

## I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

<b>Název práce:</b>	Simulátor natáčení družice CubeSat v magnetickém poli Země
<b>Jméno autora:</b>	Ing. Jakub Kopečný
<b>Typ práce:</b>	Diplomová práce
<b>Fakulta/ústav:</b>	Fakulta elektrotechnická
<b>Katedra/ústav:</b>	Katedra měření
<b>Oponent práce:</b>	Ing. Jaroslav Laifr, Ph.D.
<b>Pracoviště oponenta práce:</b>	Astronomický ústav AV ČR, v.v.i., Boční II, 1401/1a, 14100, Praha 4

## II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

<b>Zadání</b>	<b>Vyšší složitost</b>
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Zadání práce vyžaduje komplexní porozumění problematice řízení orientace družice v magnetickém poli Země.	

<b>Splnění zadání</b>	<b>Splněno úplně</b>
<i>Posuďte, zda předložená závěrečná práce splňuje zadání. V komentáři případně uveďte body zadání, které nebyly zcela splněny, nebo zda je práce oproti zadání rozšířena. Nebylo-li zadání zcela splněno, pokuste se posoudit závažnost, dopady a případně i příčiny jednotlivých nedostatků.</i>	
Z předložené práce vyplývá, že zadání bylo splněno úplně, způsobem odpovídajícím časovému, technickému a materiálnímu zajištění. Student k naplnění zadání využil dostupné materiály a technologie k realizaci experimentu s minimem prostředků. Původní zadání předpokládalo zvažení použití vertikálního ložiska nebo levitace pro simulaci letu po orbitě s volným otáčením, které bylo nakonec realizováno plováním na vodní hladině.	

<b>Zvolený postup řešení</b>	<b>Postup řešení - správný</b>
<i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
Student v úvodní rešerši nejprve rozebírá dostupné technologie a produkty pro řízení orientace družice. Popisuje teoretický návrh vlastního praktického řešení, provádí výpočty a následně tvoří model družice CubeSat včetně vinutí vlastních elektromagnetických cívek. Teoretické výpočty zavádí do simulace v prostředí Matlab/Simulink a v následných fyzikálních experimentech provádí porovnání simulovaných a praktických výsledků včetně analýz jejich rozdílů. Při zjištění rozdílů se dále student úspěšně snaží zpětnou iterací o jejich minimalizaci prostřednictvím optimalizace parametrů fyzikálního experimentu (testovacího zařízení).	

<b>Odborná úroveň</b>	<b>Středně vysoká</b>
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
Student prokázal samostatnost v návrhu a realizaci fyzikálních experimentů včetně vlastního porozumění problematice. V porovnání se zadáním práce bylo jistě možné detailněji propracovat testovací přípravek pro vyvinutá řešení orientace, zejména s přihlédnutím k možnosti pokračování studia na navazujícím doktorském programu, kde by výsledky práce mohl student dále do hloubky rozvíjet. Vzduchová ložiska (air bearing) nebo magnetická levitace by mohla být dalším krokem v pokračování aktivit do budoucna. Přesto odvedenou práci hodnotím jako středně vysokou a zcela dostatečnou.	

<b>Formální a jazyková úroveň, rozsah práce</b>	<b>Vyhovující</b>
<i>Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.</i>	
Vzhledem k časovým a technickým možnostem práce hodnotím formální, jazykovou a rozsahovou stránku jako vyhovující. V případě zájmu studenta pokračovat v oboru letectví a kosmonautiky bych však doporučil další publikační tvorbu zejména v anglickém jazyce pro budoucí zveřejnění a sdílení výsledků s dalšími kolegy, jak na webu, tak na odborných konferencích.	

**Výběr zdrojů, korektnost citací**

**Vyhovující**

*Vyjádřete se k aktivitě studenta při získávání a využívání studijních materiálů k řešení závěrečné práce. Charakterizujte výběr pramenů. Posuďte, zda student využil všechny relevantní zdroje. Ověřte, zda jsou všechny převzaté prvky řádně odlišeny od vlastních výsledků a úvah, zda nedošlo k porušení citační etiky a zda jsou bibliografické citace úplné a v souladu s citačními zvyklostmi a normami.*

Veškeré zdroje uvedené v práci spatřuji jako korektně citované. Student využil zdrojů akademických (předešlé diplomové práce), komerčních (produktové listy použitých komponent a komerční řešení) i vědeckých (ScienceDirect, Springer).

**Další komentáře a hodnocení**

*Vyjádřete se k úrovni dosažených hlavních výsledků závěrečné práce, např. k úrovni teoretických výsledků, nebo k úrovni a funkčnosti technického nebo programového vytvořeného řešení, publikačním výstupům, experimentální zručnosti apod.*

Kromě úplného splnění zadání bych rád uvedl, že se student příliš nezabýval optimalizací parametrů cívkového systému, zejména detailnější studii použitých materiálů, optimalizaci hmotnosti a energetické náročnosti s přihlédnutím k potenciálu reálného kosmického letu ve vakuu.

**III. CELKOVÉ HODNOCENÍ, OTÁZKY K OBHAJOBĚ, NÁVRH KLASIFIKACE**

Student předložené zadání splnil od rešerše problematiky, fyzikálních principů, přes rešerši aktuálních technických řešení až po návrh a realizaci fyzikálního experimentu včetně analýzy teoretického návrhu s dosaženými naměřenými výsledky. K technické realizaci využil jednodeskový počítač Raspberry Pi s příslušnými elektronickými obvody napájení a komunikace pro vytvoření bezdrátového telemetrického a řídicího rozhraní, včetně senzorického systému měření úhlových rychlostí a tvorby příslušného obslužného software.

Z čistě praktického hlediska postrádám bližší konstrukční detaily realizovaného cívkového systému, který je základem aktivní stabilizace družic CubeSat v magnetickém poli Země. Ačkoliv byl student obeznámen se standardem CubeSat, výslednou mechanickou konstrukci student patrně neoptimalizoval pro zabudování do reálné vnitřní konstrukce takového satelitu (chybí mechanický návrh držáků cívkového systému, přívodních vodičů, potlačení vysokonapěťových špiček při indukčním řízení solenoidu atp.). Přesto však práce zahrnuje všechny požadované aspekty dané zadáním a proto navrhuji klasifikační stupeň B - Velmi dobře.

**Otázka 1):** Jaký druh materiálu jádra byl použit pro solenoidní cívku? V práci uvádíte permeabilitu materiálu  $\mu_r = 300$ , což zhruba odpovídá feritovému jádru. Neuvádíte však žádná další specifika pro výběr právě tohoto materiálu pro konkrétní provedenou experimentální činnost. Prosím stručně vysvětlíte.

**Otázka 2):** Zvažoval jste optimalizaci a využití jiných materiálů jádra s vyšší permeabilitou a jejich vliv na rychlost řízení orientace, případně optimalizaci počtu závitů v závislosti na průměru cívkového drátu, celkového odporu vinutí, spotřebě elektrické energie a celkové hmotnosti? Pokud ne, proč?

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **B - Velmi dobře**.

Datum: 2. června 2023

Podpis: