



ANALÝZA AERODYNAMICKÝCH RIEŠENÍ KONŠTRUKCIE UAV

Oleksii Dubchenko
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Martin Bugaj
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

This bachelor thesis deals with the research and analysis of aerodynamic characteristics of unmanned aerial vehicles (UAVs). For the purpose of analysis, 3D models of aircraft with conventional tailplane and V-shaped tailplane were created. Then, airflow simulation was performed using CFD, where the model with conventional tailplane had an asymmetric wing profile, while the other model had a symmetric wing profile. The aim of the analysis was to compare the aerodynamic characteristics of the models, their lift to drag (L/D) ratio and the character of the airflow around the structure. The experiments showed that the model with a conventional tail achieved a better L/D ratio than the model with a V shaped tail. Although the V-tail configuration usually reduces drag, it did not yield significant improvement in this simulation. These results may have been influenced by the wing airfoils used, as asymmetric airfoils produce more lift at low angles of attack and low airspeeds. Consequently, another experiment was performed in which a conventional tail was applied to the V-tail model. This resulted in a worse L/D ratio compared to the original configuration. The obtained results suggest potential opportunities for optimization of UAV designs to increase their aerodynamic efficiency in the future.

Keywords

UAV. CFD simulation. Lift to drag ratio. Tail configuration. Induced drag

1. Úvod

V poslednej dobe sa bezpilotné lietadlá čoraz viac používajú na rôzne účely, ako je kartografia, poľnohospodárstvo, vojenské účely a dokonca aj doručovanie. Tieto technológie výrazne menia prístup k vykonávaniu mnohých úloh, vďaka čomu sú v modernom svete nenahraditeľné. Vďaka svojej flexibilita a všestrannosti poskytujú drony nové príležitosti na zlepšenie efektivity a kvality práce. Efektívnosť používania UAV do značnej miery závisí od ich aerodynamických a letových vlastností, ako je aerodynamická jemnosť. Aerodynamická jemnosť je termín, ktorý popisuje, ako efektívne sa môže lietadlo pohybovať vzduchom a zároveň minimalizovať odpor vzduchu. Tento faktor priamo ovplyvňuje množstvo energie potrebnej na vykonanie určitej úlohy, ako je dodávka tovaru alebo monitorovanie oblastí. Energetická efektívnosť dronov je veľmi dôležitým aspektom, pretože ovplyvňuje dobu ich prevádzky, úžitok, ktorý prinesú počas prevádzky, ako aj celkovú spotrebu energie a ekonomickú realizovateľnosť ich využívania. Dnes, keď si každý uvedomil dôležitosť ekológie, sa optimalizácia spotreby energie stáva kľúčovým faktorom. Preto je vývoj a optimalizácia aerodynamických charakteristík jednou z hlavných úloh pre inžinierov pracujúcich na návrhu a vývoji bezpilotných lietadiel. Dnes inžinieri vyvíjajú technológie UAV, ktoré sú nielen efektívne, ale nie sú škodlivé pre životné prostredie. To zahŕňa zlepšovanie batérií, využívanie obnoviteľných zdrojov energie a vývoj algoritmov riadenia letu, ako je Lineárne kvadratické riadenie (LQR) UAV sú viac a viac dostupné pre širšie publikum a sú už neoddeliteľnou súčasťou mnohých priemyselných odvetví. Drony sú už schopné vykonávať zložité úlohy a s rozvojom technológií bude ich potenciál len rásť a čoskoro sa budú využívať takmer vo všetkých oblastiach, čo zjednoduší prácu a zvýši bezpečnosť ľudí. Cieľom tejto práce je analyzovať a porovnať aerodynamické charakteristiky konštrukcií rôznych bezpilotných lietadiel s cieľom identifikovať ten najlepší z

hľadiska letových výkonov. Rovnako v tejto práci chcem vysvetliť, prečo sa určité modely UAV vyberajú pre konkrétne úlohy. Práca má za cieľ prispieť k ďalšiemu rozvoju oblasti UAV optimalizáciou existujúcich modelov a zlepšením ich výkonu v rôznych aplikáciách.

2. Metodika a metódy skúmania

Pred začatím písania diplomovej práce som si stanovil hlavný cieľ - analyzovať a porovnať aerodynamické vlastnosti bezpilotných lietadiel (ďalej len UAV) s rôznymi konfiguráciami chvostových plôch s cieľom nájsť optimálne riešenia na zlepšenie letovej účinnosti. Začal som rešeršou literatúry, v ktorej som čerpal informácie o mojej téme. Na základe odborných kníh, vedeckých článkov a online zdrojov som vyhľadal informácie o základných princípoch aerodynamiky bezpilotných lietadiel, ako aj o súčasnom stave v tomto odvetví. Ako metódu výskumu som si zvolil analýzu literatúry v kombinácii s využitím metódy počítačovej analýzy prúdenia vzduchu (CFD) v prostredí ANSYS Fluent. Metódy literárnej analýzy a počítačovej simulácie boli zvolené preto, lebo umožňujú objektívne a efektívne posúdiť aerodynamické vlastnosti rôznych UAV konfigurácií bez nutnosti drahého a časovo náročného experimentálneho testovania. Na základe získaných poznatkov a výsledkov simulácií boli vypracované závery o vhodnosti jednotlivých konštrukčných riešení pre zvolenú aplikáciu UAV.

3. Výsledky

Pre účely analýzy boli vytvorené 3D modely lietadiel s konvenčnou chvostovou plochou a chvostovou plochou v tvare V, pričom model s konvenčnou chvostovou plochou mal asymetrický profil krídla, zatiaľ čo druhý model mal symetrický profil. Experimenty ukázali, že model s konvenčnou chvostovou plochou dosiahol lepší pomer L/D ako model s chvostovou

plochou v tvare V. Napriek tomu, že V-chvostová konfigurácia zvyčajne znižuje odpor vzduchu, v tejto simulácii neprinesla výrazné zlepšenie. Následne bol vykonaný ďalší experiment, v ktorom bol na model s V-chvostom aplikovaný konvenčný chvost. Výsledkom bol horší pomer L/D v porovnaní s pôvodnou konfiguráciou. Výsledky tiež ukázali, nakoľko je dôležité zvoliť správny profil krídla pre konkrétne účely použitia.

4. Záver

Výskum aerodynamických vlastností bezpilotných lietadiel s rôznymi konfiguráciami chvosta je dôležitým príspevkom k efektívnemu návrhu bezpilotných systémov. Konfigurácia chvosta môže významne ovplyvniť letové vlastnosti, aerodynamickú jemnosť a spotrebu energie. Cieľom tejto práce bolo analyzovať rôzne konštrukcie bezpilotných lietadiel, preto sa táto práca zamerala na porovnanie dvoch bežne používaných typov chvostového usporiadania: konvenčného a s V-chvostom, z hľadiska ich aerodynamickej účinnosti. V rámci tejto práce sa vykonala séria výpočtov numerickej simulácie prúdenia (CFD) s cieľom analyzovať rozdiely medzi konvenčnou konfiguráciou chvostovej plochy a chvostovou plochou v tvare V a následne vyhodnotiť, ako tieto zmeny ovplyvňujú celkovú aerodynamickú jemnosť modelu. Na základe vykonaných simulácií možno konštatovať, že najvyšší pomer vztlaku a odporu (L/D) dosiahol model s konvenčnou konfiguráciou chvosta 8.25. Chvost v tvare V vykazoval o niečo nižšiu hodnotu 7.96, čo je stále prijateľný výsledok. Takéto údaje mohli byť spôsobené profilom krídla NACA 0015, ktorý je hrubší. Zaujímavým výsledkom bolo, že kombinácia geometrie druhého modelu s konvenčnou konfiguráciou chvosta viedla k výraznému zníženiu pomeru L/D na hodnotu 6.28, čo poukazuje na významnú vzájomnú závislosť medzi tvarom trupu a typom konfigurácie chvosta. Zatiaľ čo klasické usporiadanie poskytlo v jednom prípade najvyšší pomer vztlaku k odporu, v inom prípade sa ako efektívnejšie ukázalo práve V-chvostové usporiadanie, ktoré zrejme znížilo interferenčný a tvarový odpor vďaka kompaktnejšej konštrukcii a priaznivejšiemu obtekaníu zadnej časti trupu. Optimálna aerodynamická konfigurácia si teda vyžaduje komplexný prístup k návrhu, pri ktorom sa jednotlivé prvky nemôžu posudzovať izolovane. Výsledky tiež ukázali, nakoľko je dôležité zvoliť správny profil krídla pre konkrétne účely použitia. Aj malé zmeny v geometrii môžu mať výrazný vplyv na výsledné letové vlastnosti.

Referencie

- ANDERSON, J. D. (2017). *Fundamentals of Aerodynamics*. 6th edition. New York: McGraw-Hill Education. ISBN 978-1-259-29314-2
- BUGAJ, M. (2015). *Aeromechanika I. Základy aerodynamiky*. Bratislava: Žilinská univerzita. ISBN 9788097041939
- DURMUŞ, S. (2023). Aerodynamic Performance Comparison of Airfoils in Flying Wing UAV. *International Journal of Innovative Engineering Applications*, 7(1), 123–127. ISSN 2587-1943. DOI: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1169652>
- FAHLSTROM, P. G.; GLEASON, T. J.; SADRAEY, M. H. (2022). *Introduction to UAV Systems*. 5th edition. Hoboken, New Jersey: Wiley. ISBN 9781119802580

PRASETYO, E.; YUSOFF, N.; YAZID, A. A. (2008). *Airfoil Design for Flying Wing UAV*. Proceedings of the 4th WSEAS International Conference on Applied and Theoretical Mechanics (MECHANICS '08). ISBN 978-960-474-046-8. ISSN 1790-2769.

RIBEIRO, C. A.; VALENTE, D.; RAMOS, J.; SOUSA, J. (2024). A unified and modular aerodynamic database for preliminary aircraft design and optimization. *Scientific Reports*, 14, Article number: 10121. ISSN 2045-2322. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-68927-1>

RODRIGUES, D. P. (2024). *Design, Analysis and Optimization of a Tail for a Civil UAV*. Master's Thesis, Universidade do Porto – Faculdade de Engenharia (FEUP).

ROY, S.; DAS, B.; BISWAS, A. (2021). Influence of Camber Ratio and Thickness Ratio on the Airfoil Performance. In: *Recent Advances in Mechanical Engineering*. ICAME 2020. Singapore: Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-15-7711-6_72

SADRAEY, M. H. (2012). Chapter 6: Tail Design. In: *UAV Aerodynamics, Structural Design and Control*. Reston, Virginia: American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA). ISBN 978-1-60086-921-4.