



Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojkách

Studijní obor: Technologie údržby letadel

POSUDEK OPONENTA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Studenta: Lukáš Vaculík

s názvem: Alternativní pohon letadel se zaměřením na aplikaci palivových článků

### Hodnocení závěrečné práce:

Práce není v rozporu s metodickým pokynem ČVUT ([link](#))  Je dodržen rozsah práce (min. 35 stran)

Zadání je splněno a každý bod zadání má jasný odraz ve zpracované práci

	Kritéria hodnocení bakalářské práce	Body
1.	<b>Splnění zadání formálně i odborně. (0 – 30)</b> Hodnoceno je také splnění stanoveného cíle práce a celkové vypracování s ohledem na zadané téma. Excelentně splněné zadání může být ohodnoceno maximálním počtem bodů. V poměru rozsahu části v zadání, která není zcela vhodně či úplně zpracována, je hodnocení odpovídajícím způsobem sníženo.	25
2.	<b>Úroveň teoretické části a využití dostupné literatury. (0 – 30)</b> Posuzována je relevantnost teoretické části k zadání, rozsah rešerší a systematické uspořádání zjištěných poznatků. Převažuje-li doslovné převzetí textů, hodnocení je sníženo až o 15 bodů (za předpokladu dodržení autorských práv). Důvodem pro snížení celkového hodnocení je dále nedostatečný výběr teoretických poznatků, literatury a zdrojů.	25
3.	<b>Rozsah realizačních prací (SW, HW), aplikovaných vědomostí a znalostí, úroveň metodologického zpracování a závěrů práce. (0 – 30)</b> Celkem 30 bodů může být uděleno za velmi komplexní a bezchybnou práci vhodnou k publikování. Tento aspekt se posuzuje zejména z hlediska významu pro obohacení teoretických poznatků a má praktický význam. Obzvláště pozitivně je hodnoceno vytvoření modelu, SW produktu a též technická realizace, validovaný provozní postup nebo metodika. Za drobné metodologické nedostatky je hodnocení sníženo až o 5 bodů. Nekonzistentnost zpracování s teoretickými východisky a nejasný či ne zcela odborný metodologický přístup vede ke snížení minimálně o 15 bodů. Další snížení hodnocení lze udělit za nedostatečnou diskusi k závěrům.	26
4.	<b>Formální náležitosti a úprava práce (úroveň psaní, označení struktury textu, grafy, tabulky, citace v textu, seznam použité literatury apod.). (0 – 10)</b> Hodnoceny jsou formální náležitosti z pohledu dodržení pravidel o psaní, atributů závěrečných prací, tj. formátování textu, struktury práce, seznamu použité literatury, vybavenosti bakalářské práce grafy a tabulkami, způsobu citování. Za nedodržení jednotlivých pravidel je sníženo maximální hodnocení o 2 body za každý nerespektovaný atribut. Rovněž za výskyt gramatických chyb, překlepů a nevhodné stylistiky a terminologie se snižuje hodnocení o 2–4 body. V práci by se měla objevovat pouze standardní odborná terminologie a to zejména v jazyce práce (je třeba hodnotit schopnost vyjadřovat se technickým jazykem – 2 body), grafy jsou tvořeny dle standardních zásad (2 body) a stejně jako tabulky jsou opatřeny legendou, vše je je v nich čitelné (2 body), jsou dodržena citační pravidla dle ISO690 a ISO690-2 (2 body).	7
5.	<b>Celkový počet bodů</b>	83

### Komentář:

Pokud potřebujete větší prostor pro posudek, přiložte Vámi vytvořený posudek k tomuto formuláři jako přílohu.

Zadání práce bylo podle mého názoru splněno dobře. Dílčí úkoly v zadání byly v předložené práci splněny. V závěrečné části jsou diskutovány výhody a nevýhody pohonu na základě palivového článku. V této souvislosti mi trochu chybělo hodnocení dosažených výsledků ve srovnání s původní pohonnou soustavou, případně s jinými e-letouny s akumulátorem. Pro tento účel je sice uvedena tabulka 18 na str. 44, kde jsou porovnány vytrvalosti v různých leteckých režimech nové a původní soustavy, chybí ale hodnotící komentář. Je pohonná soustava na bázi palivových článků adekvátní náhradou pro původní pístovou z hlediska vytrvalosti a doletu? Dále bych uvítal hodnocení bezpečnosti nové pohonné soustavy. Jak velké je riziko úniku vodíku ze systému (nádrže, potrubí, blok palivových článků) a nebezpečí požáru?...

Celý posudek viz příloha.

### Celkové hodnocení úrovně vypracování:

	A (výborně)	B (velmi dobře)	C (dobře)	D (uspokojivě)	E (dostatečně)	F (nedostatečně)
Počet bodů:	100 - 90	89 - 80	79 - 70	69 - 60	59 - 50	< 50
		X				

pozn.: prosím uveďte komentář odůvodňující hodnocení.

Bakalářskou práci hodnotím výše uvedeným klasifikačním stupněm B a práci doporučuji k obhajobě.

### Otázky k obhajobě:

Otázky viz příloha (odstavec "Otázky, nejasnosti a komentáře").

Jméno a příjmení: Dipl.-Phys. Martin Dubau, Ph. D.

Organizace: HVM Plasma, spol. s r.o.

Podpis:



Datum: 05. 01. 2022

## Posudek k bakalářské práci na téma „Alternativní pohon letadel se zaměřením na aplikaci palivových článků“

Student: Lukáš Vaculík

### Shrnutí práce s ohledem na zadání:

Cílem předložené bakalářské práce je teoretická náhrada pohonného systému v již existujícím letounu alternativním pohonem na bázi palivových článků. Součástí práce je rešerše již existujících e-letounů včetně jejich nejdůležitějších parametrů (např. dolet). Všechny představené letouny využívají akumulátory jako zdroj energie, v jednom případě hybridní řešení akumulátor/palivový článek. V rámci této práce byl pro přestavbu vybrán motorový kluzák L-13 SW/SE s pístovou pohonnou soustavou. Tento výběr byl v práci řádně odůvodněn. Po odebrání původní pohonné soustavy byla určena maximální povolená hmotnost nové soustavy na bázi palivových článků. Byla provedena rešerše k různým technologickým řešením (druhy palivových článků, způsoby skladování paliva) a komerčně dostupným komponentám, které jsou pro novou pohonnou soustavu nezbytné (palivový článek, elektromotor, nádrže na palivo, kompresor na stlačení vzduchu atd.). Na základě této rešerše byly vybrány konkrétní komponenty s ohledem na zvolenou aplikaci. Například autor navrhl řešení pomocí metanolového článku DMFC z důvodu mnohonásobného překročení maximální avizované hmotnosti pohonné soustavy. V případě nádrže na vodík autor nenašel dostatečně detailní informace od výrobců, proto navrhl vlastní konstrukci. Rozmístění jednotlivých komponent v letounu bylo navrženo tak, aby těžiště zůstalo přibližně na stejném místě jako u původní soustavy. Závěrem práce je, že letoun s novou pohonnou soustavou má o 19 kg vyšší hmotnost než bylo původně stanoveno jako limit, což je pro posádku do určité míry omezující. V závěrečné kapitole jsou dále diskutovány výhody a nevýhody letounu s pohonem na bázi palivových článků. Jako nevýhoda je například zmíněna problematika skladování dostatečného množství paliva a tankování vodíku. Výhoda je například vysoká výkonová hustota, nižší hluk, a možnost rekuperace energie v určitých leteckých režimech.

### Hodnocení celkové kvality práce:

Zadání práce bylo podle mého názoru splněno dobře. Dílčí úkoly v zadání byly v předložené práci splněny. V závěrečné části jsou diskutovány výhody a nevýhody pohonu na základě palivového článku. V této souvislosti mi trochu chybělo hodnocení dosažených výsledků ve srovnání s původní pohonnou soustavou, případně s jinými e-letouny s akumulátorem. Pro tento účel je sice uvedena tabulka 18 na str. 44, kde jsou porovnány vytrvalosti v různých leteckých režimech nové a původní soustavy, chybí ale hodnotící komentář. Je pohonná soustava na bázi palivových článků adekvátní náhradou pro původní pístovou z hlediska vytrvalosti a doletu? Dále bych uvítal hodnocení bezpečnosti nové pohonné soustavy. Jak velké je riziko úniku vodíku ze systému (nádrže, potrubí, blok palivových článků) a nebezpečí požáru?

Rešeršní část je provedena důkladně. Pro výběr vhodných komponent pro instalaci byla provedena rešerše různých technologických řešení a komerčně dostupných výrobků včetně jejich parametrů. Na základě této rešerše bylo možné vybrat nejvhodnější komponenty pro danou aplikaci. Z mého

pohledu student adekvátně využil dostupnou literaturu a informace od výrobců jednotlivých komponent. Pár bodů jsem strhl za nejasnost původu některých rovnic. Rešerše ohledně principu fungování palivových článků mohla být provedena trochu důkladněji (chemické vzorce, viz komentář 3 níže).

Výsledky z rešeršní části pak student využil ke konkrétnímu návrhu realizace nové pohonné soustavy na bázi palivových článků. Výběr konkrétních komponent byl dobře odůvodněn, popsaná metodika je z mého pohledu rozumná a logická. V závěrečné části bych uvítal rozsáhlejší diskuzi hlavně z hlediska vytrvalosti a doletu v porovnání z původní pohonnou soustavou a vyjádření k bezpečnosti, jak jsem zmínil již dříve. Dále se obávám, že váha palivového článku, která byla určena *pouze odhadem* na 11,7kg, by mohla být poddimenzovaná (tam směřují otázky 1 a 2, viz níže). Z mého pohledu by bylo důležité kontaktovat výrobce a tento údaj ověřit.

Práce je celkově dobře čitelná a srozumitelná. Uspořádání kapitol je v celku logické, práce je dobře strukturovaná. Kromě relativně malého počtu překlepů vidím určité nedostatky či nepřesnosti u chemických a fyzikálních vzorců, viz komentáře 3 a 4 níže.

#### Otázky, nejasnosti a komentáře:

1. Pro instalaci byl vybrán palivový článek FCgen-HPS od firmy BALLARD. Klíčovým parametrem pro určování finální hmotnosti je výkonová hustota (viz otázka 2), která dle specifikace výrobce činí 4,7kW/kg (str. 12, tabulka 2). Když podělíme maximální nominální výkon dle této specifikace celkovou hmotností 55 kg (též podle specifikaci v tabulce 2), vyjde jen 2,5 kW/kg. Čím se dá tento rozdíl vysvětlit?
2. V kapitole 9.2 na str. 36 je uvedeno, že zařízení FCgen-HPS s nominálním výkonem 140 kW je pro vybranou aplikaci příliš velké. Bylo proto navrženo zmenšení tohoto zařízení na výkon 55 kW odebráním části bloku. Nová hmotnost zmenšené verze FCgen-HPS byla odhadnuta na 11,7 kg za předpokladu stejné výkonové hustoty 4,7 kW/kg pro původní i zmenšenou verzi. Je tento předpoklad opodstatněný, resp. platí přímá úměra mezi (maximálním) výkonem zařízení FCgen-HPS a jeho hmotností?
3. Str. 9: Chemické vzorce 1-3 nejsou z formálního i obsahového hlediska správně. Mohl by je autor v rámci obhájby opravit?
4. Při výpočtu některých veličin (např. str. 17, rov. 6 nebo str. 36, rov. 8) jsou uvedeny pouze hodnoty dílčích veličin **bez jednotek**. Tím se snižuje srozumitelnost rovnic.
5. U některých rovnic není jasný původ (např. str. 36, rov. 8). Není uvedena reference, ani úvahy k odvození. Tím se snižuje srozumitelnost.

V Praze, 05.01.2022,



Dipl.-Phys. Martin Dubau, Ph. D.