

## Analizy numeryczne wpływu zastosowanego materiału pędnego na efektywność cylindrycznej głowicy odłamkowej

Robert Panowicz, Marcin Konarzewski, Michał Trypolin

Katedra Mechaniki i Informatyki Stosowanej, Wojskowa Akademia Techniczna  
email: rpanowicz@wat.edu.pl, mkonarzewski@wat.edu.pl, michal.trypolin@gmail.com

**STRESZCZENIE:** W artykule zaprezentowano wyniki analiz numerycznych wpływu typu zastosowanego materiału pędnego na efektywność elementu rażącego głowicy odłamkowej wykorzystywanej do zwalczania pocisków kumulacyjnych. Rozważono cztery typowe materiały wybuchowe: kompozycję B, oktogen, C4 oraz trotyl. Głowica odłamkowa miała kształt cylindra o średnicy 80 mm, długości 100 mm i składała się z obudowy zewnętrznej, obudowy wewnętrznej, ładunku wybuchowego oraz elementu rażącego. Element rażący zbudowany był ze stalowych kulek o średnicy 5 mm zatopionych w żywicy epoksydowej. W celu poprawnego opisu przebiegu procesu fragmentacji zastosowano podejście ALE (ang. arbitrary Lagrangian-Eulerian) wraz z FSI (ang. fluid-structure interaction). Przygotowano trójwymiarowy model numeryczny głowicy odłamkowej z wykorzystaniem oprogramowania MSC Patran. Analizy numeryczne zostały przeprowadzone z użyciem jawnego schematu całkowania zaimplementowanego w solverze LS-Dyna. W wyniku przeprowadzonych analiz numerycznych wyznaczono prędkości uzyskiwane przez odłamki. Pomiarów prędkości dokonywano dla szesnastu punktów pomiarowych, rozmieszczonych równomiernie na obydwu końcach głowicy odłamkowej.

**SŁOWA KLUCZOWE:** metoda elementów skończonych, dynamika, głowica odłamkowa

### 1. Wstęp

W artykule zaprezentowano badania wpływu rodzaju zastosowanego materiału pędnego na zachowanie się głowicy odłamkowej. Głowica odłamkowa jest jednym z głównych elementów aktywnego systemu obrony pojazdów wojskowych przez pociskami z głowicami kumulacyjnymi.

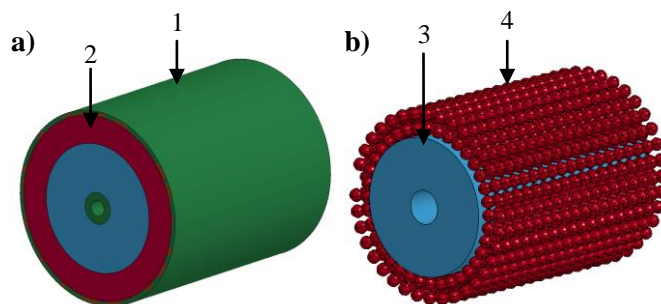
Celem aktywnego systemu obrony jest wykrycie a następnie zneutralizowanie zbliżającego się pocisku. Proces ten może odbywać się na dwa sposoby [1]:

- poprzez wpłynięcie na systemy elektroniczne pocisku i zakłócenie jego system naprowadzania,
- poprzez uszkodzenie/zniszczenie pocisku, które powoduje fizyczne zakłócenie procesu tworzenia się strumienia kumulacyjnego poprzez uszkodzenie wkładki kumulacyjnej, materiału wybuchowego, obudowy lub zapalnika.

Prezentowana w artykule cylindryczna głowica odłamkowa (rys. 1) jest częścią systemu, którego celem jest fizyczne uszkodzenie zbliżającego się zagrożenia. W wyniku detonacji materiału wybuchowego dochodzi do napędzenia elementu rażącego oraz jego fragmentacji. W wyniku tego procesu wygenerowana zostaje chmura odłamków, której celem jest uszkodzenie nadlatującego pocisku. W celu uzyskania optymalnych parametrów rozlotu odłamków (ich prędkości oraz rozkładu przestrzennego) niezbędne jest między innymi odpowiednie dobranie parametrów zastosowanego materiału pędnego.

### 2. Model głowicy odłamkowej

W celu przeprowadzenia analiz numerycznych przygotowano model numeryczny cylindrycznej głowicy odłamkowej, składającej się z obudowy zewnętrznej, materiału wybuchowego oraz elementu rażącego. Element rażący zbudowany jest ze stalowych kulek o średnicy 5 mm zatopionych w żywicy. Do przeprowadzenia analiz wykorzystano podejście ALE, konieczne było więc zamodelowanie powietrza otaczającego cały układ [2-3].



Rys. 1. Model numeryczny cylindrycznej głowicy odłamkowej; a) widok ogólny, b) odłamki, bez żywicy, wraz z materiałem wybuchowym; 1 – obudowa, 2 – element rażący (odłamki zatopione w żywicy), 3 – materiał wybuchowy, 4 – odłamki w postaci kulek

Zachowanie się materiału, z którego wykonane zostały kulki, zostało zamodelowane z wykorzystaniem biliniowego modelu materiałowego, z kolei materiał obudowy odwzorowano z użyciem uproszczonego modelu Johnsona-Cooka [3].

W analizach numerycznych przebadano wpływ czterech materiałów pędnych: oktogen (HMX), kompozycję B, C4 oraz trotyl (TNT) na proces fragmentacji i napędzenia odłamków. Wykorzystane w obliczeniach związane z procesem detonacji i propagacji produktów detonacji przedstawiono w tab.1-2.

Tabela 1. Parametry fali detonacyjnej wybranych materiałów wybuchowych w punkcie CJ [4]

Nazwa	P <sub>cj</sub> [GPa]	P [kg/mm <sup>3</sup> ]	e <sub>c</sub> [GPa]	D [mm/ms]
Komp. B	29,5	1,717e-6	8,5	7980
HMX	42	1,891e-6	10,5	9110
TNT	21	1,630e-6	6	6930
C4	28	1,601e-6	9	8190

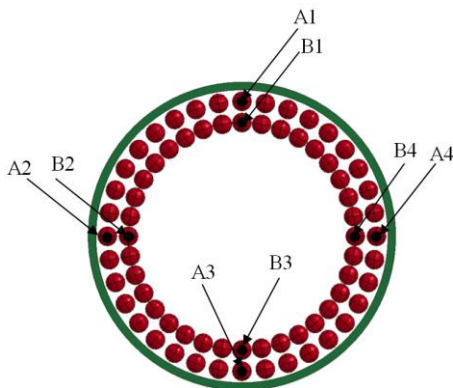
Tabela 2. Parametry równania stanu JWŁ wybranych materiałów wybuchowych [4]

	A [GPa]	B [GPa]	C [GPa]
<b>Komp. B</b>	524,2	7,678	1,082
<b>HMX</b>	778,3	7,071	0,643
<b>TNT</b>	373,8	3,747	0,734
<b>C4</b>	609,77	12,95	1,043
	<b>R<sub>1</sub></b>	<b>R<sub>2</sub></b>	<b>ω</b>
<b>Komp. B</b>	4,2	1,1	0,34
<b>HMX</b>	4,2	1	0,3
<b>TNT</b>	4,15	0,9	0,35
<b>C4</b>	4,5	1,4	0,25

### 3. Analizy numeryczne

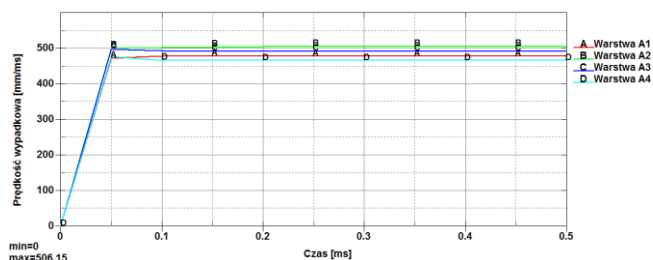
W trakcie analiz numerycznych badano proces fragmentacji cylindrycznej głowicy odłamkowej oraz napędzania i rozlotu odłamków. Dla wszystkich rozpatrywanych przypadków określano prędkość uzyskiwaną przez odłamki dla szesnastu punktów pomiarowych rozmieszczonych równomiernie na obydwu końcach głowicy odłamkowej, w górnej oraz dolnej warstwie (rys. 2).

Inicjacja materiału wybuchowego następowała na brzegu głowicy w pobliżu jej osi.

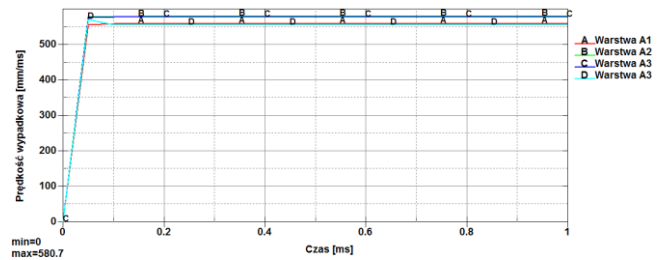


Rys. 2. Położenie punktów pomiarowych

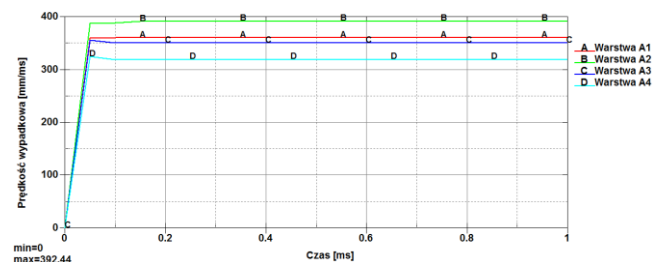
Na podstawie przeprowadzonych analiz numerycznych określono maksymalne prędkości odłamków dla czterech różnych materiałów wybuchowych (rys. 3-5). Największą wartość prędkości uzyskano dla oktogenu i wyniosła ona około 580 m/s zarówno dla lewego jak i prawego końca głowicy odłamkowej (tabela 3). Materiał ten, spośród wszystkich rozpatrywanych, charakteryzuje się najwyższym ciśnieniem w punkcie Chapmana-Jougeta oraz największą prędkością detonacji.



Rys. 3. Prędkość odłamków na wysokości punktu detonacji - materiał pędny kompozycja B



Rys. 4. Prędkość odłamków na wysokości punktu detonacji - materiał pędny HMX



Rys. 5. Prędkość odłamków na wysokości punktu detonacji - materiał pędny TNT

Tabela 3. Zestawienie maksymalnych wartości prędkości

	Warstwa	Komp. B	HMX	TNT	C4
Prędkość kulek w miejscu detonacji [m/s]	Górna	506	580	392	570
	Dolna	444	527	341	547
Prędkość kulek na drugim końcu głowicy [m/s]	Górna	496	584	381	401
	Dolna	434	530	323	435

### 4. Podsumowanie

Przeprowadzone analizy numeryczne pokazują jak duży wpływ na efektywność głowicy odłamkowej, charakteryzowaną m.in. przez prędkość odłamków ma zastosowanie różnych materiałów pędnych. Różnica pomiędzy maksymalną a minimalną uzyskaną wartością wynosi około 32%.

*Praca została wykonana w ramach projektu BIO/031/13249/2013, finansowanego przez NCBiR.*

### Literatura

- [1] Vivek R., Roopchand J., *Active Protection System for AFV application – Current trends and future requirement – A study report*, International Journal of Computer Technology and Applications, vol.3
- [2] Panowicz R., Barnat W., Niezgoda T., Szymańczyk L., Grzymkowski J., *Numerical-experimental investigation of squared-based metal pyramids loaded with blast wave from a small explosives charge*, ActaMechanica et Automatica, vol. 6, s. 49-52, 2012
- [3] Hallquist J. O., *Ls-Dyna Theory Manual*, Livermore Software Technology Corporation, Livermore, 2005
- [4] Włodarczyk E., *Wstęp do mechaniki wybuchu*, PWN, Warszawa 1994.