PROTECTION OF MILITARY VEHICLES AGAINST MINE THREATS AND IMPROVISED EXPLOSIVE DEVICES

OCHRONA POJAZDÓW WOJSKOWYCH PRZED WYBUCHEM MIN I IMPROWIZOWANYCH URZĄDZEŃ WYBUCHOWYCH

Tadeusz Niezgoda, Grzegorz Sławiński, Roman Gieleta,
Marek Świerczewski

Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego
e-mail: grzegorz.slawinski@wat.edu.pl

Abstract: Military vehicles are exposed, among others, to mine and IED (Improvised Explosive Device) threats. Contemporary structural solutions cannot ensure their safety at maximum level. This paper presents a review of currently used structural solutions enhancing protection level against explosion. Furthermore, requirements for military vehicles safety against mine and IED threats are characterized. As well as that, sample results of energy absorbing panels examination results are shown. On this basis remarks to further development of protective structures are formulated.

Keywords: Military vehicles, Improvised Explosive Device, Passive Shield, Blast Shock Wave, Range Test

Streszczenie: Pojazdy wojskowe są narażone na działanie m.in. fali wybuchowej min oraz improwizowanych urządzeń wybuchowych IED (z ang. improvised explosive device). Dotychczasowe rozwiązania konstrukcyjne pancerzy pojazdów wojskowych nie zapewniają ich ochrony na maksymalnym poziomie. W publikacji przedstawiono rozwiązania konstrukcyjne, których celem jest zwiększenie odporności pojazdów wojskowych na eksplozję ładunków wybuchowych. Ponadto scharakteryzowano wymagania dotyczące odporności pojazdów wojskowych na wybuch min i urządzeń IED. Przedstawiono również przykładowe wyniki badań paneli energochłonnych oraz sformułowane na ich podstawie wnioski do dalszego rozwoju konstrukcji ochronnych.

Słowa kluczowe: Pojazd wojskowy, Improwizowany Ładunek Wybuchowy, Ochrona bierna, Fala uderzeniowa wybuchu, Badanie poligonowe

1. Wstęp

W międzynarodowych misjach stabilizacyjnych pojazdy logistyczne LV i pojazdy lekko opancerzone są narażone na działanie m. in. min AT i urządzeń IED. Współcześnie większość pojazdów wojskowych wyposażona jest w struktury ochronne zaprojektowane w celu ochrony załogi przed amunicją przeciwpancerną. W celu zwiększenia bezpieczeństwa załogi pojazdu przed falą uderzeniową wybuch min i IED podstawowe struktury ochronne wzbogaca się przez odpowiednie rozwiązanie konstrukcyjne takie jak: deflektor, zwiększony prześwit pojazdu, budowa modułowa. Wymienione rozwiązania nie zawsze można wykorzystać do już istniejącego pojazdu będącego na wyposażeniu wojska. Wynika to z konieczności zachowania wysokich mobilności i zdolności bojowej na polu walki lub z samej konstrukcji pojazdu. Z powyższych względów celowe jest wykorzystanie paneli energochłonnych, które poprzez wykorzystanie różnych mechanizmów skutecznie redukują impuls obciążenia przekazywany przez falę uderzeniową do pojazdu [1, 2, 3, 4]. Dodatkowa warstwa w postaci panelu ochronnego będzie miała na celu obniżenie siły bezwładności działającej na pasażera przebywającego w pojeździe w czasie wybuch miny AT lub urządzenia IED która jest główną przyczyną powstawania urazów załoganta [5]. Na rysunku 1 przedstawiony został KTO Rosomak po wybuchu IED pod kadłubem pojazdu.

Rys. 1 KTO Rosomak po wybuchu IED [6]

2. Wymagania dotyczące odporności pojazdów wojskowych na wybuch min i urządzeń IED

Pojazdy LV i LAV, poruszające się w strefie konfliktu zbrojnego, powinny spełniać odpowiednie wymagania w zakresie ochrony balistycznej, przeciwodłamkowej, przeciwminowej i przed IED. Dokumenty NATO oraz instytutów współpracujących z NATO stanowią podstawę do określania wymagań w zakresie ochrony członków załogi [7, 8, 9].

W dokumencie [7] zdefiniowano poziomy ochrony członków załogi LV i LAV przed falą uderzeniową wybuchu min AT (tabela 1). Poziomy 2-4 dotyczą min lądowych AT, detonowanych pod kołem/gąsienicą lub pod środkiem pojazdu. Położenie ładunku wybuchowego pod kołem pojazdu przedstawione zostało na rysunku 2.

a)

b)

Rys. 2. Położenie ładunku wybuchowego pod kołem pojazdu w piaszczystym żwirze (a) oraz w stalowym podkładzie (b) dla poziomu ochrony 2a, 3a, 4a. S-szerokość opony, d- odległość pomiędzy osią symetrii opony i MW, D- średnica MW [7]

Tabela 1 Poziomy ochrony przed falą uderzeniową wybuchu min AT [7]

Poziom		Wybuch miny AT	
4	4b	wybuch pod środkiem pojazdu	wybuch miny AT 10 kg TNT
	4a	wybuch pod kołem / gąsienicą	
3	3b	wybuch pod środkiem pojazdu	wybuch miny AT 8 kg TNT
	3a	wybuch pod kołem / gąsienicą	
2	2b	wybuch pod środkiem pojazdu	wybuch miny AT 6 kg TNT
	2a	wybuch pod kołem / gąsienicą	

3. Geneza stosowania paneli energochłonnych

Znaczna część pojazdów wojskowych biorących udział w konfliktach zbrojnych posiada płasko ukształtowaną płytę podłogową. W przypadku wybuchu miny lub IED pod spodem pojazdu powoduje bezpośrednie oddziaływanie na płytę podłogową. Powoduje to powstanie dużej siły bezwładności będącej przyczyną powstawania licznych obrażeń załogantów. Zwiększenie bezpieczeństwa pasażerów w pojeździe z płasko ukształtowanym dnem i małym prześwitem może jedynie nastąpić przez wykorzystanie paneli energochłonnych. Tego typu konstrukcje energochłonne najczęściej budowane są jako konstrukcje hybrydowe które:

- Zabezpieczają dno kadłuba pojazdu przed rozerwaniem w wyniku wybuchu miny AT lub urządzenia IED [10],
- Pochłaniają energię fali uderzeniowej wybuchu miny AT lub urządzenia IED poprzez różne mechanizmy niszczenia,
- Blokują perforację dna kadłuba,
- Zapewniają ochronę życia i zdrowia żołnierzy w pojeździe na wymaganym poziomie (STANAG 4569, AEP-55).

Wdrożenie nowych rozwiązań wymaga przeprowadzeniu szeregu badań eksperymentalnych w celu oceny właściwości proponowanych struktur.

4. Założenia, koncepcja i warianty badania paneli energochłonnych

Celem projektowanej osłony jest ochrona załogi pojazdu wojskowego przed falą uderzeniową wybuchu min AT i IED. Założenia projektowe dla osłony są następujące:

- montaż osłony bez zmian w konstrukcji podwozia i nadwozia chronionego pojazdu,
- osłona przeznaczona do modernizacji obecnych modeli pojazdów LV i LAV
- łatwy montaż i demontaż osłony oraz płyty oporowej,
- wymiennosc segmentów osłony w przypadku zniszczenia,
- zapewnić poziom ochrony załogantów w przypadku fali uderzeniowej wybuchu miny lub IED według STANAG4569,
- niepalność, odporność na czynniki atmosferyczne i chemiczne osłony,
- prosta technologia wytwarzania,
- niskie koszty materiałowo-produkcyjne.

W ramach prac wykonywanych w Katedrze Mechaniki i Informatyki Stosowanej Wojskowej Akademii Technicznej na rzecz bezpieczeństwa, opracowano nowy typ osłony hybrydowej wykonanej z poniższych materiałów lub ich kombinacji:

- żywice elastomerowe,
- sfery wypełnione żelazem,
- blacha stalowa Domex Protect 500,
- blacha ze stopu aluminium,
- klej Soudaseal 2k,
- piana poliuretanowo-mocznikowa o porach otwartych.

Struktury energochłonne zostały wykonane w postaci prostopadłościanów 440x440 o zmiennej grubości przyklejonych do płyty świadek o wymiarach 550x550x2. W warstwowej strukturze warstwa nr. 1 (blacha aluminiowa) jest warstwą czołową przenoszącą uderzenie termiczne. Warstwa nr 2 w postaci piany poliuretanowo-mocznikowej lub żywicy elastomerowej z inkluzjami jest warstwą oporową energochłonną. Pochłanianie energii fali uderzeniowej wybuchu odbywa się przez trzy podstawowe mechanizmy niszczenia progresywnego: ściskanie, rozrywanie, ścinanie. Warstwy kleju służące do łączenia poszczególnych warstw uelastyczniają osłonę, powodują powstanie wielokrotnych fal odbitych przy przejściu fali uderzeniowej wybuchu, dzięki czemu do płyty chronionej dochodzi fala o znacznie zmniejszonej energii.

Rysunki 3,4 oraz 5 przedstawiają trzy zbudowane warianty:

Wariant "0" – blacha stalowa Domex Protect 500 o grubości 2 mm (blacha świadek), stanowi konfigurację odniesienia, która będzie służyć jako baza do porównania z pozostałymi układami zawierającymi elementy przewidziane do pochłaniania energii fali uderzeniowej powstałej z detonacji MW.

Rys. 3 Stanowisko do prób eksperymentalnych z zamocowaną płytą świadek Domex Protect 500 o grubości 2 mm; 1-podstawa, 2-tensometryczny przetwornik siły (4 sztuki), 3-rama do mocowania panelu.

Wariant "1" - w skład wariantu pierwszego wchodziły następujące warstwy:

- płyta świadek o grubości 2 mm,,
- klej Soudaseal 2K,
- piana poliuretanowo-mocznikowa o grubości 50 mm,
- klej Soudaseal 2K,
- blacha ze stopu aluminium o grubości 0.5 mm.

Rys. 4 Panel ochronny w postaci piany poliuretanowo-mocznikowa o grubości 50mm zamontowany na stanowisku do prób eksperymentalnych.

Wariant "2" - w skład wariantu drugiego wchodziły następujące warstwy:

- płyta świadek o grubości 2 mm,
 - klej Soudaseal 2K,
 - warstwa żywicy elastomerowej z inkluzjami w postaci sfer o średnicy 17.3 mm.
- Rozmieszczenie sfer przedstawione zostało na rys 4,
- klej Soudaseal 2K,
 - blacha ze stopu aluminium o grubości 0.5 mm.

Rys. 5 Warstwa żywicy epoksydowej z inkluzjami w postaci sfer o średnicy 17.3 mm

5. Modelowanie numeryczne

Model numeryczny i obliczenia układu stanowisko poligonowe – struktura ochronna, poddane oddziaływaniu fali uderzeniowej zostały wykonane przy wykorzystaniu następujących programów: CATIA, HyperMesh, LS-PrePost, LS-Dyna. Z powodu bisymetrii układu wykonano tylko $\frac{1}{4}$ modelu w celu skurczenia czasu obliczeń w systemie LS-Dyna. Model stanowiska przedstawiony został na rysunku 6.

Falę uderzeniową wybuchu, wywołaną detonacją MW w centralnym punkcie nad stanowiskiem poligonowym, modeluje się w przybliżeniu z wykorzystaniem opcji `LOAD_ BLAST_ENHANCED`. Źródło wybuchu jest kuliste, a spalanie jest w ośrodku gazowym bez ograniczeń (opcja `BLAST=2`).

W modelowaniu kontaktu wybrano opcję `AUTOMATIC_SINGLE_SURFACE`. Uwzględniono tarcie Coulomba stal – stal, stal – aluminium ($m=0.05$), stal – kompozyt, stal – piana, stal – grunt ($m=0.20$). Wybrano opcję `SEGMENT_BASED_CONTACT (SOFT 2)`.

Płyta aluminiowa zewnętrzna i płyta stalowa chroniona pracują w zakresie sprężysto – plastycznym z uwzględnieniem dużych prędkości odkształceń.

Warunki brzegowe dla bryły gruntu odpowiadają sztywnemu zamocowaniu. Warunki brzegowe w płaszczyznach symetrii odpowiadają eliminacji przemieszczeń prostopadłych do tych płaszczyzn.

Rys. 6 Widok aksonometryczny panelu ochronnymi z inkluzjami w postaci sfer o średnicy 17.3 mm

Przebiegi czasowe dla przyspieszenia centralnego punktu płyty świadek oraz wartości siły na podporach odwzorowanego numerycznie stanowiska poligonowego przedstawiono na rysunkach 7 i 8.

Rys. 7 Przebieg przyspieszenia w czasie centralnego punktu płyty świadek

Rys. 8 Przebieg wartości siły w czasie zarejestrowany na podporze stanowiska poligonowego

Wyniki obliczeń numerycznych nieznacznie odbiegają od otrzymanych wyników badań eksperymentalnych. Co pozwala ocenić metodykę modelowania numerycznego za poprawną i mogącą służyć do rozbudowania jej na bardziej zaawansowane (wielowarstwowe) modele.

Dzięki obliczeniom numerycznym istnieje również możliwość przyspieszenia badań, skrócenie czasu projektowego oraz zmniejszenie kosztów związanych z kosztownymi i czasochłonnymi badaniami numerycznymi.

6. Badania mikropoligonowe na oddziaływanie fali uderzeniowej

W celu sprawdzenia skuteczności przedstawionych paneli niezbędne było wykonanie badań sprawdzających skuteczność ich oddziaływania na falę uderzeniową. Z powyższego względu przeprowadzone zostały badania mikropoligonowe. Do badań energochłonności struktur przestrzennych wykorzystano stanowisko do obciążania falą uderzeniową wybuchu oraz układ pomiaru przyspieszenia i siły oddziałującej na badany panel zaprojektowany i wykonany w Katedrze Mechaniki i Informatyki. Udarowe obciążenie badanych próbek uzyskiwano poprzez detonację 500 g TNT. Ładunek wybuchowy umieszczono w odległości 430 mm dla każdego wariantu. Odległość MW od panelu była mierzona pomiędzy górną powierzchnią płyty świadek i dolną powierzchnią MW. Wyniki badań układów testowych „0,1,2” zilustrowano w postaci map przemieszczeń (rys. 9,10,11), oraz maksymalnych wartości zmiany przyspieszenia i obciążenia blachy Domex Protect 500 (tabela 2), gdzie jako wartość obciążenia podaną sumaryczną reakcję w podporach stanowiska badawczego (element 2 na rys. 3).

Rys. 9 Wariant "0" a) widok płyty świadek po próbie eksperymentalnej,
b) skan płyty z widoczną mapą przemieszczeń

Rys. 10 Wariant "1" a) widok płyty świadek po próbie eksperymentalnej.
 Nastąpiło całkowite zniszczenie piany poliuretanowo-mocznikowej
 b) skan płyty z widoczną mapą przemieszczeń

Rys. 11. Wariant "2" a) widok płyty świadek po próbie eksperymentalnej,
 b) skan płyty z widoczną mapą przemieszczeń

Tabela 2. Maksymalne wartości obciążenia i przyspieszenia dla wybranych wariantów paneli energochłonnych

Wariant	Przyspieszenie [$g \cdot 10^4$]	Obciążenie [MN]
Referencyjny	8,1	11
Wariant 1	4,2	8,5
Wariant 2	4,3	3

Z przedstawionych w tabeli 2 wartości przyspieszeń widać, że ich wartość w przypadku ochronnych paneli zostały zmniejszone około dwukrotnie, a obciążenia w wariantcie 1 około 1,3 razy, a w wariantcie 2 około 3,6 razy.

7. Podsumowanie

W artykule przedstawiony został problem jakim jest zwiększenie bezpieczeństwa biernego w pojazdach wojskowych oraz sposoby i kierunki rozwoju w celu jego zwiększenia. Wymóg zwiększenia bezpieczeństwa pojazdu bez zmiany dotychczasowej osłony w połączeniu z płasko ukształtowanym dnem pojazdu spowodował, że w pracy przedstawiony zostały panele energochłonne oraz sposoby ich badania.

Opracowane panele energochłonne zostały zbadane pod względem energochłonności w stosunku do wariantu wzorcowego. Otrzymane i przedstawione wyniki potwierdzają, że przez zastosowanie prostych w budowie paneli energochłonnych istnieje możliwość zwiększenia energochłonności konstrukcji co podwyższy bezpieczeństwo pasażerów na oddziaływanie fali uderzeniowej. Dalsze badania będą miały na celu sprawdzenie porowatości piany poliuretanowo-mocznikowej, oraz wielkości i rozłożenia inkluzji w poszczególnych wariantach struktur ochronnych na oddziaływanie fali uderzeniowej.

*Praca została wykonana w ramach projektu
Nr DOBR-BIO4/022/13149/2013, finansowanego przez NCBiR.*

8. Literatura

- [1] Miedzińska D., Niezgoda T., Numerical Simulation of shock energy absorption mechanism in metal foam microstructure, XII Pan American Congress of Applied Mechanics, Port of Spain, Trinidad & Tobago, January,
- [2] Mazurkiewicz Ł., Małachowski J., Baranowski P., Optimization of protective panel for critical supporting elements, Composite Structures, 134 2015, 493–505
- [3] Barnat W., Environmental influences on propagation of explosive wave on the dynamic response of plate, Bulletin of the Polish Academy of Sciences – Technical Sciences, 2014, 62, 3, 423-429
- [4] Sławiński G., Niezgoda T., Gieleta R., Świerczewski M., Dziewulski P. Research protective shield, elastomer-liquid against impact shock wave, Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 22, No. 4 2015
- [5] Sławiński G., Niezgoda T., Barnat W., Numerical analysis of the influence of blast wave on human body, Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 20, No. 3 2013
- [6] http://wiadomosci.gazeta.pl/wiadomosci/1,114873,9215137,Polski_Rosomak_w_ogniu__Alert24_ujawnia_prawdziwe.html
- [7] APE-55 Procedures for Evaluating the Protection Levels of Logistic and Light Armoured Vehicle Occupants for Grenade and Blast Mine Threats Level, NATO/PFP Unclassified, Vol. 2.

- [8] AEP-55, Procedures for Evaluating the Protection Levels of Logistic and Light Armoured Vehicles for KE and Artillery Threats, NATO/PFP Unclassified, Vol. 1.
- [9] DGLEPM T&E Engineering Std – Improvised Explosive Device Protection Systems, Unclassified, 2010.
- [10] Kłasztorny M., Świerczewski M., Use of ALFC shield for passive protection of occupants of light armoured vehicles, Computer Methods in Mechanics 2013.

Prof. Tadeusz Niezgoda, Wojskowej Akademii Technicznej, kierownik Katedry Mechaniki i Informatyki Stosowanej na Wydziale Mechanicznym. Jest specjalistą z dziedziny komputerowej mechaniki konstrukcji. Autor metody numerycznej analizy różnych klas konstrukcji, w szczególności w warunkach obciążeń ekstremalnych, m.in. uderzenie pociskiem i wybuch miny, z zastosowaniem zaawansowanych systemów CAD/CAM/CAE. Jest autorem bądź współautorem ponad 300 artykułów naukowych oraz 3 monografii. Wyróżniony nagrodą

Ministra Obrony Narodowej za całokształt dorobku, a zespół pod jego kierownictwem otrzymał nagrodę Ministerstwa Infrastruktury za innowacyjne rozwiązania z obszaru bezpieczeństwa uczestników ruchu drogowego i opracowanie transportu intermodalnego.

Dr inż. Grzegorz Sławiński (Adiunkt), pracownik naukowy Katedry Mechaniki i Informatyki Stosowanej Wydziału Mechanicznego Wojskowej Akademii Technicznej. Był lub jest głównym wykonawcą wielu projektów m.in.: Pasywna ochrona obiektów mobilnych przed oddziaływaniem pocisków AP; System ochrony biernej pojazdów opancerzonych przed pociskami opancerzonymi; System obrony aktywnej do ochrony obiektów mobilnych przed pociskami z głowicami kumulacyjnymi. Otrzymał wiele medali i nagród za osiągnięcia naukowo-

badawcze i wynalazcze (np. Krzyż Kawalerski "Merite de L'Invention" za zasługi w ruchu wynalazczym, Bruksela, Belgia, 2013).