

**Doc. Ing. Dalibor ROZEHNAL, Ph.D.**  
**Katedra letecké techniky**  
**Univerzita obrany**  
**Kounicova 65**  
**662 10 BRNO**

## **Oponentní posudek disertační práce**

**Název práce:**           **ADAPTIVE FLOW CONTROL BASED ON LOCAL PRESSURE DISTRIBUTION OVER WING**

**Autor práce:**           **Ing. Petr DVOŘÁK**

Předložená doktorská disertační práce s názvem „ADAPTIVE FLOW CONTROL BASED ON LOCAL PRESSURE DISTRIBUTION OVER WING“ je zaměřena do oblasti vnější aerodynamiky a zabývá se prouděním v okolí nosné plochy malého autonomního létajícího systému s pevnou nosnou plochou, který je poháněn vrtulovou pohonnou jednotkou v tlačném uspořádání.

Práce je věnována způsobům detekce stavu proudění na nosné ploše při jejím provozu v oblastech vysokých úhlů náběhu. V těchto situacích dochází obecně k náhlým změnám v tlakovém rozložení na sací straně profilu, které se projevuje postupným vývinem odtrženého proudu, které se začíná šířit od odtokové hrany směrem k náběžné hraně a zasahuje stále větší část nosné plochy. Pokud autopilot není vybaven detekcí na odtržení proudu resp. nesprávně vyhodnotí tento stav, dochází velmi rychle ke ztrátě ovladatelnosti prostředku, které je doprovázené následným přechodem do nestabilních režimů letu. Ovládací prvky řízení, které byly svoji funkcí navrženy pro režimy plynulého obtékání, ztrácejí částečně, nebo zcela svoji funkci a prostředek neovladatelně padá k zemi.

### **A. Aktuálnost zvoleného tématu**

Téma disertační práce je velmi aktuální a žádané s možností rozšíření letové obálky UAS v oblastech velkých úhlů náběhu resp. při jejich stabilizaci při průletu silně nehomogenní atmosférou např. poryvem. Práce je zaměřena na problematiku aktivního vyhodnocování stavu proudění obtékající nosnou plochu malého UAS. Výstupem je aktivní zásah řídicího systému do ovládacích aerodynamických ploch tak, aby se předešlo odtržení proudu na nosné ploše a nedošlo tím ke ztrátě ovladatelnosti a říditelnosti prostředku.

### **B. Cíle práce (zhodnocení vyčtených cílů práce a zhodnocení, jak disertant stanovené cíle splnil)**

Vyčtené cíle doktorské práce jak teoretické, tak i praktické jsou uvedeny v úvodní kapitole. Cíle práce jsou formulovány jasně, reálně a srozumitelně. Jsou zaměřeny na monitorování stavu proudění tekutiny v okolí nosné plochy malého UAS, na návrh aktivních prvků řízení, změnu geometrie nosné plochy v oblasti odtokové hrany, s cílem zabránit ztrátě ovladatelnosti prostředku při jeho provozu v limitních provozních stavech např. v oblasti

vysokých úhlů náběhu. Inovativním cílem práce je návrh, ověření a následná doporučení miniaturizovaného systému, který lze aplikovat na malých UAS.

**C. Zvolené metody zpracování a postup řešení** *(vyjádření ke zvoleným metodám a k postupu řešení problému)*

Práce obsahuje jak teoretickou část, která obsahuje numerické modely řešení využívající CFD simulací, tak i velmi rozsáhlou experimentální část, která je založena na optickém způsobu stanovení stavu obtékané nosné plochy.

Použité metody jsou zvoleny komplexně tak, aby zahrnovaly ucelený přístup k řešení problematice a umožnily jejich srovnání resp. objasnění výhod a nedostatků při aplikaci jednotlivých přístupů řešení. Disertant správně využil při řešení proudění tekutiny v okolí nosné plochy malého UAS moderní profesionální SW nástroj Ansys Fluent. K realizaci experimentální části použil dostatečně moderní, výkonné HW vybavení.

**D. Zhodnocení výsledků dosažených disertantem** *(vyjádření k výsledkům práce s uvedením konkrétního přínosu studenta)*

Disertant v předložené práci zhodnotil svoji více než desetiletou orientaci do problematiky vnější aerodynamiky prostředků s pevnou nosnou plochou. Velmi pozitivně hodnotím jeho dlouholetý zájem o danou oblast, který mu umožnil navrhnout, realizovat a experimentálně ověřit aktivní systém detekce odtržení proudu na nosné ploše a to nejprve v bezpečném prostředí aerodynamického tunelu s následným ověřením i v reálném provozu na malém UAS s vrtulovým elektropohonem. V práci autor otestoval a vyhodnotil velmi rozsáhlý soubor materiálů z pohledu jejich mechanicko optických vlastností. Navrhl a zrealizoval zpracování naměřených dat s jejich vyhodnocením, v reálném čase, a provedl jejich následnou implementaci do řídicího systému prostředku v rámci aktivního řízení odtržení proudu na nosné ploše UAS s pevným křídlem.

**E. Význam pro praxi nebo pro rozvoj vědního oboru** *(vyjádření k významu pro praxi nebo pro rozvoj vědního oboru)*

Práce je zaměřena do oblasti detekce odtržení proudu v okolí nosné plochy UAS s aktivním využitím výsledků při zlepšování ovladatelnosti a říditelnosti tohoto prostředků. Cílem je bezpečné rozšíření letové obálky u malých UAS s MTOW kolem 3kg, kde je obtížná implementace profesionálních systémů používaných u bezpilotních prostředků větší hmotnosti a rozměrů.

Předložená disertační práce přináší novou, velmi progresivní optickou metodu detekce odtržení proudu. Autor v závěru práce uvádí i další směr možného rozvoje v této oblasti s doporučeními pro další zpřesnění a zobecnění navržené metody.

**F. Publikáční činnost autora**

Autor v práci uvádí soubor publikací souvisejících s disertační prací. Počet uvedených publikací je vyhovující.

**G. Formální úprava disertační práce a jazyková úroveň** *(vyjádření ke struktuře disertační práce, k formálnímu zpracování a k jazykové úrovni)*

Vlastní práce je rozdělena do deseti kapitol a je zpracována v rozsahu 74 stran A4 včetně literatury. Následně jsou v práci uvedeny přílohy v rozsahu 43 stran A4. Práce je zpracována v anglickém jazyce na velmi dobré úrovni. Práce je zpracována pečlivě, obsahuje minimum

nedostatků, které neovlivňují kvalitu vlastní práce. Výhrady mám pouze k některým grafickým výstupům uvedeným v přílohách, které jsou nedostatečně označené a popsané. V práci je použito množství zkratk uvedených ve schématech k měřicímu systému, které nejsou v přehledu uvedeny.

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

- 1) Na str. 42 uvádíte, že v blízkosti krit. AoA dochází ke ztrátě funkčnosti řídicích ploch křídla a to vede k rychlému přechodu do nekontrolované rotace a k neřízenému výkrutu ve směru hodinových ručiček. Uvedený směr rotace přisuzujete interakci tlačné vrtule a indukovaného víru vycházejícího z konce křídla. Objasněte toto tvrzení.
- 2) Na str. 49 na obr. 44 je uvedená charakteristika odchýlení pásky od povrchu křídla vyjádřená v % v závislosti na úhlu náběhu a intenzitě osvit. Vynesený průběh je spojitá lomená čára. V doporučeních v závěru práce uvádíte, že by bylo vhodnější mít zpracovaný výstupní signál plynulý – analogový. Co Vám bránilo ve zpracování původně analogového výstupního signálu z fototranzistorů do nyní Vámi navrhované podoby výstupního plynule spojitého signálu?. Jistě by šlo zpracovávat původní signál z fototranzistorů, tak jak jej máte nyní a k tomu přidat paralelně i doporučené analogové zpracování.
- 3) Na str. 51 obr. 48 je uvedené, že umístění fototranzistorů je provedeno tak, aby výškově nezasahovaly do proudu, ale fototranzistory jsou zakončené sférickou čočkou a vzniká tam malý „kout“ mezi válcovým otvorem pro fototranzistor a jeho sférickou čočkou. Může tato tvarová nedostatečnost ovlivňovat odtržení proudu v místě fototranzistorů? Pokud ano tak jakým způsobem?

**Závěrečné zhodnocení** (celkové zhodnocení disertační práce a jednoznačné vyjádření, zda oponent práci doporučuje nebo nedoporučuje k obhajobě)

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.

**K disertační práci nemám žádné vážné výhrady, je zpracována v odpovídajícím rozsahu a kvalitě a doporučuji ji k obhajobě. Po jejím úspěšném obhájení navrhuji, aby Ing. Petr DVORÁK obdržel akademický titul Ph.D.**

V Brně dne 28. dubna 2022

Doc. Ing. Dalibor ROZEHNÁL, Ph.D.

