

## PASSIVE PROTECTION OF SPECIAL VEHICLES

**Wacław Borkowski, Piotr Rybak**

*Military University of Technology  
Faculty of Mechanical Engineering  
Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa  
tel.: +48 22 6839752, fax: +48 22 6837370  
e-mail: w.borkowski@wme.wat.edu.pl, p.rybak@wme.wat.edu.pl*

### **Abstract**

*In the paper were presented threats happen to special and transportation vehicles while task performing within the confines of peace forcing and keeping missions on world areas threatened by conflicts and that could be areas of unit future actions.*

*Based on available materials and authors results of numerical and experimental tests, effects of various explosive charges action on special vehicles were presented. Such explosive charges could be used during fighting in urban and mountainous areas as well as other with limited area. Were presented directions of research and development leading to increase protection level for people, inside special and transportation vehicle, against combat agents characteristic for peace keeping and stabilization missions that could be used also while warfare.*

*Were presented some results of experimental and modeling tests of after blast shock wave action on armored shell and prepared protection structures for special and transportation vehicles. Protecting structure was loaded by shock wave pressure generated by hypothetical unconventional explosive charge (improvise explosive device – IED or non-contact mine). In the paper were also made effort to point at possibility and necessity to chose the most effective parameters of structure for protected part of combat vehicle against potential threats.*

**Keywords:** *combat vehicle, transportation vehicle, explosive charge, modelling, protective structure*

## OCHRONA PASYWNA POJAZDÓW SPECJALNYCH

### **Streszczenie**

*W pracy przedstawiono zagrożenia dla pojazdów specjalnych i transportowych spotykane podczas wykonywania zadań w ramach misji wymuszania i utrwalania pokoju w regionach świata zagrożonych konfliktami, a mogącymi być obszarami przyszłego działań wojska.*

*Na podstawie dostępnych materiałów i własnych wyników badań numerycznych i eksperymentalnych przedstawiono efekty oddziaływania różnych ładunków materiału wybuchowego na pojazdy specjalne. Ładunki takie mogą występować podczas walk w terenie zurbanizowanym i górzystym oraz innym o ograniczonej powierzchni. Przedstawiono kierunki prac badawczych i rozwojowych prowadzące w efekcie do podwyższenia poziomu ludzi w pojazdach specjalnych i transportowych przed środkami bojowymi, charakterystycznymi dla działań pokojowych i misji stabilizacyjnych, ale mogące występować również w działaniach bojowych.*

*Przedstawiono wybrane rezultaty badań eksperymentalnych i modelowych oddziaływania powybuchowych fal uderzeniowych na nadwozie i opracowane struktury ochronne dla pojazdów specjalnych i transportowych. Strukturę ochronną obciążano ciśnieniem fali uderzeniowej generowanej hipotetycznym niekonwencjonalnym ładunkiem wybuchowym (improvizowanym ładunkiem wybuchowym – IED lub miną niekontaktową). W pracy podjęto również próbę wskazania możliwości oraz konieczność doboru najefektywniejszych parametrów struktury dla ochraniających części pojazdu bojowego przed potencjalnym zagrożeniem*

**Słowa kluczowe:** *pojazd bojowy, pojazd transportowy, ładunek wybuchowy, modelowanie, struktura ochronna*

## 1. Wprowadzenie

Pojazdy specjalne i transportowe przeznaczone do działania w strefie konfliktów zbrojnych powinny spełniać określone wymagania ze szczególnym uwzględnieniem zapewnienia jak najlepszej ochrony żołnierzom. Doświadczenia tych działań, w tym konflikt w byłej Jugosławii, wojna w zatoce perskiej, Afganistan, gdzie USA, Wielka Brytania i inne kraje po raz pierwszy od czasu II Wojny Światowej użyły sprzętu bojowego w dużej liczbie, wskazują tylko pewne rozwiązania, jak należy działać i co należy zrobić, aby uniknąć takich zdarzeń jak pokazuje rys. 1. Szczególnie wojna w Iraku i Afganistan wymusiły i przyspieszyły prace nad modernizacją czołgów, bojowych wozów piechoty, kołowych transporterów opancerzonych i innych pojazdów w celu ich dostosowania do walki i ochrony żołnierzy w terenie zurbanizowanym, górzystym oraz w ograniczonej przestrzeni. Także wykorzystanie przez Rosję sprzętu bojowego oraz transportowego w Afganistanie, ujawniło braki i ich nie wystarczające dostosowanie do użycia w trudnych warunkach górskich. Również walki w terenie zurbanizowanym np. w Groznm pokazały jak bardzo wojska nie były przygotowane do walki z partyzantką miejską i górską, gdzie większość działań bojowych realizowano na małych odległościach – rys.2.



Rys. 1. Zniszczony czołg (po lewej), samochód osobowo-terenowy po wybuchu ładunku IED (po prawej) [3]  
Fig. 1. Destroyed tank (on left), all-terrain vehicle after explosion of blowing charge IED (on right) [3]



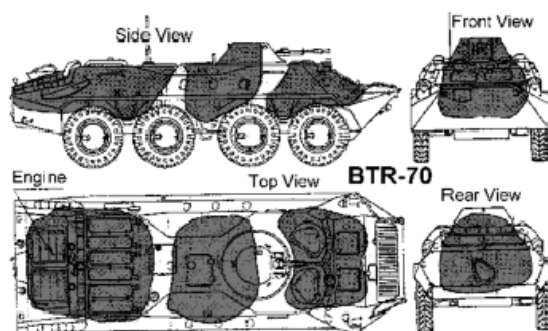
Rys. 2. Wybuch miny pod pojazdem [4]  
Fig. 2. The explosion of mine under vehicle [4]

Uszkodzenia wozów bojowych w działaniach stabilizacyjnych, w wielu wypadkach było spowodowane wybuchem min lub improwizowanych ładunków wybuchowych (IED – Improved Explosive Devices) zawierających większe ilości dowolnego materiału wybuchowego niż w konwencjonalnych środkach porażających. Ładunki takie rozmieszczane są w sposób zaplanowany, tam gdzie można się ich najmniej spodziewać, w pobliżu ważnych i uczęszczanych dróg: są zakopywane na poboczu, w studzienkach kanalizacyjnych, mocowane do drzew lub ścian domów, w górach osadzone na zboczach lub pod kamieniami. Przykłady ułożenia improwizowanych ładunków wybuchowych przedstawiono na rys. 3.



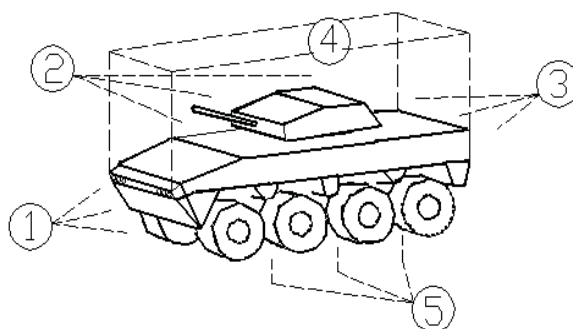
Rys. 3. Ułożenie improwizowanych ładunków wybuchowych [5]  
 Fig. 3. Arrangement of improvised blowing charge [5]

Analiza dostępnych informacji o uszkodzeniach nadwozi pojazdów bojowych oraz liczba porażen, wskazuje miejsca najbardziej narażone na obciążenia i wymagające szczególnego wzmocnienia. Przykładowe zestawienie porażonych, słabo chronionych obszarów nadwozia dla jednego typu pojazdu walczącego w Czeczenii przedstawia rys.4.



Rys. 4. Obszary trafień pojazdu bojowego środkami porażającymi [4]  
 Fig. 4. The areas of hits of combat vehicle [4]

Wskazuje to jednoznacznie, że pojazdy biorące udział w misjach stabilizacyjnych i działań konwencjonalnych z każdej strony narażone są na oddziaływanie środków bojowych, a więc tak jak w regularnej wojnie – rys.5.



Rys. 5. Obszary zagrożeń dla pojazdów bojowych  
 Fig. 5. Danger zones of a combat vehicle

Dla zwiększenia bezpieczeństwa ludzi i trwałości bojowej wyposażenia w pojazdach biorących udział w opisanych działaniach prowadzi się intensywne prace w kierunku uzyskania wysokiej odporności balistycznej głównie na działanie pocisków artylerii lufowej i granatników przeciwpancernych różnego kalibru. Głównie poszukuje się lekkich pancerzy dodatkowych o konstrukcji modułowej montowanych do nadwozi pojazdów biorących bezpośredni udział w działaniach. Masa dodatkowego, lekkiego opancerzenia chroniącego przed pociskami do kalibru 14,5 mm oraz odłamkami pocisków kal. 155mm, w zależności od pojazdu może wynosić od 2 do 2,5tony (niekiedy więcej). Przykładową kompozycję pancerza lekkiego pokazano na rys. 6.



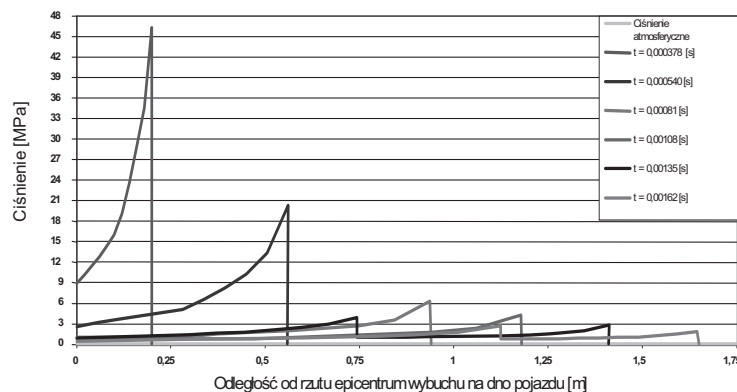
Rys. 6. Alumiuniowa kompozycja ochronna oraz twardość jej elementów składowych [6]  
 Fig. 6. The aluminum protective composition as well as hardness of its component [6]

Rezultaty badań kompozycji Tristrato, według ich autorów, umożliwia ona obniżenie masy elementu ochronnego na jednostkę powierzchni (w odniesieniu do równoważnego elementu stalowego), o wartość od 32% do 10% w zależności od rodzaju materiału.

Niebezpieczeństwo napotkania przez pojazdy bojowe min przeciwpancernych oraz improwizowanych ładunków wybuchowych (IED) prowadzi do intensyfikacji prac nad kształtowaniem odporności udarowej. W tym wypadku problem jest bardziej złożony, zawiera więcej niewiadomych. W tego typu ładunkach nie znamy ilości i rodzaju materiału wybuchowego (od kilku do kilkudziesięciu kilogramów), miejsca ułożenia, odległości, czasu oddziaływania itp. Badania odporności wozów bojowych na ładunki wybuchowe realizowane są przez autorów z udziałem zespołu interdyscyplinarnego.

## 2. Model obciążenia

Problem dla rozważanego przypadku obciążenia sformułowano następująco. Fala uderzeniowa wygenerowana w dowolnym punkcie na podłożu pod dnem czołgu, propaguje się w ośrodku gazowym (powietrzu) i oddziałuje na napotkany na swej drodze obiekt (dno pojazdu i boczne powierzchnie układu jezdny). Przyjmuje się, że wynikające stąd obciążenie konstrukcji nie wywołuje w niej odkształceń trwałych (plastycznych), a powstające deformacje można rozważać w ramach teorii małych przemieszczeń. Szczegółowy opis modelu obciążenia jest podany w pracy [1]. Na rys. 3 przedstawiono przykładową charakterystykę przestrzenno – czasową ciśnienia na froncie fali uderzeniowej dla małej odległości od epicentrum wybuchu wygenerowaną przez ładunek niekontaktowy. Model uwzględnia propagację fali ciśnienia w czasie, w silnie ograniczonej przestrzeni, zanikanie ciśnienia za frontem fali, wielokrotne odbicia pomiędzy dnem a podłożem oraz położenie epicentrum względem analizowanej konstrukcji. Model obciążenia zweryfikowano eksperymentalnie. Badania weryfikacyjne przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych oraz w rzeczywistych warunkach, na podłożu odkształcalnym – rys. 8. Uzyskano dobrą zgodność wyników.



Rys. 7. Charakterystyka przestrzenno–czasowa fali uderzeniowej  
 Fig. 7. Space–time characteristics of the shock wave

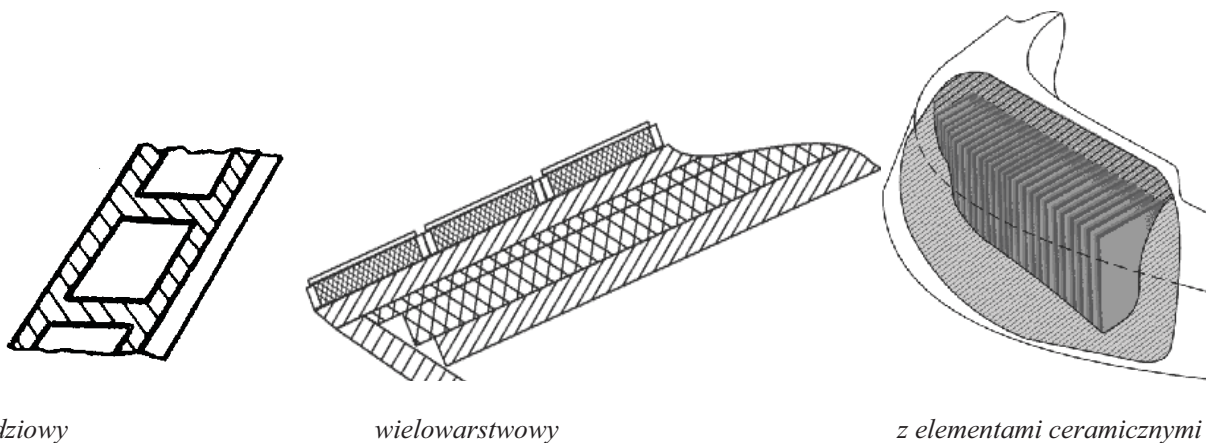




Rys. 8. Badania odporności pojazdu na miny (fot. P.R.)  
Fig. 8. The researches of resistance of vehicle on mine (photo by. P. R.)

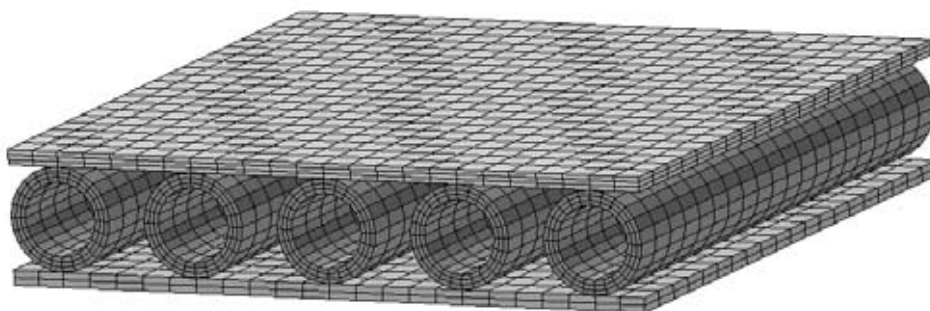
### 3. Model struktury

W pojazdach bojowych stosowana jest ochrona pasywna o różnej kompozycji i stopniu złożoności. Jest to uwarunkowane głównie przeznaczeniem pojazdu, dopuszczalną masą, kształtem, wymiarami i in. Niektóre z najczęściej stosowanych form opancerzenia przedstawia rys.9. Konstrukcje zasadniczych węzłów ochrony pojazdów specjalnych oraz elementów opancerzenia dodatkowego mają strukturę grodziową lub ogólnie wielowarstwową.



Rys. 9. Elementy pancerza pojazdów bojowych  
Fig. 9. The elements of armor of combat vehicles

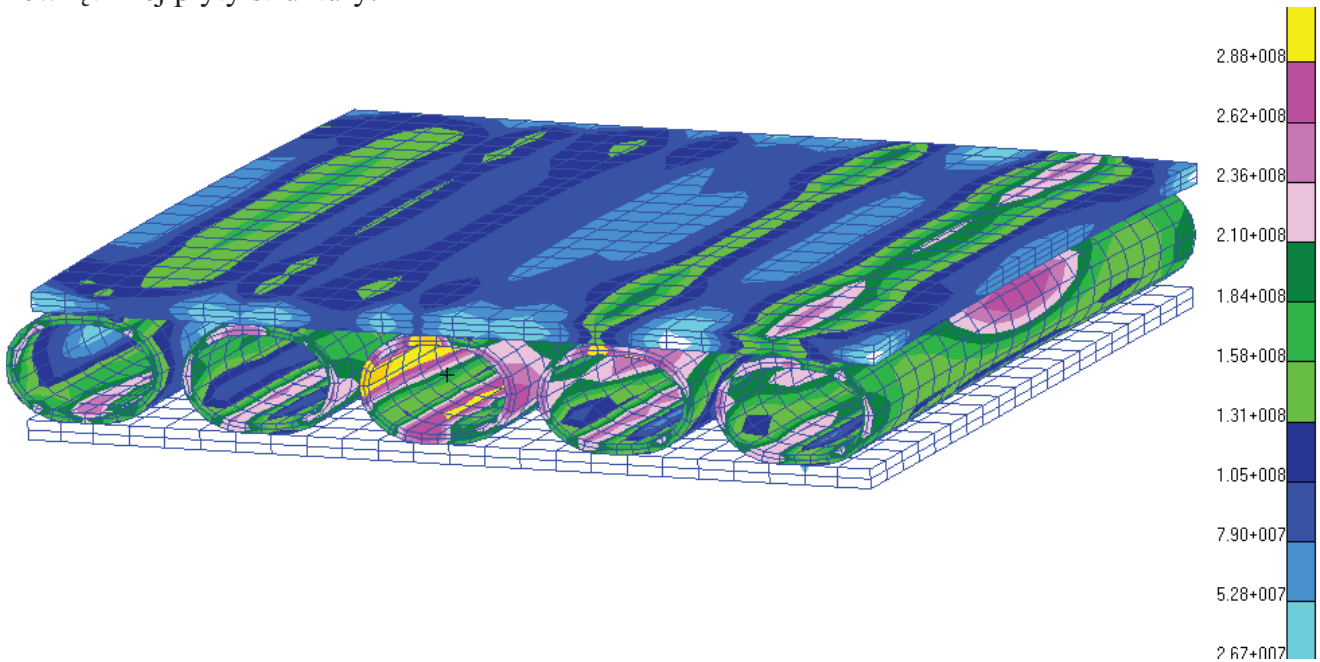
Model opracowanej struktury ochronnej, przedstawionej na rys. 10, wykonano ze stopu lekkiego. W efekcie ma stanowić element cząstkowy pancerza modułowego dla wozu bojowego. Przyjęto przy tym założenie, że opracowana struktura ochronna w głównej mierze powinna w możliwie maksymalnym stopniu osłabić oddziaływanie obciążenia na strukturę nośną nadwozia wozu bojowego lub pojazdu patrolowego. Założono również możliwość wypełnienia przestrzeni wewnętrznych specjalnym materiałem.



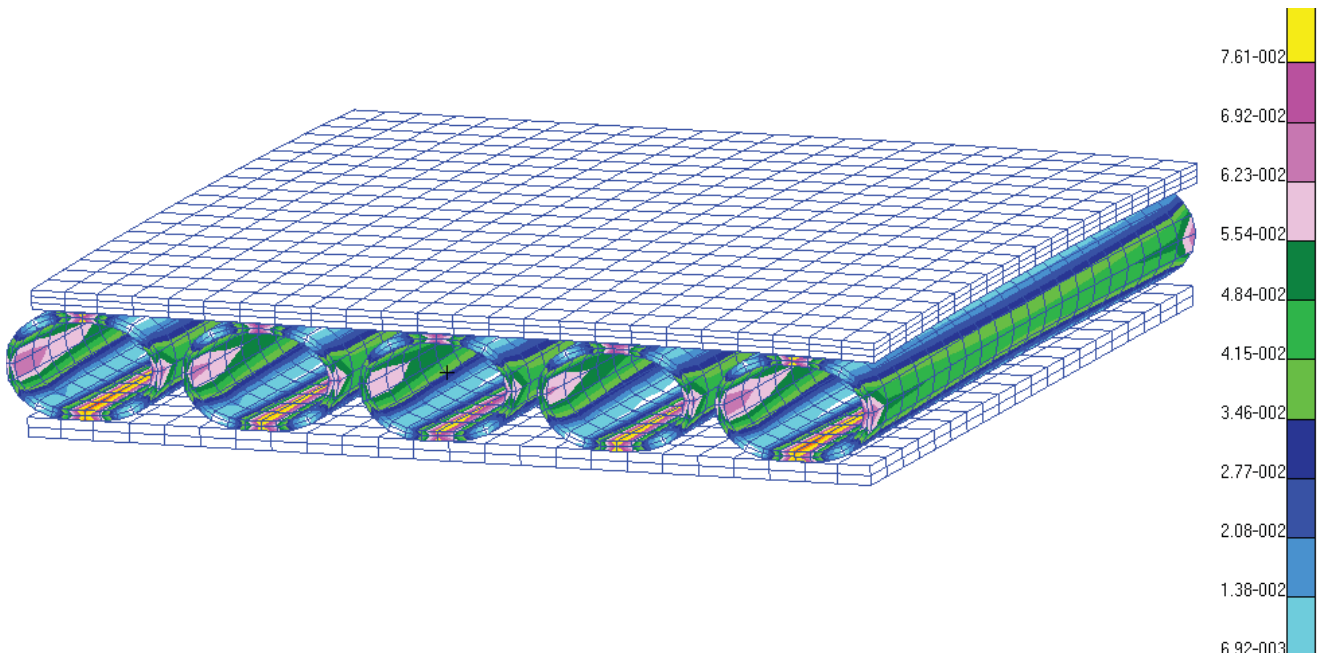
Rys. 10. Model struktury ochronnej  
Fig. 10. Model of protective structure

#### 4. Badania modelowe

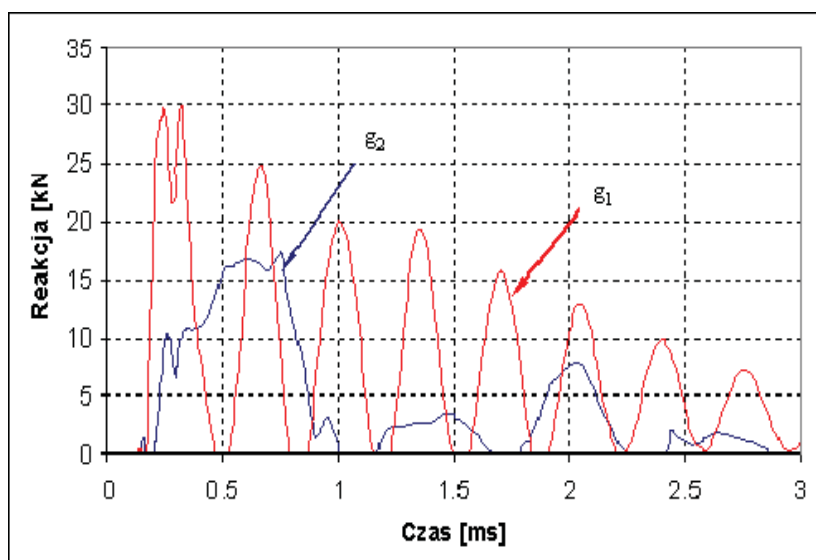
W pracy przedstawiono fragment obliczeń numerycznych, w którym rozważano dwa modele struktury ochronnej różniące się grubością ścianek rur wewnętrznych  $g$ , przy czym  $g_1 > g_2$ . Modele obciążono powybuchową falą uderzeniową wygenerowaną wybuchem typowego ładunku minowego. Rezultaty obliczeń zaprezentowano poniżej. Na rys. 11 przedstawiono wyężenie, a na rys.12 deformacje w elementach struktury ochronnej dla chwili osiągania maksymalnych wartości, przy zadanej masie i rodzaju ładunku materiału wybuchowego. Na rys.13 pokazano reakcje w wybranych węzłach podporowych struktury, a na rys. 14 przemieszczenia jednego z węzłów zewnętrznej płyty struktury.



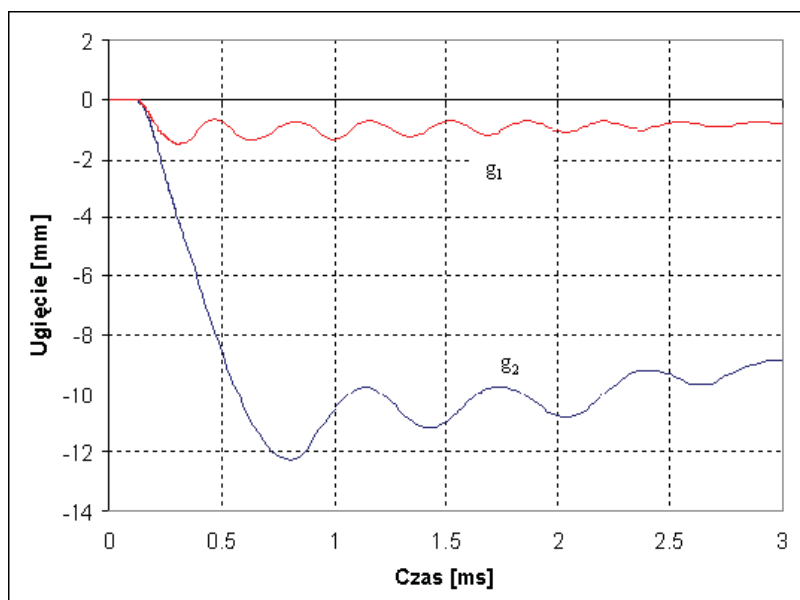
Rys. 11. Rozkład naprężen dla maksymalnych deformacji struktury, dla  $g_1$   
 Fig. 11. Distribution of stress at maximum deformations of structure ( $g_1$ )



Rys. 12. Maksymalne deformacje struktury, dla  $g_1$   
 Fig. 12. Maximum deformations of structure ( $g_1$ )



Rys. 13. Reakcje w wybranym punkcie struktury, dla  $g_1$  i  $g_2$   
 Fig. 13. The reaction forces in chosen point of structure ( $g_1$  and  $g_2$ )



Rys. 14. Przesunięcie pionowe w wybranym punkcie struktury, dla  $g_1$  i  $g_2$   
 Fig. 14. The vertical displacement in chosen point of structure ( $g_1$  and  $g_2$ )

#### 4. Podsumowanie

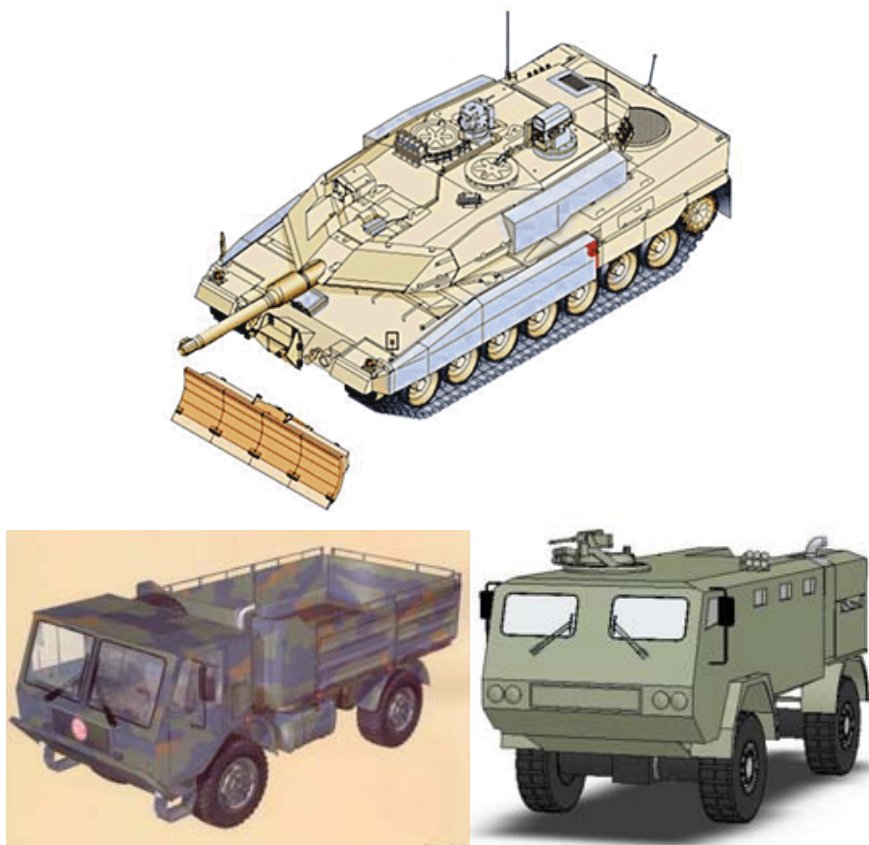
Wyniki przeprowadzonych badań modelowych są interesujące i dają podstawę do dalszych badań, w tym eksperymentalnych, nad uzyskaniem skutecznej ochrony pojazdu nie tylko przed minami i improwizowanymi ładunkami wybuchowymi ale również przed innymi środkami bojowymi.

Parametry charakterystyczne opracowywanej struktury ochronnej można dobierać odpowiednio dla każdego ochranianego obszaru nadwozia i podwozia pojazdu, biorąc pod uwagę między innymi geometrię głównych węzłów pancerza, najbardziej prawdopodobne miejsce trafienia i obciążenia, rodzaj środka porażającego.

Bywają takie wypadki, że opancerzenie dodatkowe pojazdu specjalnego jest odporne na oddziaływanie powybuchowej fali uderzeniowej natomiast nie wytrzymuje tego obciążenia

konstrukcja nośna nadwozia. Skutek oddziaływania obciążenia jest wówczas taki sam jak dla pojazdu bez dodatkowej ochrony. Wskazuje to na szersze podejście do procesu podwyższania ochrony pojazdów.

Na rys. 15 przedstawiono przykładowe rozwiązania modyfikacji pojazdów pod kątem podwyższenia stopnia ich ochrony z wykorzystaniem lekkich materiałów, prezentowane między innymi przez firmy: Krauss–Maffei Wegmann GmbH (Niemcy) oraz Slavin–Land System Division (Izrael).



Rys. 15. Dodatkowe opancerzenie pojazdów  
Fig. 15. The additional armor of vehicles

## Literatura

- [1] Borkowski, W., Rybak, P., Papliński, K., *Fighting vehicle impact strength against impacts generated by mine explosion*, Biuletyn WAT, nr 8-9/2003.
- [2] <http://www.flattosharon.co.il>.
- [3] <http://www.caerdroia.org>.
- [4] <http://www.armor.kiev.ua>, [www.BTVT.narod.ru](http://www.BTVT.narod.ru).
- [5] <http://www.defense-update.com>, <http://www.globalsecurity.org>.
- [6] Di Russo, E., *Aluminium composite armour*, International Defense Review, No12,658, 1988.
- [7] <http://www.army-technology.com>.
- [8] Materiały reklamowe firmy Slavin- Land System Division, Izrael.