

**DYNAMIC EFFECTS ANALYSIS OF TIRE MODELS SIMULATIONS****J. Blekta<sup>\*</sup>, J. Mevald<sup>\*</sup>**

**Summary:** *In the first part of the article, there is a two-dimensional model of the tire consisted of discrete system of tyre-casing masses connected by visco-elastic constrains in the software Working Model 2D. The second part gives a three-dimensional model of a car with trailer in the software MSC.ADAMS using module Car and Tire. Force effects transmitted by towing bracket while crossing known terrain obstacle are solved.*

**1. Úvod**

Simulační modely vozidel vycházející z matematického popisu pohybových rovnic obvykle zjednodušují kontakt mezi kolem a vozovkou na bodový styk, kde silové účinky se omezují na složky působící ve svislém směru, viz např. Vlk (2000), příp. Venhovens (1992), aj. Toto zjednodušení většinou postačuje u některých čtvrtinových modelů vozidla, popř. u modelů s řízenými vibroizolačními členy, kde síly ve směru jízdy, popř. v příčném směru jsou méně významné (Venhovens, 1992; Raviteja & Srinivasa, 1996).

Vliv příčných silových účinků působících mezi pneumatikou a vozovkou zřejmě nelze zanedbat při vyšetřování dynamiky brzděného či zrychlovaného vozidla, při zatačení, ale také při přejezdu nerovností vozovky. V těchto případech síly ve směru jízdy či v příčném směru významně namáhají závěsy kol a vyvolávají zrychlení v příslušných směrech. Zpřesněný matematický, popř. simulační model vozidla v těchto případech by měl vycházet z odpovídajícího modelu pneumatiky. Zpřesnění přináší např. diskretizovaný rovinný model pneumatiky s radiální deformací (avšak bez obvodové deformace), který je společně s výsledky simulací a měření uveden v práci Dinh Van Phong & Apetaur (1993).

**2. Diskretizovaný rovinný model pneumatiky s radiální a obvodovou deformací**

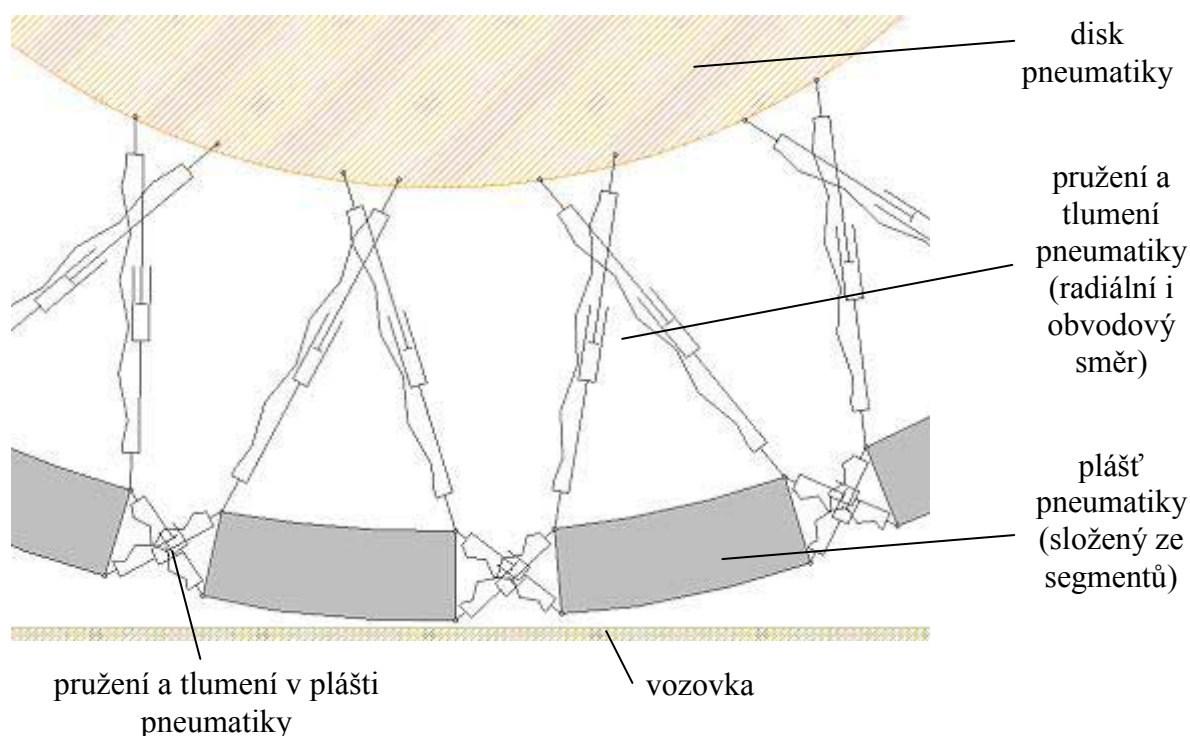
V programovém prostředí WM2D lze poměrně snadno sestavit rovinný simulační model kola s pneumatikou, který je vytvořen z diskretizovaného systému hmot navzájem spojených viskoelastickými vazbami, jak je patrné z obr.1. Plášť se skládá ze segmentů, u kterých se definuje jednak součinitel restituace, jednak součinitel smykového tření za klidu, resp. za pohybu. Z měření radiálních a obvodových deformací by bylo možné stanovit odpovídající

---

<sup>\*</sup> Ing. Jiří Blekta, Doc. Ing. Josef Mevald, CSc.: Katedra mechaniky, pružnosti a pevnosti, Fakulta strojní, Technická univerzita v Liberci; Hálkova 6; 461 17 Liberec 1; tel.: +420 485 354 148; e-mail: [jiri.blekta@vslib.cz](mailto:jiri.blekta@vslib.cz)

tuhosti a úhly sklonu pružných vazeb, resp. z měřeného doznívání volných kmitů přibližně určit koeficienty ekvivalentního tlumení ve vazbách, popř. upravit koeficienty restituce u hmotných segmentů.

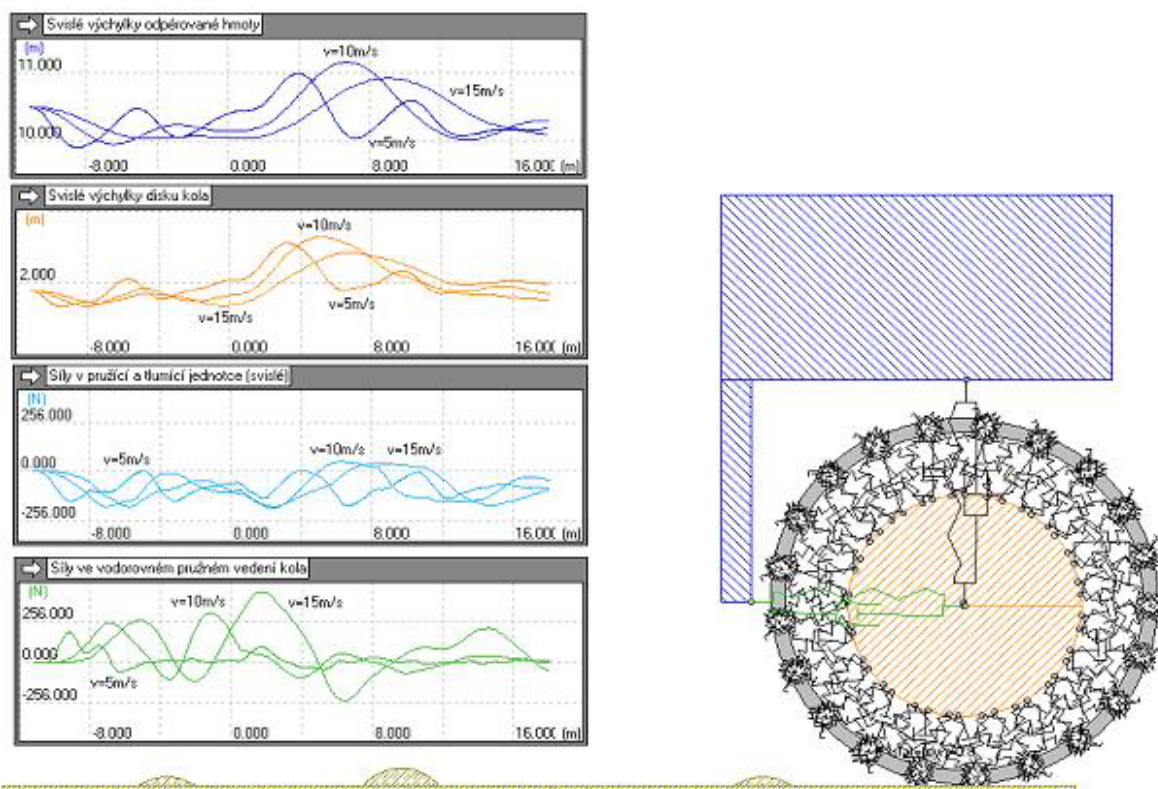
Je zřejmé, že reálná pneumatika je velice složitý systém, jehož výstižný popis může být značně složitý a závislý na celé řadě parametrů, m.j. na materiálu a konstrukci pneumatiky, tlaku v pneumatice, na teplotě a povrchu vozovky, atd. Naší snahou bylo vytvořit relativně jednoduchý rovinný model, který by vystihoval chování pneumatiky s ohledem na lokální i celkovou poddajnost v radiálním a v odvodovém směru. Takový model pneumatiky umožňuje u rovinných modelů vozidel významně zpřesnit přenos silových účinků od vozovky přes pneumatiku na neodpěrovanou a odpěrovanou hmotu v porovnání s modely s bodovým stykem mezi kolem a vozovkou.



Obr. 1 Detail diskretizovaného modelu pneumatiky v prostředí WM2D

Simulační experimenty provedené s výše popsaným modelem pneumatiky u rovinných modelů vozidla potvrzují možnosti využití při vyšetřování dynamických účinků při přejezdu nerovností vozovky, popř. při nestacionárních režimech, jako je brzdění a zrychlování vozidla. Méně výhodné pro simulační prostředí WM2D se jeví vytvoření modelu s radiálními a obvodovými směry pružných a viskózních vazebních členů, přestože se zdá snazší zavádění příslušných koeficientů z měření na pneumatice.

Pro stručnost a názornost je v pravé polovině obr. 2 uveden pouze čtvrtinový model vozidla s výše popsaným diskretizovaným modelem pneumatiky (obr.1), který kromě obvodově rozložené diskretizované hmoty pláště obsahuje tzv. neodpěrovanou hmotu (tuhý disk s příslušnými dalšími hmotami) a odpěrovanou hmotu (přibližně čtvrtina hmotnosti odpěrované části automobilu). Neodpěrovaná hmotu s odpěrovanou je kromě svisle orientované pružiny a tlumiče automobilu propojena též relativně tuhým vodorovným vedením, které umožňuje podchytit vodorovné složky sil, které jsou během jízdy přenášeny do karoserie. Tyto síly narůstají zejména při kontaktech s nerovnostmi vozovky, při akceleraci a brzdění. Vedení odpěrované hmoty ve svislém směru (bez tření) není na obr. 2 zobrazeno.



Obr. 2 Čtvrtinový model automobilu s rovinným diskretizovaným modelem pneumatiky

Simulace přejezdu daných nerovností vozovky ve tvaru kruhového oblouku byla počítána pro tři různé rychlosti:  $5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a  $15\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Kinematické buzení zde zajišťuje relativní pohyb vozovky vzhledem ke svisle vedené odpérované hmotě vozidla.

Z vypočtených průběhů sil v levé polovině obr. 2 je zřejmé, že síla přenášená ve vodorovném vedení kola významně roste s rychlostí přejezdů daných nerovností. Proto je nezbytné používat dostatečně výstižné modely pneumatiky při simulacích dynamických systémů vozidel, kde složky sil ve směru jízdy mají podstatný vliv na sledované veličiny. Jedním z takových případů je např. vyšetřování silových účinků, popř. namáhání tažného zařízení vozidla s připojeným vlekem.

### 3. Model automobilu spojený tažným zařízením s vlekem (3D model pneumatik)

Simulace dynamických účinků na tažném zařízení byla prováděna v prostředí MSC ADAMS/Car. Jedná se o speciální modul softwaru MSC.ADAMS, který je uzpůsoben pro výpočty a simulace v oblasti automobilového průmyslu.

V tomto prostředí byl vytvořen prostorový model automobilu. Rozměrově tento model odpovídá vozu Škoda Fabia. Vzhledem k tomu, že se nepodařilo získat potřebné tuhostní a tlumicí charakteristiky předních a zadních jednotek, byly pro potřeby výpočtu použity charakteristiky z vozu Škoda Favorit. Ty jsou známy již z dřívějších měření. Také některé dynamické vlastnosti byly převzaty z měření, která se uskutečnila na voze Škoda Favorit (poloha těžiště, momenty setrvačnosti). Zadní náprava automobilu je modelována jako pružné těleso (flexible).

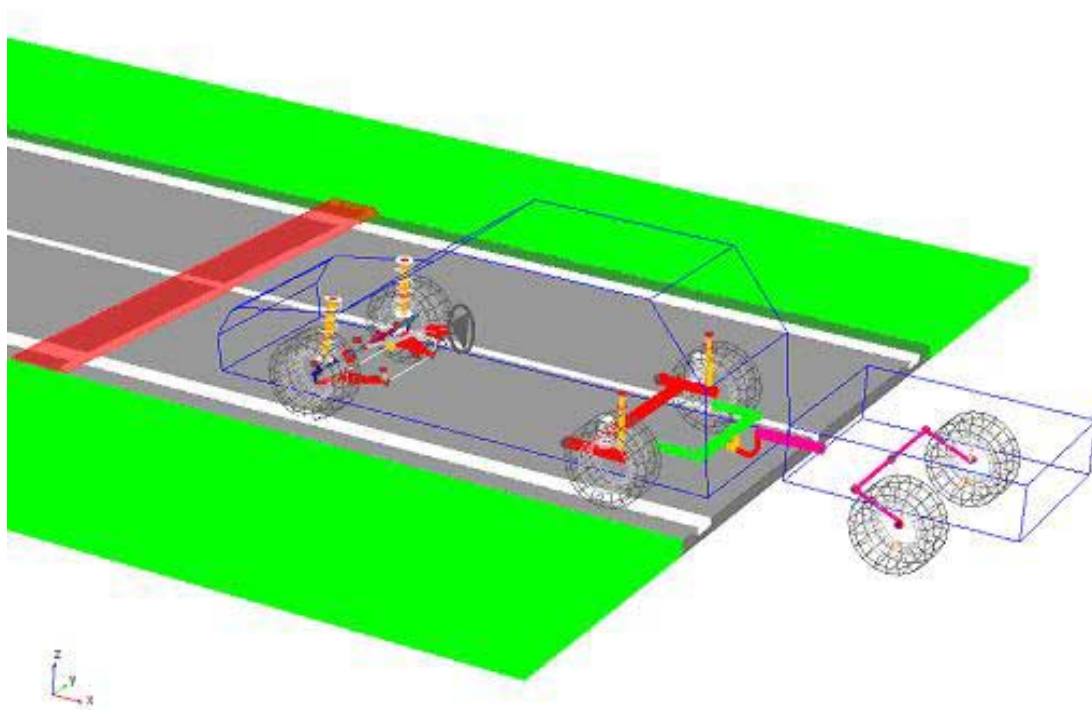
Prostředí modulu Car obsahuje několik zjednodušených 3D modelů pneumatiky. Pro naše účely byl zvolen Fialův model. Vstupní parametry pneumatik jsou většinou převzaty z dřívějších měření v hydrodynamické laboratoři, nebo jsou pro potřeby simulace odhadnuty.

K prostorovému modelu vozidla je dále vytvořen model přívěsu. Tuhostní a tlumicí charakteristiky pružin a tlumičů vycházejí z příslušných hodnot pro zadní nápravu. Náprava přívěsu je vytvořena pomocí dvou tuhých částí, které jsou v ose přívěsu spojeny pružným členem. Ten umožňuje definovat translační i torzní hodnoty tuhosti a tlumení. Také pro přívěs byl použit Fialův model pneumatiky.

Dále model obsahuje tažné zařízení, pomocí něhož je přívěs připojen k vozidlu. Tažné zařízení osobního automobilu se skládá z několika částí. Základem je příčný nosník, který je tvořen uzavřeným dutým profilem obdélníkového tvaru. Na obou koncích nosníku jsou přivařeny ploché držáky pro přišroubování tažného zařízení ke karoserii automobilu. V ose vozidla je k příčnému nosníku připevněn hák. Příčný nosník i hák jsou modelovány jako pružné prvky. Konečněprvková síť byla vytvořena taktéž v prostředí MSC.ADAMS/Car, a to pomocí modulu AutoFlex.

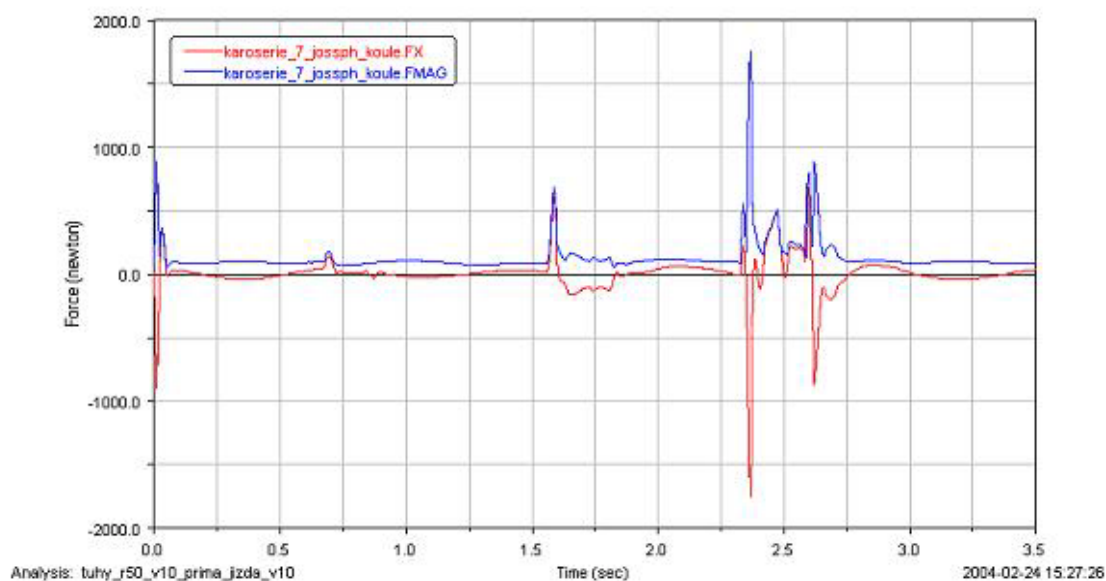
Na vozovce je ve vzdálenosti 1 m od předních kol automobilu umístěna překážka typu rampa. Výška překážky je 50 mm, délka 500 mm, náběžné hrany jsou pod úhlem 45°.

Simulace je řešena bez přechodového děje (tzn., že přechodový děj, který vznikne „sednutím“ automobilu na vozovku, neovlivňuje vypočtené výsledky). Vozidlu je definována příslušná počáteční rychlost. V průběhu celého manévru se soustava pohybuje přímočaře, kolmo na překážku. Na obr.3 je zobrazen výše popsáný 3D model soustavy.



Obr. 3 Simulační 3D model v prostředí MSC.ADAMS/Car

Na obrázku 4 je patrný jeden ze záznamů výsledků simulace přejezdu nerovnosti typu rampa. Jedná se o sílu, která působí z přívěsu na kouli háku tažného zařízení. Výpočet byl proveden při rychlosti automobilu 10 km.hod<sup>-1</sup>. Červeně je znázorněna složka síly ve směru jízdy automobilu (vodorovná), modře velikost absolutní hodnoty výsledného silového vektoru.



Obr. 4 Průběh sil na kouli tažného zařízení při přejezdu rampy automobilu s přívěsem

#### 4. Závěr

V příspěvku je uvedena problematika zpřesnění simulačních modelů pneumatiky s ohledem na analýzu silových účinků přenášejících tažným zařízením u osobních automobilů s přívěsem. V další etapě se počítá s rozšířením výpočtů pro několik variant tažných zařízení, které se budou navzájem lišit svojí tuhostí. Bude tak možné posoudit vliv tuhosti tažného zařízení na dynamické účinky v simulovaných podmínkách provozu. Předpokládá se, že výsledky simulací bude možné porovnat s měřeními na vozidle s přívěsem s různě tuhými příčnými nosníky. První etapa měření již proběhla ve spolupráci s hydrodynamickou laboratoří Strojní fakulty TU v Liberci – viz příspěvek (Mevald, et. al, 2003) uveřejněný ve sborníku konference Inženýrská mechanika 2003. Konečným cílem výzkumu je vytvoření podkladů pro optimalizaci tuhosti tažného zařízení s ohledem na omezení přenášejících dynamických silových účinků při dostatečné bezpečnosti.

#### 5. Literatura

- Dinh Van Phong, Apetaur, M.: Model radiálního pružení pneumatiky. In.: Strojnický časopis , 44. č.6. 1993, s. 546 – 558.
- Mevald, J. – Barbora, J. – Blekta, J. – Krutský, T.: Selected problems on car bogie systems simulations. In: Sborník konference Inženýrská mechanika 2003, 2003.
- Raviteja, S.- Srinivasa, Y.,G.: Investigations of the Stochastically Optimized PID Controller for a Linear Quarter – Car Road Vehicle Model. In.: Vehicle System Dynamics, 26 (1996). pp.103-116.
- Venhovens, P.: The Development and Implementation of Adaptive Semi-Active Suspension Kontrol. IAVSD Seminar , Herbertov 1992.
- Vlk, F.: Dynamika motorových vozidel. VLK, Brno 2000, ISBN 80-238-5273-6