

Posudek doktorské disertační práce

Doktorand: **Ing. Mirvat Kaddour**

Název práce: **Alternativní pohony letounů kategorie všeobecného letectví**

Oponent: **prof. Ing. Miroslav Rousek, CSc., Fakulta lesnická a dřevařská Mendelu Brno**

K posouzení byla předložena disertační práce s rozsahem 116 stran. Práce je zaměřena v souladu se zadáním na možnost použití alternativních pohonů (palivo, motor) s cílem snížit emisní produkty v letectví, konkrétně jsou řešeny letadla kategorie LSA a VLA. Práce je rozdělena do 10-ti základních kapitol s dobrou logickou strukturou a návazností, obsahuje dále všechny náležitosti, to je seznam zkratk a symbolů, seznam obrázků a tabulek a použitou literaturu. Obsah práce, její členění i prezentování výsledků odpovídají tématu práce a rozsahu řešené problematiky.

Aktuálnost tématu

Problematika volby alternativní zdrojů energie je členěna do tří oblastí, použití LPG paliva, použití elektrického motoru a doplnění katalyzátoru do výfuku. U každého řešení jsou zmíněny jejich výhody a nevýhody, jejich vliv na snížení emisí spalin a rozdíly v koncepci pohonu dané těmito úpravami. V současné době je věnována velká pozornost rozvoji a použití těchto úprav, jejich hlavní zásady jsou obsaženy v dokumentech organizací EU ke klimatickým změnám a limitech komise EU ETS pro evropské letectví.

Cíle disertační práce

V kapitole 3.2 práce jsou explicitně vyjádřeny cíle disertační práce. Prvním cílem je zmapování světové letecké dopravy z hlediska tvorby emisí a popis iniciativ ICAO v tvorbě emisních standardů. Druhým cílem je provedení statistické studie pomocí Delphi metody z pohledu expertní skupiny v oblasti alternativních řešení pro redukování emisí letadel a minimalizaci spotřeby paliv. Třetím cílem je měření emisí letadel, dále následuje postup pro získání informací o denním letovém plánu, to je čas letu, počet vzletů a počet jednotlivých letů letadel uvedených kategorií. Nejdůležitějším cílem je ověření možností alternativních zdrojů pohonů (viz, tři uvedené varianty). Z toho, jak jsou jednotlivé dílčí cíle formulovány a plněny vyplývá, že doktorandka vycházela z podrobné a věcně správné analýzy současného stavu řešení snižování emisí. Ze stanovených cílů práce se dále ukazuje, že doktorandka vycházela i z vlastních zkušeností a tvůrčí práce v uvedené oblasti. Lze konstatovat, že vytčené cíle disertační práce byly stanoveny a splněny s určitou erudicí.

Úroveň rozboru současného stavu

Analýze vývoje posuzování emisí leteckých dopravních prostředků i současnému stavu je věnována dostatečná pozornost v kapitole 4. Přínosné je dopravní prognózy v letectví do roku 2040. Z tohoto pohledu je uveden velmi přehledný a výstižný obrázek vývoje aktivit v oblasti emisí letadel zaměřených na jednotlivé emisní činitele s důrazem na emise CO₂, některé dopady emisí letadel na zdraví včetně předpovědi emisních trendů pro mezinárodní letectví. Celá tato část je zaměřena především na popis a analýzu vývoje standardů a příruček pro letectví, je rozebírán příspěvek EU letadel ke klimatickým změnám a EU iniciativy v programech k redukci skleníkových plynů, návrhy limitů komise EU ETS pro evropské letectví včetně počtu povolenek dále postup certifikace standardů technologických cílů dle doporučení ICAO. Přehledně jsou v několika tabulkách uvedeny dokumenty pro analýzu emisí a to jak v organizacích EU, tak i USA.

Pečlivé zpracování této kapitoly a v ní prováděné rozborů, velmi dobře vystihují dosažený stav poznání a ukazují, že doktorandka se v této oblasti výborně orientuje, má o ní dobrý přehled i vlastní zkušenosti.

Použité metody a způsoby jejich aplikace

Metody řešení předložené práce byly zvoleny vhodným způsobem. Ze systematické a podrobné analýzy současného stavu vyplynul její důraz na praktickou aplikaci, kterou současné postupy doporučené Evropskou kosmickou agenturou nezahrnují. Jedná se o experimentální prověření možností měření emisí ultra lehkého letadla a analýzu letových plánů. Vhodně je rovněž uplatněna metoda Delphi pro expertní posouzení alternativních pohonů. Rozebrána je metoda porovnání emisních faktorů LPG jako alternativního paliva formou hodnocení experimentu a přímých výpočtů relevantních parametrů ve všech fázích letu a obdobným způsobem je provedeno hodnocení aplikace katalyzátoru. Přínosem je i metoda hodnocení elektrických motorů.

Výsledky disertační práce

Předložená disertační práce představuje vcelku dobře a systémově zpracovaný problém, vedoucí k prakticky použitelnému analýze a hodnocení emisí velmi lehkých letadel. Nově je v teoretické oblasti navrženo použití expertní Delphi metody, přínosem je nově navržený postup analýzy emisí a určení kvantitativních hodnot aplikovaných na letecké pohony. Z tohoto pohledu má navržený postup analýzy emisí obecné použití. Přínosem je i kvalitně sestavený přehled literatury (34 titulů), který obsahuje soubor norem i příruček pro analýzu emisí leteckých pohonů.

Formální úprava a jazyková úroveň

Disertační práce je psána v angličtině, formální úprava je velmi dobrá. Jazykově je práce na dobré úrovni.

Připomínky a dotazy

- 1) Na obr. 31 (str. 67) jsou nakresleny dvě nádrže, v textu se hovoří pouze o jedné nádrži, objasněte tento rozdíl.
- 2) Vztahy 8.5 až 8.11 jsou v pořádku, ale výpočet je dokumentován na jednom bodu. Objasněte postup pro vytvoření charakteristik uvedených na obr. 33 a dalších.
- 3) V kapitole 10 je provedeno hodnocení elektrického motoru. Uvažovala jste i o alternativě zdvojeného pohonu, např. elektrický a benzinový motor?
- 4) Na obr. 45 (str. 83) je nakresleno umístění katalyzátoru, nejasné je ale jeho upevnění, prosím o vysvětlení.

Vyjádření k tezím

Zpracované téze doktorské disertační práce svým obsahem i strukturou odpovídají požadavkům děkana FSI.

Závěr

Předložená disertační práce tvoří ucelenou práci zaměřenou na významnou oblast analýzy snížení emisí leteckých pohonů. Dokazuje schopnost a připravenost doktorandky k samostatné činnosti v oblasti výzkumu a vývoje. Vzhledem k tomu, že disertační práce splňuje požadavky stanovené v § 47 odst. 4, zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách doporučuji, aby paní Ing. Mírvát Kaddour byl po úspěšné obhajobě udělen akademický titul „doktor“ (ve zkratce Ph.D.)

V Brně dne 5. ledna 2016


prof. Ing. Miroslav Rousek, CSc.

OPONENTSKÝ POSUDEK DISETAČNÍ PRÁCE

Název práce: **ALTERNATIVE PROPULSION FOR AIRCRAFT OF GENERAL AVIATION CATEGORY**

Disertant: **Ing. Mirvat Kaddour**

Oponent: **doc. Ing. Jiří HLINKA, Ph.D.**, Letecký ústav, Fakulta strojního inženýrství,
Vysoké učení technické v Brně

Disertační práce „Alternative propulsion for aircraft of general aviation category“ se zabývá problematikou alternativních pohonů v letectví. Práce má rozsah 116 stran. Jde z velké části o originální dílo. Rozsah práce pokrývá širokou oblast problémů od popisu problematiky snižování emisí v předpisech, přes návrh a aplikaci postupů pro měření emisí, až po studie konkrétních technologií vhodných pro snižování emisí. Autorka musela při zpracování obsáhnout a zpracovat velké množství informací jak z oblasti předpisů, tak z oblasti fyzikálních principů a existujících a perspektivních technologií.

Aktuálnost tématu disertační práce

Problematika snižování emisí je v současnosti vysoce aktuální. Existuje celá řada mezinárodních aktivit s cílem redukovat emise (zejména CO₂ a NO_x), v Evropě pak existuje velmi ambiciózní program Evropské komise na razantní snižování emisí včetně letectví. Práce je zaměřena na alternativní pohony letadel s hlavním cílem redukovat emise. Z těchto důvodů považují téma disertační práce za aktuální.

Cíle disertační práce

Cíle disertační práce jsou formulovány v kapitole 3.3 a obsahují 5 bodů. Jsou formulovány stručně a s logickou provázaností. Za hlavní cíle a největší přínos považují zejména verifikaci možnosti použití vybraných alternativních pohonů u sledované kategorie letadel a jejich vliv na výkony a vlastnosti.

Všechny vytyčené cíle disertační práce byly splněny.

Úroveň rozboru současného stavu

Rozbor současného stavu je uveden v kapitole 4 a zahrnuje vývoj emisí v letecké dopravě, předpoklady pro další růst, detailní rozbor emisí a jejich vlivu na zdraví a životní prostředí, současné limity pro emise a cílové hodnoty pro nejbližší budoucnost. Autorka se zabývá zejména emisemi CO₂ a NO_x. Pozornost by si však zasloužily i hlukové emise (noise). Kapitola má rozsah i obsah přiměřený cílům disertační práce. Text je srozumitelný a přehledný. Je patrné, že se autorka v dané problematice dobře orientuje, je schopna shrnout zásadní informace a nastínit perspektivy dalšího vývoje. Doktorandka však omezeně používá odkazy na literaturu, které se v textu objevují zřídka (v některých kapitolách není jasný odkaz na zdroj informace).

Použité metody řešení a způsoby jejich aplikace

Metody řešení předložené práce byly zvoleny vhodně. Autorka analyzuje různé technologie snižování emisí s cílem vyvodit závěry o nejperspektivnějších směrech pro toto snižování. Pro identifikaci nejperspektivnějších technologií autorka navrhla a provedla šetření metodou DELPHI, čímž se snažila potlačit subjektivní vlivy hrající roli ve výběru vhodných technologií. Výsledné analyzované technologie zahrnují (na příkladu experimentálního letounu VUT 081 Kondor):

- Použití katalyzátoru pro konvenční motory;
- Použití LPG jako alternativního paliva;
- Použití elektrického pohonu.

Pro oblast použití katalyzátorů pro konvenční motory provedla autorka měření emisí na motoru s/bez katalyzátoru. Z výsledků měření vycházela při odhadu vlivu katalyzátoru na provozní parametry letounu v kategorii LSA.

V oblasti použití LPG jako alternativního paliva pro letouny kategorie LSA provedla autorka rozbor vlivu zástavby systému s nádržemi na LPG a základní rozbor výkonů letounu na tento pohon.

Obdobně postupovala autorka i pro elektrický pohon letounu, kde využila rovněž praktické zkušenosti z realizace experimentálního letounu VUT 051 RAY. To umožnilo provést odhady pro tento nekonvenční typ pohonu s maximální přesností (věrohodností).

Zvolený soubor technologií (společně s unikátními zkušenostmi Leteckého ústavu VUT-FSI s elektrickými pohony) vytváří jedinečný přehled existujících i perspektivních metod pro snižování emisí u malých letadel, včetně porovnání dopadů jejich použití na výkony a vlastnosti letounů.

V kapitole 11 shrnuje autorka svá zjištění a poskytuje porovnání parametrů letadel s různými pohony. Ve výkonových parametrech, které jsou porovnávány schází zejména dolet a výdrž (přestože byly vypočteny v kapitolách věnovaných jednotlivým technologiím), které jsou zásadní pro posouzení vhodnosti jednotlivých technologií pro použití v letectví.

Celý postup řešení je promyšlený, logicky a srozumitelně prezentovaný a dostatečně teoreticky podložený.

Výtku je však třeba učinit v kapitole 6, kde se autorka snaží o analýzu typických letů sledované kategorie letounů (LSA, UL). Svoji analýzu však opírá o data letounu Z-226, tedy typu zcela jiné kategorie, navíc využívaného ve specifickém provozu (vlekání větroňů). Uváděné histogramy jsou tak pro dané účely nesprávné. U letounů kategorií LSA, UL však lze očekávat typické lety v délce 20-40min, tedy ne příliš daleko od v práci uvedených hodnot.

Teoretický přínos disertační práce

Hlavní teoretický přínos práce vidím v rozboru existujících technologií schopných snížit emise letadel, vytipování perspektivních technologií a ověření dopadu zvolených technologií na snížení emisí CO₂ a NO_x a na výkony letounů ve sledované kategorii (ve formě analýzy podpořené dílčími měřeními).

Přínos disertační práce pro praxi

Přínos práce spatřuji zejména v identifikaci perspektivních technologií pro snižování emisí a popisu jejich současných slabin. Práce může sloužit jako východisko pro volbu technologických směrů pro redukci emisí v letectví.

Formální úroveň práce

Po stránce formální a jazykové existuje prostor pro zlepšení formulací a vyjádření, které by posouvaly práci směrem k technickému dílu oproštěnému o zjednodušené formulace v první osobě, které do odborného díla typu vědecké práce patří pouze omezeně. Rovněž by bylo vhodné před uveřejněním díla provést drobné korekce v anglickém textu. V některých případech je rovněž možné nalézt chyby v terminologii, např. pro cestovní konfiguraci letounu autorka používá výraz „travel“ (místo např. „cruise“). Je však třeba ocenit, že autorka překonala jazykové i kulturní překážky, které ji jistě znesnadňovaly přípravu disertační práce.

Zkrácená verze tezí

Předložené zkrácené teze dobře vystihují obsah práce a jasně a srozumitelně prezentují výsledky disertační práce. Zásadním problémem je však množství chyb a překlepů v textu. Na 29 stranách textu je zde možné napočítat nejméně 126 chyb/překlepů. Před vydáním (tiskem) díla je třeba provést korekce.

Dotazy

Doporučuji, aby se autorka při obhajobě své práce vyjádřila k následujícím otázkám:

- 1) V práci se věnujete výlučně emisím CO₂ a NO_x. Jsou to jediné typy emisí škodlivých pro životní prostředí a zdraví člověka, nebo existují i jiné emise? Pokud ano, jaké a proč nebyly v práci řešeny?
- 2) V závěrech porovnáváte parametry různých alternativních pohonů pro malé letouny. V textu však nedáváte jednoznačný závěr, který je z Vašeho pohledu nejperspektivnější pro zásadní snížení emisí. Můžete tuto informaci doplnit?

Závěr

Předložená práce kombinuje velké množství informačních zdrojů a postupů analýz/výpočtů, s experimenty poskytujícími dílčí vstupní informace pro analyzovanou problematiku. Autorka používá rovněž některé ne zcela tradiční nástroje (DELPHI) pro získání maximálního množství relevantních informací, které jsou v práci využity. Práce obsahuje podstatné informace pomáhající v rozhodování o perspektivních technologiích snižování emisí u malých letadel, což je vysoce aktuální problematika. I přes výtky k formálnímu zpracování práce považuji práci za přínosnou a **d o p o r u č u j i**, aby paní Ing. Mirvat KADDOUR byl po úspěšné obhajobě udělen akademický titul „doktor“.

V Brně dne 8. 1. 2016



doc. Ing. Jiří HLINKA, Ph.D.