

## OPONENTNÍ POSUDEK DOKTORSKÉ DISERTAČNÍ PRÁCE

Název práce: **TROLEJOVÉ VEDENÍ A JEHO DYNAMICKÁ INTERAKCE SE SBĚRAČEM**

Příjmení a jméno doktoranda: **Krčma Tomáš, ing.**  
Školitel: **Kout Jan, doc., ing., CSc.**

Oponent: **Soukup Josef, doc., Ing., CSc.**  
Pracoviště oponenta: **Fakulta výrobních technologií a managementu UJEP Ústí nad Labem, Katedra strojů a mechaniky**

Předložená disertační práce má 107 stran textu a 45 stran příloh. Práce je vhodně rozdělena do 9-ti kapitol. Doktorand se ve své práci zabývá problematikou interakce sběrače a trolejového vedení, která významně ovlivňuje bezpečnost a spolehlivost železniční dopravy.

Rozvoj železniční dopravy je, kromě zvyšující se kvality a bezpečnosti dopravy, zaměřen zejména na zvyšování rychlosti. Zvyšování rychlosti na železnici je v našich podmínkách spojeno zejména s elektrickou trakcí. Při zvyšování rychlosti elektrické trakce roste význam dynamické interakce sběrače a trolejového vedení. Tato problematika není dosud zcela uspokojivě vyřešena a jejím řešením se zabývají jak výrobci hnacích vozidel, tak i projektanti trolejového vedení.

První část práce (dá se říci rešeršní část) je věnována podrobnému rozboru situace ve stavbě trolejového vedení a jeho interakce se sběračem u nás i v zahraničí s přihlédnutím k různým trakčním soustavám. Je zde uvedeno, že v ČR přetrvává problém s řešením trakčního vedení pro vysoké rychlosti, tento problém je však spojen i s tím, že nemáme vysokorychlostní tratě. U nás je zvládnuta (z hlediska konstrukce trolejového vedení) rychlost do 230 km.h<sup>-1</sup>, pro připravované vysokorychlostní tratě je nutné teoreticky, ale i konstrukčně zvládnout chování troleje při rychlostech 300 km.h<sup>-1</sup> a vyšších.

V další části jsou přehledně definovány cíle disertační práce. Třetí část je věnována popisu trolejového vedení, fyzikálním parametrům vedení a možnostem měření jak samotného trolejového vedení, tak i interakce vedení se sběračem. Jsou zde uvedeny základní matematické vztahy charakterizující tyto fyzikální parametry.

Ve čtvrté části je provedena stručná analýza metod, které jsou použity pro zpracování, včetně faktorů, které použití těchto metod komplikují nebo omezují. Popsány jsou známé metody používaných transformací při řešení parciálních diferenciálních rovnic a FFT analýza, včetně sinové Fourierovi transformace a harmonické analýzy.

Pátá část je věnována teorii návrhu matematického modelu, je zde uvedena pohybová rovnice jak nosného lana a metody jejího řešení pro různé zavěšení troleje, tak i matematického modelu sběrače. Je uveden postup výpočtu koeficientů vzájemného silového působení hmot pomocí tuhosti pružin, které nahrazují jednotlivé věšáky. V závěru kapitoly je uveden postup pro implementaci obou modelů do výpočetního systému Matlab a jeho simulačního programu Simulink. Jsou uvedeny i podmínky pro numerickou implementaci. Jsou zde popsány možnosti simulace dynamických soustav, využití FFT analýzy pro řešení a analýza chyb, které vzniknou omezením počtu kroků při výpočtu (konečný počet koeficientů, chyby diskretizace, atd.). Rovněž jsou vhodně zakomponovány osamělé síly do pohybových rovnic kontinua a stanoven časový krok řešení. Teoretická část (kap. 4 a 5) je stručně a velmi přehledně a srozumitelně zpracována.

Část 6 je věnována simulaci soustavy trolejové vedení – sběrač. Je zde definován jednoduchý fyzikální i matematický model, je provedena jeho kvazistatická a dynamická verifikace. V další části je tento model rozšířen o působení setrvačných sil (soustava trolej – sběrač). Tento model umožňuje řešit

harmonické složky současně (simultánně) se zpětnou i dopřednou transformací v každém kroku. Jsou přehledně popsány jednotlivé kroky tvorby matematického modelu s úpravami pro zrychlení výpočtu.

Dále je zde popis modelu trolejového vedení který je buzen soustavou sběrače. Model zahrnuje i vliv působení bočního držáku a zahrnut je i vliv působení více sběračů v daném úseku. Jsou uvedeny úpravy modelu pro tento případ. Vlastní výpočty a výstupní grafy jsou v příloze práce, stejně jako výsledky experimentů na různých tratích a proudových systémech v ČR.

V části 7 jsou vyhodnoceny výsledky získané výpočtem, tyto výsledky byly verifikovány měřením na různých úsecích tratí s vedením typu J a S. Měření jsou vlastní, nebo převzatá. Je zde provedena dynamická verifikace při různých rychlostech a to jak přítláčné síly, tak i zdvihu trolejového drátu.

Část 8 je věnována vlastním přínosům doktoranda. Tato část je velmi stručná a domnívám se, že zcela neodpovídá přínosům doktoranda zejména v teoretické oblasti, kde se věnoval přípravě matematických modelů a zejména možnostem jejich řešení. Doktorand pro řešení použil běžně dostupný výpočetní prostředek – Matlab (Simulink) a nezaměřil se na specializované programy, ať již komerční nebo nový vyvinutý. V tom rovněž shledávám přínos této práce.

V závěru autor naznačuje směr dalšího výzkumu v této oblasti, kde doporučuje zahrnout další faktory, které ovlivňují styk sběrače a troleje při jízdě. Navrhuje rozšířit pojednávaný model o tyto faktory a provést verifikaci upraveného modelu.

## Závěr

Předložená doktorská disertační práce se zabývá sestavením modelu dynamické interakce trolejového vedení a sběrače. Jak již bylo uvedeno řešení tohoto problému je v ČR velmi aktuální, zejména s přihlédnutím k nastávajícímu období, kdy i u nás začne příprava vysokorychlostních tratí (VRT). V současné době není u nás vyřešen problém vhodného sběrače a vedení, využití výsledků této práce umožní řešení tohoto problému vlastními silami.

Autor zvolil k řešení problému vhodné metody vycházející z fyzikálního principu a jeho matematického modelování s využitím běžných výpočetních nástrojů (Matlab, Simulink). Práce obsahuje původní uveřejněné i neuveřejněné výsledky autora. Lze konstatovat, že práce splnila celkový cíl i dílčí cíle uvedené v úvodu. Podařilo se teoreticky popsat interakci trolejového vedení se sběračem při jízdě a vytvořit pro tento případ matematický, plně funkční model. Model byl verifikován provedenými měřeními.

Rozsah a hloubka řešení problému tvorby účinného nástroje umožňujícího provádění analýzy interakce trolejového vedení a sběrače je neobyčejně bohatá, založená na velmi dobrém teoretickém základu. Poměrně rozsáhlá je i v experimentální oblasti, zejména s přihlédnutím k možnostem měření na konkrétních železničních tratích. Autor využil svých bohatých zkušeností z praxe. Je zde zřejmý i kladný vliv práce zkušeného školitele a spolupracovníků ze žilinské univerzity.

Práce je přínosem pro teorii i praxi, jak již bylo několikrát konstatováno. Vlastní publikační činnost autora je bohatá a překračuje běžné požadavky, kladené na doktorandy. Je škoda, že žádná s publikací není uvedena v databázích (Scopus, WoS, apod.).

Po formální stránce je práce sepsána velmi promyšleně a pečlivě. Text práce má logický obsah, jasnou strukturu, je přehledný, srozumitelný, jasný a jednoznačný. Práce je napsána podle normy ČSN 01 6910. S obsahem práce, dílčími závěry i celkovým závěrem je možné souhlasit."

K předložené práci nemám žádné významné připomínky ani výhrady, snad jen u označení obrázků stačilo uvést obr. xx, tak jak je zvykem u článků v časopisech místo obrázků xx. Práce obsahuje několik překlepů což však nijak nesnižuje její úroveň. Za drobný nedostatek

považuji velmi stručnou anotaci, která mohla obsahovat více informací o vlastním obsahu práce.

K vlastní práci nemám na doktoranda žádné dotazy.

Proto navrhuji, připustit předloženou práci k obhajobě.

Pan Ing. Tomáš Krčma prokázal schopnost samostatné vědecké a experimentální práce a připravenost k samostatné činnosti v oblasti výzkumu a vývoje. Splnil tím podmínky § 47, odst. 4 zákona 111/1998 Sb. „O vysokých školách“ a v případě úspěšné obhajoby předložené doktorské disertační práce navrhuji, udělit mu akademický titul „doktor“.

V Ústí n. L., 2016-05-20

doc. Ing. Josef Soukup, CSc.

