

Grzegorz Motrycz
Wojskowy Instytut Techniki Pancernej i Samochodowej

Piotr Stryjek
Wojskowy Instytut Techniki Pancernej i Samochodowej

PROBLEMY OCENY STATECZNOŚCI I KIEROWALNOŚCI TRANSPORTERÓW OPANCERZONYCH W TRAKCIE PODWÓJNEJ ZMIANY PASA RUCHU

Streszczenie: Stateczność ruchu pojazdu stanowi najważniejszy aspekt czynnego bezpieczeństwa pojazdu. Każdy pojazd wraz z kierowcą i otaczającymi warunkami zewnętrznymi (kierowca-pojazd-droga) stanowi zamknięty system sterowania. Ocena stateczności ruchu pojazdu jest bardzo trudna ze względu na złożone struktury wzajemnych sprzężeń zwrotnych w/w systemu. Dlatego istnieje też konieczność przeprowadzenia różnego rodzaju prób. Poszczególne próby dostarczają informacji pozwalających jedynie na częściową ocenę całościowej problematyki kierowalności i stateczności pojazdu. Uzyskane w czasie konkretnej próby wyniki badań eksperymentalnych są znaczące jedynie w niewielkim stopniu dla ogólnej oceny zachowania się pojazdu na drodze. Przedstawiony materiał stanowi pewien wycinek z ogólnej problematyki dotyczącej stateczności i kierowalności pojazdu.

Słowa kluczowe: podwójna zmiana pasa ruchu, stateczność, kierowalność, eksperyment, pojazd 8x8

1. WSTĘP

W 2002 roku Research and Technology Organisation opublikowała raport [1], w którym zawarła wymagania dotyczące oceny pojazdów wojskowych, przy pomocy specjalnych prób drogowych – procedur.

Procedury zostały opracowane z uwzględnieniem metod, norm, oraz definicji zawartych w standardach (DIN, ISO), jednakże nie uwzględniały one krajowych aktów prawnych państw członkowskich NATO.

Zapewnienie bezpieczeństwa dla przyszłych użytkowników wojskowych pojazdów lądowych wymusiło na producentach poddawanie nowych prototypów szeregowi badań eksperymentalnych.

W szczególności żąda się, aby kierowca za pomocą odpowiednich urządzeń sterowniczych mógł łatwo prowadzić transporter opancerzony po określonym torze. Jest to jedno z najważniejszych wymagań, które muszą spełnić transportery poruszające się z dużymi prędkościami. Jest to o tyle istotne, że nowoczesne transportery opancerzone rozwijają prędkości przekraczającą 100 km/h.

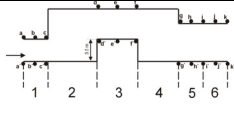
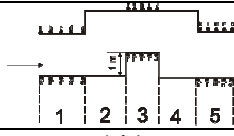
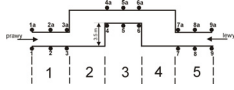
2. PRZEGLĄD METOD OCENY KIEROWALNOŚCI I STATECZNOŚCI W TRAKCIE PODWÓJNEJ ZMIANY PASA RUCHU

Manewr podwójnej zmiany pasa ruchu jest podstawowym testem pozwalającym ocenić niektóre właściwości z obszaru kierowalności i stateczności. Przeprowadzenie oceny pojazdu za pomocą tego testu pozwala na określenie odpowiedzi pojazdu na wykonany obrót kołem kierownicy przez kierowcę.

W celu przybliżenia zagadnienia w formie syntetycznej na podstawie prac [2], [3], [4], wybrane rodzaje prób przedstawiono w Tablicy. 1.

Tablica 1.

Metody podwójnej zmiany pasa ruchu

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

Dla segmentu pojazdów wojskowych dokumentem normującym metody oceny wymienionych parametrów jest Publikacja Sojuszniczych Procedur Badawczych [2]. Dokument ten zawiera wskazania jak określać poprzeczną dynamiczną stabilność ruchu pojazdu, podczas omijania przeszkód i manewrowania przy zawracaniu.

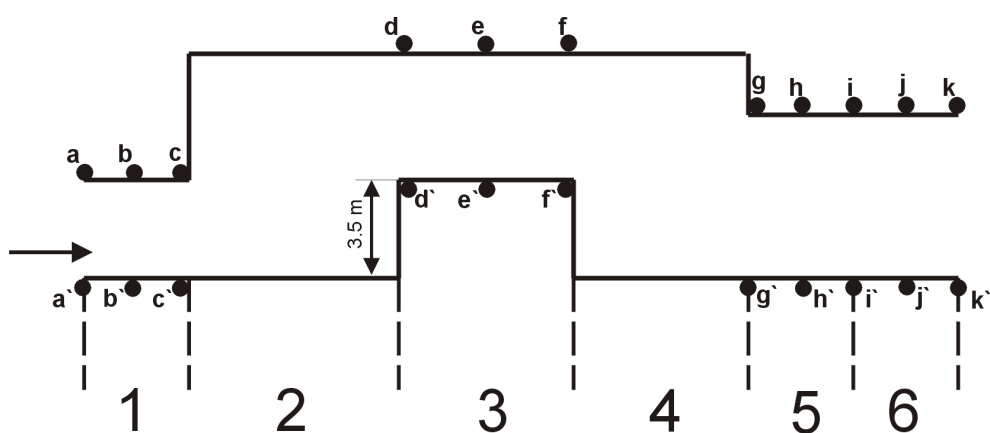
Siły Zbrojne USA również używają testu podwójnej zmiany pasa ruchu do oceny parametrów ciężkich pojazdów wojskowych (pojazdów specjalnych). Próbę oceny przeprowadzają według dwóch testów, testu NATO oraz testu TOP [5]. Test NATO jest bardzo zbliżony do układu testu ISO 3888-2.

Manewr podwójnej zmiany pasa ruchu jest podstawowym testem przeprowadzanym podczas oceny pojazdu. Polega na przejechaniu badanym pojazdem odcinka toru pomiarowego ze stałą prędkością.

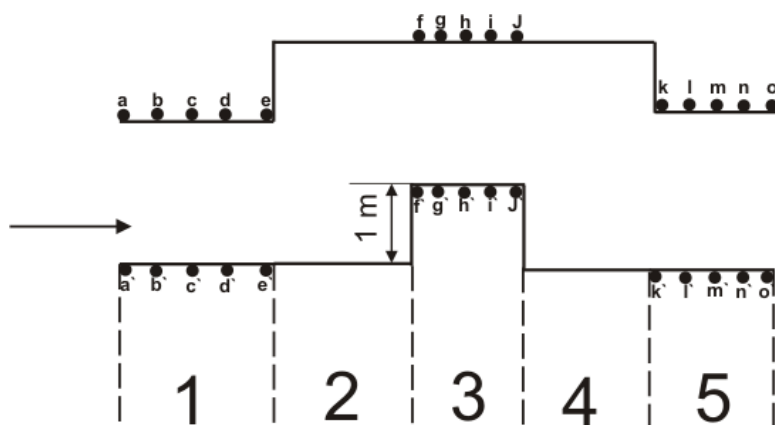
Poniżej przedstawiono różnice w poszczególnych torach pomiarowych stosowanych podczas badań eksperymentalnych.

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 testowania pojazdów o prędkości maksymalnej ≤ 80 km/h, test wykonuje się tylko dla prędkości maksymalnej.

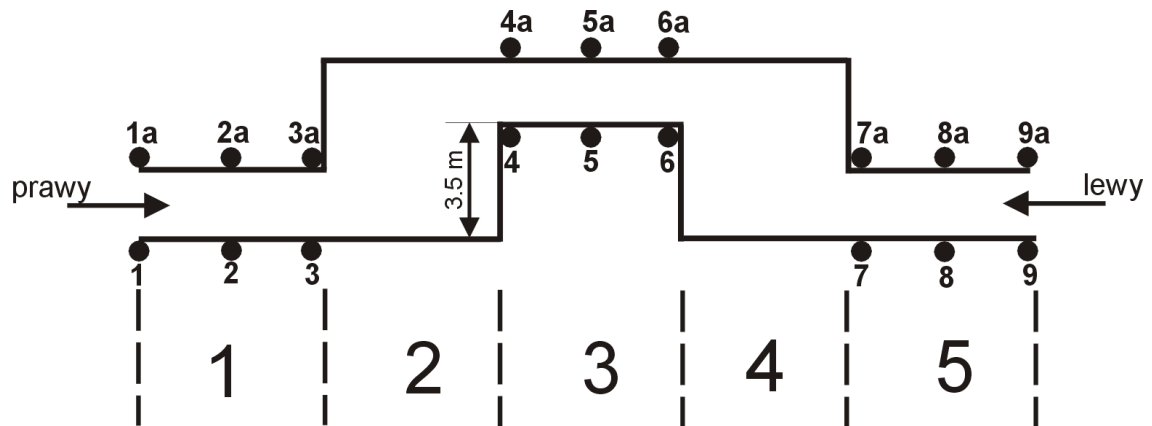
Obecnie test przeprowadza się w oparciu o standardy ISO [3], [4] oraz AVTP [2]. Zasadniczą różnicą w obu testach stanowią wymiary toru badawczego oraz liczba sekcji.



Rys. 1. Tor badawczy wg. ISO TR 3888-1



Rys. 2. Tor badawczy wg. ISO TR 3888-2



Rys. 3. Tor badawczy wg. AVTP 03-160W

Realizację testu prowadzi się do momentu:

- osiągnięcia maksymalnej prędkości określonej w programie badań;
- osiągnięcia granicznej stabilności ruchu transportera;
- 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 δ_H ;
- przyspieszenia poprzecznego a_y ;
- kąta przechyłu bocznego pojazdu;
- prędkości maksymalnej podczas próby, bez korekty kołem kierowniczym.

W Tabelicy 2 przedstawiono wymiary torów pomiarowych według omawianych metod.

Tablica 2.

Wymiary torów pomiarowych w omawianych metodach

Norma	Numer sekcji	Długość	Szerokość	Przesunięcie poprzeczne	Uwagi
AVTP 03-160W	1	15 m	$1,1 \times B + 0,25 \text{ m}$		B – szerokość transportera; L – długość transportera (całkowita długość pojazdu mierzona na poziomie 0.5 m ponad podłożem).
	2	L+24 m			
	3	25	$1,2 \times B + 0,25 \text{ m}$	3,5 m	
	4	L+24 m			
	5	15 m	$1,1 \times B + 0,25 \text{ m}$		
ISO 3888 -1	1	15 m	$1,1 \times B + 0,25 \text{ m}$		Całkowita długość toru pomiarowego 125 m.
	2	30 m			
	3	25 m	$1,2 \times B + 0,25 \text{ m}$	3,5 m	
	4	25 m			
	5	15 m	$1,3 \times B + 0,25 \text{ m}$		
	6	15 m	$1,3 \times B + 0,25 \text{ m}$		
ISO 3888 -2	1	12 m	$1,1 \times B + 0,25 \text{ m}$		Całkowita długość toru pomiarowego 61 m. Dla pojazdów o masie do 3 500 kg.
	2	13,5 m			
	3	11 m	$B + 1 \text{ m}$	1 m	
	4	12,5 m			
	5	12 m	$1,3 \times B + 0,25 \text{ m}$		

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

- kąta obrotu kierownicy δ_H w funkcji czasu;
- przyspieszenie poprzeczne a_y w funkcji czasu;
- kąta przechyłu bocznego pojazdu w funkcji czasu.

3. OBIEKT BADAŃ



Rys. 4. Obiekt - PATRIA XA-360P w wersji 8x8

Obiektem badań był pojazd PATRIA XA-360P na podwoziu 8x8 (Rys.4) [6],[7]. Zastosowana jednostka napędowa to czterosuwowy, sześciocylindrowy, rzędowy wysokoprężny silnik Diesla (SCANIA DI1249A03P). Jest on chłodzony cieczą i wyposażony w turbosprężarkę doładowującą oraz chłodnicę międzystopniową (intercooler). Bezpośredni wtrysk paliwa jest realizowany z wykorzystaniem specjalnych wtryskiwaczy typu PDE sterowanych elektronicznie. Układ ten kontroluje pracę silnika oraz dozowanie paliwa we wszystkich stanach pracy. Elektroniczny układ sterowniczo-regulacyjny wtrysku paliwa składa się z układu sterującego, czujników monitorujących stan silnika oraz układu koordynacyjnego podłączonego do interfejsu użytkownika pojazdu.

Układ sterowniczo regulacyjny dopasowuje dawkowanie paliwa na podstawie informacji z czujników oraz zapamiętuje wykryte błędy. Silnik może pracować na dwóch zakresach mocy wyjściowych wybieranych przełącznikiem wyboru zakresu mocy umieszczonym w przedziale kierowcy.

Pojazd posiada automatyczną skrzynię biegów wyposażoną w siedem biegów jazdy do przodu oraz jeden bieg wsteczny. Skrzynia biegów pozwala na poruszanie się od małych prędkości podczas jazdy w terenie do dużych prędkości podczas jazdy po drogach. Układ przeniesienia napędu składa się ze skrzyni biegów, skrzyni rozdzielczej, przekładni głównych, zwolnic oraz wałów napędowych łączących elementy napędu. Układ zawieszenia stanowi połączenie pomiędzy kołami, a nadwoziem pojazdu. Zawieszenie każdego koła to układ podwójnych, poprzecznych wahaczy trójkątnych mocowanych za pomocą sworzni do zintegrowanego wspornika układu zawieszenia i piasty koła pojazdu. Wahacze lewej i prawej strony pojazdu są lustrzanymi odbiciami. Zawieszenie i układ amortyzacji pojazdu wykorzystuje resory hydrauliczne, w których gaz i płyn odpowiedzialne są odpowiednio za resorowanie i amortyzację wstrząsów.

4. BADANIA TRANSPORTERA OPANCERZONEGO W TRAKCIE MANEWRU PODWÓJNEJ ZMIANY PASA RUCHU

Przeprowadzenie badań eksperymentalnych z obszaru kierowności i stateczności obiektu jakim jest transporter opancerzony PATRIA XA-360P w wersji 8x8 wiąże się z licznymi trudnościami w przygotowaniu go do badań.

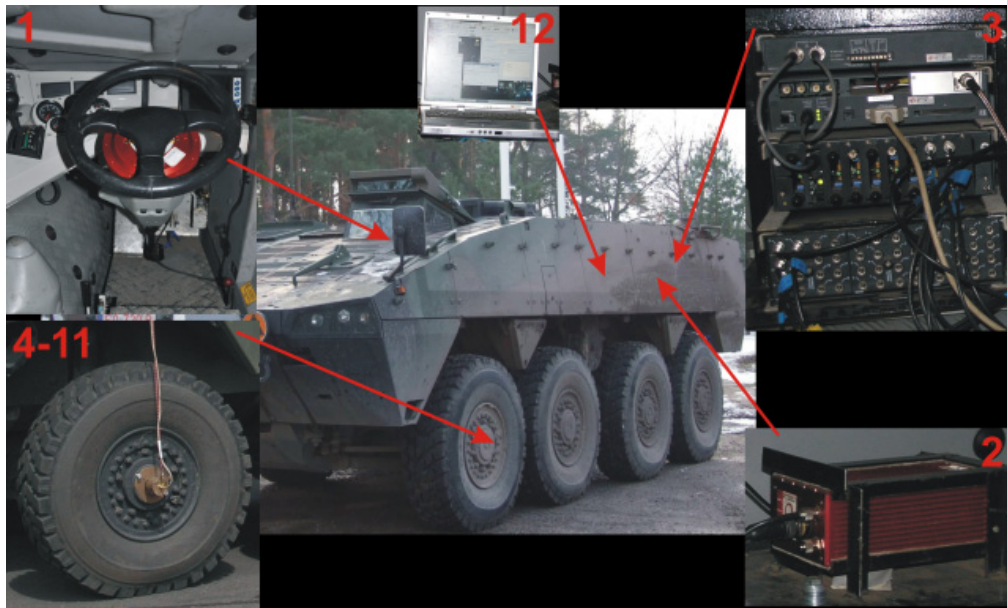
Trudności są spowodowane konstrukcją pojazdu, dostępnością miejsca w kabinie kierowcy. Z tego powodu do przeprowadzenia stosownego testu wykorzystano aparaturę pomiarową (Tablica 3.), na którą składały się:

Tablica 3.

Aparatura pomiarowa

Nr urządzenia [Rys 5]	Nazwa urządzenia	Mierzone wielkości	Zakres Pracy	Dokładność pomiarowa urządzenia	Producent
1	kierownica MSW-2 S/N 103-4243	kąt obrotu kierownicy	360°		Datron
		moment na kole kierownicy	200 Nm		
2	RT-3002	przyspieszenie poprzeczne	$\pm 100 \text{ m/s}^2$	$\pm 0.01 \%$	Oxford Technical Solutions Ltd.
		prędkość poprzeczna		$\pm 0.2 \%$	
		prędkość wzdłużna		$\pm 0.05 \text{ km/h}$	
		kąty $\psi_s, \vartheta_s, \varphi_s$;		$\pm 0.03^\circ$	
		czas	-		
	droga	-	$\pm 0.2 \%$		
3	daqbook/2000 Series	-	-	-	IOtech, Inc. USA
4-11	czujnik prędkości kątowej mod. A58-F-2500-5V	prędkość obrotowa	0÷2500 obr/min		Brown&Sha rpe-Precizika
12	komputer sterujący - rejestrujący	-	-	-	California Access

W formie wizualnej na (Rys. 5) przedstawiono miejsce zamocowania stosownych urządzeń pomiarowych wymienionych w kolumnie 1 (Tablica 3)w obiekcie badawczym.



Rys. 5. Obiekt badań z umieszczoną aparaturą pomiarową

Analizę sygnałów dokonano z wykorzystaniem komputera, za pomocą oprogramowania MATLAB.

Wyniki pomiarów zostały zarejestrowane cyfrowo z częstotliwością próbkowania sygnału 100 Hz, a następnie poddane procesowi filtracji (filtr dolno przepustowy).

Do jazd pomiarowych wytypowano trzech kierowców. Przed jazdami pomiarowymi wykonano szereg przejazdów treningowych, w celu zapoznania się z charakterystyką zawieszenia transportera, oraz gabarytami pojazdu (Rys. 6).



Rys. 6. Obiekt badań podczas prób

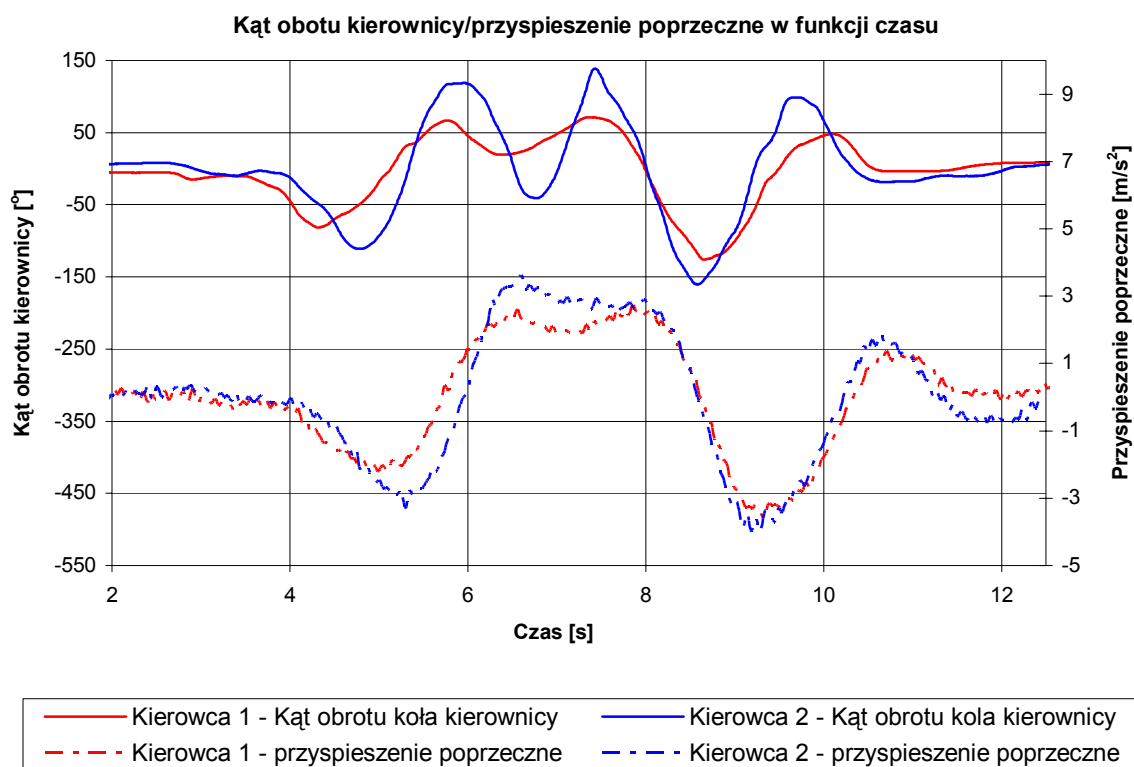
5. ANALIZA PRZYKŁADOWYCH PLIKÓW POMIAROWYCH

Wyniki w postaci liczby strąconych pachółków podczas przejazdów przez tory pomiarowe, w poszczególnych wariantach, przedstawiono w tabelicy nr 4.

Tablica 4.

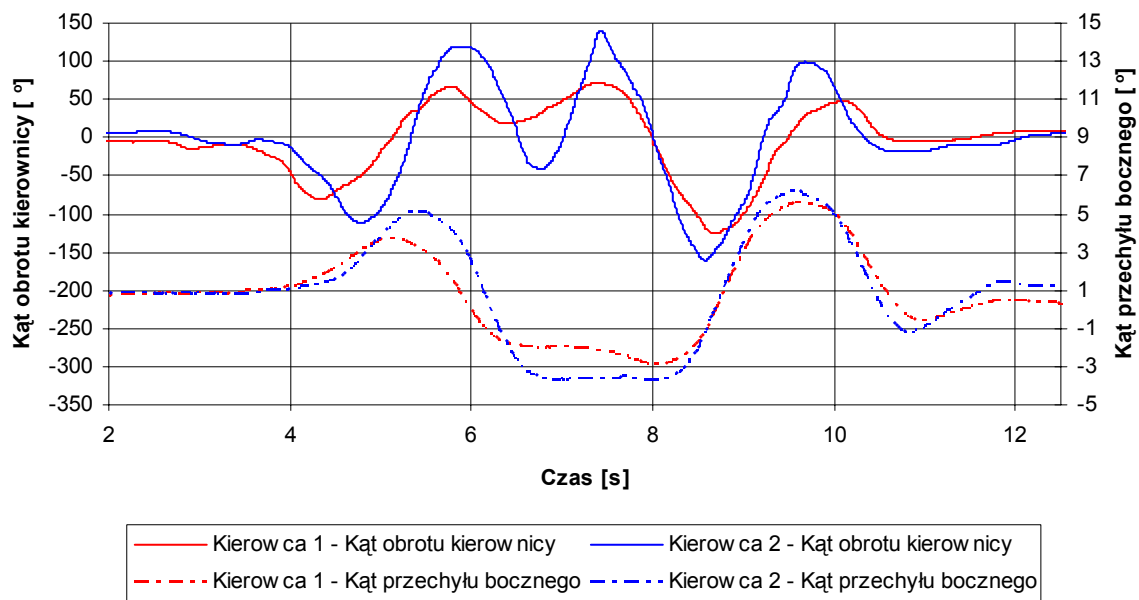
Wyniki testów –AVTP 03-160W

Prędkość przejazdu [km /h]	Kierunek przesunięcia pasa	Nr strąconych pachółków KIEROWCA nr 1	Nr strąconych pachółków KIEROWCA nr 2	Nr strąconych pachółków KIEROWCA nr 3	Uwagi
80	Lewy	3a		8	Brak
80	Prawy	7a	5a,2,2a	5a,3a	Brak



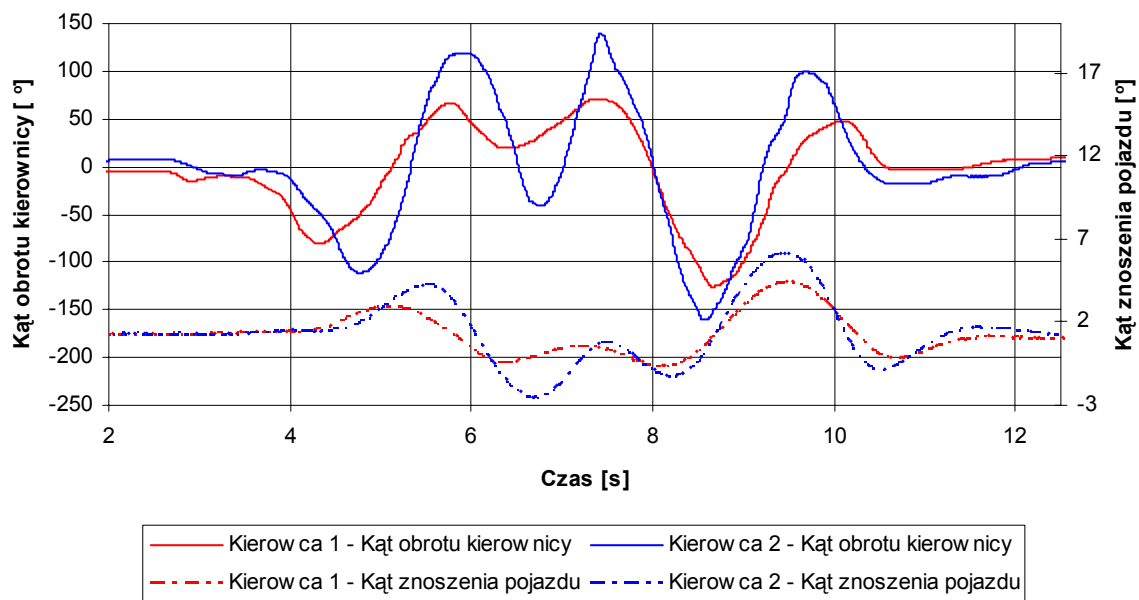
Rys. 7. Porównanie wymuszeń kierownicą (kąt obrotu kierownicy – kierowca 1,2) i przyspieszenia poprzecznego działającego na pojazd. Prędkość przejazdu 80 km/h

Kąt obrotu kierownicy/Kąt przechyłu bocznego w funkcji czasu



Rys. 8. Porównanie wymuszeń kierownicą (kąt obrotu kierownicy – kierowcy 1,2) i kąta przechyłu bocznego pojazdu. Prędkość przejazdu 80 km/h

Kąt obrotu kierownicy/Kąt znoszenia pojazdu w funkcji czasu



Rys. 9. Porównanie wymuszeń kierownicą (kąt obrotu kierownicy – kierowca 1,2) i kąta znoszenia pojazdu. Prędkość przejazdu 80 km/h

Na Rys. 7, 8, 9 przedstawiono wykresy rejestrowanych parametrów dla kierowcy nr 1 i 2 podczas pokonywania toru badawczego z prędkością 80 km/h.

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

Łagodniejsze operowanie kierownicą przełożyło się na przykład w wynikach pierwszego kierowcy na blisko 30% mniejszy kąt znoszenia pojazdu.

Należy w tym miejscu wyraźnie zaznaczyć, że potrącenia pachołków (słupków) w przypadku wykonywania próby podwójnej zmiany pasa ruchu pojazdem typu transporter, mogą wynikać nie tylko z nadmiernej prędkości pojazdu i związanymi z tym dużymi kątami znoszenia opon.

Po pierwsze, metodyka oparta na zatwierdzonych normach ustala wymiary poszczególnych sekcji. Przykładowy wzór ma postać:

$$\text{Szerokość sekcji} = 110\% \text{ szerokości pojazdu} + 0.25\text{m} \quad (1)$$

Na szerokość korytarza ruchu ma wpływ składowa wynikająca z procentowego udziału szerokości pojazdu i stała wartość dodana, w tym przypadku 0.25m. Wzór ten ma zastosowanie zarówno dla pojazdów o mniejszych gabarytach, jak i pojazdów bardzo szerokich, (transporter, ciągnik siodłowy z naczepą). W tym przypadku, zwiększenie korytarza o 0.25 m będzie mniejszym względnym ułatwieniem dla transportera, niż np. dla pojazdu o szerokości 1,75 m.

Po drugie, należy pamiętać, że widoczność z miejsca kierowcy transportera jest na tyle specyficzna, że obserwacja pachołków (słupków) wytyczających tor badawczy jest utrudniona i nie wszystkie strącenia pachołków wynikają z braku stateczności pojazdu, ale z ograniczonej widoczności. Dlatego podczas próby podwójnej zmiany pasa ruchu transportera większe znaczenia ma subiektywna ocena kierowców prowadzących pojazd niż liczba strąconych pachołków.

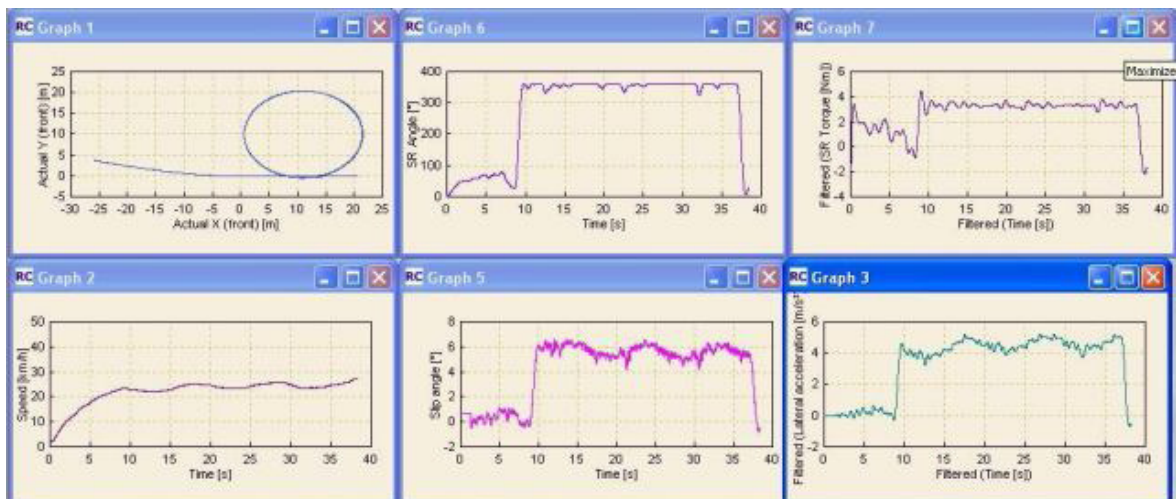
Należy jednak pamiętać, że ocena subiektywna, którą będzie opinia kierującego na temat zachowania się pojazdu będzie tylko wtedy wiarygodna, gdy będzie to przeszkolony kierowca mający za sobą wiele wykonanych podobnych prób.

W przeciwnym razie, aby wyeliminować główny powód takiej sytuacji - niedokładność kierowcy w sterowaniu badanego pojazdu (wyeliminować błędy człowieka), Wojskowy Instytut Techniki Panczernej i Samochodowej rozpoczął wdrażanie procedur badawczych z udziałem automatycznego systemu kierowania pojazdami [8] (Rys. 10,11).

System ten zapewnia odtworzenia zaprogramowanego toru jazdy przez system automatycznego kierowania pojazdem z dokładnością 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 przez silnik elektryczny pozwalają na realizację szybkich, skokowych wymuszeń co jest trudne do zrealizowani przez człowieka.



Rys. 10. Widok systemu pomiarowego zamontowanego w pojeździe



Rys. 11. Przykładowe wyniki pomiarów z użyciem systemu automatycznego kierowania pojazdem

6. WNIOSKI

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

Niezbędne więc wydaje się, by w celu wyeliminowania błędu czynnika ludzkiego oraz zapewnienia dobrej powtarzalności prób, stosować zautomatyzowane układy kierowania pojazdami.

Bibliografia

1. Rto Technical Report 61 „Collaboration for Land, Air, Sea, and Space Vehicles: Developing the Common Ground in Vehicle Dynamics, System Identification, Control, and Handling Qualities” November 2002;
2. AVTP 03-160 W – „Dynamiczna Stabilność Ruchu” Publikacja Sojuszniczych Procedur Badawczych część I NATO AC 225 (panel II/WGE 3);
3. ISO 3888-1 Passenger cars – Test track for a severe lane-change manoeuvre – Part 1: Double lane-change. First edition 1999-10-01;
4. 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;
5. O’Hara Steven Robert. „Vehicle path optimization of emergency lane change maneuvers for vehicle simulation” University of Maryland;
6. Instrukcja Eksploatacji KTO 8x8 – Opis i użytkowanie (Wojskowe Zakłady Mechaniczne Spółka Akcyjna Siemianowice Śląskie 2008;
7. www.patria.fi;
8. www.abd.uk.com.

PROBLEMS CONCERNING THE EVALUATION OF STABILITY AND STEERABILITY OF ARMORED PERSONNEL CARRIERS DURING THE DOUBLE LANE CHANGE

Abstract: The stability of vehicle is the most important aspect of active vehicle safety. Any vehicle with a driver and the surrounding external conditions (driver-vehicle-road) is a closed control system. Evaluation of stability of a vehicle is very difficult due to the complex structure of mutual feedbacks in the system. Therefore, it is necessary to carry out various tests. The various tests to provide information allowing only partial assessment of the overall problem of vehicle stability and steerability. Obtained during the test the specific experimental test results are significant only slightly to the overall assessment of the behavior of the vehicle on the road. The material represents a portion of the overall issues concerning the stability and steerability of the vehicle

Keywords: double lane change, stability, steerability, experiment, vehicle 8x8