

**ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
INŽINERIJOS KATEDRA**

Mindaugas Klimas

**ALBATROSO (*DIOMEDEA EXULANS*) SKRYDŽIO
MODELIAVIMAS IR OPTIMALIŲ SKRIEJIMO TRAJEKTORIJŲ
OPTIMIZAVIMAS**

Magistro baigiamasis darbas

Šiauliai, 2018

**ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
INŽINERIJOS KATEDRA**

**ALBATROSO (*DIOMEDEA EXULANS*) SKRYDŽIO
MODELIAVIMAS IR OPTIMALIŲ SKRIEJIMO TRAJEKTORIJŲ
OPTIMIZAVIMAS**

Magistro baigiamasis darbas

Autorius – Mindaugas Klimas (MM-16 gr.)

Vadovas – doc. dr. Alfredas Lankauskas

Recenzentas – doc. dr. Sergėjus Rimovskis

Katedros vedėja – dr. Ramunė Klevaitytė

Šiauliai, 2018

TVIRTINU

Mechanikos ir statybos inžinerijos katedros vedėja

Loreta Kelpšienė

2017 m. vasario mėn. 6 d.

MAGISTRO DARBO UŽDUOTIS

Išduota magistrantui (-ei) MINDAUGUI KLIMUI

Darbo tema ALBATROSO (*DIOMEDEA EXULANS*) SKRYDŽIO MODELIAVIMAS IR OPTIMALIŲ SKRIEJIMO TRAJEKTORIJŲ OPTIMIZAVIMAS

Galutinai patvirtinta 2018 m. kovo 7 d. katedros posėdžio protokolu Nr. INZK-3-3.

1. Darbo tikslas

Išnagrinėti klajojančio albatroso (angl. *Wandering albatross*, lot. *Diomedea exulans*) dinaminio skriejimo (angl. *Dynamic soaring*) ypatumus ir jų priklausomybę nuo sklandmens konfigūracijos aerodinaminių charakteristikų.

2. Darbo struktūra

Įvadas

1. Mokslinės literatūros apžvalga - klajojantis albatrosas (*diomedea exulans*).

2. Albatroso (*diomedea exulans*) sklandmens modeliavimas.

2.1. Albatroso sparno modeliavimas.

2.2. Albatroso liemens modeliavimas.

2.3. Albatroso sklandmens modeliavimas.

3. Tyrimo metodika.

4. Albatroso (*diomedea exulans*) dinaminio skriejimo modelio aerodinaminės charakteristikos.

4.1. Albatroso sparno profilio aerodinaminės charakteristikos.

4.2. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų tyrimas.

5. Albatroso (*diomedea exulans*) matematinis modelis.

5.1. Albatroso dinaminio skriejimo trajektorijos.

5.2. Skaičiavimo ir modeliavimo rezultatai.

Lyginamosios išvados.

Literatūros sąrašas.

Priedai

Darbo pateikimo terminas 2018 m. birželio mėn. 1 d.

| | | |
|---------------|---|--------------------------------------|
| Užduotį gavau | <u>Mindaugas Klimas</u> (magistranto vardas, pavardė) | <u>2017-02-06</u> (parašas, data) |
| Vadovas | <u>doc.dr. A. Lankauskas</u> (pareigos, vardas, pavardė) | <u>2017-02-06</u> (parašas, data) |

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS

INŽINERIJOS KATEDRA

Mindaugas Klimas. ALBATROSO (*DIOMEDEA EXULANS*) SKRYDŽIO MODELIAVIMAS IR OPTIMALIŲ SKRIEJIMO TRAJEKTORIJŲ OPTIMIZAVIMAS.
Magistro baigiamasis darbas / vadovas doc.dr. A. Lankauskas.

SANTRAUKA

Baigiamojo magistro darbo tikslas - išnagrinėti klajojančio albatroso (angl. Wandering albatross, lot. *Diomedea exulans*) dinaminio skriejimo (angl. *Dynamic soaring*) ypatumus ir jų priklausomybę nuo sklandmens konfigūracijos aerodinaminių charakteristikų.

Pasinaudodami mokslinės literatūros šaltiniais ir publikacijomis, atkūrėme klajojančio albatroso (angl. *Wandering albatross*, lot. *Diomedea exulans*) 3D modelį skaitinės analizės programomis *AutoCAD* ir *SolidWorks*: a) sparną su kintama geometrija, kurio mostas 3 metrai; b) liemenį su kintama geometrija, kurio ilgis 1,2 metrai. Atlikome albatroso dinaminio skriejimo modelio aerodinaminių charakteristikų analizę. Taip pat aprašėme albatroso dinaminio skriejimo matematinį modelį, nubraižėme dinaminio skriejimo trajektorijas ir atlikome skriejimo skaitinę analizę trajektorijos ekstremumo ir faziniuose taškuose.

Atliktas sumodeliuoto albatroso sparno profilio aerodinaminių charakteristikų tyrimas atakos kampų imtyje $\alpha \in [0^\circ; 25^\circ]$, taip pat albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų tyrimas, kai užsparnių padėtis kinta $AoA = 0^\circ \div 6^\circ$, albatroso judėjimo greitis oro srauto atžvilgiu lygus $V_x = 15$ m/s, bei tyrimą, kai užsparnių padėtis $AoA = -2^\circ \div 0^\circ$, albatroso judėjimo greitis oro srauto atžvilgiu lygus $V_x = 25$ m/s. Taip pat atliktas albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų tyrimas, kai sparno profilio atakos kampas kinta $AoA = 0^\circ \div 10^\circ$. Keičiamas viso sparno profilio atakos kampas ir klajojančio albatroso skrydis modeliuojamas, kai paukštis skrydžio trajektorijos kiltinėje ir grįžtinėje siekia išlaikyti skrydžio greitį oro srauto atžvilgiu $V_x = 20$ m/s, greičio prieaugis dėl galimai veikiančių vėjo gūsių, kurių stiprumas siekia 5 m/s, įtaka nebuvo įvertinta, nes oro srauto gūsių veikimas reliatyvus.

Reikšminiai žodžiai: Klajojantis, albatrosas, diomedea, exulans, aerodinamika, sklandmuo, skrydis, sklendimas, matematinis, modelis.

ŠIAULIAI UNIVERSITY
DEPARTMENT OF ENGINEERING

Mindaugas Klimas. FLIGHT SIMULATION OF ALBATROSS (*DIOMEDEA EXULANS*) AND OPTIMIZATION OF OPTIMAL SOARING TRAJECTORIES.

Master final work / research advisor Assoc. Prof. Dr. A. Lankauskas.

SUMMARY

The purpose of this thesis is to develop and implement a computational process to enable the swift design of different wandering albatross 3D structure wing profile configurations and their aerodynamic analysis.

Wandering albatrosses are known for their capability to soar excessive distances without flapping their wings. Several theories have been proposed in order to explain how albatross extract energy from wind. The first one is that albatross gains prominence using wind-shear, that increase in wind speed with height above ocean surface to gain energy. This type of soaring technique is known as wind-shear soaring. The second theory of wave-slope soaring claims that albatross uses updrafts caused by wind blowing over waves to gain energy.

To develop albatross 3D structure various types of CAD tools were adopted. To recreate and define external shape of albatross we implemented software *AutoCAD*. Recreated 3D structure later was imported into widely spread computational software *SolidWorks* where aerodynamic analysis using *Flow Simulation* was performed. Test case consisted of aerodynamic wing profile studies where wing profile angle of attack changes in the range of $\alpha \in [0^\circ; 25^\circ]$; albatross 3D structure analysis when flaps change in the range of $AoA = 0^\circ \div 6^\circ$, with albatross true air speed of $V_x = 15$ m/s and flaps $AoA = -2^\circ \div 0^\circ$, when true air speed reached $V_x = 25$ m/s. To enchant performance of albatross model and its aerodynamic characteristics series of parametric optimizations were performed.

Keywords: Wandering, albatross, diomedea, exulans, aerodynamics, dynamic, soaring, optimal, flight, trajectories.

SANTRUMPŲ SĄRAŠAS

| | | |
|---------------------|---|---|
| c | - | profilio styga |
| c_r | - | sparno pagrindo styga |
| c_t | - | sparno galo styga |
| T | - | profilio storis |
| t | - | santykinis profilio storis |
| X_T | - | didžiausia profilio storio vieta |
| x_t | - | santykinė didžiausio storio vieta |
| F | - | profilio gaubtumas |
| f | - | santykinis profilio gaubtumas |
| X_F | - | didžiausia profilio gaubtumo vieta |
| x_f | - | santykinė didžiausio gaubtumo vieta |
| R_{LE} | - | įbrėžto apskritimo apskritimo spindulys |
| r_{LE} | - | santykinis profilio noselės kreivumo spindulys |
| $\Delta\theta_{TE}$ | - | galinės briaunos viršutinio ir apatinio kontūro kampas |
| Λ | - | sparno strėliškumo kampas |
| P | - | slėgis (angl. <i>Pressure</i>) |
| ρ | - | tankis (angl. <i>Density</i>) |
| T | - | temperatūra (angl. <i>Temperature</i>) |
| a | - | garso greitis (angl. <i>Speed of Sound</i>) |
| μ | - | klampumas (angl. <i>Viscosity</i>) |
| ν | - | kinematinis klampumas (angl. <i>Kinematic viscosity</i>) |
| k | - | šilumos laidumas (angl. <i>Thermal conductivity</i>) |
| R | - | dujų konstanta (angl. <i>Gas constant</i>) |
| C_p | - | savitoji kūno šiluma (angl. <i>Specific heat</i>) |
| C_v | - | kūno šilumos talpa (angl. <i>Specific heat</i>) |
| γ | - | šilumos perdavimo koeficientas (angl. <i>Ratio of Specific Heats</i>) |
| g | - | laisvojo kritimo pagreitis (angl. <i>Gravitational acceleration</i>) |
| AoA | - | atakos kampas (angl. <i>Angle of attack</i>) |
| α_{kr} | - | kritinis sparno profilio atakos kampas |
| GS | - | tiriamąjį objekto greitis žemės paviršiaus atžvilgiu (angl. <i>Ground Speed</i>) |

| | | |
|-----------|---|---|
| TAS | - | greitis skrendantį tiriamąjį objektą supančio oro srauto atžvilgiu (angl. <i>True Air Speed</i>) |
| l | - | sklendimo nuotolis |
| H | - | sklendimo aukštis |
| K | - | aerodinaminės kokybės koeficientas |
| L | - | sparno profilio keliamoji jėga |
| D | - | sparno profilio pasipriešinimo jėga |
| C_L | - | sparno profilio keliamosios jėgos koeficientas |
| C_D | - | sparno profilio pasipriešinimo jėgos koeficientas |
| V_{skl} | - | sklendimo greitis |
| V_y | - | žemėjimo sparta |
| θ | - | kokybės kampas |
| D_{ap} | - | sparno profilinio pasipriešinimo jėga |
| D_{ai} | - | sparno indukcinio pasipriešinimo jėga |
| V | - | oro srauto greitis |
| S | - | sparno plotas |
| θ | - | kokybės kampas |

LENTELIŲ SĄRAŠAS

- 1 lentelė. Albatroso sparno profilio charakteristika.
- 2 lentelė. Sparno profilio stygos diferencijavimas sparno ilgiu.
- 3 lentelė. ISA aplinkos sąlygos jūros lygyje.
- 4 lentelė. Sparno profilio aerodinaminės charakteristikos YZ plokštumoje. $AoA=0^\circ$. $Re=403274$.
- 5 lentelė. Sparno profilio paviršiaus plotas apribotoje skaičiuotinėje erdvėje $AoA=0^\circ\div 25^\circ$. $Re=403274$.
- 6 lentelė. Sparno profilio keliamosios jėgos koeficientas C_L . $AoA=0^\circ\div 25^\circ$. $Re=403274$.
- 7 lentelė. Sparno profilio pasipriešinimo jėgos koeficientas C_D . $AoA=0^\circ\div 25^\circ$. $Re=403274$.
- 8 lentelė. Sparno profilio pilnutinės aerodinaminės jėgos koeficientas C_R . $AoA=0^\circ\div 25^\circ$. $Re=403274$.
- 9 lentelė. C_L priklausomybė nuo atakos kampo α , Re .
- 10 lentelė. C_D priklausomybė nuo atakos kampo α , Re .
- 11 lentelė. C_R priklausomybė nuo atakos kampo α , Re .
- 12 lentelė. C_L/C_D priklausomybė nuo atakos kampo α , Re .
- 13 lentelė. C_L ir C_D priklausomybė nuo atakos kampo α , Re .
- 14 lentelė. Albatroso sklandmens paviršiaus plotas apribotoje skaičiuotinėje erdvėje. $AoA=-2^\circ\div 6^\circ$.
- 15 lentelė. Klajojančio albatroso skrydžio charakteristikos [22].
- 16 lentelė. Albatroso sklandmens keliamosios jėgos koeficientas C_L . $AoA=0^\circ\div 6^\circ$.
- 17 lentelė. Albatroso sklandmens pasipriešinimo jėgos koeficientas C_D . $AoA=0^\circ\div 6^\circ$.
- 18 lentelė. Albatroso sklandmens pilnutinės jėgos koeficientas C_R . $AoA=0^\circ\div 6^\circ$.
- 19 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių jėgų koeficientų priklausomybė nuo atakos kampo $\alpha\in[0^\circ; 6^\circ]$. $V_x = 15$ m/s.
- 20 lentelė. Albatroso sklandmens keliamosios jėgos koeficientas C_L . $AoA=-2^\circ\div 0^\circ$.
- 21 lentelė. Albatroso sklandmens pasipriešinimo jėgos koeficientas C_D . $AoA=-2^\circ\div 0^\circ$.
- 22 lentelė. Albatroso sklandmens pilnutinės jėgos koeficientas C_R . $AoA=-2^\circ\div 0^\circ$.
- 23 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių jėgų koeficientų priklausomybė nuo atakos kampo $\alpha\in[-2^\circ; 0^\circ]$. $V_x = 25$ m/s.
- 24 lentelė. Albatroso sklandmens keliamosios jėgos koeficientas C_L . $AoA=0^\circ\div 10^\circ$.
- 25 lentelė. Albatroso sklandmens pasipriešinimo jėgos koeficientas C_D . $AoA = 10^\circ$. $V_x = 20$ m/s.
- 26 lentelė. Albatroso sklandmens pilnutinės jėgos koeficientas C_R . $AoA=0^\circ\div 10^\circ$. $V_x = 20$ m/s.

27 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių jėgų koeficientų priklausomybė nuo atakos kampo $\alpha \in [0^\circ; 10^\circ]$. $V_x = 20$ m/s.

28 lentelė. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=1^\circ$, $Re=403274$.

29 lentelė. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=2^\circ$, $Re=403274$.

30 lentelė. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=3^\circ$, $Re=403274$.

31 lentelė. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=4^\circ$, $Re=403274$.

32 lentelė. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=5^\circ$, $Re=403274$.

33 lentelė. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=6^\circ$, $Re=403274$.

34 lentelė. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=7^\circ$, $Re=403274$.

35 lentelė. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=8^\circ$, $Re=403274$.

36 lentelė. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=9^\circ$, $Re=403274$.

37 lentelė. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=10^\circ$, $Re=403274$.

38 lentelė. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=11^\circ$, $Re=403274$.

39 lentelė. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=12^\circ$, $Re=403274$.

40 lentelė. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=13^\circ$, $Re=403274$.

41 lentelė. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=14^\circ$, $Re=403274$.

42 lentelė. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=15^\circ$, $Re=403274$.

43 lentelė. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=16^\circ$, $Re=403274$.

44 lentelė. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=17^\circ$, $Re=403274$.

45 lentelė. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=18^\circ$, $Re=403274$.

46 lentelė. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=19^\circ$, $Re=403274$.

47 lentelė. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=20^\circ$, $Re=403274$.

48 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA = 0^\circ$, $V_x = 15$ m/s.

49 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA = 1^\circ$, $V_x = 15$ m/s.

50 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA = 2^\circ$, $V_x = 15$ m/s.

51 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA = 3^\circ$, $V_x = 15$ m/s.

52 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA = 4^\circ$, $V_x = 15$ m/s.

53 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA = 5^\circ$, $V_x = 15$ m/s.

54 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA = 6^\circ$, $V_x = 15$ m/s.

55 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA = 0^\circ$, $V_x = 25$ m/s.

56 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA = -1^\circ$, $V_x = 25$ m/s.

57 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA = -2^\circ$, $V_x = 25$ m/s.

58 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=0^\circ$.

59 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=1^\circ$.

60 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=2^\circ$.

61 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=3^\circ$.

62 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=4^\circ$.

63 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=5^\circ$.

64 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=6^\circ$.

65 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=7^\circ$.

66 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=8^\circ$.

67 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=9^\circ$.

68 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=10^\circ$.

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

- 1 pav. Klajojantis albatrosas (angl. *Wandering albatross*, lot. *Diomedea exulans*) [6].
- 2 pav. Klajojančio albatroso (lot. *Diomedea exulans*) migracijos zonos ir buveinės vasaros ir žiemos metų laiku [5].
- 3 pav. Didžiųjų vandenyno srovių srautų struktūra [7].
- 4 pav. Albatroso dinaminio sklendimo (angl. *dynamic soaring*) trajektorijos ir pagrindiniai principai [8].
- 5 pav. Albatroso, gandro, erelio ir vanago nesimetrinių sparno profilių ilgiai [9].
- 6 pav. Albatroso sparno profilio dalijimas horizontaliai - vertikaliais pjūviais.
- 7 pav. Albatroso sparno profilio charakteristika.
- 8 pav. Albatroso projekcijų horizontalieji ir vertikalieji pjūviai.
- 9 pav. Albatroso kairiojo sparno vertikalų pjūvių matmenys.
- 10 pav. Albatroso sparno geometrinis kreivumas.
- 11 pav. Kintamos geometrijos albatroso sparno išklotinė.
- 12 pav. Albatroso sparno aksonometrinis modelis.
- 13 pav. Albatroso projekcijų horizontalieji pjūviai.
- 14 pav. Albatroso liemens projekcijos x ir y ašyse.
- 15 pav. Albatroso liemens konstrukcijos skersinių profilių kontūrai.
- 16 pav. Kintamos geometrijos albatroso aksonometrinis vaizdas x, y ir z ašyse.
- 17 pav. Albatroso 3 dimensijų modelis su x, y, z ašimis.
- 18 pav. Albatroso 3 dimensijų modelis su matmenimis.
- 19 pav. Kreiserinių skrydžio greičių diagrama [19].
- 20 pav. Sparno profilį veikiančios jėgos (20 a); Aerodinaminės jėgos (20 b) [21].
- 21 pav. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų tyrimo skaičiuotinė erdvė.
- 22 pav. Sparno profilį aptekančio oro srauto linijos YZ plokštumoje. $AoA=0^\circ$. $Re=403274$.
- 23 pav. Slėgių ir srauto greičio pasiskirstymas YZ plokštumoje. $AoA=0^\circ$. $Re=403274$.
- 24 pav. Slėgių ir srauto greičio pasiskirstymas YZ plokštumoje. $AoA=0^\circ$. $Re=403274$.
- 25 pav. Koeficientų C_L , C_D ir C_R priklausomybė nuo atakos kampo. $\alpha = 0^\circ \div 25^\circ$. $Re = 403274$.
- 26 pav. Slėgių ir srauto greičio pasiskirstymas YZ plokštumoje. $AoA=0^\circ$. $Re=403274$.
- 27 pav. Slėgių ir srauto greičio pasiskirstymas YZ plokštumoje. $AoA=6^\circ$. $Re=403274$.
- 28 pav. Slėgių ir srauto greičio pasiskirstymas YZ plokštumoje. $AoA=16^\circ$. $Re=403274$.
- 29 pav. Albatroso skriejimo trajektorija jūros paviršiuje [22].

- 30 pav. Ideali albatroso skriejimo trajektorijos ciklo schema jūros paviršiuje [22].
- 32 pav. Albatroso sparno aksonometrinis modelis su užsparniais.
- 33 pav. Albatroso sparno 3D modelis su užsparniais.
- 34 pav. Albatroso sparno aksonometrinis modelis su užsparniais.
- 36 pav. Albatroso sparno profilio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras pjūvio vietoje.
 $AoA=6^\circ$. $V_x = 15$ m/s.
- 37 pav. Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinatinių plokštumoje YZ. $AoA=6^\circ$. $V_x = 15$ m/s.
- 38 pav. Albatroso sklandmens greičio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinatinių plokštumoje YZ. $AoA=6^\circ$. $V_x = 15$ m/s.
- 39 pav. Albatroso 3D modelio koeficientų C_L , C_D ir C_R priklausomybė nuo užsparnių atakos kampo.
- 40 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekancio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras apribotoje skaičiuotinėje erdvėje. $AoA=6^\circ$. $V_x=15$ m/s.
- 41 pav. Koeficientų C_L ir C_D priklausomybę nuo atakos kampo $AoA=0\div 6^\circ$. $V_x = 15$ m/s.
- 42 pav. Albatroso sklandmens turbulentinių oro srovių spektras. $AoA=6^\circ$. $V_x=15$ m/s.
- 43 pav. Albatroso sparno profilio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras pjūvio vietoje.
 $AoA=-2^\circ$. $V_x = 25$ m/s.
- 44 pav. Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinatinių plokštumoje YZ. $AoA=-2^\circ$. $V_x = 25$ m/s.
- 45 pav. Albatroso sklandmens greičio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinatinių plokštumoje YZ. $AoA=-2^\circ$. $V_x = 25$ m/s.
- 46 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekancio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras apribotoje skaičiuotinėje erdvėje. $AoA=-2^\circ$. $V_x = 25$ m/s.
- 47 pav. Albatroso sklandmens turbulentinių oro srovių spektras. $AoA=-2^\circ$. $V_x = 25$ m/s.
- 48 pav. Albatroso sklandmens koeficientų C_L , C_D ir C_R priklausomybė nuo užsparnių atakos kampo.
 $\alpha=-2^\circ\div 0^\circ$.
- 49 pav. Koeficientų C_L ir C_D priklausomybę nuo atakos kampo $AoA=-2\div 0^\circ$. $V_x = 25$ m/s.
- 50 pav. Albatroso sparno ir liemens skeleto vaizdas iš apačios [15].
- 51 pav. Albatroso sparno profilio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras pjūvio vietoje.
 $AoA=10^\circ$. $V_x = 20$ m/s.
- 52 pav. Albatroso sklandmens oro srauto greičių pasiskirstymo spektras. $AoA=10^\circ$. $V_x = 20$ m/s.

53 pav. Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinatinių plokštumoje YZ. $AoA=10^\circ$. $V_x = 20$ m/s.

54 pav. Albatroso sklandmens greičio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinatinių plokštumoje YZ. $AoA=0^\circ \div 10^\circ$. $V_x = 20$ m/s.

55 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekancio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras apribotoje skaičiuotinėje erdvėje. $AoA=10^\circ$. $V_x = 20$ m/s.

56 pav. Albatroso 3D modelio koeficientų C_L , C_D ir C_R priklausomybė nuo atakos kampo. $\alpha=0^\circ \div 10^\circ$.

57 pav. Koeficientų C_L ir C_D priklausomybę nuo atakos kampo $\alpha=0^\circ \div 10^\circ$. $V_x = 20$ m/s.

58 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekancio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras apribotoje skaičiuotinėje erdvėje ašyse YZ. $AoA=10^\circ$. $V_x = 20$ m/s.

59 pav. Albatroso sklandmens turbulentinių oro srovių spektras. $AoA=10^\circ$. $V_x = 20$ m/s.

60 pav. Optimizuotas albatroso sklandmens dinaminio skriejimo matematinis modelis.

61 pav. Sparno profilio aerodinaminių tyrimų duomenų įvestis programoje SolidWorks.

62 pav. Sparno profilio aerodinaminių tyrimų duomenų įvestis programoje SolidWorks.

63 pav. Sparno profilio aerodinaminių tyrimų duomenų įvestis programoje SolidWorks.

64 pav. Sparno profilio aerodinaminių tyrimų duomenų įvestis programoje SolidWorks.

65 pav. Sparno profilio aerodinaminių tyrimų duomenų įvestis programoje SolidWorks.

66 pav. Sparno profilio aerodinaminių tyrimų duomenų įvestis programoje SolidWorks.

67 pav. Sparno profilio aerodinaminių tyrimų duomenų įvestis programoje SolidWorks.

68 pav. Sparno profilio aerodinaminių tyrimų duomenų įvestis programoje SolidWorks.

69 pav. Albatroso sparno profilį aptekancio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=1^\circ$. $Re=403274$.

70 pav. Albatroso sparno profilį aptekancio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=2^\circ$. $Re=403274$.

71 pav. Albatroso sparno profilį aptekancio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=3^\circ$. $Re=403274$.

72 pav. Albatroso sparno profilį aptekancio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=2^\circ$. $Re=403274$.

73 pav. Albatroso sparno profilį aptekancio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=5^\circ$. $Re=403274$.

74 pav. Albatroso sparno profilį aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras.
 $AoA=6^\circ$. $Re=403274$.

75 pav. Albatroso sparno profilį aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras.
 $AoA=7^\circ$. $Re=403274$.

76 pav. Albatroso sparno profilį aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras.
 $AoA=8^\circ$. $Re=403274$.

77 pav. Albatroso sparno profilį aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras.
 $AoA=9^\circ$. $Re=403274$.

78 pav. Albatroso sparno profilį aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras.
 $AoA=10^\circ$. $Re=403274$.

79 pav. Albatroso sparno profilį aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras.
 $AoA=11^\circ$. $Re=403274$.

80 pav. Albatroso sparno profilį aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras.
 $AoA=12^\circ$. $Re=403274$.

81 pav. Albatroso sparno profilį aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras.
 $AoA=13^\circ$. $Re=403274$.

82 pav. Albatroso sparno profilį aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras.
 $AoA=14^\circ$. $Re=403274$.

83 pav. Albatroso sparno profilį aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras.
 $AoA=15^\circ$. $Re=403274$.

84 pav. Albatroso sparno profilį aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras.
 $AoA=16^\circ$. $Re=403274$.

85 pav. Albatroso sparno profilį aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras.
 $AoA=16^\circ$. $Re=403274$.

86 pav. Albatroso sparno profilį aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras.
 $AoA=17^\circ$. $Re=403274$.

87 pav. Albatroso sparno profilį aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras.
 $AoA=18^\circ$. $Re=403274$.

88 pav. Albatroso sparno profilį aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras.
 $AoA=19^\circ$. $Re=403274$.

89 pav. Albatroso sparno profilį aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras.
 $AoA=20^\circ$. $Re=403274$.

90 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Užsparnių padėtis $AoA=0^\circ$. $V_x = 15$ m/s.

91 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Užsparnių padėtis $AoA=0^\circ$. $V_x = 15$ m/s.

92 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Užsparnių padėtis $AoA=1^\circ$. $V_x = 15$ m/s.

93 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Užsparnių padėtis $AoA=1^\circ$. $V_x = 15$ m/s.

94 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Užsparnių padėtis $AoA=2^\circ$. $V_x = 15$ m/s.

95 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Užsparnių padėtis $AoA=2^\circ$. $V_x = 15$ m/s.

96 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Užsparnių padėtis $AoA=3^\circ$. $V_x = 15$ m/s.

97 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Užsparnių padėtis $AoA=3^\circ$. $V_x = 15$ m/s.

98 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Užsparnių padėtis $AoA=4^\circ$. $V_x = 15$ m/s.

99 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Užsparnių padėtis $AoA=4^\circ$. $V_x = 15$ m/s.

100 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Užsparnių padėtis $AoA=5^\circ$. $V_x = 15$ m/s.

101 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Užsparnių padėtis $AoA=5^\circ$. $V_x = 15$ m/s.

102 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Užsparnių padėtis $AoA=6^\circ$. $V_x = 15$ m/s.

103 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Užsparnių padėtis $AoA=6^\circ$. $V_x = 15$ m/s.

104 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Užsparnių padėtis $AoA=0^\circ$. $V_x = 25$ m/s.

105 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Užsparnių padėtis $AoA=0^\circ$. $V_x = 25$ m/s.

106 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Užsparnių padėtis $AoA=-1^\circ$. $V_x = 25$ m/s.

107 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Užsparnių padėtis $AoA=-1^\circ$. $V_x = 25$ m/s.

108 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Užsparnių padėtis $AoA=-2^\circ$. $V_x = 25$ m/s.

109 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Užsparnių padėtis $AoA=-2^\circ$. $V_x = 25$ m/s.

110 pav. Albatroso 3D modelio aerodinaminių tyrimų duomenų įvestis programoje SolidWorks.

111 pav. Albatroso 3D modelio aerodinaminių tyrimų duomenų įvestis programoje SolidWorks.

112 pav. Albatroso 3D modelio aerodinaminių tyrimų duomenų įvestis programoje SolidWorks.

113 pav. Albatroso 3D modelio aerodinaminių tyrimų duomenų įvestis programoje SolidWorks.

114 pav. Albatroso 3D modelio aerodinaminių tyrimų duomenų įvestis programoje SolidWorks.

115 pav. Albatroso 3D modelio aerodinaminių tyrimų duomenų įvestis programoje SolidWorks.

116 pav. Albatroso 3D modelio aerodinaminių tyrimų duomenų įvestis programoje SolidWorks.

117 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Sparno profilio atakos kampas $AoA=1^\circ$. $V_x = 20$ m/s.

118 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Sparno profilio atakos kampas $AoA=2^\circ$. $V_x = 20$ m/s.

119 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Sparno profilio atakos kampas $AoA=3^\circ$. $V_x = 20$ m/s.

120 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Sparno profilio atakos kampas $AoA=4^\circ$. $V_x = 20$ m/s.

121 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Sparno profilio atakos kampas $AoA=5^\circ$. $V_x = 20$ m/s.

122 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Sparno profilio atakos kampas $AoA=6^\circ$. $V_x = 20$ m/s.

123 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Sparno profilio atakos kampas $AoA=7^\circ$. $V_x = 20$ m/s.

124 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Sparno profilio atakos kampas $AoA=8^\circ$. $V_x = 20$ m/s.

125 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Sparno profilio atakos kampas $AoA=9^\circ$. $V_x = 20$ m/s.

126 pav. Albatroso sklandmens oro srauto greičių pasiskirstymo spektras. $AoA=10^\circ$. $V_x = 20$ m/s.

127 pav. Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinacių plokštumoje YX. $AoA=10^\circ$. $V_x = 20$ m/s.

128 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras apribotoje skaičiuotinėje erdvėje, koordinacių plokštumoje YX iš priekio. $AoA=10^\circ$. $V_x = 20$ m/s.

129 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras apribotoje skaičiuotinėje erdvėje, koordinacių plokštumoje YX iš galo. $AoA=10^\circ$. $V_x = 20$ m/s.

130 pav. Albatroso skrydžio metu veikiančių vektorių priklausomybių iliustracija.

131 pav. Optimizuota albatroso dinaminio skriejimo matematinio modelio trajektorija.

132 pav. Optimizuota albatroso dinaminio skriejimo matematinio modelio trajektorija.

TURINYS

| | |
|---|----|
| MAGISTRO DARBO UŽDUOTIS | 3 |
| SANTRAUKA | 5 |
| SUMMARY | 6 |
| SANTRUMPŲ SĄRAŠAS | 7 |
| LENTELIŲ SĄRAŠAS | 9 |
| PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS | 13 |
| ĮVADAS | 21 |
| 1. MOKSLINĖS LITERATŪROS APŽVALGA - KLAJOJANTIS ALBATROSAS (<i>DIOMEDEA EXULANS</i>)..... | 23 |
| 2. ALBATROSO (<i>DIOMEDEA EXULANS</i>) SKLANDMENS MODELIAVIMAS | 27 |
| 2.1. ALBATROSO SPARNO MODELIAVIMAS | 27 |
| 2.2. ALBATROSO LIEMENS MODELIAVIMAS | 34 |
| 2.3. ALBATROSO SKLANDMENS MODELIAVIMAS | 36 |
| 3. TYRIMO METODIKA..... | 38 |
| 4. ALBATROSO (<i>DIOMEDEA EXULANS</i>) DINAMINIO SKRIEJIMO MODELIO AERODINAMINĖS CHARAKTERISTIKOS | 40 |
| 4.1. ALBATROSO SPARNO PROFILIO AERODINAMINĖS CHARAKTERISTIKOS..... | 40 |
| 4.2. ALBATROSO SKLANDMENS AERODINAMINIŲ CHARAKTERISTIKŲ TYRIMAS... | 56 |
| 5. ALBATROSO (<i>DIOMEDEA EXULANS</i>) MATEMATINIS MODELIS..... | 85 |
| 5.1. ALBATROSO DINAMINIO SKRIEJIMO TRAJEKTORIJOS..... | 85 |
| 5.2. SKAIČIAVIMO IR MODELIAVIMO REZULTATAI..... | 86 |
| LYGINAMOSIOS IŠVADOS | 87 |
| LITERATŪROS SĄRAŠAS | 90 |
| PRIEDAI | 92 |

ĮVADAS

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO TIKSLAS

Išnagrinėti klajojančio albatroso (angl. *Wandering albatross*, lot. *Diomedea exulans*) dinaminio skriejimo (angl. *Dynamic soaring*) ypatumus ir jų priklausomybę nuo sklandmens konfigūracijos aerodinaminių charakteristikų.

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO UŽDAVINIAI

1. Atlikus mokslinės literatūros analizę, sumodeliuoti klajojančio albatroso (angl. *Wandering albatross*, lot. *Diomedea exulans*):
 - 1.1. sparną su kintama geometrija,
 - 1.2. liemenį su kintama geometrija,
 - 1.3. skriejimo aplinkoje su vėjo gradientu dinaminį ir kinematinį modelį.
2. Atlikti albatroso dinaminio skriejimo modelio aerodinaminių charakteristikų analizę.
3. Aprašyti albatroso dinaminio modelio kinematinio skriejimo matematinį modelį.
4. Nubraižyti dinaminio modelio kinematinio skriejimo trajektorijas ir atlikti albatroso dinaminio skriejimo modelio skaitinę analizę skriejimo trajektorijos ekstremumo taškuose.
5. Atlikti albatroso dinaminio skriejimo modelio rezultatų analizę ir pateikti lyginamąsias išvadas.

Paukščių populiacija - svarbus biologinės įvairovės rodiklis. Pažangių šiuolaikinių technologijų pagalba galime išsamiai pažinti ir analizuoti paukščių rūšis, nustatyti jų paplitimą, stebėti migraciją. Kiekviena paukščių rūšis išsiskiria skrydžio technika ir jos pritaikymu. Skrydžio technika priklauso ne tik nuo paukščio rūšies, bet ir nuo biometrinių savybių, tokių kaip sparno mostas, sparno profilis, nuo sklandmens geometrinių ir aerodinaminių charakteristikų, nuo kūno svorio ir meteorologinių sąlygų. Išskiriamos dvi pagrindinės paukščių skrydžio technikos rūšys: skrydis, kurio metu paukštis skrenda plasnodamas sparnais (angl. *flapping flight*); skrydis, kurio metu paukštis neplasnoja sparnais (angl. *non-flapping flight*) [1]. Skrydžio technika, kurios metu paukštis neplasnoja – skirstoma į dvi rūšis: sklandymą (angl. *soaring*) ir sklendimą (angl. *gliding*). Kai kurios paukščių rūšys, pavyzdžiui, vanaginių šeimos (lot. *Accipitridae*, lot. *Cathartidae*, lot. *Pandionidae*, lot. *Sagittariidae*), sklendo izoliuotuose aukštyneigiuose oro srautuose, vadinamuose termikais. Termikai gali būti skirstomi į dvi rūšis:

radiaciniai termikai, kurie susidaro dėl saulės radiacijos ir advekciniai termikai, kurie susidaro slenkant šaltoms oro masėms. Dėl saulės spinduliuotės išildyto paviršiaus labiau išauga virš jo esančio oro temperatūra. Kylant orui į viršų, prie pat žemės paviršiaus susidaro žemesnio slėgio sritis, o jam leidžiantis virš vėsesnio paviršiaus susidaro aukštesnio slėgio sritis. Taigi prie pat žemės oras pradeda judėti šiltesnio paviršiaus link, kur jis šyla ir pradeda kilti į viršų. Tokiu būdu susidaro uždara terminė cirkuliacija, kurios stiprumas ir kartu vėjo greitis priklauso nuo paviršių terminio kontrasto [2]. Šis sklandymo būdas dar kitaip galėtų būti vadinamas statiniu sklandymo būdu. Šios rūšies paukščiai, pasinaudodami antrąją skrydžio technikos rūšimi – sklendimu (angl. *gliding*), sklendžia žemėdami tam, kad būtų išlaikytas pastovus sklendimo greitis. Taip pat galėtų būti išskirta dar viena skrydžio technikos rūšis, kai paukštis neplasnodamas geba sklandyti pasinaudodamas oro srauto aukštyneigiu judėjimu, dažniausiai vykstančiu orui kylant kalnų šlaitais [2] (angl. *slope soaring*).

Rečiau paplitęs paukščių skrydžio technikos būdas – dinaminis sklandymo būdas (angl. *dynamic soaring*). Ši išskirtinė technika leidžia paukščiui, pasinaudojant horizontaliu oro srauto greičiu (angl. *wind-shear*), įgyti altitudę ir vertikalų gradientą. Naudojantis dinaminio sklandymo būdu, paukščiai sklendžia dviejų rūšių trajektorijomis: apskritimo trajektorija arba S formos trajektorija. Kiekviena šių trajektorijų gali būti charakterizuojama periodo puse. Pusę dinaminio sklendimo trajektorijos paukštis išnaudoja aukščiui įgyti sklendžiant prieš oro srautą, o antrąją sklendimo trajektorijos pusę – greičiui įgyti sklendžiant pagal oro srauto judėjimo kryptį. Šios rūšies skrydžio technika labai efektyvi, leidžianti dinamiškai sklandyti didžiulius nuotolius.

Klajojantis albatrosas (angl. *Wandering albatross*, lot. *Diomedea exulans*) – ilgasparnis jūrų paukštis, puikiai įvaldęs dinaminio sklandymo skrydžio techniką. Ši skrydžio technikos rūšis analizuojama ir aprašoma įvairių rūšių mokslininkų ir specialistų kiek daugiau nei šimtmetį [3][4].

Magistro baigiamajame darbe pasinaudodami mokslinės literatūros šaltiniais ir publikacijomis atkursime klajojančio albatroso (angl. *Wandering albatross*, lot. *Diomedea exulans*) 3D modelį skaitinės analizės programų pagalba, atliksime albatroso dinaminio skriejimo modelio aerodinaminių charakteristikų analizę, aprašysime albatroso dinaminio skriejimo matematinį modelį, nubraižysime dinaminio skriejimo trajektorijas ir atliksime skriejimo skaitinę analizę trajektorijos ekstremumo ir faziniuose taškuose. Šio magistro baigiamojo darbo tyrimo ir skaitinės analizės metu priimta, jog albatrosas naudoja skrydžio technikos rūšį, kurios metu sklendžia neplasnodamas sparnais (angl. *non-flapping flight*).

1. MOKSLINĖS LITERATŪROS APŽVALGA - KLAJOJANTIS ALBATROSAS (DIOMEDEA EXULANS)

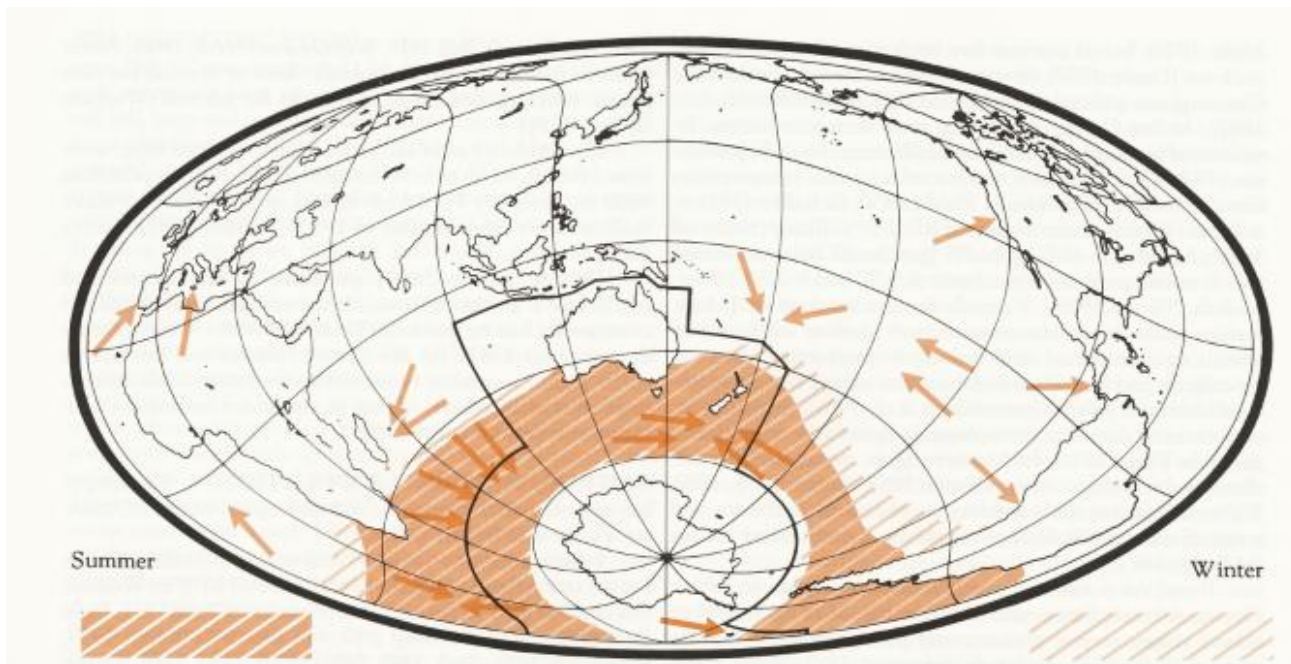
Klajojantis albatrosas (angl. *Wandering albatross*, lot. *Diomedea exulans*) – priklauso *Diomedeidae* albatrosų šeimai. Tai ilgasparnis paukštis, kurio liemens ilgis 110-135 cm, sparno mojis 250-350 cm, svoris 6-11 kg. Albatroso uodega – trumpa, pleišto formos.

Klajojantis albatrosas matmenimis ir anatomija panašus tik su didžiaisiais *Diomedeidae* šeimos albatrosais – karališkuoju (angl. *Royal*, lot. *D. Epomphora*) ir Amsterdamo (angl. *Amsterdam*, lot. *D. Amsterdamensis*). Priklausomai nuo nuolatinės albatrosų gyvenamosios vietos, matmenys gali neženkliai skirtis. Priklausomai nuo lyties, albatroso patelių matmenys vidutiniškai mažesni nei patinėlių [5].



1 pav. Klajojantis albatrosas (angl. *Wandering albatross*, lot. *Diomedea exulans*) [6]

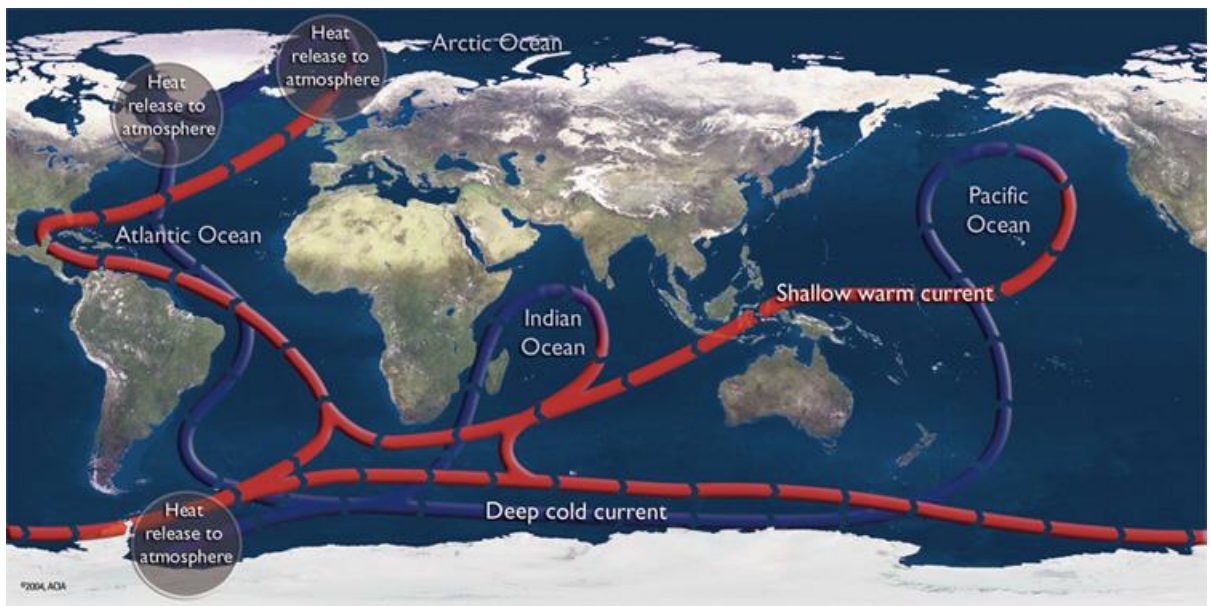
Klajojantis albatrosas – jūrinis paukštis. Antarktidoje dažiausiai pastebimas atvirame vandenyne, retai priartėja prie žemyninės dalies, ledynų. Vėlyvą vasarą galima pastebėti albatrosus ant ledo lyčių šalia Antarktidos ledynų. Taip pat pastebima, jog gyvenamajai vietai ir perėjimui albatrosai koncentruojasi prie atvirų skardžių ir žemyninės dalies, pro kurias teka vandenyno srovės. Dalis albatrosų visus metus lieka atvirame vandenyne, pelaginiuose vandenyse (angl. *pelagic water*).



2 pav. Klajojančio albatroso (lot. *Diomedea exulans*) migracijos zonos ir buveinės vasaros ir žiemos metų laiku [5]

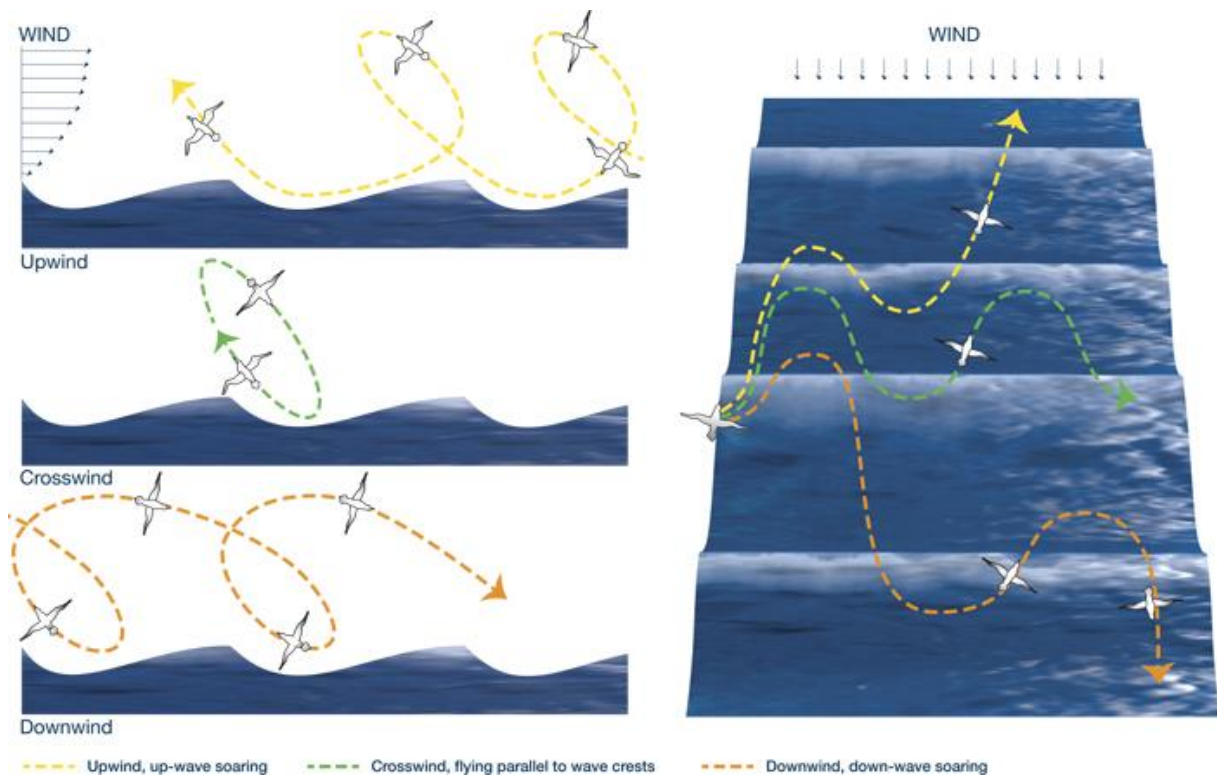
Nustatyta, jog albatrosai renkasi vandens paviršius, kurių temperatūra svyruoja nuo $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ iki $24\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pietų pusrutulyje, Indijos vandenyne, albatrosai renkasi vandens paviršių, kurio temperatūra svyruoja nuo $6,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ iki $7,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Prie Pietų Amerikos pakrančių – $8\text{--}12\text{ }^{\circ}\text{C}$. Atlanto vandenyno pietuose pastebimos dvi albatrosų gausa pasižyminčios zonos, kurios vandenyno paviršiaus temperatūra siekia $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ir antroji zona, kurioje temperatūra svyruoja nuo 9 iki $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ [5].

3 pav. pateikiama pasaulio žemėlapis su didžiųjų vandenyno srovių srautų struktūra. Ilustracijoje raudona spalva žymi šalia vandenyno paviršiaus tekančias šiltąsias sroves. Mėlyna spalva iliustruoja giliausias šaltąsias vandenyno sroves. Būtina pažymėti, jog šiltosioms srovėms paviršiuje atšalus, jos leidžiasi į vandenyno gilumą, įgijusios teigiamą temperatūros gradientą – kyla į vandenyno paviršių, taip srovės nuolatos cirkuliuoja vandenynuose.



3 pav. Didžiųjų vandenyno srovių srautų struktūra [7]

Klajojantis albatrosas dinaminiam skriejimui naudoja bangos fronto sukuriamą vertikalų vėjo greičio gradientą kintantį horizontaliai ir veikiantį jūros paviršiuje iki 15 metrų aukščio [5].



4 pav. Albatroso dinaminio sklendimo (angl. *dynamic soaring*) trajektorijos ir pagrindiniai principai [8]

Įvade trumpai aprašyta skrydžio technika, kurios metu albatrosas pasinaudodamas horizontaliu oro srauto greičiu įgyja aukštį, vertikalų gradientą. Naudodamasis dinaminio skriejimo būdu, albatrosas pasirinktinai sklendžia dviejų rūšių trajektorijomis: apskritimo trajektorija arba S formos trajektorija. Kiekviena šių trajektorijų gali būti charakterizuojama periodo puse. Pusė dinaminio skriejimo periodo trajektorijos paukštis išnaudoja aukščiui įgyti sklendžiant prieš oro srautą, o antrąją sklendimo periodo trajektorijos pusę - greičiui įgyti sklendžiant pagal oro srauto judėjimo kryptį. Šios rūšies skrydžio technika labai efektyvi, leidžianti dinamiškai skrieti didžiulius nuotolius.

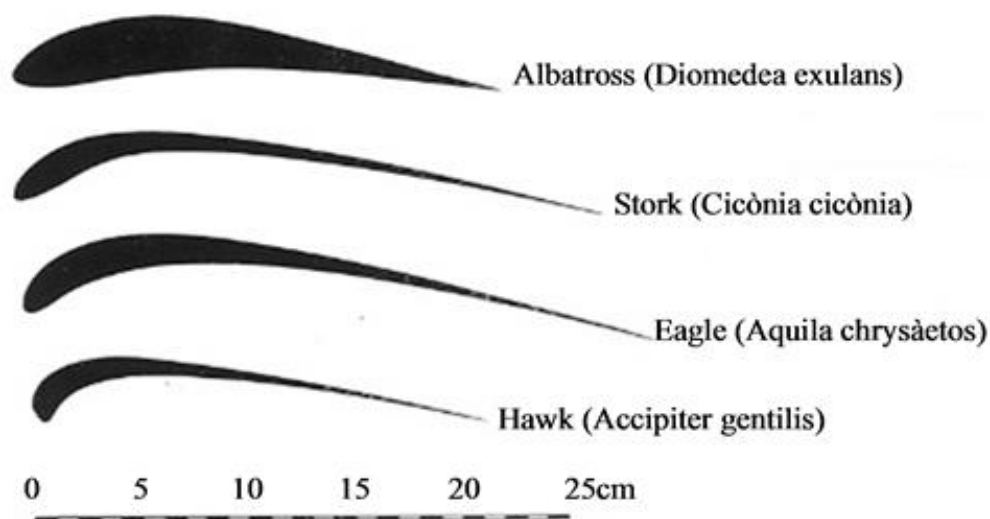
4 pav. albatroso judėjimo trajektorijos vaizdas iš šono (kairėje pusėje) ir iš viršaus (dešinėje pusėje). Aukščiau bangos paviršiaus pastebimas horizontalus vėjo greičio gradiento didėjimas kylant į viršų. Pakilęs aukščiau bangos paviršiaus albatrosas įgyja didelį kinetinės energijos kiekį, kuris leidžia per trumpą laiko tarpą pasiekti 10-15 metrų aukštį virš vandens paviršiaus. Geltona spalva iliustruoja prieš vėją sklendžiančio albatroso trajektoriją, sklendimą prieš bangų judėjimo kryptį. Žalia spalva iliustruoja su šoniniu vėju sklendžiančio albatroso trajektoriją, lygiagrečiai bangoms. Oranžinė spalva iliustruoja pavėjui sklendžiančio albatroso trajektoriją, pagal bangų judėjimo kryptį.

Šiame skyriuje bei įvade pateiktą medžiagą papildysime bei detalai analizuosime skyriuje 4.2. *Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų tyrimas*, kuriame konkrečiai apibrėžiame analizuojamųjų skrydžio trajektorijų fazes, skrydžio greičius bei albatroso modelio aerodinamines charakteristikas priklausomai nuo sparno užsparnių atakos kampo taip pat ir nuo sparno atakos kampo padėties.

2. ALBATROSO (DIOMEDEA EXULANS) SKLANDMENS MODELIAVIMAS

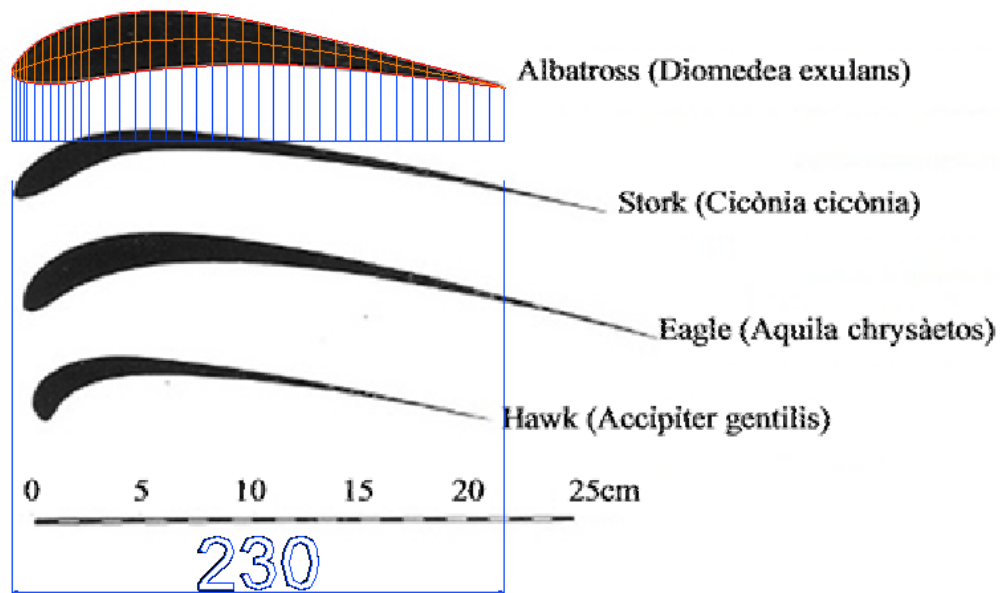
2.1. ALBATROSO SPARNO MODELIAVIMAS

Siekdami kuo tiksliau atkurti klajojančio albatroso sparną, pritaikysime 5 pav. iliustruotą pirmąjį sparno profilį. Sparno profilio stygos ilgis pagal iliustracijoje pateiktą skalę – 230 mm. Albatroso sparno profilio styga bei profilio kreivumas nėra pats didžiausias lyginant su kitų rūšių paukščių sparno profiliais iliustruotais 5 pav., tai paaiškina, kodėl klajojantis albatrosas gali nusklesti kur kas didesniu atstumu.



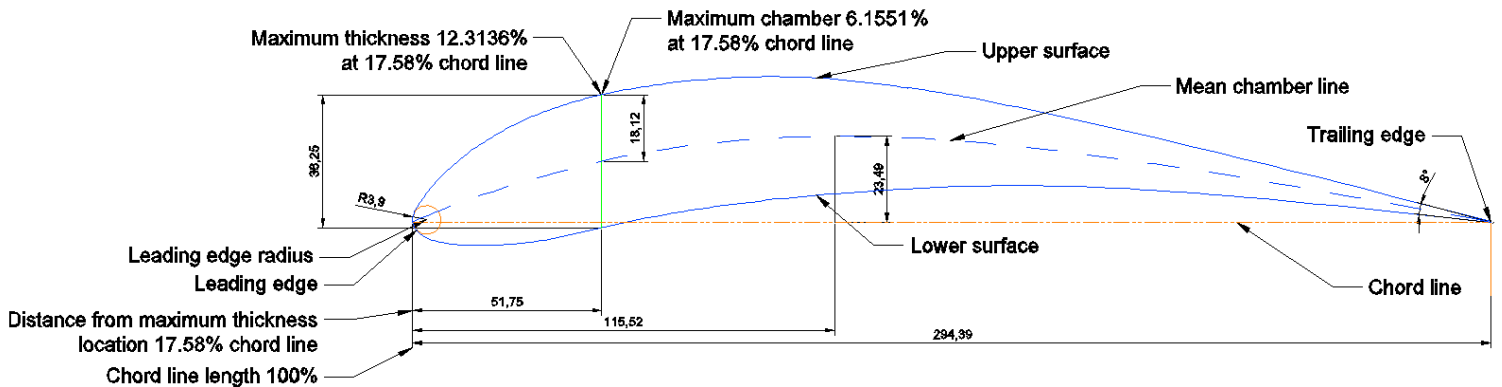
5 pav. Albatroso, gandro, erelio ir vanago nesimetrinių sparno profilių ilgiai [9]

Sparno profilis – tai kontūras, gaunamas sparną perkirtus plokštuma, lygiagrečia simetrijos plokštumai [10]. Aukščiau pateiktos iliustracijos pirmąjį sparno profilį – Albatross (*Diomedea exulans*) – naudojantis skaitinio modeliavimo programa AutoCAD padaliname horizontaliai – vertikaliais pjūviais. Sparno profilio priekis padalintas į 4 dalis žingsniu 1,8 mm, tęsiant dalijimą atitinkamai – 8_dalys žingsniu 3,6 mm ir 27 dalys žingsniu 7,2 mm.



6 pav. Albatroso sparno profilio dalijimas horizontaliai - vertikaliais pjūviais

Aprašome sumodeliuoto aerodinaminio profilio formos charakteristikas. 7 pav. iliustruotas albatroso sparno aerodinaminis profilis.



7 pav. Albatroso sparno profilio forma

Albatroso aerodinaminio profilio formą apibūdina įvairūs parametrai, ne visi jie gali būti išmatuoti. Apskaičiuosime parametrus pasinaudodami žemiau esančiomis lygtimis [10] tam, kad galėtume tiksliai aprašyti sumodeliuotą aerodinaminio profilio formą.

$$t = \frac{T}{c} \quad (1)$$

čia: t – santykinis profilio storis, T – profilio storis, mm , c – profilio styga, mm .

Skaičiavimas pritaikant formulę (1) apskaičiuojamas albatroso sparno profilio santykinis storis, kuris yra lygus $t = 0.123$.

$$x_t = \frac{X_T}{c} \quad (2)$$

čia: x_t – santykinė didžiausio storio vieta, X_T – didžiausio storio vieta, mm , c – profilio styga, mm .

Skaičiavimas pritaikydami formulę (2) apskaičiuojame albatroso sparno profilio santykinės didžiausio storio vietos reikšmę, kuri yra lygi $x_t = 0.176$.

$$f = \frac{F}{c} \quad (3)$$

čia: f – santykinis profilio gaubtumas, F – profilio gaubtumas, mm , c – profilio styga, mm .

Skaičiavimas pritaikydami formulę (3) apskaičiuojame albatroso sparno profilio santykinio gaubtumo reikšmę, kuri yra lygi $f = 0.08$.

$$x_f = \frac{X_F}{c} \quad (4)$$

čia: x_f – santykinė didžiausio gaubtumo vieta, X_F – didžiausio gaubtumo vieta, mm ,
 c – profilio styga, mm .

Skaičiavimas pritaikydami formulę (4) apskaičiuojame albatroso sparno profilio santykinę didžiausio gaubtumo vietos reikšmę, kuri yra lygi $x_f = 0.392$.

$$r_{LE} = \frac{R_{LE}}{c} \quad (5)$$

čia: r_{LE} – santykinis noselės kreivumo spindulys, R_{LE} – prie priekinės briaunos įbrėžto apskritimo spindulys, mm , c – profilio styga, mm .

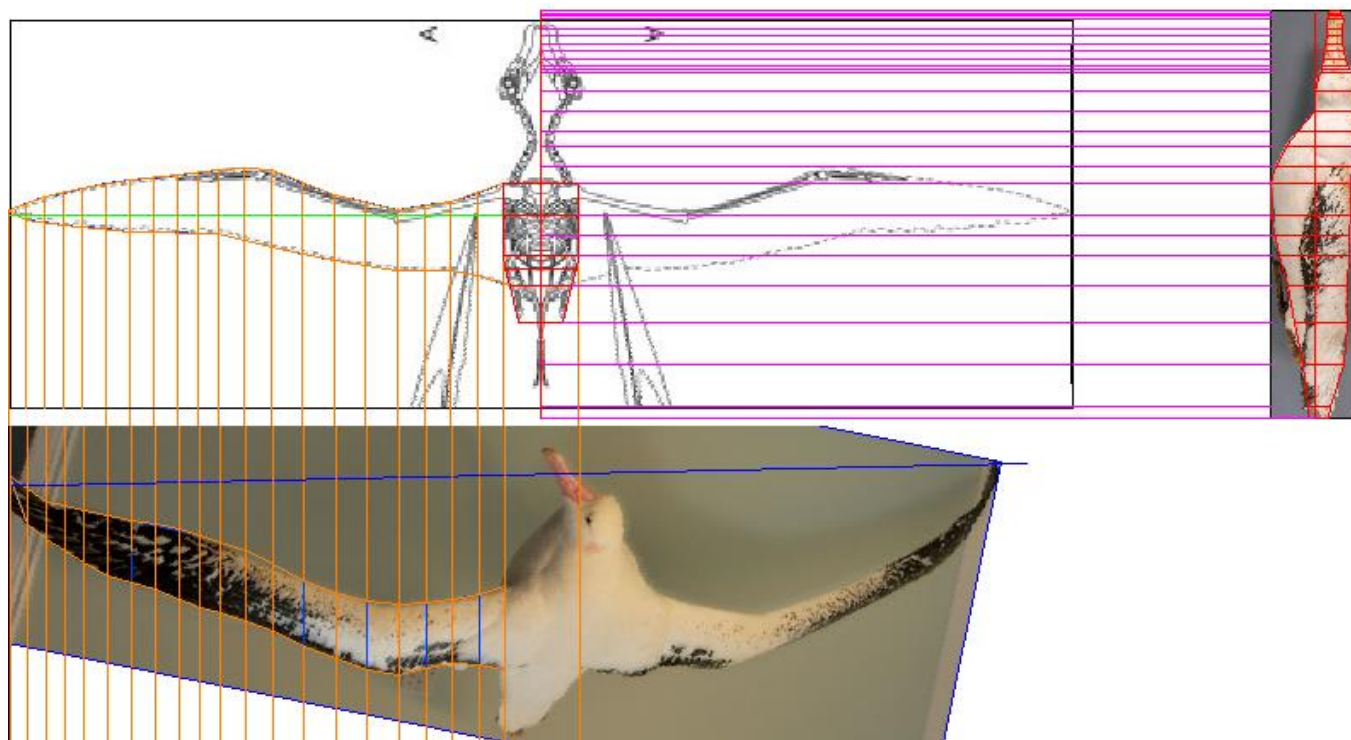
Skaičiavimas pritaikant formulę (5) apskaičiuojamas albatroso sparno profilio santykinis noselės kreivumo spindulys, kuris yra lygus $r_{le} = 0.013$.

Albatroso sparno profilio matmenys ir skaičiavimo rezultatai pateikiami prieduose, 1 lentelė.

Būtina pažymėti, jog sparno profilio stygos ilgis priedų 1 lentelėje nesutampa su 6 pav. nurodytu sparno profilio stygos ilgiu lygiu 230 mm. Skaitinio modeliavimo programos SolidWorks aplinkoje atliksime sparno profilio aerodinaminių charakteristikų tyrimus su profiliu, kurios stygos ilgis lygus $c_r=294,39$ mm. Šis sparno profilis yra pats ilgiausias sparno konstrukcijoje, tvirtinamas prie albatroso kūno ir dar vadinamas sparno pagrindu. Sparno profilio styga prie liemens vadinama sparno pagrindo styga ir žymima c_r [10]. Pagal klajojančio albatroso anatomiją, tai pirmasis prie kūno esantis sparno profilis.

Siekdami kuo tiksliau atkurti klajojančio albatroso sklandmens modelį pagal mokslinės literatūros apžvalgos skyriuje 1.1. nurodytus matmenis ir aprašymą – ilgis 110-135 cm, sparno mojis 250-350 cm, svoris 6-11 kg, uodega – trumpa, pleišto formos, kurios plotis 78,56 mm - panaudojome ne mažiau nei 20 skirtingų klajojančio albatroso skrydžio konfigūracijos iliustracijų iš įvairių mokslinių straipsnių, biologijos ir ornitologijos vadovėlių [5].

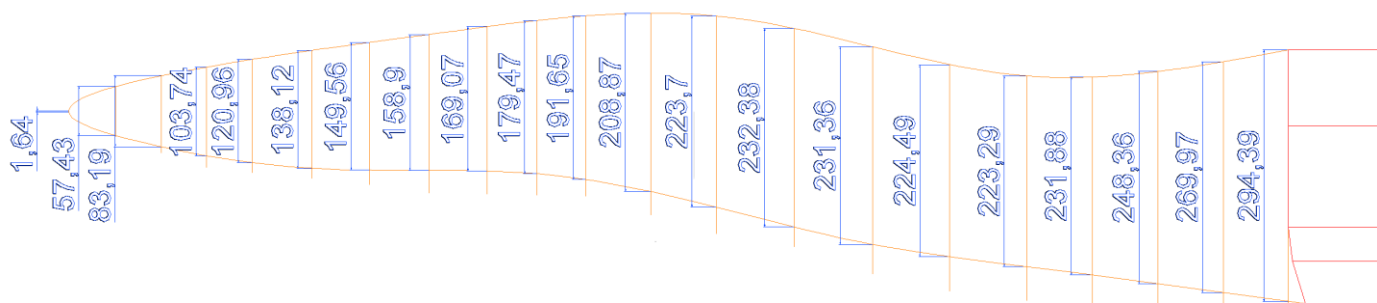
Vertikaliais pjūviais padalinsime albatroso nuotrauką, jog galėtume atkurti horizontalią sparno ir kūno konstrukciją. Pirminiame etape sparnas padalintas 21 vertikaliu pjūviu. Pjūvių žingsnis skirtingas – pradedant 76.76 mm ir baigiant 53.73 mm ties sparno galine dalimi.



8 pav. Albatroso projekcijų horizontalieji ir vertikalieji pjūviai

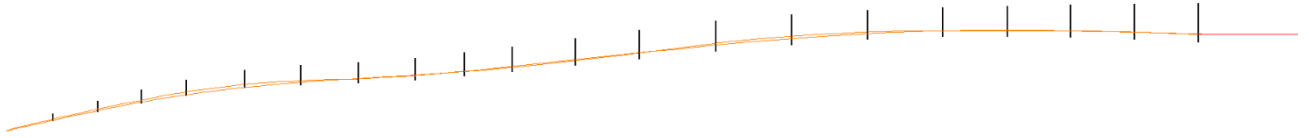
8 pav. matome dvi albatroso nuotraukas ir vieną iliustraciją. Paveikslo viršuje, kairioji iliustracija vaizduoja klajojančio albatroso skeletą. Būtina paminėti, jog ši iliustracija – tai 2 veidrodiniai iliustracijos [11] atspindžiai - naudojama tik kaip pagalbiniė priemonė albatroso sparno formai atkurti. 8 pav. apačioje – muziejaus, esančio pietų *Džiordžijos* (angl. *Georgia*) saloje, *Grytviken'e*, eksponatas [12]. 8 pav. nuotrauka dešinėje – Amerikos nacionalinio muziejaus eksponatas [13]. Ši nuotrauka padalinta į 27 horizontalius pjūvius, padėjusius atkurti albatroso kūno, galvos ir uodegos profilio pjūvį. Horizontaliais ir vertikaliais pjūviais albatroso iliustracija ir nuotraukos dalintos tose vietose, kuriose keičiasi sparno, galvos, kūno ir uodegos geometrinė forma.

Albatroso sparną sudaro trys pagrindiniai regionai: brachialinė dalis (angl. *Brachial region*), antebrachialinė dalis (angl. *Antebrachial region*) ir distalinė sparno dalis (angl. *Distal wing region*) [11]. Šie duomenys būtini atkuriant albatroso sparno struktūrą ir geometriją. 9 pav. pateikiame sparno profilių stygų ilgius, kuriais suskirstytas kairysis albatroso sparnas. Sparnas vaizduojamas iš viršaus, nurodyti matmenys – milimetrai.



9 pav. Albatroso kairiojo sparno vertikalijų pjūvių matmenys

Albatroso sparno geometrinis kreivumas pateiktas 10 pav. Matome, jog sumodeliuotas sparnas turi neigiamą V formą. Strėliškumo kampas aerodinamikoje suvokiamas kaip kampas tarp statmens sparno simetrijos plokštumai ir linijos, jungiančios taškus, esančius ketvirtyje stygos (0,25c). Jis apibrėžiamas kampu Λ [14]. Mūsų atveju, išmatuotas sumodeliuoto albatroso sparno strėliškumo kampas, matuojant kampą tarp jo galinės briaunos ir statmens simetrijos ašiai, yra apytiksliai lygus $\Lambda=5^\circ$.

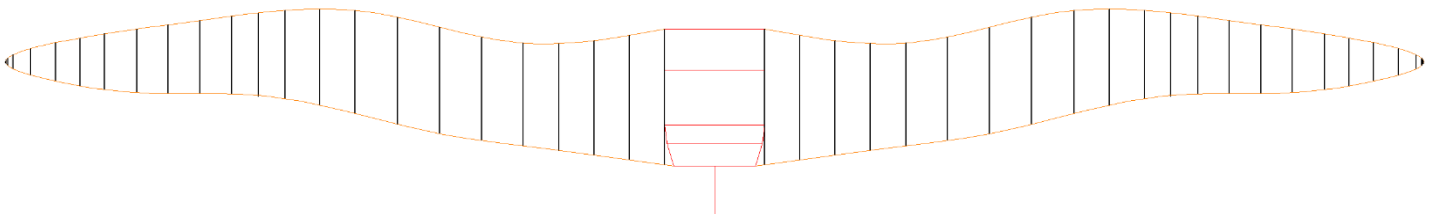


10 pav. Albatroso sparno geometrinis kreivumas

Naudojami ir plačiai paplitę kintamos geometrijos sparno kūrimo principai [14]:

- A. Keisti sparno profilį;
- B. Keisti sparno plotą;
- C. Keisti sparno strėlišumą;
- D. Derinti kelis ar visus aukščiau išvardytus sparno geometrijos keitimo būdus.

Albatroso sparno kintamos geometrijos atkūrimui, mūsų atveju, tinkamas sparno geometrijos keitimo principas A – keisti sparno profilį. Principai B ir C nėra tinkami, nes tyrimo ir analizės metu priimame, jog albatroso sparno plotas ir strėlišumas nebus keičiamas. Siekdami atkurti albatroso sparno konstrukciją, diferencijuojame 6 pav. pateiktą sparno profilį ir jo stygos ilgį. Diferencijavimui panaudojame sparno geometrijos kitimo vietose atliktų vertikalių pjūvių ilgius. Kad išgautumėme vientisą ir kiek įmanoma tikslesnę kintamą geometriją, sparno galas padalinamas į dar tris papildomas dalis tarp pjūvio vietų, kurių ilgis 57,43 mm ir 1,64 mm.

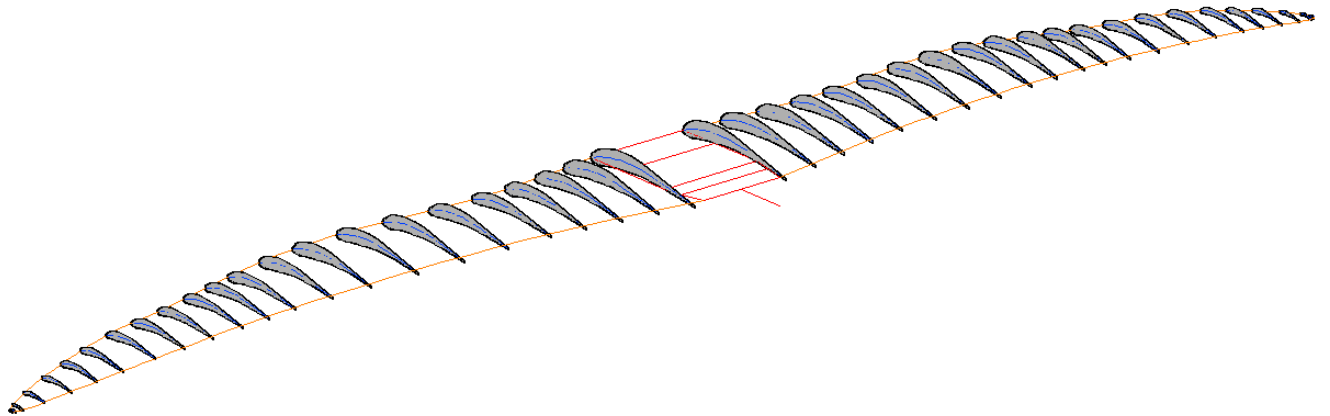


11 pav. Kintamos geometrijos albatroso sparno išsklotinė

Atkūrėme klajojančio albatroso sparną pagal mokslinės literatūros apžvalgos skyriuje 1.1. nurodytus sparno mojo matmenis – sparno mojis 250-350 cm. Sumodeliuoto sparno mojis – 3000 mm (žr. pav. 18).

Klajojančio albatroso 3 dimensijų kintamos geometrijos sparno modelis pavaizduotas 12 pav. Sparno mojis – 3000 mm. Sparno konstrukcijos ilgiu sudėlioti diferencijuoti sparno profiliai pagal priedų 2 lentelėje pateiktus duomenis. Diferencijuoti sparno profiliai sudedami sparno vertikalių pjūvių vietose pradedant kairiojo sparno galo profiliu, kurio stygos ilgis lygus $c_r=1,64$ mm ir baigiant kairiojo sparno pagrindo profiliu, kurio stygos ilgis $c_r=294,39$ mm.

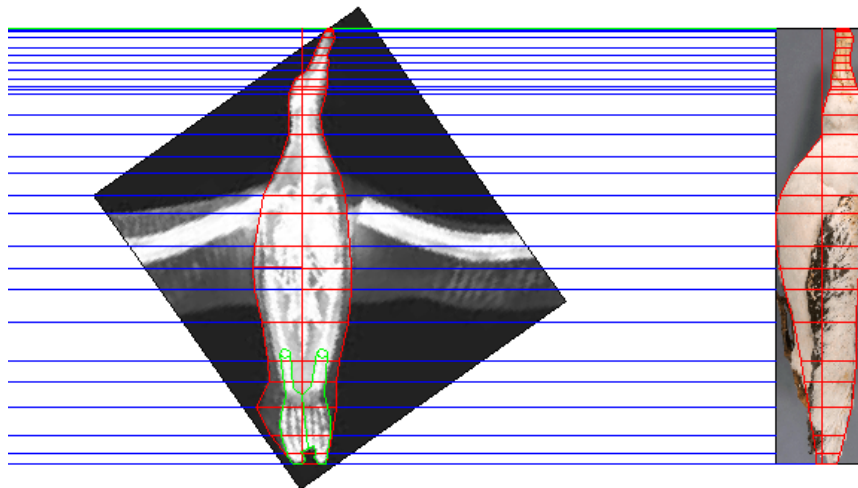
Sparno konstrukciją sudaro du vienodos formos ir konfiguracijos sparnai, kurių kiekvienas susideda iš 24 kintamos geometrijos sparno profilių.



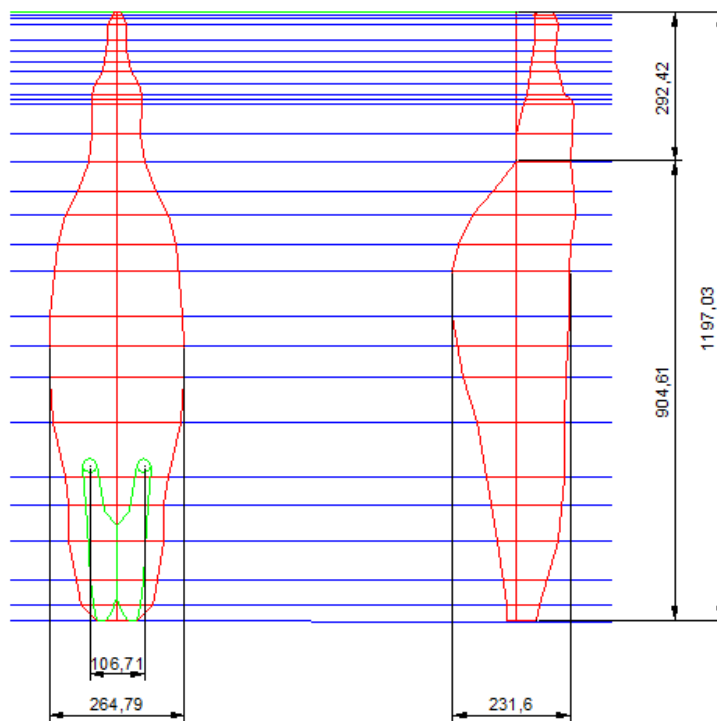
12 pav. Albatroso sparno aksonometrinis modelis

2.2. ALBATROSO LIEMENS MODELIAVIMAS

13 pav. detaliau pavaizduotas albatroso liemens atkūrimas. Kairioji nuotrauka – JAV *Iovos* (angl. *Iowa*) universiteto publikacija [15], kurioje vaizduojamas apšviestas klajojančio albatroso skeletas. Šio tipo iliustracija leis tiksliai nustatyti, kokiame aukštyje ir kurioje albatroso kūno vietoje prisitvirtina sparno brachialinis regionas (angl. *Brachial region*) - pagrindinis sparno šaknies kaulas su jungiamaisiais audiniais.



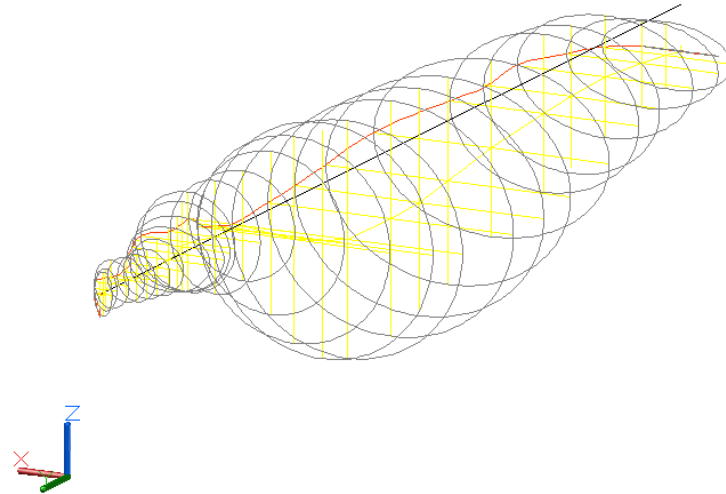
13 pav. Albatroso projekcijų horizontalieji pjūviai



14 pav. Albatroso liemens projekcijos x ir y ašyse

14 pav. pateikti albatroso matmenys – milimetrai. Atkūrėme albatroso liemens modelio projekcijas x ir y ašyse pagal mokslinės literatūros apžvalgos skyriuje 1.1. nurodytus ilgio matmenis ir uodegos aprašymą – ilgis 110-135 cm, uodega – trumpa, pleišto formos, kurios plotis 78,56 mm.

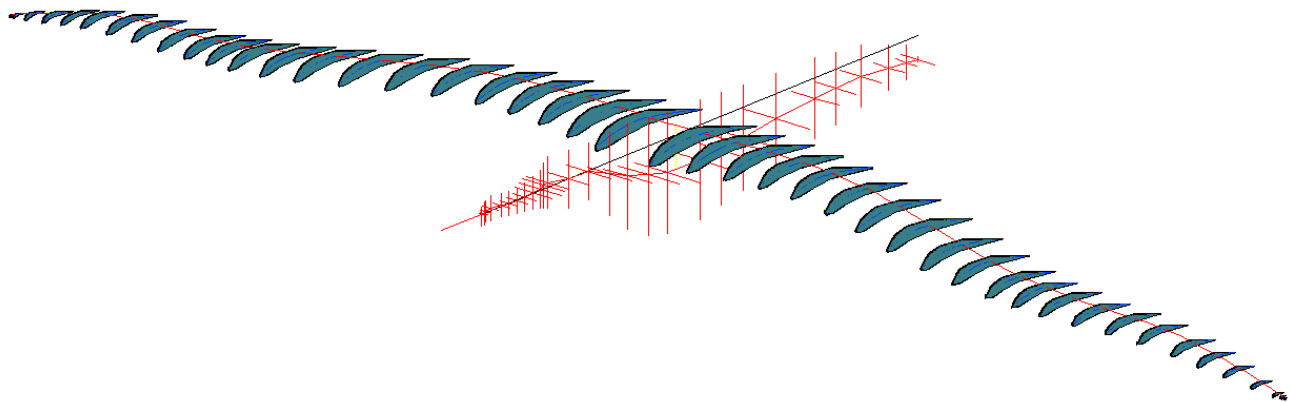
Prieš pereinant prie paskutinio paukščio 3 dimensijų atkūrimo etapo, kontūro linijomis apibrėžiame albatroso liemens horizontalią ir vertikalią projekcijas. Kontūro linijos leis atkurti liemens skersinius profilius, o kartu ir aptraukti vertikaliuosius pjūvius jungiamąja medžiaga.



15 pav. Albatroso liemens konstrukcijos skersinių profilių kontūrai

2.3. ALBATROSO SKLANDMENS MODELIAVIMAS

Albatroso sparnas tvirtinamas prie paukščio liemens nugarinės dalies (angl. *dorsal*). Pagal 13 pav. pateiktą iliustraciją nustatėme, kurioje albatroso liemens dalyje kertasi albatroso sparno vidurio linija ir sumodeliuotas paukščio liemu.



16 pav. Kintamos geometrijos albatroso aksonometrinis vaizdas x, y ir z ašyse

Albatroso tvirtinimo taškas nuo paukščio liemens pradžios nutolęs 533 mm horizontaliai (žr. 18 pav.). Paukščio sparno vidurio linijos vidurio taškas tvirtinamas tarp 18 ir 19 horizontalių pjūvių pavaizduotų 11 pav., 23,51 mm nuo 18 horizontalaus pjūvio ir 84,157 mm aukščiau albatroso liemens vidurio linijos.

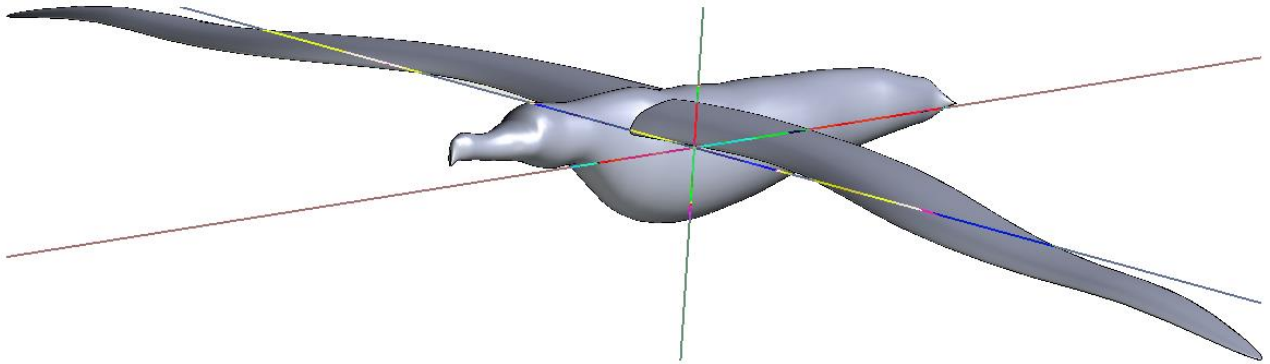
Albatroso liemens ašis ir sparno profilio styga prie liemens yra lygiagrečios. Kampas tarp sumodeliuoto albatroso liemens ašies ir sparno stygos yra lygus 0 (žr. pav. 16).

Paskutinis etapas siekiant tiksliai atkurti albatroso sparnų ir liemens 3 dimensijų išorės formą – paukščio sparno 3D modelio ir liemens 3D modelio aptraukimas kontūrus jungiančia medžiaga.

Albatroso sparno 3D modelis aptraukimas kontūrus jungiančia medžiaga atliekamas pradedant sparno galo profiliu ir lygiai taip pat baigiant kito sparno galo profiliu. Šiuo atveju aptraukimo krypties linija (angl. *guide line*) bus sparno vidurio linija.

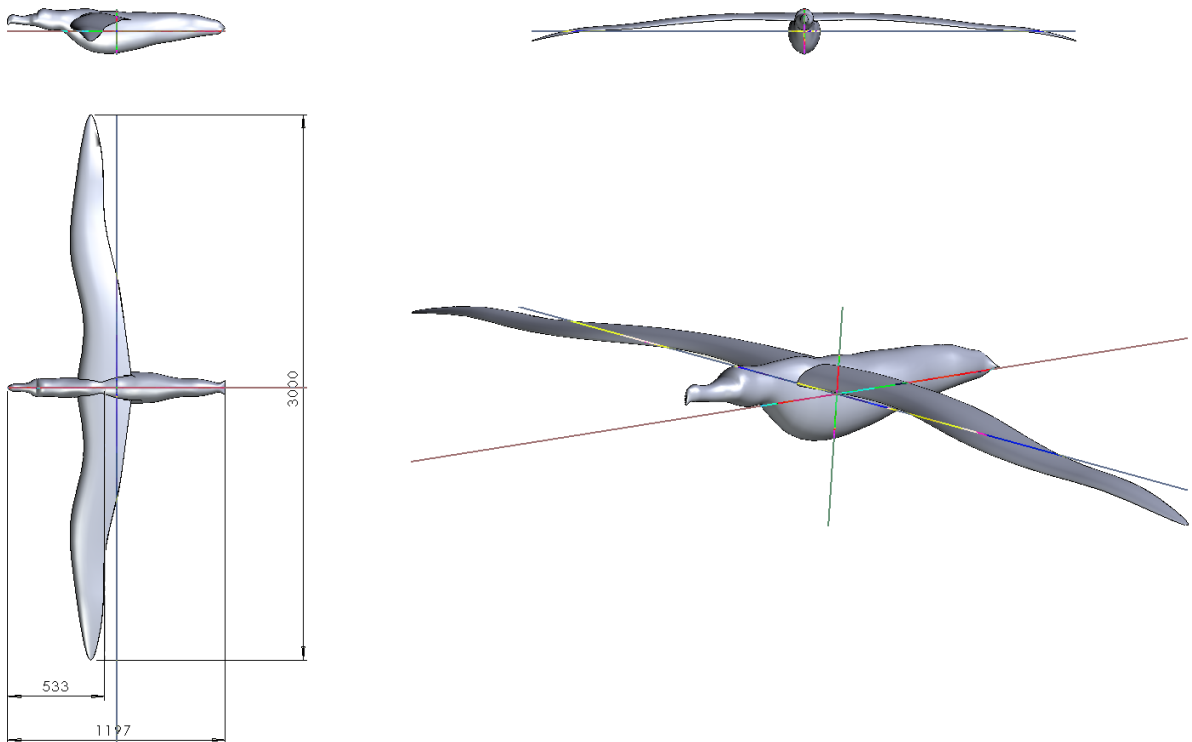
Albatroso liemens 3D modelio aptraukimas kontūrus jungiančia medžiaga vyks analogiškai sparno modelio aptraukimo principu – pradedant liemens priekine dalimi ir baigiant liemens galo kontūro linija. Krypties linija – albatroso liemens vidurio linija.

Žemiau esančiame 18 pav. pateikiame 3 dimensijų kintamos geometrijos albatroso sklandmens 3D modelį skaitinio modeliavimo programos SolidWorks aplinkoje.



17 pav. Albatroso 3 dimensijų modelis su x, y, z ašimis

Panaudodami skaitinio modeliavimo programas AutoCAD ir SolidWorks atkūrėme klajojančio albatroso modelį pagal mokslinės literatūros apžvalgos skyriuje 1.1. nurodytus matmenis ir aprašymą. Albatroso modelio ilgis – 1197 mm, sparno mojis 3000 mm, uodega – trumpa, pleišto formos, kurios plotis 78,56 mm. Pateikiame klajojančio albatroso 3 dimensijų plano formą iš šono, priekio ir viršaus. 18_pav. nurodyti matmenys – milimetrai.



18 pav. Albatroso 3 dimensijų modelis su matmenimis

3. TYRIMO METODIKA

Pagrindinis magistro baigiamojo darbo tikslas - išnagrinėti klajojančio albatroso (angl. *Wandering albatross*, lot. *Diomedea exulans*) dinaminio skriejimo (angl. *Dynamic soaring*) ypatumus ir jų priklausomybę nuo sklandmens konfigūracijos aerodinaminių charakteristikų.

Tiriamąjį objekto skaitinei analizei atlikti panaudosime modeliavimo ir skaitinės analizės programą – *SolidWorks*. *SolidWorks* plačiai paplitusi skaitinio modeliavimo programa, kuri suteikia galimybę ne tik sumodeliuoti objektą, bet ir atlikti skaitinę objekto konstrukcijos parametrų analizę, nustatyti modelio aerodinamines charakteristikas. Magistro baigiamajame darbe albatroso sparno profilio ir sklandmens aerodinaminėms charakteristikoms nustatyti naudosime skaitinės analizės programos *SolidWorks* paprogramę *Flow Simulation*. *Flow Simulation* paprogramė leidžia nustatyti kraštines sąlygas, pradines ir aplinkos sąlygas įtakojančias tiriamojo objekto aerodinamiką – medžiagą, aptekančią tiriamąjį objektą skaičiuotinėje erdvėje, aplinkos temperatūrą, slėgį, tankumą, srauto aptekėjimo būdą (laminarinis, turbulentinis arba laminarinis-turbulentinis), srauto tekėjimo kryptį, srauto tekėjimo greitį, tiriamojo objekto sienelės šiurkštumo parametrus, nustatytą tiriamojo objekto sienelės šilumos būseną (adiabatinė sienelė, šilumos srautas, šilumos perdavimo greitis, sienelės temperatūra).

Tiriamąjį objekto priimtos aplinkos sąlygos skaitinei analizei atlikti – ISA. ISA (angl. *International Standard Atmosphere*) – tai tarptautinė standartinė atmosfera, kurios atmosferos modelis nurodo kaip keičiasi atmosferos tankumas, temperatūra, slėgis ir klampumas keičiantis altitutei. Tarptautinė standartizacijos organizacija (angl. *International Organization For Standardization (ISO)*) pateikia ISA sąlygų apibrėžimą tarptautiniu standartu – ISO 2533:1975 [17]. Kitos standartizacijos organizacijos tokios kaip *Tarptautinė Civilinės Aviacijos Organizacija (ICAO)* pateikia savo ISA atmosferos modelius. ICAO ISA modelis publikuojamas pavadinimu „ICAO Standard Atmosphere“.

Klajojantis albatrosas, dinaminiam skriejimui, naudoja bangos fronto sukuriamą horizontalų vėjo greičio gradientą veikiantį jūros paviršiuje iki 15 metrų aukščio [5]. Detali ISA sąlygų lentelė jūros lygyje pateikiama prieduose, 3 lentelė [18].

Atlikdami albatroso sparno profilio, albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų tyrimus, modeliavimo ir skaitinės analizės programos *SolidWorks* paprogramės *Flow Simulation* simuliacijos parametruose nurodysime, jog analizė – tai išorės aerodinaminių charakteristikų tyrimas, į kurį nėra įtrauktos ertmės be srauto aptekėjimo sąlygų bei vidinės albatroso ertmės. Tiriamąjį objektą apteka laminarinis ir turbulentinis oro srautas. Tiriamojo objekto sienutė – adiabatinė, kurios šiurkštumas lygus 0 mikrometrų. Albatroso sparno profilio aerodinaminės charakteristikos analizuojamos veikiant 20 m/s

oro srauto greičiui. Atliekant albatroso sklandmens analizę, kurios metu bus keičiama albatroso 3D modelio užsparnių padėtis, oro srauto greitis, aptenkantis sklandmenį, kai užsparnių padėtis nuo -2° iki 0° imtinai, 25 m/s ir oro srauto greitis, aptenkantis sklandmenį, kai užsparnių padėtis nuo 0° iki 6° imtinai, 15 m/s. Oro srauto greičių keitimas nėra atsitiktinis. Veikiant 25 m/s oro srauto greičiui analizuojamos albatroso sklandmens aerodinaminės charakteristikos, kai paukštis pradeda tolygaus žemėjimo manevrą iš aukščiausio trajektorijos taško. Veikiant 15 m/s oro srauto greičiui, analizuojamos albatroso sklandmens charakteristikos, kai paukštis pradeda aukštėti egzistuojant vertikalus vėjo greičio gradientui.

Pagrindinės charakteristikos apibūdinančios oro srautu aptekancio modelio aplinkos sąlygas jūros lygyje ir parametrus parinktus *SolidWorks* programos paprogramėje *Flow Simulation* simuliacijoje [18]:

1. Oro temperatūra, $T = +15^\circ\text{C}$;
2. Oro tankis, $\rho = 1.225\text{ kg/m}^3$;
3. Oro slėgis, $P = 1013.25\text{ hPa}$;
4. Kinematinis klampumas, $\nu = 1.460 \cdot 10^{-5}\text{ m}^2/\text{s}$;
5. Klampumas (angl. *Viscosity*), $\mu = 1.789 \cdot 10^{-5}\text{ m}^2/\text{s}$.

Skaičiuotinė erdvė – svarbus skaitinės analizės elementas aerodinaminėms charakteristikoms nustatyti. Ji apibrėžia sritį, kurioje bus atliekami skaičiavimai ir pateikiami skaičiavimo rezultatai. Keliamoji jėga yra vienas pagrindinių aerodinaminio profilio ir sklandmens parametru, kurį siekiame apskaičiuoti, o keliamoji jėga – ne kas kita, kaip slėgių pasiskirstymo virš sparno ir po sparnu skirtumas. Todėl būtina užtikrinti, kad visos sritys, kuriose pasireiškia žymus slėgio pasikeitimas, būtų įtrauktos į skaičiuotinę modelio erdvę. Atliekant albatroso sparno profilio ir sklandmens aerodinaminių charakteristikų tyrimą, analizei naudojamų skaičiuotinių erdvių parametrai pateikti 3 skyriuje – *Albatroso dinaminio skriejimo modelio aerodinaminės charakteristikos*.

4. ALBATROSO (DIOMEDEA EXULANS) DINAMINIO SKRIEJIMO MODELIO AERODINAMINĖS CHARAKTERISTIKOS

4.1. ALBATROSO SPARNO PROFILIO AERODINAMINĖS CHARAKTERISTIKOS

Skyriuje 2.1. „Albatroso sparno modeliavimas“ pateiktas analizuojamasis sparno profilis. Būtina pažymėti, jog sparno profilio duomenys ir jo taškų koordinatės nėra patalpintos sparno profilio duomenų bazės internetiniuose puslapiuose. Skyriuje 2.1. buvo aprašyta, jog sparno profilis – tai kontūras, gaunamas sparną perkirtus plokštuma, lygiagrečia simetrijos plokštumai [10]. Analizuojamojo objekto – Albatross (*Diomedea exulans*) – sparno profilis atkurtas naudojantis skaitinio modeliavimo programa *AutoCAD*, kurioje 6 pav. pavaizduotą sparno profilį padaliname horizontaliai – vertikaliais pjūviais. Sparno profilio priekis padalintas į 4 dalis - žingsniu 1,8 mm, tęsiant dalijimą atitinkamai – 8 dalys žingsniu – 3,6 mm ir 27 dalys – žingsniu 7,2 mm. Apjungus šiuos pjūvius programos *AutoCAD* aplinkoje, sukurtas eksperimentinis analizuojamojo objekto sparno profilis, kurio aerodinaminių charakteristikų tyrimai bus atliekami skaitine modeliavimo programa *SolidWorks*, paprograme *Flow Simulation*, remiantis 3 skyriuje aprašyta tyrimo metodika.

Dinaminis slėgis yra vienas pagrindinių parametrų, nuo kurių priklauso aerodinaminės jėgos. Oro potencinę energiją apibūdina statinis slėgis, o kinetinę – dinaminis slėgis. Statinio ir dinaminio slėgio suma yra visuminis slėgis, kuris apibūdina srauto pilnutinę energiją. [10] Oro srauto mechaninės energijos tvermės dėsnis išreiškiamas Bernulio lygtimi (6), (7) arba (8):

$$\text{potencinė energija} + \text{kinetinė energija} = \text{pilnutinė energija} = \text{const.} \quad (6)$$

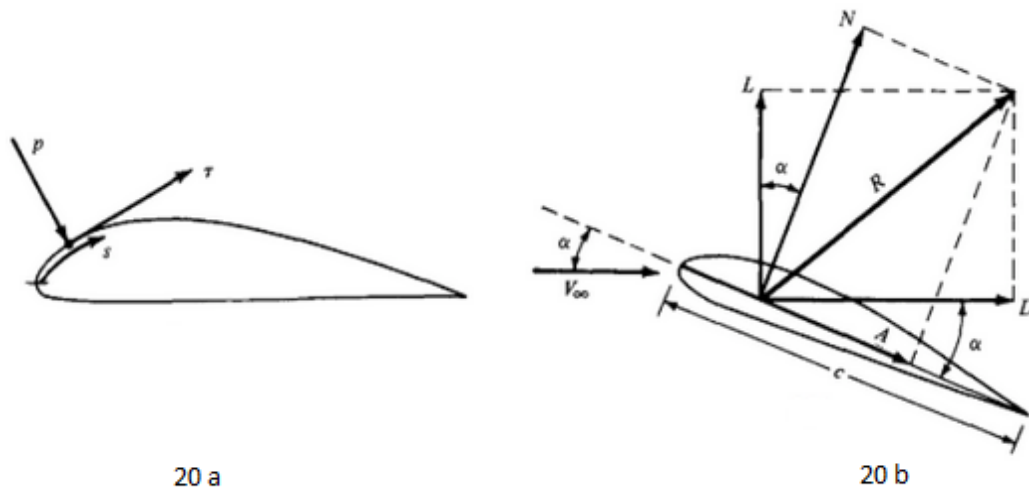
$$\text{statinis slėgis} + \text{dinaminis slėgis} = \text{visuminis slėgis} = \text{const.} \quad (7)$$

$$p + \frac{\rho \cdot v^2}{2} = p_0 = \text{const.} \quad (8)$$

Skyriuje 2.1. aprašyta, jog albatroso sparno profilio aerodinaminės charakteristikos analizuojamos veikiant 20 m/s oro srauto greičiui. Ši oro srauto greičio reikšmė pasirinkta neatsitiktinai. Tai nustatyta vertikalaus oro srauto greičio grandiento reikšmė veikiantį jūros paviršiuje iki 15 metrų aukščio [5].

Prieduose esančiame grafike 19 pav. detaliai pateikiamos įvairių rūšių paukščių ir lėktuvų kreiserinio skriejimo greičio, svorio ir sparno įkrovos priklausomybės. 19 pav. matome, kad klajojančio albatroso svoris ir kreiserinio skriejimo greičio priklausomybė išskirta bei pažymėta horizontalios ir vertikalios linijų susikirtimu.

Aptekėdamas sparno profilį, kietąjį kūną, oro srautas, be slėgio jėgų, paribio sluoksnyje taip pat sukuria trinties jėgas, dėl kurių sparno viršutinėje ir apatinėje, priekinėje ir galinėje dalyse atsiranda slėgių skirtumas. Pilnutinė aerodinaminė jėga R yra visų kūną veikiančių jėgų suma. Pilnutinė aerodinaminė jėga R pasvirusi aptekančio srauto kryptimi [20]. 20 pav. pavaizduotos sparno profilį veikiančios jėgos, kai kietąjį kūną apteka oro srautas. 20 a pav. matome dvi jėgos dedamąsias: p – slėgio pasiskirstymas kūno paviršiuje; τ – trinties pasiskirstymas kūno paviršiuje. Dėl slėgio ir trinties jėgų pasiskirstymo kūno paviršiuje susidaro aerodinaminės jėgos ir kietąjį kūną veikiantys momentai. 20 b pav. matome, pavaizduotus keliamosios (L), pasipriešinimo (D) ir jėgų atstojamosios (R) krypties vektorius. Akivaizdu, jog taip sparno profilį aptekėdamas oro srautas sukurs momentą, veikiantį laikrodžio rodyklės sukimosi kryptimi. Iš 20 pav. esančių iliustracijų (20a) ir (20b) nesunkiai galime daryti prielaidą, jog norint, kad albatrosas skristų tiesiai ir tolygiai pastoviu greičiu, visų tiriamąjį objektą veikiančių momentų suma turi būti lygi 0 (pirmasis Niutono dėsnis).



20 pav. Sparno profilį veikiančios jėgos (20a); Aerodinaminės jėgos (20b) [21]

Sparno profilio vieta, kurioje veikia pilnutinė aerodinaminė jėga R dar vadinama slėgio centru (SC). Slėgio centro vieta kiekvienu atveju gali būti tiksliai išreiškiama koordinatėmis. Tačiau pilnutinę aerodinaminę jėgą naudoti nėra patogu – keičiantis sparno profilio atakos kampui, jos padėtis keičiasi, kinta tiek skaitinė išraiška, tiek ir kryptis. Siekiant palengvinti skaičiavimus pilnutinė aerodinaminė jėga skaidoma į vertikalią ir horizontalią projekcijas. Šios projekcijos atitinkamai vadinamos keliamąja (L) ir

pasipriešinimo (D) jėgomis. Būtina pažymėti, jog tyrimo metu, keliamosios ir pasipriešinimo jėgos reikšmės bus pateiktos globalioje koordinačių sistemoje O_x ir O_y (statmenai ir išilgai stygos) [20].

Albatroso sparno profilis nėra simetriškas, todėl galima daryti prielaidą, jog sparno profiliui esant nustatytam atakos kampui lygiu $\alpha=0^\circ$, pagal Bernulio dėsnį, oro srauto srovelės sparno viršuje susispaus labiau nei apačioje taip sukurdamos keliamąją jėgą, o kartu ir pasipriešinimo jėgą. Keliamosios ir pasipriešinimo jėgų koeficientų priklausomybės nuo atakos kampo grafiškai vaizduojamos kreive vadinama sparno profilio poliare.

Vienas pagrindinių sparno profilio aerodinaminių tyrimo tikslų yra nubrėžti analizuojamojo objekto – klajojančio albatroso - sparno poliare esant skirtingiems atakos kampams. Poliare ne tik grafiškai pavaizduos koeficientų C_L , C_D ir C_R priklausomybę nuo atakos kampo, bet ir remiantis [20] literatūros šaltiniu leis rasti:

- kritinį atakos kampą α_{kr} , kuris atitinka didžiausią keliamosios jėgos koeficiento C_L reikšmę, nustatomą pravedus poliarei liestinę, lygiagrečia C_D ašiai;
- nulinės keliamosios jėgos atakos kampą α_0 , kuris atitinka $C_L = 0$, kur poliare kerta C_D ašį;
- didžiausios sparno kokybės kampą θ_{min} , išvedus poliarei liestinę iš koordinačių centro;
- mažiausio pasipriešinimo atakos kampą, pravedus poliarės liestinę lygiagrečia C_L ašiai;
- du skirtingus vienodos kokybės atakos kampus – pravedus poliarės kirstinę iš koordinačių pradžios kampu, didesniu kaip θ .

Sparno profilio keliamosios ir pasipriešinimo koeficientų C_L ir C_D reikšmės apskaičiuojamos pagal (9)-(13) formules:

$$C_L = \frac{L}{\rho \cdot V^2 / 2} \cdot S \quad (9)$$

čia: C_L – keliamosios jėgos koeficientas, kuris priklauso nuo profilio formos, glotnumo, atakos kampo; L – keliamoji jėga, N ; ρ – oro tankis, kg/m^3 ; V – oro srauto greitis, m/s ; S – sparno plotas, m^2 .

$$D_a = D_{ap} + D_{ai} \quad (10)$$

čia: D – sparno pasipriešinimo jėga, N ; D_{ap} – sparno profilinio pasipriešinimo jėga, N ; D_{ai} – sparno indukcinio pasipriešinimo jėga, N .

$$D_a = C_{Dap} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot S + C_{Dai} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot S \quad (11)$$

čia: D_a – sparno pasipriešinimo jėga, N ; C_{Dap} – sparno profilinio pasipriešinimo koeficientas; C_{Dai} – sparno profilinio indukcinio pasipriešinimo koeficientas; ρ – oro tankis, kg/m^3 ; V – oro srauto greitis, m/s ; S – sparno plotas, m^2 .

Sparno profilio pasipriešinimo jėgos koeficientas C_{xa} tyrimo metu bus išreiškiamas kaip profilinio ir indukcinio pasipriešinimo koeficientų suma $C_{Dap} + C_{Dai} = C_D$. Tuomet iš (11) formulės išreiškiame pasipriešinimo koeficiento lygtį (12):

$$C_D = \frac{D}{\rho \cdot V^2 / 2} \cdot S \quad (12)$$

čia: C_D – pasipriešinimo jėgos koeficientas, kuris priklauso nuo sparno profilio paviršinio ir indukcinio pasipriešinimo koeficientų bei atakos kampo; D – pasipriešinimo jėga, N ; ρ – oro tankis, kg/m^3 ; V – oro srauto greitis, m/s ; S – sparno plotas, m^2 .

Oro srauto aptekėjimas sparno profilio paviršiumi vyksta dviem aptekėjimo tipais – laminariniu ir turbulentiniu. Laminarinis oro srauto tekėjimas suprantamas kaip tarpusavyje nesimaišantis oro srautas, aptekantis kūną atskirais sluoksniais. Turbulentinis oro srautas nėra pastovus, susidarantys oro srauto sūkuriai maišosi tarpusavyje taip atitrūkdami nuo aptekamo paviršiaus. Oro srauto ribą, kuomet laminarinis oro srauto tekėjimas virsta turbulentiniu apibrėžia Reinoldso skaičius, dar vadinamas kritiniu. Reinoldso skaičius – tai bedimensis dydis apskaičiuojamas pagal formulę (13):

$$Re = \frac{v \cdot L}{\nu} \quad (13)$$

čia: v – oro srauto greitis, m/s ; L – paviršiaus ilgis, m ; ν – srauto kinematinė klampa, $kg/m \cdot s$.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (14)$$

čia: μ – medžiagos klampumas, kuris priklauso nuo medžiagos temperatūros, m^2/s ;
 ρ – medžiagos tankis, kg/m^3 .

Kadangi tyrimo metu naudosime ISA aplinkos sąlygas jūros lygyje, pasinaudodami prieduose pateiktos 3 lentelės „ISA aplinkos sąlygos jūros lygyje“ duomenimis apskaičiuojame analizuojamojo profilio Reinoldso skaičių pagal (13) formulę, kurio reikšmė $Re=403274$:

$$Re = \frac{20 \cdot 0,29439}{1,46 \cdot 10^{-5}} = 403274$$

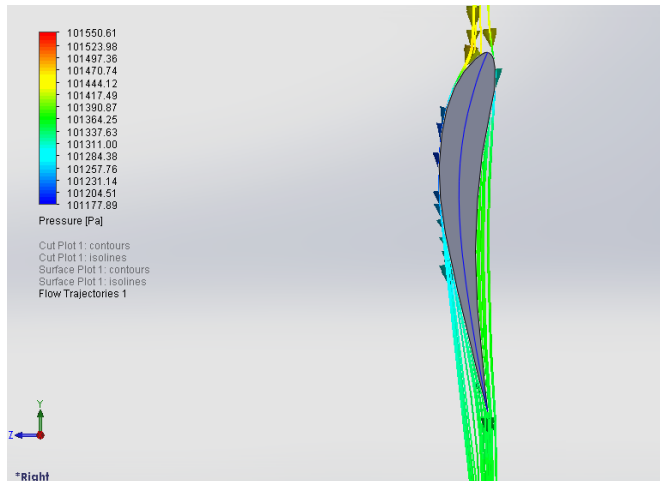
Būtina pažymėti, jog šios reikšmės Reinoldso skaičius atitinka tik albatroso sparno profilio 2D ir 3D aerodinaminių charakteristikų programos *SolidWorks* paprogramės *Flow Simulation* aplinkoje atliekamą tyrimą. Atliekant albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų analizę skaičiuotinėje erdvėje, kurios tikslūs matmenys pateikiami 4.2. skyriuje „Albatroso sklandmens aerodinaminės charakteristikos“, Re reikšmė bus ženkliai didesnė, kadangi pasikeis analizuojamojo paviršiaus ilgis.

Vienas pagrindinių tyrimo uždavinių - atlikti albatroso dinaminio skriejimo modelio aerodinaminių charakteristikų analizę. Klajojančio albatroso modelį sudaro sparno konstrukcija, detalai aprašyta 2.1. skyriuje „Albatroso sparno modeliavimas“, bei albatroso liemens konstrukcija, aprašyta 2.2 skyriuje „Albatroso liemens modeliavimas“. Skyriuje 2.1 aprašėme, jog albatroso sparno profilis – tai kontūras, gaunamas sparną perkirtus plokštuma, lygiagrečia simetrijos plokštumai [10] ir sumodeliuotas naudojantis skaitinio modeliavimo programa *AutoCAD*. Tiriamojo objekto sparno profilio koordinatės nebuvo atkurtos remiantis sparno profilių duomenų bazėje pateikiama informacija ir profilio aerodinaminės charakteristikos nėra iširtos vėjo tunelyje, o tai reiškia, jog klajojančio albatroso sparno profilis visų pirma turi būti iširtas ir tik tuomet atliekamas bendras albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų tyrimas. Albatroso sparno profilio aerodinaminių charakteristikų tyrimai atliekami skaitine modeliavimo programa *SolidWorks*. Remiantis 3 skyriuje aprašyta tyrimo metodika užsiduodame kraštines sąlygas programoje *SolidWorks* paprogramėje *Flow Simulation*. Tiksliai duomenų įvestis pateikiama prieduose esančiuose paveikslėliuose 63 pav. - 70 pav.

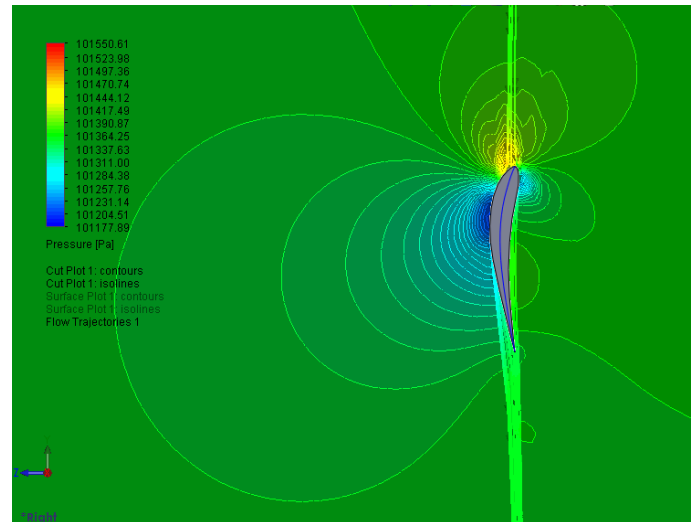
Pirminiame tyrimo etape siekiame nustatyti albatroso sparno profilio aerodinamines charakteristikas, todėl šiam tikslui, programos *SolidWorks* aplinkoje, atliekame 2D simuliaciją nustatytų matmenų, pateiktų prieduose esančiame 21 pav. kairėje pusėje, lentelėje „Dydžiai ir kraštinės sąlygos“ (angl. *Size and Conditions*), skaičiuotinėje erdvėje.

Tyrimui atlikti pasirenkame 2D simuliaciją Y ir Z plokštumoje, nes siekiame, jog sparno profilio aerodinaminės charakteristikos nebūtų įtakotos laisvųjų sūkurių (angl. *Vortex*) užsilenkenčių už sparno profilio galų. Kadangi virš sparno veikia sumažėjusio slėgio sritis, o žemiau jo – padidėjusi slėgio sritis, oro srautas pačioje sparno apačioje krypsta į išorinę sparno pusę, apeina sparno galus ir virš jo nukrypsta į vidinę sparno pusę. Nuo sparno galinės briaunos nueina sūkurių sluoksnis, kuris susisuka į du galinius sūkurius [10]. Laisvieji sūkuriai sukuria indukcinį pasipriešinimą, kuri yra papildoma pasipriešinimo jėga ir sudaro apie 35-45% viso sparno pasipriešinimo [20]. Tyrimui naudojama 2D simuliacija suteikia galimybę eliminuoti laisvuosius sūkurius, sukuriančius papildomą pasipriešinimo jėga dėl jų užlinkimo sparnų galuose. 2D simuliacija tyrimo metu naudojama tik sparno profilio aerodinaminių charakteristikų tyrimams atlikti. Analizuodami albatroso sklandmens aerodinamines charakteristikas naudosime 3D skaičiuotinę erdvę.

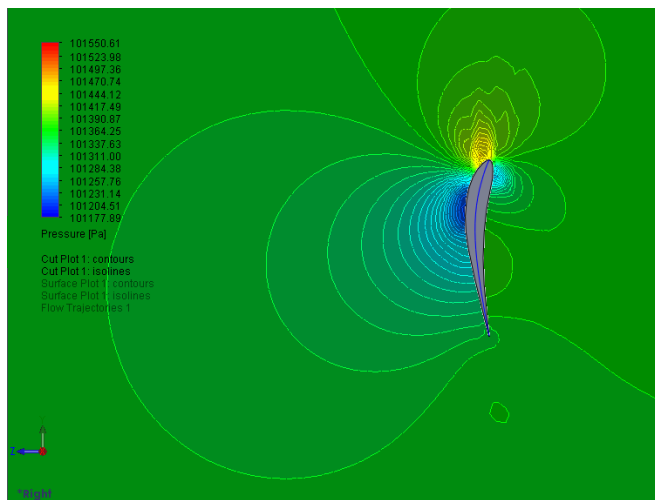
22 pav. (a) pateikiamos sparno profilį aptekancio oro srauto linijos, kai sparno profilio atakos kampas $AoA=0^\circ$, o Reinoldso skaičius $Re=403274$. Oro srautas aptekėdamas sparno profilį be slėgio jėgų, paribio sluoksnyje taip pat sukuria trinties jėgas, dėl kurių sparno viršutinėje ir apatinėje, priekinėje ir galinėje dalyse atsiranda slėgių skirtumas. Slėgių skirtumai, kai sparno profilio atakos kampas $AoA=0^\circ$, o Reinoldso skaičius $Re=403274$ iliustruojami 22 pav.



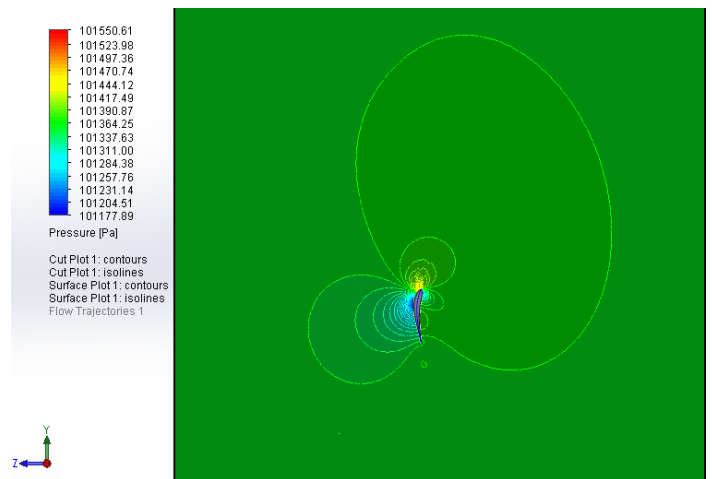
(a) Sparno profilį aptekančio oro srauto linijos
YZ plokštumoje. $AoA=0^\circ$. $Re=403274$



(b) Slėgių pasiskirstymo spektras su oro srauto
linijomis. $AoA=0^\circ$. $Re=403274$

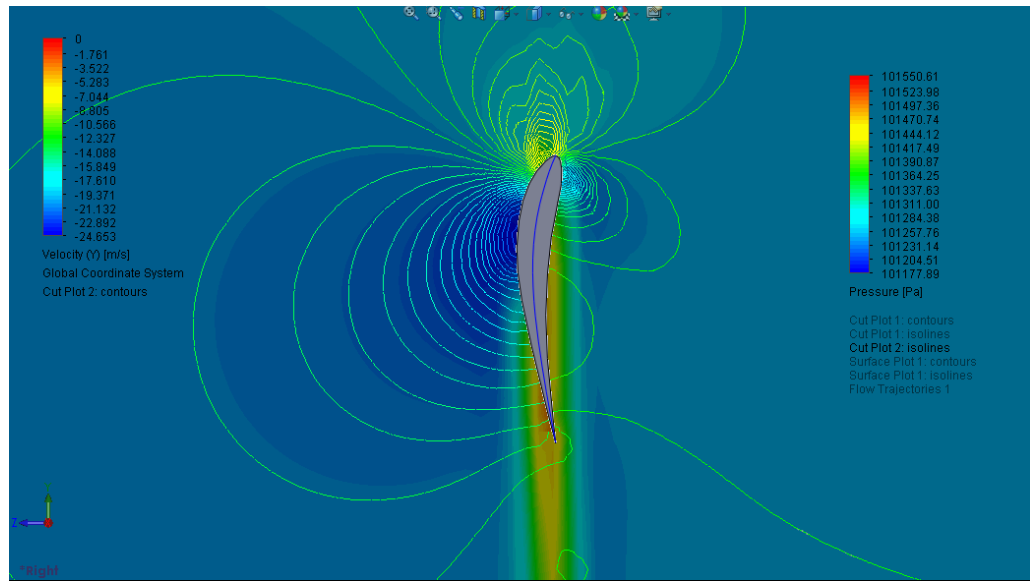


(c) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=0^\circ$.
 $Re=403274$



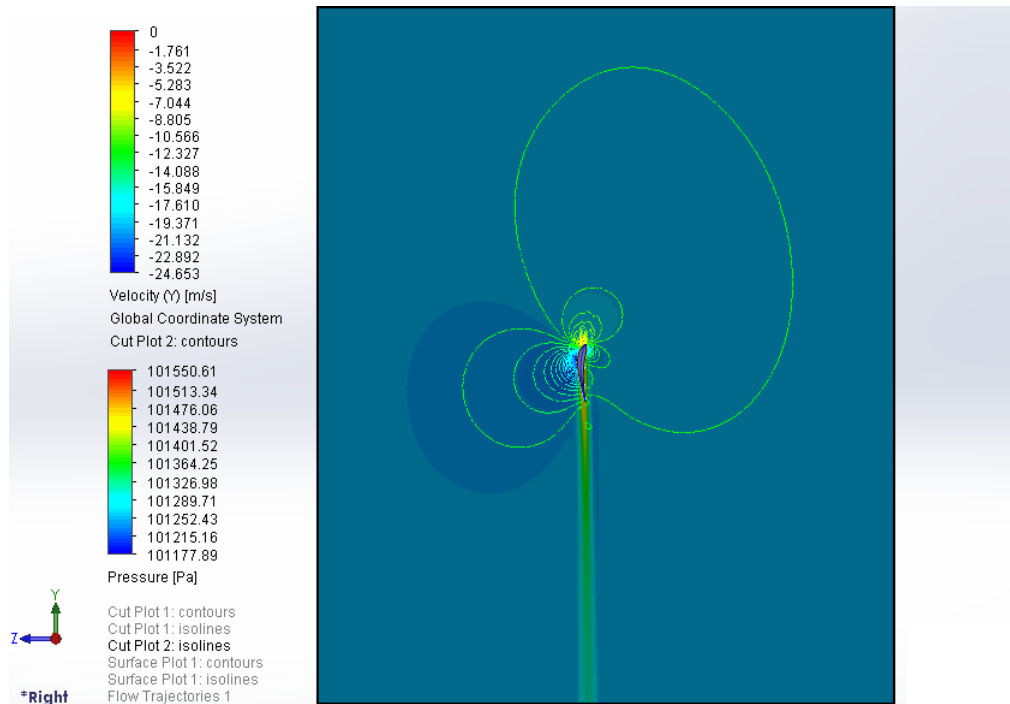
(d) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=0^\circ$.
 $Re=403274$

22 pav. Albatroso sparno profilį aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=0^\circ$.
 $Re=403274$



23 pav. Slėgių ir srauto greičio pasiskirstymas YZ plokštumoje. $AoA=0^\circ$. $Re=403274$

Pateiktuose 26 ir 27 pav. oro srautas aptekantis sparno profilį turi neigiamą reikšmę – nukreiptas priešinga Y ašies kryptimi. Albatroso sparno profilis nėra simetriškas, todėl 26 pav. matome, kai sparno profilio atakos kampas lygus $AoA=0^\circ$, pagal Bernulio dėsnį, oro srauto srovės virš sparno susispaudžia labiau nei apačioje ir taip sukuria keliamąją bei pasipriešinimo jėgas.



24 pav. Slėgių ir srauto greičio pasiskirstymas YZ plokštumoje. $AoA=0^\circ$. $Re=403274$

Kaip jau minėjome, vienas pagrindinių sparno profilio aerodinaminio tyrimo tikslų yra nubrėžti analizuojamo objekto – klajojančio albatroso – sparno poliare esant skirtingiems atakos kampams. Poliare grafiškai pavaizduos koeficientų C_L , C_D ir C_R priklausomybę nuo atakos kampo. 4 lentelėje pateikiame skaičiavimo rezultatų duomenis programos *SolidWorks*, paprogramės *Flow Simulation* aplinkoje.

4 lentelė. Sparno profilio aerodinaminės charakteristikos YZ plokštumoje. $AoA=0^\circ$. $Re=403274$

| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|----------------|------|--------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Force 1 | [N] | 1,947 | 1,7923 | 1,6781 | 1,947 | 47 | Yes | 0,062 | 0,029 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | -0,308 | -0,3011 | -0,3165 | -0,289 | 87 | Yes | 0,009 | 0,008 |
| GG Force (Z) 1 | [N] | 1,922 | 1,7668 | 1,6510 | 1,922 | 45,6 | Yes | 0,063 | 0,029 |

Pirmajame 4 lentelės stulpelyje pateiktos trys pagrindinės aerodinaminės jėgos reikalingos pavaizduoti koeficientų C_L , C_D ir C_R priklausomybę nuo atakos kampo. Pirmojoje eilutėje – pilnutinė aerodinaminė jėga, antrojoje – keliamoji, o trečiojoje eilutėje – pasipriešinimo jėga. Visų veikiančių jėgų dydžiai išreikšti Niutonais [N].

Sparno profilio keliamosios, pasipriešinimo ir pilnutinės aerodinaminės jėgos koeficientų C_L , C_D , C_R reikšmės apskaičiuojamos pagal (9)-(13) formules. Prieduose esančiose 6-8 lentelėse pateikiame skaičiavimo rezultatus gautus naudojantis programa *MS Excel*.

5 lentelė. Sparno profilio paviršiaus plotas apribotoje skaičiuotinėje erdvėje $AoA=0^\circ \div 25^\circ$. $Re=403274$

| Parameter | Value | X-component | Y-component | Z-component | Surface Area [m^2] |
|--------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------------|
| Surface Area [m^2] | 0,060546686 | 0 | 9,88792E-16 | -4,11997E-18 | 0,060546686 |

Tyrimo metu atlikome sparno profilio aerodinaminių charakteristikų analizę, kai sparno profilio atakos kampas AoA kinta nuo 0° iki 25° . Prieduose esančiuose paveikslėliuose ir lentelėse pateikiame detalias sparno profilio atakos kampo iliustracijas su spektro kitimu keičiantis slėgių pasiskirstymui prieš sparną, sąstingio taško vietoje, virš sparno bei sparno apačioje, kaip kinta keliamoji jėga, pasipriešinimo ir pilnutinė aerodinaminė jėga keičiantis profilio atakos kampui. Prieduose esančioje 6 lentelėje detaliai pateikiame sparno profilio keliamosios jėgos priklausomybę nuo atakos kampo, taip pat keliamosios jėgos koeficiento C_L reikšmes. 7 lentelėje pateikiame sparno profilio pasipriešinimo jėgos priklausomybę nuo atakos kampo bei apskaičiuotas pasipriešinimo jėgos koeficiento C_D reikšmes. 7 lentelės 2-ame stulpelyje „D“ įrašytos pasipriešinimo jėgos reikšmės iš prieduose esančių lentelių duomenų, o 6-ame stulpelyje pateikiamos apskaičiuotos C_D reikšmės. Prieduose esančioje 8 lentelėje pateikiamos pilnutinės aerodinaminės jėgos R reikšmės kintant sparno profilio atakos kampui $AoA=0^\circ\div 25^\circ$. Pilnutinė aerodinaminė jėga yra visų kūną veikiančių jėgų suma. Jėgų atstojamoji pasvirusi aptekancio srauto kryptimi ir pridedama sparno profilio slėgio centro vietoje.

9 lentelė. C_L priklausomybė nuo atakos kampo α , Re

| α | C_L | α | C_L |
|----------|----------|----------|----------|
| 0 | 0,129568 | 13 | 0,493733 |
| 1 | 0,183566 | 14 | 0,462183 |
| 2 | 0,193947 | 15 | 0,529394 |
| 3 | 0,210396 | 16 | 0,561348 |
| 4 | 0,236013 | 17 | 0,484767 |
| 5 | 0,295404 | 18 | 0,542944 |
| 6 | 0,366794 | 19 | 0,563505 |
| 7 | 0,38904 | 20 | 0,55791 |
| 8 | 0,370165 | 21 | 0,497912 |
| 9 | 0,385535 | 22 | 0,531484 |
| 10 | 0,427533 | 23 | 0,524069 |
| 11 | 0,427533 | 24 | 0,498721 |
| 12 | 0,482744 | 25 | 0,506811 |
| | | MAX | 0,563505 |

Atakos kampas α , kai keliamosios jėgos koeficientas įgyja didžiausią reikšmę – vadinamas kritiniu atakos kampu ir žymimas simboliu α_{kr} . Pasiekus kritinį atakos kampą albatroso sparno profilio keliamoji jėga, keliamosios jėgos koeficiento reikšmė pradeda mažėti. Pagal 9 lentelėje pateiktus duomenis galime daryti išvadą, jog sparno profilis atakos kampų diapazone $[\alpha_0; \alpha_{kr}]$ pasiekė kritinį atakos kampą ir įgijo didžiausią keliamosios jėgos koeficiento reikšmę $C_L=0,561348$, kai $\alpha_{kr}=16^\circ$.

10 lentelė. C_D priklausomybė nuo atakos kampo α , R_e

| α | C_D | α | C_D |
|----------|----------|----------|----------|
| 0 | 0,020696 | 13 | 0,061953 |
| 1 | 0,022044 | 14 | 0,065525 |
| 2 | 0,027302 | 15 | 0,075435 |
| 3 | 0,032763 | 16 | 0,082851 |
| 4 | 0,035999 | 17 | 0,098221 |
| 5 | 0,023123 | 18 | 0,110557 |
| 6 | 0,028583 | 19 | 0,121276 |
| 7 | 0,034448 | 20 | 0,131051 |
| 8 | 0,047459 | 21 | 0,151114 |
| 9 | 0,050223 | 22 | 0,153297 |
| 10 | 0,051301 | 23 | 0,158555 |
| 11 | 0,049616 | 24 | 0,184307 |
| 12 | 0,063773 | 25 | 0,168195 |
| | | MAX | 0,184307 |

11 lentelė. C_R priklausomybė nuo atakos kampo α , R_e

| α | C_R | α | C_R |
|----------|----------|----------|----------|
| 0 | 0,131253 | 13 | 0,497575 |
| 1 | 0,184846 | 14 | 0,466835 |
| 2 | 0,195835 | 15 | 0,53472 |
| 3 | 0,21289 | 16 | 0,567415 |
| 4 | 0,238709 | 17 | 0,494609 |
| 5 | 0,296347 | 18 | 0,554135 |
| 6 | 0,36794 | 19 | 0,576448 |
| 7 | 0,390523 | 20 | 0,573078 |
| 8 | 0,373198 | 21 | 0,520293 |
| 9 | 0,388771 | 22 | 0,553191 |
| 10 | 0,430567 | 23 | 0,547528 |
| 11 | 0,430432 | 24 | 0,531686 |
| 12 | 0,486991 | 25 | 0,533978 |
| | | MAX | 0,576448 |

Tęsdami sparno profilio aerodinaminių charakteristikų tyrimą pastebime, jog toliau didinant atakos kampą $\alpha_{16+i} > \alpha_{kr}$, keliamosios jėgos koeficiento reikšmė mažėja dėl atitrūkstančio srauto srities, o pasipriešinimo jėgos koeficiento reikšmė auga sparčiau didinant virškritinį atakos kampą. Pasipriešinimo jėgos reikšmė tarp atakos kampų $\alpha_{15} = 15^\circ$ ir $\alpha_{16} = 16^\circ$ yra $\Delta_{15-16} = 0,007416$, o kai sparno profilio atakos kampas įgyja reikšmes $\alpha_{16} = 16^\circ$ ir $\alpha_{17} = 17^\circ$ pasipriešinimo jėgos reikšmė atitinkamai lygi $\Delta_{16-17} = 0,01537$. Pasipriešinimo jėgos koeficiento reikšmė padidėjo 2,073_karto.

12 lentelė. C_L/C_D priklausomybė nuo atakos kampo α , R_e

| α | C_L/C_D | α | C_L/C_D |
|----------|-----------|----------|-----------|
| 0 | 6,260586 | 13 | 7,969532 |
| 1 | 8,327217 | 14 | 7,053498 |
| 2 | 7,103704 | 15 | 7,017873 |
| 3 | 6,421811 | 16 | 6,775427 |
| 4 | 6,55618 | 17 | 4,935484 |
| 5 | 12,77551 | 18 | 4,910976 |
| 6 | 12,83255 | 19 | 4,64647 |
| 7 | 11,29354 | 20 | 4,257202 |
| 8 | 7,799716 | 21 | 3,29438 |
| 9 | 7,67651 | 22 | 3,467018 |
| 10 | 8,333771 | 23 | 3,305272 |
| 11 | 8,616848 | 24 | 2,705925 |
| 12 | 7,569767 | 25 | 3,013226 |
| MAX | 12,83255 | | |

Daugelis šiuolaikinių sparno profilių įgyja maksimalią keliamosios jėgos koeficiento reikšmę lygią $C_{Lmax}=0,7\div 1,5$; $\alpha_{kr}=14\div 18^\circ$ [20]. Sumodeliuoto eksperimentinio albatroso sparno profilio aerodinaminės charakteristikos yra artimos literatūros šaltinyje [20] aprašytoms reikšmėms ir lygios $C_{Lmax}=0,561348$; $\alpha_{kr}=16^\circ$.

Keliamoji jėga yra priežastis, dėl kurios sparnas laikosi ore, o pasipriešinimo jėga sparną veikia priešingai – ji bando sustabdyti. Todėl natūralu, kad šių dviejų parametrų santykis apibrėžia aerodinamai labai svarbų parametą – aerodinaminės kokybės koeficientą. Šio koeficiento dydis, t.y. keliamosios ir pasipriešinimo jėgos santykis arba keliamosios jėgos ir pasipriešinimo jėgos koeficientų santykis, parodo kiek kartų keliamosios jėgos reikšmė yra didesnė už pasipriešinimo jėgą. Skaičiavimus atlikome pasinaudodami lygtimis (15) ir (16). Apskaičiuotos aerodinaminės kokybės koeficiento reikšmės kiekvienam sparno profilio atakos kampui pateikiamos 12 lentelėje.

$$K = \frac{L}{D} = \frac{C_L}{C_D} \quad (15)$$

čia: K – aerodinaminės kokybės koeficientas;

L – sparno profilio keliamoji jėga, N;

D – sparno profilio pasipriešinimo jėga, N;

C_L – sparno profilio keliamosios jėgos koeficientas;

C_D – sparno profilio pasipriešinimo jėgos koeficientas.

$$ctg\theta = K = \frac{C_L}{C_D} \text{ arba } tg\theta = \frac{1}{K} = \frac{C_D}{C_L} \quad (16)$$

čia: K – aerodinaminės kokybės koeficientas;

θ – kokybės kampas, °;

C_L – sparno profilio keliamosios jėgos koeficientas;

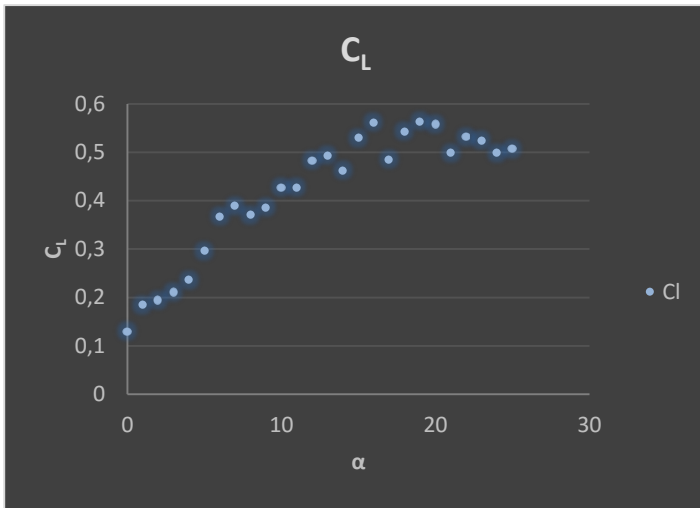
C_D – sparno profilio pasipriešinimo jėgos koeficientas.

Aerodinaminės kokybės kampas θ – tai kampas tarp sparno profilio keliamosios jėgos L ir pilnosios aerodinaminės jėgos R . Šios aerodinaminės jėgos iliustruotos 20 pav. (20b). Tyrimo metu apskaičiuota kokybės kampo reikšmė yra lygi $\theta = 4,45585^\circ$.

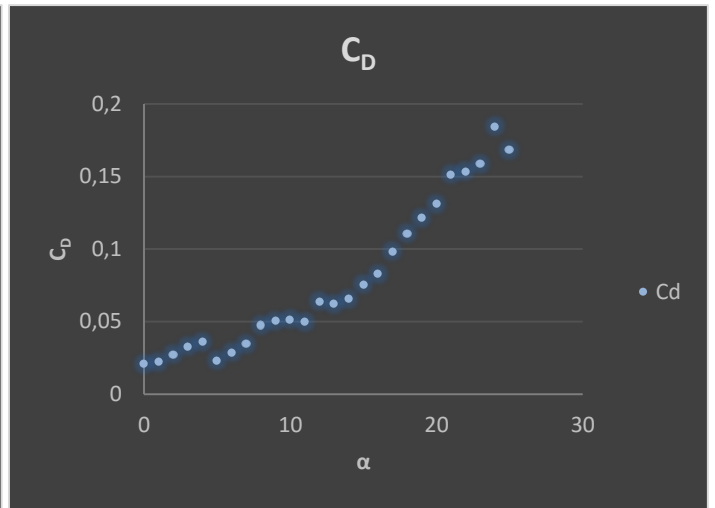
Nustatėme, jog didžiausias keliamosios ir pasipriešinimo jėgų santykis gaunamas, kai atakos kampas lygus $\alpha_6 = 6^\circ$, tuomet aerodinaminės kokybės koeficiento reikšmė yra lygi $K=12,83255$. Sparno profilio atakos kampui pasiekus kritinį, $\alpha_{kr}=16^\circ$, aerodinaminės kokybės koeficiento reikšmė yra lygi $K=6,775$. Tiriamojo sparno profilio aerodinaminės kokybės koeficiento dydis priklauso nuo profilio paviršiaus lygumo ir glotnumo, taip pat kitų veiksnių, darančių įtaką keliamosios ir pasipriešinimo jėgų dydžių kitimui. *SolidWorks* programos aplinkoje sudaromos idealios sąlygos laminariniam oro srauto aptekėjimui, todėl galime daryti prielaidą, jog atlikus sparno profilio aerodinaminių charakteristikų tyrimą vėjo tunelyje aerodinaminės kokybės koeficientas, kai atakos kampas lygus $\alpha_6=6^\circ$, pasikeistų ir būtų mažesnis nei gautoji reikšmė $K=12,83255$.

13 lentelė. C_L ir C_D priklausomybė nuo atakos kampo α , Re

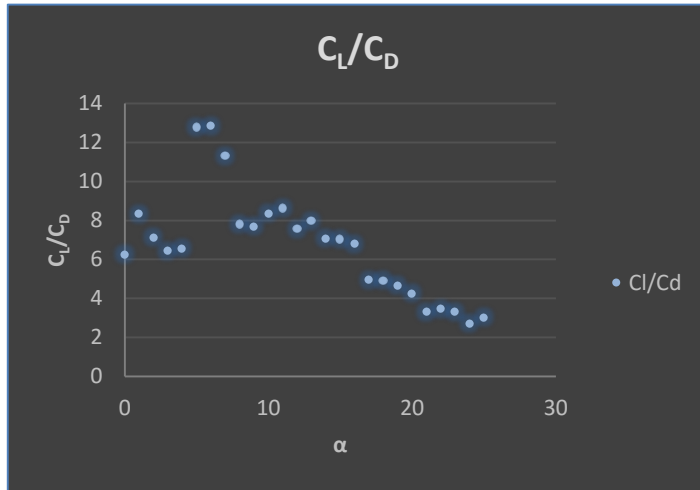
| α | C_D | C_L | α | C_D | C_L |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0 | 0,020696 | 0,129568 | 13 | 0,061953 | 0,493733 |
| 1 | 0,022044 | 0,183566 | 14 | 0,065525 | 0,462183 |
| 2 | 0,027302 | 0,193947 | 15 | 0,075435 | 0,529394 |
| 3 | 0,032763 | 0,210396 | 16 | 0,082851 | 0,561348 |
| 4 | 0,035999 | 0,236013 | 17 | 0,098221 | 0,484767 |
| 5 | 0,023123 | 0,295404 | 18 | 0,110557 | 0,542944 |
| 6 | 0,028583 | 0,366794 | 19 | 0,121276 | 0,563505 |
| 7 | 0,034448 | 0,38904 | 20 | 0,131051 | 0,55791 |
| 8 | 0,047459 | 0,370165 | 21 | 0,15114 | 0,497912 |
| 9 | 0,050223 | 0,385535 | 22 | 0,153297 | 0,531484 |
| 10 | 0,051301 | 0,427533 | 23 | 0,158555 | 0,524069 |
| 11 | 0,049616 | 0,427533 | 24 | 0,184307 | 0,498721 |
| 12 | 0,063773 | 0,482744 | 25 | 0,168195 | 0,506811 |



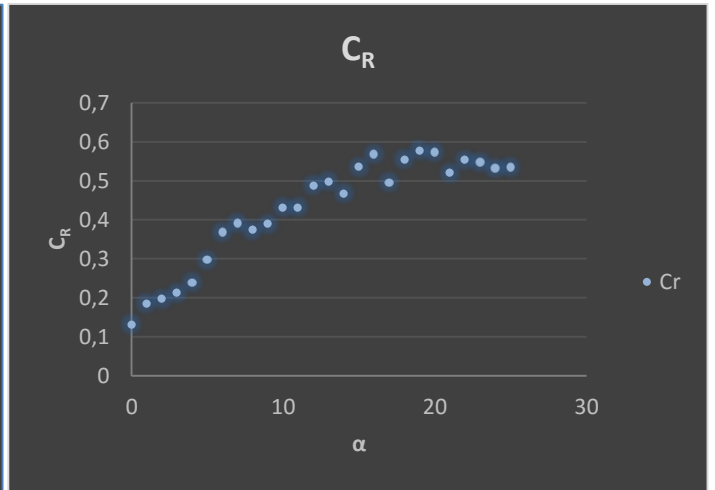
(a) C_L priklausomybė nuo atakos kampo α , R_e



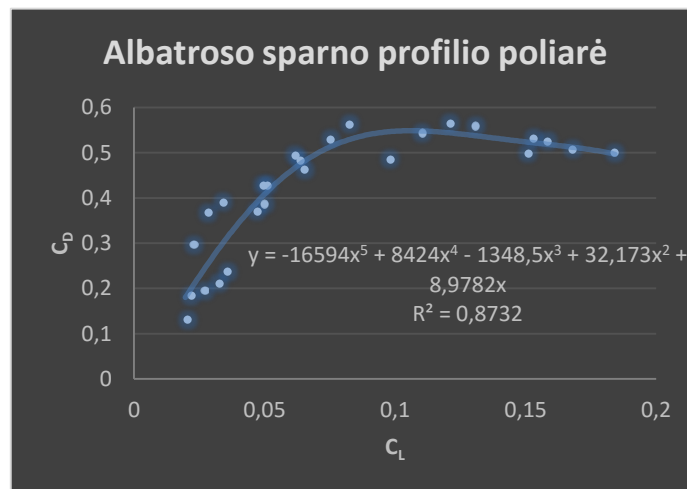
(b) C_D priklausomybė nuo atakos kampo α , R_e



(c) C_L/C_D priklausomybė nuo atakos kampo α , R_e



(d) C_R priklausomybė nuo atakos kampo α , R_e

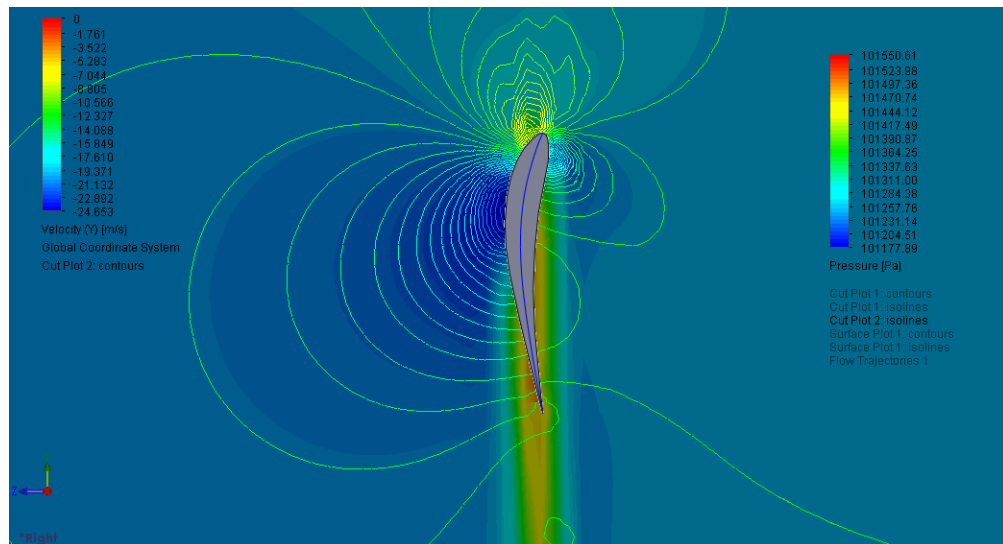


(e) C_L ir C_D priklausomybė nuo atakos kampo α , R_e

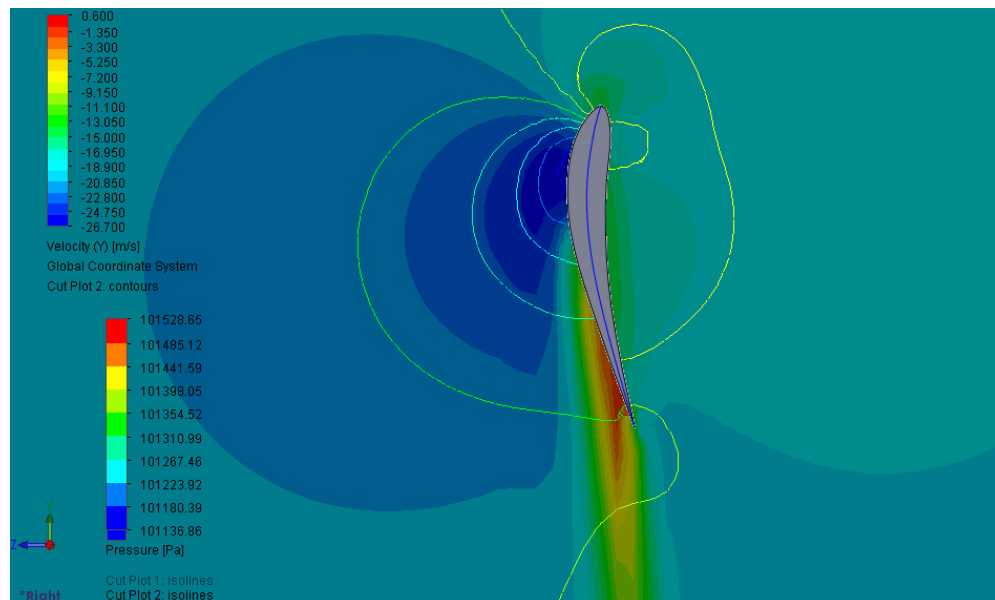
25 pav. Koeficientų C_L , C_D ir C_R priklausomybė nuo atakos kampo. $\alpha = 0^\circ \div 25^\circ$. $R_e = 403274$

9-13 lentelėse pateiktus sparno profilio aerodinaminių tyrimų duomenis iliustruojame taškų sklaidos diagramomis 25 pav. (a)-(e). Paveikslėlio punktą (e) iliustruoja koeficientų C_L ir C_D priklausomybę nuo atakos kampo. Sujungus šios diagramos sklaidos taškus, gauname sparno profilio poliarę. Taip pat pateikiame poliarės funkcijos matematinę išraišką. Skyriaus 3.1 pradžioje jau aprašėme sparno profilio poliarės panaudojimo galimybes ir jos naudą tyrimų eigai bei papildomiems aerodinaminių charakteristikų parametrams rasti, pavyzdžiui, nulinės keliamosios jėgos kampą α_0 ir kt.

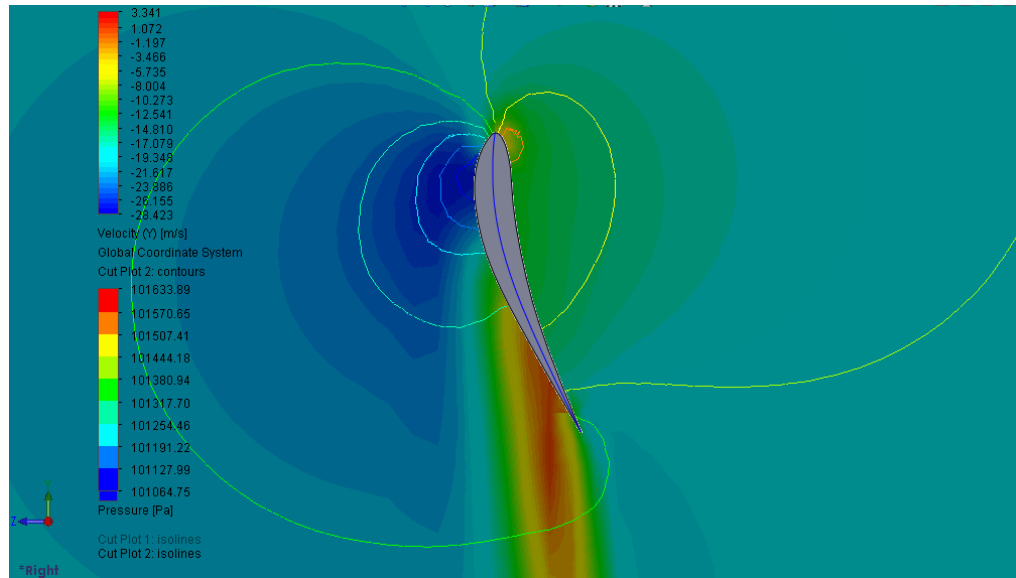
26-29 pav. pateikiame sparno srauto aptekos ir slėgių pasiskirstymo spektrinės analizės iliustracijas, skirtas palyginti, kaip tyrimo eigoje keičiasi slėgio pasiskirstymas bei srauto aptekėjimo greitis charakteringuose atakos kampuose $\alpha \in [0^\circ; 6^\circ; 16^\circ]$.



26 pav. Slėgių ir srauto greičio pasiskirstymas YZ plokštumoje. $AoA=0^\circ$. $Re=403274$



27 pav. Slėgių ir srauto greičio pasiskirstymas YZ plokštumoje. $AoA=6^\circ$. $Re=403274$



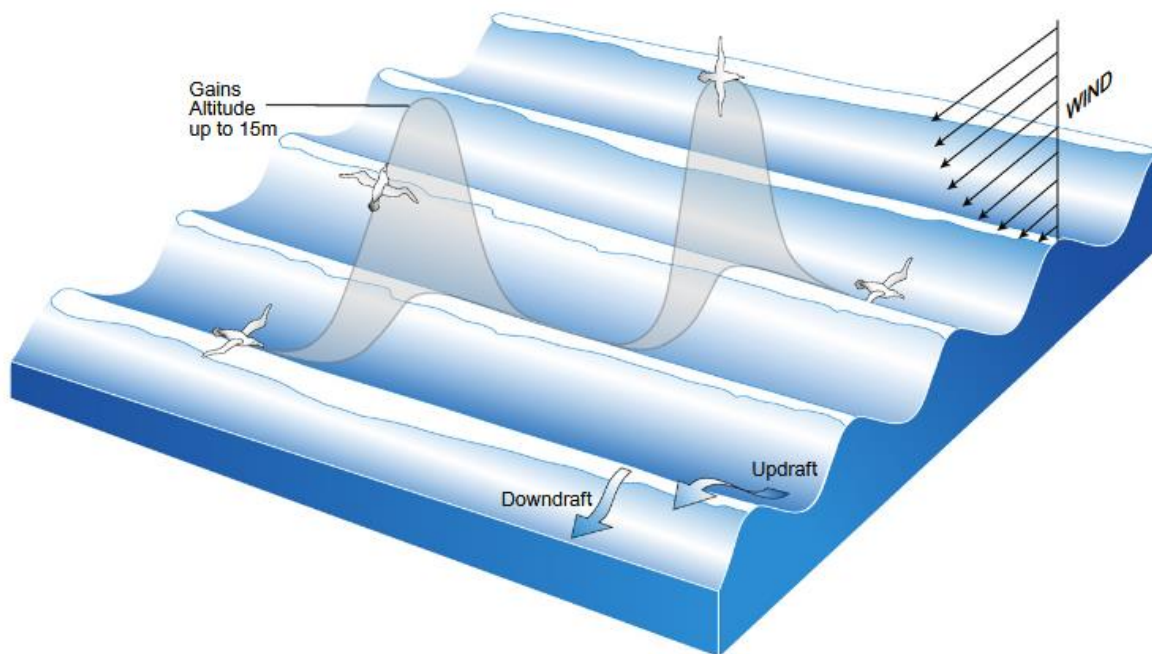
28 pav. Slėgių ir srauto greičio pasiskirstymas YZ plokštumoje. $AoA=16^\circ$. $Re=403274$

Palyginę 26-28 pav. pateikiamas sparno srauto aptekos ir slėgių pasiskirstymo spektrinės analizės iliustracijas, kai atakos kampas $\alpha \in [0^\circ; 6^\circ; 16^\circ]$, pastebime, kad sparno profiliui pasiekus kritinę ribą $\alpha_{kr}=16^\circ$, pasienio sluoksniu tekantis oro srautas nebepajėgia nugalėti slėgio didėjimo galinės briaunos link ir atitrūksta nuo sparno paviršiaus pradžioje prie galinės briaunos [10]. Galime daryti išvadą, jog atitrūkęs oro srautas, kai atakos kampas lygus $\alpha_{kr}=16^\circ$, sparno profilio galinėje dalyje suformuoja sūkurius, kurie, remiantis spektrine analize ir prieduose pateiktomis iliustracijomis, įgyja srautui priešingą greičio vektorių. Šis srauto atitrūkimasis mažina keliamosios jėgos koeficiento C_L reikšmę ir detalai pateikiamas 9 lentelėje.

4.2. ALBATROSO SKLANDMENS AERODINAMINIŲ CHARAKTERISTIŲ TYRIMAS

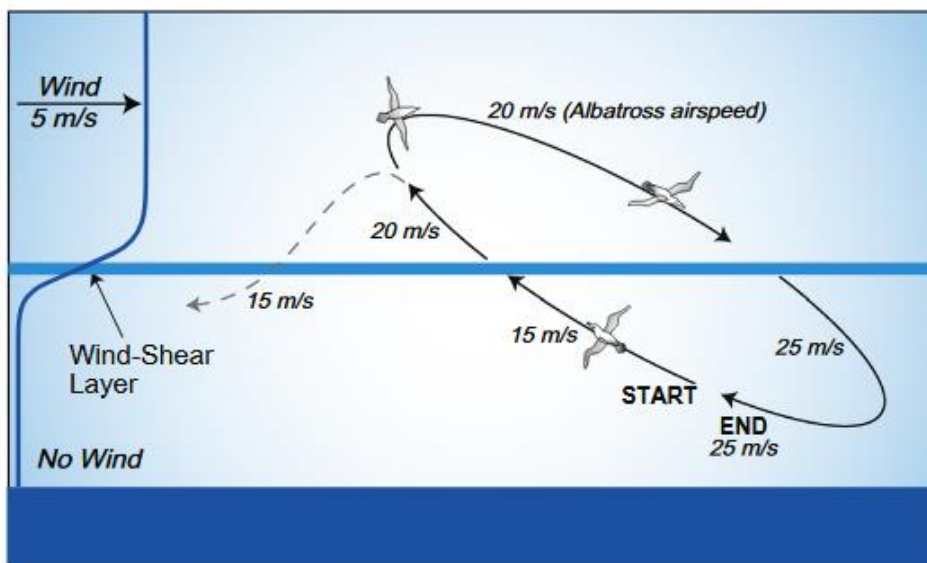
Pagrindinis magistro baigiamojo darbo tikslas - išnagrinėti klajojančio albatroso (angl. *Wandering albatross*, lot. *Diomedea exulans*) dinaminio skriejimo (angl. *Dynamic soaring*) ypatumus ir jų priklausomybę nuo sklandmens konfigūracijos aerodinaminių charakteristikų. Skyriuje 4.1. „Albatroso sparno profilio aerodinaminės charakteristikos“ atlikę analizę nustatėme, kaip keičiasi aerodinaminės charakteristikos keičiant sparno profilio atakos kampą. Šiame skyriuje atliksime albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų tyrimą, kuris leis išanalizuoti albatroso aerodinaminių charakteristikų priklausomybę nuo sparno konfigūracijos pagal 3 skyriuje aprašyta tyrimo metodiką ir aplinkos sąlygas.

Klajojantis albatrosas dinaminiam skriejimui naudoja bangos fronto sukuriamą horizontalų vėjo (angl. *wind-shear*) greičio gradientą (žr. pav. 29, 30), veikiančią jūros paviršiuje iki 15 metrų aukščio [5].



29 pav. Albatroso skriejimo trajektorija jūros paviršiuje [22]

Oro srautas veikiantis bangų paviršiuje sukuria horizontalią ir vertikaliąją vėjo dedamąsias. Šias dedamąsias nėra lengva atskirti. Bangų paviršiuje veikiantis oro srautas taip pat sukuria smarkius momentinius gūsius. Pietų pusrutulyje, Atlanto ir Ramiajame vandenynuose, kuriuose didžioji dalis pasaulio klajojančių albatrosų populiacijos yra paplitę, naudojami stipriais veikiančiais vėjais ir aukštomis bangomis dinaminiam skriejimui realizuoti.



30 pav. Ideali albatroso skriejimo trajektorijos ciklo schema jūros paviršiuje [22]

Matematiniai modeliai, skirti analizuoti albatroso dinaminio skriejimo trajektorijas, įvertina vėją kaip horizontalų vėjo greičio gradientą kintantį vertikaliai ir nevertina vandenyno paviršiaus bangų judėjimo tuo metu, kai albatrosas atlieka skriejimo ciklą numatyta trajektorija (žr. 30 pav.). Taip pat nėra įvertinami gūsių poveikiai aktyviai veikiantys albatroso dinaminį skriejimą bei sukuriantys pasipriešinimo jėgas priklausomai nuo skrydžio trajektorijos.

Matematiniai modeliai, aprašantys albatroso dinaminį skriejimą, apribojami linijiniu, logaritminiu ar eksponentiniu horizontalaus vėjo gradiento kitimu, tai labai skiriasi nuo momentinio vėjo veikimo keičiantis aukščiui, gūsių ir oro srauto įtakos, priklausomai nuo bangos judesio kiekio bei intensyvumo. Idealizuoti dinaminio skriejimo modeliai leidžia priartėjimo būdu vertinti albatroso skriejimo trajektorijas ir išreikšti jas sudėtingomis diferencialinėmis lygtimis, kurias naudosime aprašydami tiriamojo objekto dinaminio skriejimo trajektorijas, bei atlikdami trajektorijų optimizavimą.

Albatroso dinaminio skriejimo ciklas dar kitaip vadinamas Railio ciklu (angl. *Rayleigh cycle*). Tai pirmasis mokslininkas aprašęs ir iliustravęs horizontalaus vėjo gradiento (angl. *wind-shear*) išnaudojimą skrydžio metu [22]. Horizontalaus vėjo greičio dinamika bangų paviršiuje leidžia nuspėti, kokia trajektorija bei greičiu albatrosas atliks skrydžio manevrą. Railio ciklo (angl. *Rayleigh cycle*) metu naudojami du homogeniniai oro srauto sluoksniai, pateikti pačia efektyviausia srauto išnaudojimo forma, kai albatrosas horizontalų vėjo greičio gradientą panaudoja efektyviausiai su mažiausiomis energijos sąnaudomis ir nuostoliais. Kitaip tariant, sugeba nenaudodamas energijos atlikti skrydžio ciklą (angl. *energy-neutral flight*) [22].

Šiame tyrimo etape siekiame nustatyti albatroso sklandmens aerodinamines charakteristikas. Programos *SolidWorks* aplinkoje atliekame 3D simuliaciją nustatytų matmenų, pateiktų 31 pav. kairėje pusėje, lentelėje „Dydžiai ir kraštinės sąlygos“ (angl. *Size and Conditions*), skaičiuotinėje erdvėje. 14 lentelėje pateikiame albatroso 3D modelio paviršiaus ploto duomenis, kurie yra programos *SolidWorks* išvesties duomenys.

14 lentelė. Albatroso sklandmens paviršiaus plotas apribotoje skaičiuotinėje erdvėje $AoA = -2^\circ \div 6^\circ$

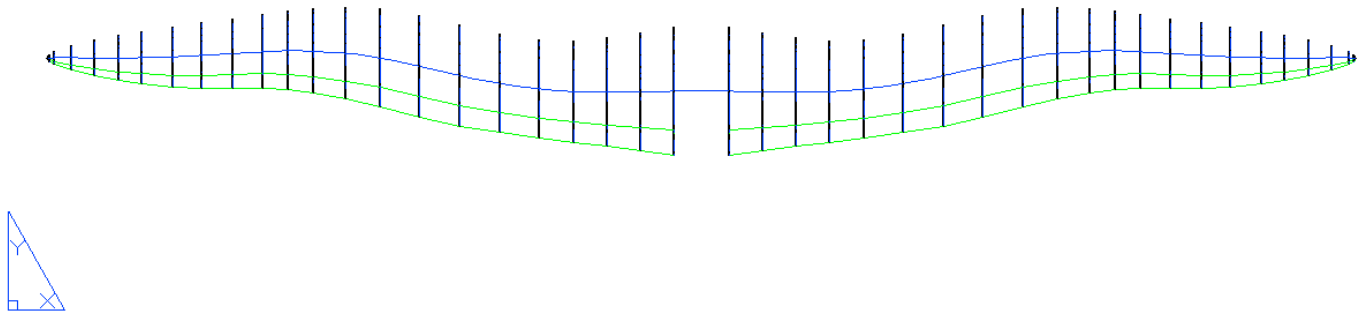
| Parameter | Value | X-component | Y-component | Z-component | Surface Area [m ²] |
|--------------------------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------------------------|
| Surface Area [m ²] | 1,52412789 | -7,05052E-06 | -1,82245E-05 | -3,34633E-06 | 1,52412789 |

Tyrimams atlikti naudojami skaičiuotinės erdvės matmenys pateikti prieduose esančiame 31 pav. Šie matmenys pasirinkti taip, kad visas tiriamasis objektas ir charakteringos slėgio izobaros, bei oro srauto greičio izolinijos patektų į skaičiuotinės erdvės ribas. Mažinant skaičiuotinės erdvės matmenis ir apribojant albatroso 3D modelį siauru kontūru, gaunamos aerodinaminių charakteristikų skaitinių reikšmių paklaidos, kurios neleidžia pasiekti išvesties duomenų su kiek įmanoma mažesne paklaida.

Tyrimams atlikti naudojama tikroji albatroso skriejimo greičio reikšmė (angl. *True Air Speed*) oro srauto atžvilgiu. Ši reikšmė skiriasi nuo albatroso skrydžio greičio žemės atžvilgiu (angl. *Ground Speed*). Būtina pažymėti, jog *TAS* ir *GS* reikšmės skiriasi, jos nėra lygios. Tiriamojo objekto aerodinaminės charakteristikos priklauso nuo tikrosios albatroso skriejimo greičio reikšmės oro srauto atžvilgiu. Jeigu skaičiavimams panaudotume *GS* reikšmę, kuri yra kur kas mažesnė nei *TAS* reikšmė, negalėtume tiksliai iširti albatroso aerodinaminių charakteristikų. Apskaičiuota kinetinės energijos reikšmė būtų mažesnė nei tikroji.

Tikrasis ir ženklus skriejimo greičio prieaugis pasiekiamas albatrosui kirtus horizontalaus vėjo greičio gradiento veikimo liniją. Ši linija iliustruota 30 pav. ir pažymėta pavadinimu „Wind-Shear layer“. Didžiausias *GS* reikšmės prieaugis stebimas tuomet, kai albatrosas skrydžio trajektorijoje atlieka posūkio manevrą iš kiltinės (angl. *upwind*) į grįžtinę (angl. *downwind*). Šis greičio skirtumo pokytis komplikuoja energijos efektyvumo išnaudojimo aprašymą matematiniu modeliu. Subalansuoto skrydžio metu (pirmasis Niutono dėsnis), kai albatrosas skrieja grįžtinėje, akivaizdu, kad tiriamasis objektas prarasdamas aukštį, patiria energijos nuostolius. Tam, kad būtų galima tęsti skrydį nustatyta trajektorija, albatrosas privalo pasinaudoti veikiančiais atmosferos reiškiniais ir kompensuoti patirtus kinetinės bei potencinės energijos nuostolius.

Pietų pusrutulyje, vandenynų regionuose, kuriuose gausiausiai paplitusios albatrosų populiacijos neegzistuoja stiprios aukštyneigės oro srauto srovės (*antvėjis*), todėl šis skrydžio modelis nebus nagrinėjamas. Tyrimas apsiriboja dinaminio skriejimo modeliu ir šiam modeliui mokslinėje literatūroje pateikiamomis skrydžio trajektorijomis. Laikas, per kurį albatrosas atlieka vieną dinaminio skriejimo ciklą – 10 sekundžių [22].



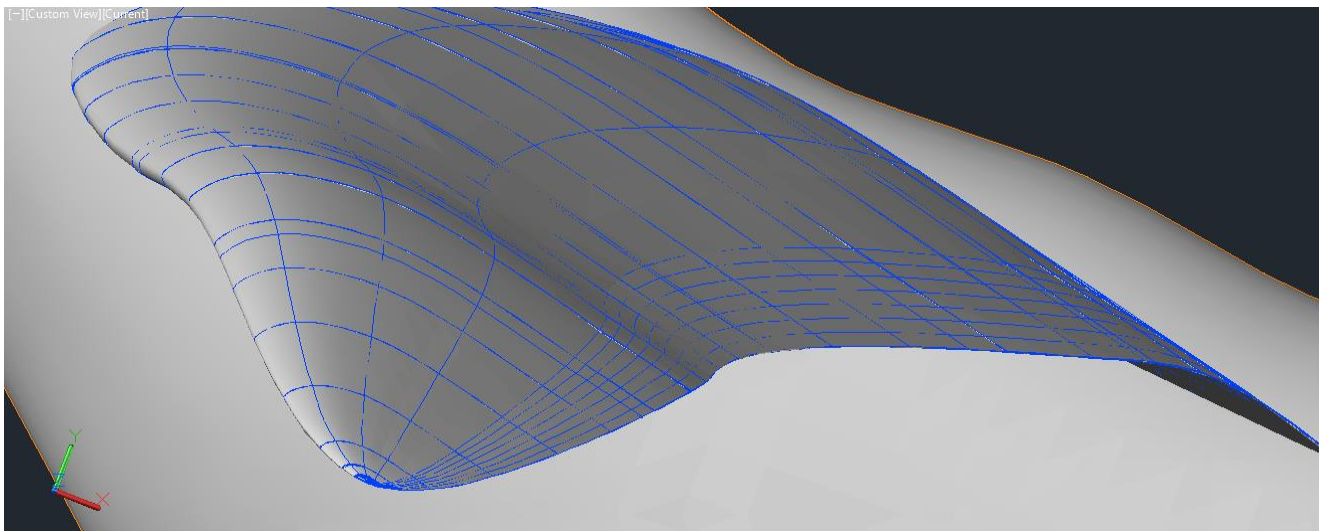
32 pav. Albatroso sparno aksonometrinis modelis su užsparniais

Albatroso sparno profilio aerodinaminės charakteristikos analizuojamos veikiant 20 m/s oro srauto greičiui. Mokslinėje publikacijoje [22] pateikiama, jog nustatytas tikrasis albatroso skrydžio greitis 15_m/s kiltinės pozicijoje. Žemiau horizontalaus vėjo greičio gradiento veikimo linijos, kurią kirtęs albatrosas įgyja papildomą kinetinės energijos kiekį ir tikrasis albatroso greitis gali išaugti iki 20 m/s. Albatrosui keičiant skrydžio trajektoriją iš kiltinės į grįžtinę, nustatyta, jog tikrasis skrydžio greitis 20_m/s gali įgyti papildomą 5 m/s nugarinio vėjo reikšmę, taip albatrosui suteikdamas papildomą kinetinės energijos prieaugį. Apatiniame grįžtinės taške, žemiau horizontalaus vėjo greičio gradiento veikimo linijos, albatroso tikrojo oro greičio projekcija į horizontalią plokštumą išauga iki 25 m/s. Šis kinetinės energijos prieaugis leidžia atlikti posūkio manevrą ir iš naujo pradėti skrydžio ciklą kiltinėje.

15 lentelė. Klajojančio albatroso skrydžio charakteristikos [22]

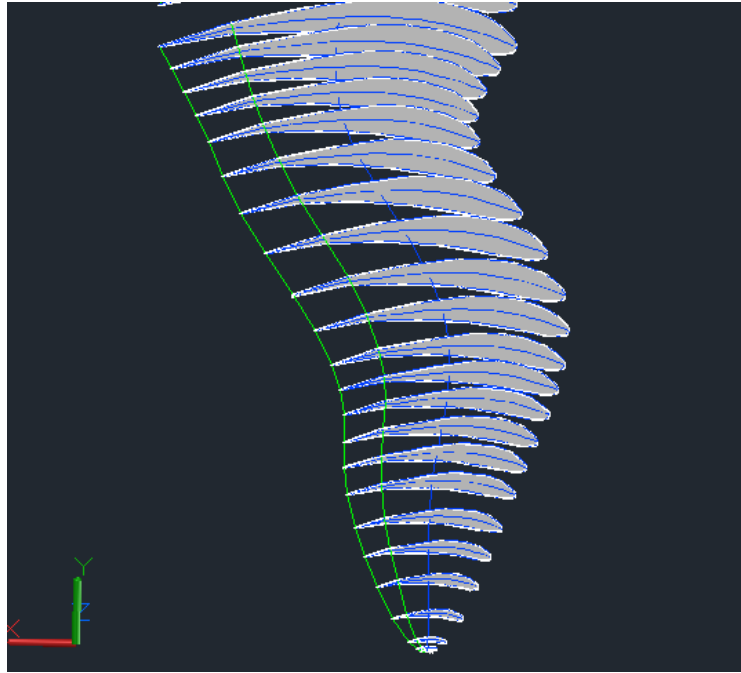
| Flight characteristic | t (s) | φ (°) | V (m/s) | V_z (m/s) | V/V_z | ΔW (m/s) |
|----------------------------------|---------|---------------|-----------|-------------|---------|------------------|
| <i>Straight flight</i> | | | | | | |
| Minimum sink rate | - | 0 | 12.2 | 0.66 | 18.4 | - |
| Maximum V/V_z | - | 0 | 16.0 | 0.76 | 21.2 | - |
| <i>Circular flight</i> | | | | | | |
| Minimum sink at $t = 10$ s | 10.0 | 42.1 | 14.1 | 1.04 | 13.7 | - |
| Minimum height loss | 9.3 | 45.0 | 14.5 | 1.11 | 13.0 | - |
| <i>Rayleigh cycle loop</i> | | | | | | |
| Minimum ΔW at $t = 10$ s | 10.0 | 45.6 | 16.0 | 1.14 | 13.8 | 3.55 |
| Absolute minimum ΔW | 7.2 | 54.7 | 16.0 | 1.51 | 10.6 | 3.36 |

Galima daryti prielaidą, jog reiškiniai, tokie kaip – didelis tikrojo oro greičio prieaugis, staigūs posūkiai dideliu posvyriu, fizinės paukščio charakteristikos – apribos realaus albatroso skrydį ir skriejimo trajektoriją.



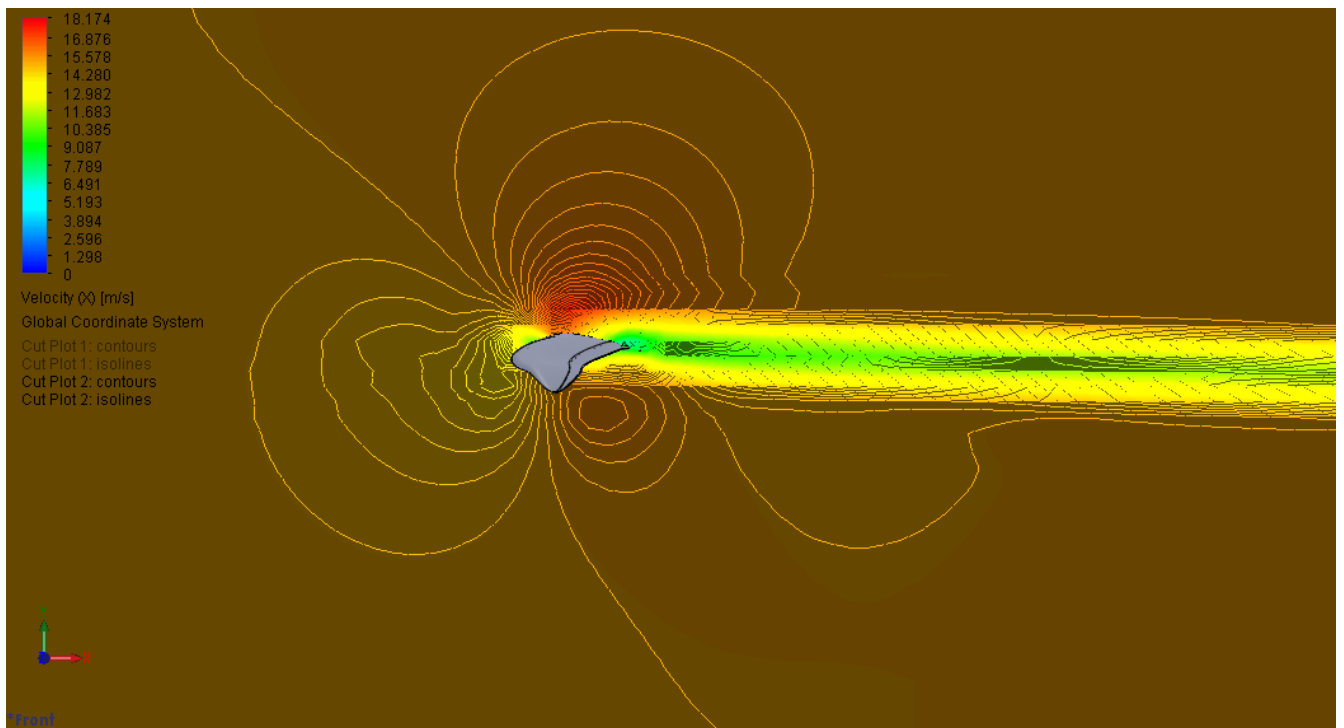
33 pav. Albatroso sparno 3D modelis su užsparniais

Atliekant albatroso sklandmens analizę, keisime albatroso sparno užsparnių bei sparno atakos kampo padėtis, oro srauto greičius, aptenkančius sklandmenį, kai užsparnių padėtis nuo -2° iki 0° imtinai, žingsniu 1° , o oro srauto greitis 25 m/s. Taip pat, kai oro srauto greičio reikšmė, aptenkančio sklandmenį, lygi 15 m/s, o užsparnių padėtis kinta nuo 0° iki 6° imtinai, žingsniu 1° . Veikiant 25 m/s oro srauto greičiui analizuojamos albatroso sklandmens aerodinaminės charakteristikos, kai paukštis atlieka tolygaus žemėjimo manevrą iš aukščiausio trajektorijos taško. Veikiant 15 m/s oro srauto greičiui analizuojamos albatroso sklandmens charakteristikos, kai paukštis pradeda aukštėti veikiant horizontalaus vėjo greičio gradientui. Suprojektuoti albatroso modelio paprastieji užsparniai naudojami tyrimams atlikti iliustruojami 32 pav. Užsparniai keičia albatroso sparno konfigūraciją, jeigu tiksliau, sparno profilio kreivumą, taip padidindami keliamosios jėgos koeficiento C_L reikšmę. Žemiau esančiuose paveiksluose bei prieduose pateiktose tyrimo rezultatų analizės iliustracijose, matysime, kaip naudojant užsparnius padidėja slėgių skirtumas sparno apatinėje ir viršutinėje dalyse. Žinoma, padidėja ir pasipriešinimo jėgos koeficientas C_D , keičiasi aerodinaminės kokybės reikšmė. Naudojant užsparnius, kritinę sparno profilio atakos kampo reikšmę galima sumažinti vidutiniškai $2^\circ \div 5^\circ$. Rekomenduojamas užsparnio stygos ir sparno profilio stygos santykis $0,2-0,25c$. Tokio sparno, įrengto visu ilgiu $\Delta C_{y_{\max}} = (0,65-0,75)C_{y_{\max}}$.



34 pav. Albatroso sparno aksonometrinis modelis su užsparniais

Analizuodami albatroso sklandmens aerodinamines charakteristikas naudojame 3D skaičiuotinę erdvę, o tai reiškia, kad tyrimo eigoje dėl slėgių skirtumų, virš sparno veikia sumažėjusio slėgio sritis, o žemiau jo – padidėjusi slėgio sritis. Oro srautas pačioje sparno apačioje krypsta į išorinę sparno pusę, apeina sparno galus ir virš jo nukrypsta į vidinę sparno pusę. Nuo sparno galinės briaunos nueinantys sūkuriai bus iliustruoti kaip izoliuotos oro srauto linijos ties sparnų galais prieduose esančiuose paveikslėliuose. Laisvuosius sūkurius sukuriančius papildomą pasipriešinimo jėgą, iliustruosime išreikšdami sūkurį per greitį, oro srauto judėjimo kryptimi. Papildoma pasipriešinimo jėga atsirandanti dėl susidariusių sukūrių, kaip jau minėjome, sudaro 35-45 % viso sparno pasipriešinimo [20]. *SolidWorks* programos duomenų išvestis bei rezultatai pateikiami įvertinus visus pasipriešinimą sukeliančius poveikius, išreikšta pasipriešinimo jėga D ir pasipriešinimo jėgos koeficientu C_D .



36 pav. Albatroso sparno profilio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras pjūvio vietoje.

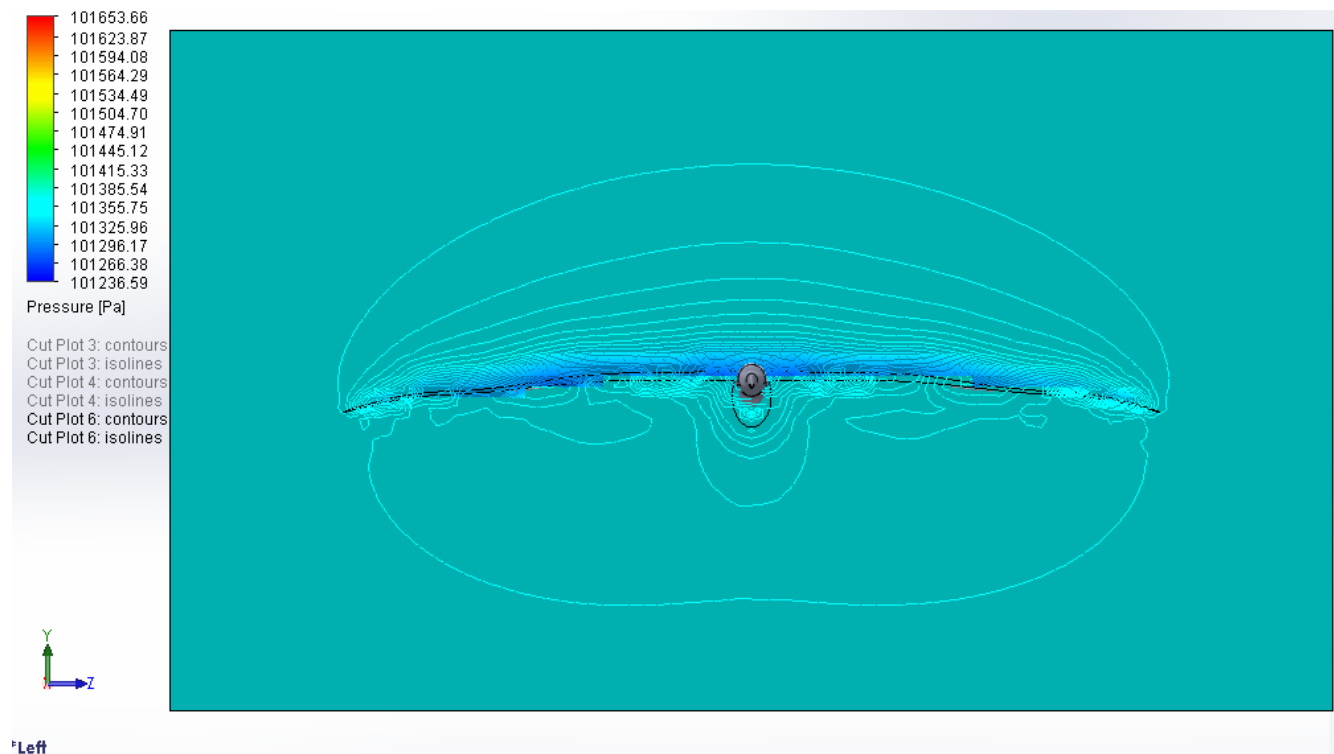
$$AoA=6^\circ. V_x = 15 \text{ m/s}$$

Atliekame albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų tyrimą, kai oro srauto greičio reikšmė, aptenkančio sklandmenį, lygi 15 m/s, o užsparnių padėtis kinta nuo 0° iki 6° imtinai, žingsniu 1° . 36 pav. pateikiame albatroso sparno profilio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras pjūvio vietoje, ties antrąją nerviūrą, kai užsparnių padėtis $AoA = 0^\circ$ veikiant horizontaliam oro srauto greičiui $V_x = 15$ m/s, ISA sąlygomis.

16 lentelė. Albatroso sklandmens keliamosios jėgos koeficientas C_L . $AoA=0^\circ\div 6^\circ$

| Lift | $L = C_L * (q(V^2)/2)*s$ | | | | |
|----------|--------------------------|----------------------|--------|------------------|----------|
| | | 1,225 | 15 | 1,5241 | |
| α | L, N | q, kg/m ³ | V, m/s | S,m ² | C_L |
| 0 | 18,75 | 1,225 | 15 | 1,5241 | 0,089269 |
| 1 | 21,713 | 1,225 | 15 | 1,5241 | 0,103376 |
| 2 | 22,741 | 1,225 | 15 | 1,5241 | 0,10827 |
| 3 | 23,824 | 1,225 | 15 | 1,5241 | 0,113426 |
| 4 | 25,041 | 1,225 | 15 | 1,5241 | 0,11922 |
| 5 | 26,636 | 1,225 | 15 | 1,5241 | 0,126814 |
| 6 | 27,285 | 1,225 | 15 | 1,5241 | 0,129904 |

16 lentelėje pateikiame albatroso sklandmens keliamosios jėgos priklausomybę nuo atakos kampo bei apskaičiuotas keliamosios jėgos koeficiento C_L reikšmes. Antrajame 16 lentelės stulpelyje „L“ įrašytos keliamosios jėgos reikšmės iš prieduose esančių lentelių duomenų. 6-ajame stulpelyje pateikiamos apskaičiuotos C_L reikšmės priklausomai nuo užsparnių atakos kampo reikšmės.



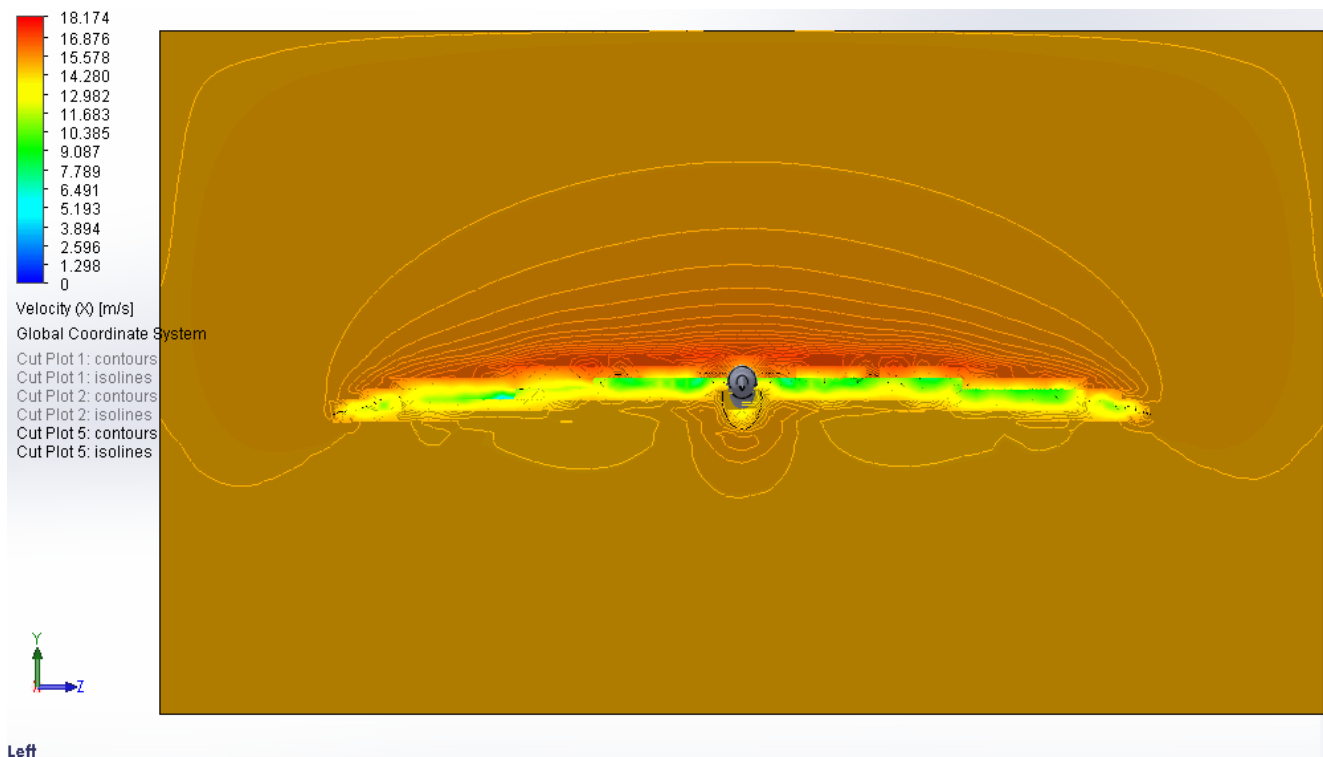
37 pav. Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinatinių plokštumoje YZ. $AoA=6^\circ$. $V_x = 15$ m/s

Prieduose esančiuose paveiksluose ir lentelėse pateikiame detalias užsparnių pastatymo kampo iliustracijas su spektro kitimu keičiantis slėgių pasiskirstymui prieš sparną, sąstingio taško vietoje, virš sparno bei sparno apačioje, keliamosios, pasipriešinimo ir pilnutinės aerodinaminės jėgos reikšmes.

17 lentelė. Albatroso sklandmens pasipriešinimo jėgos koeficientas C_D . $AoA=0^\circ \div 6^\circ$

| Drag | | $D = C_D * (q(V^2)/2)*s$ | | | |
|----------|-------|--------------------------|--------|-------------------|----------|
| α | D, N | q, kg/m ³ | V, m/s | S, m ² | C_D |
| 0 | 8,493 | 1,225 | 15 | 1,5241 | 0,040435 |
| 1 | 8,594 | 1,225 | 15 | 1,5241 | 0,040916 |
| 2 | 8,576 | 1,225 | 15 | 1,5241 | 0,04083 |
| 3 | 8,637 | 1,225 | 15 | 1,5241 | 0,041121 |
| 4 | 8,697 | 1,225 | 15 | 1,5241 | 0,041406 |
| 5 | 8,699 | 1,225 | 15 | 1,5241 | 0,041416 |
| 6 | 8,832 | 1,225 | 15 | 1,5241 | 0,042049 |

17 lentelėje pateikiame albatroso sklandmens pasipriešinimo jėgos priklausomybę nuo atakos kampo bei apskaičiuotas pasipriešinimo jėgos koeficiento C_D reikšmes. 17 lentelės stulpelyje „D“ įrašytos pasipriešinimo jėgos reikšmės iš prieduose esančių lentelių duomenų, o 6-ajame stulpelyje pateikiamos apskaičiuotos C_D reikšmės priklausomai nuo užsparnių atakos kampo reikšmės.



38 pav. Albatroso sklandmens greičio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinatinių plokštumoje YZ. $AoA=6^\circ$. $V_x = 15$ m/s

18 lentelėje pateikiamos pilnutinės aerodinaminės jėgos R reikšmės, kintant užsparnių padėčiai kampui $AoA=0^\circ \div 6^\circ$.

18 lentelė. Albatroso sklandmens pilnutinės jėgos koeficientas C_R . $AoA=0^\circ \div 6^\circ$

| Resultant | | $R=C_R \cdot (q(V^2)/2) \cdot S$ | | | |
|-----------|--------|----------------------------------|--------|-------------------|----------|
| | | 1,225 | 15 | 1,5241 | |
| α | R, N | q, kg/m ³ | V, m/s | S, m ² | C_R |
| 0 | 20,577 | 1,225 | 15 | 1,5241 | 0,097967 |
| 1 | 23,352 | 1,225 | 15 | 1,5241 | 0,111179 |
| 2 | 24,305 | 1,225 | 15 | 1,5241 | 0,115716 |
| 3 | 25,342 | 1,225 | 15 | 1,5241 | 0,120653 |
| 4 | 26,509 | 1,225 | 15 | 1,5241 | 0,126209 |
| 5 | 28,02 | 1,225 | 15 | 1,5241 | 0,133403 |
| 6 | 28,679 | 1,225 | 15 | 1,5241 | 0,136541 |

Albatroso sklandmens aerodinaminių jėgų koeficientų priklausomybę nuo atakos kampo $\alpha \in [0^\circ; 6^\circ]$, kai tikrasis albatroso skriejimo greitis oro srauto atžvilgiu lygus $V_x = 15$ m/s, pateikiame žemiau esančioje 19 lentelėje. Albatroso sparno užsparnių padėtis, šiuo atveju, keičiame atakos kampų diapazone $\alpha \in [0^\circ; 6^\circ]$ neatsitiktinai. Nagrinėjame aerodinamines albatroso charakteristikas kiltinėje ir grįžtinėje pasinaudodami albatroso sparno profilio aerodinaminių charakteristikų tyrimo rezultatais. Didžiausia aerodinaminė kokybė pasiekama, kai sparno profilio atakos kampas lygus $\alpha = 6^\circ$. Žinome, jog sparno profilio kritinio atakos kampo ir užsparnių kritinio atakos kampo reikšmės skiriasi, bet šio tyrimo metu siekiame detaliau paanalizuoti, kaip elgiasi, keičiasi albatroso aerodinamika pasitelkiant užsparnius, dažniausiai naudojamus lėktuvuose. Albatrosas, skrydžio metu, atlikdamas manevrus siekia išnaudoti kuo didesnę sukauptos kinetinės ir potencinės energijos dalį nepatirdamas papildomų energijos nuostolių. Albatroso sklandmens keliamosios, pasipriešinimo ir pilnutinės aerodinaminės jėgos koeficientų C_L , C_D , C_R reikšmės apskaičiuojamos pagal (9)-(13) formules. 19 lentelėje pateikiame skaičiavimo rezultatus gautus naudojantis programa *MS Excel*.

19 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių jėgų koeficientų priklausomybė nuo atakos kampo $\alpha \in [0^\circ; 6^\circ]$. $V_x = 15$ m/s

| α | C_L |
|----------|----------|
| 0 | 0,089269 |
| 1 | 0,103376 |
| 2 | 0,010827 |
| 3 | 0,113426 |
| 4 | 0,11922 |
| 5 | 0,126814 |
| 6 | 0,129904 |
| MAX | 0,129904 |

(a) C_L priklausomybė nuo atakos kampo α

| α | C_D |
|----------|----------|
| 0 | 0,040435 |
| 1 | 0,040916 |
| 2 | 0,04083 |
| 3 | 0,041121 |
| 4 | 0,041406 |
| 5 | 0,041416 |
| 6 | 0,042049 |
| MAX | 0,040916 |

(b) C_D priklausomybė nuo atakos kampo α

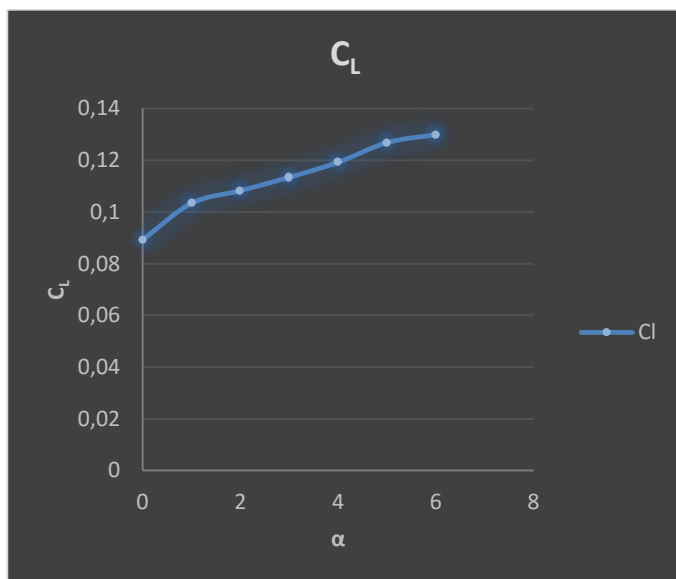
| α | C_R |
|----------|----------|
| 0 | 0,097967 |
| 1 | 0,111179 |
| 2 | 0,115716 |
| 3 | 0,120653 |
| 4 | 0,126209 |
| 5 | 0,133403 |
| 6 | 0,136541 |
| MAX | 0,136541 |

(c) C_R priklausomybė nuo atakos kampo α

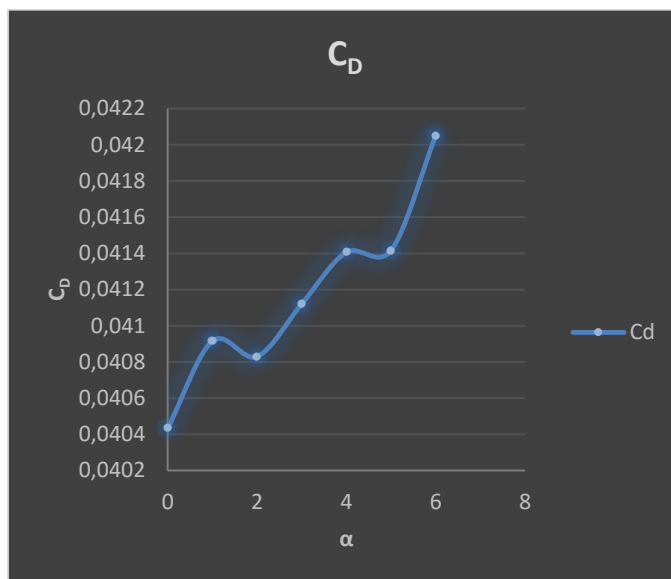
| α | C_L/C_D |
|----------|-----------|
| 0 | 2,2077 |
| 1 | 2,52653 |
| 2 | 2,651702 |
| 3 | 2,758365 |
| 4 | 2,879269 |
| 5 | 3,061961 |
| 6 | 3,089334 |
| MAX | 3,089334 |

(d) C_L/C_D priklausomybė nuo atakos kampo α

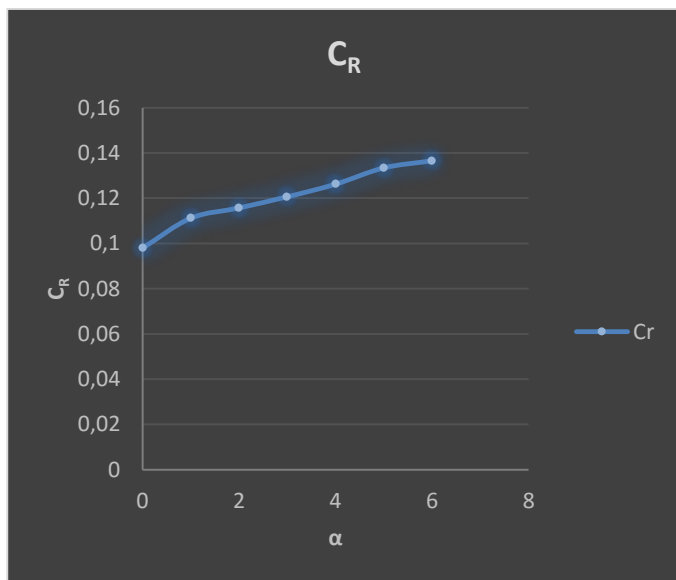
Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų priklausomybė nuo užsparnių padėties iliustruojama 39 pav. Albatroso aerodinaminės kokybės koeficiento dydis, yra ne kas kita kaip keliamosios ir pasipriešinimo jėgos santykis arba keliamosios jėgos ir pasipriešinimo jėgos koeficientų santykis. Jis parodo, kiek kartų albatroso sklandmens konstrukcijos keliamosios jėgos reikšmė yra didesnė už pasipriešinimo jėgą. Skaičiavimus atlikome pasinaudodami lygtimis (15) ir (16). Apskaičiuotos aerodinaminės kokybės koeficiento reikšmės kiekvienai užsparnių padėčiai atakos kampų diapazone $\alpha \in [0^\circ; 6^\circ]$ pateikiamos 19 lentelėje (d) punkte bei iliustruojamos 39 pav. (d) punkte.



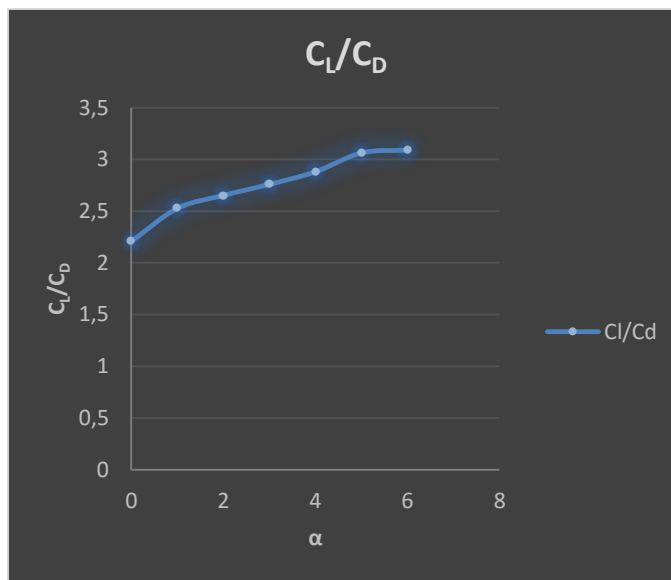
(a) C_L priklausomybė nuo atakos kampo α



(b) C_D priklausomybė nuo atakos kampo α

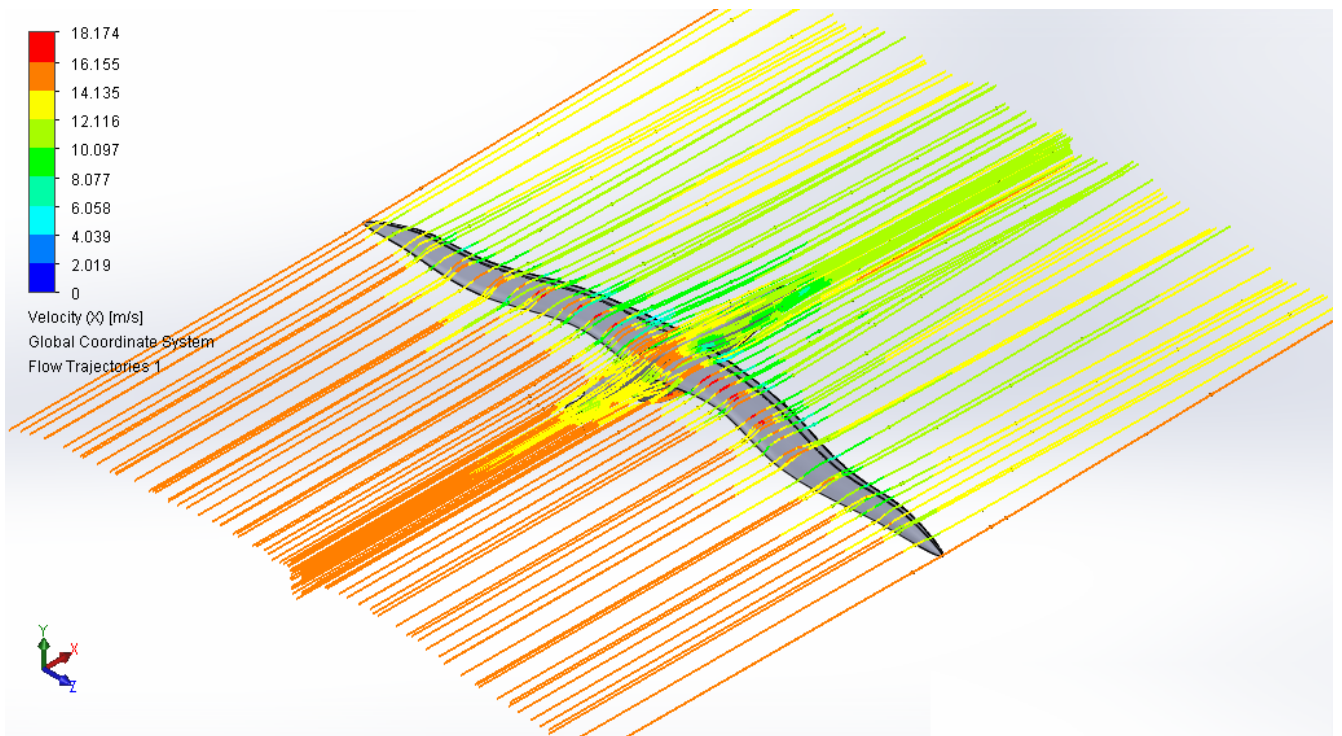


(c) C_R priklausomybė nuo atakos kampo α



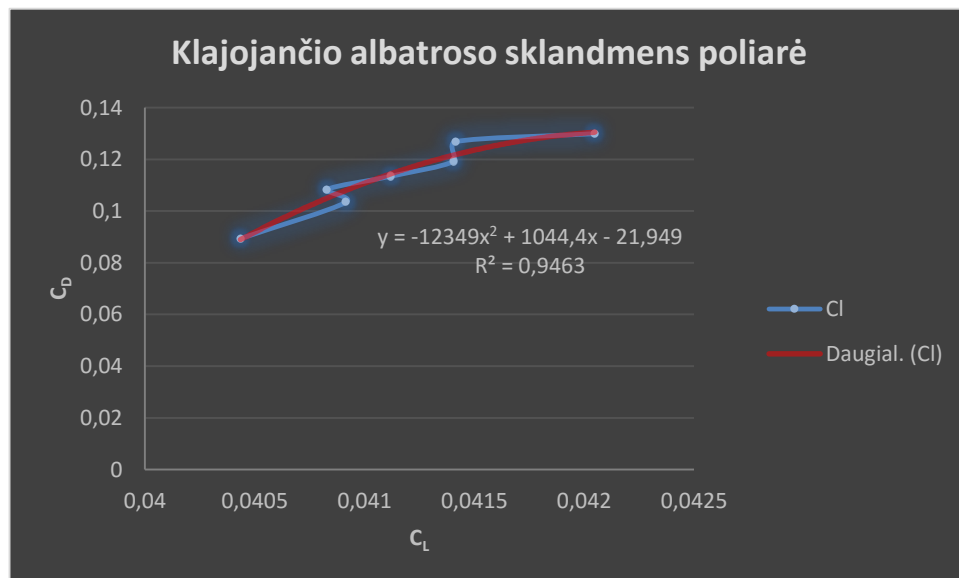
(d) C_L/C_D priklausomybė nuo atakos kampo α

39 pav. Albatroso 3D modelio koeficientų C_L , C_D ir C_R priklausomybė nuo užsparnių atakos kampo

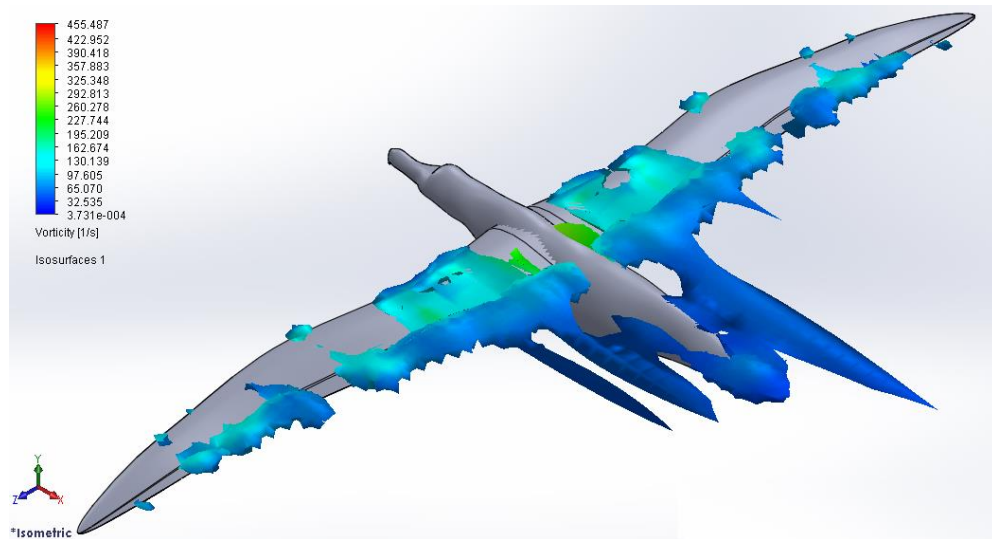


40 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras apribotoje skaičiuotinėje erdvėje. $AoA=6^\circ$. $V_x = 15$ m/s

41 pav. pateikiame albatroso sklandmens poliare, kai užsparnių atakos kampas kinta $AoA=0\div6^\circ$, kai tikrasis abatroso greitis oro srauto atžvilgiu kiltinėje yra lygus $V_x = 15$ m/s. Taip pat pateikiame albatroso sklandmens poliarės funkcijos matematinę išraišką.

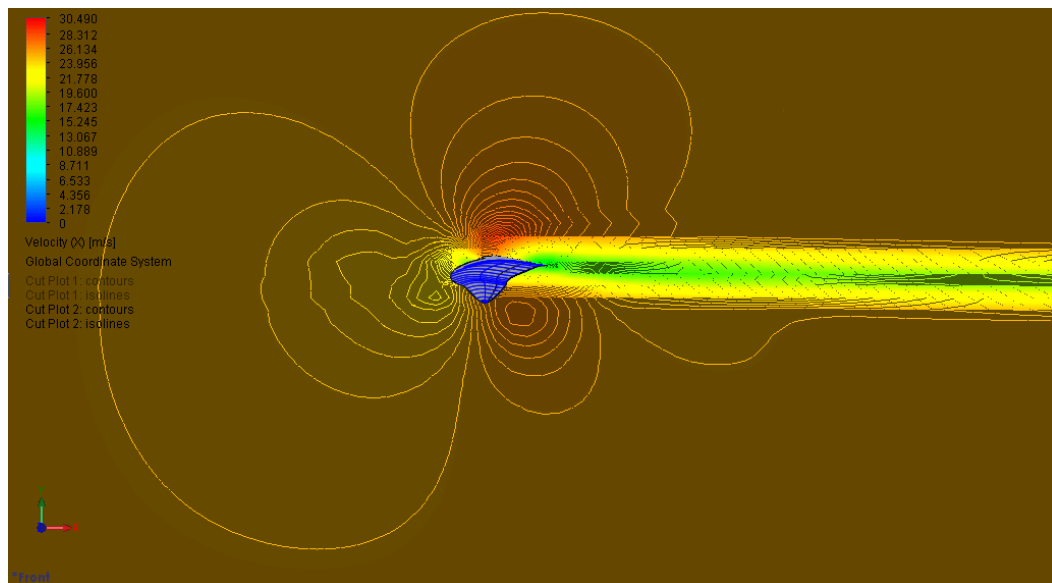


41 pav. Koeficientų C_L ir C_D priklausomybę nuo atakos kampo $AoA=0\div6^\circ$. $V_x = 15$ m/s



42 pav. Albatroso sklandmens turbulentiųjų oro srovių spektras. $AoA=6^\circ$. $V_x = 15$ m/s

Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų tyrimo metu, kai $AoA=0^\circ\div 6^\circ$, albatroso judėjimo greitis oro srauto atžvilgiu lygus $V_x = 15$ m/s, nustatyta, kad didžiausias keliamosios ir pasipriešinimo jėgų santykis gaunamas, kai atakos kampas lygus $\alpha = 6^\circ$, tuomet aerodinaminės kokybės koeficiento reikšmė yra lygi $K = 3,089334$. Užsparnių atakos kampui išstatytam $\alpha = 1^\circ$ aerodinaminės kokybės koeficiento reikšmė yra lygi $K = 2,52653$. Didžiausios keliamosios ir pasipriešinimo jėgų koeficientų reikšmės pasiektos, kai $\alpha = 6^\circ$, šios reikšmės atitinkamai lygios $C_L = 0,129904$ ir $C_D = 0,042049$.



43 pav. Albatroso sparno profilio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras pjūvio vietoje.

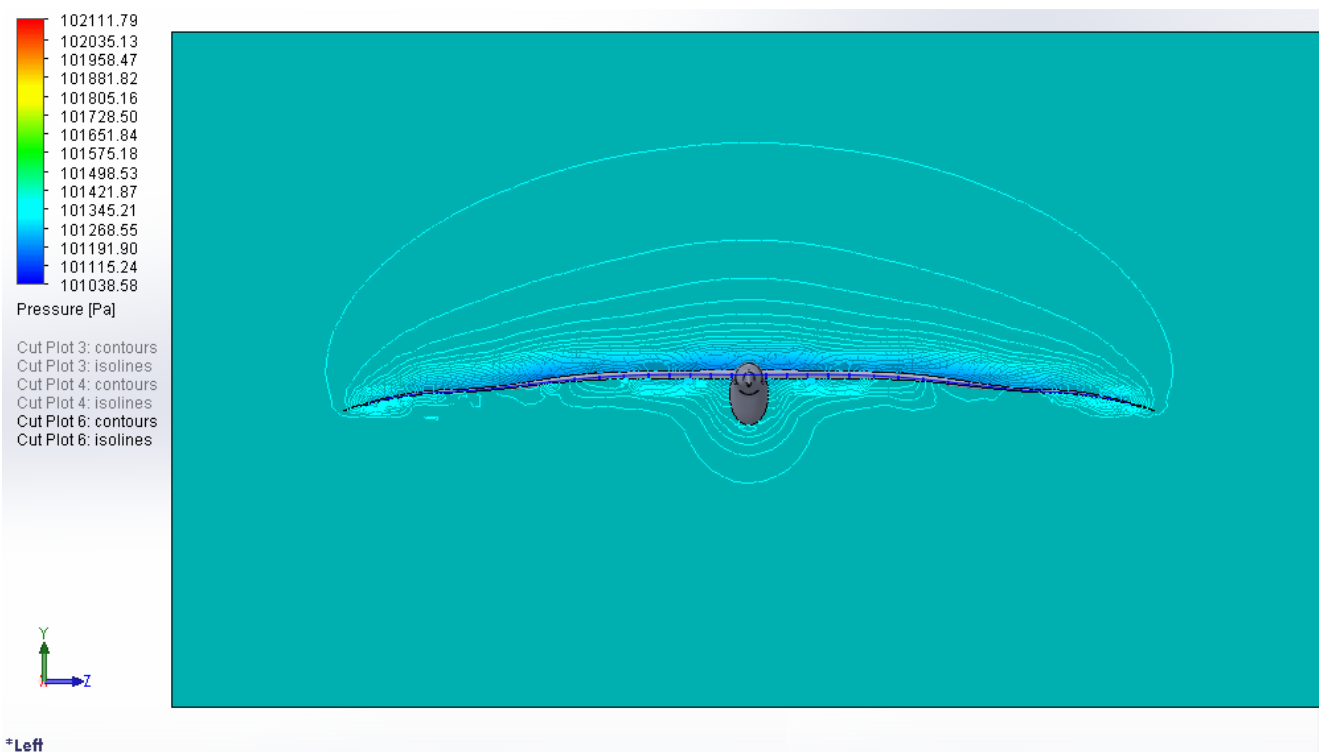
$AoA=-2^\circ$. $V_x = 25$ m/s

Sklandytuvams, tokiems kaip PIK-20B ir daugeliui kitų panašaus tipo sklandytuvų, nustatyta, jog skrendant greičiu TAS žemesniu nei 55 mazgai su užsparnių padėtimi lygia $AoA = -4^\circ$ gaunama mažesnė žemėjimo sparta nei su užsparnių padėtimi $AoA = 0^\circ$. Remiantis atliktais tyrimais, kai tikrasis oro greitis sklandytuvu D-78 viršija 70 mazgų greitį, žemėjimo sparta su neigiama užsparnių padėtimi gaunama kur kas didesnė nei tuomet, kai užsparnių pastatymo kampas $AoA = 0^\circ$ [23]. Šiame etape atliekame albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų tyrimą, kai oro srauto greičio reikšmė, aptenkančio sklandmenį, lygi 25 m/s, o užsparnių padėtis kinta nuo -2° iki 0° imtinai, žingsniu 1° , su tikslu nustatyti, kaip elgiasi sumodeliuotas albatroso 3D modelis, ar įmanoma, jog žemėjimo sparta gaunama mažesnė nei su teigiama užsparnių padėtimi skrydžio trajektorijos grįžtinėje.

43 pav. pateikiame albatroso sparno profilio oro srauto greičių pasiskirstymo spektrą pjūvio vietoje, ties antrąją nerviūrą, kai užsparnių padėtis $AoA = -2^\circ$ veikiant horizontaliam oro srauto greičiui $V_x = 25$ m/s, ISA sąlygomis. Albatroso sklandmens keliamosios jėgos priklausomybę nuo atakos kampo bei apskaičiuotas keliamosios jėgos koeficiento C_L reikšmes pateikiame 20 lentelėje. 20 lentelės 2-ame stulpelyje „L“ įrašytos keliamosios jėgos reikšmės iš prieduose esančių lentelių duomenų, o 6-ajame stulpelyje pateikiamos apskaičiuotos C_L reikšmės priklausomai nuo užsparnių pastatymo kampo reikšmės.

20 lentelė. Albatroso sklandmens keliamosios jėgos koeficientas C_L . $AoA = -2^\circ \div 0^\circ$

| Lift | $L = C_L * (q(V^2)/2)*s$ | | | | |
|----------|--------------------------|----------------------|--------|-------------------|----------|
| | Vidurkis | 1,225 | 25 | 1,5241 | |
| α | L, N | q, kg/m ³ | V, m/s | S, m ² | C_L |
| 0 | 55,215 | 1,225 | 25 | 1,5241 | 0,094636 |
| -1 | 54,391 | 1,225 | 25 | 1,5241 | 0,093224 |
| -2 | 52,981 | 1,225 | 25 | 1,5241 | 0,090807 |



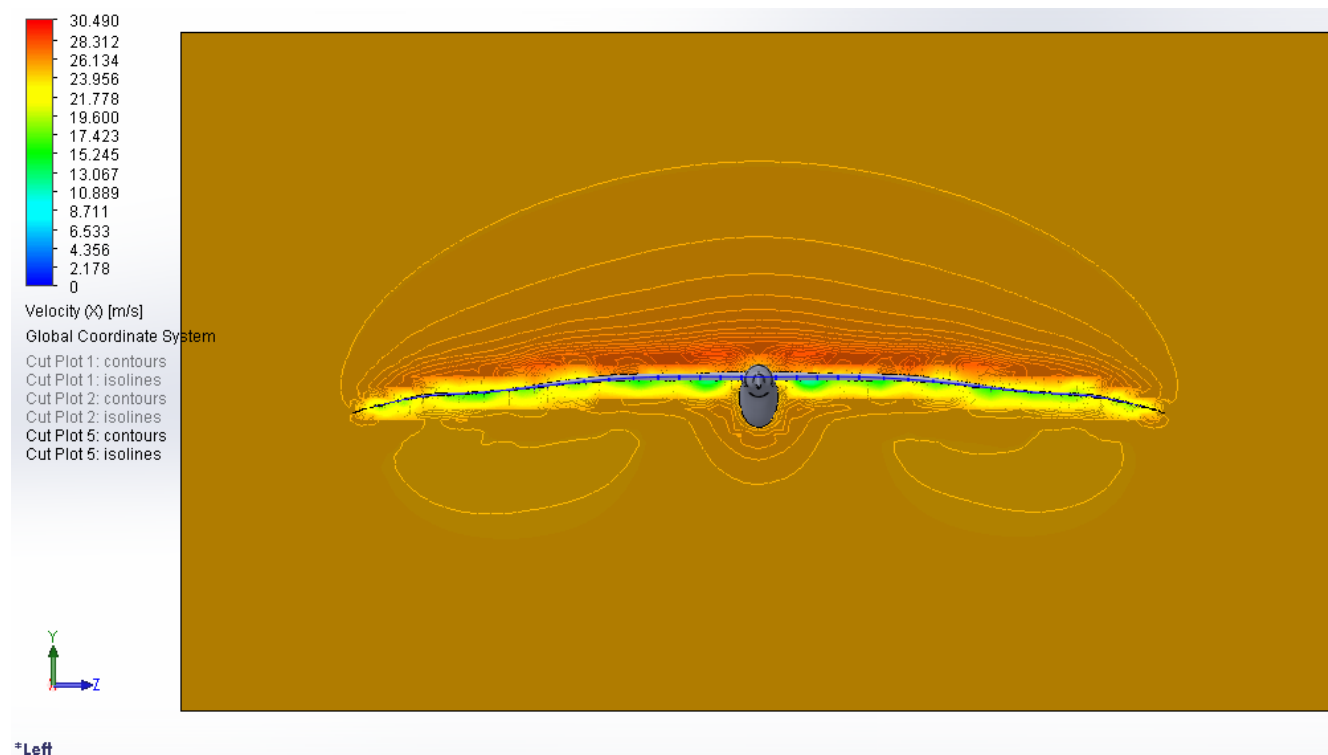
44 pav. Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinatinių plokštumoje YZ. $AoA = -2^\circ$. $V_x = 25$ m/s

Prieduose esančiuose paveiksluose ir lentelėse pateikiame detalias užsparnių pastatymo kampo $AoA = -2^\circ \div 0^\circ$ iliustracijas su spektro kitimu keičiantis slėgių pasiskirstymu, keliamosios, pasipriešinimo ir pilnutinės aerodinaminės jėgų reikšmes. Albatroso sklandmens pasipriešinimo jėgos priklausomybę nuo atakos kampo bei apskaičiuotas pasipriešinimo jėgos koeficiento C_D reikšmes pateikiame žemiau esančioje 21 lentelėje. 21 lentelės 2-ame stulpelyje „D“ įrašytos pasipriešinimo jėgos reikšmės iš prieduose esančių lentelių duomenų, o 6-ajame stulpelyje pateikiamos apskaičiuotos C_D reikšmės priklausomai nuo užsparnių atakos kampo reikšmės.

21 lentelė. Albatroso sklandmens pasipriešinimo jėgos koeficientas C_D . $AoA = -2^\circ \div 0^\circ$

| Drag | $D = C_D * (q(V^2)/2) * s$ | | | | |
|----------|----------------------------|----------------------|--------|-------------------|----------|
| | 1,225 | 25 | 1,5241 | | |
| α | D, N | q, kg/m ³ | V, m/s | S, m ² | C_D |
| 0 | 23,591 | 1,225 | 25 | 1,5241 | 0,040434 |
| -1 | 23,527 | 1,225 | 25 | 1,5241 | 0,040324 |
| -2 | 25,573 | 1,225 | 25 | 1,5241 | 0,043831 |

Pasipriešinimo jėgos D ir jos koeficiento reikšmės C_D kintant albatroso sklandmens užsparnių padėčiai kampui $AoA=-2^\circ \div 0^\circ$ pateikiamos 21 lentelėje. Didžiausią reikšmę pasipriešinimo jėgos koeficientas įgyja, kai atakos kampas $AoA=-2^\circ$. Ši reikšmė yra lygi $C_D = 0,043831$. Matome, jog turi tendenciją mažėti atlenkiant užsparnius atakos kampais $AoA=0^\circ \div -1^\circ$. 45 pav. pateiktos oro srauto greičio pasiskirstymo izolinijos viršutinėje ir apatinėje albatroso sklandmens konstrukcijos dalyje.

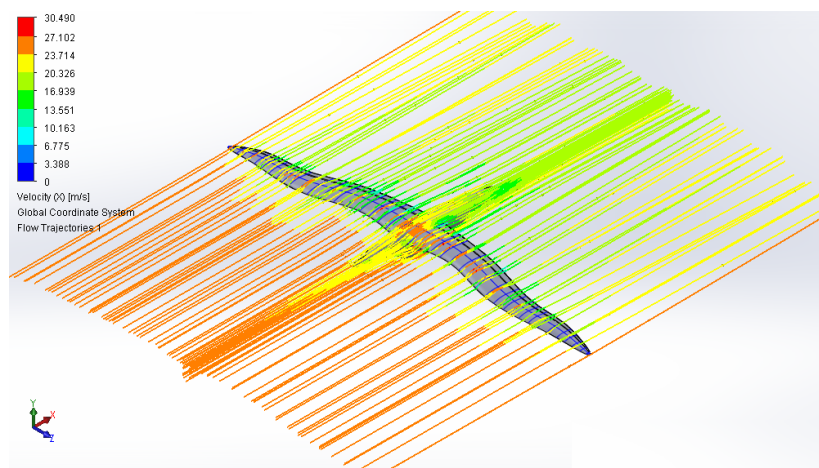


45 pav. Albatroso sklandmens greičio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinatinių plokštumoje YZ. $AoA=-2^\circ$. $V_x = 25$ m/s

22 lentelė. Albatroso sklandmens pilnutinės jėgos koeficientas C_R . $AoA=-2^\circ \div 0^\circ$

| Resultant | | $R=C_R*(q(V^2)/2)*s$ | | | |
|-----------|--------|----------------------|--------|-------------------|----------|
| | | 1,225 | 25 | 1,5241 | |
| α | R, N | q, kg/m ³ | V, m/s | S, m ² | C_R |
| 0 | 60,044 | 1,225 | 25 | 1,5241 | 0,102913 |
| -1 | 59,262 | 1,225 | 25 | 1,5241 | 0,101573 |
| -2 | 57,988 | 1,225 | 25 | 1,5241 | 0,099389 |

22 lentelėje pateikiamos pilnutinės aerodinaminės jėgos R reikšmės kintant albatroso sklandmens užsparnių padėčiai kampui $AoA = 0^\circ \div 6^\circ$. Didžiausią reikšmę jėgų atstojamosios koeficientas įgyja, kai atakos kampas $AoA = 0^\circ$, ši reikšmė yra lygi $C_R = 0,102913$. Matome, jog koeficientas turi tendenciją mažėti atlenkiant užsparnius į viršų, atakos kampais $AoA = -2^\circ \div -1^\circ$. 46 pav. pastebime, kad oro srauto greičio spektro linijos visai kitokios spalvos, nei atitekančio oro srauto fronto, greitis už sparno kur kas mažesnis, reikšmė skiriasi apie $\Delta V_x = 10$ m/s.



46 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras apribotoje skaičiuotinėje erdvėje. $AoA = -2^\circ$. $V_x = 25$ m/s

23 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių jėgų koeficientų priklausomybė nuo atakos kampo $\alpha \in [-2^\circ; 0^\circ]$. $V_x = 25$ m/s

| α | C_L |
|----------|----------|
| 0 | 0,094636 |
| -1 | 0,093224 |
| -2 | 0,090807 |
| MAX | 0,094636 |

(a) C_L priklausomybė nuo atakos kampo α

| α | C_D |
|----------|----------|
| 0 | 0,040434 |
| -1 | 0,040324 |
| -2 | 0,043831 |
| MAX | 0,043831 |

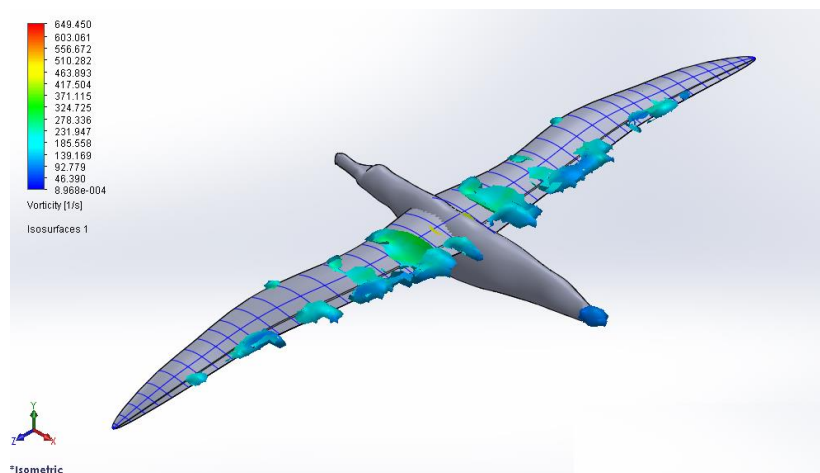
(b) C_D priklausomybė nuo atakos kampo α

| α | C_R |
|----------|----------|
| 0 | 0,102913 |
| -1 | 0,101573 |
| -2 | 0,099389 |
| MAX | 0,102913 |

(c) C_R priklausomybė nuo atakos kampo α

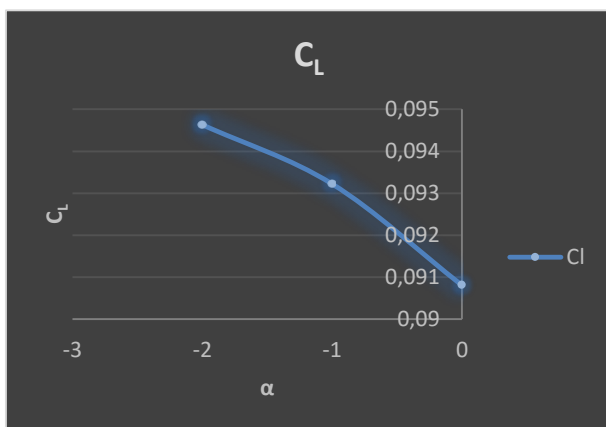
| α | C_L/C_D |
|----------|-----------|
| 0 | 2,340511 |
| -1 | 2,311854 |
| -2 | 2,071755 |
| MAX | 2,340511 |

(d) C_L/C_D priklausomybė nuo atakos kampo α

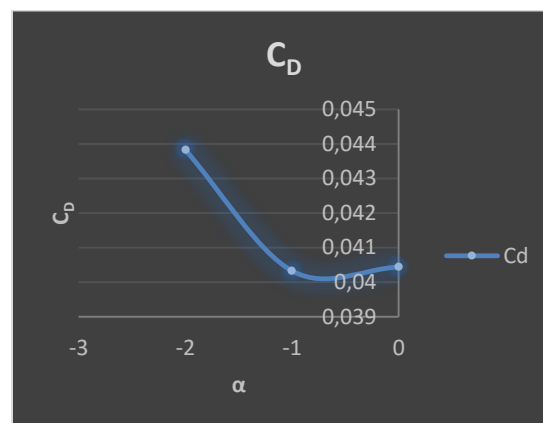


47 pav. Albatroso sklandmens turbulentinių oro srovių spektras. $AoA = -2^\circ$. $V_x = 25$ m/s

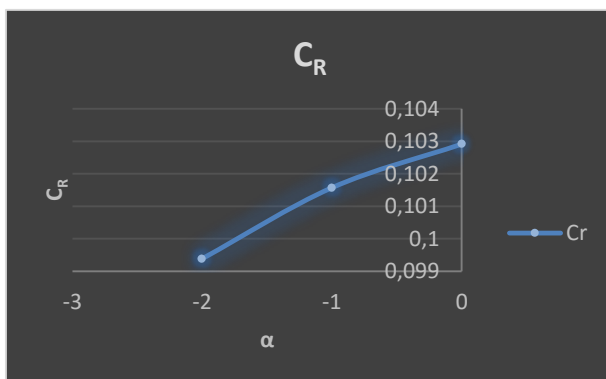
Albatroso sklandmens aerodinaminių jėgų koeficientų priklausomybę nuo užsparnių atakos kampo $\alpha \in [-2^\circ; 0^\circ]$, kai tikrasis albatroso skriejimo greitis oro srauto atžvilgiu lygus $V_x = 25$ m/s, pateikiame žemiau esančiame 48 pav. 48 pav. (d) punkto iliustracijoje albatroso sklandmens aerodinaminės kokybės koeficiento reikšmė turi tendenciją mažėti keičiantis užsparnių padečiai $\alpha \in [-2^\circ; 0^\circ]$.



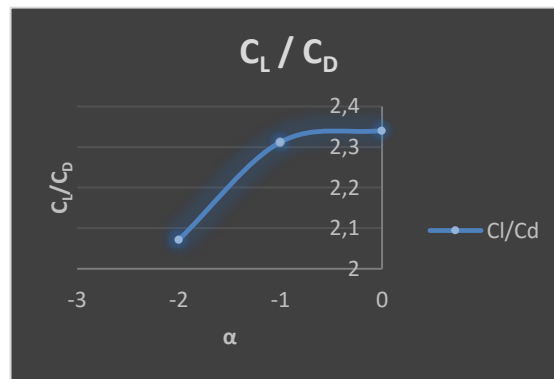
(a) C_L priklausomybė nuo atakos kampo α



(b) C_D priklausomybė nuo atakos kampo α

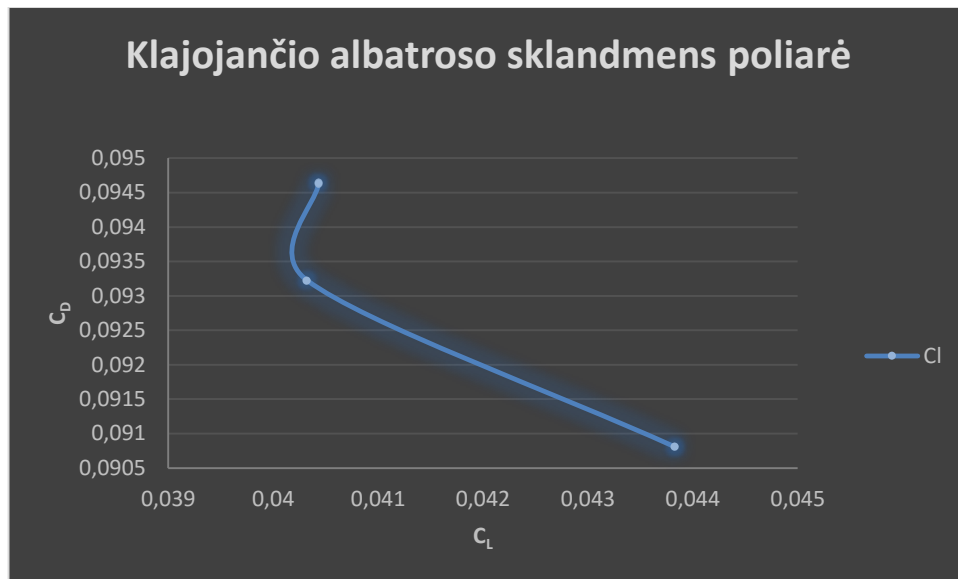


(c) C_R priklausomybė nuo atakos kampo α



(d) C_L / C_D priklausomybė nuo atakos kampo α

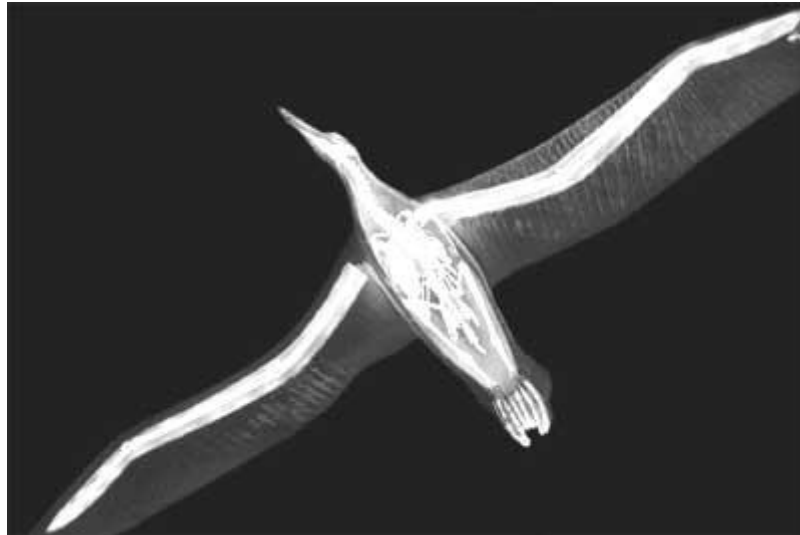
48 pav. Albatroso sklandmens koeficientų C_L , C_D ir C_R priklausomybė nuo užsparnių atakos kampo. $\alpha = -2^\circ \div 0^\circ$



49 pav. Koeficientų C_L ir C_D priklausomybę nuo atakos kampo $AoA = -2 \div 0^\circ$. $V_x = 25$ m/s

Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų tyrimo metu, kai $AoA = -2 \div 0^\circ$, albatroso judėjimo greitis oro srauto atžvilgiu lygus $V_x = 25$ m/s, nustatyta, jog didžiausias keliamosios ir pasipriešinimo jėgų santykis gaunamas, kai atakos kampas lygus $\alpha = 0^\circ$, tuomet aerodinaminės kokybės koeficiento reikšmė yra lygi $K = 2,340511$. Užsparnių atakos kampui išstatytam $\alpha = -2^\circ$ aerodinaminės kokybės koeficiento reikšmė yra lygi $K = 2,071755$. Didžiausios keliamosios ir pasipriešinimo jėgų koeficientų reikšmės pasiektos, kai $\alpha = 0^\circ$, šios reikšmės atitinkamai lygios $C_L = 0,094636$ ir $C_D = 0,040434$. Atlikę palyginimą su literatūros šaltinyje [23] esančiais duomenimis ir tyrimo skaičiavimų rezultatais gavome, jog tikrojo oro srauto greičio reikšmei esant lygiai $V_x = 25$ m/s, albatroso sklandmens konstrukcijai grįžtinėje nėra efektyvu naudoti neigiamos padėties užsparnius, nes aerodinaminės kokybės koeficiento reikšmė mažėja, o tai reiškia, žemėjimo spartos didėjimo tendenciją su neigiama užsparnių padėtimi.

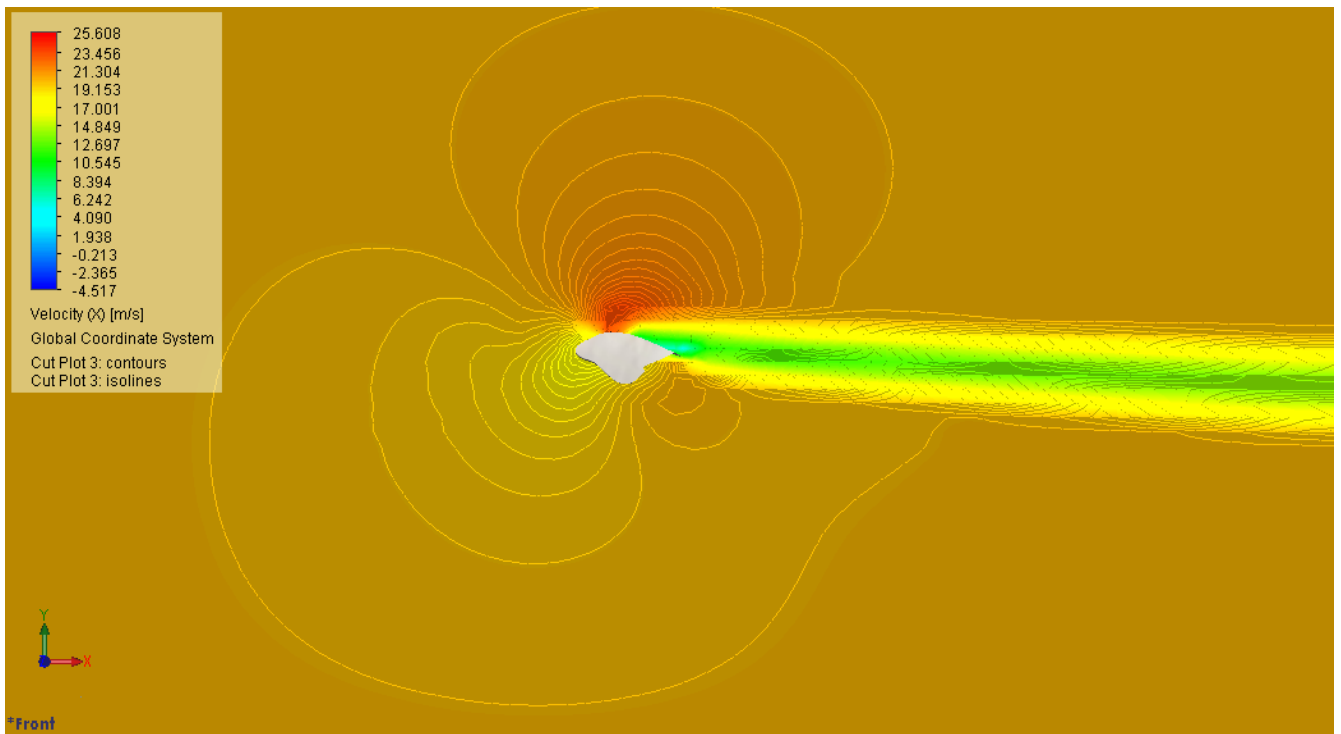
Šiame tyrimo etape iš esmės keičiame sparno profilio pastatymo kampą eliminuodami užsparnius. Skyriuje 1.2.1 13 pav. pateikėme iliustracijas, kuriomis remiantis atkūrėme albatroso horizontalią projekciją. Šio paveikslo kairėje pusėje, jau minėjome anksčiau, JAV *Iovos* (angl. *Iowa*) universiteto publikacija [15], kurioje vaizduojamas apšviestas klajojančio albatroso skeletas.



50 pav. Albatroso sparno ir liemens skeleto vaizdas iš apačios [15]

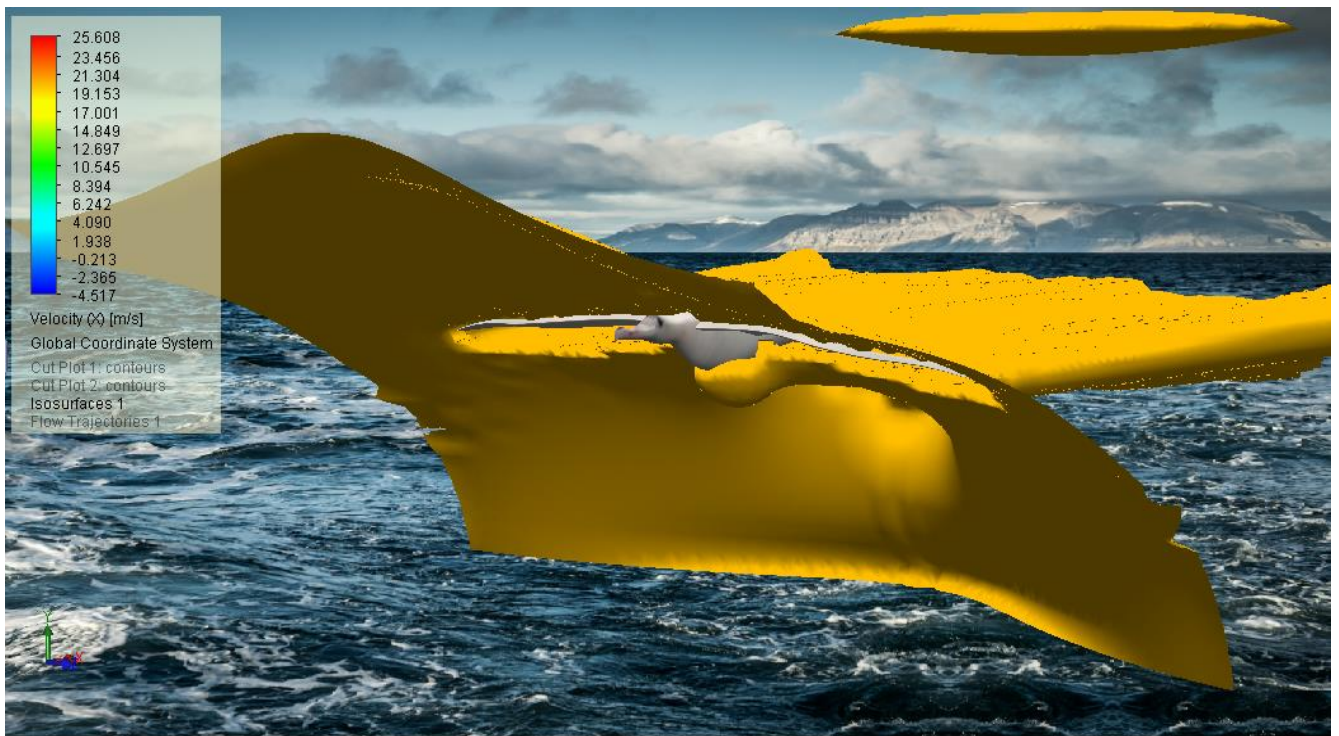
Iliustracija panaudota tiksliai nustatyti, kokiame aukštyje ir kurioje albatroso kūno vietoje prisitvirtina sparno brachialinis regionas (angl. *Brachial region*) - pagrindinis sparno šaknies kaulas su jungiamaisiais audiniais. Prie jungiamųjų albatroso sparno audinių pritvirtintos plunksnos, kurios formuoja sparno profilį. Keičiantis sparno profilio atakos kampui, albatrosas efektyviai išnaudoja aplinkoje veikiančias oro srauto sroves skrydžio manevrams atlikti.

Trečiasis tyrimo etapas – albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų priklausomybės nuo atakos kampo $AoA = 0^\circ \div 10^\circ$. Keičiamas viso sparno profilio atakos kampas ir albatroso skrydis modeliuojamas, kai paukštis skrydžio trajektorijos kiltinėje ir grįžtinėje siekia išlaikyti skrydžio greitį oro srauto atžvilgiu $V_x = 20$ m/s [20], greičio prieaugis dėl galimai veikiančių vėjo gūsių, kurių stiprumas siekia 5 m/s, šiuo atveju neturės įtakos. Įtaka nebus įvertinta, nes oro srauto gūsių veikimas reliatyvus. Aerodinaminės kokybės koeficientas turi didelės įtakos aukštėjimo ir žemėjimo spartai, skrydžio nuotoliui, todėl tyrimo metu siekiame, jog albatroso sparno profilis būtų pastatytas tokiu atakos kampu, jog būtų gaunama didžiausia keliamosios jėgos koeficiento C_L ir pasipriešinimo jėgos koeficiento C_D santykis.



51 pav. Albatroso sparno profilio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras pjūvio vietoje.

$AoA=10^\circ$. $V_x = 20$ m/s



52 pav. Albatroso sklandmens oro srauto greičių pasiskirstymo spektras.

$AoA=10^\circ$. $V_x = 20$ m/s

24 lentelė. Albatroso sklandmens keliamosios jėgos koeficientas C_L . $AoA=0^\circ \div 10^\circ$

| Lift | | $L = C_L * (q(V^2)/2)*s$ | | | |
|----------|---------|--------------------------|--------|-------------------|----------|
| | | 1,225 | 20 | 1,5241 | |
| α | L, N | q, kg/m ³ | V, m/s | S, m ² | C_L |
| 0 | 34,668 | 1,225 | 20 | 1,5241 | 0,092843 |
| 1 | 39,789 | 1,225 | 20 | 1,5241 | 0,106557 |
| 2 | 45,047 | 1,225 | 20 | 1,5241 | 0,120639 |
| 3 | 54,318 | 1,225 | 20 | 1,5241 | 0,145467 |
| 4 | 61,489 | 1,225 | 20 | 1,5241 | 0,164671 |
| 5 | 69,212 | 1,225 | 20 | 1,5241 | 0,185354 |
| 6 | 74,477 | 1,225 | 20 | 1,5241 | 0,199454 |
| 7 | 82,411 | 1,225 | 20 | 1,5241 | 0,220702 |
| 8 | 93,099 | 1,225 | 20 | 1,5241 | 0,249325 |
| 9 | 99,545 | 1,225 | 20 | 1,5241 | 0,266588 |
| 10 | 105,187 | 1,225 | 20 | 1,5241 | 0,281697 |

Albatroso sklandmens keliamosios jėgos priklausomybę nuo atakos kampo bei apskaičiuotas keliamosios jėgos koeficiento C_L reikšmes pateikiame 24 lentelėje. 24 lentelės 2-ame stulpelyje „L“ įrašytos keliamosios jėgos reikšmės iš prieduose esančių lentelių duomenų, o 6-ajame stulpelyje pateikiamos apskaičiuotos C_L reikšmės priklausomai nuo sparno profilio atakos kampo reikšmės.

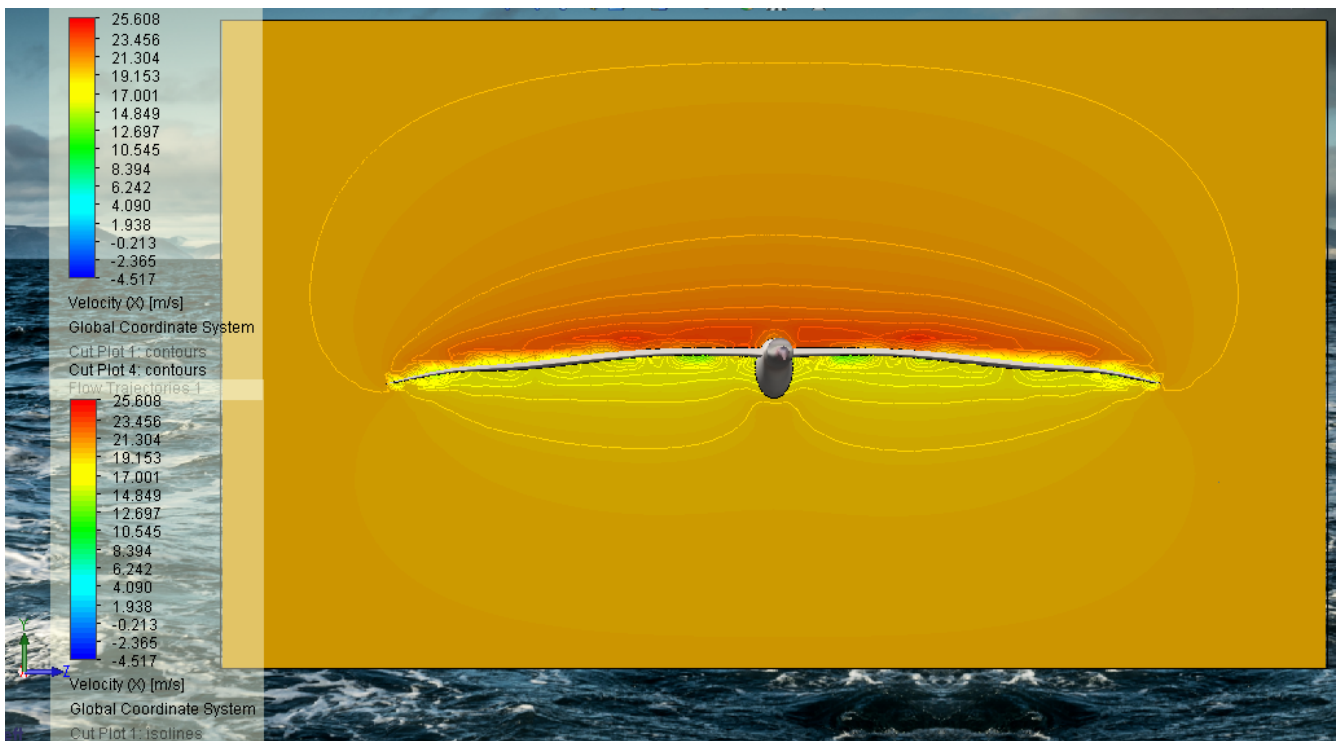


53 pav. Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinatinių plokštumoje YZ. $AoA=10^\circ$. $V_x = 20$ m/s

25 lentelė. Albatroso sklandmens pasipriešinimo jėgos koeficientas C_D . $AoA = 10^\circ$. $V_x = 20\text{m/s}$

| Drag | | $D = C_D * (q(V^2)/2)*s$ | | | |
|----------|--------|--------------------------|--------|-------------------|----------|
| | | 1,225 | 20 | 1,5241 | |
| α | D, N | q, kg/m ³ | V, m/s | S, m ² | C_D |
| 0 | 15,062 | 1,225 | 20 | 1,5241 | 0,040337 |
| 1 | 14,93 | 1,225 | 20 | 1,5241 | 0,039983 |
| 2 | 14,849 | 1,225 | 20 | 1,5241 | 0,039767 |
| 3 | 15,04 | 1,225 | 20 | 1,5241 | 0,040278 |
| 4 | 15,713 | 1,225 | 20 | 1,5241 | 0,04208 |
| 5 | 16,403 | 1,225 | 20 | 1,5241 | 0,043928 |
| 6 | 17,35 | 1,225 | 20 | 1,5241 | 0,046464 |
| 7 | 18,226 | 1,225 | 20 | 1,5241 | 0,04881 |
| 8 | 19,243 | 1,225 | 20 | 1,5241 | 0,051534 |
| 9 | 20,496 | 1,225 | 20 | 1,5241 | 0,05489 |
| 10 | 21,528 | 1,225 | 20 | 1,5241 | 0,057653 |

Pasipriešinimo jėgos D ir jos koeficiento reikšmės C_D kintant albatroso sparno profilio $AoA=0^\circ \div 10^\circ$ pateikiamos 25 lentelėje. Didžiausią reikšmę pasipriešinimo jėgos koeficientas įgyja, kai atakos kampas $AoA=10^\circ$, ši reikšmė lygi $C_D = 0,057653$. 54 pav. pateiktoje iliustracijoje matome oro srauto greičio pasiskirstymo izolinijas viršutinėje ir viršutinėje sklandmens konstrukcijos dalyje.

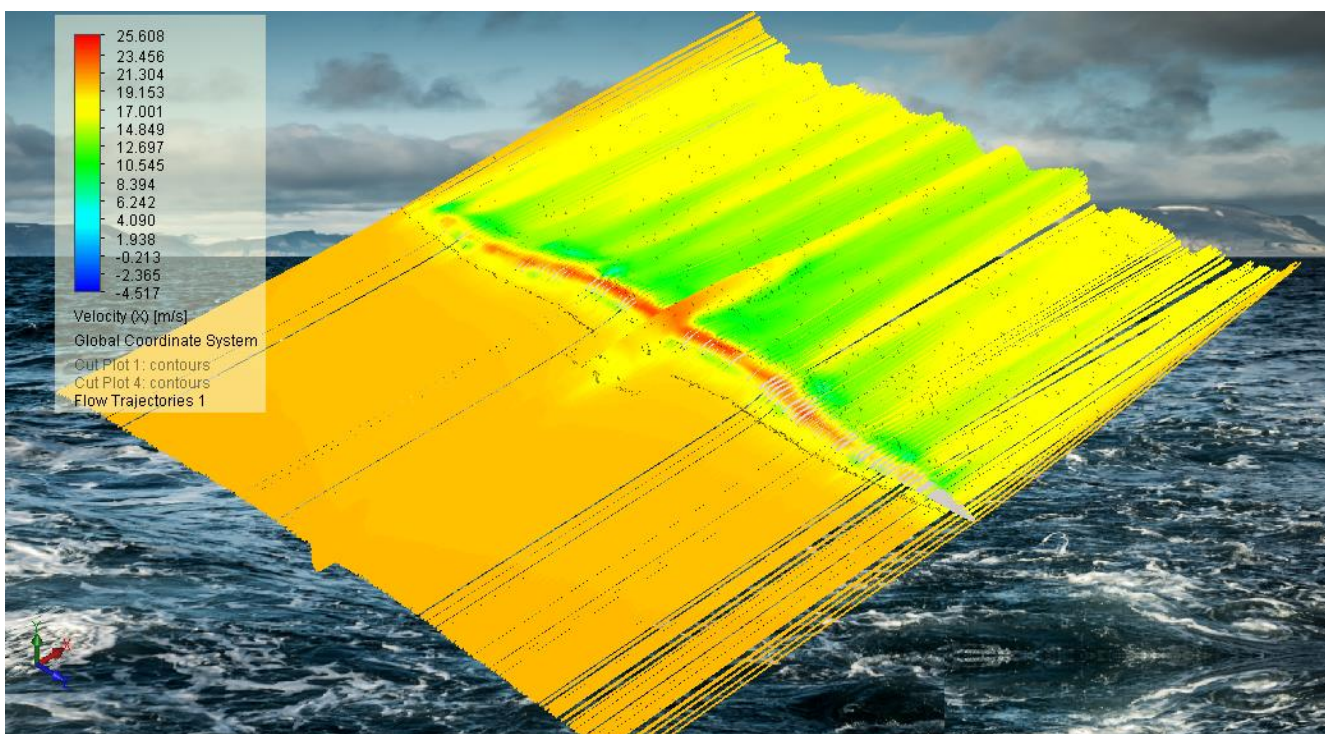


54 pav. Albatroso sklandmens greičio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinatinių plokštumoje YZ. $AoA=0^\circ \div 10^\circ$. $V_x = 20\text{ m/s}$

26 lentelė. Albatroso sklandmens pilnutinės jėgos koeficientas C_R . $AoA=0^\circ\div 10^\circ$. $V_x = 20$ m/s

| Resultant | $R=C_R*(q(V^2)/2)*s$ | | | | |
|-----------|----------------------|----------------------|--------|------------------|----------|
| | | 1,225 | 20 | 1,5241 | |
| α | R, N | q, kg/m ³ | V, m/s | S,m ² | C_R |
| 0 | 37,799 | 1,225 | 20 | 1,5241 | 0,101228 |
| 1 | 42,72 | 1,225 | 20 | 1,5241 | 0,114407 |
| 2 | 47,432 | 1,225 | 20 | 1,5241 | 0,127026 |
| 3 | 56,362 | 1,225 | 20 | 1,5241 | 0,150941 |
| 4 | 63,465 | 1,225 | 20 | 1,5241 | 0,169963 |
| 5 | 71,129 | 1,225 | 20 | 1,5241 | 0,190488 |
| 6 | 76,472 | 1,225 | 20 | 1,5241 | 0,204797 |
| 7 | 84,402 | 1,225 | 20 | 1,5241 | 0,226034 |
| 8 | 95,067 | 1,225 | 20 | 1,5241 | 0,254595 |
| 9 | 101,633 | 1,225 | 20 | 1,5241 | 0,272179 |
| 10 | 107,367 | 1,225 | 20 | 1,5241 | 0,287535 |

Pilnutinės aerodinaminės jėgos R reikšmės kintant albatroso sparno profilio atakos kampo padėčiai $AoA=0^\circ\div 6^\circ$ pateikiamos 26 lentelėje. Didžiausią reikšmę jėgų atstojamosios koeficientas įgyja, kai atakos kampas $AoA=10^\circ$, ši reikšmė yra lygi $C_R = 0,287535$. 55 pav. pastebime, jog oro srauto greičio spektro linijos albatroso sparnų galuose intensyviau užlinksta dėl didėjančio slėgių skirtumo sparno apatinėje ir viršutinėje dalyse.



55 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras apribotoje skaičiuotinėje erdvyje. $AoA=10^\circ$. $V_x = 20$ m/s

27 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių jėgų koeficientų priklausomybė nuo atakos kampo $\alpha \in [0^\circ; 10^\circ]$. $V_x = 20$ m/s

| α | C_L |
|----------|----------|
| 0 | 0,092843 |
| 1 | 0,106557 |
| 2 | 0,120639 |
| 3 | 0,145467 |
| 4 | 0,164671 |
| 5 | 0,185354 |
| 6 | 0,199454 |
| 7 | 0,220702 |
| 8 | 0,249325 |
| 9 | 0,266588 |
| 10 | 0,281697 |
| MAX | 0,281697 |

(a) C_L priklausomybė nuo atakos kampo α

| α | C_D |
|----------|----------|
| 0 | 0,040337 |
| 1 | 0,039983 |
| 2 | 0,039767 |
| 3 | 0,040278 |
| 4 | 0,04208 |
| 5 | 0,043928 |
| 6 | 0,046464 |
| 7 | 0,04881 |
| 8 | 0,051534 |
| 9 | 0,05489 |
| 10 | 0,057653 |
| MAX | 0,057653 |

(b) C_D priklausomybė nuo atakos kampo α

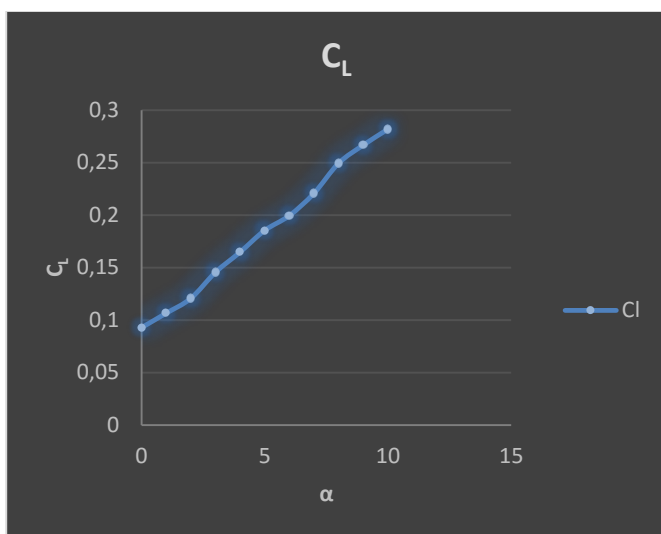
| α | C_R |
|----------|----------|
| 0 | 0,101228 |
| 1 | 0,114407 |
| 2 | 0,127026 |
| 3 | 0,150941 |
| 4 | 0,169963 |
| 5 | 0,190488 |
| 6 | 0,204797 |
| 7 | 0,226034 |
| 8 | 0,254595 |
| 9 | 0,272179 |
| 10 | 0,287535 |
| MAX | 0,287535 |

(c) C_R priklausomybė nuo atakos kampo α

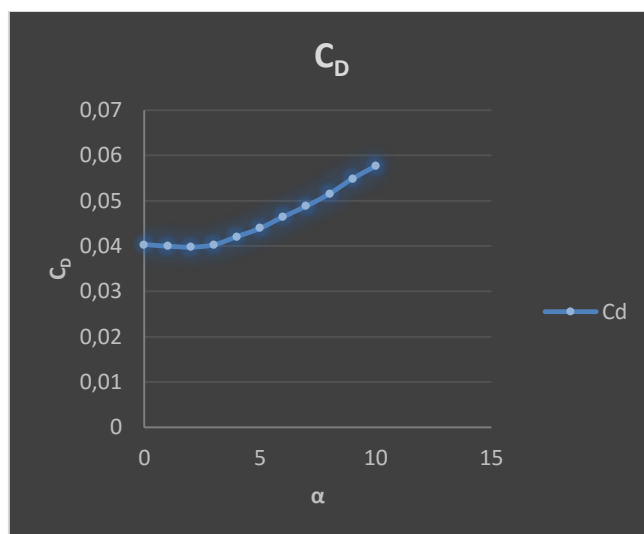
| α | C_L/C_D |
|----------|-----------|
| 0 | 2,301686 |
| 1 | 2,665037 |
| 2 | 3,033672 |
| 3 | 3,611569 |
| 4 | 3,913257 |
| 5 | 4,219472 |
| 6 | 4,292622 |
| 7 | 4,521617 |
| 8 | 4,838071 |
| 9 | 4,856801 |
| 10 | 4,886055 |
| MAX | 4,886055 |

(d) C_L/C_D priklausomybė nuo atakos kampo α

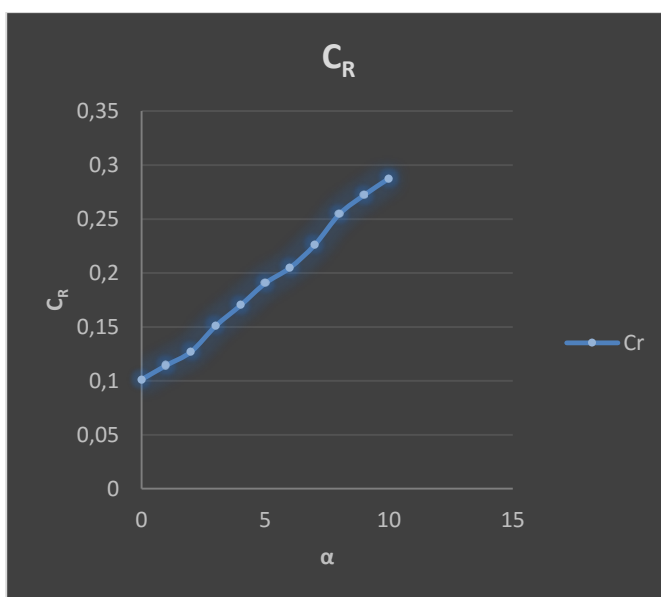
Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų priklausomybė nuo atakos kampo padėties iliustruojama 56 pav. Albatroso aerodinaminės kokybės koeficiento dydis, jau žinome, yra ne kas kita, kaip sklandmens keliamosios ir pasipriešinimo jėgos santykis arba sklandmens keliamosios jėgos ir pasipriešinimo jėgos koeficientų santykis. Jis parodo kiek kartų albatroso sklandmens konstrukcijos keliamosios jėgos reikšmė yra didesnė už pasipriešinimo jėgą. Skaičiavimus atlikome pasinaudodami lygtimis (15) ir (16). Apskaičiuotos aerodinaminės kokybės koeficiento reikšmės kiekvienai sparno profilio atakos kampo padėčiai atakos kampų diapazone $\alpha \in [0^\circ; 10^\circ]$ pateikiamos 27 lentelėje (d) punkte bei iliustruojamos 56 pav. (d) punkte.



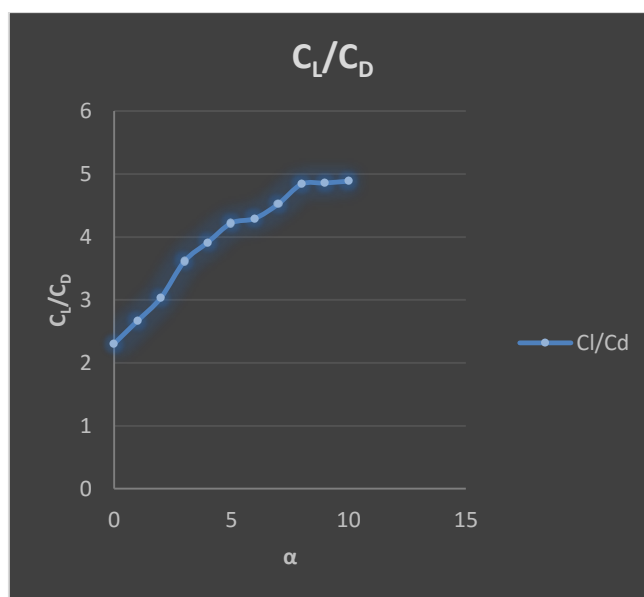
(a) C_L priklausomybė nuo atakos kampo α



(b) C_D priklausomybė nuo atakos kampo α

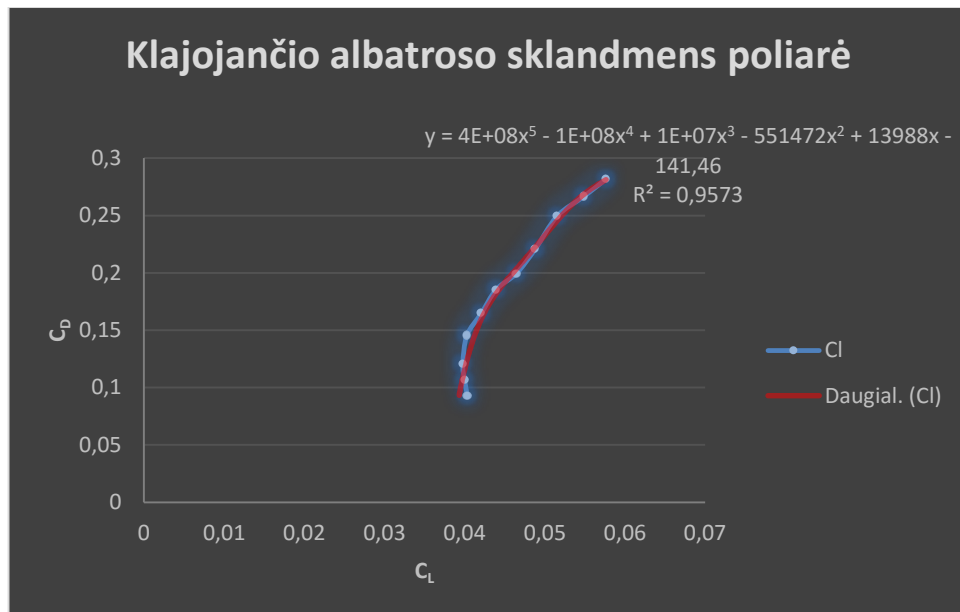


(c) C_R priklausomybė nuo atakos kampo α



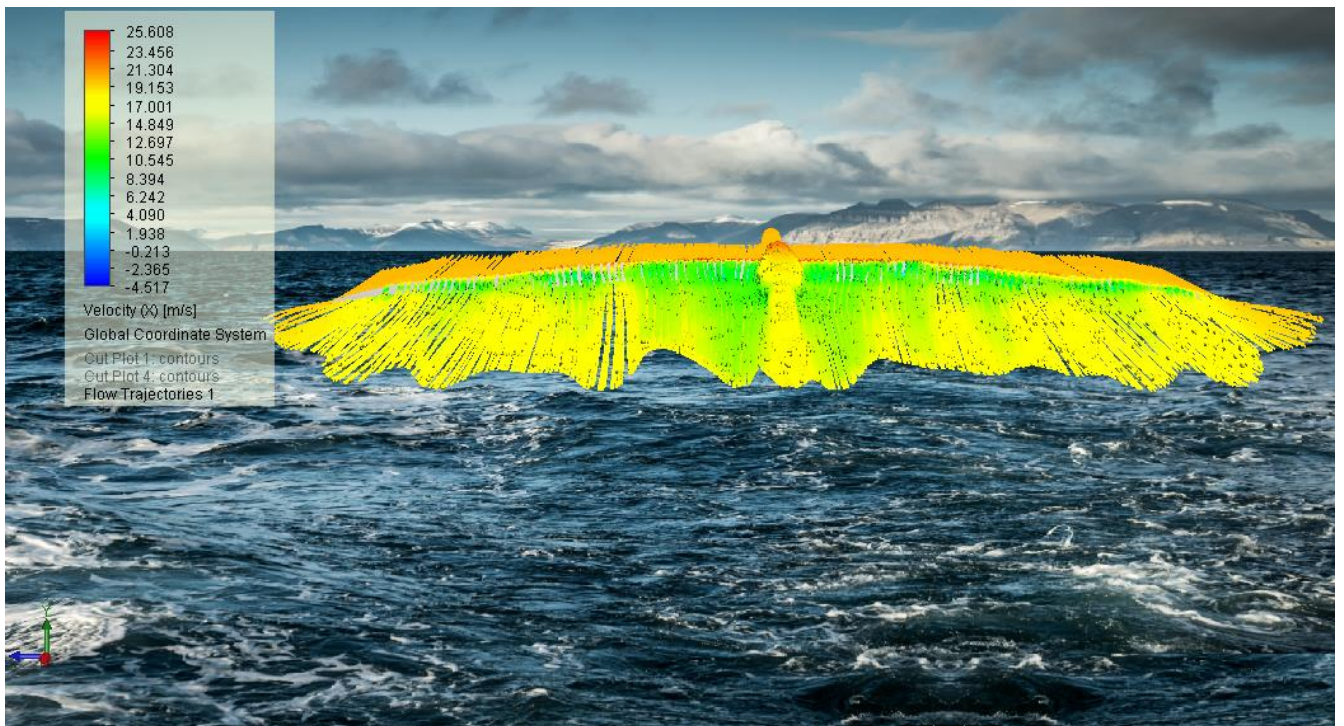
(d) C_L/C_D priklausomybė nuo atakos kampo α

56 pav. Albatroso 3D modelio koeficientų C_L , C_D ir C_R priklausomybė nuo atakos kampo. $\alpha=0^\circ \div 10^\circ$



57 pav. Koeficientų C_L ir C_D priklausomybę nuo atakos kampo $\alpha=0^\circ\div 10^\circ$. $V_x = 20$ m/s

57 pav. pateikiame albatroso sklandmens poliarę bei poliarės funkciją. Matome, jog funkcija pasiekia maksimalią reikšmę, kai $\alpha = 10^\circ$, o tai reiškia, jog šis atakos kampas yra naudingiausias sparno profilio atakos kampas α_{naud} , kuriuo sklęsdamas albatrosas įveiks didžiausią atstumą.



58 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras apribotoje skaičiuotinėje erdvėje ašyse YZ. $AoA=10^\circ$. $V_x = 20$ m/s

Albatrosui sklendžiant α_{naud} , sklendimo kampas visuomet yra lygus albatroso sklandmens kokybės kampui, tuomet sklandmens kokybė prilygsta nuotoliui, kurį albatrosas nusklęs iš 1 km aukščio. Lėktuvams konstruoti ir aprašyti naudojamoje teorijoje nurodoma, jog lėktuvo kokybė yra nusklęsto nuotolio ir aukščio, iš kurio sklendžiama, santykis [20]:

$$l = H \cdot K \text{ arba } K = \frac{l}{H} \quad (17)$$

čia: l – sklendimo nuotolis, km;

H – sklendimo aukštis, km;

K – aerodinaminės kokybės koeficientas.

Taip pat aerodinaminė kokybė gali būti išreiškiama kaip sklendimo greičio ir žemėjimo spartos santykis [20]:

$$K = \frac{V_{skl}}{V_y} \quad (18)$$

čia: K – aerodinaminės kokybės koeficientas;

V_{skl} – sklendimo greitis, m/s;

V_y – žemėjimo sparta, m/s.

Aerodinaminės kokybės skaičiavimo rezultatų skaitines išraiškas pagal (18) lygtį ir remiantis literatūros šaltinio [22] duomenimis pateikėme klajojančio albatroso skrydžių charakteristikų 15 lentelėje. Pagal lentelėje pateikiamus duomenis matome, jog tiesiaeičiame skrydyje (pirmasis Niutono dėsnis) maksimali aerodinaminės kokybės koeficiento reikšmė $V/V_z = 21,2$. Kai žemėjimo sparta mažiausia albatroso kokybės koeficientas įgyja reikšmę lygią $V/V_z = 18,4$. Atlikę skaičiavimus pagal lygtis (17)-(18) ir remiantis tyrimo metu gautais bei apskaičiuotais aerodinaminių jėgų koeficientų dydžiais nustatėme, kad didžiausią aerodinaminę kokybę horizontaliame skrydyje albatrosas pasiekia, kai $\alpha_{\text{naud}} = 10^\circ$. Tuomet apskaičiuotoji aerodinaminės kokybės koeficiento reikšmė lygi $K = 4,886055$, kai žemėjimo sparta lygi $V_y = 4.09328$ m/s. Didžiausias nusklęsto atstumo nuotolis iš 15 m aukščio, kai $K = 4,886055$, lygus $l=73,290825$ m. Tyrimo metu nustatyta albatroso sklandmens turbulentinio intersyvumo reikšmė 0,10_%, kurios ilgis 0,002 m, kai $AoA = 10^\circ$, $V_x = 20$ m/s.

Albatroso sklandmens žemėjimo spartos reikšmė horizontalaus skrydžio metu, kai tikrasis albatroso sklendimo greitis $V_{skl} = 20\text{m/s}$, yra kur kas didesnė nei literatūros šaltinyje [20] pateikti duomenys. Mažiausios žemėjimo spartos greitis, lyginant su 15 lentelėje pateiktais duomenimis, skiriasi 6,2019 karto. Dėl to galime daryti išvadą, jog mokslinėje literatūroje pateikti duomenys remiasi ne tik skaitinėmis išraiškomis, bet ir albatroso skrydžio stebėjimu realiu laiku bei ekspedicijų metu naudojamais prietaisais leidžiančiais sekti paukščio judėjimo trajektoriją bei jo migraciją. Taip pat būtina pažymėti, kad tyrimo metu nebuvo analizuojama, kaip žemės ekrano efektas veikia albatroso 3D modelio aerodinamines charakteristikas. Remiantis gautais skaičiavimų skirtumais, galima daryti prielaidą, kad žemės ekrano efektas yra labai svarbus reiškinys albatroso dinaminio skriejimo metu.



59 pav. Albatroso sklandmens turbuletinių oro srovių spektras. $AoA=10^\circ$. $V_x = 20\text{ m/s}$

5. ALBATROSO (DIOMEDEA EXULANS) MATEMATINIS MODELIS

5.1. ALBATROSO DINAMINIO SKRIEJIMO TRAJEKTORIJOS

Matematiniai modeliai skirti, analizuoti albatroso dinaminio skriejimo trajektorijas. Įvertina vėjo įtaką kaip horizontalų vėjo gradientą kintanti vertikaliai. Kaip minėjome, kai kurie matematiniai modeliai nevertina vandenyno paviršiaus bangų judėjimo tuo metu, kai albatrosas atlieka skriejimo ciklą numatytą trajektorija pateikta. Atlikę mokslinės literatūros analizę pastebėjome, jog nėra išvestų universalus pritaikymo albatroso dinamikos matematinių modelių, kurie leistų įvertinti kintančius vėjo gūsių poveikius aktyviai veikiančius albatroso dinaminį skriejimą. Taip pat pastebėjome, jog matematiniai modeliai, aprašantys albatroso dinaminį skriejimą apsiriboja trigonometrinėmis funkcijomis bei logaritminiu ar eksponentiniu horizontalaus vėjo gradiento kitimu. Tai labai skiriasi nuo momentinio vėjo veikimo keičiantis aukščiui, gūsių ir oro srauto įtakos priklausomai nuo bangos judesio kiekio bei intensyvumo. Idealizuoto dinaminio skriejimo modelio pagalba, priartėjimo būdu, įvertinsime sumodeliuoto albatroso skriejimo trajektorijas. Šis dinaminio skriejimo modelis išreiškiamas lygtimis (19) ir (20) [24]:

$$\frac{du}{dz} = \frac{g}{w} \left(C_D + C_L \frac{w}{V} \right) \frac{\rho}{2} \cdot \frac{V^2}{m/s} \quad (19)$$

čia: u – albatroso judėjimo greitis oro srauto atžvilgiu, m/s; z – albatroso skrydžio trajektorijos altitudė, m; g – laisvojo kritimo pagreitis, m/s²; C_L – keliamosios jėgos koeficientas; C_D – pasipriešinimo jėgos koeficientas; m – albatroso masė, kg; w – žemėjimo sparta, m/s; V – oro srauto greitis, m/s; ρ – oro tankis, m/s.

$$\frac{dw}{dz} = \frac{g}{w} \left(C_L \frac{\rho}{2} \cdot \frac{V^2}{m/s} - 1 \right) \quad (20)$$

čia: z – albatroso skrydžio trajektorijos altitudė, m; g – laisvojo kritimo pagreitis, m/s²; C_L – keliamosios jėgos koeficientas; C_D – pasipriešinimo jėgos koeficientas; m – albatroso masė, kg; w – žemėjimo sparta, m/s; V – oro srauto greitis, m/s; ρ – oro tankis, m/s.

5.2. SKAIČIAVIMO IR MODELIAVIMO REZULTATAI

Idealizuoto albatroso dinaminio skriejimo modelio trajektorijos, išreikštos dinaminio skriejimo diferencialinėmis lygtimis (19) ir (20), nėra visiškai tinkamos taikyti sumodeliuotai sklandmens konstrukcijai. Todėl atliekame albatroso optimalių dinaminio skriejimo lygčių optimizavimą remdamiesi literatūros šaltiniuose [16], [22] bei [24] pateikta informacija. Parametrinėse lygtyse koeficientai a , b ir z atitinkamai optimizuoja trajektoriją pagal jos ilgį, plotį bei skrydžio ekstremumo aukštį. Šie parametrai ne tik apibrėžia ekstremumo taškus bei trajektoriją, bet yra glaudžiai susiję su periodo dažnumo parametru. Kaip jau minėjome, laikas, per kurį albatrosas atlieka viena skrydžio ciklą vidutiniškai trunka $t = 10$ s. Diferencialinių lygčių išraiškas bei optimizuotą dinaminio skriejimo trajektoriją pateikiame *MathCAD* programos aplinkoje (žr. prieduose pav. 130-132):

Parametrai

$$\begin{aligned} a &:= 2 \\ b &:= 1.5 \\ h &:= 6 \\ \omega &:= 1 \end{aligned}$$

$$t := 0, 0.0001, 10$$

Parametrinė s lygtys

$$x(t) := a \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

$$y(t) := b \cdot \cos\left(2\omega \cdot t + \frac{\pi}{3}\right) \cdot \left[\frac{d}{dt}\left(\frac{d}{dt}x(t)\right)\right]$$

$$z(t) := h \cdot \cos(1\omega \cdot t)$$

$$\text{curve}(t) := \begin{pmatrix} -6 \sin(\omega \cdot t) \\ 0.9 \cos(\omega \cdot t) \\ \sin(\omega \cdot t) \cdot \cos(\omega \cdot t) \end{pmatrix}$$

$$t0 := 0$$

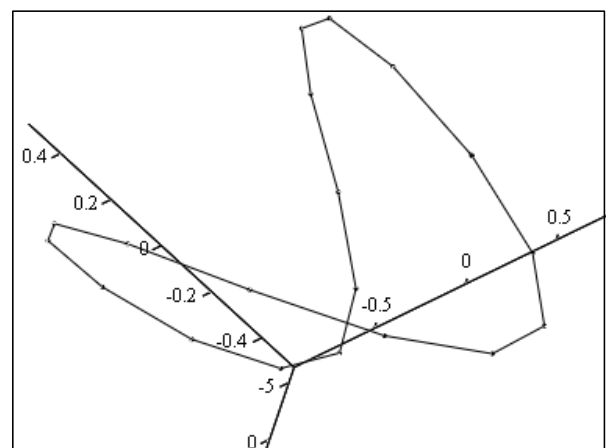
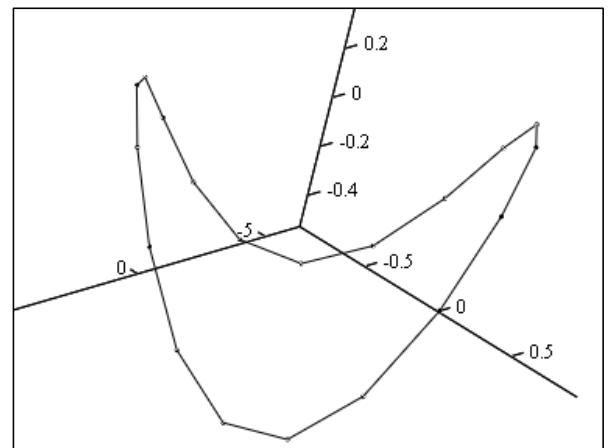
$$t1 := 6.28$$

$$\underline{S}_{xxx} := \text{CreateSpace}(\text{curve}, t0, t1)$$

$$\underline{S}_{xxx} := \text{CreateSpace}(\text{curve}, t0, t1)$$

$$t1 := 6.28$$

$$t1 := 6.28$$



60 pav. Optimizuotas albatroso sklandmens dinaminio skriejimo matematinis modelis

LYGINAMOSIOS IŠVADOS

Magistro baigiamajame darbe, pasinaudodami mokslinės literatūros šaltiniais ir publikacijomis, skaitinės analizės programomis atkūrėme klajojančio albatroso (angl. *Wandering albatross*, lot. *Diomedea exulans*) 3D modelį: a) sparną su kintama geometrija, kurio mostas 3 metrai; b) liemenį su kintama geometrija, kurio ilgis 1,2 metrai. Atlikome albatroso dinaminio skriejimo modelio aerodinaminių charakteristikų analizę. Taip pat aprašėme albatroso dinaminio skriejimo matematinį modelį, nubraižėme dinaminio skriejimo trajektorijas ir atlikome skriejimo skaitinę analizę trajektorijos ekstremumo ir faziniuose taškuose.

Atlikę sumodeliuoto albatroso sparno profilio aerodinaminių charakteristikų tyrimą atakos kampų imtyje $\alpha \in [0^\circ; 25^\circ]$, nustatėme, jog sparno profilio atakos kampas pasiekia kritinę ribą, kai $\alpha_{kr} = 16^\circ$. Taip pat galime daryti išvadą, jog didžiausias keliamosios ir pasipriešinimo jėgų santykis gaunamas, kai atakos kampas lygus $\alpha_6 = 6^\circ$, tuomet aerodinaminės kokybės koeficiento reikšmė yra lygi $K = 12,83255$. Sparno profilio atakos kampui pasiekus kritinį $\alpha_{kr} = 16^\circ$ aerodinaminės kokybės koeficiento reikšmė yra lygi $K = 6,775$. Tiriamojo sparno profilio aerodinaminės kokybės koeficiento dydis priklauso nuo profilio paviršiaus lygumo ir glotnumo, taip pat kitų veiksnių darančių įtaką keliamosios ir pasipriešinimo jėgų dydžių kitimui. Tyrimo metu *SolidWorks* programos aplinkoje sudaromos idealios sąlygos oro srauto laminariniam aptekėjimui, todėl galime daryti prielaidą, jog atlikus sparno profilio aerodinaminių charakteristikų tyrimą vėjo tunelyje aerodinaminės kokybės koeficientas, kai atakos kampas lygus $\alpha_6 = 6^\circ$ pasikeistų, galime daryti prielaidą, jog būtų mažesnis nei gautoji reikšmė $K = 12,83255$.

Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų tyrimo metu, kai $AoA = 0^\circ \div 6^\circ$, albatroso judėjimo greitis oro srauto atžvilgiu lygus $V_x = 15 \text{ m/s}$, nustatyta, jog didžiausias keliamosios ir pasipriešinimo jėgų santykis gaunamas, kai atakos kampas lygus $\alpha = 6^\circ$, tuomet aerodinaminės kokybės koeficiento reikšmė yra lygi $K = 3,089334$. Užsparnių atakos kampui nustatytam $\alpha = 1^\circ$ aerodinaminės kokybės koeficiento reikšmė yra lygi $K = 2,52653$. Didžiausios keliamosios ir pasipriešinimo jėgų koeficientų reikšmės pasiektos, kai $\alpha = 6^\circ$, šios reikšmės atitinkamai lygios $C_L = 0,129904$ ir $C_D = 0,042049$.

Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų tyrimo metu, kai $AoA = -2^\circ \div 0^\circ$, albatroso judėjimo greitis oro srauto atžvilgiu lygus $V_x = 25 \text{ m/s}$, nustatyta, jog didžiausias keliamosios ir pasipriešinimo jėgų santykis gaunamas, kai atakos kampas lygus $\alpha = 0^\circ$, tuomet aerodinaminės kokybės koeficiento reikšmė yra lygi $K = 2,340511$. Užsparnių atakos kampui išstatytam $\alpha = -2^\circ$ aerodinaminės kokybės koeficiento reikšmė yra lygi $K = 2,071755$. Didžiausios keliamosios ir pasipriešinimo jėgų

koeficientų reikšmės pasiektos, kai $\alpha = 0^\circ$, šios reikšmės atitinkamai lygios $C_L = 0,094636$ ir $C_D = 0,040434$. Atlikę palyginimą su literatūros šaltinyje [23] esančiais duomenimis ir tyrimo skaičiavimų rezultatais gavome, jog tikrojo oro srauto greičio reikšmei esant lygiai $V_x = 25$ m/s albatroso sklandmens konstrukcijai grįžtinėje nėra efektyvu naudoti neigiamos padėties užsparnius, nes aerodinaminės kokybės koeficiento reikšmė mažėja, o tai reiškia žemėjimo spartos didėjimo tendenciją su neigiama užsparnių padėtimi.

Atliktas albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų tyrimas, kai sparno profilio atakos kampas kinta $AoA=0^\circ\div 10^\circ$. Keičiamas viso sparno profilio atakos kampas ir albatroso skrydis modeliuojamas, kai paukštis skrydžio trajektorijos kiltinėje ir grįžtinėje siekia išlaikyti skrydžio greitį oro srauto atžvilgiu $V_x = 20$ m/s [20], greičio prieaugis dėl galimai veikiančių vėjo gūsių, kurių stiprumas siekia 5 m/s, įtaka nebuvo įvertinta, nes oro srauto gūsių veikimas reliatyvus. Nustatėme, kad albatroso sklandmens aerodinaminės kokybės koeficientas turi didelę įtaką aukštėjimo ir žemėjimo spartai, skrydžio nuotoliui, todėl tyrimo metu siekėme, jog albatroso sparno profilis būtų pastatytas tokiu atakos kampu, kad būtų gaunamas didžiausias keliamosios jėgos koeficiento C_L ir pasipriešinimo jėgos koeficiento C_D santykis. Iš 15 lentelėje pateiktų duomenų matome, kad tiesiaiegiame skrydyje maksimali aerodinaminės kokybės koeficiento reikšmė $V/V_z = 21,2$. Kai žemėjimo sparta mažiausia, albatroso kokybės koeficientas įgyja reikšmę, lygią $V/V_z = 18,4$. Atlikę skaičiavimus pagal lygtis (17)-(18) ir remdamiesi tyrimo metu gautais bei apskaičiuotais aerodinaminių jėgų koeficientų dydžiais nustatėme, jog didžiausią aerodinaminę kokybę horizontaliame skrydyje albatrosas pasiekia, kai $\alpha_{naud} = 10^\circ$. Apskaičiuotoji aerodinaminės kokybės koeficiento reikšmė, kai $\alpha_{naud} = 10^\circ$ lygi $K = 4,886055$, žemėjimo sparta lygi $V_y = 4,09328$ m/s. Ši aerodinaminės kokybės koeficiento reikšmė modeliuojama su tikslu, kad albatrosas atliktų dinaminio skriejimo ciklą per 10 sekundžių, nors natūrali sumodeliuotos albatroso sklandmes konstrukcijos žemėjimo spartos reikšmė yra lygi $V_y = -0,089$ m/s. Pagal bendruosius aerodinamikos principus, kai albatroso sklendimas kiltinėje modeliuojamas su sparno profilio atakos kampu, lygiu $\alpha_{naud} = 10^\circ$, albatroso aukštėjimo sparta labai intensyvi, o tai sumažina albatroso sklendimo nuotolį bei tikrąjį albatroso sklendimo greitį. Siekdamas nusklęsti kuo didesnę atstumą, albatrosas turėtų kiltinėje naudoti sparno profilio atakos kampo padėtį, lygią $AoA = 0^\circ$, o grįžtinėje – didžiausios aerodinaminės kokybės kampą $\alpha_{naud} = 10^\circ$. Tačiau pagal mokslinėje literatūroje [20] aprašytus albatroso skrydžio parametrus, kai dinaminio skriejimo ciklas trunka 10 sekundžių, naudojome didžiausios aerodinaminės kokybės kampą $\alpha_{naud} = 10^\circ$, kad albatrosas kiltinėje kuo greičiau įgytų 15 metrų aukštį ir taip pat grįžtinėje šiuo sparno profilio atakos kampu nusklęstų didžiausią atstumą. Didžiausias nusklęsto atstumo nuotolis iš 15 m aukščio, kai $K = 4,886055$, lygus $l = 73,290825$ m. Tyrimo metu nustatyta

albatroso sklandmens turbulentinio intensyvumo reikšmė 0,10 %, kurios ilgis 0,002 m, kai $AoA = 10^\circ$, $V_x = 20$ m/s.

Albatroso sklandmens žemėjimo spartos reikšmė horizontalaus skrydžio metu, kai tikrasis albatroso sklendimo greitis $V_{skl} = 20$ m/s, yra kur kas didesnė nei literatūros šaltinyje [20] pateikti duomenys. Mažiausios žemėjimo spartos greitis lyginant su 15 lentelėje pateiktais duomenimis skiriasi 6,2019 karto. Dėl to galime daryti išvadą, jog mokslinėje literatūroje pateikti duomenys remiasi ne tik skaitinėmis išraiškomis, bet ir albatroso skrydžio stebėjimu realiu laiku bei ekspedicijų metu naudojamais prietaisais leidžiančiais sekti paukščio judėjimo trajektoriją bei jo migraciją. Taip pat būtina pažymėti, jog tyrimo metu nebuvo analizuojama, kaip žemės ekranas veikia albatroso 3D modelio aerodinamines charakteristikas, o tai, remiantis gautais skaičiavimų skirtumais, leidžia daryti prielaidą, kad žemės ekranas yra labai svarbus reiškinys albatroso dinaminio skriejimo metu.

Atlikę tyrimą galime daryti išvadą, jog gamtoje veikiančios jėgos ir jų pritaikymo galimybės neribotos. Būtina atlikti gamtos reiškinių tyrimus bei jų pritaikymo galimybes. Taip pat ne mažiau svarbu lavinti bei orientuoti jaunosios kartos mąstymą į autonominių sistemų kūrimą bei diegimą, energetinį efektyvumą, neribotą aplinkoje veikiančių energijos resursų pritaikymo galimybes: vandenynuose, jūrose veikianči bangavimo energijos pernaša; troposferoje veikiančios reiškinių - oro srauto masių pernašos, konvekcija, advekcija; Masačusetso technologijos universiteto mokslininkų pasiūlytos idėjos apie galimybę ore esančią drėgmę paversti dar vienu alternatyvios energijos šaltiniu. Albatroso dinaminio skriejimo technikos rūšis analizuojama ir aprašoma įvairių rūšių mokslininkų ir specialistų kiek daugiau nei šimtmetį [3][4]. Albatroso dinaminio skriejimo modelio realaus pritaikymo galimybės tyrinėjo NASA, eksperimentinius skrydžius atliko USAF (angl. United States Air Force) lakūnai. Gamtoje veikiančių reiškinių tyrinėjimas bei praktinis jų pritaikymas labai plataus spektro energetinio efektyvumo siekiamybė neabejotinai išliks žmonijos prioritetu ateityje.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. A.J. Ward-Smith. „Biophysical Aerodynamics and the Natural Environment”, John Wiley & Sons, 1984.
2. E. Rimkus. „Meteorologijos įvadas”, 43, 97 psl., Vilniaus universitetas, 2011.
3. J.W.S. Rayleigh. „The sailing flight of the albatross”, Nature, 1889.
4. G. Sachs, P. Bussotti. „Variational analysis and applications”, skyrius „Application of optimal control theory to dynamic soaring of seabirds”, 975-994 psl., Springer: Berlin, Germany, 2005.
5. S. Marchant, P.J. Higgins. „Handbook of Australian, New Zealand and Antarctic Birds”, Volume 1, Ratites to ducks; Part A, Ratites to petrels. 263-281 psl., plates 13 & 14. Melbourne, Oxford University Press, 1990.
6. J.J. Harrison. „Wandering Albatross (*Diomedea exulans*) in flight“, picture taken at East of the Tasman Peninsula, Tasmania, Australia. Nuoroda į leidinį internete - <http://www.ourendangeredworld.com/species/birds-bats/wandering-albatross>.
7. M. Pidwirny. „Surface and Subsurface Ocean Currents”. Fundamentals of Physical Geography, 2nd Edition. 2006 Date Viewed. Nuoroda į leidinį internete - <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/8q.html>.
8. Philip L. Richardson. „How albatrosses fly such vast distances – tracking upwind“, Wools hole Oceanographic Institution, 2011. Nuoroda į leidinį internete - <http://www.sail-world.com/Austria/How-Albatrosses-fly-such-wast-distances-tracking-upwind>.
9. B.R. Munson, T.H. Okiishi, D.F. Young. „Fundamentals of Fluid Mechanics“, 4th Edition, R.R. Donneley & Sons, Chicago, 2002.
10. E. Lasauskas. „Skrydžio principai”, leidykla „Technika”, 10-11, 17-20, 40, 61 psl., Vilnius, 2008.
11. „Albatross, azhdarchid and pteranodontian skeletons compared“. Nuoroda į leidinį internete - http://openi.nlm.nih.gov/detailedresult.php?img=PMC2981443_pone0013982.g004&req=4.
12. Wandering albatross, Museum of the wandering albatross specimens, located in the southern island Georgia (*Grytviken*). Nuoroda į leidinį internete - <http://geofftoantarctica2009.blogspot.lt/2009/04/grytviken-and-stromness-south-georgia.html>.
13. Wandering albatross (*Diomedea exulans*) Linnaneus, in New York. Photo: American Museum of Natural History. Nuoroda į leidinį internete - <http://blog.tepapa.govt.nz/2017/03/10/the-global-hunt-for-the-original-wandering-albatross>.
14. B. Merkys. „Orlavių konstrukcijos“, 17-24 psl., leidykla „Technika“, Vilnius, 2012.

15. „The illuminated skeleton of a wandering albatross <...> Photo by Kirk Murray“. Nuoroda į leidinį internete - <http://itsnt774.iowa.uiowa.edu/fyi-archives/issues/issues2000/0323001/bird.html>.
16. G. Pfeifhofer, H. Tributsch. „The flight of albatross – how to transform it into aerodynamic engineering?“, 427-438 psl., Carinthia University of Applied Sciences, Villach, Austria, 2014. Nuoroda į leidinį internete - <http://dx.doi.org/10.4236/eng.2014.68045>.
17. Standard atmosphere, ISO 2533:1975. Nuoroda į leidinį internete - <https://www.iso.org/standard/7472.html>.
18. Properties of the atmosphere, sea level conditions. Nuoroda į leidinį internete - <http://s6.aeromech.usyd.edu.au/aerodynamics/index.php/sample-page/properties-of-the-atmosphere>.
19. H. Tennekes. „The simple science of flight. From insects to jumbo jets“, 17 psl., The MIT press, Cambridge, Massachusetts, London, England, 2009. Nuoroda į leidinį internete - https://mitpress.mit.edu/sites/default/files/titles/content/9780262513135_sch_0001.pdf
20. P. Akulavičius, A. Skurdenis. „Aerodinamika ir skrydžių dinamika“, 48-49, 50, 84, 87-88, 92, 93, 96 psl., Vilnius, Rosma, 2000.
21. I. A. Maia. „Performance analysis of typical airfoils through numerical simulations using fluid-structure interaction“, 1 pav., Fortaleza, CE, Brazil, 2014. Nuoroda į leidinį internete - https://www.researchgate.net/publication/281378133_PERFORMANCE_ANALYSIS_OF_TYPICAL_AIRFOILS_THROUGH_NUMERICAL_SIMULATION_USING_FLUID_STRUCTURE_INTERACTION.
22. Philip L. Richardson. „How do albatrosses fly around the world without flapping their wings?“, 2010, Department of Physical Oceanography, Woods Hole Oceanographic institution, Woods Hole, USA. Nuoroda į leidinio tiklaraštį internete – www.elsevier.com/locate/pocean.
23. Richard H. Johnson. „A flight test evaluation of the PIK-20D-78“, „Soaring Magazine“, 1979. Nuoroda į literatūros šaltinį internete - <http://ssa.org/Johnson/26-1979-01.pdf>.
24. Clarence D. Cone Jr. „A Mathematical Analysis of the Dynamic Soaring Flight of the Albatross with Ecological Interpretations“, Virginia institute of marine science, special scientific report no. 50, 1964. Nuoroda į leidinį internete - <https://publish.wm.edu/dgi/viewcontent.cgi?article=1100&context=reports>.

PRIEDAI

1 lentelė. Albatroso sparno profilio charakteristika

| Žymuo | Reikšmė |
|---------------------|-----------|
| c | 294,39 mm |
| T | 36,25 mm |
| t | 0,123 |
| X_T | 51,75 mm |
| x_t | 0,176 |
| F | 23,49 mm |
| f | 0,08 |
| X_F | 115,52 mm |
| x_f | 0,392 |
| R_{LE} | 3,9 mm |
| r_{LE} | 0,013 |
| $\Delta\theta_{TE}$ | 8° |

2 lentelė. Sparno profilio stygos diferencijavimas sparno ilgiu

| Eil. Nr. | Sparno profilio etalono stygos ilgis, mm | Diferencijuotas sparno profilio stygos ilgis, mm | Santykis |
|----------|--|--|----------|
| 1 | 230,54 | 1,64 | 0,007 |
| 2 | 230,54 | 8,73 | 0,038 |
| 3 | 230,54 | 16,24 | 0,070 |
| 4 | 230,54 | 30,39 | 0,132 |
| 5 | 230,54 | 57,43 | 0,249 |
| 6 | 230,54 | 83,19 | 0,361 |
| 7 | 230,54 | 103,74 | 0,450 |
| 8 | 230,54 | 120,96 | 0,525 |
| 9 | 230,54 | 138,12 | 0,599 |
| 10 | 230,54 | 149,56 | 0,649 |
| 11 | 230,54 | 158,9 | 0,689 |
| 12 | 230,54 | 169,07 | 0,733 |
| 13 | 230,54 | 179,47 | 0,778 |
| 14 | 230,54 | 191,65 | 0,831 |
| 15 | 230,54 | 208,87 | 0,906 |
| 16 | 230,54 | 223,7 | 0,970 |
| 17 | 230,54 | 232,38 | 1,008 |
| 18 | 230,54 | 231,36 | 1,004 |
| 19 | 230,54 | 224,49 | 0,974 |
| 20 | 230,54 | 223,29 | 0,969 |
| 21 | 230,54 | 231,88 | 1,006 |
| 22 | 230,54 | 248,36 | 1,077 |
| 23 | 230,54 | 270 | 1,171 |
| 24 | 230,54 | 294,39 | 1,277 |

3 lentelē. ISA aplinkos sāļgos jūros lygyje

| Pavadinimas | Žymuo | Reikšmē |
|--|----------|--|
| Slēgis (angl. <i>Pressure</i>) | P | 1013,25 hPa |
| Tankis (angl. <i>Density</i>) | ρ | 1,225 kg/m ³ |
| Temperatūra (angl. <i>Temperature</i>) | T | +15 °C |
| Garso greitis (angl. <i>Speed of Sound</i>) | a | 340,3 m/s |
| Klampumas (angl. <i>Viscosity</i>) | μ | 1,789 · 10 ⁻⁵ m ² /s |
| Kinematinis klampumas (angl. <i>Kinematic viscosity</i>) | ν | 1,460 · 10 ⁻⁵ kg/m/s |
| Šilumos laidumas (angl. <i>Thermal conductivity</i>) | k | 0,02596 W/m/K |
| Dujū konstanta (angl. <i>Gas constant</i>) | R | 287,1 J/kg/K |
| Savitoji kūno šiluma (angl. <i>Specific heat</i>) | C_p | 1005 J/kg/K |
| Kūno šilumos talpa (angl. <i>Specific heat</i>) | C_v | 717,98 J/kg/K |
| Šilumos perdavimo koeficients (angl. <i>Ratio of Specific Heats</i>) | γ | 1,40 |
| Laisvojo kritimo pagreitis (angl. <i>Gravitational acceleration</i>) | g | 9,80665 m/s ² |

6 lentelė. Sparno profilio keliamosios jėgos koeficientas C_L . $\alpha = 0^\circ \div 25^\circ$. $Re = 403274$

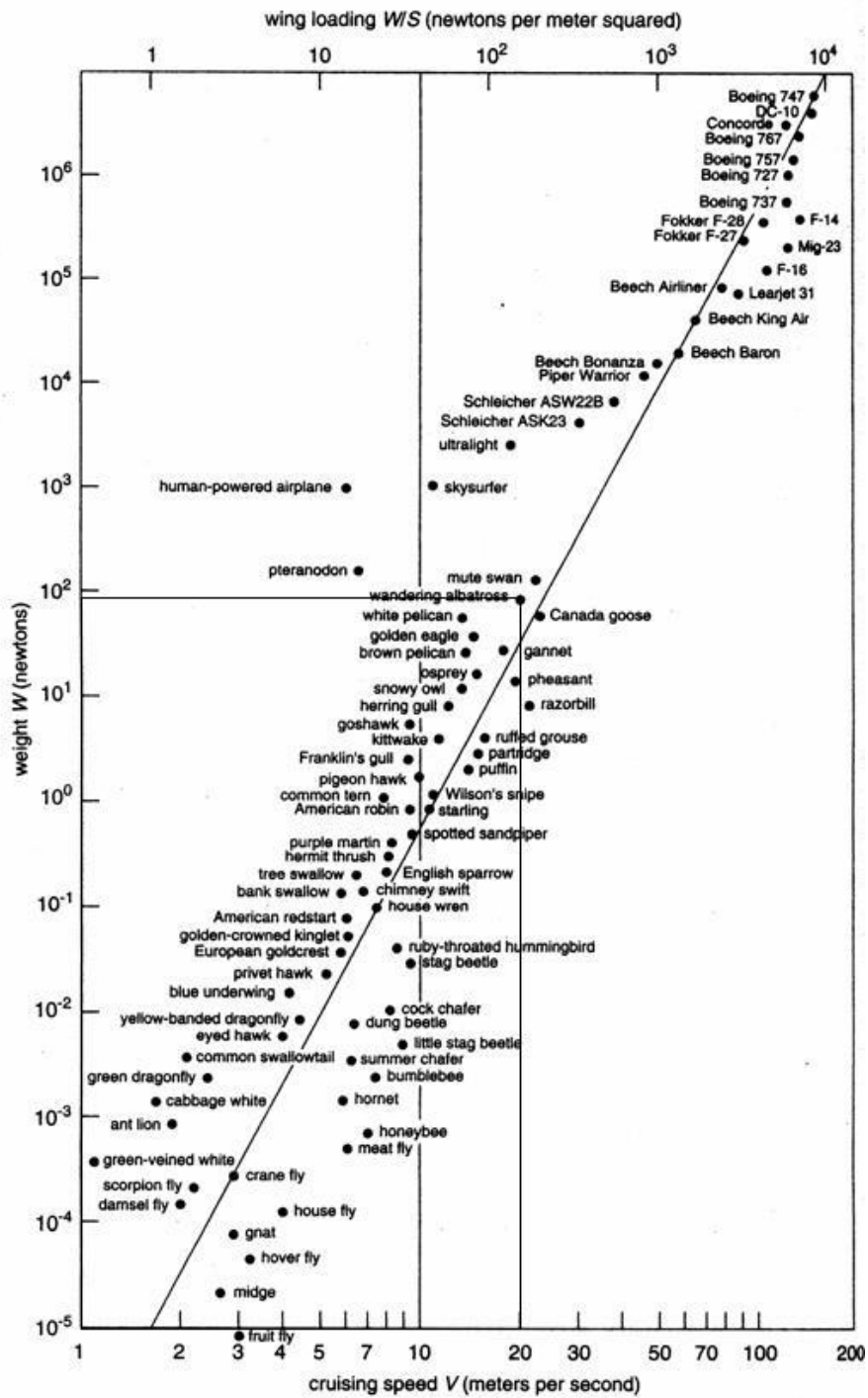
| Lift | $L = C_L * (q(V^2)/2) * s$ | | | | |
|------|----------------------------|----------------------|--------|-------------------|----------------|
| | | 1,225 | 20 | 0,060547 | |
| A | L, N | q, kg/m ³ | V, m/s | S, m ² | C _L |
| 0 | 1,922 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,129568 |
| 1 | 2,723 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,183566 |
| 2 | 2,877 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,193947 |
| 3 | 3,121 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,210396 |
| 4 | 3,501 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,236013 |
| 5 | 4,382 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,295404 |
| 6 | 5,441 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,366794 |
| 7 | 5,771 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,38904 |
| 8 | 5,491 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,370165 |
| 9 | 5,719 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,385535 |
| 10 | 6,342 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,427533 |
| 11 | 6,342 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,427533 |
| 12 | 7,161 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,482744 |
| 13 | 7,324 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,493733 |
| 14 | 6,856 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,462183 |
| 15 | 7,853 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,529394 |
| 16 | 8,327 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,561348 |
| 17 | 7,191 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,484767 |
| 18 | 8,054 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,542944 |
| 19 | 8,359 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,563505 |
| 20 | 8,276 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,55791 |
| 21 | 7,386 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,497912 |
| 22 | 7,884 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,531484 |
| 23 | 7,774 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,524069 |
| 24 | 7,398 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,498721 |
| 25 | 7,518 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,506811 |

7 lentelē. Sparno profilio pasipriešinimo jēgos koeficientas C_D . $\alpha = 0^\circ \div 25^\circ$. $R_e = 403274$

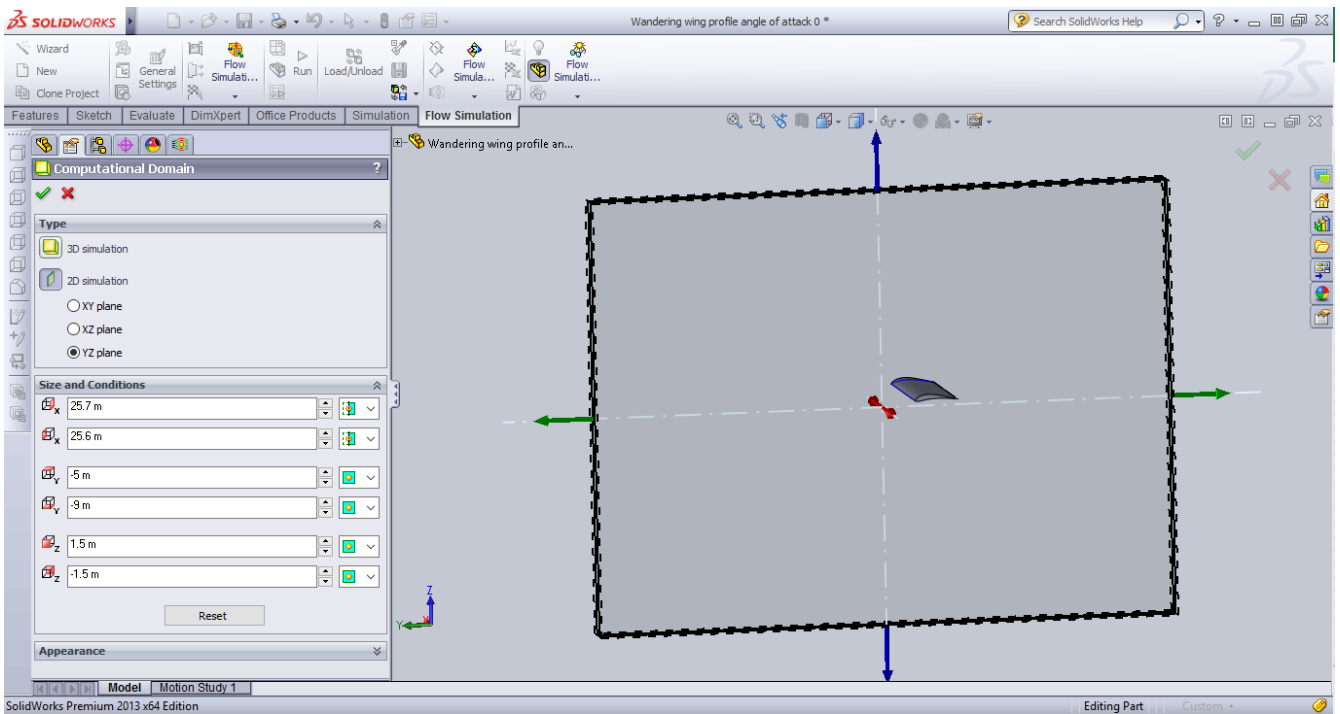
| Drag | | $D = C_D * (q(V^2)/2) * s$ | | | |
|------|-------|----------------------------|--------|-------------------|----------------|
| | | 1,225 | 20 | 0,060547 | |
| A | D, N | q, kg/m ³ | V, m/s | S, m ² | C _D |
| 0 | 0,307 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,020696 |
| 1 | 0,327 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,022044 |
| 2 | 0,405 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,027302 |
| 3 | 0,486 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,032763 |
| 4 | 0,534 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,035999 |
| 5 | 0,343 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,023123 |
| 6 | 0,424 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,028583 |
| 7 | 0,511 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,034448 |
| 8 | 0,704 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,047459 |
| 9 | 0,745 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,050223 |
| 10 | 0,761 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,051301 |
| 11 | 0,736 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,049616 |
| 12 | 0,946 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,063773 |
| 13 | 0,919 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,061953 |
| 14 | 0,972 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,065525 |
| 15 | 1,119 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,075435 |
| 16 | 1,229 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,082851 |
| 17 | 1,457 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,098221 |
| 18 | 1,64 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,110557 |
| 19 | 1,799 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,121276 |
| 20 | 1,944 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,131051 |
| 21 | 2,242 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,15114 |
| 22 | 2,274 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,153297 |
| 23 | 2,352 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,158555 |
| 24 | 2,734 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,184307 |
| 25 | 2,495 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,168195 |

8 lentelė. Sparno profilio pilnutinės aerodinaminės jėgos koeficientas C_R . $\alpha = 0^\circ \div 25^\circ$. $R_e = 403274$

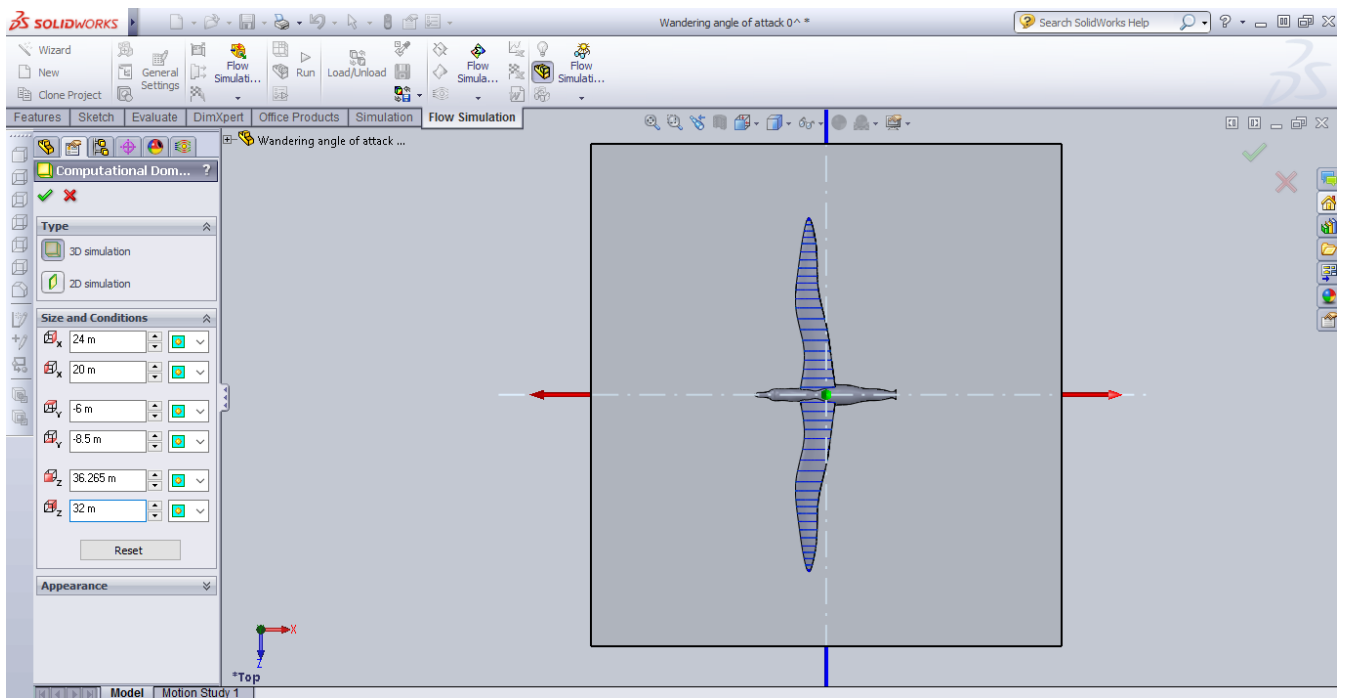
| Resultant | | $R = C_R \cdot (q(V^2)/2) \cdot s$ | | | |
|-----------|-------|------------------------------------|--------|-------------------|----------------|
| | | 1,225 | 20 | 0,060547 | |
| A | R, N | q, kg/m ³ | V, m/s | S, m ² | C _R |
| 0 | 1,947 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,131253 |
| 1 | 2,742 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,184846 |
| 2 | 2,905 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,195835 |
| 3 | 3,158 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,21289 |
| 4 | 3,541 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,238709 |
| 5 | 4,396 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,296347 |
| 6 | 5,458 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,36794 |
| 7 | 5,793 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,390523 |
| 8 | 5,536 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,373198 |
| 9 | 5,767 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,388771 |
| 10 | 6,387 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,430567 |
| 11 | 6,385 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,430432 |
| 12 | 7,224 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,486991 |
| 13 | 7,381 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,497575 |
| 14 | 6,925 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,466835 |
| 15 | 7,932 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,53472 |
| 16 | 8,417 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,567415 |
| 17 | 7,337 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,494609 |
| 18 | 8,22 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,554135 |
| 19 | 8,551 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,576448 |
| 20 | 8,501 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,573078 |
| 21 | 7,718 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,520293 |
| 22 | 8,206 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,553191 |
| 23 | 8,122 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,547528 |
| 24 | 7,887 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,531686 |
| 25 | 7,921 | 1,225 | 20 | 0,060547 | 0,533978 |



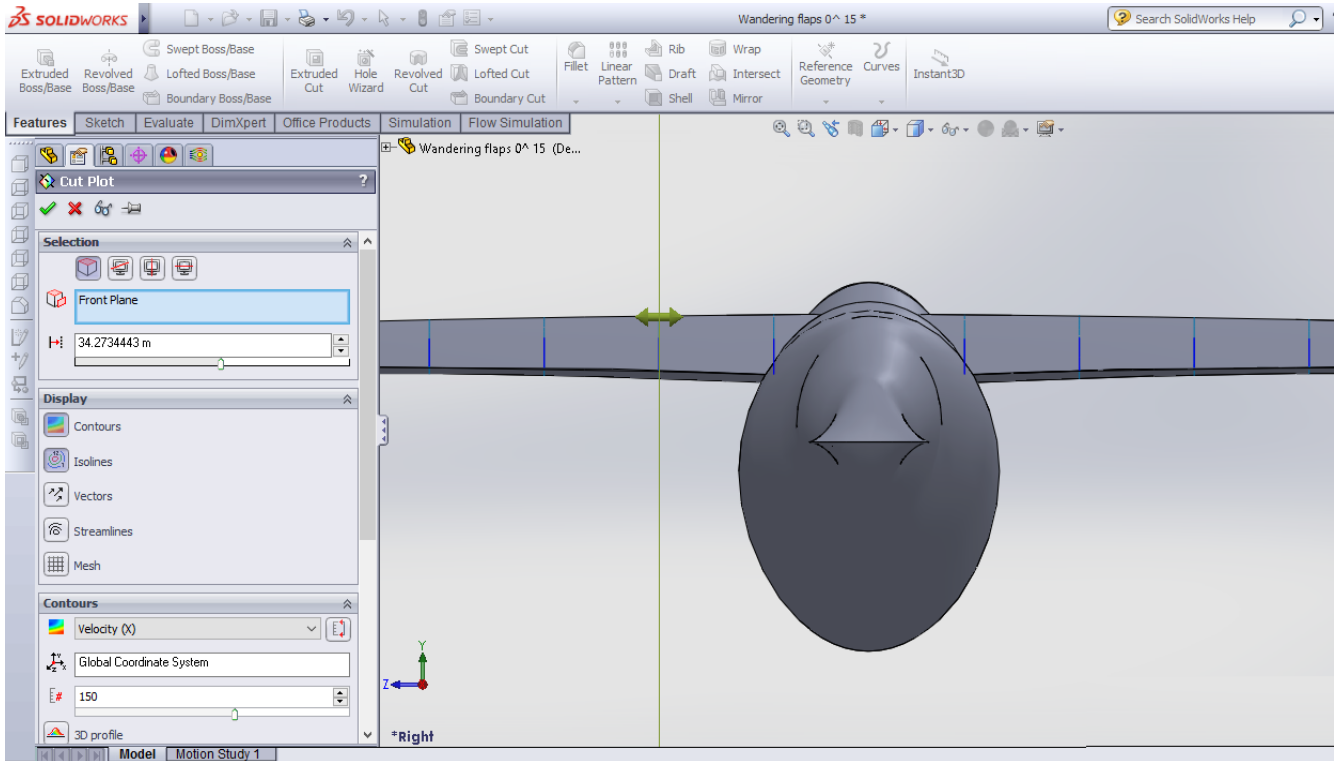
19 pav. Kreiserinių skrydžio greičių diagrama [19]



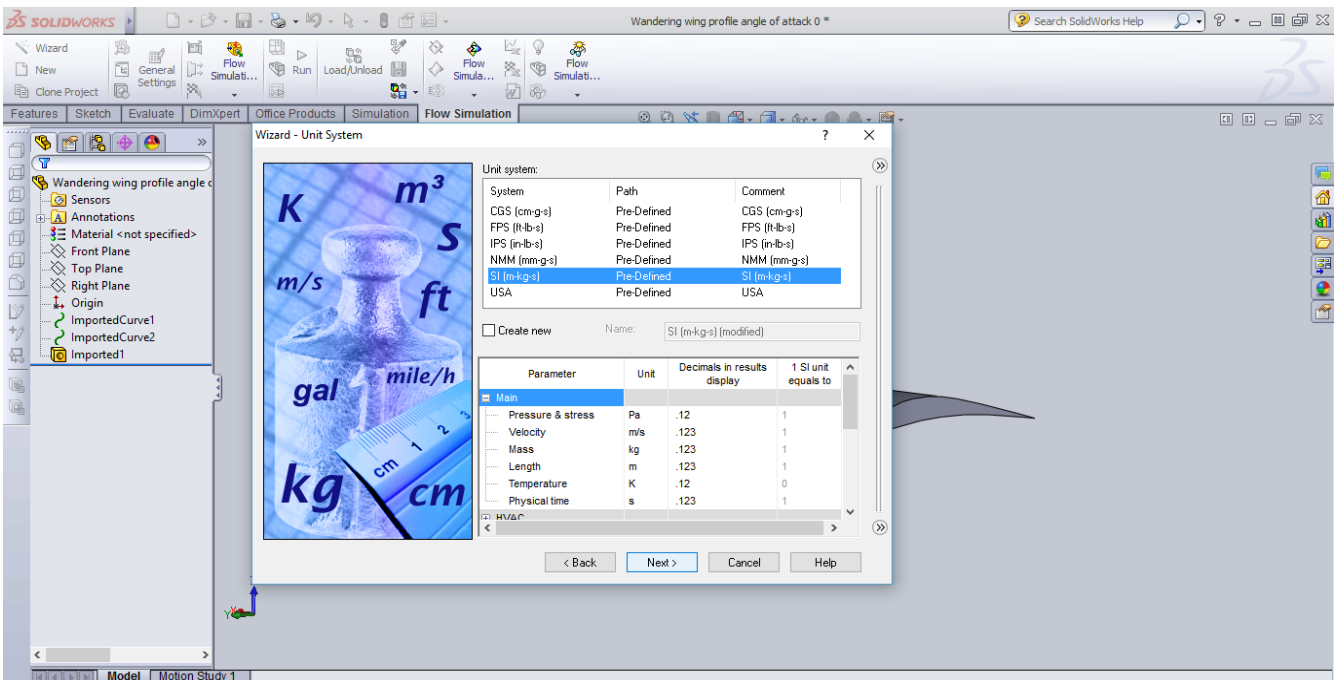
21 pav. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų tyrimo skaičiuotinė erdvė



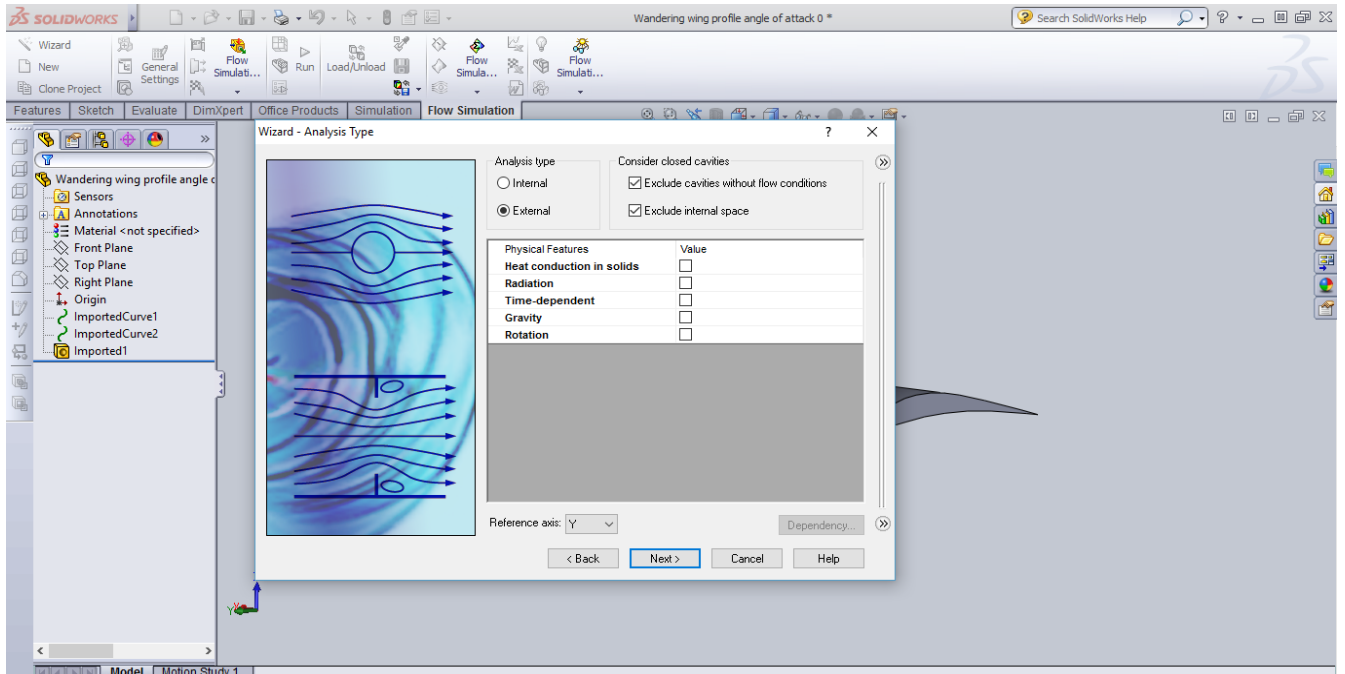
31 pav. Albatrosų sklandmens aerodinaminių charakteristikų tyrimo skaičiuotinė erdvė



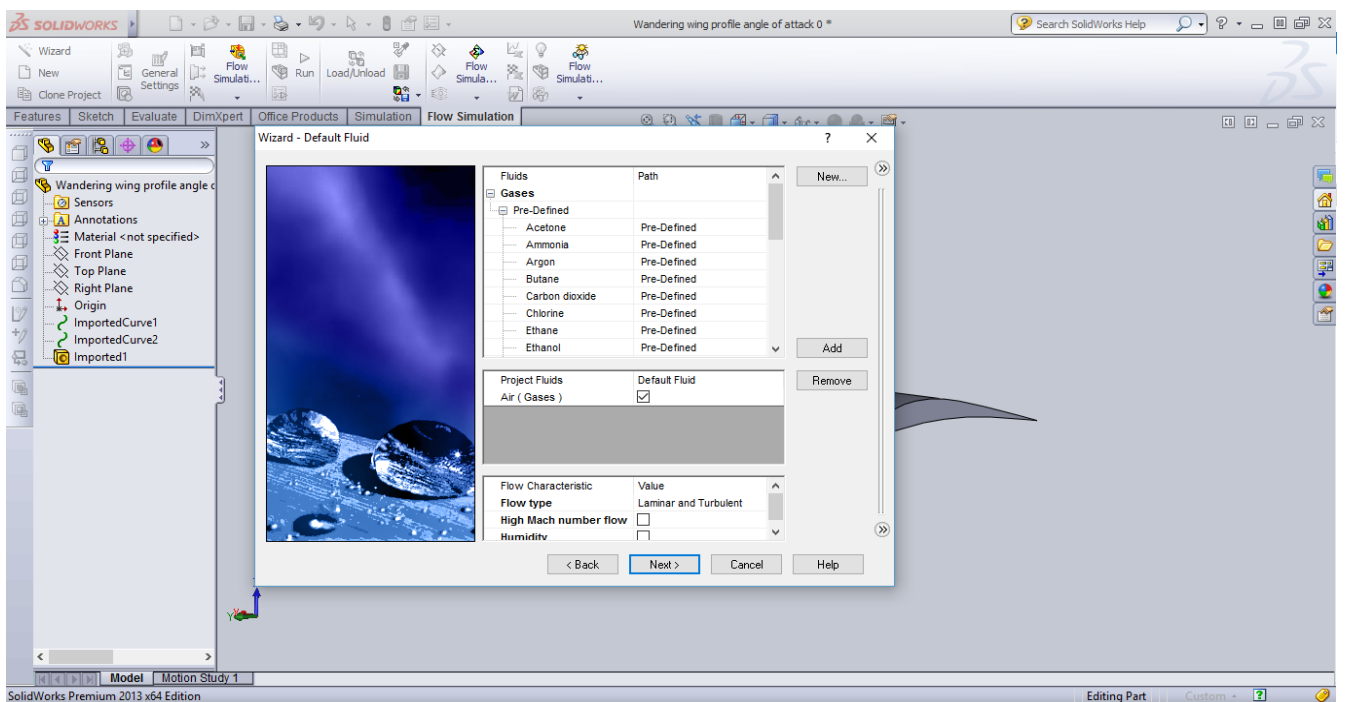
35 pav. Albatroso sparno pjūvio vieta (antrosios sparno nerviūros vietoje)



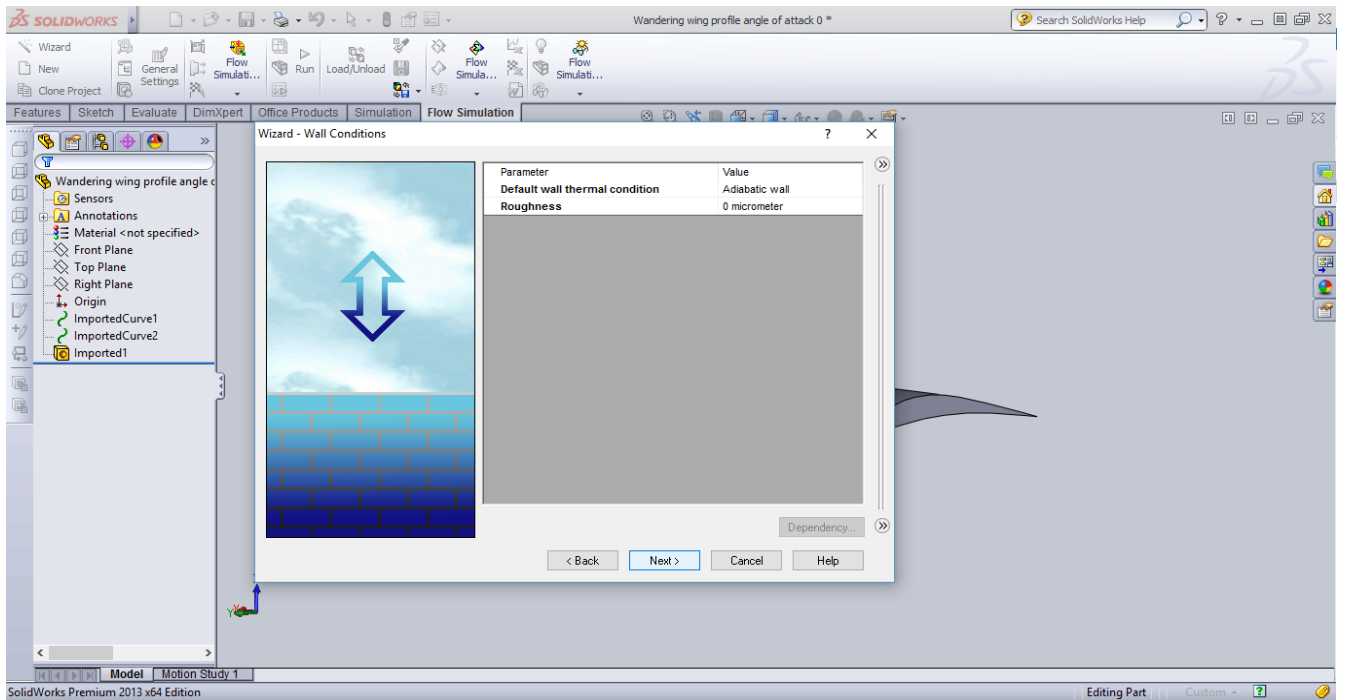
61 pav. Sparno profilio aerodinaminių tyrimų duomenų įvestis programoje SolidWorks



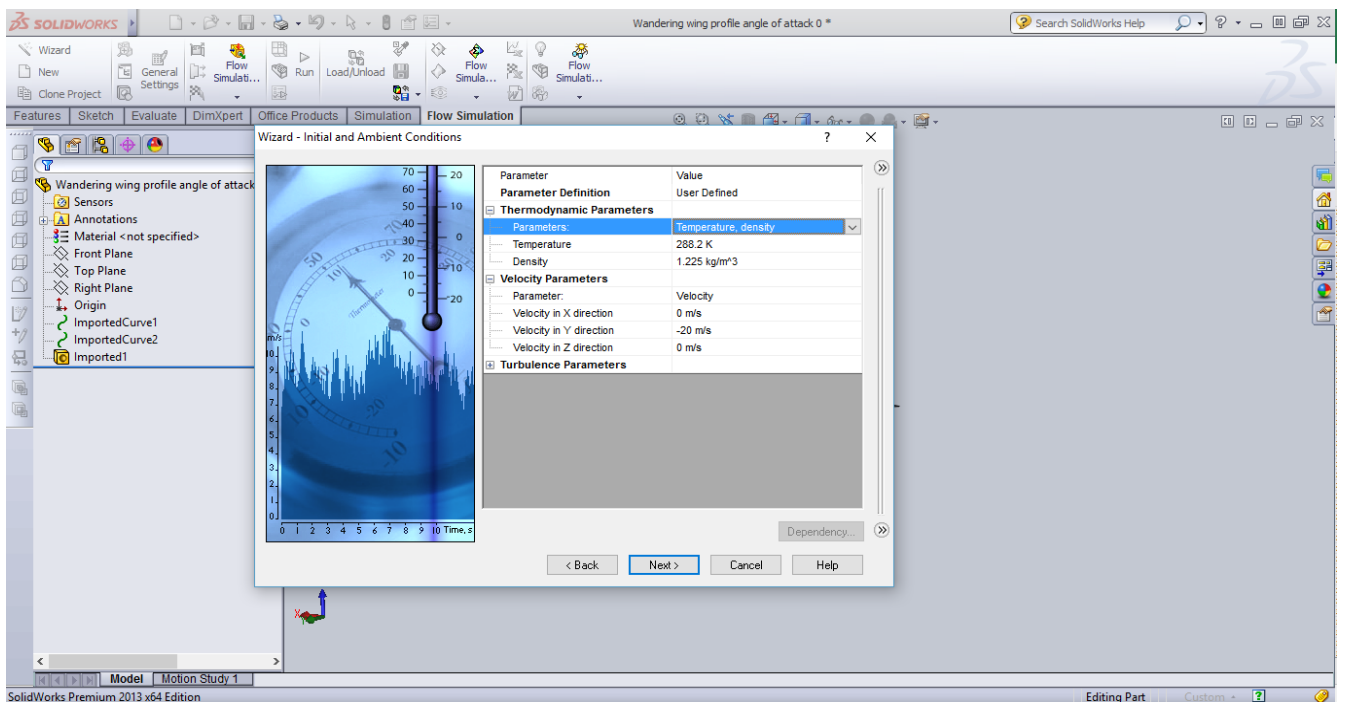
62 pav. Sparno profilio aerodinaminių tyrimų duomenų įvestis programoje SolidWorks



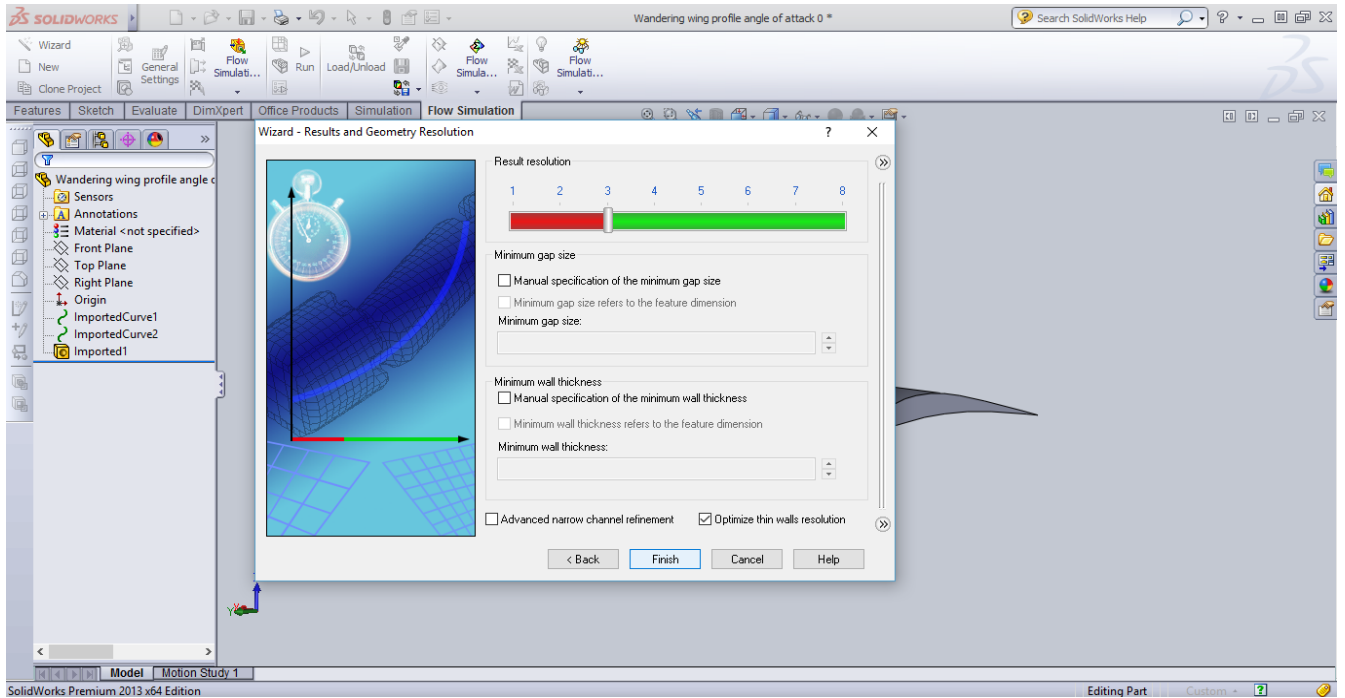
63 pav. Sparno profilio aerodinaminių tyrimų duomenų įvestis programoje SolidWorks



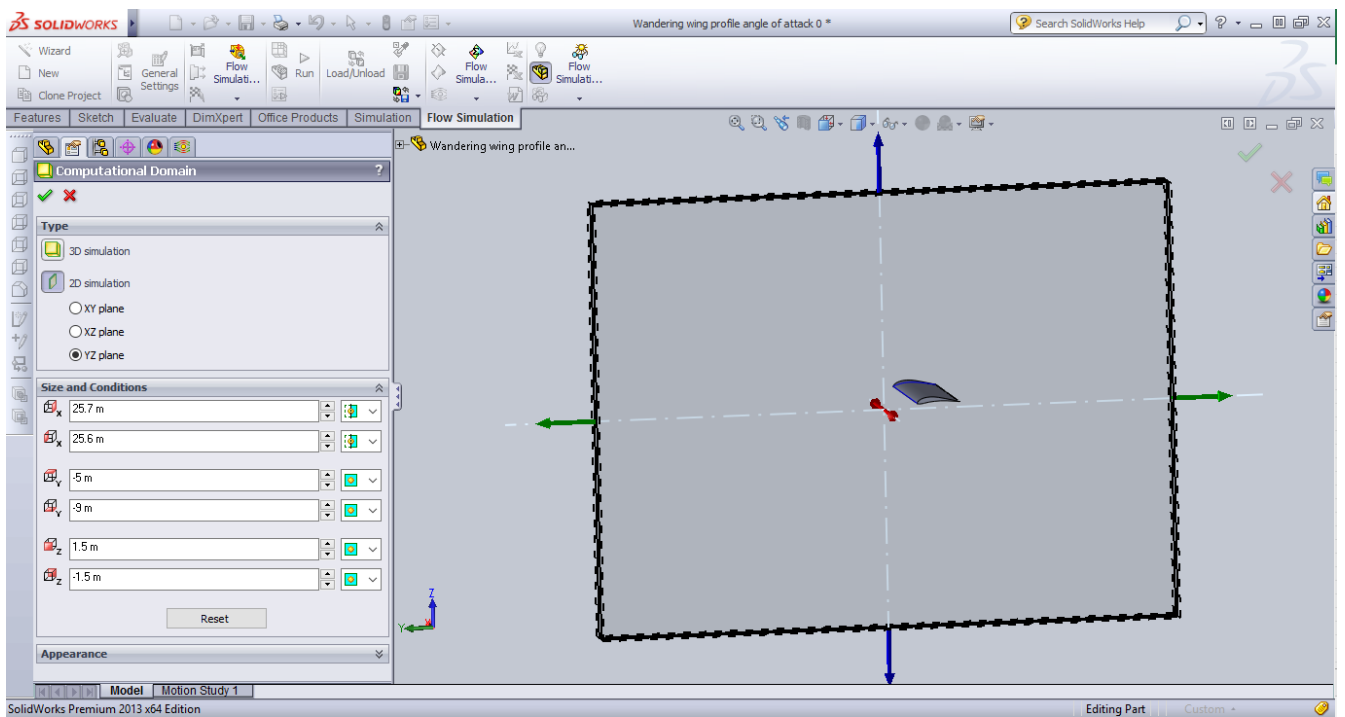
64 pav. Sparno profilio aerodinaminių tyrimų duomenų įvestis programoje SolidWorks



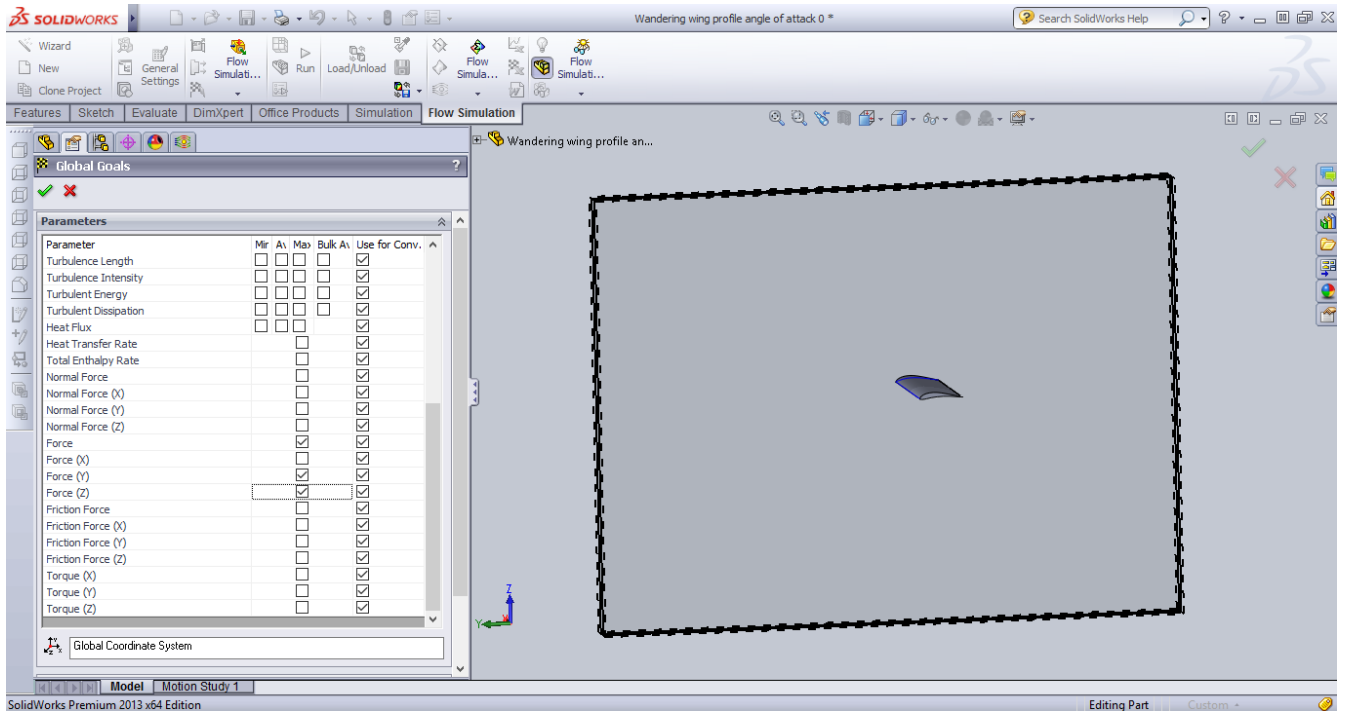
65 pav. Sparno profilio aerodinaminių tyrimų duomenų įvestis programoje SolidWorks



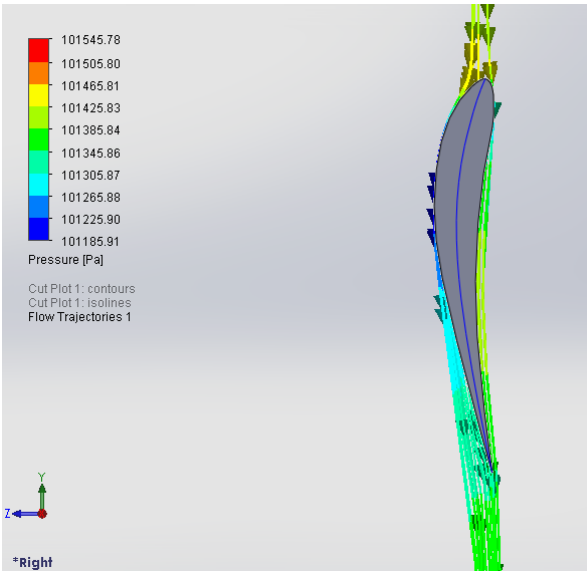
66 pav. Sparno profilio aerodinaminių tyrimų duomenų įvestis programoje SolidWorks



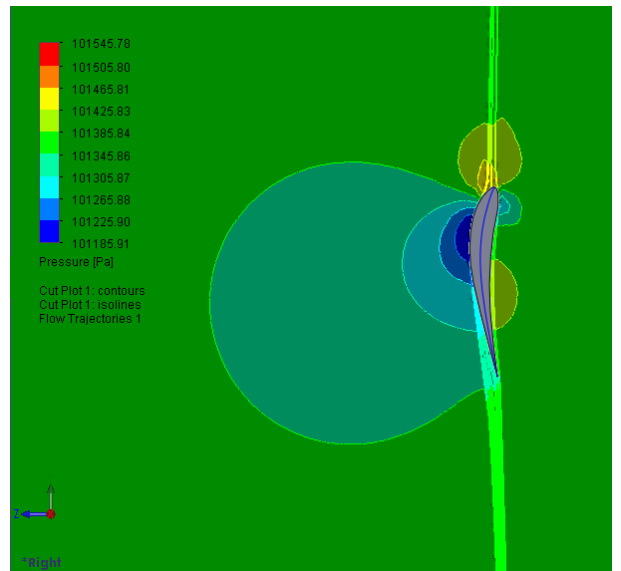
67 pav. Sparno profilio aerodinaminių tyrimų duomenų įvestis programoje SolidWorks



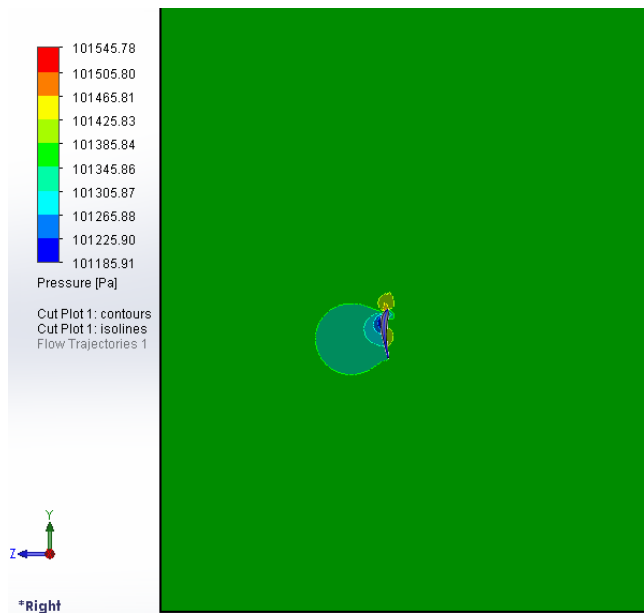
68 pav. Sparno profilio aerodinaminių tyrimų duomenų įvestis programoje SolidWorks



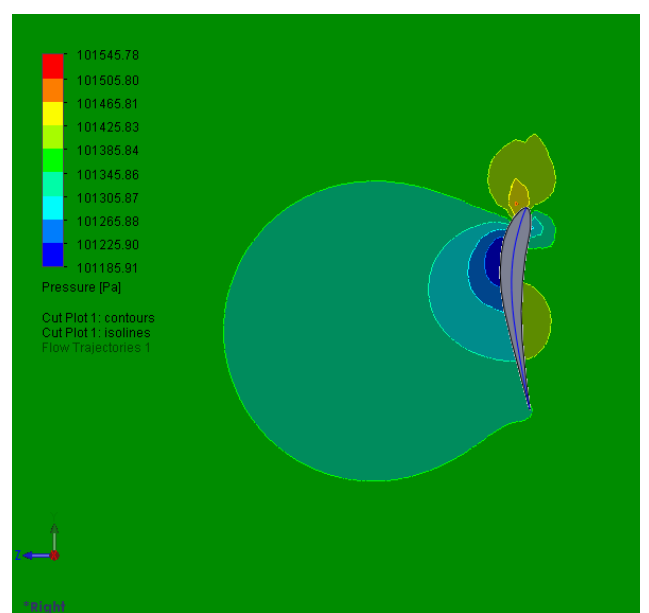
(a) Sparno profilį aptekančio oro srauto linijos YZ plokštumoje. $AoA=1^\circ$. $Re=403274$



(b) Slėgių pasiskirstymo spektras su oro srauto linijomis. $AoA=1^\circ$. $Re=403274$

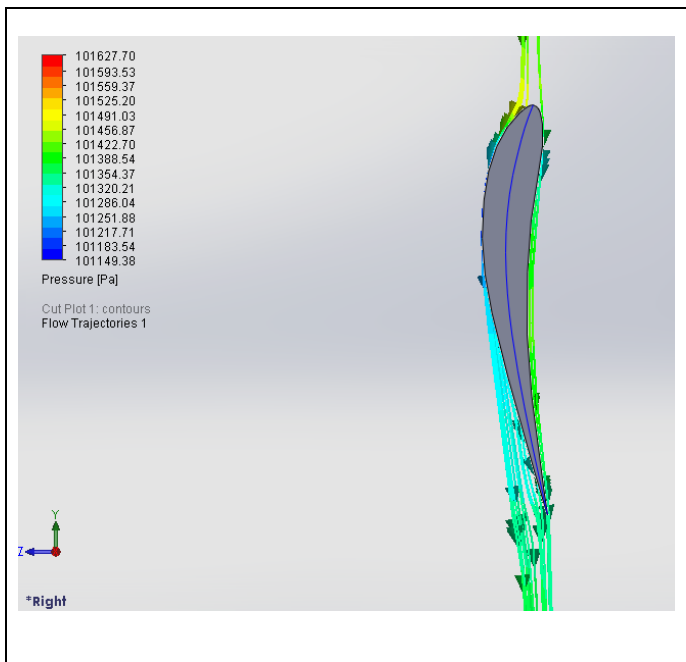


(c) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=1^\circ$. $Re=403274$

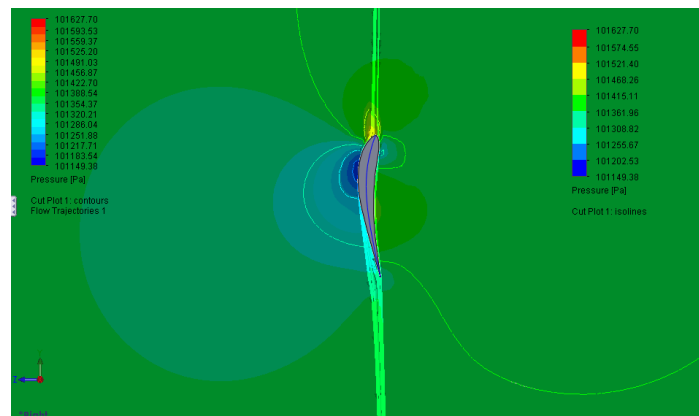


(d) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=1^\circ$. $Re=403274$

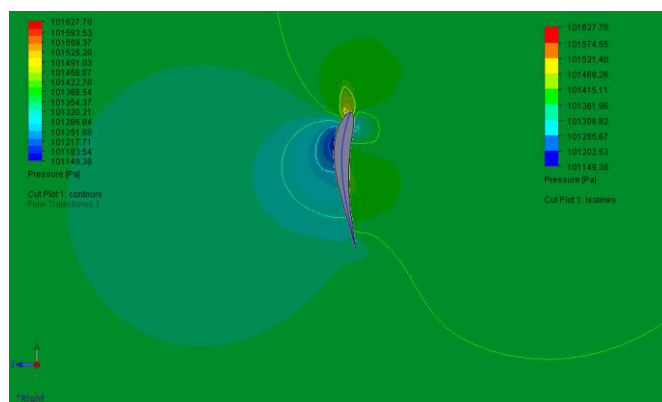
69 pav. Albatroso sparno profilį aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=1^\circ$. $Re=403274$



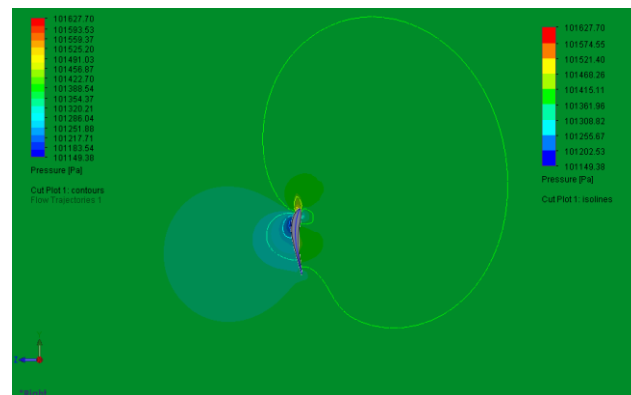
(a) Sparno profilį aptekancio oro srauto linijos YZ plokštumoje. $AoA=2^\circ$. $Re=403274$



(b) Slėgių pasiskirstymo spektras su oro srauto linijomis. $AoA=2^\circ$. $Re=403274$

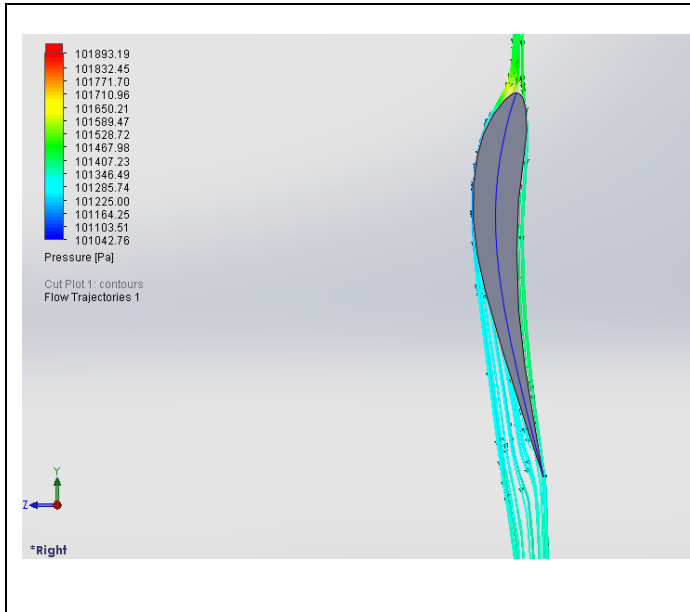


(c) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=2^\circ$. $Re=403274$

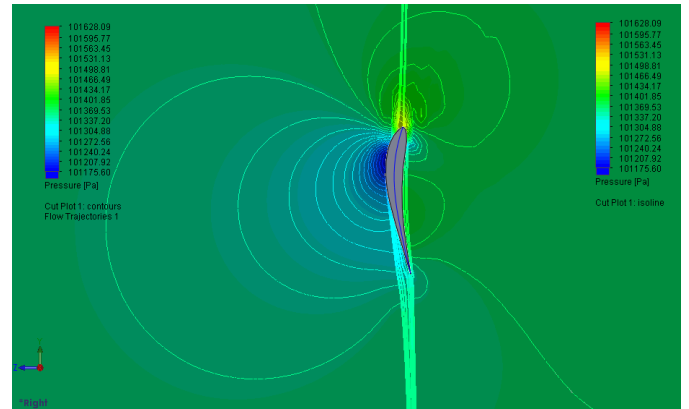


(d) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=2^\circ$. $Re=403274$

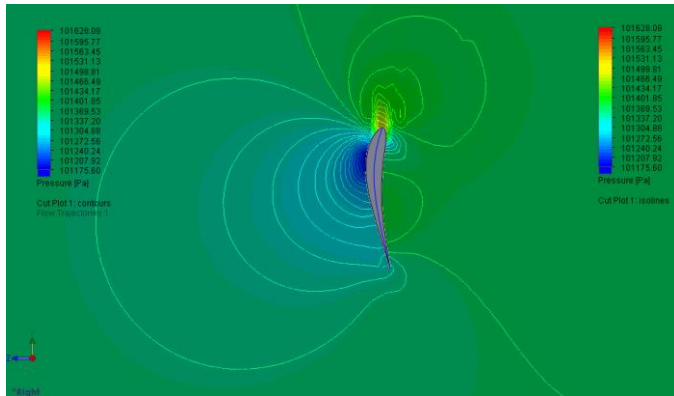
70 pav. Albatroso sparno profilį aptekancio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=2^\circ$. $Re=403274$



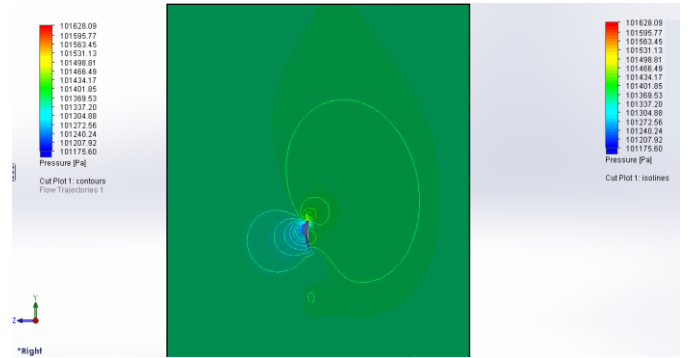
(a) Sparno profilį aptekančio oro srauto linijos YZ plokštumoje. $AoA=3^\circ$. $Re=403274$



(b) Slėgių pasiskirstymo spektras su oro srauto linijomis. $AoA=3^\circ$. $Re=403274$

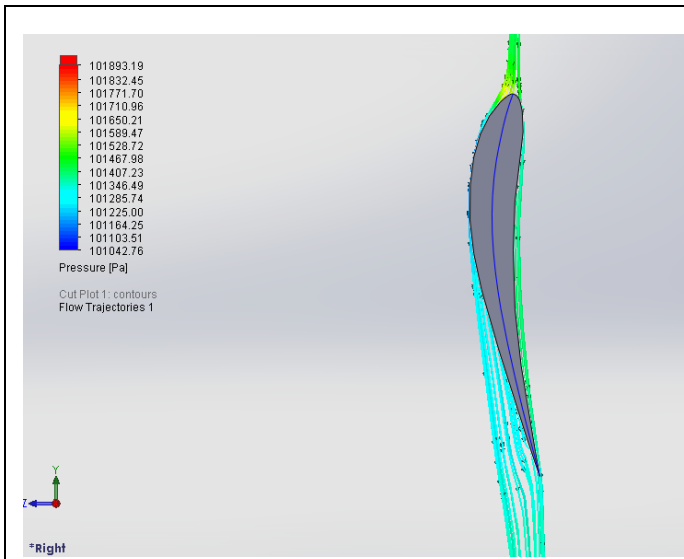


(c) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=3^\circ$. $Re=403274$

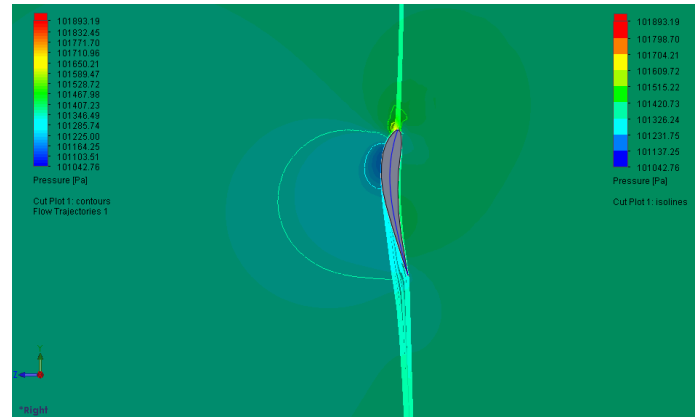


(d) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=3^\circ$. $Re=403274$

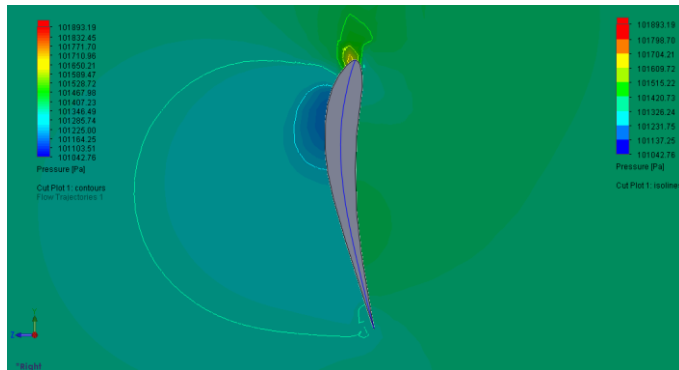
71 pav. Albatroso sparno profilį aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=3^\circ$. $Re=403274$



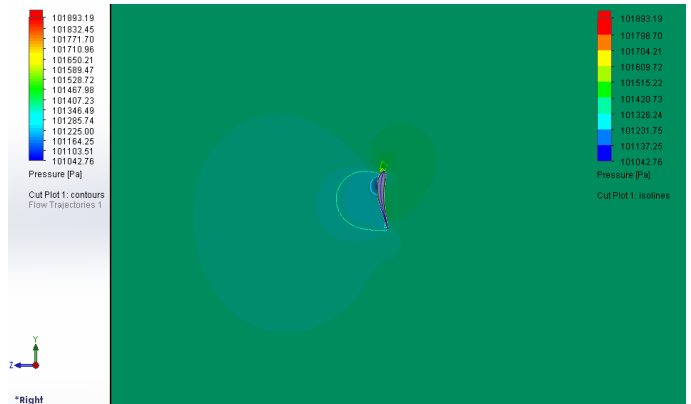
(a) Sparno profilį aptekančio oro srauto linijos
YZ plokštumoje. $AoA=4^\circ$. $Re=403274$



(b) Slėgių pasiskirstymo spektras su oro srauto
linijomis. $AoA=4^\circ$. $Re=403274$

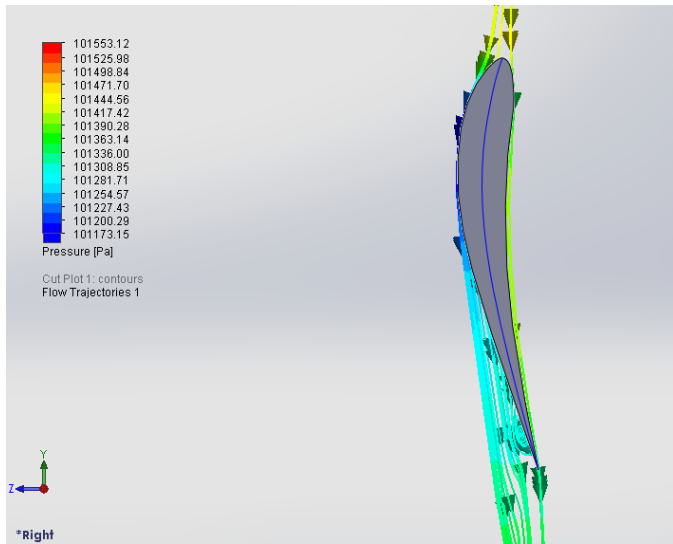


(c) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=4^\circ$.
 $Re=403274$

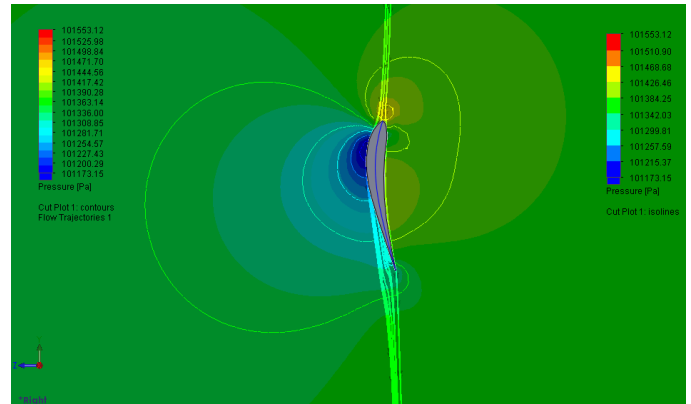


(d) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=4^\circ$.
 $Re=403274$

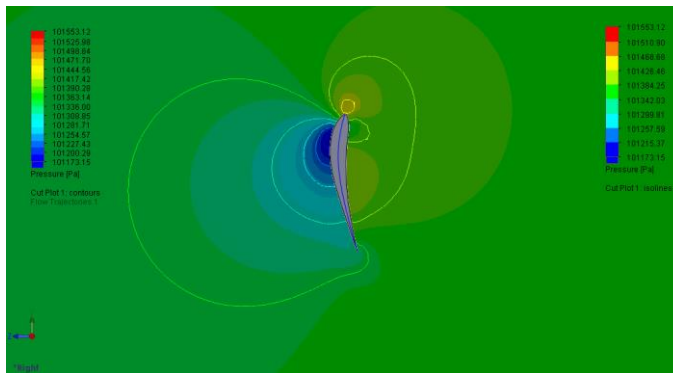
72 pav. Albatroso sparno profilį aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=2^\circ$.
 $Re=403274$



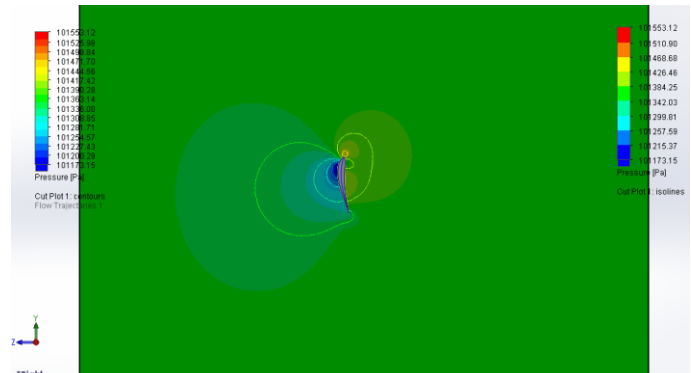
(a) Sparno profilį aptekancio oro srauto linijos
YZ plokštumoje. $AoA=5^\circ$. $R_e=403274$



(b) Slėgių pasiskirstymo spektras su oro srauto
linijomis. $AoA=5^\circ$. $R_e=403274$

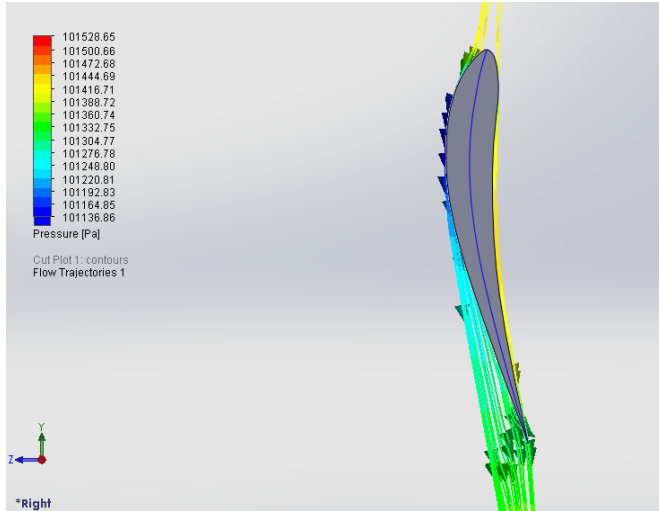


(c) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=5^\circ$.
 $R_e=403274$

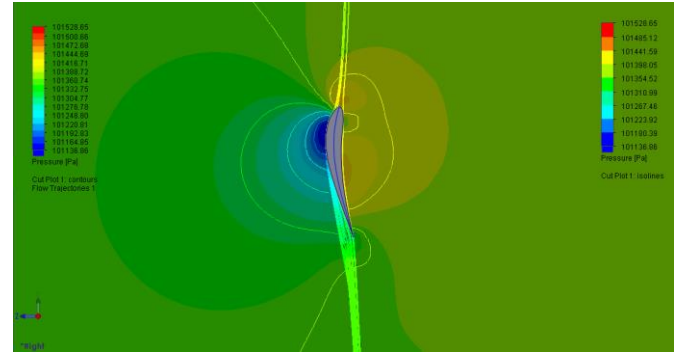


(d) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=5^\circ$.
 $R_e=403274$

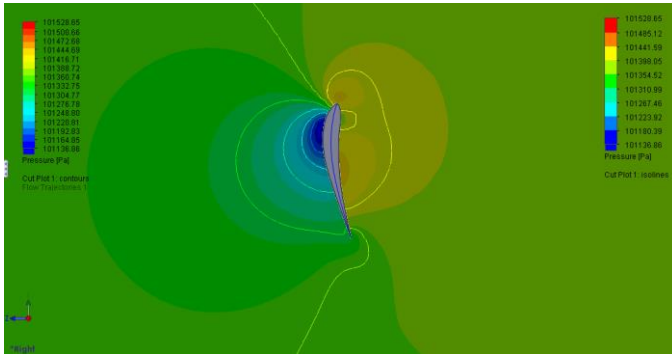
73 pav. Albatroso sparno profilį aptekancio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=5^\circ$.
 $R_e=403274$



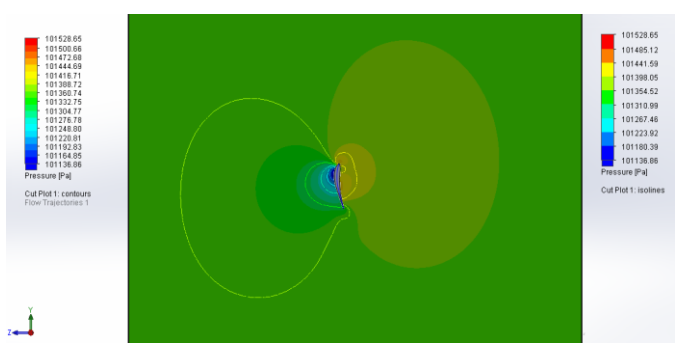
(a) Sparno profilį aptekančio oro srauto linijos YZ plokštumoje. $AoA=6^\circ$. $Re=403274$



(b) Slėgių pasiskirstymo spektras su oro srauto linijomis. $AoA=6^\circ$. $Re=403274$

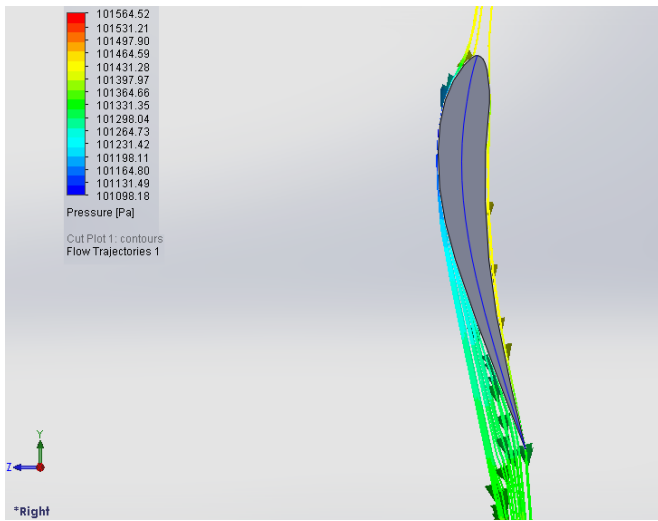


(c) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=6^\circ$. $Re=403274$

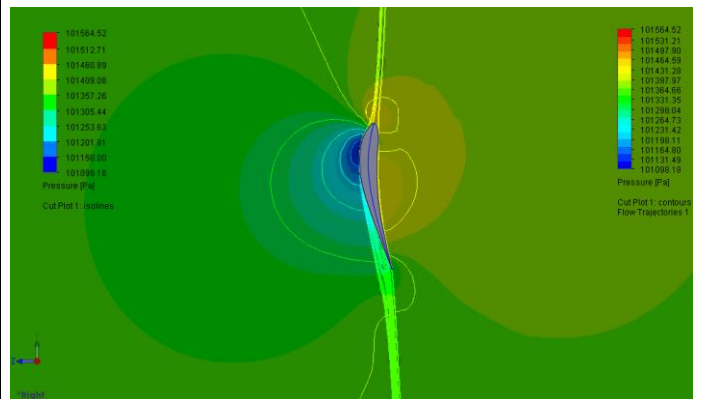


(d) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=6^\circ$. $Re=403274$

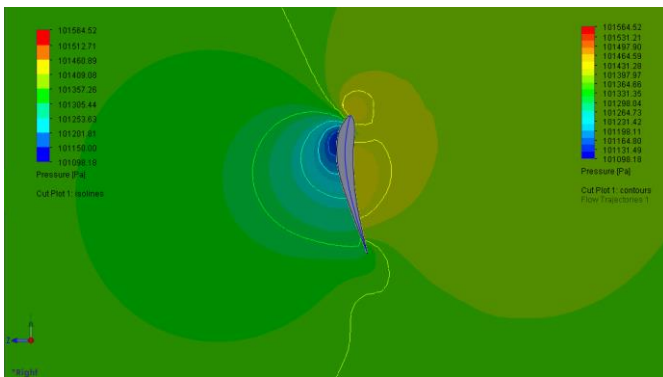
74 pav. Albatroso sparno profilį aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=6^\circ$. $Re=403274$



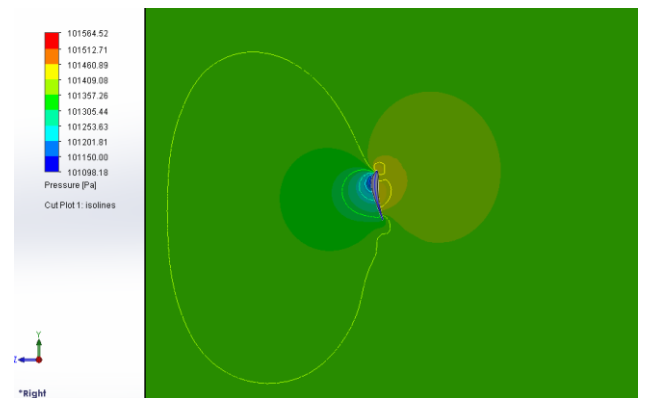
(a) Sparno profilį aptekančio oro srauto linijos YZ plokštumoje. $AoA=7^\circ$. $Re=403274$



(b) Slėgių pasiskirstymo spektras su oro srauto linijomis. $AoA=7^\circ$. $Re=403274$

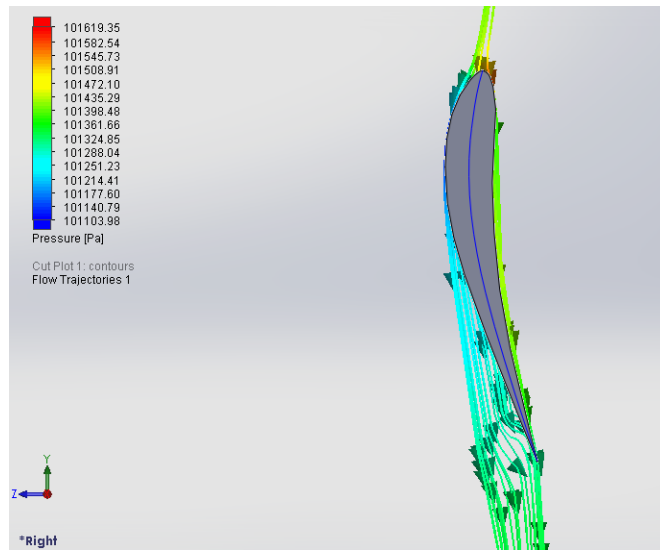


(c) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=7^\circ$. $Re=403274$

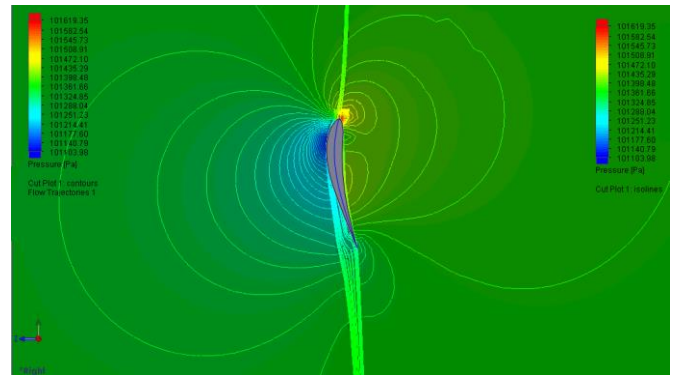


(d) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=7^\circ$. $Re=403274$

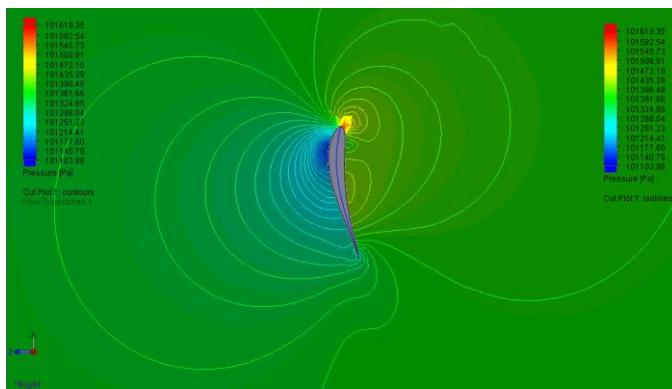
75 pav. Albatroso sparno profilį aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=7^\circ$. $Re=403274$



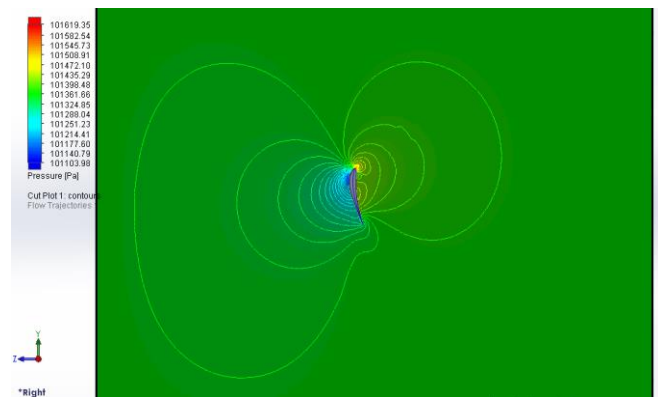
(a) Sparno profilį aptekančio oro srauto linijos YZ plokštumoje. $AoA=8^\circ$. $Re=403274$



(b) Slėgių pasiskirstymo spektras su oro srauto linijomis. $AoA=8^\circ$. $Re=403274$

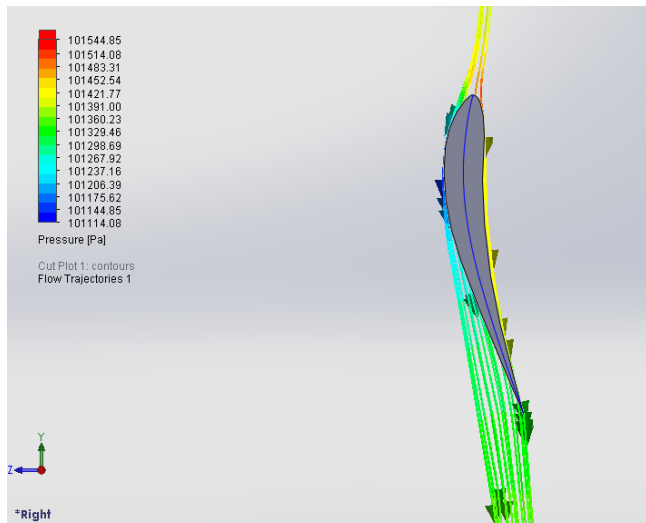


(c) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=8^\circ$. $Re=403274$

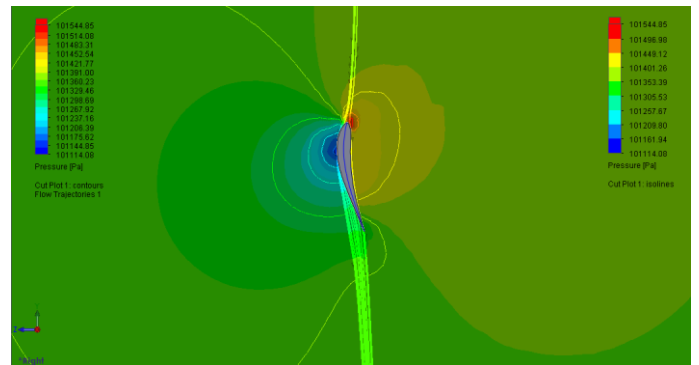


(d) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=8^\circ$. $Re=403274$

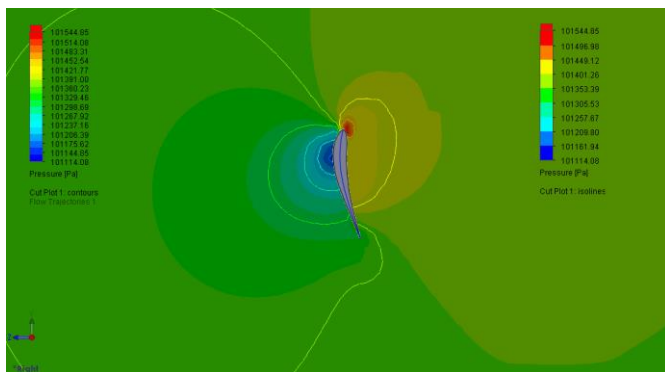
76 pav. Albatroso sparno profilį aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=8^\circ$. $Re=403274$



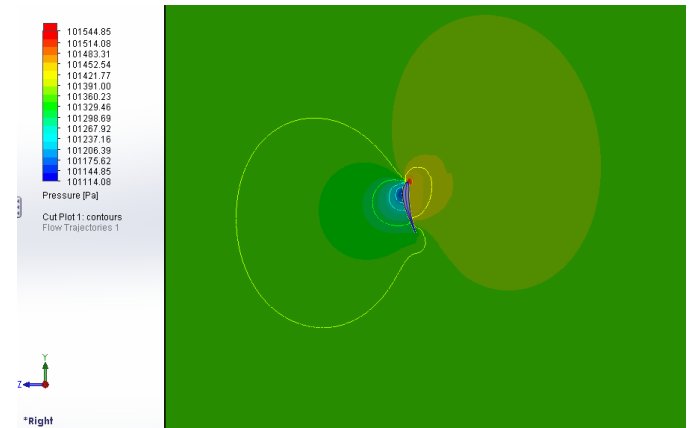
(a) Sparno profilį aptekančio oro srauto linijos YZ plokštumoje. $AoA=9^\circ$. $Re=403274$



(b) Slėgių pasiskirstymo spektras su oro srauto linijomis. $AoA=9^\circ$. $Re=403274$

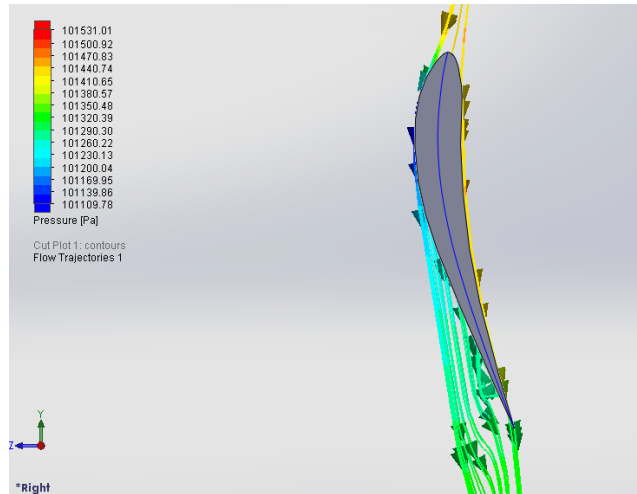


(c) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=9^\circ$. $Re=403274$

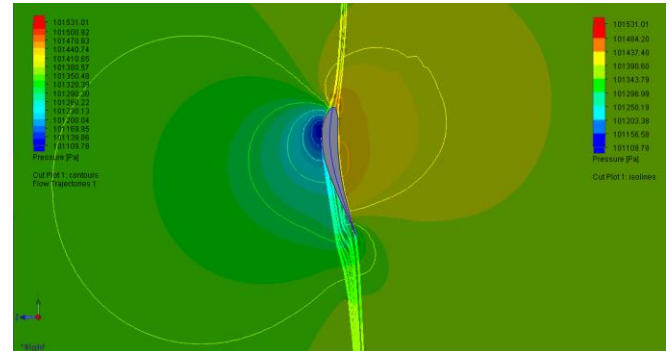


(d) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=9^\circ$. $Re=403274$

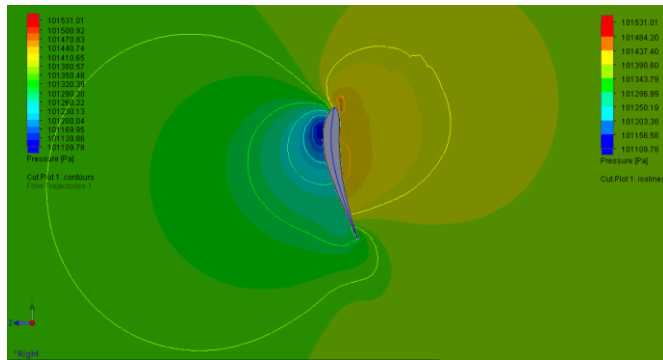
77 pav. Albatroso sparno profilį aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=9^\circ$. $Re=403274$



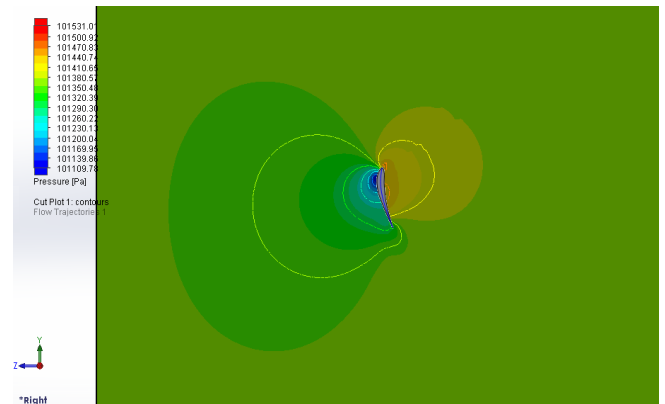
(a) Sparno profilį aptekancio oro srauto linijos YZ plokštumoje. $AoA=10^\circ$. $Re=403274$



(b) Slėgių pasiskirstymo spektras su oro srauto linijomis. $AoA=10^\circ$. $Re=403274$

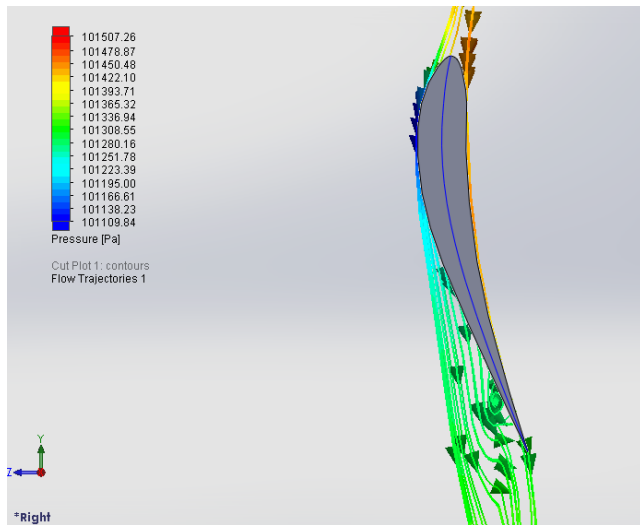


(c) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=10^\circ$.
 $Re=403274$

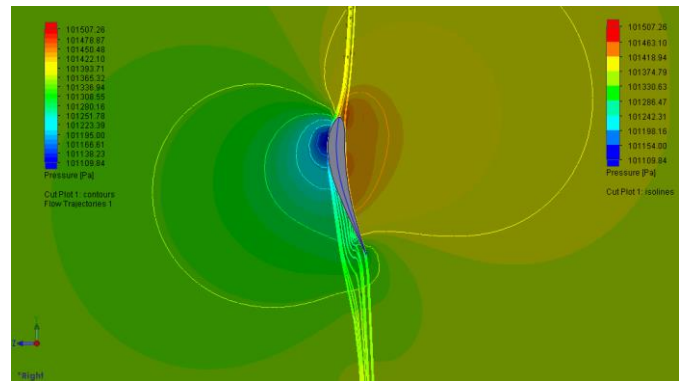


(d) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=10^\circ$.
 $Re=403274$

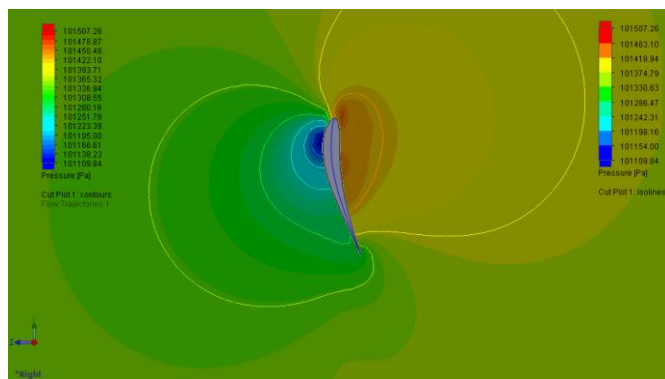
78 pav. Albatroso sparno profilį aptekancio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=10^\circ$.
 $Re=403274$



(a) Sparno profilį aptekančio oro srauto linijos YZ plokštumoje. $AoA=11^\circ$. $R_e=403274$



(b) Slėgių pasiskirstymo spektras su oro srauto linijomis. $AoA=11^\circ$. $R_e=403274$

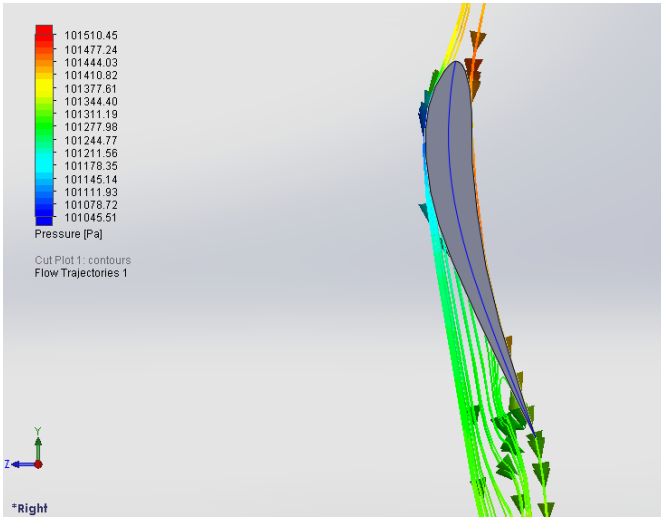


(c) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=11^\circ$.
 $R_e=403274$

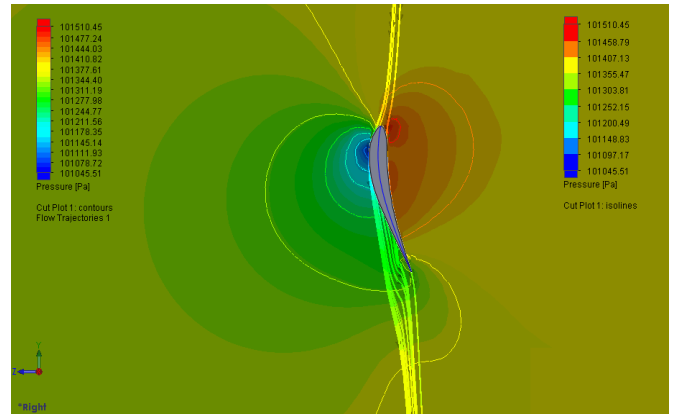


(d) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=11^\circ$.
 $R_e=403274$

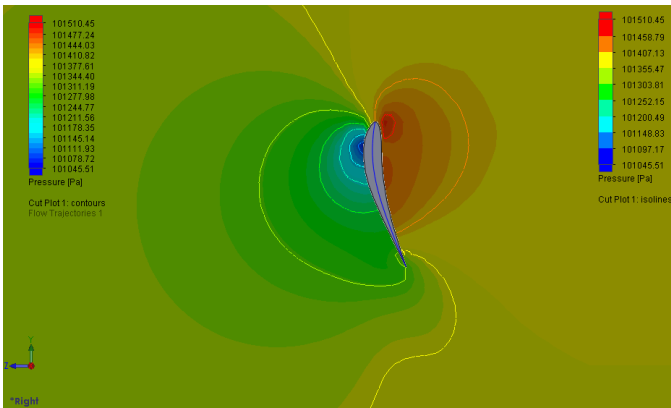
79 pav. Albatroso sparno profilį aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=11^\circ$.
 $R_e=403274$



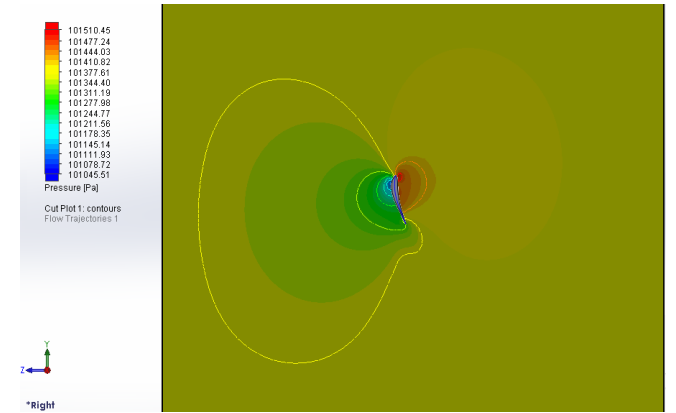
(a) Sparno profilį aptekančio oro srauto linijos YZ plokštumoje. $AoA=12^\circ$. $Re=403274$



(b) Slėgių pasiskirstymo spektras su oro srauto linijomis. $AoA=12^\circ$. $Re=403274$

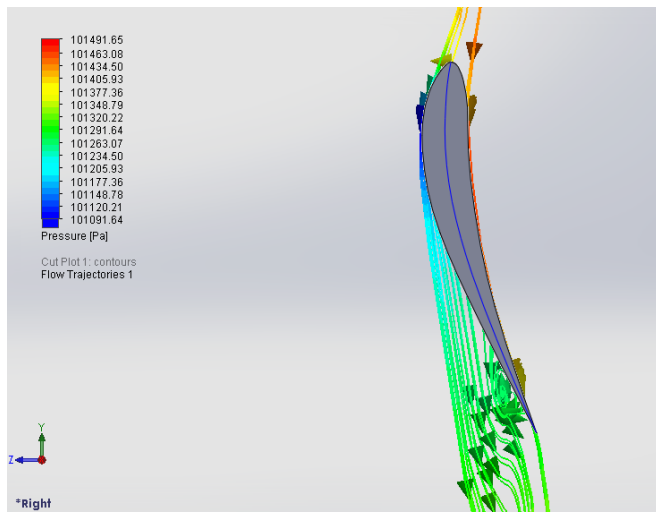


(c) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=12^\circ$. $Re=403274$

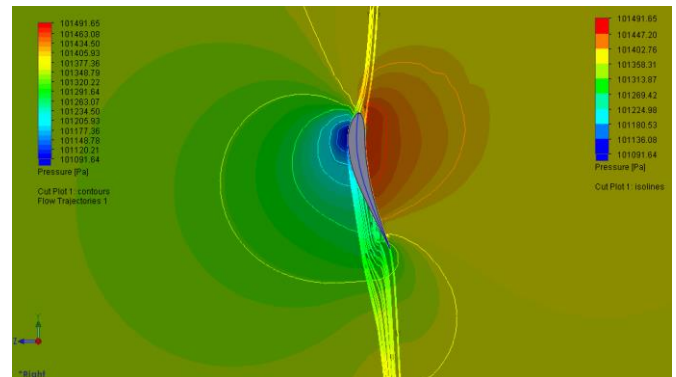


(d) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=12^\circ$. $Re=403274$

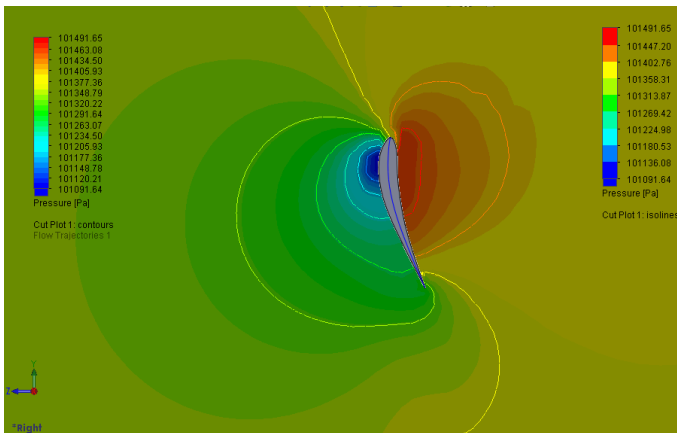
80 pav. Albatroso sparno profilį aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=12^\circ$. $Re=403274$



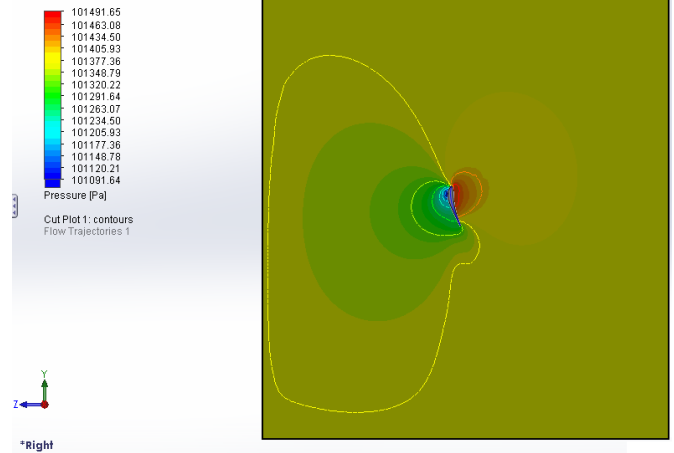
(a) Sparno profilį aptekančio oro srauto linijos
YZ plokštumoje. $AoA=13^\circ$. $Re=403274$



(b) Slėgių pasiskirstymo spektras su oro srauto
linijomis. $AoA=13^\circ$. $Re=403274$



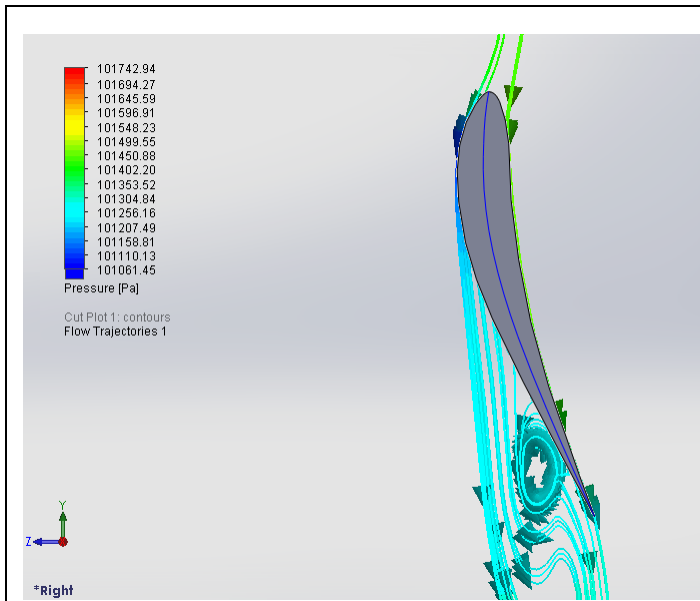
(c) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=13^\circ$.
 $Re=403274$



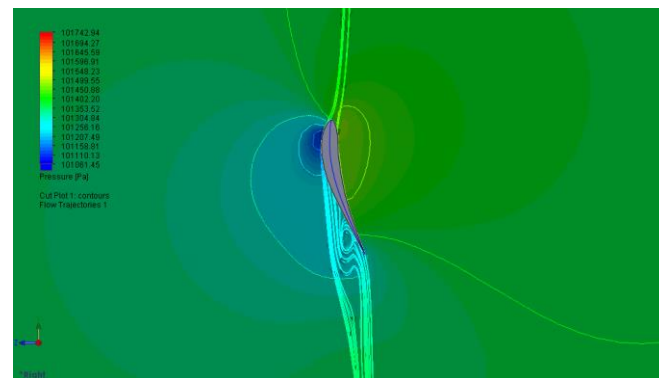
(d) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=13^\circ$.
 $Re=403274$

81 pav. Albatroso sparno profilį aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=13^\circ$.

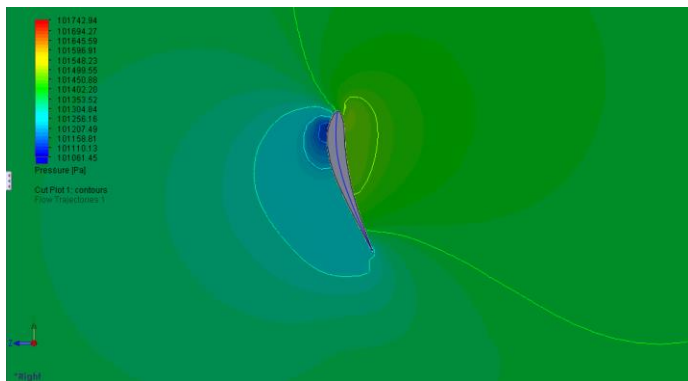
$Re=403274$



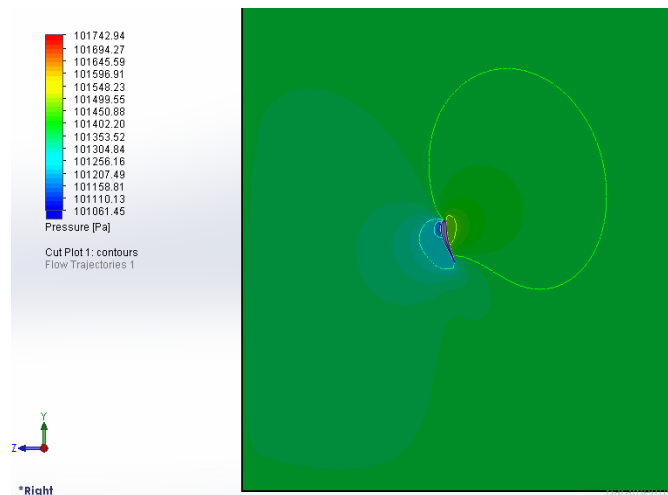
(a) Sparno profilį aptekančio oro srauto linijos
YZ plokštumoje. $AoA=14^\circ$. $Re=403274$



(b) Slėgių pasiskirstymo spektras su oro srauto
linijomis. $AoA=14^\circ$. $Re=403274$

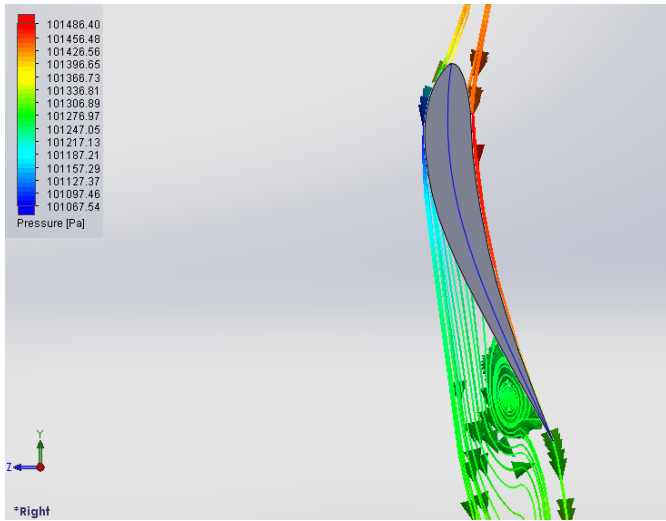


(c) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=14^\circ$.
 $Re=403274$

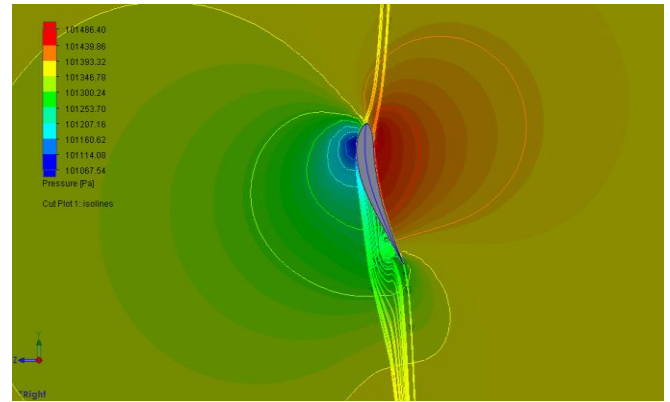


(d) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=14^\circ$.
 $Re=403274$

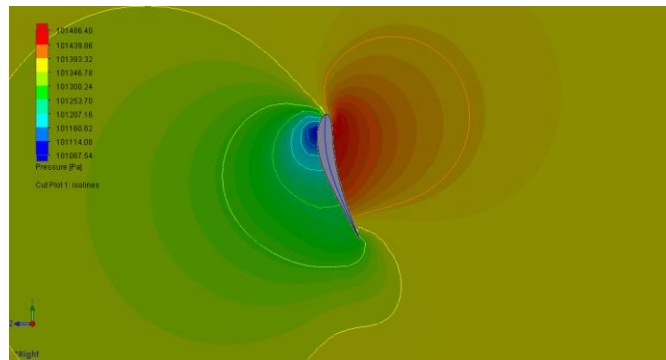
82 pav. Albatroso sparno profilį aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=14^\circ$.
 $Re=403274$



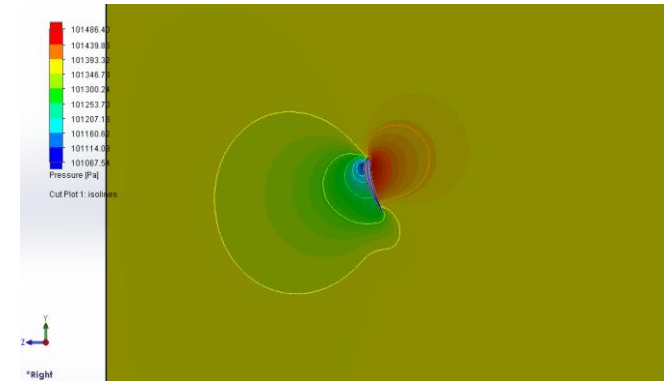
(a) Sparno profilį aptekančio oro srauto linijos YZ plokštumoje. $AoA=15^\circ$. $Re=403274$



(b) Slėgių pasiskirstymo spektras su oro srauto linijomis. $AoA=15^\circ$. $Re=403274$

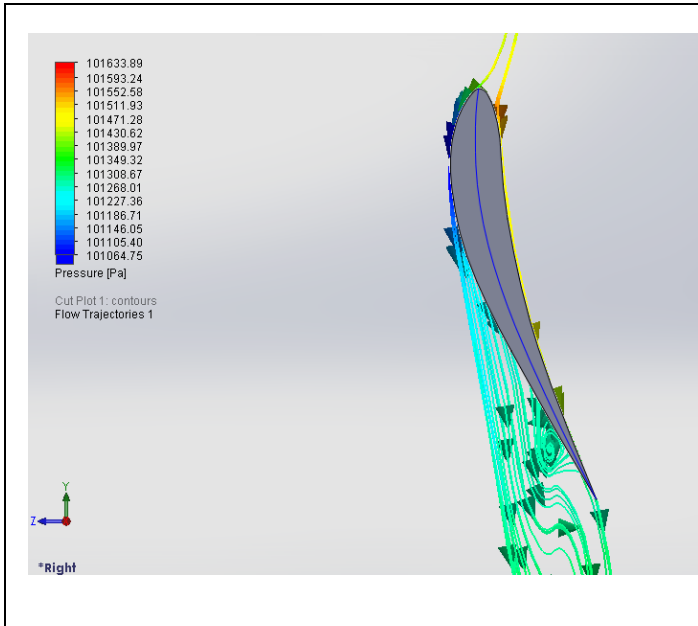


(c) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=15^\circ$.
 $Re=403274$

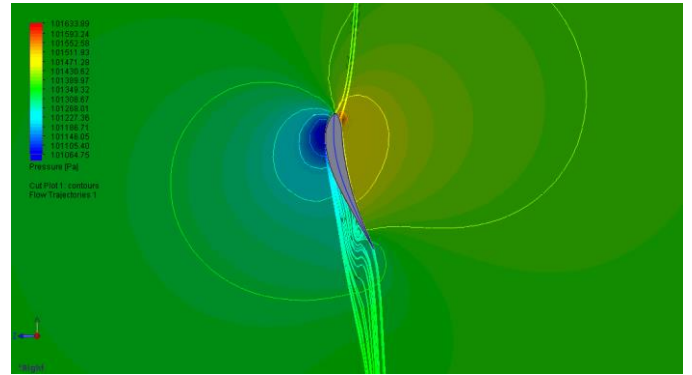


(d) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=15^\circ$.
 $Re=403274$

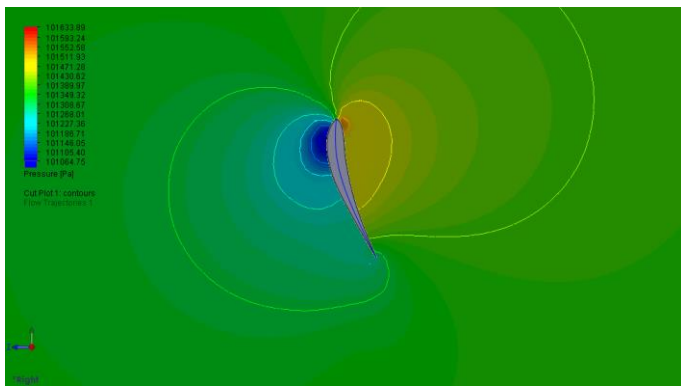
83 pav. Albatroso sparno profilį aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=15^\circ$.
 $Re=403274$



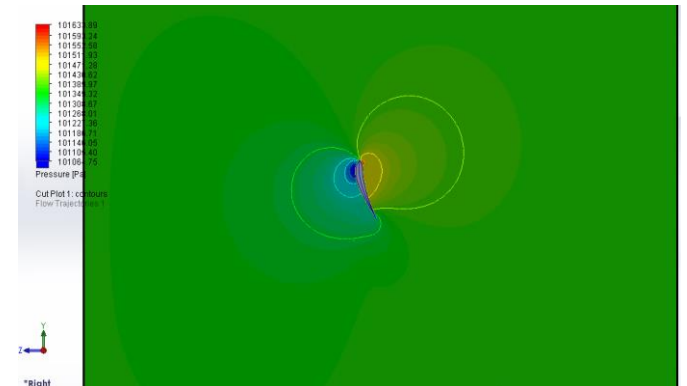
(a) Sparno profilį aptekancio oro srauto linijos YZ plokštumoje. $AoA=16^\circ$. $Re=403274$



(b) Slėgių pasiskirstymo spektras su oro srauto linijomis. $AoA=16^\circ$. $Re=403274$

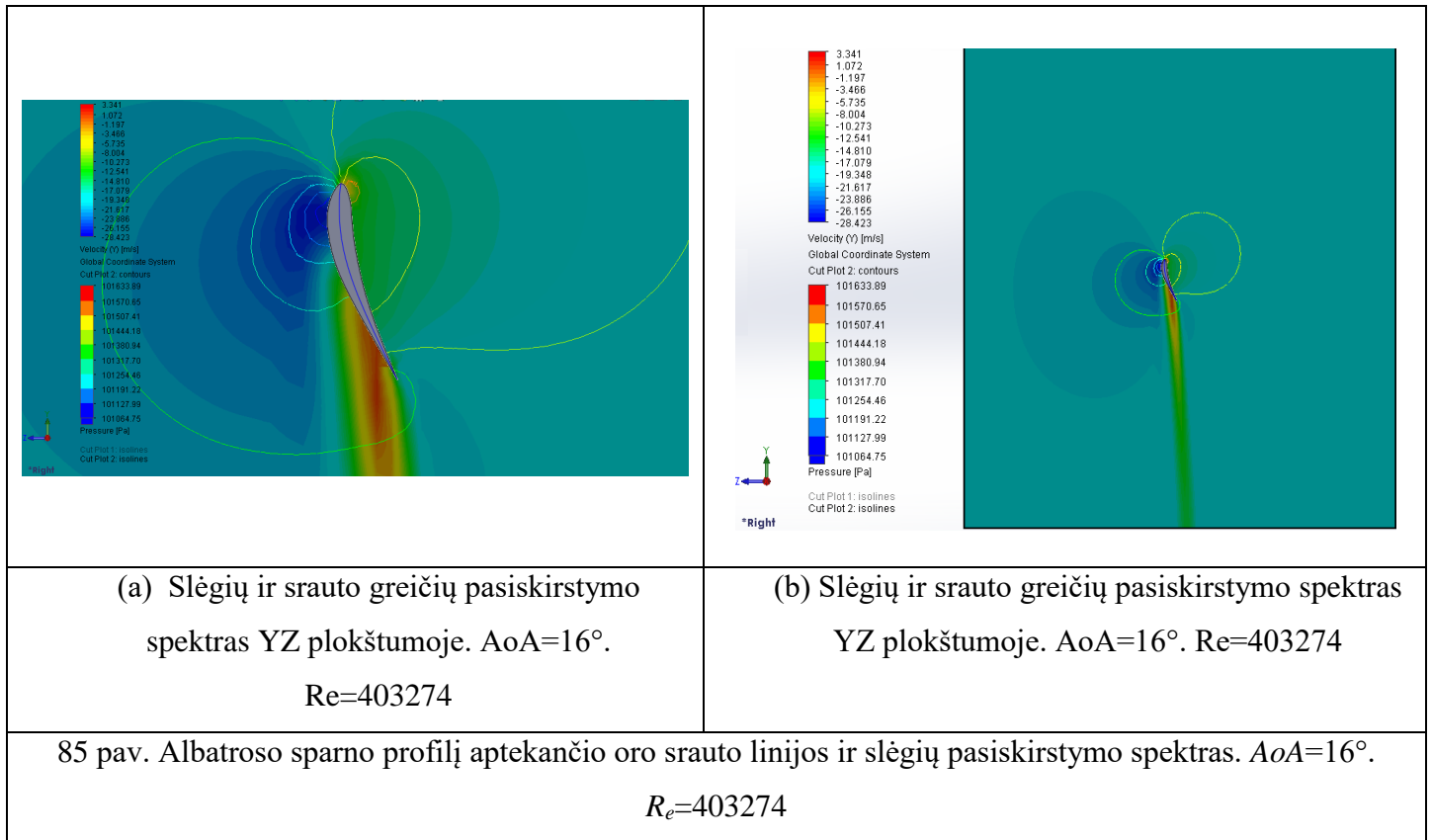


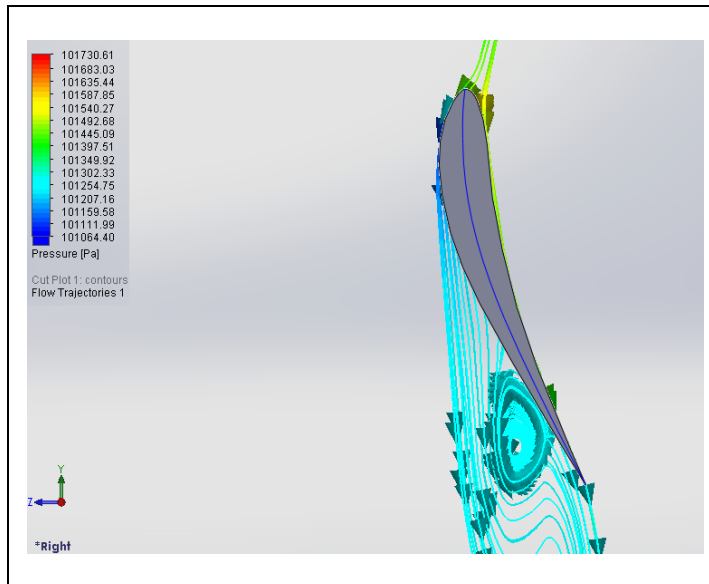
(c) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=16^\circ$.
 $Re=403274$



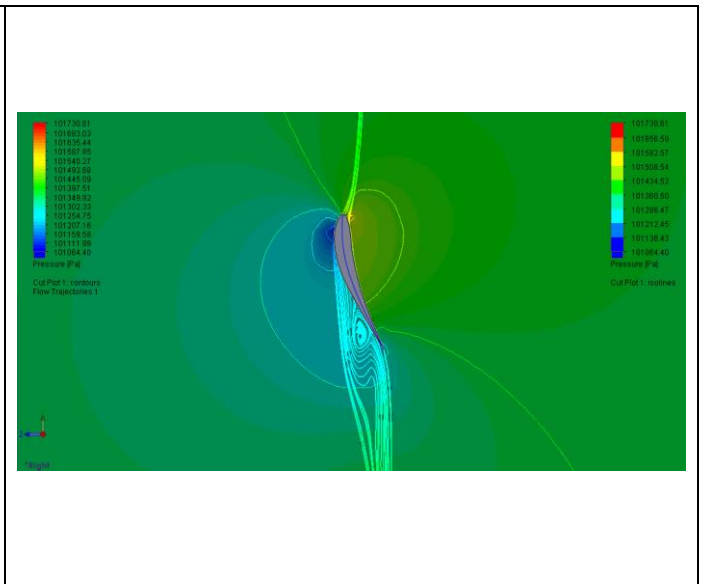
(d) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=16^\circ$.
 $Re=403274$

84 pav. Albatroso sparno profilį aptekancio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=16^\circ$.
 $Re=403274$

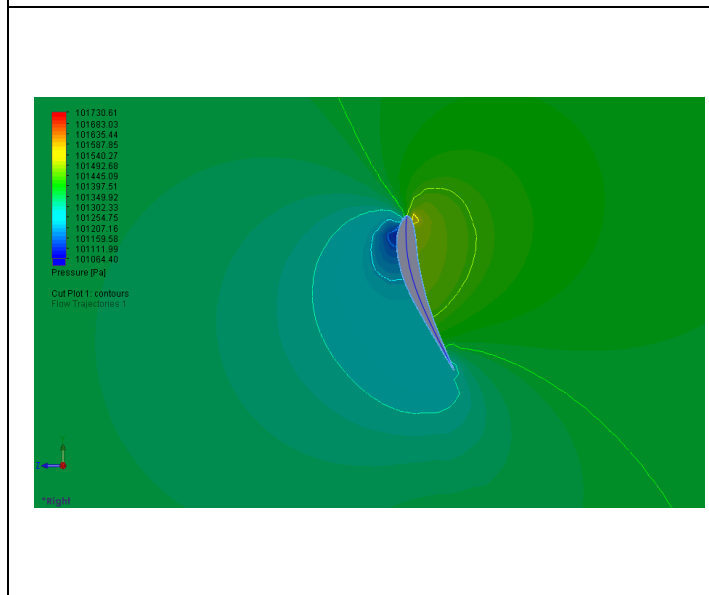




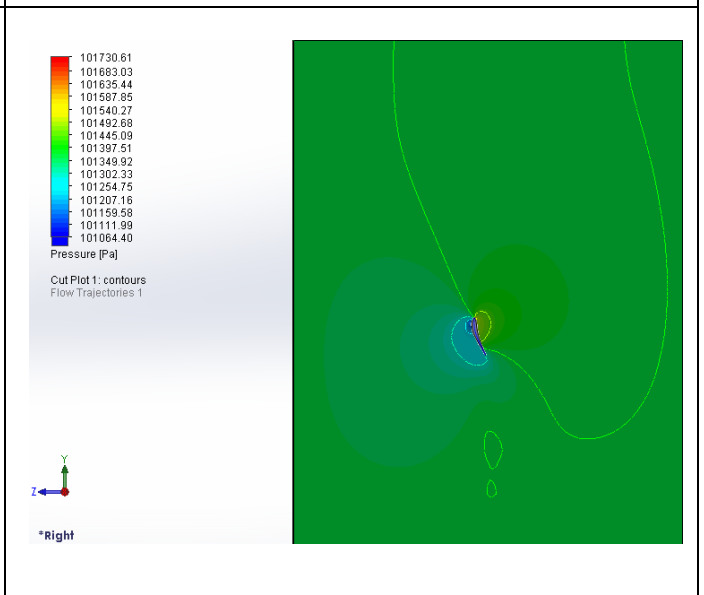
(a) Sparno profilį aptekančio oro srauto linijos YZ plokštumoje. $AoA=17^\circ$. $Re=403274$



(b) Slėgių pasiskirstymo spektras su oro srauto linijomis. $AoA=17^\circ$. $Re=403274$

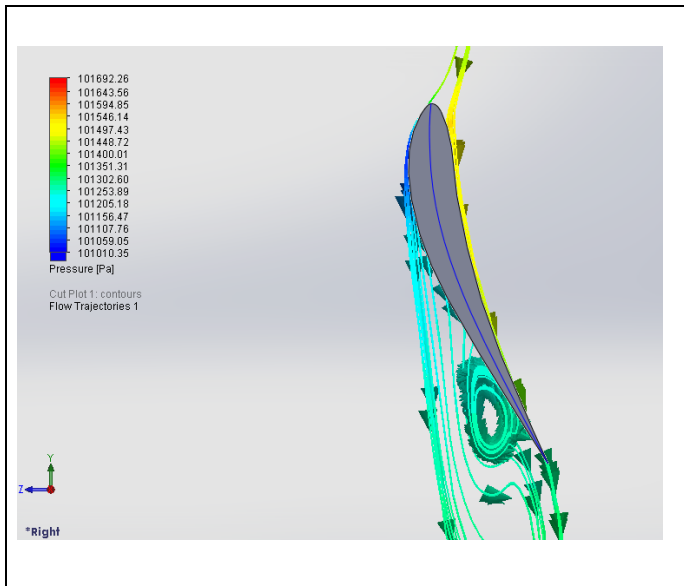


(c) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=17^\circ$. $Re=403274$

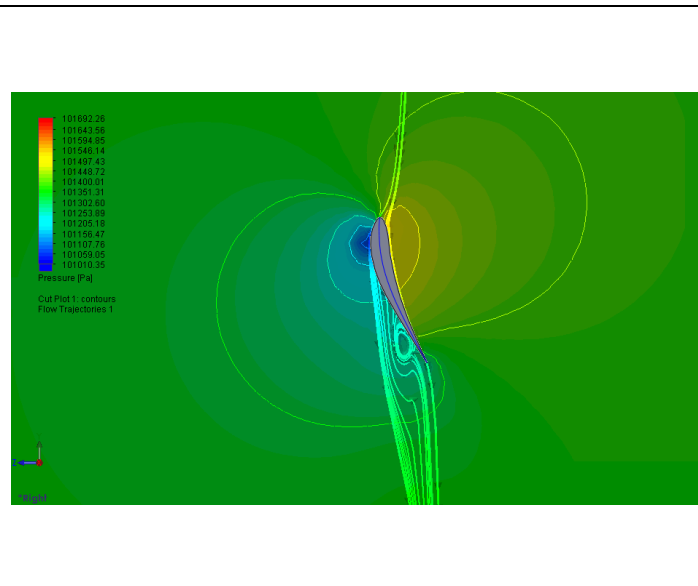


(d) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=17^\circ$. $Re=403274$

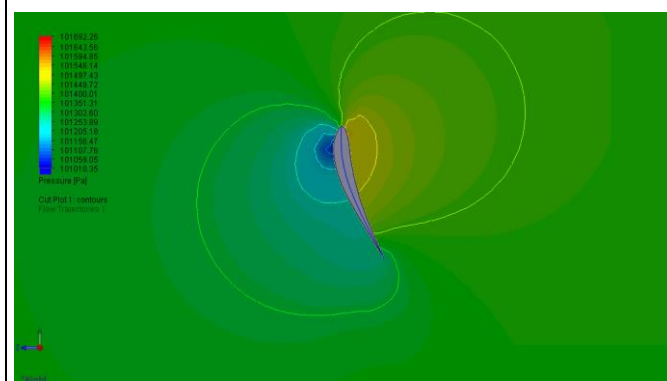
86 pav. Albatroso sparno profilį aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=17^\circ$. $Re=403274$



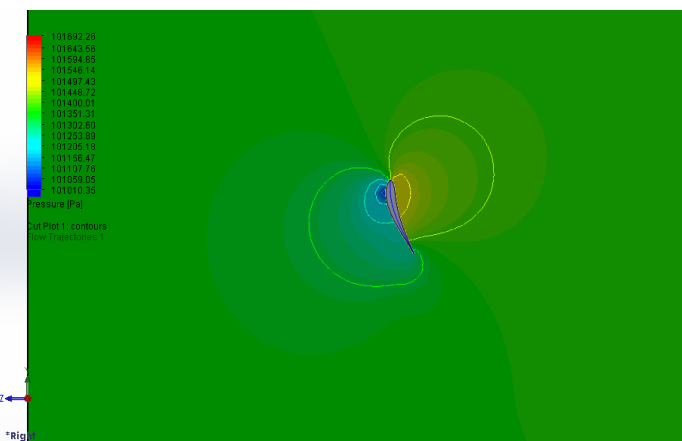
(a) Sparno profilį aptekancio oro srauto linijos YZ plokštumoje. $AoA=18^\circ$. $Re=403274$



(b) Slėgių pasiskirstymo spektras su oro srauto linijomis. $AoA=18^\circ$. $Re=403274$

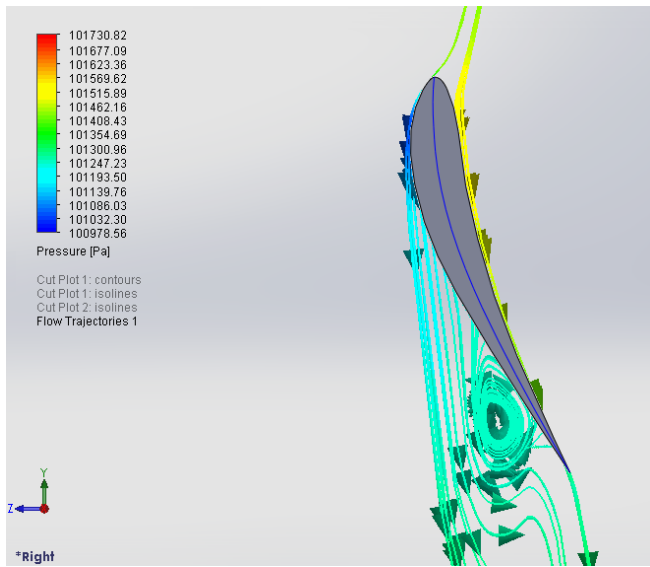


(c) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=18^\circ$. $Re=403274$

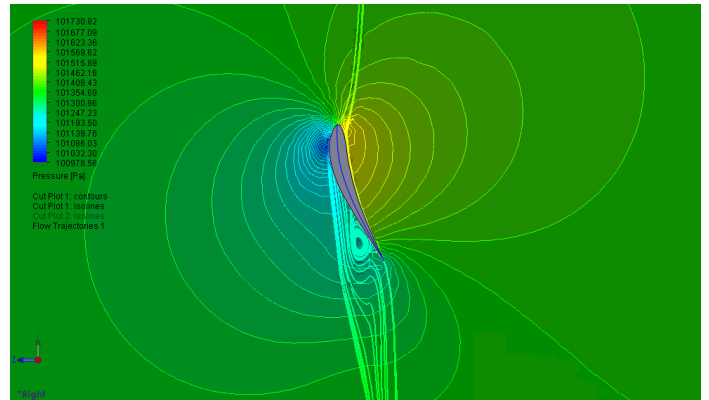


(d) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=18^\circ$. $Re=403274$

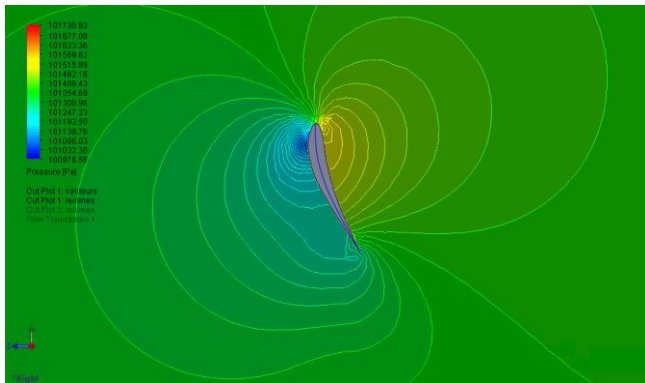
87 pav. Albatroso sparno profilį aptekancio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=18^\circ$. $Re=403274$



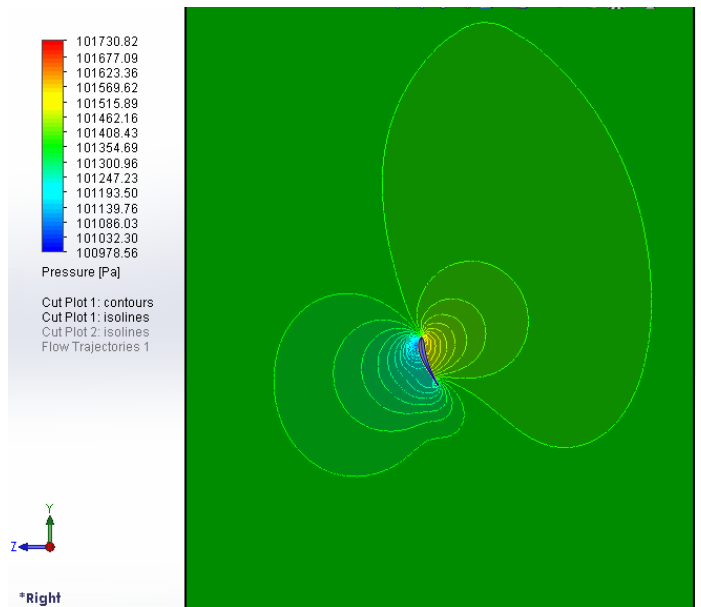
(a) Sparno profilį aptakančio oro srauto linijos YZ plokštumoje. $AoA=19^\circ$. $Re=403274$



(b) Slėgių pasiskirstymo spektras su oro srauto linijomis. $AoA=19^\circ$. $Re=403274$

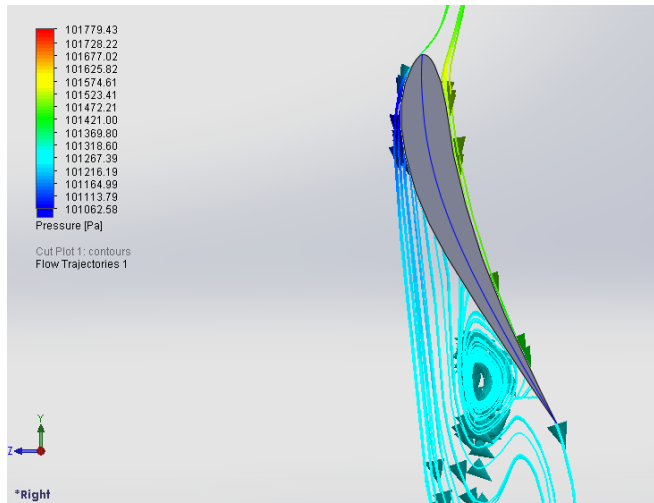


(c) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=19^\circ$. $Re=403274$

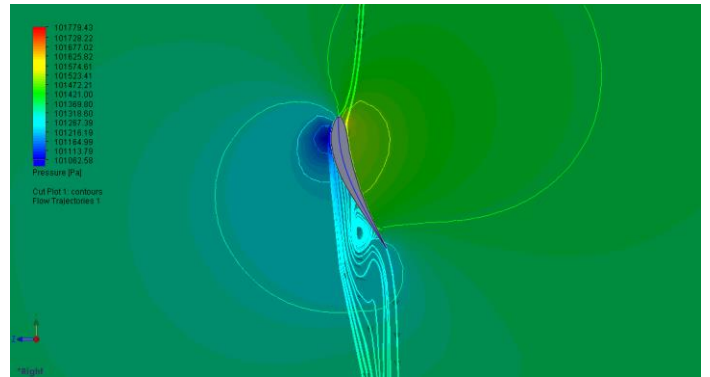


(d) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=19^\circ$. $Re=403274$

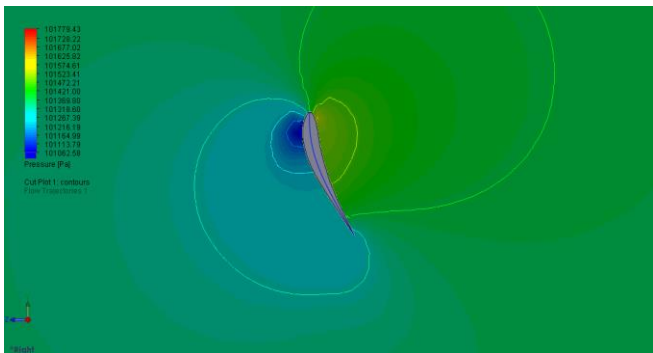
88 pav. Albatroso sparno profilį aptakančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=19^\circ$. $Re=403274$



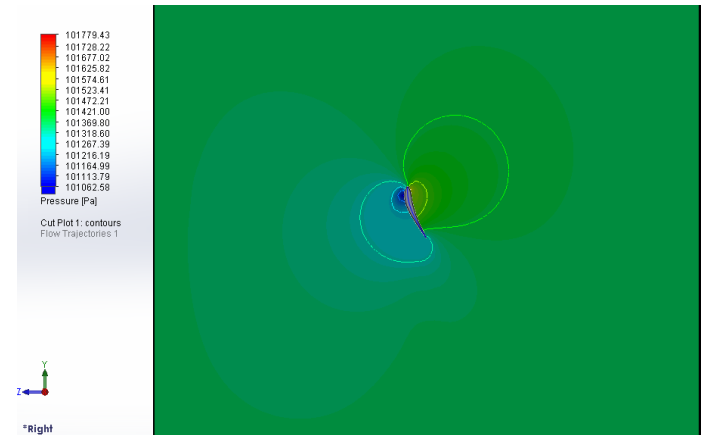
(a) Sparno profilį aptekančio oro srauto linijos YZ plokštumoje. $AoA=20^\circ$. $Re=403274$



(b) Slėgių pasiskirstymo spektras su oro srauto linijomis. $AoA=20^\circ$. $Re=403274$



(c) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=20^\circ$. $Re=403274$



(d) Slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=20^\circ$. $Re=403274$

89 pav. Albatroso sparno profilį aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. $AoA=20^\circ$. $Re=403274$

28 lentelė. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=1^\circ$, $Re=403274$.

| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|----------------|------|--------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Force 1 | [N] | 2,742 | 2,757 | 2,691 | 2,816 | 100 | Yes | 0,041 | 0,041 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | -0,327 | -0,326 | -0,330 | -0,320 | 100 | Yes | 0,004 | 0,006 |
| GG Force (Z) 1 | [N] | 2,723 | 2,738 | 2,671 | 2,797 | 100 | Yes | 0,041 | 0,042 |

29 lentelė. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=2^\circ$, $Re=403274$

| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|----------------|------|--------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Force 1 | [N] | 2,905 | 2,941 | 2,790 | 3,047 | 100 | Yes | 0,052 | 0,053 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | -0,405 | -0,409 | -0,420 | -0,391 | 100 | Yes | 0,006 | 0,008 |
| GG Force (Z) 1 | [N] | 2,877 | 2,913 | 2,762 | 3,019 | 100 | Yes | 0,053 | 0,055 |

30 lentelė. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=3^\circ$, $Re=403274$

| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|----------------|------|--------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Force 1 | [N] | 3,158 | 3,219 | 3,115 | 3,317 | 100 | Yes | 0,040 | 0,041 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | -0,486 | -0,489 | -0,501 | -0,480 | 100 | Yes | 0,005 | 0,013 |
| GG Force (Z) 1 | [N] | 3,121 | 3,181 | 3,077 | 3,280 | 100 | Yes | 0,039 | 0,042 |

31 lentelė. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=4^\circ$, $Re=403274$

| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|----------------|------|--------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Force 1 | [N] | 3,541 | 3,626 | 3,454 | 3,852 | 56,5 | Yes | 0,123 | 0,069 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | -0,534 | -0,543 | -0,574 | -0,515 | 100 | Yes | 0,011 | 0,015 |
| GG Force (Z) 1 | [N] | 3,501 | 3,585 | 3,413 | 3,811 | 57,5 | Yes | 0,125 | 0,072 |

32 lentelė. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=5^\circ$, $Re=403274$

| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|----------------|------|--------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Force 1 | [N] | 4,396 | 4,776 | 4,396 | 4,936 | 23,9 | Yes | 0,179 | 0,043 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | -0,343 | -0,368 | -0,391 | -0,343 | 100 | Yes | 0,011 | 0,013 |
| GG Force (Z) 1 | [N] | 4,382 | 4,762 | 4,382 | 4,923 | 24,4 | Yes | 0,179 | 0,044 |

33 lentelė. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=6^\circ$, $Re=403274$

| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|----------------|------|--------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Force 1 | [N] | 5,458 | 5,272 | 4,920 | 5,505 | 35,7 | Yes | 0,163 | 0,058 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | -0,424 | -0,431 | -0,443 | -0,402 | 80,6 | Yes | 0,020 | 0,016 |
| GG Force (Z) 1 | [N] | 5,441 | 5,255 | 4,904 | 5,488 | 36,5 | Yes | 0,164 | 0,060 |

34 lentelė. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=7^\circ$, $Re=403274$

| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|----------------|------|--------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Force 1 | [N] | 5,793 | 5,487 | 5,248 | 5,793 | 44,3 | Yes | 0,183 | 0,081 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | -0,511 | -0,505 | -0,528 | -0,482 | 100 | Yes | 0,014 | 0,016 |
| GG Force (Z) 1 | [N] | 5,771 | 5,463 | 5,225 | 5,771 | 45 | Yes | 0,183 | 0,083 |

35 lentelė. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=8^\circ$, $Re=403274$

| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|----------------|------|--------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Force 1 | [N] | 5,536 | 5,669 | 5,536 | 5,783 | 41,4 | Yes | 0,117 | 0,049 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | -0,704 | -0,706 | -0,720 | -0,699 | 100 | Yes | 0,007 | 0,013 |
| GG Force (Z) 1 | [N] | 5,491 | 5,625 | 5,491 | 5,739 | 40,7 | Yes | 0,117 | 0,048 |

36 lentelė. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=9^\circ$, $Re=403274$

| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|----------------|------|--------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Force 1 | [N] | 5,767 | 5,771 | 5,762 | 5,789 | 100 | Yes | 0,027 | 0,066 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | -0,745 | -0,745 | -0,748 | -0,737 | 100 | Yes | 0,011 | 0,012 |
| GG Force (Z) 1 | [N] | 5,719 | 5,722 | 5,714 | 5,742 | 100 | Yes | 0,028 | 0,066 |

37 lentelė. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=10^\circ$, $Re=403274$

| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|----------------|------|--------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Force 1 | [N] | 6,387 | 6,337 | 6,166 | 6,612 | 100 | Yes | 0,074 | 0,076 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | -0,761 | -0,730 | -0,772 | -0,707 | 100 | Yes | 0,013 | 0,018 |
| GG Force (Z) 1 | [N] | 6,342 | 6,295 | 6,124 | 6,566 | 100 | Yes | 0,073 | 0,075 |

38 lentelė. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=11^\circ$, $Re=403274$

| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|----------------|------|--------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Force 1 | [N] | 6,385 | 6,729 | 6,385 | 6,890 | 23,4 | Yes | 0,271 | 0,064 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | -0,736 | -0,785 | -0,813 | -0,736 | 75,7 | Yes | 0,026 | 0,019 |
| GG Force (Z) 1 | [N] | 6,342 | 6,683 | 6,342 | 6,844 | 23,2 | Yes | 0,270 | 0,063 |

39 lentelė. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=12^\circ$, $Re=403274$

| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|----------------|------|--------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Force 1 | [N] | 7,224 | 7,274 | 7,214 | 7,338 | 100 | Yes | 0,071 | 0,079 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | -0,946 | -0,946 | -0,959 | -0,940 | 100 | Yes | 0,019 | 0,019 |
| GG Force (Z) 1 | [N] | 7,161 | 7,212 | 7,152 | 7,276 | 100 | Yes | 0,074 | 0,080 |

40 lentelė. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=13^\circ$, $Re=403274$

| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|----------------|------|--------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Force 1 | [N] | 7,381 | 7,468 | 7,371 | 7,551 | 100 | Yes | 0,007 | 0,075 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | -0,919 | -0,932 | -0,958 | -0,914 | 100 | Yes | 0,019 | 0,020 |
| GG Force (Z) 1 | [N] | 7,324 | 7,410 | 7,314 | 7,490 | 100 | Yes | 0,008 | 0,074 |

41 lentelė. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=14^\circ$, $Re=403274$

| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|----------------|------|--------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Force 1 | [N] | 6,925 | 7,001 | 6,918 | 7,164 | 100 | Yes | 0,070 | 0,103 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | -0,972 | -0,964 | -0,982 | -0,946 | 100 | Yes | 0,026 | 0,029 |
| GG Force (Z) 1 | [N] | 6,856 | 6,935 | 6,851 | 7,097 | 100 | Yes | 0,074 | 0,101 |

42 lentelė. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=15^\circ$, $Re=403274$

| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|----------------|------|--------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Force 1 | [N] | 7,932 | 7,928 | 7,866 | 7,952 | 100 | Yes | 0,085 | 0,105 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | -1,119 | -1,137 | -1,157 | -1,119 | 100 | Yes | 0,028 | 0,040 |
| GG Force (Z) 1 | [N] | 7,853 | 7,846 | 7,782 | 7,871 | 100 | Yes | 0,090 | 0,103 |

43 lentelė. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=16^\circ$, $Re=403274$

| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|----------------|------|--------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Force 1 | [N] | 8,417 | 8,442 | 8,394 | 8,473 | 100 | Yes | 0,080 | 0,089 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | -1,229 | -1,231 | -1,246 | -1,216 | 100 | Yes | 0,030 | 0,033 |
| GG Force (Z) 1 | [N] | 8,327 | 8,352 | 8,305 | 8,383 | 100 | Yes | 0,078 | 0,088 |

44 lentelė. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=17^\circ$, $Re=403274$

| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|----------------|------|--------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Force 1 | [N] | 7,337 | 7,296 | 7,219 | 7,365 | 100 | Yes | 0,042 | 0,133 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | -1,457 | -1,448 | -1,466 | -1,428 | 100 | Yes | 0,031 | 0,032 |
| GG Force (Z) 1 | [N] | 7,191 | 7,151 | 7,075 | 7,219 | 100 | Yes | 0,040 | 0,131 |

45 lentelė. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=18^\circ$, $Re=403274$

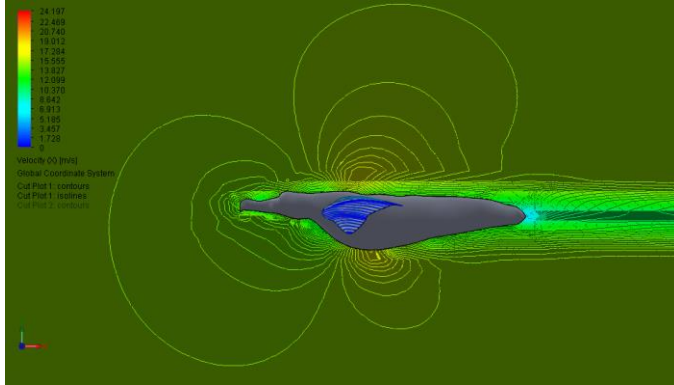
| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|----------------|------|--------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Force 1 | [N] | 8,220 | 8,174 | 8,113 | 8,220 | 100 | Yes | 0,106 | 0,121 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | -1,640 | -1,656 | -1,674 | -1,640 | 100 | Yes | 0,015 | 0,032 |
| GG Force (Z) 1 | [N] | 8,054 | 8,005 | 7,938 | 8,054 | 100 | Yes | 0,116 | 0,119 |

46 lentelė. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=19^\circ$, $Re=403274$

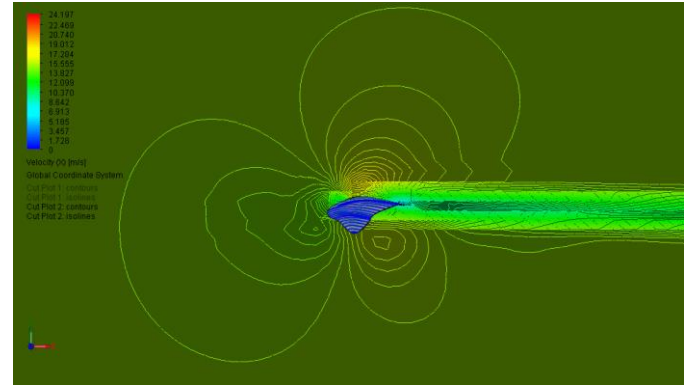
| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|----------------|------|--------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Force 1 | [N] | 8,551 | 8,529 | 8,457 | 8,551 | 100 | Yes | 0,094 | 0,143 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | -1,799 | -1,827 | -1,865 | -1,798 | 100 | Yes | 0,020 | 0,053 |
| GG Force (Z) 1 | [N] | 8,359 | 8,331 | 8,249 | 8,359 | 100 | Yes | 0,111 | 0,139 |

47 lentelė. Sparno profilio aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=20^\circ$, $Re=403274$

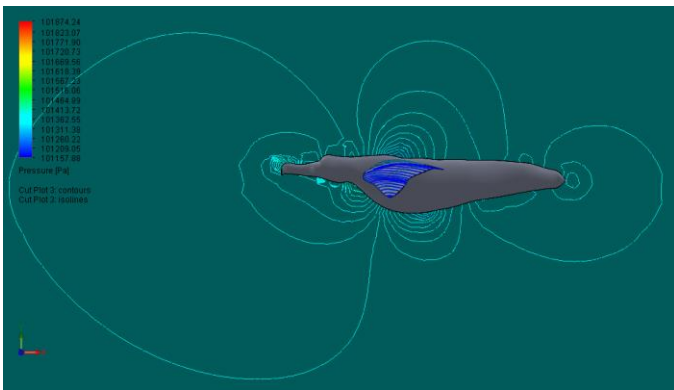
| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|----------------|------|--------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Force 1 | [N] | 8,501 | 8,469 | 8,376 | 8,506 | 100 | Yes | 0,130 | 0,151 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | -1,944 | -1,976 | -2,012 | -1,944 | 100 | Yes | 0,025 | 0,055 |
| GG Force (Z) 1 | [N] | 8,276 | 8,235 | 8,132 | 8,279 | 100 | Yes | 0,147 | 0,147 |



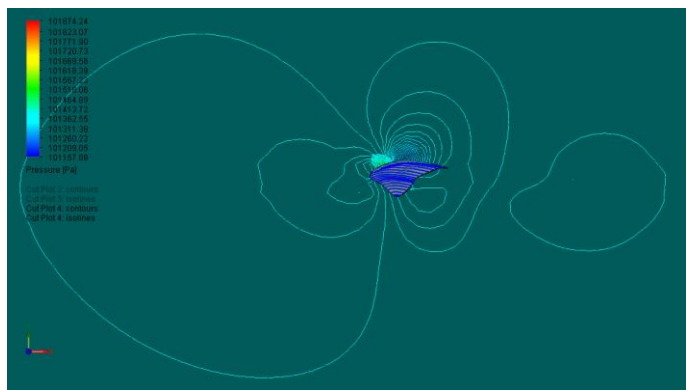
(a) Albatroso sklandmens oro srauto greičių pasiskirstymo spektras. $AoA = 0^\circ$. $V_x = 15$ m/s



(b) Albatroso sparno profilio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras pjūvio vietoje. $AoA = 0^\circ$. $V_x = 15$ m/s



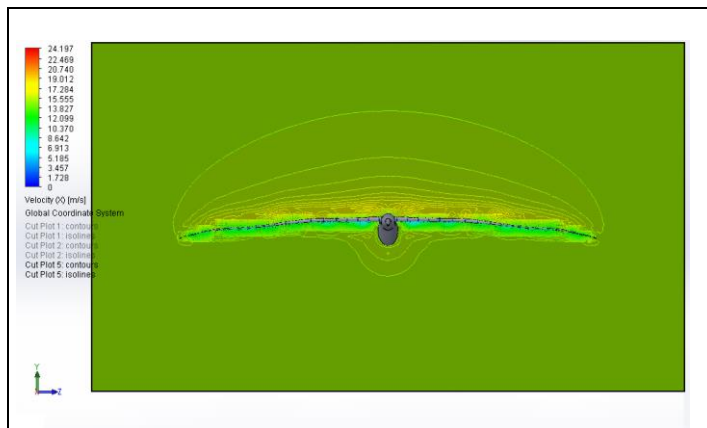
(c) Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinatų plokštumoje YX. $AoA = 0^\circ$. $V_x = 15$ m/s



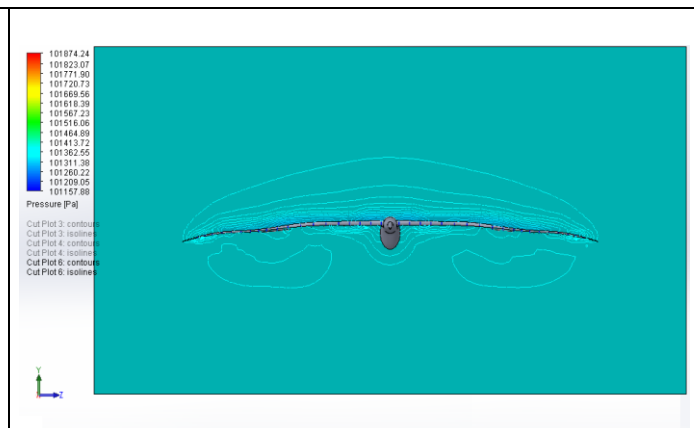
(d) Albatroso sparno profilio slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, pjūvio vietoje, koordinatų plokštumoje YX. $AoA = 0^\circ$. $V_x = 15$ m/s

90 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekancio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras.

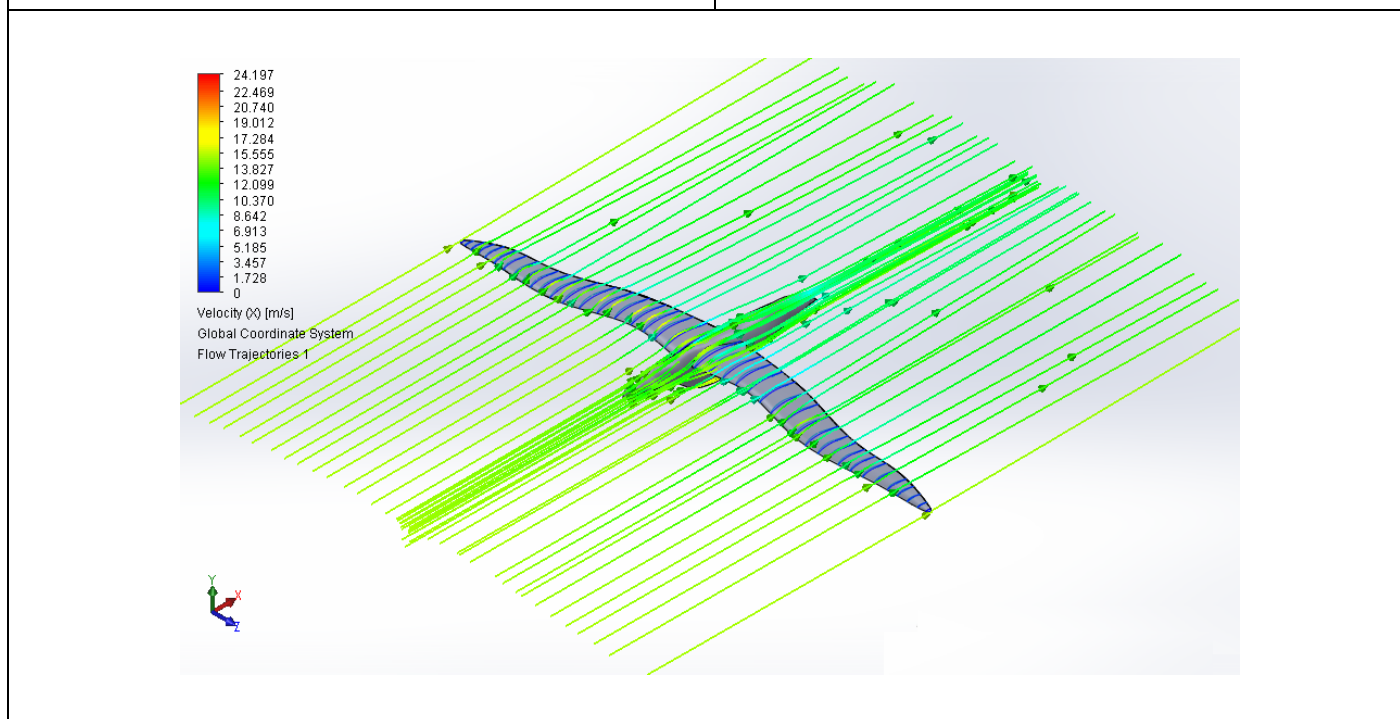
Užsparnių padėtis $AoA = 0^\circ$. $V_x = 15$ m/s



(a) Albatroso sklandmens greičio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinatinių plokštumoje YZ. $AoA = 0^\circ$. $V_x = 15$ m/s

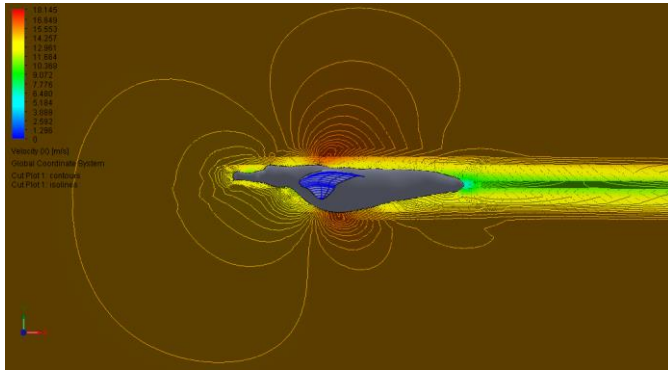


(b) Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinatinių plokštumoje YZ. $AoA = 0^\circ$. $V_x = 15$ m/s

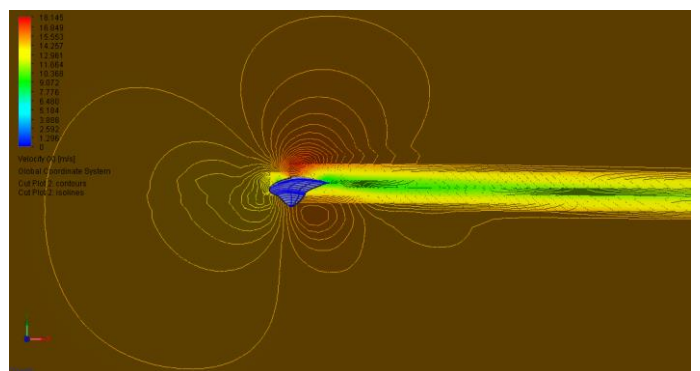


(c) Albatroso sklandmens konstrukciją aptakančio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras apribotoje skaičiuotinėje erdvėje. $AoA = 0^\circ$. $V_x = 15$ m/s

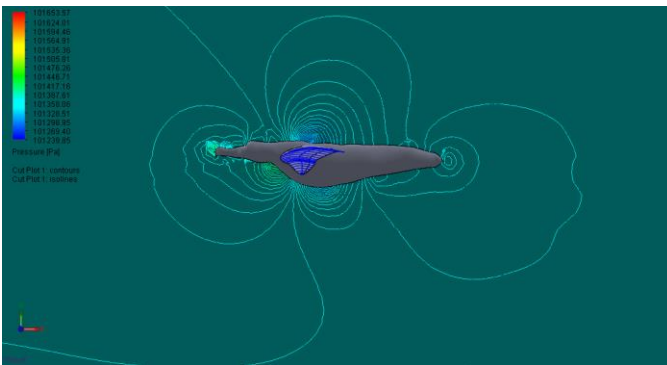
91 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptakančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Užsparnių padėtis $AoA = 0^\circ$. $V_x = 15$ m/s



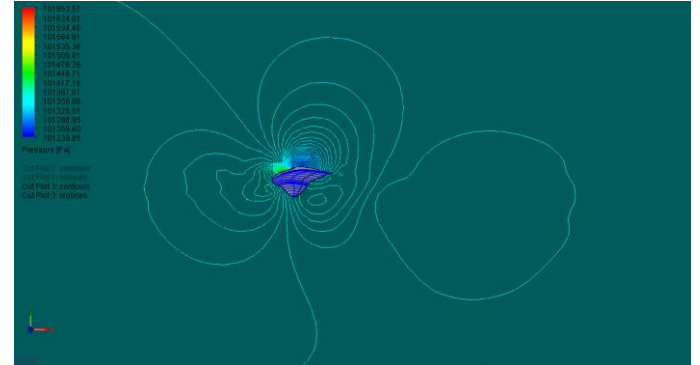
(a) Albatroso sklandmens oro srauto greičių pasiskirstymo spektras. $AoA = 1^\circ$. $V_x = 15$ m/s



(b) Albatroso sparno profilio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras pjūvio vietoje.
 $AoA = 1^\circ$. $V_x = 15$ m/s



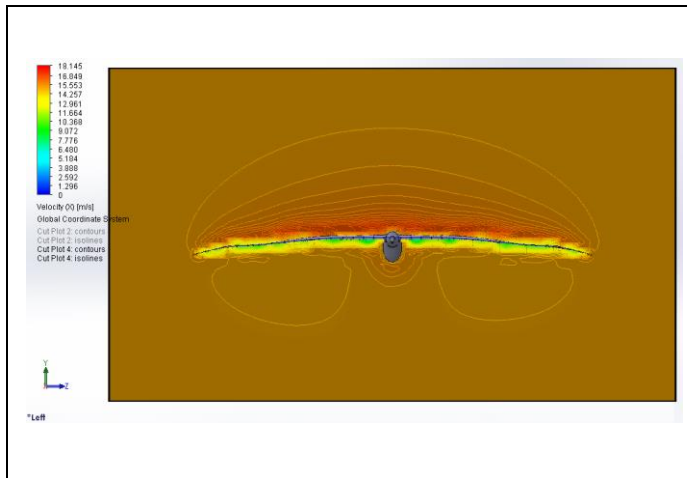
(c) Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinatų plokštumoje YX. $AoA = 1^\circ$. $V_x = 15$ m/s



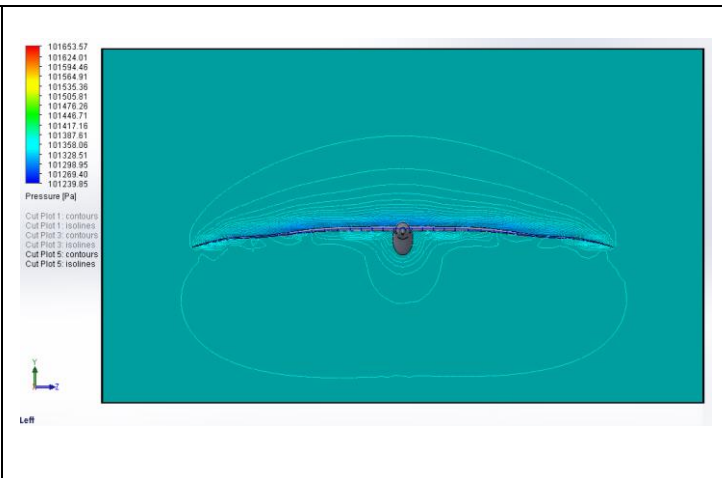
(d) Albatroso sparno profilio slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, pjūvio vietoje, koordinatų plokštumoje YX.
 $AoA = 1^\circ$. $V_x = 15$ m/s

92 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekancio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras.

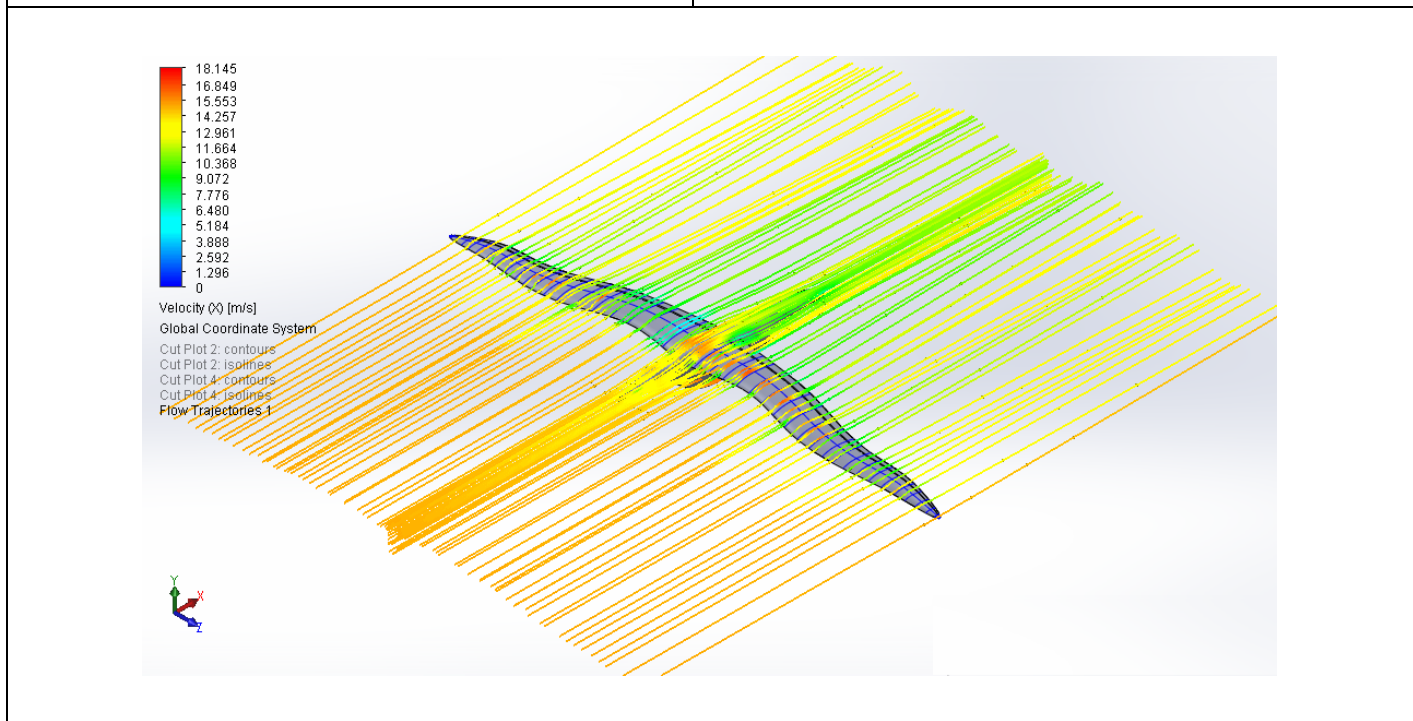
Užsparnių padėtis $AoA = 1^\circ$. $V_x = 15$ m/s.



(a) Albatroso sklandmens greičio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinčių plokštumoje YZ. $AoA = 1^\circ$. $V_x = 15$ m/s

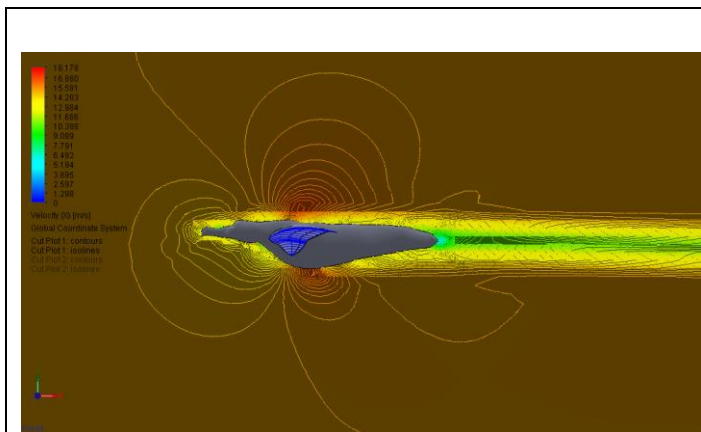


(b) Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinčių plokštumoje YZ. $AoA = 1^\circ$. $V_x = 15$ m/s

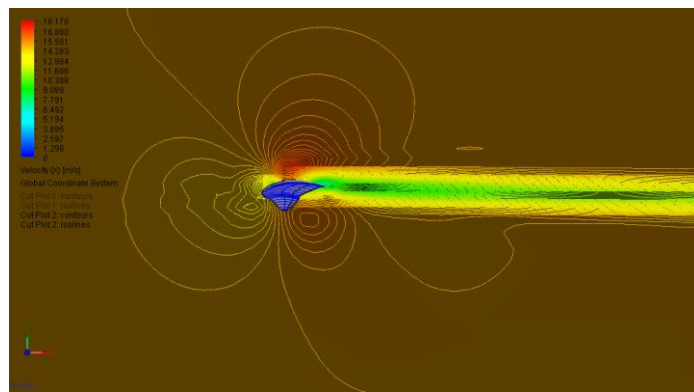


(c) Albatroso sklandmens konstrukciją aptakančio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras apribotoje skaičiuotinėje erdvėje. $AoA = 1^\circ$. $V_x = 15$ m/s

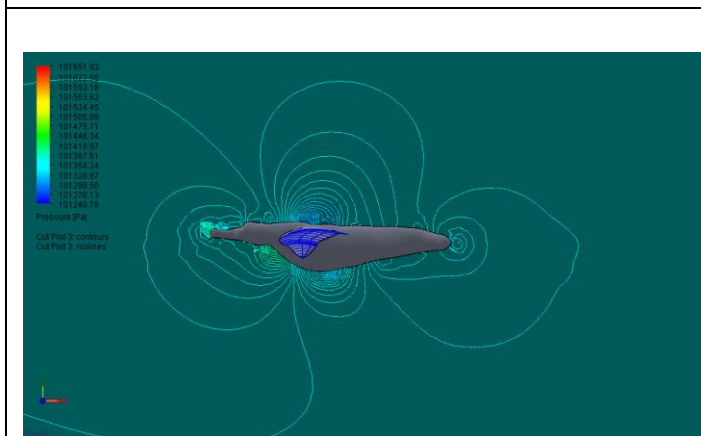
93 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptakančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Užsparnių padėtis $AoA = 1^\circ$. $V_x = 15$ m/s



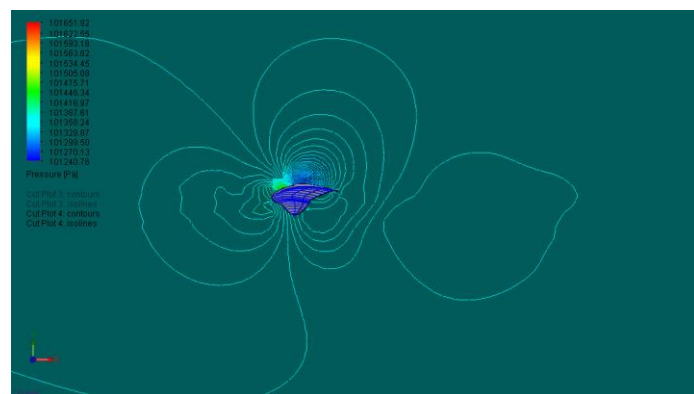
(a) Albatroso sklandmens oro srauto greičių pasiskirstymo spektras. $AoA = 2^\circ$. $V_x = 15$ m/s



(b) Albatroso sparno profilio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras pjūvio vietoje. $AoA = 2^\circ$. $V_x = 15$ m/s

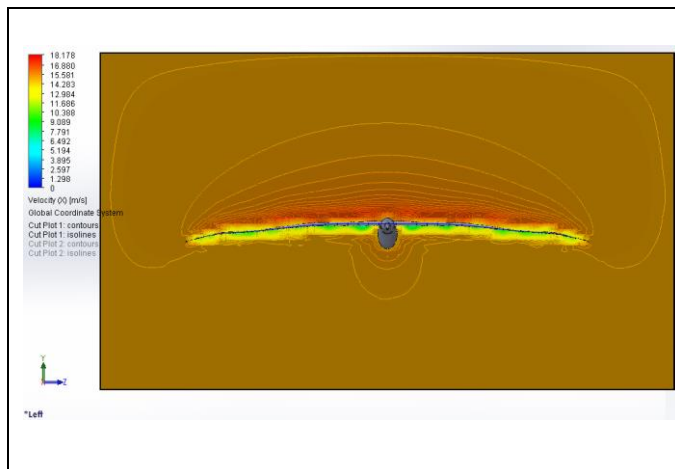


(c) Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinatinių plokštumoje YX. $AoA = 2^\circ$. $V_x = 15$ m/s

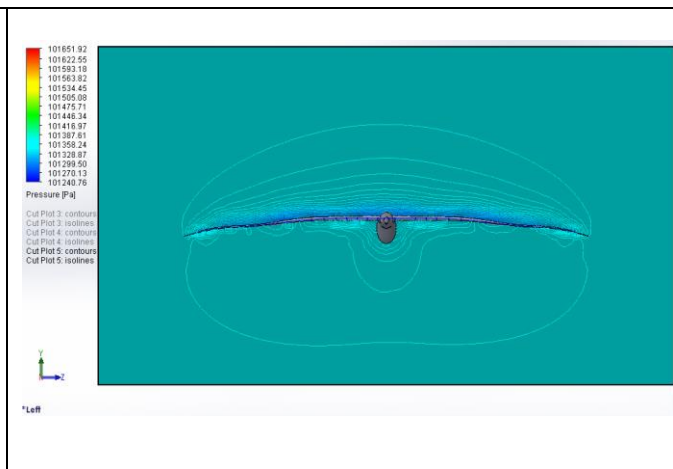


(d) Albatroso sparno profilio slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, pjūvio vietoje, koordinatinių plokštumoje YX. $AoA = 2^\circ$. $V_x = 15$ m/s

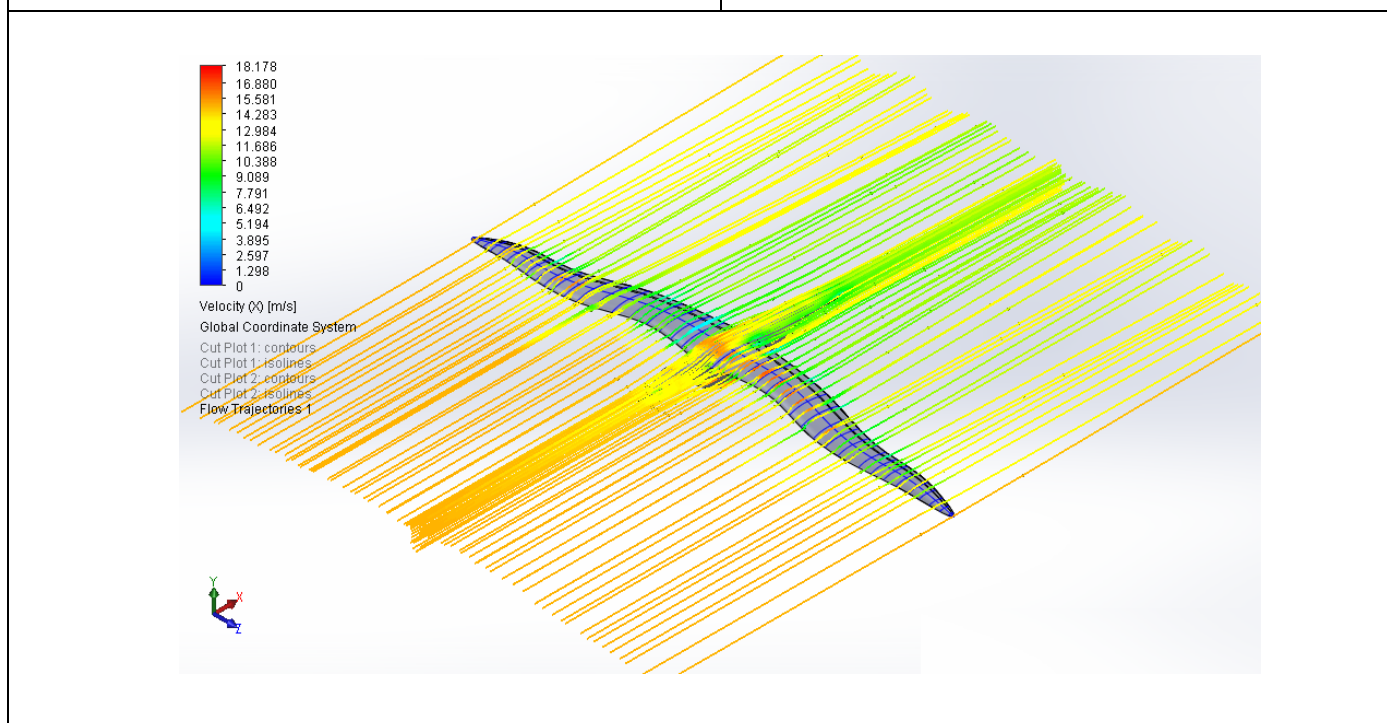
94 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptakančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Užsparnių padėtis $AoA = 2^\circ$. $V_x = 15$ m/s



(a) Albatroso sklandmens greičio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinatų plokštumoje YZ. $AoA = 2^\circ$. $V_x = 15$ m/s



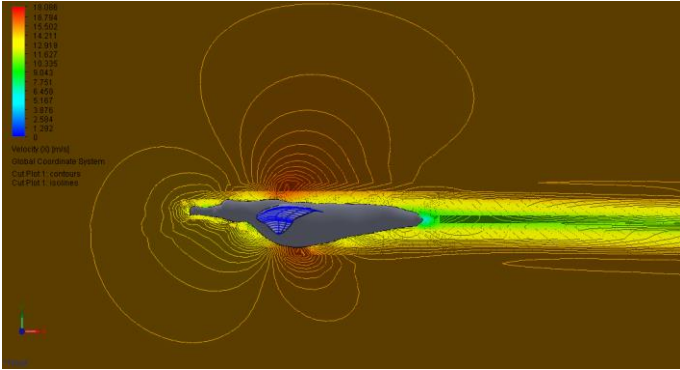
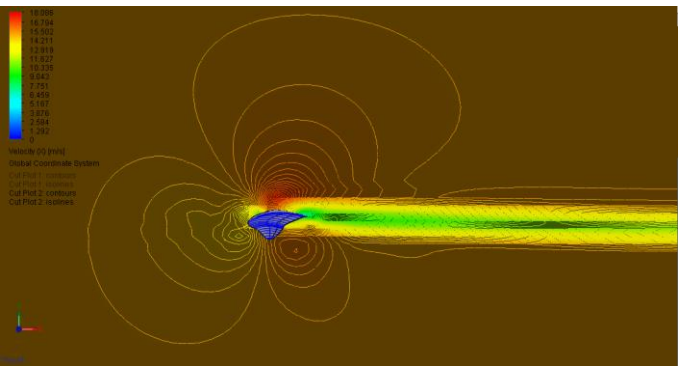
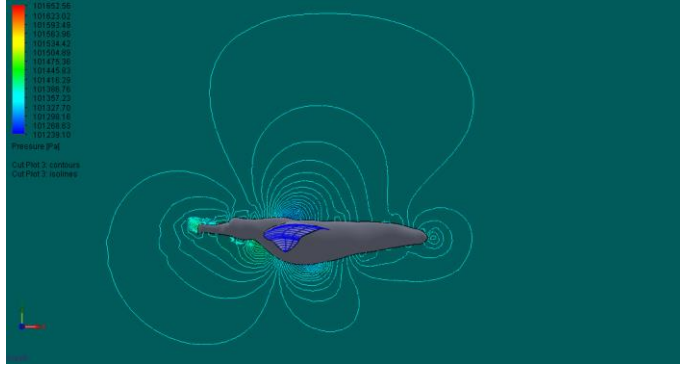
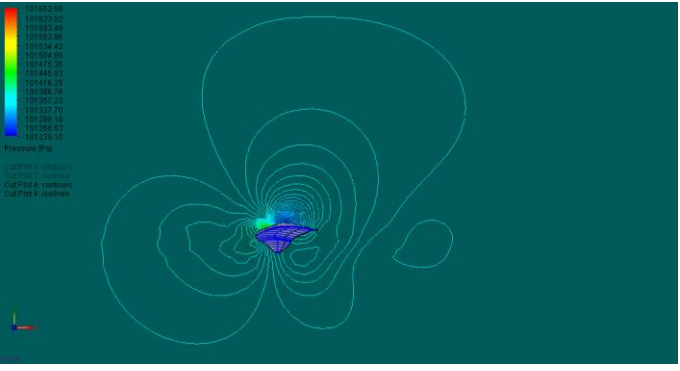
(b) Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinatų plokštumoje YZ. $AoA = 2^\circ$. $V_x = 15$ m/s

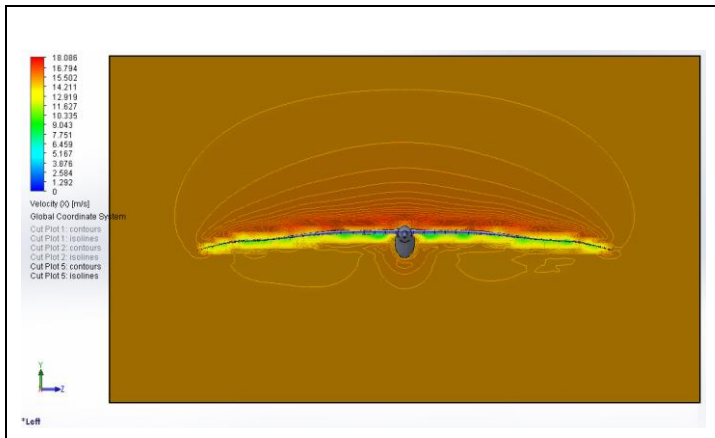


(c) Albatroso sklandmens konstrukciją aptakančio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras apribotoje skaičiuotinėje erdvėje. $AoA = 2^\circ$. $V_x = 15$ m/s

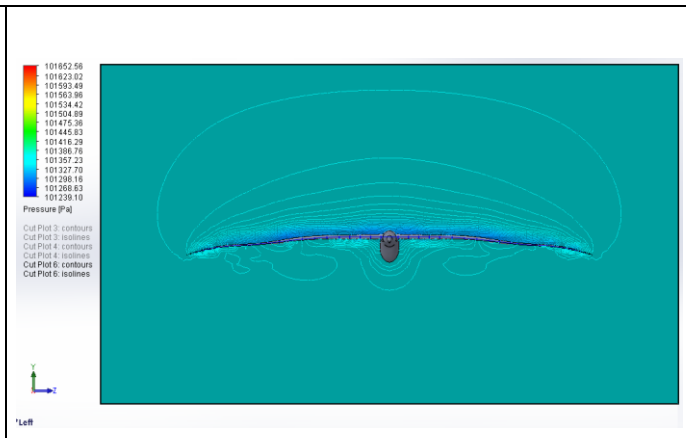
95 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptakančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras.

Užsparnių padėtis $AoA = 2^\circ$. $V_x = 15$ m/s

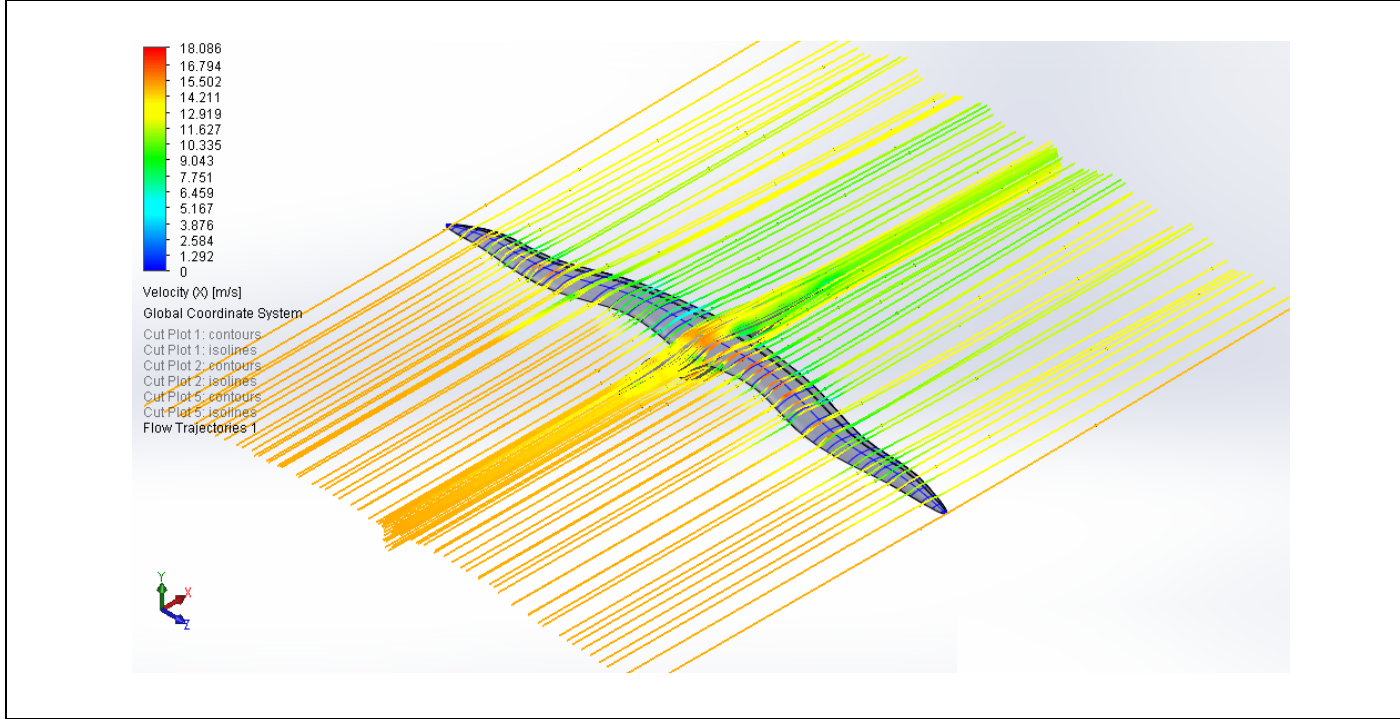
| | |
|--|---|
|  |  |
| <p>(a) Albatroso sklandmens oro srauto greičių pasiskirstymo spektras. $AoA = 3^\circ$. $V_x = 15$ m/s</p> | <p>(b) Albatroso sparno profilio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras pjūvio vietoje. $AoA = 3^\circ$. $V_x = 15$ m/s</p> |
|  |  |
| <p>(c) Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinatų plokštumoje YX. $AoA = 3^\circ$. $V_x = 15$ m/s</p> | <p>(d) Albatroso sparno profilio slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, pjūvio vietoje, koordinatų plokštumoje YX. $AoA = 3^\circ$. $V_x = 15$ m/s</p> |
| <p>96 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Užsparnių padėtis $AoA = 3^\circ$. $V_x = 15$ m/s</p> | |



(a) Albatroso sklandmens greičio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinacių plokštumoje YZ. $AoA = 3^\circ$. $V_x = 15$ m/s



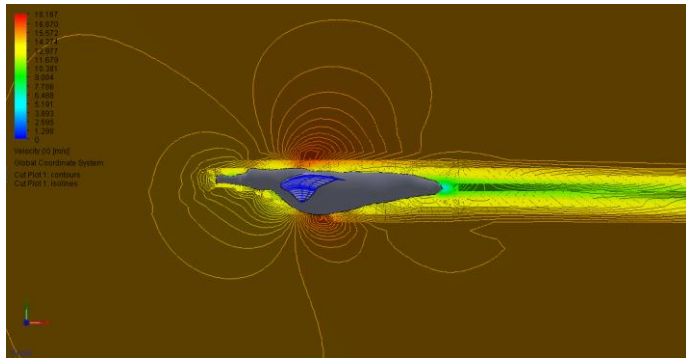
(b) Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinacių plokštumoje YZ. $AoA = 3^\circ$. $V_x = 15$ m/s



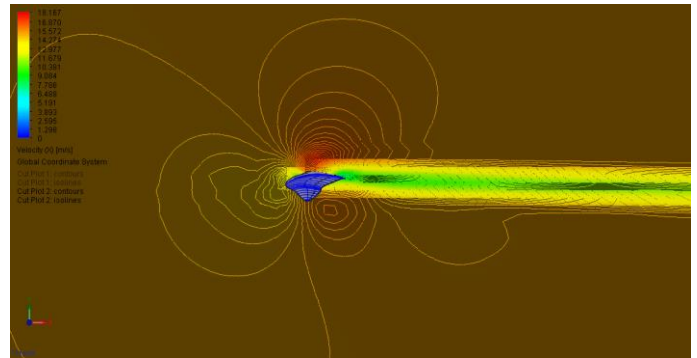
(c) Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras apribotoje skaičiuotinėje erdvėje. $AoA = 3^\circ$. $V_x = 15$ m/s

97 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras.

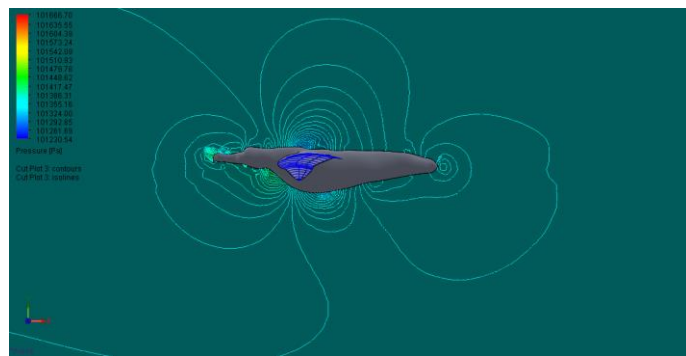
Užsparnių padėtis $AoA = 3^\circ$. $V_x = 15$ m/s



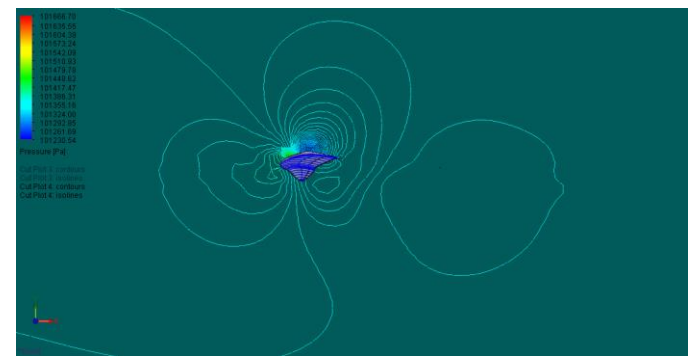
(a) Albatroso sklandmens oro srauto greičių pasiskirstymo spektras. $AoA = 4^\circ$. $V_x = 15$ m/s



(b) Albatroso sparno profilio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras pjūvio vietoje. $AoA = 4^\circ$. $V_x = 15$ m/s



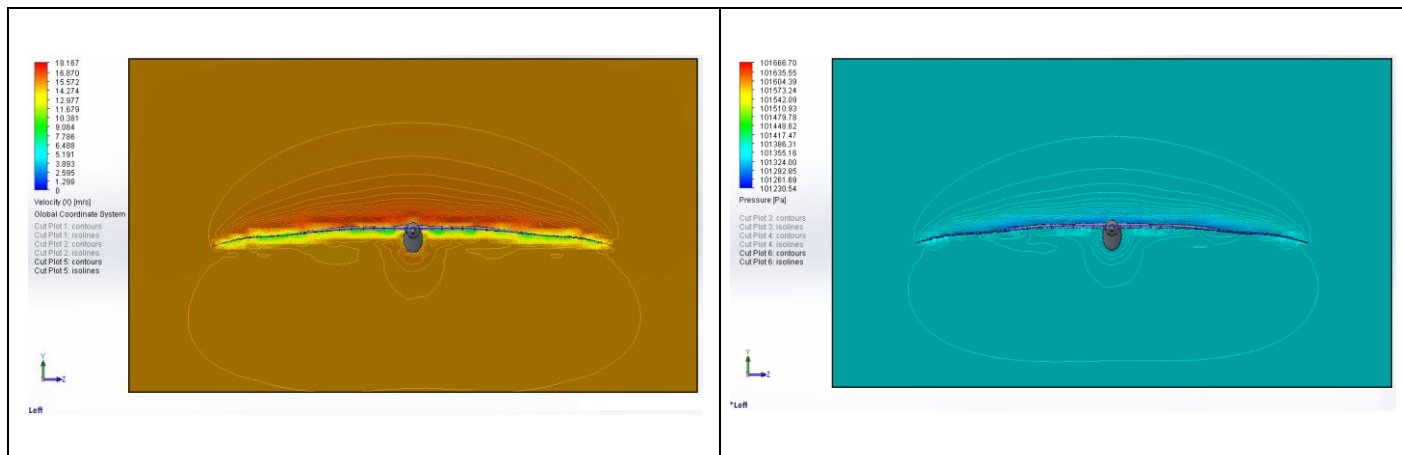
(c) Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinčių plokštumoje YX. $AoA = 4^\circ$. $V_x = 15$ m/s



(d) Albatroso sparno profilio slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, pjūvio vietoje, koordinčių plokštumoje YX. $AoA = 4^\circ$. $V_x = 15$ m/s

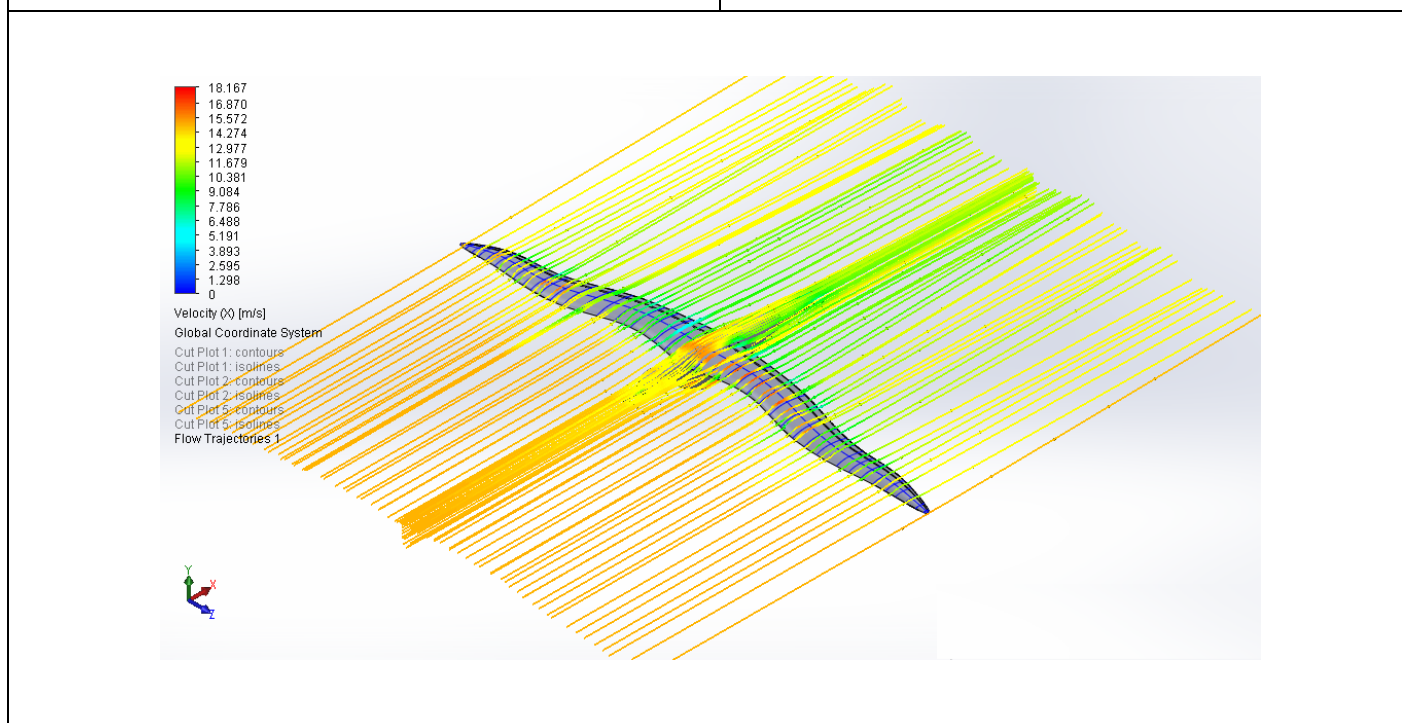
98 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras.

Užsparnių padėtis $AoA = 4^\circ$. $V_x = 15$ m/s



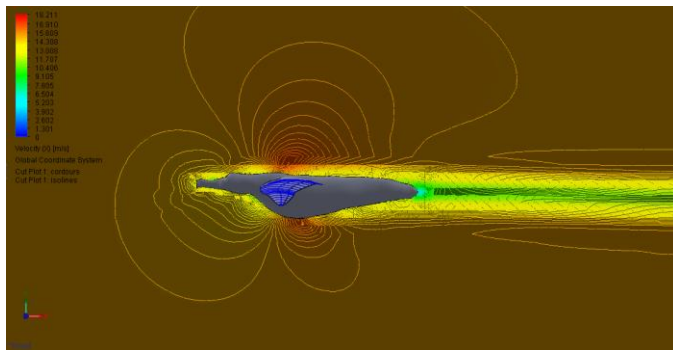
(a) Albatroso sklandmens greičio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinatinių plokštumoje YZ. $AoA = 4^\circ$. $V_x = 15$ m/s

(b) Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinatinių plokštumoje YZ. $AoA = 4^\circ$. $V_x = 15$ m/s

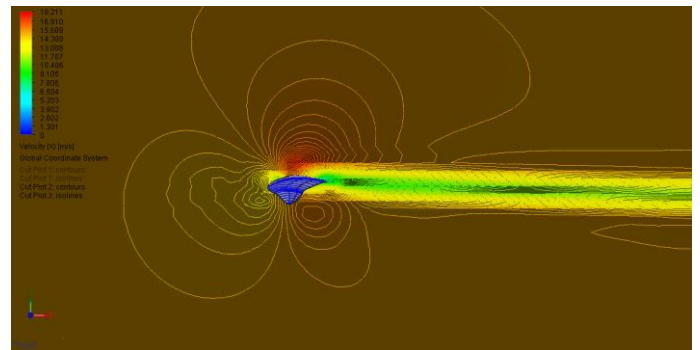


(c) Albatroso sklandmens konstrukciją aptekancio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras apribotoje skaičiuotinėje erdvėje. $AoA = 4^\circ$. $V_x = 15$ m/s

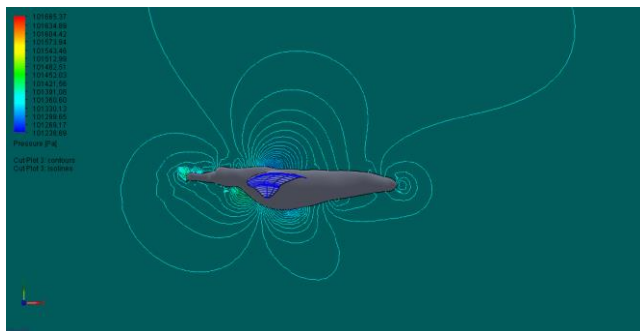
99 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekancio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Užsparnių padėtis $AoA = 4^\circ$. $V_x = 15$ m/s



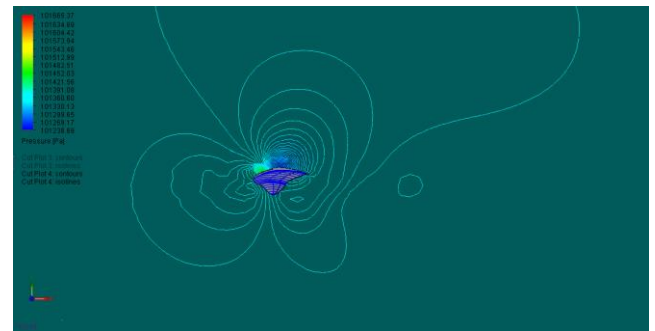
(a) Albatroso sklandmens oro srauto greičių pasiskirstymo spektras. $AoA = 5^\circ$. $V_x = 15$ m/s



(b) Albatroso sparno profilio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras pjūvio vietoje.
 $AoA = 5^\circ$. $V_x = 15$ m/s

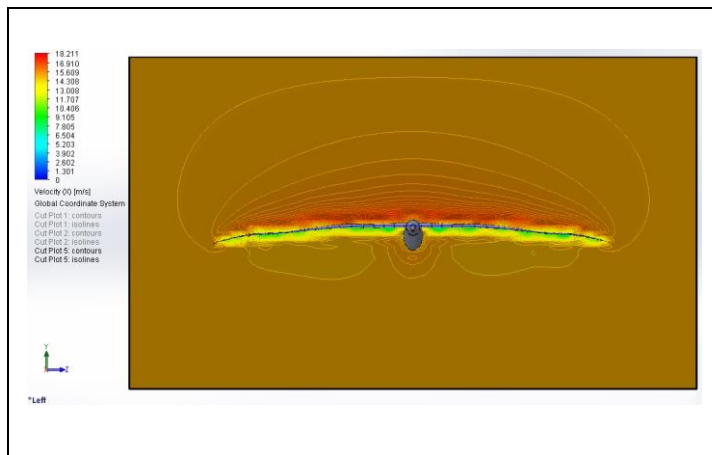


(c) Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinacių plokštumoje YX. $AoA = 5^\circ$. $V_x = 15$ m/s

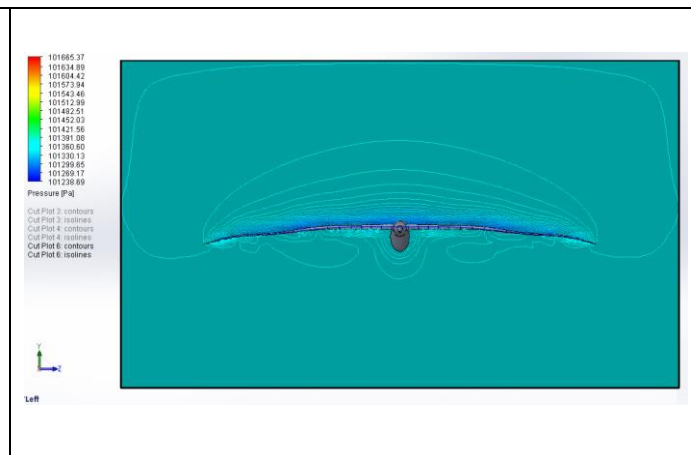


(d) Albatroso sparno profilio slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, pjūvio vietoje, koordinacių plokštumoje YX.
 $AoA = 5^\circ$. $V_x = 15$ m/s

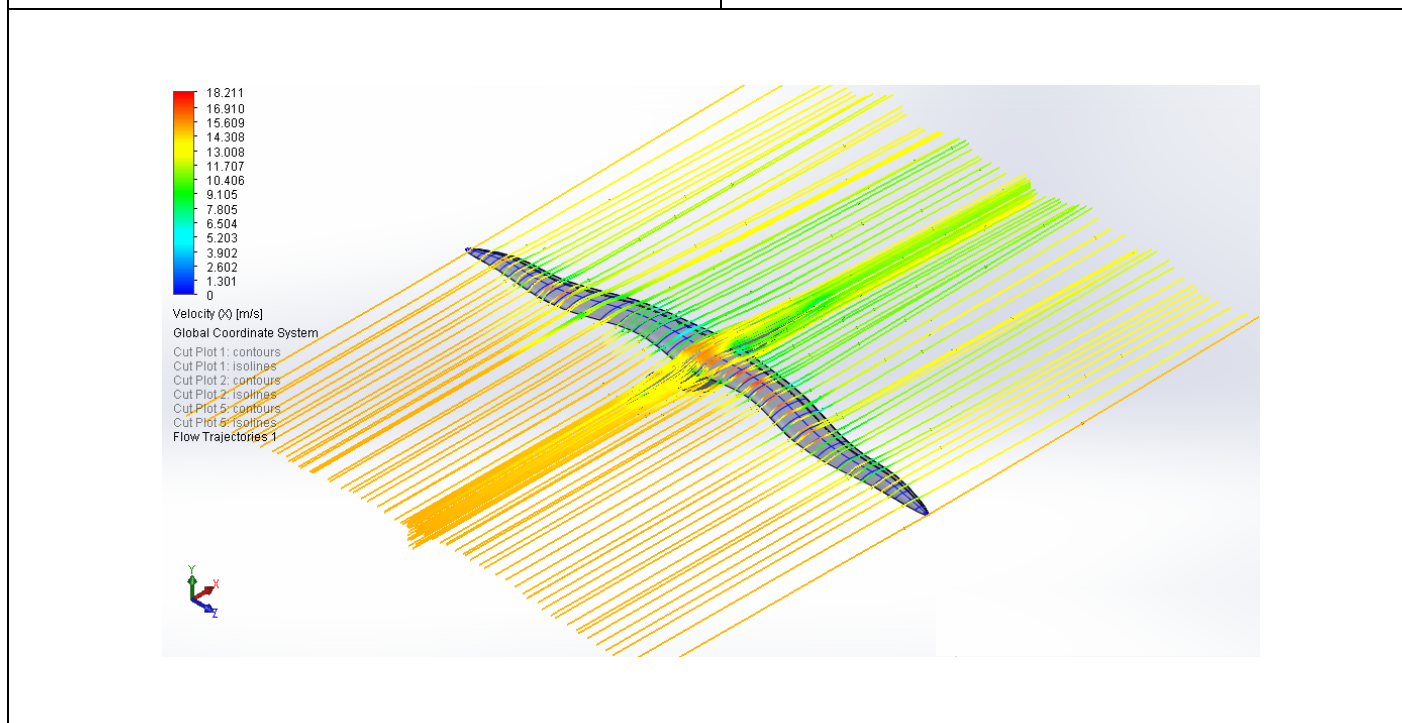
100 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Užsparnių padėtis $AoA = 5^\circ$. $V_x = 15$ m/s



(a) Albatroso sklandmens greičio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinatinių plokštumoje YZ. $AoA = 5^\circ$. $V_x = 15$ m/s

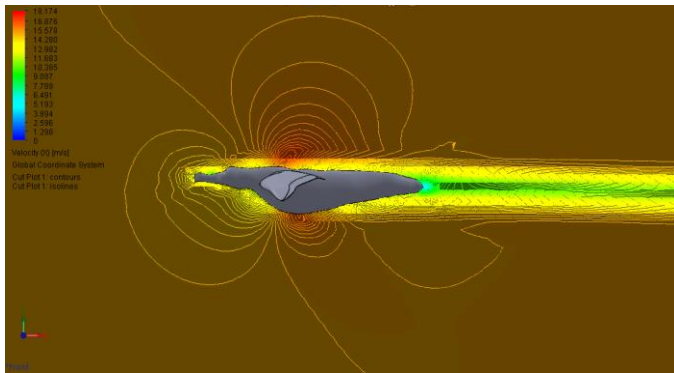


(b) Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinatinių plokštumoje YZ. $AoA = 5^\circ$. $V_x = 15$ m/s

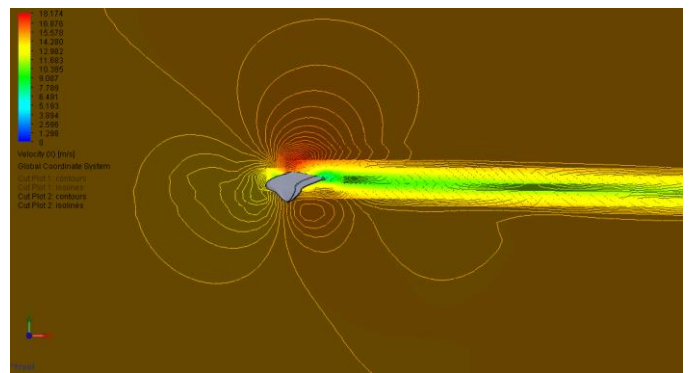


(c) Albatroso sklandmens konstrukciją aptakančio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras apribotoje skaičiuotinėje erdvėje. $AoA = 5^\circ$. $V_x = 15$ m/s

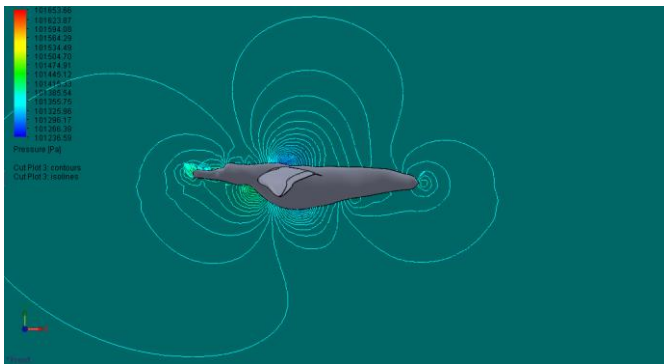
101 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptakančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Užsparnių padėtis $AoA = 5^\circ$. $V_x = 15$ m/s



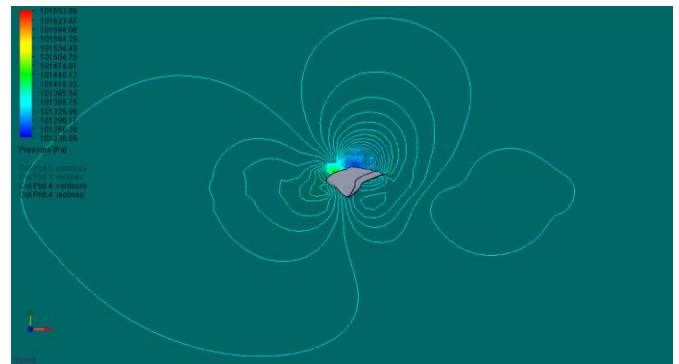
(a) Albatroso sklandmens oro srauto greičių pasiskirstymo spektras. $AoA = 6^\circ$. $V_x = 15$ m/s



(b) Albatroso sparno profilio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras pjūvio vietoje.
 $AoA = 6^\circ$. $V_x = 15$ m/s



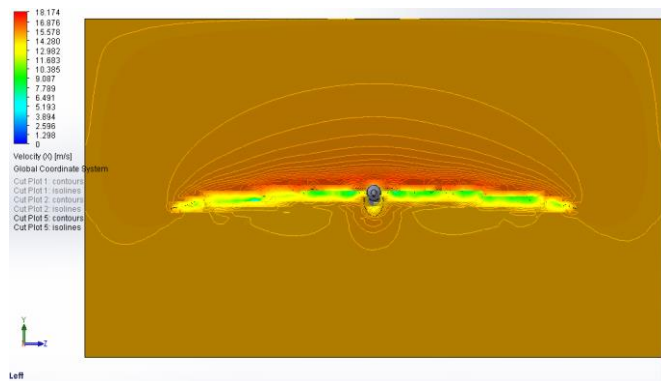
(c) Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinčių plokštumoje YX. $AoA = 6^\circ$. $V_x = 15$ m/s



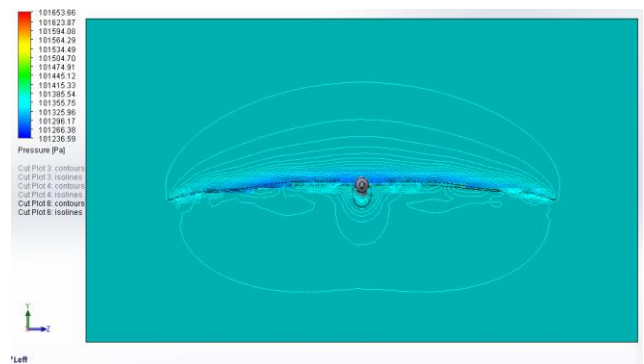
(d) Albatroso sparno profilio slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, pjūvio vietoje, koordinčių plokštumoje YX.
 $AoA = 6^\circ$. $V_x = 15$ m/s

102 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekancio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras.

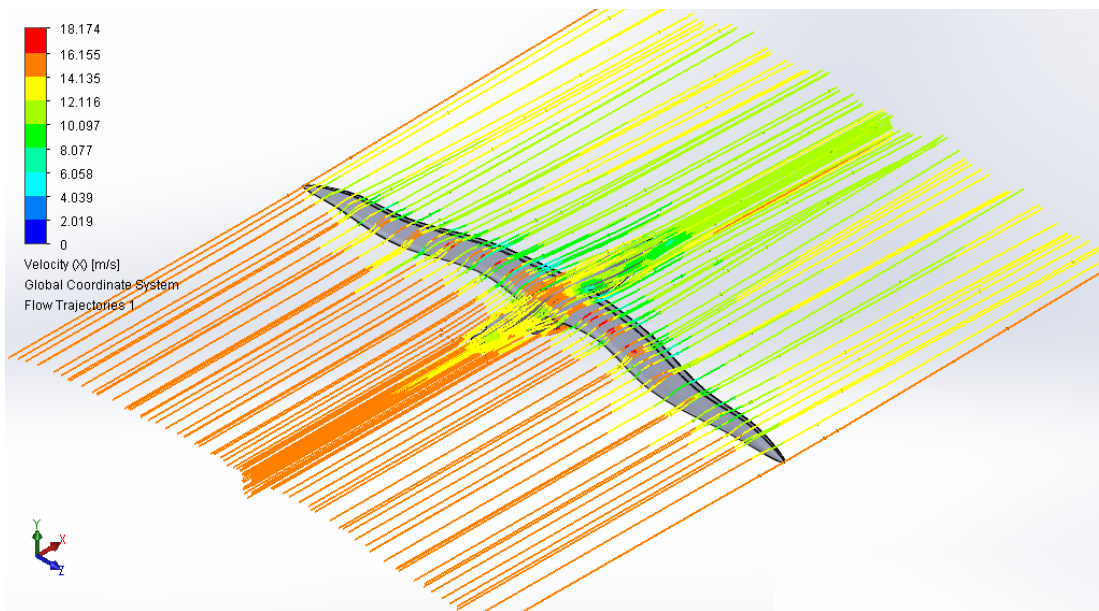
Užsparnių padėtis $AoA = 6^\circ$. $V_x = 15$ m/s



(a) Albatroso sklandmens greičio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinacių plokštumoje YZ. $AoA = 6^\circ$. $V_x = 15$ m/s



(b) Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinacių plokštumoje YZ. $AoA = 6^\circ$. $V_x = 15$ m/s



(c) Albatroso sklandmens konstrukciją aptakančio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras apribotoje skaičiuotinėje erdvėje. $AoA = 6^\circ$. $V_x = 15$ m/s

103 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptakančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Užsparnių padėtis $AoA = 6^\circ$. $V_x = 15$ m/s

48 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA = 0^\circ$, $V_x = 15$ m/s

| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|-----------------------|------|--------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Normal Force 1 | [N] | 20,397 | 20,577 | 20,225 | 20,780 | 100 | Yes | 0,196 | 0,256 |
| SG Normal Force 1 | [N] | 20,397 | 20,577 | 20,224 | 20,780 | 100 | Yes | 0,196 | 0,256 |
| GG Normal Force (X) 1 | [N] | 8,493 | 8,476 | 8,449 | 8,498 | 100 | Yes | 0,017 | 0,316 |
| SG Normal Force (X) 1 | [N] | 8,493 | 8,476 | 8,449 | 8,497 | 100 | Yes | 0,017 | 0,316 |
| GG Normal Force (Y) 1 | [N] | 18,545 | 18,750 | 18,362 | 18,974 | 100 | Yes | 0,212 | 0,295 |
| SG Normal Force (Y) 1 | [N] | 18,545 | 18,750 | 18,362 | 18,973 | 100 | Yes | 0,212 | 0,295 |
| GG Force 1 | [N] | 20,603 | 20,779 | 20,429 | 20,979 | 100 | Yes | 0,194 | 0,258 |
| GG Force (X) 1 | [N] | 8,954 | 8,930 | 8,900 | 8,957 | 100 | Yes | 0,018 | 0,324 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | 18,555 | 18,762 | 18,374 | 18,984 | 100 | Yes | 0,212 | 0,294 |

49 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA = 1^\circ$, $V_x = 15$ m/s

| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|-----------------------|------|--------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Normal Force 1 | [N] | 23,390 | 23,352 | 23,102 | 23,684 | 100 | Yes | 0,063 | 0,243 |
| GG Normal Force (X) 1 | [N] | 8,576 | 8,594 | 8,541 | 8,628 | 100 | Yes | 0,009 | 0,320 |
| GG Normal Force (Y) 1 | [N] | 21,761 | 21,713 | 21,454 | 22,065 | 100 | Yes | 0,065 | 0,309 |
| GG Force 1 | [N] | 23,570 | 23,534 | 23,279 | 23,865 | 100 | Yes | 0,063 | 0,244 |
| GG Force (X) 1 | [N] | 9,041 | 9,058 | 8,972 | 9,114 | 100 | Yes | 0,016 | 0,331 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | 21,767 | 21,720 | 21,460 | 22,072 | 100 | Yes | 0,065 | 0,309 |

50 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA = 2^\circ$, $V_x = 15$ m/s

| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|-----------------------|------|--------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Normal Force 1 | [N] | 24,538 | 24,305 | 24,011 | 24,591 | 100 | Yes | 0,235 | 0,260 |
| GG Normal Force (X) 1 | [N] | 8,584 | 8,576 | 8,552 | 8,600 | 100 | Yes | 0,010 | 0,329 |
| GG Normal Force (Y) 1 | [N] | 22,987 | 22,741 | 22,428 | 23,045 | 100 | Yes | 0,251 | 0,321 |
| GG Force 1 | [N] | 24,714 | 24,476 | 24,182 | 24,760 | 100 | Yes | 0,233 | 0,260 |
| GG Force (X) 1 | [N] | 9,052 | 9,029 | 8,995 | 9,070 | 100 | Yes | 0,010 | 0,339 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | 22,996 | 22,750 | 22,437 | 23,053 | 100 | Yes | 0,251 | 0,320 |

51 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA = 3^\circ$, $V_x = 15$ m/s

| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|-----------------------|------|--------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Normal Force 1 | [N] | 25,367 | 25,342 | 25,184 | 25,476 | 100 | Yes | 0,167 | 0,267 |
| GG Normal Force (X) 1 | [N] | 8,630 | 8,637 | 8,623 | 8,661 | 100 | Yes | 0,014 | 0,335 |
| GG Normal Force (Y) 1 | [N] | 23,854 | 23,824 | 23,661 | 23,964 | 100 | Yes | 0,183 | 0,323 |
| GG Force 1 | [N] | 25,543 | 25,508 | 25,348 | 25,640 | 100 | Yes | 0,166 | 0,268 |
| GG Force (X) 1 | [N] | 9,108 | 9,090 | 9,064 | 9,126 | 100 | Yes | 0,013 | 0,345 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | 23,864 | 23,833 | 23,670 | 23,972 | 100 | Yes | 0,183 | 0,322 |

52 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA = 4^\circ$, $V_x = 15$ m/s

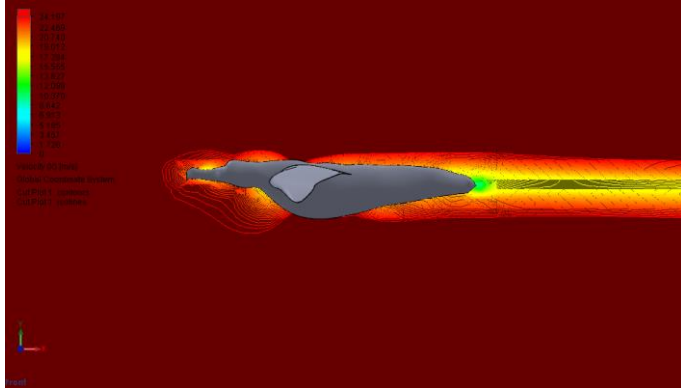
| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|-----------------------|------|--------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Normal Force 1 | [N] | 26,728 | 26,509 | 26,237 | 26,728 | 100 | Yes | 0,091 | 0,289 |
| GG Normal Force (X) 1 | [N] | 8,692 | 8,697 | 8,666 | 8,729 | 100 | Yes | 0,009 | 0,344 |
| GG Normal Force (Y) 1 | [N] | 25,275 | 25,041 | 24,746 | 25,275 | 100 | Yes | 0,096 | 0,335 |
| GG Force 1 | [N] | 26,883 | 26,666 | 26,392 | 26,883 | 100 | Yes | 0,090 | 0,291 |
| GG Force (X) 1 | [N] | 9,131 | 9,142 | 9,100 | 9,182 | 100 | Yes | 0,011 | 0,355 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | 25,285 | 25,050 | 24,754 | 25,285 | 100 | Yes | 0,096 | 0,335 |

53 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA = 5^\circ$, $V_x = 15$ m/s

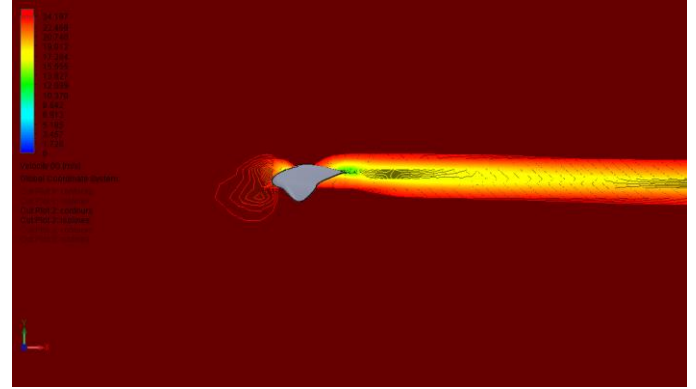
| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|-----------------------|------|--------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Normal Force 1 | [N] | 28,018 | 28,020 | 27,737 | 28,228 | 100 | Yes | 0,097 | 0,287 |
| GG Normal Force (X) 1 | [N] | 8,729 | 8,699 | 8,666 | 8,737 | 100 | Yes | 0,013 | 0,348 |
| GG Normal Force (Y) 1 | [N] | 26,624 | 26,636 | 26,345 | 26,855 | 100 | Yes | 0,099 | 0,348 |
| GG Force 1 | [N] | 28,168 | 28,172 | 27,887 | 28,378 | 100 | Yes | 0,097 | 0,289 |
| GG Force (X) 1 | [N] | 9,175 | 9,151 | 9,109 | 9,200 | 100 | Yes | 0,014 | 0,358 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | 26,632 | 26,644 | 26,354 | 26,864 | 100 | Yes | 0,098 | 0,348 |

54 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA = 6^\circ$, $V_x = 15$ m/s

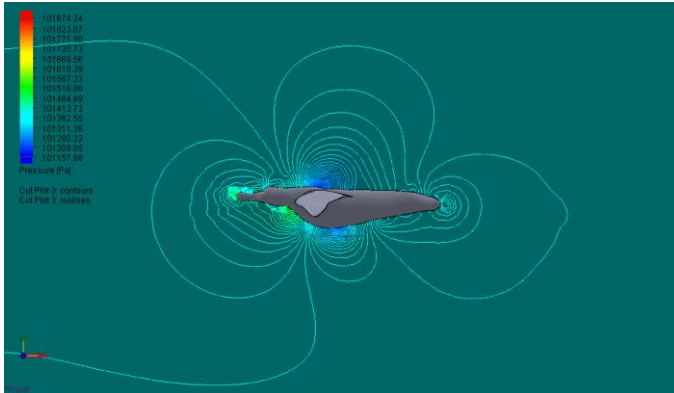
| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|-----------------------|------|--------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Normal Force 1 | [N] | 28,757 | 28,679 | 28,480 | 28,819 | 100 | Yes | 0,063 | 0,336 |
| GG Normal Force (X) 1 | [N] | 8,818 | 8,832 | 8,812 | 8,860 | 100 | Yes | 0,013 | 0,361 |
| GG Normal Force (Y) 1 | [N] | 27,371 | 27,285 | 27,073 | 27,431 | 100 | Yes | 0,063 | 0,360 |
| GG Force 1 | [N] | 28,911 | 28,834 | 28,637 | 28,975 | 100 | Yes | 0,063 | 0,337 |
| GG Force (X) 1 | [N] | 9,279 | 9,297 | 9,273 | 9,332 | 100 | Yes | 0,014 | 0,371 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | 27,381 | 27,294 | 27,083 | 27,441 | 100 | Yes | 0,063 | 0,360 |



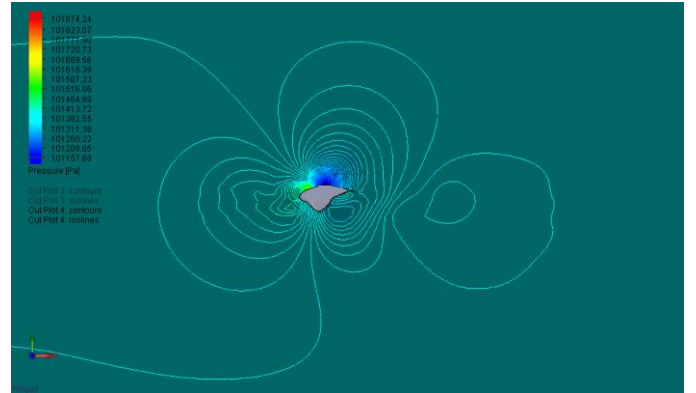
(a) Albatroso sklandmens oro srauto greičių pasiskirstymo spektras. $AoA = 0^\circ$. $V_x = 25$ m/s



(b) Albatroso sparno profilio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras pjūvio vietoje.
 $AoA = 0^\circ$. $V_x = 25$ m/s

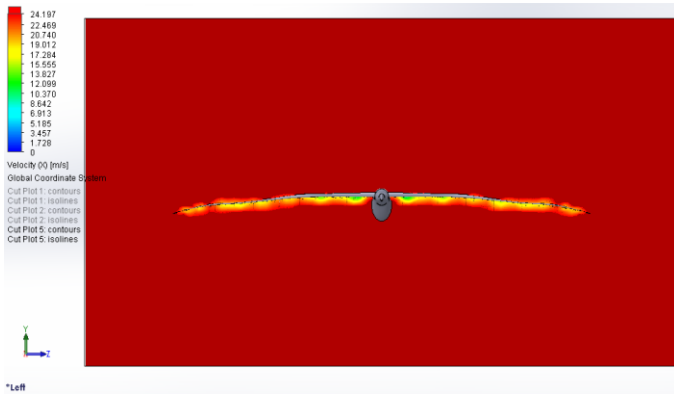


(c) Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinčių plokštumoje YX. $AoA = 0^\circ$. $V_x = 25$ m/s

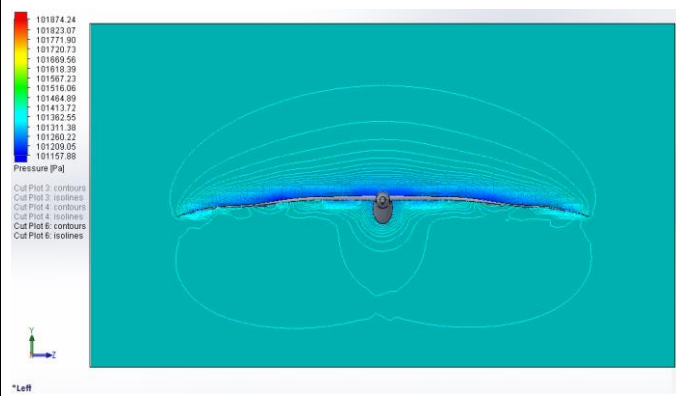


(d) Albatroso sparno profilio slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, pjūvio vietoje, koordinčių plokštumoje YX.
 $AoA = 0^\circ$. $V_x = 25$ m/s

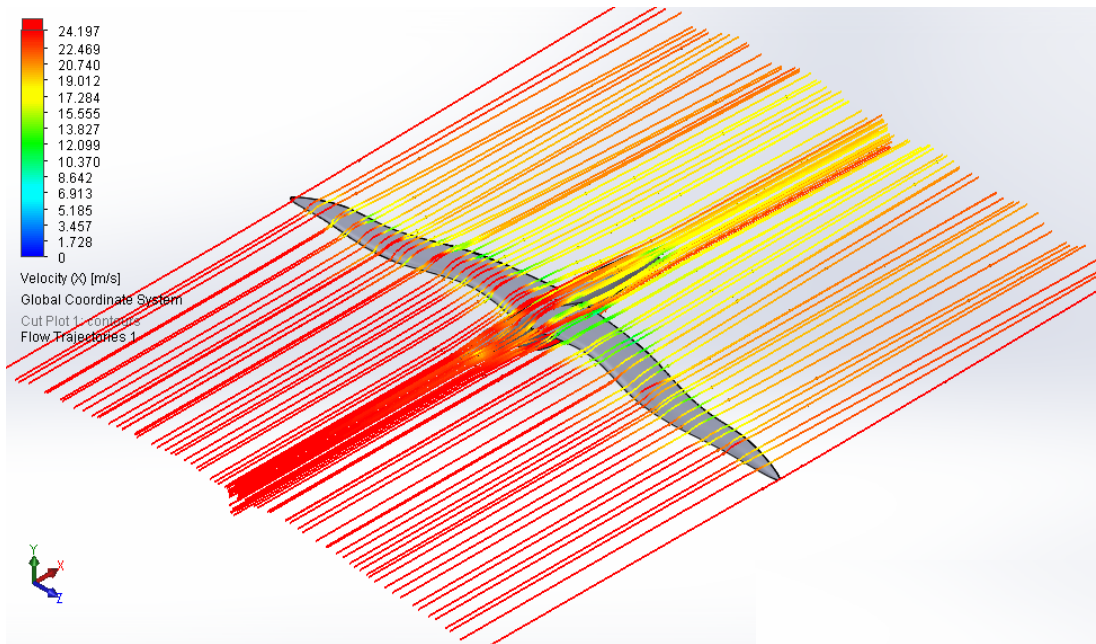
104 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekancio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Užsparnių padėtis $AoA = 0^\circ$. $V_x = 25$ m/s



(a) Albatroso sklandmens greičio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinacių plokštumoje YZ. $AoA = 0^\circ$. $V_x = 25$ m/s

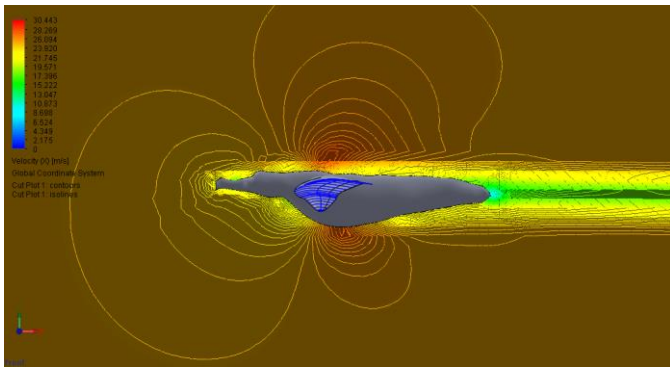


(b) Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinacių plokštumoje YZ. $AoA = 0^\circ$. $V_x = 25$ m/s

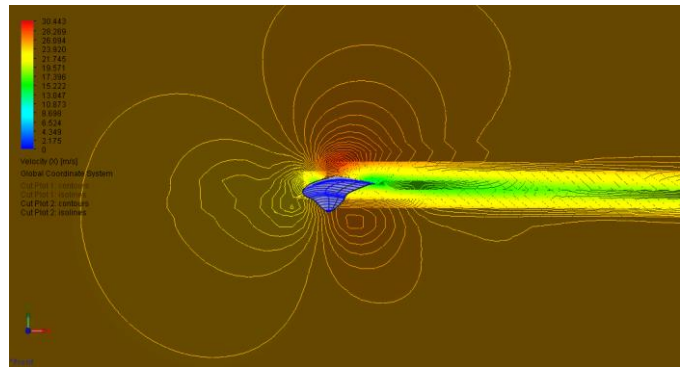


(c) Albatroso sklandmens konstrukciją aptakančio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras apribotoje skaičiuotinėje erdvėje. $AoA = 0^\circ$. $V_x = 25$ m/s

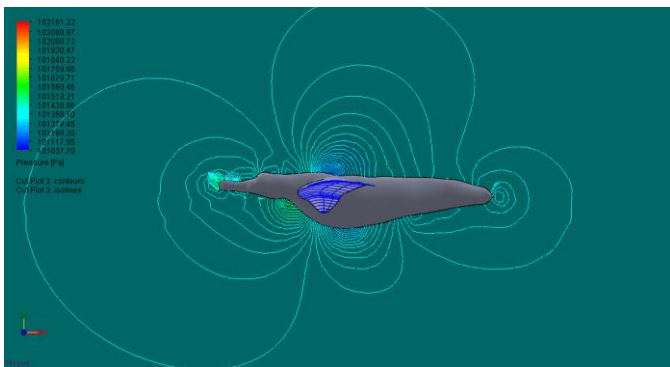
105 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptakančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Užsparnių padėtis $AoA = 0^\circ$. $V_x = 25$ m/s



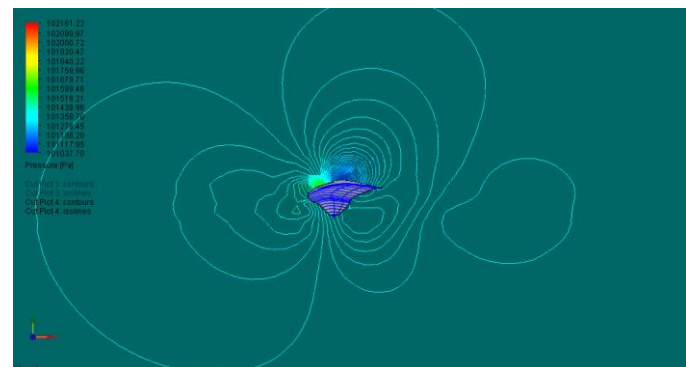
(a) Albatroso sklandmens oro srauto greičių pasiskirstymo spektras. $AoA = -1^\circ$. $V_x = 25$ m/s



(b) Albatroso sparno profilio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras pjūvio vietoje.
 $AoA = -1^\circ$. $V_x = 25$ m/s

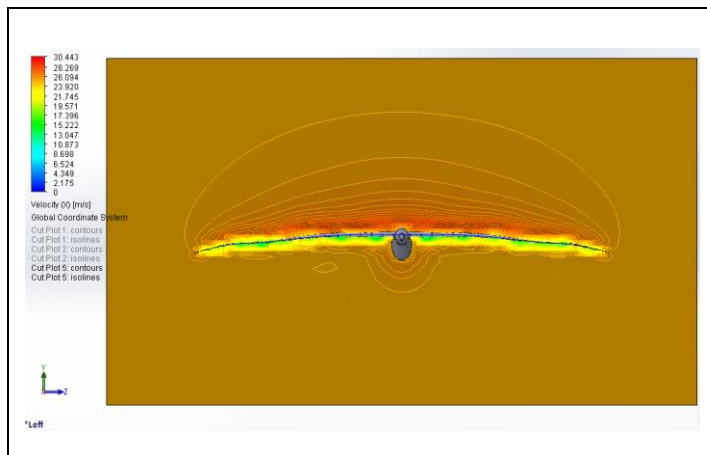


(c) Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinacių plokštumoje YX. $AoA = -1^\circ$. $V_x = 25$ m/s

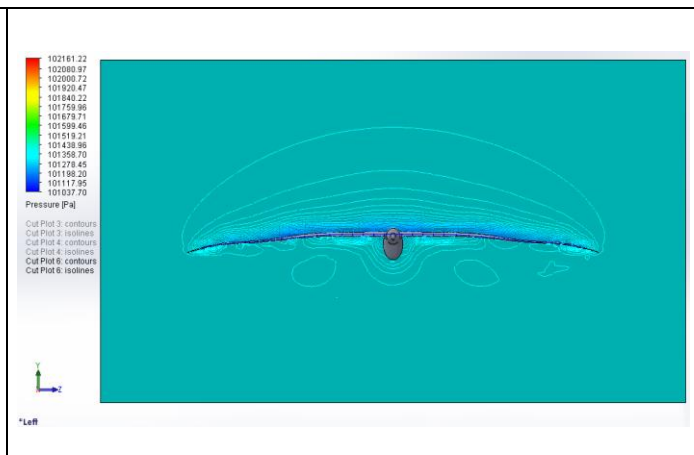


(d) Albatroso sparno profilio slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, pjūvio vietoje, koordinacių plokštumoje YX.
 $AoA = -1^\circ$. $V_x = 25$ m/s

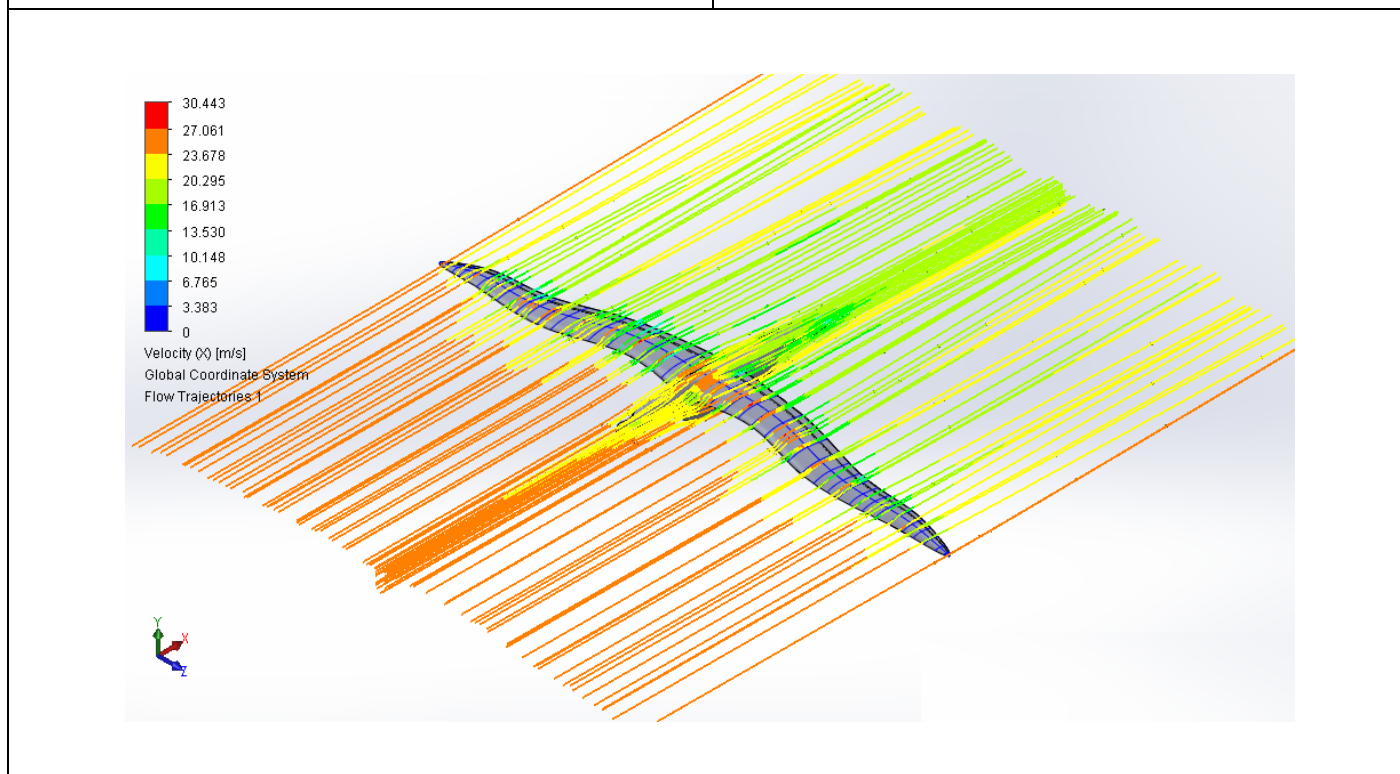
106 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Užsparnių padėtis $AoA = -1^\circ$. $V_x = 25$ m/s



(a) Albatroso sklandmens greičio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinatinių plokštumoje YZ. $AoA = -1^\circ$. $V_x = 25$ m/s

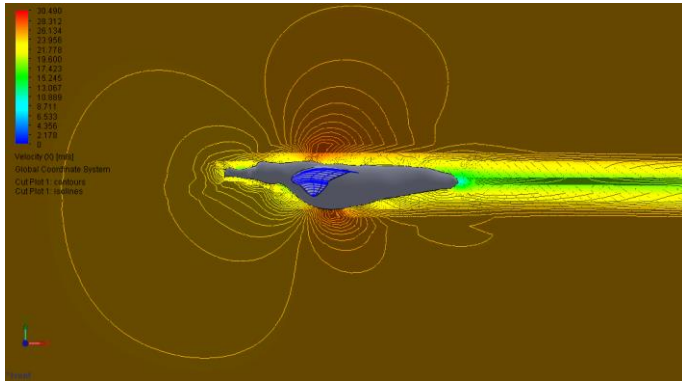


(b) Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinatinių plokštumoje YZ. $AoA = -1^\circ$. $V_x = 25$ m/s

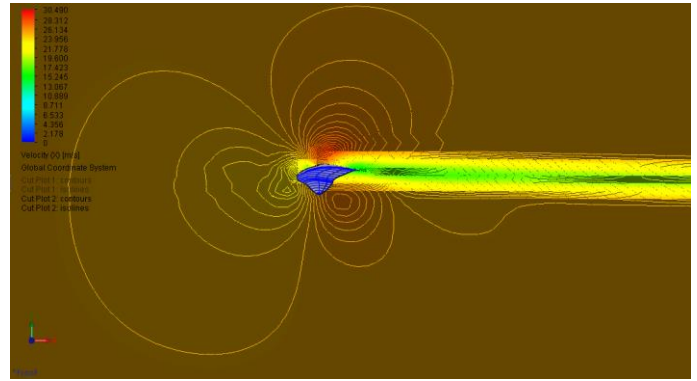


(c) Albatroso sklandmens konstrukciją aptakančio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras apribotoje skaičiuotinėje erdvėje. $AoA = -1^\circ$. $V_x = 25$ m/s

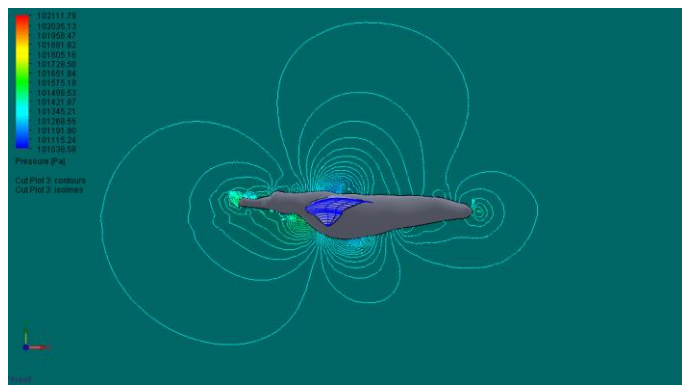
107 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptakančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Užsparnių padėtis $AoA = -1^\circ$. $V_x = 25$ m/s



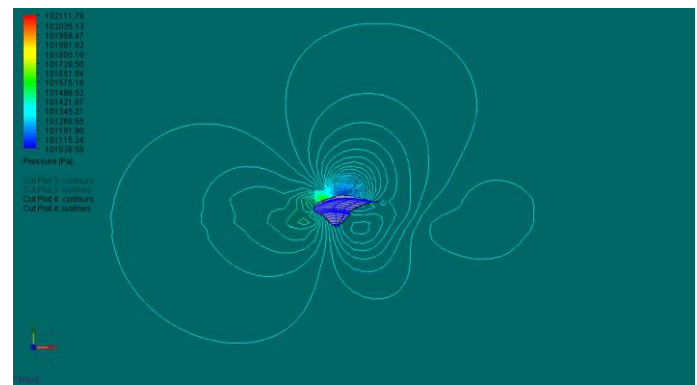
(a) Albatroso sklandmens oro srauto greičių pasiskirstymo spektras. $AoA = -2^\circ$. $V_x = 25$ m/s



(b) Albatroso sparno profilio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras pjūvio vietoje. $AoA = -2^\circ$. $V_x = 25$ m/s

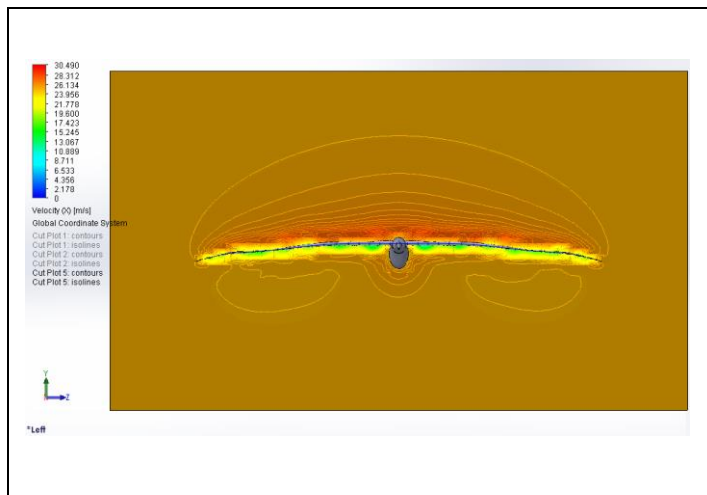


(c) Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinatinių plokštumoje YX. $AoA = -2^\circ$. $V_x = 25$ m/s

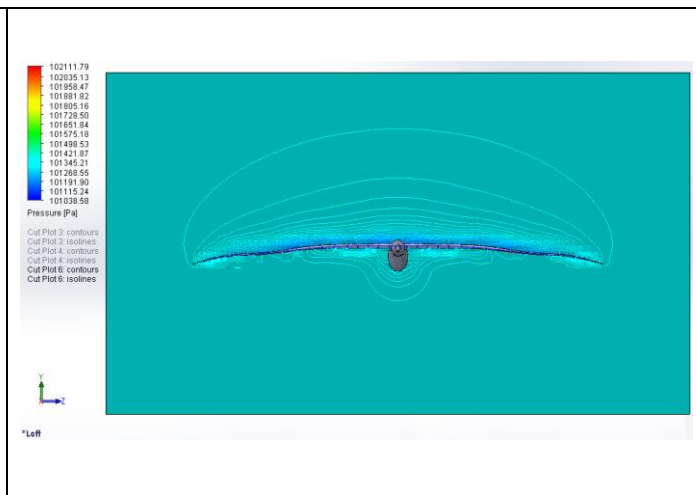


(d) Albatroso sparno profilio slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, pjūvio vietoje, koordinatinių plokštumoje YX. $AoA = -2^\circ$. $V_x = 25$ m/s

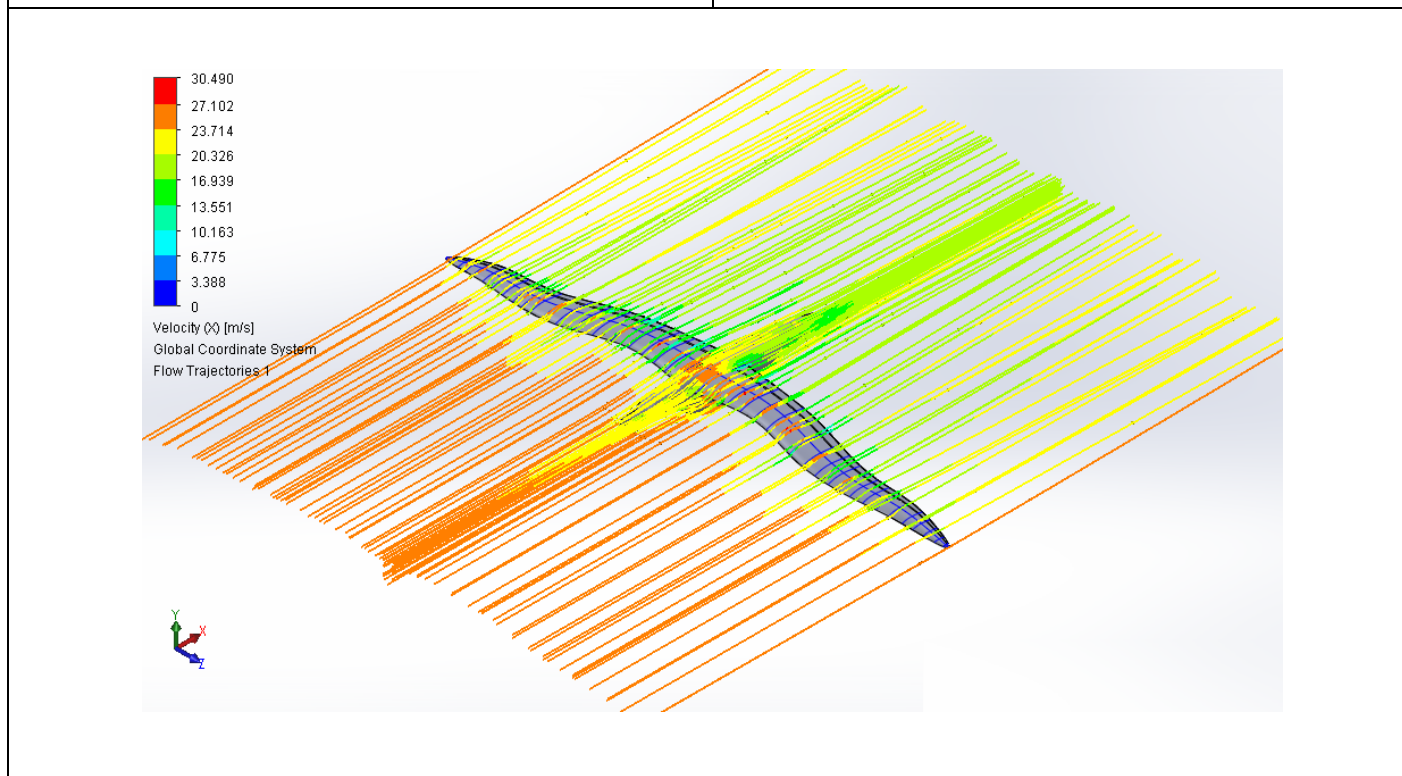
108 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Užsparnių padėtis $AoA = -2^\circ$. $V_x = 25$ m/s



(a) Albatroso sklandmens greičio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinacių plokštumoje YZ. $AoA = -2^\circ$. $V_x = 25$ m/s



(b) Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinacių plokštumoje YZ. $AoA = -2^\circ$. $V_x = 25$ m/s



(c) Albatroso sklandmens konstrukciją aptakančio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras apribotoje skaičiuotinėje erdvėje. $AoA = -2^\circ$. $V_x = 25$ m/s

109 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptakančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras.

Užsparnių padėtis $AoA = -2^\circ$. $V_x = 25$ m/s

55 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA = 0^\circ$, $V_x = 25$ m/s

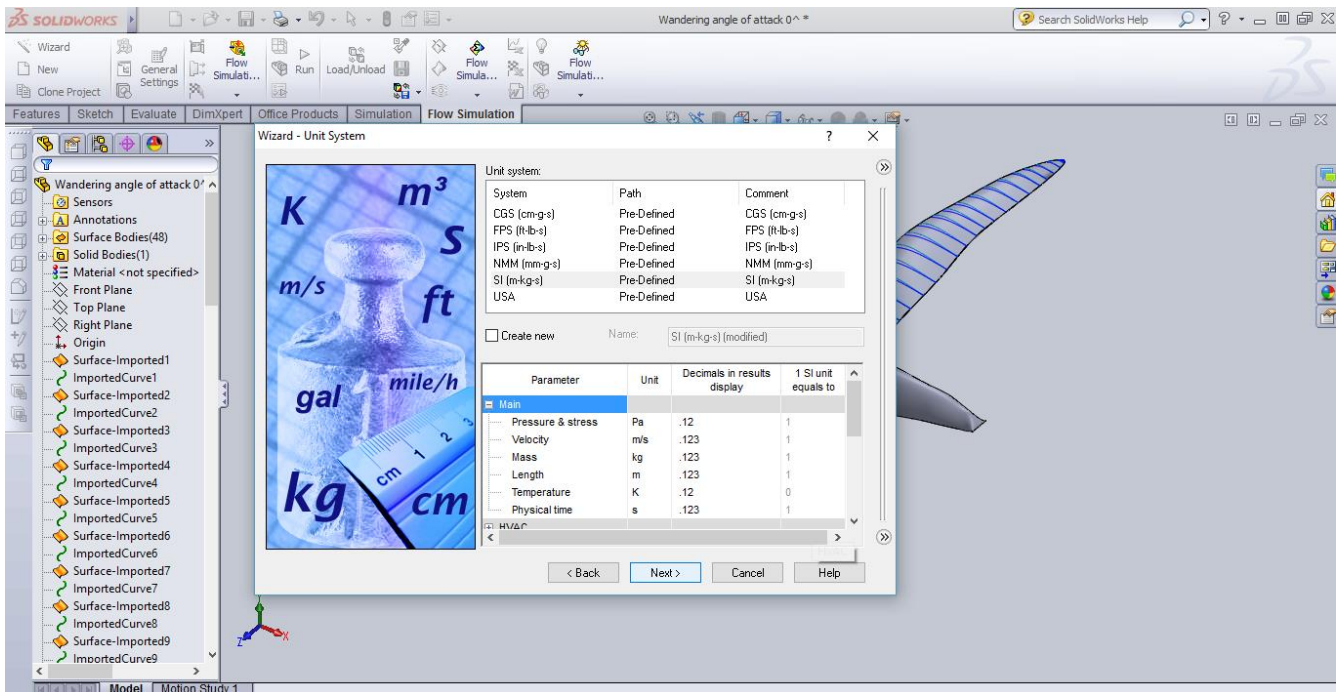
| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|-----------------------|------|--------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Normal Force 1 | [N] | 59,763 | 60,044 | 59,386 | 60,572 | 100 | Yes | 0,424 | 0,637 |
| SG Normal Force 1 | [N] | 59,763 | 60,044 | 59,386 | 60,571 | 100 | Yes | 0,424 | 0,637 |
| GG Normal Force (X) 1 | [N] | 23,679 | 23,591 | 23,499 | 23,683 | 100 | Yes | 0,051 | 0,881 |
| SG Normal Force (X) 1 | [N] | 23,679 | 23,591 | 23,498 | 23,683 | 100 | Yes | 0,051 | 0,882 |
| GG Normal Force (Y) 1 | [N] | 54,872 | 55,215 | 54,472 | 55,796 | 100 | Yes | 0,483 | 0,831 |
| SG Normal Force (Y) 1 | [N] | 54,872 | 55,215 | 54,471 | 55,796 | 100 | Yes | 0,483 | 0,831 |
| GG Force 1 | [N] | 60,260 | 60,533 | 59,883 | 61,052 | 100 | Yes | 0,418 | 0,642 |
| GG Force (X) 1 | [N] | 24,879 | 24,777 | 24,678 | 24,883 | 100 | Yes | 0,055 | 0,904 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | 54,885 | 55,230 | 54,483 | 55,811 | 100 | Yes | 0,483 | 0,830 |

56 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA = -1^\circ$, $V_x = 25$ m/s

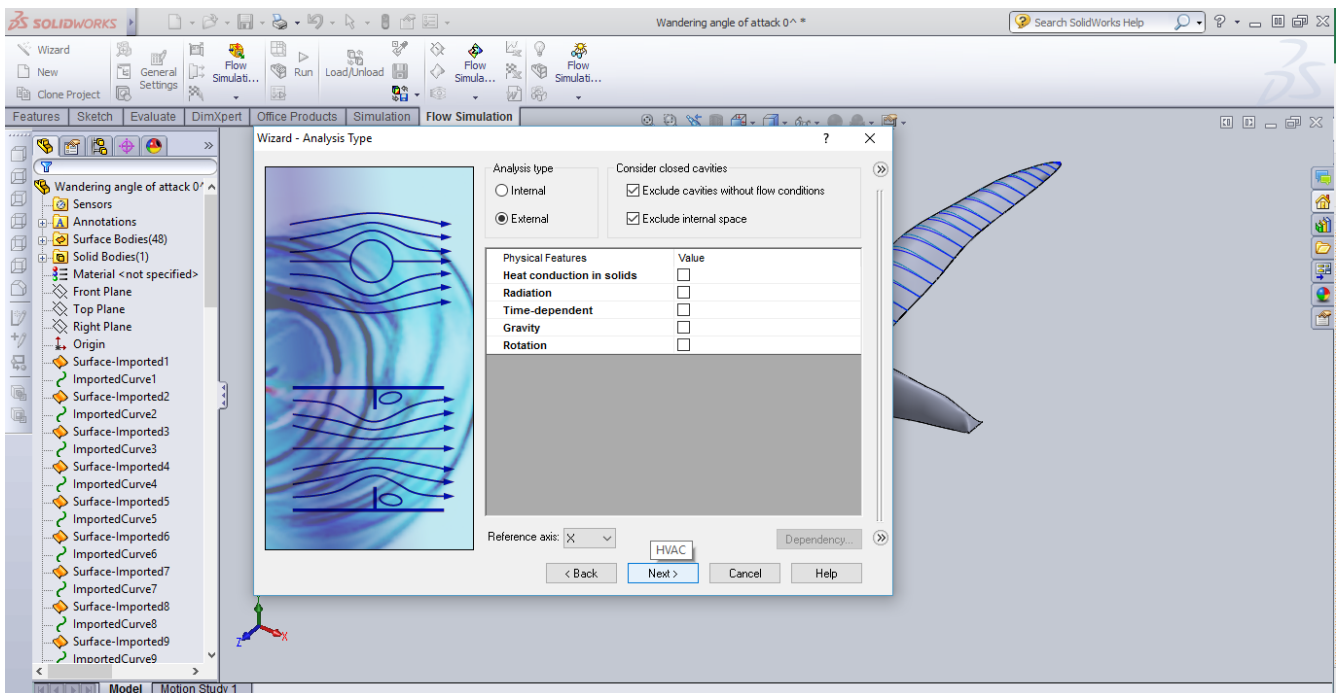
| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|-----------------------|------|--------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Normal Force 1 | [N] | 58,926 | 59,262 | 58,628 | 59,846 | 100 | Yes | 0,087 | 0,578 |
| GG Normal Force (X) 1 | [N] | 23,611 | 23,527 | 23,451 | 23,619 | 100 | Yes | 0,020 | 0,878 |
| GG Normal Force (Y) 1 | [N] | 53,989 | 54,391 | 53,677 | 55,038 | 100 | Yes | 0,092 | 0,855 |
| GG Force 1 | [N] | 59,434 | 59,770 | 59,157 | 60,339 | 100 | Yes | 0,082 | 0,578 |
| GG Force (X) 1 | [N] | 24,820 | 24,752 | 24,658 | 24,843 | 100 | Yes | 0,025 | 0,904 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | 54,003 | 54,404 | 53,688 | 55,053 | 100 | Yes | 0,092 | 0,854 |

57 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA = -2^\circ$, $V_x = 25$ m/s

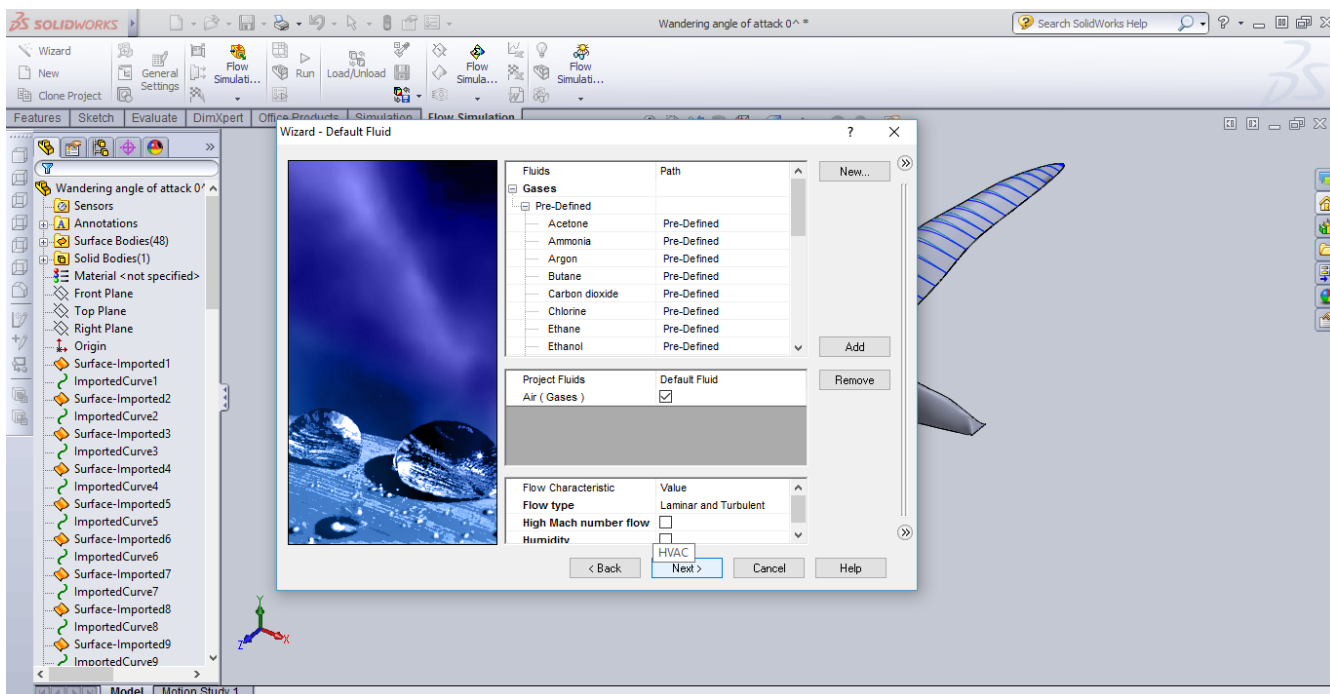
| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|-----------------------|------|--------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Normal Force 1 | [N] | 58,505 | 57,988 | 57,396 | 58,505 | 100 | Yes | 0,148 | 0,484 |
| GG Normal Force (X) 1 | [N] | 23,577 | 23,573 | 23,487 | 23,677 | 100 | Yes | 0,068 | 0,851 |
| GG Normal Force (Y) 1 | [N] | 53,544 | 52,981 | 52,317 | 53,544 | 100 | Yes | 0,147 | 0,859 |
| GG Force 1 | [N] | 59,027 | 58,501 | 57,910 | 59,027 | 100 | Yes | 0,145 | 0,486 |
| GG Force (X) 1 | [N] | 24,823 | 24,780 | 24,687 | 24,905 | 100 | Yes | 0,068 | 0,877 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | 53,554 | 52,993 | 52,327 | 53,554 | 100 | Yes | 0,146 | 0,858 |



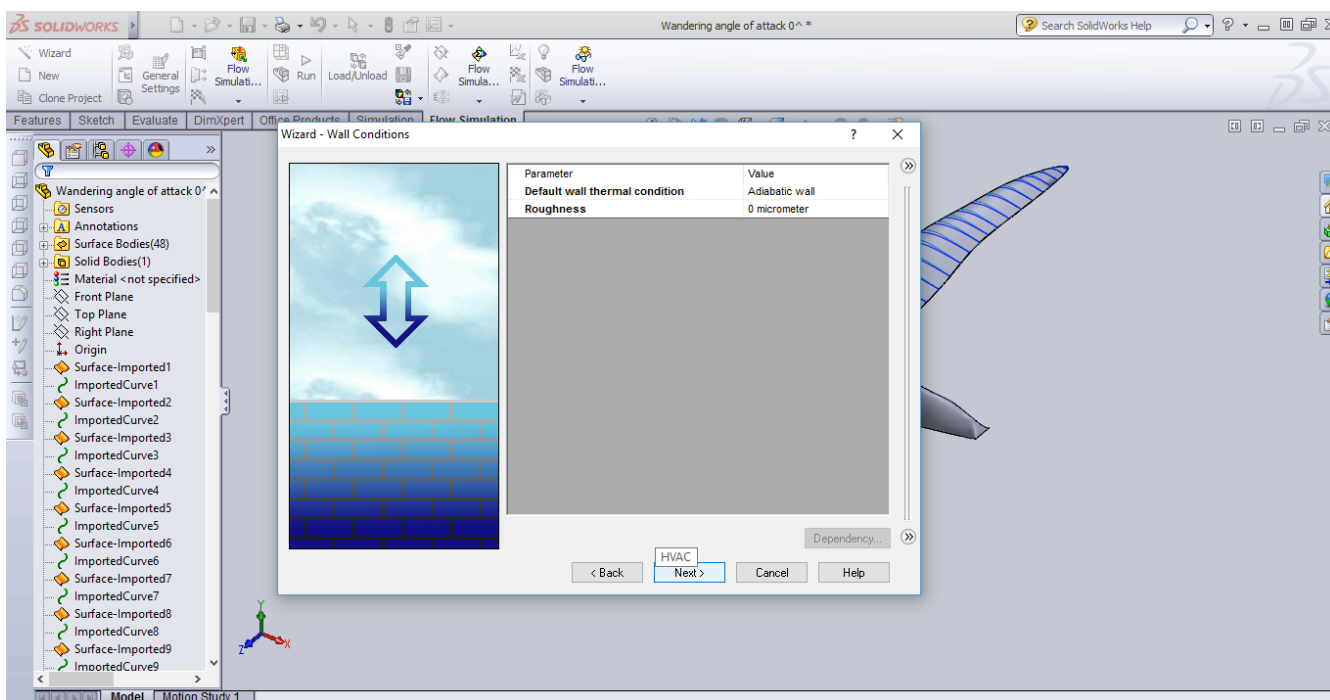
110 pav. Albatroso 3D modelio aerodinaminių tyrimų duomenų įvestis programoje SolidWorks



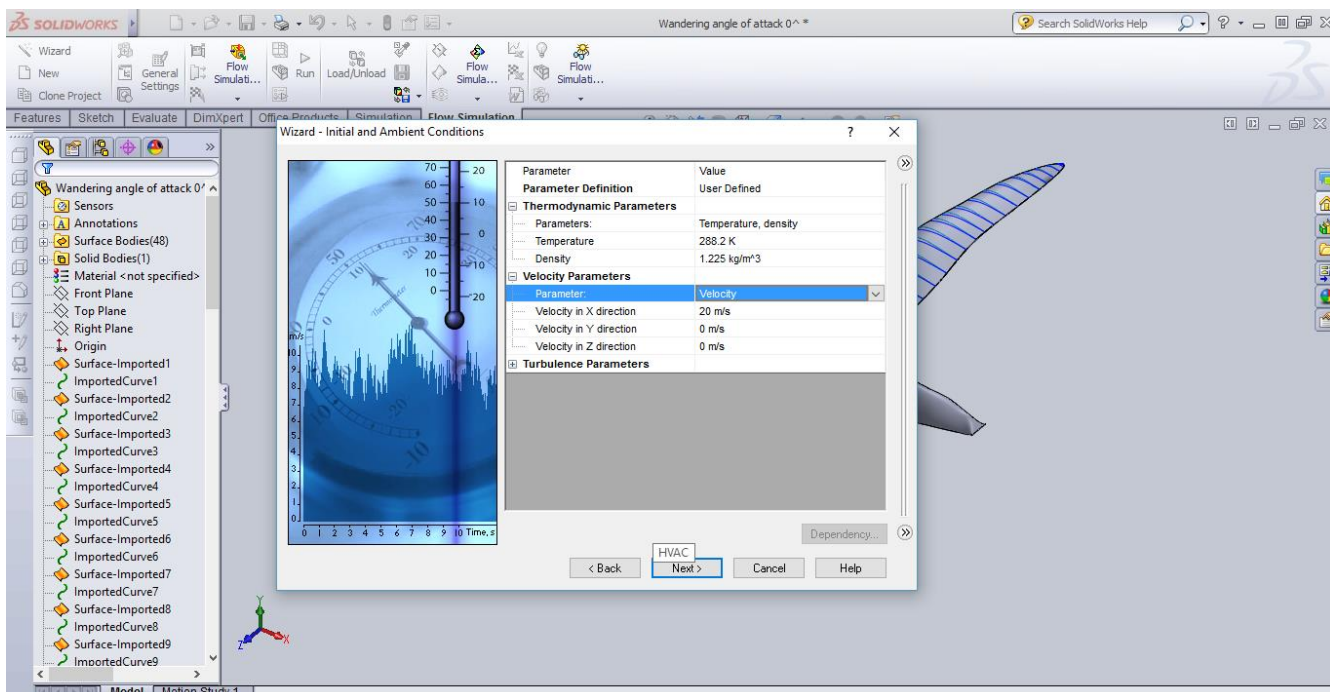
111 pav. Albatroso 3D modelio aerodinaminių tyrimų duomenų įvestis programoje SolidWorks



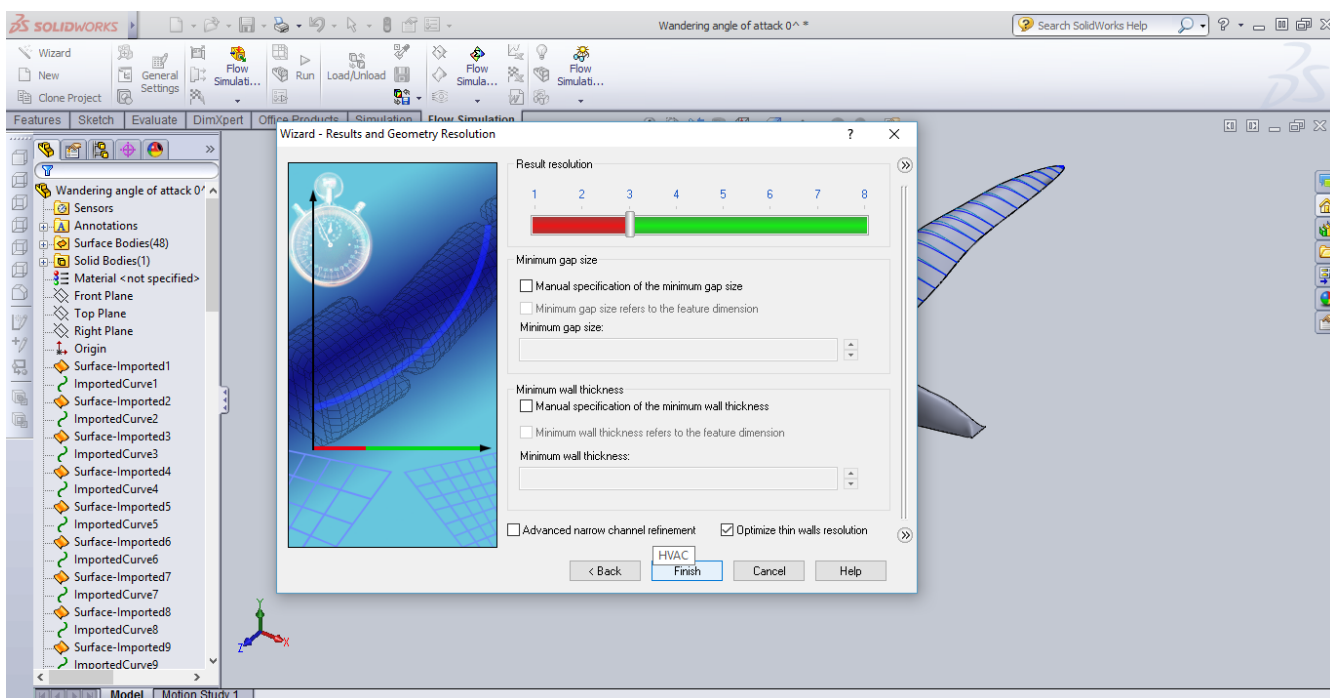
112 pav. Albatroso 3D modelio aerodinaminių tyrimų duomenų įvestis programoje SolidWorks



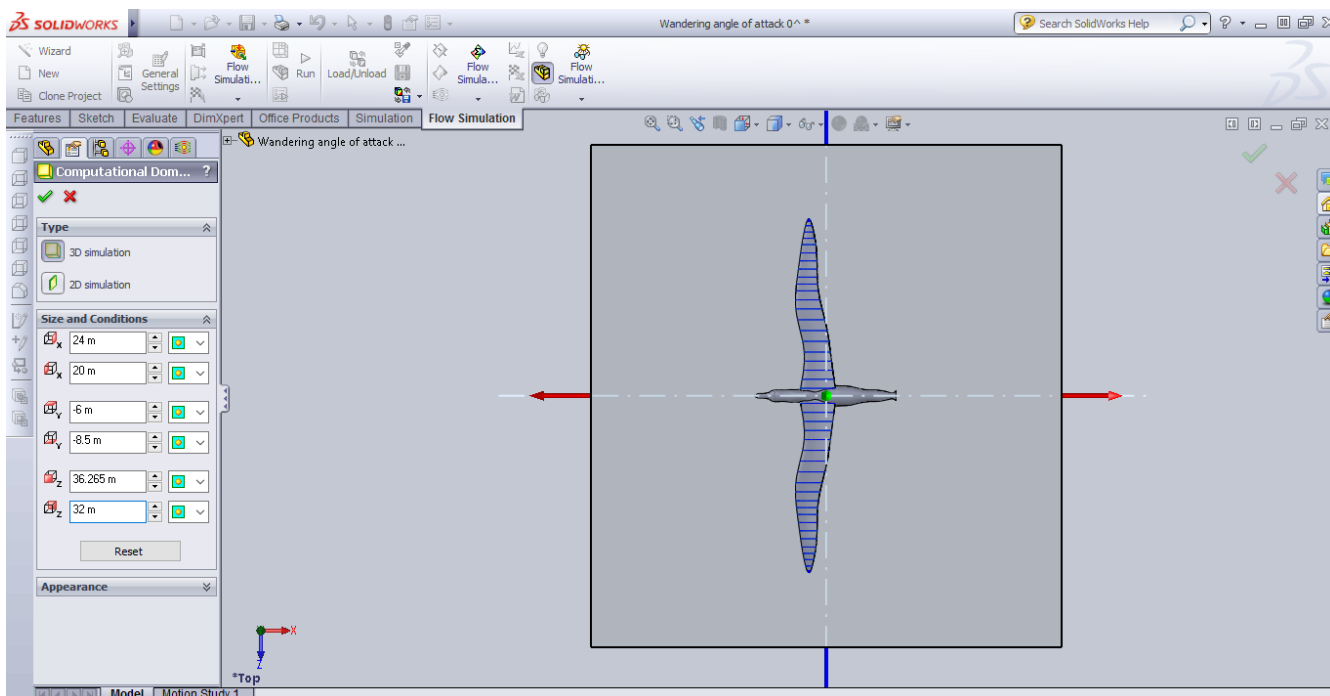
113 pav. Albatroso 3D modelio aerodinaminių tyrimų duomenų įvestis programoje SolidWorks



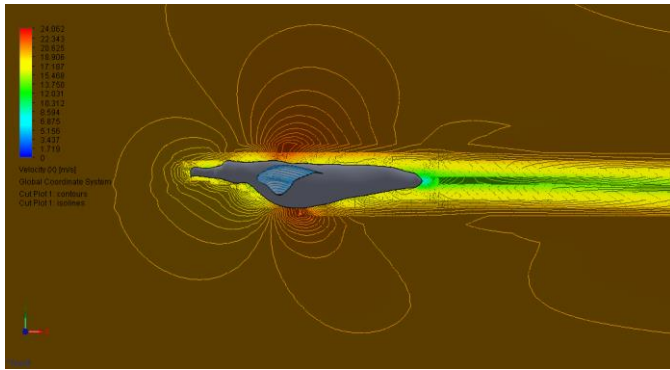
114 pav. Albatroso 3D modelio aerodinaminių tyrimų duomenų įvestis programoje SolidWorks



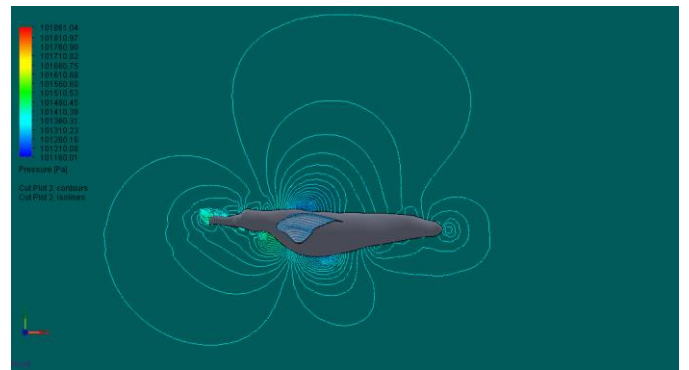
115 pav. Albatroso 3D modelio aerodinaminių tyrimų duomenų įvestis programoje SolidWorks



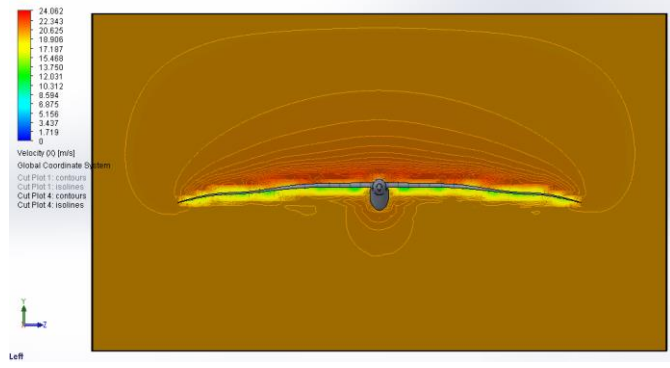
116 pav. Albatroso 3D modelio aerodinaminių tyrimų duomenų įvestis programoje SolidWorks



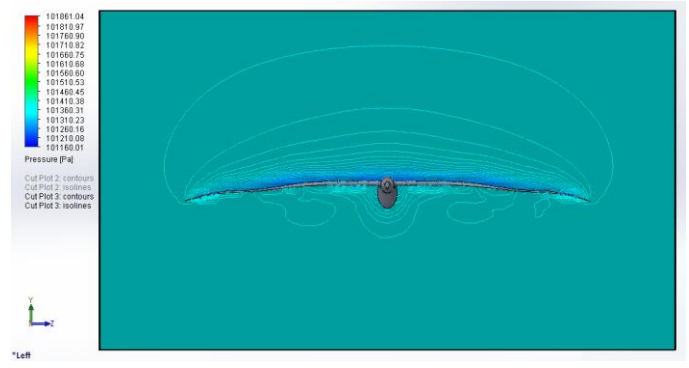
(a) Albatroso sklandmens oro srauto greičių pasiskirstymo spektras. $AoA = 1^\circ$. $V_x = 20$ m/s



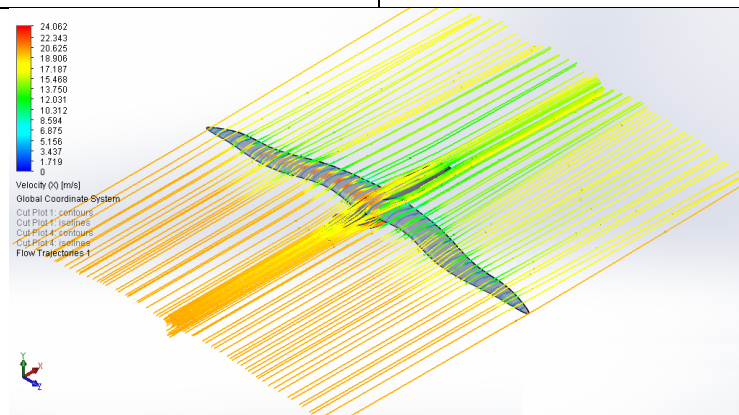
(b) Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras. $AoA = 1^\circ$. $V_x = 20$ m/s



(c) Albatroso sklandmens greičio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinatų plokštumoje YZ. $AoA = 1^\circ$. $V_x = 20$ m/s



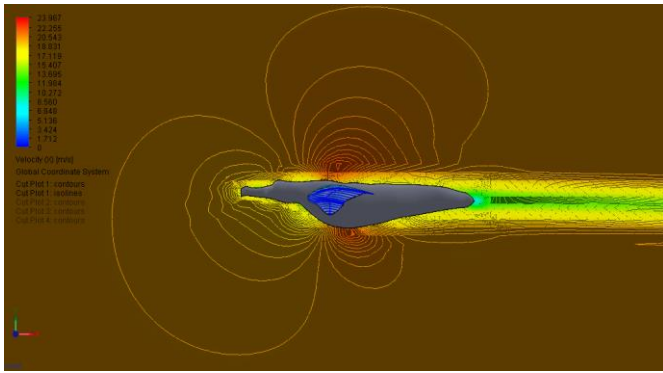
(d) Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinatų plokštumoje YZ. $AoA = 1^\circ$. $V_x = 20$ m/s



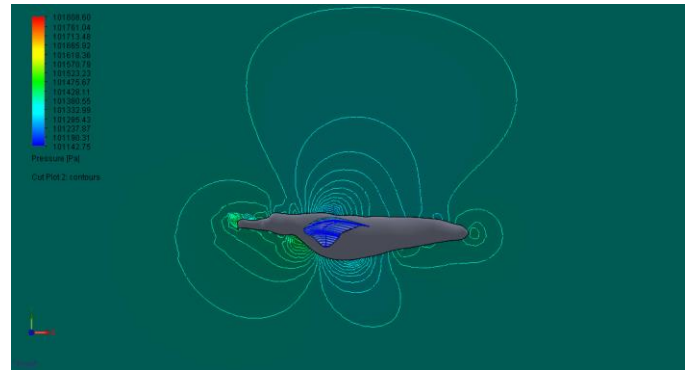
(e) Albatroso sklandmens konstrukciją aptakančio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras apribotoje skaičiuotinėje erdvėje. $AoA = 1^\circ$. $V_x = 20$ m/s

117 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptakančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras.

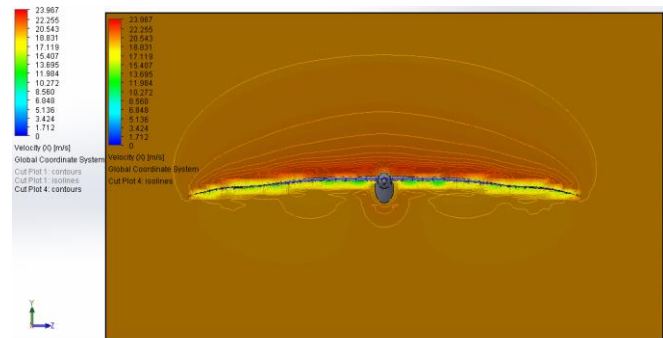
Sparno profilio atakos kampas $AoA = 1^\circ$. $V_x = 20$ m/s



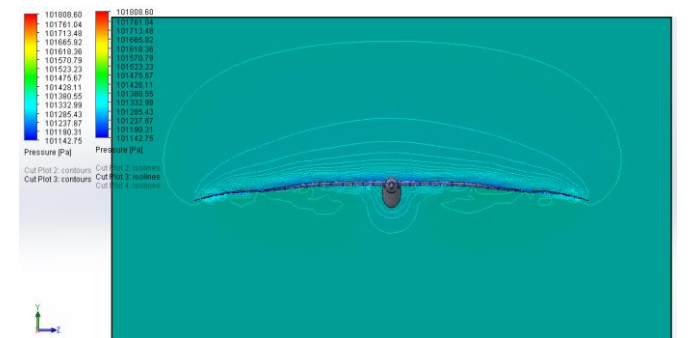
(a) Albatroso sklandmens oro srauto greičių pasiskirstymo spektras. $AoA = 2^\circ$. $V_x = 20$ m/s



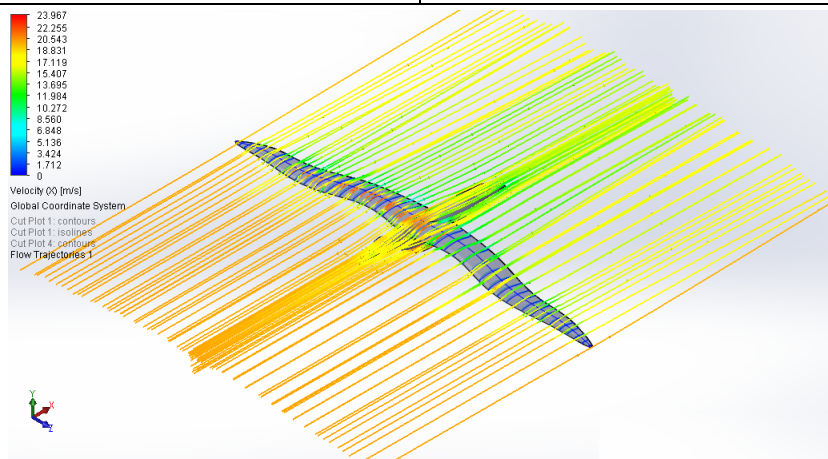
(b) Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras. $AoA = 2^\circ$. $V_x = 20$ m/s



(c) Albatroso sklandmens greičio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinacių plokštumoje YZ. $AoA = 2^\circ$. $V_x = 20$ m/s



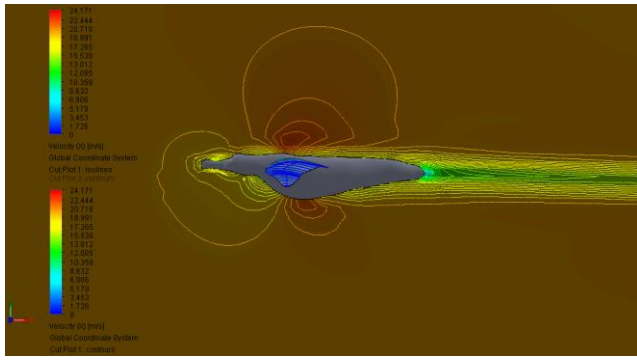
(d) Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinacių plokštumoje YZ. $AoA = 2^\circ$. $V_x = 20$ m/s



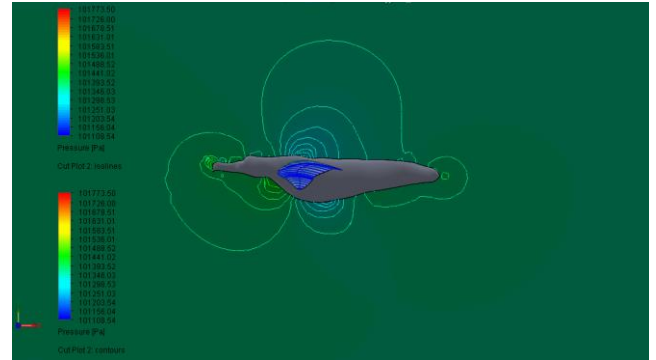
(e) Albatroso sklandmens konstrukciją aptakančio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras apribotoje skaičiuotinėje erdvėje. $AoA = 2^\circ$. $V_x = 20$ m/s

118 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptakančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras.

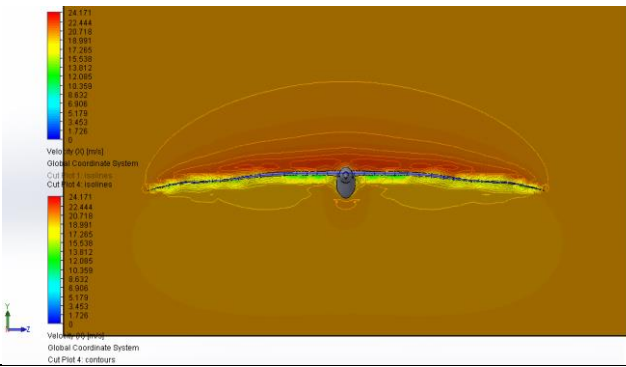
Sparno profilio atakos kampas $AoA = 2^\circ$. $V_x = 20$ m/s



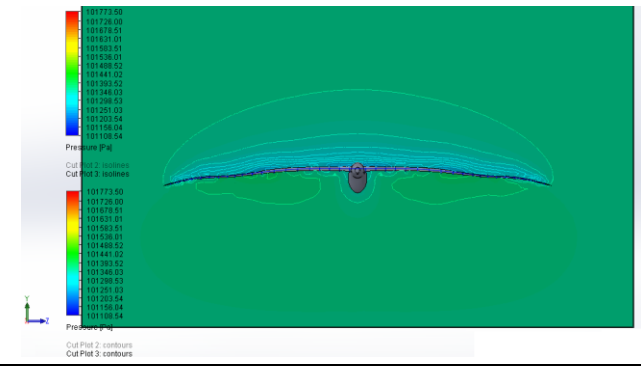
(a) Albatroso sklandmens oro srauto greičių pasiskirstymo spektras. $AoA = 3^\circ$. $V_x = 20$ m/s



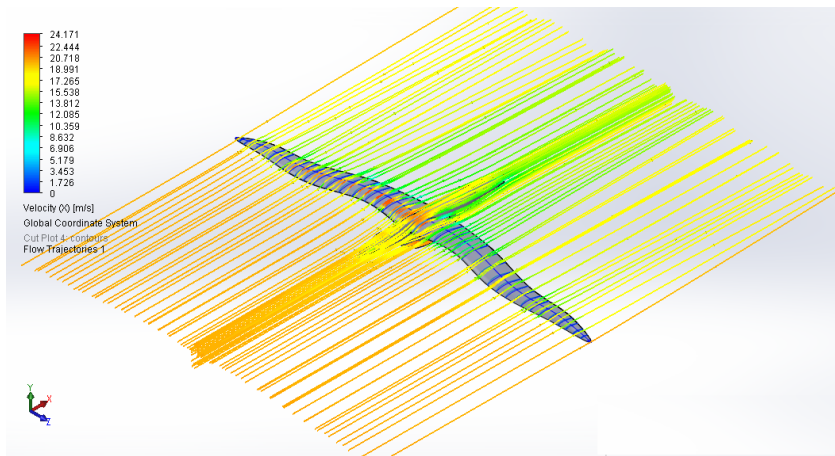
(b) Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras. $AoA = 3^\circ$. $V_x = 20$ m/s



(c) Albatroso sklandmens greičio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinatinių plokštumoje YZ. $AoA = 3^\circ$. $V_x = 20$ m/s



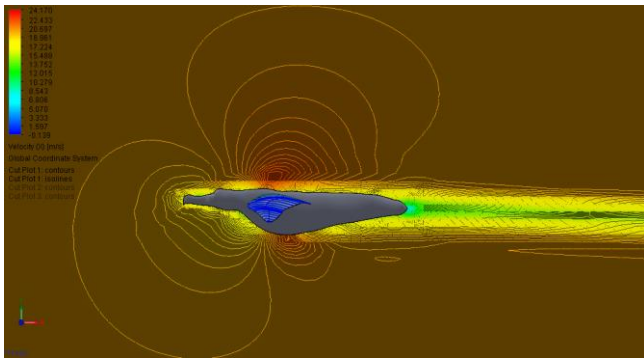
(d) Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinatinių plokštumoje YZ. $AoA = 3^\circ$. $V_x = 20$ m/s



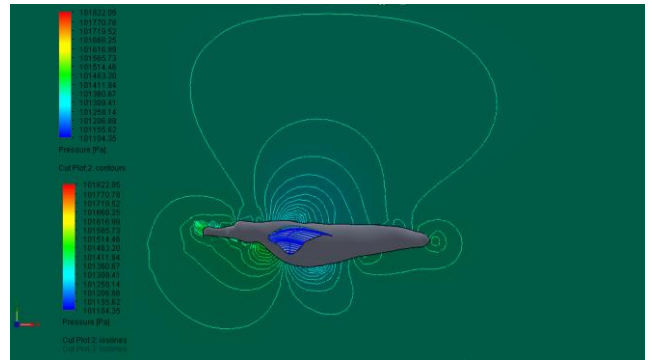
(e) Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras apribotoje skaičiuotinėje erdvėje. $AoA = 3^\circ$. $V_x = 20$ m/s

119 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras.

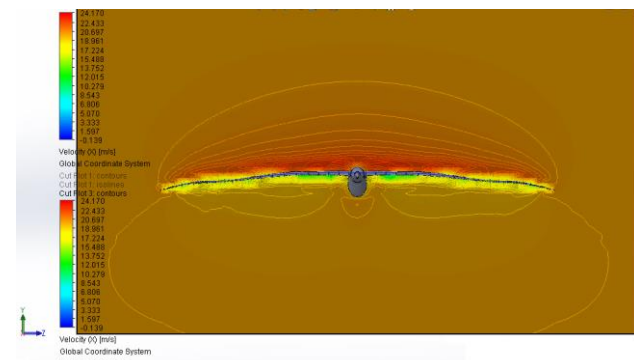
Sparno profilio atakos kampas $AoA = 3^\circ$. $V_x = 20$ m/s



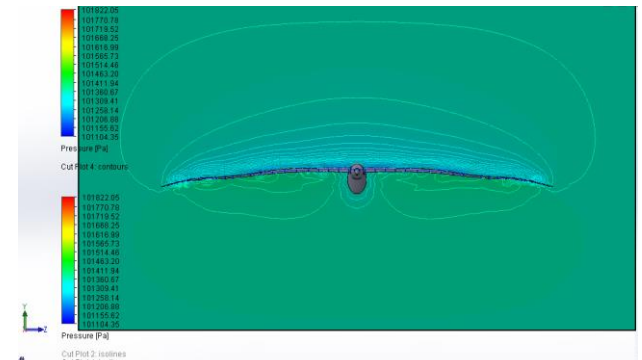
(a) Albatroso sklandmens oro srauto greičių pasiskirstymo spektras. $AoA = 4^\circ$. $V_x = 20$ m/s



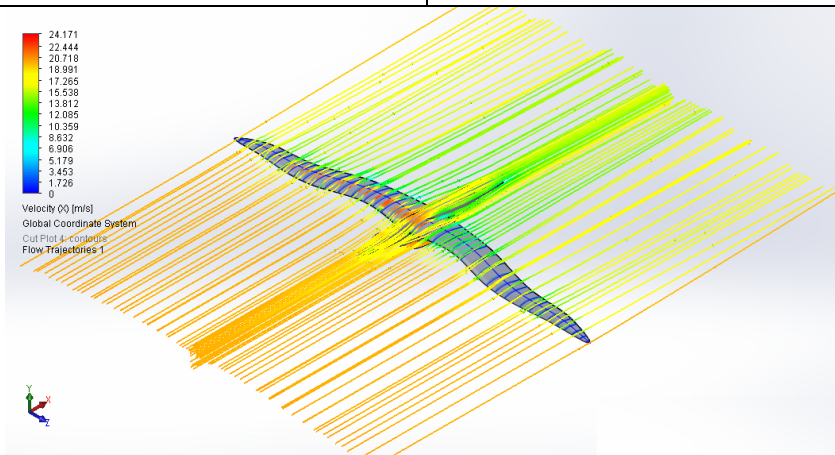
(b) Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras. $AoA = 4^\circ$. $V_x = 20$ m/s



(c) Albatroso sklandmens greičio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinacių plokštumoje YZ. $AoA = 4^\circ$. $V_x = 20$ m/s



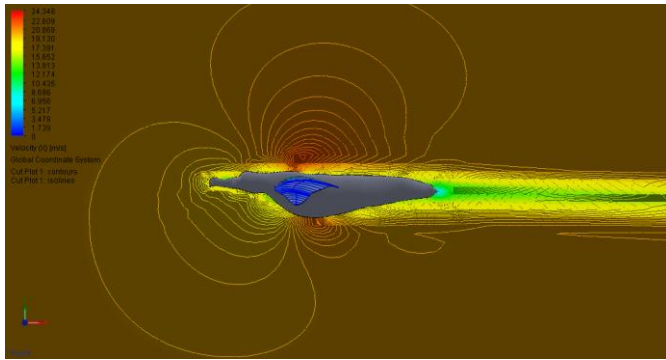
(d) Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinacių plokštumoje YZ. $AoA = 4^\circ$. $V_x = 20$ m/s



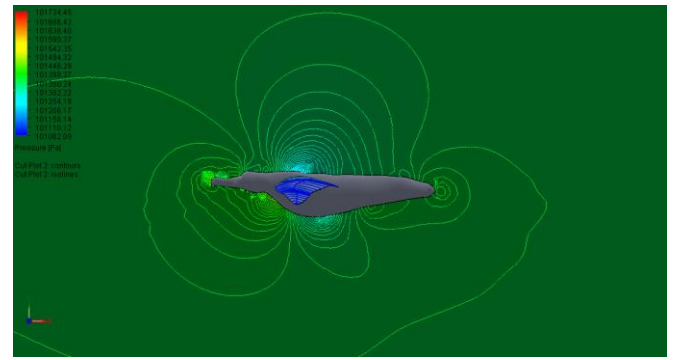
(e) Albatroso sklandmens konstrukciją aptakančio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras apribotoje skaičiuotinėje erdvėje. $AoA = 4^\circ$. $V_x = 20$ m/s

120 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptakančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras.

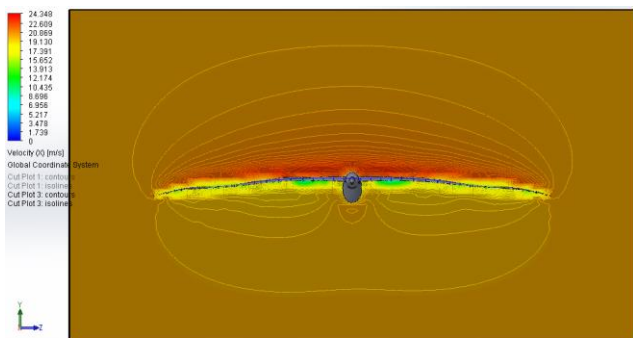
Sparno profilio atakos kampas $AoA = 4^\circ$. $V_x = 20$ m/s



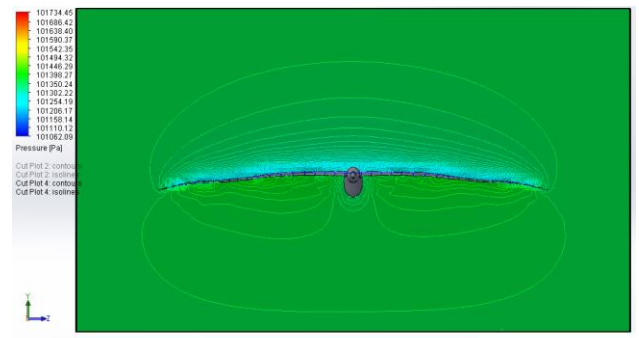
(a) Albatroso sklandmens oro srauto greičių pasiskirstymo spektras. $AoA = 5^\circ$. $V_x = 20$ m/s



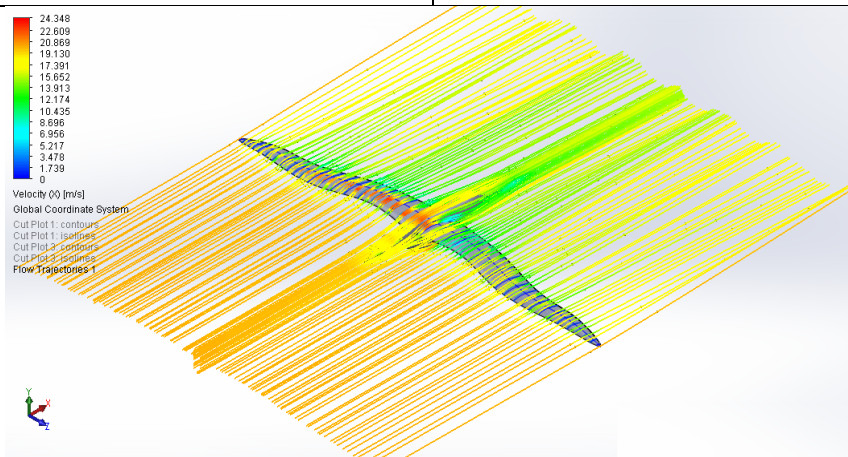
(b) Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras. $AoA = 5^\circ$. $V_x = 20$ m/s



(c) Albatroso sklandmens greičio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinacių plokštumoje YZ. $AoA = 5^\circ$. $V_x = 20$ m/s



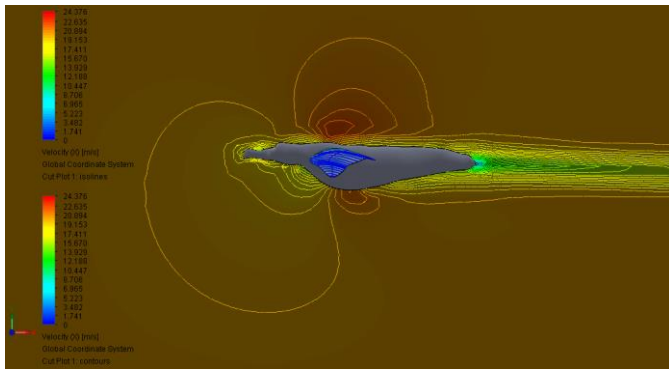
(d) Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinacių plokštumoje YZ. $AoA = 5^\circ$. $V_x = 20$ m/s



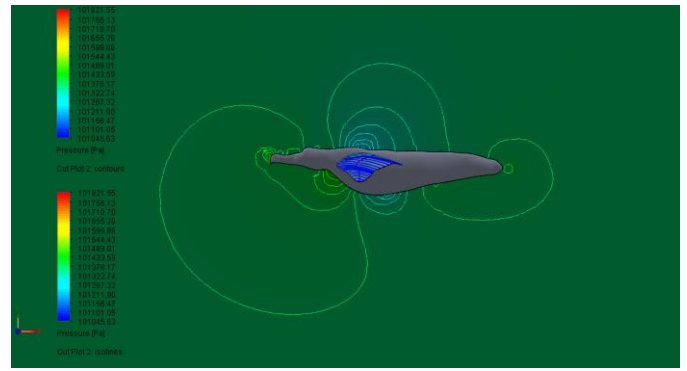
(e) Albatroso sklandmens konstrukciją aptakančio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras apribotoje skaičiuotinėje erdvėje. $AoA = 5^\circ$. $V_x = 20$ m/s

121 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptakančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras.

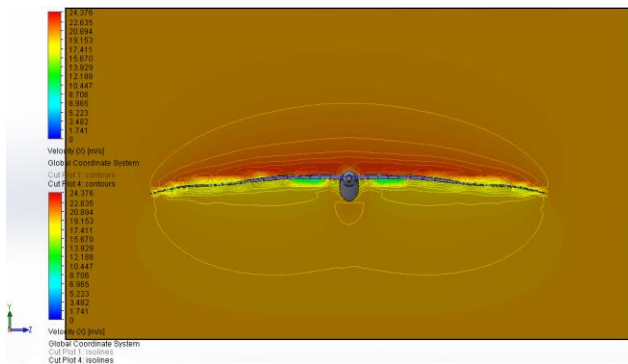
Sparno profilio atakos kampas $AoA = 5^\circ$. $V_x = 20$ m/s



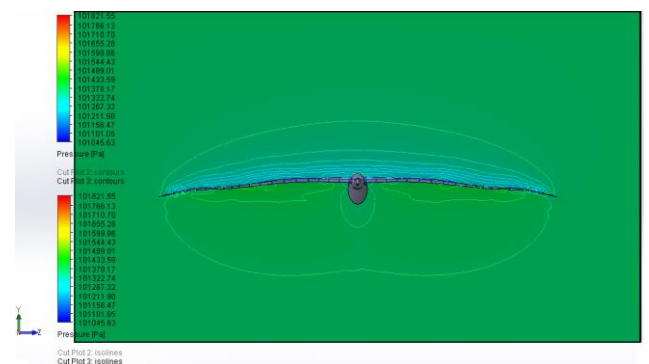
(a) Albatroso sklandmens oro srauto greičių pasiskirstymo spektras. $AoA = 6^\circ$. $V_x = 20$ m/s



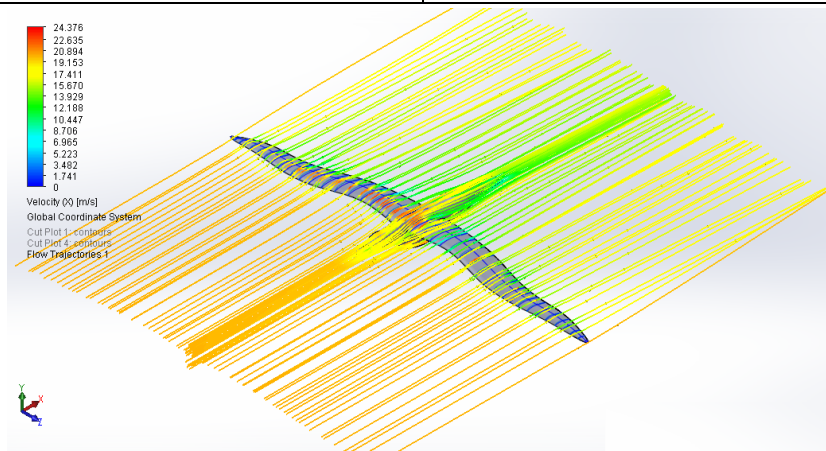
(b) Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras. $AoA = 6^\circ$. $V_x = 20$ m/s



(c) Albatroso sklandmens greičio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinatų plokštumoje YZ. $AoA = 6^\circ$. $V_x = 20$ m/s



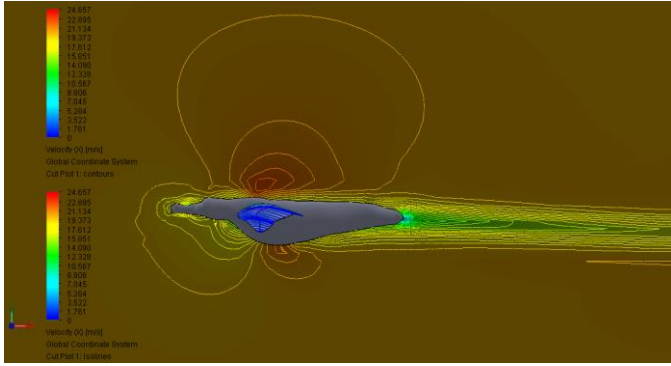
(d) Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinatų plokštumoje YZ. $AoA = 6^\circ$. $V_x = 20$ m/s



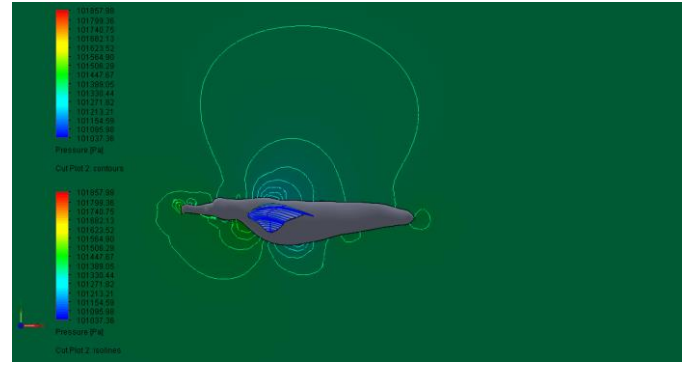
(e) Albatroso sklandmens konstrukciją aptekancio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras apribotoje skaičiuotinėje erdvėje. $AoA = 6^\circ$. $V_x = 20$ m/s

122 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekancio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras.

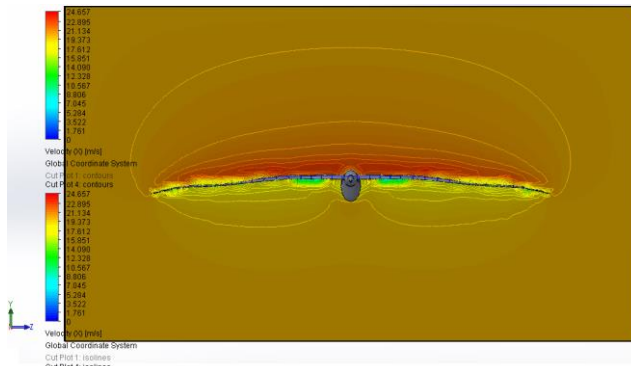
Sparno profilio atakos kampas $AoA = 6^\circ$. $V_x = 20$ m/s



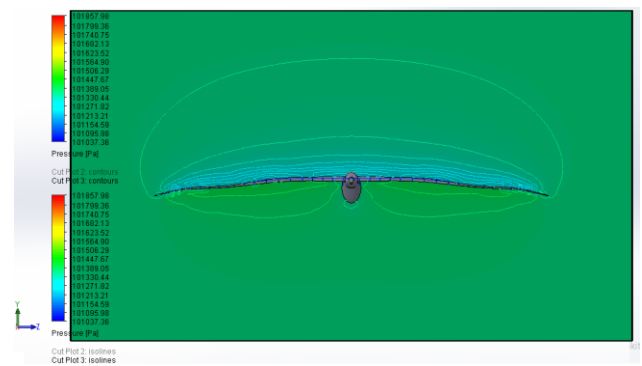
(a) Albatroso sklandmens oro srauto greičių pasiskirstymo spektras. $AoA = 7^\circ$. $V_x = 20$ m/s



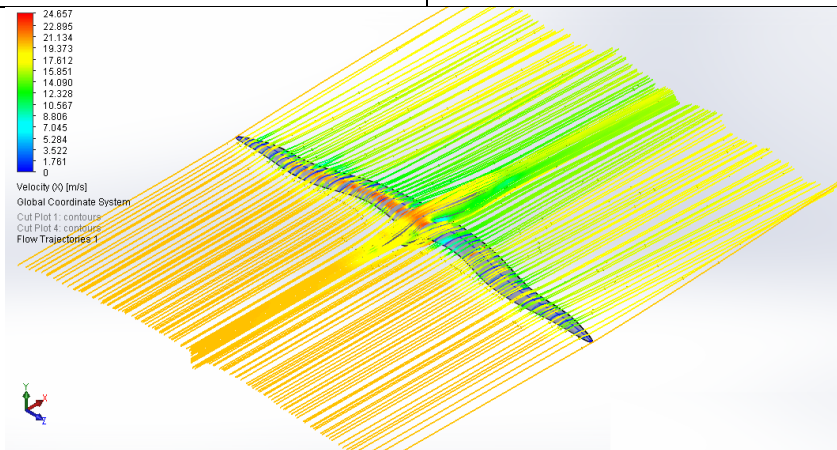
(b) Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras. $AoA = 7^\circ$. $V_x = 20$ m/s



(c) Albatroso sklandmens greičio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinatų plokštumoje YZ. $AoA = 7^\circ$. $V_x = 20$ m/s



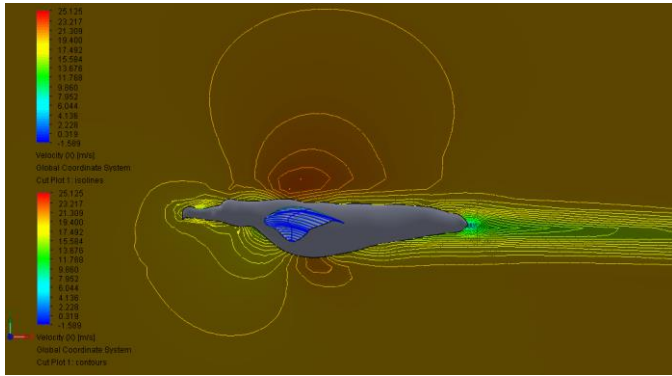
(d) Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinatų plokštumoje YZ. $AoA = 7^\circ$. $V_x = 20$ m/s



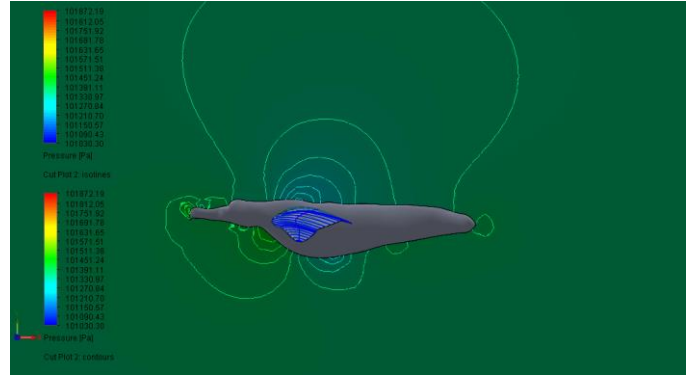
(e) Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras apribotoje skaičiuotinėje erdvėje. $AoA = 7^\circ$. $V_x = 20$ m/s

123 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekančio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras.

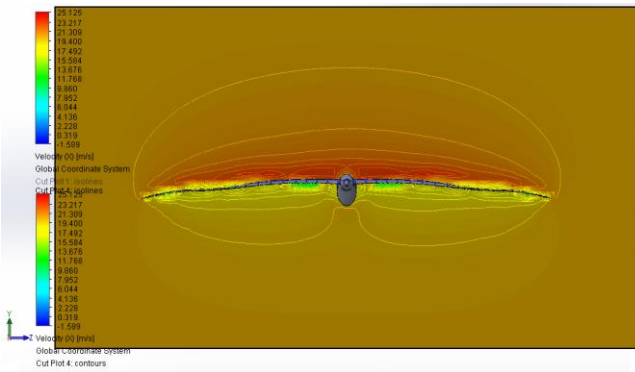
Sparno profilio atakos kampas $AoA = 7^\circ$. $V_x = 20$ m/s



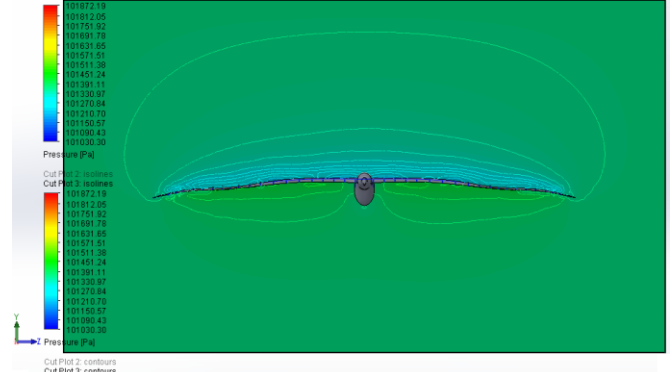
(a) Albatroso sklandmens oro srauto greičių pasiskirstymo spektras. $AoA = 8^\circ$. $V_x = 20$ m/s



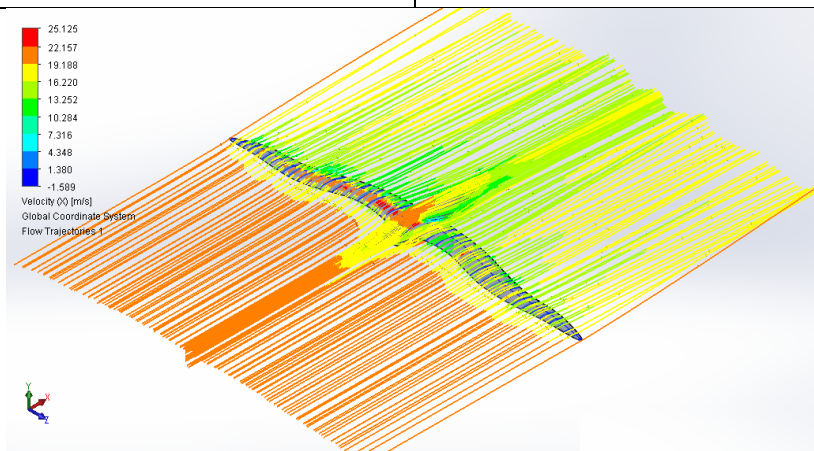
(b) Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras. $AoA = 8^\circ$. $V_x = 20$ m/s



(c) Albatroso sklandmens greičio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinatinių plokštumoje YZ. $AoA = 8^\circ$. $V_x = 20$ m/s

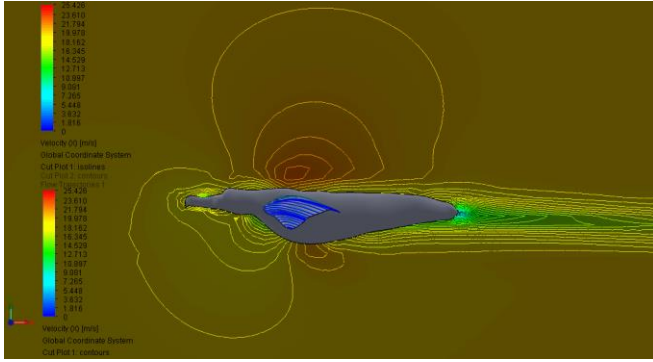


(d) Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinatinių plokštumoje YZ. $AoA = 8^\circ$. $V_x = 20$ m/s

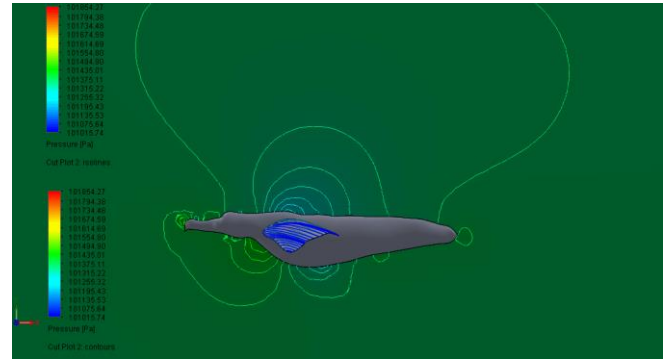


(e) Albatroso sklandmens konstrukciją aptekancio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras apribotoje skaičiuotinėje erdvėje. $AoA = 8^\circ$. $V_x = 20$ m/s

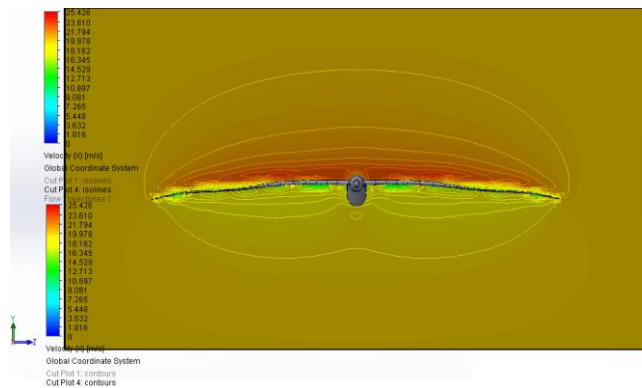
124 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekancio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras. Sparno profilio atakos kampas $AoA = 8^\circ$. $V_x = 20$ m/s



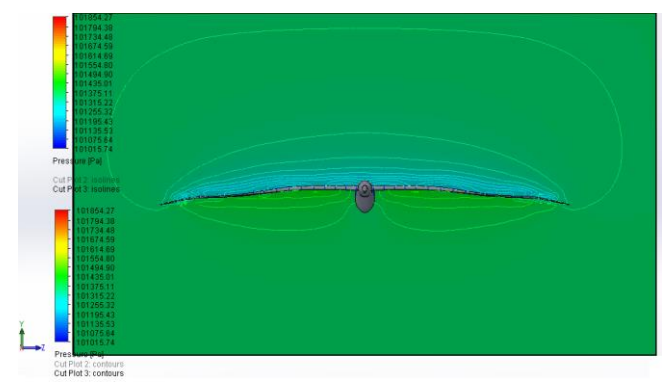
(a) Albatroso sklandmens oro srauto greičių pasiskirstymo spektras. $AoA = 9^\circ$. $V_x = 20$ m/s



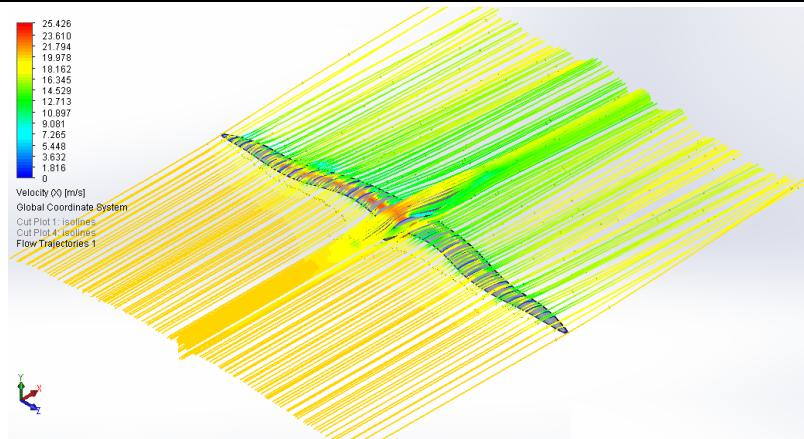
(b) Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras. $AoA = 9^\circ$. $V_x = 20$ m/s



(c) Albatroso sklandmens greičio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinatinių plokštumoje YZ. $AoA = 9^\circ$. $V_x = 20$ m/s



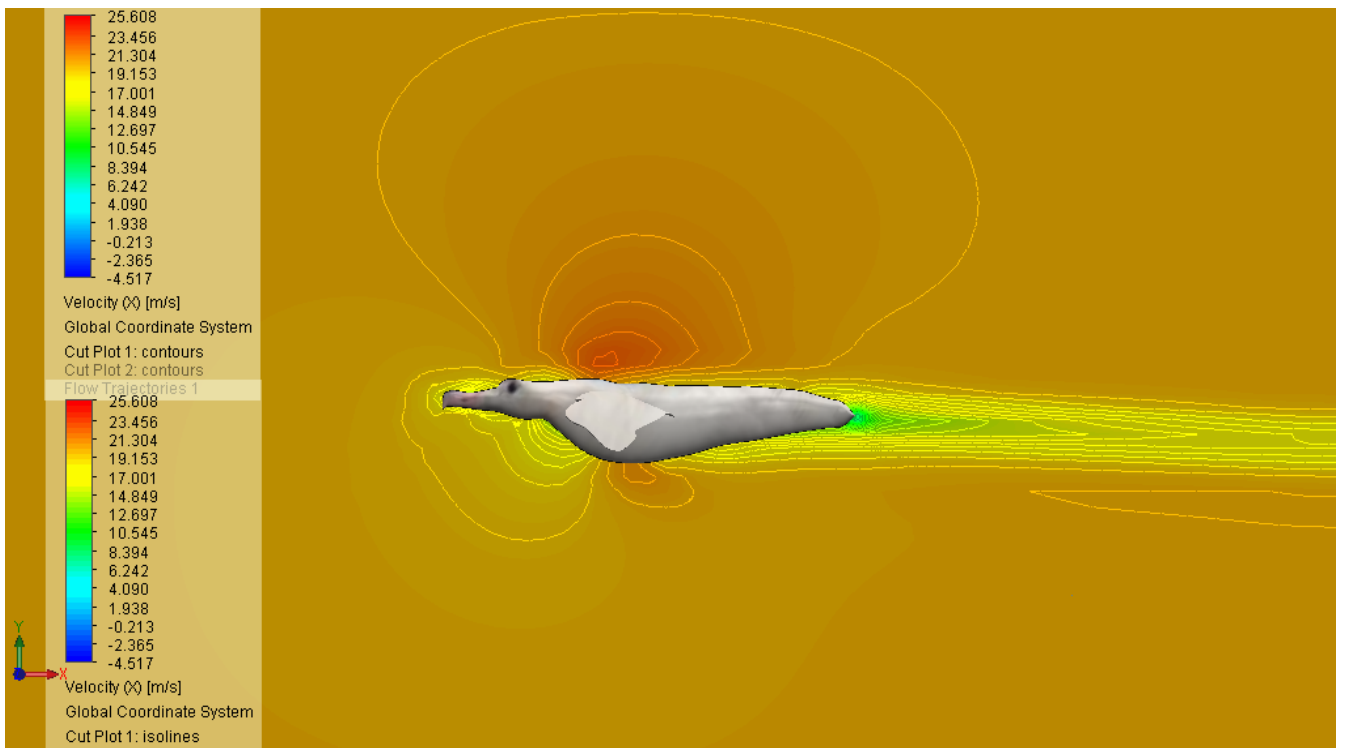
(d) Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinatinių plokštumoje YZ. $AoA = 9^\circ$. $V_x = 20$ m/s



(e) Albatroso sklandmens konstrukciją aptekancio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras apribotoje skaičiuotinėje erdvėje. $AoA = 9^\circ$. $V_x = 20$ m/s

125 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekancio oro srauto linijos ir slėgių pasiskirstymo spektras.

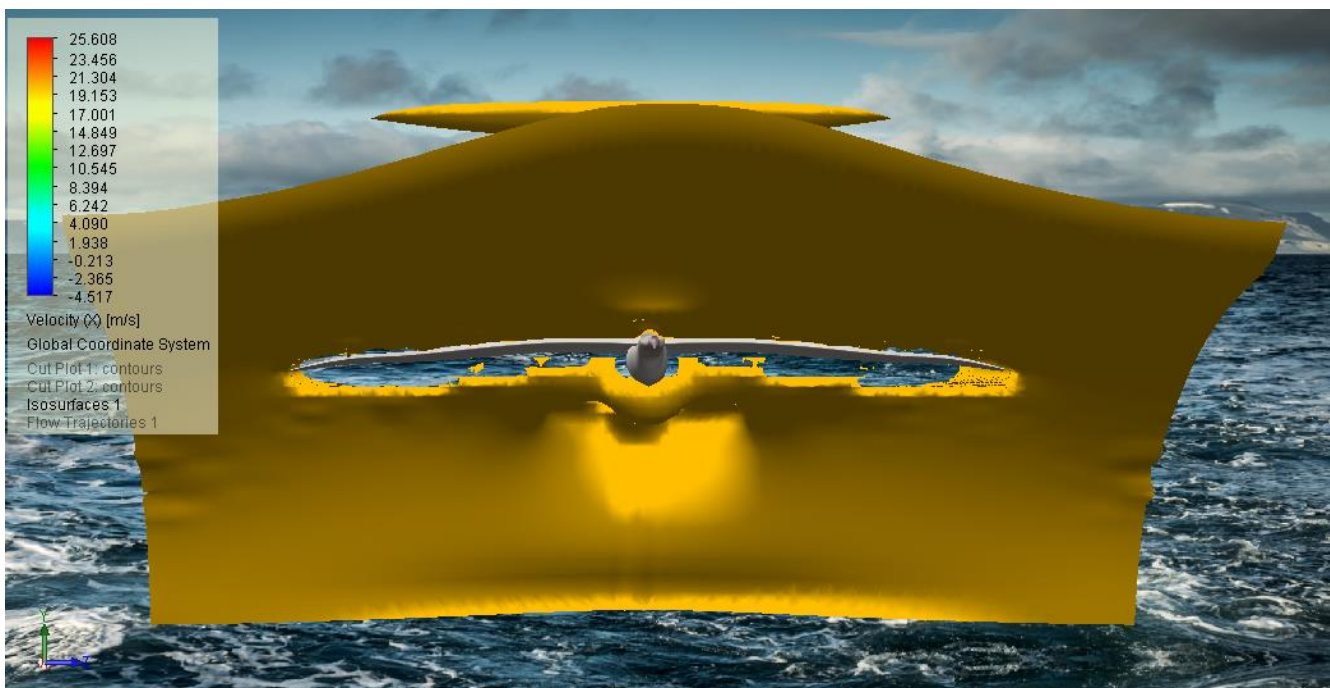
Sparno profilio atakos kampas $AoA = 9^\circ$. $V_x = 20$ m/s



126 pav. Albatroso sklandmens oro srauto greičių pasiskirstymo spektras. $AoA = 10^\circ$. $V_x = 20$ m/s



127 pav. Albatroso sklandmens slėgio pasiskirstymo spektras skaičiuotinėje erdvėje, koordinatinių plokštumoje YX. $AoA = 10^\circ$. $V_x = 20$ m/s



128 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekancio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras apribotoje skaičiuotinėje erdvėje, koordinacių plokštumoje YX iš priekio. $AoA = 10^\circ$. $V_x = 20$ m/s



129 pav. Albatroso sklandmens konstrukciją aptekancio oro srauto greičių pasiskirstymo spektras apribotoje skaičiuotinėje erdvėje, koordinacių plokštumoje YX iš galo. $AoA = 10^\circ$. $V_x = 20$ m/s

58 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=0^\circ$

| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|-----------------------|------|--------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Normal Force 1 | [N] | 37,680 | 37,799 | 37,605 | 38,236 | 100 | Yes | 0,401 | 0,430 |
| SG Normal Force 1 | [N] | 37,679 | 37,798 | 37,605 | 38,236 | 100 | Yes | 0,401 | 0,430 |
| GG Normal Force (X) 1 | [N] | 15,018 | 15,062 | 14,987 | 15,128 | 100 | Yes | 0,052 | 0,563 |
| SG Normal Force (X) 1 | [N] | 15,018 | 15,062 | 14,987 | 15,128 | 100 | Yes | 0,052 | 0,563 |
| GG Normal Force (Y) 1 | [N] | 34,557 | 34,668 | 34,468 | 35,145 | 100 | Yes | 0,453 | 0,523 |
| SG Normal Force (Y) 1 | [N] | 34,557 | 34,668 | 34,468 | 35,145 | 100 | Yes | 0,453 | 0,523 |
| GG Force 1 | [N] | 38,008 | 38,132 | 37,939 | 38,565 | 100 | Yes | 0,396 | 0,432 |
| GG Force (X) 1 | [N] | 15,794 | 15,846 | 15,777 | 15,920 | 100 | Yes | 0,049 | 0,577 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | 34,572 | 34,683 | 34,484 | 35,160 | 100 | Yes | 0,453 | 0,522 |

59 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=1^\circ$

| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|-----------------------|------|--------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Normal Force 1 | [N] | 42,498 | 42,72 | 42,413 | 42,984 | 100 | Yes | 0,453 | 0,453 |
| SG Normal Force 1 | [N] | 42,498 | 42,72 | 42,413 | 42,984 | 100 | Yes | 0,453 | 0,453 |
| GG Normal Force (X) 1 | [N] | 14,93 | 14,943 | 14,877 | 15,023 | 100 | Yes | 0,059 | 0,546 |
| SG Normal Force (X) 1 | [N] | 14,93 | 14,943 | 14,877 | 15,023 | 100 | Yes | 0,059 | 0,546 |
| GG Normal Force (Y) 1 | [N] | 39,789 | 40,021 | 39,668 | 40,296 | 100 | Yes | 0,492 | 0,622 |
| SG Normal Force (Y) 1 | [N] | 39,789 | 40,021 | 39,668 | 40,296 | 100 | Yes | 0,492 | 0,622 |
| GG Force 1 | [N] | 42,776 | 42,997 | 42,691 | 43,26 | 100 | Yes | 0,453 | 0,456 |
| GG Force (X) 1 | [N] | 15,69 | 15,701 | 15,632 | 15,787 | 100 | Yes | 0,06 | 0,561 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | 39,794 | 40,028 | 39,673 | 40,303 | 100 | Yes | 0,492 | 0,622 |

60 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=2^\circ$

| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|-----------------------|------|--------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Normal Force 1 | [N] | 47,362 | 47,432 | 47,164 | 47,719 | 100 | Yes | 0,555 | 0,555 |
| SG Normal Force 1 | [N] | 47,362 | 47,432 | 47,164 | 47,719 | 100 | Yes | 0,555 | 0,555 |
| GG Normal Force (X) 1 | [N] | 14,859 | 14,849 | 14,799 | 14,893 | 100 | Yes | 0,094 | 0,578 |
| SG Normal Force (X) 1 | [N] | 14,859 | 14,849 | 14,799 | 14,893 | 100 | Yes | 0,094 | 0,578 |
| GG Normal Force (Y) 1 | [N] | 44,970 | 45,047 | 44,782 | 45,342 | 100 | Yes | 0,560 | 0,738 |
| SG Normal Force (Y) 1 | [N] | 44,970 | 45,047 | 44,782 | 45,342 | 100 | Yes | 0,560 | 0,738 |
| GG Force 1 | [N] | 47,605 | 47,677 | 47,408 | 47,964 | 100 | Yes | 0,556 | 0,557 |
| GG Force (X) 1 | [N] | 15,611 | 15,601 | 15,547 | 15,647 | 100 | Yes | 0,100 | 0,594 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | 44,972 | 45,052 | 44,786 | 45,347 | 100 | Yes | 0,560 | 0,737 |

61 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=3^\circ$

| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|-----------------------|------|--------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Normal Force 1 | [N] | 56,236 | 56,362 | 56,009 | 56,699 | 100 | Yes | 0,454 | 0,546 |
| SG Normal Force 1 | [N] | 56,236 | 56,362 | 56,009 | 56,699 | 100 | Yes | 0,454 | 0,546 |
| GG Normal Force (X) 1 | [N] | 15,024 | 15,040 | 15,000 | 15,083 | 100 | Yes | 0,033 | 0,590 |
| SG Normal Force (X) 1 | [N] | 15,024 | 15,040 | 15,000 | 15,083 | 100 | Yes | 0,033 | 0,590 |
| GG Normal Force (Y) 1 | [N] | 54,192 | 54,318 | 53,960 | 54,656 | 100 | Yes | 0,474 | 0,719 |
| SG Normal Force (Y) 1 | [N] | 54,192 | 54,318 | 53,960 | 54,656 | 100 | Yes | 0,474 | 0,719 |
| GG Force 1 | [N] | 56,433 | 56,559 | 56,207 | 56,894 | 100 | Yes | 0,453 | 0,534 |
| GG Force (X) 1 | [N] | 15,752 | 15,768 | 15,715 | 15,817 | 100 | Yes | 0,032 | 0,607 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | 54,190 | 54,316 | 53,959 | 54,655 | 100 | Yes | 0,474 | 0,718 |

62 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=4^\circ$

| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|-----------------------|------|--------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Normal Force 1 | [N] | 63,528 | 63,465 | 63,035 | 63,885 | 100 | Yes | 0,517 | 0,587 |
| SG Normal Force 1 | [N] | 63,522 | 63,460 | 63,029 | 63,880 | 100 | Yes | 0,518 | 0,587 |
| GG Normal Force (X) 1 | [N] | 15,682 | 15,713 | 15,639 | 15,815 | 100 | Yes | 0,069 | 0,588 |
| SG Normal Force (X) 1 | [N] | 15,680 | 15,711 | 15,637 | 15,813 | 100 | Yes | 0,069 | 0,588 |
| GG Normal Force (Y) 1 | [N] | 61,562 | 61,489 | 61,064 | 61,904 | 100 | Yes | 0,521 | 0,717 |
| SG Normal Force (Y) 1 | [N] | 61,557 | 61,484 | 61,058 | 61,899 | 100 | Yes | 0,522 | 0,717 |
| GG Force 1 | [N] | 63,711 | 63,651 | 63,222 | 64,071 | 100 | Yes | 0,517 | 0,588 |
| SG Force 1 | [N] | 63,705 | 63,645 | 63,216 | 64,066 | 100 | Yes | 0,518 | 0,589 |
| GG Force (X) 1 | [N] | 16,425 | 16,466 | 16,385 | 16,576 | 100 | Yes | 0,071 | 0,603 |
| SG Force (X) 1 | [N] | 16,423 | 16,464 | 16,383 | 16,574 | 100 | Yes | 0,071 | 0,603 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | 61,557 | 61,484 | 61,058 | 61,897 | 100 | Yes | 0,520 | 0,717 |
| SG Force (Y) 1 | [N] | 61,552 | 61,479 | 61,053 | 61,892 | 100 | Yes | 0,521 | 0,717 |

63 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=5^\circ$

| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|-----------------------|------|--------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Normal Force 1 | [N] | 71,236 | 71,129 | 70,802 | 71,320 | 100 | Yes | 0,518 | 0,624 |
| SG Normal Force 1 | [N] | 71,236 | 71,129 | 70,802 | 71,320 | 100 | Yes | 0,518 | 0,624 |
| GG Normal Force (X) 1 | [N] | 16,371 | 16,403 | 16,371 | 16,466 | 100 | Yes | 0,096 | 0,580 |
| SG Normal Force (X) 1 | [N] | 16,371 | 16,403 | 16,371 | 16,466 | 100 | Yes | 0,096 | 0,580 |
| GG Normal Force (Y) 1 | [N] | 69,329 | 69,212 | 68,880 | 69,411 | 100 | Yes | 0,531 | 0,740 |
| SG Normal Force (Y) 1 | [N] | 69,329 | 69,212 | 68,880 | 69,411 | 100 | Yes | 0,531 | 0,740 |
| GG Force 1 | [N] | 71,403 | 71,298 | 70,973 | 71,485 | 100 | Yes | 0,511 | 0,618 |
| GG Force (X) 1 | [N] | 17,115 | 17,153 | 17,115 | 17,222 | 100 | Yes | 0,108 | 0,596 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | 69,321 | 69,204 | 68,873 | 69,401 | 100 | Yes | 0,528 | 0,740 |

64 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=6^\circ$

| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|-----------------------|------|--------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Normal Force 1 | [N] | 76,389 | 76,472 | 76,214 | 76,759 | 100 | Yes | 0,545 | 0,600 |
| SG Normal Force 1 | [N] | 76,389 | 76,472 | 76,214 | 76,759 | 100 | Yes | 0,545 | 0,600 |
| GG Normal Force (X) 1 | [N] | 17,380 | 17,350 | 17,320 | 17,389 | 100 | Yes | 0,068 | 0,586 |
| SG Normal Force (X) 1 | [N] | 17,380 | 17,350 | 17,320 | 17,389 | 100 | Yes | 0,068 | 0,586 |
| GG Normal Force (Y) 1 | [N] | 74,385 | 74,477 | 74,219 | 74,777 | 100 | Yes | 0,558 | 0,706 |
| SG Normal Force (Y) 1 | [N] | 74,385 | 74,477 | 74,219 | 74,777 | 100 | Yes | 0,558 | 0,706 |
| GG Force 1 | [N] | 76,560 | 76,645 | 76,386 | 76,931 | 100 | Yes | 0,544 | 0,592 |
| GG Force (X) 1 | [N] | 18,186 | 18,164 | 18,127 | 18,222 | 100 | Yes | 0,096 | 0,603 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | 74,369 | 74,461 | 74,203 | 74,761 | 100 | Yes | 0,558 | 0,706 |

65 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=7^\circ$

| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|-----------------------|------|--------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Normal Force 1 | [N] | 84,327 | 84,402 | 84,085 | 84,651 | 100 | Yes | 0,567 | 0,747 |
| SG Normal Force 1 | [N] | 84,327 | 84,402 | 84,085 | 84,651 | 100 | Yes | 0,567 | 0,747 |
| GG Normal Force (X) 1 | [N] | 18,235 | 18,226 | 18,168 | 18,288 | 100 | Yes | 0,120 | 0,567 |
| SG Normal Force (X) 1 | [N] | 18,235 | 18,226 | 18,168 | 18,288 | 100 | Yes | 0,120 | 0,567 |
| GG Normal Force (Y) 1 | [N] | 82,331 | 82,411 | 82,094 | 82,652 | 100 | Yes | 0,558 | 0,835 |
| SG Normal Force (Y) 1 | [N] | 82,331 | 82,411 | 82,094 | 82,652 | 100 | Yes | 0,558 | 0,835 |
| GG Force 1 | [N] | 84,482 | 84,559 | 84,240 | 84,807 | 100 | Yes | 0,566 | 0,740 |
| GG Force (X) 1 | [N] | 19,044 | 19,038 | 18,988 | 19,092 | 100 | Yes | 0,105 | 0,584 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | 82,308 | 82,387 | 82,071 | 82,630 | 100 | Yes | 0,558 | 0,835 |

66 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=8^\circ$

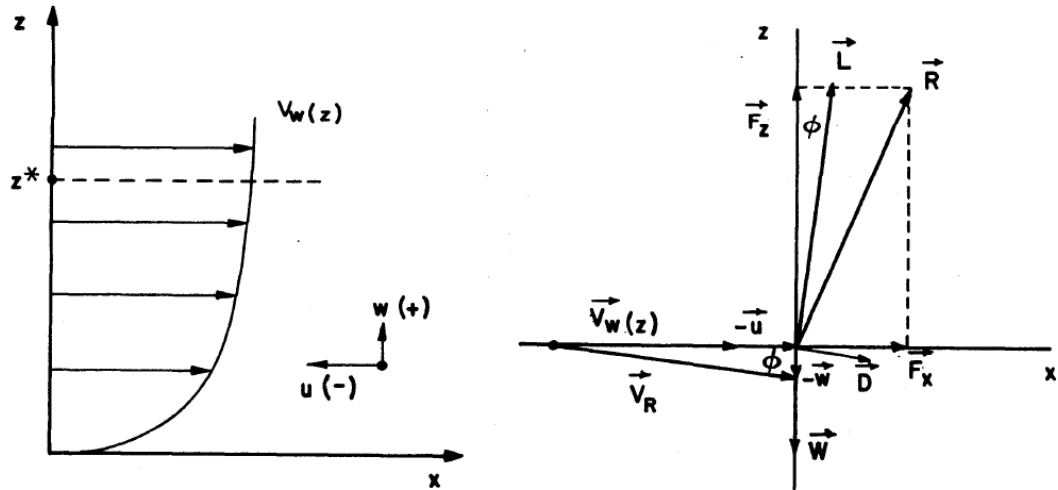
| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|-----------------------|------|--------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Normal Force 1 | [N] | 94,896 | 95,067 | 94,716 | 95,343 | 100 | Yes | 0,628 | 0,740 |
| SG Normal Force 1 | [N] | 94,896 | 95,067 | 94,716 | 95,343 | 100 | Yes | 0,628 | 0,740 |
| GG Normal Force (X) 1 | [N] | 19,159 | 19,243 | 19,159 | 19,377 | 100 | Yes | 0,218 | 0,576 |
| SG Normal Force (X) 1 | [N] | 19,159 | 19,243 | 19,159 | 19,377 | 100 | Yes | 0,218 | 0,576 |
| GG Normal Force (Y) 1 | [N] | 92,942 | 93,099 | 92,750 | 93,353 | 100 | Yes | 0,603 | 0,814 |
| SG Normal Force (Y) 1 | [N] | 92,942 | 93,099 | 92,750 | 93,353 | 100 | Yes | 0,603 | 0,814 |
| GG Force 1 | [N] | 95,037 | 95,206 | 94,852 | 95,482 | 100 | Yes | 0,630 | 0,734 |
| GG Force (X) 1 | [N] | 20,005 | 20,077 | 19,999 | 20,207 | 100 | Yes | 0,208 | 0,594 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | 92,907 | 93,065 | 92,713 | 93,319 | 100 | Yes | 0,606 | 0,815 |

67 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=9^\circ$

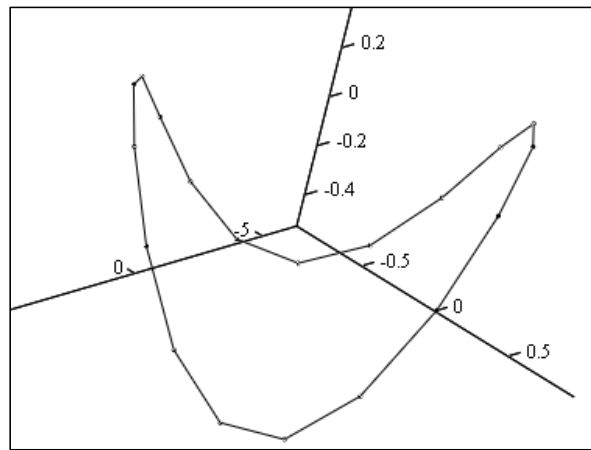
| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|-----------------------|------|---------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Normal Force 1 | [N] | 101,582 | 101,633 | 101,288 | 101,979 | 100 | Yes | 0,692 | 0,764 |
| SG Normal Force 1 | [N] | 101,582 | 101,633 | 101,288 | 101,979 | 100 | Yes | 0,692 | 0,764 |
| GG Normal Force (X) 1 | [N] | 20,521 | 20,496 | 20,430 | 20,560 | 100 | Yes | 0,130 | 0,543 |
| SG Normal Force (X) 1 | [N] | 20,521 | 20,496 | 20,430 | 20,560 | 100 | Yes | 0,130 | 0,543 |
| GG Normal Force (Y) 1 | [N] | 99,487 | 99,545 | 99,203 | 99,886 | 100 | Yes | 0,683 | 0,829 |
| SG Normal Force (Y) 1 | [N] | 99,487 | 99,545 | 99,203 | 99,886 | 100 | Yes | 0,683 | 0,829 |
| GG Force 1 | [N] | 101,710 | 101,763 | 101,415 | 102,108 | 100 | Yes | 0,693 | 0,760 |
| GG Force (X) 1 | [N] | 21,304 | 21,288 | 21,214 | 21,361 | 100 | Yes | 0,147 | 0,561 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | 99,454 | 99,511 | 99,170 | 99,850 | 100 | Yes | 0,680 | 0,830 |

68 lentelė. Albatroso sklandmens aerodinaminių charakteristikų L, D ir R tyrimo rezultatai programos SolidWorks aplinkoje. $AoA=10^\circ$

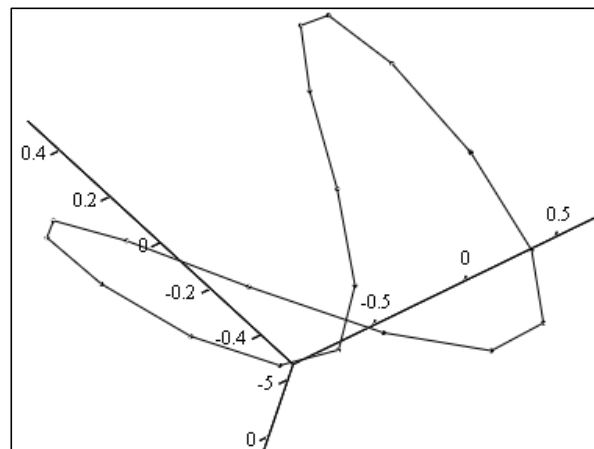
| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|-----------------------|------|---------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------|----------|
| GG Normal Force 1 | [N] | 107,558 | 107,367 | 106,930 | 107,726 | 100 | Yes | 0,797 | 0,841 |
| SG Normal Force 1 | [N] | 107,558 | 107,367 | 106,930 | 107,726 | 100 | Yes | 0,797 | 0,841 |
| GG Normal Force (X) 1 | [N] | 21,536 | 21,528 | 21,448 | 21,616 | 100 | Yes | 0,169 | 0,556 |
| SG Normal Force (X) 1 | [N] | 21,536 | 21,528 | 21,448 | 21,616 | 100 | Yes | 0,169 | 0,556 |
| GG Normal Force (Y) 1 | [N] | 105,379 | 105,187 | 104,748 | 105,537 | 100 | Yes | 0,788 | 0,890 |
| SG Normal Force (Y) 1 | [N] | 105,379 | 105,187 | 104,748 | 105,537 | 100 | Yes | 0,788 | 0,890 |
| GG Force 1 | [N] | 107,681 | 107,490 | 107,052 | 107,849 | 100 | Yes | 0,797 | 0,837 |
| GG Force (X) 1 | [N] | 22,370 | 22,350 | 22,262 | 22,426 | 100 | Yes | 0,164 | 0,574 |
| GG Force (Y) 1 | [N] | 105,331 | 105,141 | 104,700 | 105,492 | 100 | Yes | 0,792 | 0,892 |



130 pav. Albatroso skrydžio metu veikiančių vektorių priklausomybių iliustracija



131 pav. Optimizuota albatroso dinaminio skriejimo matematinio modelio trajektorija



132 pav. Optimizuota albatroso dinaminio skriejimo matematinio modelio trajektorija