

WPLYW NIESPRAWNOŚCI UKŁADU HAMULCOWEGO NA ZACHOWANIE SIĘ TRANSPORTERA OPANCERZONEGO W CZASIE HAMOWANIA

Przemysław SIMIŃSKI*

* *Wojskowy Instytut Techniki Panczernej i Samochodowej*
e-mail: przemyslaw.siminski@witpis.eu

Artykuł wpłynął do redakcji 30.12.2012 r., Zweryfikowaną i poprawioną wersję po recenzjach i korekcie otrzymano w listopadzie 2013 r.

Budowa nowoczesnych platform lądowych to jeden z głównych priorytetów Sił Zbrojnych. Artykuł dotyczy realizacji modelowania i symulacji zachowania transportera opancerzonego w trakcie hamowania. Przy pomocy zbudowanego modelu układu hamulcowego, w którym uwzględniono układy ABS oraz EBS wykonano badania symulacyjne. Dotyczyły one określenia wpływu niesprawności układu hamulcowego na zachowanie się transportera opancerzonego.

Słowa kluczowe: układ hamulcowy, ABS, EBS, hamowanie, transportery opancerzone, modelowanie, symulacja, bezpieczeństwo

WSTĘP

Na ogół rozpatrując pojazdy kołowe, w zakresie bezpieczeństwa, mówi się o dwóch jego obszarach: czynnym oraz biernym [2]. W aspekcie pojazdów samochodowych wyróżnia się dwa podstawowe rodzaje bezpieczeństwa: czynne i bierne. Bezpieczeństwo czynne rozumie się jako zespół takich cech pojazdu, które umożliwiają kierowcy zmniejszenie lub uniknięcie ryzyka, czyli zmniejszenie prawdopodobieństwa powstania kolizji drogowej. Istotą jest zapobieganie wypadkom drogowym. W przypadku bezpieczeństwa biernego mówi się o przeciwdziałaniu obrażeniom w trakcie kolizji drogowej. Jednym z manewrów podczas którego może dojść do niebezpiecznego zdarzenia jest hamowanie prostoliniowe. Pojazdy wojskowe, zwłaszcza bojowe, są szczególnie narażone na uszkodzenie układu hamulcowego, dlatego dla nich manewr hamowania może być szczególnie niebezpieczny.

1. POPRAWA BEZPIECZEŃSTWA POJAZDU WOJSKOWEGO

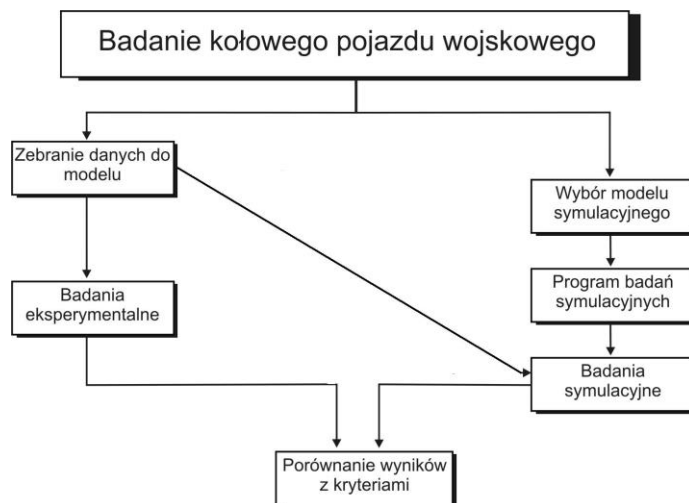
W przypadkach bezpieczeństwa pojazdów wojskowych należy wspomnieć o konieczności przeciwdziałania zagrożeniom bojowym i ochronie załóg z tym związaną. Zapewnienie optymalnej ochrony załodze umożliwia wysoki poziom zespołu cech pojazdu, należą do nich: siła ognia (możliwość rażenia przeciwnika odpowiednio skutecznymi środkami ogniowymi), odporność balistyczna i antyminowa (wyrażana jakością

opancerzenia), wysoka mobilność (dynamika jazdy, pokonywanie przeszkód terenowych, zwrotność). Dopiero kompleksowy rozwój wspomnianych cech pozwala na osiągnięcie zadowalającego poziomu bezpieczeństwa. Wszelkie dysproporcje, jak np. silne opancerzenie przy niskiej dynamice ruchu, są niepożądane i nie gwarantują bezpieczeństwa pojazdów wojskowych, zwłaszcza opancerzonych. Bezpieczeństwo pojazdów wojskowych należy rozpatrywać w szerszym aspekcie, np.: odporności balistycznej, transportowości, urządzeń specjalnych, możliwości pokonywania przeszkód wodnych.

W procesie konstruowania pojazdów wojskowych, często na bazie podwozia czy też platformy, dokonuje się modyfikacji i modernizacji. W efekcie budowane są praktycznie nowe pojazdy, spełniające aktualne wymagania taktyczno-techniczne, dopasowane do bieżących potrzeb. Konieczność osiągnięcia i spełniania przez pojazd nowych wymagań bardzo często wiąże się z wyczerpaniem technicznych możliwości podwozi bazowych. Wobec tego celem nadrzędnym staje się konstruowanie nowych typów pojazdów, bez pogorszenia dotychczasowego poziomu bezpieczeństwa. Dotyczy to zwłaszcza ruchu pojazdu, w szczególności jego dynamiki, czyli zachowania się podczas zmiany prędkości i toru jazdy.

O jakości pojazdu wojskowego (zwłaszcza bojowego) decydują jego główne cechy, tzn.: siła ognia, ruchliwość i opancerzenie, które w myśl zasady łańcucha powinny być ogniwami o takiej samej wytrzymałości. Pod pojęciem ruchliwości rozumie się zespół cech charakteryzujących zdolność do dynamicznej jazdy i manewrowania wozu na polu walki. Należą do nich: parametry charakteryzujące ruch prostoliniowy, zwrotność, zdolność pokonywania terenu. Potwierdzają to informacje z obszaru analizy literaturowej, prowadzone m. in. przez autora pracy [3-10].

Opracowano metodykę postępowania opierającą się na niezbędnych, ze względów przyszłego bezpiecznego użytkowania pojazdów, badaniach eksperymentalnych oraz tych realizowanych na podstawie modeli symulacyjnych rysunek 1. Warunkiem koniecznym do postępowania zgodnie z przedmiotową metodyką jest dostęp do wcześniej zweryfikowanych eksperymentalnie modeli symulacyjnych.



Rys. 1. Schemat postępowania w metodyce określania wpływu wybranych zmian konstrukcyjnych na bezpieczeństwo ruchu wojskowych pojazdów kołowych

Źródło: Opracowanie własne

Przedstawiana metodyka, polegająca na wykorzystaniu opracowanego, zweryfikowanego modelu oraz wykonaniu przy jego pomocy badań symulacyjnych, w szerszym zakresie umożliwi ocenę wpływu wprowadzonych zmian konstrukcyjnych niż prowadzenie wyłącznie badań eksperymentalnych kierowalności i stateczności. Badania nie uwzględniały, w sposób szczegółowy, zastosowania zawieszenia hydropneumatycznego. Jest to bardzo aktualna tendencja rozwojowa w konstrukcji zawieszonych pojazdów opancerzonych zwłaszcza czteroosiowych średnich i ciężkich, co potwierdza konieczność uwzględnienia w badaniach modeli tego typu zawieszenia.

2. MODEL MATEMATYCZNY CZTEROOSIOWEGO ŚREDNIEGO POJAZDU OPANCERZONEGO Z UWZGLĘDNIENIEM MODELU ZAWIESZENIA HYDROPNEUMATYCZNEGO

Równania ruchu modelu pojazdu zapisano w trzech prostokątnych, prawoskrętnych układach współrzędnych $Oxyz$, $O_1x_1y_1z_1$, $O_2x_2y_2z_2$. Poniżej przedstawiono podstawowe równania decydujące o wartości dynamicznych sił pionowych działających na nadwozie pojazdu [1].

Równanie ruchu pionowego nadwozia (w układzie $Oxyz$):

1) Zawieszenie mechaniczne:

$$\ddot{z} = \frac{1}{m} \cdot (F_{z1} + F_{z2} + F_{z3} + F_{z4} - m \cdot g) \quad (1)$$

$$m \cdot z + k_{R1} \cdot (z - \vartheta \cdot a - z_1) + k_{R2} \cdot (z + \vartheta \cdot b - z_2) + c_{A1} \cdot (z - \vartheta \cdot a - z_1) + c_{A2} \cdot (z + \vartheta \cdot b - z_2) = 0, \quad (2)$$

gdzie:

m – masa pojazdu;

F_{zi} – reakcja pionowa kół kolejnych osi;

k_{Ri} – współczynnik sprężystości elementu zawieszenia;

c_{Ai} – współczynnik tłumienia elementu zawieszenia;

a, b – odległości od środka masy pojazdu, z -przemieszczenie pionowe środka masy koła;

z_1 – ugięcie zawieszenia;

ϑ – przemieszczenie katowe względem osi wzłużnej pojazdu.

1) Zawieszenie hydropneumatyczne:

$$m \cdot \ddot{z} + F_{HP1} + F_{HP2} = 0, \quad (3)$$

gdzie:

$$F_{HP1} = f(z, \dot{z}, z_1, \dot{z}_1, \vartheta, \dot{\vartheta}) \quad (4)$$

$$F_{HP2} = f(z, \dot{z}, z_2, \dot{z}_2, \vartheta, \dot{\vartheta}) \quad (5)$$

F_{HPi} – siła w tłoczysku kolumny hydraulicznej

Równanie ruchu pionowego wózka przedniej osi (w układzie $O_1x_1y_1z_1$):

1) Zawieszenie mechaniczne:

$$m_{11} \cdot \ddot{z}_1 - k_{R1} \cdot (z - \mathcal{G} \cdot a - z_1) - c_{A1} \cdot (\dot{z} - \dot{\mathcal{G}} \cdot a - \dot{z}_1) + k_{K1} \cdot z_1 + c_{K1} \cdot \dot{z}_1 = 0 \quad (6)$$

2) Zawieszenie hydropneumatyczne:

$$m_{11} \cdot \ddot{z}_1 - F_{HP1} + k_{K1} \cdot z_1 + c_{K1} \cdot \dot{z}_1 = 0 \quad (7)$$

Równanie ruchu pionowego wózka tylnej osi (w układzie $O_2x_2y_2z_2$):

1) Zawieszenie mechaniczne:

$$m_{12} \cdot \ddot{z}_2 - k_{R2} \cdot (z + \mathcal{G} \cdot b - z_2) - c_{A2} \cdot (\dot{z} + \dot{\mathcal{G}} \cdot b - \dot{z}_2) + k_{K2} \cdot z_2 + c_{K2} \cdot \dot{z}_2 = 0 \quad (8)$$

2) Zawieszenie hydropneumatyczne:

$$m_{12} \cdot \ddot{z}_2 - F_{HP2} + k_{K2} \cdot z_2 + c_{K2} \cdot \dot{z}_2 = 0 \quad (9)$$

Równanie ruchu obrotowego nadwozia (w układzie $Oxyz$ względem osi y):

1) Zawieszenie mechaniczne:

$$I_Y \cdot \ddot{\mathcal{G}} + k_{R1} \cdot a \cdot (z - \mathcal{G} \cdot a - z_1) - k_{R2} \cdot b \cdot (z + \mathcal{G} \cdot b - z_2) + c_{A1} \cdot a \cdot (\dot{z} - \dot{\mathcal{G}} \cdot a - \dot{z}_1) - c_{A2} \cdot (b \cdot (\dot{z} + \dot{\mathcal{G}} \cdot b - \dot{z}_2)) + M_{H1} + M_{H2} + X_1 \cdot h_{w1} + X_2 \cdot h_{w2} = 0 \quad (10)$$

2) Zawieszenie hydropneumatyczne:

$$I_Y \cdot \ddot{\mathcal{G}} + F_{HP1} \cdot a - F_{HP2} \cdot b + M_{H1} + M_{H2} + X_1 \cdot h_{w1} + X_2 \cdot h_{w2} = 0, \quad (11)$$

gdzie:

X_i – reakcja wzdłużna;

h_{wi} – odległość od podłoża.

3. BADANIA CZTEROOSIOWYCH ŚREDNICH POJAZDÓW OPANCERZONYCH Z WYKORZYSTANIEM MODELU ZAWIESZENIA HYDROPNEUMATYCZNEGO

Opracowany model pojazdu z zawieszeniem hydropneumatycznym i układem hamulcowym EBS/ABS umożliwia przeprowadzenie obliczeń symulacyjnych wg różnych wariantów konfiguracji modelu. W ramach cyklu badań określano wpływ wybranych zmian konstrukcyjnych na zachowanie pojazdu w ruchu [1]:

- prędkości początkowej jazdy (dowolna wartość z przedziału $\langle 0, 100 \rangle$ [km/h], domyślna wartość 60 km/h);
- rodzaju zawieszenia: hydropneumatyczne, mechaniczne (na resorach piórowych);
- czasu narastania wymuszenia pochodzącego od układu sterowania hamulcami: szybko – czas narastania 0,2; umiarkowanie – czas narastania 0,5 s, wolno – czas narastania 0,8 s;
- amplitudy wymuszenia pochodzącego od układu sterowania hamulcami (przemieszczenie pedału hamulca) od 2 do 7 cm;
- współczynnika przyczepności kół do nawierzchni: 0,1; 0,5; 0,7; 0,9;
- ciśnienia powietrza w zbiorniku;

- wymuszenia pochodzącego od nierówności drogi;
- konfiguracji układu ABS z modulatorem ABS, z włączonym układem sterowania ABS, z wyłączonym układem sterowania ABS:
 - z wyłączonym układem sterowania ABS dla poszczególnych kół: koła przednie - oś 1 i 2, koła tylne - oś 3 i 4;
 - z pominięciem modulatora ABS.
- liczby hamowanych kół:
 - wszystkie koła (ustawienie domyślne);
 - koła przednie prawe - oś 1 i 2;
 - koła przednie lewe - oś 1 i 2;
 - koła tylne prawe - oś 3 i 4;
 - koła tylne lewe - oś 3 i 4.

W celu pozyskania informacji na temat własności czteroosiowego średniego pojazdu opancerzonego w ruchu krzywoliniowym przeprowadzono badania symulacyjne według znormalizowanego testu – hamowania awaryjnego w ruchu krzywoliniowym.

W teście symulowano przebieg procesu hamowania awaryjnego od prędkości początkowej 80 km/h na nawierzchniach: beton ($\mu_0=0,9$), mokry asfalt ($\mu_0=0,5$), lód ($\mu_0=0,2$), odpowiednio przy jeździe na wprost oraz w ruchu krzywoliniowym. Przebieg hamowania rozważano dla układu hamulcowego z włączonym lub wyłączonym układem ABS i EBS oraz bez tych urządzeń a także dla dwóch stanów sprawności układu hamulcowego:

- sprawny, tj. 8 kół hamowanych;
- częściowo niesprawny, tj. 4 koła tylne hamowane (układ hamulcowy kół pierwszej i drugiej osi jezdnej niesprawny, układ hamulcowy kół trzeciej i czwartej osi jezdnej sprawny).

Nominalne wartości parametrów modelu odpowiadają pojazdowi Rosomak i zostały przedstawione w tabeli 1. Zakres wprowadzanych zmian konstrukcyjnych przedstawia katalog zmian wartości parametrów modelu omawiany w pracy [1]. W tabeli 1 zawarto zakres parametrów, które zostały zmienione pod wpływem zmian konstrukcyjnych w pojeździe.

Tabela 1. Katalog zmian wartości parametrów modelu

Nazwa parametru		Jednostka	Wartość parametru	Zmiana względem wartości nominalnej
Masa całkowita pojazdu		kg	28000	+2000
			31000	+5000
Główny centralny moment bezwładności bryły nadwozia (z ładunkiem)	względem osi wzdluznej	Ix kg·m ²	17172	+1123
			19135	+3086
	względem osi poprzecznej	Iy kg·m ²	64940	+1526
			66416	+3002
	względem osi pionowej	Iz kg·m ²	68661	+1651
			70234	+3224

Odległość środka masy pojazdu od osi przedniej	a [m]	2,025	-0,2
		2,125	-0,1
		2,325	+0,1
		2,425	+0,2
Wysokość środka masy bryły nadwozia nad podłożem	hs[m]	0,956	-0,5
		1,156	-0,3
		1,756	+0,3
		1,956	+0,5

Źródło: Opracowanie własne

4. ZAWIESZENIE HYDROPNEUMATYCZNE NA TLE ZBUDOWANEGO MODEL POJAZDU AFV

4.1. Założenia ogólne

W modelu pojazdu wyeksponowano te właściwości, które uznano za szczególnie ważne w badaniach symulacyjnych zawieszenia osi jezdnych, a mianowicie [1]:

- parametry masowe pojazdu, w tym masy wózków poszczególnych osi;
- masowy moment bezwładności kół jezdnych I_i oraz moment bezwładności nadwozia pojazdu względem jego osi poprzecznej (I_y);
- położenie środka ciężkości pojazdu (a, b, hw);
- parametry fizyczne modelu zawieszenia osi kół jezdnych (sztywność, tłumienie);
- parametry fizyczne modelu sprężystości promieniowej ogumienia oraz tłumienia (k_{Ki} , c_{Ki}).

Podczas budowy modelu pojazdu przyjęto następujące założenia:

- rozważa się model dyskretny, deterministyczny, płaski pojazdu czteroosiowego o dwóch wózkach jezdnych (każdy wózek obejmuje dwie osie jezdne);
- model posiada trzy nieodkształcalne bryły (nadwozie, wózek osi przedniej z kołami, wózek osi tylnej z kołami);
- w zawieszeniu wózków osi jezdnych występują hydropneumatyczne elementy sprężyste oraz elementy tłumiące;
- ogumienie kół jezdnych modelu przenosi, w kierunku pionowym, reakcje od podłoża na układ jezdny wózka jako nieliniowy element sprężysty, a w płaszczyźnie poziomej siłę styczną;
- ruch modelu pojazdu odbywa się po poziomej nawierzchni drogi o zadanym profilu nierówności.

4.2. Model fizyczny

Ruch poszczególnych brył modelu opisują równania dla dziesięciu stopni swobody (sześć dla nadwozia, po jednym dla osi wózków kół jezdnych oraz dwa stopnie swobody kół jezdnych obracających się wokół swoich osi). Wielkością wejściową do modelu pojazdu jest przebieg wartości momentu tarcia M_{Hi} koła poszczególnych osi jezdnych. Wyjściem z modelu jest zbiór wielkości fizycznych opisujących kinematykę (a_p -opóźnienie hamowania, v_{Ki} -prędkości obrotowe kół jezdnych) oraz dynamikę (Z_i - siły nacisku kół jezdnych na podłoże) jego ruchu [1].

4.3. Możliwości wariantowania obliczeń symulacyjnych

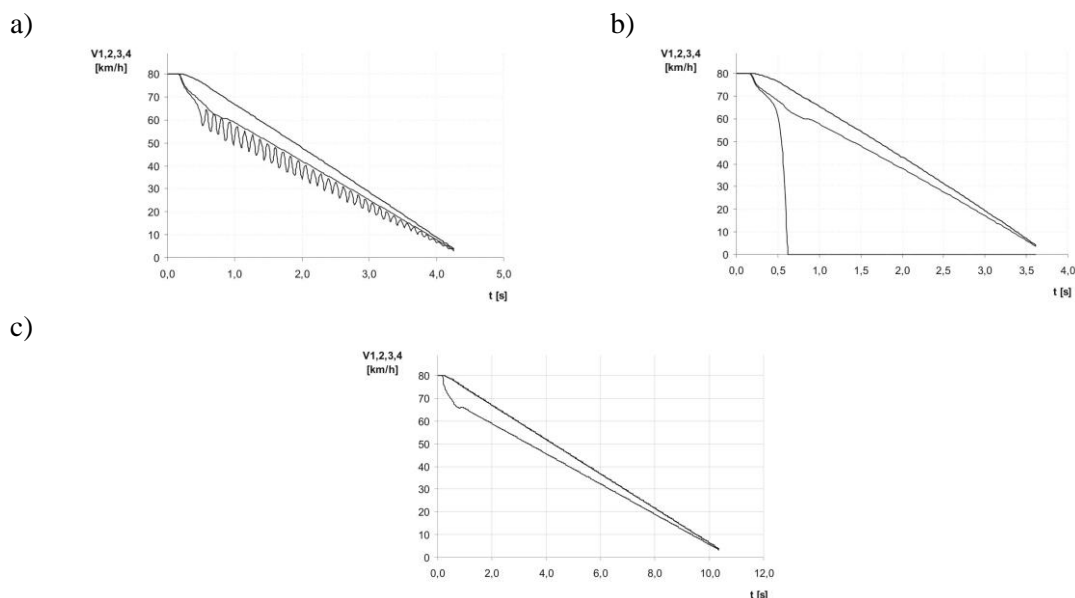
Opracowany model pojazdu z zawieszeniem hydropneumatycznym i układem hamulcowym EBS/ABS umożliwia przeprowadzenie obliczeń symulacyjnych wg różnych wariantów konfiguracji modelu.

Do wstępnych obliczeń symulacyjnych zastosowano:

- dane dotyczące układu hamulcowego z ABS, EBS wg literatury z zakresu budowy, działania i modelowania układów pneumatycznych, budowy, działania układu ABS, EBS. Dane układu hamulcowego z ABS, EBS dobrano tak, aby właściwości, układu (czas zwłoki, czas narastania ciśnienia w siłowniku hamulca) były zbliżone do właściwości jakie posiadają współczesne samochody ciężarowe z ABS, EBS;
- dane pojazdu;
- dane ogumienia;
- dane zawieszenia hydropneumatycznego dobrano tak by zapewniały parametry (tj. ugięcie statyczne, maksymalna siła w zawieszeniu, skok zawieszenia, przebieg charakterystyki sprężystości) zbliżone do zawieszenia mechanicznego na resorach piórowych.

5. WYNIKI BADAŃ

Na rysunku 2, przedstawiono charakterystyki czasowe prędkości liniowej kół na poszczególnych 4 osiach pojazdu podczas hamowania prostoliniowego dla trzech wariantów: sprawny układ hamulcowy oraz włączony ABS (rys. 2a); sprawny układ hamulcowy oraz wyłączony ABS (rys. 2b); niesprawny układ hamulcowy oraz wyłączony ABS (rys. 2c).

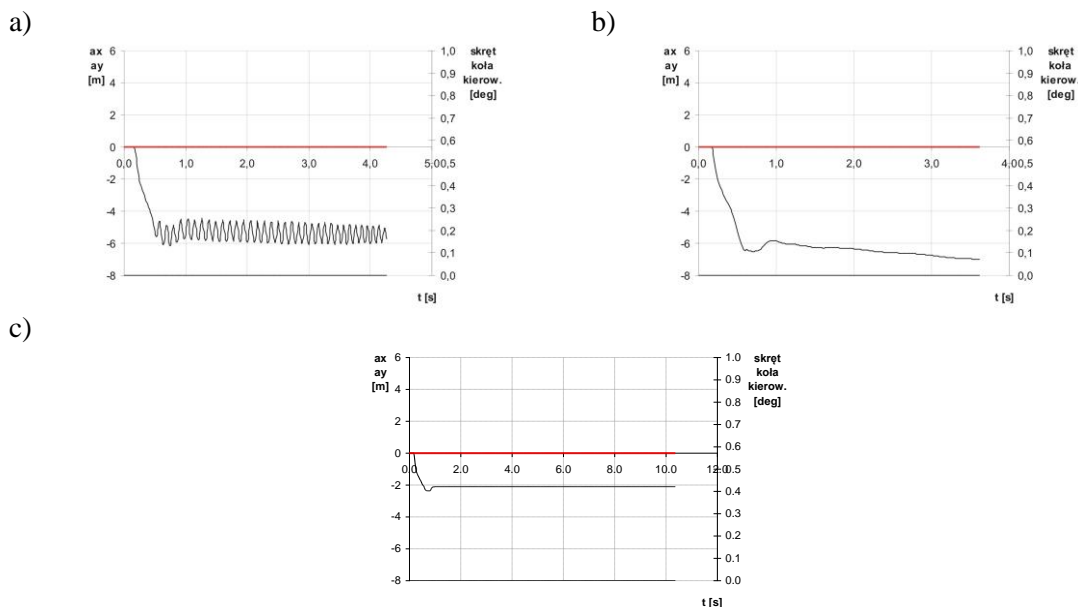


Rys. 2. Charakterystyki czasowe prędkości liniowej na kołach poszczególnych osi podczas hamowania prostoliniowego – nawierzchnia betonowa:

- a) sprawny układ hamulcowy oraz włączony ABS, b) sprawny układ hamulcowy oraz wyłączony ABS, c) niesprawny układ hamulcowy oraz wyłączony ABS

Źródło: Opracowanie własne

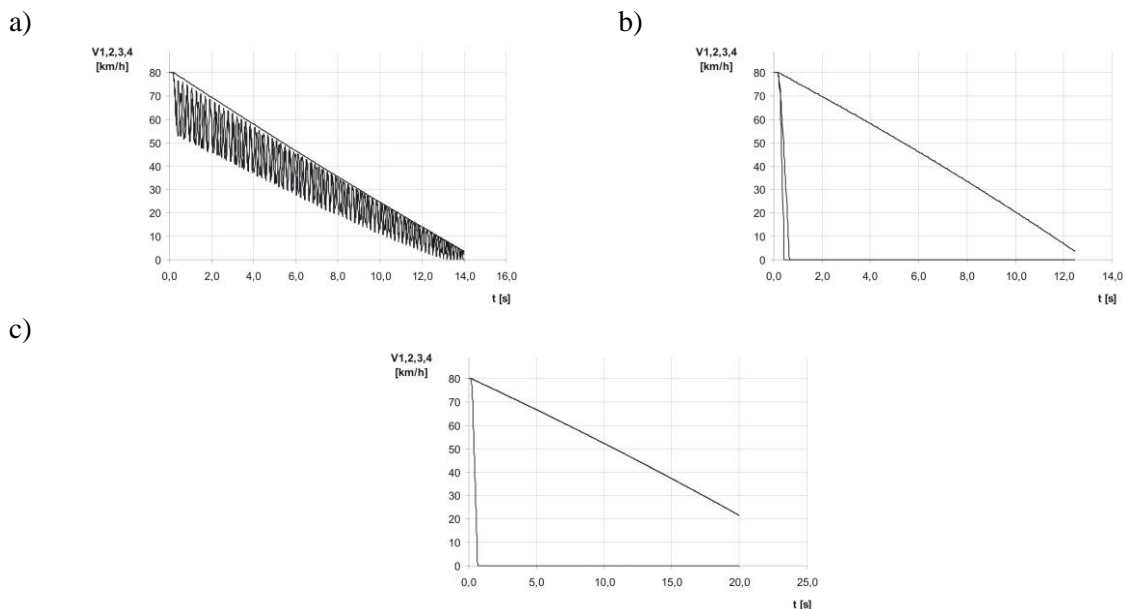
Dla tożsamyh wariantów na rysunku 3, przedstawiono charakterystyki czasowe przyspieszenia wzdłużnego oraz poprzecznego. Manewr hamowania rozpoczęto przy prędkości początkowej 80 km/h na nawierzchni betonowej. Na kolejnych rysunkach (4-5) zaprezentowano wyniki dla wariantów jak powyżej dla nawierzchni oblodzonej.



Rys. 3. Charakterystyki czasowe przyspieszenia wzdłużnego oraz poprzecznego, linia czerwona w środku masy pojazdu podczas hamowania prostoliniowego – nawierzchnia betonowa:

- a) sprawny układ hamulcowy oraz włączony ABS, b) sprawny układ hamulcowy oraz wyłączony ABS, c) niesprawny układ hamulcowy oraz wyłączony ABS

Źródło: Opracowanie własne

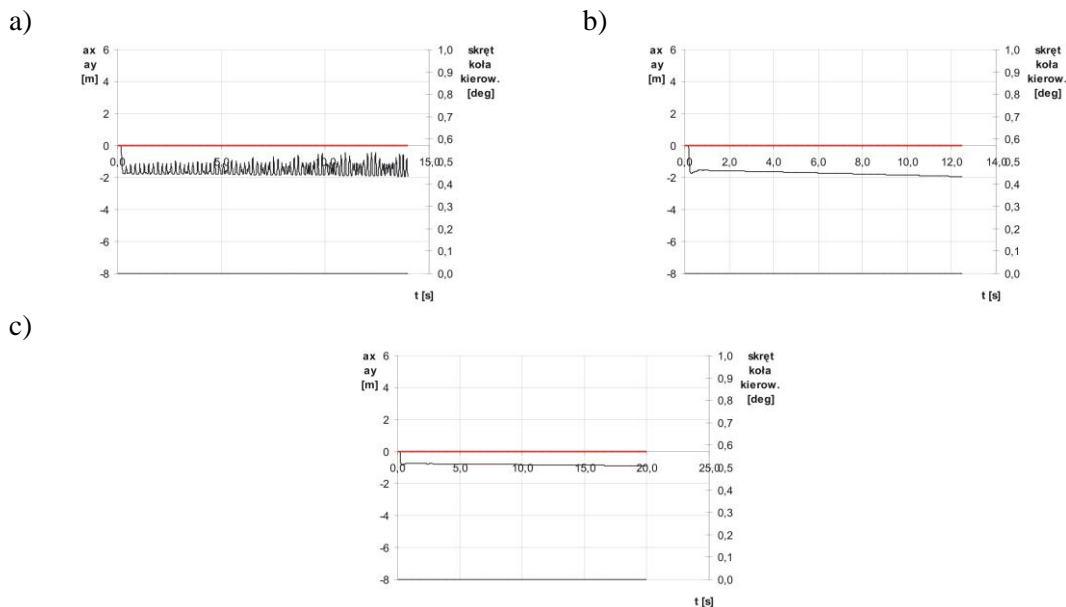


Rys. 4. Charakterystyki czasowe prędkości liniowej na kołach poszczególnych osi podczas hamowania prostoliniowego – nawierzchnia oblodzona:

- a) sprawny układ hamulcowy oraz włączony ABS, b) sprawny układ hamulcowy oraz wyłączony ABS, c) niesprawny układ hamulcowy oraz wyłączony ABS

Źródło: Opracowanie własne

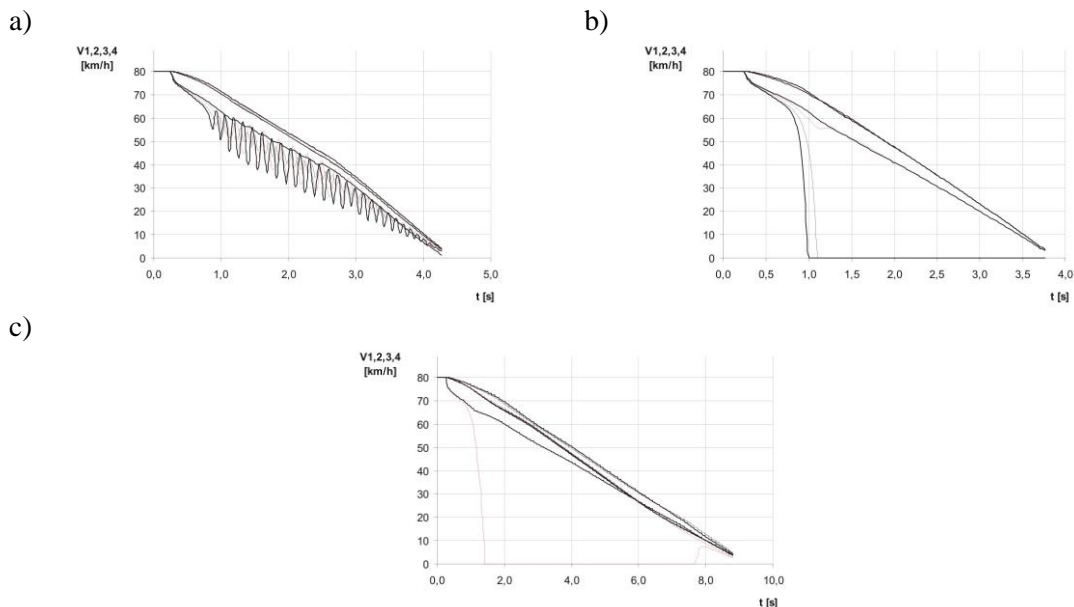
WPLYW NIESPRAWNOŚCI UKŁADU HAMULCOWEGO NA ZACHOWANIE ...



Rys. 5. Charakterystyki czasowe przyspieszenia wzdłużnego oraz poprzecznego, linia czerwona w środku masy pojazdu podczas hamowania prostoliniowego – nawierzchnia oblodzona:
 a) sprawny układ hamulcowy oraz włączony ABS, b) sprawny układ hamulcowy oraz wyłączony ABS, c) niesprawny układ hamulcowy oraz wyłączony ABS

Źródło: Opracowanie własne

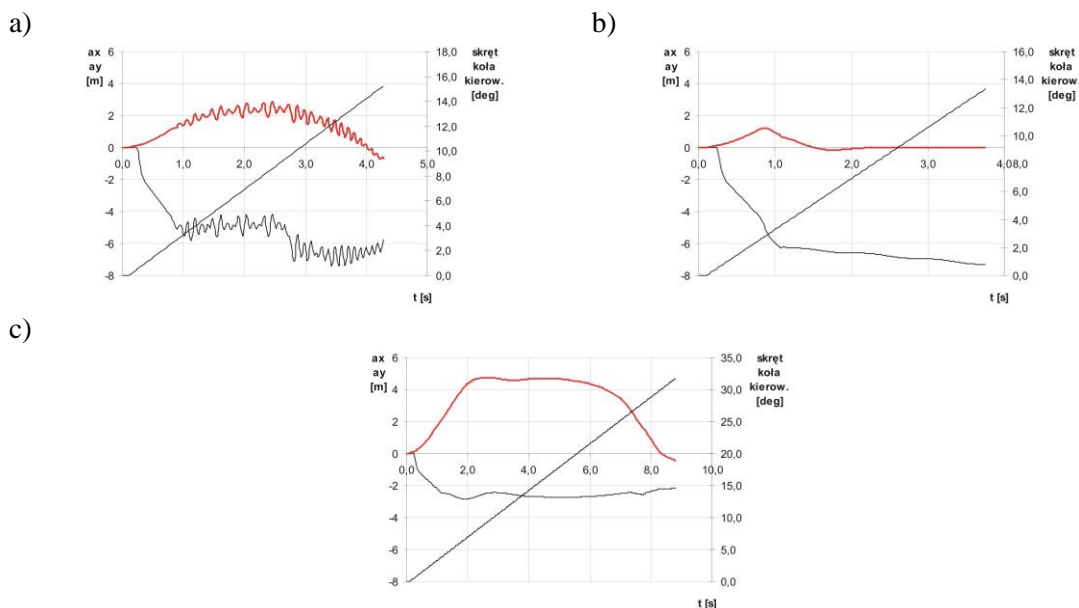
Kolejny test obejmował zachowanie pojazdu podczas awaryjnego hamowania na łuku drogi.



Rys. 6. Charakterystyki czasowe prędkości liniowej na kołach poszczególnej osi podczas hamowania na łuku drogi – nawierzchnia betonowa:
 a) sprawny układ hamulcowy oraz włączony ABS, b) sprawny układ hamulcowy oraz wyłączony ABS, c) niesprawny układ hamulcowy oraz wyłączony ABS

Źródło: Opracowanie własne

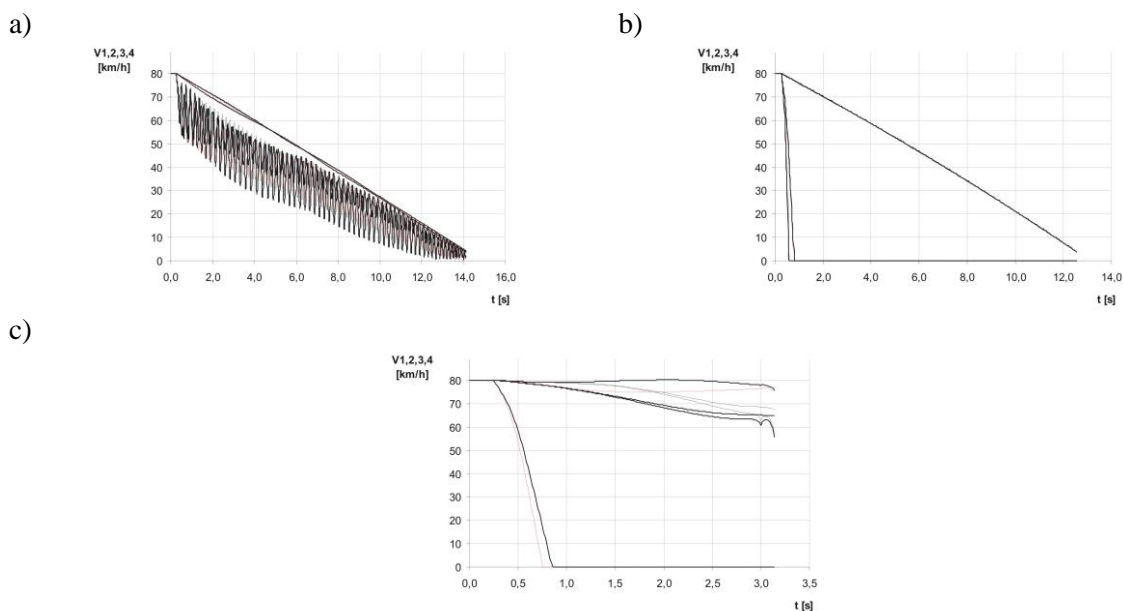
Na rysunkach 6-7 przedstawiono charakterystyki czasowe prędkości liniowej kół na poszczególnych 4 osiach pojazdu podczas hamowania prostoliniowego dla trzech



Rys. 7. Charakterystyki czasowe przyspieszenia wzdłużnego oraz poprzecznego, linia czerwona w środku masy pojazdu podczas hamowania na łuku drogi – nawierzchnia betonowa:

- a) sprawny układ hamulcowy oraz włączony ABS, b) sprawny układ hamulcowy oraz wyłączony ABS, c) niesprawny układ hamulcowy oraz wyłączony ABS

Źródło: Opracowanie własne

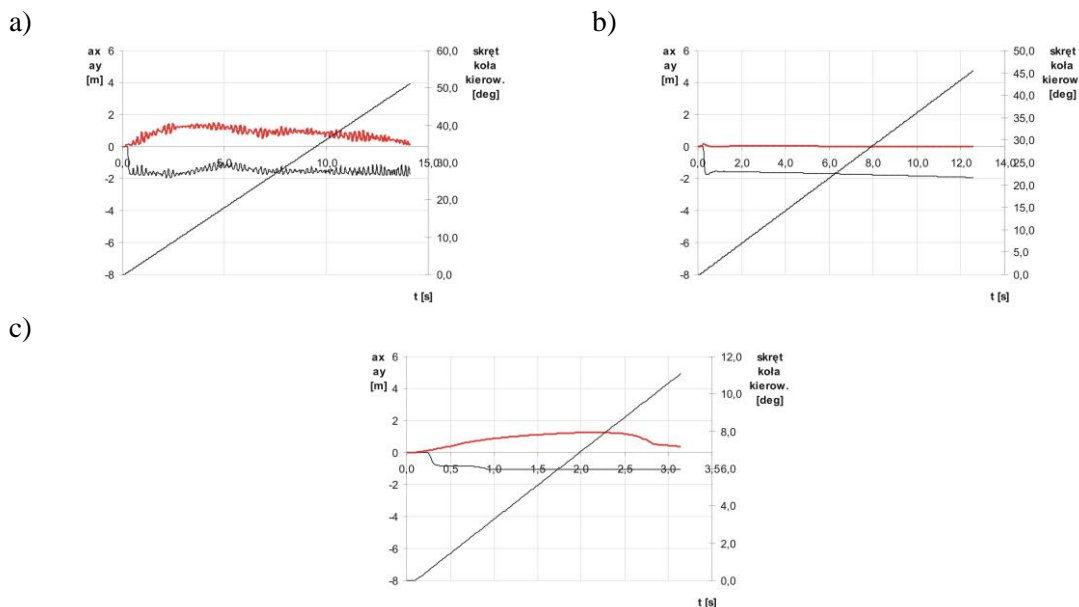


Rys. 8. Charakterystyki czasowe prędkości liniowej na kołach poszczególnych osi podczas hamowania na łuku drogi – nawierzchnia oblodzona:

- a) sprawny układ hamulcowy oraz włączony ABS, b) sprawny układ hamulcowy oraz wyłączony ABS, c) niesprawny układ hamulcowy oraz wyłączony ABS

Źródło: Opracowanie własne

wariantów: sprawny układ hamulcowy oraz włączony ABS (rys. 6a); sprawny układ hamulcowy oraz wyłączony ABS (rys. 6b); niesprawny układ hamulcowy oraz wyłączony ABS (rys. 6c). Dla tożsamyh wariantów na rysunku 7 przedstawiono charakterystyki czasowe przyspieszenia wzdłużnego oraz poprzecznego. Manewr hamowania rozpoczęto przy prędkości początkowej 80 km/h na nawierzchni betonowej. Na kolejnych rysunkach (8-9) zaprezentowano wyniki dla wariantów jak powyżej dla nawierzchni oblodzonej.



Rys. 9. Charakterystyki czasowe przyspieszenia wzdłużnego oraz poprzecznego, linia czerwona w środku masy pojazdu podczas hamowania na łuku drogi– nawierzchnia oblodzona:

a) sprawny układ hamulcowy oraz włączony ABS, b) sprawny układ hamulcowy oraz wyłączony ABS, c) niesprawny układ hamulcowy oraz wyłączony ABS

Źródło: Opracowanie własne

PODSUMOWANIE

Podczas hamowania prostoliniowego na nawierzchni betonowej, dla zestawu danych adekwatnych dla pojazdu klasy transporter opancerzony 8x8, daje się zauważyć, że największe opóźnienie, a zarazem najkrótszy czas hamowania uzyskuje się dla pojazdu ze sprawnym układem hamulcowym i z wyłączonym ABS. Dochodzi wówczas do zablokowania kół tylnej osi.

Podczas hamowania prostoliniowego na nawierzchni oblodzonej pojazd z wyłączonym ABS i sprawnym układem hamulcowym uzyskuje nieznacznie (1,2 s) dłuższy czas hamowania. Opóźnienie posiada liniowy przebieg, inaczej niż podczas pracy modulatora ABS. Jednak w przypadku niesprawnego układu z wyłączonym układem ABS wystąpiło 7-metrowe odchylenie od prostoliniowego toru jazdy.

W przypadku krytycznej sytuacji jaką jest hamowanie na łuku drogi, zarówno dla nawierzchni betonowej jak i oblodzonej najkorzystniejsza sytuacją jest wariant z pracującym ABS i sprawnym układem hamulcowym. Nie dochodzi wówczas do zablokowania kół osi IV i III, co pozwala na zachowanie kierowności. Dla wariantu z wyłączonym układem ABS i niesprawnym układem hamulcowym oraz dla wariantu

z włączonym ABS i sprawnym układem hamulcowym przy oblodzonej nawierzchni dochodzi do utraty stateczności poprzecznej.

Bardzo często zdarza się, że hamulce pojazdów specjalnych pozbawionych układu ABS nie są zdolne do osiągnięcia wysokiej wartości skutecznego opóźnienia (powyżej $4,5 \text{ m/s}^2$) ze względu na blokowanie kół. Blokowanie kół przyczynia się także do zwiększenia tendencji do utraty prostoliniowego toru jazdy. Wyniki badań symulacyjnych mogą stanowić podstawę do podjęcia decyzji o stosowaniu ABS, regulacji jego modulatora, czy też doboru korektora siły hamowania pomiędzy osiami. W oparciu o wyniki można budować programy szkoleniowe (scenariusze) dla kierowców pojazdów specjalnych, których szkolenie nie zawiera elementów techniki jazdy w sytuacjach krytycznych.

LITERATURA

1. Simiński P., *Metodyka określania wpływu wybranych zmian konstrukcyjnych na bezpieczeństwo ruchu wojskowych pojazdów kołowych*, [w:] „Rozprawy”, nr 152/2011, Wydawnictwo Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego, Bydgoszcz 2011.
2. Wicher J., *Bezpieczeństwo samochodów i ruchu drogowego*, WKiŁ, Warszawa 2004.
3. *Badanie przydatności samochodu Jeep Wrangler TJL do zastosowania jako środka transportowy dla patrolów saperskich w Wojsku Polskim*, Opracowanie niepublikowane, Sulejówek 2007.
4. Maclaurin, B., *Progress in British Tracked Vehicle Suspension Systems*, [in:] „SAE Technical Paper”, Paper no 830442, 1983, doi:10.4271/830442.
5. Miller, L. and Nobles, C., *The Design and Development of a Semi-active Suspension for a Military Tank*, [in:] „SAE Technical Paper”, Paper no 881133, 1988, doi:10.4271/881133.
6. *Modelowanie i symulacja dynamiki platformy lądowej ukierunkowana na budowę przyszłego, europejskiego bojowego wozu opancerzonego (Armour Fighting Vehicle)*. Niepublikowane sprawozdanie z projektu rozwojowego 2006-2009 .
7. Simiński P., *Zwrotność pojazdów*, Wydawnictwo Bel-Studio, Warszawa 2012.
8. Simiński P. 2008. *Badania eksperymentalne pojazdu 8x8 w ruchu po okręgu oraz dla manewru podwójnej zmiany pasa ruchu*, [w:] „Czasopismo Techniczne Mechanika” z. 6-M/2008 Zeszyt 10.
9. Simiński P., Stryjek P., *Influence of dynamic load on military vehicles construction*, [in:] „Journal of Kones” no. 1/2007.

FAILURE BRAKING EFFECT ON BEHAVIOUR OF ARMORED VEHICLE DURING BRAKING

Summary

The construction of modern land-based platforms is one of the main priorities of the Armed Forces. The article concerns the implementation of the modeling and simulation of the behavior of an armored personnel carrier during braking. With the help of the constructed model of the

braking system, which incorporates the ABS and EBS systems, simulation tests were performed. The study related to the effect of the brake system failure on the behaviour of the armoured personnel carrier.

Keywords: *braking system, ABS, EBS, braking, armored personnel carriers, modeling, simulation, safety*

NOTA BIOGRAFICZNA

płk dr hab. inż. Przemysław SIMIŃSKI – jest absolwentem WAT (1998). Rozpoczął służbę na stanowisku dowódcy plutonu czołgów, następnie dowodził kompanią. Od 2001 roku służy w Wojskowym Instytucie Techniki Pancernej i Samochodowej, aktualnie jest zastępcą dyrektora instytutu badawczego. Zainteresowania naukowe obejmują bezpieczeństwo pojazdów i ich załóg, transport oraz logistykę.