

Edyta **KRZYSTAŁA**
Arkadiusz **MEŻYK**
Sławomir **KCIUK**

ANALIZA ODDZIAŁYWANIA WYBUCHU NA KOŁOWE POJAZDY SPECJALNE I ICH ZAŁOGI

Streszczenie. W artykule przedstawiono analizę oddziaływania fali uderzeniowej wybuchu na konstrukcje kołowych pojazdów wojskowych. Przedstawiono wymagania stawiane współczesnym pojazdom opancerzonym, dokonano analizy uszkodzeń pojazdów na skutek wybuchu min lądowych oraz improwizowanych urządzeń wybuchowych (IED), ponadto scharakteryzowano mechanizmy powodujące te uszkodzenia a w szczególności urazy załogi. Przedstawiono również metodykę badań oraz przykładowe wyniki poligonowych badań doświadczalnych, a następnie sformułowano wnioski do przeprowadzenia dalszych badań eksperymentalno-numerycznych.

Słowa kluczowe: fala uderzeniowa, kołowe transportery opancerzone, improwizowane urządzenia wybuchowe, poligonowe badania eksperymentalne, ochrona załogi pojazdów wojskowych.

1. WSTĘP

Obecne konflikty zbrojne w Iraku i Afganistanie najczęściej kojarzone są z odpalanymi zdalnie ładunkami wybuchowymi, w wyniku których śmierć poniosło lub zostało rannych wielu żołnierzy wojsk koalicji. Wśród stosowanych urządzeń wybuchowych bardzo skuteczne są samochody pułapki (VBIED, Vehicle Born Improvised Devices), domy pułapki (HBIED, House Born Improvised Explosive Devices) oraz EFP, czyli ładunki z głowicami formowanymi wybuchowo (tzw. Explosively Formed Penetrator). Natomiast najpowszechniej używanymi środkami wybuchowymi są improwizowane urządzenia wybuchowe tzw. IED (Improvised Explosive Devices), konstruowane w oparciu o materiały wybuchowe, miny, pociski artyleryjskie. Urządzenia te umieszczane są najczęściej przy szlakach komunikacyjnych. Obecne konflikty zbrojne to wielki wyścig zbrojeń, w którym partyzanci stosują coraz silniejsze ładunki wybuchowe. Około 40% przyczyn śmierci żołnierzy walczących w Iraku i Afganistanie w latach od 2001 do 2010 stanowiły miny lądowe oraz IED [[8], [13]]. Zatem jednym z ważniejszych współczesnych problemów badawczych jest zwiększenie odporności pojazdów wojskowych na działanie fali uderzeniowej wywołanej wybuchem. Zasadniczy problem pojawia się przy tworzeniu skutecznej ochrony załogi pojazdu opancerzonego i wyposażenia wewnętrznego przed prowizorycznymi urządzeniami wybuchowymi [9, 11]. Nowoczesne pojazdy opancerzone projektowane są pod kątem rozproszenia energii wybuchu. Umożliwia to między innymi odpowiednio ukształtowane dno kadłuba pojazdu [[1]].

2. WPLYW ODDZIAŁYWNIA WYBUCHU NA KOŁOWE POJAZDY SPECJALNE

Pojazdy wojskowe, wykorzystywane w strefie działań zbrojnych poddane mogą być silnemu oddziaływaniu fali uderzeniowej powstałej w wyniku wybuchu min lądowych oraz improwizowanych ładunków wybuchowych pod kołami, kadłubem lub z boku pojazdu [[22]]. Tego typu zagrożenia wymusiły opracowanie odpowiednich wymagań w zakresie ochrony balistycznej, lekkich samochodów opancerzonych, wprowadzanych na wyposażenie sił zbrojnych. W odpowiedzi na zapotrzebowanie wojska na pojazdy odporne na eksplozje ładunków wybuchowych, na początku 2007 r. w Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej opracowano program Mine Resistant Ambush Protected (MRAP). W jego efekcie na wyposażenie armii amerykańskiej oraz innych państw dostarczono szeroką gamę pojazdów tego typu [[11], [4]]. Wprowadzenie pojazdów minoodpornych na wyposażenie walczących w Afganistanie i Iraku wojsk spowodowało obniżenie strat wśród żołnierzy, biorących udział w działaniach zbrojnych.

2.1. Ataki na pojazdy typu MRAP

Na wyposażeniu Polskiego Kontyngentu Wojskowego w Afganistanie od 17 listopada 2008 roku najliczniej reprezentowanymi pojazdami typu MRAP są RG – 31 Cougar [[5]]. Od momentu ich wprowadzenia, Cougary przejęły większość zadań wykonywanych uprzednio przez HMMWV (rys. 1). W okresie od listopada 2008 do kwietnia 2009 r. były trzykrotnie atakowane przez improwizowane urządzenia wybuchowe.



Rys. 1. HMMWV po wybuchu miny o masie 6 kg [[5]]

Najgroźniejszy był wybuch ładunku o orientacyjnej masie 5 – 8 kg, pod przednią osią pojazdu. W wyniku eksplozji zostały urwane błotniki wraz z filtrem powietrza oraz uszkodzony układ pneumatyczny i ABS. Pojazd, pomimo stosunkowo niewielkich uszkodzeń, nie nadawał się do samodzielnej jazdy, ale możliwe było jego holowanie. Drugim zdarzeniem był wybuch IED, złożonego prawdopodobnie z kilku pocisków moździerzowych oraz miny przeciwpiechotnej – w sumie około 2kg materiału wybuchowego. W efekcie wybuchu doszło do przebicia opony przedniego prawego koła. Podczas kolejnego incydentu wybuch ładunku o masie kilku kilogramów pod pojazdem nie spowodował żadnych uszkodzeń [[11]]. We wszystkich trzech przypadkach, nie zginął żaden żołnierz, co wydaje się być

najważniejszą zaletą konstrukcji RG-31, która jest w stanie zapewnić przeżycie załogi podczas wybuchu znacznie cięższych ładunków. Na rys. 2 przedstawiono Cougara 6x6 należący do Kontyngentu Amerykańskich Sił Zbrojnych. Pod pojazdem tym zdetonowano improwizowane urządzenie wybuchowe o masie około 100 kg ładunku. Pomimo doznanych zniszczeń i uszkodzeń załoga tego pojazdu przeżyła [[6]].



Rys. 2. Cougar 6x6 zniszczony atakiem IED o masie ładunku ok. 100 kg [[6]]

2.2. Ataki na pojazdy klasy KTO Rosomak

Kolejne zmiany Polskiego Kontyngentu Wojskowego w Afganistanie prowadzą działania, które ukierunkowane są na zapewnienie bezpieczeństwa w prowincji Ghazni, pomoc humanitarną, pomoc w zakresie odbudowy prowincji, szkolenie afgańskiej armii i policji, a także działania mające na celu usprawnienie funkcjonowania administracji w poszczególnych dystryktach. Działania te przede wszystkim nastawione są na przeciwdziałanie atakom prowadzonym z wykorzystaniem improwizowanych ładunków wybuchowych (IED), które stanowią największe zagrożenia dla ludności cywilnej, Afgańskich Sił Bezpieczeństwa oraz żołnierzy koalicji [[18]]. W wyniku ataku improwizowanych urządzeń wybuchowych na pojazdy klasy KTO Rosomak najczęściej uszkodzonymi elementami były: urwane koła jezdne, wahacze poprzeczne i kolumny amortyzatorów, elementy układu kierowniczego, uszkodzenia opon związane z ostrzelaniem transportera [[15]].

Przykładowo jeden z incydentów dotyczył wybuchu ładunku w odległości około 2 do 3 metrów przed pojazdem. Eksplozja spowodowała wyrzut jadącego z prędkością około 50 km/godz. pojazdu, a poprzez otwarte włązy wpadały kamienie i piach. W momencie wyrzutu pojazdu, aż do jego opadnięcia załoga doznała urazów na skutek uderzenia różnymi częściami ciała, w tym głową o elementy wnętrza przedziału załogowego [[7]].

Przykłady uszkodzeń KTO na misji przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Przykłady ataków na polskie pojazdy klasy KTO Rosomak [[10]]

W trakcie trwania misji odnotowano również atak na polskiego Rosomaka podczas przeprawy przez góry. Jadący jako trzeci w kolumnie pojazdów HMMWV, został uderzony tzw. EFP, nowym w afgańskiej wojnie rodzajem ładunku.

2.3. Inne przypadki ataku na kołowe pojazdy opancerzone

Kolejnym przykładem jest lekko opancerzony pojazd Iltis. W przypadku tego pojazdu doszło do wybuchu około 6,5 kg ładunku TNT pod prawym tylnym kołem. W wyniku wybuchu cały tył został zniszczony i zdeformowany (rys. 4). Pojazd wyrzucony został w górę na około 7 metrów. Silny wstrząs spowodował śmierć dwóch żołnierzy kanadyjskich (jeden siedział nad kołem a drugi przed nim), natomiast kierowca pojazdu przeżył i doznał mniejszych urazów. Żołnierze, którzy zginęli podczas tego incydentu znajdowali się najbliżej miejsca detonacji miny, zatem narażeni byli na największe przyspieszenie i najsilniejsze oddziaływanie fali uderzeniowej[[2]].

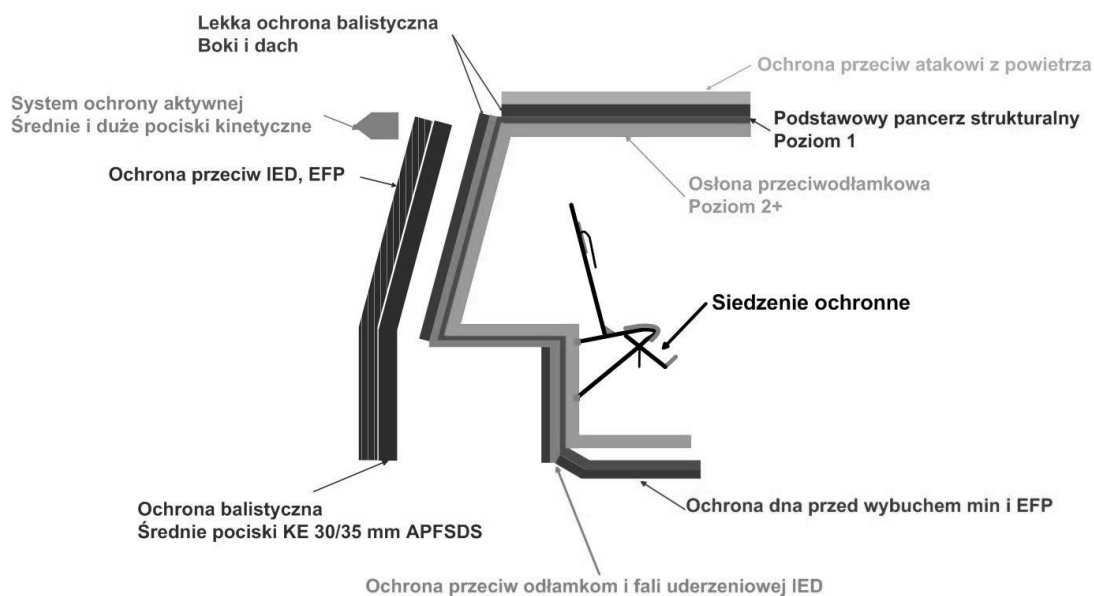


Rys. 4. Iltis po wybuchu 6,5kg ładunku TNT

a) ogólny stan pojazdu, b) prawy tył pojazdu [[2]]

3. WYMAGANIA STAWIANE NOWOCZESNYM POJAZDOM WOJSKOWYM

Zagrożenia związane z oddziaływaniem wybuchu na pojazdy wymusiły stworzenie odpowiednich wymagań ochrony balistycznej pojazdów będących na wyposażeniu sił zbrojnych. Dokumentem określającym te wymagania jest umowa standaryzacyjna STANAG 4569. Podstawowym celem nowoczesnych rozwiązań konstrukcyjnych pojazdów wojskowych jest zapewnienie odpowiedniej ochrony przeciw różnego rodzaju zagrożeniom i środkom minowym. Właściwy poziom ochrony załogi uzyskuje się przez stosowanie modułowych osłon i pancerzy dodatkowych, dobieranych i montowanych na pojeździe w zależności od rodzaju zagrożenia [[13]]. Schemat przedstawiający złożoność pasywnych systemów ochrony pojazdu przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Przekrój poprzeczny kadłuba pojazdu specjalnego wyposażonego w złożony system dodatkowych osłon pancerza [[13], [12]]

Istotą rozwoju metod i środków ochrony przeciwminowej jest identyfikacja wpływu oddziaływania fali uderzeniowej na strukturę pojazdu oraz jego załogę. Informacje na temat przeciążeń pochodzących od oddziaływania wybuchu min lądowych na człowieka są trudno dostępne lub niewystarczająco szczegółowe, dlatego projektowanie nowych rozwiązań ochrony przeciwminowej poparte powinno być badaniami eksperymentalnymi oraz symulacjami numerycznymi [[16], [20], [21]].

Nowoczesne pojazdy wojskowe powinny posiadać następujące cechy [[13], [17]]:

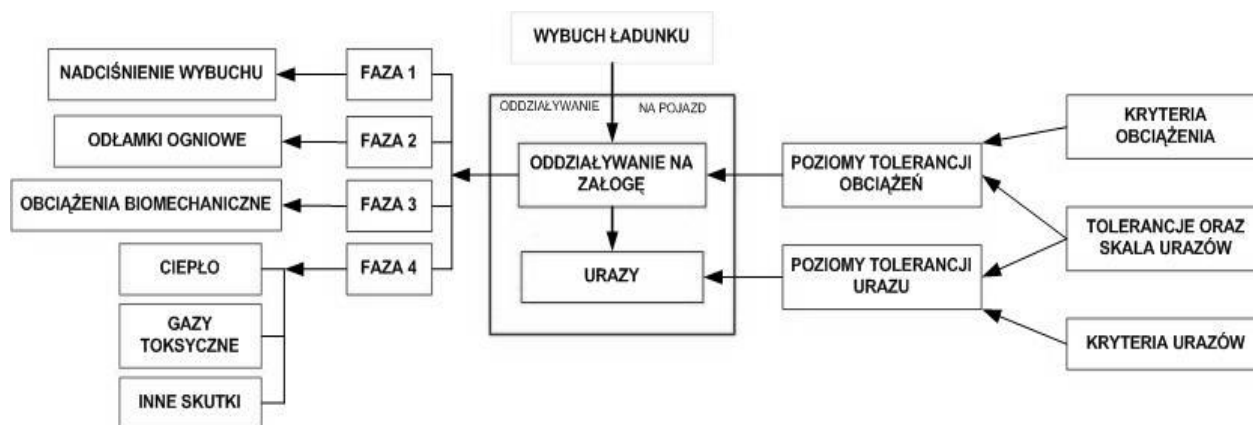
- modułową budowę i integrację podzespołów z innymi pojazdami,
- wysoką mobilność,
- możliwości transportu lotniczego (gabaryty i masa),
- wysoki poziom osłoności przez:
 - szybko montowany pancerz dodatkowy,
 - zabezpieczenie przeciwminowe dna pojazdu,
 - możliwość montażu dodatkowego wyposażenia (przystosowanie do walk w mieście i terenie górzystym, systemy aktywnej samoobrony),
- wysoki poziom przeżywalności i komfortu załogi.

Ważnym czynnikiem pozwalającym na redukcję masy pojazdu wojskowego jest postęp w dziedzinie konstrukcji jednostek napędowych oraz automatyzacja systemów zasilania armat w amunicję.

4. ANALIZA WPLYWU WYBUCHU NA ZAŁOGĘ POJADÓW KOŁOWYCH

Konstrukcja pojazdu znajdującego się w strefie wybuchu miny przeciwpancernej lub IED narażona jest na silne oddziaływanie fali uderzeniowej [[9]]. W momencie wybuchu miny tworząca się fala uderzeniowa rozchodzi się we wszystkich kierunkach z prędkością większą niż prędkość dźwięku. Fala ta, otaczając kadłub pojazdu, oddziałuje na jego elementy, powodując przeciążenia wewnątrz kabiny. Po detonacji urządzeń wybuchowych połączone fale uderzeniowe wybuchu oraz odłamki powodują impulsowe obciążenia dna pojazdu. Zjawisko to w kilka milisekund wywołuje wysokie przyspieszenie powodując urazy a nawet śmierć załogi [[9], [14], [21], [19]].

Złożony mechanizm oddziaływania fali uderzeniowej wybuchu można przedstawić według schematu pokazanego na rys. 6



Rys. 6. Mechanizm oddziaływania fali uderzeniowej wybuchu na pojazdy specjalne i ich załogę [opracowano na podstawie [19], [3], [21]]

Na podstawie zebranych danych literaturowych scharakteryzowano następujące mechanizmy urazu oraz uszkodzenia pojazdów spowodowane wybuchem [[19], [3], [20], [21], [9]]:

- nadciśnienie wybuchu - mechanizm ten powoduje urazy narządu słuchu; może wystąpić stała lub tymczasowa, częściowa lub całkowita utrata słuchu, która obniża jakość życia żołnierzy; w przypadku gdy nadciśnienie wybuchu osiąga ok. **100 kPa** załogze grożą również urazy płuc i jelit;

- impuls przyspieszenia - przyspieszenie pochodzące od dna pojazdu przekazywane jest przez siedzisko załogi do kręgosłupa poprzez ich wzajemne oddziaływanie; pionowe przyspieszenia przekazywane są do lędźwiowego i szyjnego odcinka kręgosłupa i mogą powodować urazy wywołane ściskaniem, np. takie jak złamania kręgow; poziom urazu i obciążenia załogi zależy w przeważającym stopniu od zastosowanego siedziska; ponadto na urazy mogą być dodatkowo narażone organy wewnętrzne, takie jak pęcherz oraz śledziona; wysokie przyspieszenia mogą powodować również urazy mózgu, takie jak wstrząs lub stłuczenie oraz utratę przytomności;

- deformacje konstrukcji pojazdu – na skutek detonacji materiału wybuchowego pod pojazdem lub w jego pobliżu, podłoga pojazdu jest dynamicznie odkształcana; oddziaływanie dynamiczne może powodować złamania piszczeli, kości strzałkowej, kostki oraz stopy, kolan i biodra;

- pierwotne i wtórne odłamki ogniowe - odłamki ogniowe uszkodzają koła, hamulce, układ napędowy, czy zawieszenie; jeżeli ciśnienie wybuchu jest odpowiednio wysokie, może powstać otwór pozwalający na przedostanie się odłamków do wnętrza przedziału załogowego, a te w kontakcie z elementami wnętrza pojazdu uderzają załogę powodując urazy;

- produkty detonacji i spalania - detonacja ładunku uwalnia masę gorącego ciśnienia, a to powoduje oparzenia cieplne i chemiczne oraz zamroczenia w zależności od czasu trwania.

Analizę złożonego mechanizmu uszkodzeń pojazdów oraz urazów załogi przedstawiono w tablicy 1.

Tablica 1. Wpływ oddziaływania wybuchu na pojazdy specjalne i ich załogę [[19],[3],[2],[21]
]

EFEKTY WYBUCHY ŁADUNKU	MECHANIZM URAZU	USZKODZENIA POJAZDÓW KOŁOWYCH	URAZY ZAŁOGI
FAZA 1	Nadciśnienie wybuchu	<ul style="list-style-type: none"> - zniszczenie kół i zawieszenia, - oddziaływanie na konstrukcję pojazdu powodujące odkształcenia, - zniszczenia dna kadłuba, - powstawanie odłamków pochodzących od uszkodzonego koła, zawieszenia, układu napędowego i konstrukcji pojazdu 	<ul style="list-style-type: none"> - urazy uszu i organów wewnętrznych , - oparzenia, zamroczenia, - urazy kończyn dolnych spowodowane miejscowymi deformacjami podłogi
FAZA 2	Odłamki powybuchowe	<ul style="list-style-type: none"> - przenikanie odłamków do wnętrza pojazdu, - przemieszczenia wyposażenia wewnętrznego 	<ul style="list-style-type: none"> - urazy spowodowane uderzeniem, wzajemnym oddziaływaniem pojazd - siedzisko – załoga, - ryzyko uderzenia wyposażenia wewnętrznego, - urazy kończyn dolnych
FAZA 3	<p>Efekt globalny –impuls przyspieszenia</p> <p>Efekt lokalny – deformacje dna</p>	<ul style="list-style-type: none"> - swobodny ruch pojazdu, - „wyrzut” pojazdu, - przyspieszenie siedziska - opadanie grawitacyjne pojazdu, tzw. <i>slam down effect</i>, - oddziaływanie podłoża 	<ul style="list-style-type: none"> - urazy kręgosłupa i organów wewnętrznych spowodowane działaniem pionowego przyspieszenia, - urazy głowy spowodowane przemieszczaniem i uderzaniem o twarde powierzchnie
FAZA 4	Urazy termiczne	- poparzenia załogi uwięzionej w pojeździe	

5. EKSPERYMENTALNE BADANIA POLIGONOWE

Dzięki współdziałaniu interdyscyplinarnego zespołu badawczego przeprowadzono poligonowe badania eksperymentalne, których celem było zweryfikowanie odporności kołowego pojazdu specjalnego na wybuchy. W trakcie badań wykonano szereg prób, przeprowadzono kontrolowany wybuch 10 kg TNT, w pierwszym przypadku pod kołem, a w drugim pod pojazdem. W trakcie badań eksperymentalnych dokonano identyfikacji wymuszeń impulsowych przenoszonych w trakcie wybuchu na załogę pojazdu (rys. 7, 8). Do tego celu zastosowano czujniki przyspieszeń przymocowane w charakterystycznych punktach na manekinie.

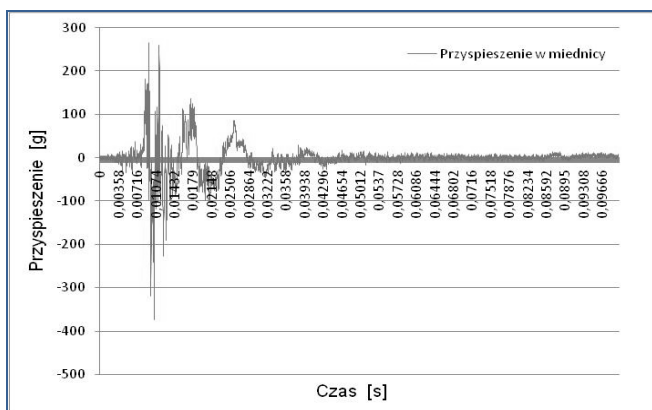


Rys. 7. Zastosowany manekin do badań eksperymentalnych



Rys. 8. Wybuch ładunku TNT pod pojazdem

W celu zarejestrowania sygnałów przyspieszeń zastosowano dedykowany, autonomiczny system pomiarowy. Rejestrator przyspieszeń opracowany w Katedrze Mechaniki Stosowanej Politechniki Śląskiej, jest obecnie przedmiotem zgłoszenia patentowego. Na rysunku 9a i 9b przedstawiono wyniki przeprowadzonych prób poligonowych.



a)



b)

Rys. 9. Wyniki przeprowadzonych prób poligonowych

a) zarejestrowane przebiegi przyspieszeń pionowych w miednicy, b) skutki eksplozji ładunku wybuchowego

wewnątrz przedziału załogowego

Uzyskane wyniki badań doświadczalnych w charakterystycznych antropometrycznych punktach ciała żołnierza posłużą do wyznaczenia współczynników - zgodnie z HFM – 090/TG-25 - określających poziom ochrony załogi. Przebiegi czasowe przyspieszeń zarejestrowane w miednicy posłużą do wyznaczenia współczynnika DRI. W dalszej kolejności wyniki te użyte będą jako dane wejściowe do badań modelowych oraz symulacji numerycznych. Dalsze badania eksperymentalne należy rozszerzyć o identyfikację wpływu fali uderzeniowej wybuchu na klatkę piersiową oraz organy wewnętrzne.

6. PODSUMOWANIE

Kołowe pojazdy opancerzone współczesnego pola walki znajdujące się w strefie wybuchu miny lub IED narażone są na silne oddziaływanie fali uderzeniowej. Do najczęstszych uszkodzeń pojazdów należy zaliczyć: uszkodzenia hamulców, układu napędowego, urwane koła jezdne, które uniemożliwiają dalsze poruszanie się pojazdu, uszkodzenia opon związane z ostrzałem transportera, zniszczenia dna kadłuba oraz przenikanie odłamków do wnętrza. Zatem konstrukcja kadłuba pojazdu wykonana z certyfikowanych, znormalizowanych materiałów nie jest obecnie wystarczająca, aby spełnić wszystkie wymagania osłony balistycznej. Istnieje potrzeba zapewnienia dodatkowej ochrony pasażerów, szczególnie przed wybuchem min i urządzeń wybuchowych. Efektywność zastosowanych środków ochrony żołnierza przed skutkami wybuchów należy zweryfikować za pomocą wyników badań doświadczalnych w warunkach poligonowych. Badania takie, z wykorzystaniem rzeczywistych pojazdów, stają się nieodłącznym etapem procesu projektowo - konstrukcyjnego współczesnych pojazdów wojskowych

Wyniki przeprowadzonych badań doświadczalnych wskazują, że zapewnienie wysokiego poziomu ochrony załogi jest możliwe dzięki zastosowaniu jednocześnie kilku elementów konstrukcyjnych, takich jak: deflektor, bezpieczny przedział załogi z dodatkowym podwójnym dnem, podkładki antywybuchowe dla deflektora oraz przedziału załogowego, specjalne siedziska, jak również pięciopunktowe pasy bezpieczeństwa dla członków załogi. Dalsze badania eksperymentalne należy rozszerzyć o identyfikację wpływu fali uderzeniowej wybuchu na klatkę piersiową oraz organy wewnętrzne poprzez pomiar ciśnienia wewnątrz przedziału załogowego.

7. LITERATURA:

- [1] Barnat W.: Wybrane problemy energochłonności nowych typów paneli ochronny obciążonych falą wybuchu, Warszawa 2010.
- [2] Durocher R.: Jowz Valley mine strike preliminary technical report Investigation of a Mine Strike Involving Canadian Troops in Afghanistan, Defence Research & Development Canada – Valcartier, 01.11.2003; <http://www.vcds-vcemd.forces.gc.ca/boi-cde/jvm-emv/doc/jvmsptr-rtpemvj-eng.pdf>
- [3] Elsayed N., Atkins J.: Eplosion and Blast – Related Injuries, Effect of Explosion and Blast from Military Oprations and Acts of Terrorism, AP (Academic Press nadruk Elsevier), 2008.
- [4] Garstka J.: Czy MRAP-y zastąpią LOSP-y, [w:] „Bellona”, 1/2009, s. 162.

- [5] Hołdanowicz G.: Czas kupić pojazdy na misje, Raport 9/2007, Warszawa 2007 str. 40 – 45.
- [6] http://iraqlogger.powweb.com/index.php/post/4265/IED_Destroyes_MRAP_But_Soldiers_Survive?PHPSESSID=b155c5eb6418ac653ca2ce675e6fb7f8, 2011.
- [7] http://www.isaf.wp.mil.pl/pl/5_881.html, 2011.
- [8] Jakubowski R.: Ofiary wojny – okupacja Iraku 2003 - 2009, Raport Wojsko Technika Obronność, Warszawa 2009, nr 8, s. 4 - 17.
- [9] Kania E.: „Projektowanie środków ochrony przeciwminowej pojazdów specjalnych”, Górnictwo Odkrywkowe 4/2010, str. 272 – 276, Wrocław 2010 Poltegor – Instytut.
- [10] Kotowski M.: Materiały konferencyjne, International Armoured Vehicles Europe Kraków wrzesień 2010.
- [11] Kupidura P.: Charakterystyka pojazdów MRAP Cougar oraz wnioski z ich eksploatacji w WP, [w:] „Problemy Techniki Uzbrojenia” 2/2009 s. 21.
- [12] Materiały informacyjne firmy IBD Ingenieurbüro, www.ibd-deisenroth.de, 2011
- [13] Mężyk A.: Nowoczesne technologie w projektowaniu pojazdów specjalnych, 66 Inauguracja Roku Akademickiego w Politechnice Śląskiej, Gliwice 2010.
- [14] Mikulic D., Stojakovic V., Gasparic T.: Modelling of all protected vehicles. 4th DAAAM International Conference on Advanced Technologies for Developing Countries, September 21 – 24, 2005, Slavonski Brod, Croatia.
- [15] Motrycz G., Stryjek P.: Wpływ stanów awaryjnych na wysiłek kierowania kierowcy KTO Rosomak, Zeszyty Naukowe WSOWL Nr 1 (159) Wrocław 2011.
- [16] Multarzyński M. J.: Nie tylko pancierz chroni. Wyposażenie pojazdów opancerzonych i minoodpornych na Eurosatory 2008, Nowa Technika Wojskowa, sierpień 2008r.
- [17] Nowoczesne technologie systemów uzbrojenia. Red. Z. Mierczyka. Wydawnictwo WAT, Warszawa 2008.
- [18] Pinkowski A.: Rosomak uratował życie żołnierzy, Polska Zbrojna, grudzień 2010, http://www.polskazbrojna.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=10815:rosomak-uratowa-ycie-olnierzy&catid=55:z-kraju&Itemid=105
- [19] Ramasay A., Hill A., Hepper A., Bull A., Clasper J.: Blast Mines: Physics Injury Mechanisms and Vehicle Protection, J R Army Med Corps, 12.2009;155(4):258-64.
- [20] Reinecke JD, Snyman IM, Ahmed R, Beetge FJ.: Vehicle landmine protection validation testing. Science Real and Relevant: 2nd CSIR Biennial Conference, Pretoria, South Africa, 17-18 November 2008.
- [21] RTO Technical Report TR – HJN - 090 TECHNICAL REPORT TR-HFM-090 Test Methodology for Protection of Vehicle Occupants against Anti-Vehicular Landmine Effects. Marzec 2004.
- [22] Szudrowicz M.: Skuteczność opancerzenia pojazdów, Biuletyn WITU, 94/2005.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE BLAST ON WHEELED MILITARY VEHICLES AND THEIR CREW

Abstract: In the article an analysis of shock wave load on a structure of wheeled military vehicles and their crew was performed. Requirements for the modern armoured vehicles as well as an analysis of vehicles damages as a result from landmine blast and improvised explosive devices are characterized. Moreover methodology and example results of an experimental research identifying shock wave load onto vehicle and its crew are presented as well. This article presents example results of a military training ground research as well as conclusions for the future experimental – numerical researches.

Key words: shock wave, wheeled military vehicles, improvised explosives devices, military training ground research, protection of crew of military the military vehicles.

Recenzent: prof. dr hab. inż. mDr H.C. Eugeniusz ŚWITOŃSKI - Politechnika Śląska, Gliwice

*Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2010 – 2012
jako projekt badawczy Nr O N501 625139"*