

Przemysław Simiński  
Wojskowy Instytut Techniki Pancерnej i Samochodowej

## PROBLEMY BEZPIECZEŃSTWA RUCHU KOŁOWYCH POJAZDÓW SPECJALNYCH

**Streszczenie:** Niniejszy artykuł dotyczy zagadnień związanych z bezpieczeństwem wojskowych pojazdów kołowych. W treści artykułu przeprowadzono analizę literaturową badań prowadzonych z udziałem kołowych pojazdów wojskowych.

Podstawą do prowadzonych analiz są zawarte w treściach publikacji wyniki badań eksperymentalnych i symulacyjnych. Poruszane zagadnienia mają ścisły związek z bezpieczeństwem pojazdów stąd też tytuł artykułu. Rezultaty analizy mogą być przydatne dla Sił Zbrojnych i przemysłu zbrojeniowego. Efekty wymierne obejmują zwiększenie bezpieczeństwa pojazdu i związane z tym obniżenie ryzyka wypadków drogowych, obniżenie kosztów budowy aplikacji wojskowych pojazdów kołowych, obniżenie kosztów wykonywania ewentualnych zmian w pojazdach seryjnych oraz pozyskanie dla potrzeb Wojska Polskiego optymalnych konstrukcji pod względem bezpieczeństwa.

**Słowa kluczowe:** pojazdy wojskowe, badania, dynamika, bezpieczeństwo

### 1. WSTĘP

W chwili obecnej rozwój sił zbrojnych w krajach członkowskich NATO oraz w Europie, a co za tym idzie, rodzaj używanego sprzętu i jego właściwości trakcyjne, uzależnione są głównie od rodzaju konfliktu, w który angażują się poszczególne armie. Na dzień dzisiejszy, większość działań o charakterze militarnym stanowią misje stabilizacyjne oraz działania, w których jedna ze stron zwalcza drugą, stosując wszystkie dostępne środki i metody. Niestety różnorodne formy terroryzmu niezważające na humanitaryzm czy prawo wojenne coraz częściej atakują. Budowanie różnych wersji pojazdów, nie tylko wojskowych, na podwoziu bazowym jest powszechnie stosowaną praktyką.

Opracowywanie przez producentów nowych konstrukcji pojazdów kołowych wiąże się z koniecznością badań nad bezpieczeństwem ruchu. W celu ich uniknięcia zwykle wykonuje się, zarówno bardzo kosztowne jak i niebezpieczne dla ludzi, badania na pojazdach prototypowych. Tworzenie nowych konstrukcji pojazdów nie powinno wiązać się z pogorszeniem ich bezpieczeństwa. Szczególne niebezpieczeństwo dla załogi wiąże się z przewróceniem samochodu na bok. Pojazdy o nietypowej konstrukcji, o wysoko

położonym środku masy, są szczególnie podatne na takie wypadki. Podczas budowania wersji odmiennych od bazowych, lub modernizacji pojazdów, wprowadzane są zmiany konstrukcyjne i eksploatacyjne wpływające na kierowalność i stateczność. Niestety często potrzeby wojskowych działań operacyjnych wymuszają budowę pojazdów pod presją czasu. Wtedy brakuje dostatecznej ilości czasu na dopracowanie elementów konstrukcji wpływających na bezpieczeństwo ruchu. Z tego względu wydaje się konieczne podjęcie kroków w kierunku ograniczenia zagrożeń i podniesienie bezpieczeństwa załóg powstających pojazdów.

## **2. BEZPIECZEŃSTWO WOJSKOWYCH POJAZDÓW KOŁOWYCH**

Różnorodne zagrożenia oraz zmiana zasad prowadzenia konfliktów powodują, że wojskowym pojazdom kołowym stawiane są nowe, odmienne od dotychczasowych, wymagania. Dotyczą one wysokiej mobilności, ale przede wszystkim, podwyższonej ochrony załogi. Aktualnie park pojazdów kołowych w polskiej armii jest mocno zróżnicowany. Oprócz obecnych kołowych wozów bojowych Rosomak uznawanych za nowoczesne w innych grupach [1] występuje sprzęt po wieloletniej eksploatacji. Ze względu na działania polskich kontyngentów wojskowych, koniecznością staje się wprowadzenie do sił zbrojnych nowych pojazdów opancerzonych. Po wprowadzeniu niewielkich ilości pojazdów: typu SPI (Dzik), czyli wysoce mobilnych, lekko opancerzonych i uzbrojonych pojazdów, przeznaczonych do prowadzenia walki z grupami zbrojnymi o charakterze terrorystycznym, planowane jest wprowadzenie pojazdów typu OSP (Opancerzone Samochody Patrolowe). OSP to grupa pojazdów adekwatnych do potrzeb operacji poza granicami kraju (Afganistan, Irak). Pojazdy te w odróżnieniu od grupy SPI mają posiadać diametralnie wyższy poziom ochrony balistycznej i przeciwminowej. Wprowadzenie polskie siły zbrojne wykorzystują wypożyczone pojazdy Cougar typu MRAP (Mine Resistant Ambush Protected) – posiadające dość wysoki poziom ochrony przeciwminowej, jednak i największą masę. Obok pojazdów opancerzonych, niezbędne jest wprowadzenie nowych jednostek sprzętu w grupach samochodów ciężarowo-terenowych oraz zestawów transportowych ciągnik- naczepa. Rozwój pojazdów SPI, OSP, MRAP, czy też zestawów transportowych oraz wersji specjalnych Rosomaka przebiega niezwykle dynamicznie – powstaje szereg nowych wersji. Uwarunkowaniem do szybkiego rozwoju stały się misje wojskowe poza granicami kraju i udział w nich wojsk polskich.

Rozwój techniki samochodowej związany z potrzebami narodowych sił zbrojnych przebiega w sposób zaplanowany. Prowadzone są zakupy, prace rozwojowe oraz wdrożeniowe zgodnie z odpowiednimi procedurami [2]. Kołowe pojazdy wojskowe, (ale nie tylko, dotyczy to ogółu uzbrojenia i sprzętu) wprowadzane są na podstawie weryfikacji postawionych wstępnych założeń taktyczno-technicznych. Weryfikację tą przeprowadza się w sposób analityczny lub eksperymentalny. W procesie tym nie ma miejsca na poprawę konstrukcji, przy czym badania w zakresie bezpieczeństwa ruchu pojazdów kołowych ogranicza się do badania skuteczności hamulców oraz opcjonalnie testu podwójnej zmiany pasa ruchu, przy warunkach przewidzianych w dokumentach normatywnych [3, 4, 5, 54]

Procedura wdrażania i weryfikacji sprzętu kładzie nacisk na optymalizację konstrukcji na etapie projektowania oraz budowy prototypu.

### **3. PRZYCZYNY ZAGROŻEŃ W RUCHU KOŁOWYCH POJAZDÓW WOJSKOWYCH**

W porównaniu do pojazdów komercyjnych w konstrukcji kołowych pojazdów wojskowych można wskazać kilka zasadniczych różnic, które mają wpływ na bezpieczeństwo ruchu, są to przede wszystkim: wysoko położony środek masy, duża masa własna bliska dopuszczalnej masy całkowitej, większe momenty bezwładności bryły nadwozia, ogumienie zazwyczaj o terenowym bieżniku, często brak systemów wspomagania bezpieczeństwa biernego i aktywnego, dodatkowy osprzęt montowany na zewnątrz bryły nadwozia, mniejsza powierzchnia okien. Należy przy tym wspomnieć, że częściowo pewne różnice pojawiają się ze względu na konieczność zapewniania możliwie wysokiej ochrony załogi (balistyczna, przeciwminowa) lub/i wysokich parametrów technicznych związanych z pokonywaniem terenu. Dokonując porównania podwozi bazowych wojskowych pojazdów kołowych i wykonanych z ich wykorzystaniem wersji specjalnych można dostrzec kierunki zmian takich jak: dodatkowe opancerzenie, dodatkowe urządzenia pozwalające na wykonanie zadań funkcjonalnych, czy też więcej osprzętu w tym mocowanego na zewnątrz [6, 7, 8, 9, 10]. Budowa wersji specjalnych, powoduje więc przesunięcie położenia środka masy oraz masowych momentów bezwładności wpływając, na ogół, negatywnie na bezpieczeństwo ruchu.

Do czynników, które mogą wpływać negatywnie na bezpieczeństwo ruchu można zaliczyć czas realizacji projektów od koncepcji pojazdu do jego wdrożenia, który ulega w przypadku wojskowych pojazdów kołowych znacznemu skróceniu ze względu na skrócone procedury jego pozyskiwania tzw. pilna potrzeba operacyjna [2]. W ostatnich latach znaczącemu skróceniu uległ proces badawczo-rozwojowy [6]. Przykładem może być program rozwojowy pojazdów MRAP [6], który został podzielony na trzy fazy obejmujące okres 9 miesięcy. W trakcie badań, kwestie bezpieczeństwa ruchu zostały ograniczone do niezbędnych badań eksperymentalnych. Faza pierwsza obejmowała testy określone jako rozwojowe, zorientowane w 90% na odporność pojazdu a w 10 % na trakcję. Rezultaty stały się podstawą do wprowadzenia pierwszych poprawek do konstrukcji pojazdów. Na tym etapie rozwoju, z szeregu badań trakcyjnych zorientowanych na bezpieczeństwo ruchu, wykonywano, manewr omięcia przeszkody (zmiana pasa ruchu) oraz sprawdzano skuteczność hamowania. W drugim etapie badań testowych skupiono większy nacisk na testy drogowe związane z funkcjonalnością poszczególnych systemów oraz na pojazd jako całość. Nie prowadzono prób ściśle związanych z bezpieczeństwem ruchu. W etapie trzecim z tego rodzaju testów wykonano próbę wywracania na bok (roll over), której celem była ocena wytrzymałości kadłuba i wyposażenia wewnętrznego, a nie sama podatność na utratę stateczności. Wskazywano ponadto, że takie etapowe podejście do badań i weryfikacja spełnienia wymagań na pojazdy MRAP, stanowi unikalne i kompletne podejście do zagadnienia.

W zakresie bezpieczeństwa ruchu stosowane programy testów ograniczają się do weryfikacji skuteczności hamulców oraz wybranego testu z zakresu stateczności,

najczęściej podwójnej zmiany pasa ruchu. Podejście do kwestii bezpieczeństwa, jedynie na etapie wdrażania, wydaje się być nie wystarczające. Może ono skutkować wywróceniem pojazdu na bok lub jego zarzuceniem, zwłaszcza dotyczy to pojazdów opancerzonych różnych kategorii, przede wszystkim OSP oraz MRAP [11, 12, 13, 14, 15, 16]. W końcu problem ten został dostrzeżony, ponieważ w 2002 nastąpiła zastraszająca liczba wypadków i bezpieczeństwo członków załóg pojazdów bojowych oficjalnie określone zostało jako niewystarczające [15]. Pojazdy te bardzo często są modyfikowane. Montuje się specjalne wyposażenie dobierane na potrzeby konkretnych misji, często bez zwracania dostatecznej uwagi na poziom bezpieczeństwa. W przytoczonej pracy [15], podaje się 83 wypadków drogowych, do jakich doszło w 2002 roku z użyciem pojazdów HMMWV. Zdecydowaną większość z nich stanowiły uderzenie czołowe – 39 incydentów, oraz przewrócenie na bok (roll over) - 44 zdarzenia. Dostrzeżono także, że im więcej wyposażenia zostaje rozmieszczonego we wnętrzu pojazdu tym większe ryzyko obrażeń ciała w przypadku zdarzenia drogowego. Wyróżnione zostały 3 zmienne mające wpływ na bezpieczeństwo, są to: rodzaj zadania (misji), wyposażenie, operator. Dostrzeżono także brak uwzględnienia w wymaganiach dla pojazdów możliwości korekty wyposażenia, w związku z jego rozwojem i potrzebami modernizacji w kolejnych latach. Znaczny przyrost zdarzeń drogowych wśród kołowych pojazdów wojskowych potwierdzają rezultaty badań zagadnień bezpieczeństwa zamieszczone w pracy [16]. W latach 2005-2006 obserwowano znaczny wzrost ilości wypadków drogowych, których przyczyną było wywrócenie pojazdu na bok (roll over). Dotyczyły one w głównej mierze samochodów HMMWV w wersjach z dodatkowym opancerzeniem. W roku 2007, kiedy to do armii amerykańskiej prowadzono pojazdy klasy MRAP, doszło do drugiej fali incydentów związanych z wywracaniem się tych pojazdów. Do wypadków dochodziło zarówno na podłożu sztywnym, jak i podatnym. W pierwszym przypadku: podczas gwałtownych zmian pasa ruchu, w drugim przy pochyleniu poprzecznym drogi lub też nadmiernym zagłębianiu się kół w gruncie. Jednak główną przyczyną wspomnianych zdarzeń jest wysoko położony środek masy. Inne przyczyny to zbyt duża korekta toru jazdy, dokonywana przez kierowców podczas jazdy po szosie podczas zmiany pasa ruchu, (najczęściej na skutek paniki), złe ciśnienie w ogumieniu lub nieodpowiedni jego stan. W okresie od października 2007 do października 2008 zarejestrowano 186 wywróceń, z czego 14 zakończyło się śmiertelnie, 58 incydentów dotyczyło MRAP, 52 HMMWV natomiast pozostałe dotyczyły innych pojazdów kołowych. W raporcie z 2001 zamieszczonym w opracowaniu [17] a w szczególności w artykule z 2009 r. dotyczącym możliwości poprawienia stateczności [18], wskazywane są główne powody wypadków drogowych spowodowanych przez ciężkie pojazdy kołowe i jest to przede wszystkim utrata stabilności bocznej. Trzy najpoważniejsze czynniki, które doprowadzają do przewrócenia pojazdu to: boczne porywy wiatru, nagłe manewry kierownicą i raptowne hamowanie. Na szerszą skalę wypadki związane z wywróceniem pojazdów na bok analizowano w pracy [19]. Tam oprócz ujęcia ilościowego (w skali USA) wykazano, że są one wyjątkowo niebezpieczne w skutkach – wywrócenia samochodów ciężarowych były przyczyną 52% obrażeń śmiertelnych. Jak widać wymagania stawiane dla pojazdów kołowych w zakresie dynamiki jazdy natrafiają na ograniczenia trakcyjne ze względu na możliwość utraty stateczności ruchu.

## 4. MOŻLIWOŚCI POPRAWY BEZPIECZEŃSTWA

Ogólnie stosowaną praktyką jest budowanie różnych wersji pojazdu na podwoziu bazowym. Jednak budowanie nowych konstrukcji nie powinno wiązać się z pogorszeniem ich bezpieczeństwa. Szczególne niebezpieczeństwo wiąże się z przewróceniem samochodu na bok, które jest przyczyną groźnych w skutkach wypadków drogowych. Samochody o nietypowej konstrukcji, o wysoko położonym środku masy, są szczególnie podatne na tego typu zagrożenia. Przy budowaniu wersji odmiennych od bazowej lub modernizacji, wprowadzane są zmiany konstrukcyjne i eksploatacyjne. Wpływają one na zmianę charakterystyki kierowności i stateczności pojazdu. Możliwości poprawy tych charakterystyk są utrudnione, zwłaszcza, jeśli dotyczy to dużych partii już wdrożonych pojazdów. Zakres niezbędnych zmian konstrukcyjnych może zostać określony na podstawie wyników eksperymentalnych badań drogowych z naciskiem na testy kierowności i stateczności ruchu [20, 21, 22, 23, 24, 8].

W pracy [27] wskazywana jest potrzeba wykonywania testów rozwojowych zawierających ściśle określone etapy: przygotowanie aparatury pomiarowej, przygotowanie obiektów i placów ćwiczeń o odpowiednich warunkach określonych w wymaganiach, przygotowanie prób przez inżynierów i techników, następnie wykonanie badań i w końcu walidacja i obróbka statystyczna wyników. Ponadto testy powinny być, jak się wskazuje, przeprowadzone w różnorodnych warunkach klimatycznych i dla różnych nawierzchni. Do tego celu opracowywane są specjalne wojskowe procedury badawcze [28], odbiegające kryteriami oceny od unormowań międzynarodowych. Prowadzenie badań eksperymentalnych związanych z wykonywaniem manewrów prowadzących do wywrócenia pojazdu na bok [29, 30], stanowi doskonały materiał do analizy skutków kolizji i ewentualnych zniszczeń. Jednakże takie badania mają charakter niepowtarzalny, są kosztowne oraz niebezpieczne. Podobnie jak badania eksperymentalne o charakterze prewencyjnym w zakresie bezpieczeństwa [31, 32, 33] dotyczące określania momentu interwencji systemu stabilizacji toru jazdy oraz bezpieczeństwa w pojazdach ponadnormatywnych.

Ze względu na koszty oraz ryzyko przedsięwzięcia, jakim jest wdrożenie nowego pojazdu, wskazuje się na potrzeby badania wpływu określonych zmian konstrukcyjnych i eksploatacyjnych na różnych etapach rozwojowych projektów [34]. W pracy [35] podkreślono znaczenie ograniczania zagrożenia w ruchu już na etapie projektu konstrukcji, podkreślając przy tym znaczącą rolę badań symulacyjnych. Ich przeprowadzenie pozwala na uzyskanie zadowalających rezultatów pozwalających na wyprzedzające rozwiązywanie problemów doskonalenia konstrukcji i związanej z tym poprawy bezpieczeństwa ruchu. Tym zagadnieniom poświęcono prace [36, 20, 21, 23, 37, 38]. Ocenę wpływu poszczególnych zmian konstrukcyjnych na poprawę bezpieczeństwa poprzez badania symulacyjne umożliwia budowanie odpowiednich modeli symulacyjnych z wykorzystaniem pakietów MBS, bądź oprogramowania własnego [39, 40, 41, 42]. Istotne rezultaty osiąga się stosując połączenie badań eksperymentalnych z symulacyjnymi [40].

Wykorzystywanie badań symulacyjnych pozwala na ocenę wpływu parametrów, które w badaniach byłyby trudne do oceny. Są to m.in. parametry opony czy też podatność podwozia [43, 44]. W zapobieganiu głównemu zagrożeniu bezpieczeństwa wojskowych pojazdów kołowych jakim jest wywrócenie pojazdu na bok, dostrzeżono wpływ

parametrów ogumienia [45]. Współpraca koła ogumionego z podłożem sztywnym ma istotny wpływ na zachowanie pojazdu oraz na komfort jazdy, szczególnie podczas ruchu pojazdu w kierunku poprzecznym. Określenie sił poprzecznych, pozwala oszacować ryzyko wystąpienia przewrócenia na bok.

Jednym z powszechnych kierunków prac nad poprawą bezpieczeństwa jest rozwój urządzeń stabilizacji toru jazdy [18, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53]. W celu poprawy panowania nad pojazdem i zachowania stabilności proponowane są różnorodne strategie aktywnej kontroli jazdy. Podaje się konkretne algorytmy działania oraz metody obliczeniowe dla elektronicznych systemów kontroli stabilności pojazdu, rozbudowane o kontrolę położenia wysokości środka masy i wyznaczania środka obrotu bryły nadwozia w stosunku do dotychczasowych systemów ESP [48, 50, 51]. Następuje rozwój metod kontrolowania zachowania stateczności pojazdu bazujących na pomiarze kąta znoszenia pojazdu oraz uwzględnieniu warunków jazdy [53].

Systemy kontroli stabilności zazwyczaj badane są z szerokim wykorzystaniem symulacji [55, 56, 57, 58, 52], a ich rezultaty weryfikowane są eksperymentalnie [40].

Większość używanych metod opiera się na modyfikacji układu zawieszenia, polegającej na wprowadzaniu aktywnych zawieszek [59, 60, 61, 47, 56, 54, 62, 63], pozwalających kształtować charakterystykę sprężystości zawieszenia w kierunku pionowym oraz regulować prześwit, a co za tym idzie wysokość środka masy. Prace te prowadzi się zazwyczaj w oparciu o modele matematyczne [64, 65, 66, 67, 68], co umożliwia między innymi, prowadzenie badań porównawczych z wariantem zawieszenia pasywnego. Wskazują się jednocześnie na zasadność stosowania tego typu zawieszenia zwłaszcza w pojazdach wojskowych, gdzie stawiany jest wymóg wysokiej zdolności do pokonywania terenu oraz stabilizowania uzbrojenia. Problematykę zawieszek w pojazdach szeroko opisano w pracy [69].

Jako istotną, wskazuje się metodę określania tendencji do utraty stateczności poprzecznej w oparciu o Load Transfer Ratio (wskaźnik rozmieszczenia ładunku) pojmowany jako Roll Safety Factor, tj. współczynnik bezpieczeństwa na wywracanie [70]. Celem jest wyznaczenie parametrów krytycznych i sygnalizacja tego stanu z odpowiednim (min. 0,5 s) wyprzedzeniem kierowcy. Badania tego typu prowadzone są w oparciu o oprogramowanie symulacyjne wykorzystujące sieci neuronowe oraz pakiety MBS. Określenie manewrów sprzyjających możliwości wywrócenia się pojazdu na bok, można sprowadzić bezpośrednio do dynamiki pojazdu do chwili, kiedy kierowca ma kontrolę nad pojazdem a jego reakcje i percepcja mają jeszcze bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo [71]. Idea ostrzegania kierowcy o stanie zagrożenia zakłada powiadomienie o nim z takim wyprzedzeniem, aby możliwa była jego reakcja. Pomiary dynamiki, przy pomocy szeregu sensorów, zakładają określenie współczynników służących do wyznaczenia stateczność poprzecznych związanych z pomiarami: przyspieszenia poprzecznego, kątów znoszenia kół jezdnych i rozmieszczenia ładunku, określanych na drodze badań eksperymentalnych. Proponowana jest strategia ostrzegania kierowcy [72].

Badania symulacyjne wywracania na bok na pojazdach użytkowanych w wojsku prowadzone są także w oparciu o programy do analizy rekonstrukcji wypadków [73]. Umożliwiają one porównanie uzyskanych rezultatów z dostępnymi danymi na temat prędkości kątowej obracania bryły nadwozia, energii, przyspieszeń prędkości i trajektorii środka masy pojazdu [73]. Przy czym większość modeli umożliwia wykonywanie typowych manewrów pojazdem [74, 75, 76]. Ponadto zwrócono uwagę, że modele

opisujące ciężkie pojazdy są bardzo kompleksowe, czyli o dużym stopniu złożoności, co niekiedy powoduje duże trudności z określeniem właściwych parametrów i danych [32].

Część prac [74, 77, 78] ukierunkowana jest na znalezieniu optymalnej strategii sterowania pojazdem wieloosiowym, co pozwala ograniczyć kąty znoszenia i obniżyć ryzyko zarzucenia bądź wywrócenia pojazdu. W tym celu wykonuje się badania symulacyjne w oparciu o nieliniowe modele pojazdów wojskowych.

Badania modelowe ukierunkowane na poprawę bezpieczeństwa prowadzone są w kierunku doskonalenia układów hamulcowych oraz ABS i EBD [79, 80, 43, 81]. Celem jest nie tylko poprawa skuteczności hamowania, ale także dobór momentów hamujących działających na koła i zapewniających stabilność.

Samochody o nietypowej konstrukcji, o wysoko położonym środku masy są szczególnie podatne na zagrożenia utraty stateczności. Ocena skłonności do przewrócenia samochodu na bok może być prowadzona także metodami analitycznymi. Stany graniczne ruchu można w ten sposób oceniać na dwa sposoby [82, 83]. Należy wyznaczyć maksymalne możliwe do osiągnięcia przyspieszenie poprzeczne oraz określić warunki, w których nastąpi przewrócenie pojazdu na bok (oderwanie dwóch wewnętrznych kół od nawierzchni drogi). W przypadku metod analitycznych jest to równoznaczne z osiągnięciem ekstremalnej wartości przyspieszenia poprzecznego. Zastosowanie złożonych modeli samochodu wskazuje [84], że maksymalne przyspieszenie poprzeczne występuje po oderwaniu pierwszego, a przed oderwaniem drugiego koła, co wynika ze zmiany toru ruchu pojazdu. W tym przypadku miarą stanu granicznego jest nie tylko przyspieszenie poprzeczne, ale także kąt obrotu kierownicy i kąt przechyłu bocznego, dla których odrywane jest pierwsze, a potem drugie koło.

W większości analizowano przypadki ruchu po nawierzchni poziomej, a więc dla zerowej przechyłki bocznej i zerowego pochylenia podłużnego drogi. Jest to bardzo istotna uwaga, gdyż dla rzeczywistych dróg wielkości te mogą przyjmować różne wartości, wpływające w istotny sposób na wartości analizowanych parametrów ruchu.

Złożonym zagadnieniem jest poprawa bezpieczeństwa ruchu zestawów drogowych ciągnik-naczepa, których znaczne ilości użytkowane są w armiach. Również dla tego typu pojazdów członowych prowadzi się analizy [85, 86] przewracania się na bok naczepy oraz wyznacza graniczną bezpieczną wysokość położenia środka masy. Wyniki obliczeń są niekiedy [86] podparte badaniami numerycznymi oraz eksperymentalnymi.

Dokonując przeglądu metod poprawy stabilności zestawów drogowych ciągnik siodłowy – naczepa, warto wskazać na główne zagrożenia dla utraty stabilności zestawu drogowego, czyli niewielki margines zachowywania stabilności zwłaszcza przy wyższych prędkościach w porównaniu do pojedynczego pojazdu. Kolejną przyczyną wypadków jest składanie się naczepy (ang. jackknifing) na skutek nierównomierności sił poprzecznych, bądź ich zaniku w obszarze styku kół ogumionych tylnych osi ciągnika oraz/lub kół naczepy, podczas intensywnego hamowania. Innym powodem utraty stabilności jest ruch wężykowaty naczepy na skutek poprzecznych oscylacji, powodowanych oporem powietrza bądź ruchami kierownicy. Znaczenie dla bezpieczeństwa ma czas odpowiedzi naczepy na sygnał wymuszający powstały w układzie kierowniczym ciągnika, co związane jest z odległością pomiędzy ciągnikiem, a naczepą. Istotna jest też interakcja w postaci sygnałów zwrotnych otrzymywanych przez kierowcę, których źródłem są układy naczepy (hamulcowy, sterowania, jezdny). Badania dynamiki zestawów ciągnik-naczepa oraz ich stateczności skupiają zarówno się na analizie klasycznych modeli liniowych najczęściej o

trzech stopniach swobody, jak również na badaniach symulacyjnych wykonywanych w oparciu o modele nieliniowe uwzględniające dynamikę ogumienia oraz zawieszenia. Jako metodę kontroli stateczności zestawu ciągnik-naczepa proponuje się kontrolę kąta znoszenia przez ograniczanie momentu obracającego powstającego pomiędzy ciągnikiem a naczepą poprzez odpowiednią dystrybucję sił hamujących pomiędzy kołami na poszczególnych stronach naczepy. Prowadzony jest rozwój systemów kontroli stabilności zestawu ciągnika z naczepą [62, 87] bazujący m.in. na aktywnym zawieszeniu.

Niezwykle ważne dla bezpieczeństwa kołowych pojazdów wojskowych jest wyszkolenie operatora [88], który oprócz prowadzenia pojazdu wykonuje czynności obserwacji przedpoła (w tym oceny sytuacji bojowej) oraz obsługę dodatkowych urządzeń łączności, nawigacji, przeciwchemicznych itp. Szkolenie kierowców należy prowadzić przez trening praktyczny [16] lub z wykorzystaniem symulatorów [89].

Analiza wypadków drogowych z udziałem pojazdów wojskowych pod kątem używania przez załogę pasów bezpieczeństwa [90] w poszczególnych kategoriach pojazdów wykorzystywanych w armii amerykańskiej, w tym czołgów i ciężkich pojazdów kołowych także wskazuje na bezwzględną potrzebę ich stosowania. Na potrzeby kołowych pojazdów wojskowych powinny być to pasy o wielu punktach mocowania (min. 4). Może to w sposób bezpośredni przyczynić się do zredukowania skutków wypadków z udziałem kołowych pojazdów wojskowych.

## 5. PODSUMOWANIE

Z przedstawionych informacji na temat zagrożeń w ruchu kołowych pojazdów wojskowych oraz sposobów poprawy bezpieczeństwa nasuwa się pewien sposób postępowania. Rozwiązanie postawionego problemu poprawy bezpieczeństwa ruchu kołowych pojazdów wojskowych, powinno polegać na ocenie wpływu zmian konstrukcyjnych wprowadzanych do tych pojazdów na ich bezpieczeństwo ruchu. Przede wszystkim ocena rezultatów badań symulacyjnych dla reprezentatywnych manewrów oraz wprowadzenie na tej podstawie modyfikacji do konstrukcji pojazdu powinny stać na straży bezpieczeństwa. Tym samym celowe wydaje się prowadzenie badań symulacyjnych (przy pomocy zweryfikowanych eksperymentalnie modeli matematycznych oraz zbudowanego oprogramowania), określających wpływ wybranych zmian konstrukcyjnych i eksploatacyjnych na kierowność i stateczność wojskowych pojazdów kołowych, tym samym na podniesienie bezpieczeństwa załóg.

Podstawę do realizacji zakresu badań symulacyjnych może stanowić własne lub komercyjne oprogramowanie komputerowe zbudowane na bazie opracowanych i zweryfikowanych eksperymentalnie modeli matematycznych ruchu i dynamiki pojazdów dwu- i wieloosiowych. Istotne jest zaplecze pomiarowe do realizacji badań eksperymentalnych oraz wykwalifikowany personel.

Dotychczas powstało niewiele opracowań traktujących stricte o problematyce dynamiki ruchu wojskowych pojazdów kołowych w aspekcie ich bezpieczeństwa. W głównej mierze dotyczyły one wpływu wybranej pojedynczej modyfikacji lub odnosiły się do pojazdów ogólnego przeznaczenia (bardzo niewiele opracowań dotyczy pojazdów opancerzonych). Szczególnie mało informacji dostępnych jest w literaturze krajowej. Celowym wydaje się



być uzupełnienie tego obszaru w zakresie tematyki badań dynamiki ruchu wojskowych pojazdów kołowych w aspekcie ich bezpieczeństwa.

Przeglądając dostępne publikacje na temat badań, elementem utrudniającym ocenę wyników w kwestii jakościowej jest brak jednolitego podziału, czy też nomenklatury, w zakresie podziału opancerzonych pojazdów kołowych. Zasadne wydaje się wprowadzenie takiej klasyfikacji.

## Bibliografia

1. Łaba K., Orłowski L. Nowa struktura środków transportu SZ RP. Raport 10/2000.
2. Decyzja nr 101/MON z dnia 3 kwietnia 2009.
3. ISO 7401: Road Vehicles - Lateral Transient Response Test Method. (DIS: 1986, TR:1988).
4. ISO TR 3888: Road Vehicles - Test Procedure for a Severe Lane-Change Manoeuvre, 1975.
5. ISO 4138: Road Vehicles - Steady State Circular Test Procedure. 1982.
6. A. R. Gibas, J. Jeyasingam, December 2008 NAVAL POSTGRADUATE SCHOOL MONTEREY, CALIFORNIA 2008
7. Badania samochodu ciężarowego Star 944 z modułowym opancerzeniem kabiny.
8. Badania Opancerzonej Kabiny Jelcz 146 oraz zbiorników paliwa w układzie zasilania silnika. Opracowanie niepublikowane Sulejówek 2007.
9. Badania Wozu Ewakuacji Medycznej na podwoziu KTO Rosomak. Opracowanie niepublikowane Sulejówek 2007.
10. Analiza wyników badań trakcyjnych kołowych transporterów RYŚ zastosowanych w modelu, taktycznym zestawu KAKTUS w zakresie możliwości poprawy bezpieczeństwa ich użytkowników. Opracowanie niepublikowane Sulejówek 2009.
11. M. Buslik MRAP-y przeciwko fugasom Armia 7/8 2008 str. 72.
12. M. Buslik MRAP-y przeciwko fugasom Armia 11 2008 str. 65.
13. P. Kupidura Polskie Cougary Armia 7/8 2009 str.27
14. U.S. Army Research, Development and Engineering Command, The National Automotive Center (NAC) ilość wypadków, przyczyny system operator maszyna
15. Deylami K. A Lesson from the past For Safer Future Tactical Vehicles. Raport US TACOM nr 13871 z 08.05. 2003.
16. Raport The Safertt Korner z 31.10.2008 The Issue of the Safety Korner Highlights Best Practices for Preventing/Mitigating Vehicle Rollovers. Study of the Mine Resistant Ambush Protected (MRAP) Vehicle
17. Consumer Reports 08/2001.
18. Boada Maria Jesus Lopez, Active roll control using reinforcement learning for a single unit heavy vehicle, International Journal of Heavy Vehicle Systems, Vol.16, No. 4, 2009
19. G. R. El-Gindy M., B. Kulakowski, Development of a software-based rollover warning device. International Journal of Heavy Vehicle Systems Vol. 12, no. 4, 2005
20. Simiński P. Zając M., Influence of choice construction and exploitations parameters of antiterrorism vehicle of steering and stability order parameters, Journal of Kones Powertrain and Transport. Vol. 15 No. 4.
21. Lozia Z., Simiński P., Zdanowicz P., Wpływ położenia środka masy na zachowanie się pojazdu LTV w ruchu krzywoliniowym. Czasopismo Techniczne. Mechanika z. 6-M/2008 Zeszyt 10
22. Simiński P., Aspekty symulacyjnego badania procesu hamowania pojazdu klasy Armoured Fighting Vehicles. Streszczenie zamieszczone w Pracach Naukowych "Transport" Nr 1/26/2008 cały artykuł Czasopismo Logistyka 2/2008 wydanie na płycie CD.
23. Simiński P., Influence of high gravity of military vehicles weight on road safety – experimental result. SAE Papers 2008-01-1484
24. Simiński P., Wpływ na bezpieczeństwo ruchu modernizacji pojazdu terenowego na potrzeby misji stabilizacyjnej. Materiały międzynarodowej konferencji naukowej TRANSPORT XXI WIEKU. Warszawa 2007 r

27. D.M. Nett, Army developmental and operational test planer view process materiały z prezentacji Army Test and Evaluation Command 2008.
28. Test Operations Procedure, 2-2-6 Braking, Wheeled Vehicles, Automotiv Tests Division US Army Aberdeen Test Center. 20.05.2008
29. Vehicle Collision and Accident and Accident Safety Test Materiel Test Procedure 2-2-621 Aberdeen Proving Group 14.05.1968.
30. Winkler C. B. Full-Scale rollover Testing of Commercial cargo-Tank Vehicles. 1-st Joint ITAI-EVU Conference, Hinckley, Leicestershire, Uk, September, 2009, pp 159-169.
31. Ślaski G., Pikosz H., Walerjańczyk W., Modelowanie hamowania z układem ABS samochodu osobowego z uwzględnieniem pracy zawieszenia w symulacji ze sprzętowym sprzężeniem zwrotnym. Teza Komisji Motoryzacji PAN o/Kraków Zeszyt 33-34, 2008
32. Gillsepie T. D Karmihis S.M Characterising trucks for dynamic load prediction Int Journal Vehicle Design, vol 1, no 1 pp3-19,
33. Simiński P., Stryjek P., Bezpieczeństwo w pojazdach ponadnormatywnych”. Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej „Mechanika” nr 84. Kielce 2006
34. Niziński S. Eksploatacja obiektów technicznych. Wydawnictwo ITE Warszawa-Sulejówek-Olsztyn Radom 2002.
35. M.A. French, M.J. Lewis Demonstrating the Potential Use of Virtual Prototype Modelling Techniques for Future AFVs Defense Technical Information Center Compilation Part Notice ADP014153.
36. Simiński P. Zając M., Model research on wheeled armoured fighting vehicle oriented to traffic safety improvement Journal of Kones Powertrain and Transport. Vol. 16 No. 1.
37. Lozia Z., Zdanowicz P., Wyniki symulacyjnej oceny wpływu masy i położenia środka masy samochodu LTV Dzik na jego wybrane własności w ruchu krzywoliniowe. Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów Politechniki Warszawskiej 3/2008.
38. Lozia Z., Zdanowicz P., Wyniki symulacyjnej oceny wpływu odporności na boczne znoszenie ogumienia i sztywności stabilizatorów przechyłu samochodu LTV Dzik na jego wybrane własności w ruchu krzywoliniowe. Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów Politechniki Warszawskiej 3/2008.
39. W.Meldrum, F. Hoogterp. A. Kovnat Modelling and simulation of a differential torque steering wheeled vehicle. TARDEC Technical Report nr 13777 lipiec 1999
40. Gunawan S, Papalambros P., Chan K.Y., Brudna M., Vand den Bergh G., Software Integration for Simulation-Based Analysis and Robust Design Automation of HMMWV Rollover Behavior SP-2110 Military Vehicles Sae International 2007 p.43-55
41. Simiński P., Programy i systemy komputerowe do symulacji przydatne w rekonstrukcji wypadków drogowych. Biuletyn Rzeczoznawców Stowarzyszenia Motoryzacji 5/2007.
42. Lozia Z., Zestaw modeli dynamiki do badania ruchu samochodu. Materiały konferencji AUTOPROGRESS'98, tom I.
43. Warwas K., Adamiec-Wójcik I., Wojciech S., Wpływ podatności naczepy na ruch pojazdu wieloczlonowego, Teza Komisji Motoryzacji PAN o/Kraków Zeszyt 33-34, 2008
44. Wideberg J.P., Simplified method for evaluation of the lateral dynamic behaviour of a heavy vehicle, International Journal of Heavy Vehicle Systems, Vol.11, No. 2, 2004
45. H. Imine, V. Dolcemascolo Sliding mode observers to heavy vehicle vertical forces estimation, International Journal of Heavy Vehicle Systems Vol. 15, no. 1, 2008
46. Gołaszewski A., Smoczyński M., Sumiński K., Szosland K., Rozwój koncepcji urządzeń stabilizacji toru jazdy”. Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej „Mechanika” nr 84. Kielce 2006
47. Boon P., Reybrouck K., Schel S., Vandersmissen B., Raemdonck S., Integration des Antiroll-System „Kinetic: mit semiaktiver Dampfer. ATZ 9/2009
48. Lu J., Salib A., Harmison D., An Enhancement an Electronic Stability Control System to Include A Rollover Control Function SAE Papers 2007-01-0809
49. Oraby W.A.H. Improvement of Vehicle Lateral Stability During Overtaking Process by Active Front Steering System SAE Papers 2007-01-0809.
50. Bedner E., Fulk D., Hac A., Exploring the Trade-Off of Handling Stability and Responsiveness with Advanced Control Systems SAE Papers 2007-01-0812
51. Huh K., Lim S., Hong D., Han S., Han K., Jo H., Yun J., Vehicle Mass Estimator for Adaptive Roll Stability Control SAE Papers

52. Shurtz m., Guenther D. A., Heydinger G.J, Zagorski S. B. Refinements of a Heavy Truck ABS Model SAE Papers 2007-01-0840
53. Shiozawa Y., Yokote M., Nawano M., Mori H., Development of a Method for Controlling Unstable Vehicle Behavior SAE Papers 2007-01-0842
54. Stanag 4357-4358 Allied. Vehicle Testing Publications
55. Kamal M., Shim T., Development of Active Suspension Control for Combined Handling and Rollover Propensity Enhancement, SAE Papers 2007-01-0826
56. Sorniotti A., D'Alfio N., Vehicle Dynamic Simulation to Develop an Active Roll Control System, SAE Papers 2007-01-0828
57. Shurtz m., Guenther D. A., Heydinger G.J, Zagorski S. B. Refinements of a Heavy Truck ABS Model SAE Papers 2007-01-0839
58. Shiozawa Y., Yokote M., Nawano M., Mori H., Development of a Method for Controlling Unstable Vehicle Behavior, SAE Papers 2007-01-0840
59. Cebon D. Interaction between heavy vehicles and Road. Society of Automotive Engineers, SAE 930001, SP-951, 81p., 1993. Society for Automotive Engineers (LR Buckendale Lecture).
60. Gaspar P., Szadzi I. Bokor J. Rollover stability control in steer-by-wire vehicles based on a LPV method Int. Heavy Vehicle Systems vol. 13, 1/2 2006.
62. Roebuck R.L, Cebon D., A systems approach to controlled heavy vehicle suspensions, International Journal of Heavy Vehicle Systems, Vol.12, No. 3, 2005
63. Cao D., Rakheja S. Roll plane analysis of a hydro-pneumatic suspension with twin-gas-chamber struts, International Journal of Heavy Vehicle Systems, Vol.14, No. 4, 2007
64. Khisbullah H. Hishamuddin J, Pakharuddin M. S, Disturbance rejection control of a light armoured vehicle using stability augmentation based active suspension systems, International Journal of Heavy Vehicle Systems, Vol.15, No. 2-4, 2008;
65. Maclaurin B. Progress In British Tracked Vehicle Suspension Systems SAE Technical Paper Series Paper no. 830442 1983 r.
66. Miller L.R, Nobles C.M The Design and Development of a Semi-Active Suspension for a Military Tank, SAE Technical Paper Series Paper no. 881133 1988 r.
67. Wendel G. Steiber J, Stecklein G.L Regenerative Active Suspension on Rough Terrain Vehicles, SAE Technical Paper Series Paper no. 940984 1994 r.
68. Buckner G. D, Schuetze K.T, Beno J.H Intelligent feedback linearization for active vehicle suspension control, Journal of Dynamics Systems, Measurement and Control vol. 123 no. 4. str 727-733.
69. Kamiński E., Pokorski J., Dynamika zawieszzeń i układów napędowych pojazdów samochodowych. WKiŁ Warszawa 1983.
70. Liu P:J, Rakheja S. Achmed A.K.W Detection of Dynamic roll instability of heavy vehicles for open loop rollover control SAE Paper nr 973263
71. Kar. S, Rakheja S., Achmed A.K.W A normalized measure of relative roll instability for open-loop rollover warning Int. Heavy Vehicle Systems vol. 13, 1/2 2006.
72. Imine H., Rollover risk prediction of heavy vehicle in interaction with infrastructure, International Journal of Heavy Vehicle Systems, Vol.14, No. 3, 2007
73. Hoskins M., Moustafa El-Gindy, Virtual rollover tests, Int. Heavy Vehicle Systems vol. 13, 1/2 2006.
74. Bayar K., Unlusoy S. Steering strategies for multi-axle vehicle, Int. Heavy Vehicle Systems vol. 15, 2/3/4 2008.
75. Wach W., Model kierowcy PID w programie do symulacji ruchu pojazdów, Teka Komisji Motoryzacji PAN o/Kraków Zeszyt 29-30, 2005
76. Więckowski D. Model samochodu dla symulacyjnego badania wybranych (typowych) manewrów. Teka Komisji Motoryzacji PAN o/Kraków Zeszyt 29-30, 2005.
77. Watanabe K. Yamakawa J., Tanaka M. Sasaki T. Turning characteristics of multi-axle vehicles, Journal of Terramechanics 44/2007 81-87
78. Simiński P. Badania zwrotności pojazdów kołowych w trakcie ruchu po sztywnym podłożu. Rozprawa doktorska. Politechnika Warszawska 2005.
79. Ślaski G., Pikosz H., Walerjańczyk W., Modelowanie hamowania z układem ABS samochodu osobowego z uwzględnieniem pracy zawieszenia w symulacji ze sprzętowym sprzężeniem zwrotnym. Teka Komisji Motoryzacji PAN o/Kraków Zeszyt 33-34, 2008

80. Warwas K., Adamiec-Wójcik I., Grzegórzek W., Dobór momentów hamujących w pojazdach wieloczołowych, Teka Komisji Motoryzacji PAN o/Kraków Zeszyt 33-34, 2008
81. Simiński P. Ławniczak S. Badania symulacyjne kołowego wozu bojowego z zawieszeniem hydropneumatycznym w trakcie hamowania awaryjnego. Czasopismo Logistyka 3/2009 oraz Prace naukowe „Transport” nr 1/27/2009
82. Mitschke M. Low Speed Lateral Stability of Motor-Vehicles with Guideway Control. Vehicle System Dynamics Vo. 4 no. 1 march 1975
83. Lozia Z., Analiza ruchu samochodu dwuosioowego na tle modelowania jego dynamiki. Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa 1998.
84. Lozia Z.,Obszar dopuszczalnych warunków ruchu samochodu ciężarowego z nadwoziem furgonowym na torze krzywoliniowym. Zeszyty Politechniki Warszawskiej SiMR. Nr 3(15)/95.
85. Shapley C.G. The Rolling Motions of Road Vehicles Vehicle System Dynamics Vo. 4 no. 1 march 1975
86. Salaani Mohamed Kamel, The application of understeer gradient in stability analysis of articulated vehicles, International Journal of Heavy Vehicle Systems, Vol.16, No. 1/2, 2009
87. Krishna Rangavajhula, Effect of multi-axle steering on off-tracking and dynamic lateral response of articulated tractor-trailer combinations, International Journal of Heavy Vehicle Systems, Vol.14, No. 4, 2007
88. Two Studies of Military Vehicles Operator Selcetions and Safety G. Medsker, J.Burnifeld, D. Knapp. P. Legree United States Army resarch Institute for the Behavioral and Social Scientes Spetember 1999.
89. Lozia Z., Symulator jazdy samochodem. WKiŁ Warszawa 2008.
90. F. G. Sisk, D. F. RicketsonUSASC Technical Note TN 85-2, wrzesień 1985 Seatbelt Usage in U.S. ARMY Vehicle Accidents

## **PROBLEMS OF TRAFFIC SAFETY WHEEL OF SPECIAL VEHICLES**

**Abstract:** This paper refers to issues related to the safety of military wheeled vehicles. The paper contents include a reference analysis of research studies conducted using military wheeled vehicles. Experimental and simulation research results, contained under this publication contents, are the basis for the performed analyses. The issues touched on here are closely related to the vehicles safety and that is reflected in the title of the paper. The analysis results may be useful for Armed Forces and the weapons manufacturing industry. Measurable effects involve increased safety of the vehicle and thus related mitigated risk of road accidents, reduced costs to build applications of military wheeled vehicles, lowered costs to make any possible changes in serial vehicles, and acquisition of optimal structural designs in terms of safety for purposes of Polish Armed Forces.

**Keywords:** military vehicles, research and testing, dynamics, safety