



Zdokonalenie dynamických vlastností auta podľa smeru vývoja techniky

F. Paľčák¹

¹ Slovenská Technická Univerzita, Bratislava, e-mail: frantisek.palcak@stuba.sk

Súhrn Európska únia vyžaduje, aby členské štáty upravili svoje vnútroštátne právne predpisy podľa záväznej smernice o kmitaní na ochranu zdravia a bezpečnosti [4]. V príspevku je opis vývoja techniky ako pri prejazde nerovností zmenšiť vplyv nežiaduceho budenia na zmenu polohy nadstavby auta. Ide o prechod od prednastavených (pasívnych) vlastností mechanického pruženia k prispôsobivému (aktívnemu) mechatronickému odpruženiu. Nové prelomové riešenie bez ústupkov využíva pravidlá, postupy a nástroje prístupu TRIZ. Prispôsobivé auto poskytuje súčasne čo najlepšie jazdné pohodlie aj jazdnú bezpečnosť.

Kľúčové slová: dynamika, jazdné pohodlie, jazdná bezpečnosť, prístup TRIZ

1 Vplyv kmitania na vodiča auta

Napriek neustálemu zlepšovaniu vlastností osobných aj úžitkových áut sa množia havárie, ktorých príčinou bol mikrosprávok vodiča, napriek tomu, že dodržal predpísaný čas na oddych. Príčinou toho, že sa vodič unaví pri jazde aj pri čakaní na hraniciach pri voľnobehu motora môže byť aj to, že nízkofrekvenčné budenie od cesty (pod 8 Hz) a vysokofrekvenčné budenie od motora pri voľnobežných otáčkach (nad 20 Hz) pôsobí na neho nežiaduco.

Ak sa totiž budenie nachádza v oblasti vlastných frekvencií vnútorných orgánov (oči: 20-25 Hz, žalúdok: 3-8 Hz, ...), tak hoci si to vodič neuvedomuje, snaha vnútorných orgánov znížiť svoje výkmity môže po niekoľkých hodinách vyvolať únavu a znížiť pozornosť vodiča natoľko, že spôsobí haváriu. Človek je najcitlivejší na kmitanie v oblasti 4-8 Hz, preto základnou požiadavkou na dynamické vlastnosti auta z pohľadu jazdného pohodlia pre človeka v aute je treba auto navrhnuť tak, aby bola frekvencia budenia mimo tejto oblasti. Zvislé jazdné pohodlie sa týka schopnosti vozidla pohltiť budenie od cesty tak, aby bolo kmitanie nadstavby auta čo najmenšie.

Základným meradlom hodnotenia jazdného pohodlia podľa ISO 2631 [4] je stredná kvadratická odchýlka $RMS(a_w)$ hodnoty váženého zrýchlenia a_w :

$$RMS(a_w) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_1^N a_w^2(n)} \quad (1)$$

kde N je celková dĺžka úsekov n záznamu,

$$a_w^2 = \sum_i k_i^2 a_{wi}^2 \quad (2)$$

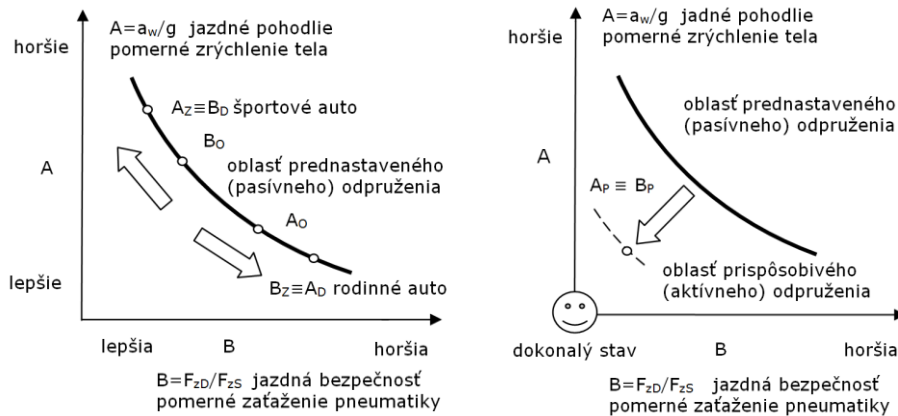
k_i zohľadňuje dôležitosť jednotlivých miest pôsobenia

$$a_{wi} = \sqrt{\int_0^\infty \phi_i(\omega) d\omega} \quad (3)$$

kde

$$\phi_i = C_i^2 W_i^2(\omega) |H_i(\omega)|^2 G_u(\omega) \quad (4)$$

je spektrálna výkonová hustota (PSD) budenia, C zohľadňuje náhodné budenia, W_i je funkcia vplyvu frekvencie, H_i je prenosová funkcia budenia od bodu dotyku kolesa s cestou do miesta i a G_u je PSD budenia od cesty. Prípustná hodnota jazdného pohodlia podľa British Standard (BS) 6841 je $RMS(a_w) < 0.315 (m/s^{-2})$. Na Obr.1a je jazdné pohodlie (A) ako pomerná hodnota zrýchlenia tela $A = a_w/g$.

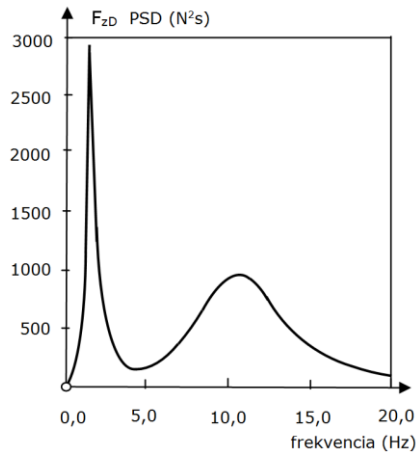


Obr.1 Rozpor medzi jazdným pohodlím (A) a jazdnou bezpečnosťou (B) pre a) prednastavené-pasívne odpruženie a pre b) prispôbivé-aktívne odpruženie.

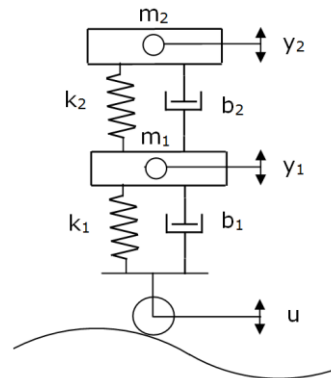
Jazdná bezpečnosť (B) je na Obr.1b ako pomerné zaťaženie pneumatiky $B = F_{zD}/F_{zS}$, kde F_{zD} je dynamická normálová sila v pneumatike a F_{zS} je statické zaťaženie. Normálovú dynamickú silu F_{zD} získame zo vzťahu:

$$F_{zD} = m_{wh}g + c(l_f\varphi_y - u_z) + d(l_f\dot{\varphi}_y - \dot{u}_z) \quad (5)$$

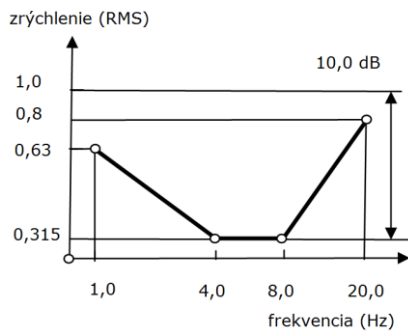
kde m_{wh} je hmota kola, g je gravitačné zrýchlenie, l_f je vzdialenosť ťažiska od prednej osi, c je tuhosť pružiny a d je súčiniteľ tlmenia, u_z , resp. \dot{u}_z je zvislé premiestnenie, resp. rýchlosť ťažiska auta, φ_y je uhol klonenia a $\dot{\varphi}_y$ je uhlová rýchlosť klonenia auta okolo priečnej osi.



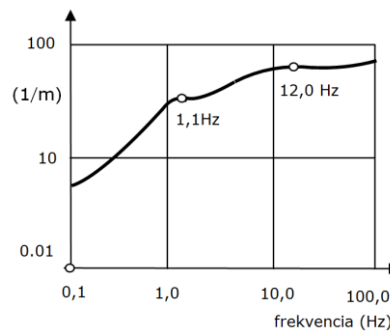
Obr.2 PSD dynamickej sily F_{zD} pneumatiky.



Obr.3 Dvojhmotné pasívne odpruženie.



Obr.4 Priebeh vnímania pôsobenia kmitania.



Obr.5 Priebeh frekvenčnej odozvy auta.

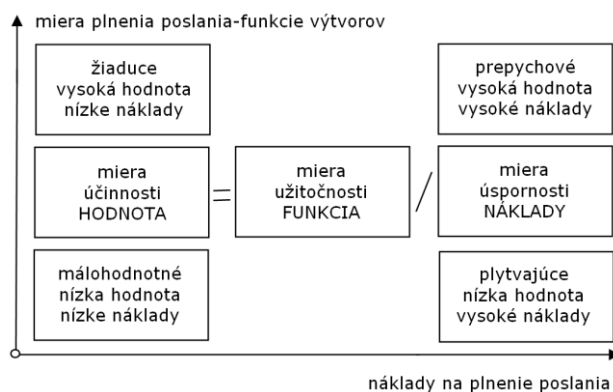
Vodič je citlivý na kmitanie tam, kde auto poskytuje nízke jazdné pohodlie (A): v pásme okolo 1-2 Hz (vlastná frekvencia odpruženia nadstavby auta) a okolo 6-8 Hz (vlastná frekvencia odpruženia kola) teda práve tam, kde sú najvyššie

hodnoty PSD sily pôsobiacej na pneumatiku, čo je potrebné pre jazdnú bezpečnosť (B), [3]. Špičky v priebehu PSD na Obr.2 sú nežiaduce, lebo znižujú jazdné pohodlie (A) vodiča. Najväčší vplyv (70%) na jazdné pohodlie (A) majú vlastnosti hlavného tlmiča a najväčší vplyv (70%) na jazdnú bezpečnosť (B) má tuhosť pneumatiky [2].

Úroveň zdokonalenia-hodnoty odpruženia auta hodnotíme podľa miery poskytovania jazdného pohodlia (A) a jazdnej bezpečnosti (B). Nemenné prednastavenie vlastností pasívneho odpruženia auta je vždy len ústupkom pre splnenie protichodných požiadaviek na jednej strane na jazdné pohodlie (A) podľa daného stavu cesty a na zaťaženie zavesenia pre jazdnú bezpečnosť (B) na strane druhej.

Keď sa vývojári auta snažili zlepšiť jazdné pohodlie (A) aby bolo bez náhlych zmien polohy nadstavby auta (s čo najmenším zrýchlením), tak sa zhoršovala jazdná bezpečnosť (B) s nežiaducou možnosťou odskokov kolies. Takto vznikol pojem rodinné auto, ktoré má dobré jazdné pohodlie (A_D) na Obr.1a ale zlé jazdnú bezpečnosť (B_Z) a športové auto, ktoré má dobrú jazdnú bezpečnosť (B_D), lebo plní požiadavku aby sa koleso pri jazde neustále dotýkalo cesty bez odskokov, ale má zlé jazdné pohodlie (A_Z).

Za jedinú možnosť ako zdokonalit' odpruženie auta sa dlho považovala optimalizácia, ktorej výsledkom sú ale ústupky-kompromisy: optimálne rodinné auto (A_O) alebo optimálne športové auto (B_O). Výzvou pre prelomové zdokonalenie dynamických jazdných vlastností auta bez ústupkov je prekonať rozpor: protichodné jazdné pohodlie (A) a jazdná bezpečnosť (B) a dosiahnuť súčasne čo najlepšie jazdné pohodlie a jazdnú bezpečnosť ($A_P \equiv B_P$) na Obr.1b.



Obr.6 Hodnota výtvoru je miera úspornosti vynaloženia nákladov na plnenie poslania-funkcie.

2 Zákony a postupy prístupu TRIZ

Označenie TRIZ znamená: Teória ako nápadito riešiť vynálezcovské zadania. Altšuller [1] po preskúmaní úspešných patentov zovšeobecnil v prístupe TRIZ zákonitosti vynaliezania, ktoré sú východiskom pre nástroje na rozboru-analýzy a tvorbu-syntézu prelomových novinek. Dôležitým poslaním prístupu TRIZ je odhaliť zákonitosti vývoja techniky, ktoré vychádzajú zo zákona najmenšieho účinku. Preto má všetko v prírode vrodenu snahu dostať sa čo najbližšie k nedosiahnuteľnému cieľu, ktorým je dokonalá účinnosť ako výsledok dokonalej užitočnosti a dokonalej úspornosti (Obr.6).

Prístup TRIZ umožňuje zdokonaľiť výtvary s vysokou účinnosťou, lebo namiesto hľadania ústupkov sa prekonaním rozporov zameriava na súčasné splnenie protichodných požiadaviek. Podstatou všeobecne použiteľného postupu (potreba, prínosy, postup, použitie) pri cieľavedomom zdokonalení výtvarov v prístupe TRIZ je vyhľadať a odstrániť rozpory:

- Vyzývaci rozpor (riadiaci rozpor na úrovni zámeru zdokonaľiť výtvar) nastane keď riaditeľ vyzve vývojárov aby zdokonalili jazdné vlastnosti auta tak, aby bolo úspešnejšie na trhu. Je to rozpor medzi požiadavkou zdokonaľiť auto a chýbajúcimi podmienkami (treba pomenovať ciele, nadobudnúť znalosti o postupoch a zabezpečiť zdroje). Zásadou pre prekonanie vyzývacieho rozporu je, že treba vyhľadať a odstrániť celkový rozpor (globálny technický rozpor na úrovni celku).
- Celkový rozpor (globálny technický rozpor) vzniká vtedy, keď sa zlepšením jednej časti: jazdné pohodlie (A) na úrovni nadstavby auta zhoršuje druhá časť výtvaru: jazdná bezpečnosť (B) na úrovni kolesa auta. Zásadou pre prekonanie celkového rozporu je, že treba vyhľadať a odstrániť miestny rozpor (lokálny fyzikálny rozpor medzi protichodnými vlastnosťami na úrovni jednej časti auta).
- Miestny rozpor (lokálny fyzikálny rozpor) nastáva na úrovni vlastnosti jednej časti auta (odpruženie nadstavby auta), ktorá by mala mať pri prejazde nerovnosti súčasne protichodné vlastnosti (zabezpečiť nulovú zmenu sily prenášanej do nadstavby pre žiaduce nulové výchylky nadstavby a zároveň zabezpečiť nenulovú zmenu sily pre žiaduci prítlak kolesa na cestu), aby zabezpečila splnenie požiadaviek na úrovni celku, teda dosiahnuť súčasne čo najlepšie jazdné pohodlie aj jazdnú bezpečnosť ($A_p \equiv B_p$) na Obr.1b.

Odborník na autá, ktorý pracuje bez znalostí prístupu TRIZ využíva na splnenie protichodných požiadaviek len okruh svojich znalostí, preto sa snaží na odstránenie miestneho rozporu použiť nové zdroje (prídavné zariadenia na vyvolanie sily), čo ale nežiaduco zvyšuje náklady (na Obr.6 vysoká hodnota za vysoké náklady). Výsledkom je účinné ale drahé zariadenie Magic Body Control (MBC) [5] s ka-

merou na snímanie nerovností na ceste pre sústavu Active Body Control (ABC), ktorá riadi hydraulické piesty, aby rýchlo a nezávisle nastavili vlastnosti oceľových vinutých pružín v zavesení kolies podľa povrchu cesty, čo zabezpečí súčasne jazdné pohodlie aj jazdnú bezpečnosť ($A_p \equiv B_p$) na Obr.1b.

Poslaním odborníka na prístup TRIZ je viesť odborníka na autá, aby sa snažil splniť protichodné požiadavky podľa postupov a nástrojov, ktoré vychádzajú zo Zákona zdokonaľovania. Ukáže ako cielene hľadať podnety v úspešných patentoch zo všetkých oblastí poznania a upozorní, že na odstránenie miestneho rozporu treba využiť miestne zdroje (hnací a brzdný moment) čo umožní dosiahnuť vysokú hodnotu za nízke náklady (Obr.6).

Na Obr.7 sú kroky vývoja prelomového zdokonalenia odpruženia auta od prednastavených (pasívnych) vlastností mechanického odpruženia k hydraulickému odpruženiu so samočinnou prispôsobivou zmenou vlastností magnetoreologickej kvapaliny, k hydropneumatickému odpruženiu, k prispôsobivému (aktívnemu) odpruženiu s elektronickým riadením zmien vlastností a s úsporným spätným získaním (rekuperáciou) elektrickej energie z lineárnych elektromotorov odpruženia do kondenzátorov až po najnovšie zabránenie vzniku nežiaducich pohybov nastavenie auta (nadmášanie a stáčanie okolo zvislej osi, hojďanie okolo bočnej osi a kolísanie okolo pozdĺžnej osi) pre žiaduce jazdné pohodlie (A) riadenými rýchlymi zmenami hnacích a brzdných momentov elektromotorov pôsobiacich na kolesá (LEAF [6]), ktoré zároveň zabezpečia potrebný prítlak kolies na cestu pre žiaducu jazdnú bezpečnosť (B).



Obr.7 Jednotlivé kroky vývoja k prelomovému zdokonaleniu odpruženia auta.

6 Zhodnotenie

Príklad využitia prístupu TRIZ na zdokonalenie dynamických vlastností auta v tomto príspevku vysvetľuje prečo úspešné univerzity a podniky už začlenili do vzdelávania a výskumu počítačovú podporu tvorby prelomových novinek (Computer Aided Innovation - CAI), ktorá vychádza z prístupu TRIZ.

Prínosom TRIZ prístupu je, že vedie k získaniu potrebného medziodborového prehľadu, k lepšiemu usporiadaniu a využitiu doterajších znalostí. Výsledkom spolupráce podnikových odborníkov s odborníkmi-majstrami na prístup TRIZ sú patentovateľné prelomové novinky.

PodĎakovanie Tento príspevok vznikol v rámci plnenia cieľov občianskeho združenia TRIZ SK (www.triz.sk) vĎaka podpore spoločnosti SOVA Digital, a.s., Bratislava.

Odkazy

1. Altshuller, G. S.: 40 Principles: TRIZ Keys to Technical Innovation. *Translated by Lev Shulyak, Technical Innovation Center, Worcester, MA.*, 1998.
2. Kvasnička, P., Palčák, F.: Optimization of the suspension damper on a quarter car model using ride comfort criteria in a multiobjective function, *Strojnícky čas.* 55, č.2, 2004, pp.15.
3. Strandemar, K.: On Objective Measures for Ride Comfort Evaluation, *Royal Institute of Technology (KTH)*, ISSN 1404-2150, Sweden, 2005
4. Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1: General requirements, *ISO 2631*, 1997, Directive EU 2002/44/EC – vibration,
5. <http://www.cartrade.com/blog/2015/car-automobile-technology/mercedes-active-body-control-1462.html>
6. http://www.nissan-global.com/new_chassis_control.html (2013), Intelligent Mobility (2016).