

SKRAIDYKLĖS SPARNO POLINKIO MOMENTO KOEFICIENTO ANALIZĖ

Rūta Pudževelytė¹, Eduardas Lasauskas²

VGTU AGAI Aviacinės mechanikos katedra

El. p.: ¹ruta.pudzevelyte@gmail.com; ²eduardas.lasauskas@vgtu.lt

Santrauka. Tyrimo metu nagrinėta strėliškumo kampo ir sparno susukimo įtaka XFLR5 programa sukurtam T2C 154 skraidyklės sparno modeliui. Aprašomos sparno profilio ypatybės bei svorio centro padėties įtaka polinkio momento koeficiento reikšmėms. Taip pat aptariamos gautos polinkio momento koeficiento kreivės esant skirtingiems atakos kampams, pritaikius įvairius sparno strėliškumo ir susukimo parametrus.

Reikšminiai žodžiai: polinkio momento koeficientas, skraidyklė, strėliškumo kampas, profilis, susukimo kampas, stabilumas, išilginis stabilumas, svorio centras.

1. Įvadas

Laisvo skrydžio skraidyklė – tai bemotoris orlaivis, turintis trikampio formos sparną, kuris skrydžio metu keičia geometriją. Skraidyklė neturi važiuoklės – kylama ir tupiama ant kojų. Šis orlaivis neturi kabinos, pilotas skrenda gulėdamas ant pilvo specialioje, aptakioje pakuojimo, pritvirtintoje po sparnu.

Aviacijos pradžia siejama būtent su pirmųjų skraidiklių atsiradimu. Dar 1874 m. vokiečių inžinierius Otto Lilienthal pradėjo jų projektavimą. Plačiai pritaikytas 1951 m. užpatentuotas amerikiečio Francio M. Rogallo trikampis sparnas (FAA 2008). Pirmosios skraidyklės, kurias paprastai pilotai mėgėjai konstruodavo patys, pasižymėjo pavojingai nestabiliomis skrydžio charakteristikomis, todėl šis sportas buvo laikomas nesaugiu. Vienas išsamiausių tyrimų šia kryptimi buvo atliktas 1980 m., I. Kroo bendradarbiaujant su NASA (Kroo 1981). I. Kroo išvedė lygtis nedideliams sparno išilginio ir skersinio krypties svyravimams, panaudodamas praktinių tyrimų metu aerodinamiame vamzdyje gautus rezultatus. M. V. Cook ir M. Spottiswood 2006 m. labai išsamiai išnagrinėjo skraidyklės dinamines charakteristikas skaičiavimų lygmenyje (Cook, Spottiswoode 2006).

Šiame tyrime siekta gauti kuo tikslesnius rezultatus, kas, iš esmės, yra neįmanoma dėl ribotų XFLR5 programos galimybių ir dėl paties sparno geometrijos nepastovumo bei nustatyti sparno polinkio momento svyravimus, keičiant šiuos sparno parametrus – sparno strėliškumą ir susukimą.

2. Tyrimo metodika

2.1. Skraidyklės sparno duomenys

Šiame tyrime naudotas amerikiečių gamyklos „Wills Wing“ sparno modelis T2C 154 (1 pav.) (Wing 2012). Sparno duomenys pateikti lentelėje. Visų orlaivių stabilumas yra skaičiuojamas trijų ašių atžvilgiu:

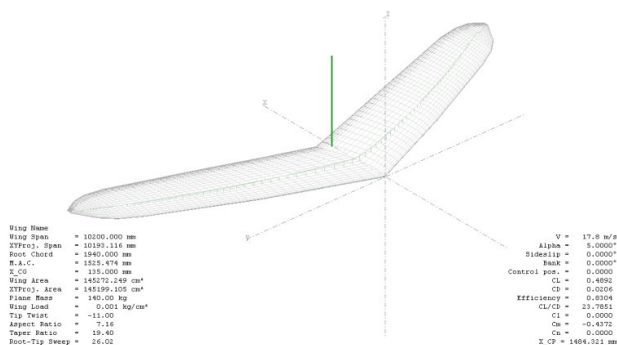
- Išilginis stabilumas (polinkio) skersinės ašies atžvilgiu;

- Skersinis stabilumas (posvyrio) išilginės ašies atžvilgiu;
- Krypties stabilumas (pokrypio) vertikalios ašies atžvilgiu (Sheehy 1992).
- Stabilų sparną skersinės ašies atžvilgiu apibūdina šios pagrindinės taisyklės:
 - kai atakos kampas yra teisingas, momentų suma svorio centro atžvilgiu yra lygi nuliui;
 - kai atakos kampas per mažas, turi atsirasti teigiamas momentas svorio centro atžvilgiu, didinantis atakos kampą;
 - kai atakos kampas per didelis, sparnas turi sudaryti neigiamą momentą svorio centro atžvilgiu ir sumažinti polinkio kampą (Sheehy 1992).

Lentelė. Sparno T2C 154 duomenys

Table. T2C 154 wing data

Eil. Nr.	Sparno parametras	Dydis
1.	Sparno plotas	14,3 m ²
2.	Sparno mostas	10,2 m
3.	Proilgis	7,4
4.	Sparno masė	33 kg
5.	Piloto prisikabinimo masė	107 kg
6.	Strėliškumo kampas	25°
7.	Skrydžio greitis	14 m/s

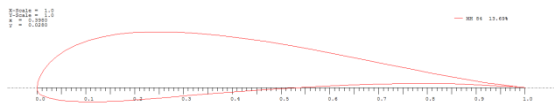


1 pav. Trimatis T2C 154 modelis XFLR5

Fig. 1. 3D T2C 154 model XFLR5

2.2. Aerodinaminio profilio forma

Projektuojant skraidykles naudojami itin stabilūs profiliai: storiausia profilio vieta visada yra arti priekinės briaunos, profilio uodegėlė tiesi arba išlenkta į viršų (vidurinė linija „S“ formos). Skraidyklių, kaip ir visų orlaivių, profilis yra kuriamas atsižvelgiant į pagrindinius reikalavimus: atakos kampų ir skrydžio greičių diapazonus, stabilumo reikalavimus bei norimą keliamosios jėgos generavimą (2 pav.).



2 pav. Profilis MH 84 XFLR 5

Fig. 2. Airfoil MH 84 XFLR5

Pagrindiniai skraidyklės profilio parametrai, kuriuos keičiant gaunamos norimos skrydžio charakteristikos, yra tokie:

Gaubtumas – paprastai randamas kompromisas tarp didėjančio pasipriešinimo ir didėjančios keliamosios jėgos;

Noselės kreivumas – priekinės briaunos spindulys apie 3% stygos ilgio;

Maksimalus storis – skraidyklių profilių 11%–13% stygos ilgio;

Maksimalaus storio vieta – apie 20% nutolusi nuo priekinės briaunos;

Dvisluoksnė profilio dalis – 92% (kuo didesnė sparno dalis dvisluoksnė, tuo mažesnis pasipriešinimas, tačiau kartu mažesnis ir profilio gaubtumas);

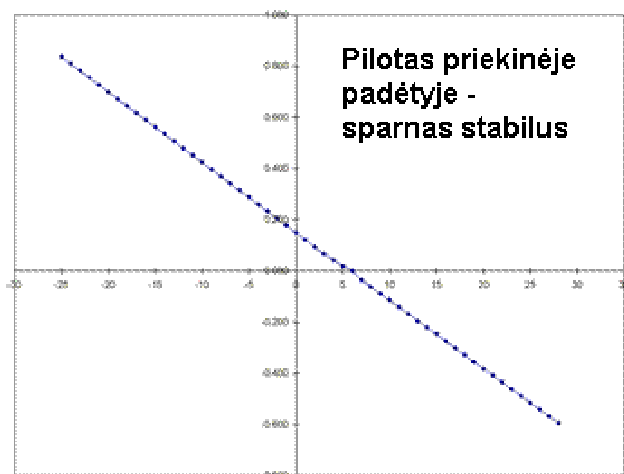
Oro srauto sulėtėjimo zona – nuo storiausios profilio vietos iki uodegėlės (Pagen 1993).

Tyrimui buvo parinktas profilis MH 84 (13,69% storis) pasižymi dideliu stabilumu. Sparno galai veikia kaip stabilizatoriaus plokštuma įprastinės konfigūracijos orlaivuose, tačiau priešingai nei horizontalus stabilizatorius, jie generuoja keliamąją jėgą, nukreiptą aukštyn kaip ir pagrindinė sparno dalis. Taip yra todėl, kad profilio slėgio centras yra prieš svorio centrą ir sparno galai turi kompensuoti teigiamą centrinės sparno dalies momentą (Pagen 1993).

2.3. Svorio centro padėties svarba

Sistemos pilotas–skraidyklė svorio centras yra žemiau sparno, linijoje einančioje per piloto pakabos tvirtinimo prie skraidyklės kilio tašką. Pilotas yra sunkiausia sistemos dalis, nulemianti jos svorio centro padėtį (Sheehy 1992).

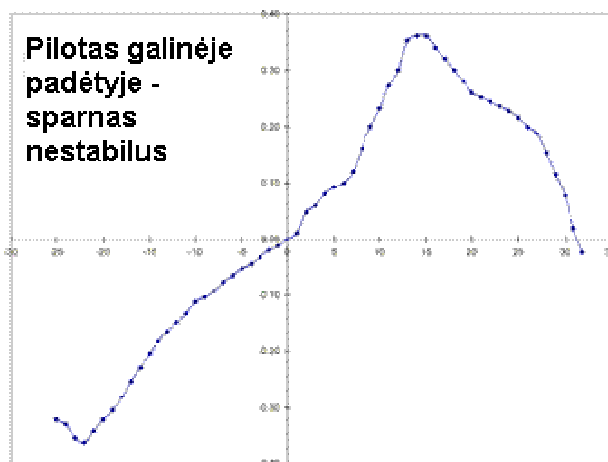
M. Meier narinėjo piloto padėties skrydžio metu svarbą (Meier 1997a; b). Prieita išvados, kad kuo pilotas labiau pasistūmęs į priekį nuo vairavimo atramos, tuo labiau priekinė skraidyklės centruotė, tuo sparnas yra stabilesnis (3 pav.).



3 pav. $C_m(\alpha)$ kai CG skirtingose vietose

Fig. 3. $C_m(\alpha)$ with different CG positions

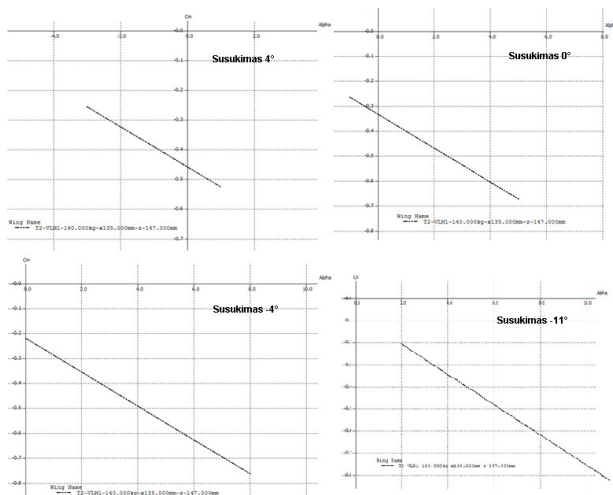
Pilotui pasislinkus į priekį, didesnė dalis keliamosios jėgos yra sukuriama vidine sparno dalimi arti svorio centro, todėl atsiranda momentas, didinantis atakos kampą ir grąžinantis sparną į pradinę padėtį. Pilotui atsistūmus nuo valdymo trapecijos atgal, sparno galai generuoja daugiau keliamosios jėgos ir todėl momentas yra priešingas – atakos kampo mažinimo kryptimi. Subalansuotas skrydžio greitis gali būti keičiamas nedidelėse ribose perslenkant svorio centro padėtį; tai daroma keičiant piloto pakabos tvirtinimo vietą prie kilio (Pagen 1993).



3. Gauti rezultatai

Sparno strėliškumas ir susukimas nulemia tai, kad sparnų galai yra už svorio centro.

Paprastai skraidyklių sparnų susukimas kinta nuo 5° iki 15°. Pirminė sparno susukimo įtaka pasireiškia sparno polinkio momentui (4 pav.).

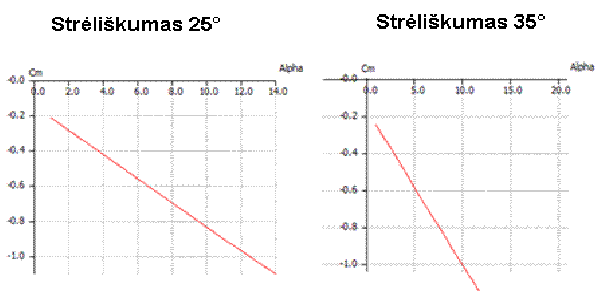


4 pav. $C_m(\alpha)$ esant skirtingam sparno susukimui

Fig. 4. $C_m(\alpha)$ with different twist angle

Net kai yra mažiausias sparno susukimas, polinkio momentas padidėja esant mažiems atakos kampams. Sparno galų susukimas padidina išilginį stabilumą, pavėlina smuką, padidina pasipriešinimą ir sumažina $C_{L_{max}}$ (Sheehy 1992). $C_m(\alpha)$ rodo, kad esant teigiamam arba nuliniam susukimui išilgai sparno, jis būtų pusiausvyros padėtyje esant dideliems neigiamiems atakos kampams. Susukimui didėjant kreivė slenka aukštyn, esant mažiems neigiamiems atakos kampams (kai susukimas -4°) ir priartėja prie nulio ties -11° susukimu. Didinant susukimą toliau, $C_m = 0$ esant teigiamoms atakos kampo (α) reikšmėms, tačiau dėl didelio susukimo labai sumažėja $C_{L_{max}}$, todėl šiam sparnui efektyviausias susukimas yra -11° .

Sparno strėliškumas neigiamai veikia polinkio momento reikšmes, jei nėra taikomas sparno susukimas kartu su juo. Strėliškų sparnų smuka prasideda ties sparno galais, tuomet slėgio centras juda į priekį, taip sukurdamas papildomą teigiamą polinkio momentą ir toliau didindamas atakos kampą. Sparno susukimas neatsiejamas nuo strėlinių sparnų, nes juo pakoreguojamas C_L pasiskirstymas išilgai sparno taip, kad smuka prasidėtų ties sparno šaknimi (5 pav.).



5 pav. $C_m(\alpha)$ esant skirtingam strėliškumo kampui

Fig. 5. $C_m(\alpha)$ with different sweep angle

Atliktas tyrimas rodo, kad $C_m(\alpha)$ nuolydis darosi statesnis didinant strėliškumo kampą sparnui su pritaikytu susukimu. Tai reiškia, kad esant tam pačiam atakos kampo pokyčiui, grąžinamas momentas į pusiausvyros padėtį bus didesnis. Nagrinėjamam sparnui T2C 154 pritaikytas 25° strėliškumo kampas. Viena iš priežasčių – per didelis stabilumas apsunkina sparno valdymą, reikalinga didelė jėga manevravimui atlikti.

4. Išvados

Skraidyklės sparnams reikalingas didelis neigiamas susukimas išilgai sparno mosto, nes tai užtikrina geresnes smukos charakteristikas bei padidina sparno polinkio stabilumą. Polinkio stabilumas didėja didinant sparno strėliškumą (pritaikytas ir sparno susukimas), tačiau labai didelis strėliškumo kampas yra nenaudingas, nes apsunkina manevravimą. Svorio centro padėties vieta ir aerodinaminio profilio forma turi didelę įtaką visos sistemos skraidyklė-pilotas stabilumo charakteristikoms.

Literatūra

- FAA. *Weight-shift control aircraft flying handbook*. 2008. Oklahoma City, OK: US Department of Transportation, FAA, Airman Testing Standards Branch.
- Kroo, I. M. 1981. Aerodynamics, aeroelasticity, and stability of hang gliders - experimental results, in *NASA Technical Memorandum 81269*. California.
- Cook, M. V.; Spottiswoode, M. 2006. Modelling the flight dynamics of the hang glider, *The Aeronautical Journal*.
- Meier, M. 1997a. Pitch stability and center of mass location, *Hang Gliding magazine*.
- Meier, M. 1997b. Reflex bridle adjustment and maintaining pitch stability, *Hang Gliding magazine*.
- Pagen, D. 1993. *Performance Flying*. Spring Mills, PA: Sport Aviation Publications.
- Sheehy, F. 1992. *The Hang glider's Technical Notebook*. Pasadena, CA: Faoilean Press.
- Wing, W. 2012. *T2 144, 154 and T2C 136, 144, 154 Owner/Service Manual* [interaktyvus] [žiūrėta 2012 m. lapkričio 15 d.]. Prieiga per internetą: www.willswing.com/pdf/manuals/om_T2_5th_ed_Sep2012_wAssyDiag_rev/March2013.pdf

HANG GLIDER PITCH STABILITY ANALYSIS

R. Pudževytė, E. Lasauskas

Summary

A hang glider T2C 154 model designed with program XFLR5 pitching moment analysis is presented. The importance of the CG position is described roughly with explanation about the airfoil shape of hang gliders. Graphs of pitching moment coefficient with different wing sweep angle and twist angle are presented.

Keywords: pitching moment coefficient, hang glider, sweep angle, airfoil, twist, stability, longitudinal stability, CG.