



prof. Ing. Štefan Segľa, CSc., Katedra aplikovanej mechaniky a strojného inžinierstva,  
Strojnícka fakulta TU v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, Slovenská republika

---

### Oponentský posudok dizertačnej práce

#### Ing. Tomáš Krčma: Trolejové vedení a jeho dynamická interakce se sběračem

Doktorand sa v dizertačnej práci venuje vytváraniu dynamických a matematických modelov sústavy trolejové vedenie – zberač. Pre numerickú realizáciu výpočtov využil integrálne transformácie, pričom samotná numerická realizácia bola vykonaná v programovom prostredí MATLAB/Simulink. Práca je aktuálna ako z teoretického, tak i praktického hľadiska. Z teoretického hľadiska treba vyzdvihnúť to, že v dostupnej literatúre nebola dosiaľ publikovaná v danej oblasti v práci použitá metóda diskretizácie jednorozmerného kontinua pomocou integrálnych transformácií a následný výpočet prechodových dejov numerickou integráciou v časovej oblasti. Z praktického hľadiska je významná možnosť aplikácie vytvorenej metodiky a softvérového systému aj pri projektovaní trolejových vedení pre vysokorýchlostné trate.

Dizertačná práca má 153 strán vrátane príloh (48 strán) a je logicky rozdelená do deviatich kapitol. Doplnená je Použitou literatúrou, Publikačnou činnosťou doktoranda súvisiacou s témou dizertačnej práce a Zoznamom príloh.

V Úvode autor práce prezentuje stručný, ale výstižný prehľad riešenej problematiky v širších súvislostiach od dávnejšej minulosti až po súčasnosť. Anotácia je však príliš krátka a použitie termínov Matlab a Simulink ako kľúčových slov nepovažujem za vhodné. V 1. kap. sa analyzuje súčasný stav v ČR i v zahraničí a kriticky hodnotí súčasný stav. Je zrejmé, že doktorand má veľmi dobrý prehľad v riešenej problematike ako z praktického, tak i teoretického hľadiska. Zdôrazňuje, že pre udržanie konkurencieschopnosti je potrebné v ČR rozvíjať výskum trolejových vedení pri vysokých rýchlostiach pomocou numerického modelovania, avšak nie pomocou MKP (čo využívajú viaceré zahraničné firmy), ale pomocou integrálnych transformácií, čo má v ČR historickú základňu, napr. i v oblasti konštrukcií mostov (s pohybujúcim sa zaťažением).

V 2. kap. sú v dvoch bodoch definované ciele dizertačnej práce. V prvom ide o vytvorenie metodiky efektívneho matematického a simulačného modelovania v rámci otvoreného systému, ktorý možno v budúcnosti rozširovať o rešpektovanie ďalších vplyvov (nelinearit a iné). Druhý bod je zameraný na praktickú realizáciu počítačového modelu a jeho overenie pomocou zjednodušených analytických metód a tiež experimentálne.

V 3. kap. je opísaná sústava trolejového vedenia a jeho meranie. Autor tu prezentoval veľmi detailné poznanie reálnych pomerov (nielen v ČR, ale i v zahraničí), čo mu umožnilo definovať požiadavky na vyvíjanú metodiku tak, aby táto bola schopná rešpektovať všetky podstatné fyzikálne javy a aby vytvorený dynamický i matematický model boli dostatočne verné. Preukázal tiež dostatočnú fundovanosť i v aplikácii experimentálnych meraní.

4. kap. je venovaná analýze metód. Porovnáva možnosti analytických metód, približných metód Rayleighovej a Ritzovej, MKP a rozhoduje sa zamerať na priestorovú (jednorozmernú) diskretizáciu pomocou integrálnych transformácií s následnou numerickou

integráciou sústavy obyčajných diferenciálnych rovníc, aby využil jednorozmernosť sústavy trolejového vedenia. Detailne sa venuje Fourierovej i Laplaceovej transformácii, pričom prejavuje dostatočne hlboké znalosti a zameriava sa na tie aspekty použitia integrálnych transformácií, ktoré budú aktuálne pri riešení trolejového vedenia a jeho dynamickej interakcie so zberačom (napr. Diracova distribúcia pre rešpektovanie pôsobenia osamelých síl a momentov). Uvádza vzorce pre rýchlu Fourierovu transformáciu a prezentuje použitie harmonickej analýzy pri riešení dynamiky kmitajúcich lán a nosníkov.

Pre matematické modelovanie trolejového vedenia a zberača je podstatná 5. kap. Hneď v jej úvode sú uvedené matematické modely trolejového drôtu reprezentovaného buď ako predpätou strunou, alebo predpätým nosníkom. Možnosti zanedbania alebo naopak potreba rešpektovať ohybovú tuhosť je dostatočne analyzovaná. Pohybové rovnice priečného kmitania predpätej struny, resp. predpätého nosníka (37) a (38) však mohli byť detailnejšie komentované, alebo aspoň mohli byť uvedené odkazy na literatúru. Nie je napr. definovaná kritická uhlová frekvencia útlmu  $\omega_b$ , ktorá je inde (napr. na s. 68) uvádzaná ako konstanta tlmení TD. Mám pochybnosti o určení tuhosti diskretizovaných pružín  $k_{ki}$  v rov. (42). V stavovom popise problému, rov. (52), nie sú **A**, **B**, **C**, **D** vektory, ale matice. V matematickom modeli zberača, rov. (55) a Obr. 19, mi chýba určenie redukovaných parametrov hmotností, tuhosti i tlmenia, resp. i sily  $F_{st}$ . Nie je potrebné uvažovať trecie sily v tomto modeli? V odstavci 5.4 sú mnohé veľmi cenné informácie, ktoré svedčia o veľkých skúsenostiach autora práce v oblasti modelovania v programovom prostredí Matlab a Simulink.

Numerické simulácie sústavy trolejové vedenie – zberač v 6. kap. finalizujú riešenie problému. Najskôr sa riešia modely trolejového vedenia budené osamelou silou. Riešenie trolejového drôtu na poddajnom podloží umožňuje i analytickú kvazistatickú a dynamickú verifikáciu. Pri riešení rozšírenia úlohy o osamelé hmoty a pružiny prezentuje autor sofistikované a efektívne numerické postupy pri vytváraní viacerých subsystémov.

V 7. kap. sa verifikujú numerické výsledky s experimentmi, pričom sa konštatuje niekde veľmi dobrá zhoda a inde akceptovateľnosť rozdielov.

### **Vhodnosť použitých metód riešenia**

Dostatočne podrobný prehľad súčasného stavu problematiky umožnil doktorandovi vybrať vhodné metódy riešenia založené na diskretizácii kontinua pomocou integrálnych transformácií a následnej numerickej integrácii v časovej oblasti. Riešenie je efektívne a umožňuje riešiť problémy praxe. Má podstatné výhody v porovnaní s analytickými metódami, ale i v porovnaní s MKP (podstatne menšie finančné a personálne požiadavky).

### **Dosiahnutie stanoveného cieľa dizertácie**

Práca mala dva stanovené ciele. Konštatujem, že oba boli splnené.

Bola vytvorená metodika pre výskum trolejových vedení pomocou integrálnych transformácií, čo má v ČR historickú základňu napr. i v oblasti konštrukcií mostov s pohybujúcim sa zaťažením. Vytvorený programový systém je otvorený a umožňuje v budúcnosti jeho rozšírenie o ďalšie vplyvy (náhodné odchýlky, tlmenie i nelinearity). Umožňuje použitie dvoch a viac zberačov.

Bol vytvorený simulačný model v programovom prostredí Matlab a Simulink. Overila sa jeho funkčnosť a verifikoval sa s analytickými riešeniami i experimentálne získanými výsledkami. Požiadavky európskych noriem na presnosť získaných výsledkov boli splnené.

### **Výsledky dizertačnej práce**

Výsledkom dizertačnej práce je otvorený programový systém umožňujúci vyšetrovanie prechodových dejov v sústave trolejové vedenie – zberač. Vytvorená metodika a jej praktická realizácia v podobe softvérového systému je využiteľná aj pri projektovaní trolejových vedení pre vysokorýchlostné trate, čo je dnes i v ČR vysokoaktuálna a náročná úloha. Výsledky tohto systému boli verifikované porovnaním s výsledkami analytických výpočtov a tiež s experimentálne získanými výsledkami. V dostupnej literatúre nebola dosiaľ publikovaná v danej oblasti v práci použitá metóda diskretizácie jednorozmerného kontinua v dĺžkovej súradnici pomocou integrálnych transformácií a následný výpočet prechodových dejov numerickou integráciou v časovej oblasti. Riešenie je efektívne a umožňuje riešiť problémy praxe. Má podstatné výhody v porovnaní s analytickými metódami (je vhodné pre praktické úlohy bez významnejších zjednodušení), ale i v porovnaní s MKP (podstatne menšie finančné a personálne požiadavky).

### **Význam práce pre prax a rozvoj vedy**

Ako už bolo uvedené vyššie, vytvorený programový systém možno použiť pri riešení dynamických problémov vznikajúcich medzi trolejovým vedením a zberačom. Vďaka jeho efektívnosti a otvorenosti (možnosť rozšírenia o uvažovanie ďalších vplyvov) ho možno použiť i pri projektovaní trolejových vedení pre vysokorýchlostné trate.

Teoretickým prínosom je využitie integrálnych transformácií v oblasti, kde ešte neboli použité. To si vyžadovalo riešenie ďalších problémov súvisiacich s ich aplikáciou a overenie ich spoľahlivosti pri numerickom riešení rozmerovo a časovo náročných úloh i s ohľadom na rýchlosť a stabilitu numerického riešenia.

### **Preukázanie odpovedajúcich znalostí v odbore**

Doktorand preukázal potrebné znalosti v oblasti aplikovanej mechaniky a numerických metód v programovom prostredí MATLAB/Simulink. Značné znalosti a kreativitu si vyžadovalo vytvorenie rozsiahleho programového systému i experimentálne overenie numerických výsledkov. Tieto znalosti umožnili doktorandovi získať pôvodné a cenné výsledky.

### **Formálna úroveň práce**

Z hľadiska formálneho má práca dobrú úroveň, obsahuje len málo nejasných a nepresných formulácií. Sú v nej ale niektoré terminologické nedostatky, nie však zásadného charakteru.

### **Rozsah a kvalita publikovaných prác vzťahujúcich sa k téme dizertačnej práce**

Doktorand publikoval v rokoch 2006 až 2014 5 článkov v ostatných vedeckých recenzovaných časopisoch (kategória A2), 1 príspevok v zborníku zahraničnej konferencie a 5 príspevkov v zborníkoch domácich konferencií. Považujem to za dostatočné, ale v blízkej budúcnosti by mal niektoré cenné výsledky práce publikovať i v impaktovanom časopise.

### **Pripomienky k terminológii:**

- používanie termínu kmitočet a tiež frekvencia. Odporúčam používať termín frekvencia (viď napr. český preklad terminologického slovníka IFToMM od prof. J. Novotného na webe Českej spoločnosti pre mechaniku),
- používanie termínov (ako synonym): „systém" a "soustava",
- namiesto termínu pružnost odporúčam používať termín poddajnosť,

- namiesto termínu "soustava s rozprostřenými parametry" odporúčam používať termín "soustava s rozloženými parametry", príp. "soustava se spojitě rozloženými parametry", alebo jednoducho "kontinuum",

**Otázky pre doktoranda:**

- 1) Vysvetlite fyzikálnu podstatu druhého člena v rov. (37), resp. (38) a tiež to, ako sa určí kritická kruhová frekvencia útlmu (koeficient útlmu)  $\omega_b$ .
- 2) Ako sa v matematickom modeli zberača, rov. (55) a Obr. 19, určia redukované parametre hmotnosti, tuhosti, tlmenia a sila  $F_{st}$ ? Nie je potrebné uvažovať trecie sily v tomto modeli?

**Záver:**

Doktorand vo svojej práci použil vhodné metódy a preukázal schopnosť ich aplikácie pri riešení náročného problému dynamickej interakcie trolejového vedenia a zberača s vysokými nárokmi na numerické a experimentálne spracovanie úloh.

Doktorand prezentoval v dizertačnej práci i v ďalších publikovaných prácach nové poznatky v riešenej oblasti s cennými teoretickými i praktickými prínosmi a preto

**odporúčam jeho prácu k obhajobe  
vo vednom odbore Dopravní prostředky a infrastruktura**



V Košiciach, 14. 5. 2016

prof. Ing. Štefan Segľa, CSc.  
Strojnícka fakulta, TU Košice