

## Posudek vedoucího diplomové práce

**Název práce:** Modelování elektronicky ovládané diferenciální kapalinové spojky

**Jméno autora:** Jan Cabicar

**Vedoucí práce:** Ing. Michal Sojka, Ph.D.

ČVUT CIIRC, oddělení průmyslové informatiky

Předložená diplomová práce se zabývá modelováním systému elektronicky ovládané kapalinové spojky pro automobilové diferenciály a experimentální identifikací důležitých parametrů modelu. Jedná se o komplexní problematiku, protože model spojky je nelineární a má velké množství neznámých parametrů. Zadání proto hodnotím jako obtížné. Práce byla zadána firmou EATON a student na řešení pracoval v rámci své spolupráce s nimi. Mě, jako oficiálního vedoucího práce, pravidelně informoval o postupu, ale technické detaily jsme spolu neřešili. Proto tento posudek má spíše charakter oponentního posudku.

Student sestavil model spojky na základě informací z literatury a vytvořený model pak ještě upravil, aby lépe odpovídal modelované spojce. Citlivostní analýzou modelu potvrdil předpoklad, že přesnost modelu je vysoce závislá na hodnotě koeficientu tření a ve zbytku práce řešil modelování a identifikaci tohoto koeficientu. Koeficient tření namodeloval nelineární funkcí s 20 parametry, která vychází z fyzikálních modelů a závisí na teplotě a tlaku. Zmíněné parametry byly identifikovány metodami nelineární optimalizace z naměřených dat. Ta byla rozdělena do dvou skupin – z jedné se prováděla identifikace a na druhé se ověřovala přesnost. Přesnost se pak dále zvyšovala metodou využívající Monte Carlo simulace, čímž se dosáhlo zlepšení zhruba o 1%. Z ověřovacích dat je vidět, že sestavený a identifikovaný model má v dosažené přesnosti jisté rezervy, ale i tak je o cca 25% lepší než model používaný firmou dříve.

Po formální, jazykové a grafické stránce je práce na velmi vysoké úrovni. Text je psaný anglicky a dobře se čte. Práce má logickou strukturu a všechny popisované aspekty jsou srozumitelně vysvětleny. Textu mohu vytknout jen drobné nedostatky jako například používání spojení “on Figure” namísto správného “in Figure” či chybějící mezery před odkazy na literaturu a používání rozdělovníku místo pomlčky.

Na studenta bych měl následující otázky:

1. Na základě Monte Carlo simulací s ověřovacími daty byla snížena chyba modelu o cca 1%. Jak se zvýšila chyba modelu na identifikačních datech?
2. Jeden ze závěrů práce je, že pro přesnější identifikaci nebyla dostupná měřená data dostatečná. Máte nějakou představu, jaká data vám chyběla nebo jak z dosažených výsledků zjistit, která data je potřeba doměřit?

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **A – výborně**.

V Praze dne 4. června 2019

Ing. Michal Sojka, Ph.D.

**I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE**

<b>Název práce:</b>	<b>Modelování elektronicky ovládané diferenciální kapalinové spojky</b>
<b>Jméno autora:</b>	<b>Bc. Jan Cabicar</b>
<b>Typ práce:</b>	diplomová
<b>Fakulta/ústav:</b>	Fakulta elektrotechnická (FEL)
<b>Katedra/ústav:</b>	Katedra řídicí techniky
<b>Oponent práce:</b>	Ing. Pavel Fojtík, Ph.D.
<b>Pracoviště oponenta práce:</b>	Eaton Elektrotechnika s.r.o.

**II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ**

<b>Zadání</b>	<b>náročnější</b>
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Zadání, dle mého názoru, po stránce odborné i časové zcela vyhovuje nárokům kladené na diplomové práce. Úspěšné splnění zadání vyžaduje orientaci v modelování (nejen mechanických systémů) a poměrně vysokou úroveň znalostí v oblasti analýzy dat, statistiky a identifikace.	

<b>Splnění zadání</b>	<b>splněno</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>	
Mohu říci, že předložená závěrečná práce splňuje zadání beze zbytku. Zde nemám výhrady.	

<b>Zvolený postup řešení</b>	<b>správný</b>
<i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
Autorem zvolená koncepce je, dle mého názoru, správná. Popisná část odpovídá svojí hloubkou i kvalitou náročnosti práce. Pokud lze práci něco vytknout, pak bych zmínil stručnější uchopení problematiky modelování tření. Z citlivostní analýzy vyplývá významný vliv koeficientu tření na výsledný průběh momentu, který je přenášen na výstupní hřídel. Z tohoto hlediska by práci prospělo, kdyby obsahovala studii možností modelování tření a uvedení argumentů pro použití statického modelu tření.	
Mohu také poznamenat, že pro srovnání by citlivostní analýza mohla být provedena také pro další parametr či parametry.	

<b>Odborná úroveň</b>	<b>B - velmi dobře</b>
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
Autor prokázal vysokou úroveň znalostí v oblasti zpracování experimentálních dat a jejich následné analýzy. Správně interpretuje výsledky analýz a využívá v dalším postupu. Práce je také na velmi dobré úrovni z hlediska modelování systémů, zde konkrétně kapalinové spojky. Je také velmi dobře patrné prolnutí znalostí získané studiem se znalostmi z odborné literatury. Práce by mohla obsahovat hlubší pohled do problematiky modelování tření.	
Velice kladně hodnotím využití výborných znalostí v oblasti identifikace systémů, které student získal během svého studia a aplikaci stochastických metod pro simulaci experimentů.	

<b>Formální a jazyková úroveň, rozsah práce</b>	<b>A - výborně</b>
<i>Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.</i>	
Po formální stránce je práce sestavena v logickém sledu, rozsah kapitol odpovídá jejich důležitosti, grafické doplňky jsou na výborné úrovni. Překlepy se v textu práce vyskytují velmi zřídka a nesnižují její celkovou úroveň.	

<b>Výběr zdrojů, korektnost citací</b>	<b>B - velmi dobře</b>
<i>Vyjáďte 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</i>	

*vlastních výsledků a úvah, zda nedošlo k porušení citační etiky a zda jsou bibliografické citace úplné a v souladu s citačními zvyklostmi a normami.*

Většina v práci uvedených literárních odkazů se týká modelování kapalinové spojky. Z čehož soudím, že student vynaložil nemalé úsilí při provádění literární rešerše a využil všechny relevantní zdroje. V práci autor velmi pečlivě odlišuje a označuje všechny převzaté prvky od svých vlastních a lze konstatovat, že nedošlo k porušení citační etiky. Nicméně citace elektronických zdrojů, zejména odkazy na webové stránky nejsou v souladu s ČSN (např. [25]). Ačkoli citace [24] a [27] odkazují na tentýž zdroj, považují toto spíše za nedopatření.

#### **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.*

I když autor nedosáhl oslnivé přesnosti odhadu přenášeného momentu, jeho řešení vykazuje nezanedbatelné zlepšení oproti stávající situaci. Oceňuji velmi dobrý a proaktivní přístup k problému, kdy se student nespokojil s prvotními výsledky, ale pečlivě je analyzoval a aplikoval dodatečné kroky s cílem dosáhnout dalšího zlepšení. V textu je zmíněno, že model bude využit v návrhu algoritmu řízení eLSD. Ačkoliv to nebylo součástí zadání, dle mého názoru by práci neuškodilo, kdyby obsahovala alespoň stručnou analýzu, jak a zda je možné navrhnout vhodný typ řídicího algoritmu s ohledem na stávající přesnost a strukturu modelu spojky. Vhodný by byl také stručný popis struktury nebo blokové schéma potenciálního modelu řízení eLSD.

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

*Shrňte aspekty závěrečné práce, které nejvíce ovlivnily Vaše celkové hodnocení. Uveďte případné otázky, které by měl student zodpovědět při obhajobě závěrečné práce před komisí.*

Velmi oceňuji schopnost studenta prakticky aplikovat své znalosti. Během své práce se student musel potýkat s velkým objemem surových provozních dat a musel prokázat výše uvedenou schopnost a jistý cit při jejich zpracování a analýze. Autorovi se také podařilo získat a využít velmi dobré znalosti z různých oblastí.

Naproti tomu bych doporučoval práci doplnit o některé aspekty jako např. problematika modelování tření a doplnění závěru o krátkou analýzu možností řízení eLSD s ohledem na stávající přesnost a strukturu modelu spojky.

Dovoluji si navrhnout tyto otázky k obhajobě:

- Lamely spojky bývají opatřeny drážkami, které mají po obvodu lamely různou četnost, šířku apod. V textu práce je uvedeno, že tuto skutečnost model bere v úvahu. Jakým způsobem je tedy toto implementováno v modelu spojky a jaké modifikace je nutno udělat v případě změny např. šířky drážky?
- Z jakých důvodů se student rozhodl použít pro modelování tření daný statický model tření se spojitou závislostí na rychlosti?
- Myslíte, že při stávající přesnosti odhadu momentu je tento model použitelný jako součást algoritmu řízení eLSD?

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

Datum: 31.5.2019

Podpis: