

Numeryczne analizy propagacji impulsu ciśnienia

Robert Panowicz, Michał Trypolin, Marcin Konarzewski

Katedra Mechaniki i Informatyki Stosowanej, Wojskowa Akademia Techniczna
email: robert.panowicz@wat.edu.pl, michal.trypolin@gmail.com, marcin.konarzewski@wat.edu.pl

STRESZCZENIE: Podczas badań eksperymentalnych deflektorów poddanych oddziaływaniu fali ciśnienia pochodzącej z detonacji ładunków wybuchowych zauważono znaczący wpływ geometrii ładunku na wyniki badania. Postanowiono więc zbadać wpływ kształtu materiału wybuchowego oraz jego parametrów na propagację fali ciśnienia w powietrzu. Do tego celu została wykorzystana metoda elementów skończonych z jawnym schematem całkowania zaimplementowana w programie LS-Dyna. Analizy przeprowadzono dla 6 różnych materiałów wybuchowych oraz trzech różnych geometrii ładunków różniących się stosunkiem długości L do średnicy D przy zachowaniu tej samej masy ładunku. Rozważono układy, w których stosunek L/D był równy 2, 1 oraz 0,25. Okazało się, iż fala ciśnienia powstała po detonacji ładunku, bez względu na rodzaj użytego materiału wybuchowego, wykazuje podobną wrażliwość na zmiany geometrii ładunku. Natomiast parametry fali ciśnienia związane są z parametrami charakteryzującymi materiał wybuchowy.

SŁOWA KLUCZOWE: słowo, kluczowe, pierwsze, drugie, trzecie

1. Wstęp

W większości badań różnych elementów obciążonych falą ciśnienia pochodzącą z detonacji materiału wybuchowego do generacji fali ciśnienia wykorzystuje się ładunki walcowe. Podyktowane to jest prostotą ich wykonania. Zakłada się w takiej sytuacji, że dla odległości większych od kilku charakterystycznych wymiarów ładunku kształt fali ciśnienia odpowiada kształtowi fali pochodzącej z ładunku kulistego.

Podczas badań eksperymentalnych deflektorów poddanych oddziaływaniu fali ciśnienia pochodzącej z detonacji ładunków wybuchowych zauważono jednak znaczący wpływ geometrii ładunku na wyniki badań. Postanowiono więc zbadać wpływ kształtu materiału wybuchowego oraz jego parametrów na propagację fali ciśnienia w powietrzu.

2. Model matematyczno - fizyczny

Rozpatrywany model składa się z materiału wybuchowego o masie 50 g oraz otaczającego go powietrza.

Pominięto zjawiska zachodzące podczas reakcji materiału wybuchowego oraz procesy zachodzących na froncie fali uderzeniowej, co umożliwiło wykorzystanie przybliżenia optyki detonacyjnej [1]. W podejściu tym front fali detonacyjnej porusza się z zadaną, stałą prędkością i tworzy powierzchnię silnej nieciągłości. Z tego względu, podczas obliczeń, można rozpatrywać tylko komórki z przereagowanym materiałem wybuchowym, przez które przeszedł już front. W komórkach znajdujących się na froncie fali detonacyjnej przyjmowane są wartości ciśnienia, gęstości i energii (temperatury) odpowiadające wartościom w punkcie Chapmana-Jougueta. Metoda ta pozwala na stosowanie dużych podziałów dyskretyzacji, pozwalających na wydłużenie kroku czasowego (bez wpływu na dokładność otrzymanych wyników).

Do wyznaczenia ciśnienia produktów detonacji wykorzystano równanie JWL [2, 3]:

$$p = A \left(1 - \frac{\omega}{R_1 V} \right)^{-R_1 V} + B \left(1 - \frac{\omega}{R_2 V} \right)^{-R_2 V} + \omega \rho E \quad (1)$$

gdzie:

$V = \rho_0 / \rho$,

ρ_0 – gęstość początkowa,

ρ – gęstość produktów detonacji,

A, B, R_1, R_2, ω – stałe.

Natomiast powietrze zostało opisane równaniem Mie-Gruneisena [3]:

$$p = p_0 + \gamma \rho E \quad (2)$$

gdzie:

p – ciśnienie,

p_0 – ciśnienie początkowe,

γ – współczynnik Gruneisena,

ρ – gęstość,

E – energia wewnętrzna właściwa.

Wartości użyte do opisanego powietrza są następujące: $\gamma = 1,4$; $\rho = 1,185 \text{ kg/m}^3$; $p_0 = 1013 \text{ hPa}$ [2]. Pozostałe parametry wykorzystane w obliczeniach przedstawiono w tabeli 1 oraz 2.

Tabela 1. Stałe JWL dla materiałów [2]

parametr	A	B	R_1	R_2	ω
materiał	[GPa]	[GPa]	[-]	[-]	[-]
TNT	373,8	3,747	4,15	0,9	0,35
HMX	778,3	7,071	4,2	1	0,3
Comp. B	524,2	7,7678	4,2	1,1	0,34
PETN	617	16,926	4,4	1,2	0,25
Semtex 10	609,8	12,95	4,5	1,4	0,25
Semtex A1	609,8	12,95	4,5	1,4	0,25

Do analiz wykorzystano metodę elementów skończonych z jawnym schematem całkowania zaimplementowaną w programie LS-Dyna. Analizy przeprowadzono dla 6 różnych materiałów wybuchowych

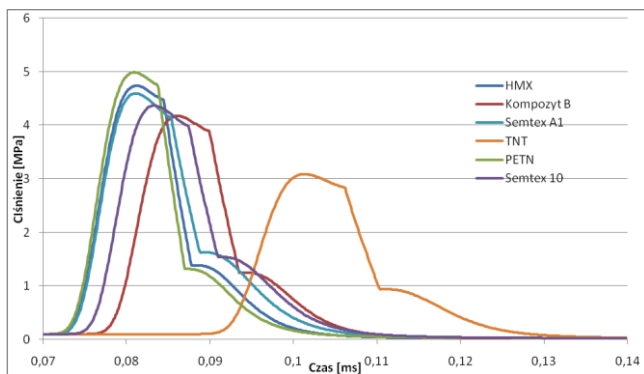
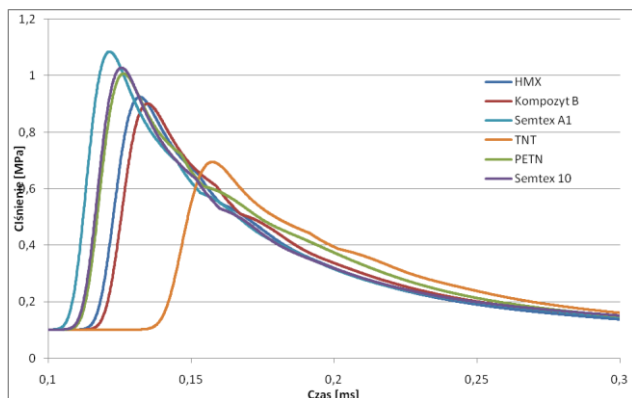
oraz trzech różnych geometrii ładunków różniących się stosunkiem długości L do średnicy D przy zachowaniu tej samej masy ładunku. Rozważono układy, w których stosunek L/D był równy 2, 1 oraz 0,25.

Tabela 2. Dane materiałowe [2]

parametr	ρ_0	D	ρ_{CJ}	ρ_{CJ}
materiał	[kg/m ³]	[m/s]	[GPa]	[kg/m ³]
TNT	1630	6930	21	2230
HMX	1890	9110	42	2621
Comp. B	1717	7980	29,5	1770
PETN	1770	8300	33,5	2440
Semtex 10	1530	7486	21,7	2165
Semtex A1	1420	7200	28	2165

3. Wyniki obliczeń

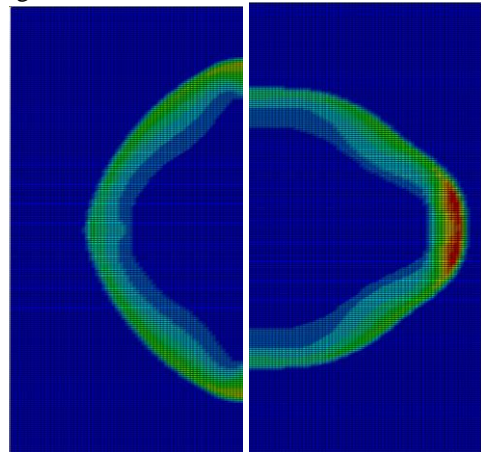
Na rysunkach od 1 do 3 przedstawiono wyznaczone kształty fali ciśnienia dla analizowanych sytuacji, w przypadku punktu pomiarowego znajdującego się w odległości 35 cm od środka ładunku.

Rys. 1. Wartości ciśnienia w odległości 35 cm od środka ładunku wybuchowego o proporcji $L/D=0,25$ Rys. 2. Wartości ciśnienia w odległości 35 cm od środka ładunku wybuchowego o proporcji $L/D=2$

Żaden z materiałów wybuchowych nie wykazywał zwiększonej podatności na zmiany kształtu. Wszystkie powstałe fale ciśnienia charakteryzował podobny kształt i przebieg rozkładu ciśnienia, natomiast zmiana proporcji

ładunku we wszystkich ładunkach miała podobny, znaczący wpływ na falę, powodując nawet pięciokrotne różnice w wartościach ciśnienia fali. Różnice między materiałami przede wszystkim wynikają z różnic w parametrach materiałowych. Fala ciśnienia powstała w wyniku detonacji TNT wykazywała znacznie niższą prędkość propagacji, oraz niższe wartości maksymalnego ciśnienia, jednak sam charakter fali był podobny do pozostałych ładunków.

Dla ładunku wykonanego z materiału wybuchowego HMX o L/D równym 0,25 i 2 oraz masie 50 g przedstawiono na rysunku 2 rozkłady fali ciśnienia dla wybranego momentu czasu.

Rys. 3. Porównanie kształtu fali dla HMX o stosunku L/D równym 0,25 (po lewej) i 2 (po prawej) w czasie 0,16 ms od momentu inicjacji detonacji

4. Wnioski

Okazało się, iż fala ciśnienia powstała po detonacji ładunku, bez względu na rodzaj użytego materiału wybuchowego, wykazuje podobną wrażliwość na zmiany geometrii ładunku. Natomiast parametry fali ciśnienia związane są z parametrami charakteryzującymi materiał wybuchowy, powodując różnice w tempie propagacji i w maksymalnych osiągniętych wartościach ciśnienia. Charakter przebiegu, kształt wykresu ciśnienia do czasu pozostaje podobny nawet gdy parametry materiałowe powodują duże różnice w wartościach parametrów fali.

Literatura

- [1] R. Panowicz, J. Nowak, M. Konarzewski, T. Niezgodą, *Introduction to numerical analysis of directed fragmentation warheads*, Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 20, No. 4, 2013r.
- [2] Włodarczyk E., *Wstęp do mechaniki wybuchu*, PWN, Warszawa, 1994.
- [3] R. Panowicz, M. Konarzewski, J. Borkowski, E. Milewski, *Selected aspects of modelling a phenomena occurring with very large strain rates on the example of the shaped charge jet stream forming process and explosive formed projectiles*, Journal of KONES, Vol. 22 (3), pp. 187–192, 2015r., DOI: 10.5604/12314005.1166017