



Fakulta vojenských technologií Katedra letecké techniky

Oponentní posudek disertační práce

Aerodynamické charakteristiky flexibilních křidel

Autor: Ing. Robert KULHÁNEK

Předložená doktorská disertační práce s názvem „**Aerodynamické charakteristiky flexibilních křidel**“ je zaměřena na oblast aerodynamiky padákových kluzáků. Práce se komplexně zabývá jednotlivými dílčími aerodynamickými vlivy s důrazem na zvláštnosti nepevné nosné plochy kluzáku, která při letu významným způsobem mění svoji geometrii a tím i své aerodynamické charakteristiky. Pro stanovení cílů práce autor využil numerických simulací, reálných měření v aerodynamickém tunelu i výsledků získaných z reálných letových zkoušek. Vlastní práce je rozdělena do šesti kapitol a je zpracována v rozsahu 84 stran A4 včetně odkazů, příloh a přehledu publikační činnosti autora.

V úvodní kapitole autor stručně shrnul použití a odlišnosti mezi seskokovými a padákovými kluzáky a jejich historický vývoj ve světě i u nás. V další kapitole jsou shrnuty přístupy v experimentálním výzkumu geometrie nepevné nosné plochy padákových kluzáků, včetně soudobé vývojové praxe.

Třetí kapitola je věnována stanovení cílů práce. Autor si vytýčil identifikovat vlivy flexibility nosné plochy na letové výkony padákového kluzáku ve skutečných podmínkách, dále, s využitím experimentální aerodynamiky, stanovit vliv pilota v postroji na letové výkony kluzáku a navrhnout zjednodušený teoretický model, který s využitím moderních numerických metod CFD a FEM popisuje flexibilitu nepevné nosné plochy.

Následující čtvrtá kapitola práce je věnována postupu řešení dílčích úkolů a výběru vhodných metod řešení. Pro realizaci měření za letu bylo nutné vyvinout mobilní záznamník letových dat založený na jednodeskovém počítači, který byl součástí výbavy pilota. Ke stanovení rychlosti letu kluzáku autor využil, v aerodynamickém tunelu zkalibrovanou, vlečnou pitot-statickou sondu podvěšenou pod padákem. Použité senzory pro stanovení barometrického tlaku, barometrické teploty, diferenčního tlaku a reálného času za letu byly realizovány kvalitními prvky s dostatečnou citlivostí a odpovídající nejistotou měření. Dalším dílčím cílem práce bylo stanovit vliv odporu pilota v postroji. Autor správně zvolil nejvhodnější metodou. Uskutečnil reálné měření v měřítku 1:1 ve velkém aerodynamickém tunelu VZLÚ. Uvedené zkušební zařízení disponuje veškerým potřebným přístrojovým vybavením, lidskými zdroji a potřebnými experimentálními technikami nezbytnými pro realizaci měření odporu pilota v postroji závěsného kluzáku. K řešení třetího dílčího úkolu, kterým bylo stanovení aerodynamických charakteristik flexibilní zakřivené nosné plochy vyšší štíhlosti autor použil jak analytické, tak dnes hojně používané numerické metody řešení. Z analytických metod autor použil metodu rozšířené nosné čáry, která umožňuje stanovení rozložení cirkulace na prostorově prohnuté nosné čáře křídla s uvažováním nelinearity profilových vztlakových křivek. Pro stanovení rozložení cirkulace na křídle kluzáku autor zpracoval program v jazyce GNU Octave. V této kapitole jsou uvedeny i základní geometrické charakteristiky testovaného padákového kluzáku. Výběrem vhodných

numerických metod se autor pokusil sestavit takový teoretický model, který umožní postihnout změny geometrie komory kluzáku za letu a stanovit jejich vliv na výpočet aerodynamických charakteristik padákového kluzáku. V této kapitole autor popisuje parametry zvoleného CFD modelu komory kluzáku, výběr typu turbulence, volbu výpočetní sítě a nastavení okrajových podmínek. Změna geometrie zatížené komory padákového kluzáku byla řešena metodou konečných prvků softwarem ABAQUS. Obtížnost stanovení aerodynamických charakteristik komory kluzáku za letu je způsobena kontinuálně se měnící geometrií komory kluzáku i celé flexibilní nosné plochy.

V páté kapitole autor predikuje výkony padákového kluzáku na základě výsledků a závěrů získaných z provedených letových testů, experimentu v AT a hodnot dosažených numerickou simulací. Uvedené grafické výstupy řešení jsou komplexní a velmi názorné. Umožňují stanovit vliv aerodynamických parametrů nosné plochy kluzáku, zvolených konstrukčních řešení i atmosférických vlivů na letové výkony. V závěrečné kapitole autor shrnul dosažené výsledky s uvedením vlivu jednotlivých zjednodušení na predikované letové výkony padákového kluzáku.

Jazyková i grafická stránka práce je velmi dobrá. Drobné nepřesnosti ve slovních vyjádřeních a několik překlepů nemají vliv na úroveň práce. Za závažnější pochybení považuji absenci jakéhokoli výpočtu nejistot. Hodnoty, z kterých jsou nejistoty počítány, nejsou v tabelární podobě nikde uvedeny a případné jejich odečítání z grafů je nepřesné a zavádějící. Řešená problematika byla v práci zpracována na velmi vysoké úrovni ve všech oblastech. Při řešení numerických simulací autor upozornil na současné omezení a limity těchto metod. Zvolené metody řešení byly vybrány a aplikovány správně. Jejich volba a použití svědčí o hlubokých znalostech doktoranda. Doktorand prokázal, jak při řešení předložené disertační práce, tak i z úkolů dříve řešených v dřívějších publikacích, že má v daném oboru odpovídající znalosti. Praktický přínos hodnocené disertační práce je pozitivní.

V rámci obhajoby žádám disertanta o názory a zodpovězení následujících otázek:

- Objasněte, jaký je na obr. 20 str. 38 vztah mezi amplitudou tlaku a časovým posuvem deformace o 0,2s, resp. zda to souvisí s rozměrem testované komory padákového kluzáku.
- Vysvětlete, jakou informaci nám poskytuje poznámka na obr. 22 str. 40 u součinitele odporu C_{Dp} že je vztažený na ref. plochu $1m^2$?
- Vysvětlete, co je příčinou toho, že na obr. 32 str. 50 je hodnota C_{Df} stanovená z experimentu přibližně 6 až 7x vyšší, než hodnoty C_{Df} získané numerickým řešením ?

Na základě dosažených výsledků a závěrů uvedených v práci lze konstatovat, že autor ve své disertační práci splnil všechny cíle, které si stanovil.

Závěrem konstatuji, že předložená disertační práce splňuje podmínky stanovené §47, odst. 4, zákona č. 111/1998 o vysokých školách. Zpracováním práce disertant prokázal schopnost samostatně vědecky pracovat.

Předloženou disertační práci doporučuji k obhajobě a po úspěšném obhájení navrhuji, aby Ing. Robert KULHÁNEK obdržel akademický titul Ph.D.

V Brně dne 30. března 2020

Doc. Ing. Dalibor ROZEHNAL, Ph.D.