

Prof. Mgr. Ing. Karol Filakovský, CSc.

Loosova 2, 638 00 Brno

## **Oponentní posudek disertační práce**

### **Ing. Petr Dittrich: Odhad letových parametrů malého letounu**

Předložená disertační práce pana Ing. Petra Dittricha má celkem 116 stránek a obsahuje úvodní stránky (18 str.) s abstraktem a klíčovými slovy v češtině a angličtině, prohlášením autora o původu práce a poděkování vedoucímu práce, obsah práce, seznam grafů a obrázků, seznam tabulek a přehled použitých zkratk a označení. Vlastní práce má šest kapitol, seznam použité literatury (6 str.) a osm Příloh A až H (18 str.).

Úvodní kapitola (3 str.) velmi stručně popisuje v práci řešenou problematiku, tedy počítačové modelování malého letounu s cílem získané výsledky využít pro odhad letových parametrů skutečného letounu a vyhodnocení tohoto měření. Jsou zde uvedeny cíle disertační práce a hlavní úlohy, které bylo nutno k splnění cílů práce vyřešit. Na závěr kapitoly je uveden stručný popis jednotlivých kapitol práce.

Druhá kapitola (2. str.) uvádí základní terminologii, odhad vstupních dat potřebných pro řešení úlohy a principy identifikace systému vhodného pro měření letových parametrů.

Třetí kapitola (25 str.) s názvem „Modelování“ popisuje možný způsob modelování statických a dynamických vlastností malého letounu. Kapitola začíná popisem používaných souřadných systémů a končí uvedením nelineárních i lineárních pohybových rovnic letounu. Autor uvádí, že pro velký rozsah teorie je uveden jen základ potřebný pro řešení dané úlohy.

Čtvrtá kapitola (22 str.) řeší odhad letových parametrů s ohledem na malé letouny. Uvádí zde přehled o systému sběru dat potřebných pro měření, obecně používané senzory pro měření polohy, orientaci a pohybu letounu a senzory pro sběr měřených dat. Dále pokračuje rekonstrukcí letové dráhy založené na nelineárních pohybových rovnicích popisujících let. Jsou zde diskutovány různé metody pro odhad letových parametrů, včetně jejich výhod a nevýhod, také používané průmyslové standardy. V závěru kapitoly jsou stručně diskutovány umělé neuronové sítě a genetické algoritmy.

Pátá kapitola popisuje přípravu letových měření. Začíná popisem vlastního malého letounu a detailním popisem použitých měřicích zařízení. Dále jsou popsány letová měření, naměřená data, vyhodnocení naměřených dat a rekonstrukce letové dráhy. Výsledky letových měření jsou porovnány a diskutovány s dopředu odhadnutými daty pro vybrané parametry. Závěrem této kapitoly je uveden přehled získaných experimentálních dat.

Šestá, poslední kapitola obsahuje závěr práce. Autor zde uvádí krátký přehled provedené a v disertaci uvedené práce a popis možného pokračování v práci.

Přílohy A až H (18 str.) obsahují doplňující informace týkající se popisu v práci použitých čtyř souřadných systémů (A), modelu země WGS 84 (B), standardní atmosféry ICAO včetně tabulek potřebných konstant (C), kompetencí Českého leteckého úřadu (D), popis klasifikace letadel podle Evropského leteckého úřadu EASA (E), popis základního

konstrukčního uspořádání lehkých letounů (F), další výsledky 7 letových měření (G) a korekční faktory (čísla) modelu letounu F-18 Hornet při nízkých letových rychlostech (H).

### Diskuse k předložené disertační práci

Měření letových charakteristik – letových vlastností malého letounu je velmi náročná technická a organizační úloha. Zatím tato měření v ČR prováděl téměř výhradně Výzkumný a zkušební letecký ústav. Tato měření jsou náročná po stránce technické, je nutné zvláštní měřicí vybavení, které je dosti drahé a navíc, pro letová měření musí být certifikováno – schváleno Leteckým úřadem (LÚ) České republiky. Jen tento poslední fakt vyžaduje obrovské technické a administrativní zatížení, zvláště pro nového a v branži neznámého aplikanta z univerzity. Z tohoto hlediska předložená disertační práce je teoreticky i technicky velmi náročná a disertant přistoupil k jejímu zpracování profesionálně. Nastudování potřebné teorie pro letová měření je odborně i časově velmi náročné. Disertant toto dokonale zvládl a nakonec složitou teorii letových pohybových rovnic správně využil. Toto považuji za hlavní přínos teoreticky i prakticky (technicky). Podstatné části práce byly publikovány na mezinárodní úrovni i u nás na konferencích i v časopisech. Disertant prokázal, že ovládá potřebnou teorii a dokáže ji použít v technické praxi. Vyhodnocováním letových měření předvedl své schopnosti excelentním způsobem. Spojení teorie a praxe je v tom názorně předvedeno na nejvyšší úrovni.

Letová měření jsou obecně velmi finančně náročná a předložená disertační práce současně ukazuje i možnosti jak tato měření zpřístupnit širší uživatelské veřejnosti. Většina prvků potřebných pro vybudování systému letových měření je teď běžně dostupná. Přístrojové vybavení pro letová měření lze tedy pořídit za zlomek dřívější ceny. Myslím, že toto lze považovat za významný společenský přínos předložené disertační práce.

### Nalezené chyby a překlepy

Předložená práce je napsána v anglickém jazyce, nejsem dostatečně kvalifikovaný posoudit jazykovou úroveň předložené disertační práce, z hlediska mých jazykových znalostí je tato práce dobrá. Některé jazykové připomínky přece jen mám:

- Str. 3, poslední řádek, možná by bylo lepší použít „... a F-18...“ místo „...an F-18...“, totéž na str. 116 s tím, že na 4. řádku stránky je použit 1 první tvar.
- Str. 17, 6. ř. zdola, 2. slovo na řádku, má být „...aircraft...“, ne „...aircrafts...“, tato chyba se vyskytuje v práci velmi často, dále to neuvádím, „aircrafts“ má jiný význam.
- Str. 47, odst. 4.1.3, 6. ř., ke konci řádku, má být „...used as an input...“.

### Jiné než jazykové chyby

České publikace dodržují pravidlo, že vzorce a rovnice jsou součástí věty, jako každé jiné slovo, podle toho je s nimi zacházeno, tj. jsou odděleny čárkou nebo tečkou. V anglických publikacích toto pravidlo není dodrženo, v amerických většinou ne, v anglických vydaných v evropských a asijských zemích někdy ano. V této práci toto „české“ pravidlo není použito.

- Str. 40, 4. ř. shora, má být zřejmě „... resultant Antisymmetric equation...“.
- Str. 45, Figure 4.1, šipka mezi „Optimization algorithm“ a „Mathematical model“ má být možná obráceně.

- Str. 47, odst. 4.1.3, navrhuji přidat na konec 7. ř. slovo „phugoidal“.
- Str. 51, odst. 4.2.4, 3. odstavce, která metoda je častěji využívána?
- Str. 102, model země WGS84, číslo uvedené pod označením GM je součin hmotnosti Země, včetně hmotnosti atmosféry Země a gravitační konstanty často označované řeckým písmenem „kapa“, u kterého je uváděna číselná hodnota  $\text{kapa} = 6,67259(+/-) 0,000128 \text{ [N.m}^2\text{.kg}^{-2}]$ . Číslo GM uvedené v práci platí pro výpočet gravitační síly mimo atmosféru Země. Pro přízemní lety hmotnost zemské atmosféry by neměla být započtena, jinak nesouhlasí výpočet gravitačního zrychlení na povrchu Země, který je uváděn číslem  $g_0=9,80665 \text{ [m.s}^{-2}]$  (viz. např. V.Šindelář, L.Smrž: SI nová soustava jednotek).
- Str. 103, ICAO Standard Atmosphere. Není uvedeno jak se vypočte geopotenciální výška z výšky geodetické. Není též uvedena hodnota gravitačního zrychlení  $G_0$ , prosím o uvedení vztahu pro výpočet geopotenciální výšky. Gravitační zrychlení klesá s narůstající výškou, ale klesá i s narůstající hloubkou pod hladinu moře, ale mnohem pomaleji než s narůstající výškou (stejná literatura jako v předchozím bodu).
- Str. 110 až 115, též str. 88, bylo by vhodné uvést tabulku měřených letových případů s uvedením odlišností na vstupu.

#### Otázky

1. Jak by bylo třeba uspořádat měření, aby bylo možné zjistit krátkoperiodické a fugoidální podélné kmity malého letounu.
2. Kolik bylo odlétáno různých případů celkem a kolik letových hodin bylo přitom nalétáno, jak dlouho trvá zpracování nalétaných dat po letu.
3. Jaký je vliv vzorkovací frekvence měřených veličin na kvalitu výsledků identifikace a jak byla zjišťována vhodná vzorkovací frekvence?
4. Jaký způsob časové synchronizace měření byl použit?

#### Závěrečné hodnocení

Předložená doktorská disertační práce pana Ing. Petra Dittricha řeší technicky i teoreticky náročnou úlohu měření letových vlastností malého letounu. Náročnost úlohy spočívá v komplexnosti a vzájemné svázanosti skoro všech měřených veličin a nutnosti odlišit od sebe naměřené veličiny, jejich chyby a chyby měření. V ČR existuje jediná organizace, která taková měření pro zákazníky provádí, Výzkumný a zkušební letecký ústav v Praze. Uvedená úloha je náročná i po stránce finanční, administrativní a organizační, každý zásah do vybavení a konstrukce letounu vyžaduje schválení Leteckého úřadu, certifikaci, právě tak i všechny použité přístroje a měřicí systémy. Dovedení celé úlohy do úspěšného završení je na hranici uvěřitelnosti. Doporučuji proto předloženou doktorskou disertační práci pana Ing. Petra Dittricha předložit komisi a po obhájení práce navrhnout udělení titulu PhD.

V Brně dne 7. dubna 2017