

Ing. Václav Kraus, Ph.D.
ŠKODA TRANSPORTATION a.s.
ZČU KKS
Plzeň

Oponentský posudek disertační práce na téma:

„Dynamické vlastnosti pohonů moderních kolejových vozidel“

Doktorand: **Ing. Tomáš Fridrichovský**

Školící pracoviště: **U 12 120 - Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel
FS ČVUT v Praze**

Školitel: **Doc. Ing. Josef Kolář, CSc.**

Úvod:

Předložená disertační práce Ing. Tomáše Fridrichovského „Dynamické vlastnosti pohonů moderních kolejových vozidel“ se věnuje problematice torzního kmitání pohonu moderních lokomotiv, které vede při zhoršených adhezních podmínkách k protáčení kol na nápravě v místě lisovaného spoje, což je pochopitelně nežádoucí jev. Cíl této práce je zjistit příčiny tohoto jevu a jeho potlačení..

Práce je rozčleněna do několika logických celků. V úvodu autor popisuje stav řešené problematiky a cíle disertační práce. Dále je pozornost věnována analýze dynamiky pohonu, a to včetně chování elektrické části pohonu. Následuje popis experimentální činnosti na kladkovém stavu, který je navržen pro ověření teoretických výsledků. Závěr práce je věnován rozboru výsledků.

V další části tohoto posudku disertační práce se vyjadřuji k jednotlivým hodnotícím bodům, které jsem obdržel od oddělení vědy a výzkumu FS ČVUT.

1. Dosažení v disertaci stanoveného cíle

Cíle disertační práce jsou prakticky tři. Vytvoření simulačního modelu pro analýzu torzních kmitů v pohonech lokomotiv, objasnění podmínek, při kterých vznikají torzní oscilace dvojkolí, a následně detekce a redukce torzních oscilací dvojkolí.

Doktorand navrhnul zjednodušený simulační elektro-mechanický model individuálního pohonu dvojkolí čtyřnápravové elektrické lokomotivy včetně řízení asynchronního trakčního motoru ve variantách s plně odpruženým pohonem dvojkolí a s částečně odpruženým pohonem dvojkolí. Vazba kolo-kolejnice je založena na Polachově teorii přenosu tažných sil.

V průběhu numerických simulací byly vypočteny jak mechanické veličiny (např. moment), tak elektrické veličiny (např. proud) za účelem zjistit závislost mezi elektrickými a mechanickými veličinami při změně adheze. Na základě těchto výsledků byla upravena regulace pohonu tak, aby byla snížena velikost amplitud torzního kmitání dvojkolí.

Poznatky z chování pohonu ověřené na uvedeném modelu byly aplikovány při tvorbě modelu celé lokomotivy pro oba typy pohonů. Mechanická část modelu byla realizována v SW SimPack, model asynchronního trakčního motoru (ATM) včetně regulace byl převzat z jednoduchého modelu. Propojení mezi SW Matlab Simulink a Simpack bylo realizováno prostřednictvím Matlab-Simat.

Na výsledcích provedených simulací doktorand prokázal, že pomocí upravené regulace ATM je možné dostatečně včas predikovat vznik oscilací a snížit maximální amplitudu oscilací.

Konstatuji, že stanovený cíl disertační práce je splněn.

2. Úroveň rozboru současného stavu v disertaci řešené problematiky

Rozbor současného stavu v disertační práci řešené problematiky je proveden v kapitole 2 v rozsahu 30 stran. Doktorand popisuje problémy, které vznikají při torzním kmitání dvojkolí, které vede k pootočení kola vůči nápravě v místě lisovaného spoje. Toto selhání pevnosti lisovaného spoje vede také k posouvání kol a v extrémním případě může vést k nepřípustnému zmenšení rozkolí, což negativně ovlivňuje chodové vlastnosti vozidla. Tento jev se objevuje především u lokomotiv, které mají dvojkolí s větším průměrem kol. Při řešení tohoto problému je nutné řešit chování elektro-mechanické soustavy, která reprezentuje pohon lokomotivy včetně řízení elektrické části pohonu.

Doktorand uvádí práce a autory, které se danou problematikou zabývají. Dále popisuje pohon lokomotiv včetně jeho komponent. Zároveň je zde uveden jejich matematický popis, který je dále využíván v posuzované práci. Použitý matematický popis pohonu z hlediska torzní dynamiky považuji za dostatečný. Větší pozornost bych věnoval modelu nápravy, kterou bych doporučil nahradit MPK modelem. Matematický popis ATM včetně jeho regulace je pro modelování pohonu vhodný. Pro modelování sil ve styku kolo-kolejnice byl použit Polachův model pro výpočet součinitele adheze.

Rozbor současného stavu je, dle mého názoru, vypracován přehledně a logicky v dostatečném rozsahu.

3. Teoretický přínos disertační práce

Teoretický přínos disertační práce spočívá především ve vytvoření uceleného elektro-mechanického modelu včetně regulace ATM, na kterém je možné sledovat chování uvedené soustavy při jízdě na koleji s různými adhezními podmínkami. Doktorand postupuje logicky od jednoduchého numerického modelu k modelu složitějšímu. Přínos této práce vidím v tom, že autor řeší danou problematiku komplexně, tzn. že uvažuje mechanickou soustavu s elektrickým pohonem včetně řízení a jejich vzájemné ovlivnění při vyšetřování dynamiky pohonu. Na provedených simulacích autor vysvětluje chování pohonu elektrických lokomotiv. Analýzou výsledků bylo zjištěno, že frekvence oscilací dvojkolí a proudu ATM jsou na stejných frekvencích a že sledováním průběhu proudu lze predikovat stav dvojkolí. Autor vyšetřil závislost amplitud oscilací dvojkolí na chování proudových veličin a rozšířil regulaci ATM o informaci, zda je nutno provést regulační zásah, aby se zabránilo výrazným amplitudám dvojkolí.

4. Praktický přínos disertační práce

Praktický přínos disertační práce spočívá především v návrhu zdokonalené regulace ATM, aby nenacházelo k nebezpečným oscilacím nápravy. Na provedených simulacích bylo prokázáno, že regulační zásahy jsou funkční a významně redukuje nežádoucí oscilace nápravy. To je naprosto zásadní pro návrh skluzových ochran lokomotiv.

5. Vhodnost použitých metod řešení

Pro řešení dané problematiky doktorand použil matematicko-fyzikální aparát, který popisuje v příloze 8.1 a který je implementován v použitém SW MatLab a SimPack. Použité metody řešení jsou vhodně zvoleny.

6. Způsob, jak byly použité metody aplikovány

V přiložené disertační práci jsou výše použité metody aplikovány správně v rozsahu, který mohu posoudit. Bohužel součástí práce nejsou výpisy programů a MBS modely, takže nelze použití metod podrobně posoudit. V práci jsou uvedeny pouze některé funkce napsané v SW MatLab. Z uvedených výpisů usuzuji, že metody aplikované v tomto SW jsou využívány dobře.

7. Prokázání odpovídajících znalostí v daném oboru

Předloženou disertační práci prokázal doktorand široké znalosti nejen z kolejových vozidel, ale také z oblasti pohonů, a to jak elektrické, tak mechanické části. Dále prokázal schopnost programovat v prostředí programů Matlab – Simulink a vytvářet modely kolejových vozidel v SW SimPack.

8. Formální úroveň disertační práce

Disertační práce je velmi rozsáhlá. Má logické členění a uspořádání. Z celkového počtu 222 stran je vlastní práce napsána na 156 stranách včetně publikací autora, účasti na konferencích, výzkumných projektech a patentových přihláškách. Domnívám se, že doktorand dodržel pravidla citační etiky.

Grafická úroveň předložené práce je dobrá. Bohužel musím konstatovat, že některé obrázky jsou zcela nečitelné. U rovnic jsou používány symboly, které nejsou vysvětleny a ani nejsou uvedeny v seznamu použitých značek. Práce je napsaná srozumitelně s drobnými gramatickými chybami či překlepy. Práce mohla být dále doplněna CD s vytvořenými výpočetními programy. Uvádění částí programů v práci nemá logiku, protože si čtenář nemůže udělat celkový obrázek, jak je simulační program proveden.

Přes uvedené připomínky považuji formální úroveň práce za dobrou.

9. Závěrečné doporučení

Předloženou disertační prací, včetně seznamu publikací, doktorand prokázal nejen velmi dobré znalosti z oboru kolejových vozidel především v oblasti dynamiky pohonu trakčních vozidel, ale i v oblasti elektrických pohonů moderních lokomotiv.

Zpracováním předložené disertační práce doktorand prokázal schopnost samostatně analyzovat moderní pohony lokomotiv z hlediska jejich torzního kmitání včetně snížení negativních jevů, které při tomto kmitání vznikají. Doktorand prokázal mimo znalosti kolejových vozidel také velmi dobré znalosti v oblasti mechaniky, elektrických pohonů a jejich regulace a programování. Vypracoval metodu regulace ATM, která umožňuje snižovat parazitní jevy v pohonu lokomotiv.

I přes připomínky uvedené v posudku se domnívám, že předložená disertační práce splňuje podmínky tvůrčí vědecké práce a **doporučuji** ji k obhajobě.

V Plzni dne 20.1.2022

Ing. Václav Kraus, Ph.D.