

# VLIV PROTEKTOROVANÝCH PNEUMATIK NA AKTIVNÍ BEZPEČNOST VOZIDLA – VÝSLEDKY ZKOUŠEK USTÁLENOU JÍZDOU PO KRUHU A MANÉVREM PRUDKÉ ZMĚNY JÍZDNÍHO PRUHU

**Jakub ZEBALA, Piotr CIEPKA, Adam REZA**

Ústav soudního výzkumu, Oddělení analýzy silničních nehod,  
Westerplatte St. 9, 31-033 Krakov, Polsko

**Robert JANCZUR**

Technická univerzita Krakov, Jana Pawla II St. 37, 31-864 Krakov, Polsko

## **Abstrakt**

Cílem tohoto článku je představit výsledky silničních zkoušek originálních a protektorovaných pneumatik, které byly podrobeny analýze z pohledu aktivní bezpečnosti vozidla. Zkoušky se skládaly z ustálené jízdy po kruhu a manévru prudké změny jízdního pruhu. Zkoušky byly provedeny v letních podmínkách. Byly použity originální pneumatiky Michelin a pneumatiky Michelin protektorované letními a zimními pryžovými směsmi. Výsledky testů prokázaly, že aktivní bezpečnost vozidla je ovlivněna protektorovanými pneumatikami. Zkoušky na dráze v zatáčce odhalily, že v porovnání s úplně novými pneumatikami většina protektorovaných pneumatik ukázala nižší ovladatelnost při zatáčení a silně nelineární změnu úhlu natočení volantu.

## **Klíčová slova**

Protektorované pneumatiky, stabilita za jízdy na silnici, říditelnost vozidla

## **1. ÚVOD**

Jedna z forem použití ojetých pneumatik vozidla je protektorování pneumatik. Během tohoto procesu je dezén použité pneumatiky obnoven umístěním vrstvy pryžové směsi. Nedávným zvýšením kvality protektorování pneumatik společně s nízkými cenami protektorovaných pneumatik ve srovnání s úplně novými pneumatikami se stalo používání těchto pneumatik docela častou záležitostí. Vozidla s protektorovanými pneumatikami jsou častými účastníky silničních kolizí a nehod. Při rekonstrukci takové události je informace o podílu vlastností protektorovaných pneumatik v dopravní bezpečnosti velmi důležitá. Co je obzvláště důležité, je znalost účinku pneumatik na stabilitu při jízdě po silnici a ovladatelnost vozidla.

V literatuře neexistují žádné novější údaje, které by určovaly vliv vlastností protektorovaných pneumatik na aktivní bezpečnost vozidel. Proto byl Ústavem silničního výzkumu v Krakově proveden výzkum, jehož cílem bylo porovnat parametry pohybu vozidla získané při použití protektorovaných pneumatik s příslušnými parametry získanými pro originální pneumatiky. Dalším cílem bylo určit, jaký účinek na parametry pohybu vozidla má složení protektorovací pryžové směsi a typ dezénu protektorovaných pneumatik.

Provedené testy pokryly zkoušky ustálenou jízdou po kruhu a manévr prudké změny jízdního pruhu. Zkouška ustálenou jízdou po kruhu je jednou ze základních kvazistatických zkoušek stability a ovládání vozidla za jízdy na silnici. Manévr prudké změny jízdního pruhu je dynamická zkouška, která je užitečná při hodnocení stability a ovládání vozidla za jízdy na

silnici, podobná defenzivnímu manévru objíždění překážky, který se v silničním provozu vyskytuje velmi často. Manévr prudké změny jízdního pruhu lze popsat jako typ předpokládaného řízení vozidla, které napomáhá stanovit odezvu řidiče – systém vozidla při mimořádné dopravní události [3, 5].

## 2. PŘEDMĚT VÝZKUMU

Zkoušky byly provedeny s vozidlem Renault Megane Classic. Byly provedeny s novými a protektorovanými pneumatikami. Nové pneumatiky byly vyrobeny firmou Michelin, s dezénem XH1 (foto 1).

Pneumatiky použité při zkouškách, byly protektorovány natavením (horké protektorování). Protože všechny pneumatiky vybrané pro protektorování byly ojeté pneumatiky Michelin, kostra pneumatiky všech zkoušených pneumatik byla stejná. Protektorované pneumatiky použité při zkouškách se lišily použitou pryžovou směsí. Kromě tří letních směsí označených symboly A, B a C, byly testovány i pneumatiky se dvěma různými zimními směsí označenými písmeny D a E. Pro testy byly vybrány čtyři typy dezénu: dva letní dezény – Energy a Sport, a dva zimní dezény – MK770 a MK790. Dezén Energy byl modelován na protektoru Michelin Energy XH1, zatímco dezén Sport korespondoval s protektorem Michelin Pilot Sport. Dva zimní dezény MK770 a MK790 byly modelovány na Continental 770 a Continental 790 (foto 1).

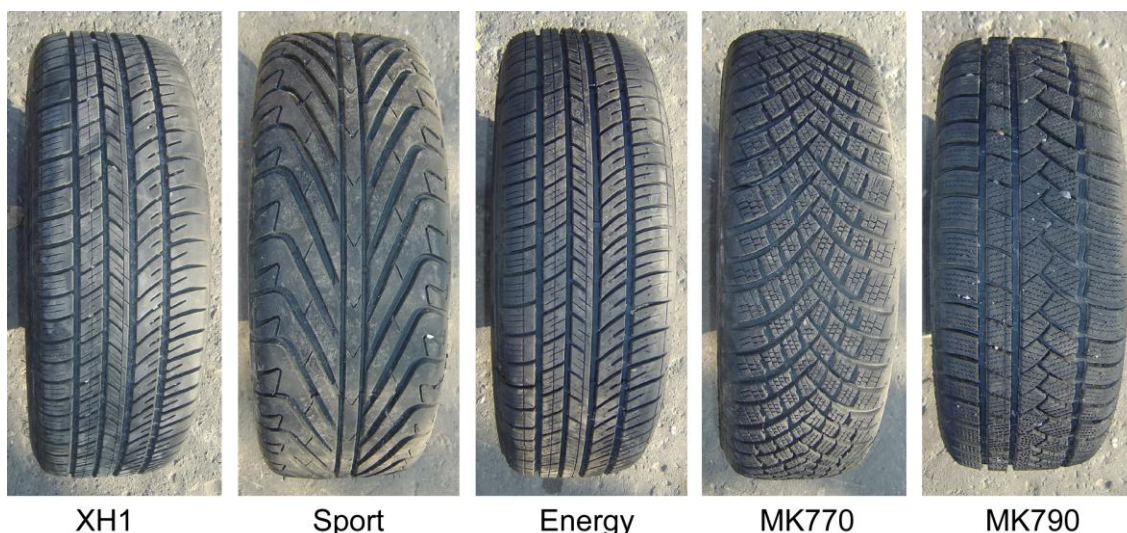


Foto 1. Dezény zkoušených pneumatik.

Byly připraveny tři sady pneumatik s různými pryžovými směsí (A, B, C) a stejným dezénem (Energy), a dvě sady pneumatik se stejnou pryžovou směsí (C) a různými dezény (Energy, Sport) (tabulka 1). Samostatné testy byly provedeny se zimními pneumatikami (D, E).

Dezén	Pryžová směs	Velikost pneumatiky	Označení
XH1	Michelin	185/60 R15	XH1-Michelin
Energy	A	195/65 R15	Energy-A
Energy	B	195/65 R15	Energy-B
Energy	C	195/65 R15	Energy-C
Sport	C	195/50 R15	Sport-C
MK790	D	195/50 R15	MK790-D
MK770	E	195/65 R15	MK770-E

Tabulka 1 Specifikace pneumatik podle dezénu a typu pryžové směsi

### 3. VYBAVENÍ

Při zkouškách bylo použito následující technické vybavení (tabulka 2):

- hlava CORREVIT S-CE pro bezkontaktní měření podélné  $v_L$  a boční  $v_Q$  složky vektoru rychlosti vybraného bodu na vozidle,
- piezoelektrický vibrační gyroskop MURATA ENV 05A pro měření stáčivé rychlosti  $\dot{\psi}$ ,
- konvertor úhlu natočení volantu pro měření úhlu natočení volantu  $\delta_H$ .

Přístroj	Veličina	Označení	Rozsah měření	Přesnost měření
Hlava Correvit Corrsys® S-CE	Podélná rychlost	$v_L$	0 ÷ 350 km/h 0 ÷ 97 m/s	0,03 m/s
	Boční rychlost	$v_Q$	± 225 km/h 0 ÷ 62 m/s	0,03 m/s
Gyroskop Murata Gyrostar ENV-05A	Stáčivá rychlost	$\dot{\psi}$	± 90 °/s	± 0,1 °/s
Snímač natočení volantu MU 161	Úhel natočení volantu	$\delta_H$	± 300 °	1°

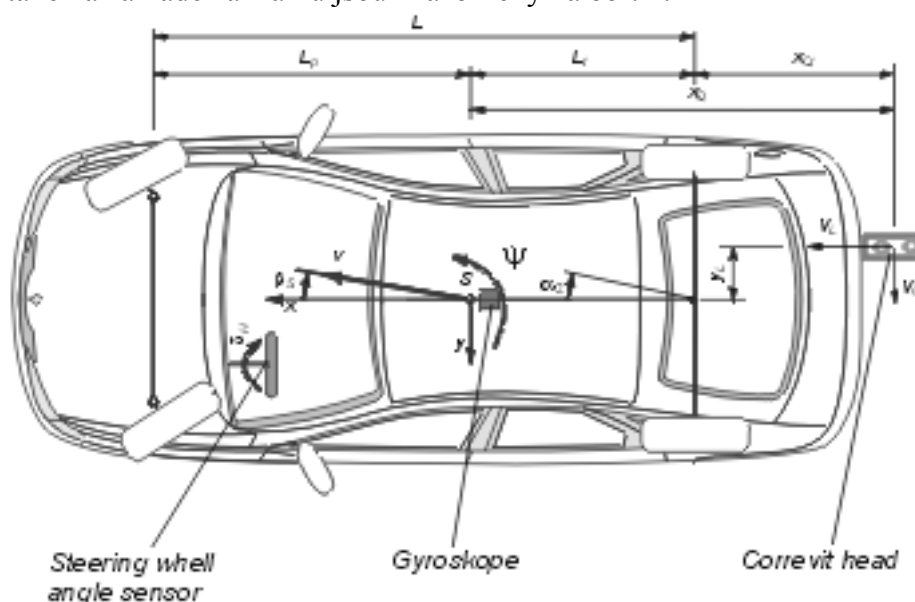
Tabulka 2 Specifikace vybavení použitého při zkouškách

### 4. KOMPARATIVNÍ STUDIE TESTŮ USTÁLENÉ JÍZDY PO KRuhu

#### 4.1. Metodika testu ustálené jízdy po kruhu

Díky dostupné zkušební dráze byla vybrána zkouška ustálenou jízdou po kruhu s konstantním poloměrem kruhu ( $R=\text{konst.}$ ) [2, 4]. Na vozovce byl označen kruh o poloměru 20 m. Během testu řidič řídil vozidlo podél vyznačeného kruhu, přičemž reguloval dráhu své jízdy tak, aby vychýlení od vyznačeného kruhu na žádné straně nepřesáhlo 0,3 m. Pojezdová rychlost na stanoveném převodu byla měněna od nejnižší možné rychlosti až k takové, při které byl řidič stále ještě schopen řídit vozidlo po určené dráze. Rychlost jedoucího vozidla byla měněna při konstantním zrychlení nepřevyšujícím 0,5 km/h/s.

Konstantní veličinou, která byla určena před provedením zkoušek, byla poloha těžiště relativně k osám vozidla. Veličiny měřené během zkoušek, použité ve výpočtech, a veličiny vypočítané na základě záznamů jsou znázorněny na obr. 1.



Obr. 1. Umístění přístrojů ve zkoušeném vozidle a zobrazení veličin naměřených při zkouškách, použitých ve výpočtech a vypočítaných.

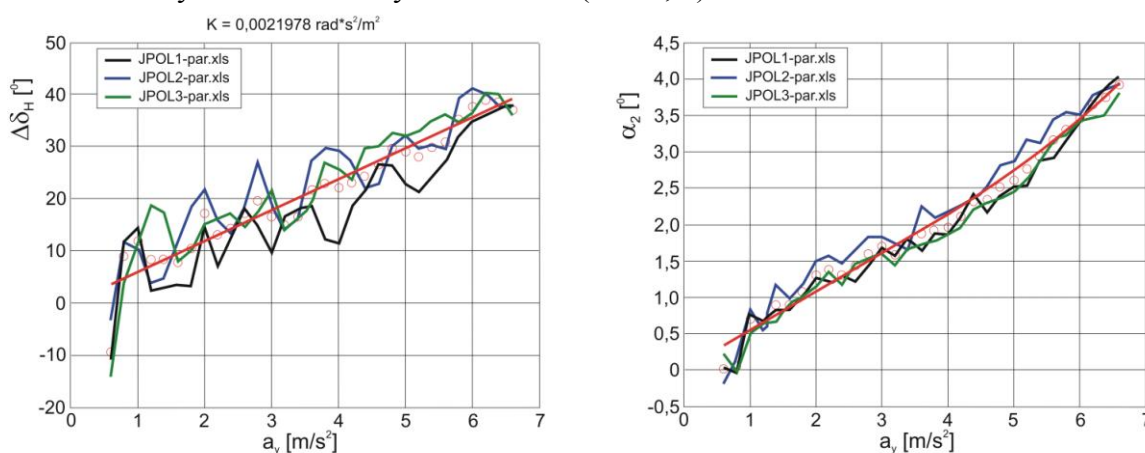
Zkoušky ustálenou jízdou po kruhu byly provedeny v letních podmínkách. Do vozidla byly naloženy přístroje, řidič a obsluhovač přístrojů. Rozložení hmotnosti se během zkoušek nelišilo od rozložení hmotnosti během běžného provozu.

## 4.2. Výsledky zkoušek

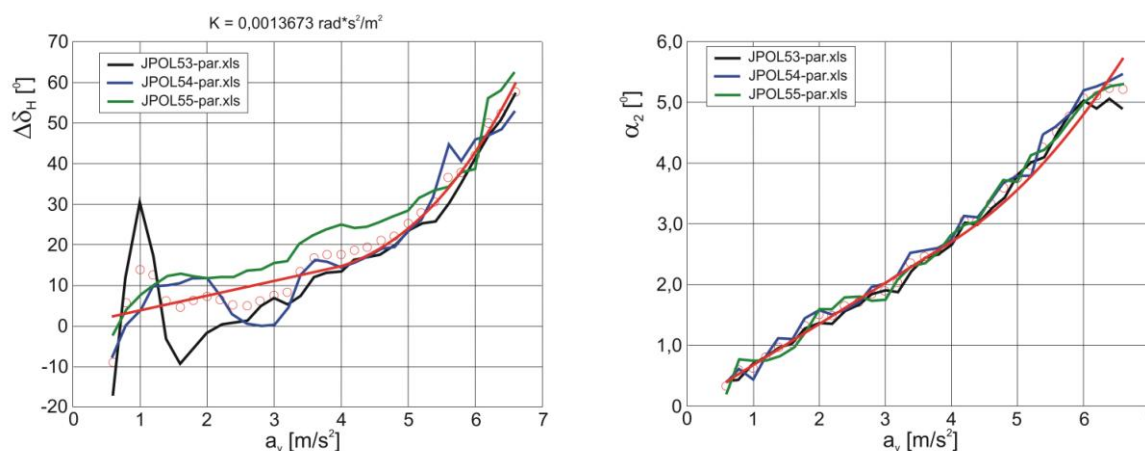
Zaznamenané výsledky byly zpracovány softwarem Ústavu automobilů a motorů, Technické univerzity v Krakově zároveň s programy pracujícími v prostředí Matlabu [6]. Hodnoty stáčivé rychlosti  $\dot{\psi}$ , podélné rychlosti  $v_L$  a boční rychlosti  $v_Q$  byly filtrovány filtrem Butterworth s dolní propustí. Zaznamenané údaje byly použity ve výpočtech (obr. 1):

- podélná rychlost těžiště:  $v_{Sx} = v_L + y_L \cdot \dot{\psi}$
- boční rychlost těžiště:  $v_{Sy} = v_Q + x_Q \cdot \dot{\psi}$
- boční zrychlení:  $a_y = v_{Sx} \cdot \dot{\psi}$
- úhel směrové úchyly zadní nápravy:  $\alpha_2 = \arctg\left(\frac{-v_Q + x_{Qt} \cdot \dot{\psi}}{v_{Sx}}\right)$

Příklady závislostí úhlu natočení volantu a úhlu směrové úchyly zadní nápravy jako funkce bočního zrychlení u zcela nových pneumatik a protektorovaných pneumatik Energy-A jsou znázorněny na níže uvedených obrázcích (obr. 2, 3).



Obr. 2. Závislosti natočení úhlu volantu na bočním zrychlení (vlevo) a závislost úhlu směrové úchyly zadní nápravy na bočním zrychlení (vpravo) – pneumatiky XH1-Michelin.



Obr. 3. Závislosti natočení úhlu volantu na bočním zrychlení (vlevo) a závislost úhlu směrové úchyly zadní nápravy na bočním zrychlení (vpravo)– pneumatiky Energy-A.

Na základě parametrů pohybu zkoušeného vozidla byl vypočítán koeficient řízení  $K$  [ $s^2/m^2$ ]:

$$K = \frac{A_{\delta H}}{i_s \cdot l}$$

kde:

$A_{\delta H}$  – gradient úhlu natočení volantu (derivovaný úhel natočení volantu podle bočního zrychlení, definován z diagramu vypracovaného na základě jízdních experimentů),

$i_s$  – převodový poměr řízení na testovaném vozidle,

$l$  – rozvor náprav testovaného vozidla.

Ze série provedených měření ustálenou jízdou po kruhu dosáhla průměrná hodnota  $K$  (tabulka 3):

Pneumatiky	$K$ [ $s^2/m^2$ ]
XH1-Michelin	0,0022
Energy-A	0,0014
Energy-B	0,0021
Energy-C	0,0020
Sport-C	0,0025
MK790-D	0,0028
MK770-E	0,0027

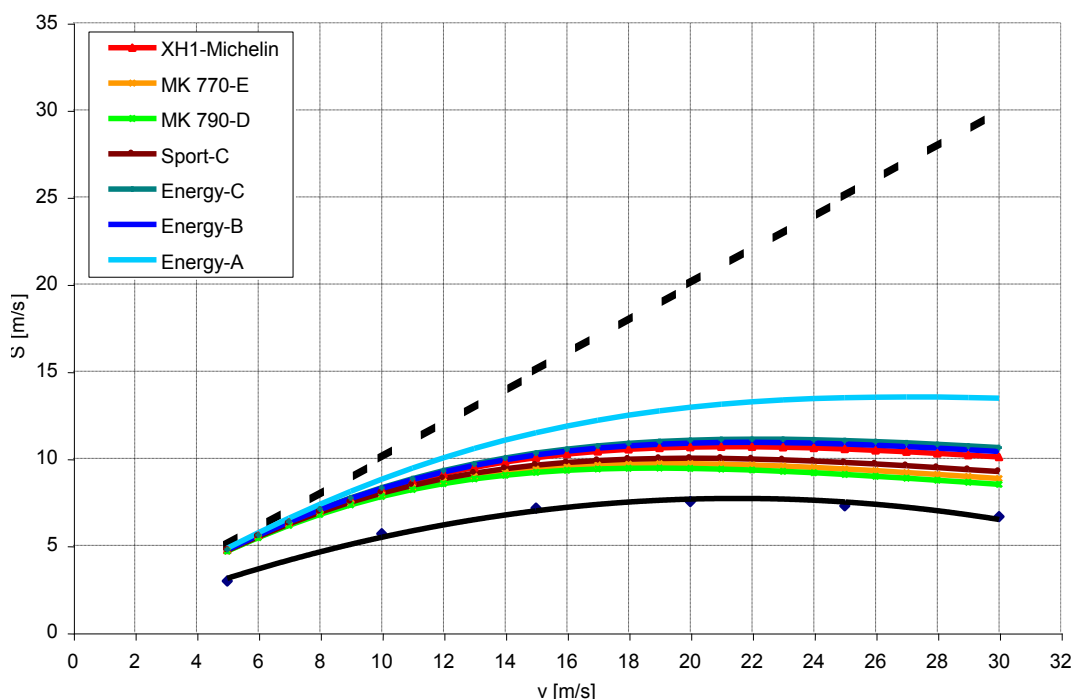
Tabulka 3 Hodnoty koeficientů řízení z provedených testů pneumatik

Charakteristiky říditelnosti vozidla byly určeny vztahem [3]:

$$i_s \cdot l \cdot \left( \frac{\dot{\psi}}{\delta_H} \right) = \frac{v_{Sx}}{1 + K \cdot v_{Sx}^2}$$

Hraniční linearizované zrychlení testovaného vozidla bylo zjištěno ve výši  $4 \text{ m/s}^2$  [3, 7].

Na základě měření parametrů pohybu vozidla během zkoušek ustálenou jízdou po kruhu opakovanou charakteristikou říditelnosti při bočním zrychlení  $4 \text{ m/s}^2$  byla určena charakteristika pro každou sadu pneumatik (obr. 4).



Obr. 4. Charakteristika říditelnosti testovaného vozidla pro různé pneumatiky (pro  $a_y = 4 \text{ m/s}^2$ ) kde  $S = i_s \cdot l \cdot (\dot{\psi}/\delta_H)$  a  $v = v_{Sx}$

Zkoušky všech testovaných pneumatik prokázaly, že má vozidlo příznivou charakteristiku řiditelnosti – mírná nedotáčivost (všechny charakteristiky na obr. 4 jsou v rámci pásma pro bezpečné vozidlo RSV<sup>1</sup>, omezení plnou a čárkovanou černou).

#### 4.3. Závěr testů ustálené jízdy po kruhu

V případě pneumatik XH1-Michelin, které jsme považovali za modelové, byla závislost úhlu natočení volantu a směrové úchyly zadní nápravy na bočním zrychlení téměř lineární. K bočnímu skluzu kola došlo při bočním zrychlení přesahujícím  $6,5 \text{ m/s}^2$ .

Téměř všechny protektorované pneumatiky (kromě Energy-B) mají nižší ovladatelnost při zatáčení. Během zkoušek bylo dosaženo nejvyšších hodnot úhlu směrové úchyly zadní nápravy dokonce až  $5,2^\circ$  (pro pneumatiky MK790-D) při bočním zrychlení přibližně  $6 \text{ m/s}^2$ , tj. vyšší asi o  $1,1 \div 1,7^\circ$  v porovnání s pneumatikami XH1-Michelin.

V případě pneumatik Energy-A, Energy-B, Energy-C, Sport-C a MK790-D byly zjištěny výše uvedené silně nelineární závislosti charakteristik. Tato nelinearita poukazuje na nižší ovladatelnost v pásmu bočního zrychlení vyššího než  $4 \text{ m/s}^2$ .

Co se týká řiditelnosti vozidla, pneumatiky Energy-A mění vlastnosti vozidla nejsilněji, a v důsledku podstatného úhlu směrové úchyly na zadní nápravě, snižují nedotáčivost ve srovnání s vozidlem s pneumatikami XH1-Michelin. Při bočním zrychlení vyšším než  $4 \text{ m/s}^2$  může být vysloven vyšší účinek vlastností protektorovaných pneumatik na řiditelnost vozidla. Nicméně, běžný řidič se málokdy rozhodne vytočit ostrou zatáčku při bočním zrychlení vyšším než  $4 \text{ m/s}^2$ , takových hodnot se obvykle dosáhne při vykonání výhybných manévru.

## 5. SROVNÁVACÍ STUDIE PNEUMATIK PŘI PRUDKÉ ZMĚNĚ JÍZDNÍHO PRUHU

### 5.1. Metodika výzkumu

Prudká změna jízdního pruhu je dynamický proces rychlého přechodu z původní rovné dráhy na příčně posunutou dráhu, která je dále následována návratem do dráhy umístěné shodně s původní dráhou. Zkušební dráha, na které byly prováděny zkoušky prudké změny jízdního pruhu, byla určena podle normy ISO/TR 3888-1975 [1]. Rychlost vozidla během zkoušek byla konstantní, okolo  $80 \pm 3 \text{ km/h}$ . Zkoušky probíhaly se stejným zatížením jako při zkouškách ustálenou jízdou po kruhu. Během zkoušek byl povrch betonové vozovky ve zkušební části suchý. Parametry pohybu vozidla, které byly zaznamenány během testů, byly základem při určení časového průběhu úhlu natočení volantu a stáčivé rychlosti.

### 5.2. Předložení výsledků s následnou diskuzí

Pro zhodnocení chování vozidla během zkoušek s různými pneumatikami byly přijaty dva faktory:

- veličina „zisku“ (gain) – jako poměr maximální stáčivé rychlosti k maximálnímu úhlu natočení volantu při první změně jízdního pruhu,
- reakční doba vozidla – jako časový rozdíl mezi dosažením maximální stáčivé rychlosti a dosažením maximálního úhlu natočení volantu.

Záznam příslušných veličin je znázorněn na obrázku 5. Hodnoty zisku a reakční doby vozidla jsou určeny následujícími závislostmi:

---

<sup>1</sup> RSV – Research Safety Vehicle – výzkumné bezpečné vozidlo

$$W = \frac{X_{\dot{\psi},max}}{X_{\delta_H,max}};$$

$$t_{rs} = T_{\dot{\psi},max} - T_{\delta_H,max}$$

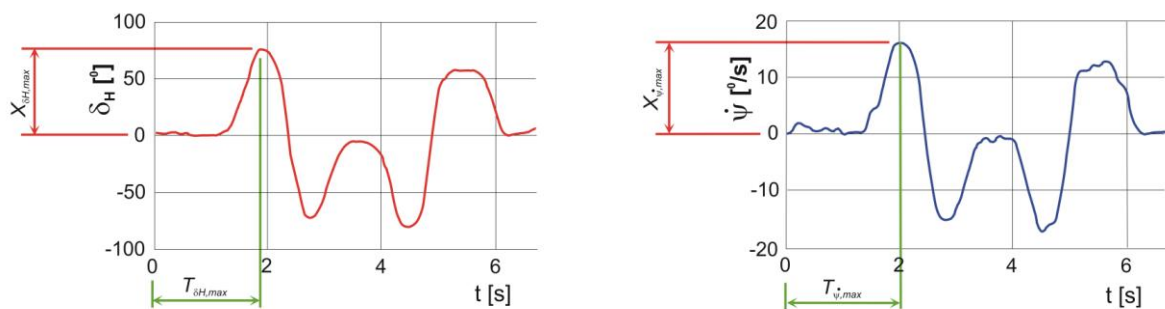
kde:

$X_{\delta_H,max}$  – maximální úhel natočení volantu doleva při první změně jízdního pruhu (zatačka doleva),

$X_{\dot{\psi},max}$  – maximální hodnota stáčivé rychlosti při první změně jízdního pruhu (zatačka doleva),

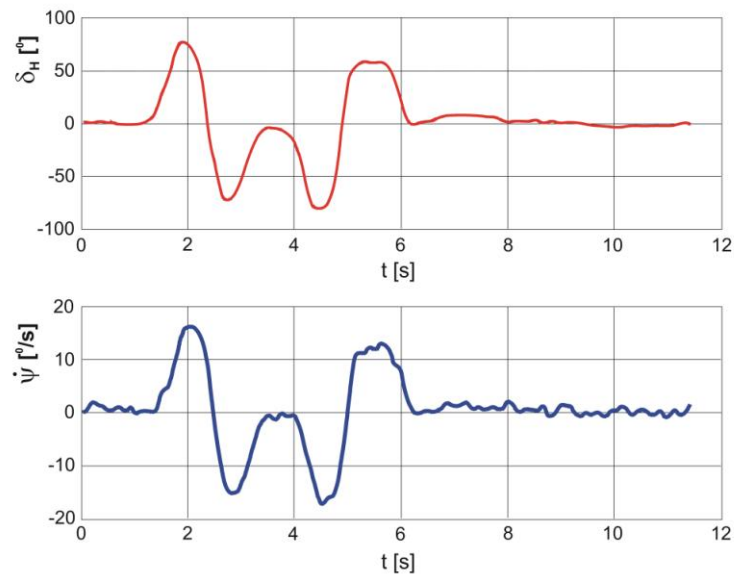
$T_{\delta_H,max}$  – čas potřebný k dosažení maximální hodnoty úhlu natočení volantu při první změně jízdního pruhu (zatačka doleva),

$T_{\dot{\psi},max}$  – čas potřebný k dosažení maximální stáčivé rychlosti při první změně jízdního pruhu (zatačka doleva).

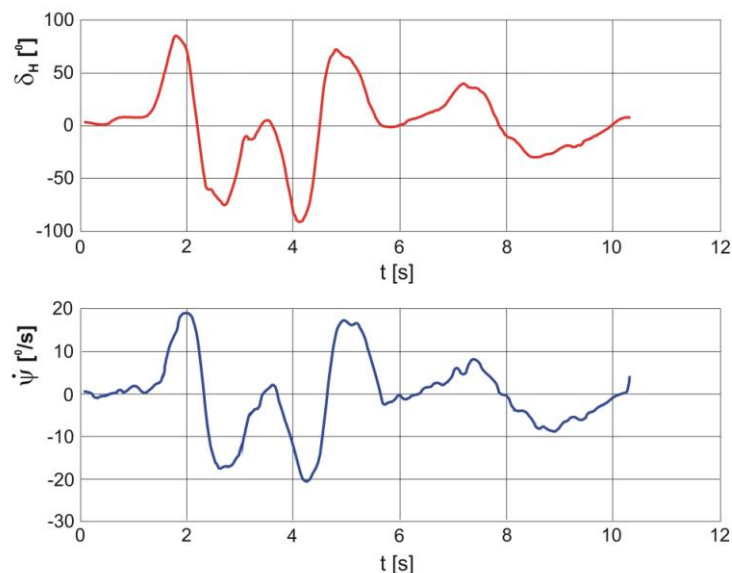


Obr. 5. Veličiny nezbytné k určení zisku a reakční doby vozidla.

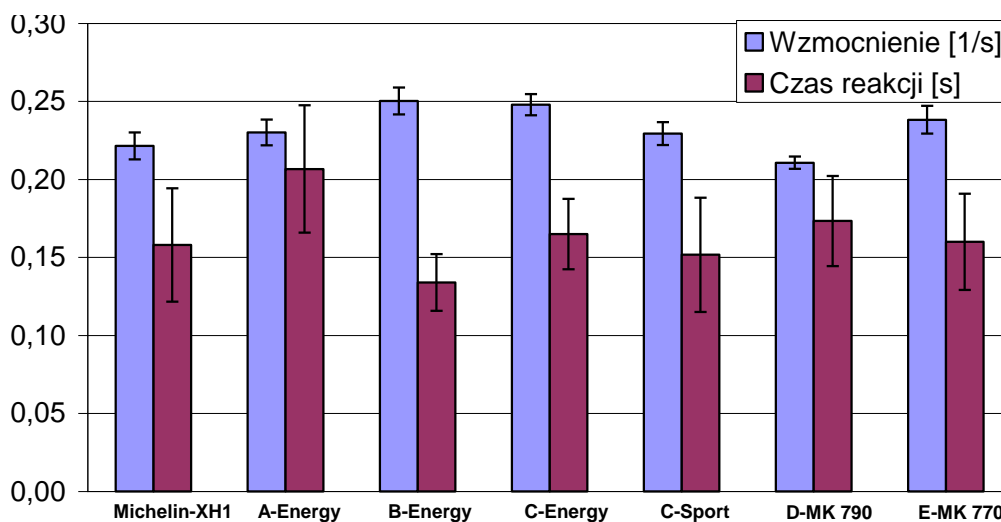
Příklady křivek úhlu natočení volantu a stáčivé rychlosti jako časové funkce jsou znázorněny na obr. 6, 7. Obr. 8 znázorňuje hodnoty zisku a reakční doby všech sad pneumatik.



Obr. 6. Časový průběh úhlu natočení volantu a stáčivé rychlosti pro pneumatiky XH1-Michelin.



Obr. 7. Časový průběh úhlu natočení volantu a stáčivé rychlosti pro pneumatiky Energy-A.



Obr. 8. Zisk a reakční doba vozidla u všech sad pneumatik.

### 5.3. Závěr zkoušek prudké změny jízdního pruhu

Výsledky zkoušek prokazují, že rozdíly ve způsobu řízení vozidla s alternativními zkoušenými pneumatikami jsou relativně nevýznamné, zvláště s ohledem na “zisk” definovaný jako poměr maximální stáčivé rychlosti k úhlu natočení volantu v první fázi prudké změny jízdního pruhu. Maximální relativní rozdíly zisku nepřesahují 12% hodnoty získané u modelu pneumatik XH1-Michelin. Nejvyšší hodnota zisku, ukazující boční elasticitu (pružnost) pneumatik, byla pozorována u pneumatiky Energy-B. Obdobné hodnoty byly získány u pneumatik Energy-A, Energy-C, Sport-C a MK770-E. Zato nejnižší hodnoty zisku jsme zaznamenali u pneumatik MK790-D, ale rozdíl vzhledem k modelovým pneumatikám (XH1-Michelin) nepřevýšil 5%.

Reakční dobu (citlivost) vozidla na úhel natočení volantu lze považovat za určitý indikátor hodnocení ovladatelnosti. Čím rychlejší reakce, tj. kratší reakční doba, tím lepší ovladatelnost vozidla (vyplývá z řízení – manévru řidiče). Během zkoušek byla reakční doba vozidla u šesti sad pneumatik (včetně pneumatik modelu XH1-Michelin) přibližně  $0,15 \div 0,17$  s, a pouze v případě pneumatiky Energy-A přesáhla reakční doba 0,20 s a byla



delší o asi 31% v porovnání s modelovými pneumatikami. Vezmeme-li v úvahu hodnotu zisku, lze říci, že pneumatiky Energy-A měly nejlepší boční elasticitu. S těmito pneumatikami měl řidič největší obtíže, aby udržel dráhu rovně po dokončení manévru prudké změny jízdního pruhu.

## 6. ZÁVĚR

Zkoušky jízdou v oblouku odhalily, že v porovnání se zcela novými pneumatikami většina protektorovaných pneumatik ukázala nižší stabilitu v zatáčkách a silně nelineární změnu úhlu natočení volantu. Lze tedy říci, že je účinek protektorovaných pneumatik na aktivní bezpečnost vozidla patrný.

Zkoušky se všemi testovanými pneumatikami prokázaly, že vozidlo mělo uspokojivou charakteristiku říditelnosti – mírná nedotáčivost vozidla.

Výsledky zkoušek prokazují, že rozdíly ve způsobu řízení vozidla s alternativními testovanými pneumatikami jsou relativně bezvýznamné, zejména pokud jde o “zisk” definovanou jako poměr maximální stáčívé rychlosti a úhlu natočení volantu v první fázi manévru prudké změny jízdního pruhu.

## Bibliografie

- [1] ISO/TR 3888 – 1975, Silniční vozidla – Postup zkoušky manévrem prudké změny, technická zpráva 3888. (ISO/TR – 1975, Road Vehicles – Test procedure for a severe lane-change maneuver, Technical Report 3888.)
- [2] ISO 4138 – 1982, Postup zkoušky silničních vozidel ustálenou jízdou po kruhu. (ISO 4138 – 1982, Road Vehicles Steady State Circular Test Procedure.)
- [3] Kleczkowski A., Vozidla. Ovladatelnost a stabilita za jízdy po silnici. Metody výzkumu, indikátory hodnocení, požadavky. (Kleczkowski A., Automobiles. Manoeuvrability and road holding ability. Research methods, assessment indicators, requirements. Projekt Normy Zakładowej OBR Samochodow Malolitrazowych 1988.)
- [4] PN87/S-47350, Osobní automobily – Postup zkoušky ustálenou jízdou po kruhu. (PN-87/S-47350, Passenger cars – A steady state circular test procedure.)
- [5] PN-ISO 8855, Silniční vozidla. Dynamika a reakce při řízení. Terminologie. (PN-ISO 8855, Road vehicles. Dynamics and behaviour in driving. Terminology.)
- [6] Walczak S. Počítačové programy pro zpracování zkoušek osobních vozidel pomocí prostředí Matlabu, Krakov 2004. (Walczak S. Computer programs for processing of vehicle road tests using Matlab environment Krakow 2004.)
- [7] Mitschke M. Dynamika vozidel, WKiL, Varšava 1977. (Mitschke M. Automobile Dynamics, WKiL, Warszawa 1977.)