VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
ANTANO GUSTAIČIO AVIACIJOS INSTITUTAS
AVIACINĖS MECHANIKOS KATEDRA

Paulius Gildutis

# SKLANDYTUVO LAK-17 ŠONINIO STABILUMO CHARAKTERISTIKŲ TYRIMAS SKAITINIU METODU

# ANALYSIS CHARACTERISTICS OF LATERAL STABILITY OF SAILPLANE LAK-17 BY COMPUTATIONAL METHOD

Baigiamasis magistro darbas

Aviacinės mechanikos studijų programa, valstybinis kodas 62409T109
Mechanikos inžinerijos mokslo kryptis

Vilnius, 2009

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
ANTANO GUSTAIČIO AVIACIJOS INSTITUTAS
AVIACINĖS MECHANIKOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas
_____
(Parašas)
Eduardas Lasauskas
(Vardas, pavardė)
2009_____
(Data)

Paulius Gildutis

# SKLANDYTUVO LAK-17 ŠONINIO STABILUMO CHARAKTERISTIKŲ TYRIMAS SKAITINIU METODU

# ANALYSIS CHARACTERISTICS OF LATERAL STABILITY OF SAILPLANE LAK-17 BY COMPUTATIONAL METHOD

Baigiamasis magistro darbas

Aviacinės mechanikos studijų programa, valstybinis kodas 62409T109
Mechanikos inžinerijos mokslo kryptis

**Vadovas** doc. dr. Eduardas Lasauskas _____ _____
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

**Konsultantas** lekt. Angelika Petrėtienė _____ _____
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

**Konsultantas**_____ _____ _____
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Vilnius, 2009

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
ANTANO GUSTAIČIO AVIACIJOS INSTITUTAS
AVIACINĖS MECHANIKOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

_____
(Parašas)

_____
(Vardas, pavardė)

_____
(Data)

.....…….mokslo sritis

.....……..mokslo kryptis

.....…...…….……studijų kryptis

.....……...…….studijų programa, valstybinis kodas ……
…….……..…specializacija

**BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO UŽDUOTIS**

…….....Nr. .....

Vilnius

Studentui (ei) .....……...…….....….....….....….....

(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: .....…….....

.....

.....

patvirtinta 200…m. ……..…… d. dekano potvarkiu Nr. …….

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 200…m. ……..…… d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

……

.....

.....

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Vadovas ..... .....

(Paraša ) (Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

……..

(Parašas)

……..

(Vardas, pavardė)

……..…....

(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
**Antano Gustaičio aviacijos** institutas
**Aviacinės mechanikos** katedra

ISBN ISSN
Egz. sk. ……..
Data ….-….-….

**Aviacinės mechanikos** studijų programos baigiamasis magistro darbas

Pavadinimas: Sklandytuvo Lak 17 šoninio stabilumo charakteristikų tyrimas skaitiniu metodu

Autorius **Paulius Gildutis** Vadovas dr. **Eduardas Lasauskas**

**Kalba**

[X] lietuvių

[ ] užsienio

**Anotacija**

Kompiuterinis geometrinis sklandytuvo Lak-17 modelis sugeneruotas programa AVL, kuri skirta orlaivių konfigūracijos ir skrydžio charakteristikų analizei. Imituojant realų skrydį programa suskaičiuotos įvairios šoninio stabilumo charakteristikos. Tirta, kaip šoninio stabilumo savybėms, tokioms kaip krypties nestabilumas, spiralinis nestabilumas, „olandiškas žingsnis“, turi įtakos skersinio V kampo didinimas ar mažinimas, vertikalios uodegos plokštumos ploto keitimas. Pagal gautus rezultatus suformuluotos išvados kiekvienam šoninio nestabilumo atvejui.

Darbą sudaro 3 dalys: įvadas, problemos analizė, AVL programos apžvalga, tyrimas, išvados, literatūros sąrašas.

Darbo apimtis – 92 p. 65 p. teksto be priedų, 82 iliustr., 6 lent.

Atskirai pridedami priedai.

**Prasminiai žodžiai:** „Olandiškas žingsnis”, spiralinis nestabilumas, krypties nestabilumas, AVL, šoninis pastovumas, skersinis V kampas, režimas.

Vilnius Gediminas Technical University
**Antanas Gustaitis Aviation** institute
**Aviation mechanic** department

ISBN ISSN
Copies No. ……
Date ….-….-….

**Aviation mechanic** study programme master thesis.

Title: Analysis characteristics of lateral stability of sailplane Lak 17 by computational method

Author **Paulius Gildutis** Academic supervisor dr. **Eduardas Lasauskas**

**Thesis language**

[X] Lithuanian

[ ] Foreign (English)

**Annotation**

Computer-based geometrical model of sailplane Lak-17 was generated with a program AVL (Athena Vortex Lattice), which is designed for analysis of characteristics of flight and rapid analysis of configuration of aircraft.

Analysis was done how increasing and decreasing of wing dihedral and exchange of vertical tail area characteristics are influenced on lateral stability like directional divergence, spiral divergence and „dutch roll".

Simulating a real flight with the program various characteristics of stability and control were calculated. According results the conclusion was formulated for every case of lateral unstability.

Structure: introduction, problem analysis, AVL overview, research, conclusions, references.

Thesis consist of – 92 p. 65 p. text without appendixes, 82 pictures, 6 tables.

Appendixes are included.

**Keywords:** Dutch rool, spiral divergence, directional divergence, AVL, lateral stability, wing dihedral, mode.

# Turinys

Darbo užduotis
Anotacija lietuvių kalba
Anotacija anglų kalba
Turinys
Iliustracijų sąrašas
Lentelių sąrašas
Įvadas ..... 13
1. Šoninis stabilumas ..... 14
1.1 Statinis krypties stabilumas ..... 14
1.2 Statinis skersinis stabilumas ..... 15
1.2.1 Skersinis V kampas ..... 16
1.2.2 Sparno padėties liemens atžvilgiu įtaka skersiniam stabilumui ..... 17
1.2.3 Vertikalios uodegos plokštumos įtaka skersiniam stabilumui ..... 18
1.2.4 Sparno strėliškumo įtaka skersiniam stabilumui ..... 18
1.3 Dinaminis krypties nestabilumas ..... 19
1.4 Spiralinis nestabilumas ..... 21
1.5 „Olandiškas žingsnis“ ..... 23
2. Sklandytuvo Lak-17 analizė AVL programa ..... 25
2.1 AVL programa ..... 25
2.2 Sklandytuvo modelio sudarymas ir paruošimas analizei ..... 25
2.2.1 Sklandytuvo Lak-17 geometrinis modelis ..... 25
2.2.2 Sklandytuvo Lak-17 atskirų dalių masės ir inercijos momentai ..... 28
2.2.3 Sklandytuvo Lak-17 vykdomoji tekstinė byla ..... 28
2.3 Sklandytuvo stabilumo analizė ..... 28
2.3.2 Stabilumo skaičiavimas programa AVL ..... 29
2.3.3 Skersinio V kampo įtaka šoniniam stabilumui ..... 29
2.3.3.1 Posvyrio slopinimo režimas ..... 30
2.3.3.2 „Olandiško žingnio“ režimas ..... 37

2.3.3.3 Spiralinio nestabilumo režimas ..... 45
2.3.3.4 Skersinio V kampo įtaka keliamosios jėgos pasiskirstymui sparno paviršiuje 53
2.3.4 Galinės vertikalios plokštumos ploto įtaka šoniniam stabilumui ..... 54
2.3.4.1 Posvyrio slopinimo režimas ..... 55
2.3.4.2 „Olandiško žingsnio“ režimas ..... 58
2.3.4.3 Spiralinis nestabilumas ..... 60
2.3.4.4 Vertikalios galinės plokštumos ploto įtaka keliamosios jėgos pasiskirstymui išilgai sparno ..... 62
Išvados ..... 64
Literatūra ..... 65
PRIEDAI ..... 66

# Iliustracijų sąrašas

1 pav. Slydimo kampas ir pokrypio momentas ..... 15
2 pav. Statinis skersinis stabilumas ..... 15
3 pav. Skersinio V kampo efektas ..... 16
4 pav. a) vidinės sparno pusės keliamosios jėgos prieaugis; b) išorinės sparno pusės keliamosios jėgos sumažėjimas ..... 17
5 pav. Sparno padėties liemens atžvilgiu įtaka skersiniam stabilumui ..... 17
6 pav. Vertikalios uodegos įtaka ..... 18
7 pav. Sparno strėliškumo įtaka posvyrio momentui ..... 19
8 pav. Krypties ir spiralinio nestabilumų skrydžio režimai ..... 21
9 pav. „Olandiško žingsnio“ režimas ..... 23
10 pav. Sklandytuvo Lak-17 geometrinis modelis (vaizdas iš viršaus) ..... 26
11 pav. Sklandytuvo Lak-17 geometrinis modelis (vaizdas iš šono) ..... 27
12 pav. Sklandytuvo Lak-17 erdvinis geometrinis modelis ..... 27
13 pav. Sklandytuvo Lak-17 modelis, kai vertikalios uodegos plokštumos plotas 0,62 $m^2$ ..... 28
14 pav. Sklandytuvo Lak-17 modelis, kai vertikalios uodegos plokštumos plotas 0,93 $m^2$ ..... 29
15 pav. Sklandytuvo Lak-17 nestabilių skrydžio režimų šaknys, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai ..... 30
16 pav. Posvyrio slopinimas ..... 31
17 pav. Posvyrio slopinimo režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (a) ..... 32
18 pav. Posvyrio slopinimo režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (b) ..... 32
19 pav. Posvyrio slopinimo režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (c) ..... 33
20 pav. Posvyrio slopinimo režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (d) ..... 33
21 pav. Posvyrio slopinimo režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (e) ..... 34
22 pav. Posvyrio slopinimo režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (f) ..... 34
23 pav. Posvyrio slopinimo režimo šaknies priklausomybė nuo skersinio V kampo ..... 35
24 pav.Posvyrio slopinimo režimo slydimo kampo β priklausomybė nuo skersinio V kampo ..... 36
25 pav. Posvyrio slopinimo atakos kampo α priklausomybė nuo skersinio V kampo ..... 36
26 pav. Posvyrio slopinimo režimo pokrypio kampo ψ priklausomybė nuo skersinio V kampo ..... 37
27 pav. „Olandiško žingsnio“ skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (a) ..... 38
28 pav. „Olandiško žingsnio“ skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (b) ..... 38
29 pav. „Olandiško žingsnio“ skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (c) ..... 38
30 pav. „Olandiško žingsnio“ skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (d) ..... 39
31 pav. „Olandiško žingsnio“ skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (e) ..... 39

32 pav. „Olandiško žingsnio“ skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (f) ..... 39
33 pav. „Olandiško žingsnio“ skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (g)..... 40
34 pav. „Olandiško žingsnio“ skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (h)..... 40
35 pav. „Olandiško žingsnio“ skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (i)..... 40
36 pav. „Olandiško žingsnio“ skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (j)..... 41
37 pav. „Olandiško žingsnio“ skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (k)..... 41
38 pav. „Olandiško žingsnio“ skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (l)..... 41
39 pav. „Olandiško žingsnio“ skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (m)..... 42
40 pav. „Olandiško žingsnio“ skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (n)..... 42
41 pav. „Olandiško žingsnio“ skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (o)..... 42
42 pav. „Olandiško žingsnio“ režimo šaknies priklausomybė nuo skersinio V kampo dydžio ..... 43
43 pav. „Olandiško žingsnio“ režimo slydimo kampo β priklausomybė nuo skersinio V kampo dydžio..... 44
44 pav. „Olandiško žingsnio“ režimo pokrypio kampo ψ priklausomybė nuo skersinio V kampo dydžio..... 44
45 pav. Spiralinio nestabilumo skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (a) ..... 45
46 pav. Spiralinio nestabilumo skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (b) ..... 45
47 pav. Spiralinio nestabilumo skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (c) ..... 46
48 pav. Spiralinio nestabilumo skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (d) ..... 46
49 pav. Spiralinio nestabilumo skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (e) ..... 46
50 pav. Spiralinio nestabilumo skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (f)..... 47
51 pav. Spiralinio nestabilumo skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (g) ..... 47
52 pav. Spiralinio nestabilumo skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (h) ..... 47
53 pav. Spiralinio nestabilumo skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (i)..... 48
54 pav. Spiralinio nestabilumo skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (j)..... 48
55 pav. Spiralinio nestabilumo skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (k) ..... 48
56 pav. Spiralinio nestabilumo skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (l)..... 49
57 pav. Spiralinio nestabilumo skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (m)..... 49
58 pav. Spiralinio nestabilumo skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (n) ..... 49
59 pav. Stabilaus spiralinio nestabilumo skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 5 laipsniai (a) ..... 50
60 pav. Stabilaus spiralinio nestabilumo skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 5 laipsniai (b) ..... 50
61 pav. Stabilaus spiralinio nestabilumo skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 5 laipsniai (c) ..... 50

62 pav. Stabilaus spiralinio nestabilumo skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 5 laipsniai (d) ..... 51
63 pav. Stabilaus spiralinio nestabilumo skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 5 laipsniai (e) ..... 51
64 pav. Stabilaus spiralinio nestabilumo skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 5 laipsniai (f) ..... 51
65 pav. Spiralinio režimo šaknies priklausomybė nuo skersinio V kampo dydžio ..... 52
66 pav. Spiralinio nestabilumo režimo pokrypio kampo ψ priklausomybė nuo skersinio V kampo dydžio ..... 53
67 pav. Sklandytuvo įvairių parametrų priklausomybė išilgai Y ašies (sparno), kai skersinio V kampas – 3 laipsniai ..... 54
68 pav. Sklandytuvo Lak-17 nestabilių skrydžio režimų šaknys, kai galinės vertikalios plokštumos plotas 0,62 $m^2$ ..... 55
69 pav. Sklandytuvo Lak-17 nestabilių skrydžio režimų šaknys, kai galinės vertikalios plokštumos plotas 0,93 $m^2$ ..... 55
70 pav. Posvyrio slopinimo režimo šaknies priklausomybė nuo galinės vertikalios plokštumos ploto ..... 56
71 pav. Posvyrio slopinimo režimo pokrypio kampo ψ priklausomybė nuo galinės vertikalios plokštumos ploto ..... 57
72 pav. Posvyrio slopinimo režimo posvyrio kampo φ priklausomybė nuo galinės vertikalios plokštumos ploto ..... 57
73 pav. Posvyrio slopinimo režimo slydimo kampo β priklausomybė nuo galinės vertikalios plokštumos ploto ..... 57
74 pav. „Olandiško žingsnio“ režimo šaknies priklausomybė nuo galinės vertikalios plokštumos ploto ..... 58
75 pav. „Olandiško žingsnio“ režimo pokrypio kampo ψ priklausomybė nuo galinės vertikalios plokštumos ploto ..... 59
76 pav. „Olandiško žingsnio“ režimo posvyrio kampo φ priklausomybė nuo galinės vertikalios plokštumos ploto ..... 59
77 pav. „Olandiško žingsnio“ režimo slydimo kampo β priklausomybė nuo galinės vertikalios plokštumos ploto ..... 60
78 pav. Spiralinio nestabilumo režimo šaknies priklausomybė nuo galinės vertikalios plokštumos ploto ..... 61
79 pav. Spiralinio nestabilumo režimo pokrypio kampo ψ priklausomybė nuo galinės vertikalios plokštumos ploto ..... 61

80 pav. Spiralinio nestabilumo režimo posvyrio kampo φ, slydimo kampo β priklausomybės nuo galinės vertikalios plokštumos ploto ..... 62
81 pav. Sklandytuvo įvairių parametrų priklausomybė išilgai Y ašies (sparno), kai galinės vertikalios uodegos plotas – 0,62 $m^2$ ..... 63
82 pav. Sklandytuvo įvairių parametrų priklausomybė išilgai Y ašies (sparno), kai galinės vertikalios uodegos plotas – 0,93 $m^2$ ..... 63

# Lentelių sąrašas

1 lentelė. Posvyrio slopinimo režimo reikšmės esant skirtingiems skersinio V kampams..... 35
2 lentelė. „Olandiško žingsnio“ režimo reikšmės esant skirtingiems skersinio V kampams ..... 43
3 lentelė. Spiralinio nestabilumo režimo reikšmės esant skirtingiems skersinio V kampams..... 52
4 lentelė. Posvyrio slopinimo režimo reikšmės esant skirtingiems galinės vertikalios plokštumos plotams..... 56
5 lentelė. „Olandiško žingsnio“ režimo reikšmės esant skirtingiems galinės vertikalios plokštumos plotams..... 58
6 lentelė. Spiralinio nestabilumo režimo reikšmės esant skirtingiems galinės vertikalios plokštumos plotams..... 60

# Įvadas

Projektuojant orlaivį konstruktoriams svarbu parinkti tokią jo formą, dizainą, sparno ir uodegos išdėstymą liemens atžvilgiu, kad jis skrydyje būtų pakankamai stabilus, lengvai valdomas. Ir anksčiau, ir dabar inžinieriai pirmiausia sukonstruoja sumažintą orlaivio modelį ir testuoja įvairius stabilumo parametrus aerodinaminiame tunelyje. Tačiau šiuo metu kartu su šiais bandymais vyksta ir eksperimentai, pagrįsti matematinėmis formulėmis ir skaičiavimais. Dabar šį didelį ir sunkų darbą patikima skaičiuoti kompiuteriams, kurie per labai trumpą laiką sugeba apdoroti didžiulį informacijos kiekį ir tokiu būdu pagreitina ir palengvina orlaivių stabilumo tyrimus. O norint tai pasiekti iš pradžių kuriamų orlaivių duomenys perkeliami į specializuotas kompiuterines programas, suformuojamas skaitinis geometrinis modelis ir tiriamos įvairios stabilumo charakteristikos. Nagrinėjamu atveju buvo pasirinkta programa AVL.

Šiame darbe su kompiuterine programa AVL bus sudaromas geometrinis sklandytuvo Lak-17 modelis, kuris gaminamas Lietuvoje, todėl žinomi įvairūs duomenys apie sklandytuvą, skaičiuojamos šoninio stabilumo charakteristikos (kampai, greičiai, momentai ir t. t.). Tiriama, kaip šoninio stabilumo savybėms, tokioms kaip posvyrio slopinimas, spiralinis nestabilumas, „olandiškas žingsnis“, turi įtakos skersinio V kampo didinimas ar mažinimas, vertikalios uodegos plokštumos ploto keitimas. Kiekvienam konkrečiam nestabilumo atvejui bus atliekama dinaminė stabilumo analizė.

# 1. Šoninis stabilumas

Stabilumas – tai orlaivio sugebėjimas išlaikyti pastovų skrydžio režimą ir į jį sugrįžti po to, kai buvo paveiktas išorinių atmosferos trikdžių [3]. Tai jėgos ir momentai, kurie atsiranda iš karto po sutrikdymo ir stengiasi lėktuvą grąžinti į pradinę pusiausvyros būseną. Dinaminis stabilumas – tai lėktuvo ypatybė, po kažkokio sutrikdymo, pvz., turbulencijos, mažinti svyravimų amplitudę iki 0 per kurį laiką, kol nusistovi pradinis arba naujas, tolygus skrydis [4]. Šoninis lėktuvo stabilumas priklauso nuo krypties ir skersinio stabilumo. Skersinį statinį stabilumą daugiausia veikia skersinio V kampas, o krypties pastovumą – vertikali uodegos plokštuma. Sudėtiniai posvyrio, krypties nestabilumo ir šoninio slydimo judesiai sukelia orlaivio nestabilumą. Kaip žinome, priklausomai nuo šoninio slydimo atsirada iš karto abu – posvyrio ir krypties momentai. Ši sąveika sukelia dvigubą lėktuvo judesį [1]. Orlaivių projektuotojus domina šie trys potencialūs šoninio dinaminio nepastovumo, nestabilumo atvejai: krypties nepastovumas, spiralinis nepastovumas ir vadinamasis „olandiško žingsnio“ nestabilumas.

## 1.1 Statinis krypties stabilumas

Statinis krypties stabilumas apibūdinamas kaip sukimasis apie orlaivio z ašį. Orlaivis turi turėti vadinamąjį „vėjarodės“[1] stabilumą. Tai reiškia, kada lėktuvas pradeda slysti, t. y. jo išilginė ašis x su skrydžio trajektorija sudaro kampą $\beta$, turi susidaryti priešingas slydimui momentas *N*, kuris grąžina orlaivį į pradinę padėtį [2] (1 pav.). Krypties momento koeficientas apskaičiuojamas pagal formulę (1):

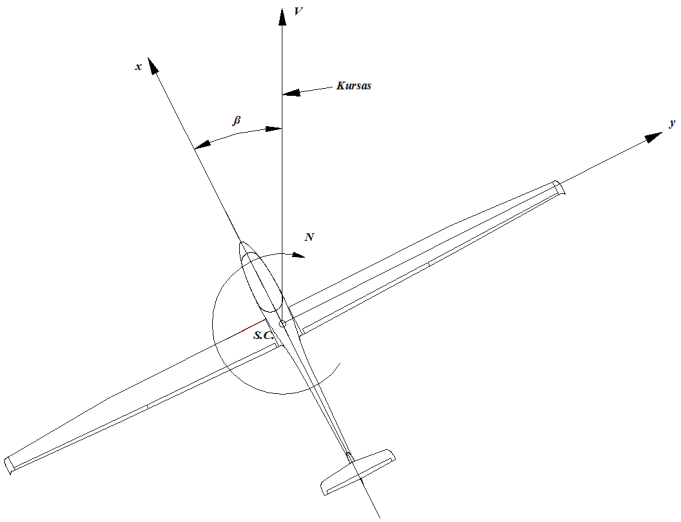
$$C_n = \frac{N}{q \cdot S_W \cdot b}, \quad (1)$$

čia: $N$ – vertikali orlaivio ašis;

$S_W$ – sparno plotas, $m^2$;

$b$ – sparno mostas, $m$.

[1] Vėjarodė - angl. *weathercock*




1 pav. Slydimo kampas ir pokrypio momentas

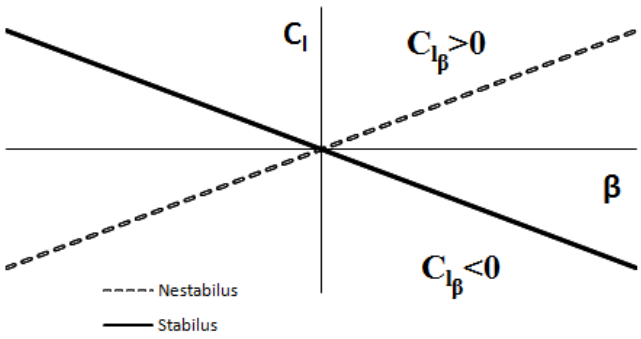
## 1.2 Statinis skersinis stabilumas

Statiniam skersiniui stabilumui įtakos turi skersinis V kampas, sparno padėtis liemens atžvilgiu, kilis, sparno strėliškumas. Orlaivis turi statinį posvyrio stabilumą, jei sutrikdžius jo pusiausvyros padėtį, atsiranda grąžinantis į pradinę padėtį momentas. Šis posvyrio momentas gali būti išreikštas kaip slydimo kampo $\beta$ funkcija (2 pav.). Būtina sąlyga, kad sklandytuvas būtų stabilus: $C_{l_\beta} < 0$ [1]. $C_{l_\beta}$ apskaičiuojams pagal formulę (2):

$$C_{l_\beta} = \frac{dC_l}{d\beta} < 0, \tag{2}$$

čia: $C_{l_\beta}$ – posvyrio momento koeficiento išvestinė;

$C_l$ – posvyrio momento koeficientas.




2 pav. Statinis skersinis stabilumas

### 1.2.1 Skersinis V kampas

Didžiausią įtaką posvyrio momento koeficientui $C_{l_\beta}$ turi skersinis V kampas $\Gamma$ (3 pav.). Jis apibrėžiamas kaip kampas tarp sparno stygos plokštumos ir horizontaliosios plokštumos [1]. Jei sparno galiukai yra aukščiau nei šakninėje zonoje, tai skersinis V kampas yra teigiamas ir atvirkščiai, jei žemiau – negiamas. 3 pav. pavaizduotas normalinis greitis $V_n$, atidėtas plokštumos $R$ atžvilgiu, o jį išreikšti galima per dedamąsias $V_y$ ir $V_z$ pagal (3) formulę:

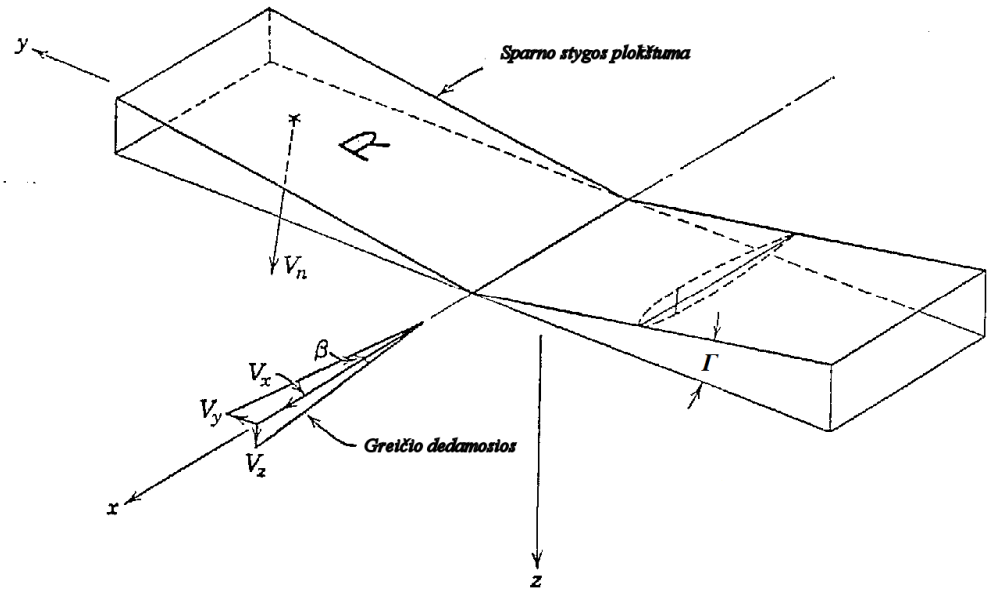
$$V_n = V_z \cdot \cos\Gamma + V_y \cdot \sin\Gamma = V_z + V_y \cdot \Gamma. \tag{3}$$

Atakos kampo pokytis $\Delta\alpha$ pagal tai, kuri sparno pusė skaičiuojama, randamas pagal (4):

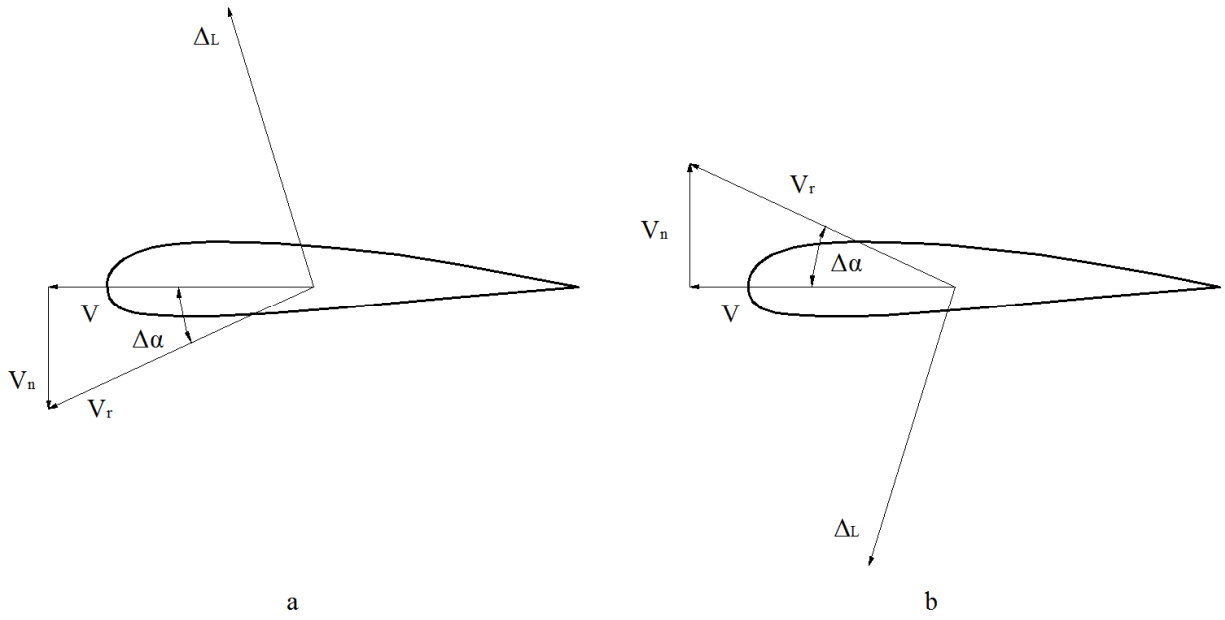
$$\Delta\alpha = \frac{V_y \cdot \Gamma}{V} = \frac{V \cdot \Gamma \cdot \beta}{V} = \Gamma \cdot \beta, \tag{4}$$

čia: $V$ – orlaivio sparno greitis, *m/s*.

Taigi su slydimu skrendančio orlaivio išorinė sparno dalis turi neigiamą atakos kampo prieaugį, vidinė sparno dalis – teigiamą atakos kampo prieaugį (4 pav.). Skersinio V kampas labai svarbus nagrinėjant dinaminį stabilumą ir šiame tiriamajame darbe tai bus matoma.



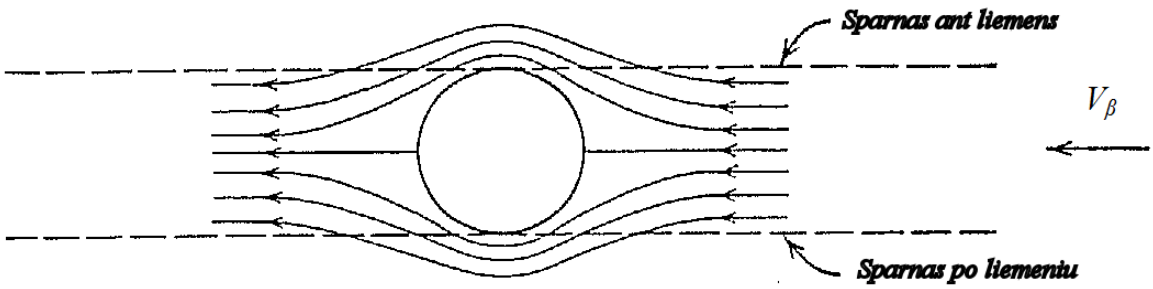

3 pav. Skersinio V kampo efektas




4 pav. a) vidinės sparno pusės keliamosios jėgos prieaugis; b) išorinės sparno pusės keliamosios jėgos sumažėjimas

### 1.2.2 Sparno padėties liemens atžvilgiu įtaka skersiniam stabilumui

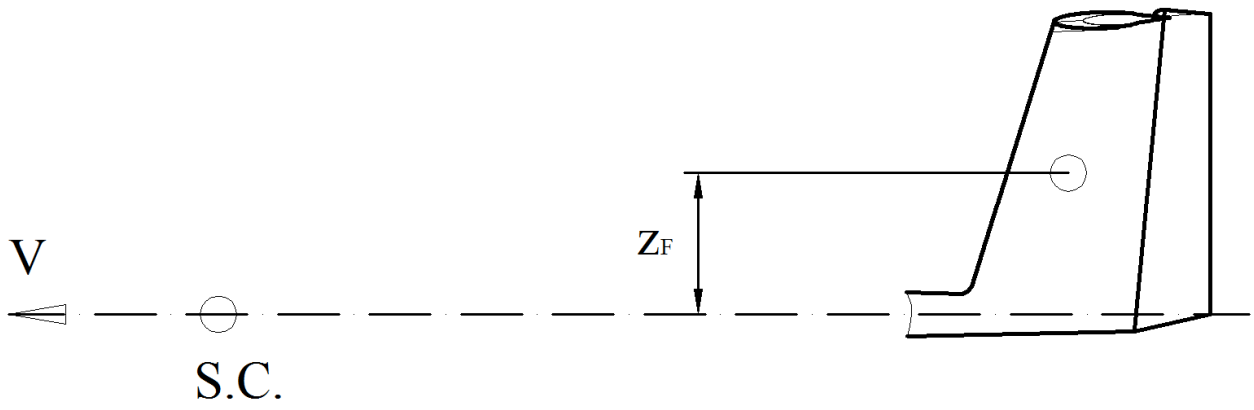
Aplink liemenį aptekantis srautas sąveikauja su sparnu taip pat kaip ir skersinis V kampas. Sakykime, kad ilgas cilindrinis liemuo, kuris yra apskritimo formos, patalpinamas prieš tekantį oro srautą. Tekančio srauto greičio dedamosios dydis – $V_\beta$ (5 pav.). Iš paveikslo gerai matyti, kaip liemuo indukuoja vertikalų greitį ir, susijungęs su pagrindiniu oro srautu, aptekančiu kūną iš priekio, keičia vietinį sparno atakos kampą. Kai sparnas įtvirtintas liemens viršuje, sudaromas toks efektas, kaip padidinto skersinio V kampo – sukuriamas neigiamas posvyrio momentas. Ir priešingai, kai sparnas pritvirtintas prie liemens iš apačios, skersinio V kampo efektas sumažinamas dėl liemens interferencijos [4]. Štai dėl šios priežasties aukštasparniai orlaiviai dažniausiai turi labai mažą arba netgi neigiamą skersinio V kampą.




5 pav. Sparno padėties liemens atžvilgiu įtaka skersiniam stabilumui

### 1.2.3 Vertikalios uodegos plokštumos įtaka skersiniam stabilumui

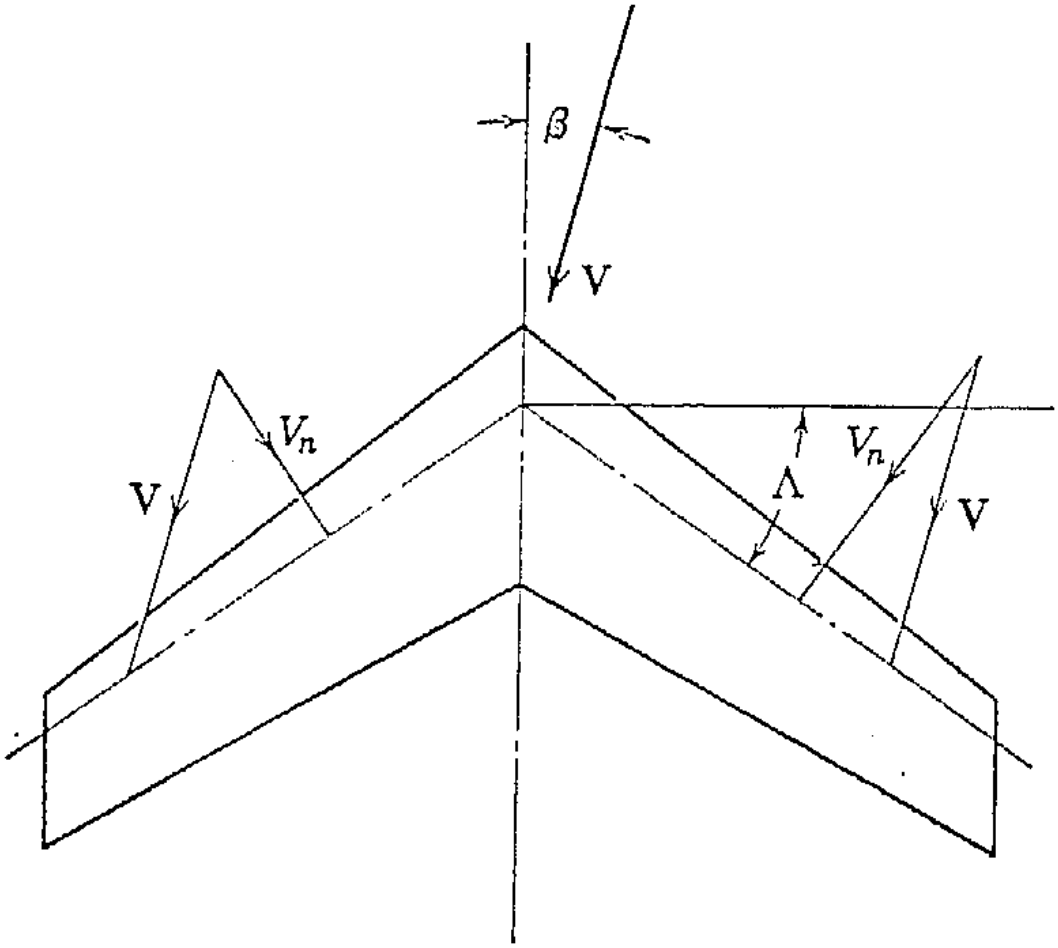
Orlaivio, skrendančio su šoniniu slydimu, vertikalios uodegos plokštuma sukuria stabilizuojantį momentą. Jei vertikalios uodegos plokštuma yra tam tikru atstumu $z_F$ (6 pav.) nuo orlaivio posvyrio ašies, tai visada bus sukuriamas stabilizuojantis momentas [2].




6 pav. Vertikalios uodegos įtaka

### 1.2.4 Sparno strėliškumo įtaka skersiniam stabilumui

Sakykime, sparnas su teigiamu strėliškumo kampu *Λ* (7 pav.), pradeda skristi su slydimu. Prieš srautą esanti sparno dalis turės tendenciją mažinti strėliškumo kampą, kita sparno dalis – didinti strėliškumo kampą. Kaip matyti iš 7 pav., ta sparno dalis, kuri mažina strėliškumo kampą, turės didesnę normalinę greičio dedamąją nei kita sparno dalis.Tai reiškia, jog didesnė normalinio greičio dedamoji sukurs didesnį keliamosios jėgos prieaugį, o pastarasis – stabilizuojantį posvyrio momentą.




7 pav. Sparno strėliškumo įtaka posvyrio momentui

## 1.3 Dinaminis krypties nestabilumas

Krypties nestabilumas (8 pav.) pasireiškia tada, kai orlaiviui trūksta krypties stabilumo. Kada sutrikdoma tokio lėktuvo pusiausvyros padėtis, jis po truputį pradeda krypti nuo kurso, vis didindamas šoninio slydimo kampą. Dėl veikiančios šoninės jėgos skrydžio trajektorija bus išlenkta. Orlaivio, kuris pasižymi šoniniu statiniu stabilumu (pvz., skersinis V kampas), nereikšmingas posvyrio kampo pokytis gali sukelti šį krypties nepastovumą [1]. Akivaizdu, toks nepastovumas negali būti toleruojamas ir lengvai šito galima išvengti tinkamai suprojektavus vertikalią uodegos plokštumą.

Sparno-liemens įtaka krypties stabilumo destabilizavimui gali būti apskaičiuojama pagal formulę (5):

$$C_{n_{\beta_{wf}}} = -k_n \cdot k_{R_l} \cdot \frac{S_{fs} \cdot l_f}{S_W \cdot b}, \tag{5}$$

čia: $C_{n_{\beta_{wf}}}$ – sparno ir liemens momento koeficientas;

$k_n$ – empirinis sparno-liemens interferenciją įvertinantis faktorius, t.y. liemens geometrijos funkcija;

$k_{R_l}$ – empirinis korekcijos faktorius, t.y. liemens Reinoldso skaičiaus funkcija;

$S_{fS}$ – projektinis liemens šono plotas, $m^2$;

$l_f$ – liemens ilgis, *m*;

Bet paprastai sparno ir liemens įtaka yra labai maža, todėl dažnai į tai neatsižvelgiama.

Momentas, atsiradęs nuo vertikalios uodegos, gali būti užrašomas kaip jėgos, veikiančios į kilį, funkcija (6):

$$N_v = l_v \cdot C_{L_{\alpha v}} \cdot (\beta + \sigma) \cdot Q_v \cdot S_v, \quad (6)$$

čia: $N_v$ – jėga, veikianti į vertikalią plokštumą, *N*;

$l_v$ – kilio mostas, *m*;

$C_{L_{\alpha v}}$ – vertikalios plokštumos keliamosios jėgos koeficientas;

$\beta$ – šoninio slydimo kampas, laipsniais;

$\sigma$ – šoninio slydimo kampas, atsiradęs dėl nuo sparno ateinančių sūkurių, laipsniais.

Arba gali būti užrašomas koeficiento forma (7):

$$C_n = V_v \cdot \eta_v \cdot C_{L_{\alpha v}} \cdot (\beta + \sigma), \quad (7)$$

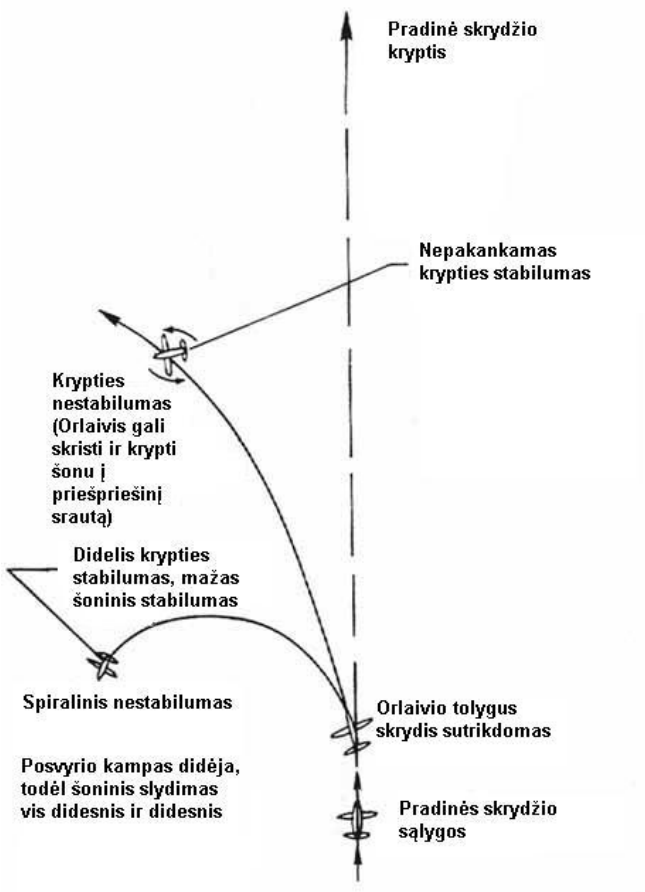
čia: $C_n$ – momento koeficientas, atsirandantis nuo vertikalios uodegos plokštumos;

$V_v$ – kilio tūrio santykis [1];

$\eta_v$ – dinaminio slėgio į kilį ir dinaminio slėgio į sparną santykis.

## 1.4 Spiralinis nestabilumas

Spiralinis nestabilumas (8 pav.), tai nesvyruojamasis nukrypstantis judesys, kuris gali pasireikšti tada, kada krypties stabilumas labai didelis, o skersinis stabilumas – mažas. Kai sutrikdoma tokio lėktuvo pusiausvyros padėtis, jis pasvyra nedideliu kampu $\varphi > 0$ ir po truputi pradeda krypti nuo kurso, tuo pačiu vis didindamas šoninio slydimo kampą [5]. Spiralė, laikui bėgant, tampa staigesnė, statesnė, ir jei atitinkamų veiksmų nesiimama, gali atsirasti didelio greičio spiralinis pikiravimas. Nedidelis spiralinis nestabilumas yra toleruojama lėktuvo savybė. Lėktuvo, turinčio spiralinį nestabilumą, posvyrio kampas didėja lėtai. Pilotas lengvai pastebi ir gali jį ištaisyti.




8 pav. Krypties ir spiralinio nestabilumų skrydžio režimai

Prieš pradedant nagrinėti smulkiau spiralinio nestabilumo režimą, truputį panagrinėsime viso šoninio stabilumo matematinę išraišką (8):

$$A \cdot \lambda^4 + B \cdot \lambda^3 + C \cdot \lambda^2 + D \cdot \lambda + E = 0. \quad (8)$$

Čia A, B, C, D, E stabilumo priartėjimų funkcijos, masė ir orlaivio inercijos charakteristikos, $\lambda$ – lygties šaknys. Matricinę šios lygties formą galima rasti literatūroje [1]. Šoninių – krypties charakteristikų lygties ieškomos šaknys susideda iš dviejų tikrų šaknų ir iš poros kompleksinių šaknų. Tokios šaknys gali būti charakterizuojamos sekančiai:

1. Lėtai konverguojantis ar diverguojantis judesys, kitaip spiralinis skrydžio režimas.
2. Didelės konvergencijos judesys, kitaip posvyrio režimas.
3. Po truputį mažėjančių svyravimų judesys, turintis nedidelį dažnį, kitaip „olandiško žingsnio“ režimas.

Taigi, spiralinio skrydžio režimas charakterizuojamas posvyrio kampo $\varphi$ pokyčiu ir krypties kampu $\psi$. Šoninio slydimo kampas dažnai yra pakankamai mažas, bet negalimo jo ignoruoti, nes aerodinaminis momentas nepriklauso nuo posvyrio kampo $\varphi$ ar krypties kampo $\psi$, bet priklauso nuo šoninio slydimo kampo $\beta$, posvyrio kitimo greičio ir nukrypimo nuo kurso greičio $r$.

Aerodinaminė įtaka atitinkamai $\beta$ ir $r$ kampams yra vienoda, t.y. šie kampai panašaus dydžio. Dėl to, norint aproksimuoti spiralinį režimą, mes turime panaikinti šoninės jėgos lygtį ir $\Delta\varphi$. Remiantis šia prielaida, judesio lygtys gali būti surastos iš lygties (9) matricinės formos:

$$L_\beta \cdot \Delta\beta + L_r \cdot \Delta r = 0; \quad (9)$$

$$\Delta\dot{r} = N_\beta \cdot \Delta\beta + N_r \cdot \Delta r; \quad (10)$$

$$\Delta\dot{r} + \frac{L_r \cdot N_\beta - L_\beta \cdot N_r}{L_\beta} \cdot \Delta r = 0. \quad (11)$$

Charakterizuojanti šaknis yra (12):

$$\lambda_{spiral} = \frac{L_\beta \cdot N_r - L_r \cdot N_\beta}{L_\beta}, \quad (12)$$

Stabilumo išvestinė $L_\beta$ (skersinio V kampas) ir $N_r$ (krypties kampo kitimo greičio slopinimas) dažnai yra neigiami dydžiai. Žiūrint iš kitos pusės, $N_\beta$ (krypties stabilumas) ir $L_r$ (posvyrio momentas priklausomai nuo krypties kampo kitimo greičio) yra teigiami dydžiai. Jei išvestinės turi pastovų ženklą, tada stabilaus spiralinio modelio sąlygos yra (13, 14):

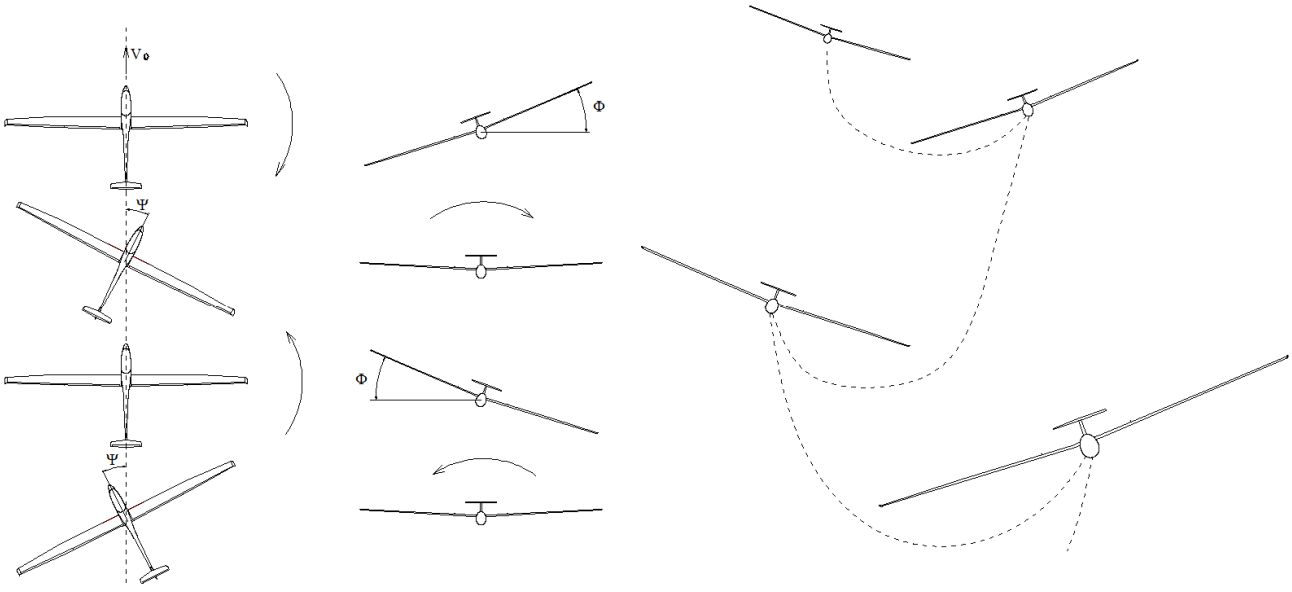
$$L_\beta \cdot N_r - L_r \cdot N_\beta > 0; \quad (13)\backslash$$

$$L_\beta \cdot N_r > L_r \cdot N_\beta. \quad (14)$$

Didinant skersinio V kampo efektą $L_\beta$ ar krypties kampo kitimo greičio slopinimo efektą, ar abu, galima pasiekti, kad spiralinis režimas taptų stabilus.

## 1.5 „Olandiškas žingsnis“

„Olandiško žingsnio“ svyravimai – tai krypties ir skersinis svyravimai, ir jie gali būti gana nemalonūs pilotams ir keleiviams. Judesys charakterizuojamas posvyrio ir krypties svyravimais, kurie yra to paties dažnio, bet vienas nuo kito skiriasi faze. Periodas gali būti nuo 3 iki 15 sekundžių, todėl jei amplitudė yra pakankamai didelė, toks orlaivio judesys gali būti labai erzinantis. Kai skersinis statinis stabilumas (skersinio V kampo efektas) yra žymiai didesnis už krypties statinį stabilumą, lėktuvas svyruoja vienu metu apie vertikalią ir išilginę ašis. Kai yra didelis skersinio V kampo efektas, esant slydimui prieš srautą atsukto sparno atakos kampas ir keliamoji jėga padidėja. Padidėja ir indukcinis pasipriešinimas [1]. Taip prasideda svyravimai vertikalios ir išilginės ašies atžvilgiu. Toks judėjimas vadinamas „olandišku žingsniu“ (9 pav.).




9 pav. „Olandiško žingsnio“ režimas

Jei manyti, kad „olandiško žingsnio“ režimas susideda tik iš šoninio slydimo ir posūkio judesių, tada galima nepaisyti posvyrio momento lygties. Remiantis šia prielaida, lygties (8) matricinė forma redukuojama į (15):

$$\begin{bmatrix} \dot{\Delta\beta} \\ \dot{\Delta r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{Y_\beta}{u_0} & -\left(1-\frac{Y_r}{u_0}\right) \\ N_\beta & N_r \end{bmatrix} \cdot \begin{matrix} \Delta\beta \\ \Delta r \end{matrix}. \quad (15)$$

Pakeičiama į charakteristikų lygties (8) laukus (16):

$$\lambda^2 - \left(\frac{Y_\beta + u_0 \cdot N_r}{u_0}\right) \cdot \lambda + \frac{Y_\beta \cdot N_r - N_\beta \cdot Y_r + u_0 \cdot N_\beta}{u_0} = 0. \quad (16)$$

Iš šios išraiškos galima nustatyti neslopinantį natūralų dažnį $\omega_{n_{DR}}$ ir slopinimo santykį $\vartheta_{DR}$ (17, 18):

$$\omega_{n_{DR}} = \sqrt{\frac{Y_\beta \cdot N_r - N_\beta \cdot Y_r + u_0 \cdot N_\beta}{u_0}}; \quad (17)$$

$$\vartheta_{DR} = -\frac{1}{2 \cdot \omega_{n_{DR}}} \cdot \left(\frac{Y_\beta + u_0 \cdot N_r}{u_0}\right). \quad (18)$$

Suformuotos aproksimacijos, geriausiu atveju, reiškia apytikrį spiralinio ir „olandiško žingsnio“ režimų apskaičiavimą. Blogo suderinamumo tarp aproksimuotų ir tikslių sprendinių priežastis yra ta, kad „olandiškas žingsnis“ iš tikro yra trijų laisvės laipsnių su stipriu tarpusavio ryšiu tarp lygčių [1].

# 2. Sklandytuvo Lak-17 analizė AVL programa

## 2.1 AVL programa

Sūkurių tinklelio modeliavimo programa AVL (Athena Vortex Lattice) pasirinkta todėl, kad geriausiai tinka tirti aerodinaminiams kūnams, kurie susideda iš santykinai plonų, liaunų, keliamąją jėgą sukuriančių paviršių, kaip sklandytuvas Lak-17, kai atakos ir slydimo kampai yra maži. Šie paviršiai ir nuo jų galinės briaunos nueinantis pėdsakas modeliuojami vieno sluoksnio sūkurių paviršiais, kurie diskretizuojami pasagos formos sūkurių linijomis (angl. *horseshoe vortices*). Laisvieji sūkuriai laikomi lygiagrečiais su x ašimi. Su AVL galima modeliuoti siaurus kūnus, pavyzdžiui, liemenis ir gondolas naudojant šaltinio ir dipolio linijas (angl. *source–doublet lines*). Atstojamosios jėgos ir momento prognozavimas atitinka plono kūno teoriją, bet patirtis dirbant su šiuo modeliu yra santykinai ribota, liemenys modeliuojami atsargiai [8].

Viena iš programos galimybių – dinaminio stabilumo analizė:

a) standaus kūno analizė su kvazi –stacionariu aerodinamikos modeliu;

b) dinaminio stabilumo šaknų priklausomybės nuo parametro vaizdavimas;

c) dinaminio stabilumo judesio rodymas ekrane realiame laike;

d) dinaminės sistemos matricos koeficientų išvedimas.

AVL programoje naudojamos trys tekstiniai įvesties failai, kurių plėtiniai:

xxx.avl – šiame faile aprašomi modelio geometriniai duomenys.

xxx.mass – nebūtina, bet išsamiai stabilumo analizei reikalinga byla, kurioje yra surašyti AVL vartojami dimensijų vienetai, naudojama koordinačių sistema, modelio masių bei inercijos momentų duomenys.

xxx.run – papildoma byla, aprašanti kelių stabilumo atvejų parametrus, paprastai programa pagal nutylėjimą pati parašo šią vykdomąją bylą.

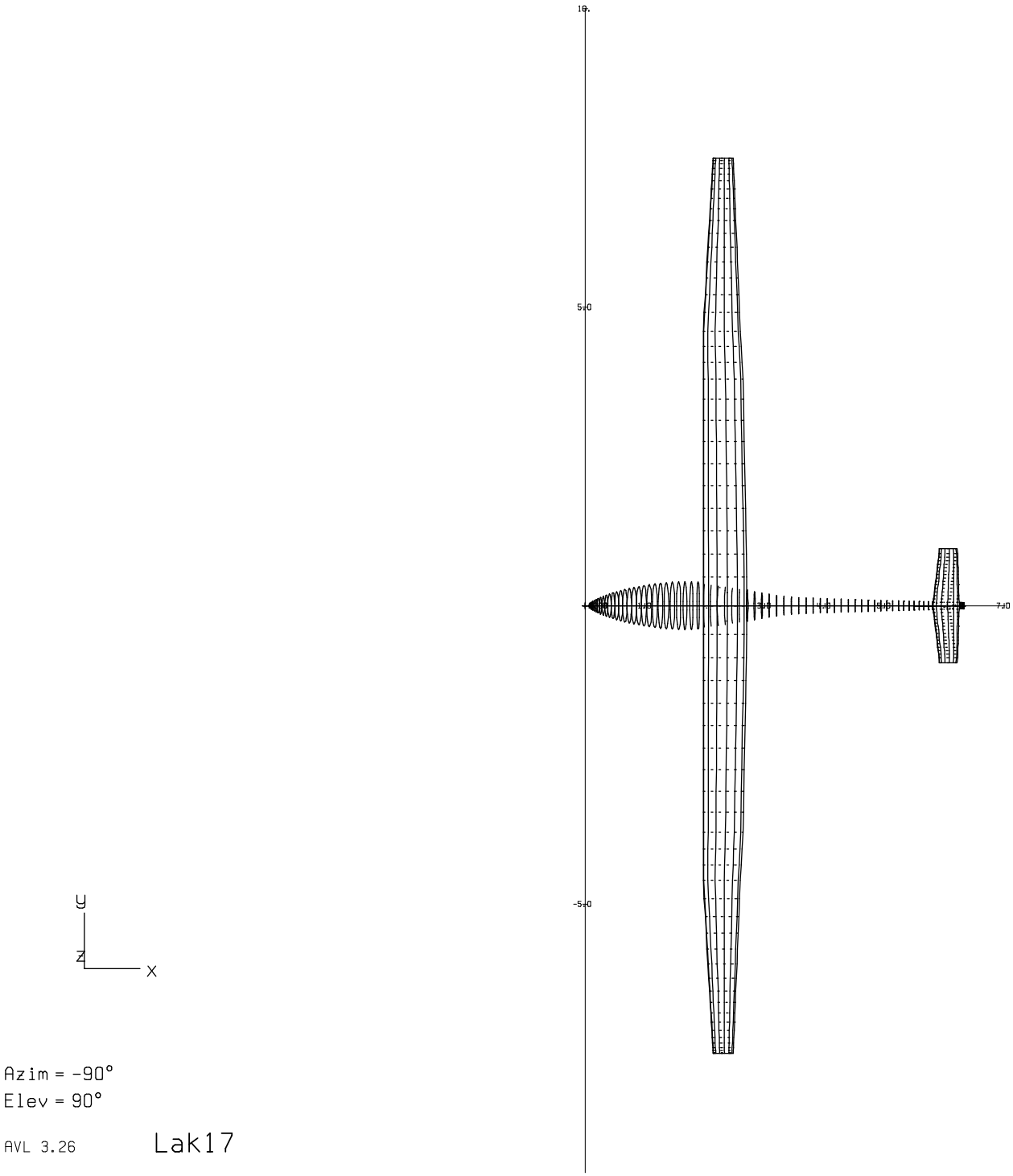
Teksto redagavimo programa „Microsoft Office Word 2007” parašomi xxx.avl ir xxx.mass failai, o xxx.run byla sukuriama AVL programos, kurią bet kada bus galima redaguoti.

## 2.2 Sklandytuvo modelio sudarymas ir paruošimas analizei

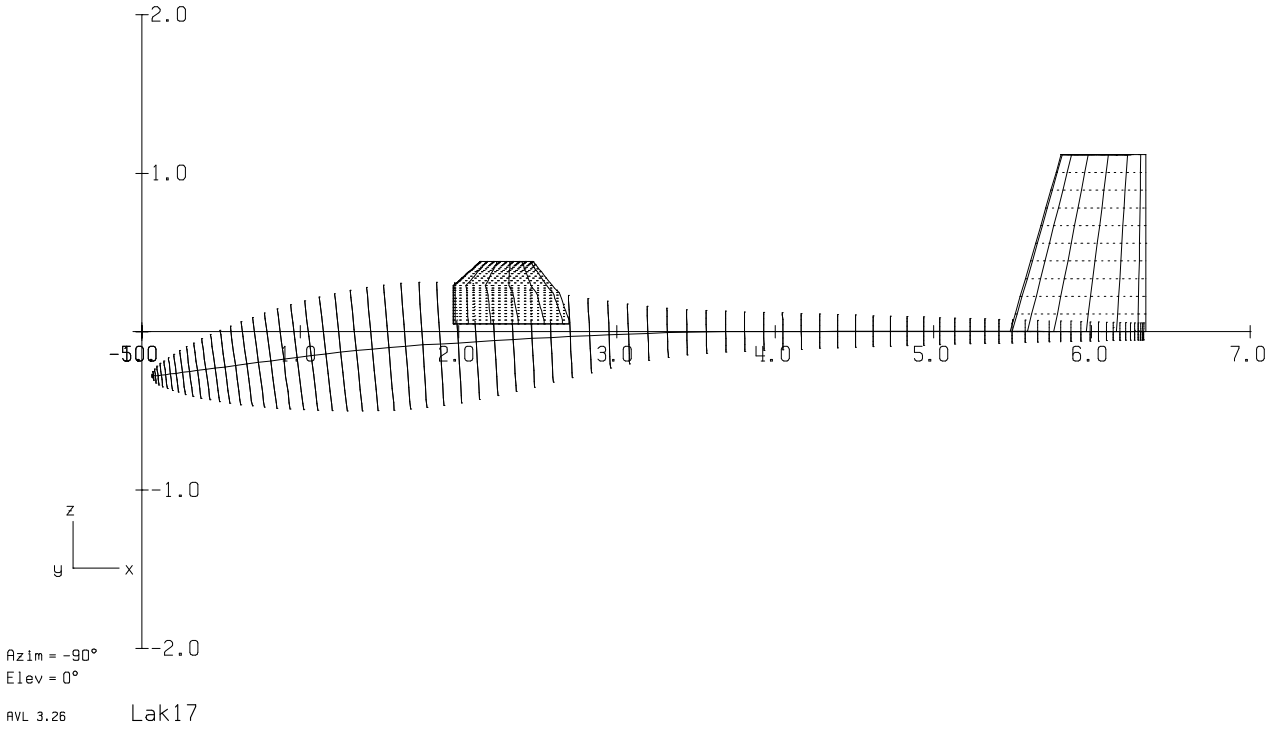
### 2.2.1 Sklandytuvo Lak-17 geometrinis modelis

Norint, kad AVL programa skaičiuotų mums reikiamus stabilumo parametrus, būtina sudaryti orlaivio geometrinį modelį. Žinant sklandytuvo pagrindinius matmenis ir profilius (sparnas

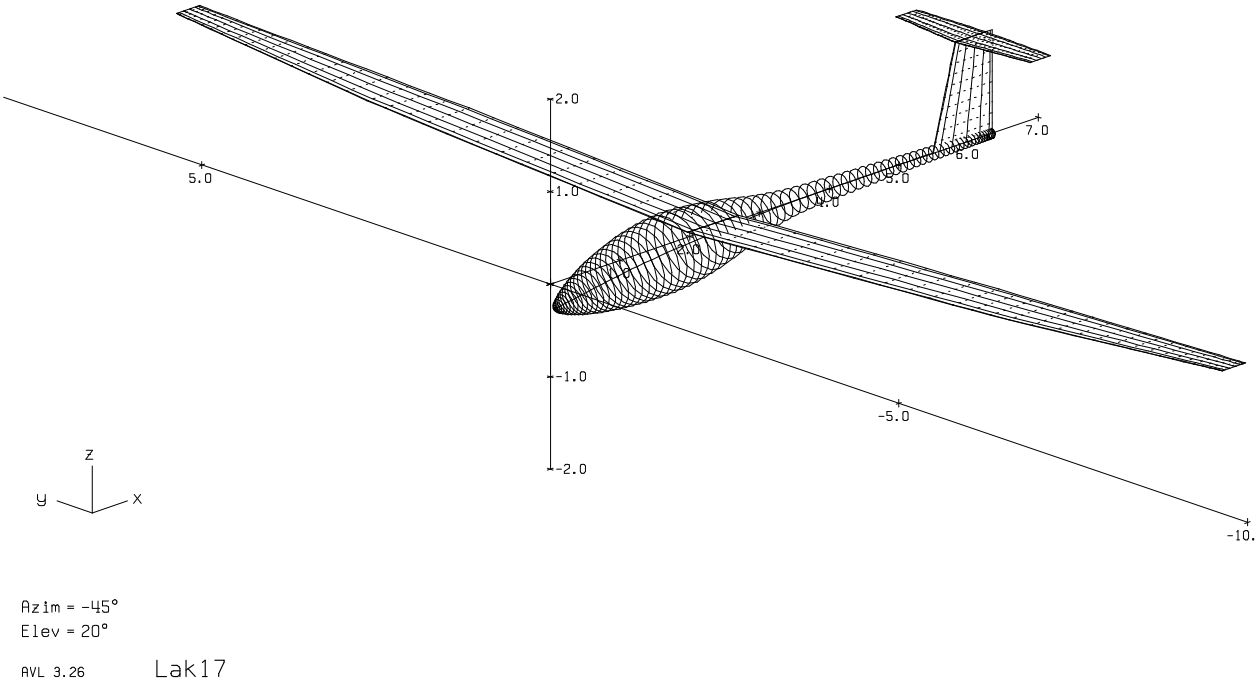
– LAP 92-130/15, LAP 92-150/15, stabilizatorius – FX71-L-150/25, kilis – FX71-L-150/30, skersinis V kampas) parašoma geometrijos duomenų byla [7] lak.avl, kurią galima pamatyti A priede. Pagal šią bylą programos AVL sugeneruotas geometrinis sklandytuvo modelis pateiktas 10, 11, 12 pav. Atkreipiamas dėmesys į tai, kad šiuose paveiksluose vaizduojamas modelis turi 3 laipsnių skersinį V kampą ir 0,78 $m^2$ ploto vertikalią uodegos plokštumą.




10 pav. Sklandytuvo Lak-17 geometrinis modelis (vaizdas iš viršaus)




11 pav. Sklandytuvo Lak-17 geometrinis modelis (vaizdas iš šono)




12 pav. Sklandytuvo Lak-17 erdvinis geometrinis modelis

### 2.2.2 Sklandytuvo Lak-17 atskirų dalių masės ir inercijos momentai

Šiame faile lak.mass nurodoma koordinačių sistema, kuri yra naudojama aprašant geometrinį sklandytuvo modelį lak.avl byloje. Šiuo atveju – Dekarto koordinačių sistema. Taip pat sklandytuvo dalių masės ir inercijos momentai. Šio failo turinys pateiktas B priede.

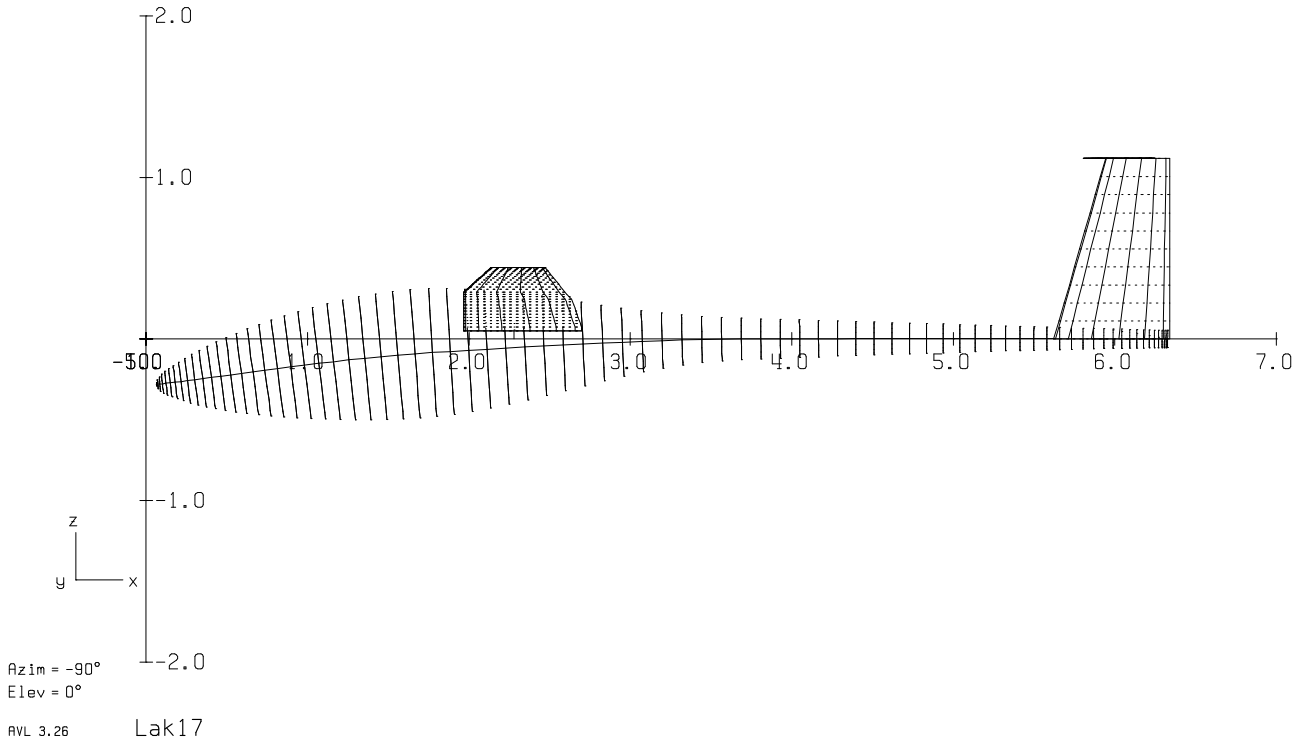
### 2.2.3 Sklandytuvo Lak-17 vykdomoji tekstinė byla

Suvedus anksčiau minėtas tekstines bylas, AVL programa sukompiliavo pradinį lak.run vykdomąjį failą ,kurį galime pamatyti C priede.

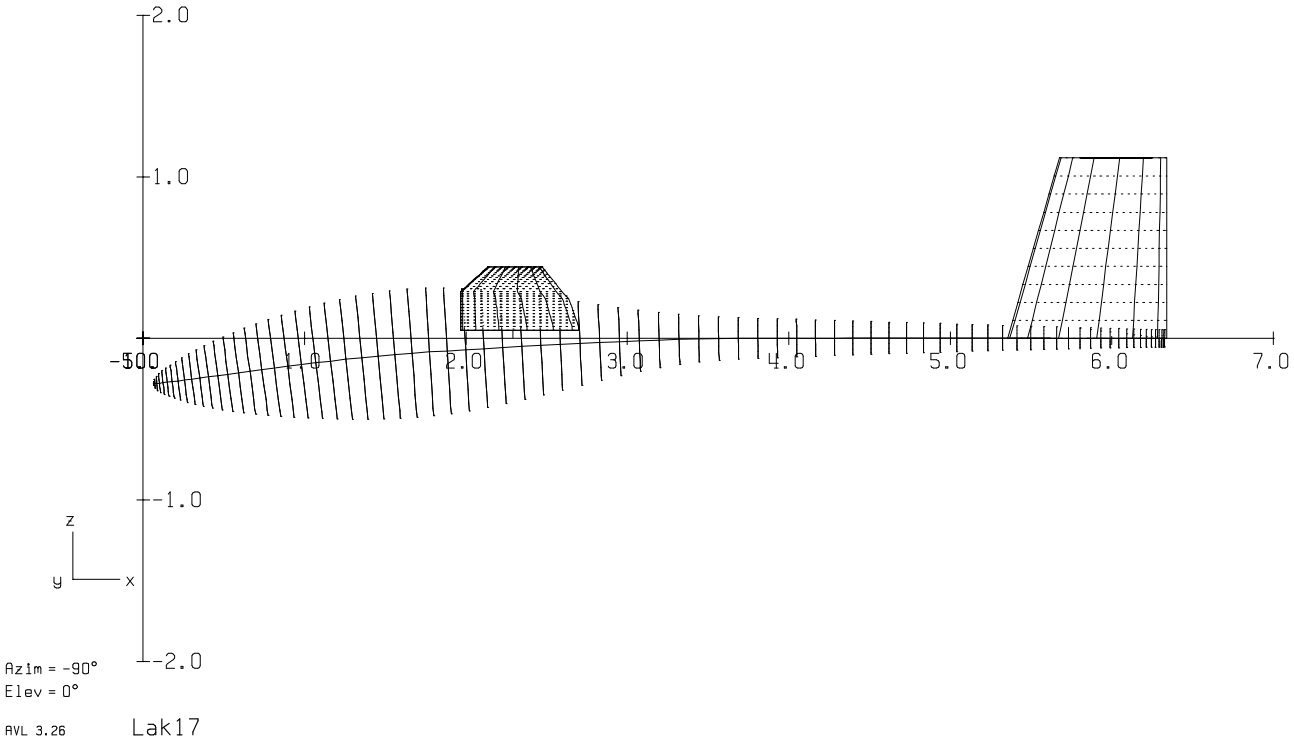
## 2.3 Sklandytuvo stabilumo analizė

Sklandytuvo stabilumo analizė bus atliekama keičiant skersinį V kampą nuo 0 iki 7 laipsnių (D priedas).

Taip pat varijuojama vertikalios uodegos plokštumos plotu. Pirmuoju atveju pasirinktas 20% mažesnis plotas – 0,62 $m^2$ (13 pav.), kitu – 20% didesnis plotas, lygus 0,93 $m^2$ (14 pav.).




13 pav. Sklandytuvo Lak-17 modelis, kai vertikalios uodegos plokštumos plotas 0,62 $m^2$




14 pav. Sklandytuvo Lak-17 modelis, kai vertikalios uodegos plokštumos plotas 0,93 $m^2$

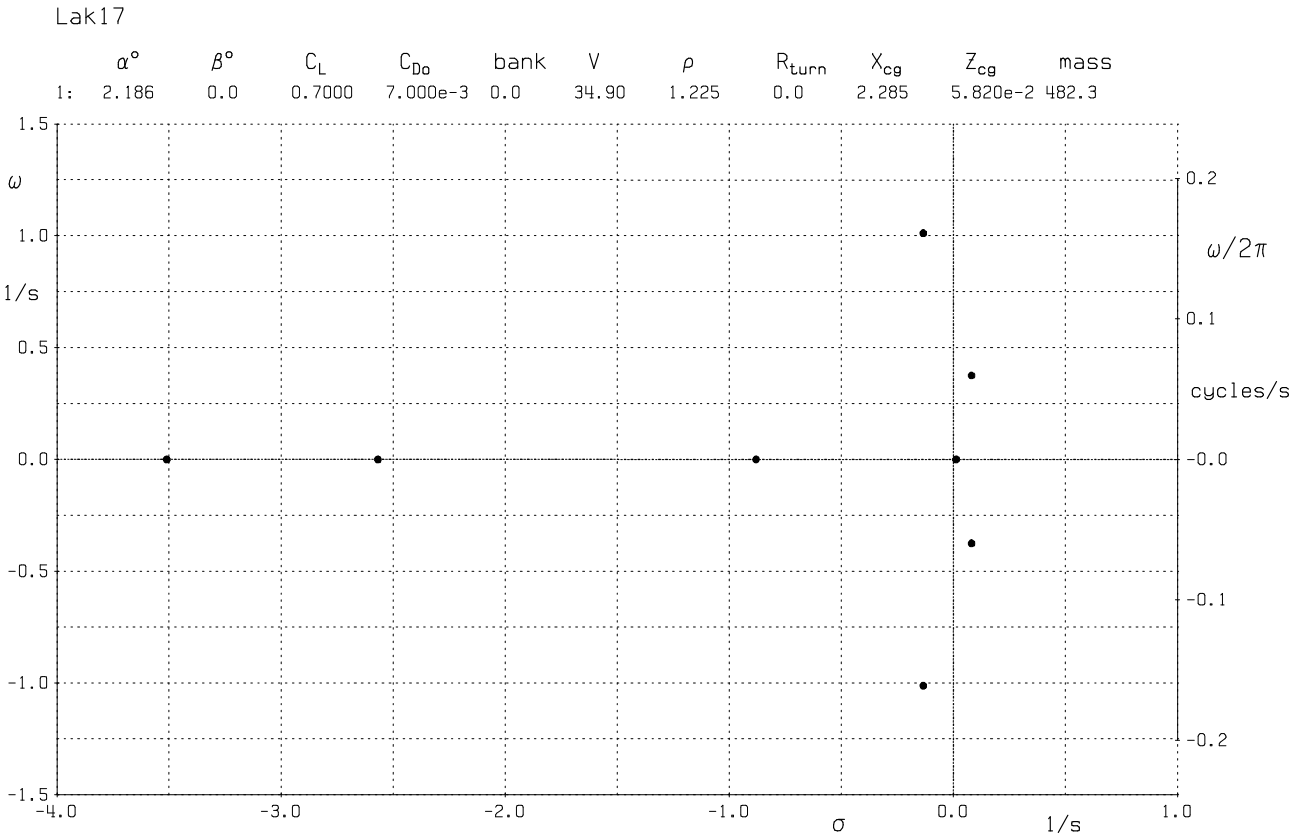
### 2.3.2 Stabilumo skaičiavimas programa AVL

Skaičiuojant stabilumo parametrus AVL programa, visi sklandytuvo reliatyvaus skrydžio parametrai paliekami pagal nutylėjimą, išskyrus keliamosios jėgos koeficientas pakeičiamas į lygų reikšmei $C_L = 0{,}7$. Imituojamas tolygus, tiesiaeigis horizontalus skrydis komanda *C1* (E priedas). Komanda *X* skaičiuojami sklandytuvo stabilumo parametrai.

Pereinama į skrydžio režimų skaičiavimo paprogramį komanda *MODE* (E priedas). Skrydžio režimai skaičiuojami komanda *N*, o komanda *X* – išvedami į ekraną.

### 2.3.3 Skersinio V kampo įtaka šoniniam stabilumui

Įvykdžius *N* komandą AVL programos *MODE* papogramyje kiekvienu skersinio V kampo atveju į ekraną išvedama informacija apie suskaičiuotas dinaminio nestabilumo režimų šaknis. 15 pav. pavaizduota dinaminio nestabilumo režimų sprendiniai esant skersiniam V kampui lygiam $3^0$. Visi kiti sprendiniai pateikti F priede:

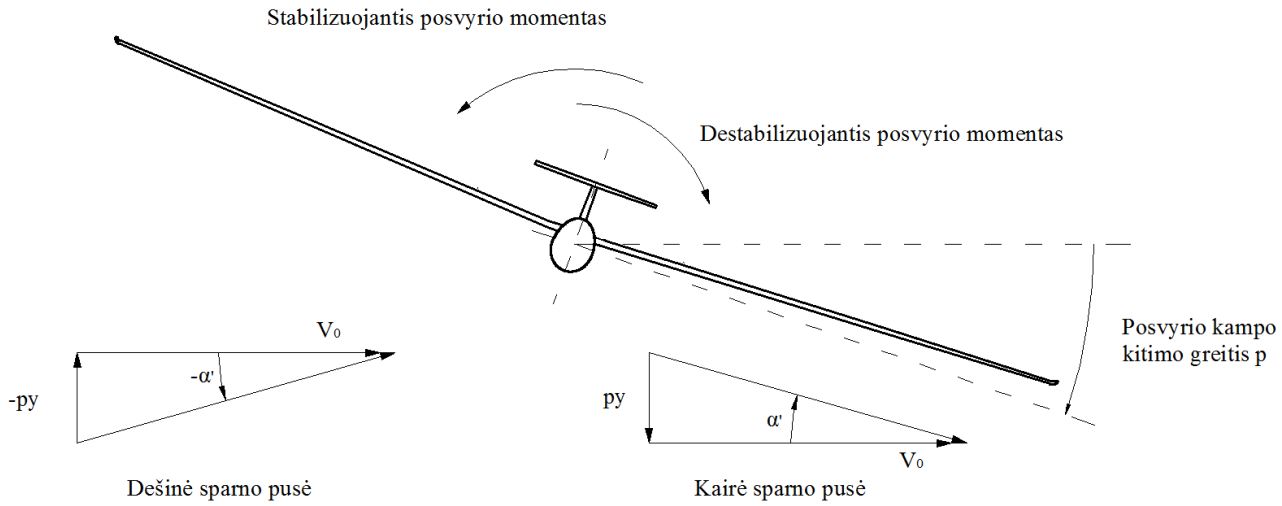



15 pav. Sklandytuvo Lak-17 nestabilių skrydžio režimų šaknys, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai

Kaip matome, paveiksluose pavaizduotos 8 šaknys. 4 iš jų rodo išilginį stabilumą ar nestabilumą, likusios – šoninį stabilumą ar nestabilumą. Bus nagrinėjami pastarieji skrydžio režimai.

### 2.3.3.1 Posvyrio slopinimo režimas

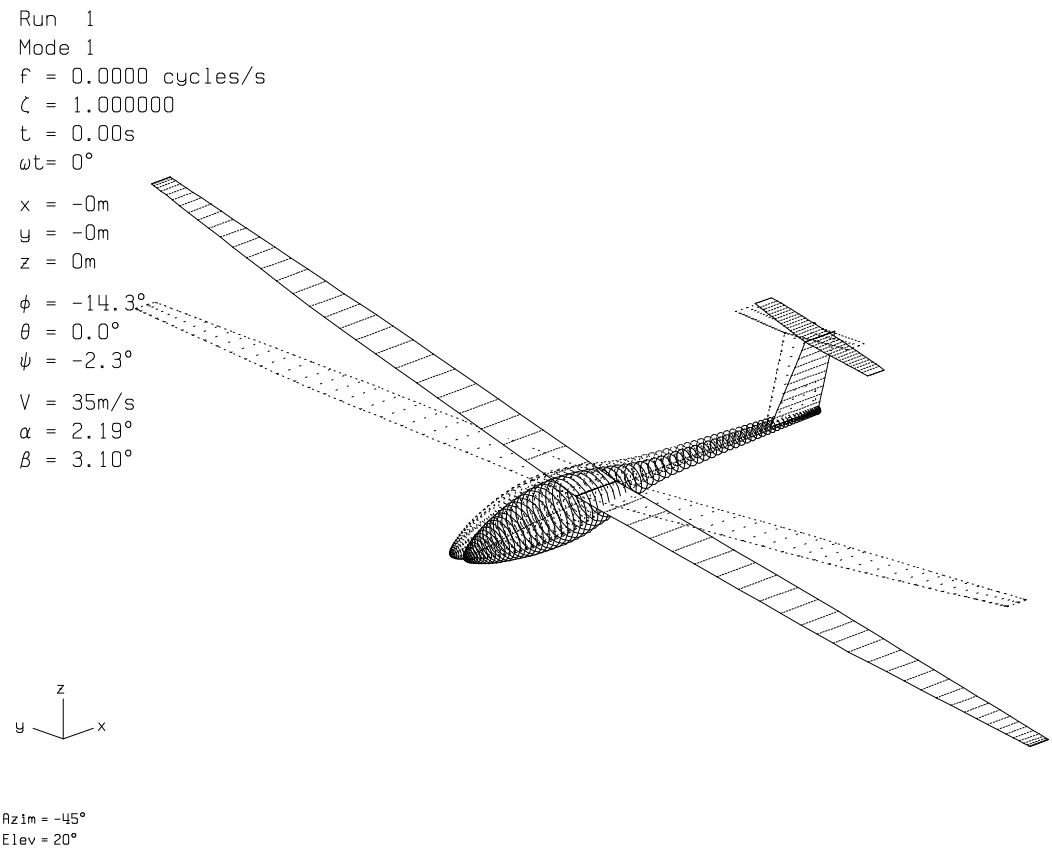
Anksčiau pateiktame paveiksle šio režimo šaknis yra pirmas taškas iš kairės. Kadangi ši šaknis yra neigiamojoje koordinačių ašyje, tai reiškia, jog judesys stabilus [5]. Matyti, jog šis režimas neturi menamos ašies, vadinasi, tai nesvyruojamasis judesys (16 pav.).



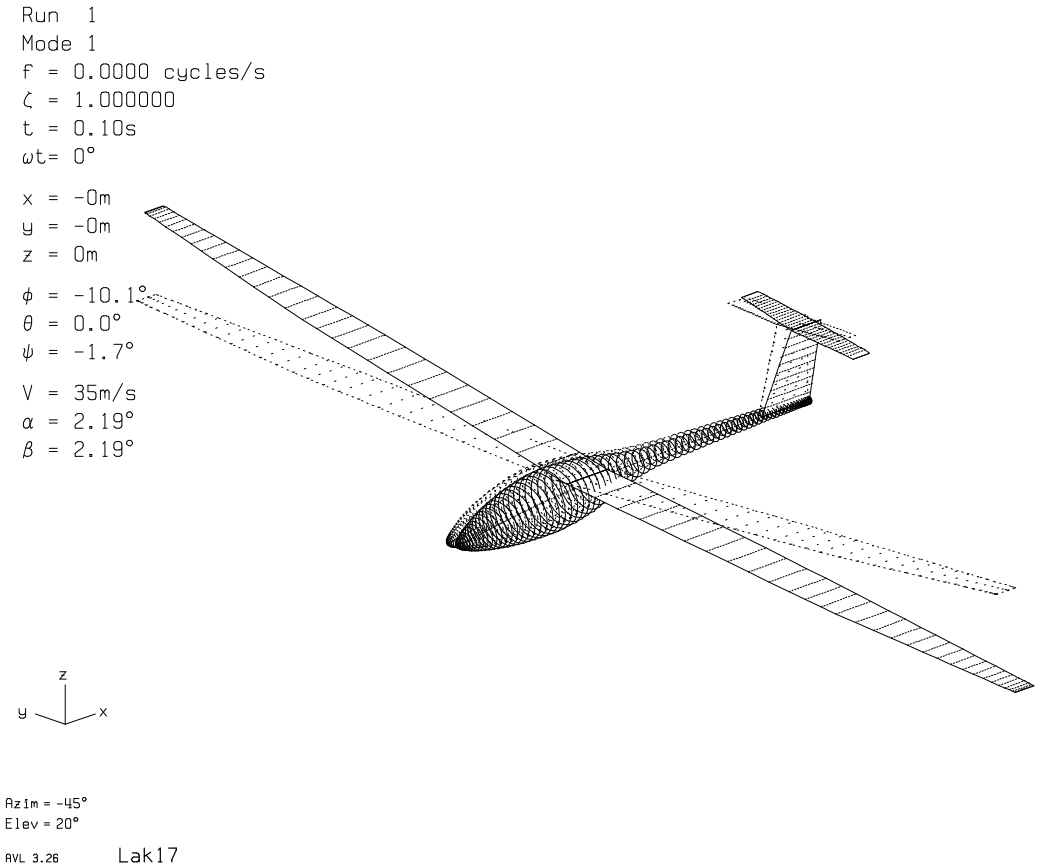

16 pav. Posvyrio slopinimas

Kai sklandytuvas pasvyra, viena, judanti žemyn, sparno pusė padidina atakos kampą, kita priešingai, sumažina. Susidaro priešingos krypties, stabilizuojantis momentas, verčiantis sklandytuvą svirti į priešingą pusę.

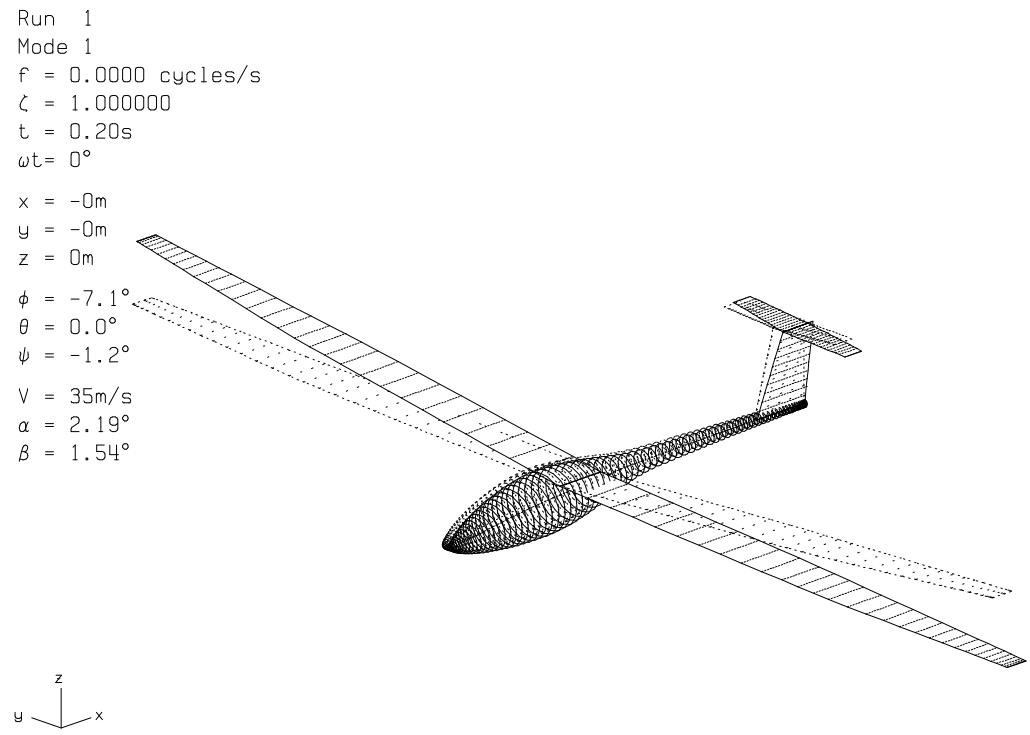
Komanda *X* išvedamas vaizdas į ekraną (17 pav., 18 pav., 19 pav., 20 pav., 21 pav., 22 pav.).



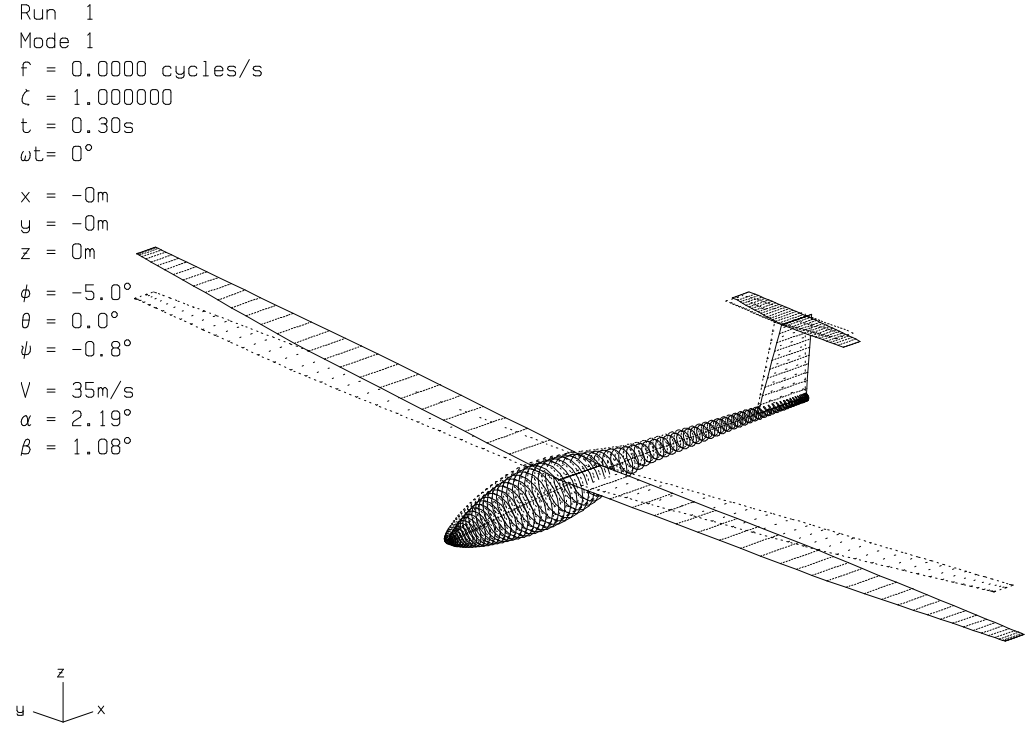

17 pav. Posvyrio slopinimo režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (a)



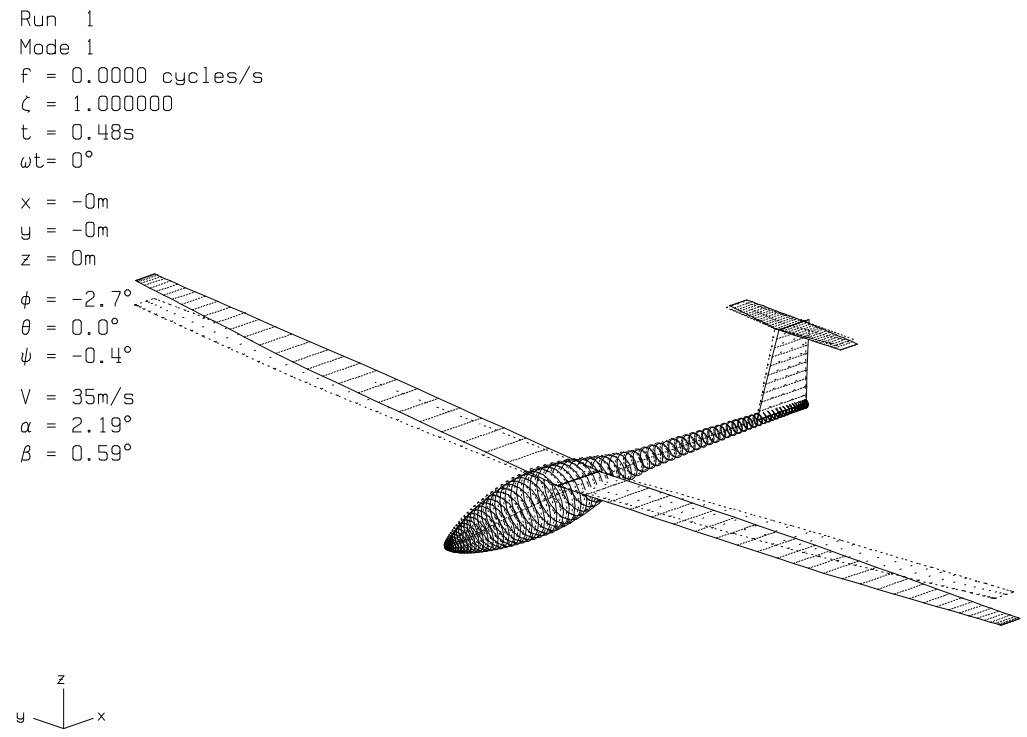

18 pav. Posvyrio slopinimo režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (b)



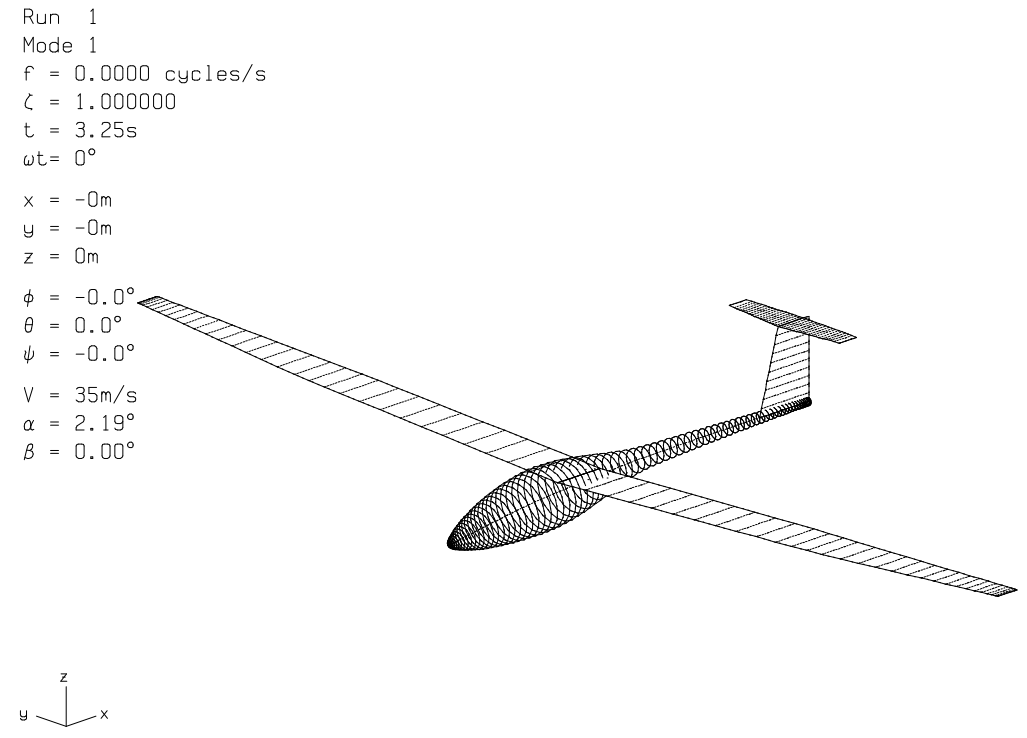

19 pav. Posvyrio slopinimo režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (c)




20 pav. Posvyrio slopinimo režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (d)




21 pav. Posvyrio slopinimo režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (e)

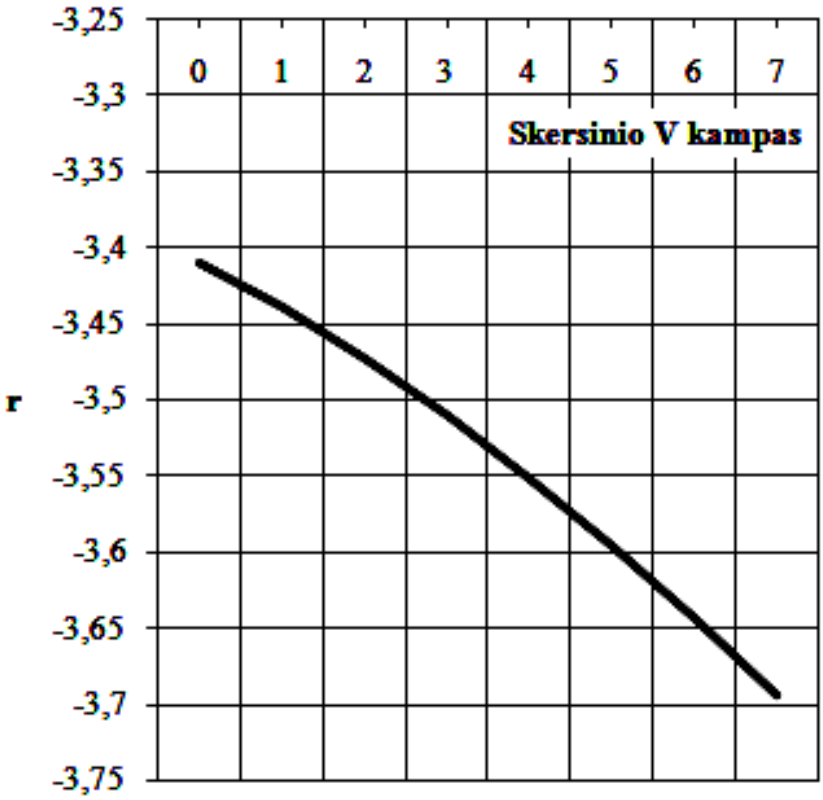



22 pav. Posvyrio slopinimo režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (f)

Panašūs posvyrio slopinimo režimai vaizduojami ir su kitomis skersinio V kampo reikšmėmis, todėl pateikiamos tik reikšmės prie skirtingų skersinio V kampų (1 lentelė) ir kreivė (23 pav.).

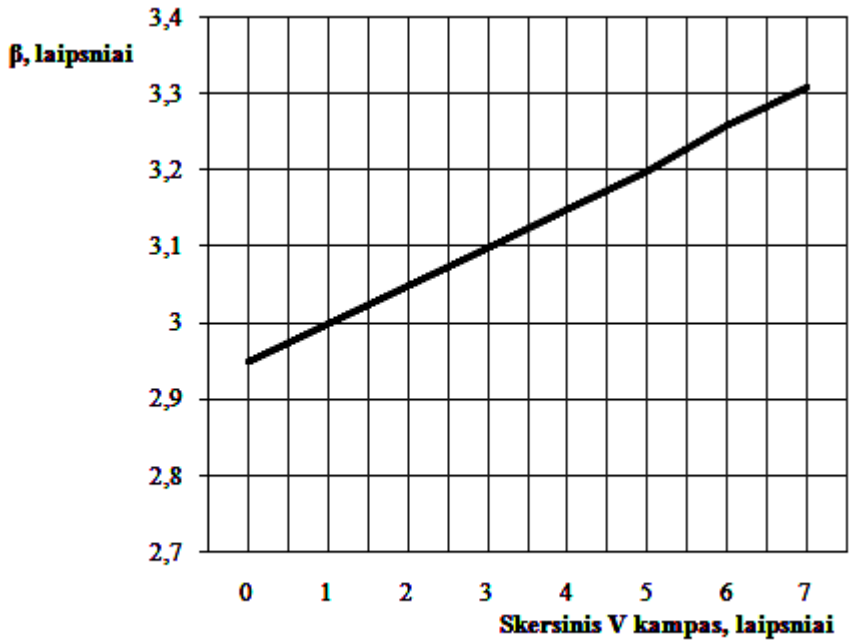
1 lentelė. Posvyrio slopinimo režimo reikšmės esant skirtingiems skersinio V kampams

| Skersinio V kampas, *laipsniais* | Skrydžio režimo šaknis |
|---|---|
| 0 | -3,409626 |
| 1 | -3,439241 |
| 2 | -3,472719 |
| 3 | -3,509983 |
| 4 | -3,550443 |
| 5 | -3,594675 |
| 6 | -3,642658 |
| 7 | -3,694304 |

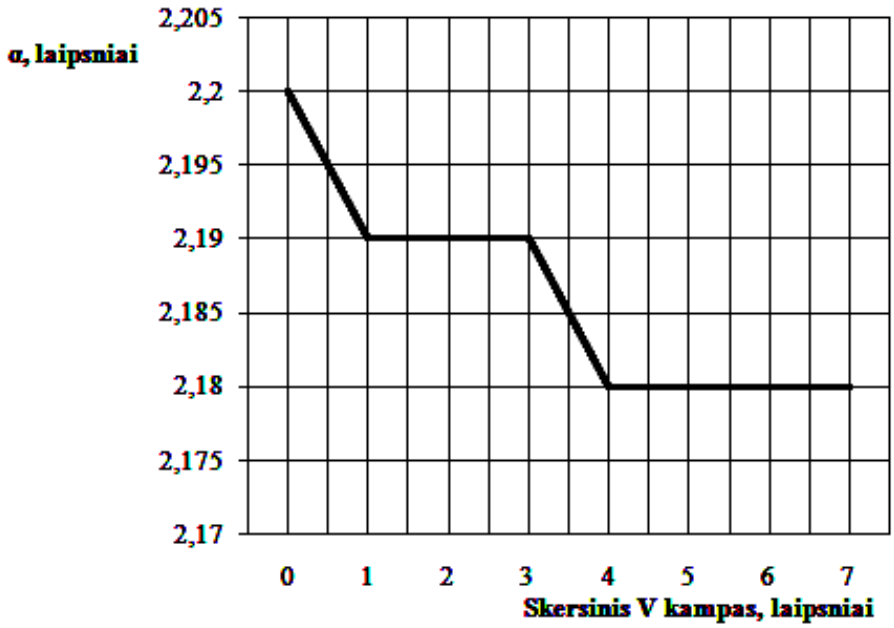



23 pav. Posvyrio slopinimo režimo šaknies priklausomybė nuo skersinio V kampo

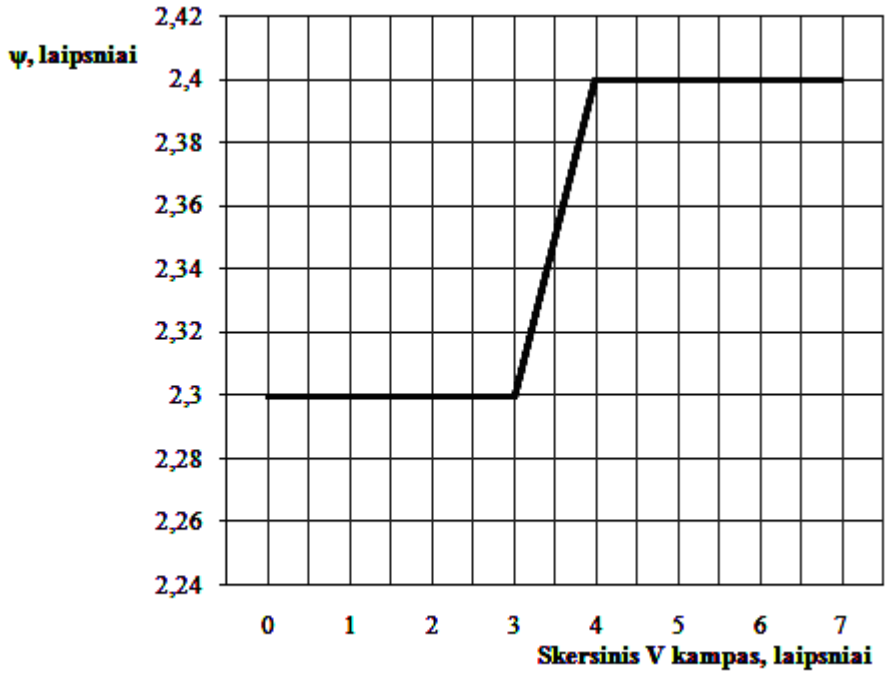
24, 25, 26 paveiksluose pateiktos kai kurių posvyrio slopinimo režimo parametrų priklausomybės nuo skersinio V kampo:




24 pav.Posvyrio slopinimo režimo slydimo kampo β priklausomybė nuo skersinio V kampo




25 pav. Posvyrio slopinimo atakos kampo α priklausomybė nuo skersinio V kampo




26 pav. Posvyrio slopinimo režimo pokrypio kampo ψ priklausomybė nuo skersinio V kampo

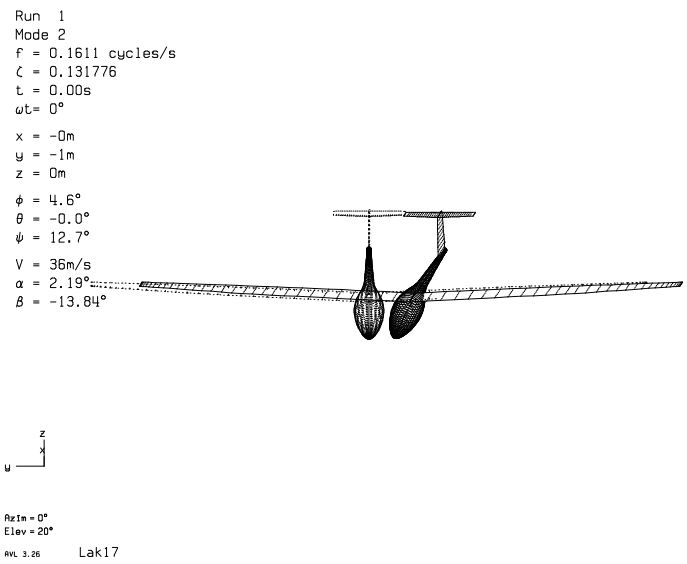
Iš 23 pav. matyti, jog posvyrio slopinimas didėja, augant sklandytuvo skersinio V kampui. Čia r – realus sprendinys. Pagal kreives (24 pav., 25 pav., 26 pav.) galima spręsti, jog didėja ir sklandytuvo slydimas, pokrypio kampas, bet mažėja atakos kampas.

### 2.3.3.2 „Olandiško žingnio“ režimas

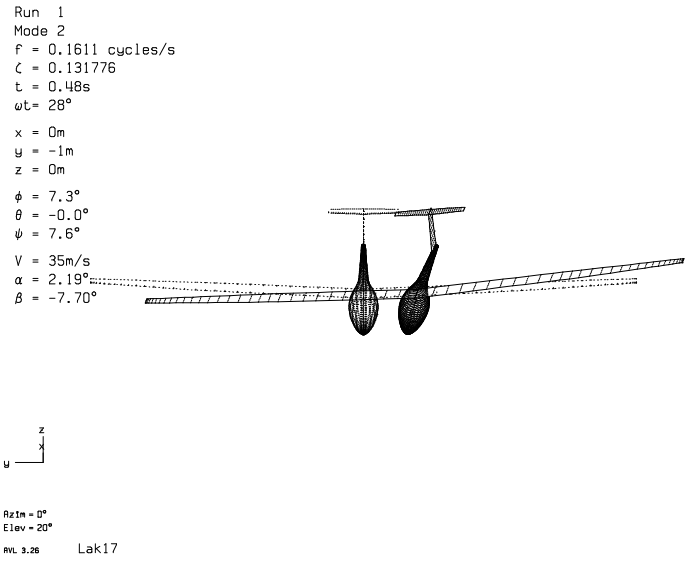
15 paveiksle matyti, jog „olandiško žingsnio“ režimo šaknys yra 2 – aukščiausiai ir žemiausiai esantys taškai. Vadinasi, reali šaknis turi menamą šaknį ir režimas yra svyruojantis tam tikru dažniu. Esant skirtingoms skersinio V kampo reikšmėms, matyti, jog „olandiško žingsnio“ režimas yra stabilus, visos sprendinių šaknys neigiamos.

„Olandiško žingsnio“ režimo judesys pateikiamas 27 – 41 paveiksluose.

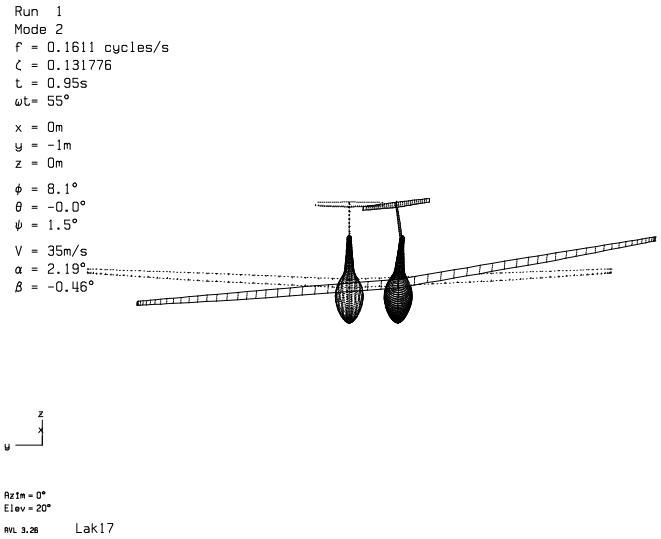
Prie visų skersinio V kampų šis režimas yra dinamiškai stabilus, t.y. po sutrikdymo svyruojamaisiais judesiais sugrįžta į pradinę padėtį. Visos realios režimo šaknys pateiktos 2 lentelėje, o kreivė (42 pav.) leidžia vaizdžiai matyti, kaip kinta „olandiško žingsnio“ stabilumas keičiantis skersinio V kampui.



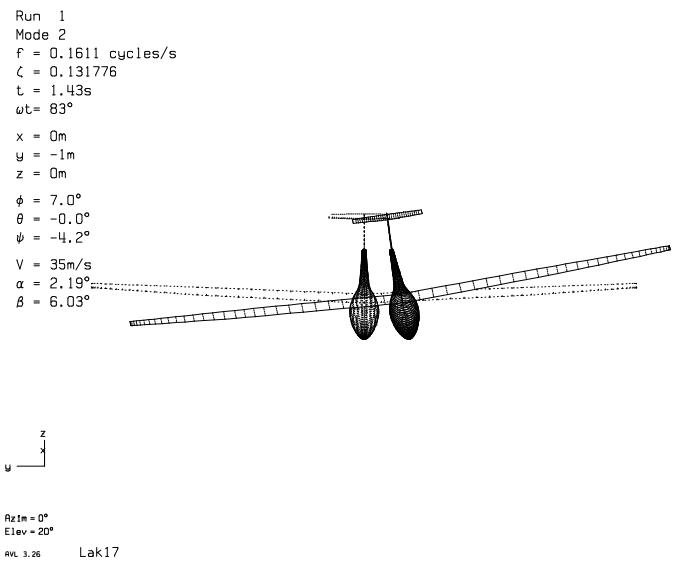

27 pav. „Olandiško žingsnio“ skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (a)



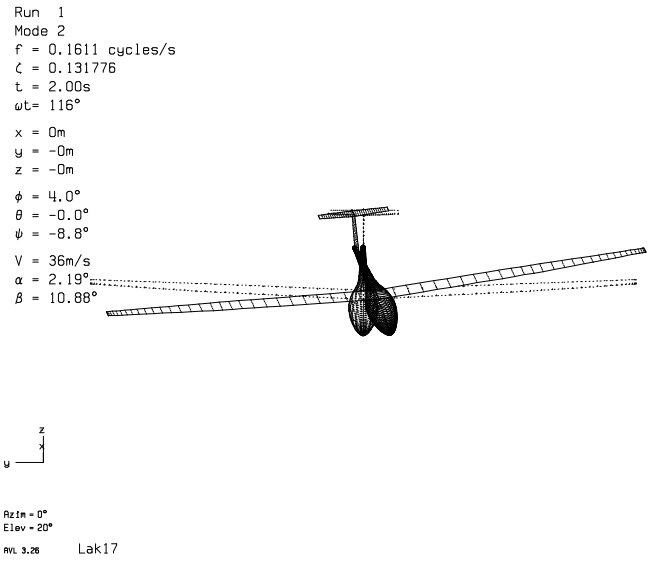

28 pav. „Olandiško žingsnio“ skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (b)



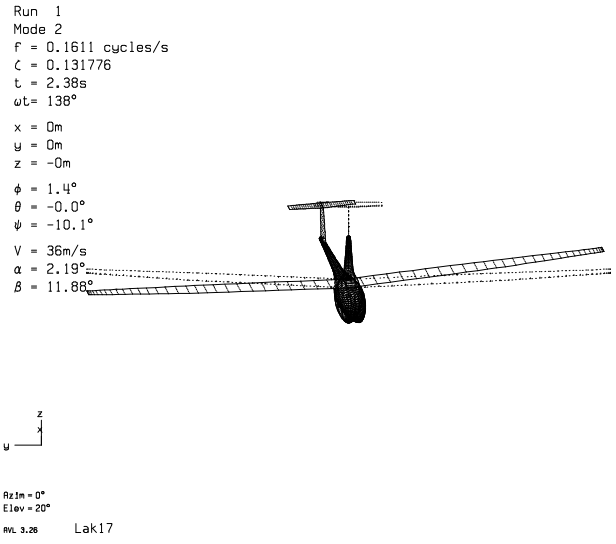

29 pav. „Olandiško žingsnio“ skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (c)



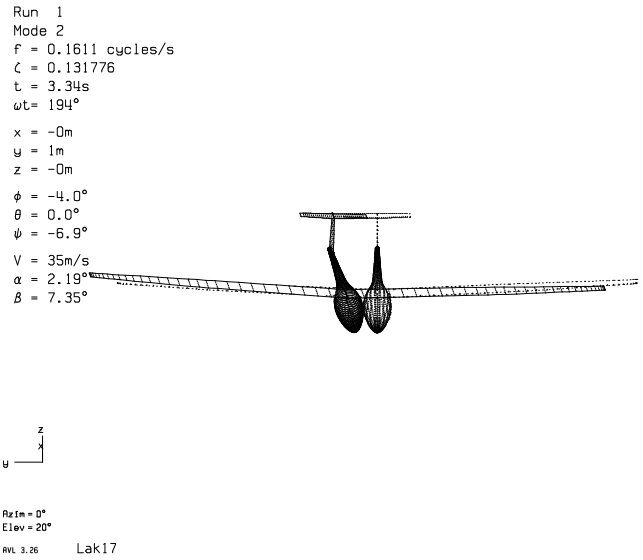

30 pav. „Olandiško žingsnio“ skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (d)



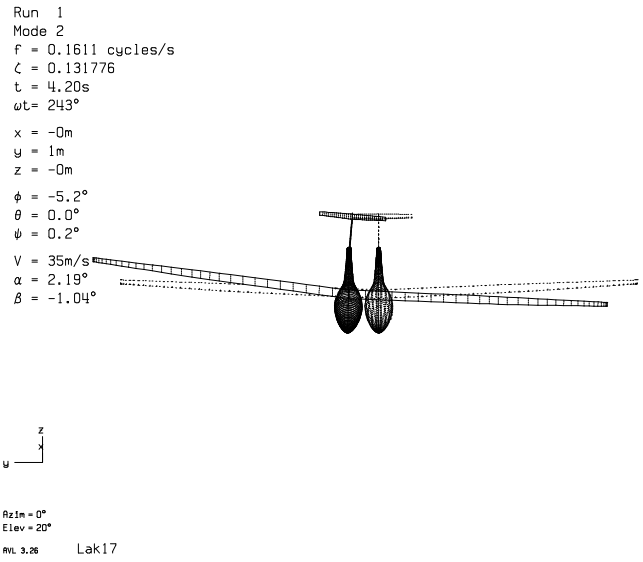

31 pav. „Olandiško žingsnio“ skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (e)



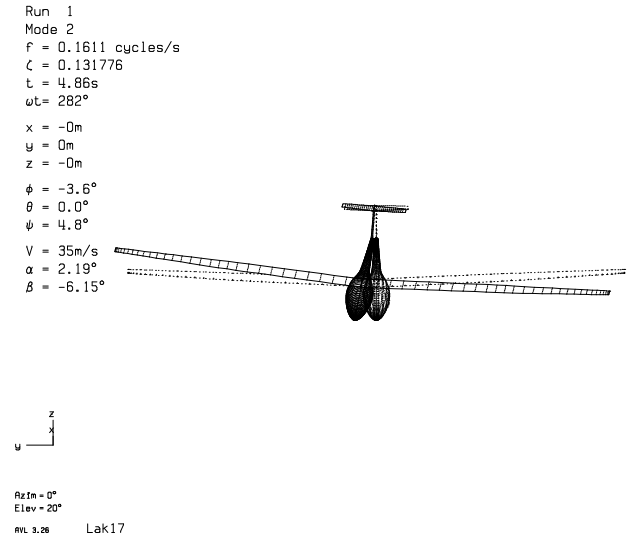

32 pav. „Olandiško žingsnio“ skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (f)



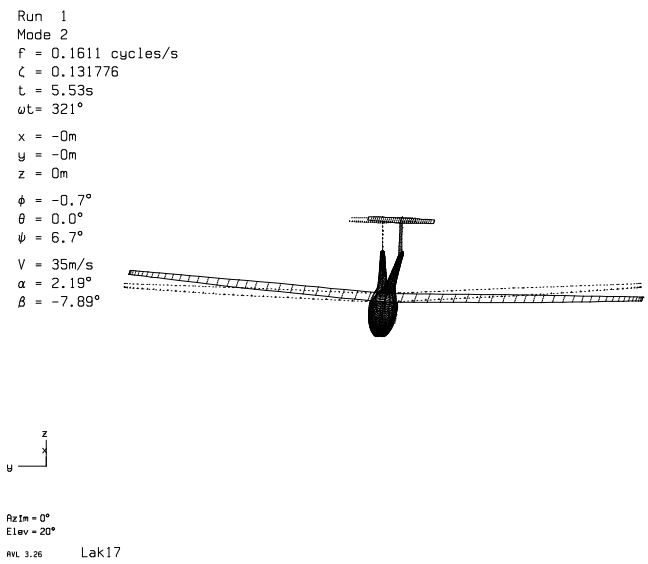

33 pav. „Olandiško žingsnio“ skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (g)



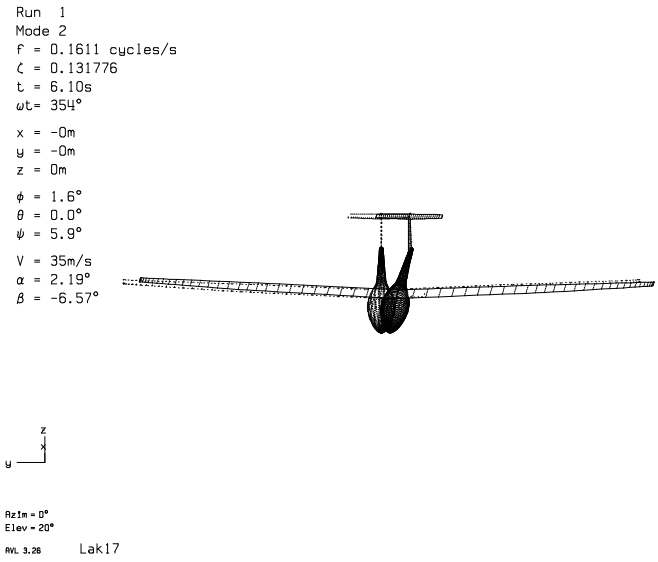

34 pav. „Olandiško žingsnio“ skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (h)



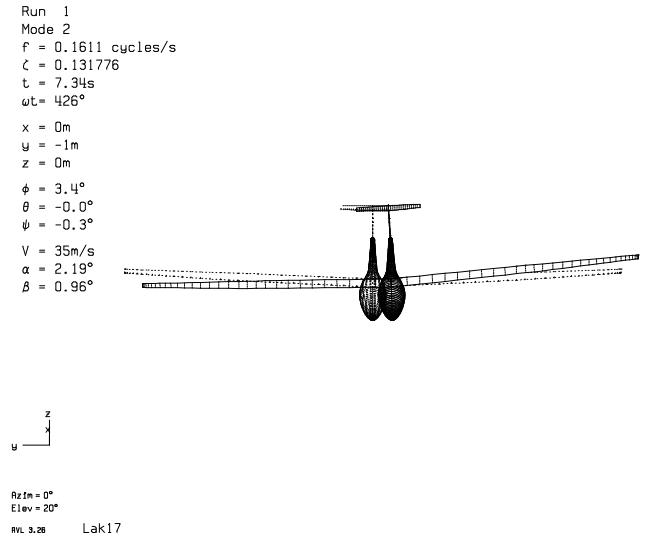

35 pav. „Olandiško žingsnio“ skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (i)



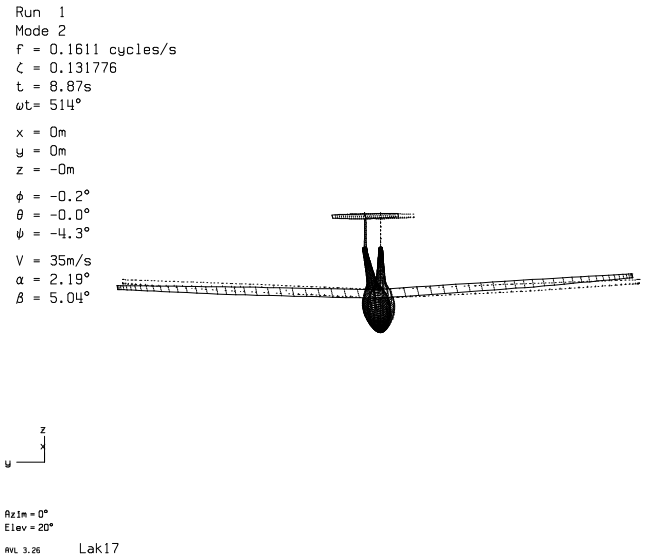

36 pav. „Olandiško žingsnio“ skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (j)



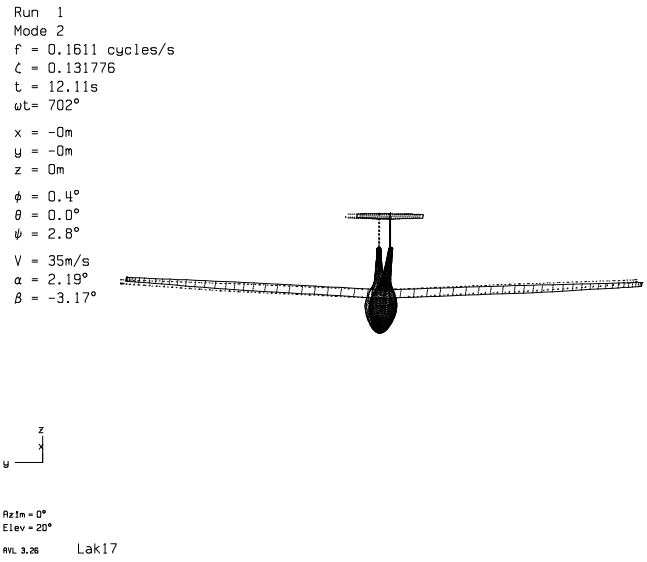

37 pav. „Olandiško žingsnio“ skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (k)



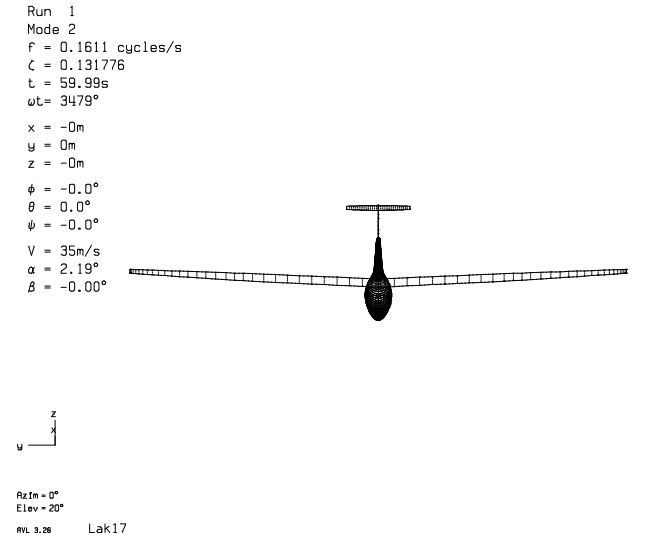

38 pav. „Olandiško žingsnio“ skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (l)




39 pav. „Olandiško žingsnio“ skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (m)



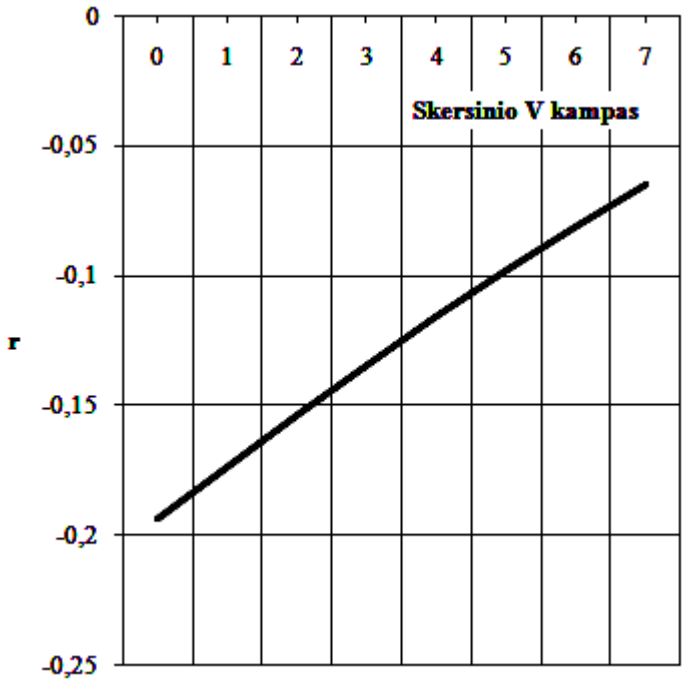

40 pav. „Olandiško žingsnio“ skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (n)




41 pav. „Olandiško žingsnio“ skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (o)

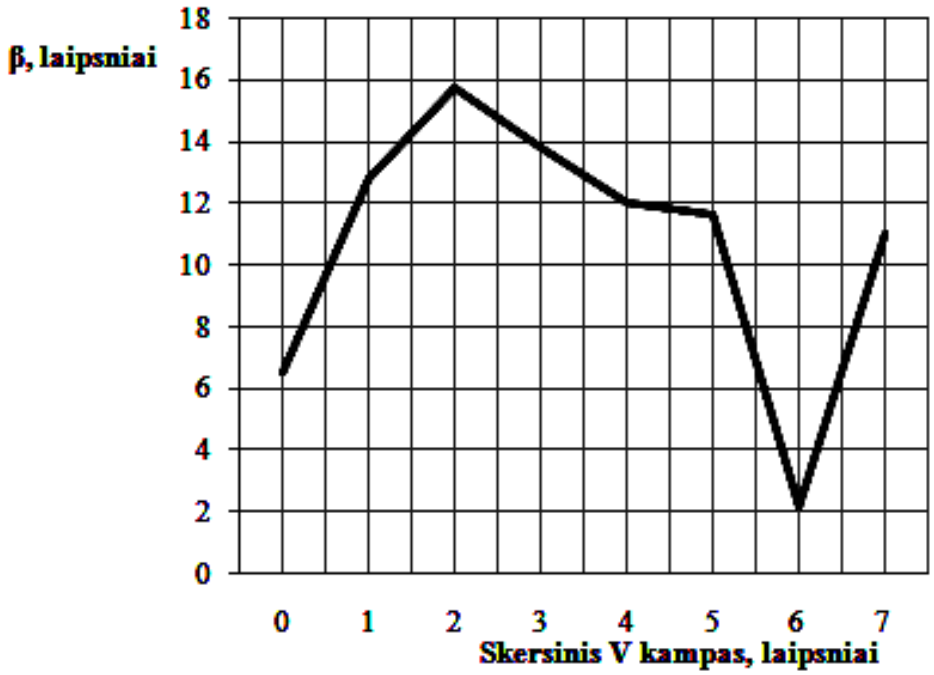
2 lentelė. „Olandiško žingsnio“ režimo reikšmės esant skirtingiems skersinio V kampams

| Skersinio V kampas, *laipsniais* | Reali skrydžio režimo šaknis |
|---|---|
| 0 | -0,193854 |
| 1 | -0,173574 |
| 2 | -0,153844 |
| 3 | -0,134563 |
| 4 | -0,116269 |
| 5 | -0,098495 |
| 6 | -0,0814017 |
| 7 | -0,0650368 |

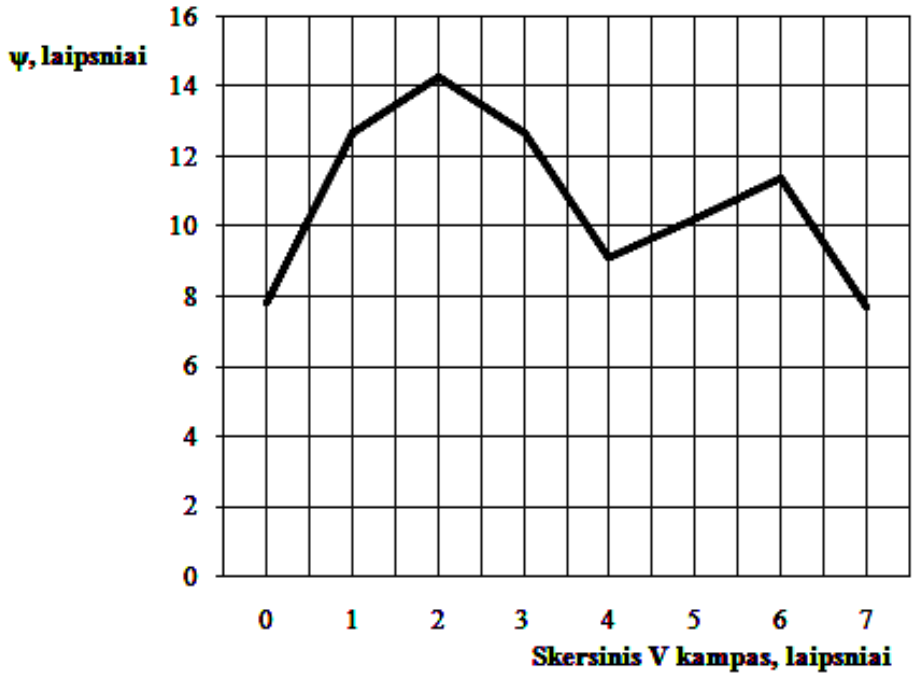



42 pav. „Olandiško žingsnio“ režimo šaknies priklausomybė nuo skersinio V kampo dydžio

43, 44 paveiksluose pateiktos „Olandiško žingsnio“ režimo slydimo kampo β ir pokrypio kampo ψ priklausomybės nuo skersinio V kampo:




43 pav. „Olandiško žingsnio“ režimo slydimo kampo β priklausomybė nuo skersinio V kampo dydžio

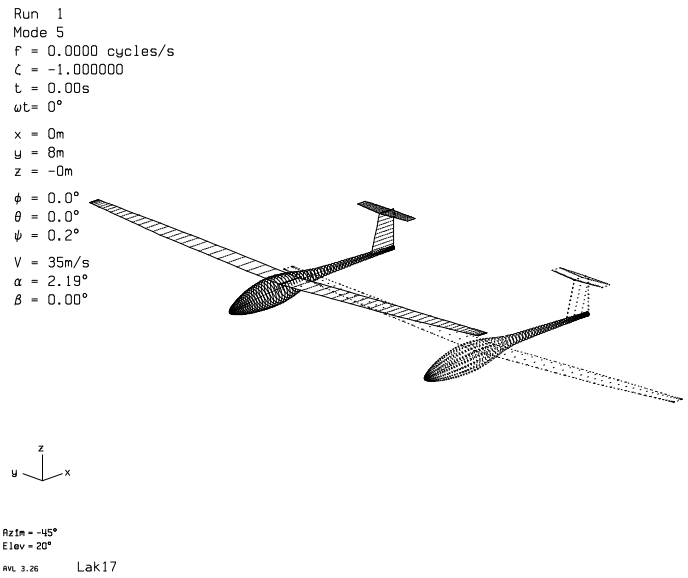



44 pav. „Olandiško žingsnio“ režimo pokrypio kampo ψ priklausomybė nuo skersinio V kampo dydžio

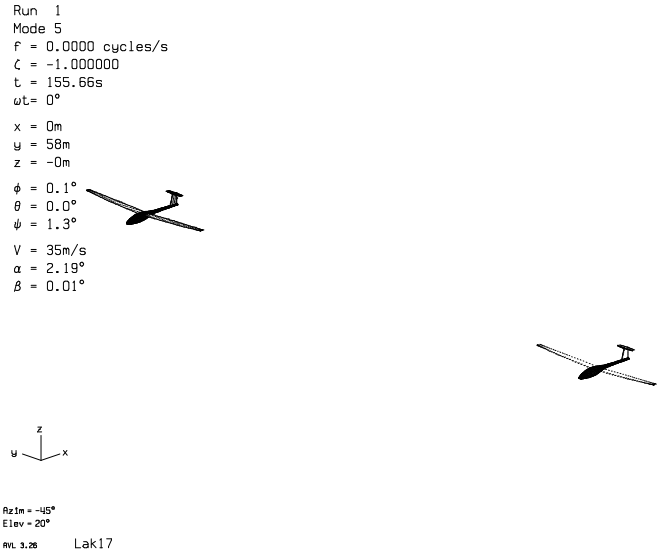
„Olandiško žingsnio“ judesio stabilumas mažėja, didėjant sklandytuvo skersinio V kampui (42 pav.). Pagal 43 pav. ir 44 pav. pavaizduotas kreives, galima spręsti, jog pradiniu laiko momentu, po trikdžio, pokrypio kampui ir slydimo kampui, skersinis V kampas didelės įtakos neturi.

### 2.3.3.3 Spiralinio nestabilumo režimas

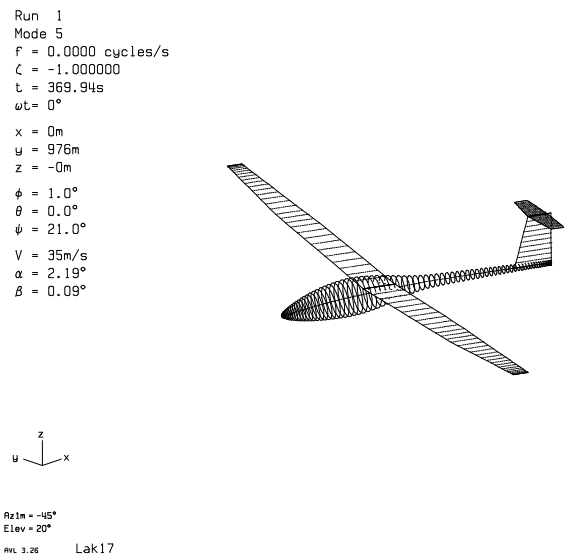
Iš 15 pav. ir F priede pateiktų paveikslų matyti, jog kintant skersinio V kampo dydžiui nuo 0 – 4 laipsnių, spiralinio nestabilumo šaknis yra viena, arti nulio ir ant teigiamos x ašies pusės (pirmas taškas iš dešinės). Tai nesvyruojamasis, nestabilus skrydžio režimas. Kai skersinio V kampo dydis kinta nuo 5 – 7 laipsnių, spiralinio nestabilumo šaknis pasislenka į kairę, neigiamą pusę. Sklandytuvas tampa stabilus. Šiame rėžime sklandytuvas iš pradžių turi krypties nestabilumą (45 pav. – 50 pav.), skrenda po truputį slysdamas, toliau krypties nestabilumas pereina į spiralinį nestabilumą (51 pav. – 58 pav.).



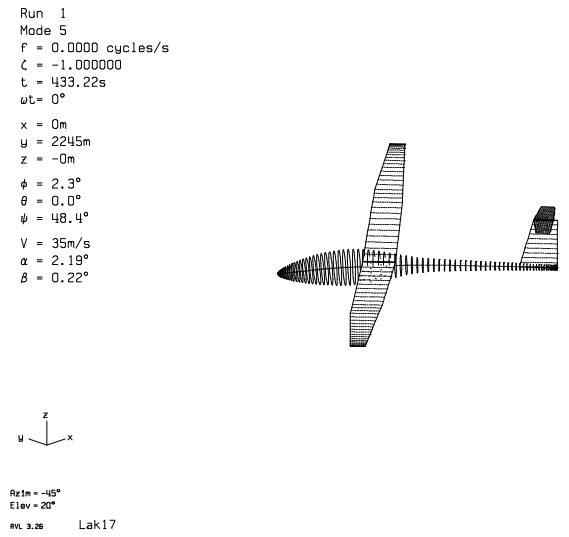

45 pav. Spiralinio nestabilumo skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (a)



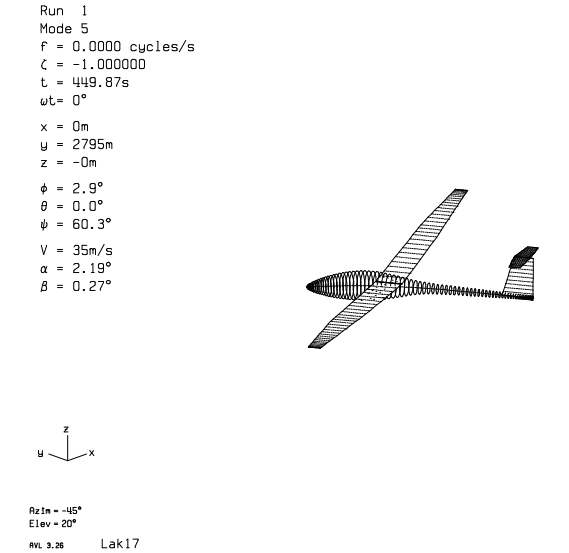

46 pav. Spiralinio nestabilumo skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (b)



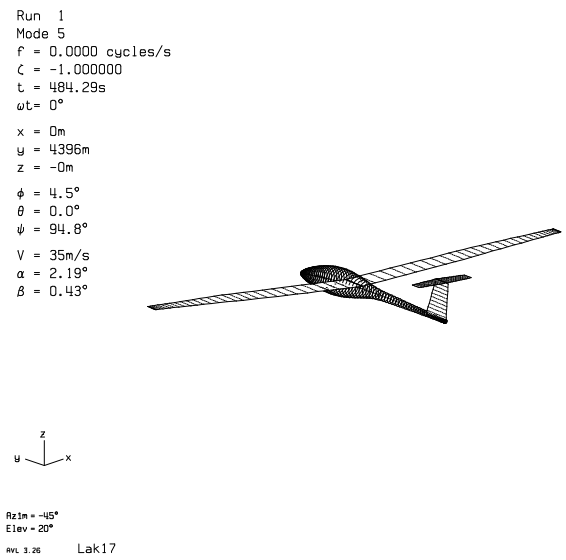

47 pav. Spiralinio nestabilumo skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (c)



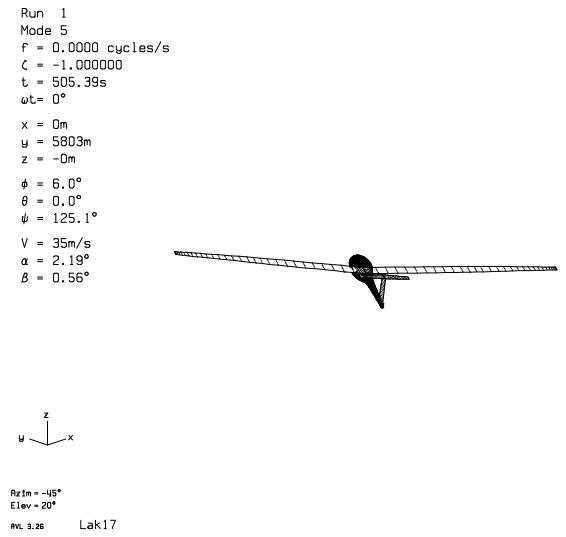

48 pav. Spiralinio nestabilumo skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (d)



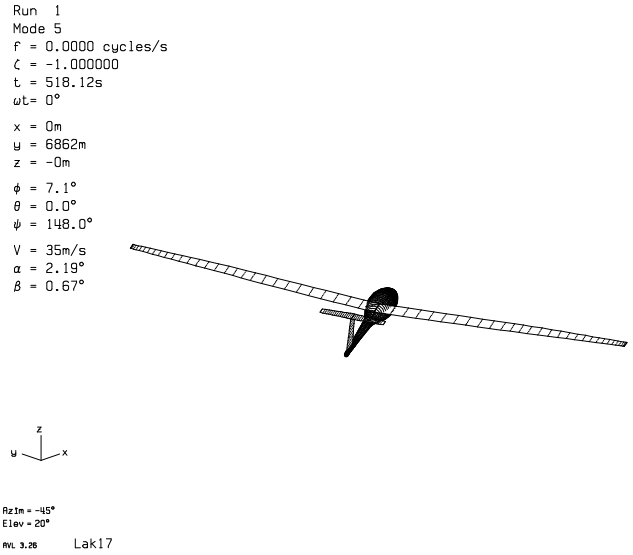

49 pav. Spiralinio nestabilumo skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (e)



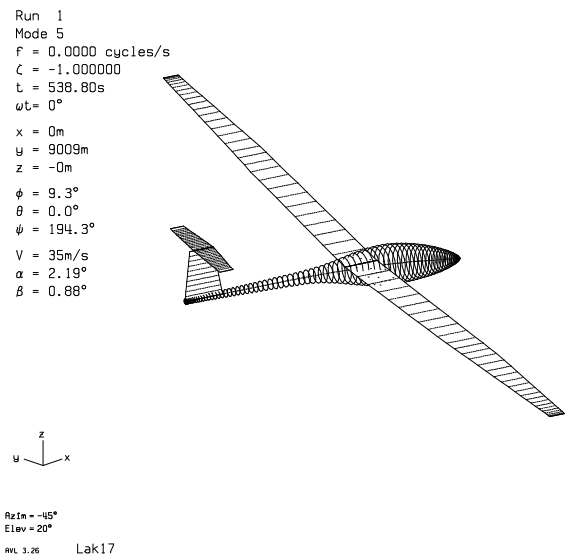

50 pav. Spiralinio nestabilumo skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (f)



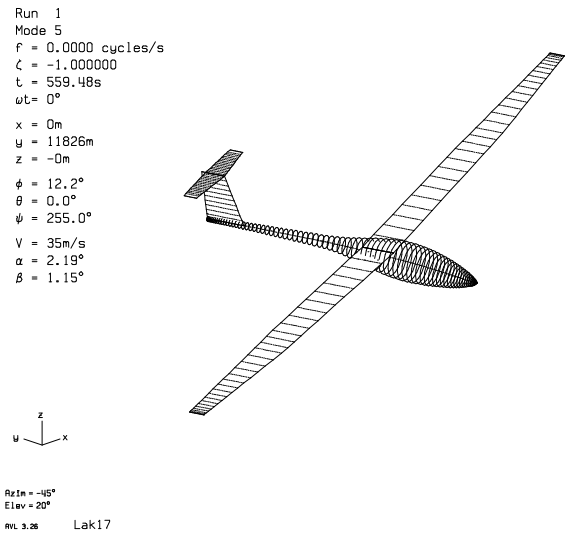

51 pav. Spiralinio nestabilumo skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (g)



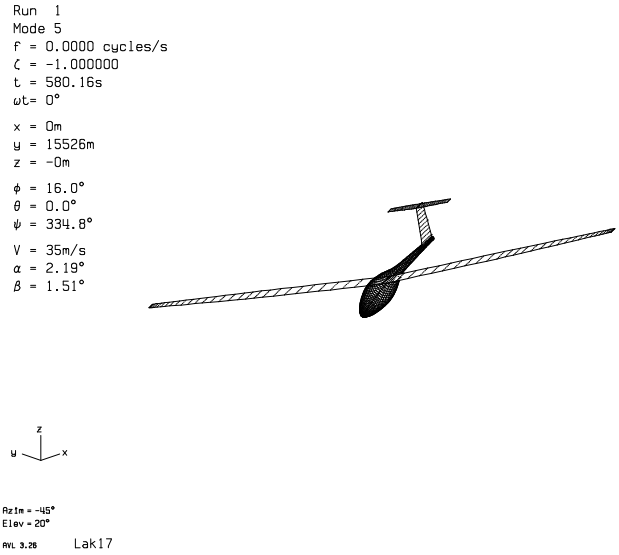

52 pav. Spiralinio nestabilumo skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (h)



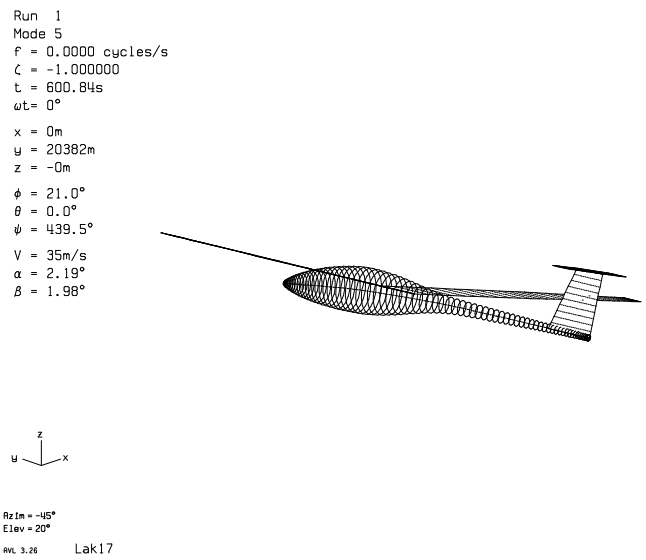

53 pav. Spiralinio nestabilumo skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (i)



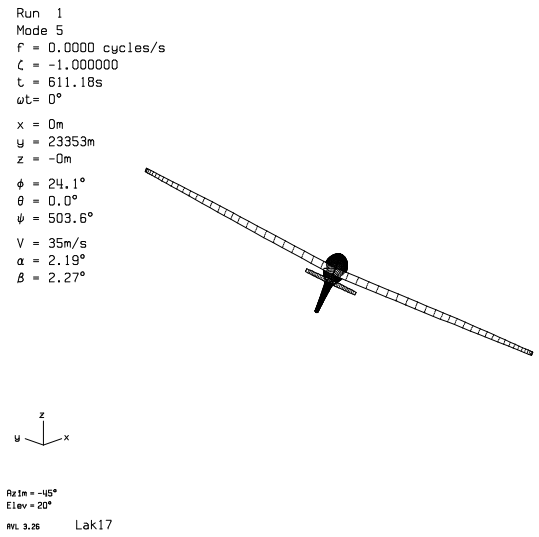

54 pav. Spiralinio nestabilumo skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (j)



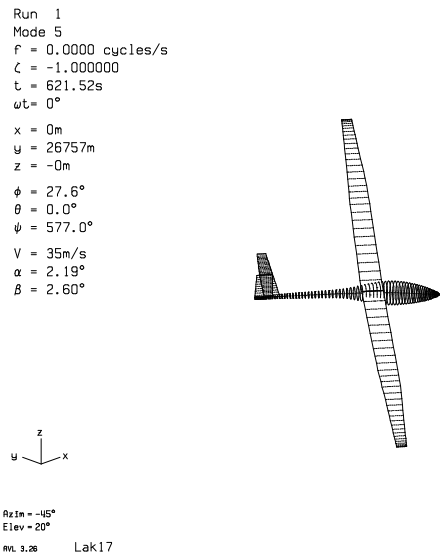

55 pav. Spiralinio nestabilumo skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (k)




56 pav. Spiralinio nestabilumo skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (l)

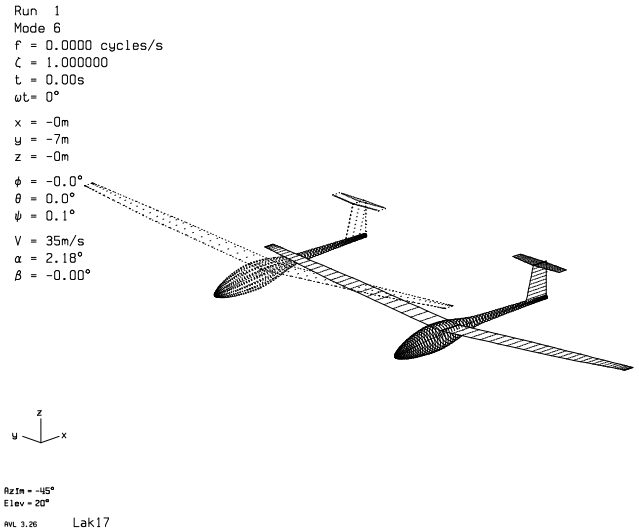



57 pav. Spiralinio nestabilumo skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (m)

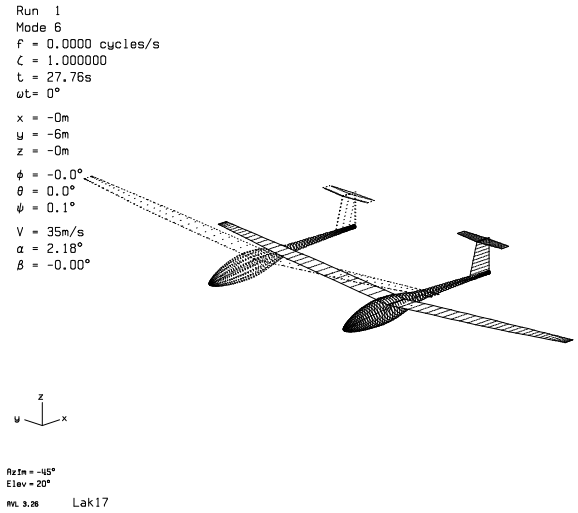



58 pav. Spiralinio nestabilumo skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 3 laipsniai (n)

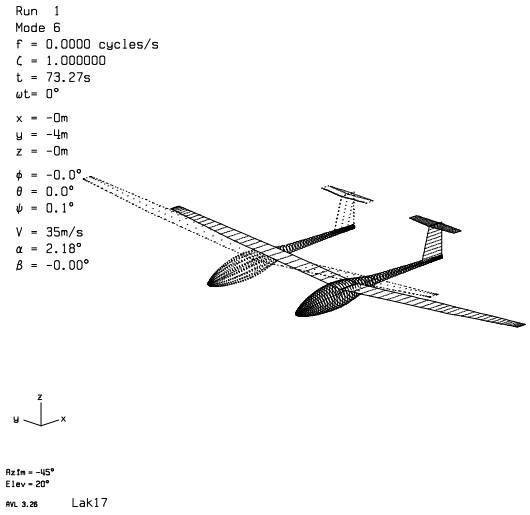
Stabilaus spiralinio judesio režimo vaizdai matomi iš 59 – 64 paveikslų.



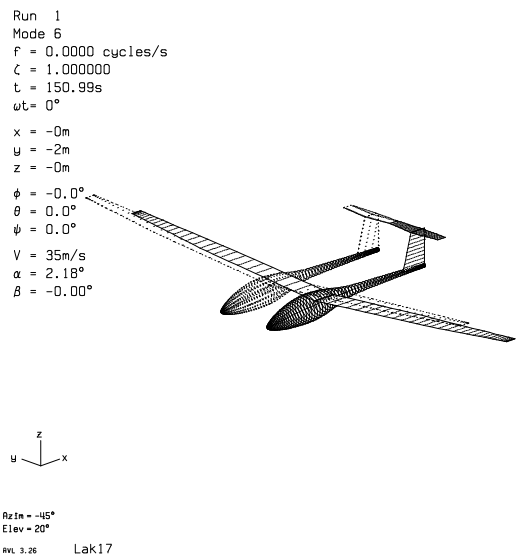

59 pav. Stabilaus spiralinio nestabilumo skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 5 laipsniai (a)



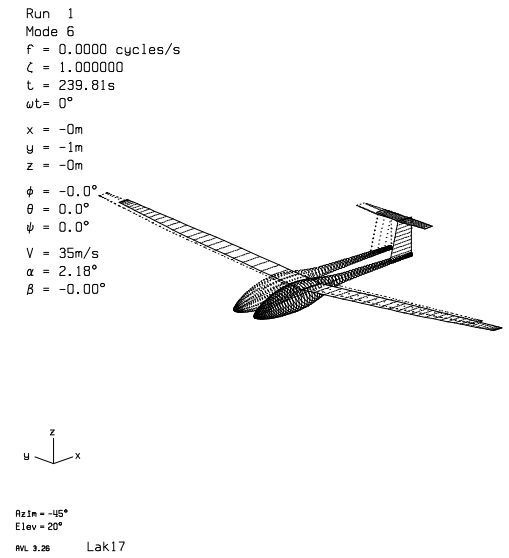

60 pav. Stabilaus spiralinio nestabilumo skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 5 laipsniai (b)



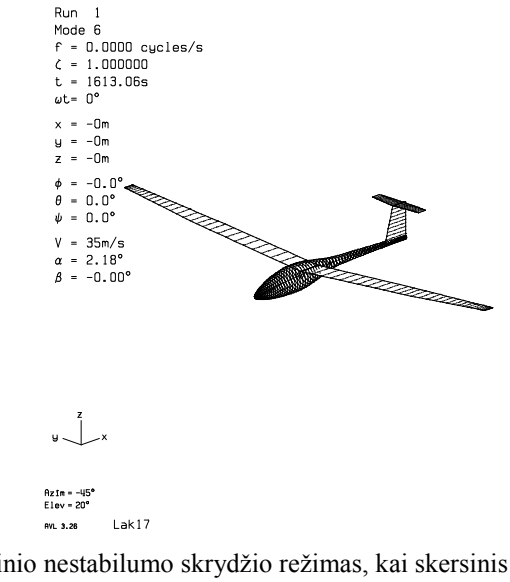

61 pav. Stabilaus spiralinio nestabilumo skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 5 laipsniai (c)




62 pav. Stabilaus spiralinio nestabilumo skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 5 laipsniai (d)




63 pav. Stabilaus spiralinio nestabilumo skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 5 laipsniai (e)

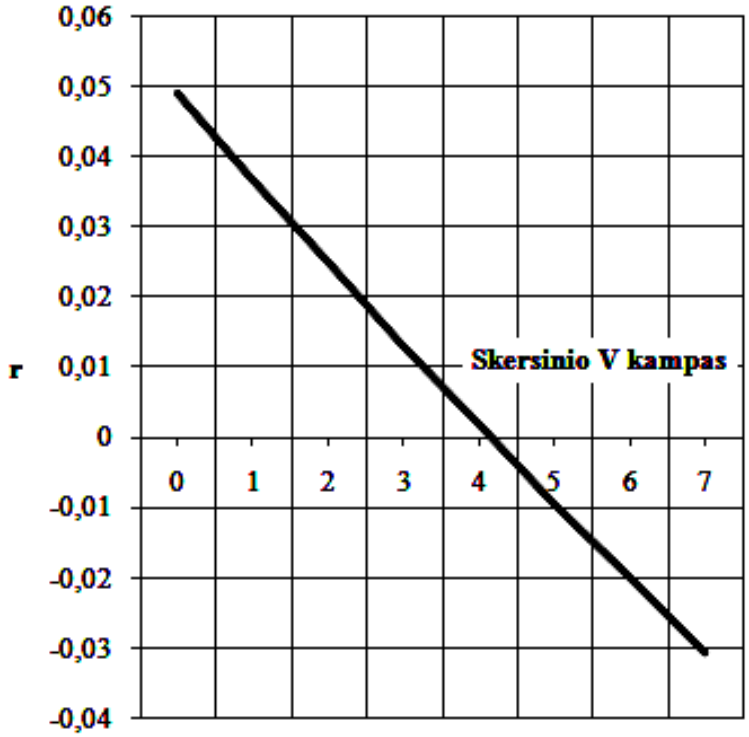



64 pav. Stabilaus spiralinio nestabilumo skrydžio režimas, kai skersinis V kampas – 5 laipsniai (f)

Realios režimo šaknys pateiktos 3 lentelėje, o kreivė (65 pav.) leidžia vaizdžiai matyti, kaip kinta spiralinis nestabilumas keičiantis skersinio V kampui ir kada pereina į stabilų režimą.

3 lentelė. Spiralinio nestabilumo režimo reikšmės esant skirtingiems skersinio V kampams

| Skersinio V kampas, *laipsniais* | Skrydžio režimo šaknis |
|---|---|
| 0 | 0,0492041 |
| 1 | 0,0369588 |
| 2 | 0,0249628 |
| 3 | 0,01316069 |
| 4 | 0,001809547 |
| 5 | -0,00928921 |
| 6 | -0,02008412 |
| 7 | -0,0305387 |




65 pav. Spiralinio režimo šaknies priklausomybė nuo skersinio V kampo dydžio

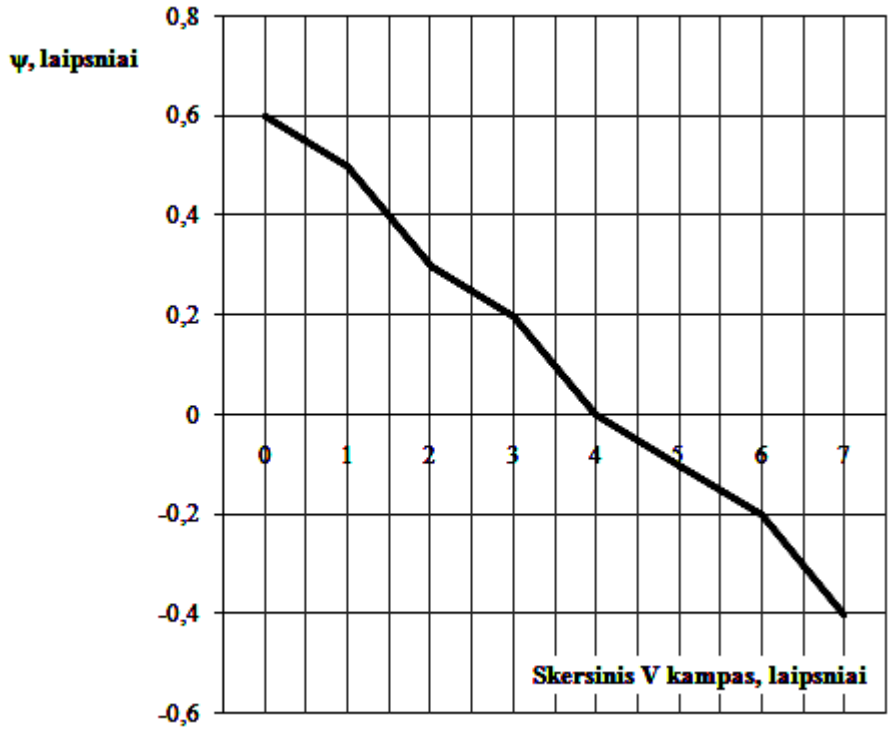
Kai skersinio V kampas:

a) mažiau nei $4{,}2^0$ – sklandytuvas spirališkai nestabilus;

b) lygus $4{,}2^0$ – sklandytuvas spirališkai neutralus;

c) daugiau nei $4{,}2^0$ – sklandytuvas tampa dinamiškai stabilus spiralinio nestabilumo režimo atveju.

66 paveiksle pateiktos spiralinio režimo pokrypio kampo ψ priklausomybės nuo skersinio V kampo pradiniu laiko momentu:




66 pav. Spiralinio nestabilumo režimo pokrypio kampo ψ priklausomybė nuo skersinio V kampo dydžio

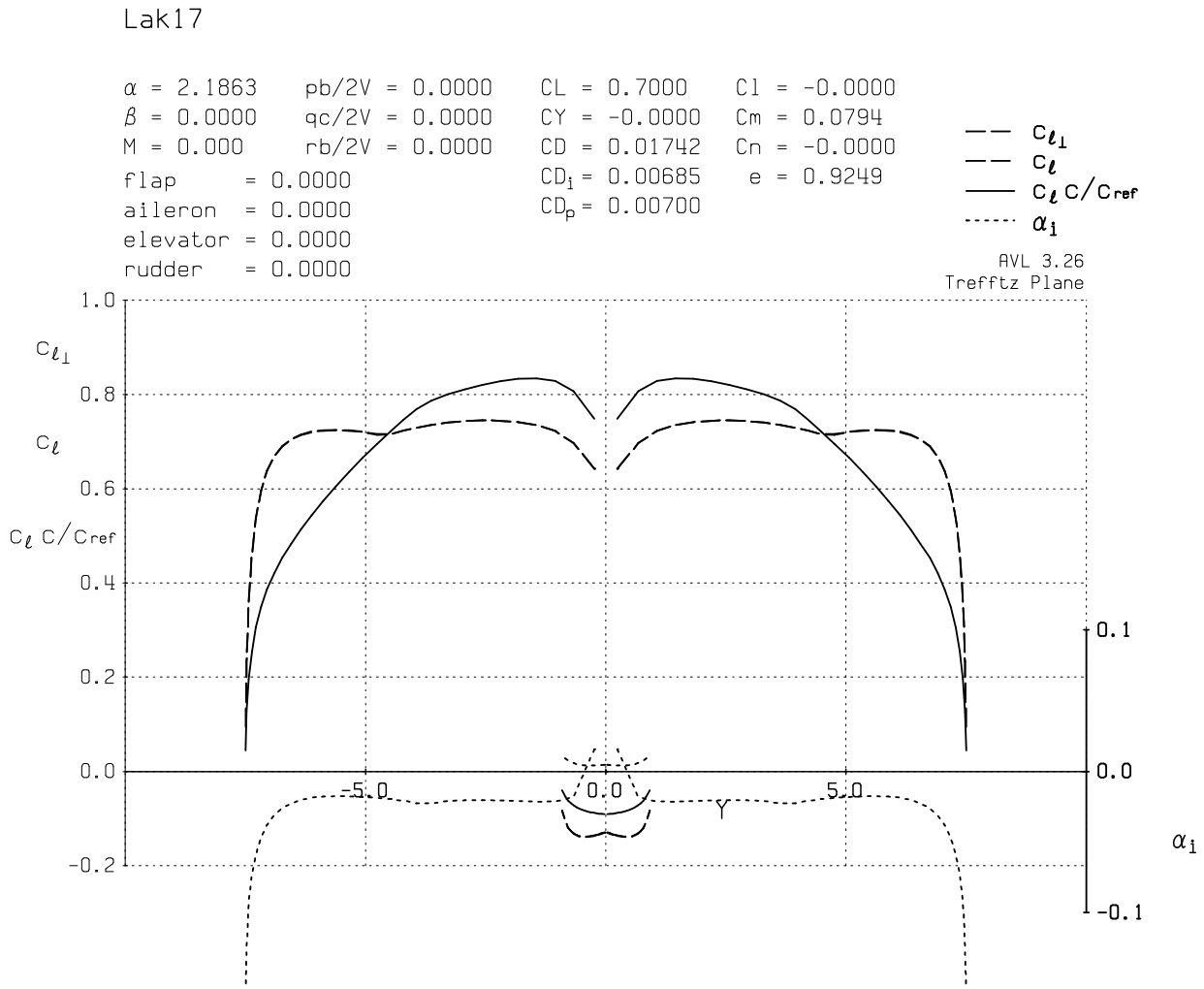
Iš kreivės matyti, jog skersinio V kampui mažėjant, sklandytuvo pokrypio kampas didėja, vadinasi, greičiau patenka į žemėjančią spiralę.

### 2.3.3.4 Skersinio V kampo įtaka keliamosios jėgos pasiskirstymui sparno paviršiuje

Programos AVL papogramyje *OPER* komanda *T*, galima išvesti į ekraną keliamosios jėgos koeficiento pasiskirstymą išilgai sparno ir stabilizatoriaus. Esant skirtingiems skersinio V kampams nubrėžtos kreivės yra labai panašios, todėl 67 pav. pateikta kreivė esant skersiniam V kampui – $3^0$, kitos pavaizuotos G priede.

Paveiksle matyti keliamosios jėgos koeficiento, statmeno srautui $C_{l_\perp}$, kreivės, kurios sutampa su keliamosios jėgos koeficiento $C_l$ kreivėmis dėl nedidelio atakos kampo. Ištisinė linija vaizduoja keliamosios jėgos $C_l \cdot {}^{C}/_{C_{vsf}}$ pasiskirstymą išilgai sparno, kur $C$ – sparno profilio styga,

$C_{ref}$ – vidutinė aerodinaminė styga, taškinė – indukcinio atakos kampo $\alpha_i$ priklausomybė nuo sparno mosto. Taip pat pateiktos momento koeficiento, įvairios pasipriešinimo koeficiento reikšmės. 67 pav. apačioje išgaubtos kreivės rodo parametrų priklausomybę nuo stabilizatoriaus mosto.

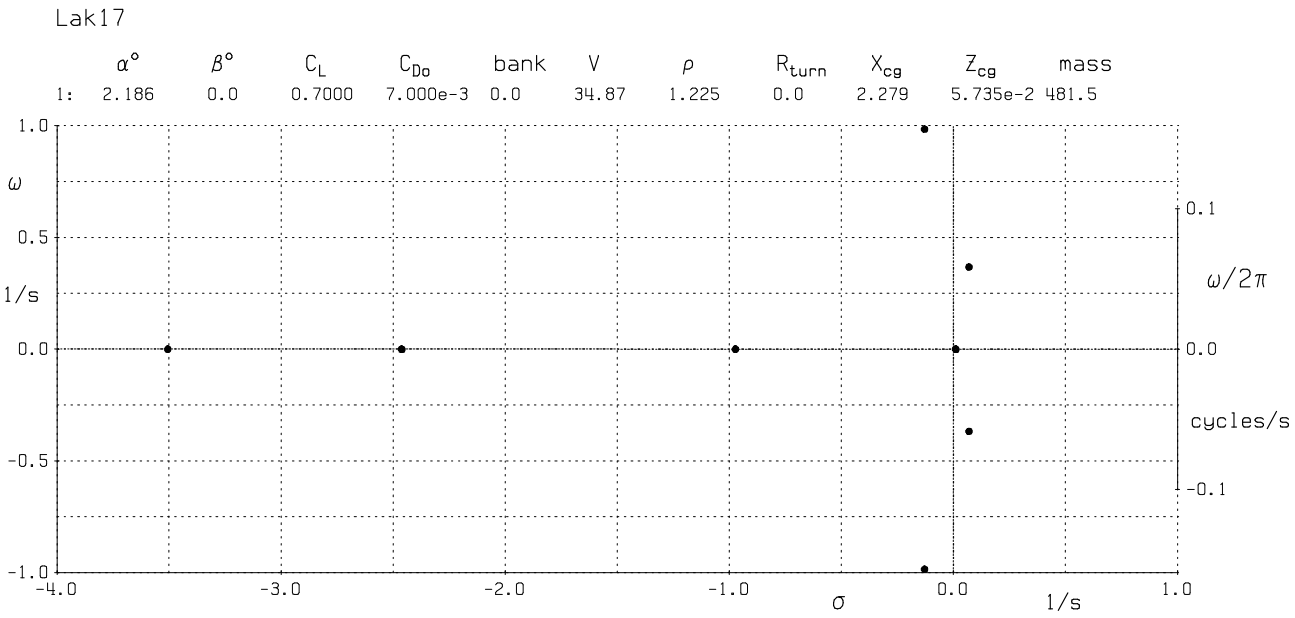



67 pav. Sklandytuvo įvairių parametrų priklausomybė išilgai Y ašies (sparno), kai skersinio V kampas – 3 laipsniai

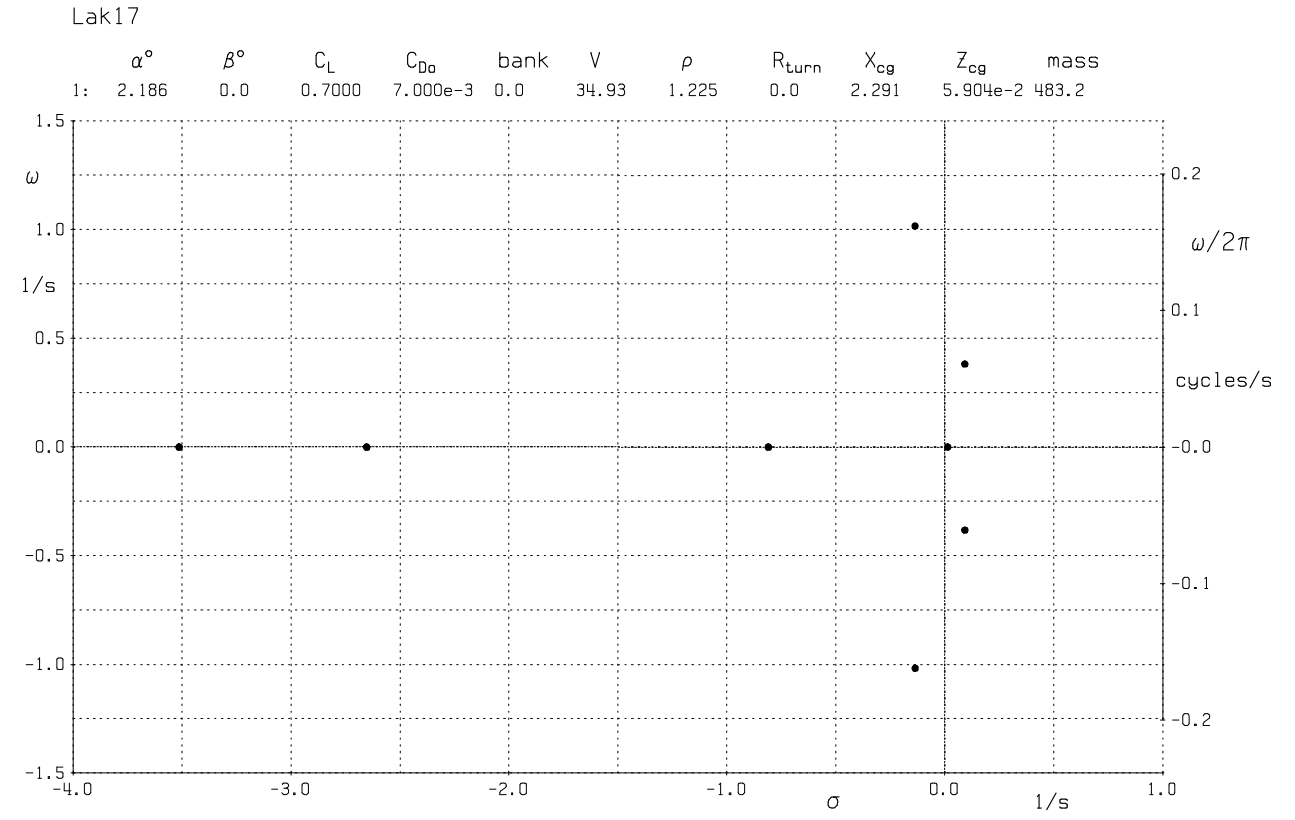
Skersinio V kampo pokytis praktiškai neturi įtakos keliamosios jėgos pasiskirstymui sparno paviršiuje.

### 2.3.4 Galinės vertikalios plokštumos ploto įtaka šoniniam stabilumui

Analizė atliekama su trimis skirtingais galinės uodegos plokštumos ploto dydžiais: 0,62 $m^2$, 0,78 $m^2$ (originalus dydis) ir 0,93 $m^2$. *MODE* papogramyje apskaičiuotos šaknys pateikiamos 15, 68 ir 69 paveiksluose. Visi skaičiavimai atlikti skersinio V kampui esant 3 laipsniams.




68 pav. Sklandytuvo Lak-17 nestabilių skrydžio režimų šaknys, kai galinės vertikalios plokštumos plotas 0,62 $m^2$




69 pav. Sklandytuvo Lak-17 nestabilių skrydžio režimų šaknys, kai galinės vertikalios plokštumos plotas 0,93 $m^2$

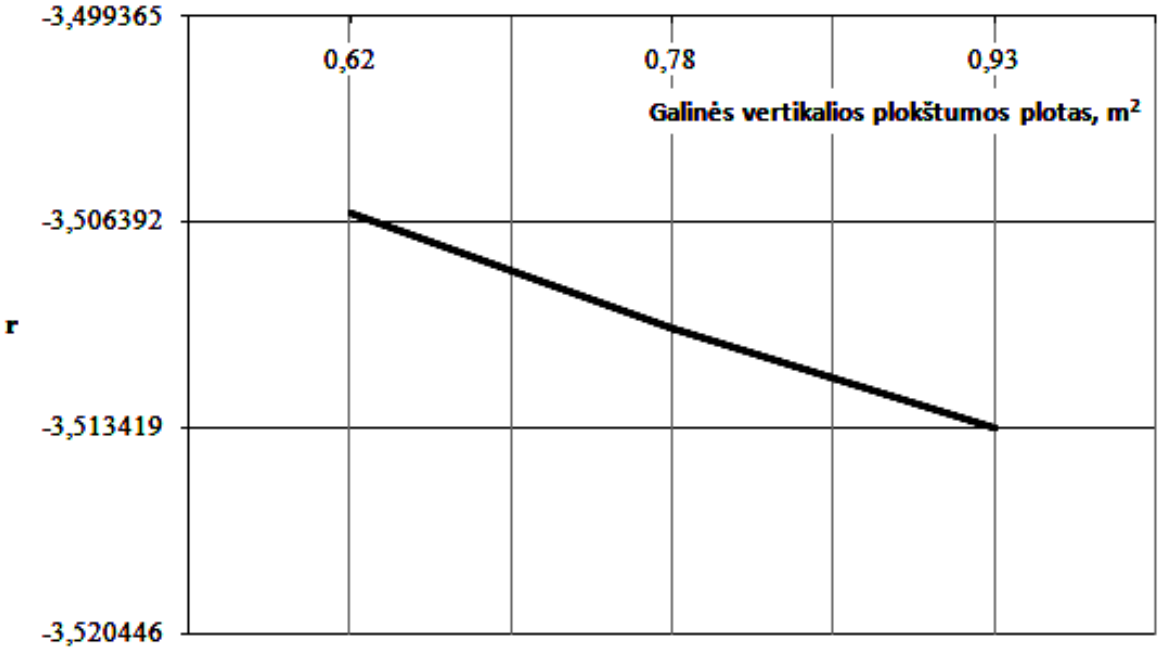
### 2.3.4.1 Posvyrio slopinimo režimas

Pagal 68, 69 paveikslus galima spręsti, jog posvyrio slopinimo režimas yra dinamiškai stabilus, nesvyruojantis, neturintis menamos šaknies. Pati judesio forma beveik identiška 17 pav. – 22 pav. pavaizduotam posvyrio slopinimo režimui, todėl papildomų paveikslų nepateikiama, tik

pridedama 4 lentelė su šaknimis prie skirtingų vertikalios uodegos plokštumos plotų ir šią priklausomybę vaizduojanti kreivė (70 pav.).

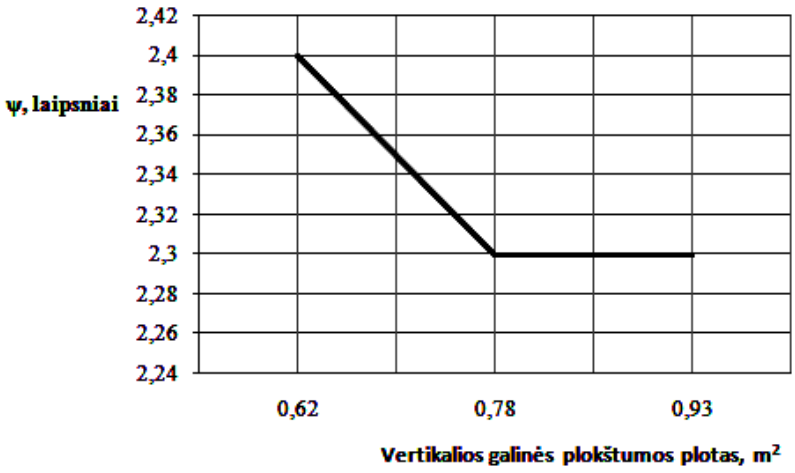
4 lentelė. Posvyrio slopinimo režimo reikšmės esant skirtingiems galinės vertikalios plokštumos plotams

| Galinės vertikalios plokštumos plotas, $m^2$ | Skrydžio režimo šaknis |
|---|---|
| 0,62 | -3,5060647 |
| 0,78 | -3,5099828 |
| 0,93 | -3,5134187 |

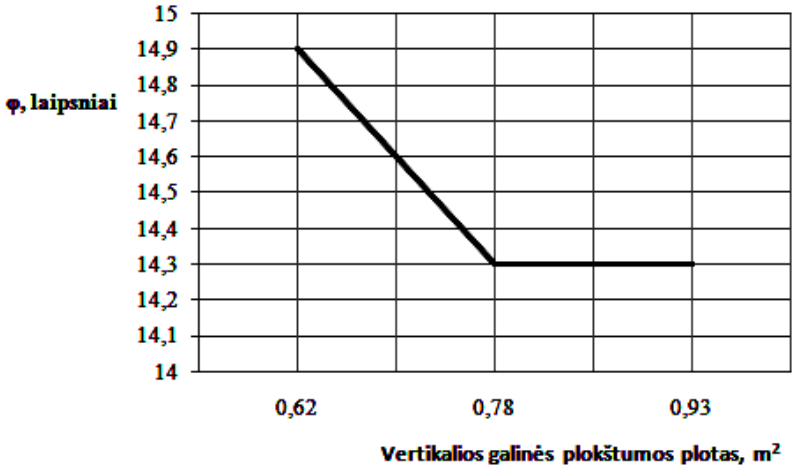



70 pav. Posvyrio slopinimo režimo šaknies priklausomybė nuo galinės vertikalios plokštumos ploto

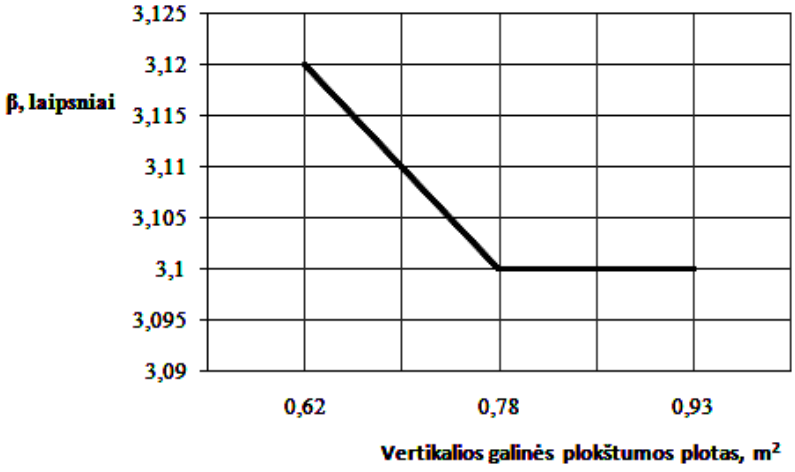
71, 72, 73 paveiksluose pateiktos kai kurių posvyrio slopinimo režimo parametrų priklausomybės nuo galinės vertikalios plokštumos ploto:




71 pav. Posvyrio slopinimo režimo pokrypio kampo ψ priklausomybė nuo galinės vertikalios plokštumos ploto




72 pav. Posvyrio slopinimo režimo posvyrio kampo φ priklausomybė nuo galinės vertikalios plokštumos ploto




73 pav. Posvyrio slopinimo režimo slydimo kampo β priklausomybė nuo galinės vertikalios plokštumos ploto

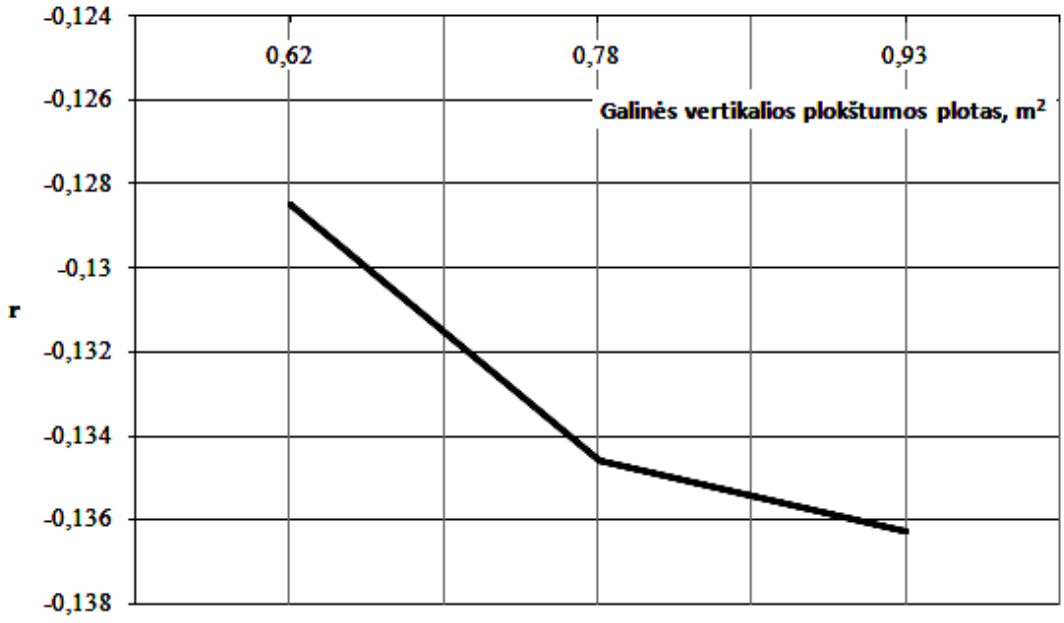
Didėjant galinės vertikalios plokštumos plotui (70 pav.), posvyrio slopinimas auga. Tuo pačiu kilio plotui didėjant iki $0\ 78\ m^2$, pokrypio, posvyrio, slydimo kampai mažėja, o pasiekus pastarąją reikšmę, – nekinta.

### 2.3.4.2 „Olandiško žingsnio“ režimas

Iš sprendinio šaknų, pavaizduotų 68, 69 paveiksluose, matyti, jog „olandiško žingsnio“ režimo šaknis turi menamą šaknį, yra neigiamos reikšmės. Vadinasi, tai svyruojamasis, stabilus judesys, kuris labai panašus į pavaizduotą 27 – 41 paveiksluose. 5 lentelėje pateikiamos šaknys eant skirtingiems vertikalios uodegos plokštumos plotams, o 74 paveiksle šią priklausomybę vaizduojanti kreivė.

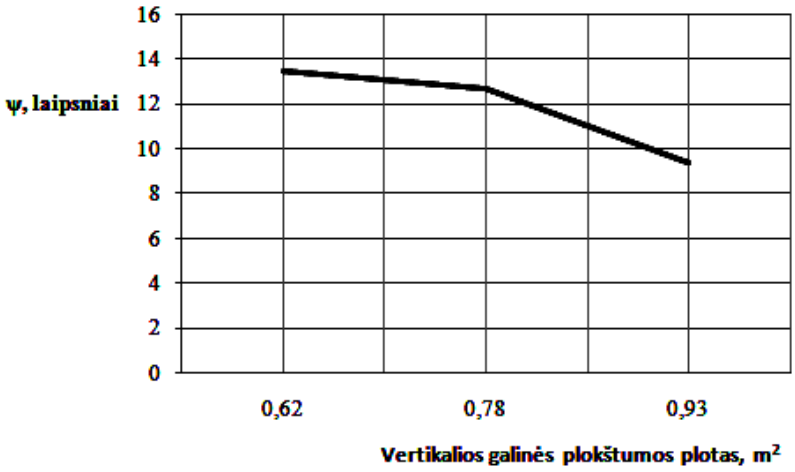
5 lentelė. „Olandiško žingsnio“ režimo reikšmės esant skirtingiems galinės vertikalios plokštumos plotams

| Galinės vertikalios plokštumos plotas, $m^2$ | Skrydžio režimo šaknis |
|---|---|
| 0,62 | -0,12850718 |
| 0,78 | -0,13456321 |
| 0,93 | -0,13626474 |

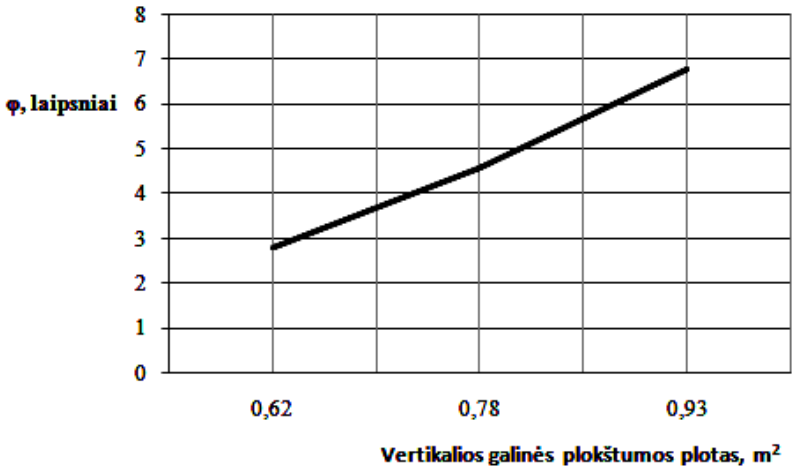



74 pav. „Olandiško žingsnio“ režimo šaknies priklausomybė nuo galinės vertikalios plokštumos ploto

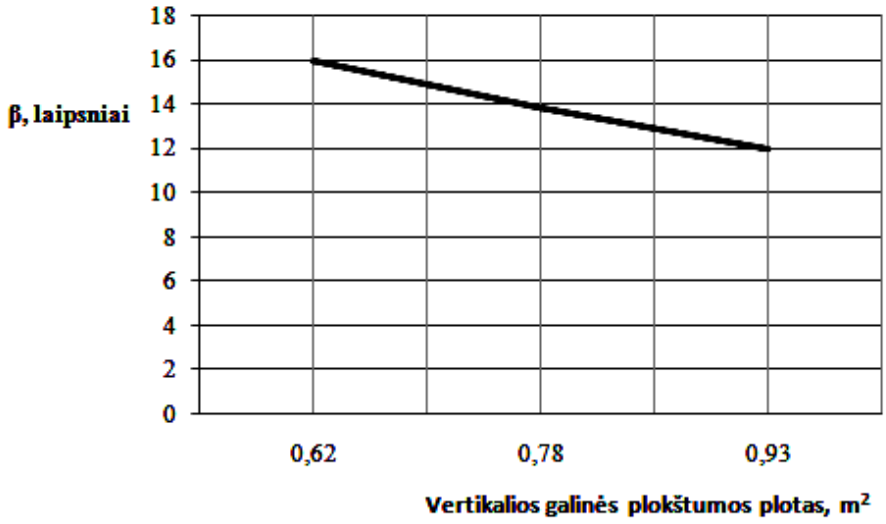
75, 76, 77 paveiksluose pateiktos kai kurių „olandiško žingsnio“ režimo parametrų priklausomybės nuo galinės vertikalios plokštumos ploto.




75 pav. „Olandiško žingsnio“ režimo pokrypio kampo ψ priklausomybė nuo galinės vertikalios plokštumos ploto




76 pav. „Olandiško žingsnio“ režimo posvyrio kampo φ priklausomybė nuo galinės vertikalios plokštumos ploto




77 pav. „Olandiško žingsnio“ režimo slydimo kampo β priklausomybė nuo galinės vertikalios plokštumos ploto

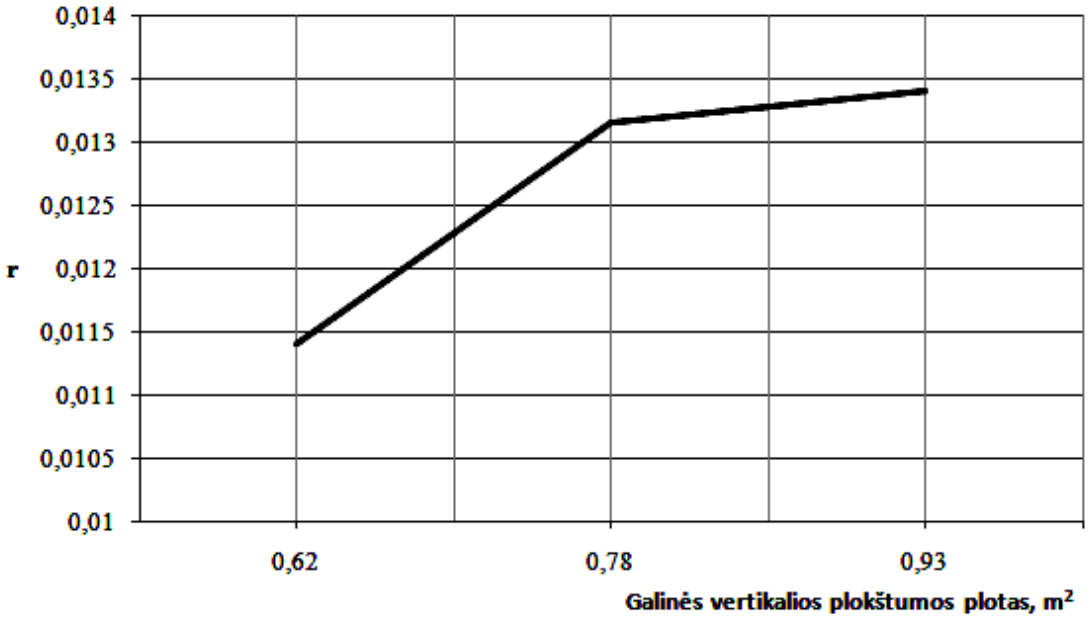
Didėjant galinės vertikalios plokštumos plotui, „olandiško žingsnio“ režimo stabilumas didėja (74 pav.), tuo pačiu auga ir posvyrio kampas (76 pav.). Pokrypio ir slydimo kampai mažėja (75 pav., 77 pav.).

### 2.3.4.3 Spiralinis nestabilumas

Iš anksčiau pateiktų dinaminio nestabilumo sprendinio šaknų, pavaizduotų paveiksluose, matyti, jog spiralinio nestabilumo režimo šaknis yra viena, teigiamos reikšmės. Tai, nesvyruojantis, nestabilus judesys, kuris labai panašus į pavaizduotą 45 – 58 paveiksluose. 6 lentelėje pateikiamos šaknys prie skirtingų vertikalios uodegos plokštumos plotų, o 78 paveiksle matyti šią priklausomybę vaizduojanti kreivė.

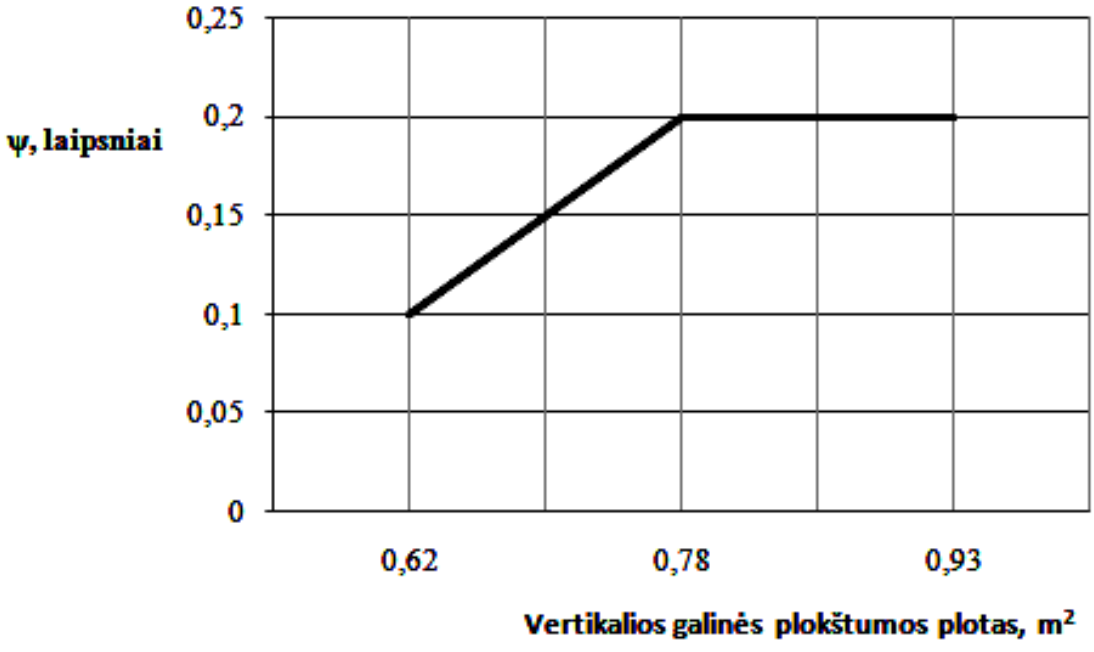
6 lentelė. Spiralinio nestabilumo režimo reikšmės esant skirtingiems galinės vertikalios plokštumos plotams

| Galinės vertikalios plokštumos plotas, $m^2$ | Skrydžio režimo šaknis |
|---|---|
| 0,62 | 0,011408163 |
| 0,78 | 0,013160686 |
| 0,93 | 0,013402341 |

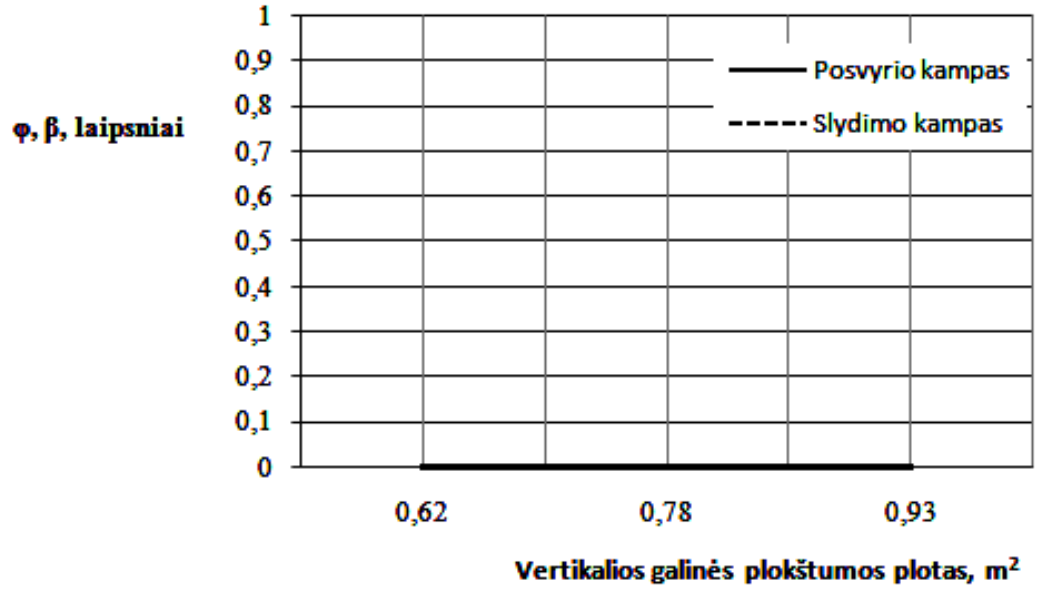



78 pav. Spiralinio nestabilumo režimo šaknies priklausomybė nuo galinės vertikalios plokštumos ploto

79, 80 paveiksluose pateiktos kai kurių spiralinio nestabilumo režimo parametrų priklausomybės nuo galinės vertikalios plokštumos ploto.




79 pav. Spiralinio nestabilumo režimo pokrypio kampo ψ priklausomybė nuo galinės vertikalios plokštumos ploto

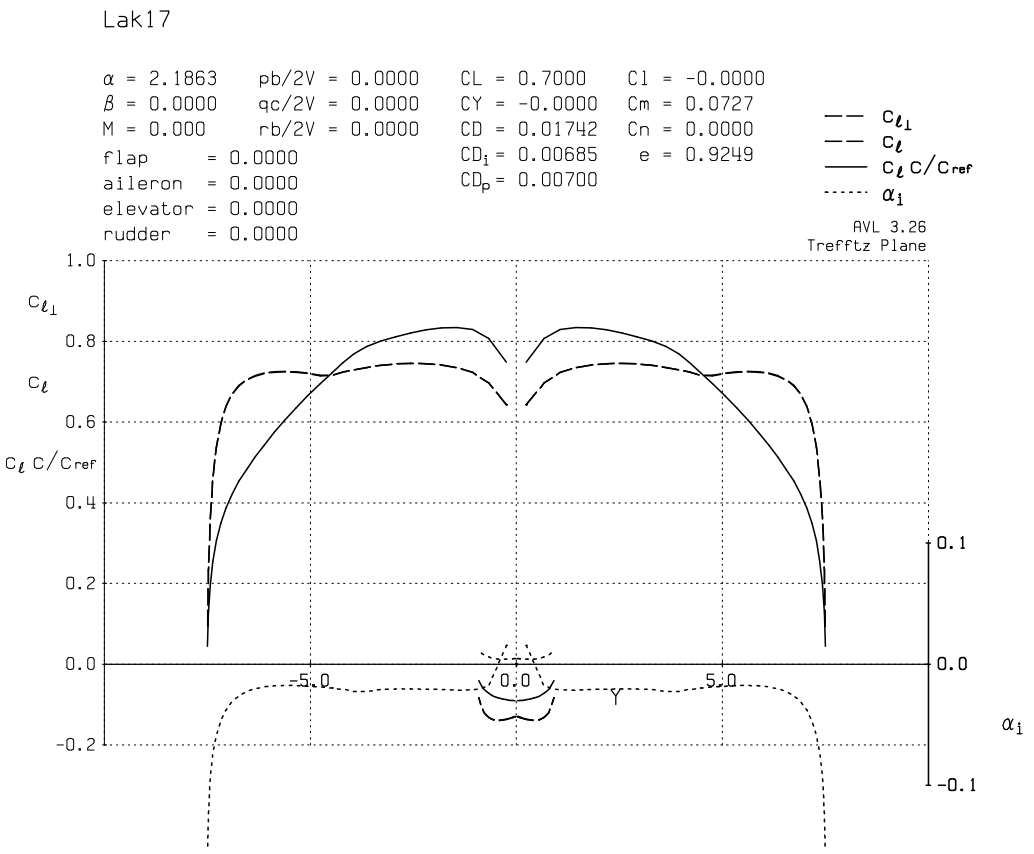



80 pav. Spiralinio nestabilumo režimo posvyrio kampo φ, slydimo kampo β priklausomybės nuo galinės vertikalios plokštumos ploto

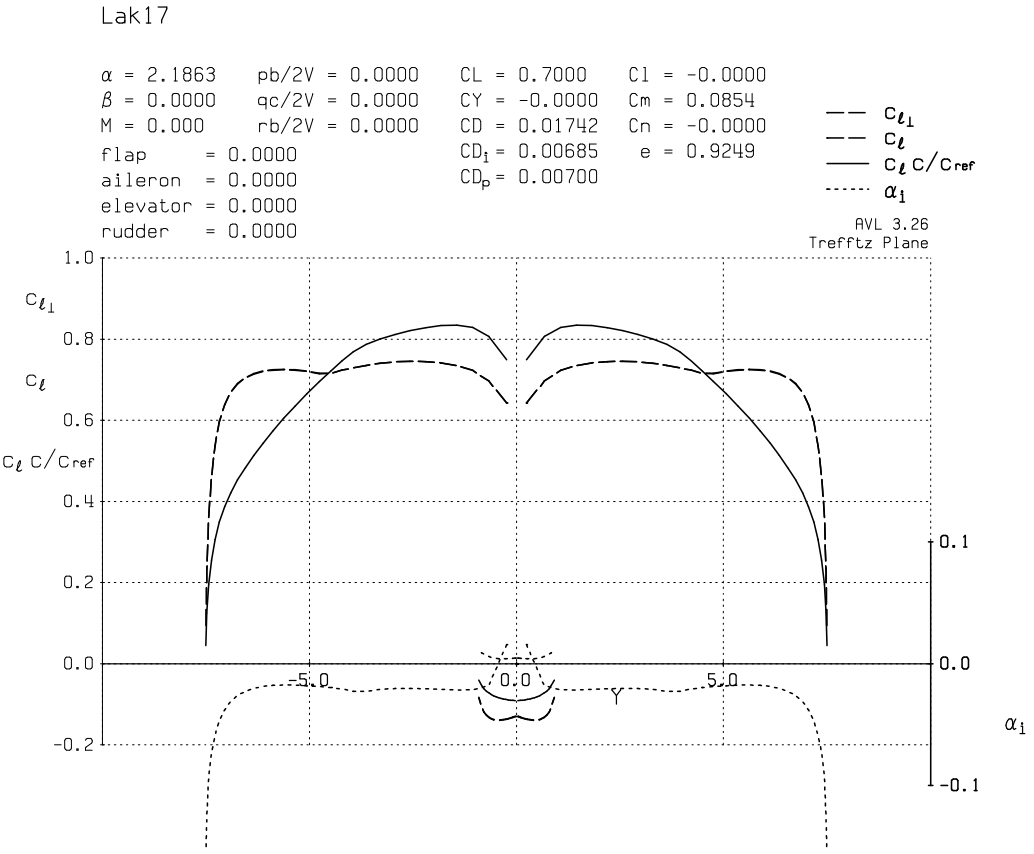
Didėjant galinės vertikalios plokštumos plotui sklandytuvo spiralinis nestabilumas, kaip ir pokrypio kampas (79 pav.), turės tendenciją didėti (78 pav.), išskyrus, posvyrio ir slydimo kampus – šie išlieka nekintantys (80 pav.).

### 2.3.4.4 Vertikalios galinės plokštumos ploto įtaka keliamosios jėgos pasiskirstymui išilgai sparno

81 pav. ir 82 pav. matyti, jog įvairūs aerodinaminiai sparno, stabilizatoriaus parametrai yra beveik identiški 67 paveiksle pavaizduotiems parametrams, todėl ir galinės vertikaliosios plokštumos plotas neturi didesnės įtakos keliamosios jėgos pasiskirstymui išilgai sparno.




81 pav. Sklandytuvo įvairių parametrų priklausomybė išilgai Y ašies (sparno), kai galinės vertikalios uodegos plotas – 0,62 $m^2$




82 pav. Sklandytuvo įvairių parametrų priklausomybė išilgai Y ašies (sparno), kai galinės vertikalios uodegos plotas – 0,93 $m^2$

# Išvados

1. Iš literatūros buvo sužinota, jog šoniniam stabilumui didžiausią įtaką daro skersinis V kampas ir vertikalios galinės plokštumos plotas.
2. Stabilumo analizei naudota kompiuterinė programa AVL analizuoja standų kūną, vaizduoja dinaminio stabilumo šaknų priklausomybes nuo parametro, rodo dinamino stabilumo režimo judesį realiu laiku.
3. Atlikus dinaminę šoninio stabilumo analizę, matyti, jog:
    a) sklandytuvas su visomis skersinio V kampo reikšmėmis ir galinės vertikalios plokštumos plotais turi stiprų posvyrio slopinimo momentą;
    b) „olandiško žingsnio“ judesio stabilumas, atvirkščiai, mažėja, didėjant sklandytuvo skersinio V kampui, bet tirtame kampų diapazone šis judesys yra stabilus. Didėjant galinės vertikalios plokštumos plotui, „olandiško žingsnio“ režimo dinaminis stabilumas auga;
    c) spiralinio nestabilumo atveju sklandytuvas iki skersinio V kampo reikšmės $4{,}2^0$ yra spirališkai nestabilus, viršijus skersinio V kampui šį dydį – orlaivis įgyja spiralinio judesio stabilumą. Atkreipiamas dėmesys į tai, jog analizė atlikta sklandytuvą laikant standžiu kūnu. Realaus sklandytuvo sparnas, veikiamas keliamosios jėgos, išlinksta į viršų, todėl skersinio V kampo efektas padidėja. Didėjant galinės vertikalios plokštumos plotui sklandytuvas tampa labiau spirališkai nestabilus.

# Literatūra


1. Robert C.Nelson, Flight stability and automatic control, McGraw-Hill Education, 1998 m., 426 psl.
2. Bernard Etkin, Dynamics of flight, Stability and control, New York, John Wiley & Sons, Inc., 1959 m. 536 psl.
3. U.S. Department of Transportation federal aviation administration, Glider flying book, 2003 m., 240 psl.
4. Jan Roskam, Automatic flight dynamics and automatic flight controls, Lawrence, Kansas, Design, analysis and research corporation (DARcorporation), USA, 2001 m., 576 psl.
5. Jonathan How, Aircraft lateral dynamics, Spiral, roll, and Dutch roll modes, 2003 m., 9 psl.
6. Eduardas Lasauskas, Skrydžio principai, mokymo priemonė, .pdf formatas, 2007 m., 124 psl.
7. Join Stock Company „Sportinė aviacija“, Maintenance manual for the Lak-17A sailplane, Issue No. 2, 2006 m., 135 psl.
8. Drela, Mark, Youngren Harold, AVL 3.26 User Primer 2006.

Prieiga per internetą: <http://web.mit.edu/drela/public/web/avl/>.

PRIEDAI

```
                Lak17
#  Mach
     0
#  IYsym        Izsym          Zsym
     0             0              0
#  Sref          Cref           Bref
   9,060        0,6260         15,00
#   Xref         Yref           Zref            (svorio centras)
   2,274          0              0
#   CDo
  0,007
# ================================================================
SURFACE
Wing
#  Nchordwise      Cspace       Nspanwise          Sspace
         6            1,0            30             -2,0
#

YDUPLICATE
    0,0
#
ANGLE
    0,9
#
SCALE
    1,0          1,0         1,0
#
TRANSLATE
  1,969          0         0,05000
# ----------------------------------------------------------------------------------------------------
SECTION
#  1 pjuvis
```

```
#    Xle       Yle      Zle          Chord       Ainc  Nspanwise  Sspace
      0         0        0           0,7290      0,0        0         0

AFILE
lak17a131.dat
# ------------------------------------------------------------------------------------------------------
SECTION
#  2 pjuvis
#   Xle         Yle       Zle          Chord     Ainc  Nspanwise  Sspace
     0         0,4800    0,02500       0,729     0,0        0         0
AFILE
lak17a131.dat
# Cname   Cgain   Xhinge      HingeVec     SgnDup
CONTROL
   flap       1,0     0,8500       0,0 0,0 0,0       1,0
# ------------------------------------------------------------------------------------------------------
SECTION
#  3 pjuvis
#    Xle       Yle         Zle         Chord     Ainc       Nspanwise  Sspace
      0        3,800      0,1970      0,6670     0,0           0         0
AFILE
lak17a131.dat
# Cname   Cgain  Xhinge    HingeVec     SgnDup
CONTROL
   flap       1,0      0,85      0,0 0,0 0,0       1,0
CONTROL
   aileron    1,0      0,85      0,0 0,0 0,0      -1,0
# ------------------------------------------------------------------------------------------------------
SECTION
#  4 pjuvis
#    Xle       Yle       Zle       Chord       Ainc       Nspanwise  Sspace
      0        4,600    0,2410     0,6250      0,0           0         0
```

```
AFILE
lak17a150.dat
# Cname   Cgain  Xhinge   HingeVec     SgnDup
CONTROL
     flap       1,0       0,85     0,0 0,0 0,0         1,0

CONTROL
   aileron     1,0       0,85     0,0 0,0 0,0        -1,0
# ------------------------------------------------------------------------------------------------------
SECTION
#  5 pjuvis
#     Xle          Yle          Zle         Chord      Ainc       Nspanwise  Sspace
    0,1685       7,500      0,3930       0,3350      0,0              0             0
AFILE
lak17a150.dat
# Cname   Cgain  Xhinge    HingeVec     SgnDup
CONTROL
  aileron       1,0       0,85     0,0 0,0 0,0        -1,0
# ======================================================================
SURFACE
H-stab
# Nchordwise  Cspace   Nspanwise      Sspace
       6               1,0           16             0,0
#
YDUPLICATE
       0
#

ANGLE
   -3,0
#
TRANSLATE
  5.806           0         1,117
```

```
SECTION
#  1 pjuvis
#      Xle       Yle    Zle     Chord   Ainc  Nspanwise  Sspace
        0         0      0       0.443     0         0          0
AFILE
Fx71_25.dat
# Cname    Cgain  Xhinge    HingeVec     SgnDup
CONTROL
  elevator      1,0     0.75        0,0 0,0 0,0       1,0
# ------------------------------------------------------------------------------------------------------
SECTION
#  2 pjuvis
#   Xle        Yle     Zle     Chord     Ainc  Nspanwise  Sspace
  0,1051    0,8700   0,0     0,3133      0,0        0          0
AFILE
Fx71_25.dat
# Cname    Cgain  Xhinge  HingeVec     SgnDup
CONTROL
  elevator      1,0     0,75     0,0 0,0 0,0       1,0
# ------------------------------------------------------------------------------------------------------
SECTION
#  3 pjuvis
#   Xle        Yle     Zle     Chord     Ainc  Nspanwise  Sspace
  0,1103    0,9600    0,0      0,295       0,0        0          0

AFILE
Fx71_25.dat
# ======================================================================
SURFACE
V-stab
#  Nchordwise  Cspace    Nspanwise  Sspace
        6          1,0          10        0,0
```

```
TRANSLATE
  5,485           0            0
# ------------------------------------------------------------------------------------------------
SECTION
#  1 pjuvis
#    Xle       Yle    Zle     Chord    Ainc   Nspanwise  Sspace
       0         0      0       0.8560    0.0        0            0
#  Cname    Cgain  Xhinge  HingeVec    SgnDup

CONTROL
   rudder        1,0      0,7      0,0 0,0 0,0       1,0
# ------------------------------------------------------------------------------------------------
SECTION
#  2 pjuvis
#    Xle        Yle        Zle      Chord          Ainc  Nspanwise  Sspace
    0,3210      0        1,117     0,5350          0,0          0            0
#  Cname     Cgain  Xhinge  HingeVec    SgnDup
CONTROL
    rudder      1,0       0,7      0,0 0,0 0,0       1,0
# ================================================================
BODY
Fuselage
80   1,0
#
TRANSLATE
0,0   0,0    0,0
#

BFILE
lak17Fuse.dat
# ================================================================
```

```
#  LAK-17
#  Mass & Inertia breakdown
#  xyz is location of item's own CG
#  Ixx.. are item's inertias about item's own CG
#
#   x back
#   y right
#   z up
#  x,y,z system here must have origin
#  at same location as AVL input file
#
Lunit = 1.000 m
Munit = 1.000 kg
Tunit = 1.0   s

g   = 9.81
rho = 1.225

#
#  mass      x           y          z           Ixx          Iyy         Izz        [ Ixy  Ixz  Iyz ]
#
   150.9    2.168    -3.29234   0.190      195.3888    32.1669   205.4229   !Kairė sparno pusė, maksimalus vandens balasto kiekis
   150.9    2.168     3.29234   0.190      195.3888    32.1669   205.4229   !Dešinė sparno pusė, maksimalus vandens balasto kiekis
   172      2.308           0      -0.210      649.1976    1106.015  93.87149   !Liemuo,
   4.4776   5.987187     0      0.514154    0.451795   1.79408   0.188833   !Vertikali uodegos plokštuma, krypties vairas, maksimalus vandens balasto kiekis
   2.035    5.95308  -0.447913   1.117       0.1546      0.0240    0.1794     !Kairė stabilizatoriaus pusė su aukštumos vairu
   2.035    5.95308   0.447913   1.117       0.1546      0.0240    0.1794     !Dešinė stabilizatoriaus pusė su aukštumos vairu
```

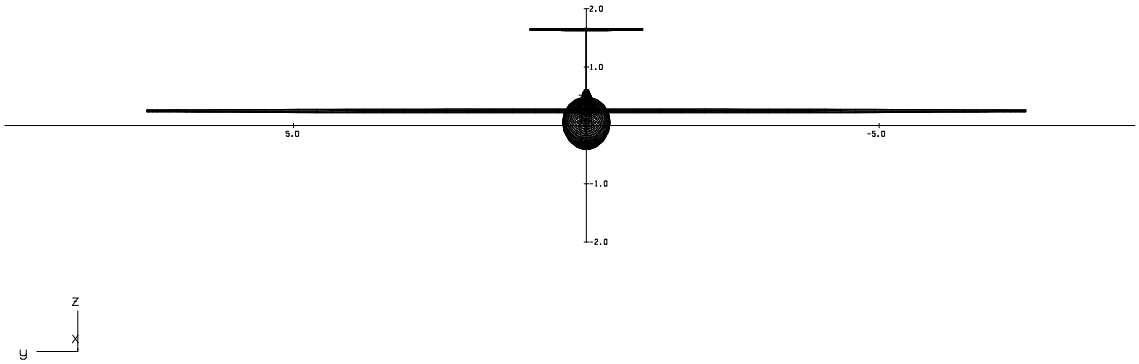
Run case 1: -unnamed-

| | | | |
|---|---|---|---|
| alpha | > | CL | = 0.700000 |
| beta | > | beta | = 0.00000 |
| pb/2V | > | pb/2V | = 0.00000 |
| qc/2V | > | qc/2V | = 0.00000 |
| rb/2V | > | rb/2V | = 0.00000 |
| flap | > | flap | = 0.00000 |
| aileron | > | aileron | = 0.00000 |
| elevator | > | elevator | = 0.00000 |
| rudder | > | rudder | = 0.00000 |

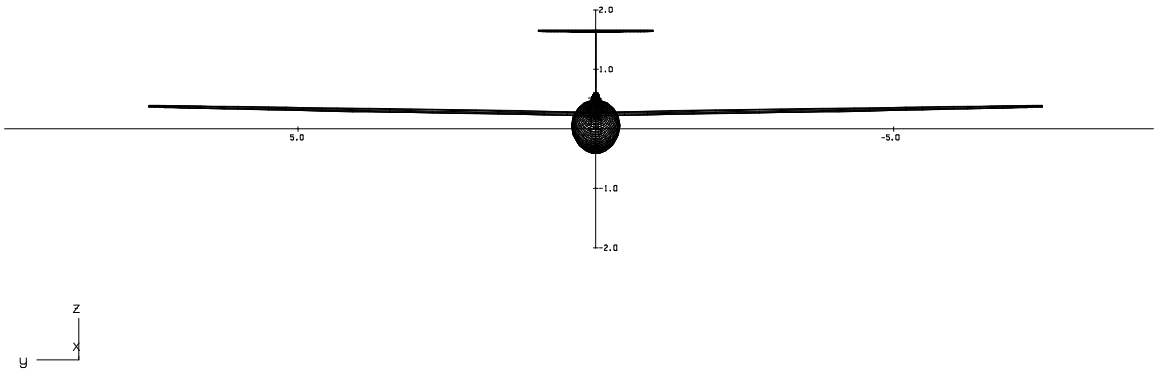
| | | | |
|---|---|---|---|
| alpha | = | 2.18626 | deg |
| beta | = | 0.00000 | deg |
| pb/2V | = | 0.00000 | |
| qc/2V | = | 0.00000 | |
| rb/2V | = | 0.00000 | |
| CL | = | 0.700000 | |
| CDo | = | 0.700000E-02 | |
| bank | = | 0.00000 | deg |
| elevation | = | 0.00000 | deg |
| heading | = | 0.00000 | deg |
| Mach | = | 0.00000 | |
| velocity | = | 34.9018 | m/s |
| density | = | 1.22500 | kg/m^3 |
| grav.acc. | = | 9.81000 | m/s^2 |
| turn_rad. | = | 0.00000 | m |
| load_fac. | = | 1.00000 | |
| X_cg | = | 2.28531 | m |
| Y_cg | = | 0.105407E-07 | m |
| Z_cg | = | 0.581953E-01 | m |
| mass | = | 482.348 | kg |
| Ixx | = | 4336.02 | kg-m^2 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Iyy | = | 1315.65 | kg-m^2 |
| Izz | = | 3897.80 | kg-m^2 |
| Ixy | = | -0.359002E-04 | kg-m^2 |
| Iyz | = | 0.267201E-06 | kg-m^2 |
| Izx | = | -17.6503 | kg-m^2 |
| visc CL_a | = | 0.00000 | |
| visc CL_u | = | 0.00000 | |
| visc CM_a | = | 0.00000 | |
| visc CM_u | = | 0.00000 | |

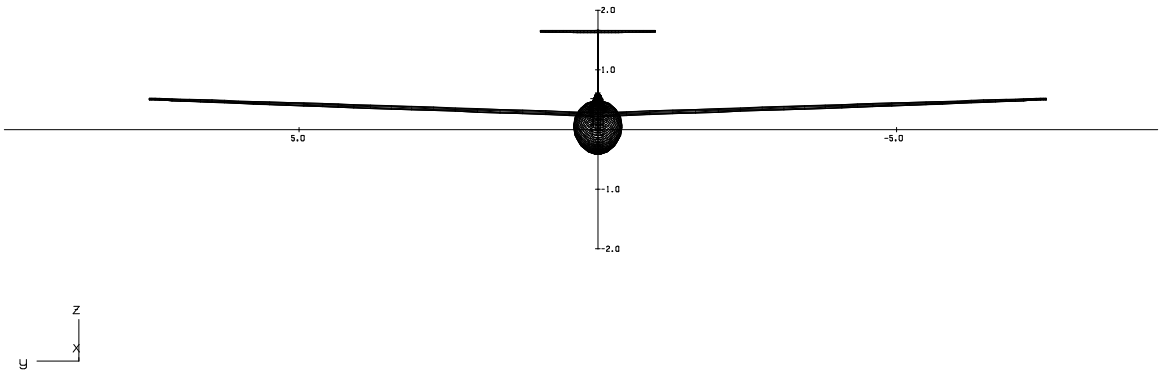
# D priedas



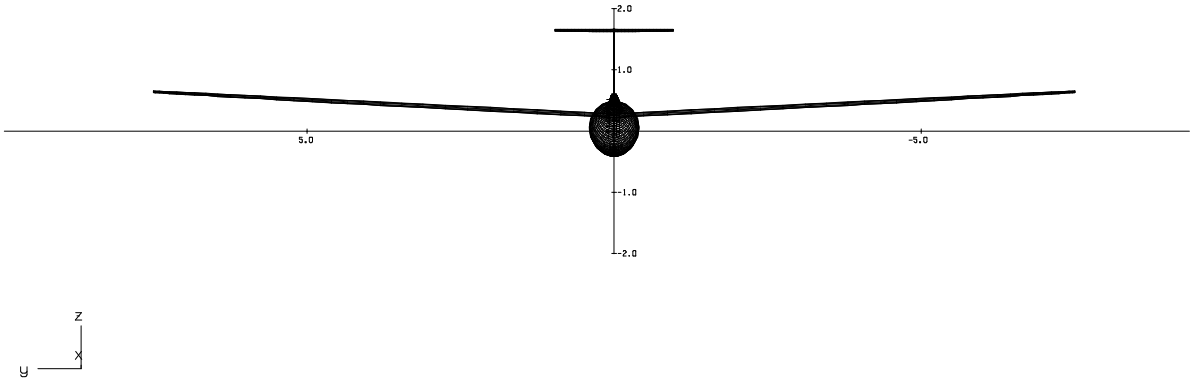

D.1 pav. Sklandytuvo Lak-17 modelis, kai skersinis V kampas 0 laipsnių



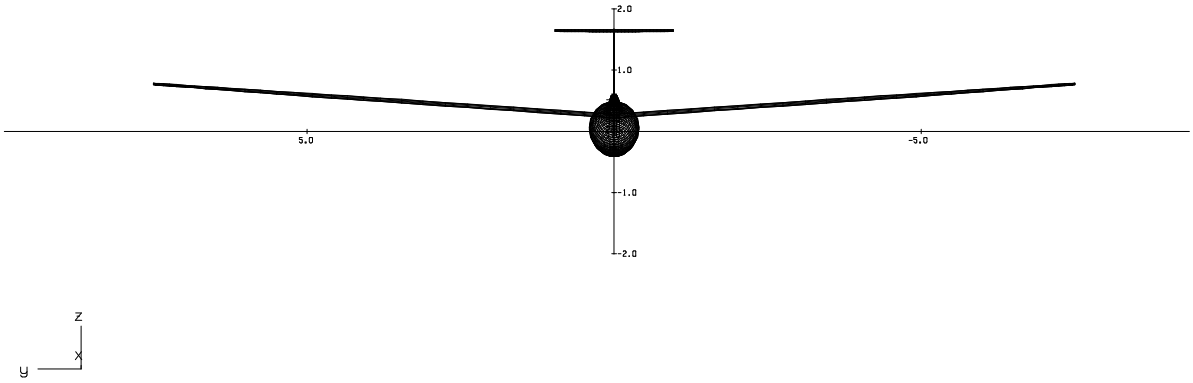

D.2 pav. Sklandytuvo Lak-17 modelis, kai skersinis V kampas 1 laipsnis



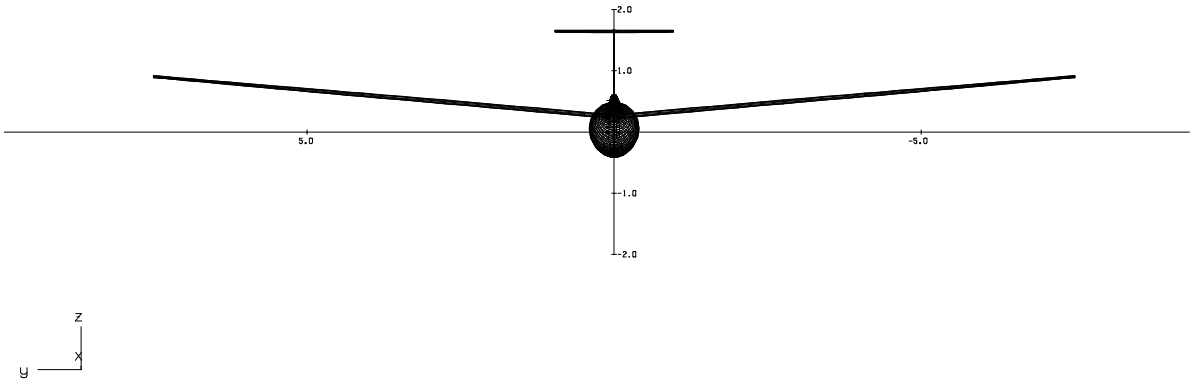

D.3 pav. Sklandytuvo Lak-17 modelis, kai skersinis V kampas 2 laipsniai



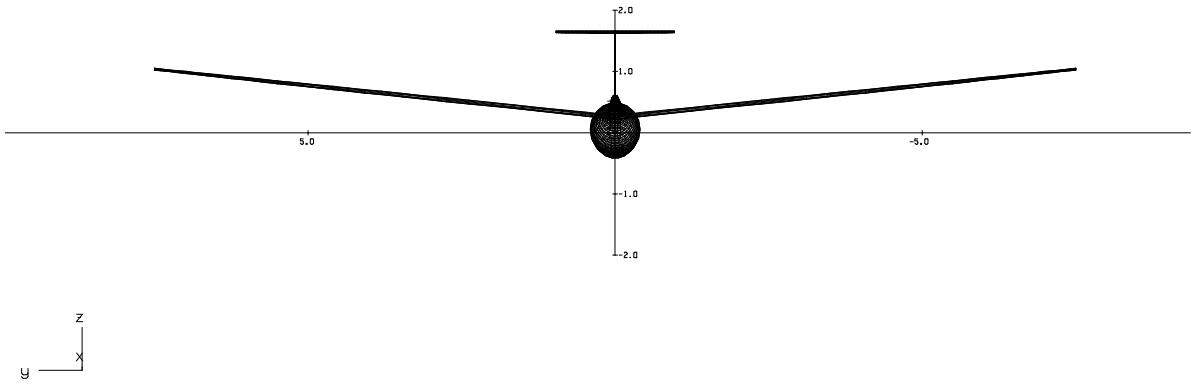

D.4 pav. Sklandytuvo Lak-17 modelis, kai skersinis V kampas 3 laipsniai



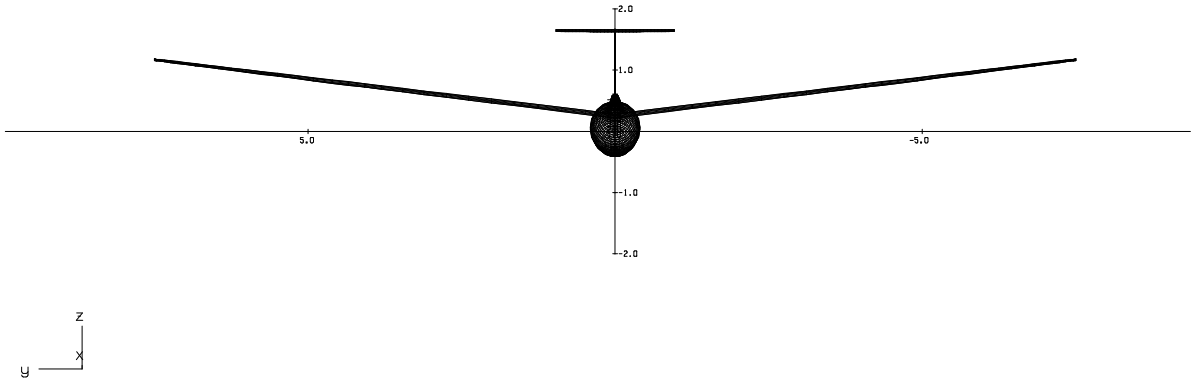

D.5 pav. Sklandytuvo Lak-17 modelis, kai skersinis V kampas 4 laipsniai




D.6 pav. Sklandytuvo Lak-17 modelis, kai skersinis V kampas 5 laipsniai




D.7 pav. Sklandytuvo Lak-17 modelis, kai skersinis V kampas 6 laipsniai




D.8 pav. Sklandytuvo Lak-17 modelis, kai skersinis V kampas 7 laipsniai

```
AVL   c>  oper

Operation of run case 1/1:   -unnamed-
=======================================================

 variable          constraint
 ------------      ------------------------
 A lpha        ->  alpha        =   0.000
 B eta         ->  beta         =   0.000
 R oll  rate   ->  pb/2V        =   0.000
 P itch rate   ->  qc/2V        =   0.000
 Y aw   rate   ->  rb/2V        =   0.000
 D1  flap      ->  flap         =   0.000
 D2  aileron   ->  aileron      =   0.000
 D3  elevator  ->  elevator     =   0.000
 D4  rudder    ->  rudder       =   0.000
 ------------      ------------------------

 C1  set level or banked  horizontal flight constraints
 C2  set steady pitch rate (looping) flight constraints
 M odify parameters

"#" select  run case           L ist defined run cases
 +  add new run case           S ave run cases to file
 -  delete  run case           F etch run cases from file
 N ame current run case        W rite forces to file

eX ecute run case              I nitialize variables

 G eometry plot                T refftz Plane plot

 ST  stability derivatives     FT  total   forces
 SB  body-axis derivatives     FN  surface forces
 RE  reference quantities      FS  strip   forces
                               FE  element forces
 DE  design changes            VM  strip shear,moment
 O ptions                      HM  hinge moments

.OPER (case 1/1)   c>  c1

    .. setting new turn radius for run case  1
    .. setting new load factor for run case  1

    Setup of trimmed run case 1/1:   -unnamed-
    (level or banked horizontal flight)
    ================================================
     B  bank angle =  0.000       deg
     C  CL         =  0.000
     V  velocity   =  0.000       m/s
     M  mass       =  482.3       kg
     D  air dens.  =  1.225       kg/m^3
     G  grav.acc.  =  9.810       m/s^2
        turn rad.  =  0.000       m
        load fac.  =  1.000
     X  X_cg       =  2.285       Lunit
     Y  Y_cg       = 0.1054E-07   Lunit
     Z  Z_cg       = 0.5820E-01   Lunit

    Enter parameter, value  (or  # - + N )   c>  c

     Enter CL   r>  0.7_
```

E.1 pav. Programos AVL parametrų įvesties langas

```
 .OPER (case 1/1)   c>

 AVL   c>  mode

  Run-case parameters for eigenmode analyses ...

   run    alpha      beta       CL         CDo        bank       velocity  density   t
urn_rad. load_fac. X_cg       Z_cg       mass       Ixx        Iyy       Izz
         deg        deg                             deg        m/s       kg/m^3    m
                    m          m          kg         kg-m^2     kg-m^2    kg-m^2
 >  1    2.19       0.00      0.700     0.700E-02   0.00       34.9      1.23      0
.00       1.00       2.29      0.582E-01  482.      0.434E+04 0.132E+04 0.390E+04
 ============================================================

 "#" select run case for eigenmode analysis (0 = all)

  M odify parameters

  N ew eigenmode calculation

  P lot root locus
  B lowup window
  R eset to normal size
 eX amine selected eigenmode

  A nnotate current plot
  H ardcopy current plot
  T ime-integration parameters

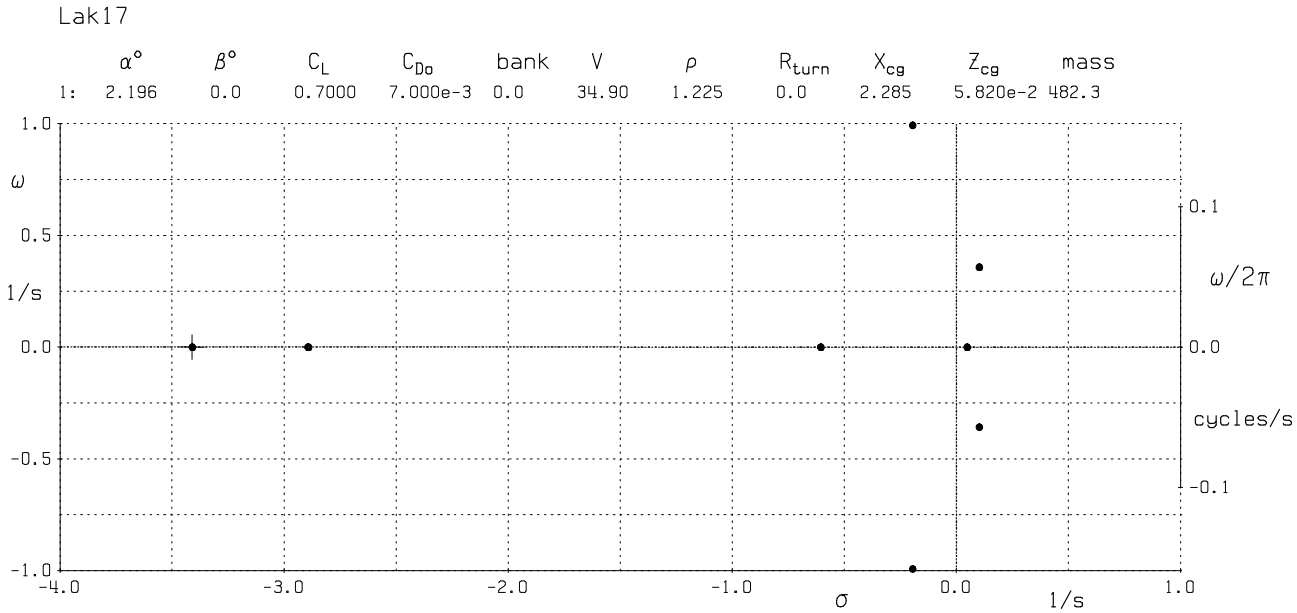
  S ystem matrix output
  W rite eigenvalues to file
  D ata file overlay toggle

  Z oom
  U nzoom

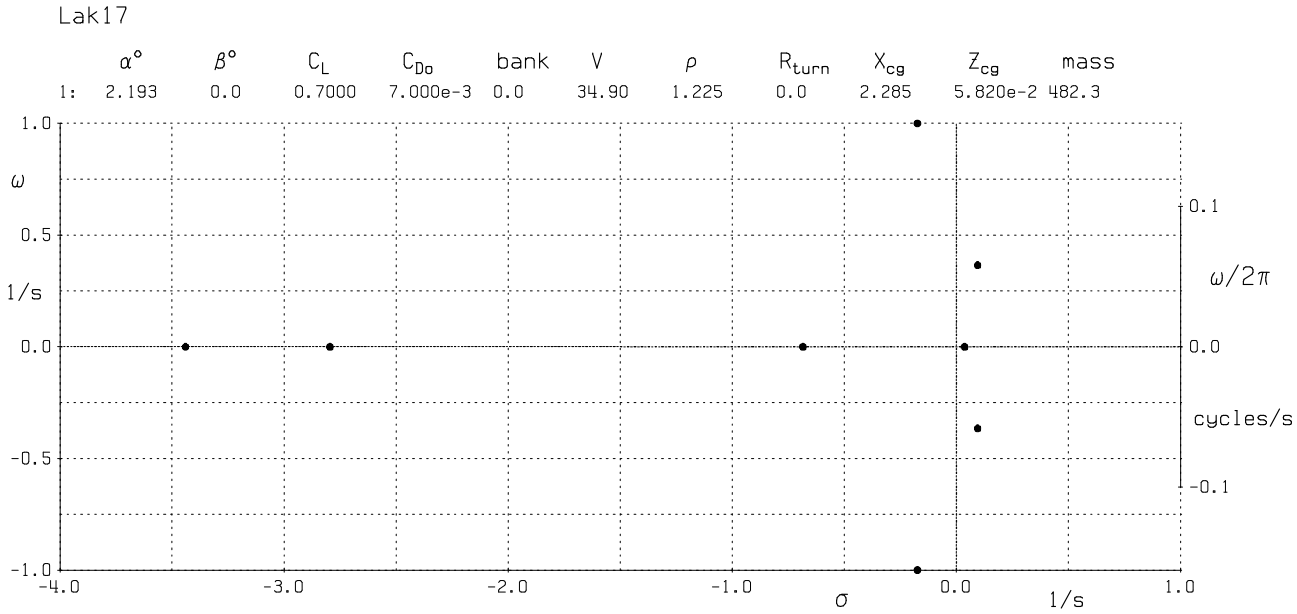
 .MODE   c>  _
```

E.2 pav. Skryžio režimų skaičiavimo papogramis

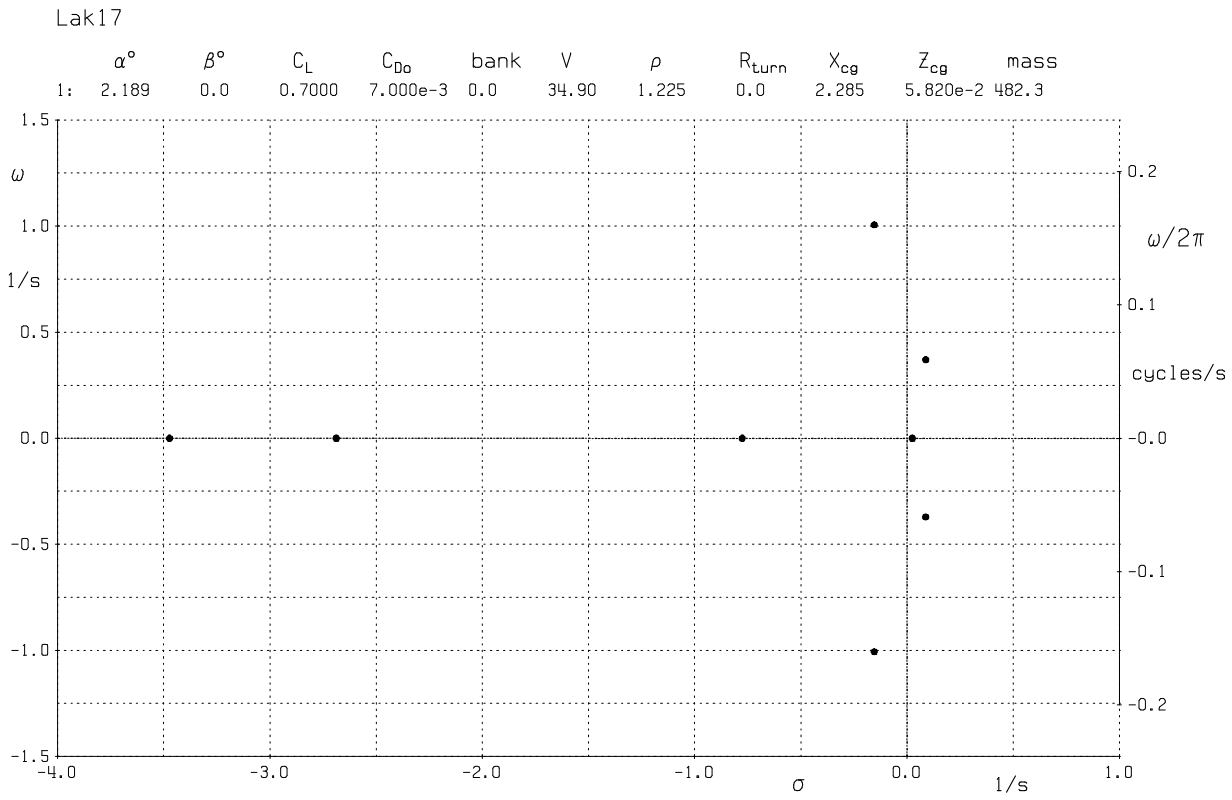
# F priedas



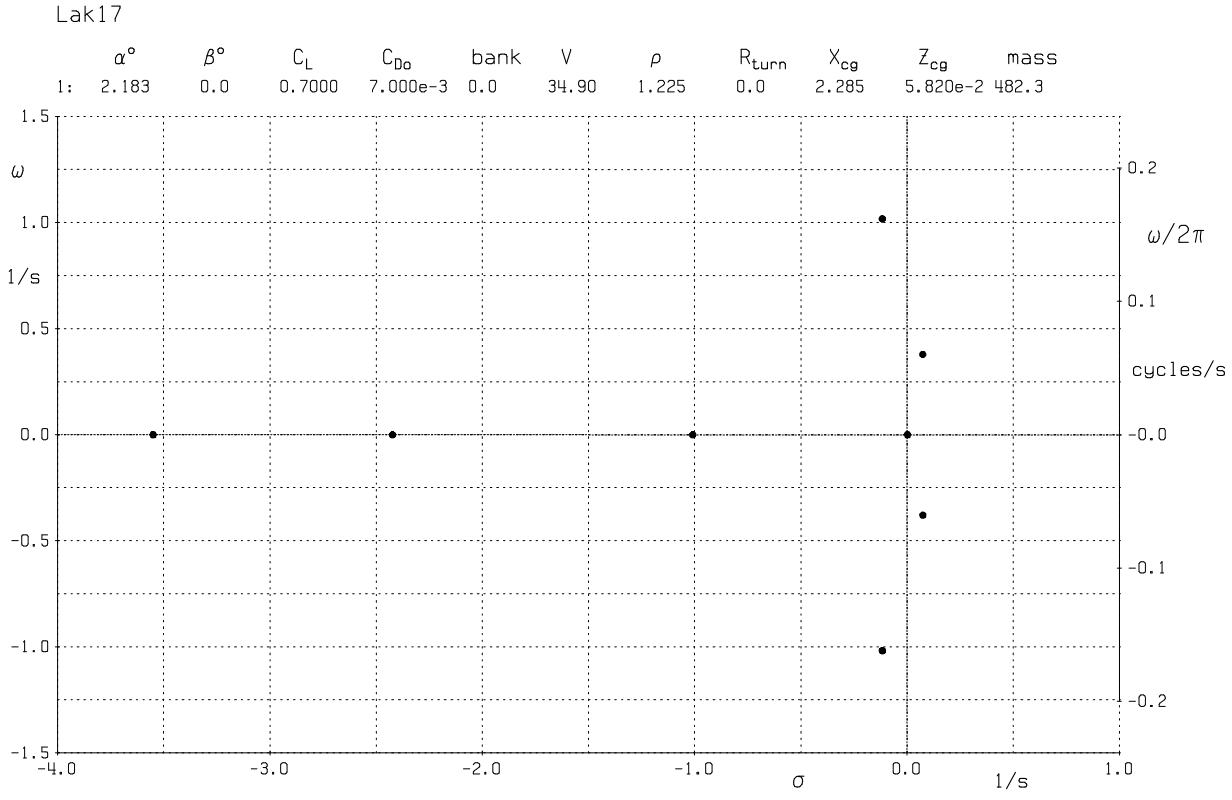

F.1 pav. Sklandytuvo Lak-17 nestabilių skrydžio režimų šaknys, kai skersinis V kampas 0 laipsnių



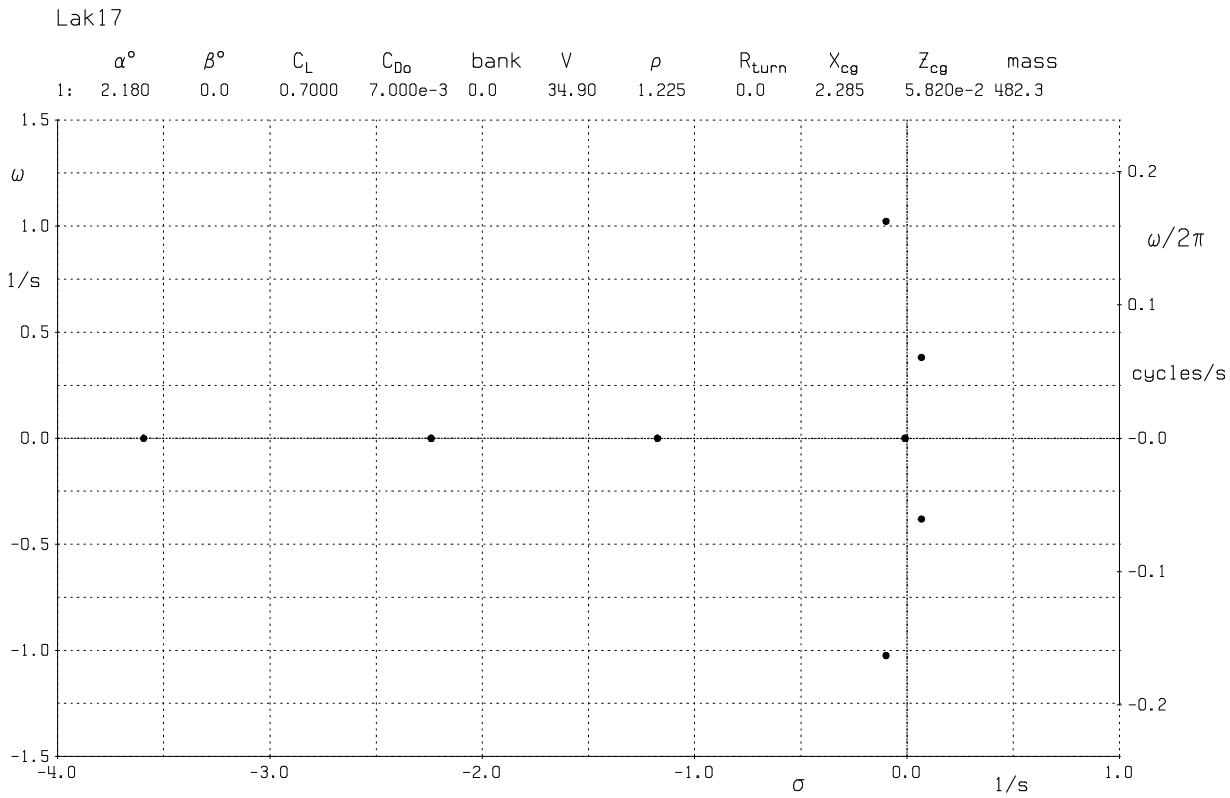

F.2 pav. Sklandytuvo Lak-17 nestabilių skrydžio režimų šaknys, kai skersinis V kampas 1 laipsnis



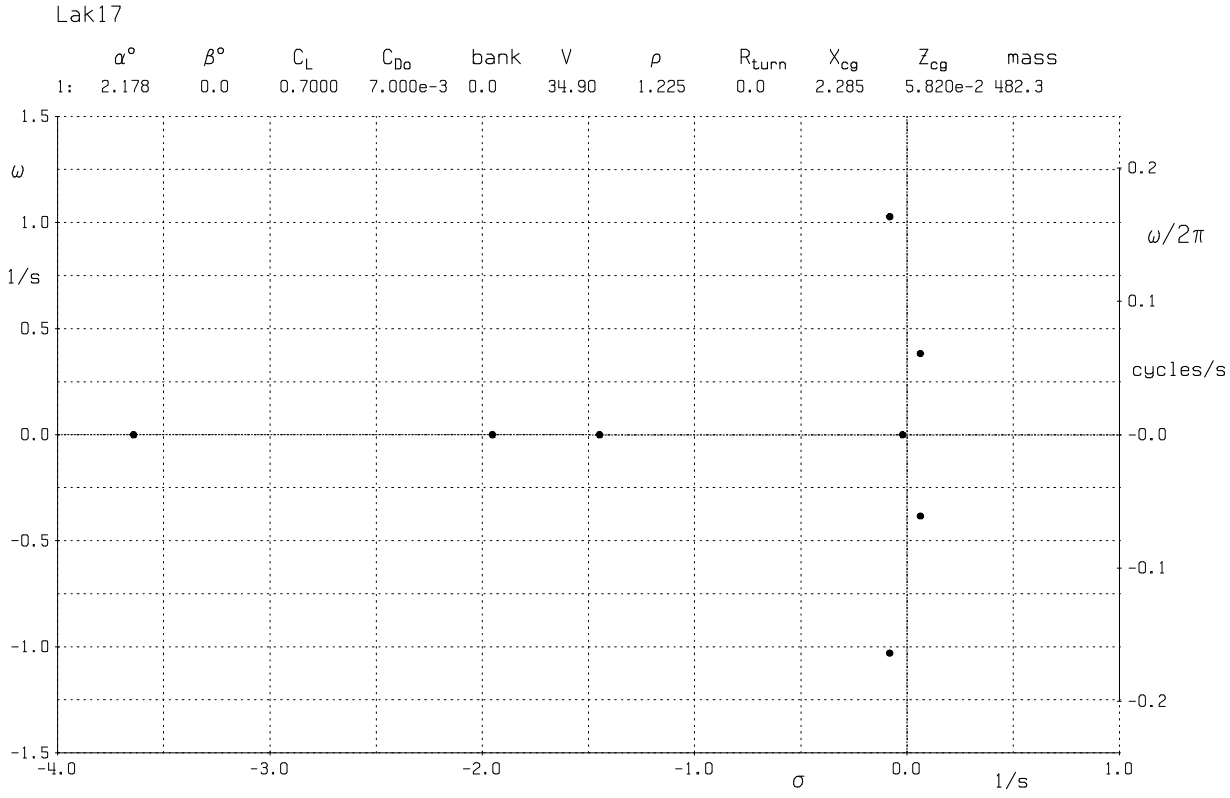

F.3 pav. Sklandytuvo Lak-17 nestabilių skrydžio režimų šaknys, kai skersinis V kampas 2 laipsniai



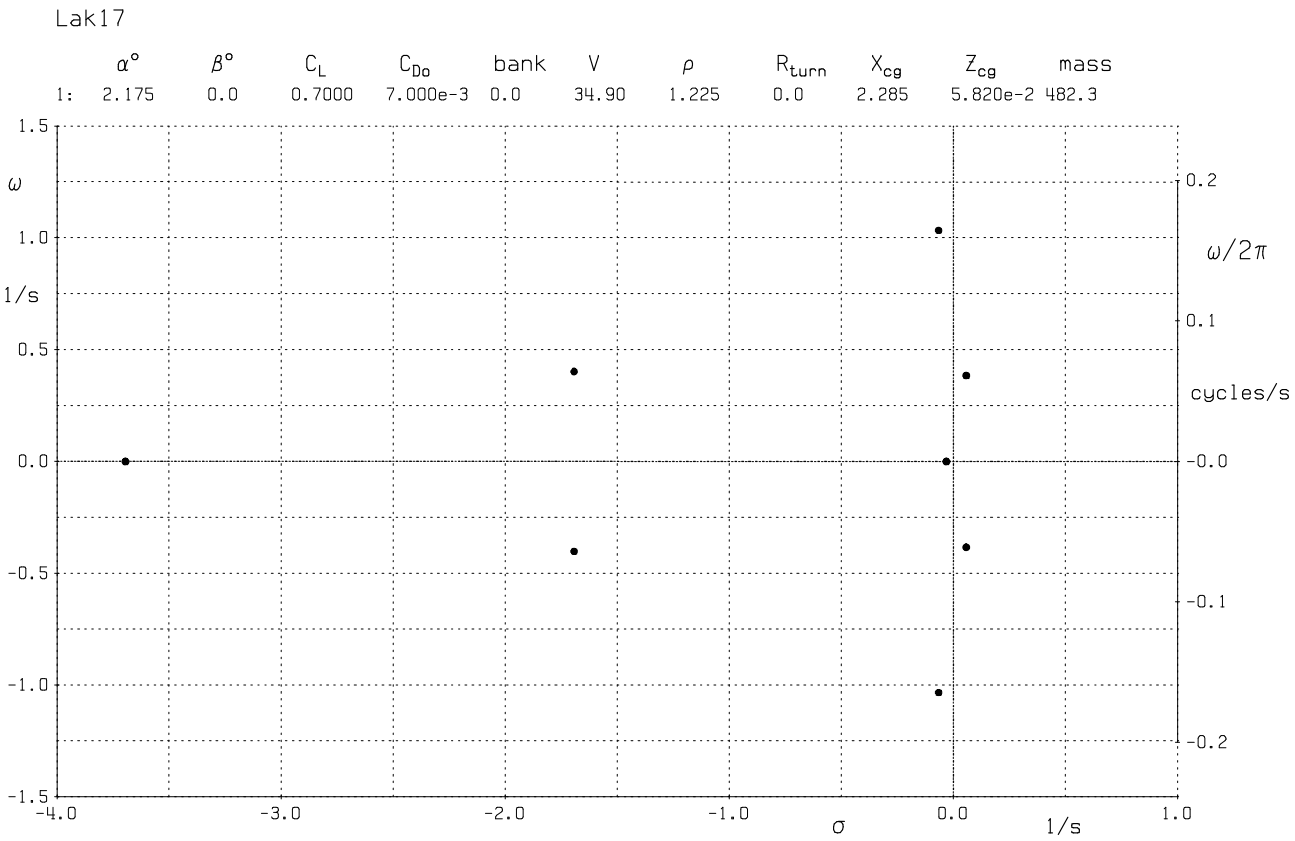

F.4 pav. Sklandytuvo Lak-17 nestabilių skrydžio režimų šaknys, kai skersinis V kampas 4 laipsniai



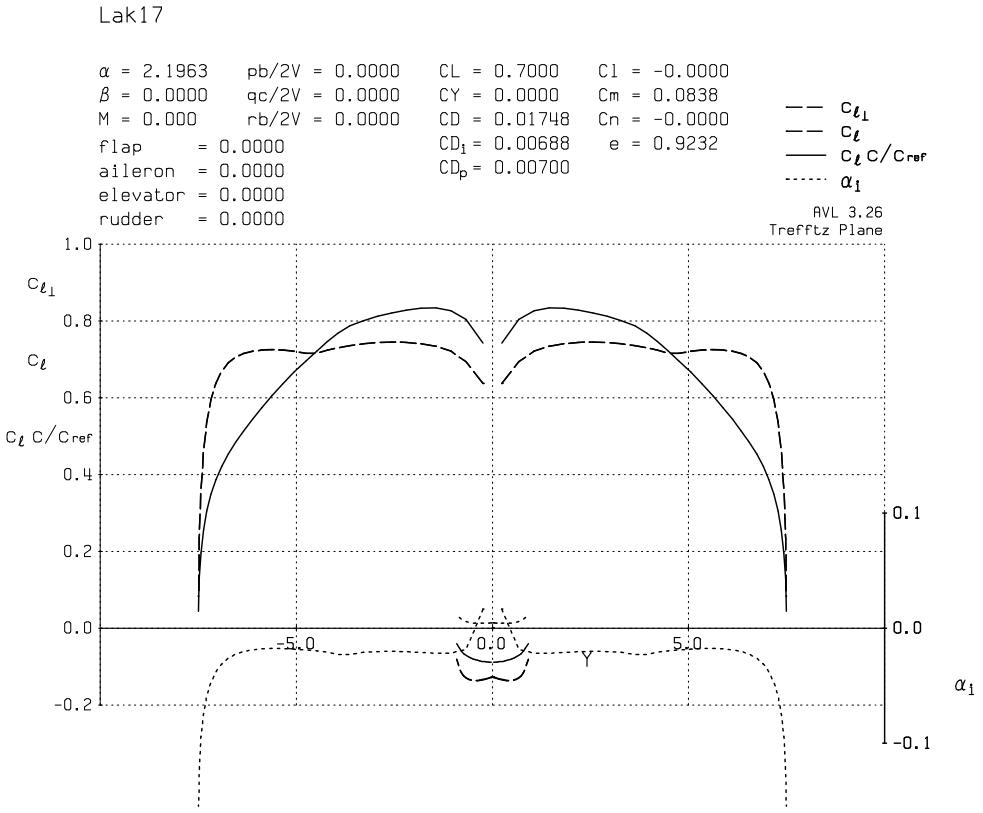

F.5 pav. Sklandytuvo Lak-17 nestabilių skrydžio režimų šaknys, kai skersinis V kampas 5 laipsniai



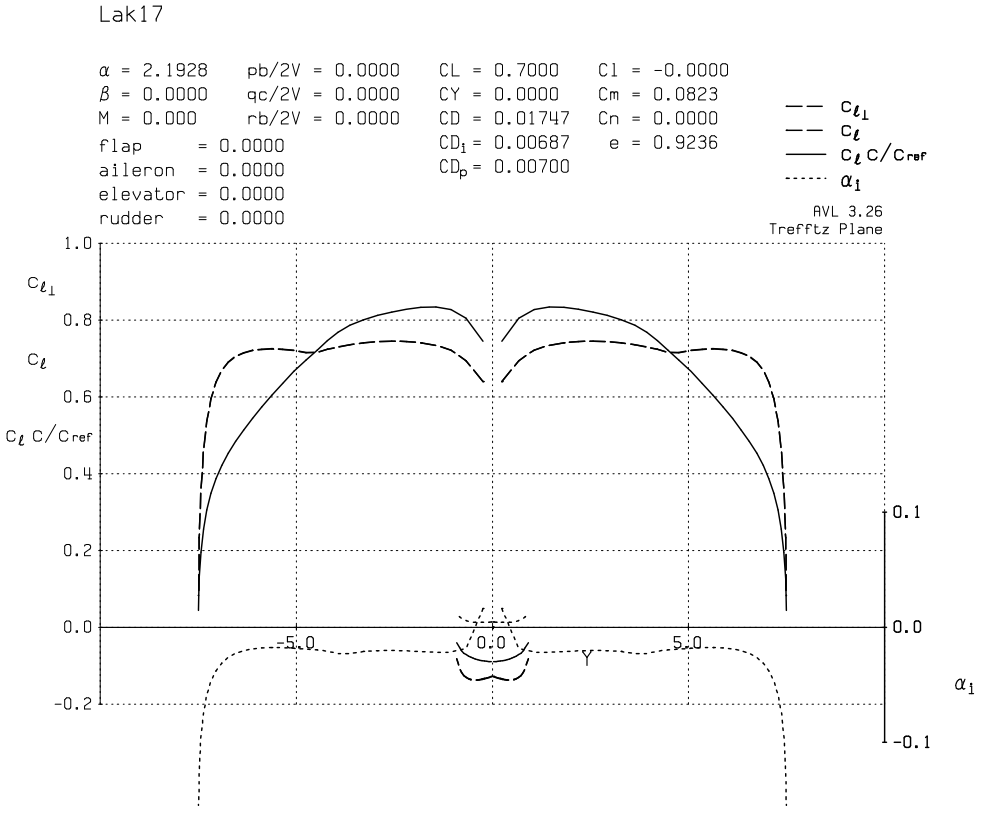

F.6 pav. Sklandytuvo Lak-17 nestabilių skrydžio režimų šaknys, kai skersinis V kampas 6 laipsniai



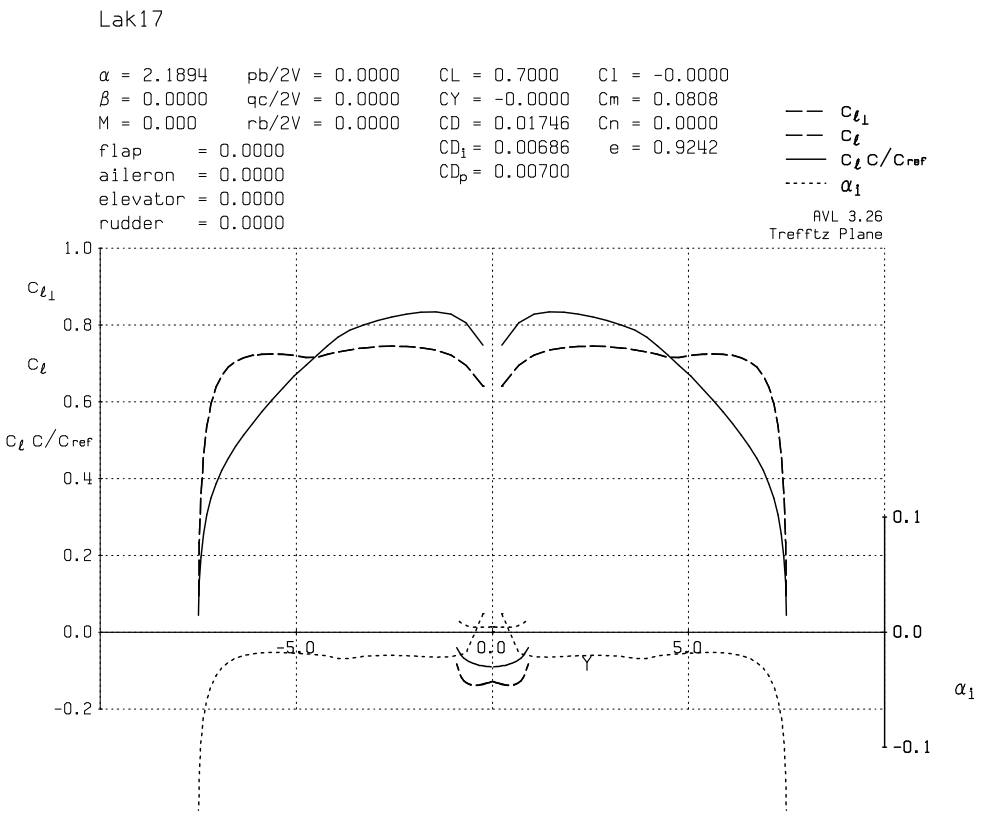

F.1 pav. Sklandytuvo Lak-17 nestabilių skrydžio režimų šaknys, kai skersinis V kampas 7 laipsniai



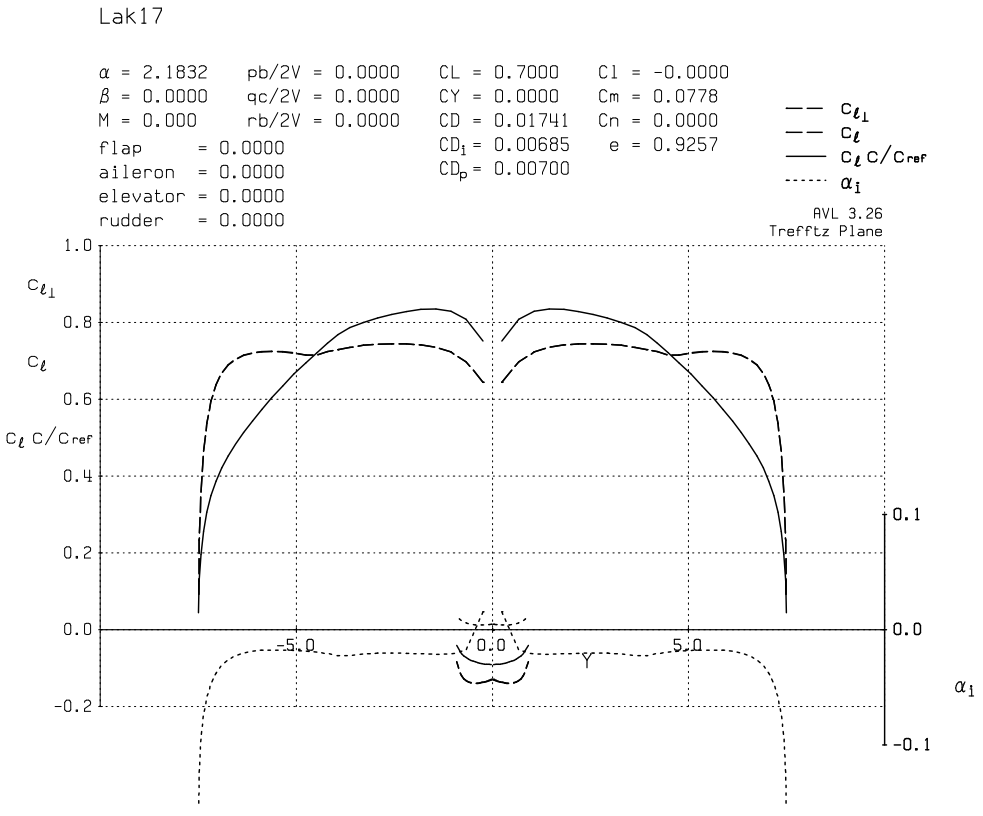

G.1 pav. Sklandytuvo įvairių parametrų priklausomybė išilgai Y ašies (sparno), kai skersinio V kampas – 0 laipsnių



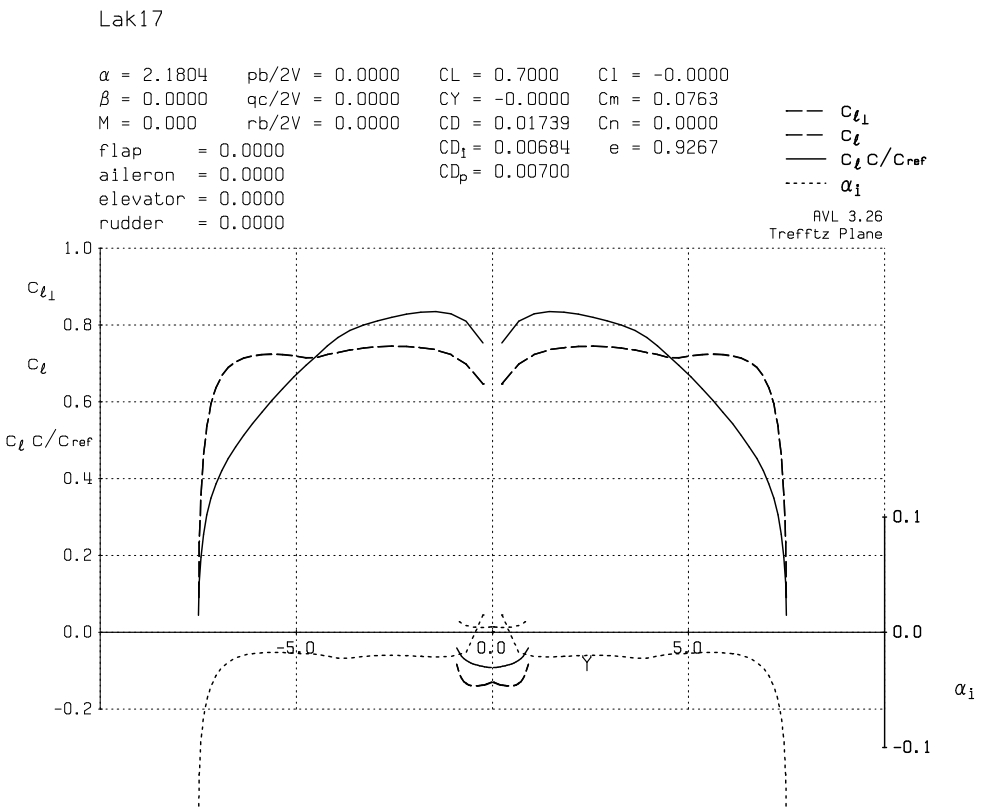

G.2 pav. Sklandytuvo įvairių parametrų priklausomybė išilgai Y ašies (sparno), kai skersinio V kampas – 1 laipsnis



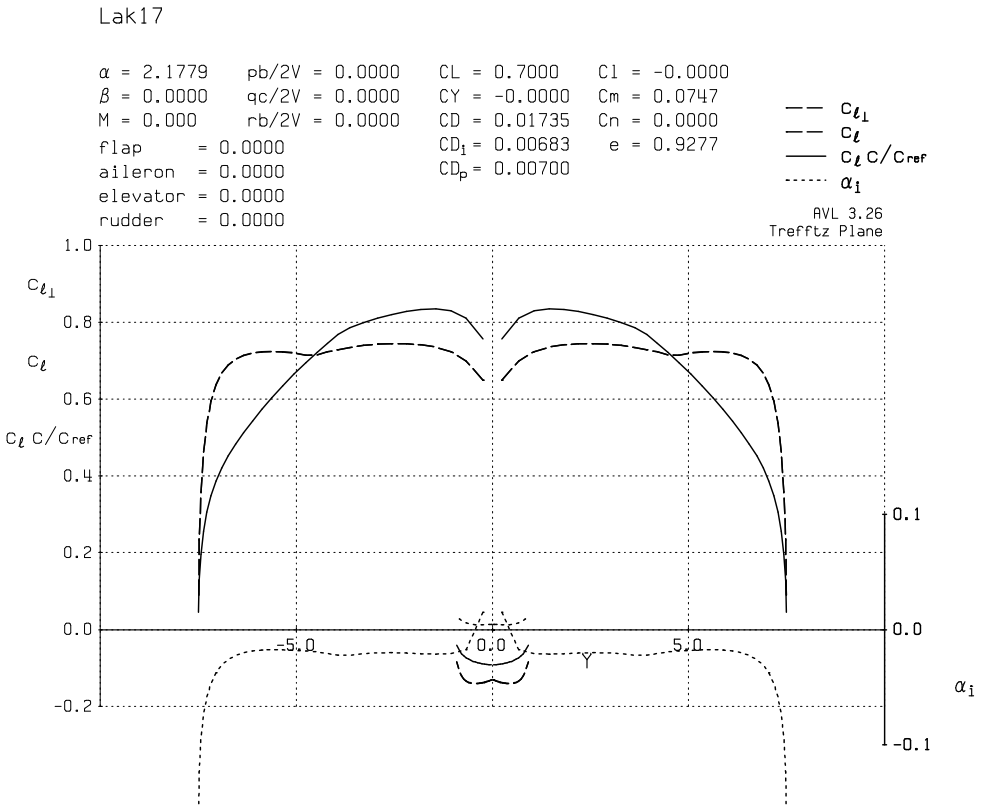

G.3 pav. Sklandytuvo įvairių parametrų priklausomybė išilgai Y ašies (sparno), kai skersinio V kampas – 2 laipsniai



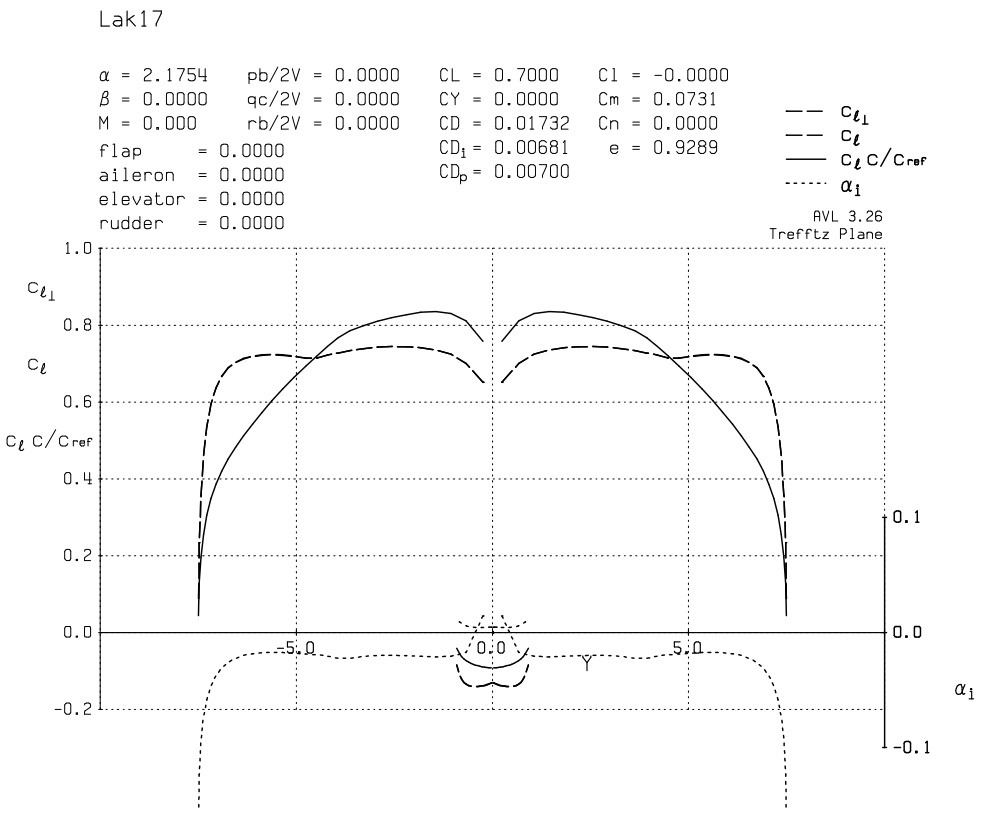

G.4 pav. Sklandytuvo įvairių parametrų priklausomybė išilgai Y ašies (sparno), kai skersinio V kampas – 4 laipsniai




G.5 pav. Sklandytuvo įvairių parametrų priklausomybė išilgai Y ašies (sparno), kai skersinio V kampas – 5 laipsniai




G.6 pav. Sklandytuvo įvairių parametrų priklausomybė išilgai Y ašies (sparno), kai skersinio V kampas – 6 laipsniai




G.7 pav. Sklandytuvo įvairių parametrų priklausomybė išilgai Y ašies (sparno), kai skersinio V kampas – 7 laipsniai

# SKLANDYTUVO LAK-17 ŠONINIO STABILUMO CHARAKTERISTIKŲ TYRIMAS SKAITINIU METODU

**Paulius Gildutis**[1], **Eduardas Lasauskas**[2]
[1]*magistrantas,* [2]*docentas,*
*Vilniaus Gedimino technikos universitetas,*
*el. p.* [1]*Paulius.Gildutis@agst.vgtu.lt;* [2]*Eduardas.Lasauskas@ai.vgtu.lt*

**Anotacija.** Kompiuterinis geometrinis sklandytuvo Lak-17 modelis sugeneruotas programa AVL, kuri skirta orlaivių konfigūracijos ir skrydžio charakteristikų analizei. Imituojant realų skrydį programa suskaičiuotos įvairios pastovumo ir pavaldumo charakteristikos. Pagal gautus rezultatus suformuluotos išvados kiekvienam šoninio nestabilumo atvejui ir pateiktos rekomendacijos, kaip būtų galima pagerinti orlaivio stabilumą ir pavaldumą.

**Reikšminiai žodžiai**: olandiškas žingsnis, šoninis stabilumas, AVL, Lak-17, nestabilumas, spiralė.

## Įvadas

Projektuojant orlaivį inžinieriams reikia parinkti tokią jo formą, dizainą, sparno ir uodegos išdėstymą liemens atžvilgiu, kad skrydyje būtų pakankamai stabilus, lengvai valdomas. Norint tai pasiekti iš pradžių kuriami kompiuteriniai orlaivių modeliai ir tiriamos įvairios stabilumo charakteristikos. Mūsų atveju buvo pasirinkta programa AVL.

Pasirinktas orlaivis – Lietuvoje gaminamas sklandytuvas Lak-17. Kompiuterinės nemokamos programinės įrangos AVL pagalba bus sudaromas geometrinis sklandytuvo modelis, skaičiuojamos šoninio stabilumo charakteristikos.

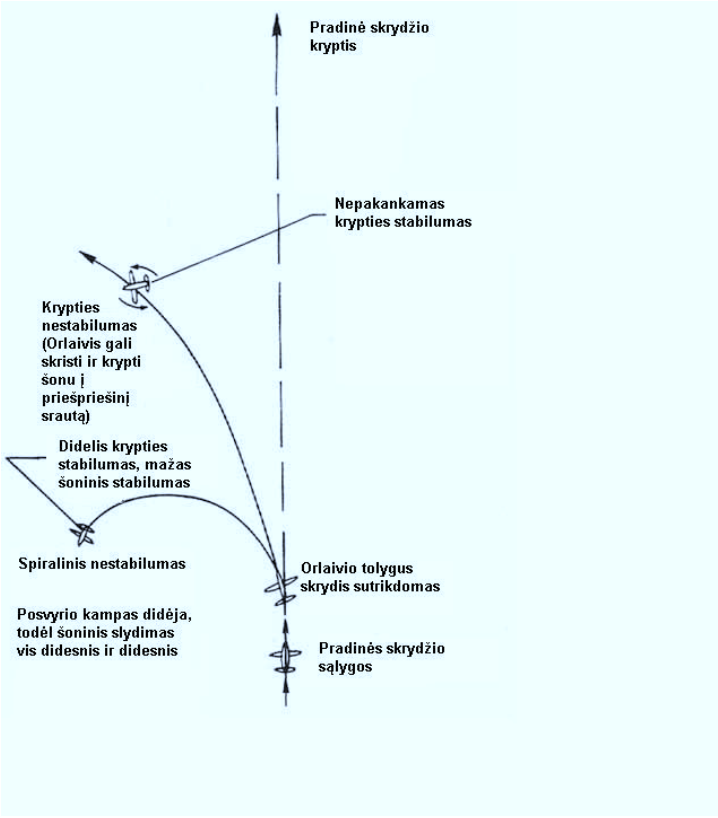
## Šoninis stabilumas

Šoninis lėktuvo stabilumas priklauso nuo krypties ir skersinio stabilumo. Sudėtiniai posvyrio, krypties nestabilumo ir šoninio slydimo judesiai sukelia orlaivio nestabilumą. Orlaivių projektuotojus domina šie trys potencialūs šoninio dinaminio nepastovumo, nestabilumo atvejai: krypties nepastovumas, spiralinis nepastovumas ir taip vadinamas „olandiško žingsnio“ (angl. *Dutch rool*) nestabilumas.

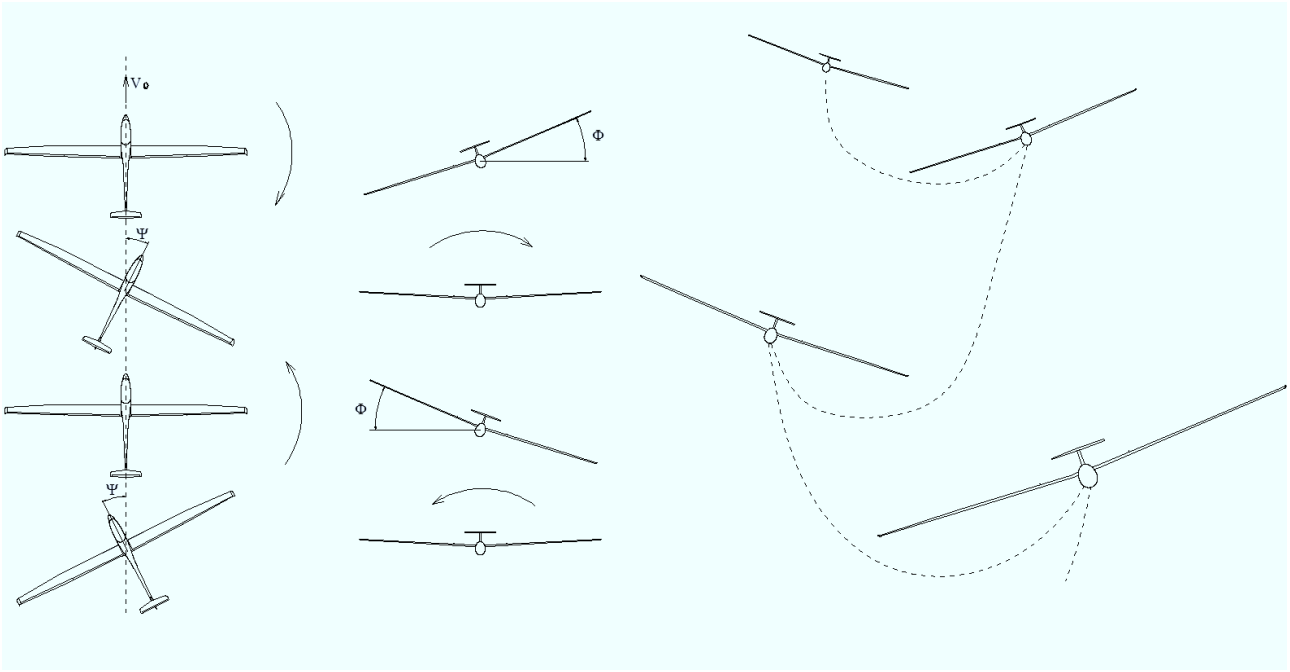
Krypties nestabilumas (angl. *directional divergence*) (1 pav.) pasireiškia tada, kai orlaiviui trūksta krypties stabilumo. Kai sutrikdoma tokio lėktuvo pusiausvyros padėtis, jis po truputi pradeda krypti nuo kurso, vis didindamas šoninio slydimo kampą. Dėl veikiančios šoninės jėgos skrydžio trajektorija bus išlenkta. Orlaivio, kuris pasižymi šoniniu statiniu stabilumu (pvz. skersinio „V“ kampas), nereikšmingas posvyrio kampo pokytis gali iššaukti šį krypties nepastovumą.

Spiralinis nestabilumas (angl. *spiral divergence*) (1 pav.), tai nesvyruojamasis nukrypstantis judesys, kuris gali pasireikšti tada, kada krypties stabilumas labai didelis, o skersinis stabilumas – mažas. Kai sutrikdoma tokio lėktuvo pusiausvyros padėtis, jis pasvyra nedideliu kampu – $\varphi>0$ ir po truputi pradeda krypti nuo kurso (How 2003), tuo pačiu vis didindamas šoninio slydimo kampą. Spiralė, laikui bėgant, tampa staigesnė, statesnė, ir jei atitinkamų veiksmų nesiimama, gali atsirasti didelio greičio spiralinis pikiravimas. Nedidelis spiralinis stabilumas yra toleruojama lėktuvo savybė. Lėktuvo, turinčio spiralinį nestabilumą, posvyrio kampas didėja lėtai. Pilotas lengvai pastebi ir gali jį ištaisyti.

„Olandiško žingsnio“ svyravimai, tai skersinis ir šoninis svyravimai, ir jie gali būti gana nemalonūs pilotams ir keleiviams. Judesys charakterizuojamas posvyrio ir krypties svyravimais, kurie yra to paties dažnio, bet vienas nuo kito skiriasi faze. Periodas gali būti nuo 3 iki 15 sekundžių, todėl jei amplitudė yra pakankamai didelė, toks orlaivio judesys gali būti labai erzinantis. Kai skersinis statinis stabilumas (skersinio V efektas) yra žymiai didesnis už krypties statinį stabilumą lėktuvas svyruoja vienu metu apie vertikalią ir išilginę ašis. Kai yra didelis skersinio V efektas, esant slydimui prieš srautą atsukto sparno atakos kampas ir keliamoji jėga padidėja. Padidėja ir indukcinis pasipriešinimas. Taip prasideda svyravimai vertikalios ir išilginės ašies atžvilgiu (Nelson 1998).



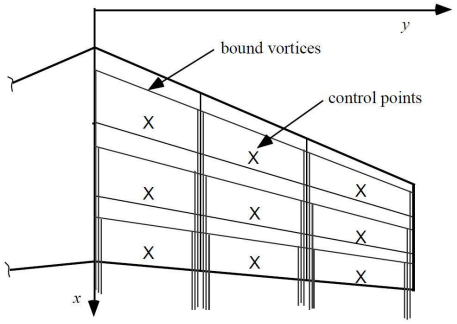

**1 pav.** Krypties ir spiralinio nestabilumų skrydžio režimai




**2 pav.** „Olandiško žingsnio“ skrydžio režimas

**Sūkurių tinklelio modeliavimo programa AVL**

Sūkurių tinklelio modeliavimo programa AVL (Athena Vortex Lattice) pasirinkta todėl, kad geriausiai tinka tirti aerodinaminiams kūnams, kurie susideda iš plonų, liaunų, keliamąją jėgą sukuriančių paviršių, kaip sklandytuvas Lak-17, kai atakos ir slydimo kampai yra maži. Šie paviršiai ir nuo jų galinės briaunos nueinantis pėdsakas modeliuojami vieno sluoksnio sūkurių paviršiais, kurie diskretizuojami pasagos formos sūkurių linijomis (angl. *horseshoe vortices*). Laisvieji sūkuriai laikomi lygiagrečiais su x ašimi (3 pav.). Su AVL galima modeliuoti siaurus kūnus, pavyzdžiui liemenis ir gondolas naudojant šaltinio ir dipolio linijas (angl. *source-doublet lines*). Atstojamosios jėgos ir momento prognozavimas atitinka plono kūno teoriją, bet patirtis dirbant su šiuo modeliu yra santykinai ribota, vadinasi, liemenis reikia modeliuoti apdairiai (Drela 2006).




**3 pav.** Pasagos formos sūkurių linijos

**Sklandytuvo Lak-17 geometrinis modelis**

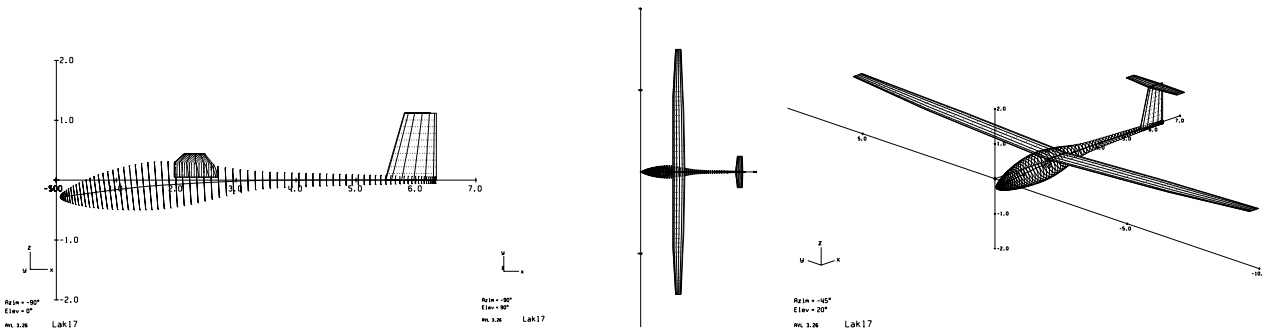
Norint, kad AVL programa skaičiuotu mums reikiamus stabilumo parametrus, yra sudaromas orlaivio geometrinis modelis. Žinant sklandytuvo pagrindinius matmenis ir profilius (sparnas – LAP 92-130/15, LAP 92-150/15, stabilizatorius – FX71-L-150/25, kilis – FX71-L-150/30) parašoma geometrijos duomenų byla (Join Stock Company „Sportinė aviacija" 2006). Šio failo pagalba AVL programa gali grafiškai pavaizduoti sklandytuvo modelį (4 pav.).

**Sklandytuvo Lak-17 atskirų dalių masės ir inercijos momentai**

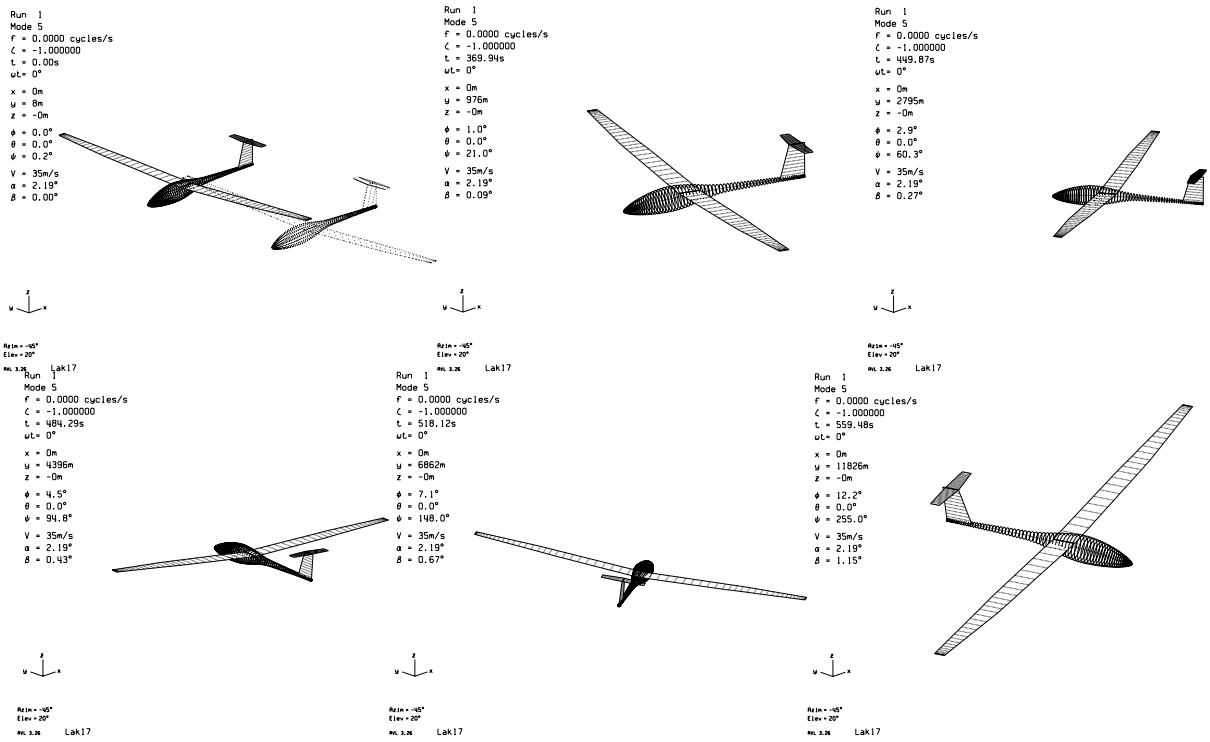
Šis failas būtinas norint, kad AVL programa skaičiuotu mums reikiamus stabilumo parametrus. Jame suvedama visa informacija apie AVL programoje naudojamą vienetų, koordinačių sistemą sklandytuvo dalių mases ir inercijos momentus.

**Rezultatai**

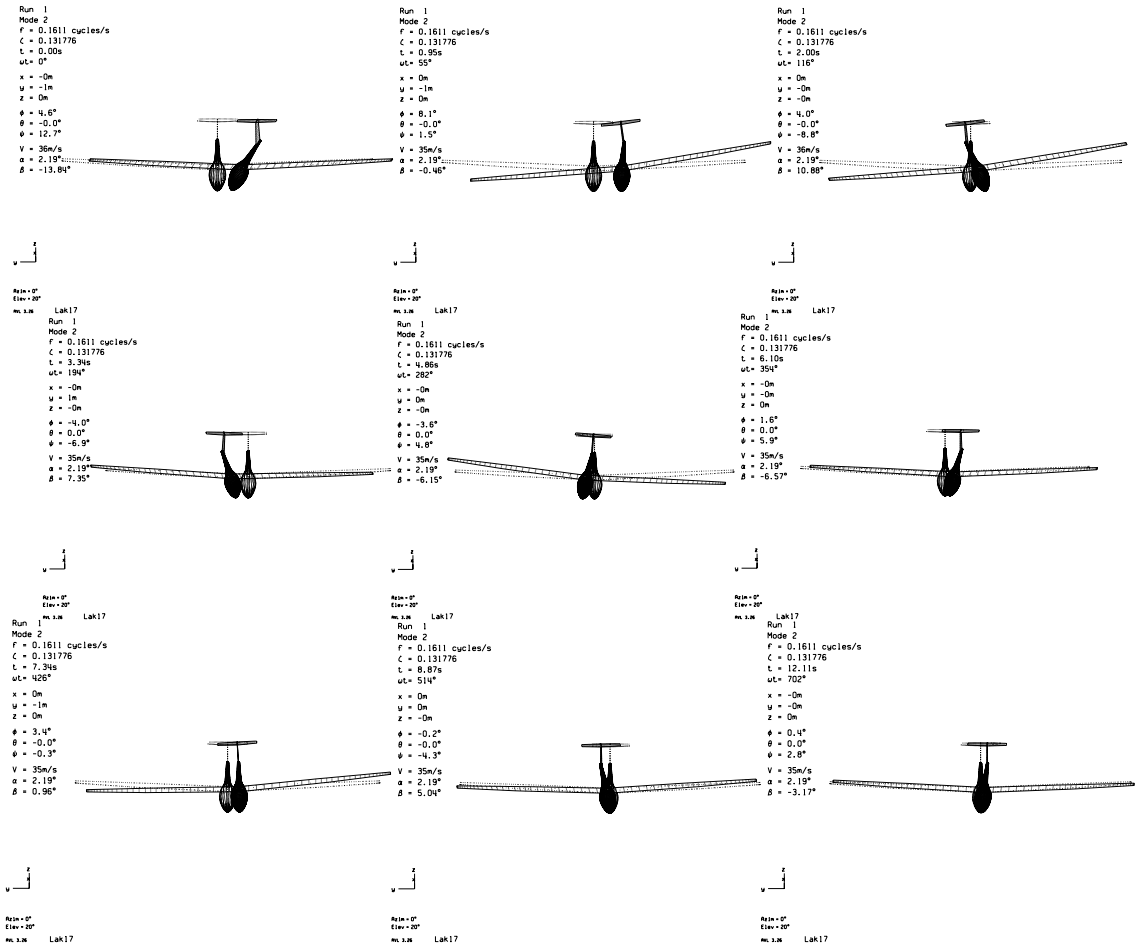
Skaičiavimai buvo atliekami sklandytuvui skrendant tiesiai ir tolygiai. Imituojant dirbtinį atmosferos trikdį programa sugeneravo 8 tolesnes orlaivio skrydžio trajektorijas. Pateikiami tik 2 skrydžio režimai. Vienas iš jų parodė spiralinį nestabilumą (5 pav.), kitas „olandiško žingsnio" skrydžio trajektoriją (6 pav.). Geometriškai buvo keičiamas sklandytuvo skersinio V kampas nuo 0 iki 7 laipsnių ir stebima, kaip tai veikia atsirandančiam nestabilumo tipui, kaip keičiasi orlaivio, turinčio tendenciją krypti nuo kurso, skrydžio trajektorija, greitis, spiralės statumas, „olandiško žingsnio" svyravimų dažnis ir t.t.



**4 pav.** Sklandytuvo Lak-17 geometrinis modelis

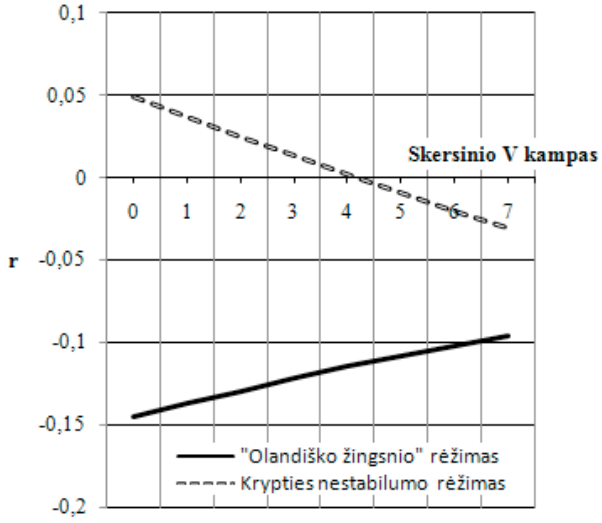



**5 pav.** Sklandytuvo skrydžio režimas, esant krypties nestabilumui




**6 pav.** „Olandiško žingsnio“ skrydžio režimas

Žemiau pateiktos kreivės (7 pav.) rodo nestabilaus skrydžio režimo priklausomybę nuo skersinio V kampo: vienu atveju, kai vyrauja krypties nestabilumas, kitu – kai „olandiškas žingsnis“.




**7 pav.** Nestabilaus skrydžio režimų priklausomybė nuo skersinio V kampo

## Išvados

1. Krypties nestabilumo skrydžio režimo atveju, sklandytuvas yra nestabilus, t.y. krypsta nuo kurso, kai skersinio V kampas: ~4,2 laipsniai ir mažiau, jei kampas daugiau nei 4,2 laipsniai – orlaivis įgyja savybę, nukrypus nuo kurso, grįžti į pradinę padėtį.

2. „Olandiško žingsnio“ skrydžio režimo atveju, orlaivis skrenda vis mažėjančiais svyravimais, t.y. mažėjančia amplitude, nors matome, kad didėjant skersinio V kampui ši savybė blogėja .

3. Iš pateiktų kreivių (7 pav.) matyti, jog skersinio V kampui esant ~0,42 laipsniams ir daugiau, abu sklandytuvo skrydžio režimai: krypties nestabilumo ir „olandiško žingsnio“, bus silpstantys, t.y. laikui bėgant nusistovės tiesiaeigis ir tolygus skrydis.

4. Žiūrint iš šoninio stabilumo pusės, rekomenduotinas tinkamas vertikalios uodegos plokštumos suprojektavimas.

## Literatūra


Drela, Mark, Youngren Harold, 2006, *AVL 3.26 User Primer*.

Prieiga per internetą:
<http://web.mit.edu/drela/public/web/avl/>.

How, Jonathan, 2003, lecture #AC-3, Aircraft lateral dynamics, *Spiral, roll, and Dutch roll modes*.

Join Stock Company “Sportinė aviacija”, 2006, *Maintenance manual for the Lak-17A sailplane*, *Issue No. 2.*

Prieiga per internetą:
<http://www.lak.lt/images/stories/Dokumentai/Manuals/LAK17A%20FM.pdf>.

Nelson, C. Robert, 1998 *Flight stability and automatic control*.


## ANALYSIS CHARACTERISTICS OF LATERAL STABILITY OF SAILPLANE LAK-17 BY COMPUTATIONAL METHOD


**P.Gildutis**



Summary

Computer-based geometrical model of sailplane Lak – 17 was generated with a program AVL (Athena Vortex Lattice), which is designed for analysis of characteristics of flight and rapid analysis of configuration of aircraft. Simulating a real flight with the program various characteristics of stability and control were calculated. According results the conclusion was formulated for every case of lateral unstability and the suggestions how to improve stability and control of aircraft were offered.