BADANIA EKSPERYMENTALNE BEZPIECZEŃSTWA ZAŁOGI TRANSPORTERA OPANCERZONEGO PODCZAS ZDERZENIA Z PRZESZKODĄ

ZDZISŁAW HRYCIÓW[1], WACŁAW BORKOWSKI[2], JÓZEF WYSOCKI[3], PIOTR RYBAK[4], ANDRZEJ WIŚNIEWSKI[5]

Wojskowa Akademia Techniczna

Streszczenie

W pracy przedstawiono problematykę związaną z obciążeniami dynamicznymi, jakim podlega konstrukcja transportera opancerzonego, jak również znajdującej się w nim załogi w trakcie realizacji misji. W celu oceny narażenia żołnierzy podczas pokonywania przeszkód i zapór inżynieryjnych wykonano badania eksperymentalne polegające na zderzeniu transportera z barierą złożoną z płyt betonowych. Badania wykonano dla dwóch prędkości zderzenia: 6 i 12 km/h. Do badań użyto dwa manekiny badawcze Hybrid III, które umożliwiły m.in. pomiar przyspieszeń głowy oraz sił i momentów działających w górnym odcinku kręgosłupa. W trakcie badań rejestrowano ponadto przemieszczenia transportera i bariery za pomocą szybkich kamer jak również wartości przyspieszeń kadłuba transportera. W artykule scharakteryzowano użytą aparaturę pomiarową. Przedstawiono wybrane wyniki badań eksperymentalnych. Zamieszczono fazy ruchu manekina w przedziale kierowania i przedziale desantowym dla charakterystycznych momentów. Zestawiono wartości opóźnień kadłuba transportera w przedziale kierowania i przedziale desantowym oraz opisano przemieszczenia barier. Otrzymane wyniki wskazują, że większym obciążeniom podlega kierowca pojazdu. Dla analizowanych zderzeń z małymi prędkościami nie zaobserwowano przekroczenia wartości dopuszczalnych obciążeń.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo bierne, obciążenia dynamiczne, testy zderzeniowe, transporter opancerzony, HYBRID III

1. Wstęp

Wykorzystanie Sił Zbrojnych ulega ciągłym przemianom. Oprócz prowadzenia klasycznych działań w czasie konfliktów wojennych, coraz częściej są one wykorzystywane do

[1] Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny, ul. Kaliskiego 2, 03-139 Warszawa, e-mail: zhryciow@wat.edu.pl, tel. 22 683 74 03

[2] Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny, ul. Kaliskiego 2, 03-139 Warszawa, e-mail: wborkowski@wat.edu.pl, tel. 22 683 95 31

[3] Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny, ul. Kaliskiego 2, 03-139 Warszawa, e-mail: jwysocki@wat.edu.pl, tel. 22 683 74 03

[4] Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny, ul. Kaliskiego 2, 03-139 Warszawa, e-mail: prybak@wat.edu.pl, tel. 22 683 97 52

[5] Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny, ul. Kaliskiego 2, 03-139 Warszawa, e-mail: wisniewskia@wat.edu.pl, tel. 22 683 73 46

realizacji zadań patrolowo-interwencyjnych i prewencyjnych w ramach wielonarodowych misji stabilizacyjnych i pokojowych. Warunki prowadzenia misji powodują, że coraz częściej wykorzystywanym pojazdem jest kołowy transporter opancerzony (KTO). Wymagania taktyczno-techniczne KTO zakładają, że pojazdy tego typu powinny zapewnić szybkie przemieszczanie się piechocie po drogach utwardzonych i terenowych, dawać skuteczną ochronę przed bronią małokalibrową, a także wspierać prowadzone działania uzbrojeniem pokładowym. Wraz ze zmianą koncepcji wykorzystania wojsk musi równolegle następować stała zmiana w eksploatowanym uzbrojeniu i sprzęcie wojskowym tak, aby spełniać mogły one stawiane przed nimi zadania. Do zadań tych należy zaliczyć taranowanie innych obiektów takich jak ogrodzenia, bramy wjazdowe, lekkie umocnienia inżynieryjne (zasieki, barykady) a także spychanie innych pojazdów z drogi w celu uzyskania przejezdności. W trakcie realizacji misji występują również przypadki najechania jednego pojazdu na drugi w kolumnie. Znaczne nachylenia dróg jak również zmniejszenie skuteczności układu hamulcowego spowodowanej, wysoką temperaturą a także znacznym wzrostem masy pojazdu (o około 25% w stosunku do transporterów eksploatowanych w kraju) skutkują wydłużeniem drogi hamowania. W trakcie prowadzonych wstępnych analiz stwierdzono [1, 3], że poważnym ograniczeniem możliwości taranowania nie jest sama konstrukcja pojazdu, ale zagrożenie załogi, wynikające z wysokiego poziomu obciążenia siłą bezwładności podczas uderzenia w przeszkodę. W odróżnieniu od samochodów osobowych, w których strefa kontrolowanego zgniotu pochłania znaczną część energii uderzenia, w pojazdach wojskowych, których konstrukcja oparta jest na sztywnej ramię bądź samonośnym nadwoziu, brak jest rozwiązań technicznych, łagodzących skutki udaru. Należy wziąć pod uwagę również fakt, że oprócz kierowcy i dowódcy pojazdu, w typowym transporterze znajduje się około ośmiu żołnierzy desantu. Ich siedzenia, ze względu na konieczność szybkiego opuszczania pojazdu przez tylne drzwi, są umieszczone wzdłuż ścian bocznych pojazdu poprzecznie do kierunku ruchu. Dodatkowo, jedynym elementem mocującym są tylko pasy biodrowe, które w sytuacji zderzenia czołowego nie są w stanie skutecznie chronić ludzi.

Celem pracy było określenie poziomu obciążeń dynamicznych działających na transporter opancerzony i jego załogę podczas czołowego zderzenia z podatną przeszkodą betonową przy małych prędkościach zderzenia.

2. Obiekt i metodyka badań

Ze względu na brak dostępu do transportera opancerzonego Rosomak, który podczas prób zderzeniowych mógłby ulec uszkodzeniu, do badań wykorzystano wycofywany z eksploatacji czteroosiowy transporter SKOT w wersji wozu dowodzenia. Badania przeprowadzono na terenie Wojskowego Instytutu Techniki Pancernej i Samochodowej w Sulejówku, przy wykorzystaniu jego pojazdów oraz manekinów badawczych.

Na rys. 1. przedstawiono widok transportera przygotowanego do próby zderzeniowej oraz widok przeszkody betonowej. Składała się ona z dwunastu elementów: siedmiu płyt i pięciu bloków betonowych. Powierzchnia czołowa bariery miała wymiar 1,5x3 m. Łączna masa przeszkody wynosiła 19 780 kg, natomiast masa pojazdu przygotowanego do prób 12 200 kg.

Rys. 1. Transporter SKOT i przeszkoda betonowa przed próbą

Podczas testów zderzeniowych, do rejestrowania wielkości obciążeń działających na żołnierzy wykorzystano antropomorficzne urządzenia pomiarowe typu Hybrid III 50th Male Dummy [5].50-cio centylowy męski manekin testowy Hybrid III jest najczęściej stosowanym manekinem w obszarze motoryzacji. Służy na potrzeby oceny bezpieczeństwa i ewaluacji konstrukcji. Umożliwia akwizycję wielkości fizycznych wiernie odzwierciedlających potencjalne oddziaływanie na organizm ludzki. Podstawowym przeznaczeniem tych urządzeń są czołowe testy zderzeniowe pojazdów. Manekin umieszczony w przedziale kierowcy został posadowiony na standardowym fotelu pojazdu SKOT bez zagłówka i przypięty pasami czteropunktowymi. Manekin w przedziale desantowym został posadowiony na fotelu będącym wyposażeniem standardowym dla transportera KTO Rosomak i przypięty pasem biodrowym (rys. 2).

Próby wykonywano rozpędzając transporter przy użyciu samochodu ciężarowego. Układ napędowy transportera został na czas badań rozłączony. Zakres badań obejmował

Rys. 2. Manekin badawczy w przydziale kierowanie (strona lewa) i w przedziale desantowym

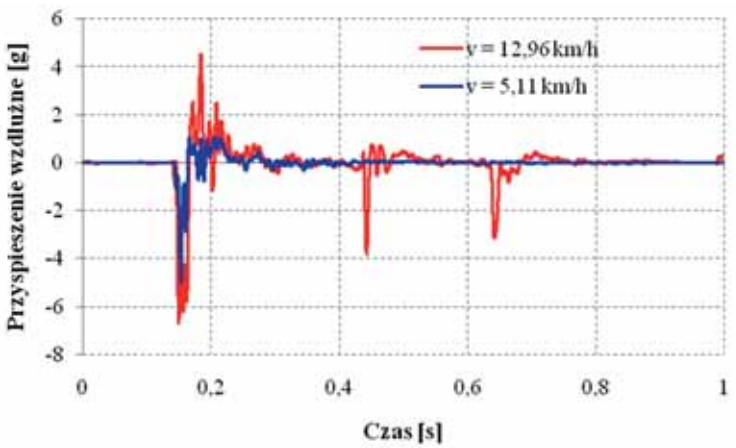
zderzenie transportera opancerzonego z betonową przeszkodą dla dwóch prędkości: 6 i 12 km/h. W trakcie badań prędkość określana była wstępnie na podstawie urządzenia GPS, natomiast, rzeczywista prędkość przed zderzeniem, każdorazowo była określana na podstawie analizy nagrań z szybkiej kamery. Dla każdej prędkości próby wykonano trzykrotnie.

Do rejestracji procesu zderzenia wykorzystano dwie szybkie kamery. Ustawione były one po dwóch stronach pojazdu na wysokości punktu zderzenia. Dodatkowo, w celu rejestracji przemieszczeń manekinów znajdujących się wewnątrz pojazdu, zastosowano dwie kamery HERO GoPro po jednej w przedziale kierowania i przedziale desantowym.

Oprócz aparatury pomiarowej związanej z manekinami Hybrid III, w transporterze zamontowano dwa niezależne tory pomiarowe służące do pomiaru przyspieszeń kadłuba w trakcie badań. Pierwszy z nich stanowił system ACCINO stanowiący zintegrowany system pomiarowy i rejestrujący z własnym systemem zasilania [4]. Zamontowany był on w środkowej części pojazdu, na podłodze transportera. Oprócz pomiarów przyspieszeń w trzech wzajemnie prostopadłych kierunkach, umożliwiał on również pomiar prędkości kątowej względem osi pionowej. Drugi system pomiarowy stanowił komputer pomiarowy ACA Digital X10D, karta pomiarowa DaqBook, moduł kondycjonera oraz dwa trójosiowe akcelerometry piezoelektryczne Brüel&Kjærtyp 4504 umieszczone na podłodze w przedziale kierowania oraz na ścianie bocznej w przedziale desantowym (oba w miejscach mocowania siedzisk do kadłuba pojazdu). Akwizycja sygnałów pomiarowych odbywała się z częstotliwością 10 kHz.

3. Wyniki badań

Zarejestrowane w trakcie badań eksperymentalnych przebiegi analizowanych wielkości zostały poddane filtrowaniu i skalowaniu. W odniesieniu do przyspieszeń kadłuba zastosowano filtr cyfrowy zgodny z CFC60, dla którego częstotliwość graniczna wynosi 100 Hz. Na rys. 3. przedstawiono przykładowe przebiegi przyspieszeń wzdłużnych dla dwóch



Rys. 3. Porównanie przebiegów przyspieszeń wzdłużnych dla próby 2 i 5

prędkości zderzenia: 5,11 i 12,96 km/h. W przypadku mniejszych prędkości w trakcie próby zachodziło jednokrotne uderzenie kadłuba w płyty, po czym następował ruch transportera do tyłu, aż do jego zatrzymania. Dla większych prędkości zderzeń, uderzane płyty zostały w pierwszym etapie odrzucone od kadłuba. W wyniku dalszego ruchu transportera następowały kolejne zderzenia. Efektem tego jest wydłużenie czasu trwania procesu zderzenia a w efekcie generowanych wartości opóźnień. Pomimo sześciokrotnego wzrostu energii kinetycznej (dla próby 5 w porównaniu do próby 2) zanotowano jedynie trzydziestoprocentowy wzrost maksymalnej wartości opóźnienia.

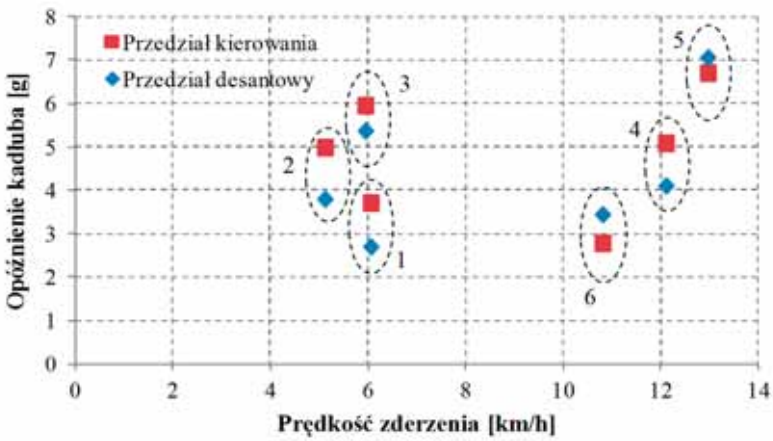
W tabeli 1 zestawiono, określone na podstawie analizy nagrań z szybkich kamer, rzeczywiste prędkości zderzenia oraz zarejestrowane maksymalne wartości opóźnień kadłuba w przedziale kierowania i desantowym dla poszczególnych prób. Otrzymane rezultaty zobrazowano ponadto na rys. 4. Większą jednorodność otrzymanych wyników można zaobserwować dla mniejszych prędkości zderzenia (próby 1-3), jednak nie uzyskano ścisłego powiązania pomiędzy prędkością i opóźnieniem. Było to głównie spowodowane brakiem powtarzalności w odniesieniu do punktu zderzenia i konstrukcji przeszkody (pomimo jej odtwarzania po każdej próbie). W trakcie prób, transporter w końcowej fazie ruchu, nie zawsze poruszał się prostopadle do powierzchni czołowej bariery. W większości przypadków, wartości maksymalnych opóźnień w przedziale desantowym były mniejsze niż w przedziale kierowania.

Tabela 1. Opóźnienia kadłuba transportera

Próba	Prędkość [km/h]	Opóźnienie kadłuba [g]	
		przedział kierowcy	przedział kierowcy przedział desantowy
1	6,05	3,704	2,692
2	5,11	4,980	3,790
3	5,94	5,946	5,363
4	12,10	5,081	4,099
5	12,96	6,700	7,055
6	10,8	2,776	3,434

Zdecydowanie większy rozrzut w otrzymanych wynikach zaobserwowano dla prób 4-6. Zwiększona prędkość niekorzystnie wpłynęła na możliwość nakierowania transportera na przeszkodę. W przypadku próby 4 transporter uderzył około 2/3 swojej powierzchni czołowej, natomiast dla próby 6 około 1/3. W efekcie zauważono odmienny ruch bariery. Oprócz jej przechylenia nastąpił również znaczny obrót względem osi pionowej. Spowodowało to wydłużenie drogi zatrzymania i tym samym znaczne zmniejszenie maksymalnych wartości opóźnień.

Na rys. 5. przedstawiono badany pojazd i barierę po zakończonej próbie. Pochylenie i przesunięcie poszczególnych bloków betonowych było odmienne dla poszczególnych prób.



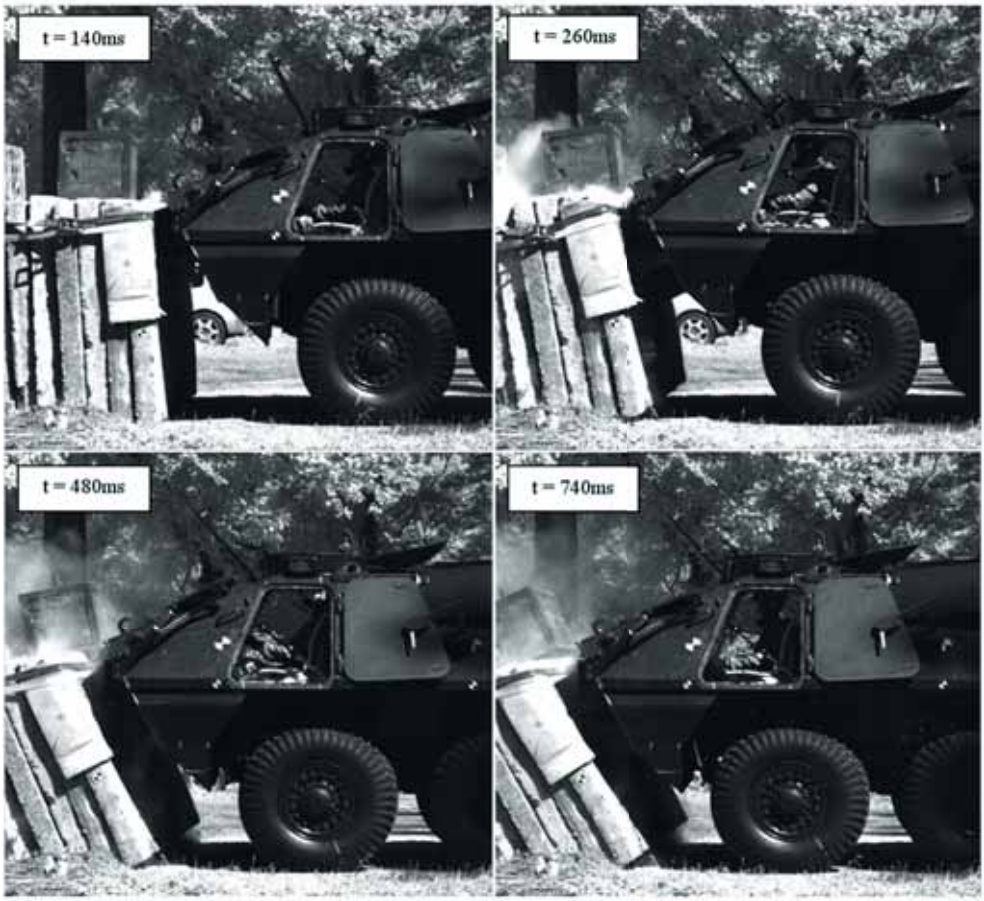
Rys. 4. Rozkład opóźnień kadłuba dla uzyskanych prędkości zderzenia

Rys. 5. Przeszkoda betonowa po zderzeniu z prędkością 12,10 km/h

Dla mniejszych prędkości zderzenia przemieszczenie kątowe płyt betonowych wynosiło około 3° przy równoczesnym ich przesunięciu o około 1,5 cm. Bloki betonowe znajdujące się bezpośrednio za płytami zostały przesunięte o około 10 cm. Dla porównania w próbie 5 płyty te obróciły się o kąt 27°, znajdujący się za nimi blok dolny przesunął się o 26 cm a blok górny o 53 cm. Dla próby nr 4 i 6, nastąpiło ponadto obrócenie pierwszych siedmiu płyt względem osi pionowej i z tego względu pomiar i porównanie uzyskanych przemieszczeń poszczególnych bloków był utrudniony.

Na rys. 6. zestawiono wybrane fazy zderzenia z przeszkodą betonową dla próby nr 5. Zderzenie nastąpiło w 140 ms czasu pomiaru (zgodnie z przebiegami na rys. 3 i 9).Widoczne jest na nim stopniowe przechylanie płyt i zatrzymanie ruchu transportera.

Na rys. 7. przedstawiono trzy fazy ruchu manekina znajdującego się w przedziale kierowania. Po 120 ms od zderzenia następuje maksymalne zgięcie karku manekina. Ze względu na zastosowanie czteropunktowego pasu bezpieczeństwa, ruch całego tułowia jest mocno ograniczony. Widoczny jest jedynie większy ruch głowy i ramion. Po 340 ms następuje,



Rys. 6. Fazy zderzenia transportera z przeszkodą (próba 5)

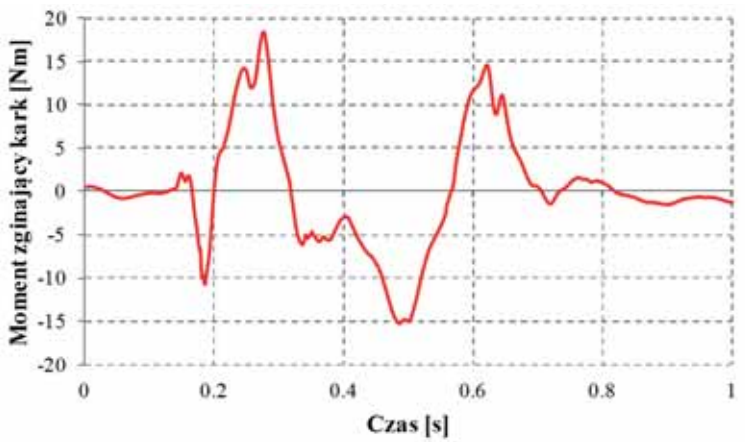
Rys. 7. Fazy ruchu manekina w przedziale kierowania podczas zderzenia (próba 5)

charakterystyczne podczas zderzeń czołowych, odchylenie tułowia do tyłu. Korpus zostaje wyhamowany na oparciu siedziska, natomiast głowa, przy braku takich elementów jak zagłówek, odchyla się do tyłu.

Odmienne zachowanie można zaobserwować dla manekina znajdującego się w przedziale desantowym (rys. 8). Jest on posadowiony na siedzisku usytuowanym poprzecznie do kierunku jazdy i zabezpieczony jedynie pasem biodrowym. Po około 220 ms od chwili zderzenia obserwuje się maksymalne przemieszczenie manekina. Ze względu na przytrzymywanie miednicy przez pas obserwuje się pochylenie tułowia i głowy w prawą stronę, przy jednoczesnym pochyleniu do przodu oraz niewielkim obrocie względem osi pionowej. Manekin po zderzeniu nie powraca całkowicie do pozycji wyjściowej – po około 460 ms zatrzymuje się.

Rys. 8. Fazy ruchu manekina w przedziale desantowym podczas zderzenia (próba 5)

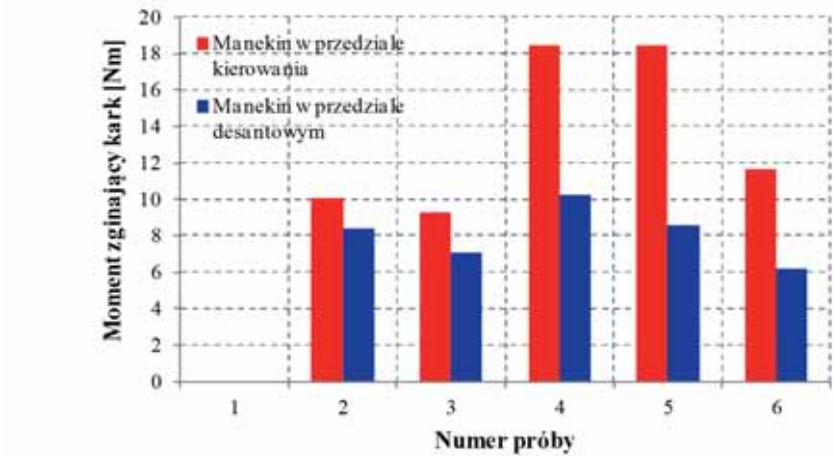
Na rys. 9. przedstawiono przykładowy przebieg momentu zginającego kark dla manekina znajdującego się w przedziale kierowania dla próby nr 5.



Rys. 9. Przebieg momentu zginającego kark – manekin w przedziale kierowania, próba 5

Na początku pojawia się krótko trwający moment odginający głowę ku tyłowi kiedy tułów manekina wypychany jest ku górze. Po tej fazie następuje zginanie głowy manekina do przodu i osiągana jest maksymalna wartość momentu. Stanowi ona podstawę dalszej oceny. Maksymalne wartości momentów dla poszczególnych prób zestawiono na rys. 10. Należy zaznaczyć, że dla manekina w przedziale desantowym, przedstawione wartości

dotyczą momentu zginającego głowę w bok (działającego względem osi podłużnej manekina). Maksymalne wartości osiągnięte zostały dla próby 4 i 5 i wyniosły około 18 Nm. Dla próby nr 1 nie udało się poprawnie zarejestrować wyników.



Rys. 10. Maksymalne momenty zginające kark

W tabeli 2 zestawiono maksymalne wartości momentów i sił w karku oraz opóźnień głowy dla rozpatrywanych manekinów a także wartości graniczne dla czołowych testów zderzeniowych [2]. Dla manekina w przedziale desantowym podano wartość opóźnienia poprzecznego głowy. Ze względu na odmienne usytuowanie manekinów względem pojazdu, nie można wprost dokonać porównania poszczególnych mierzonych wielkości.

Porównując uzyskane rezultaty można stwierdzić, że większym obciążeniom poddany jest manekin w przedziale kierowania. Ze względu na zamocowanie przy użyciu pasa czteropunktowego ograniczono możliwość jego przemieszczania, co w efekcie zwiększyło obciążenia występujące w głowie i karku.

Tabela 2. Zestawienie wyników dla manekinów badawczych

Próba	Przedział kierowania			Przedział desantowy		
	M_Y [Nm]	F_z [N]	a_x [g]	M_X [Nm]	F_z [N]	a_y [g]
2	10.07	160.80	2.69	8.42	35.30	2.69
3	9.26	148.05	2.47	7.05	34.89	2.44
4	18.45	280.90	5.97	10.26	168.67	3.08
5	18.49	368.95	5.95	8.61	159.81	3.21
6	11.70	202.41	3.31	6.21	78.24	2.37
Wartość graniczna	57	1100	88	-----	1100	-----

M_Y–moment zginający w karku (pochylanie głowy do przodu), F_z – siła rozciągająca kark, M_Y – moment zginający w karku (pochylanie głowy w bok), a_x – opóźnienie głowy w kierunku wzdłużnym, a_y – opóźnienie głowy w kierunku poprzecznym (układ związany z manekinem)

W żadnym z analizowanych przypadków nie przekroczono wartości granicznych. Największe, zarejestrowane podczas badań, wartości momentu zginającego kark i siły rozciągającej dla próby czwartej i piątej są o koło trzykrotnie mniejsze od wartości granicznych. Chwilowe wartości przyspieszeń głowy są ponad dziesięciokrotnie mniejsze od wartości dopuszczalnych dla 3 ms czasu ich trwania.

4. Podsumowanie

Przedstawione w pracy wyniki stanowią część prowadzonych badań eksperymentalnych mających na celu określenie poziomu narażenia załogi transportera opancerzonego w czasie kolizji z różnymi obiektami. Badania zderzeniowe z betonową przeszkodą prowadzono z niewielkimi prędkościami, które nie powodowały zniszczenia pojazdu.

Na podstawie uzyskanych rezultatów można stwierdzić, że większym obciążeniom podlega przednia część pojazdu – w niej zarejestrowane wartości opóźnień w większości prób były większe. Pewne rozbieżności były w głównej mierze spowodowane trudnością w utrzymaniu prostoliniowego toru ruchu transportera i w efekcie zmianą kąta zderzenia.

Większe wartości opóźnień, sił i momentów w karku zaobserwowano dla manekina umieszczonego w przedziale kierowania. Było to głównie spowodowane odmiennym sposobem jego mocowania. Większe przemieszczenia manekina w przedziale desantowym ograniczyły wartości sił i przyspieszeń. Należy jednak podkreślić, że podczas badań zastosowano jedynie pojedyncze siedzisko. W rzeczywistych warunkach, w przedziale desantowym znajduje się obok siebie kilku żołnierzy. W takiej sytuacji, podczas zderzenia możliwe jest uderzenie głowy i tułowia w elementy sąsiedniego siedzenia, wyposażenia lub w znajdującego się obok żołnierza.

Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2010-2013 jako projekt badawczy.

Literatura

[1] BORKOWSKI, W., HRYCIÓW, Z., *Preliminary investigation of dynamic loads of the crew of the armored personnel carrier during frontal crash,* Journal of KONES Powertrain and Transport Vol. 15, No. 4, pp. 57-62, Warsaw 2008.

[2] European New Car Assessment Programme (Euro NCAP). *Assessment protocol – adult occupant protection.* Version 5.2, June 2010.

[3] ORŁOWSKI, L., PĘDZISZ, M., RZYMKOWSKI, C., *Wyniki wstępnych badań eksperymentalnych oraz komputerowej symulacji zagrożenia osób w trakcie uderzenia w przeszkodę wojskowego samochodu terenowego,* Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 14, No. 3, pp. 495-502, Warsaw 2007.

[4] PAWŁOWSKI P., CETNAROWICZ D. ACCINO. *Instrukcja użytkownika.* Wersja 3.3., Politechnika Poznańska, Katedra Sterowania i Inżynierii Systemów Pracownia Układów Elektronicznych i Przetwarzania Sygnałów, 2011.

[5] *Sign Convention for Load Cells* (S.A.E. J-211) 2002 Robert A. Denton Inc.