

SKLANDYTUVO SKRYDŽIO SPIRALE TYRIMAS SŪKURIŲ TINKLELIO METODU

Vilius Portapas¹, Eduardas Lasauskas²

VGTU AGAI Aviacinės mechanikos katedra

El. p.: ¹vilius.portapas@agst.vgtu.lt; ²eduardas.lasauskas@vgtu.lt

Santrauka. Tyrimo metu buvo tiriamos sklandytuvo skrydžio spirale charakteristikos sūkurių tinklelio metodu. Nagrinėtos sklandytuvo LAK-19 skrydžio spirale charakteristikos. Taip pat buvo tiriama oro srauto, aptekančio sklandytuvo aerodinaminis paviršius, įtaka sklandytuvo skrydžio spirale charakteristikoms. Tyrimai atlikti programa XFLR5.

Reikšminiai žodžiai: atakos kampas, keliamosios jėgos koeficientas, sklandytuvas, sklendimo charakteristikos, spiralė, XFLR5.

1. Įvadas

Sklandytuvo skrydis spirale yra esminis sklendimo procesas, kurio metu sklandytuvas aukštėja skrisdamas spirale termike. Skrydis spirale yra ypatingas tuo, kad sklandytuvas yra pasviręs kampu, priklausančiu nuo spiralės skersmens bei sklendimo greičio. Šis ypatumas reiškia, kad to paties sparno galai pasiekia skirtingą greitį oro srauto atžvilgiu. Vidinis sparno galas oro srauto atžvilgiu juda lėčiau nei išorinis sparno galas. Todėl keliamoji jėga, generuojama to paties sparno skirtingose pusėse sklandytuvo liemens atžvilgiu, yra skirtinga. Tai sukelia papildomų nepatogumų sklandytuvo pilotui, nes vidinis sparnas jau ir taip yra pasviręs į apačią, o dar atsiranda ir papildomas keliamosios jėgos momentas, kuris dar labiau verčia sklandytuvą svirti. Todėl svarbu numatyti galimą posvyrio įtaką oro srauto pasiskirstymui virš aerodinaminių paviršių bei įtaką sklandytuvo valdymui. Tai galima atlikti pasitelkus tam tikrus skaičiavimo metodus. Vienas tokių metodų yra sūkurių tinklelio metodas, kuris leidžia paskaičiuoti sklandytuvo aerodinaminių koeficientų reikšmes įvairių skrydžio fazių metu. Dar daugiau, šio metodo pagalba įvertinę skirtingas aerodinaminių koeficientų reikšmes, galime įvertinti ir orlaivį veikiančių jėgų momentus. Anksčiau įvertintos sklendimo spirale charakteristikos (Portapas, Lasauskas 2012) suteikia informacijos apie keliamosios jėgos koeficientą, posvyrio kampą bei sklendimo greitį. Remiantis šiais duomenimis atlikti skaičiavimai programa XFLR5. Gautas šiuos dydžius atitinkančios atakos kampo bei aukščio vairo atlenkimo kampo reikšmės.

2. Tyrimo metodas

Skaičiavimai atlikti programa XFLR5. Pirmiausia sukurtas sklandytuvo modelis pagal jo technines charakteristikas (Juočas 2004). Iš bandymų metu gautų duomenų (Wende, Pätzold 2003) sudaryta žemėjimo greičio V_s priklausomybės nuo sklendimo greičio V poliarė bei atitinkama poliarė, sudaryta iš programos atliktų skaičiavimų gautų duomenų. Jos palygintos grafiškai. Būtina pažymėti tai, kad programoje, paprastumo dėlei, modeliuoti tik sklandytuvo aerodinaminiai paviršiai, t. y. sparnas,

kylis ir stabilizatorius. Todėl reikia įvertinti liemens pasipriešinimo nebuvimą gautuose rezultatuose. Be anksčiau minėtų poliarių taip pat apskaičiuoti ir tam tikrą posvyrio kampą φ atitinkančių skrydžio režimų duomenys.

Pirmiausia apskaičiuojamas sklendimo greitis V (Deperrois 2011):

$$V = \sqrt{\frac{2mg}{\rho S C_L \cos \varphi}} \quad (1)$$

čia m yra sklandytuvo masė; g – laisvo kritimo pagreitis; V – sklendimo greitis; ρ – oro tankis; S – sklandytuvo sparno plotas; C_L – keliamosios jėgos koeficientas.

Brėžiamo apskritimo spindulys R apskaičiuojamas pagal formulę:

$$R = \frac{V^2}{g \tan \varphi} \quad (2)$$

Sukimosi sparta randama ω pagal formulę:

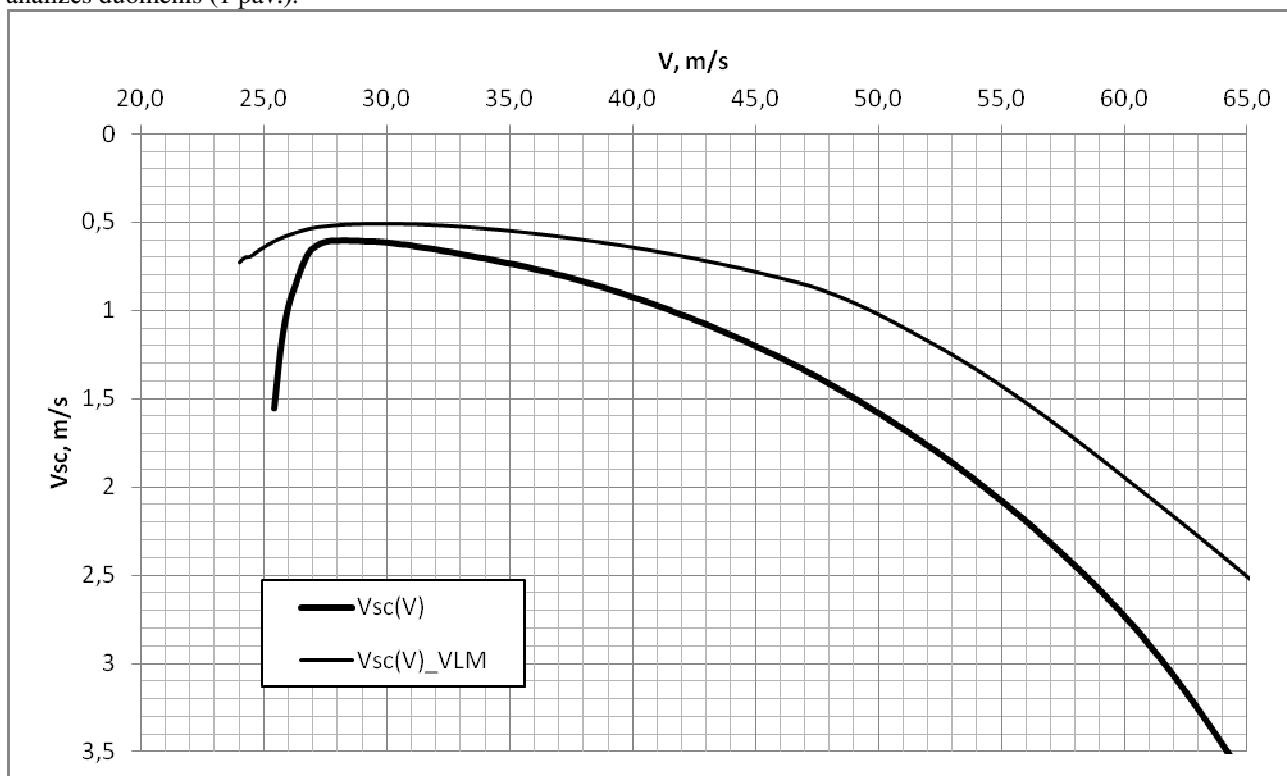
$$\omega = \frac{V}{R} \quad (3)$$

Toliau programa, panaudodama sūkurių tinklelio metodą, apskaičiuoja atakos bei aukščio vairo atlenkimo kampus. Iš ankstesnio tyrimo (Portapas, Lasauskas 2012) žinome skrydžio parametrus: keliamosios jėgos koeficientą, skrydžio greitį, žemėjimo greitį, posvyrio kampą bei spiralės spindulį. Programoje parenkami tam tikri aukščio vairo atlenkimo bei posvyrio kampai ir apskaičiuojami skrydžio parametrai, kai išilginis momentas lygus 0. Lyginant ankstesnius rezultatus su gautais šia programa, nustatomos atakos bei aukščio vairo atlenkimo kampų reikšmės.

3. Rezultatai

Pirmiausia buvo palygintos žemėjimo greičio priklausomybės nuo sklendimo greičio poliarės, nubrėžtos pagal

bandymų metu gautus duomenis bei pagal programinės analizės duomenis (1 pav.).



1 pav. Žemėjimo greičio priklausomybės nuo sklendimo greičio poliarės

Fig. 1. The relation between the sink rate and the air speed

Matyti, kad programa apskaičiuotų skrydžio charakteristikų duomenų poliarė skiriasi nuo bandymų metu gautų duomenų poliarės. Tai sietina su tuo, kad programinės analizės metu neįvertinama sklendytuvo liemens įtaka. Tai sumažina pasipriešinimą, o kartu – ir žemėjimo greitį. Nepaisant šių skirtumų, sklendimo greitis, atitinkantis mažiausią žemėjimo greitį, skiriasi nežymiai:

$28,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ sklendimo greitis atitinka bandymų metu gautą

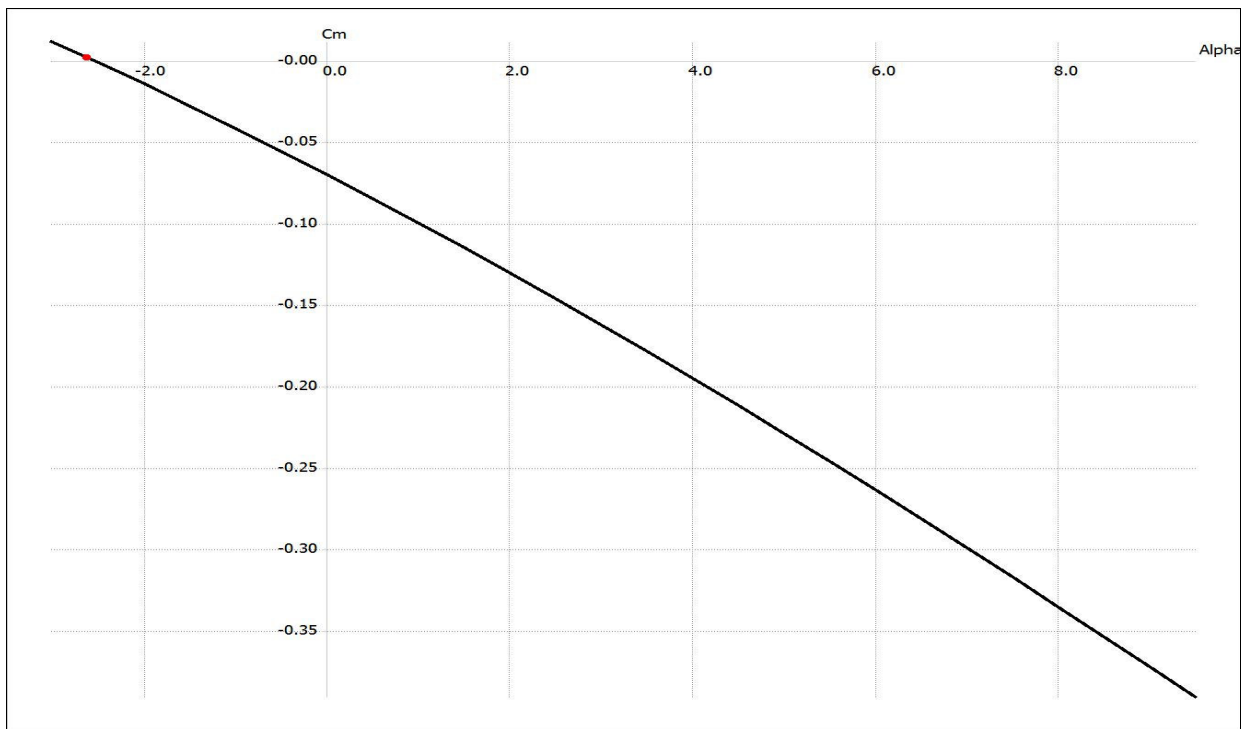
mažiausią žemėjimo greitį, tuo tarpu $29,7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ sklendimo greitis atitinka programinės analizės metu gautą mažiausią žemėjimo greitį, kuris yra $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, palyginti su

$0,606 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ realiomis sąlygomis.

Taigi matyti, kad poliarės savo forma yra panašios, tačiau dėl liemens įtakos nebuvimo poliarė $V_{sc}(V)_{VLM}$ yra pakilusi aukščiau, t. y. atitinka mažesnes žemėjimo greičio reikšmes.

Atlikus platesnę modelio analizę, programa leidžia įvertinti orlaivį veikiantį išilginį momentą. Šis momentas žymimas C_m . Programa automatiškai yra nustatyta skaičiuoti tokius skrydžio parametrus, kad C_m būtų lygus 0. Tai reiškia, kad sklendytuvas išlaiko tam tikrą parinktą padėtį skersinės ašies atžvilgiu, jei kiti skrydžio parametrai yra pastovūs. Šiuo atveju nustatyta, kad tiesiame skrydyje $C_m = 0$, kai atakos kampas $\alpha = -2,6245^\circ$ (2 pav.).

Iš grafiko matyti, kad pasiekus anksčiau minėtą atakos kampą ir toliau jį didinant, išilginio momento reikšmė tampa neigiama ir didėja neigiama kryptimi. Toks – neigiamas – kreivės nuožulnumas reiškia, kad orlaivis yra stabilus, t. y. didinant atakos kampą, orlaivis stengiasi veikti atakos kampo mažinimo kryptimi ir atvirkščiai.



2 pav. Išilginio orlaivį veikiančio momento koeficiento priklausomybė nuo atakos kampo

Fig. 2. The relation between the pitching moment coefficient and the angle of attack

Toliau pateikti duomenys (Lent.), siejantys atitinkamus skrydžio parametrus (Portapas, Lasauskas 2012) ir

skrydžio parametrus, gautus programinės analizės metu (atakos kampas α ir aukščio vairo atlenkimo kampas γ).

Lentelė. Skrydžio optimaliu režimu parametrai

Table. The parameters of the optimal flight mode

C_L	V m/s	$V_{SC_{MIN}}$ m/s	φ laipsniai	R m	α laipsniai	γ laipsniai
1,26247	42,5	7,25	69,0	70,7	9,0	-10,3
1,23457	40,7	4,74	66,5	73,6	8,8	-10,1
1,20758	38,4	3,17	62,7	77,6	8,5	-9,8
1,18147	39,1	2,82	63,1	79,1	8,2	-9,5
1,1562	37,9	2,17	60,5	82,8	7,9	-9,3
1,13173	34,1	1,38	51,7	93,7	7,7	-9,0
1,10803	32,2	1,06	44,7	106,9	7,5	-8,8
1,08507	29,6	0,77	30,4	151,6	7,2	-8,5
1,06281	28,5	0,67	19,3	236,8	7,0	-8,4
1,04123	28,1	0,61	6,5	705,6	6,8	-8,1

Kaip matyti, kiekviena keliamosios jėgos koeficiento reikšmė atitinka tam tikrą atakos kampo bei aukščio vairo atlenkimo reikšmę. Norint pasiekti maksimalią keliamosios jėgos koeficiento reikšmę, atakos kampas turi būti lygus 9° , o aukščio vairo turėtų būti atlenktas $-10,3^\circ$. Minusai reiškia, kad galinė aukščio vairo briauna kyla į viršų, o priekinė – leidžiasi žemyn. Šiame skrydžio režime pasiekiamas mažiausias spiralės spindulys.

85% termikų aukštyneigio srauto greitis būna nuo $0,62$ iki $1,86 \frac{m}{s}$ (Lange 1945). Norint sklandytuvu kilti į viršų, sklandytuvo žemėjimo greitis turi būti mažesnis už aukštyneigio srauto greitį. Iš lentelės matyti, kad tokie greičiai pasiekiami, kai keliamosios jėgos koeficientas

yra $1,132$ ir mažesnis. Atitinkamai atakos kampas turėtų būti $7,7^\circ$ arba mažesnis, o posvyrio kampas turėtų būti mažesnis nei 52° . Palaikant tokius skrydžio parametrus, brėžiamos spiralės spindulys bus apie 100 m. Mažinant atitinkamus parametrus spiralės spindulys didės. Reikia pažymėti, kad orlaivio parametrus yra sunku palaikyti, kai posvyrio kampas yra didelis. Todėl būtų protinga pasirinkti piloto patirtį atitinkantį posvyrio kampą, pvz., 30° ar 45° . Pasirinkus 30° posvyrio kampą, spiralės spindulys bus apie 150 m, žemėjimo greitis apie $0,8 \frac{m}{s}$, tačiau sklandytuvo valdymas ir skrydžio parametrų palaikymas bus paprastesni. Pasirinkus 45° posvyrio kampą, spiralės spindulys bus apie 100 m, žemėjimo greitis apie

$1,1\frac{m}{s}$. Įdomu tai, kad spiralės spinduliui sumažėjus apie trečdalį, atakos kampas padidėja tik $0,3^\circ$. Palaikyti atakos kampą tokiu tikslumu gana sudėtinga ir reikalauja didelio meistriškumo lygio, todėl galima teigti, kad parinkus sklandytuvo atakos kampą intervale tarp 7° ir 8° , bus sklendžiama optimaliu režimu.

3. Išvados

1. Šiame darbe išnagrinėtos sklandytuvo LAK-19 stabilumo skrydžio metu savybės.
2. Nustatyta, kad tiesaus skrydžio metu išilginis momentas $C_m = 0$, kai atakos kampas $\alpha = -2,6245^\circ$.
3. Maksimalų keliamosios jėgos koeficientą atitinka atakos kampas $\alpha = 9^\circ$.
4. Atsižvelgiant į dažniausiai pasitaikančius termikų aukštyneigio srauto greičius nustatyta, kad optimaliausias atakos kampas yra tarp 7° ir 8° .
5. Nustatyta, kad aukščio vairo atlenkimo kampas turėtų būti apie 9° pastarajame punkte minėtiems atakos kampams.

Literatūra

- Deperrois, A. 2011. *Analysis of Foils and Wings Operating at Low Reynolds Numbers*.
- Juočas, K. 2004. *Sailplane Flight Manual*.
- Lange, K. O. 1945. Thermals at low altitudes: their vertical velocity, size and origin, *Soaring* (9).
- Portapas, V.; Lasauskas, E. 2012. Sklandytuvo skrydžio spirale tyrimas, iš: *Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos Ateitis“ 2012 metų teminės konferencijos AVIACIJOS TECHNOLOGIJOS straipsnių rinkinys*. Vilnius: Technika.
- Wende, G.; Pätzold, F. 2003. *Ergebnisse der Flugleistungsvermessung 2002/2003*. Braunschweig: Technische Universität Braunschweig.

RESEARCH OF SAILPLANE FLIGHT IN THE SPIRAL, USING VORTEX LATTICE METHOD

V. Portapas, E. Lasauskas

Summary

The research of sailplane flight in the spiral, using the vortex lattice method is presented. The influence of the airflow around the aerodynamical surfaces on the characteristics of flight in the spiral is analysed. The research is carried out using the software XFLR5.

Keywords: angle of attack, glide characteristics, lift coefficient, sailplane, spiral, XFLR5.