

## Oponentní posudek disertační práce

Název práce	<b>Dynamické vlastnosti pohonů moderních kolejových vozidel</b>
Doktorand	<b>Ing. Tomáš Fridrichovský</b>
Školitel	<b>doc. Ing. Josef Kolář, CSc.</b>
Oponent	<b>doc. Ing. Petr Voltr, Ph.D.</b>

### Obecná charakteristika

Disertační práce ing. Tomáše Fridrichovského se zabývá dynamickými jevy v pohonných systémech kolejových vozidel, zejména výkonných elektrických lokomotiv. Pozornost je věnována spolupráci mechanické a elektrické části pohonu, a způsobu, jak ji využít pro ochranu před nadměrným torzním namáháním součástí pohonu. Tato práce navazuje na výzkumné aktivity, které se na pracovišti dlouhodobě pěstují, a představuje završení výzkumu, se kterým autor průběžně seznamoval odbornou veřejnost.

Předložený dokument obsahuje rozbor současného stavu poznání, cíle disertační práce, metody řešení, výsledky, diskuzi a další části, které se od disertační práce očekávají. Dokument je poměrně rozsáhlý (157 stran textu a 64 stran příloh), což je do značné míry dáno graficky prezentovanými výsledky výpočtů.

### Rozbor současného stavu poznání

V kapitole 2, která uvádí rozbor současného stavu poznání, autor předkládá relevantní poznatky týkající se mechanické i elektrické stránky pohonů kolejových vozidel. Pozornost se věnuje teorii i konstrukčním řešením, důležitá je vazba na praktický problém – selhání lisovaného spoje kola a nápravy v důsledku torzního kmitání dvojkolí.

Svým obsahem a rozsahem je přehled současných poznatků vhodně zpracován vzhledem k předmětu disertační práce; dle mého názoru ale obsahuje jisté nedostatky v kvalitě výkladu. Zejména v odd. 2.5 (Adhezní přenos tečných sil) shledávám tvrzení, která nejsou sice vyloženě chybná, ale nepomáhají čtenáři v tom, aby skutečně porozuměl popisované problematice. V mnoha případech by výkladu prospělo rozlišování pojmů „součinitel tření“ a „součinitel adheze“. Součinitel tření je mírou tečné síly přenášené mezi povrchy, kde buď dochází ke smýkání, nebo nikoli. Součinitel adheze je mírou tečné síly přenášené v kontaktu kola a jeho jízdni dráhy, kde se uplatňuje elasticita těles a současná přítomnost oblasti lpění a oblasti klouzání.

Ve stati popisující konstrukční řešení pohonů (odd. 2.3) autor zcela opomíjí tlapové uložení trakčního motoru. Toto řešení sice není vhodné pro vyšší rychlosti, ale neznamená to, že by patřilo minulosti. Na straně 27 se uvádí, že částečně odpružený pohon je použit např. u lokomotiv TRAXX. Taková varianta lokomotiv TRAXX mi není známa, leda by autor dával výrazu „částečně odpružený pohon“ širší význam zahrnující i pohon tlapový – to by ale mělo být v textu vysvětleno.

Popisek obrázku 2-31 na straně 30 je chybný, nejedná se o lokomotivu ř. 720, nýbrž ř. 742. Na straně 34 (oddíl 2.3.2.4.1) by se „tažné tyče“ lépe měly nazývat „tažně-tlačnými tyčemi“, jelikož jsou známa i vozidla s přenosem

podélných sil výhradně tažnými tyčemi na obou čelech podvozku. Na obrázku 2-42 jsou síly  $A_2$  a  $A_3$  stejné, ale mělo by se uvést, že to není obecný stav – mohou být rozdílné.

### **Metody řešení a jejich aplikace**

Metody řešení, popsané v disertační práci, lze rozdělit na výpočtové a experimentální. Obě skupiny jsou relevantní vzhledem ke studovanému tématu.

Výpočtové metody jsou založeny na tvorbě modelů pohonného systému vozidla, které jsou potom podrobeny zkoumání. Pozitivně hodnotím postup od nejjednodušších modelů a scénářů k nejsložitějším: je to správný způsob, jak se vyhnout chybám a obtížím v interpretaci výsledků získaných pokročilými simulačními nástroji. Nejprve je soustava linearizována a jsou zjištěny její vlastní frekvence (odd. 4.4). Následuje simulace v časové oblasti, nejprve pro prostý torzní systém (4.5) a potom pro úplný trojrozměrný model lokomotivy (4.6).

Simulace jsou započaty jednoduchými scénáři jako je prostý rozjezd bez podstatných dynamických jevů. To je správný postup, jen je na zvážení, zda je nutné kompletně uvádět popisy a grafické výstupy. Například oddíl 4.5.4.1.1 a 4.5.4.1.2 jsou velmi podobné, text se téměř opakuje. Práce by byla přehlednější, kdyby výsledky těchto případů byly prezentovány stručně a souhrnně. Výpočty nekontroluji, ale v grafických výstupech neshledávám nesrovnalosti a jejich interpretace se mi jeví jako správné. Spektra vyhodnocovaných signálů obsahují vrcholy na pozicích, které odpovídají analyticky vypočteným vlastním frekvencím. Průběhy torzních kmitů jako na obrázku 4-67 jsou podobné těm, které jsme zjistili na našem pracovišti při dřívějších simulacích i experimentech.

Simulace popsané v odd. 4.6 dokumentují, že doktorand zvládl pokročilé simulační nástroje včetně jejich spolupráce (Simpack + Simulink). Opět jsou na začátku vhodně zařazeny jednoduché scénáře, jako je ověření statických a kvazistatických sil na kolech. Chybí mi však vyjádření k těmto výsledkům – oddíl 4.6.1.4 je nadepsán „Verifikace modelu“, obsahuje popis scénáře a grafické výsledky, ale už neobsahuje žádný komentář k tomu, jaké výsledky byly očekávány a zda se výsledky s tímto očekáváním shodují.

Pro informační hodnotu výstupů ze simulací by mohlo být přínosem vykreslení záznamů adhezních charakteristik. V rozboru dosavadních poznatků (odd. 2.2.1, obr. 2-4, 2-5, 2-6) se uvádí, jak je sklon adhezní charakteristiky a poloha pracovního bodu důležitá pro dynamické jevy. Kdyby autor znázornil výsledky svých výpočtů podobnou formou, lépe by je zasadil do kontextu, který představil v úvodu své disertační práce.

Experimentální metody, které autor popisuje v kapitole 5, jsou založeny na zkouškách na kladkovém stavu s podvozkem ve zmenšeném měřítku. Jsou popsány potřebné úpravy zkušebního zařízení, avšak o moc dále se autor ve své práci nedostal – i oddíl 5.4 „Návrh experimentu“ obsahuje z větší části spíše konstrukční řešení pro měření fyzikálních veličin než konkrétní experimentální scénáře.

Absenci výsledků experimentální činnosti považuji za slabou stránku disertační práce. Zkušební zařízení bylo velice vhodně zvoleno a v navržené konstrukční úpravě nespátřuji nedostatky, ale její realizace je zřejmě náročná a nepodařilo se ji v době řešení disertační práce dokončit. Možná by ale dílčí poznatky, jako je vztah mezi mechanickými a elektrickými veličinami a možnost detekce dynamických jevů, mohly být experimentálně ověřeny na jednodušších zkušebních sestavách (např. stacionární motor se setrvačником na hřídeli s vhodnou tuhostí...).

### **Dosažení stanovených cílů**

Cíle disertační práce (kap. 3, s. 49) považuji za vhodně definované a srozumitelně popsané. V práci mi však chybí jednoznačné vyjádření k jejich splnění. Veškeré závěrečné statě (kap. 6, 7) vydají v souhrnu na necelou jednu stranu; takto rozsáhlá disertační práce by dle mého názoru zasloužila obsáhlejší shrnutí a závěry.

Pokusím se o vyjádření k jednotlivým cílům:

- První cíl (vytvoření simulačního modelu) byl splněn. Podle mého chápání se jedná spíše o dílčí cíl, který sám o sobě neobsahuje zásadní přínos k poznání – nebyly hledány nové modely fyzikálních skutečností ani metody jejich výpočetního řešení. Autor nicméně prokázal zvládnutí analýzy a syntézy ve vědecké práci, zvládnutí výpočetních nástrojů a schopnost interpretace výsledků.
- Splnění druhého cíle (definice kritérií pro vznik torzních oscilací) mi není příliš jasné. S touto otázkou se autor pravděpodobně vypořádává v odd. 4.5.5 a 4.7, avšak poněkud postrádám jasnou prezentaci závěrů.
- Třetí cíl (nalezení možností detekce a redukce torzních oscilací) byl splněn na úrovni simulačních metod, avšak i tam může mít čtenář pochybnosti, zda byly studované jevy řádně prozkoumány. Výsledky, které se týkají této otázky, jsou poměrně stručné (s. 132–134); na straně 133 nahoře se uvádí, že „tento princip byl využit při *jedné* ze simulací [...]“ – projevil se stejný účinek ve více než jedné simulaci?

### **Teoretický a praktický přínos disertační práce**

Podobně jako v předcházejícím bodu soudím, že komentáři k přínosům disertační práce mohla být věnována větší pozornost.

Autor ve své disertační práci demonstruje souvislosti mezi mechanickými a elektrickými ději v pohonu moderního kolejového vozidla, navrhuje a simulačně ověřuje způsob, jak lze tyto souvislosti využít. Získané poznatky mají přínos pro zlepšení vlastností pohonů kolejových vozidel, snížení údržbových nákladů, zvýšení spolehlivosti a bezpečnosti provozu. Ukazuje se, že prostřednictvím detekce oscilací v elektrickém obvodu lze problematické jevy rozeznat dříve než v mechanickém systému. Předpokladem pro uplatnění tohoto přínosu však je absence (nebo vyřešení) praktických problémů realizace, které souvisí s přesností měření, rychlostí a citlivostí odezvy regulačního systému a s eliminací rušivých vlivů, které v modelu neexistují. Předložené řešení není podloženo experimentálním ověřením.

Určitou slabinu v průkazu relevance doktorského výzkumu autora nacházím ve výčtu vlastních publikací (s. 153–154). Těžiště publikační činnosti spočívá v příspěvcích na konferencích, byť recenzovaných a indexovaných ve WoS; v seznamu chybí články v mezinárodních vědeckých časopisech.

### **Formální úroveň práce**

Po formální stránce je předložená disertační práce vyhovující, dokument je obvyklým způsobem členěn a formátován. Technická kvalita obrázků a grafů je dostatečná.

Obsáhlé grafické výstupy jsou vhodně řazeny v příloze, avšak mnoho grafů zůstává v hlavním textu. Výsledkem jsou oddíly, které neobsahují žádný text, jen obrázky (např. 4.6.1.4.1 na s. 115–116). Text je pak poněkud nařazen a obzvlášť v předložené jednostranně tištěné verzi čtenář dlouho obrací listy.

Užití šesti úrovní číslovaných nadpisů sice umožňuje přesnější odkazování, ale srozumitelnost struktury textu je horší. Obsah (s. 5–11) je poměrně dlouhý a nepřehledný. Popisky tabulek jsou oproti zvyklostem zařazeny pod tabulky. Odkazy na položky v seznamu literatury mají někdy nešikovně kombinovanou formu (jméno a rok vydání vs. pořadové číslo), např. „(Kalivoda, 2015) [50]“ na straně 30.

V textu se místy vyskytují překlapy a chybějící nebo přebytečné čárky ve větách. Formátování je někdy nedbalé (náhodné zacházení s desetinnou čárkou/tečkou, s kurzívou a indexy v matematických výrazech). Tyto nedostatky poněkud kazí dojem z odborných kvalit práce, avšak nejsou zásadní překážkou srozumitelnosti textu.

### **Závěr**

Na základě studia předložené disertační práce soudím, že autor prokázal schopnost vědecké práce a znalost studované problematiky. Disertační práci založil na současném stavu poznání a vhodně zvolil cíle a metody výzkumu. Výsledky disertační práce jsou relevantní pro vědu a praxi, od aplikace jsou však ještě poněkud

vzdáleny z toho důvodu, že nebyly experimentálně ověřeny. Závěrečné statě (sumarizace výsledků, diskuze, vyjádření k přínosům a ke splnění cílů práce) by zasloužily větší pozornost, stejně tak by se dala zlepšit kvalita výkladu v přehledu dosavadních poznatků.

**Na základě výše uvedeného posouzení doporučuji disertační práci ing. Tomáše Fridrichovského k obhajobě.**

Prosím autora, aby v obhajobě věnoval náležitou pozornost

- vyjádření ke splnění stanovených cílů disertační práce, zejména:
  - k druhému bodu na s. 49 – jaké jsou závěry z řešení této otázky,
  - k třetímu bodu na s. 49 – v jakém rozsahu variant a scénářů byla metoda na modelech vyzkoušena;
- vyjádření k přínosům disertační práce a k experimentálnímu ověření a potenciální aplikaci výsledků.

V Pardubicích dne 28. ledna 2022

doc. Ing. Petr Voltr, Ph.D.