

Grzegorz MOTRYCZ*
Piotr STRYJEK

WPLYW ZMIAN KONSTRUKCYJNYCH KTO NA POPRZECZNA DYNAMICZNA STABILNOŚĆ RUCHU

Historia kołowego transportera opancerzonego Rosomak rozpoczęła się w połowie lat 90 XX wieku, gdy inżynierowie z biur konstrukcyjnych zakładu Sisu Defence rozpoczęli opracowywanie założeń taktyczno-technicznych dla nowego transportera, zastępującego transportery XA-180, XA-185 oraz XA-200. Nowo opracowany pojazd otrzymał nazwę AMV (Armoured Modular Vehicle) - XC-360. Na rynku polskim otrzymał nazwę Kołowy Transporter Opancerzony Rosomak.

Artykuł zawiera wyniki z badań eksperymentalnych stateczności i kierowalności kołowego transportera opancerzonego. Próbę oceny wpływu zmian konstrukcyjnych na eksploatację pojazdu oraz bezpieczeństwo załóg.

Słowa kluczowe: *kierowalność, stateczność, badania eksperymentalne, transportery opancerzone kołowe*

WSTĘP

Udział polskich kontyngentów wojskowych w misjach poza granicami kraju stanowi bogaty bagaż doświadczeń. Wiedza ta dotyczy w dużej mierze zachowania się pojazdów działających w warunkach skrajnie różnych od tych, do których były pierwotnie przewidziane. Poligon doświadczalny, jakim stał się Afganistan i Czad, pozwolił na wprowadzenie poprawek i pewnych zmian konstrukcyjnych. Wszystkie te zabiegi mają na celu zapewnienie jeszcze lepszych właściwości ochronnych dla obsługi pojazdu, jednak powodują ingerencję w konstrukcję i zmiany w rozkładzie mas.

Obecne wykorzystanie transporterów w misjach odbiega od pierwotnych założeń technicznych, które były warunkami w przeprowadzonym konkursie Ministerstwa Obrony Narodowej na kołowe transportery opancerzone. Eksploatacja pojazdów miała odbywać się w warunkach klimatycznych środkowej Europy. Pojazdy

* kpt. mgr inż. Grzegorz MOTRYCZ, mgr inż. Piotr STRYJEK - Wojskowy Instytut Techniki Pancерnej i Samochodowej

były przystosowane do pokonywania przeszkód wodnych, jazdy m.in. w konkretnym terenie o konkretnym zapyleniu oraz na określonej wysokości nad poziomem morza i pod kątem tych wymagań pojazdy zostały zaprojektowane. Dalszy rozwój wydarzeń spowodował użycie tych pojazdów w operacjach poza granicami kraju, zarówno w operacjach stabilizacyjnych, jak i operacjach bojowych (wojennych).

Wraz z deklaracją Polski w sprawie udziału w operacji wojskowej EUFOR TCHAD/RCA Unii Europejskiej w ramach Europejskiej Polityki Bezpieczeństwa i Obrony wyniknęło zapotrzebowanie, na pojazd do patrolowania i osłony konwojów. W kraju podjęto decyzję o wystaniu w tym charakterze pojazdów KTO Rosomak. Powstała wówczas wersja pojazdu KTO M-3 (rys. 1), wyposażonego w osłonięte stanowisko strzeleckie, z którego można prowadzić ogień zamiennie z WKM 12,7 mm lub granatnika 40 mm MK-16. Do mankamentów tego rozwiązania należy zaliczyć zastosowanie ręcznego mechanizmu obrotu, co przy masie konstrukcji 1200 kg było znacznym utrudnieniem w obsłudze.



Rys. 1. KTO M-3 (PKW Czad)



Rys. 2. KTO M-3

Źródło: Jarosław Piekarski

Po decyzji o doposażeniu polskiego kontyngentu PKW ISAF, na teren misji skierowano pojazd KTO M-3 (rys. 2), wyposażony w osłonięte stanowisko strzeleckie o napędzie elektrycznym, z dodatkowo wzmocnionym poziomem odporności balistycznej, uzyskanym poprzez dodanie elementów kompozytowych. Do napędu obrotnicy obok mechanizmu ręcznego zastosowano napęd elektryczny, który znacznie ułatwia pracę strzelca pokładowego w odniesieniu do wersji KTO M-1.

Należy zauważyć, że podczas misji w Afganistanie masa pojazdów wzrosła do 26 ton po dopancerzeniu do IV klasy odporności, do którego to ciężaru zoptymalizowano układ jezdy i hamulcowy wozu. Także eksploatacja pojazdów powyżej 2 tysięcy metrów nad poziomem morza miała wpływ na układy ciśnieniowe, przystosowane początkowo do warunków panujących do wysokości 1500 metrów nad poziomem morza. Natomiast podczas misji TCHAD/RCA w Czadzie te same pojazdy pracowały w warunkach zapylenia i temperatury otoczenia strefy równikowej.

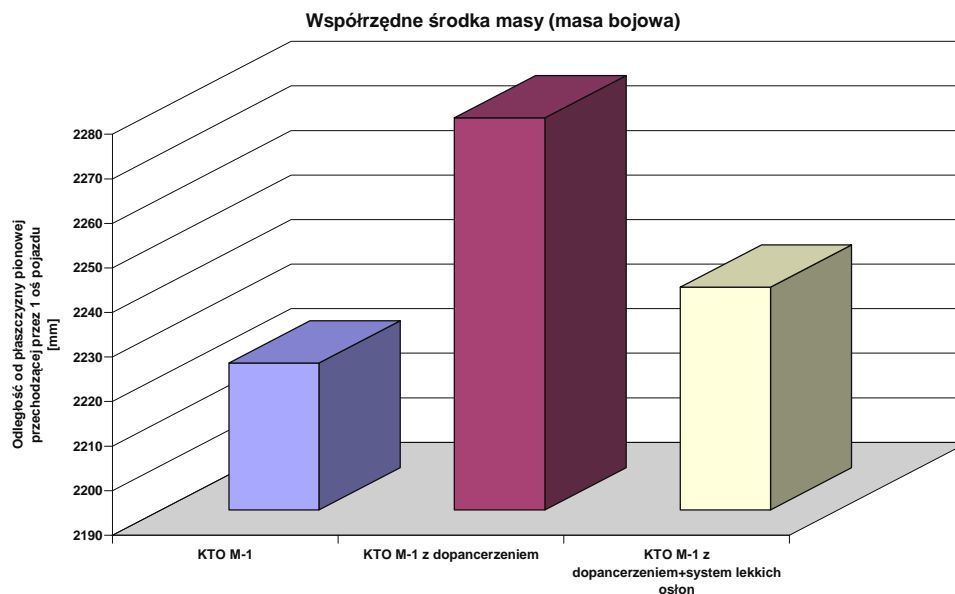
Każda z przeprowadzonych modyfikacji (zmian konstrukcyjnych) była podyktowana doświadczeniami z eksploatacji transportera opancerzonego na polu walki (rejon PKW ISAF). Głównym kierunkiem zmian było podniesienia poziomu ochrony balistycznej pojazdu.

1. WPLYW ZMIAN KONSTRUKCYJNYCH NA STATECZNOŚĆ I KIEROWALNOŚĆ KTO

Położenie środka masy [2,3] z punktu widzenia własności pojazdu w ruchu krzywoliniowym i stanów granicznych tego ruchu, w istotny sposób wpływa na stateczność pojazdu. Nie tylko powoduje obniżenie [1] „obliczeniowego współczynnika poprzecznej stateczności”, lecz również powoduje zmniejszenie kąta wywrócenia. Parametry te dotyczą zwłaszcza podatności na przewrócenie na bok w trakcie ustalonego i nieustalonego ruchu pojazdu. Zagrożenie wywróceniem pojawia się bardzo często w przypadku dużych prędkości, z jaką pojazd wykonuje manewr omijania przeszkody.

Zmiana położenia środka masy w tego typu pojazdach wynika w większości przypadków z konieczności zapewnienia możliwie wysokiej ochrony załogi (ochrony balistycznej, przeciwminowej). Spełnienie tego warunku powoduje przesunięcie położenia środka masy oraz masowych momentów bezwładności, wpływając często na pogorszenie stateczności oraz kierowności.

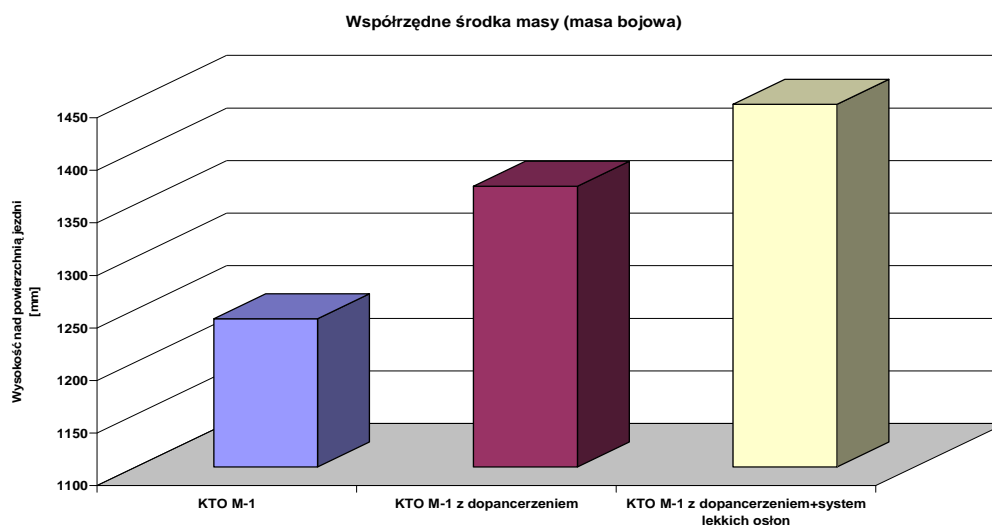
Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono wpływ dopancerzenia pojazdu KTO Rosomak M-1 na współrzędne środka masy.



Rys. 3. Współrzędne środka masy pojazdu w funkcji odległości od płaszczyzny pionowej przechodzącej przez pierwszą oś pojazdu

Źródło: Opracowanie własne

Problem skutków dopancerzania pojazdów nie dotyczy tylko pojazdów eksploatowanych przez naszą armię. Skutki nieodpowiedniego dopancerzenia pojazdów można było obserwować podczas operacji w Iraku, gdzie żołnierze armii USA wzmacniali ochronę swoich pojazdów [4]. Nieumiejętne dołożenie oraz dospawanie elementów metalowych do bazowych pojazdów HMMWVs, spowodowało zmianę położenie środka masy, co zmieniło charakterystyki kierowności pojazdu, zwiększając jego podatność na wywrócenie.



Rys. 4. Współrzędne środka masy pojazdu w funkcji wysokości od powierzchni jezdni

Źródło: Opracowanie własne

W tabeli 1 zestawiono przyczyny przewrócenia się pojazdu na bok.

Tabela 1. Przyczyny wypadków wojskowych pojazdów USA w latach 2007-2008 r. spowodowane przewróceniem się pojazdu

Typ \ Przyczyna	Pochylenie terenu	Manewr	Uderzenie	Nieznana
Stryker	6			2
MRAP	36	12	3	7
HMMWV	17	18	2	15
ASV	1	1	1	3
LVS	2	2		1
PLS	2	3		
M2	1			
Tank	2			
7 Ton	2			
T/T Truck	1	11	1	8
LMTV	1	2		1
MTVR	2	2		1
Fueler	2	2		3
Other	1	4		5

Źródło: Opracowanie własne

2. TESTY STOSOWANE DO OCENY STATECZNOŚCI I KIEROWALNOŚCI POJAZDÓW

Podział prowadzonych testów można dokonać ze względu na uwzględnienie oddziaływania kierowcy:

- testy otwarte (bez sprzężenia zwrotnego w układzie kierowca-pojazd-kierowca);
- testy zamknięte (z uwzględnieniem sprzężenia zwrotnego w układzie kierowca-pojazd-kierowca);

Testy prowadzone są:

- w stanach ustalonych (w których opis jest niezależny od zmiennej czasu);
- w stanach nieustalonych (w których następuje zmiana parametrów wyjściowych).

Analiza uzyskanych wyników może następować:

- w dziedzinie czasu;
- w dziedzinie częstotliwości;
- w dziedzinie czasu i częstotliwości.

Cechy charakterystyczne związane ze statecznością i kierownością pojazdów specjalnych, lub używanych do celów specjalnych przez Siły Zbrojne, są wyznaczane na podstawie odrębnych procedur. W 1994 r Wojskowa Agencja Standaryzacji Paktu Północno-Atlantyckiego (MAS) opublikowała wytyczne [5] do prowadzenia odpowiednich prób badawczych.

Tabela 2. Wybrane testy dotyczące oceny stateczności i kierowności pojazdów wojskowych [5]

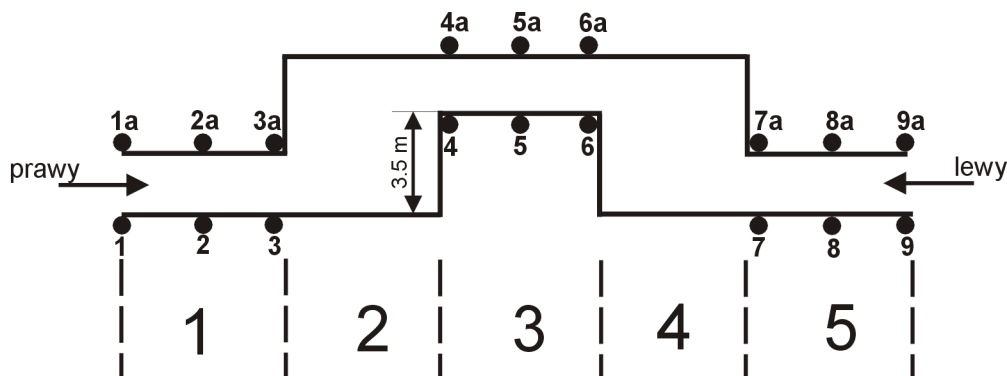
Lp.	Nazwa testu	Tor ruchu, wymuszenie	Dziedzina analizy	Norma
1	Podwójna zmiana pasa ruchu		czas	AVTP-03-160W
2	Próba w ruchu po okręgu	$R = \text{CONST}$ 	czas	

Manewr podwójnej zmiany pasa ruchu [6] jest próbą pozwalającą ocenić jakościowo kierowność i stateczność pojazdu, odpowiedzią pojazdu na wykonany obrót kołem kierownicy przez kierowcę. Polega na przejechaniu odcinka toru badawczego (rys. 5) ze stałą prędkością.

Realizację testu prowadzi się do momentu:

- osiągnięcia maksymalnej prędkości określonej w programie badań;
- osiągnięcie granicznej stabilności ruchu transportera;

- braku możliwości pokonania toru badawczego bez potrącenia znaczników (pachołków).



Rys. 5. Tor badawczy wg AVTP 03-160W

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [5]

Próba ruchu po okręgu [7] – kierowca porusza się pojazdem po okręgu o średnicy większej niż 60 m. Próbę rozpoczyna się z prędkością ≤ 5 km/h przy unieruchomionym kole kierownicy i stałej prędkości pojazdu. Kolejne pomiary powinny zostać przeprowadzone przy przyroście przyspieszenia poprzecznego a_y nieprzekraczającym 0.5 m/s². Pomiary rejestrować w obu kierunkach do momentu utraty stateczności.

3. OBIEKT BADAŃ

Obiektem badań był pojazd KTO Rosomak w wersji M-1 i M-3, na podwoziu 8x8 (rys. 6 ÷ 7) [8]. Zastosowana jednostka napędowa to czterosurowy, sześciocyldrowy, 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.



Rys. 6. Obiekt – KTO Rosomak w wersji M-3

Źródło: Jarosław Piekarski



Rys. 7. Obiekt – KTO Rosomak w wersji M-1 wyposażony w system dodatkowego opancerzenia i lekki system osłon przeciwko pociskom kalibru 7,62mm i 14,5mm oraz pociskom wystrzeliwanym z RPG-7

Źródło: Jarosław Piekarski

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 w zakresie od małych prędkości podczas jazdy w terenie, do dużych prędkości podczas jazdy po drogach utwardzonych. 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 STATECZNOŚCI I KIEROWALNOŚCI TRANSPORTERA OPANCERZONEGO

Przeprowadzenie badań eksperymentalnych z obszaru kierowalności i stateczności obiektów jakim są transportery opancerzone, wiąże się z licznymi trudnościami w przygotowaniu obiektów. Trudności są spowodowane specyficzną konstrukcją pojazdu oraz dostępnością miejsca w kabinie kierowcy. Z tego powodu do przeprowadzenia stosownego testu wykorzystano aparaturę pomiarową wymienioną w tabeli 3.

Tabela 3. Charakterystyka urządzeń pomiarowych wykorzystywanych podczas badań eksperymentalnych

Wielkość mierzona	Jednostka miary	Nazwa przyrządu, dokładność pomiaru
$d\psi/dt$ $d\phi/dt$	deg/s	RT 3002 Inertial and GPS Navigation System; 0.01 deg/s
V_x, V_y	km/h	RT 3002 Inertial and GPS Navigation System; 0.05 km/h
a_y	m/s ²	RT 3002 Inertial and GPS Navigation System; 0.01 m/s ²
Angle Pitch Angle Roll	deg	RT 3002 Inertial and GPS Navigation System; 0.03 deg
Pos Lat X Pos Lon Y	m	RT 3002 Inertial and GPS Navigation System; 0.01 m
δ_H	rad, deg	Kierownica MSW-2 S/N 103-4243; ± 0.1 %
M_H	Nm	Kierownica MSW-2 S/N 103-4243; ± 0.2 %

Źródło: Opracowanie własne

Wyniki pomiarów zostały zarejestrowane cyfrowo z częstotliwością próbkowania sygnału 50, 100 Hz, a następnie poddane procesowi filtracji (filtr dolno przepustowy).

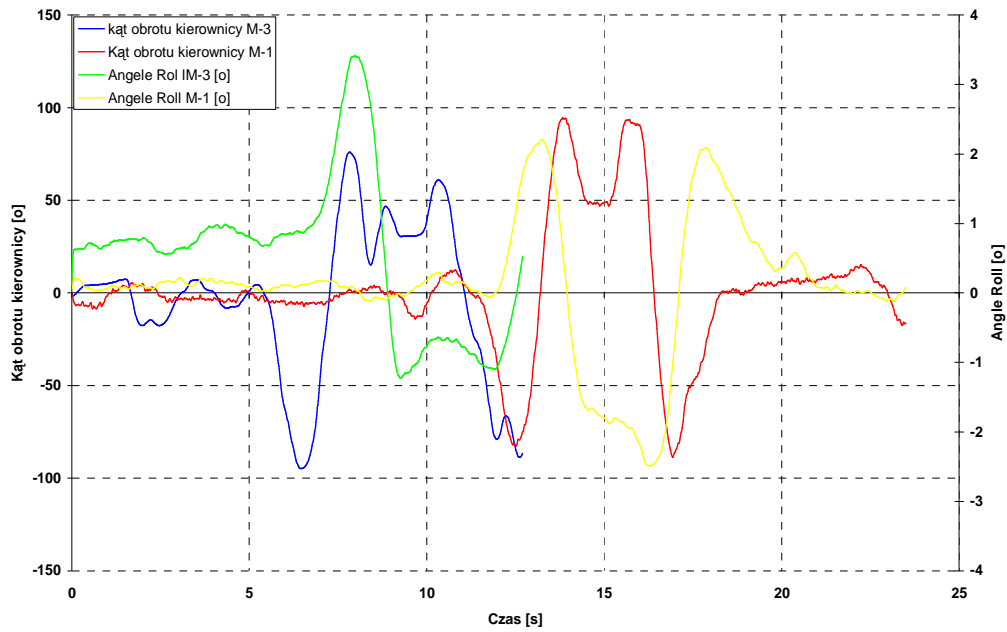
5. ANALIZA PLIKÓW POMIAROWYCH

Głównym celem jest przedstawienie, przeanalizowanie i porównanie wyników prób podwójnej zmiany pasa ruchu dla pojazdu KTO Rosomak w konfiguracji M-1 z dodatkowym dopancerzeniem oraz systemem lekkich osłon o masie około 26 ton, oraz pojazdu w konfiguracji M-3 o masie około 21 ton.

Na rysunkach 8÷10 przedstawiono odpowiedź pojazdu (kąąt przechyłu poprzecznego, kąąt przechyłu wzdłużnego, kąąt znoszenia pojazdu) na zadane wymuszenie (obrót koła kierownicy). Na rysunku 11 przedstawiono natomiast wartości przyspieszenia poprzecznego, jakie uzyskano podczas próby. Zarejestrowane wyniki odnoszą się do przejazdu próby z prędkością 60 km/h. Pojazd prowadzony był przez tego samego kierowcę.

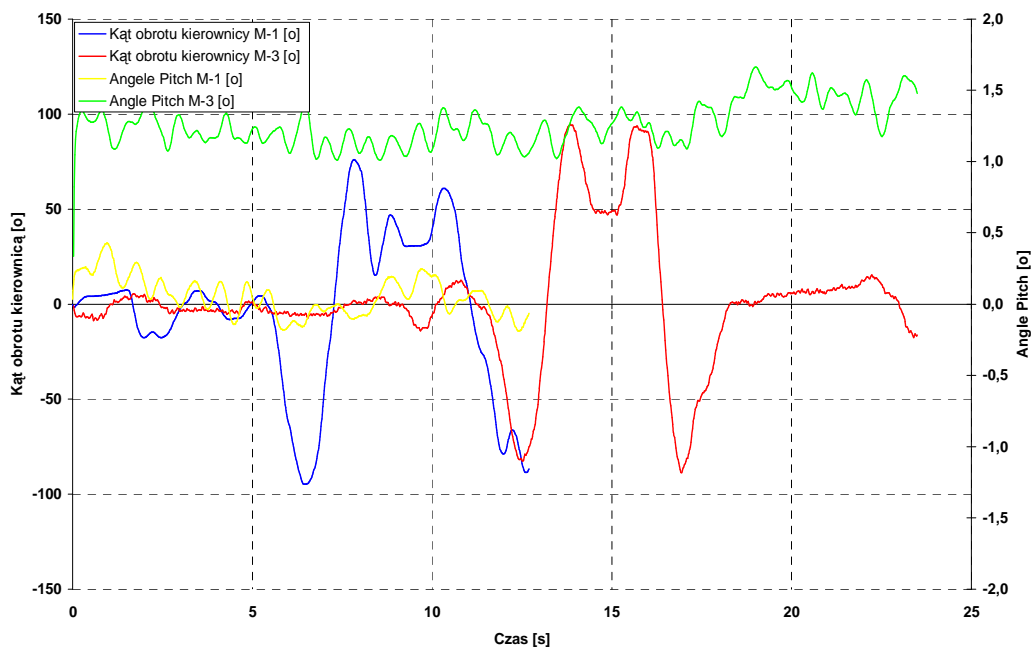
WNIOSKI

Wartości, które w istotny sposób wpływają na właściwości stateczności transporterów, to wartość prędkości wzdłużnej i przyspieszenia poprzecznego. Sposób eksploatacji transporterów opancerzonych może wykazać zmienność charakterystyk, zależnie od warunków wziętego pod uwagę stanu równowagi. Warunki prowadzenia badań definiowane są poprzez obciążenie kół, ciśnienie w ogumieniu, warunki atmosferyczne, warunki drogowe itp., które w zasadniczy sposób wpływają na parametry pojazdu.



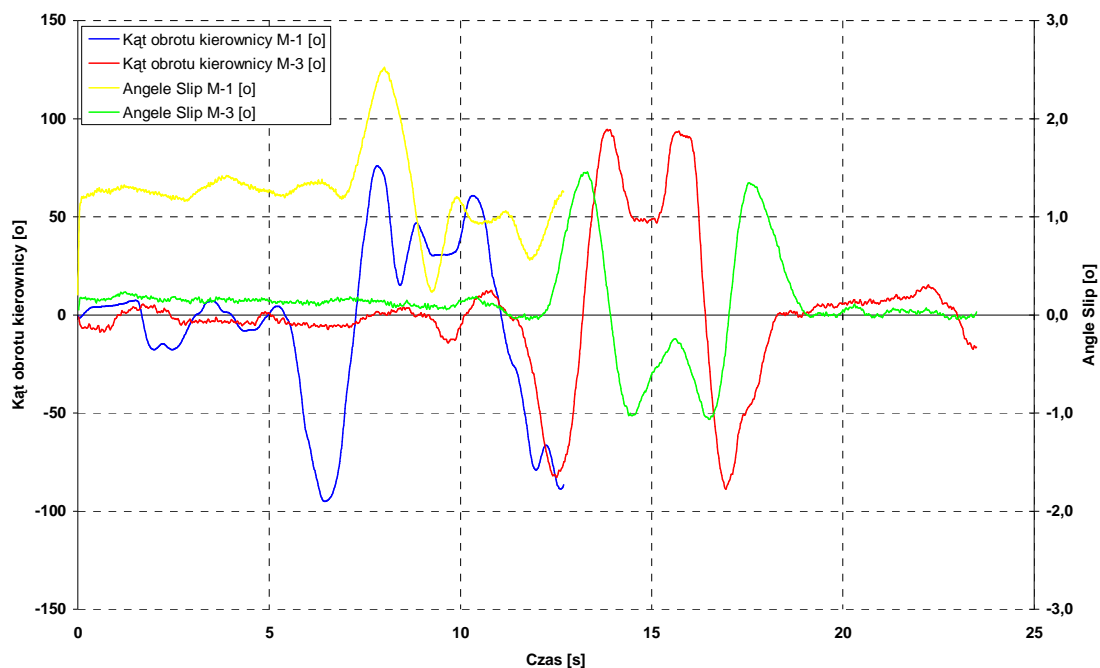
Rys. 8. Porównanie wartości Angle Roll dla pojazdu KTO M-1, KTO M-3

Źródło: Opracowanie własne



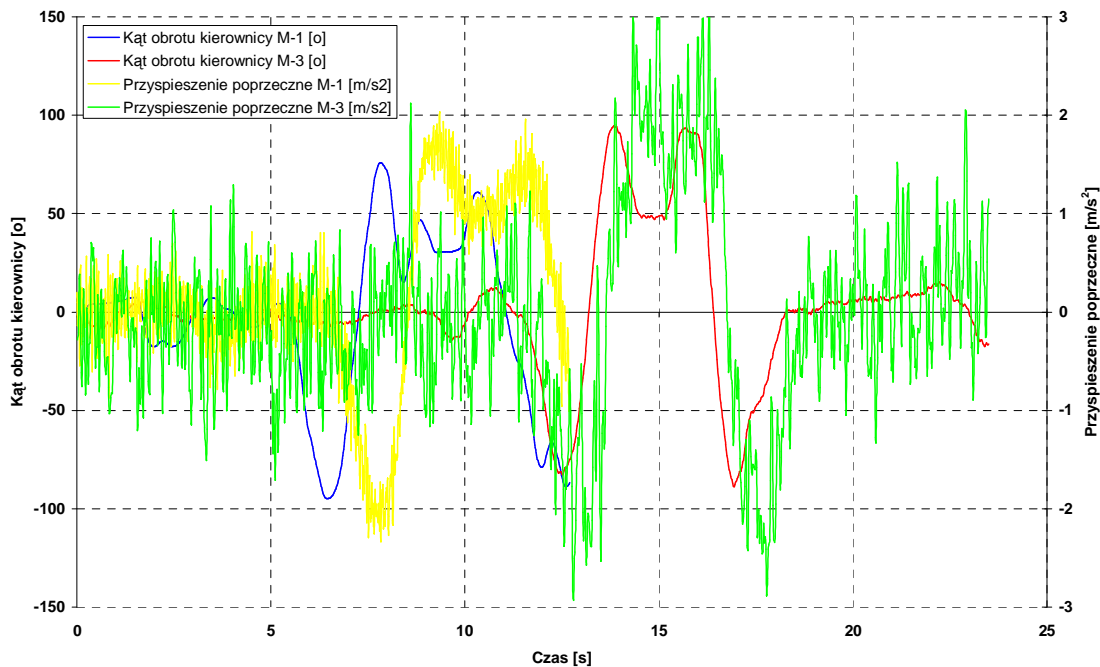
Rys. 9. Porównanie wartości Angle Pitch dla pojazdu KTO M-1, KTO M-3

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 10. Porównanie wartości Angle Slip dla pojazdu KTO M-1, KTO M-3

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 11. Porównanie wartości przyspieszenia poprzecznego dla pojazdu KTO M-1, KTO M-3

Źródło: Opracowanie własne

Sposób kierowania transporterem opancerzonym przez operatora (np. jazda spokojna, jazda dynamiczna) uwarunkowuje jego odpowiedź i jest wynikiem wewnętrznych lub zewnętrznych wymuszeń wejściowych pojazdu. Styl kierowania może być uwarunkowany od umiejętności kierującego, ale również od poziomu stresu. Operowanie w warunkach bojowych, stan podwyższonego zagrożenia, może spowodować u kierującego gwałtowne reakcje obronne (np. na wybuch ładunku IED w pobliżu pojazdu), co w połączeniu z innymi nienormalnymi stanami może doprowadzić do przewrócenia pojazdu.

Należy wyraźnie podkreślić, że wszystkie przeprowadzone zmiany konstrukcyjne nie pogorszyły właściwości stateczności i kierowalności pojazdu.

LITERATURA

- [1] BN-90/3615/05 *Pojazdy samochodowe. Badania kierowalności i stateczności. Poprzeczna stateczność statyczna samochodu osobowego.*
- [2] Gidlewski M., *Analiza wpływu położenia środka masy samochodu ciężarowego na ruch krzywoliniowy*, [w:] „Zeszyt Instytutu Pojazdów”, 4(16)95, s. 5-19.
- [3] Lozia Z., Simiński P., Zdanowicz P., *Wpływ położenia środka masy na zachowanie się pojazdu LTV w ruchu krzywoliniowym*, [w:] „Czasopismo Techniczne”, 6-M/2008, s. 65-83.
- [4] This Issue of the Safety Corner Highlights Best Practices for Preventing/Mitigating Vehicle Rollovers 31 October 2008.
- [5] AVTP 03-160 W – *Dynamiczna Stabilność Ruchu*, Publikacja Sojuszniczych Procedur Badawczych część I NATO AC 225 (panel II/WGE 3).
- [6] Motrycz G., Stryjek P., *Problemy oceny stateczności i kierowalności transporterów opancerzonych w podwójnej zmianie pasa ruchu*, [w:] Międzynarodowa Konferencja Transport XXI w 2010 r.
- [7] Motrycz G., Stryjek P., *Problemy oceny parametrów pojazdów 8x8 w metodzie ruchu po okręgu*, [w:] „Logistyka”, 2/2010 s. 1929-1938.
- [8] *Instrukcja Eksploatacji KTO 8x8 – Opis i użytkowanie*, Wojskowe Zakłady Mechaniczne Spółka Akcyjna Siemianowice Śląskie 2008.

INFLUENCE OF WHEELED APC DESIGN CHANGES ON LATERAL DYNAMIC STABILITY

Summary

The history of the Rosomak wheeled armoured personnel carrier dates back to the mid-1990s of the 20th century when Sisu Defence engineers began developing the technical and tactical specification for a new vehicle. The newly-designed vehicle was named AMV (Armoured Modular Vehicle) – XC-360. In Poland the vehicle is referred to as the Rosomak Wheeled Armoured Personnel Carrier.

The article presents results of tests related to stability and steerability of the wheeled armoured personnel carrier. The article attempts to assess the influence of design changes on operating the vehicle and ensuring soldiers safety.

Key words: *steerability, stability, experimental tests, wheeled armoured personnel carriers*

Artykuł recenzował: prof. dr hab. inż. Dionizy DUDEK