

Ocena skuteczności układów hamulcowych zestawów do przewozu ciężkiej techniki wojskowej

GRZEGORZ MOTRYCZ, PRZEMYSŁAW SIMIŃSKI, PIOTR STRYJEK

Wojskowy Instytut Techniki Panczernej i Samochodowej

Artykuł zawiera wyniki badań eksperymentalnych naczep niskopodwoziowych NS 500Z, NR 600W, NS 700W. Konstrukcja ww. naczep jest przystosowana do transportu ładunków ponadnormatywnych. Badania zostały przeprowadzone w oparciu o Regulamin nr 13 EKG ONZ. Miały na celu określenie skuteczności hamowania zestawów zarówno hamulcem roboczym jak i hamulcem awaryjnym. Wyniki badań mogą służyć zarówno do wprowadzenia modyfikacji w układzie hamulcowym zestawu, jak i dane wejściowe do modelowania symulacyjnego.

1. Wprowadzenie

Uwzględniając ogólną koncepcję pojazdów specjalnych oraz pojazdów używanych do celów specjalnych Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej, w tym zestawów niskopodwoziowych do przewozu ciężkiej techniki oraz ładunków nienormatywnych, istotnym elementem zaliczanym do podwozia jest ich układ hamulcowy. Zadaniem układu hamulcowego naczep jest wytworzenie na kołach jezdnych momentów hamujących, umożliwiających w sposób kontrolowany przez kierowcę zmniejszanie prędkości jazdy, a także unieruchomienie pojazdu na postoju.

Układy hamulcowe naczep niskopodwoziowych ze względu na specyficzne zadania, do których jest przeznaczona naczepa, muszą być skuteczne w każdych warunkach. Dlatego też są poddawane badaniom pozwalającym na określenie spełnienia wymagań w aktach normatywnych.

Podstawowym krajowym aktem normatywnym, który ww. pojazdy muszą spełniać, jest Rozporządzenie Ministra Obrony Narodowej oraz Spraw Wewnętrznych i Administracji w sprawie warunków technicznych pojazdów specjalnych i pojazdów używanych do celów specjalnych Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej oraz Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich wyposażenia. W ujęciu międzynarodowym kwestie techniczne dotyczące wymagań stawianych układom hamulcowym i ich elementom regulują jednolite przepisy dotyczące homologacji pojazdów ustanowione przez Europejską Komisję Gospodarczą Organizacji Narodów Zjednoczonych:

- Regulamin nr 13 EKG ONZ „Jednolite przepisy dotyczące homologacji pojazdów kategorii M, N oraz O w zakresie hamowania”.

Zgodnie z obowiązującymi aktami prawnymi zestawy niskopodwoziowe powinny być wyposażone w trzy niezależne rodzaje układów hamulcowych:

- roboczy,
- awaryjny,
- postojowy.

Ze względu na swoją specyfikę oraz konstrukcję zostały one zakwalifikowane do kategorii pojazdów O (przyczepy z włączeniem naczep) do grupy O₄ (przyczepy o maksymalnej masie przekraczającej 10 ton) zgodnie z międzynarodową klasyfikacją.

2. Obiekty badań

Producentem zestawów naczep niskopodwoziowych do przewozu ciężkiej techniki wojskowej jest firma AUTO-HIT Sp.z.o.o. Firma w swojej ofercie oferuje cały typszereg zestawów niskopodwoziowych, które są przeznaczone do wykonywania przewidzianych dla nich zadań transportowych po drogach utwardzonych jak i również po drogach gruntowych, w warunkach klimatycznych i terenowych charakterystycznych dla obszaru Europy.



Rys. 1. Ciągnik siodłowy IVECO TRAKKER z naczepą niskopodwoziową NS500Z.
Fig. 1. Vehicle IVECO TRAKKER with semi-trailer NS500Z.



Rys. 2. Ciągnik siodłowy IVECO TRAKKER z naczepą niskopodwoziową NR600W.
Fig. 2. Vehicle IVECO TRAKKER with semi-trailer NR600W.



Rys. 3. Ciągnik siodłowy IVECO TRAKKER z naczepą niskopodwoziową NS700W.
Fig. 3. Vehicle IVECO TRAKKER with semi-trailer NS700W.

Naczepa NS500Z jest pojazdem dostosowanym do współpracy z ciągnikami TATRA 290NT9, IVECO TRAKKER MP720 lub każdym innym ciągnikiem minimum trzyosiowym, o wysokości siodła 1650 ± 50 mm. Jest przewidziana w szczególności do transportu 155 mm armatohaubicy Krab, PZA Loara oraz opancerzonych pojazdów gaśnicowych i transporterów kołowych o masie nieprzekraczającej jej ładowności, tj. 52 500 kg (rys. 1).

Naczepa NR600W jest przeznaczona w szczególności do transportu gaśnicowych pojazdów kołowych, maszyn budowlanych, kontenerów oraz wszelkiego rodzaju konstrukcji i ładunków o masie nieprzekraczającej ładowności 60 000 kg (rys. 2).

Naczepa NS700W jest stosowana w szczególności do transportu gaśnicowych pojazdów kołowych, maszyn budowlanych, kontenerów oraz wszelkiego rodzaju konstrukcji i ładunków o masie nieprzekraczającej ładowności 70 000 kg (rys. 3).

Układ hamulcowy wymienionych naczep stanowi instalacja dwuprzewodowa nadciśnieniowa o ciśnieniu roboczym 0.62-0.72 MPa, dostosowana do ciągnika wyposażonego w instalację pneumatyczną dwuprzewodową.

Zasadniczymi elementami instalacji są:

- złącza sterowania;
- filtr przewodowy powietrza;
- zawór hamulcowy przyczepy z luzownikiem sterującym;
- zbiorniki powietrza 40 dm³;
- siłownik membranowo-sprężynowy;
- zawór przepływowy bez przepływu zwrotnego;
- pneumatyczny regulator siły hamowania;
- zawór szybkiego odpowietrzania z zaworem dwudrożnym;
- siłownik membranowy;
- zawór modulatora ABS;
- zespół układu ABS;
- zbiorniki powietrza 60 dm³.

W celu uruchomienia zestawu należy napełnić powietrzem instalację oraz komory sprężynowe siłowników membranowo-sprężynowych, aż do momentu przesunięcia się tłoczyska do wnętrza siłowników. Po wykonaniu tej operacji zestaw jest gotowy do użycia. Zasadniczym elementem zastosowanym w tej klasie naczepek jest umieszczony w środkowej części platformy ładunkowej automatyczny regulator siły hamowania. Spełnia on funkcję dostosowania siły hamowania do stanu załadowania naczepy poprzez regulowanie ciśnienia doprowadzanego do siłowników hamulcowych. Siłowniki membranowo-sprężynowe, oprócz podstawowej funkcji hamowania naczepy podczas jazdy, spełniają dodatkową rolę hamulca postojowego po odpowietrzeniu komory sprężynowej siłownika.

Każda z badanych naczepek posiadała układ ABS, którego działaniem miała na celu zapobieganie blokowaniu kół naczepy, zwłaszcza na śliskiej nawierzchni przy zachowaniu pełnej siły hamowania oraz przyczepności kół.

3. Badania skuteczności układów hamulcowych

Do przeprowadzenia stosownego testu wykorzystano aparaturę pomiarową, na którą składały się:

- rejestrator RT 3002 (rys. 4) – do pomiaru prędkości, drogi, opóźnienia;
- komputer rejestrujący;
- zasilacze;
- okablowanie.



Rys 4. Rejestrator RT-3002.
Fig. 4. RT-3002 system.

Analizy sygnałów dokonano z wykorzystaniem komputera, za pomocą oprogramowania MATLAB (tab. 1).

Tabela 1 Dokładność pomiarowa RT 3002.
Table 1. Measurement accuracy of RT 3002.

Lp.	Wielkości mierzone	Maksymalny błąd
RT3002		
1.	opóźnienie	$\pm 0.01 \text{ m/s}^2$
2.	prędkość	$\pm 0.05 \text{ km/h}$
3.	droga	$\pm 0.02 \text{ m}$
4.	kąty $\psi_s, \vartheta_s, \varphi_s$;	$\pm 0.03^\circ$

Pomiary zostały zarejestrowane cyfrowo z częstotliwością próbkowania sygnału 100 Hz.

Badania skuteczności i równomierności hamowania zestawów niskopodwoziowych powinny być przeprowadzone poprzez pomiar sił hamowania na urządzeniu rolkowym lub płytowym do kontroli układów hamulcowych. Jednakże ze względu na cechy konstrukcyjne tych pojazdów ustawodawca dopuszcza badanie skuteczności hamowania poprzez pomiar opóźnienia hamowania.

Wyznaczenie opóźnienia hamowania w warunkach prób drogowych w stosunku do zestawów niskopodwoziowych wiąże się z szeregiem utrudnień dla zespołów badawczych.

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 16 grudnia 2003 r. Dz. U. nr 227 poz. 2250 (załącznik 2), aby móc wykonać pomiar opóźnienia hamowania należy spełnić następujące warunki:

- badanie można przeprowadzać tylko na takim odcinku drogi, na którym nie spowoduje to zagrożenia bezpieczeństwa ruchu drogowego (np. przez nagłe zahamowanie pojazdu);
- ciśnienie w ogumieniu nie może różnić się od nominalnego więcej niż ± 0.02 MPa;
- hamowanie powinno być dokonywane tylko badanym hamulcem, przy czym sprzęgło silnika może być włączone, a w pojazdach wyposażonych w mechanizm wspomagający silnik może być uruchomiony;
- pojazd powinien być równomiernie obciążony ładunkiem o masie równej jego dopuszczalnej ładowności, odpowiadającym pod względem masy i rozmieszczenia nośności danego pojazdu;
- droga na odcinku wybranym do wykonywania pomiaru powinna być pozioma, o nawierzchni twardej (bitumicznej, betonowej), równej, suchej i czystej;
- podczas pomiaru pojazd powinien prowadzić kierowca badanego pojazdu, upoważniony do dokonywania badań technicznych;
- kierujący pojazdem powinien hamować tylko badanym hamulcem, przy czym sprzęgło może być włączone;
- pomiaru należy dokonywać przy prędkości początkowej ok. 30 km/h według wskazań prędkościomierza, a w odniesieniu do pojazdów nieosiągających tej prędkości - przy prędkości maksymalnej.

Spełnienie tych wszystkich warunków jest trudne i tylko nieliczne ośrodki przeprowadzają takie badania. Do spełnienia szczególnie trudny jest warunek 1 oraz 5. W kraju nie ma torów badawczych przystosowanych do pomiarów tego typu. Wszystkie badania zestawów niskopodwoziowych w Instytucie przeprowadzał zespół badawczy na pasie lotniska o szerokości 60 m i długości 2500 m przy pochyleniu lotniska $\leq 2\%$, o nawierzchni zapewniającej dobrą przyczepność.

Zestawy niskopodwoziowe zostały przygotowane i obsłużone zgodnie z procedurami zawartymi w instrukcji obsługi pojazdu. Przed dokonaniem pomiarów każdy zestaw pokonał odcinek toru badawczego w celu osiągnięcia temperatur płynów zgodnych z warunkami eksploatacji. Ciśnienie w oponach zestawów niskopodwoziowych zostało dostosowane do obciążenia pojazdu.

Przedstawione zestawy niskopodwoziowe zostały poddane badaniom skuteczności hamowania typu 0 z silnikiem odłączonym z prędkością 60 km/h zarówno w stanie obciążonym, jak i bez obciążenia.

Wskaźnik skuteczności hamowania określono na podstawie zmierzonego opóźnienia hamowania według zależności:

$$z = \frac{d_m}{g} \cdot 100 \quad (1)$$

gdzie:

- z – wskaźnik skuteczności hamowania (%);
- d_m – zmierzone średnie w pełni rozwinięte opóźnienie hamowania (m/s^2);
- g – przyspieszenie ziemskie, wartość do obliczeń przyjęto $10 m/s^2$.

Droga hamowania została określona jako droga przebyta przez zestaw niskopodwoziowy od momentu, gdy kierowca zaczyna uruchamiać sterowanie układu hamulcowego, aż do chwili, gdy prędkość pojazdu wynosi 0 km/h.

Średnie w pełni rozwinięte opóźnienie d_m oblicza się jako opóźnienie średnie odniesione do drogi w przedziale od V_b do V_e , zgodnie z zależnością.

$$d_m = \frac{V_b^2 - V_e^2}{25.92(S_e - S_b)} \quad (2)$$

gdzie:

- V_0 – prędkość początkowa zestawu niskopodwoziowego [km/h];
- V_b – prędkość zestawu niskopodwoziowego odpowiadająca $0.8 V_0$ [km/h];
- V_e – prędkość zestawu niskopodwoziowego odpowiadająca $0.1 V_0$ [km/h];
- S_b – droga przebyta między V_0 i V_b [m];
- S_e – droga przebyta między V_0 i V_e [m].

Wynik badania jest pozytywny, jeżeli:

$$z \geq z_{\min} \quad (3)$$

z_{\min} – minimalny wymagany wskaźnik skuteczności hamowania;

z – obliczony wskaźnik skuteczności hamowania.

Zmierzone opóźnienie hamowania jest nie mniejsze od wymaganego, określonego na podstawie wskaźnika skuteczności hamowania oraz nie nastąpiła zmian położenia osi kierunku poruszania się pojazdu podczas hamowania o więcej niż 0,5 m względem kierunku początkowego (przy niekorygowanym kierownicą kierunku jazdy).

Podczas jazd pomiarowych rejestrowano następujące parametry:

- drogę hamowania S ;
- czas hamowania t ;
- opóźnienie hamowania d_m ;
- prędkość V ;
- kąt odchylenia ψ ;
- kąt przechyłu wzdłużnego θ .

Przeprowadzono próby:

- próba 1 – pomiar zestawu niskopodwoziowego NS 700W z ładunkiem czołg T-72 (hamulec roboczy);
- próba 2 – pomiar zestawu niskopodwoziowego NS 700W z ładunkiem czołg T-72 (hamulec awaryjny);

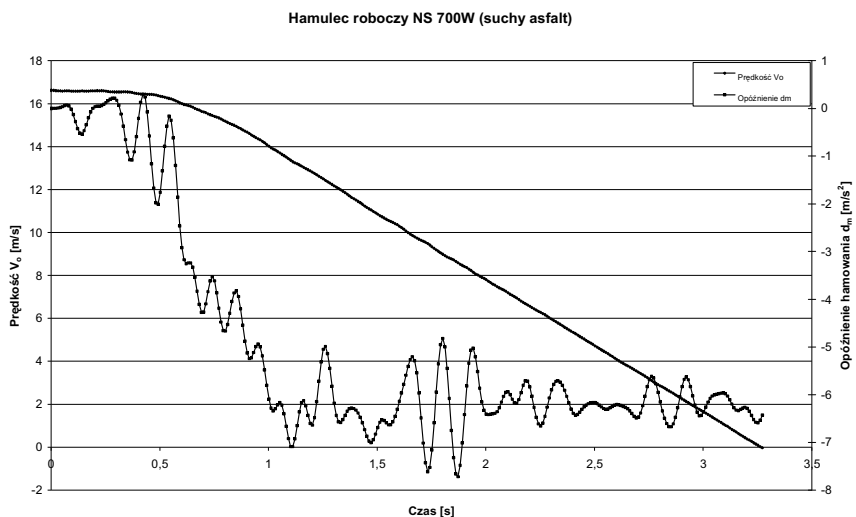
- próba 3 – pomiar zestawu niskopodwoziowego NS 500Z z ładunkiem KTO Rosomak (hamulec roboczy suchy asfalt);
- próba 4 – pomiar zestawu niskopodwoziowego NS 500Z z ładunkiem KTO Rosomak (hamulec roboczy śnieg);
- próba 5 – pomiar zestawu niskopodwoziowego NR 600W z ładunkiem czołg T-72 (hamulec roboczy);
- próba 6 – pomiar zestawu niskopodwoziowego NR 600W z ładunkiem czołg T-72 (hamulec awaryjny).

Na rysunku 5 przedstawiono zachowanie się naczepy NS700W podczas testów.



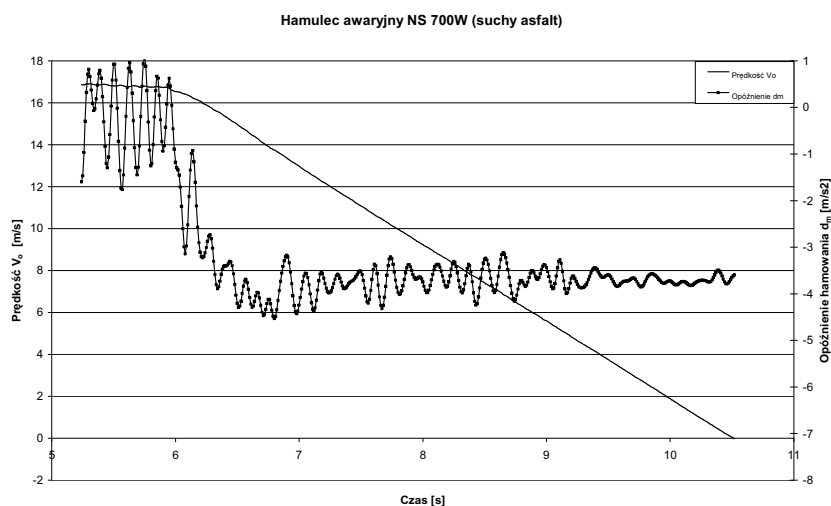
Rys. 5. Widok zestawu niskopodwoziowego NS700W podczas próby.
Fig. 5. View of vehicle with semi-trailer NS700W during the test.

Na rysunkach 6÷9 przedstawiano przebiegi czasowe prędkości oraz opóźnienia dla poszczególnych prób 1÷4. Natomiast w tabeli 2 dla prób 5÷6 wyznaczono wynik drogi hamowania, wartość średniego w pełni rozwiniętego opóźnienia oraz wskaźnik skuteczności hamowania.



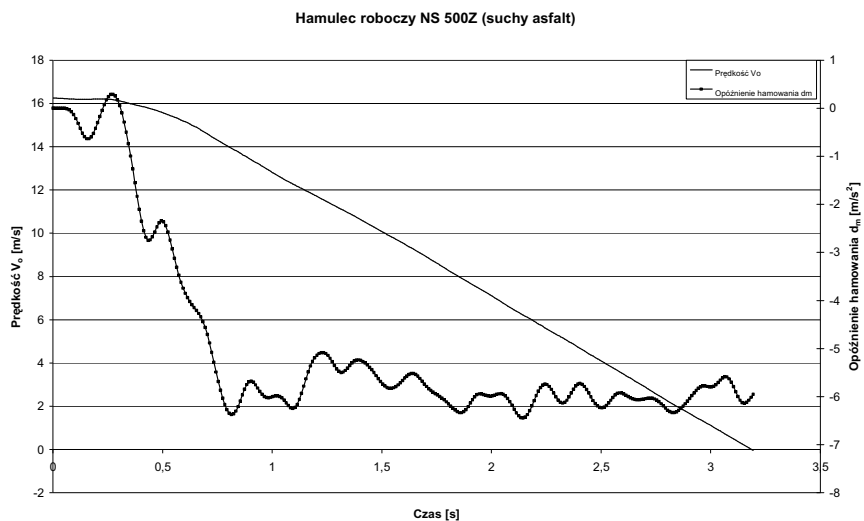
Rys. 6. Przebieg czasowy prędkości [m/s] oraz opóźnienia [m/s²] zestawu niskopodwoziowego NS 700W - próba 1.

Fig. 6. Test 1 vehicle with semi-trailer NS 700W.



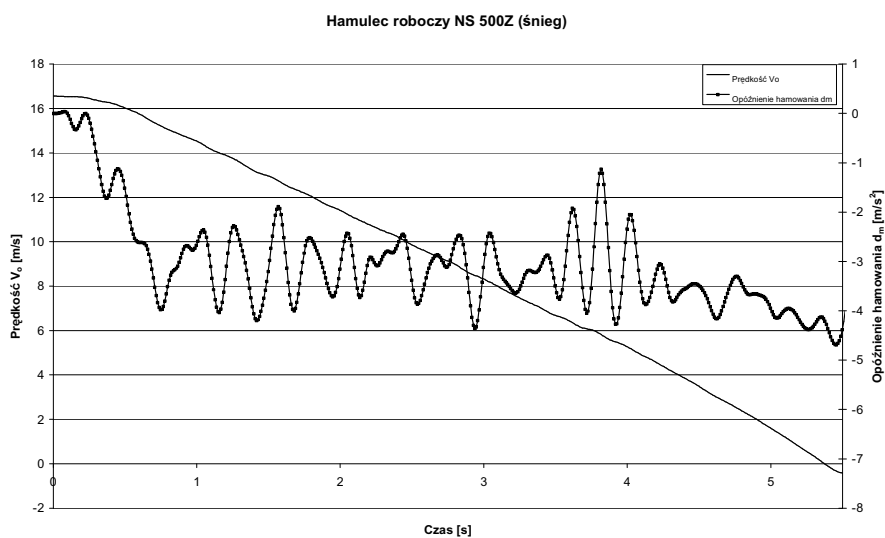
Rys. 7. Przebieg czasowy prędkości [m/s] oraz opóźnienia [m/s²] zestawu niskopodwoziowego NS 700W - próba 2.

Fig. 7. Test 2 vehicle with semi-trailer NS 700W.



Rys. 8. Przebieg czasowy prędkości [m/s] oraz opóźnienia [m/s²] zestawu niskopodwoziowego NS 500Z - próba 3.

Fig. 8. Test 3 vehicle with semi-trailer NS 500Z.



Rys. 9. Przebieg czasowy prędkości [m/s] oraz opóźnienia [m/s²] zestawu niskopodwoziowego NS 500Z - próba 4.

Fig. 9. Test 4 vehicle with semi-trailer NS 500Z.

Tabela 2. Zestawienie wyników pomiarów.
Table 2. List of measurement results.

Nr próby	Próba	Początkowa prędkość hamowania V_0 [km/h]	Wynik pomiaru drogi hamowania z niepewnością S [m]	Średnie w pełni rozwinięte opóźnienie d_{m^2} [m/s^2]	Wskaźnik skuteczności hamowania z [%]
1.	NS 700W + T-72 (hamulec roboczy)	60.00 ± 0.05	31.97 ± 0.02	6.21 ± 0.01	62
2.	NS 700W + T-72 (hamulec awaryjny)	60.88 ± 0.05	92.19 ± 0.02	3.74 ± 0.01	37
3.	NS 500Z + KTO - hamulec roboczy (suchy asfalt)	58.88 ± 0.05	29.62 ± 0.02	5.81 ± 0.01	58
4.	NS 500Z + KTO - hamulec roboczy (śnieg)	59.78 ± 0.05	49.32 ± 0.02	3.13 ± 0.01	31
5.	NR 600W + T-72 (hamulec roboczy)	60.40 ± 0.05	33.00 ± 0.02	6.04 ± 0.01	60
6.	NR 600W + T-72 (hamulec awaryjny)	60.55 ± 0.05	83.76 ± 0.02	3.20 ± 0.01	32

Analizując przedstawione wyniki naczepy NS700W możemy spostrzec, że wartość średniego w pełni rozwiniętego opóźnienia przy użyciu hamulca awaryjnego (rys. 7) jest o około 60% niższa w stosunku do użycia hamulca roboczego (rys. 6). Natomiast droga hamowania wydłuża się o około 290%.

W naczepie NR 600W wartość średniego w pełni rozwiniętego opóźnienia przy użyciu hamulca awaryjnego naczepy jest o około 53% niższa w stosunku do użycia hamulca roboczego, droga hamowania wydłuża się o około 250%.

Podobne informacje możemy uzyskać analizując wyniki hamowania zestawu NS500Z na nawierzchni asfaltowej oraz na śniegu. Dokonując pomiaru opóźnienia hamowania przy prędkości początkowej 60 km/h hamulcem roboczym na podłożu asfaltowym (rys. 8), śniegu (rys.9) długość drogi hamowania wydłuża się o około 170 % w stosunku do podłoża asfaltowego.

Uzyskane wartości drogi hamowania zestawu niskopodwoziowego o masie 70 000 kg powinny uzmysłowić innym użytkownikom dróg o trudności zatrzymania takiego pojazdu na jezdni ośnieżonej. Drugim ważnym aspektem, o którym każdy użytkownik powinien pamiętać, że w przypadku uszkodzenia układu hamulca roboczego kierujący pojazdem potrzebuje prawie 3-krotnie dłuższej drogi do zatrzymania zestawu.

Zawarte w artykule informacje oraz wyniki badań pewnej grupy pojazdów mają za zadanie przybliżyć innym zespołom trudności, które mogą napotkać na swej drodze.

Należy wyraźnie podkreślić, że wykonywanie prób drogowych (prób układów hamulcowych) na odcinkach drogowych powinno się odbywać po wyłączeniu tego odcinka z ruchu dla innych uczestników.

4. Podsumowanie

W rezultacie prowadzonych badań eksperymentalnych otrzymano wyniki pozwalające na ocenę układu hamulcowego zestawów niskopodwoziowych. Uzyskane dane pozwalają na oszacowanie drogi hamowania zestawów niskopodwoziowych w odniesieniu do warunków atmosferycznych panujących na drodze. Część z uzyskanego materiału badawczego może zostać wykorzystana w badaniach symulacyjnych np. do weryfikacji zgodności modelu symulacyjnego. Przeprowadzone badania pozwoliły również zauważyć niedogodności, które mogą napotkać zespoły badawcze w prowadzeniu podobnych badań zestawów niskopodwoziowych. Dlatego też przeprowadzając omawiane próby badawcze uzyskano cenne doświadczenie na płaszczyźnie organizacyjnej oraz inżynierskiej.

Literatura

- [1] Regulamin nr 13 EKG ONZ pt. „*Jednolite przepisy homologacji pojazdów w zakresie hamowania*”;
- [2] RT3002 „Inertial and GPS Measurement System”;
- [3] Opis techniczny i instrukcja użytkowania Naczepa NS700W;
- [4] Opis techniczny i instrukcja użytkowania Naczepa NR600W;
- [5] Opis techniczny i instrukcja użytkowania Naczepa NS500Z;
- [6] Rozporządzenie Ministrów Obrony Narodowej oraz Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 9 czerwca 2005 r w sprawie warunków technicznych pojazdów specjalnych i pojazdów używanych do celów specjalnych Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej (Dz. U.116 poz. 974 z dnia 29 czerwca 2005 r.);
- [7] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 26 lipca 2004 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia (Dz. U. 169 poz.1773 z dnia 30 lipca 2004 r.);
- [8] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia z dnia 16 grudnia 2003 r. w sprawie zakresu i sposobu przeprowadzania badań technicznych pojazdów oraz wzorów dokumentów stosowanych przy tych badaniach (Dz. U. 227 poz.2250).

Testing the efficiency of braking systems for semi-trailers, prepared for transport of heavy combat military technology

S u m m a r y

The article contains results of research experimental semi-trailers: NS500Z, NR600W and NS700W. Construction of those trailers are prepared for transporting abnormal loads. Tests were done according to Regulation No. 13 EKG ONZ. The aim of the tests was to determined the braking efficiency for both brake systems: main and emergency. The results can be used for modifications of the brake system construction, and as input data for modeling.