



**Peer-reviewed  
Proceedings  
Vol. 25, 2022  
annually  
Vedecký  
recenzovaný  
zborník  
Roč. 25, 2022**

## **Použitie dynamického tlmiča na zlepšenie akustického komfortu automobilu**

**Ján HAŠKO, Ing. PhD.**

ZF Active Safety Slovakia, Nové Mesto nad Váhom

e-mail: [jan.hasko@zf.com](mailto:jan.hasko@zf.com)

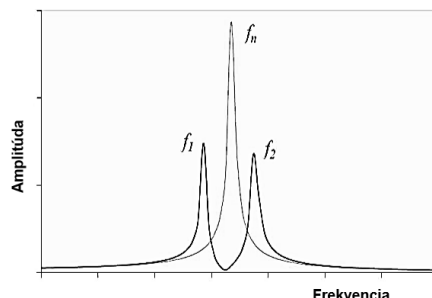
### **Úvod**

Aj napriek využitiu rôznych moderných metód akustickej optimalizácie, aplikovaných v rámci vývoja vozidiel a ich komponentov, sa často vo finálnej fáze riešenia konštrukcie automobilov a ich komponentov prejavia rôzne nežiadúce akustické prejavy, významne zhoršujúce akustický komfort vozidiel. Jedným z často využívaných spôsobov riešenia týchto problémov je použitie tzv. dynamických tlmičov (TMD – tuned mass damper). Nie je to ideálne riešenie, bežne je však možné tieto tlmiče na vozidlách nájsť napr. na kľukovom hriadelí spaľovacích motorov, hnacích hriadeloch, paneloch karosérie, kotúčových brzdách, výfukovom systéme, volante, radiacej páke a pod.

### **Popis riešeného problému**

V nedávnej minulosti sme tiež boli postavení pred riešenie podobného problému. Bolo potrebné eliminovať rušivý zvuk, ktorý sa prejavil vo finálnej fáze vývoja systému riadenia a jeho zabudovania do vozidla. Tento zvuk sa prejavoval počas testovacej procedúry, simulujúcej vykonávanie parkovacích manévrov (otáčanie volantu pri stojacom vozidle približne konštantnými otáčkami 30, 45, 60, 75, 90 ot./min.), približne pri otáčkach volantu 41 ot./min. Analýzou problému (najmä využitím analýzy prenosových ciest a experimentálnej modálnej analýzy) bolo zistené, že z hľadiska výskytu nežiadúceho zvuku v interiéri vozidla dominuje prenos prostredníctvom vibrácií prenášaných štruktúrami vozidla (najmä pomocného rámu, na ktorom je upevnený systém riadenia). Tento prenos je navyše zosilnený vybudením vlastnej frekvencie ohybového kmitania pomocného rámu vo zvislom smere (cca 431 Hz). Dominantným zdrojom budenia tohto kmitania je elektromotor systému riadenia a to najmä prostredníctvom jeho frekvenčnej zložky odpovedajúcej 24. rádu (to zodpovedá frekvencii 405 Hz pri problematických otáčkach volantu 41 ot./min.). Z hľadiska možného

riešenia tohto problému bolo overované použitie TMD na potlačenie rezonancie pomocného rámu budenej elektromotorom systému riadenia v oblasti problematických otáčok volantu. Účinkom TMD sa všeobecne problémový rezonančný vrchol rozdelí na dva menej významné vrcholy (Obr. 1).



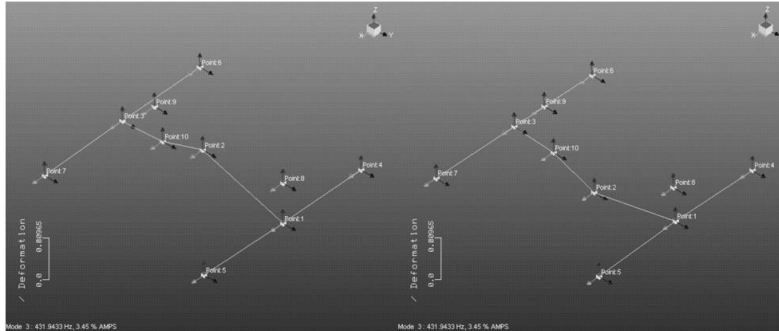
Obrázok 1 – Účinok TMD na problémovú rezonanciu všeobecne.

### Návrh a aplikácia vhodného TMD

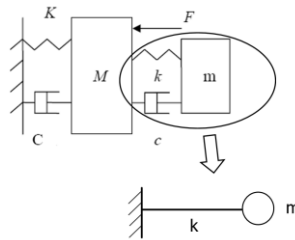
Experimentálnou modálnou analýzou pomocného rámu so systémom riadenia na vozidle bola identifikovaná prvá vlastná frekvencia tohto rámu vo zvislom smere ako i poloha príslušnej kmitne (Obr. 2). Navyiac bola tiež overená dostatočná tuhosť pomocného rámu v oblasti tejto kmitne a zistená tzv. efektívna modálna hmotnosť (t. j. hmotnosť v systéme s jedným stupňom voľnosti, ktorá spolu s príslušnou tuhosťou a tlmením vedie ku krivke frekvenčnej odozvy, ktorá sa tesne zhoduje s nameranou krivkou frekvenčnej odozvy). Následne boli využitím literatúry [1], [2] vhodne zvolené a vypočítané parametre TMD, podľa nižšie zobrazenej schémy (Obr. 3). Z hľadiska jednoduchej výroby komponentov TMD bola zvolená konštrukcia zložená z nosníka namáhaného na ohyb a zo závažia upevneného pomocou skrutky na konci tohto nosníka. Poloha závažia bola, z dôvodu presného naladenia TMD na požadovanú frekvenciu, nastaviteľná v pozdĺžnom smere. TMD bol na voľnom konci nosníka, pomocou lepidla, upevnený do vyššie uvedenej kmitne pomocného rámu (Obr. 4). Bola zvolená hmotnosť závažia odpovedajúca minimálnemu doporučovanému pomeru ( $\mu = 0,05$ ) pridanej hmoty tlmiča a efektívnej modálnej hmotnosti pomocného rámu (zodpovedajúca jeho najnižšej ohybovej vlastnej frekvencii vo zvislom smere 431 Hz). Menšia hmotnosť závažia síce znižuje účinnosť TMD, ale zlepšuje možnosti na jeho vhodné umiestnenie a tiež je spojená len s minimálnym zvýšením hmotnosti vozidla. Základné parametre použitého TMD sú v Tabuľke 1.

Tabuľka 1 – Zvolené a vypočítané parametre TMD.

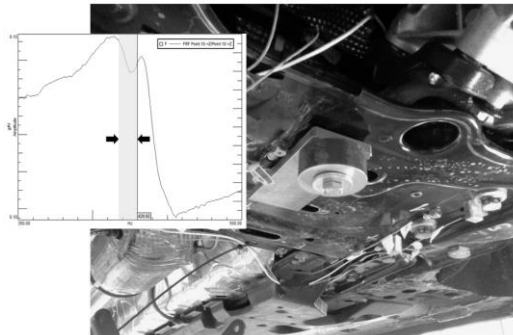
Parameter TMD	Hodnota
Hmotnosť závažia [kg]	0,575
Ohybová tuhosť nosníka [N/mm]	4212
Pomerný útlm [%]	3,45
Optimálny pomerný útlm pre $\mu = 0,05$ [%]	12,7
Optimálna vlastná frekvencia TMD [Hz]	410



Obrázok 2 – Vlastný tvar kmitania pre vlastnú frekvenciu 431 Hz – krajné polohy.



Obrázok 3 – Schématické zobrazenie TMD.

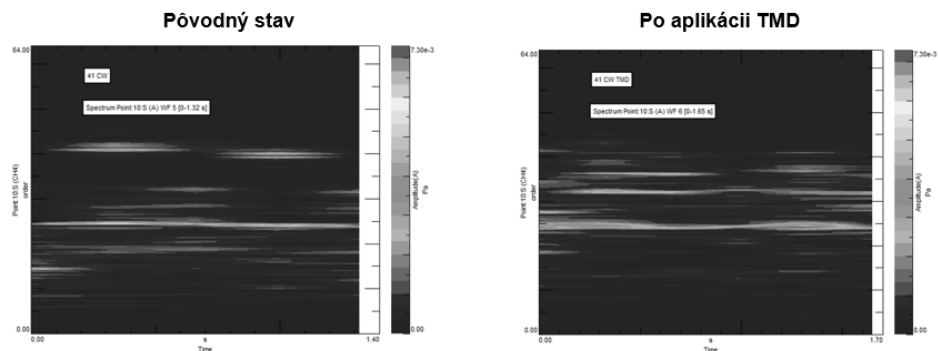


Obrázok 4 – Umiestnenie TMD a frekvenčná odozva systému s TMD.

## Zhodnotenie prínosu aplikácie TMD

Z hľadiska posúdenia prínosu aplikácie TMD boli využitím rádovej analýzy porovnané maximálne amplitúdy akustického tlaku v interiéri vozidla (merané pri ľavom uchu vodiča) a maximálne amplitúdy zrýchlenia vibrácií v oblasti kmitne prvého vlastného tvaru kmitania pomocného rámu vo zvislom smere pred a po aplikácii TMD, pre problematické otáčky volantu (41 ot./min.). Na obrázku nižšie (Obr. 5) je možné vidieť takéto porovnanie z hľadiska akustického tlaku v mieste vodiča. Z porovnania multispektier je zrejmé mierne zlepšenie problému spojeného s výskytom rušivého zvuku v interiéri vozidla po aplikácii TMD (podobne to platí i čo sa týka meraného zrýchlenia). Toto zlepšenie bolo potvrdené aj subjektívnym hodnotením, ktoré vykonal skúsený technik. Samozrejme pri sériovom riešení, s využitím vhodného elastoméru (predstavuje

ako pružinu tak i tlmič), by bolo možné ešte viac sa priblížiť ku optimálnej vlastnej frekvencii TMD a najmä jeho optimálnemu tlmeniu (je takmer 4-krát vyššie ako pri použití TMD) a tak ďalej výrazne zlepšiť jeho účinnosť. Z hľadiska umiestnenia by bolo vhodné zabudovať TMD priamo do dutiny pomocného rámu, ktorý je vyrobený zo zvarových plechových výliskov.



Obrázok 5 – Porovnanie multispektier akustického tlaku v mieste vodiča pre problematický režim.

## Záver

Koncept využitia TMD pri riešení nežiadúcich zvukov vozidiel nie je nový. Použitie TMD nie je ideálnym konštrukčným riešením, v mnohých prípadoch však predstavuje optimálne rozhodnutie z hľadiska nákladov, rýchlosti nasadenia, minimálneho ovplyvnenia hmotnosti vozidla a pod. Pri návrhu reálneho robustného riešenia by však bolo vo vyššie uvedenom prípade potrebné ďalej zohľadniť i vplyv teploty, druh elastoméru a pod. Okrem vlastného riešenia je potrebné zabezpečiť i sériovú výrobu navrhnutých TMD. Z tohto dôvodu výrobcovia vozidiel obyčajne pri nasadení TMD využívajú služby renomovaných spoločností v tejto oblasti ako sú napr. Trelleborg AVS, ESM a pod.

## Literatúra

- [1] Chen, X.: Optimization and estimation routine for tuned mass damper. Master's Degree Thesis, BTH, Dep. of Mechanical Engineering, Karlskrona, SE, 2010
- [2] Aubert, A., Howle, A.: Design issues in the use of elastomers in automotive tuned mass dampers. SAE Noise & Vibration Conference Proceedings, Traverse City, MI, 2007

## Resumé

**Application of a tuned mass damper for improvement of the car acoustic comfort.** The quality of the vehicles is perceived by the customer to a large extent also through the acoustic comfort. Despite the use of various modern acoustic optimization methods, applied in the development of vehicles and their components, various undesirable sounds often appear in the final phase of the construction verification of automobiles and their components. One from the frequently used ways how to solve these problems is to use the tuned mass dampers (TMD). The paper is focused on the verification of the implementation of TMD in connection with the elimination of disturbing sound of the electric power steering system. The use of TMD is not an ideal design solution, but in many cases, it is an optimal decision from point of view cost, speed of deployment, minimal impact on the weight of the vehicle and so on.

## Podakovanie

Ďakujem vedeniu spoločnosti ZF Active Safety Slovakia s. r. o. v Novom Meste nad Váhom, že mi umožnilo účasť a prezentáciu interných materiálov spoločnosti na tomto podujatí.