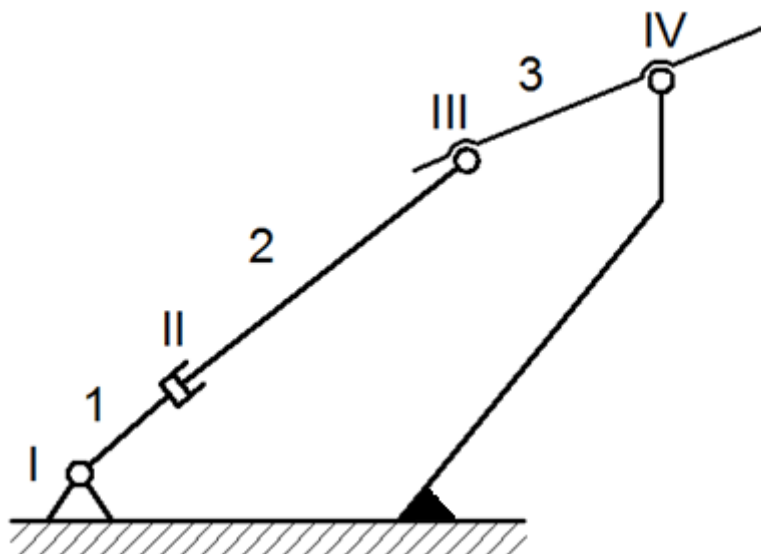
2.1 pav. Aktyvaus antisparno aerodinaminės dalies profilio projektavimas

Kadangi auto sporte ir automobilių pramonėje labai svarbus aspektas yra svoris, antisparnas sumodeliuojamas tuščiaviduris iš anglies pluošto, 126mm storio (storiausioje vietoje), 1620mm ilgio ir 365mm pločio.



2.2 pav. 3D antisparno modelis

Antisparno tvirtinimui prie automobilio kėbulo suprojektuojami laikikliai, pagal sudarytą kinematinę schemą (2.3 pav.).



**2.3 pav.** Aktyvaus antisparno su laikikliais kinematinė schema. 1 – linijinės pavaros dalis, tvirtinama prie lanksčios jungties, 2 – linijinės pavaros dalis, tvirtinama prie antisparno, 3 – antisparnas.

Pasinaudojus klasikinės mechanikos laisvės laipsnių skaičiavimo formule (2.1), randamas laisvės laipsnių skaičiui šiai konstrukcijai.

$$W_p = 3n - 2p_1 - p_2 \quad (2.1)$$

Formulėje 2.1  $W_p$  – laisvės laipsnių skaičius;  $p_1$  – vieno laisvės laipsnio mazgų skaičius;  $p_2$  – dviejų laisvės laipsnių mazgų skaičius;  $n$  – konstrukcijos elementų skaičius.

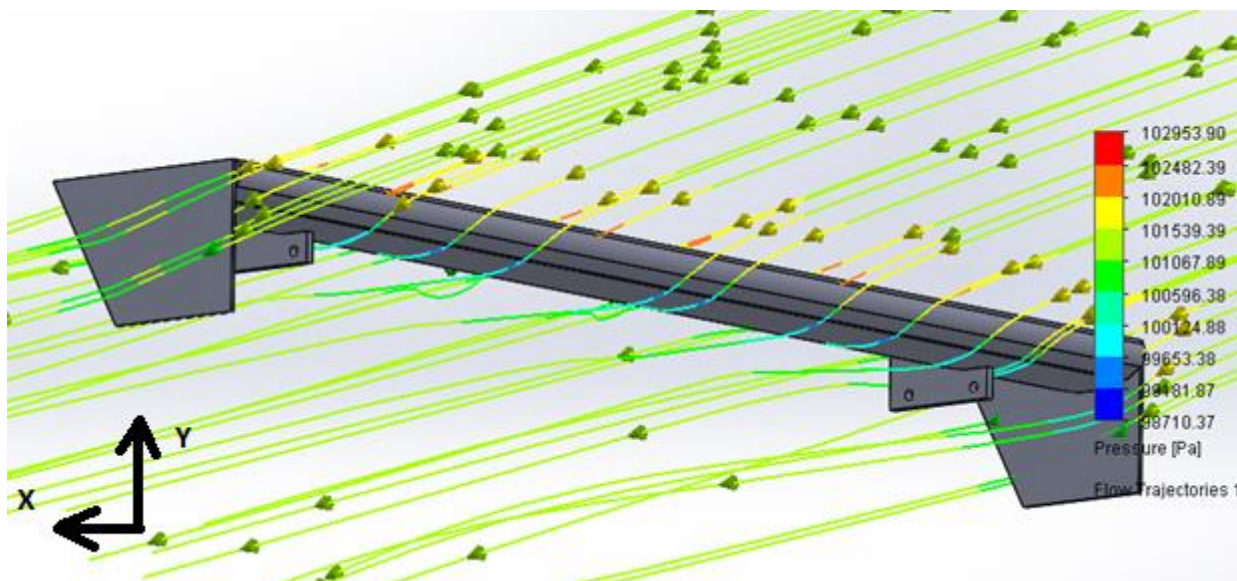
$$W_p = 3 * 3 - 2 * 4 = 1$$

Pasinaudojus formule 2.1 randama, jog antisparno laikiklio konstrukcijos laisvės laipsnių skaičius yra 1. Vadinasi, norint pakeisti antisparno padėtį, užtenka užduoti judesį vienam elementui.

Pasinaudojant SolidWorks programiniu paketu *Flow simulation*, randamos jėgos, veikiančios antisparną X ir Y kryptimis (2.4 pav.), kai jis nustatytas  $10^\circ$  atakos kampų, o oro tėkmės greitis (priimama jog tai automobilio greitis, kai vėjo visiškai nėra (vėjo greitis  $v = 0$  m/s)), 55,0 m/s



(apie 200 km/h). Toks atakos kampas buvo pasirinktas atlikus antisparnų apžvalgą, o greitis – atsižvelgiant į sportinių automobilių išvystomą greitį Baltijos šalių trasose.



2.4 pav. Oro srauto linijos pro antisparno paviršių

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value
GG Force (X) 1	[N]	139.799	140.070	138.889	140.685
GG Force (Y) 1	[N]	-477.121	-474.295	-477.188	-465.991

2.5 pav. Flow Simulation programės skaičiavimų išrašas

Kaip matyti iš 2.5 pav. esančio išrašo, prispaudžiamoji jėga gauta **477,2 N**, o pasipriešinimo jėga 140,7 N. Rastos jėgos naudojamos tolesniuose skaičiavimuose, norint nustatyti aerodinaminio įrenginio atsparumą. Iš 2.4 paveikslo matyti, jog oro srauto linijų slėgis yra mažesnis antisparno apačioje (mėlynos linijos) ir didesnis jo viršuje (raudonos linijos).

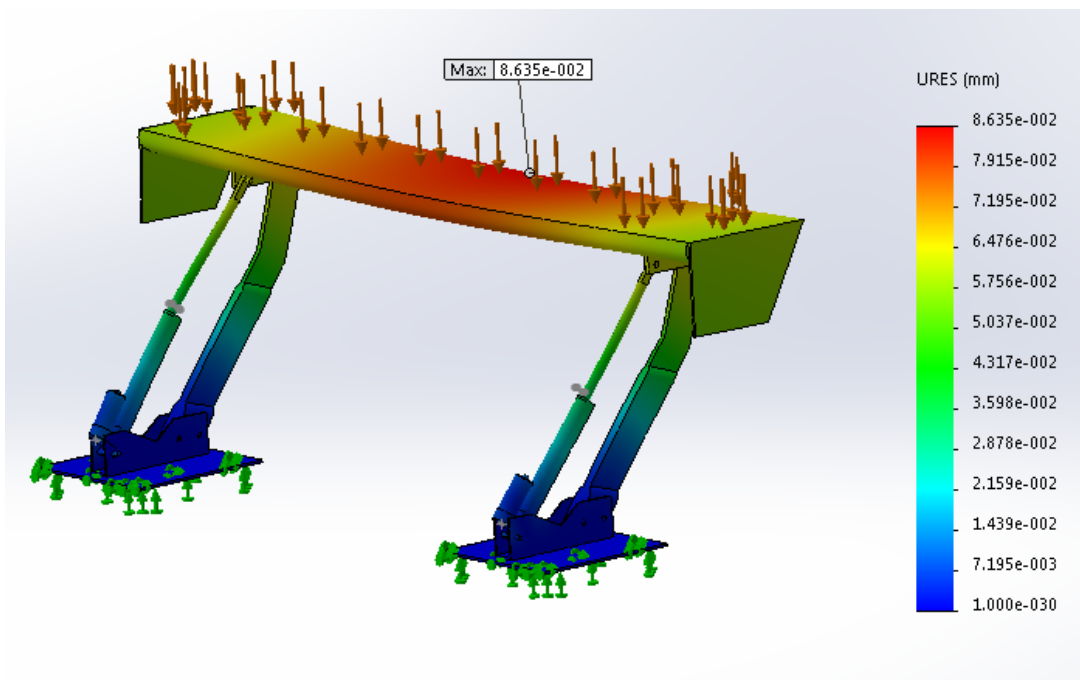
Norint atlikti stipruminius skaičiavimus, reikia rasti išskirstytą krūvį, veikiančią antisparno darbinį paviršių, kurio viršutinės plokštumos plotas  $0,451 \text{ m}^2$ .

$$F = q_v \cdot s \quad (2.2)$$

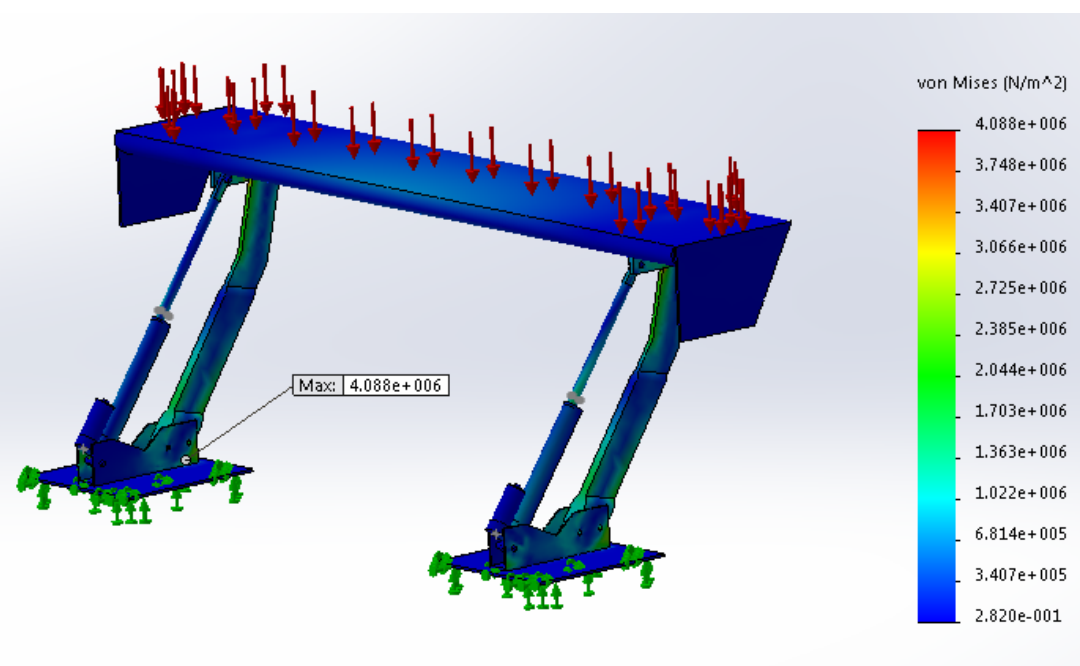
Formulėje 2.2  $F$  – veikianti jėga, N;  $q_v$  – išskirstytas krūvis,  $\text{N/m}^2$ ;  $s$  – išskirstyto krūvio veikiamas plotas,  $\text{m}^2$ .

$$q_v = \frac{F}{s} = \frac{477,2}{0,451} = 1058,1 \text{ N/m}^2$$

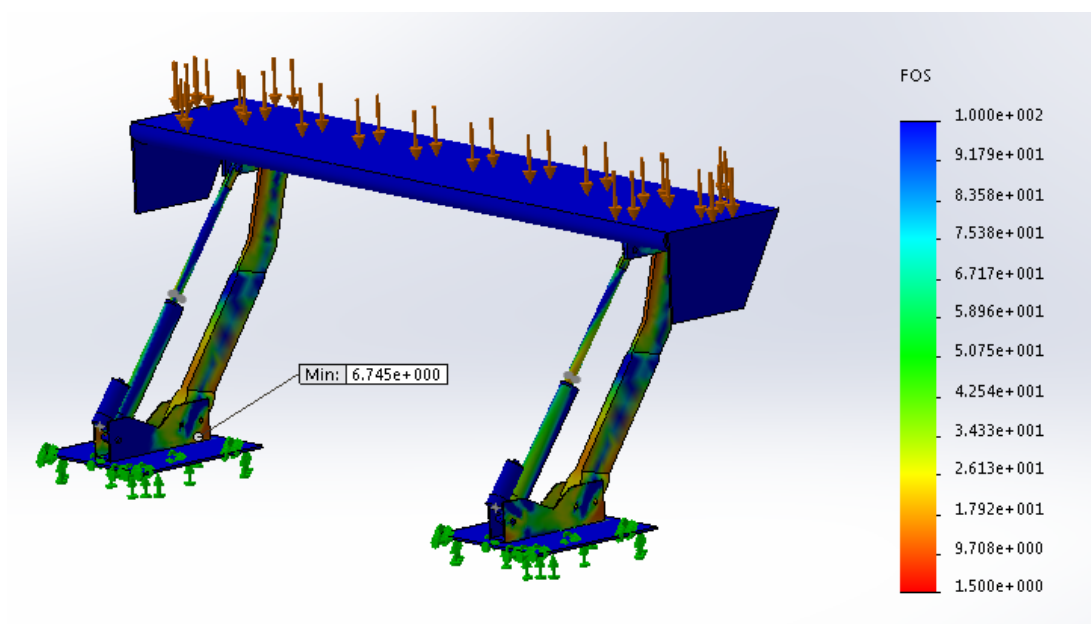
Pasinaudojus formule 2.2 randama, kad stipruminiuose skaičiavimuose darbinį paviršiaus plotą veiks  $1058,1 \text{ N/m}^2$  išskirstytas krūvis. Programos „SolidWorks“ naudoti tinklelio (angl. Mesh) nustatymai: maksimalus elemento dydis – 79,3 mm, minimalus elemento dydis – 15,9 mm, minimalus elementų, sudarančių apskritimą kiekis – 8, elemento dydžio kitimo koeficientas – 1,6.



2.6 pav. Gautos antisparno deformacijos (Deformacijos atvaizduojamos 500 kartų didesnės)



2.7 pav. Antisparno įtempių atvaizdavimas



**2.8 pav.** Antisparno su laikikliais atsargos koeficiento pavaizdavimas

Kaip matyti iš 2.8 paveikslo, minimalus atsargos koeficientas, veikiant  $1058,1 \text{ N/m}^2$  išskirstytam krūviui yra 6,745. Didžiausia deformacijos reikšmė 0,08 mm.

Antisparno stipruminiuose skaičiavimuose buvo priimta, jog aktyvioji dalis yra iš anglies pluošto, tai yra – kompozitinė medžiaga ir jos atsparumas skirtingomis kryptimis yra skirtingas. Skaičiavimuose naudotos kompozitinės medžiagos parametrai pateikiami lentelėje 2.1.

**Lentelė 2.1** skaičiavimuose naudoti anglies pluošto parametrai [13]

Tamprumo modulis X ašyje, $\text{N/m}^2$	$147 \cdot 10^9$
Tamprumo modulis Y ašyje, $\text{N/m}^2$	$10,3 \cdot 10^9$
Tamprumo modulis Z ašyje, $\text{N/m}^2$	$10,3 \cdot 10^9$
Šlyties modulis XY atžvilgiu, $\text{N/m}^2$	$7 \cdot 10^9$
Šlyties modulis YZ atžvilgiu, $\text{N/m}^2$	$3,7 \cdot 10^9$
Šlyties modulis XZ atžvilgiu, $\text{N/m}^2$	$7 \cdot 10^9$
Tankis, $\text{kg/m}^3$	1600
Tempimo stiprumas X ašyje, $\text{N/m}^2$	$2280 \cdot 10^6$
Tempimo stiprumas Y ašyje, $\text{N/m}^2$	$57 \cdot 10^6$
Spaudimo stiprumas X ašyje, $\text{N/m}^2$	$1725 \cdot 10^6$
Spaudimo stiprumas Y ašyje, $\text{N/m}^2$	$228 \cdot 10^6$
Stiprumo riba, $\text{N/m}^2$	$95 \cdot 10^6$

Buvo priimta jog visi antisparno laikikliai yra aliuminiai. Linijinė pavara buvo pasirinkta iš internetinės duomenų bazės [7], pagrindiniai parametrai pateikiami 2.2 lentelėje.

## Lentelė 2.2 linijinės pavaros parametrai

Gamintojas	Dynetic
Modelis	AAN007LAS
Galia, W	72
Maksimali keliamoji jėga, N	1200
Maksimalus linijinio judesio ilgis, mm	350
Maitinimo šaltinis	12V nuolatinė įtampa
Kaina	100 €/vnt

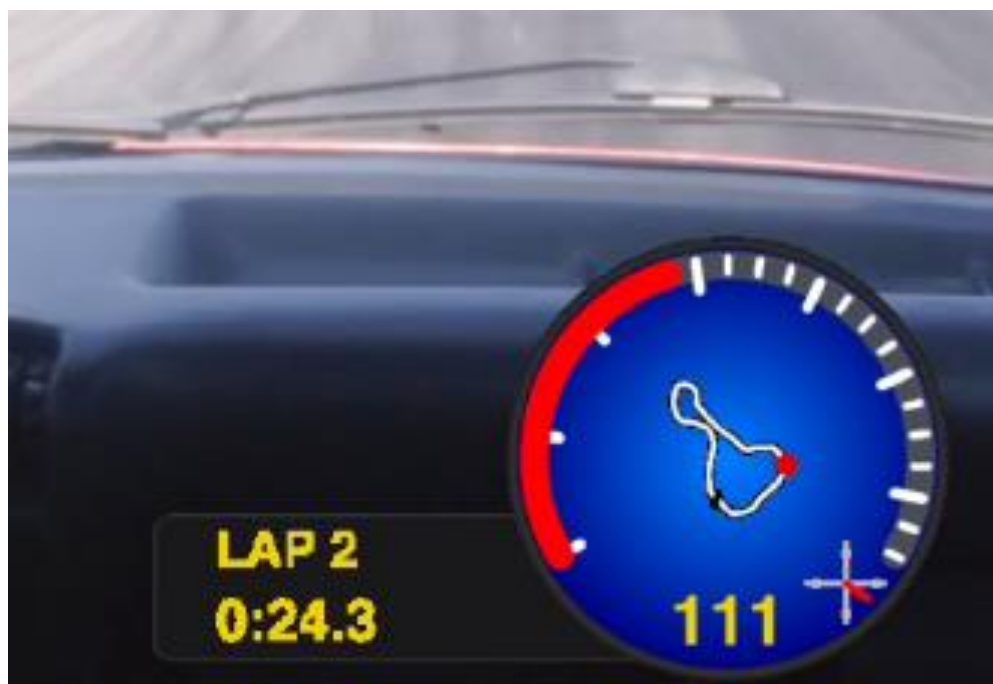
## 2.2. Valdymo sistemos projektavimas

Norint išsiaiškinti kokius elektroninius matavimo komponentus, reikia naudoti aktyvaus antisparno valdymo sistemoje buvo atliktas tyrimas „Nemuno žiedo“ trasoje, naudojant „TrackAddict“ [8] programą, pritaikytą „STMicroelectronics LIS331DLH“ akcelerometrui (tikslumas 0,01 G), įrašytas vieno rato įveikimo sesija bei užfiksuotos veikiančios išcentrinės (G) jėgos (išcentrinių jėgų padalos vertė skalėje lygi 1,25 G). Iš gautų rezultatų matyti jog važiuojant tiesiojoje dideliu greičiu išcentrinės jėgos yra praktiškai nejuntamos, o važiuojant S formos posūkyje šios jėgos gali pasiskirstyti taip, jog atrodys, kad automobilis stabdomas.

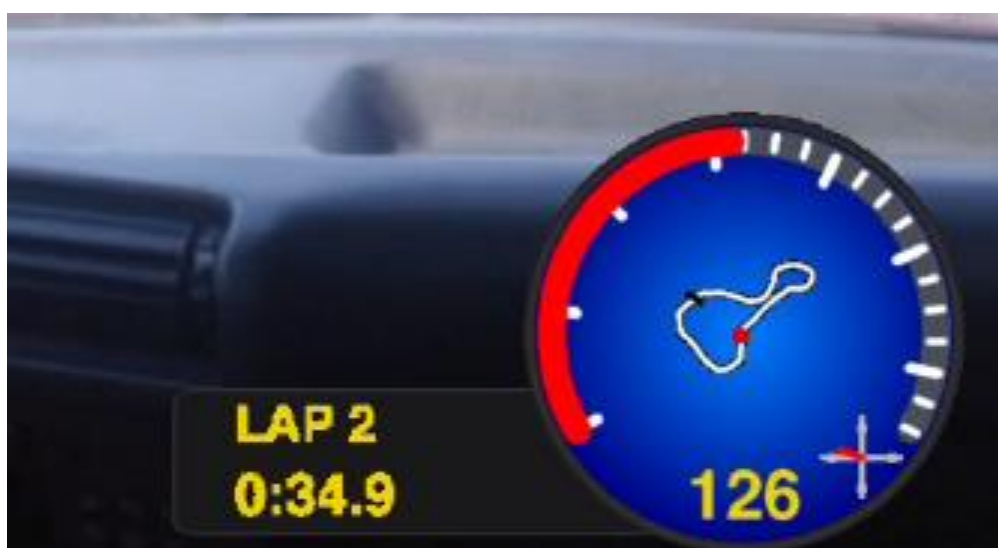


**2.9 pav.** Programos „TrackAddict“ rodmenys važiuojant tiesiojoje „Nemuno žiedo“ trasoje.

Apačioje dešinėje pusėje pateikiama trasos legenda bei greitis ir išcentrinių jėgų pasiskirstymas, kaip matyti greitis yra 155 km/h, kadangi variklio galia tik 125 kW ir važiuojama tiesiai, šios jėgos yra minimalios.



**2.10 pav.** Programos „TrackAddict“ rodmenys važiuojant posūkyje („Stadiono“ posūkis) „Nemuno žiedo“ trasoje. Iš išcentrinių jėgų grafiko aiškiai matoma, jog važiuojama į kairį posūkį.



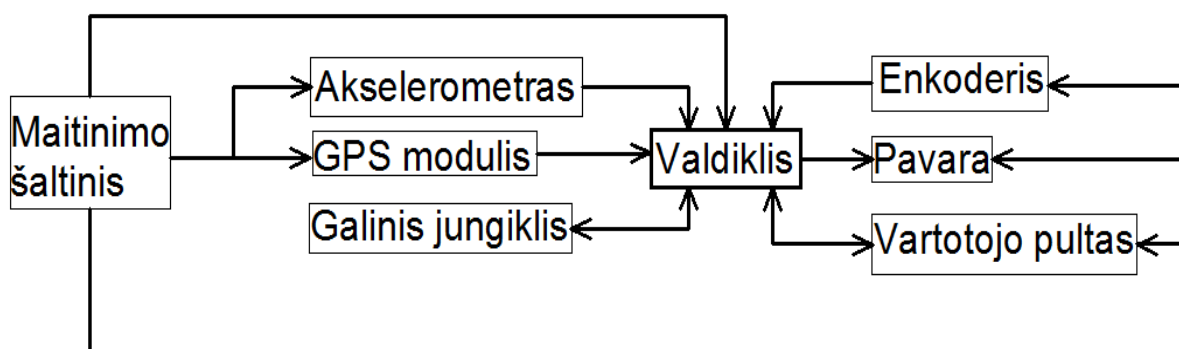
**2.11 pav.** Programos „TrackAddict“ rodmenys važiuojant S formos posūkyje („Ažuolo“ posūkis) „Nemuno žiedo“ trasoje. Iš G jėgų rodmenų matyti jog jos pasiskirsto taip lyg būtų stabdoma ir važiuojama į dešinę posūkį, tačiau iš tiesų yra greitėjama.

Išanalizavus programos „TrackAddict“ duomenis buvo nuspręsta jog naudotis vien tik akcelerometru antisparno valdymui yra negalima dėl per mažų išcentrinių jėgų veikiančių tiesiojoje, bei dėl klaidinančio pasiskirstymo S formos posūkiuose. Tam, kad užtikrinti sklandų sistemos darbą reikia dar ir greičio bei kartu padėties daviklio (GPS) ir galinio jungiklio ant stabdžio pedalo.

Norint užtikrinti sklandų ir tikslų bei naudingą sistemos darbą yra būtinos šios valdymo sistemos dalys:

1. Akcelerometras
2. GPS modulis
3. Galinis jungiklis
4. Valdiklis
5. Vartotojo pultas
6. Enkoderis

Sistemos valdymo schema pateikiama 2.12 paveiksle.



2.12 pav. Sistemos valdymo schema

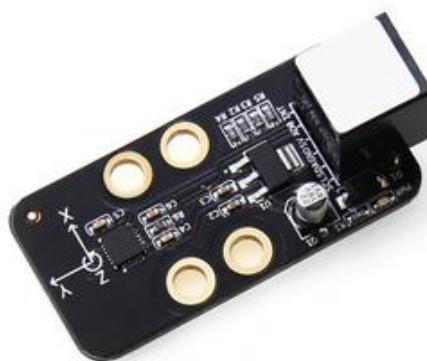
Iš pateiktos valdymo schemos matyti, jog automobilio dinaminiai duomenys vienu metu bus gaunami iš trijų jutiklių – akcelerometro, GPS jutiklio ir galinio jutiklio (galinis jutiklis skirtas stabdžio pedalo padėties fiksavimui). Informacija apie esamą atakos kampą bus gaunama iš enkoderio, kuris, pagal vartotojo nustatytus parametrus vartotojo pulte, bus keičiamas linijinės pavaros pagalba. Visą sistemą valdys programuojamas valdiklis, o maitinimo šaltinis, bus automobilio akumuliatorius, tai yra 12 V.

### 2.2.1. Valdymo sistemos komponentai

#### Akcelerometras[9]

Dėl savo kainos, bei populiarumo (paprasta prijungti prie kitų elektronikos įrenginių) buvo pasirinktas „MakeBlock“ firmos trijų ašių akcelerometras.





**2.13 pav.** Trijų ašių „MakeBlock“ firmos akcelerometras[9]

**Lentelė 2.3** Akcelerometro parametrai

G skalės ribos (Trys ašys)	±2g, ±4g, ±8g ir ±16g
Automatinė kalibracija	taip
Maitinimo šaltinis	5V
Pajungimas	6 laidai
Dydis (ilgis x plotis x aukštis)	24 x 48 x 32 mm
Kaina	19,99 \$

### GPS modulis[10]

Buvo pasirinktas „Ublox NEO6MV2 GPS module for Arduino“ dėl paprastos sąsajos su populiariais mikro valdikliais (Arduino UNO, Texas Instrumentals ir t.t.)



**2.14 pav.** Ublox NEO6MV2 [10]

**Lentelė 2.4** GPS modulio parametrai

Maitinimo šaltinis	3V – 5V
Standartinė sparta	9600 bit/s
Sąsaja	RS232 TTL
Modulio dydis	25 x 35 mm
Antenos dydis	25 x 25 mm
Kaina	11,48 €

## **Galinis jungiklis**

Galinis jungiklis pasirinktas išjungiamojo tipo, tai yra, nenuspaustas jis yra sujungtas (sujungta grandinė), o nuspaudus jis yra atjungiamas (grandinė nutraukiama).



**2.15 pav.** Galinis išjungiamojo tipo jungiklis

Tai yra paprastas elektronikos elementas. Kaina gali svyruoti nuo 1 iki 10 (ir daugiau) eurų, priklausomai nuo jungiklio mechaninių charakteristikų (darbinės temperatūros, atsparumo smūgiams ir t.t.).

## **Valdiklis ir vartotojo pultas[11]**

Buvo pasirinktas Arduino UNO R3 mikrokontroleris. Dėl savo kainos, funkcionalumo, bei dėl atviro kodo programų gausos. Jo parametrai pateikiami 2.5 lentelėje.



**2.16 pav.** Arduino UNO R3 mikrokontroleris[11]



### Lentelė 2.5 Arduino UNO R3 mikrokontrolerio parametrai

Pavadinimas	Skaitmeniniai įėjimo/išėjimo kontaktai	Analoginiai įėjimo kontaktai	Darbinė įtampa, V	Kontrolerio tipas	Atmintis, Kb	Greitis, MHz	Kaina, €
Arduino UNO R3	14	6	5	Atmega328	32	16	35-70

Pagal lentelėje 2.5 pateiktus duomenis galima spręsti jog šio mikrokontrolerio turėtų užtekti aktyvaus antisparno valdymui, o kadangi tai yra studentiškas projektas, vartotojo pultas būtų nešiojamas kompiuteris, skirtas pagrindiniams parametrams keisti. Tai yra parametų nebūtų galima reguliuoti realiuoju laiku.

### Enkoderis[12]

Pasirinktas Omron firmos enkoderis E6A2-C dėl savo kainos, dydžio ir paprasto suderinimo su mikro valdikliais. Jo parametrai pateikiami 2.6 lentelėje.



2.17 pav. Omron firmos enkoderis[12]

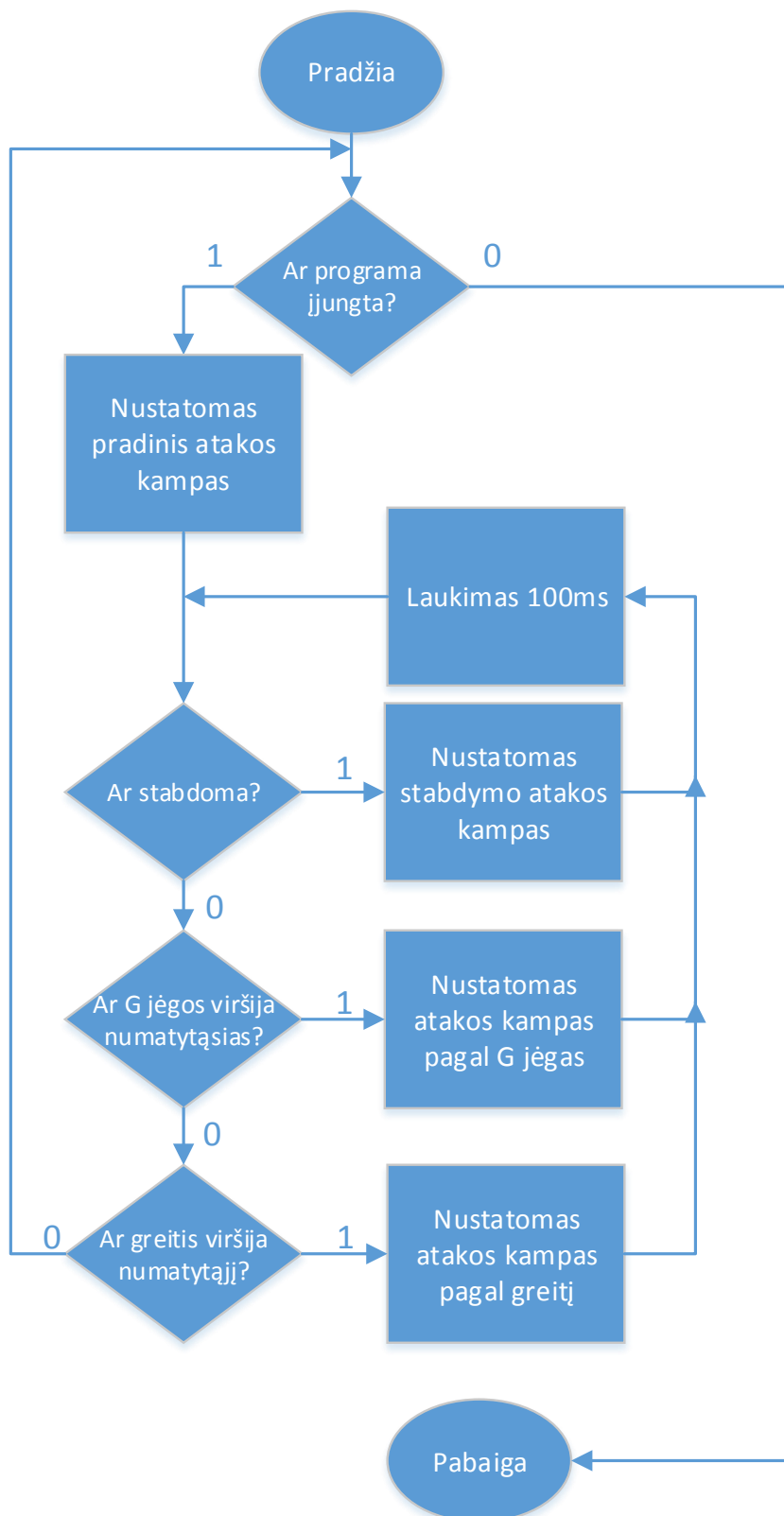
### Lentelė 2.6 Omron E6A2-C enkoderio parametrai

Pavadinimas	Omron E6A2-CWZ3E
Dydis (išorinis diametras), mm	25
Išėjimo fazės	A, B, Z
Darbinė įtampa, V	5 - 12
Darbinė temperatūra, °C	Nuo -10 iki 55
Rezoliucija (impulsai/apsisukimą)	100, 200, 360, 500
Svoris, g	35
Kaina (preliminari), €	30

Svarbiausias parametras renkantis enkoderį šiam projektui yra dydis dėl to jog jis nepaveiktų antisparno aerodinamikos, bei pats nebūtų stipriai veikiamas oro srauto važiuojant dideliu greičiu. Kadangi antisparnui nėra reikalinga padėties atmintis, enkoderis parenkamas inkrementinis

## 2.2.2. Valdymo programos algoritmas

Algoritmas:



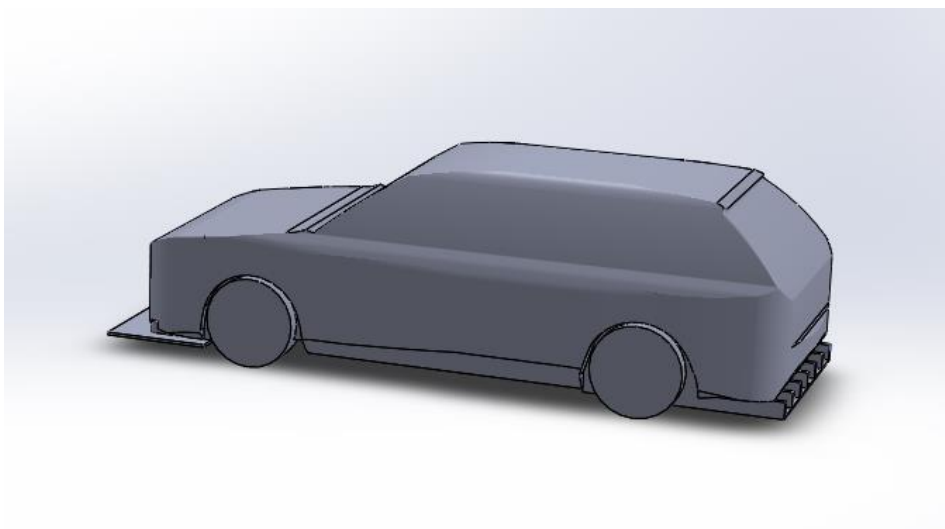
Valdymo programos algoritmas sudaromas atsižvelgiant į tris automobilio parametrus – stabdymą, G jėgas ir važiavimo greitį. Šie parametrai pagal svarbumą (hierarchiją) eina tokia tvarka:

1. Stabdymas
2. G jėgos
3. Važiavimo greitis

Tokia eilės tvarka reiškia jog kai bus stabdoma, aktyvaus antisparno atakos kampas bus nustatytas stabdymo režimu, nepriklausomai nuo veikiančių G jėgų ir automobilio važiavimo greičio. Jeigu važiuojama nestabdant ir veikia atitinkamos G jėgos, nustatomas atakos kampas skirtas sugeneruoti prispaudžiamąją jėgą galinei automobilio daliai. Galiausiai jeigu važiuojama atitinkamu greičiu ir neveikia G jėgos (nepasiekiamas numatytoji reikšmė) bei nestabdoma, atakos kampas nustatomas važiavimui tiesiąja (mažas atakos kampas sukuriantis nedidelį pasipriešinimą bei sugeneruojantis minimalią prispaudžiamąją jėgą galinei automobilio daliai, kuri prideda stabilumo).

### 3. TIRIAMOJI DALIS

Tyrimams atlikti buvo pasirinktas 1993 metų gamybos, 550 arklio galių (404 kW) sportinis automobilis „Audi S2 avant“. Šis automobilis buvo pasirinktas dėl to, jog jame yra sumontuoti homologuoti saugos lankai, galingas variklis ir standesnė važiuoklė. Taipogi programa „SolidWorks“ buvo sumodeliuotas šio automobilio 3D (CAD) modelis (3.1 pav), tam, kad būtų galima atlikti aerodinaminius tyrimus „FlowSimulation“ paprogramėje.



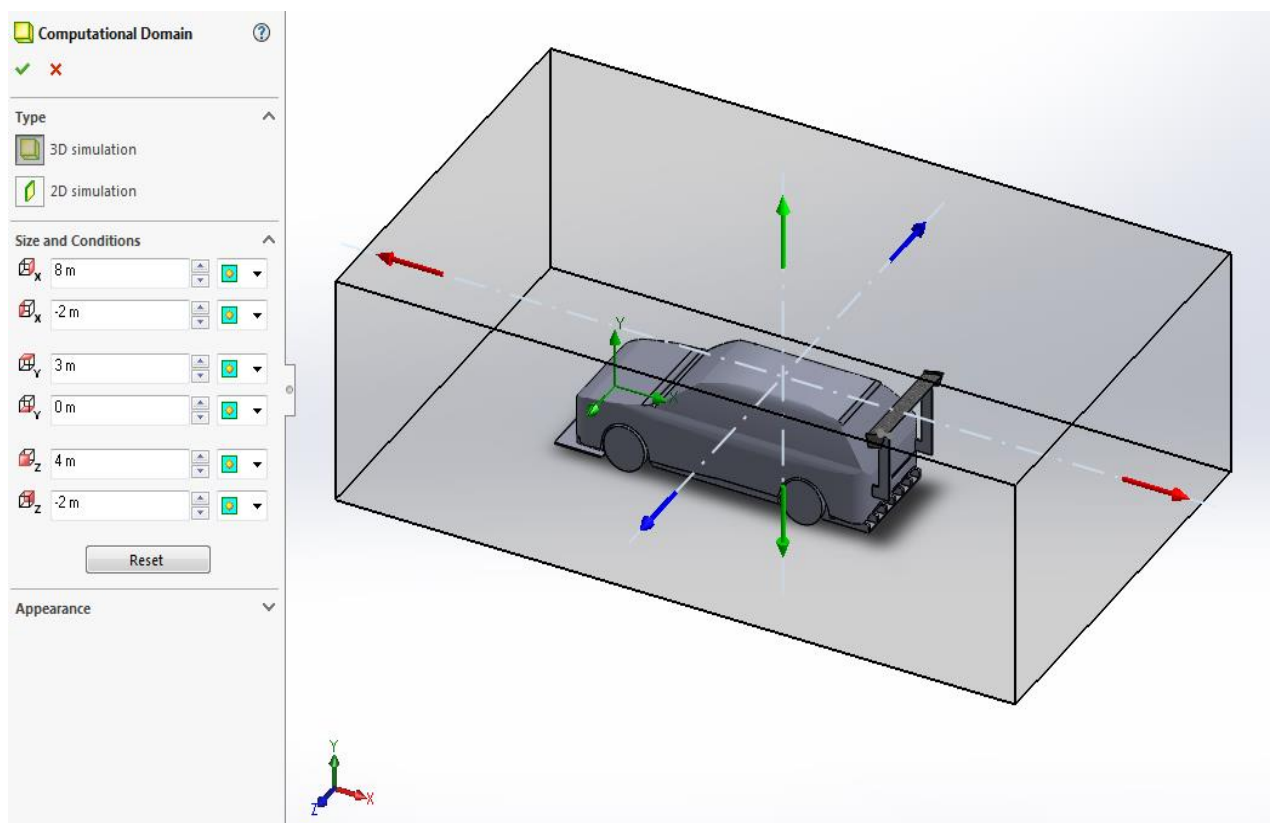
**3.1 pav.** Sportinio automobilio „Audi S2 avant“ 3D modelis



**3.2 pav.** Sportinis automobilis „Audi S2 avant“ su kuriuo buvo atlikti tyrimai (Nuotrauka iš asmeninio albumo).

## Sąlygos, kurioms esant buvo atlikti skaičiavimai „SolidWorks“ paprogramėje „FlowSimulation“:

- Skaičiuojamosios aplinkos dydis – ilgis 10 m, plotis – 6 m, aukštis – 3 m.
- Tyrimo tipas – išorinis
- Tyrimui parinkta medžiaga – tekantis oras
- Tėkmės tipas – laminarinis ir turbulentinis
- Slėgis – 101,325 kPa
- Temperatūra – 293,2 K
- Turbulencijos intensyvumas – 2 %



3.3 pav. Tyrimo metu naudota skaičiuojamoji aplinka

### 3.1. Geriausios antisparno pritvirtinimo padėties automobilio atžvilgiu paieška

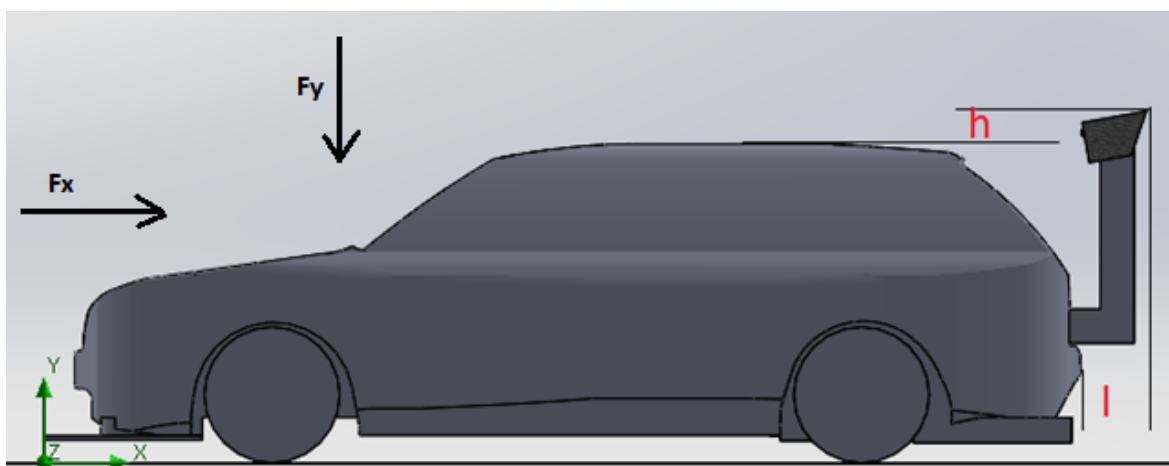
Pritvirtinimo padėtis yra apribota Lietuvos auto sporto federacijos nuostatais [14]. Šiuo atveju („Caravan“ tipo kėbulas) galinis antisparnas gali būti pakeltas virš stogo linijos 150mm, o išsikišti į galą už automobilio gabaritų iki 300mm.

Norėdamas surasti tinkamą pritvirtinimo padėtį, keičiau antisparno padėtį automobilio atžvilgiu kas 10mm (0 – 150mm nuo stogo linijos ir 150 – 300mm išsikišimą už automobilio gabaritų). Priėmiau jog geriausias pritvirtinimo variantas yra toks, kai gaunama didžiausia prispaudžiamoji jėga, esant 10° atakos kampui, kai automobilio greitis 180 km/h (50 m/s).

Atlikus tyrimus su automobilio modeliu su aktyviu antisparnu, gauti rezultatai buvo palyginti su tuo pačiu automobilio modeliu be aktyvaus antisparno (3.4pav.).

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Force (X) 1	[N]	1800.087	1800.909	1797.101	1806.937	100	Yes	9.835	81.146
GG Force (Y) 1	[N]	916.377	926.904	915.883	945.300	100	Yes	29.417	34.975

**3.4 pav.** Jėgos veikiančios automobilio modelį be aktyvaus antisparno,  $F_x$  (pasipriešinimo jėga) ir  $F_y$  (prispaudžiamoji jėga) kryptimis.



**3.5 pav.** Schema, pagal kurią buvo skaičiuota aktyvaus antisparno padėtis

Palyginimai 3.1 lentelėje buvo skaičiuoti pagal formulę (3.1).

$$F\Delta = |F_s - F_b| \quad (3.1)$$

Formulėje 3.1:  $F\Delta$  – jėgų skirtumas, N;  $F_s$  – prispaudimo jėga su aktyviu antisparnu, N;  $F_b$  – prispaudimo jėga be aktyvaus antisparno, N.

**Lentelė 3.1** jėgų palyginimas keičiant aktyvaus antisparno padėtį (automobilio greitis 180km/h, atakos kampas 10°).

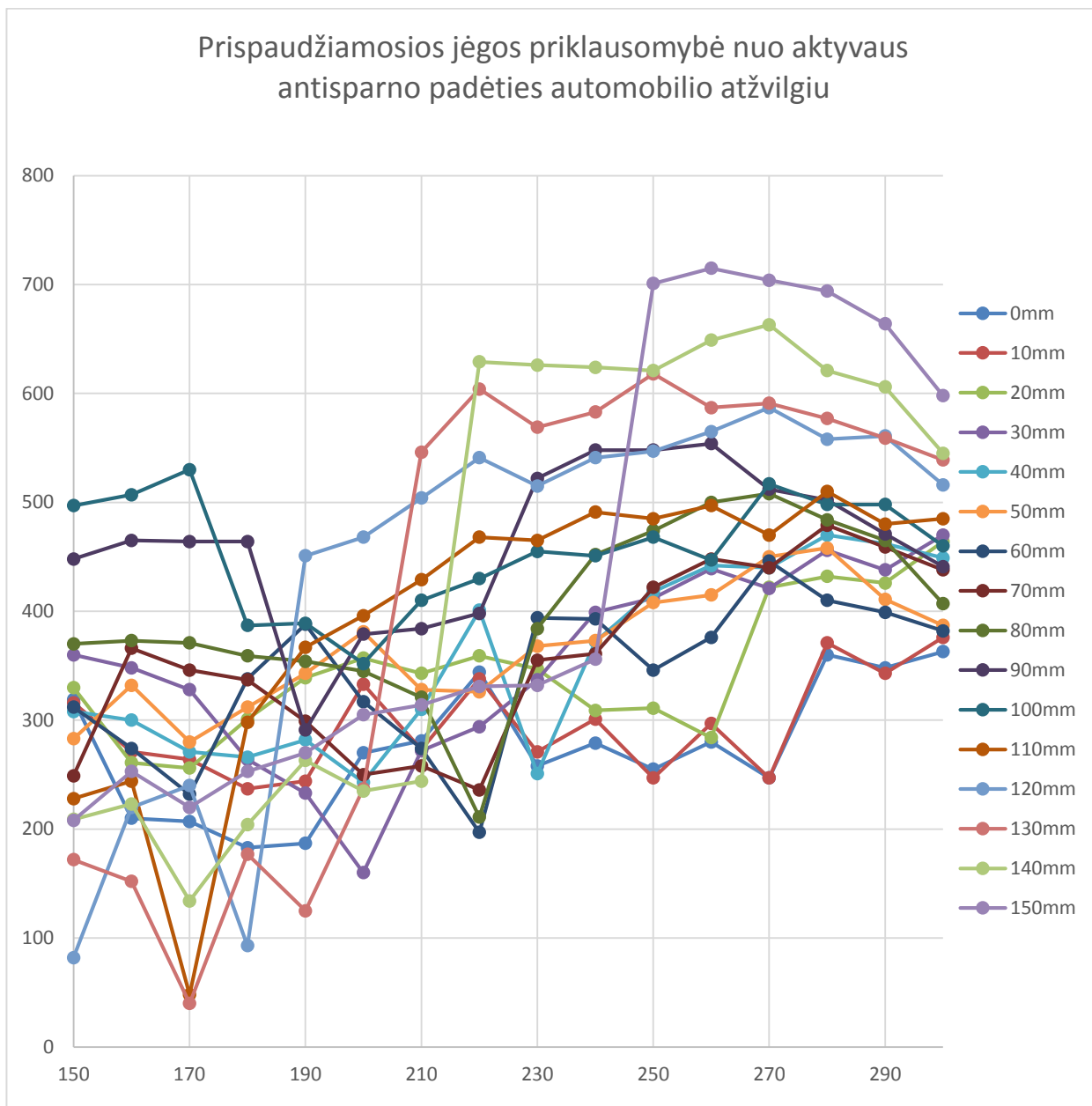
h, mm	l, mm	Prispaudimo jėgos FA skirtumas, N	h, mm	l, mm	Prispaudimo jėgos FA skirtumas, N	h, mm	l, mm	Prispaudimo jėgos FA skirtumas, N
0	150	319	20	260	330	50	210	283
0	160	210	20	270	261	50	220	332
0	170	207	20	280	256	50	230	280
0	180	183	20	290	301	50	240	312
0	190	187	20	300	339	50	250	343
0	200	270	30	150	360	50	260	381
0	210	281	30	160	348	50	270	328
0	220	344	30	170	328	50	280	326
0	230	258	30	180	264	50	290	368
0	240	279	30	190	233	50	300	373
0	250	255	30	200	160	60	150	312
0	260	280	30	210	272	60	160	274
0	270	247	30	220	294	60	170	232
0	280	360	30	230	337	60	180	338
0	290	348	30	240	399	60	190	388
0	300	363	30	250	412	60	200	317
10	150	316	30	260	439	60	210	274
10	160	271	30	270	421	60	220	197
10	170	264	30	280	456	60	230	394
10	180	237	30	290	438	60	240	393
10	190	244	30	300	470	60	250	346
10	200	333	40	150	308	60	260	376
10	210	273	40	160	300	60	270	446
10	220	338	40	170	271	60	280	410
10	230	271	40	180	266	60	290	399
10	240	301	40	190	282	60	300	382
10	250	247	40	200	243	70	150	249
10	260	297	40	210	310	70	160	366
10	270	247	40	220	401	70	170	346
10	280	371	40	230	251	70	180	337
10	290	343	40	240	372	70	190	299
10	300	376	40	250	418	70	200	250
20	150	330	40	260	442	70	210	258
20	160	261	40	270	440	70	220	236
20	170	256	40	280	470	70	230	355
20	180	301	40	290	462	70	240	361
20	190	339	40	300	449	70	250	422
20	200	357	50	150	283	70	260	448
20	210	343	50	160	332	70	270	440
20	220	359	50	170	280	70	280	479
20	230	347	50	180	312	70	290	459
20	240	309	50	190	343	70	300	438
20	250	311	50	200	381	80	150	370

Lentelės 3.1 tęsinys.

h, mm	l, mm	Prispaudimo jėgos skirtumas, N	FA	h, mm	l, mm	Prispaudimo jėgos skirtumas, N	FA	h, mm	l, mm	Prispaudimo jėgos skirtumas, N	FA
80	160	373		100	270	497		130	220	172	
80	170	371		100	280	507		130	230	152	
80	180	359		100	290	530		130	240	40	
80	190	354		100	300	387		130	250	177	
80	200	345		110	150	228		130	260	125	
80	210	321		110	160	244		130	270	237	
80	220	211		110	170	48		130	280	546	
80	230	384		110	180	298		130	290	604	
80	240	452		110	190	367		130	300	569	
80	250	474		110	200	396		140	150	209	
80	260	500		110	210	429		140	160	223	
80	270	508		110	220	468		140	170	134	
80	280	484		110	230	465		140	180	204	
80	290	465		110	240	491		140	190	263	
80	300	407		110	250	485		140	200	235	
90	150	448		110	260	497		140	210	244	
90	160	465		110	270	470		140	220	629	
90	170	464		110	280	510		140	230	626	
90	180	464		110	290	480		140	240	624	
90	190	291		110	300	485		140	250	621	
90	200	379		120	150	82		140	260	649	
90	210	384		120	160	220		140	270	663	
90	220	398		120	170	240		140	280	621	
90	230	522		120	180	93		140	290	606	
90	240	548		120	190	451		140	300	545	
90	250	548		120	200	468		150	150	208	
90	260	554		120	210	504		150	160	253	
90	270	512		120	220	541		150	170	220	
90	280	502		120	230	515		150	180	253	
90	290	471		120	240	541		150	190	270	
90	300	441		120	250	547		150	200	305	
100	150	497		120	260	565		150	210	314	
100	160	507		120	270	587		150	220	331	
100	170	530		120	280	558		150	230	332	
100	180	387		120	290	561		150	240	356	
100	190	389		120	300	516		150	250	701	
100	200	352		130	150	172		150	260	715	
100	210	410		130	160	152		150	270	704	
100	220	430		130	170	40		150	280	694	
100	230	455		130	180	177		150	290	664	
100	240	451		130	190	125		150	300	598	
100	250	468		130	200	237					
100	260	447		130	210	546					



Tyrimo metu nustačiau jog didžiausia prispaudimo jėga esant 180 km/h greičiui ir 10 ° atakos kampui yra 715 N, kai antisparnas yra iškeltas 150 mm virš stogo linijos ir paslinktas 260 mm į galą už automobilio gabaritų. Visų skaičiavimų rezultatai pateikiami grafiškai 3.6 paveiksle, slėgio pasiskirstymas pavaizduotas 3.7 paveiksle.



**3.6 pav.** Atliktų tyrimų grafinis palyginimas. Y ašyje atidėtos veikiančios jėgos(N), X - aktyvaus antisparno padėtis nuo automobilio galo (mm), o kiekviena linija atspindi skirtingą aktyvaus antisparno aukštį virš stogo linijos.



**3.7 pav.** Slėgio pasiskirstymas esant 180km/h greičiui, kai aktyvus antisparnas pritvirtintas 150 mm virš automobilio stogo linijos, 260 mm už automobilio galinės dalies ir atakos kampas nustatytas 10°

**Išvada:** Atlikus šį tyrimą buvo nustatyta geriausia aktyvaus antisparno padėtis automobilio („Audi S2 avant“) atžvilgiu – 260mm už automobilio galinės dalies ir 150mm virš automobilio stogo linijos. Tolimesniems tyrimams naudojama pastaroji konfigūracija.

### 3.2. Geriausių atakos kampų nustatymas skirtingoms važiavimo sąlygoms

Šiame darbo etape suradau du atakos kampus – vieną skirtą važiuoti tiesiojoje (automobilio greitis 180km/h), o kitą – įveikti posūkiams (automobilio greitis 120km/h). Šie atakos kampai skiriasi iš esmės – pirmasis skirtas gauti kuo mažesnę pasipriešinimą (su sąlyga, kad nebus generuojama pakeliamoji jėga), o antrasis didžiausią prispaudžiamąją jėgą.

Skaičiavimuose naudojama antisparno padėtis, kuri buvo parinkta 3.1 dalyje (antisparnas virš stogo linijos 150mm ir už automobilio galo 260mm). Atakos kampas buvo keičiamas nuo 0° iki +15° esant nustatytam 180km/h greičiui tiesiojoje ir 120km/h greičiui posūkyje.

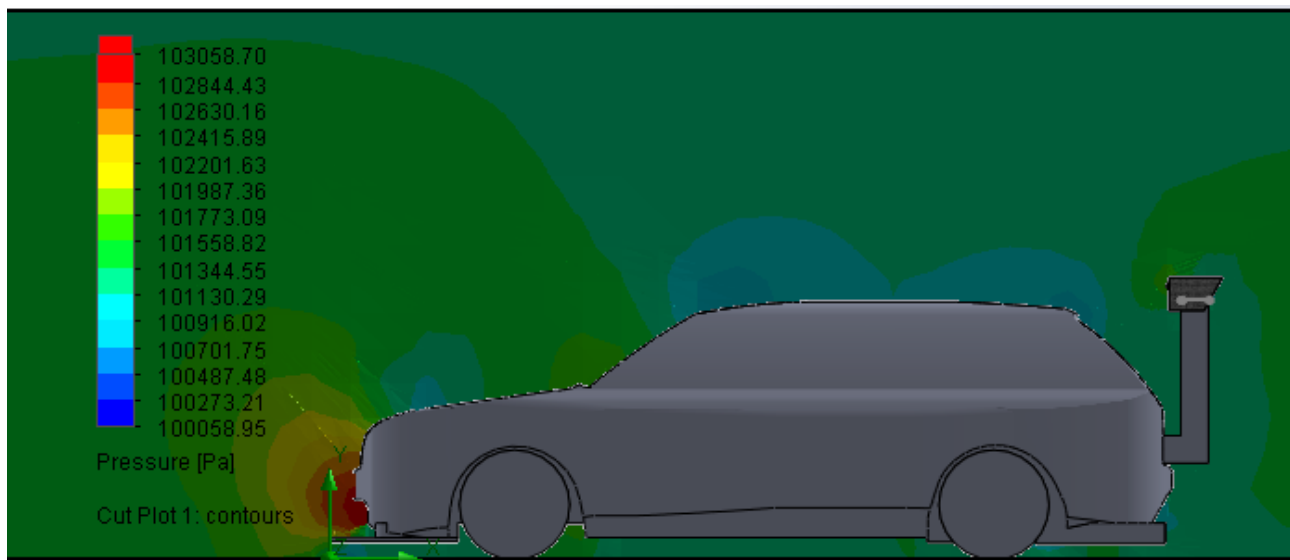
Pasipriešinimo jėgos  $F_{y\Delta}$  skirtumas randamas pagal formulę (3.2)

$$F_{y\Delta} = F_{yb} - F_{ys} \quad (3.2)$$

Formulėje 3.2:  $F_{y\Delta}$  – jėgų skirtumas, N;  $F_{ys}$  – pasipriešinimo jėga su aktyviu antisparnu, N;  $F_b$  - pasipriešinimo jėga be aktyvaus antisparno, N.

**Lentelė 3.2** Pasipriešinimo ir prispaudžiamosios jėgos palyginimas (su automobiliu be antisparno), kai atakos kampas keičiamas nuo 0° iki +15°. Priimtas automobilio greitis 180km/h.

Atakos kampas	Pasipriešinimo jėgos $F_{y\Delta}$ skirtumas, N	Prispaudimo jėgos $F\Delta$ skirtumas, N
0	23	416
1	16	417
2	-37	328
3	10	434
4	15	455
5	-44	460
6	-40	486
7	10	671
8	-13	658
9	2	699
10	-17	715
11	-57	609
12	-71	583
13	-79	531
14	-80	514
15	-48	610



**3.8 pav.** Slėgio pasiskirstymas esant 180km/h greičiui, kai aktyvus antisparnas pritvirtintas 150 mm virš automobilio stogo linijos, 260 mm už automobilio galinės dalies ir atakos kampas nustatytas 0°

Lentelėje 3.2 pateikti pasipriešinimo jėgos skirtumai, palyginti su automobiliu be antisparno. Turintys neigiamą reikšmę reiškia jog pasipriešinimas yra didesnis su aktyviu antisparnu, nei be jo. Iš šios lentelės nustaciau jog  $0^\circ$  laipsnių atakos kampas bus naudojamas važiuojant tiesiojoje dėl to, kad prie šio atakos kampo gaunamas mažiausias pasipriešinimas.

**Lentelė 3.3** Prispaudžiamosios jėgos palyginimas (su automobiliu be antisparno), kai atakos kampas keičiamas nuo  $0^\circ$  iki  $+15^\circ$ . Priimtas automobilio greitis 120km/h.

Atakos kampas	Prispaudimo jėgos $F_A$ skirtumas, N
0	123
1	171
2	132
3	178
4	183
5	189
6	206
7	292
8	284
9	303
10	306
11	263
12	253
13	230
14	225
15	219

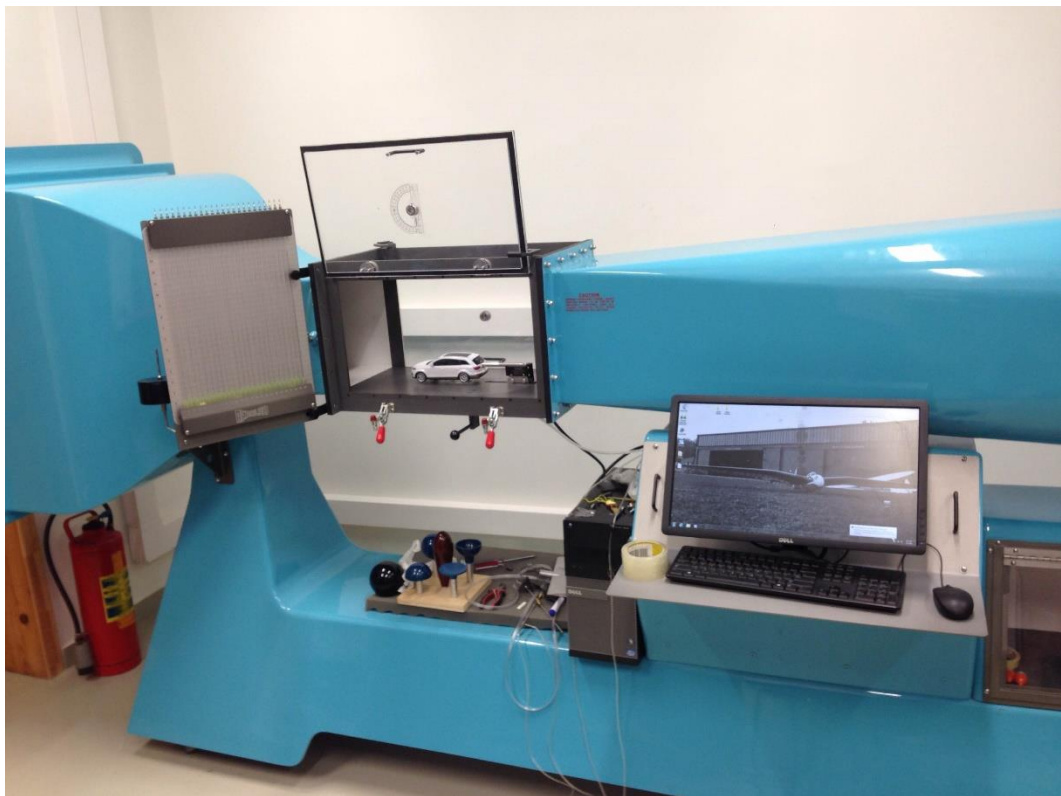


**3.9 pav.** Slėgio pasiskirstymas esant 120km/h greičiui, kai aktyvus antisparnas pritvirtintas 150 mm virš automobilio stogo linijos, 260 mm už automobilio galinės dalies ir atakos kampas nustatytas  $10^\circ$

**Išvados:** Atlikus geriausių atakos kampų paieškas buvo nustatyta jog važiuojant tiesiojoje (automobilio greitis 180km/h) bus naudojamas  $0^\circ$  atakos kampas, kuriam esant bendra automobilio oro pasipriešinimo jėga sumažėja 23 N, o prispaudžiamoji jėga padidėja 416 N. Važiavimui posūkiuose (greitis 120km/h) bus naudojamas  $10^\circ$  atakos kampas, kuriam esant, pagal duotas sąlygas, prispaudžiamoji jėga padidėja 306 N.

### 3.3. Oro pasipriešinimo koeficiento priklausomybė nuo oro srauto greičio

Oro pasipriešinimo koeficiento priklausomybė nuo oro srauto greičio buvo nustatyta „CAD“ modeliui, panaudojus „FlowSimulation“ paprograme „SolidWorks“ programoje bei tikram, 24 kartus sumažintam „Audi S6 avant“ (nebuvo galimybės gauti 24 kartus sumažintą „Audi S2 avant“ modelį, todėl buvo paimtas panašiausias) modeliui KTU vėjo tunelyje.



**3.10 pav.** KTU vėjo tunelis su įtvirtintu 24 kartus sumažintu „Audi S6 avant“ modeliui.

Norint užtikrinti kuo tikslesnius rezultatus, vienam oro tekėjimo greičiui buvo įrašoma po 200 prispaudžiamosios bei pasipriešinimo jėgų rezultatų.

Tam, kad galėčiau palyginti pasipriešinimo koeficientus, sudariau du grafikus, kurie parodo oro pasipriešinimo koeficiento kitimą, keičiantis oro srautui („Reynoldso“ skaičiui).

„Reynoldsas“ – Re, apskaičiuojami pagal formulę (3.3)

$$Re = \frac{\rho v l}{\mu} \quad (3.3)$$

Formulėje 3.3: Re – „Reynoldso“ skaičius;  $\rho$  – oro tankis,  $\text{kg/m}^3$ ;  $v$  – oro tekėjimo greitis, m/s;  $l$  – modelio ilgis, m;  $\mu$  - dinaminės klamos koeficientas, Pa·s

„CAD“ modelio „Reynoldso“ skaičiaus pokyčiai, kintant oro tekėjimo greičiui, pateikiami lentelėje 3.4.

**Lentelė 3.4** „Reynoldso“ skaičius „CAD“ modeliui

Oro greitis, m/s	„Reynoldso“ skaičius	Oro greitis, m/s	„Reynoldso“ skaičius
10	3128198	40	12512793
15	4692297	45	14076892
20	6256397	50	15640992
25	7820496	55	17205091
30	9384595	60	18769190
35	10948694		

24 kartus sumažinto „Audi s6 avant“ modelio „Reynoldso“ skaičiaus pokyčiai, kintant oro tekėjimo greičiui, pateikiami lentelėje 3.5.

**Lentelė 3.5** „Reynoldso“ skaičius 24 kartus sumažintam „Audi S6 avant“ modeliui

Oro greitis, m/s	„Reynoldso“ skaičius	Oro greitis, m/s	„Reynoldso“ skaičius
10	143715	40	574860
15	215572	45	646717
20	287430	50	718575
25	359287	55	790432
30	431145	60	862290
35	503002		

Oro pasipriešinimo koeficientas apskaičiuojamas pagal formulę (3.4)

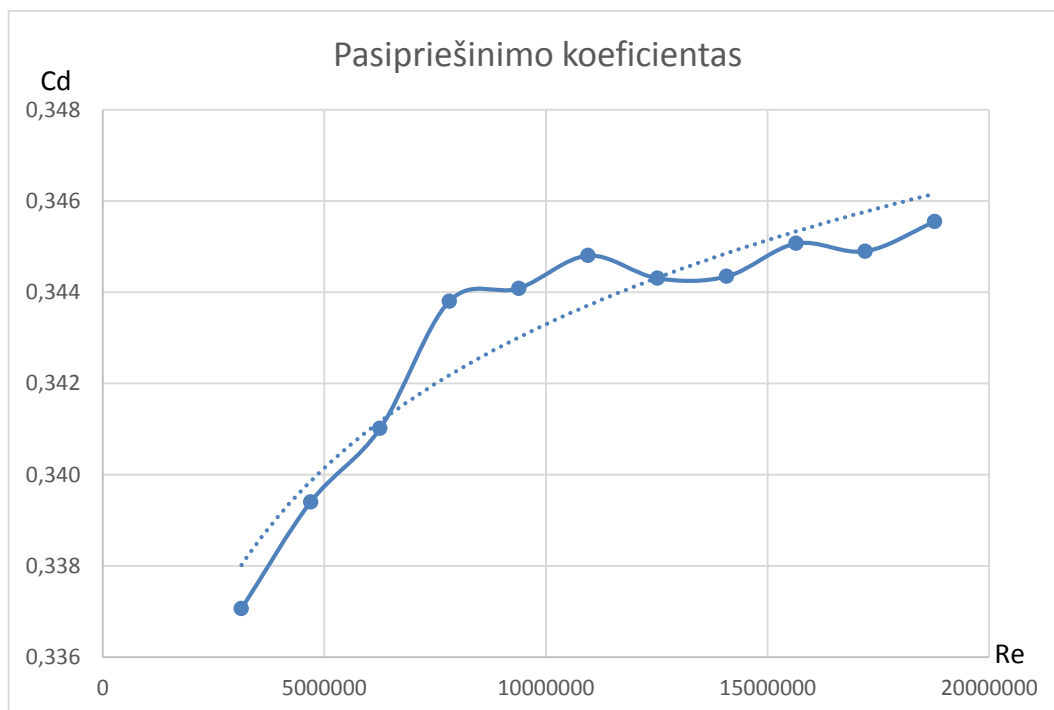
$$C_d = \frac{F_d \cdot 2}{\rho v^2 S} \quad (3.4)$$

Formulėje 3.4:  $C_d$  – oro pasipriešinimo koeficientas;  $F_p$  – Pasipriešinimo jėga, N ;  $v$  – oro tekėjimo greitis, m/s;  $l$  – modelio ilgis, m;  $\rho$  – oro tankis, kg/m<sup>3</sup>;  $S$  – kūno plotas, m<sup>2</sup>.

„CAD“ modelio pasipriešinimo koeficiento pokyčiai, kintant oro tekėjimo greičiui, pateikiami lentelėje 3.6.

**Lentelė 3.6** Pasipriešinimo koeficientas „CAD“ modeliui

Oro greitis, m/s	Pasipriešinimo koef.	Oro greitis, m/s	Pasipriešinimo koef.
10	0,337	40	0,344
15	0,339	45	0,344
20	0,341	50	0,345
25	0,344	55	0,345
30	0,344	60	0,346
35	0,345		

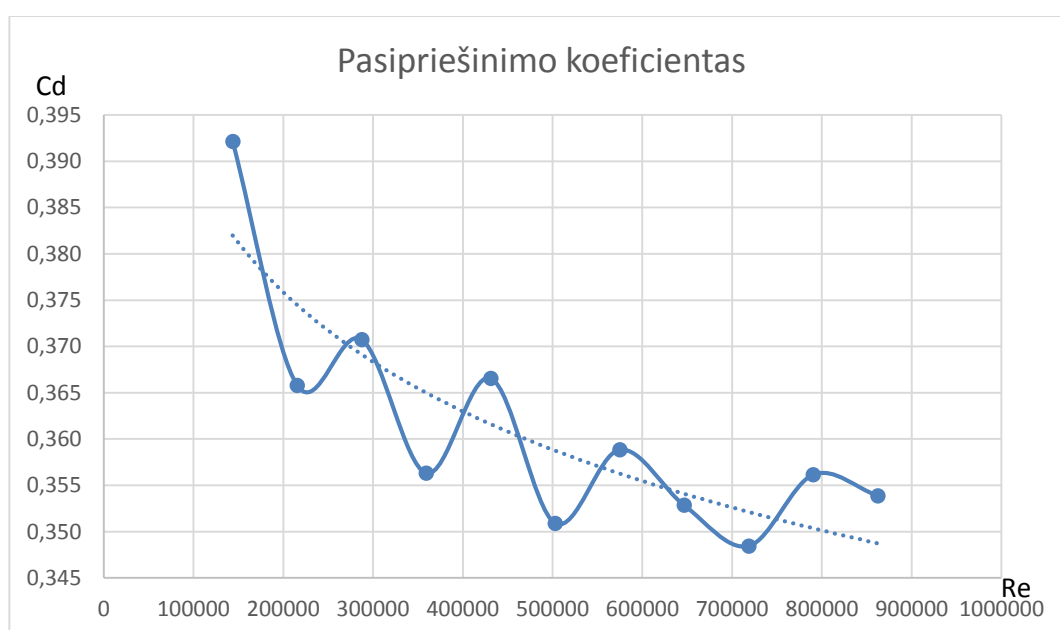


**3.11 pav.** „CAD“ modelio pasipriešinimo koeficiento priklausomybė nuo oro srauto.

24 kartus sumažinto „Audi S6 avant“ modelio pasipriešinimo koeficiento pokyčiai, kintant oro tekėjimo greičiui, pateikiami lentelėje 3.7.

**Lentelė 3.7** Pasipriešinimo koeficientas 24 kartus sumažinto „Audi S6 avant“ modeliui

Oro greitis, m/s	Pasipriešinimo koef.	Oro greitis, m/s	Pasipriešinimo koef.
10	0,392	40	0,359
15	0,366	45	0,353
20	0,371	50	0,348
25	0,356	55	0,356
30	0,367	60	0,354
35	0,351		



**3.12 pav.** 24 kartus sumažinto „Audi S6 avant“ modelio pasipriešinimo koeficiento priklausomybė nuo oro srauto.

**Išvados:** Atlikus tyrimus buvo nustatyta, jog tiek su 24 kartus sumažintu modeliu, tiek su CAD modeliu oro pasipriešinimo koeficientas nusistovi esant didesniam oro srautui (didesnis „Reynoldso“ skaičius). CAD modelio oro pasipriešinimo koeficiento vidurkis – 0,343, o 24 kartus sumažinto „Audi S6 avant“ – 0,361.



### 3.4. Antisparno tyrimai Kačerginės „Nemuno žiedo“ trasoje

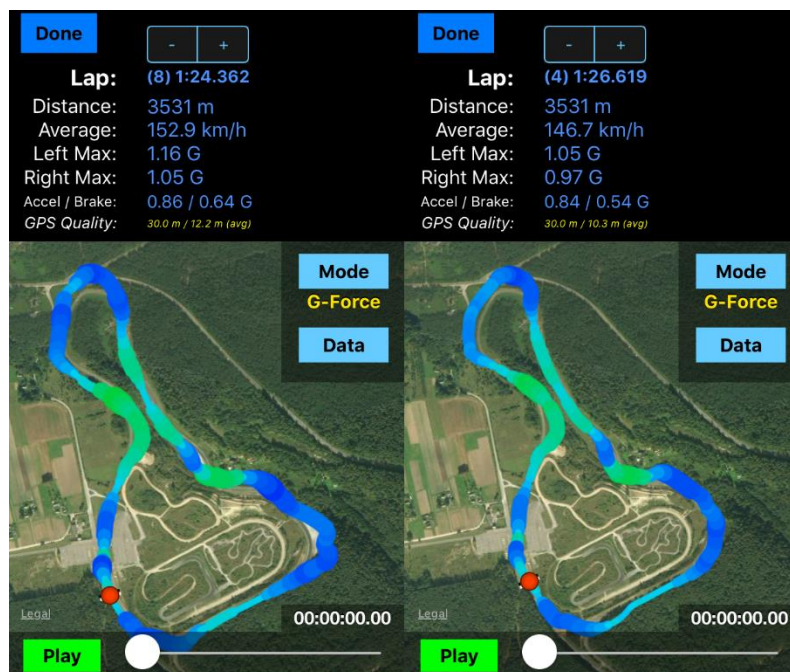
Antisparno tyrimai Kačerginės „Nemuno žiedo“ trasoje buvo atlikti esant tokioms oro sąlygoms:

- Oro temperatūra - 10° C
- Drėgmė (angl. Humidity) – 82 %
- Vėjo greitis – 16 km/h
- Oro slėgis (absoliutinis) – 1,006 bar
- Matomumas – 9,7 km
- Krituliai – nėra

Svarbiausi automobilio parametrai tyrimo metu:

- Padangos – „Michelin Pilot Sport Cup“
- Padangų išmatavimai – 20/63 – 17 (atitinka paprastų padangų dydį – 195/50 R17)
- Padangų oro slėgis po 5 ratų – 2,1 bar
- Variklio galia bandymo metu – 200 kW
- Automobilio svoris – 1250 kg

Tyrimų metu dėl automobilio gedimo buvo spėta patikrinti dinamines charakteristikas tik su antisparnu nustatytu 10° ir 0° atakos kampų, tačiau be antisparno nebuvo važiuota. Gautų tyrimų rezultatai pateikiami 3.13 ir 3.14 paveiksluose. Iš jų matyti, jog abiejų ratų esant skirtingiems atakos kampams skiriasi rato įveikimo laikas, nors greitėjimo ir lėtėjimo inercinės jėgos (Accel/Brake) yra labai panašios. Paveiksle 3.13 a didžiausia išcentrinė jėga siekia 1,16 G, kai paveiksle 3.13 b ji yra 1,05 G. Taipogi trasos žemėlapyje (3.13 pav.) spalviškai pažymėtos kiekvienoje vietoje veikiančios išcentrinės jėgos ir aiškiai matyti, jog a paveiksle jos yra didesnės – su didesniu atakos kampų posūkiu galima įveikti didesniu greičiu, ko pasekoje automobilį veikia didesnės išcentrinės jėgos. Iš 3.14 paveikslų matyti jog didesnis vidutinis greitis (152,9 km/h) pasiekiamas esant 10° atakos kampui, tačiau didžiausias greitis (181,9 km/h) yra pasiekiamas esant 0° atakos kampui.



a)

b)

**3.13 pav.** a) Programos užfiksuotų išcentrinių jėgų išrašas, kai antisparnas nustatytas 10° atakos kampū. b) Programos užfiksuotų išcentrinių jėgų išrašas, kai antisparnas nustatytas 0° atakos kampū.



a)

b)

**3.14 pav.** a) Programos užfiksuotų greičių išrašas, kai antisparnas nustatytas 10° atakos kampū. b) Programos užfiksuotų greičių išrašas, kai antisparnas nustatytas 0° atakos kampū.

**Išvados:** Iš gautų rezultatų nustatiau jog esant  $10^\circ$  atakos kampui trasos įveikimo laikas yra mažesnis bei vidutinis greitis didesnis, tačiau mažesnis maksimalus greitis, nei esant  $0^\circ$  atakos kampui. Iš šių rezultatų sprendžiu jog esant aktyviam antisparnui, vairuotojui būtų lengviau įveikti trasą ir jos įveikimo laikas būtų mažesnis.

## 4. EKONOMINIAI SKAIČIAVIMAI

### 4.1. Rinkos poreikių analizė

Šis gaminys būtų skirtas žiedinėse, sprinto, „Time attack“ ar netgi šonaslydžio varžybose dalyvaujantiems automobiliams. Lėtesniuose renginiuose kaip slalomas šio mechatroninio elemento nauda nebūtų juntama. Todėl žemiau pateikiamose lentelėse apžvelgiamos būtent šios sporto šakos ir nurodomas dalyvių kiekis.

**Lentelė 4.1** Fast lap dalyvių skaičius[15]

Klasė	PRO	STREET
Dalyvių skaičius	104	94

**Lentelė 4.2** Mini žiedo dalyvių skaičius [16]

Etapas	6 (vyko Latvijoje)
Dalyvių skaičius	23

**Lentelė 4.3** Lietuvos automobilių ilgų distancijų žiedinių lenktynių komandų skaičius [17]

Komandų skaičius	19
Etapų skaičius	5

Lentelėse pateikiami preliminarūs duomenys apie Lietuvoje lenktyniaujančius sportininkus, kurie galėtų panaudoti aktyvų antisparną. Yra ir daugiau lenktynių klasių, kurios buvo nepamintetos, todėl, daroma išvada, jog aktyvus aerodinaminis elementas būtų paklausus. Taipogi jis būtų paklausus ir kitose Baltijos šalyse, nes kol kas niekas iš šių šalių negali pasiūlyti analogo aktyviam antisparnui (Šie įrenginiai yra gaminami – Jungtinėse Amerikos Valstijose), o tiek Latvijoje, tiek Estijoje auto sportas yra labai populiarus.

## 4.2. Gaminio savikainos paskaičiavimas

Gaminio savikaina skirstoma į tris dalis – standartinių gaminių kainos, nestandartinių gaminių kainos ir surinkimo kaina.

### Standartinių gaminių kainos:

Standartinių gaminių kainos žinomos iš 2.1. ir 2.2.1. skyrių.

- Akselerometras – 19 €/vnt
- GPS modulis – 12 €/vnt
- Galinis jungiklis – 5 €/vnt
- Valdiklis – 35 €/vnt
- Enkoderis – 30 €/vnt
- Linijinė pavara – 100 €/vnt

Bendra standartinių gaminių kaina =  $19 + 12 + 5 + 35 + 30 + 2 \cdot 100 = 301$  €

### Nestandartinių gaminių gamybos išlaidos:

- Aktyvaus antisparno aerodinaminė dalis – 800 €

Atlikus rinkos tyrimus Lietuvoje veikiančiose įmonėse, kurios užsiima gaminių iš stiklo bei anglies pluošto gamyba [18], buvo rasta priimtinausia aktyvaus antisparno aerodinaminės dalies kaina – 800 €/vnt (anglies pluoštas).

- Aliuminis antisparno laikiklis – 483.27 €/2 vnt.

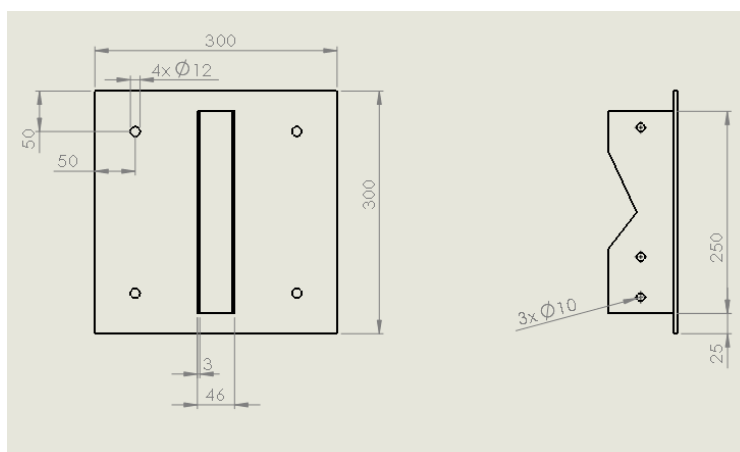
Pasinaudojus programos „SolidWorks“ funkcija „costing“ buvo nustatyta preliminari laikiklių kaina frezuojant iš aliuminio. Programos išrašas pateikiamas 4.1 paveiksle.

## Cost Breakdown

Material: □	398.92-EUR□	83%□
Manufacturing: □	84.35-EUR□	17%□
Markup: □	0.00-EUR□	0%□
□	□	□
Mold: □	0.00-EUR□	0%□
□	□	□

4.1 pav. Preliminari aliuminių antisparno laikiklių (2 vnt.) kaina frezuojant.

**Plieninių įtvirtinimų gamyba** – pjovimas, skylių gręžimas ir suvirinimas yra paprasti procesai, taipogi jų neina apjungti „SolidWorks“ paprogramėje „Costing“, todėl pasinaudodamas darbo su metalinėmis konstrukcijomis patirtimi, galiu nustatyti jog įtvirtinimo vieneto kaina svyruos nuo 15 iki 25 €/vnt, todėl imamas vidurkis 20 €/vnt.



4.2 pav. Pagrindiniai plieninio įtvirtinimo matmenys

Bendra nestandartinių gaminių kaina =  $800 + 483.27 + 2 \cdot 20 = 1323,27 \text{ €}$

Kadangi tai yra studentiškas magistro darbo projektas, gaminio surinkimo, programavimo bei derinimo kaina neįskaičiuojama.

Bendros gamybos sąnaudos vienam aktyviam antisparnui =  $301 + 1323.27 = 1624.27 \text{ €/vnt}$

**Išvados:** Bendros gamybos sąnaudos vienam aktyviam antisparnui yra 1624.27 €. Didžiąją dalį šios sumos sudaro nestandartinių gaminių kaina (1323.27 €). Surinkimo, programavimo ir derinimo kainos neįskaičiuotos. Palyginti su rinkoje esančiais analogiškais produktais (minimali kaina 3699 \$), suprojektuoto aktyvaus antisparno kaina gavosi apie 1670 € mažesnė.

## IŠVADOS

1. Suprojektuota aktyvaus antisparno sistema, kurios atsargos koeficientas – 6.745
2. Parinkta elektromechaninė pavara atakos kampo keitimui, kurios greitaveika – 25 mm/s
3. Suprojektuota valdymo sistema, parinkti komponentai ir sudarytas programos algoritmas.
4. Nustatyta geriausia aktyvaus antisparno tvirtinimo vieta automobiliui „Audi S2 avant“ – 150 mm virš stogo linijos ir 260 mm už galinės automobilio dalies.
5. Rasti tinkamiausi atakos kampai, tiesiajai -  $0^\circ$ , posūkiams -  $10^\circ$
6. Nustatyti oro pasipriešinimo koeficientai CAD modeliui – 0,343 ir 24 kartus sumažintam „Audi S6 avant“ modeliui – 0,361
7. Atlikus tyrimus Kačerginės „Nemuno žiedo“ trasoje nustatiau kaip kinta išcentrinės jėgos, greitis, bei rato įveikimo laikas, su skirtingais atakos kampais.
8. Atlikus ekonominius skaičiavimus radau, jog aktyvaus antisparno gamybos kaina yra 1624,27 € (apytiksliai dvigubai mažesnė, nei analogų esančių rinkoje).

## LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Lexus RC F aktyvus antisparnas. [žiūrėta 2015-05-25]. Prieiga per internetą: [https://secure.drivers.lexus.com/lexusdrivers/magazine/articles/Lexus-News/news\\_2014\\_10\\_10\\_Active-Rear-Spoilers](https://secure.drivers.lexus.com/lexusdrivers/magazine/articles/Lexus-News/news_2014_10_10_Active-Rear-Spoilers)
2. Porsche Panamera aktyvus antisparnas. [žiūrėta 2015-05-25]. Prieiga per internetą: [http://www.tunersgroup.com/active\\_aero\\_history.html](http://www.tunersgroup.com/active_aero_history.html)
3. Universalus aktyvus antisparnas. [žiūrėta 2015-05-26]. Prieiga per internetą: <http://aeromotions.com/products>
4. PAKNYŠ L, Transporto priemonių aerodinamikos pagrindai. – Kaunas: Technologija, 1999.
5. Dinaminis automobilio antisparnas (Patentas US 7770962 B1). [žiūrėta 2015-06-23]. Prieiga per internetą: <http://www.google.com/patents/US7770962>
6. Metodas skirtas kontroliuoti galingsiems serijiniams automobiliams su galiniu antisparnu turinčiu bent vieną reguliuojamą aerodinaminį profilį (Patentas US 20130226414 A1). [žiūrėta 2015-06-23]. Prieiga per internetą: <http://www.google.com/patents/US20130226414>
7. Linijinio aktuatoriaus 3d modelis. [žiūrėta 2015-08-08]. Prieiga per internetą: <http://www.3dcontentcentral.com/secure/download-model.aspx?catalogid=48&id=14>
8. Trasos įveikimo laiko matavimo programa „TrackAddict“. [žiūrėta 2015-02-13]. Prieiga per internetą: <http://racerender.com/TrackAddict/Features.html>
9. Akselerometras. [žiūrėta 2015-08-25]. Prieiga per internetą: <http://www.makeblock.cc/me-3-axis-accelerometer-and-gyro-sensor/>
10. GPS modulis. [žiūrėta 2015-08-27]. Prieiga per internetą: <http://www.rei-labs.net/using-and-programming-a-neo-6-gps-receiver-module/>
11. Arduino mikrokontroleriai. [žiūrėta 2015-08-27]. Prieiga per internetą: <http://arduino.cc>
12. Omron enkoderiai. [žiūrėta 2015-08-27]. Prieiga per internetą: <http://www.ia.omron.com/products/family/486/specification.html>
13. Anglies pluošto mechaniniai parametrai. [žiūrėta 2015-05-26]. Prieiga per internetą: [http://www.ijeit.com/vol%202/Issue%208/IJEIT1412201302\\_28.pdf](http://www.ijeit.com/vol%202/Issue%208/IJEIT1412201302_28.pdf)
14. Lietuvos auto sporto federacijos nuostatai. [žiūrėta 2016-02-17]. Prieiga per internetą: [http://www.lasf.lt/wp-content/uploads/2013/11/2014\\_Ziediniu\\_lenkt\\_pirmenybiu\\_techiniai.pdf](http://www.lasf.lt/wp-content/uploads/2013/11/2014_Ziediniu_lenkt_pirmenybiu_techiniai.pdf)
15. FastLap dalyvių skaičius. [žiūrėta 2016-03-22]. Prieiga per internetą: <http://www.fastlap.lt/fast-lap/dalyviai/>



16. Mini žiedo dalyvių skaičius. [žiūrėta 2016-03-22]. Prieiga per internetą: <http://www.miniziedas.lt>
17. Lietuvos automobilių ilgų distancijų žiedinių lenktynių komandų skaičius. [žiūrėta 2016-03-22]. Prieiga per internetą: <http://www.lasf.lt/ziedas/rezultatai/>
18. Stiklo ir anglies pluošto darbai Lietuvoje. Prieiga per internetą: <https://www.facebook.com/wateam.lt/> [žiūrėta 2016-03-27]