

**Grzegorz MOTRYCZ, Piotr STRYJEK**WOJSKOWY INSTYTUT TECHNIKI PANCERNEJ I SAMOCHODOWEJ, PRACOWNIA BOJOWYCH WOZÓW OPANCERZONYCH,  
ul. Okuniewska 1, 05-070 Sulejówek**Niedokładność wymuszeń kierowcy jako składowa błędów w torze pomiarowym poprzecznej dynamicznej stabilności ruchu pojazdu podczas omijania przeszkód****Kpt. mgr inż. Grzegorz MOTRYCZ**

Pracownik Wojskowego Instytutu Techniki Pancernej i Samochodowej. Asystent w Pracowni Bojowych Wozów Opancerzonych.



e-mail: grzegorzmotrycz@o2.pl

**Mgr inż. Piotr STRYJEK**

Pracownik Wojskowego Instytutu Techniki Pancernej i Samochodowej. Kierownik Pracowni Bojowych Wozów Opancerzonych.



e-mail: p.stryjek@wp.pl

**Streszczenie**

W artykule opisano typowe problemy związane z pomiarami dynamiki ruchu pojazdów kołowych. Wskazano na brak powtarzalności kolejnych prób i niedokładności w wymuszeniu kołem kierownicy realizowane przez kierowców testowych. Różnice w osiągniętych wynikach przez różnych kierowców pokazano na przykładowych, zarejestrowanych próbach.

**Słowa kluczowe:** pomiary dynamiki pojazdów, błędy kierowcy.

**Driver steering wheel uncertainty as a component error of the lateral dynamic stability of vehicle driving round an obstacle****Abstract**

Typical problems concerned with dynamic measurement of wheeled vehicles are presented in the article. All results come from expertise of Military Institute of Armour and Automotive Technology. They were collected during testing the wheeled vehicles. Poor repeatability and uncertainty of driver function is disclosed during tests. As an example, it is shown the difference between results of two test drivers, testing armoured wheeled vehicles, KTO Rosomak. The drivers performed similar test of double line change, in similar conditions and with the same speed. As a result of their various way of steering, the acceleration difference and roll angle difference of the vehicle were over 30%. To prevent in future problems coming from the differences, the Military Institute of Armour and Automotive Technology has started procedure of using special robot system (SR60 ABD Dynamic), which is able to control vehicles, without any driver help. It allows the steering vehicle with high precision, up to several centimeters.

**Keywords:** dynamic measurements of vehicle, driver mistake.

**1. Wstęp**

Prowadzenie pomiarów parametrów dynamiki ruchu pojazdów kołowych jest zagadnieniem skomplikowanym i wymagającym zrozumienia wpływu poszczególnych uwarunkowań na wynik pomiaru. Niedokładność urządzeń pomiarowych jest jedynie małym składnikiem ogólnego błędu i niepewności, podczas wykonywania kolejnych przejazdów przez wytyczone próby.

Jednak największy błąd popełniany przy badaniach pojazdów jest spowodowany niedokładnością człowieka. Odpowiedź pojazdu na nieprawidłowe wymuszenie ruchu kołem kierownicy może dać niereprezentatywne wyniki zarejestrowanych parametrów. Na podstawie tak otrzymanych wyników nie można określić właściwej charakterystyki pojazdu.

W związku z powyższym, podczas prowadzenia pomiarów dynamiki ruchu pojazdów niezwykle istotną rolę odgrywa kierowca. Powinien on nie tylko posiadać odpowiednio wysokie umiejętności kierowania pojazdem, ale również w pełni rozumieć założenia i cel wykonywanych prób.

**2. Procedura manewru podwójnej zmiany pasa ruchu**

Wpływ niedokładności wymuszeń kierowcy na reakcje pojazdu występuje przy wszystkich rodzajach prób, wykonywanych w celu weryfikacji i rejestracji zachowań pojazdu. W celu pokazania znaczenia błędów człowieka, w niniejszym artykule skupiono się na wybranej próbie manewru podwójnej zmiany pasa ruchu, popularnie zwanej testem „łosia”. Próba ta odbywa się ze stosunkowo dużymi prędkościami przejazdu, przez ściśle wytyczony tor, co zmusza kierowcę do wykonywania nagłych i precyzyjnych ruchów kołem kierownicy.

Manewr podwójnej zmiany pasa ruchu jest podstawowym testem pozwalającym ocenić niektóre właściwości z dziedziny kierowności i stateczności. Przeprowadzenie weryfikacji pojazdu za pomocą tego testu pozwala na określenie odpowiedzi pojazdu na wykonany obrót kołem kierownicy.

W celu przybliżenia zagadnienia w formie syntetycznej wybrane rodzaje prób przedstawiono w tablicy. 1 [1, 2, 3].

Tab. 1. Metody podwójnej zmiany pasa ruchu

Tab. 1. Methods of double line change test

Nazwa testu	Tor ruchu/ wymuszenie	Dziedzina analizy	Norma
Manewr podwójnej zmiany pasa ruchu		czas	ISO 3888-1
			ISO 3888-2
Próba podwójnej zmiany pasa ruchu			AVTP-03-160W

Dla segmentu pojazdów wojskowych dokumentem normującym metody oceny wymienionych parametrów jest Publikacja Sojusznicych Procedur Badawczych [1]. Dokument ten zawiera wskazania jak określać poprzeczną dynamiczną stabilność ruchu pojazdu, podczas omijania przeszkód.

Siły Zbrojne USA używają również testu podwójnej zmiany pasa ruchu do weryfikacji parametrów ciężkich pojazdów wojskowych (pojazdów specjalnych). Próbę weryfikacji przeprowadzają oni według dwóch testów: Testu NATO oraz testu TOP. Test NATO jest bardzo zbliżony do układu testu ISO 3888-2.

Manewr podwójnej zmiany pasa ruchu jest podstawowym testem przeprowadzanym podczas weryfikacji pojazdu. Polega on

na przejechaniu badanego odcinka toru badawczego ze stałą prędkością.

Zazwyczaj, ośrodki badawcze wykonują test przy prędkości początkowej 80 km/h. Drugi przejazd przez tor badawczy powtarzają z prędkością możliwie największą do uzyskania przez dany pojazd. W przypadku badania pojazdów o prędkości maksymalnej nie większej niż 80 km/h, test wykonuje się tylko dla prędkości maksymalnej.

Realizację testu prowadzi się do momentu:

- osiągnięcia maksymalnej prędkości określonej w programie badań;
- osiągnięcia granicznej stabilności ruchu pojazdu;
- braku możliwości pokonania toru badawczego bez potrącenia pachołków.

W czasie prowadzenia badań wymaga się rejestrowania:

- danych charakterystycznych o torze;
- numeru kolejnej próby;
- kierunku skrętu;
- prędkości pojazdu podczas próby;
- przełożenia w skrzyni biegów;
- czasu pokonania toru badawczego;
- zachowania się pojazdu (opinie kierowców i niezależnych obserwatorów lub film video);
- granicy, przy której pojazd utrzymywał się w pasie ruchu (liczba i pozycja potrąconych pachołków);
- kąta obrotu koła kierownicy;
- przyspieszenia poprzecznego;
- kąta pochylenia pojazdu;
- prędkości maksymalnej podczas próby bez korekty kołem kierowniczym.

W celu określenia podstawowych właściwości badanych obiektów sporządza się następujące charakterystyki:

- kąta obrotu kierownicy w funkcji czasu;
- przyspieszenia poprzecznego w funkcji czasu;
- kąta pochylenia pojazdu w funkcji czasu.

### 3. Aparatura pomiarowa

Do pomiarów dynamiki pojazdów używane jest wiele typów urządzeń, różniących się konstrukcją i zasadą działania. Do badań dynamiki wykorzystuje się zarówno urządzenia typu mechanicznego (piąte koło), wymagające fizycznego kontaktu z nawierzchnią, optyczne, typu lampy Correvit (rys. 1), jak i urządzenia działające w oparciu o system pozycjonowania GPS.



Rys. 1. Widok lampy służącej do pomiaru prędkości, typu Correvit  
Fig. 1. Show of speed measurement system - Correvit

Wszystkie współczesne urządzenia przeznaczone do badań pojazdów charakteryzują się bardzo dobrą dokładnością pomiaru.

Pomiary prędkości ruchu pojazdu są obecnie realizowane z dokładnościami rzędu kilku setnych km/h. Przykładowo, system pomiarowy WITPiS, działający w oparciu o GPS i system inercyjny, w połączeniu z dodatkowym, nieruchomym punktem odniesienia w postaci tzw. „stacji bazowej”, pozwala mierzyć prędkość

ruchu pojazdu z dokładnością do 0,05 km/h, a błąd określenia pozycji pojazdu nie przekracza zazwyczaj 2 cm.

Pomiary innych parametrów ruchu pojazdu np. kąta obrotu kierownicy (rys. 2), realizowane są zazwyczaj z dokładnością dziesiątych części stopnia.



Rys. 2. Widok dodatkowej kierownicy umożliwiającej pomiar kąta i momentu wymuszenia realizowanego przez kierowcę

Fig. 2. The view of extra steering wheel for measurement the angle and torque forced by driver

Zmiany parametrów ruchu pojazdów kołowych nie należą do zmian szybkozmiennych. Standardową częstotliwością próbkowania sygnałów jest 100 Hz. Jest to częstotliwość wystarczająca do rejestracji większości parametrów ruchu pojazdów, poruszających się z prędkościami przekraczającymi nawet 100 km/h.

Pewien wpływ na dokładność pomiarów mają także warunki atmosferyczne. Urządzenia do pomiarów parametrów ruchu pojazdów są wprawdzie tak zaprojektowane, aby można było je używać w warunkach zewnętrznych, nawet w temperaturach ujemnych, jednak należy zawsze mieć na uwadze algorytm, zgodnie, z którym dane urządzenie pracuje. Dotyczy to np. pomiarów prędkości lampami correvit'a, które ze względu na konstrukcję optyki, przy nawierzchni toru pokrytej warstwą wody lub śniegu, mogą pracować nieprawidłowo.

Podsumowując, większość urządzeń pomiarowych ma dokładność pomiaru poniżej jednego procenta. Dużo większy wpływ na całkowity błąd pomiaru mogą mieć warunki atmosferyczne. Na przykład znacznie większy wpływ niż niedokładność samej aparatury rejestrującej ma temperatura nawierzchni na współczynnik przyczepności opon oraz temperatura zasysanego powietrza na moc silnika spalinowego.

### 4. Wpływ wymuszeń kierowcy na reakcje pojazdu

Obiektem badań był pojazd KTO Rosomak na podwoziu 8x8 (rys. 3). Masa pojazdu wynosiła około 24 000 kg. Pojazd wyposażony był w silnik wysokoprężny o mocy około 500 KM oraz układ napędowy typu 8x8.



Rys. 3. Widok pojazdu KTO Rosomak  
Fig. 3. View of vehicle KTO Rosomak

Do rejestracji poszczególnych parametrów użyto kierownicy MSW-2 S/N 103-4243, czujników prędkości kątowej, mod. A58-F-2500-5V oraz systemu RT3002 firmy Oxford Technical Solution (rys. 4).



Rys. 4. Widok aparatury pomiarowej zamontowanej w opisywanym pojeździe KTO

Fig. 4. View of measurement system used in test vehicle

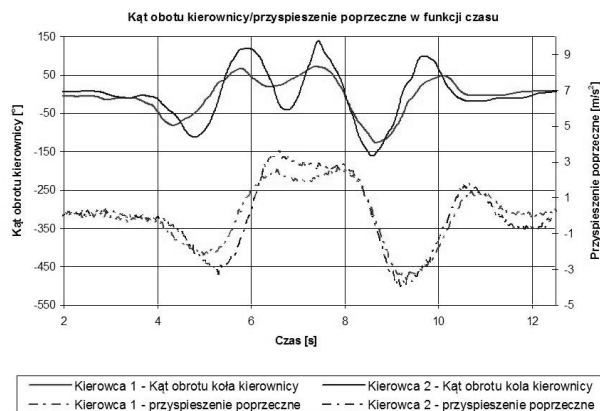
Na rysunkach przedstawiono wykresy wybranych, rejestrowanych parametrów dla dwóch kierowców, podczas pokonywania toru badawczego z prędkością 80 km/h.

Analizując osiągnięte wyniki podczas przejazdu obu kierowców można zauważyć (wykresy 1-3), że zarówno zachowanie pojazdu, jak i działające siły na transporter mogą znacznie różnić się, w zależności od stylu kierowania pojazdem (jazda spokojna – kierowca 1, jazda dynamiczna – kierowca 2), przy tej samej prędkości pokonywania próby.

Łagodniejsze operowanie kołem kierownicy przełożyło się na przykład w wynikach pierwszego kierowcy na blisko 30% mniejszy kąt znoszenia pojazdu. Na powyższym przykładzie najlepiej widać, że różnica w stylu kierowania pomiędzy dwoma kierowcami może spowodować błąd o ponad rząd wielkości większy, od niedokładności samej aparatury pomiarowej.

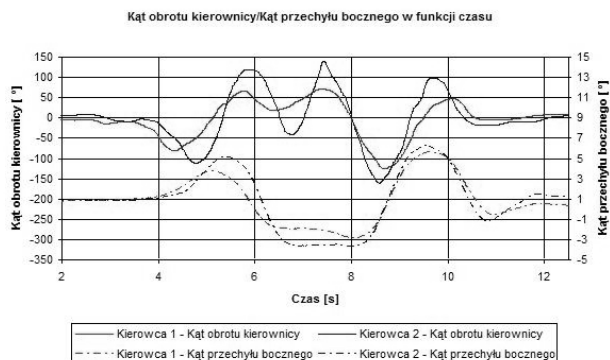
Podobne różnice wystąpiły przy analizie kąta przechyłu nadwozia podczas przejazdu próby i przyspieszenia poprzecznego działającego na transporter. Różnice sięgają od kilkunastu do 25%. Analizując wykresy kąta obrotu kierownicy można zauważyć również, że kierowcy musieli także w różnym stopniu „kontrolować” kołem kierownicy, w celu opanowania pojazdu podczas pokonywania toru badawczego.

Należy w tym miejscu wyraźnie podkreślić, że próby manewru podwójnej zmiany pasa ruchu przeprowadza się do uzyskania prędkości maksymalnej, przy której pojazd może być kontrolowany.



Rys. 5. Wykresy kąta obrotu kierownicy i przyspieszenia poprzecznego w funkcji czasu (wykres 1)

Fig. 5. Curves of driving wheel turn angle and transversal acceleration vs. time (chart 1)



Rys. 6. Wykresy kąta obrotu kierownicy i kąta przechyłu bocznego w funkcji czasu (wykres 2)

Fig. 6. Curves of driving wheel turn angle and lateral inclination angle vs. time (chart 2)



Rys. 7. Wykresy kąta obrotu kierownicy i kąta znoszenia pojazdu w funkcji czasu (wykres 3)

Fig. 7. Curves of driving wheel turn angle and drive out the vehicle of its course angle vs. time (chart 3)

Przedstawione wykresy dotyczą przejazdu przez tor badawczy z prędkością 80 km/h transporterem opancerzonym o masie blisko 24 000 kg. Działające na pojazd siły powodują, że tylne osie pojazdu wykazują już duże kąty znoszenia (pojazd jest nadsterowny) i kierowca musi wykonywać odpowiednie kontry kierownicą w celu zapobiegnięcia obróceniu się pojazdu wokół własnej osi. Kierowca jest w tym momencie pod wpływem silnego stresu i trudno jest uzyskać precyzyjne i w pełni powtarzalne wymuszenia kierownicą.

## 5. Automatyczny układ kierowania pojazdami

W celu wyeliminowania niedokładności kierowcy w sterowaniu badanym pojazdem (eliminacja błędów człowieka), Wojskowy Instytut Techniki Pancernej i Samochodowej rozpoczął wdrażanie procedur badawczych z udziałem automatycznego systemu kierowania pojazdami (rys. 8) [4].

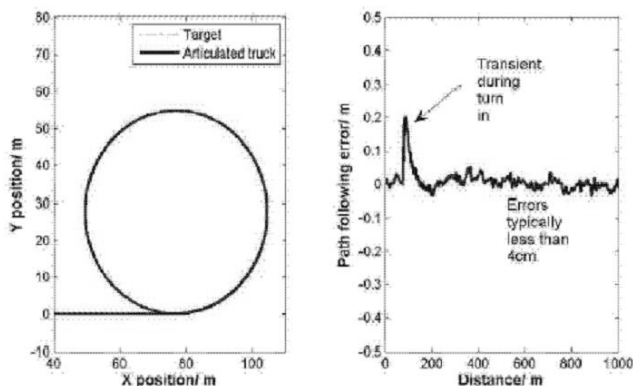
System ten zapewnia odtworzenie zaprogramowanego toru jazdy przez system automatycznego kierowania pojazdem z dokładnością pomiaru pozycji do 2 cm, przy dowolnej prędkości prowadzenia prób. Pozwala to na uzyskiwanie bardzo dobrej powtarzalności kolejnych przejazdów i zadawanie precyzyjnych wymuszeń kołem kierowniczym. Z drugiej strony, prędkości wymuszeń skrętu koła kierownicy realizowane przez silnik elektryczny urządzenia pozwalają na realizację szybkich, skokowych wymuszeń z prędkościami do 2500°/s, co jest trudne do zrealizowania przez człowieka.



Rys. 8. System automatycznego kierowania pojazdem zamontowany w pojeździe  
Fig. 8. Automatic steering system in test vehicle

Ze względu na bardzo złożony układ sterowania, jakim jest pojazd kołowy, w którym występują m.in. liczne elementy podatne, system nie jest w stanie kierować pojazdem z dokładnością do 2 cm, z jaką określane jest położenie środka masy. Jednak z badań Instytutu wynika, że odchylenie od zadanego toru jazdy nie przekracza zazwyczaj kilku centymetrów (w większości prób poniżej 5 cm). Są to wartości nieosiągalne dla człowieka (rys. 9). Zazwyczaj, nawet kierowca testowy podczas kolejnych przejazdów przez tor badawczy popelnia błąd odchyłki od zadanego toru jazdy nawet o kilkadziesiąt centymetrów.

Jeszcze większe różnice powstają przy skokowych wymuszeniach kołem kierownicy. Kierowcy trudno jest bowiem określić, z jaką prędkością wykonuje obrót kołem kierownicy. System automatycznego kierowania można natomiast zaprogramować w taki sposób, aby prędkość obrotu koła kierownicy była dokładnie taka, jaką wymaga tego procedura.



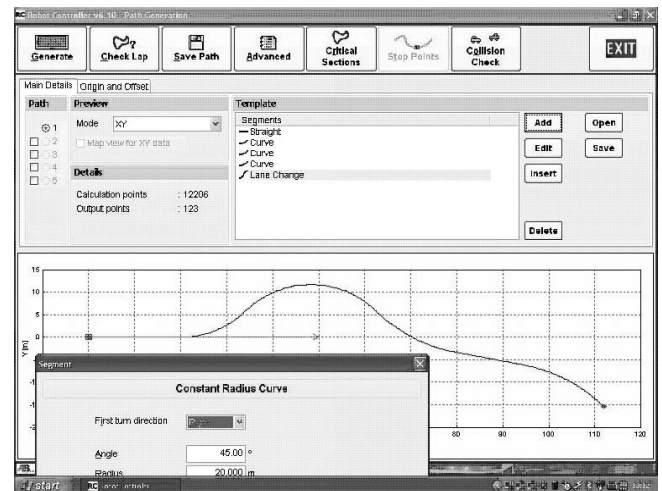
Rys. 9. Wartości odchyłek rzeczywistego toru jazdy od zadanego, dla próby jazdy po okręgu. Wartości dla automatycznego systemu kierowania pojazdem

Fig. 9. Differences of measured and ideal (programmed) driving line. Results for vehicle with automatic steering system

System pozwala na programowanie wymuszeń kołem kierownicy lub programowanie toru jazdy pojazdu na kilka sposobów. Po pierwsze system ma wpisane w pamięci kilka wybranych norm z zakresu stateczności i dynamiki pojazdów. W tym przypadku wystarczy wpisać gabaryty pojazdu, natomiast program samodzielnie przeliczy i wyznaczy szerokości i długości poszczególnych sekcji danej próby.

Drugim sposobem jest stworzenie toru ruchu, po którym ma poruszać się pojazd. Tor jest złożony z elementów składowych takich jak proste, łuki lub okręgi o zadanych parametrach. Przy tworzeniu toru można doprowadzić do stworzenia zamkniętego toru jazdy, po którym pojazd będzie wykonywał określoną liczbę

okrążeń. Daje to także możliwość wykonywania badań trwałościowych przy bardzo dobrej powtarzalności dynamiki ruchu pojazdu.



Rys. 10. Widok okna programu – tworzenie toru próby  
Fig. 10. View of program window – making the test line

Istnieje również możliwość zapisania toru jazdy kierowcy podczas jego przejazdu próby i późniejsze ich wielokrotne odtworzenie przez automatyczny układ kierujący. Daje to możliwość zachowania dobrej powtarzalności kolejnych przejazdów i możliwość zaobserwowania oraz zarejestrowania odpowiedzi pojazdu na dany typ wymuszenia.

## 6. Podsumowanie

Normy opisujące manewr podwójnej zmiany pasa ruchu cechują się dużymi obostrzeniami związanymi z dokładnością wykonywania manewrów i utrzymywaniem poszczególnych parametrów ruchu pojazdu w wąskim zakresie błędów. W przypadku pojazdów specjalnych typu transporter opancerzony, zadanie postawione przed kierowcą jest jeszcze trudniejsze, ze względu na wymiary transportera, ograniczoną widoczność i dużą masę pojazdu.

Jak wskazano w artykule, błąd pomiaru spowodowany niedokładnością aparatury jest często niewielki w stosunku do niepowtarzalności wymuszeń kierowcy. Niezbędne więc wydaje się, by w celu wyeliminowania błędów czynnika ludzkiego oraz zapewnienia dobrej powtarzalności prób, stosować zautomatyzowane układy kierowania pojazdami.

## 7. Literatura

- [1] AVTP 03-160 W – „Dynamiczna Stabilność Ruchu” Publikacja Sojuszniczych Procedur Badawczych część I NATO AC 225 (panel II/WGE 3).
- [2] ISO 3888-1 Passenger cars – Test track for a severe lane-change manoeuvre – Part 1: Double lane-change. First edition 1999-10-01.
- [3] ISO 3888-2 Passenger cars - Test track for a severe lane-change manoeuvre - Part 2: Obstacle avoidance First edition 2002. First edition 2002-11-15.
- [4] www.abd.uk.com.

otrzymano / received: 17.05.2010

przyjęto do druku / accepted: 02.07.2010

artykuł recenzowany