

Analiza numeryczna właściwości dynamicznych siatkowego pocisku wirującego w locie przestrzennym*

Józef GACEK, Paweł MAZUR

*Instytut Techniki Uzbrojenia, Wydział Mechatroniki i Lotnictwa,
Wojskowa Akademia Techniczna,
ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa*

Streszczenie. W artykule przedstawiono krótką charakterystykę 40 mm naboju granatnikowego z obezwładniającym pociskiem siatkowym. Szczególną uwagę poświęcono przyjętej metodzie modelowania matematycznego ruchu pocisku na torze lotu. Otrzymane wyniki obliczeń wykorzystano do wyznaczenia podstawowych parametrów balistycznych modelu materialnego naboju, którego kolejne wersje poddane zostały poligonowym badaniom weryfikacyjnym.

Słowa kluczowe: mechanika, amunicja nieurazowa, amunicja granatnikowa, pocisk siatkowy, balistyka

Wykaz zastosowanych ważniejszych oznaczeń i zależności

$G = mg$	– siła ciężkości,
$X_a = c_x q_d S$	– siła oporu aerodynamicznego,
c_x	– współczynnik oporu czołowego,
$q_d = 0,5\rho(y_g)V_a^2$	– ciśnienie dynamiczne,
$F_r = mr\omega_x^2$	– siła odśrodkowa,
$F_t = F(\rho_s, \mu_s)$	– siła oporu rozczalania pocisku,

* Artykuł był prezentowany na VIII Międzynarodowej Konferencji Uzbrojeniowej nt. „Naukowe aspekty techniki uzbrojenia i bezpieczeństwa”, Pułtusk, 6-8 października 2010 r.

$Y_a = F(V, r)$	– siła nośna,
ρ_s	– współczynnik gęstości upakowania siatki wewnątrz pocisku,
μ_s	– współczynnik tarcia włókien siatki,
r_0	– odległość środka masy segmentu od podłużnej osi symetrii pocisku w chwili wylotu z lufy.

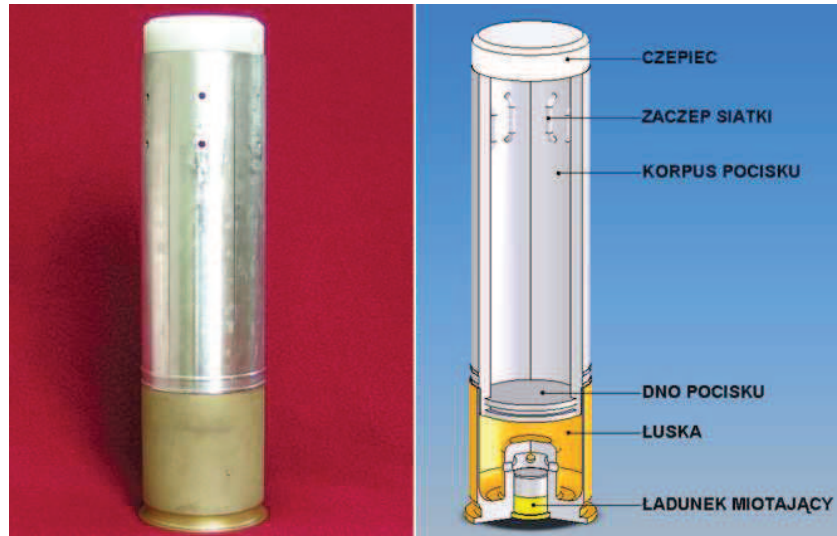
1. WSTĘP

W ostatnich latach w kraju prowadzone są prace nad rozwojem uzbrojenia, które określane jest mianem broni nieurazowej (*Non Lethal Weapon* lub *Less Lethal Weapon*). Jednym z przykładów tego typu broni jest znajdujący się w fazie badań 40x46 mm nabój granatnikowy z obezwładniającym pociskiem siatkowym (NSBO), który jest przewidziany jako składnik grupy amunicji granatnikowej przeznaczonej między innymi do nowego – 40 mm granatnika produkcji Z. M. DEZAMET S.A. w Nowej Dębie.

Trudność w zaprojektowaniu takiego naboju wynika głównie z braku wcześniejszych doświadczeń w konstruowaniu tego rodzaju układów dynamicznych. Brakuje również publikacji oraz podobnych rozwiązań w skali światowej. Z uwagi na niejawny charakter problematyki, także w dostępnej literaturze przedmiotu nie spotyka się informacji na temat ewentualnych podobnych rozwiązań konstrukcyjnych tego rodzaju pocisków obezwładniających.

2. MODEL MATERIALNY I ZASADA DZIAŁANIA TESTOWEGO POCISKU OBEZWŁADNIAJĄCEGO

Całkowicie oryginalną budowę modelu materialnego badanego naboju przedstawiono na rysunku 1. Cechą charakterystyczną pocisku do naboju NSBO jest korpus złożony z sześciu identycznych segmentów, tworzących po złożeniu tuleję. W jej tylnej części, na powierzchni zewnętrznej, znajduje się pierścień wiodący. Wewnątrz przewidziano możliwość umieszczenia zwiniętej siatki o kształcie sześciokąta wpisanego w okrąg o średnicy 3,5 m. Każde z naroży siatki połączone jest z zaczepem znajdującym się na wewnętrznej powierzchni odpowiedniego segmentu. Na przednią część pocisku nałożony jest czepiec łączący wszystkie segmenty w całość, natomiast tylna część jest zaślepiona dnem i obciśnięta w łusce.



Rys. 1. Od lewej kolejno: odmiana modelu badawczego 40x46 mm SR naboju NSBO, przekrój częściowy (bez siatki), (opracowanie własne)

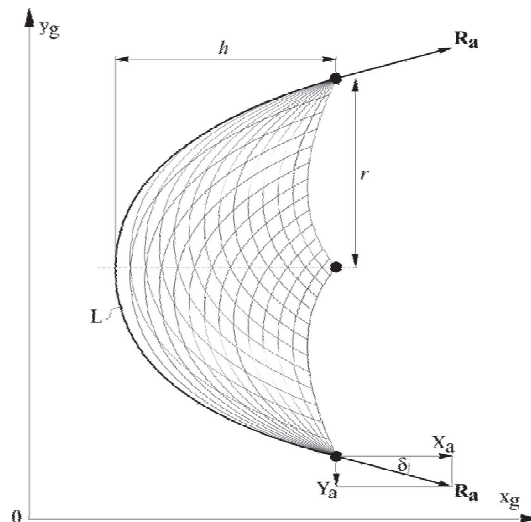
Fig. 1. From left: model of 40x46 mm SR round NSBO used for firing, cross section of cartridge (without the net)

W chwili strzału pociskowi nadawany jest ruch postępowy i obrotowy. Po wylocie z lufy, segmenty osobno kontynuują ruch po trajektorii zgodnej z wypadkową działającą na nie siły odśrodkowej i sił aerodynamicznych, rozciągając jednocześnie siatkę obezwładniającą.

Zgodnie z pracą [1], przyjęto dla włókien siatki obezwładniającej współczynnik oporu czołowego $C_x \approx 1,4$. Założono również, że siatka na torze lotu przyjmie kształt paraboloidy (rys. 2), której tworzącą jest tzw. „łańcuchowa” (ang. *catenary*) – szczególny przypadek paraboli.

Siła reakcji R_a wynikająca z oporu aerodynamicznego tego rodzaju bryły będzie działać stycznie do tworzącej w miejscu zamocowania każdego z segmentów pocisku. Znając długość tworzącej L i głębokość czaszy paraboloidy h , wartość kąta δ można wyznaczyć ze wzoru:

$$\delta = \text{arcctg} \frac{L \cdot h}{\left(\frac{L}{2}\right)^2 - h^2} \quad (1)$$



Rys. 2. Schemat do wyznaczenia składowych siły oporu aerodynamicznego siatki w układzie współrzędnych związanym Ox_gy_g (opracowanie własne)

Fig. 2. Diagram for defining of net air drag force components in Ox_gy_g coordinate system

3. MODEL MATEMATYCZNY SIATKOWEGO POCISKU OBEZWŁADNIAJĄCEGO

W celu przeprowadzenia analizy ruchu rozpatrywanego pocisku na torze lotu, sformułowano model matematyczny (2) i (3) uwzględniający główne siły oddziałujące na elementy pocisku w czasie lotu [2].

$$\left. \begin{aligned} m \frac{dV}{dt} &= -X_a - G \sin \vartheta \\ mV \frac{d\vartheta}{dt} &= -G \cos \vartheta - (F_r - F_t - Y_a) \cos \gamma \\ -mV \cos \vartheta \frac{d\psi}{dt} &= (F_r - F_t - Y_a) \sin \gamma \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

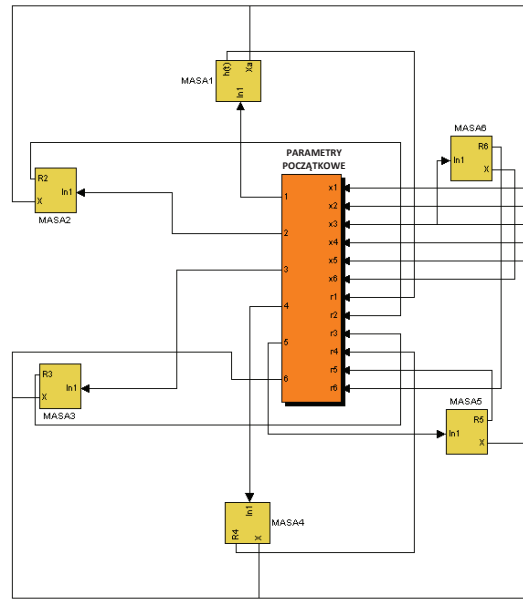
$$\left. \begin{aligned} \frac{dx_g}{dt} &= V_{x_g} = V \cos \vartheta \cos \psi \\ \frac{dy_g}{dt} &= V_{y_g} = V \sin \vartheta \\ \frac{dz_g}{dt} &= V_{z_g} = -V \cos \vartheta \cos \psi \\ \frac{d\varphi}{dt} &= \omega_x = \frac{r_0^2}{r^2} \omega_0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

4. MODEL NUMERYCZNY ROZPATRYWANEGO POCISKU

Model matematyczny uzupełniono o zależności opisujące zmianę właściwości aerodynamicznych siatki w zależności od jej geometrii w czasie lotu. Zagadnienie to jest szczególnie istotne już podczas strzelania przy nawet stosunkowo niewielkim kącie rzutu ($\theta_0 > 1^\circ$). Związane jest ono ze zjawiskiem odwrotnym do efektu salwowego, czyli ruchem grupy punktów materialnych po różnych trajektoriach, lecz wystrzelonych z tej samej lufy w tej samej chwili. W rezultacie, rzut współrzędnej środka masy segmentów pocisku na oś podłużną Ox_g , poruszających się po dolnej trajektorii przyrasta szybciej niż pozostałych. Powstała w ten sposób asymetria paraboloidy skutkuje nierównomiernym rozkładem siły oporu aerodynamicznego generowanego przez rozpostartą siatkę przypadającą na poszczególne segmenty pocisku.

Mniej istotna, ale warta uwagi jest różnica wartości oraz faz cyklu zmiany kątów natarcia poszczególnych segmentów korpusu pocisku, które w dużym przybliżeniu zostały zamodelowane jako prostokątne płytki o znanych wymiarach i orientacji w przestrzeni w danej chwili.

Równania dynamiczne (2), związki kinematyczne (3) oraz wyżej wymienione zależności geometryczne zapisano w postaci bloków obliczeniowych w środowisku oprogramowania Matlab – Simulink w taki sposób, że każdy z sześciu bloków głównych odpowiada za obliczanie parametrów ruchu przypisanego mu segmentu korpusu pocisku (rys. 3).



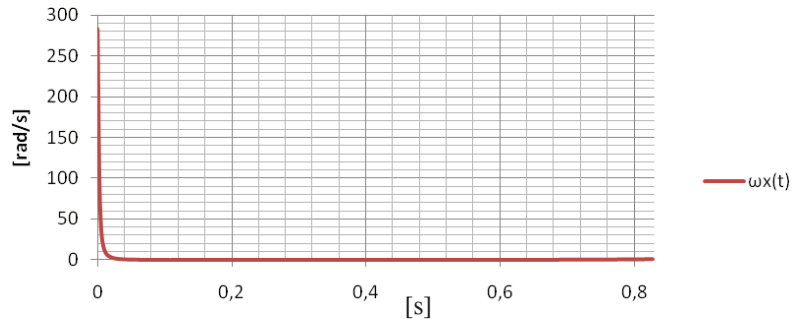
Rys. 3. Widok głównych bloków algorytmu symulacji numerycznej parametrów lotu pocisku siatkowego w programie Matlab – Simulink (opracowanie własne)

Fig. 3. Main blocks of numerical simulation of net round flight parameters in Matlab – Simulink

Blok centralny zawiera parametry początkowe ruchu pocisku oraz odpowiada między innymi za obliczanie na podstawie sprzężenia zwrotnego z bloków głównych kierunku średniego wektora prędkości pocisku, na którego przedłużeniu znajduje się w danej chwili wierzchołek paraboloidy formowanej przez rozpostartą siatkę obezwładniającą. Podstawa paraboloidy wyznaczana jest przez sześć punktów będących środkami masy każdego z segmentów rozpatrywanego pocisku. Znając jej geometrię w danej chwili, obliczany jest kąt nachylenia stycznej δ do osi Ox_g (rys. 2), dzięki czemu możliwy jest rozkład wektora oporu aerodynamicznego siatki R_a na odpowiednie składowe.

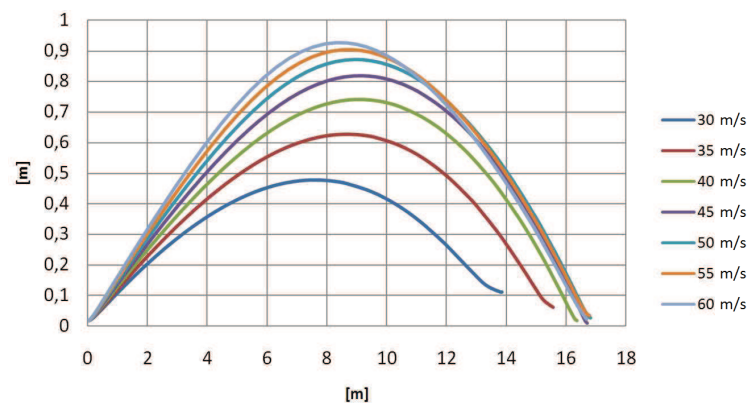
Zobrazowane w postaci wykresów wyniki analizy znacznie usprawniają badanie wpływu wybranych parametrów na trajektorię lotu rozpatrywanego pocisku.

Na wykresie przedstawionym na rysunku 4 pokazano przebieg prędkości wirowania rozpatrywanego pocisku siatkowego w funkcji czasu. Stroma charakterystyka wynika z prawa zachowania krętu i jest związana ze stosunkiem początkowego promienia wirowania środka masy pojedynczego segmentu korpusu pocisku ($18 \div 19$ mm) do wartości promienia maksymalnego ($1200 \div 1500$ mm).



Rys. 4. Wykres prędkości obrotowej segmentów pocisku ω_x względem chwilowej osi obrotu pocisku w funkcji czasu

Fig. 4. Graph of projectile segments spin velocity ω_x in reference to temporary longitudinal axis of projectile versus time



Rys. 5. Wyniki symulacji trajektorii lotu pojedynczego segmentu korpusu pocisku w zależności od wartości prędkości wylotowej (V_0)

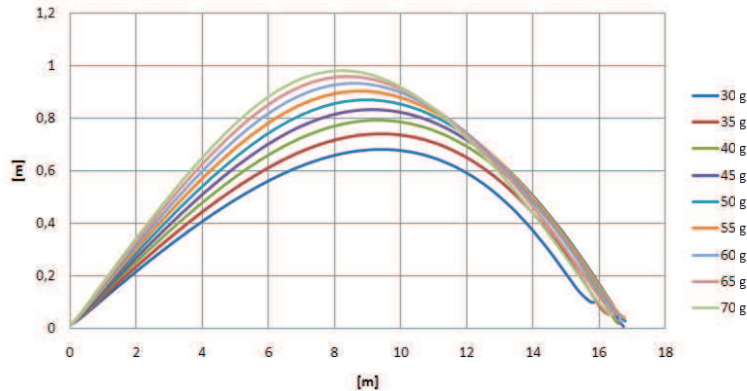
Fig. 5. Results of single projectile segment trajectory depending on its initial velocity (V_0)

Wykres przedstawiony na rysunku 5 zawiera wyniki serii obliczeń przeprowadzonych dla pojedynczego segmentu korpusu pocisku przy wartościach prędkości wylotowej w przedziale od 30 do 60 m/s. Oś rzędnych przedstawia odległość wybranego segmentu pocisku od chwilowej osi obrotu zespołu siatki wraz z segmentami korpusu. Na osi odciętych zaznaczono donośność pocisku.

Łatwo można zauważyć, że w przypadku naboju z pociskiem siatkowym o przedstawionej konstrukcji, zwiększanie prędkości wylotowej jest uzasadnione jedynie do wartości około 45÷50 m/s.

Wystrzeliwanie pocisku z większą prędkością nie przynosi wyraźnych efektów w postaci korzystniejszego rozpostarcia siatki na torze lotu. Pozostaje również niemal bez wpływu na donośność siatki. Powoduje natomiast zwiększenie odrzutu broni oraz energii kinetycznej segmentów pocisku, która jest w rozważanym przypadku zjawiskiem niekorzystnym z uwagi na bezpieczeństwo zarówno osoby obezwładnianej, jak i otoczenia.

Podobne wnioski można wyciągnąć z analizy wyników przedstawionych na wykresie (rys. 6).

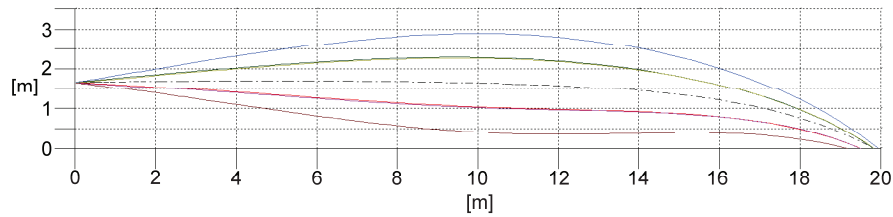


Rys. 6. Wyniki symulacji trajektorii lotu pojedynczego segmentu korpusu pocisku w zależności od jego masy (m_s)

Fig. 6. Results of single projectile segment trajectory depending on its mass (m_s)

W tym przypadku parametrem zmiennym była masa pojedynczego segmentu korpusu pocisku. Jakkolwiek cięższe segmenty pocisku są mniej wrażliwe na drobne zaczepy powstające w początkowej fazie rozwijania siatki w wyniku tarcia jej linek o węzły oraz lepiej stabilizują rozpostartą siatkę na torze lotu, to jednak należy zadbać, aby ich masa nie była większa niż jest to konieczne. Powodem jest wspomniane wcześniej bezpieczeństwo osób oraz względy konstrukcyjne pocisku. Cięższy pocisk charakteryzuje się między innymi większym masowym momentem bezwładności, prowadzącym w skrajnych przypadkach do zerwania pierścienia wodącego.

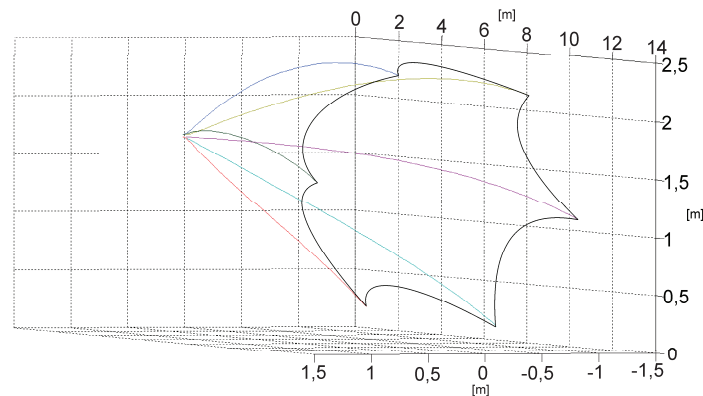
Rzut trajektorii lotu pocisku siatkowego o parametrach dobranych na podstawie wyników badań doświadczalnych i eksperymentalnych, na płaszczyźnie Ox_y pokazano na rysunku 7.



Rys. 7. Wyniki symulacji trajektorii lotu pocisku siatkowego

Fig. 7. Example of simulation results of projectile segments trajectory

W celu lepszego zobrazowania zasady działania rozważanego pocisku wygodniej jest przedstawiać przebiegi trajektorii poszczególnych segmentów korpusu pocisku na wykresach trójwymiarowych (rys. 8).



Rys. 8. Wyniki symulacji trajektorii lotu pocisku siatkowego

Fig. 8. Example of simulation results of projectile segments trajectory

5. WNIOSKI

Pomimo iż w większości przypadków analiza numeryczna umożliwia odzwierciedlenie warunków rzeczywistych jedynie z określoną dokładnością, w przedstawionym przypadku narzędzie to okazało się bardzo wydajnym i efektywnym sposobem wspomagania procesu projektowania i optymalizacji konstrukcji.

Opracowany algorytm analizy numerycznej, już częściowo zweryfikowany na podstawie wyników przeprowadzonych dotychczas badań doświadczalnych, może zostać w przyszłości wykorzystany do analizy ruchu innych układów balistycznych o podobnej strukturze.

Artykuł zawiera wyniki pracy finansowanej ze środków na naukę w latach 2008-2010 jako projekt badawczy promotorski nr ON501003634.

LITERATURA

- [1] Fridman A.L., Carrothers P.J.G., *Calculations for Fishing Gear Design*, Food and Agriculture Organization of the United Nations by Fishing News Books Ltd. Farnham, Surrey, England, 1986.
- [2] Gacek J., *Balistyka zewnętrzna*, cz. 1, Wydawnictwo WAT, Warszawa, 1998.
- [3] Torecki S., *Balistyka wewnętrzna*, Wydawnictwo WAT, Warszawa, 1983.

Numerical Analysis of Net Round Dynamic Properties During Flight in the Space

Józef GACEK, Paweł MAZUR

Abstract. This paper shows a short description of 40 mm net round with non-lethal net projectile. A closer attention has been paid for methodology of mathematical modeling of projectile flight. The calculation results was used to define of basic ballistic parameters of several variants projectile models used for life tests.

Keywords: mechanics, non-lethal ammunition, grenade round, net projectile, ballistics