

doc. Ing. Vladimír Goga, PhD.  
Ústav automobilovej mechatroniky  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Slovenská technická univerzita v Bratislave  
Ilkovičova 3, 841 04 Bratislava

## OPONENTSKÝ POSUDOK HABILITAČNEJ PRÁCE

### **Nová metodika vývoja gumo-kovových prvkov pre uloženie elektrických hnacích jednotiek s využitím redukovaných modelov s podporou neurónových sietí**

Habilitačnú prácu predložil: Ing. Ján Danko, PhD.

Oponentský posudok bol spracovaný na základe menovacieho dekrétu Dr. h. c. prof. Ing. Ľubomíra Šooša, PhD., predsedu Vedeckej rady Strojníckej fakulty STU v Bratislave zo dňa 15.10.2024.

#### 1. AKTUÁLNOSŤ TÉMY HABILITAČNEJ PRÁCE

Snaha o potlačanie vibrácií a hluku od hnacieho ústrojenstva vozidla bola a je stále aktuálnou témou vzhľadom na zvyšujúce sa nároky na bezpečnosť, komfort a pohodlie posádky vozidla. Narastajúci trend vo vývoji a výrobe elektromobilov prináša aj v tomto smere nové výzvy. Hnacie jednotky elektromobilov nedisponujú pohyblivými hmotami spaľovacích motorov, ktoré sú v klasických automobiloch hlavným zdrojom hluku a vibrácií, ale disponujú výkonnými elektromotormi a výkonovou elektronikou, ktorých pracovné frekvenčné spektrum dosahuje vyššie hodnoty. Vzhľadom k tomu je potrebné v procese návrhu gumo-kovových prvkov pre uloženie elektrických hnacích jednotiek vykonať viacnásobné analýzy vzhľadom na geometrické parametre, materiálové vlastnosti tlmiacej gumy a samozrejme pracovné statické a dynamické zaťaženie príslušného komponentu. Klasický prístup: koncept → CAD model → MKP analýzy je zdĺhavý iteračný proces a preto autor v predloženej práci predstavuje novú metodiku zameranú na využitie redukovaných modelov, ktorá umožní skrátiť čas vývoja tlmiacich gumo-kovových prvkov.

#### 2. SPÔSOB SPRACOVANIA A ZHODNOTENIE VÝSLEDKOV HABILITAČNEJ PRÁCE

Habilitačná práca je okrem Úvodu a Záveru rozdelená do siedmich kapitol.

V prvej a druhej kapitole autor stručne objasňuje význam a štandardný proces vývoja gumo-kovových prvkov (ďalej len GKP) pre uloženie elektrickej hnacej jednotky v elektromobiloch. Vysvetlený je rozdiel v šírení hluku a vibrácií elektromobilov v porovnaní s klasickými automobilmi so spaľovacím motorom, opísané sú rôzne typy GKP, ako aj možnosti

uchytenia elektrickej hnacej jednotky (ďalej len EHJ). Autor zároveň uvádza základné požiadavky na GKP a teoretickú analýzu výpočtu uloženia EHJ ako celku.

V tretej kapitole sú spísané ciele práce, ktorých náplň spočíva vo vytvorení redukovaných modelov využívaných pri vývoji a návrhu GKP. Redukované modely majú skrátiť čas v procese návrhu GKP tým, že ich použitie nahradí zdĺhavé statické a dynamické MKP analýzy viacerých návrhových variantov GKP.

Štvrtá kapitola je zameraná na vysvetlenie štandardného procesu vývoja GKP: koncept → CAD model → MKP analýzy. Objasnené sú tu aj materiálové modely pre nelineárne správanie sa gumových materiálov. Vysvetlený je proces tvorby redukovaných modelov, najmä pomocou metódy neurónových sietí.

Piata kapitola už priamo prezentuje proces tvorby redukovaného modelu pre zvolený geometrický tvar GKP vzhľadom na jeho meniace sa rozmery. Pre zvolený typ gumového materiálu boli vykonané statické a dynamické MKP analýzy slúžiace na "učenie" sa a následné testovanie redukovaného modelu.

V šiestej kapitole je predstavená aplikácia "ROM app" vytvorená v prostredí Matlab, ktorá realizuje výpočtový proces redukovaného modelu.

V siedmej kapitole je porovnanie výsledkov pre vybraný GKP redukovaného a štandardného MKP modelu s nameranými dátami. Redukovaný model dáva porovnateľné výsledky ako MKP model, ale jeho prednosťou je výrazné skrátenie výpočtového času a zároveň rýchlosť získania potrebných výsledkov pre rôzne kombinácie geometrických rozmerov GKP. Autor v práci uvádza, že časová náročnosť s využitím navrhnutého redukovaného modelu v porovnaní so štandardným procesom sa znížila o 70-80 %.

Môžem konštatovať, že práca je písaná zrozumiteľne a jednotlivé jej časti na seba logicky nadväzujú. Práca dáva ucelený obraz o problematike vývoja GKP a jasne vysvetľuje autorovu novú metódu vývoja GKP za pomoci redukovaného modelu vytvoreného použitím neurónových sietí.

Grafická úprava obrázkov, grafov a tabuliek je na dobrej úrovni. Je ale treba podotknúť, že v textovej časti sa vyskytujú v malej miere aj preklepy a gramaticky zle skloňované slová.

### 3. VLASTNÝ PRÍNOS A MOŽNOSTI VYUŽITIA VÝSLEDKOV HABILITAČNEJ PRÁCE

Prínosom práce je redukovaný model použiteľný pre návrh GKP, ktorý výrazne zrýchli proces vývoja a návrhu GKP v porovnaní s časovo náročnými MKP analýzami. Overenie modelu autor prezentuje na porovnaní s nameranými dátami zvoleného GKP.

Ďalší prínos vidím v predstavení metodiky tvorby prakticky využiteľného redukovaného modelu (v tomto prípade pre konkrétny konštrukčný prvok – GKP), ktorá môže byť použitá aj na iné technické aplikácie v oblasti aplikovanej mechaniky.

#### 4. PRIPOMIENKY A OTÁZKY K HABILITAČNEJ PRÁCI

##### Pripomienky:

- Str. 37 rovnica (2.4) – zle zapísané indexy deviačných momentov  $I_{zy}$  a  $I_{zz}$ .
- Str. 38 rovnica (2.8) – zle zapísané indexy lokálneho súradnicového systému  $u, v, w$  pri niektorých členoch matice smerových kosínusov.
- Str. 54 kap. 4.4.1 – V texte sa autor odvoláva na obr. 4.3, pričom je zrejmé, že by malo ísť o obr. 4.4.
- Str. 60 obr. 4.8 – Prehodený popis Vstupnej a Výstupnej vrstvy neurónovej siete.
- Str. 104 obr. 7.3 – V grafe nie sú uvedené názvy veličín na jednotlivých osiach.

Ako už bolo vyššie spomenuté, v práci sa malej miere vyskytujú aj preklepy a gramaticky zle skloňované slová. Uvedené pripomienky ale v žiadnom prípade neznižujú kvalitu práce.

##### Otázky:

- V kap. 4.3.1 sú spomenuté viaceré nelineárne materiálové modely pre gumové materiály. Mohli by ste opísať na praktickom príklade pre vami zvolený materiálový model, ako sa tento model použije v MKP programe, ak máte k dispozícii reálne dáta nameranej závislosti napr. sila-deformácia pre gumový materiál.
- Predchádzajúca otázka súvisí s parametrami Mooney-Rivlin modelu, ktoré uvádzate v tab. 5.5 (str. 78). Vedeli by ste na nejakej grafickej závislosti prezentovať porovnanie nameraných dát s modelom gummy s uvedenými parametrami?
- V kap. 5.4 prezentujete výsledky porovnania MKP analýz s výsledkami z experimentálneho merania pre špecifický GKP. Na obr. 5.2 je zobrazený fyzický komponent, jeho CAD model ako aj MKP model. Vhodné by bolo doplniť opis záťažových stavov vhodným obrázkom, aby bola lepšia predstava v akých smeroch dochádza k zaťažovaniu, lebo súradnicový systém na obr. 5.2 nie je kompletne viditeľný. Rovnako by bolo vhodné doplniť rozmerové parametre GKP, materiál gummy a použitý materiálový model. V tab. 5.2 sú uvedené výsledky 2-krát pre torznú tuhosť RZ, je to správne? Na obr. 5.3 je zobrazený graf pre statickú analýzu, kde na vodorovnej osi je frekvencia, je to správne? Vysvetlite aké záťažové testy resp. simulácie boli realizované a aký materiálový model gummy bol použitý.
- Ako by ste zhodnotili časový rozsah potrebný na tvorbu redukovaného modelu pre analýzu GKP? Mám na mysli, časový rozsah potrebný na realizáciu MKP analýz potrebných na učenie a testovanie redukovaného modelu.
- Vedeli by ste odprezentovať vašu aplikáciu “ROM app“?

#### 5. ZÁVER

Predložená práca preukazuje vedomosti autora a ich využitie v praktickej oblasti vedného odboru Aplikovaná mechanika a spĺňa kritéria habilitačnej práce.

Z predložených dokumentov k habilitačnému konaniu ďalej vyplýva, že autor práce Ing. Ján Danko, PhD. spĺňa požiadavky pre habilitačné konanie.

Habilitačnú prácu preto

**odporúčam**

na obhajobu vo vednom odbore Aplikovaná mechanika a po úspešnej obhajobe a splnení si podmienok v rámci habilitačného konania, odporúčam Ing. Janovi Dankovi, PhD. udeliť vedecko-pedagogický titul “docent“.

V Bratislave, 21.11.2024

doc. Ing. Vladimír Goga, PhD.  
oponent