



Národní konference s mezinárodní účastí
INŽENÝRSKÁ MECHANIKA 2002

13. – 16. 5. 2002, Svratka, Česká republika

**REKONSTRUKCE POHYBU AUTOMOBILU NA ZÁKLADĚ
MĚŘENÝCH SIGNÁLŮ**

Petr PORTEŠ*

***Abstrakt:** V příspěvku jsou presentovány výsledky prací, jejichž cílem bylo, na základě změřených signálů získat co nejúplnější informaci o pohybu vozidla. Důraz byl kladen zejména na rekonstrukci polohy karosérie vozidla v prostoru, úhlů směrových úchylek na nápravách a v těžišti, podélného a příčného zrychlení. Presentovány jsou výpočty založené na zpracování jednak výstupních veličin z optických snímačů od firmy Datron-Corrsys, GmbH, a jednak ze snímačů zrychlení a úhlových rychlostí. Pro analýzy byly využity signály naměřené při manévru osobního automobilu na zkušební dráze uspořádané podle podmínek normy ISO/WD 3881-2 s nájezdovou rychlostí 50 km/h.*

Klíčová slova: rekonstrukce pohybu, dynamika vozidel, měření

Úvod

Při vývoji automobilu, pneumatik, vyhodnocování dopravní nehody a v celé řadě dalších případů je klíčovou úlohou analýza jízdního manévru vozidla. Jednou možností, jak provést vyhodnocení manévru, je měřit v jeho průběhu vytypované veličiny a ty pak analyzovat. Druhou možností je simulace manévru vozidla s využitím matematických modelů na počítači.

Obě metody však mohou vést ke zcela chybným závěrům při vyhodnocování chování vozidla během sledovaného úseku jízdy. První tím, že se analyzují pouze veličiny, které lze snadno měřit a druhá tím, že je velmi obtížné přesně modelovat průběh skutečného manévru silně ovlivněného zásahy ze strany řidiče a věrně zachytit podmínky za nichž manévr proběhl.

Jednou z cest, jak eliminovat výše zmíněné nedostatky by mohla být integrace měření s matematickým modelováním v následujícím smyslu. Na jedoucím vozidle probíhá snímání vytypovaných veličin, jež lze relativně snadno měřit. Tyto naměřené signály by byly vstupními signály pro matematický model, s jehož využitím by se získával pokud možno co nejúplnější obraz o dynamických dějích probíhajících na vozidle.

V příspěvku jsou popsány první práce na výše zmíněné integraci. Jejich cílem bylo, ze změřených signálů zrekonstruovat pohyb odpružené hmoty se 6 st. volnosti. Metodika byla aplikována na signály naměřené při manévru osobního automobilu na

* Ing. Petr Porteš, Ph.D.: Ústav dopravní techniky, FSI VUT v Brně, Technická 2, 616 69 Brno; tel.: +420.5.41142269, fax: +420.5.3939; E-mail: portes@ite.fme.vutbr.cz.

zkušební dráze uspořádané podle podmínek normy ISO/WD 3881/2 s nájezdovou rychlostí 50 km/h.

Měření

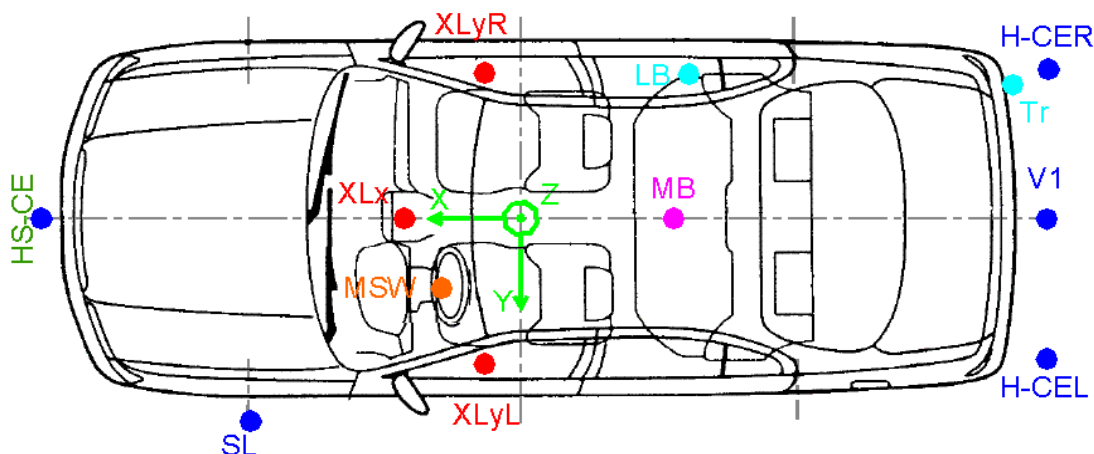
Ve spolupráci s Ústavem soudního inženýrství VUT v Brně proběhla rozsáhlá měření jízdních manévru vozidel. Zkoušky byly zvoleny tak, aby byl simulován jeden z charakteristických manévru vozidla, kterým je změna jízdních pruhů. Testováno bylo celkem sedm užitkových a osobních vozidel, včetně jízdní soupravy. Zkoušky byly prováděny na zkušebních drahách uspořádaných podle mezinárodní normy ISO 3888/1, podle německého návrhu na mezinárodní normu ISO/WD 3888/2 a dále na nestandardizovaných drahách pro manévr jednoduché změny jízdního pruhu. Podrobnější informace je možné získat v práci [1], níže jsou uvedeny podmínky měření, kterých bylo využito pro účely rekonstrukce pohybu vozidla. Testovací vozidlo Škoda Octavia bylo osazeno senzory, jež jsou pro účely dalšího popisu rozděleny do 3 subsystémů.

První subsystém byl tvořen měřicím systémem fy. Datron – Corrsys GmbH. Horizontální pohyby byly měřeny pomocí vektorových snímačů pro měření rychlosti HS-CE a V1. Pro určení úhlů klopení a klonění byly použity snímače výšky H-CE a HS-CE.

Snímače druhého subsystému byly integrovány do měřicího přístroje Mbox (na obr. 1 je označen jako MB). Jsou to tři snímače zrychlení ADXL 105 firmy Analog Devices s měřicím rozsahem $\pm 5 \text{ g}$ a snímače úhlové rychlosti Gyrostar ENF-05D-52 firmy Murata s měřicím rozsahem $\pm 80^\circ \cdot \text{s}^{-1}$.

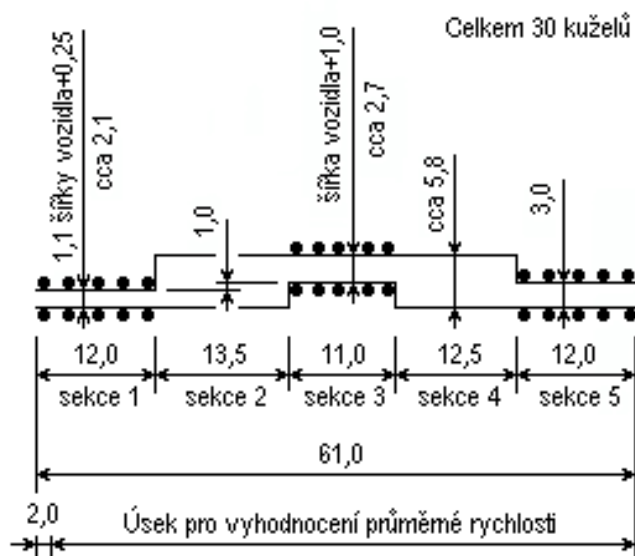
Třetí subsystém byl určen k měření trajektorie vozidla, prostorového umístění snímačů na vozidle a vytyčení a proměření zkušební dráhy.

V některých případech bylo měření doplněno o měření úhlu natočení volantu měřicím volantem MSW a úhlu směrové úchylny kola měřené vektorovým snímačem rychlosti SL. Pro porovnání byly na vozidle instalovány i jednoosé snímače zrychlení XL Metery, používané při znalecké činnosti. Tyto snímače (MSW, SL a XL Metry) však zatím nebyly využity pro rekonstrukci pohybu.



Obr. 1 .Vozidlo osazené přístroji

Uspořádání kuželů podle německého návrhu na mezinárodní normu ISO/WD 3888/2 - vyhýbání se překážce je ukázáno na obr. 2.



Obr. 2 Zkušební dráha podle návrhu normy ISO/WD 3888/2

Rekonstrukce pohybu

Provedením rekonstrukce pohybu se v této práci rozumí získání co nejúplnější informace o pohybu vozidla pomocí vhodně zvolených snímačů. Zejména jde o polohu vozidla (karosérie) v prostoru, o úhly směrových úchylek na nápravách a v těžišti, o zrychlení podélné a příčné.

V práci [2] s obdobnou tematikou byl pro tyto účely použit gyroskopický systém pro měření úhlu stáčení, úhlu klopení a stáčivé rychlosti. Alternativně bylo použito páte kolo pro snímání rychlosti a úhlu směrové úchylny nebo dvou bezkontaktních snímačů LC-761S od firmy ONO SOKKI pro určení podélné a boční rychlosti.

Cílem bylo vyzkoušet pro tyto účely využít jednak (varianta 1) optických snímačů od firmy Corrsys-Datron (první měřicí subsystém) a jednak (varianta 2) snímačů zrychlení a úhlových rychlostí implementovaných v měřicím přístroji Mbox (druhý měřicí subsystém). Článek [3] potvrzuje možnost použít opticko-korelačních vektorových snímačů (V-senzorů) pro určení úhlů směrových úchylek a stáčivé rychlosti. Výškové snímače H-senzory doplňují ve variantě 1 informaci o úhlech klonění a klopení. Snímače integrované v přístroji Mbox umožňují přímým způsobem změřit veličiny, které lze získat z měření pomocí V-senzorů pouze výpočtem.

Jelikož pohyby měřené pomocí jedné snímačů ovlivňují pohyby měřené druhými senzory, bylo potřeba vytvořit výpočetní metodu, která by vhodným způsobem kombinovala všechny měřené veličiny.

Základem pro programové vyhodnocení obou variant měření je představa pevného tělesa, reprezentujícího karosérii, pohybujícího se v prostoru. Lokální souřadný systém xyz tělesa byl u vozidla v klidu umístěn na vozovce v podélné rovině

symetrie ve středu rozvoru vozidla. Hmota má 6 stupňů volnosti a pohybuje se v prostoru určeném základním nepohyblivým souřadným systémem vozovky XYZ. V místech reálných snímačů jsou umístěny virtuální snímače, které jsou naprogramovány tak, že se z pohybu hmoty počítají veličiny, které odpovídají měřeným veličinám. V každém měřeném okamžiku musí být splněny podmínky, které předepisují shodnost měřených signálů s vypočítanými signály z virtuálních snímačů. Vhodnou kombinací těchto podmínek a stavových veličin ovlivňujících pohyb hmoty je možné zrekonstruovat sledovaný kinematický děj.

Varianta 1. V této variantě byly s využitím snímačů od firmy Corrsys-Datron snímány tyto veličiny:

- horizontální rychlost v_{fm} a úhel směrové úchylky β_{fm} bodu v přední části vozu,
- horizontální rychlost v_{rm} a úhel směrové úchylky β_{rm} bodu v zadní části vozu,
- výška v přední části vozu z_{fm} a dvě výšky v levém z_{rlm} a v pravém z_{rrm} bodu v zádi vozu.

Měřené signály byly zvoleny tak, aby bylo možné vypočítat stáčivou rychlost, rychlost v_x , resp. v_y pohybu počátku souřadného systému tělesa ve směru osy X a Y základního souřadného systému, úhel klopení φ a klonění θ , úhel směrové úchylky těžiště β , úhel směrové úchylky zadní nápravy β_{ar} a v případě znalosti natočení předních kol i úhel směrové úchylky přední nápravy β_{af} . Derivací je možné získat i další veličiny jako je např. podélné a_x a příčné zrychlení a_y .

Podmínky, které mají být splněny v každém měřeném okamžiku, byly zvoleny následujícím způsobem:

$$\begin{aligned}
 0 &= v_f(x, y, \psi, \theta, \varphi) - v_{fm} \\
 0 &= \beta_f(x, y, \psi, \theta, \varphi) - \beta_{fm} \\
 0 &= \beta_r(x, y, \psi, \theta, \varphi) - \beta_{rm} \\
 0 &= z_f(z, \psi, \theta, \varphi) - z_{fm} \\
 0 &= z_{rl}(z, \psi, \theta, \varphi) - z_{rlm} \\
 0 &= z_{rr}(z, \psi, \theta, \varphi) - z_{rrm},
 \end{aligned} \tag{1}$$

kde v_{fm} je horizontální rychlost změřená předním snímačem a v_f je odpovídající hodnota vypočtená virtuálním snímačem. β_{fm} je hodnota úhlu směrové úchylky zjištěná předním snímačem a β_f je odpovídající hodnota vypočtená virtuálním snímačem. β_{rm} a β_r jsou hodnoty úhlu směrové úchylky změřené a vypočtené v místě zadního snímače. Vzhledem k tomu, že nebyly přímo měřeny rychlosti klonění a klopení, byl ve výpočtu vliv těchto veličin na velikost horizontální rychlosti a směrových úchylek zanedbán. z_{fm} , z_{rlm} , z_{rrm} jsou výšky změřené předním, zadním pravým a zadním levým snímačem výšky. z_f , z_{rl} , z_{rr} jsou výšky vypočtené pomocí virtuálních snímačů.

Řešením soustavy rovnic (1) se získá podélná x a příčná y rychlost počátku souřadného systému tělesa v základním souřadném systému vozovky XYZ a stáčivá rychlost ψ . Dále se vypočte výška z , úhel klopení φ a klonění θ .

Řešením soustavy diferenciálních rovnic

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, t) \quad (2)$$

se získá úhel stáčení ψ a poloha, resp. trajektorie pohybu tělesa x, y . První derivace $\dot{\mathbf{x}}$, tj. $\dot{\mathbf{x}} = [\dot{x}, \dot{y}, \dot{\psi}]^T$ se získá řešením soustavy rovnic (1).

Varianta 2. U této varianty se využívá signálů měřicího přístroje Mbox, který je navržen tak, aby snímal informace o všech šesti stupních volnosti. To jsou pro translační pohyby zrychlení a pro rotační pohyby úhlové rychlosti. Vzhledem k omezenému počtu měřicích kanálů nebylo vždy měřeno svislé zrychlení a úhlová rychlost klonění. Proto byly zavedeny zjednodušující předpoklady, a to že výška vozu a úhel klonění se v průběhu měření nemění.

Jelikož bylo měřeno podélné a boční zrychlení, rychlost klopení a stáčení, byly podmínky zajišťující soulad měřených veličin s pohybem tělesa zvoleny následujícím způsobem:

$$\begin{aligned} 0 &= \omega_x(\psi, \phi, \psi, \phi) - \omega_{xm} \\ 0 &= \omega_z(\psi, \phi, \psi, \phi) - \omega_{zm} \\ 0 &= a_x(x, y, \psi, \phi, \psi, \phi) - a_{xm} \\ 0 &= a_y(x, y, \psi, \phi, \psi, \phi) - a_{ym} \end{aligned} \quad (3)$$

Zde opět ω_x , ω_{xm} jsou vypočtená a změřená úhlová rychlost ve směru osy x měřicího přístroje Mbox (ve směru osy x tělesa), ω_z , ω_{zm} jsou vypočtená a změřená úhlová rychlost ve směru osy z přístroje Mbox (ve směru osy z tělesa), a_x , a_{xm} jsou vypočtená a změřená zrychlení ve směru osy x přístroje Mbox (ve směru osy x tělesa), a_y , a_{ym} jsou vypočtená a změřená zrychlení ve směru osy y přístroje Mbox (ve směru osy y tělesa).

Ze soustavy (3) se vypočte $\dot{\mathbf{x}} = [\dot{x}, \dot{y}, \dot{x}, \dot{y}, \dot{\psi}, \dot{\phi}]^T$ pro soustavu diferenciálních rovnic

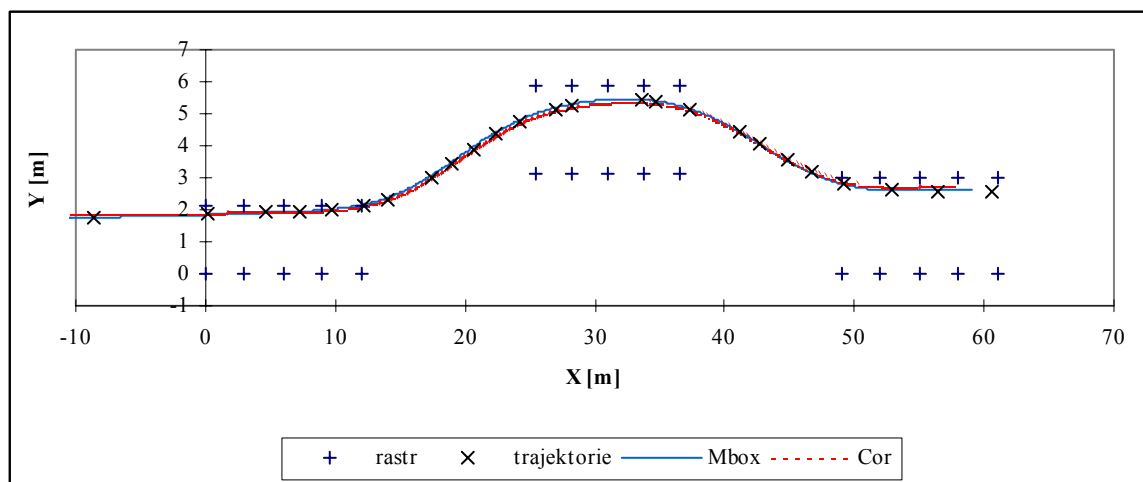
$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, t) \quad (4)$$

Řešením rovnic (3) a (4) dostaneme všechny translační a rotační veličiny pohybu tělesa (karosérie) v prostoru včetně jejich prvních (rychlostí) a druhých (zrychlení) derivací.

Výsledky

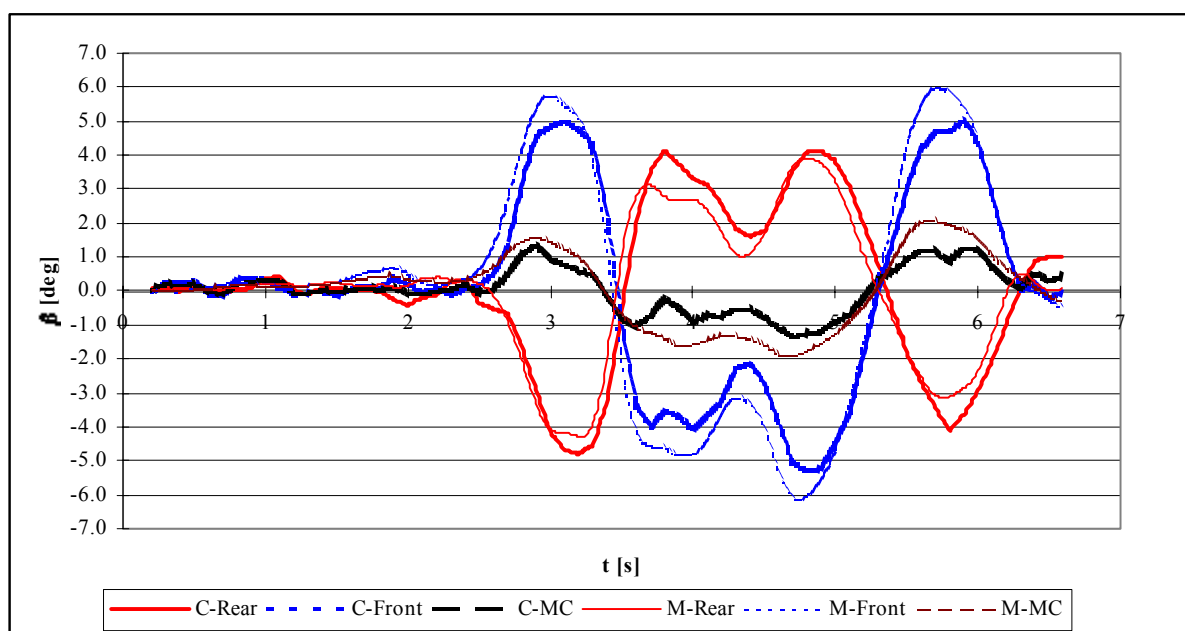
Výše uvedená metodika vyhodnocení byla aplikována na signály naměřené při manévru vozidla na zkušební dráze uspořádané podle podmínek normy ISO/WD 3881-2 s nájezdovou rychlostí 50 km/h. Výsledky vyhodnocení se ukázaly být velmi citlivé na orientaci snímačů. Proto byla jejich orientace zkorigována tak, aby se vypočtená trajektorie co nejvíce blížila trajektorii vyznačené značkovacím zařízením a zaměřené geodetickou totální stanicí Topcon GTS 212. Velikost korekcí byla v rozsahu srovnatelném s přesností, jakou byly tyto snímače upevněny na vozidlo.

Na obr. 3 je ukázáno srovnání trajektorie změřené a vypočtené podle varianty 1 a 2.

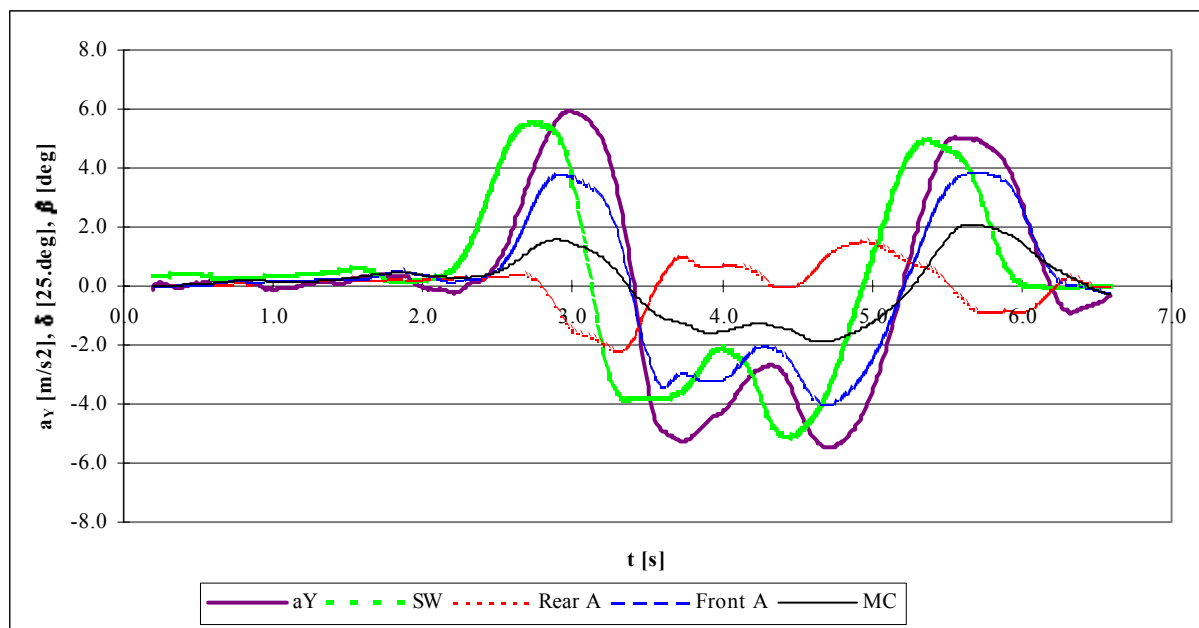


Obr. 3 Srovnání změřené trajektorie s trajektorií vypočtenou podle varianty 1 (Cor) a varianty 2 (Mbox)

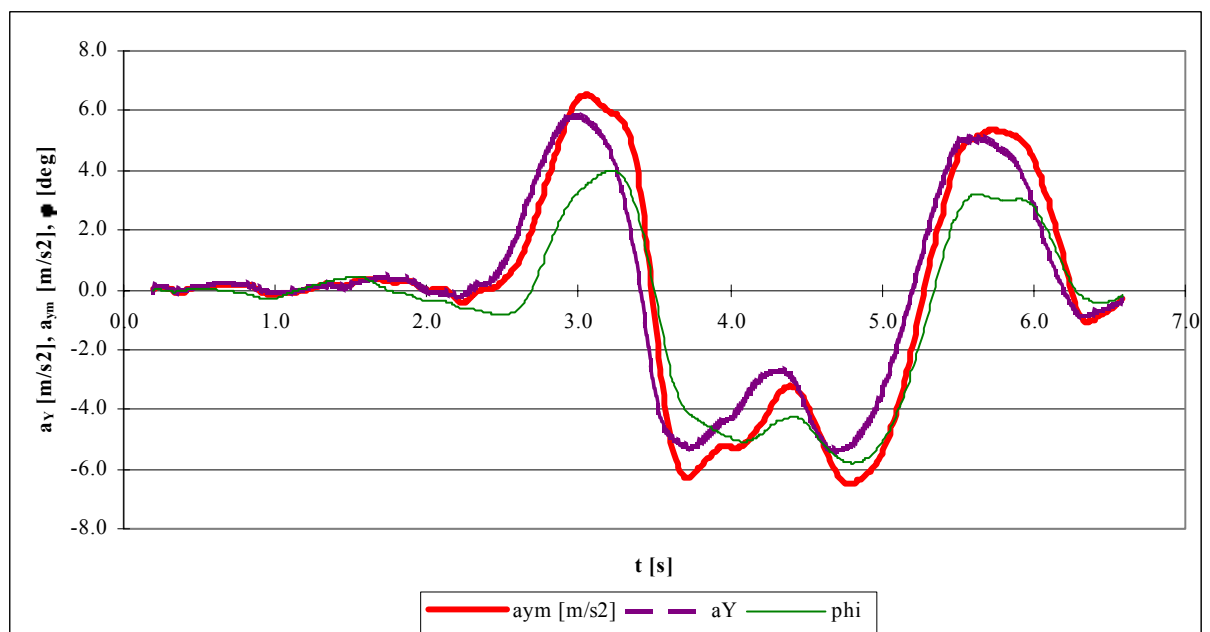
Velikosti úhlů směrových úchylek v bodech umístění předního a zadního vektorového senzoru od firmy Datron Corrsys, získané řešením podle varianty 1 a 2, jsou uvedeny včetně úhlů směrových úchylek v těžišti vozu na obr. 4. Poměry mezi zrychlením těžiště vozidla ve směru osy Y souřadného systému vozovky, natočením volantu a úhly směrových úchylek ve středu náprav a v těžišti, ukazuje obr. 5. Představu o vzájemném vztahu mezi měřeným bočním zrychlením, zrychlením ve směru osy Y souřadného systému vozovky a úhlem klopení je možné získat z obr. 6.



Obr. 4 Úhly směrových úchylek v bodě umístění zadního V-senzoru dle varianty 1 (C-Rear) a dle varianty 2 (M-Rear), předního V-senzoru dle varianty 1 (C-Front) a dle varianty 2, těžiště vozidla dle varianty 1 (C-MC) a dle varianty 2 (M-MC)



Obr. 5 Zrychlení ve směru osy Y souřadného systému vozovky (a_Y), úhel natočení volantu (δ) a úhly směrových úchylek ve středu zadní nápravy (Rear A), ve středu přední nápravy (Front A), v těžišti vozidla (MC), vše vypočteno dle varianty 2



Obr. 6 Boční zrychlení měřené přístrojem Mbox (a_{ym}), zrychlení ve směru osy Y souřadného systému vozovky (a_Y) a úhel klopení (ϕ), vypočteno dle varianty 2

Závěr

V příspěvku jsou popsány dvě metody rekonstrukce pohybu vozidla z naměřených signálů. Výsledky výpočtů ukázaly, že prezentované metody prokázaly dobrý potenciál pro stanovení polohy karosérie vozidla v prostoru, úhlů směrových úchylek na nápravách a v těžišti, podélného a příčného zrychlení. Znalost těchto veličin je velmi užitečná pro analýzu dynamiky vozidla, pro validaci počítačových simulací, pro rekonstrukci chování vozidla v souvislosti s analýzou dopravních nehod a rovněž pro porovnání různých metod měření. Práce budou proto pokračovat směrem ke zdokonalování vlastní metodiky jízdních zkoušek, hledání nejvhodnější kombinace měřených signálů a automatické korekci nepřesností měření vzniklých jednak chybami způsobenými reálným umístěním snímačů na vozidle a jednak limitovanou přesností vlastních snímačů.

Literatura

- [1] Kledus,R.-Porteš,P.-Vémola,A.-Zelinka,A: Měření jízdních manévřů vozidel. Sborník konference *10. výroční konference Evropské společnosti pro výzkum a analýzu nehod*, EVU, Brno, říjen 2001.
- [2] Chao,K.: Measurement of Path and Other Parameters In Motor Vehicle Dynamics Tests and Their Errors. *Vehicle System Dynamics*, Vol. 26, 1996, str. 321-342.
- [3] Kirstätter, K.: Fahrdynamische Messtechnik in der Automobilindustrie. *Messteve spezial* 4/95.
- [4] Passenger cars – Test track for a severe lane-change manoeuvre. Part 2: Obstacle avoidance ISO/WD 3888-2:1999(E)
- [5] Passenger cars – Test track for a severe lane-change manoeuvre. Part 1:Double lane-change ISO 3888-1:1999(E)

Tato práce byla uskutečněna za finanční podpory GA ČR v rámci projektů:

Teoretická východiska pro optimalizaci jízdních vlastností a bezpečnosti soudobých motorových vozidel - GAČR 101/00/P098

Standardizace a harmonizace postupů soudních znalců při analýze silničních nehod - GAČR 103/00/1748 - 2000-2001

Experimentální ověřování jízdních manévřů vozidel - GAČR 103/00/0722- 2000-2001