

Modelowanie i analiza numeryczna zjawiska wybuchu pod kołem lekkiego opancerzonego pojazdu wojskowego

Grzegorz Sławiński¹, Marek Świerczewski¹, Tadeusz Niezgoda¹

¹Katedra Mechaniki i Informatyki Stosowanej, Wojskowa Akademia Techniczna
email: grzegorz.slawinski@wat.edu.pl, marek.swierczewski@wat.edu.pl, Tadeusz.niezgoda@wat.edu.pl

STRESZCZENIE: W artykule przedstawiono metodę modelowania numerycznego oddziaływania fali uderzeniowej na nieresorowane części zawieszenia pojazdu wojskowego. Ładunek wybuchowy w czasie prób położony jest pod kołem pojazdu zgodnie z wymaganiami STANAG 4569. Masa ładunku wynosi 10 kg TNT co odpowiada najwyższemu poziomowi bezpieczeństwa 4a. W czasie badań sprawdzono również wpływ zastosowania Run Flat-a w układzie Opona-Run Flat – Felga na propagację fali uderzeniowej pod podwoziem pojazdu. Model i obliczenia numeryczne wykonane zostały przy wykorzystaniu następujących programów: CATIA, HyperMesh, LS-PrePost, LS-Dyna. Do opisu oddziaływania fali ciśnienia na konstrukcję wykorzystano podejście ALE. Pozwoliło to odzwierciedlić takie procesy jak: detonacja, propagacja fali, interakcja ze strukturą i odpowiedź układu ORFF.

SŁOWA KLUCZOWE: fala uderzeniowa, run flat, Light Armored Vehicle (LAV)

1. Wprowadzenie

W międzynarodowych misjach stabilizacyjnych pojazdy logistyczne LV i pojazdy lekko opancerzone są narażone na działanie m. in. min AT (Anti-Tank) i urządzeń IED (Improvised Explosive Device). Detonacja tych ładunków następuje przez bezpośrednie najechanie kołem lub w niewielkiej odległości od pojazdu. Ładunki IED i AT najczęściej zakopane są w podłożu co przy ich detonacji powoduje, że najbardziej zagrożonymi na uszkodzenia podzespołami pojazdu są części nieresorowane.

Celem przedstawionej pracy jest opracowanie metodologii modelowania numerycznego oddziaływania fali uderzeniowej na konstrukcje pojazdu LAV oraz sprawdzenie zastosowania Run Flat-a na rozmycie i kształt fali uderzeniowej.

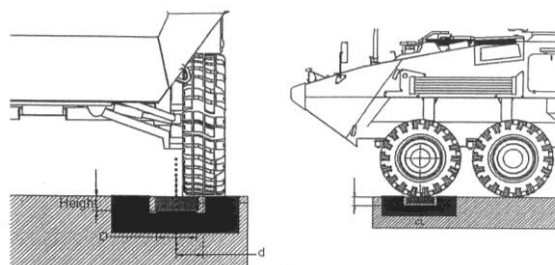
2. Wymagania dotyczące odporności pojazdów wojskowych na wybuch min i urządzeń IED

Pojazdy LV i LAV, poruszające się w strefie konfliktu zbrojnego, powinny spełniać odpowiednie wymagania w zakresie ochrony balistycznej, przeciwdławkowej, przeciwminowej i przed IED. Dokumenty NATO oraz instytutów współpracujących z NATO stanowią podstawę do określania wymagań w zakresie ochrony członków załogi [1, 2, 3].

W dokumencie [1] 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 1.

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

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

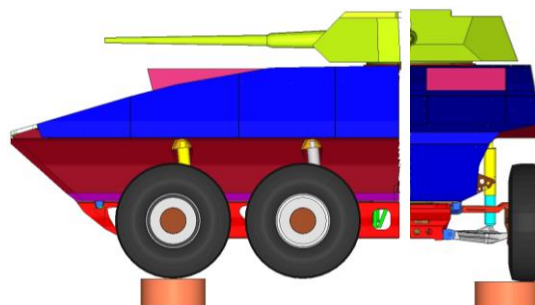


Rys. 1. Położenie ładunku wybuchowego pod kołem pojazdu w stalowym podkładzie, gdzie: S-szerokość opony, d- odległość pomiędzy osią symetrii opony i MW, D- średnica MW [1]

3. Obiekt badań i wyniki

Dynamiczne symulacje przeprowadzono przy użyciu kodu LS-Dyna, natomiast proces interakcji pomiędzy falą a pozostałymi elementami pojazdu LAV odwzorowano numerycznie przy użyciu sprężenia gaz – ciało stałe bazującym na procedurze MM-ALE. Pierwsza faza wybuchu czyli proces detonacji opisana została równaniem stanu Jones Wilkins Lee (tabela 2), natomiast drugą fazą jest rozchodzenie się fali detonacyjnej. Obie zrealizowano w opisie Eulera. Wykorzystane stałe materiałowe przypisane do poszczególnych elementów LAV przedstawione zostały w tabelach 3 i 4.

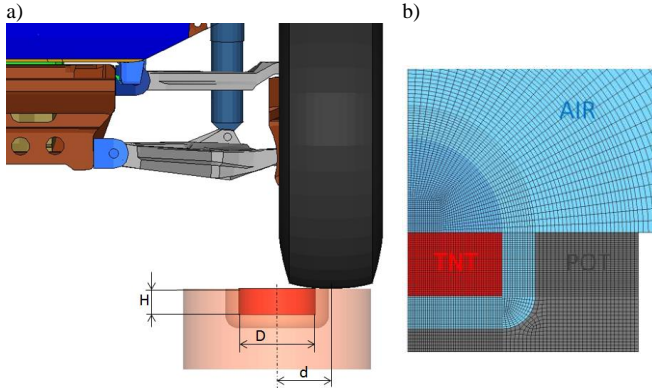
Na zewnętrznych ścianach ośrodka Eulera zdefiniowano warstwę elementów z warunkami brzegowymi bez odbiciowymi NON_REFLECTING.



Rys. 2. Model pojazdu LAV z ładunkiem wybuchowym umieszczonym w stalowym cylindrze pod kołem pojazdu.



Rys. 3. Model układu a) ORFF – Run Flat o przekroju hiperbolicznym, b) ORFF – Run Flat o przekroju trójkątnym, c) układ bez wkładki Run Flat



Rys. 4. a) gabaryty ładunku wybuchowego umieszczonego pod spodem pojazdu: H=97mm, D=286.4, d= 200mm, b) sposób podziału układu Pot-TNT na elementy skończone

Tabela 2. Parametry materiału TNT oraz równania JWL przyjęte do analiz numerycznych

ρ [kg/m ³]	D [m/s]	A [MPa]	B [MPa]
1630	6930	3.71E5	3.23E3
R1 [-]	R2 [-]	ω [-]	E0 [MPa]
4.15	0.95	0.3	7000

Tabela 3. Stałe materiałowe dla stali wykorzystanej do budowy elementów zawieszenia i podwozia

ρ [kg/m ³]	E [GPa]	ν [-]	SIGY [MPa]
7.8e3	210	0.3	350
EPS1 [MPa]	EPS2 [MPa]	ES1 [MPa]	ES2 [MPa]
0	0.22	350	600

Tabela 4. Stałe materiałowe dla elementów gumowych

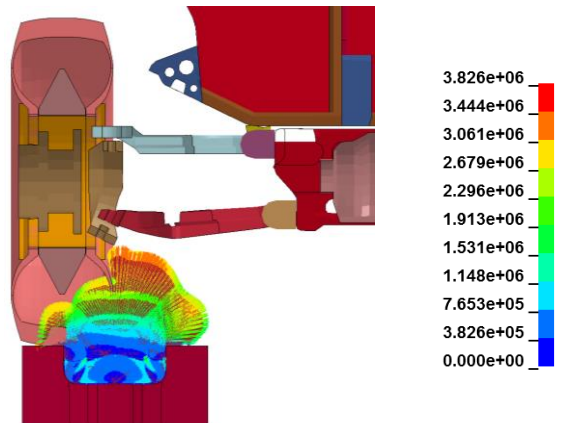
ρ [kg/m ³]	ν [-]	C10 [MPa]	C01 [MPa]
1.1e3	0.499	0.55	0
C11 [MPa]	C20 [MPa]	C02 [MPa]	C30 [MPa]
0	-0.05	0	0.95

Tabela 5. Parametry sprzężenia LAGRANG_IN_SOLID

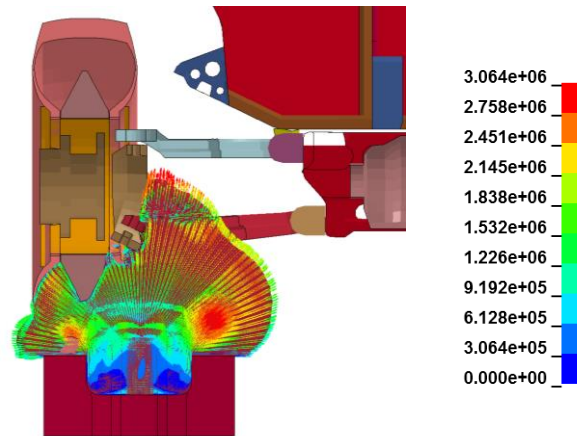
NQUAD	CTYPE	DIREC	PFAC
6	4	2	0.7
FRCMIN	ILEAK	PLEAK	PFACMM
0.1	2	0.2	3

Przeprowadzone analizy numeryczne pokazały, że zastosowanie układu Run Flat powoduje mniejsze uszkodzenia części nieresorowanych pojazdu LAV. Przykładowy układ ORFF – Run Flat o przekroju trójkątnym powoduje najmniejsze uszkodzenia natomiast

sposób propagacji fali oraz wektory prędkości w domenie Eulera przedstawia Rys. 5 i 6.



Rys. 5. Rozkład prędkości fali w domenie Eulera [mm/s] dla t=0.1ms



Rys. 6. Rozkład prędkości fali w domenie Eulera [mm/s] dla t=0.2ms

4. Podsumowanie

W ramach przedstawionej pracy przedstawiono metodologię modelowania numerycznego oddziaływania fali uderzeniowej na konstrukcję lekkiego pojazdu wojskowego. Poza bardzo ważnym zagadnieniem jakim jest sprzężenie dwóch układów Lagrang’a i Eulera realizowanymi w zakładce LAGRANGE_IN_SOLID (tabela 5) bardzo duży wpływ na otrzymane wyniki ma podział ośrodka w układzie odniesienia Eulera na elementy skończone. W przeprowadzonych analizach numerycznych najlepsze wyniki uzyskana przy podziale na elementy skończone wykorzystując metodę podziału “Butterfly” Rys 4b.

Praca została wykonana w ramach projektu Nr DOBR-BIO4/022/13149/2013 finansowanego przez NCBR w latach 2013-2018

Literatura

- [1] 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.
- [2] AEP-55, Procedures for Evaluating the Protection Levels of Logistic and Light Armoured Vehicles for KE and Artillery Threats, NATO/PFP Unclassified, Vol. 1.
- [3] DGLEPM T&E Engineering Std - Improvised Explosive Device Protection Systems, Unclassified, 2010.