

Wpływ niesprawności zawiesznień na stateczność ruchu pojazdu - porównanie badań symulacyjnych i pomiarów

KRZYSZTOF PARCZEWSKI, HENRYK WNEK

Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej
Katedra Silników Spalinowych i Pojazdów

W artykule przedstawiono wyniki badań drogowych wpływu niesprawności układu jezdnego na kierowność i stateczność ruchu pojazdu podczas manewrów rozpędzania i hamowania. Analiza dotyczyła toru jazdy, sił i momentów na kole kierowniczym oraz kątów skrętu kół przednich. Do oceny zachowania się pojazdu wykorzystano również parametr nazwany wysiłkiem kierowcy. Wpływ badanych niesprawności na momenty sił i kąty porównywano ze zbadanymi odpowiednimi wielkościami dla pojazdu sprawnego.

1. Wprowadzenie

Po drogach porusza się ogromna ilość pojazdów. Zapewnienie bezpieczeństwa osobom poruszającym się po drogach wymaga coraz lepszych umiejętności kierowców oraz samochodów o lepszych własnościach w zakresie kierowności i stateczności ruchu. Tor ruchu pojazdu jest wypadkową własności psychofizycznych kierującego, „jakości” układów kierowniczego i zawiesznień oraz stanu technicznego pojazdu. O ile zachowanie się kierującego pojazdem zależy od jego stanu psychofizycznego, trudnego do określenia w danym momencie jazdy, o tyle analiza niesprawności pojazdu może być przeprowadzona na podstawie badań testowych i analiz. W publikacji starano się przedstawić wpływ wybranych niesprawności pojazdu na parametry geometryczne ruchu i momenty występujące na kole kierownicy [1 - 5].

2. Wybrane niesprawności pojazdu - zakres badań

Do analiz wybrano szereg najczęściej występujących niesprawności pojazdów. Najbardziej typowe niesprawności to:

- niższe od przewidzianego ciśnienie w ogumieniu jednego z kół,
- niestandardowe obręcze kół o innym odsunięciu tarczy (ET),
- nieprawidłowa zbieżność kół przednich.
- niesprawny amortyzator,

- nadmierny luz w układzie kierowniczym,
- nadmierny luz na sworzniu wahacza.

Jak można zauważyć z przedstawionego powyżej zestawienia, są to typowe niesprawności pojazdów poruszających się po drogach. Do analiz wykorzystano samochód FIAT Seicento.

W pracy przedstawiono wyniki badań samochodu sprawnego oraz z wymienionymi powyżej niesprawnościami. Ze względu na możliwości badawcze i bezpieczeństwo kierującego badania przeprowadzono dla pierwszych czterech niesprawności, przy występowaniu ich na prawym przednim lub tylnym kole.

W pojeździe wprowadzono następujące modyfikacje:

- niższe od przewidzianego ciśnienie w ogumieniu koła prawego przedniego, o wartości około 0,1 MPa (N1),
- niestandardowa tarcza koła prawego przedniego o przesunięciu osi o $\Delta e = +20$ mm (N2, N3),
- nieprawidłowa zbieżność kół przednich $\Delta \epsilon = +20$ mm (N4),
- niesprawny amortyzator przedni prawy (N5),
- niestandardowa obręcz koła tylnego prawego o odsunięciu o $\Delta e = +20$ mm (N6),
- niższe od przewidzianego ciśnienie w ogumieniu koła prawego tylnego, o wartości około 0,1 MPa (N7).

3. Obiekt badań i aparatura badawcza

Obiekt badań stanowił przygotowany do tego celu samochód osobowy klasy A - FIAT Seicento 900. Pojazd ten wyposażony był w system przeciwblokujący nowej generacji - ABS BOSCH 5.3. Jest to układ czterokanałowy, który dodatkowo steruje rozdziałem sił hamowania na oś przednią i tylną przy pomocy funkcji EBD (Electronic Brake Force Distribution). Ponadto pojazd ten standardowo posiadał obręcze stalowe o rozmiarze 5.00×13", dla których wielkość odsadzenia ET wynosi 33 mm, oraz opony DEBICA D-164 145/70 R 13.

Do badań wykorzystano odpowiednią aparaturę badawczą (tab. 1). Podczas badań rejestrowano parametry istotne z punktu widzenia analizowanych problemów, a także parametry stanowiące wielkości kontrolne [6].

Tabela 1. Aparatura pomiarowa.
Table 1. Measuring apparatus.

Aparatura pomiarowa	Parametr mierzony	Zakres	Błąd
Głowica Correvit S-CE (CORRSYS-DATRON)	prędkość wzdłużna V_x	0 ÷ 97 m/s	± 0,03 m/s
	prędkość poprzeczna V_y	0 ÷ 62 m/s	± 0,03 m/s
Kierownica MSW (CORRSYS-DATRON)	moment na kole kierownicy M_H	± 50 Nm	± 0,2 %
	kąt obrotu koła kierownicy δ_H	± 1250 °	± 0,1 %
	prędkość obrotu kierownicy $\dot{\delta}_H$	0 ÷ 1000 °/s	± 0,1 °/s
Żyroskop prędkościowy (SSSJ)	prędkość kątowna odchylenia $\dot{\psi}$	± 100 °/s	± 0,5 %

Czujnik kąta skrętu koła	kąt skrętu koła δ_k	$\pm 45^\circ$	$\pm 0,5^\circ$
Czujnik prędkości obrotowej	prędkość obrotowa koła n_k	0 ÷ 1000 imp/obr	$\pm 0,25\%$
Czujnik ciśnienia (Peltron)	ciśnienie płynu hamulcowego p_h	0 ÷ 200 bar	$\pm 0,18\%$
Czujnik siły (ZEP)	siła nacisku na pedał hamulca P_h	0 ÷ 1 kN	$\pm 0,05\%$

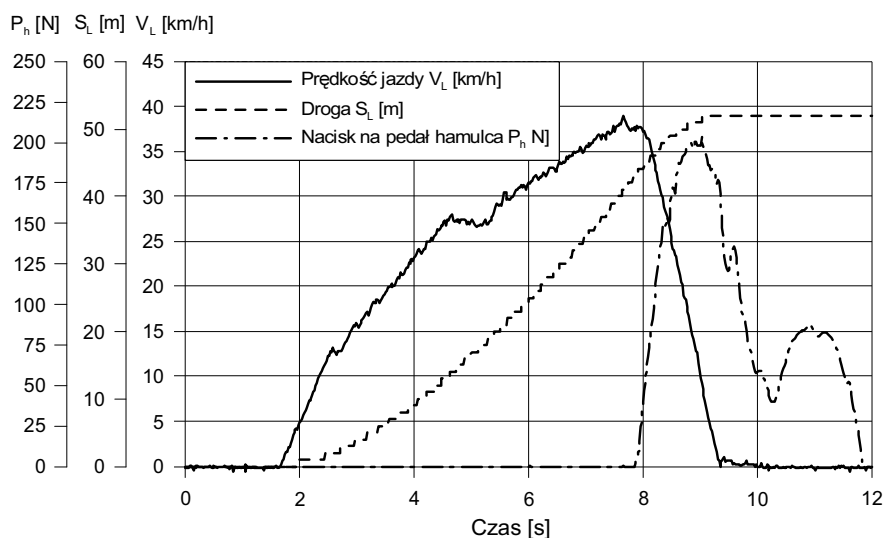
Sygnaly z poszczególnych czujników były zbierane przez urządzenie rejestrujące (akwizycji danych) i przesyłane do komputera (rys. 1).



Rys. 1. Obiekt badań z aparaturą badawczą.
Fig. 1. Object of testing with measuring apparatus.

Badania przeprowadzono na prostym odcinku drogi o nawierzchni asfaltowej, gładkiej i suchej. Temperatura powietrza utrzymywała się w zakresie $15 \div 20^\circ\text{C}$. Poszczególne próby polegały na rozpędzeniu pojazdu do prędkości około 35 km/h i następnie intensywnym hamowaniu aż do zatrzymania się pojazdu. Próby przeprowadzono przy kierownicy trzymanej w ustalonej pozycji jazdy na wprost oraz przy kierownicy pozostawionej swobodnie.

Na wykresach poniżej (rys. 2) pokazano: zmianę prędkości jazdy, pokonaną drogę oraz przebieg siły nacisku na pedał hamulca.



Rys. 2. Przebiegi parametrów kontrolnych: prędkość jazdy, przebyta droga, siła na pedale hamulca.
 Fig. 2. Runs of the control parameters: a) travelling speed, b) distance, c) push force on brake pedal.

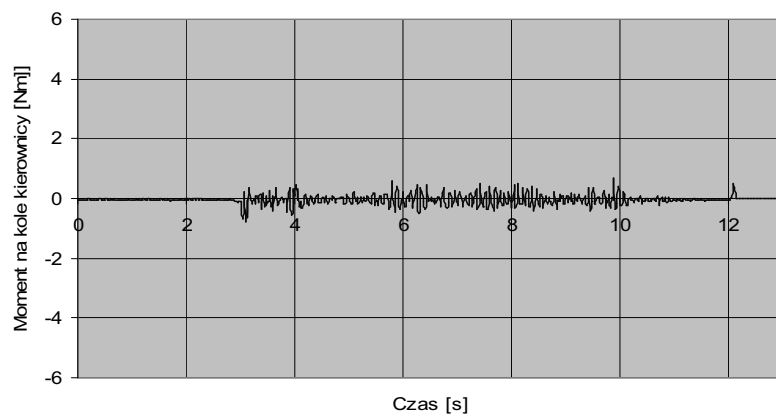
4. Wyniki badań i ich analiza

Badania wstępne przeprowadzono na pojeździe sprawnym – bez wymienionych powyżej niesprawności. Stanowiły one bazę do porównań zachowania się pojazdu niesprawnego. W przypadku badania pojazdu sprawnego porównywano wielkości momentu działającego na koło kierownicy, kąta obrotu koła kierownicy dla ustalonego i swobodnego położenia kierownicy. Na wykresach pierwsza ich część odpowiada przyspieszaniu, a druga - hamowaniu.

4.1. Pojazd sprawny

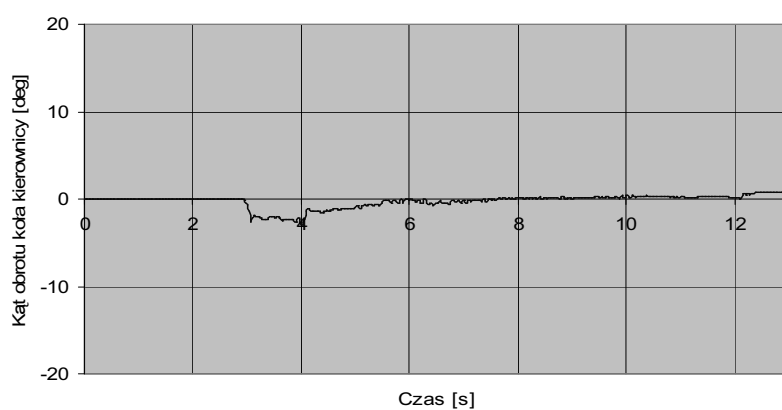
Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono wyniki pomiarów momentów na kole kierownicy oraz kąta obrotu koła kierownicy dla samochodu sprawnego, przy jej swobodnym położeniu, a na dwóch kolejnych - przy ustalonym położeniu koła kierownicy w kierunku jazdy na wprost.

Maksymalna wielkość momentów zarówno w czasie rozpędzania, jak i hamowania nie przekraczała $M_H = 0,4$ Nm. Maksymalny kąt obrotu koła kierownicy nie przekraczał 2° . Wielkości te wynikają z nierówności i zanieczyszczeń na styku koła z jezdnią.



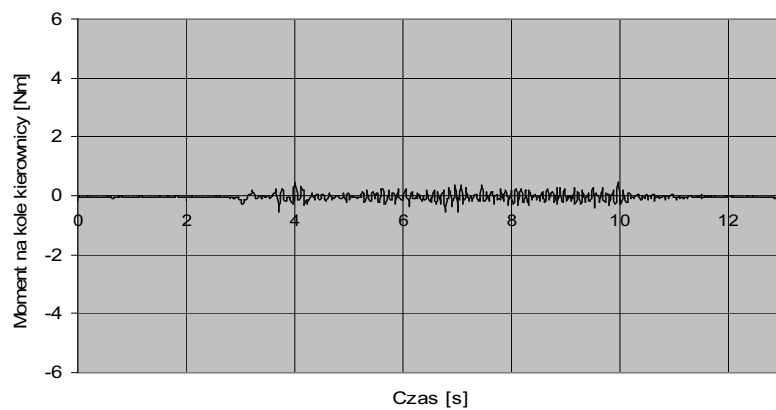
Rys. 3. Moment na kole kierownicy w położeniu swobodnym.

Fig. 3. Moment on steering wheel in free position.



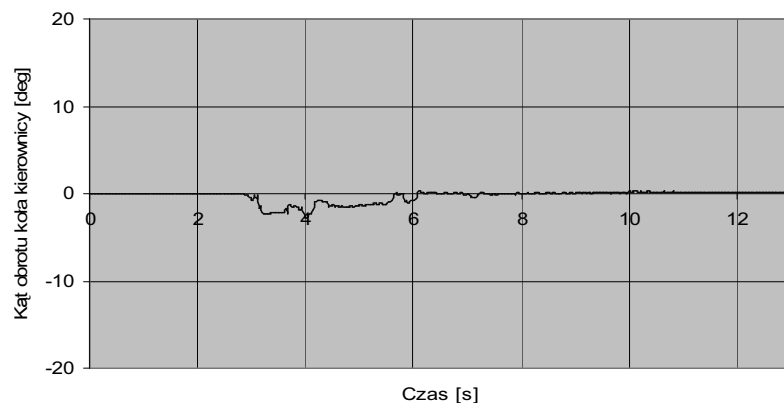
Rys. 4. Kąt obrotu koła kierownicy w położeniu swobodnym.

Fig. 4. Turn angle of steering wheel in free position.



Rys. 5. Moment na kole kierownicy w położeniu ustalonym.

Fig. 5. Moment on steering wheel in fixed position.



Rys. 6. Kąt obrotu koła kierownicy w położeniu ustalonym.

Fig. 6. Turn angle of steering wheel in fixed position.

4.2. Pojazd niesprawny

W przypadku badania pojazdu niesprawnego porównywano te same parametry. W tabeli 2 zestawiono wyniki wartości momentów na kole kierownicy i kątów obrotu koła kierownicy: maksymalnego i następnego, co do wartości.

Tabela 2. Maksymalne momenty i kąty obrotu koła kierownicy

Table 2. Maximal moments and turn angles of steering wheel

a) położenie swobodne

a) free position

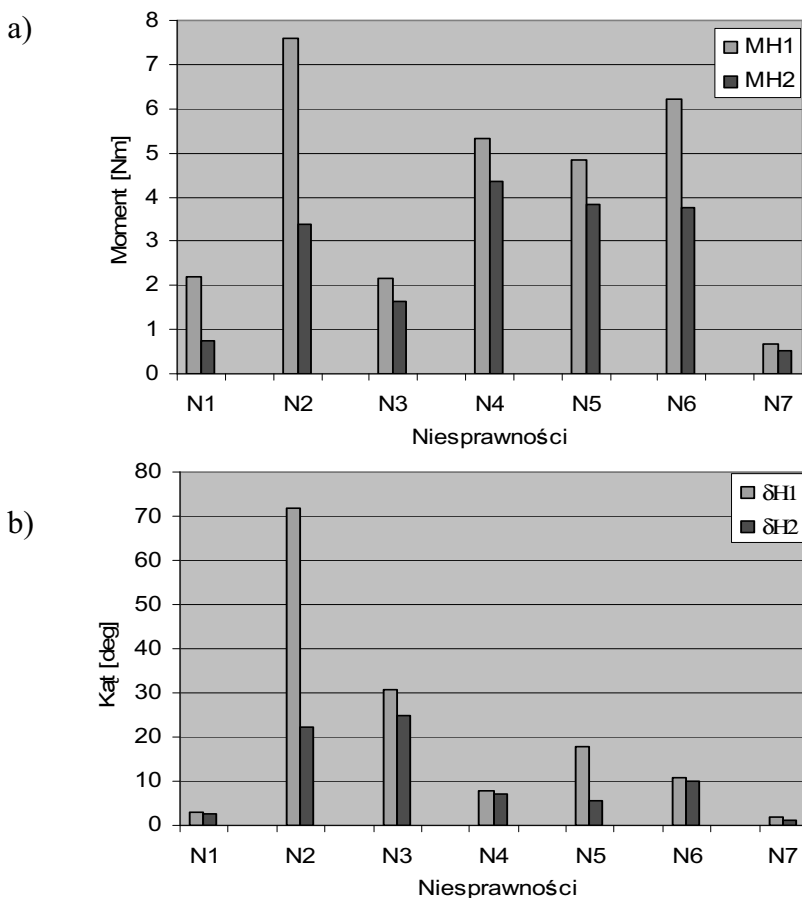
	M_{H1}	M_{H2}	δ_{H1}	δ_{H2}
N1	2,207	0,73	2,88	2,70
N2	7,59	3,37	71,88	22,32
N3	2,15	1,65	30,9	24,90
N4	5,31	4,37	7,920	7,08
N5	4,84	3,83	17,80	5,40
N6	6,23	3,77	10,92	10,02
N7	0,65	0,50	1,92	1,20

b) położenie ustalone

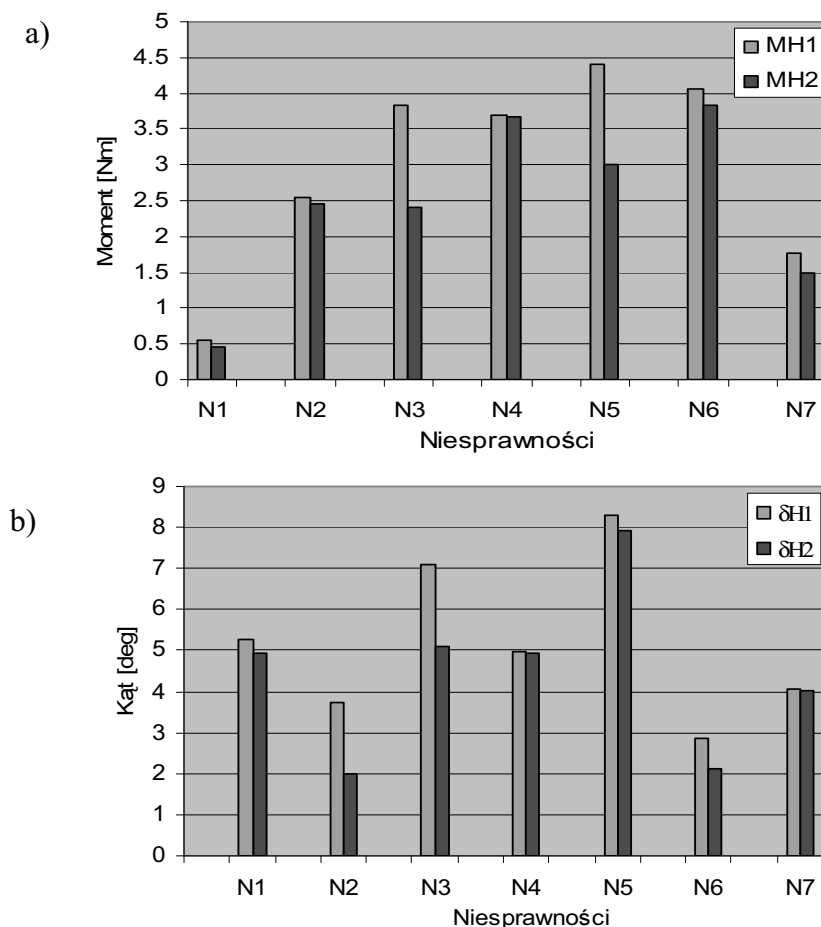
b) fixed position

	M_{H1}	M_{H2}	δ_{H1}	δ_{H2}
N1	0,54	0,46	5,28	4,92
N2	2,54	2,46	3,72	2,00
N3	3,84	2,41	7,08	5,10
N4	3,69	3,67	4,98	4,92
N5	4,40	2,99	8,28	7,92
N6	4,06	3,83	2,88	2,10
N7	1,77	1,49	4,08	4,02

Na rysunku 7 przedstawiono ekstremalne wartości momentów i kątów obrotu koła kierownicy w zależności od niesprawności dla położenia swobodnego. Natomiast na rysunku 8 przedstawiono ekstremalne wartości momentów i kątów obrotu koła kierownicy w zależności od niesprawności dla położenia ustalonego.



Rys. 7. Położenie swobodne koła kierownicy: a) moment obrotu, b) kąt obrotu kierownicy.
 Fig. 7. Free position of the steering wheel: a) turn moment, b) turn angle of steering wheel.



Rys. 8. Położenie ustalone koła kierownicy: a) moment obrotu, b) kąt obrotu kierownicy.
 Fig. 8. Fixed position of the steering wheel: a) turn moment, b) turn angle of steering wheel.

4.3. Analiza wyników pomiarów

Największe wartości kątów obrotu koła kierownicy występują przy swobodnym położeniu koła kierownicy. W tym przypadku ruch koła kierownicy obrazuje moment obrotowy działający na pojazd. Kąty obrotu koła kierownicy są znaczne, szczególnie duże przy nieprawidłowej tarczy jednego z kół, niesprawnym amortyzatorze, ale również przy obniżonym ciśnieniu powietrza w jednym z kół. Wartości graniczne wynoszą nawet kilkadziesiąt stopni. W pierwszym z wymienionych przypadków znaczne kąty występują przy rozpędzaniu oraz przy hamowaniu, w drugim tylko przy hamowaniu. Najmniejszą „czułość” pojazd wykazuje na obniżenie ciśnienia w przednim kole i na stosowanie nieprawidłowych tarcz kół tylnych.

Największe wartości momentów działających na koło kierownicy występują przy ustalonym położeniu koła kierownicy. W tym przypadku kierowca przeciwdziała ob-

rotowi koła. Z tego względu kąty obrotu są niewielkie i nie przekraczają 10 stopni. Większość niesprawności powoduje ogólny wzrost momentów działających na koło kierownicy (podczas rozpędzania i hamowania), wyjątkiem jest niesprawność amortyzatora, która powoduje gwałtowny wzrost momentów jedynie podczas hamowania.

5. Ocena zachowania się pojazdu

Z przeprowadzonych badań wstępnych wynika, że niesprawności pojazdu w różnej mierze wpływają na stateczność ruchu.

Najbardziej niekorzystny wpływ miało stosowanie nieprawidłowych (różnych) tarcz kół przednich. Spowodowało to, przy rozpędzaniu, występowanie momentu na kole kierownicy wymagającego od kierowcy działania siłą przeciwdziałającą obrotowi koła kierownicy. Podczas hamowania zmienia się kierunek działania momentu. Moment w stosunku do pojazdu sprawnego wzrasta około 10 razy, a kąt - 30 razy.

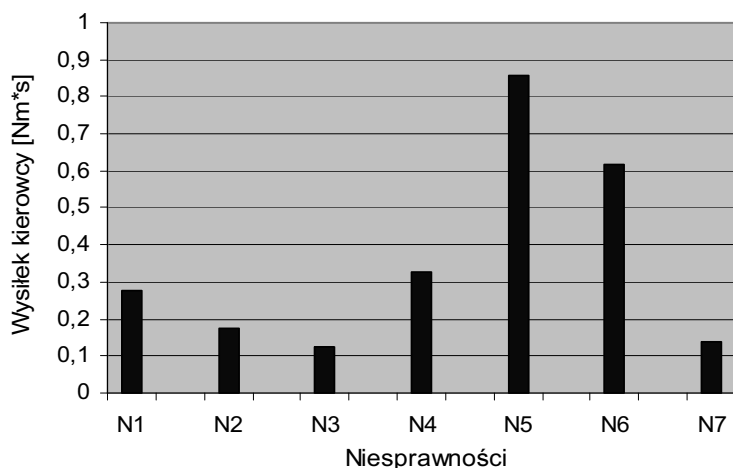
Niesprawność przedniego amortyzatora przy rozpędzaniu powoduje zmiany momentu i kąta obrotu koła kierownicy oscylujące wokół zera. Znacznie intensywniej jest ona zaznaczona podczas hamowania, gdzie moment i kąt zmieniają się w większym zakresie (moment ~ 10 razy, a kąt ~ 7 razy).

Obniżenie ciśnienia powietrza w tylnym kole wywołuje, podczas rozpędzania, niewielkie zmiany momentu i kąta obrotu koła kierownicy, powiększają się one przy hamowaniu. Zmiana kąta obrotu koła kierownicy jest ~ 5 -krotna, a momentu ~ 7 -krotna.

Zastosowanie innej tarczy koła tylnego w niewielkim stopniu wpływa na momenty i kąty obrotu koła kierownicy, zarówno w fazie rozpędzania, jak i hamowania. Zmiana jest około 2-krotna.

Obniżenie ciśnienia powietrza w przednim kole wywołuje, podczas rozpędzania, niewielkie zmiany momentu i kąta obrotu koła kierownicy, nie powiększają się one przy hamowaniu. Zmiana kąta obrotu koła kierownicy jest ~ 2 -krotna, a momentu ~ 2 -krotna.

Do oceny zachowania się pojazdu podczas przyspieszania i hamowania wykorzystano również „wysiłek kierowcy” [2] – wskaźnik zdefiniowany jako całka z momentu na kole kierownicy. Wysiłek kierowcy w poszczególnych próbach przedstawiono na wykresie (rys. 9).



Rys. 9. Wysiłek kierowcy.

Fig. 9. The driver effort.

Z wykresu wynika, że jazda z niesprawnym amortyzatorem lub nieprawidłowym ciśnieniem powietrza w jednym kole tylnym wymaga od kierowcy działania z większą siłą na koło kierownicy w celu utrzymania go w ustalonym położeniu niż w przypadku pozostałych prób. Najmniejszego wysiłku wymaga zastosowanie nieprawidłowej tarczy koła na przedniej lub na tylnej osi.

6. Wnioski

Z przeprowadzonych badań wstępnych wynika, że pojazd, podczas manewrów rozpędzania i hamowania, jest ogólnie mało „czuły” na niesprawności związane z ciśnieniem powietrza w ogumieniu. Większą czułość wykazuje na niesprawności amortyzatora(ów), a najbardziej reaguje na nieprawidłowe, różne tarcze kół umieszczone na osi przedniej.

Największego wysiłku wymaga od kierowcy jazda z niesprawnym amortyzatorem oraz z obniżonym ciśnieniem w ogumieniu.

Literatura

- [1] PARCZEWSKI K.: *Analiza wybranych niesprawności na kierowność pojazdu*, KONMOT-AUTOPROGRES 2004, Czasopismo Techniczne – Mechanika, Pojazdy Samochodowe, T. 2., WPK, s. 419-424.
- [2] GRZEGOZEK W., WNEK H., *Wysiłek kierowcy jako parametr oceny zachowania się pojazdu podczas hamowania na niejednorodnej nawierzchni*, Czasopismo Techniczne Mechanika, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 20-21.06.2005.
- [3] WNEK H., *Badanie wpływu zmian promienia zataczania na zachowanie się hamowanego pojazdu wyposażonego w system ABS*, KONMOT-AUTOPROGRES 2004, Czasopismo Techniczne – Mechanika, Pojazdy Samochodowe, T. 2., WPK, s. 691-698.

- [4] REIMPELL J., BETZER J.W., *Podwozia samochodów. Podstawy konstrukcji*. WKŁ, Warszawa 2004.
- [5] ORZEŁOWSKI S., *Eksperymentalne badania samochodów i ich zespołów*, wyd. 1. WNT, Warszawa wyd. 1, 1995.
- [6] PN-ISO 8855:1999: *Pojazdy drogowe. Dynamika i zachowanie się podczas jazdy. Terminologia*. PKN 1999.

Influence of the suspension faults on the car motion stability – comparison and analysis of test results

S u m m a r y

The paper presents the results of analysis and vehicle research during acceleration and braking. The vehicle was tested with different faults of front and rear suspension. The analysis included path, moments and forces in suspensions and steering system. Numerical analysis were done for similar faults. Driver effort was determined too.