

ANALIZA NUMERYCZNA WŁAŚCIWOŚCI DYNAMICZNYCH SIATKOWEGO POCISKU WIRUJĄCEGO

Streszczenie: W artykule przedstawiono wybrane założenia konstrukcyjne, krótki opis budowy, przyjętą metodykę i wyniki numerycznej symulacji lotu wirującego pocisku siatkowego do prototypowego naboju granatnikowego 40 x 46 mm SR. Nabój aktualnie znajduje się w fazie badań w Wojskowej Akademii Technicznej.

NUMERICAL ANALYSIS OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF SPIN DEPLOYED NET ROUND

Abstract: The main construction requirements, short technical specification and description of numerical method used for spin deployed net grenade flight simulation and some obtained results as well are included into this paper. The grenade, designed for prototype 40 x 46 mm SR grenade round, is currently being tested in Military University of Technology.

1. Wstęp

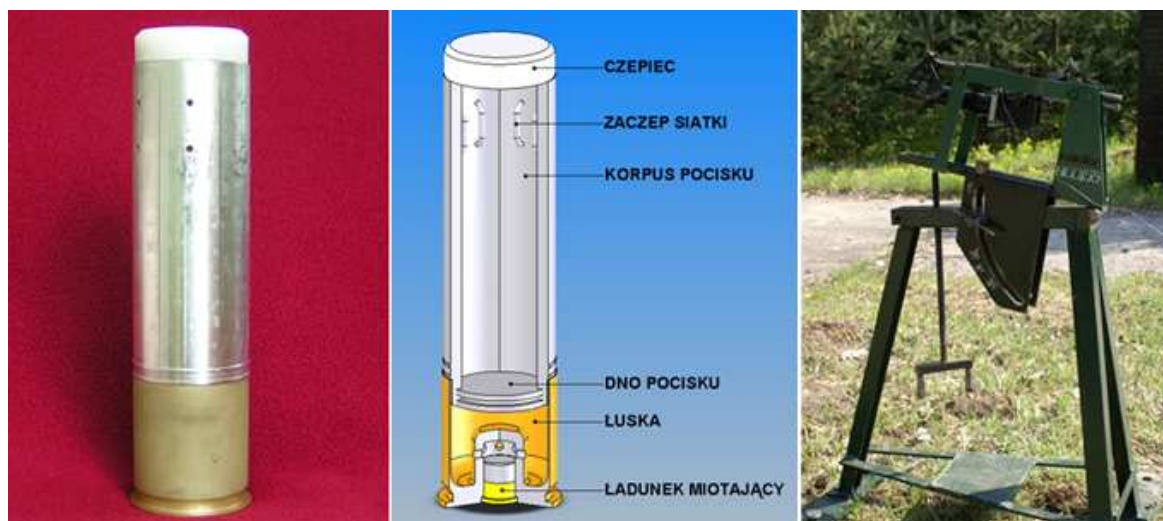
W ostatnich latach obserwuje się intensywny rozwój w obszarze nieurazowych środków obezwładniających. Również w Instytucie Techniki Uzbrojenia Wojskowej Akademii Technicznej prowadzone są prace nad nowatorskim rozwiązaniem pocisku granatnikowego, polegającym na wykorzystaniu do rozwijania siatki obezwładniającej na torze jej lotu siły odśrodkowej wywołanej ruchem wirowym pocisku. To zjawisko fizyczne, powszechnie wykorzystywane w budowie zapalników nie znalazło dotychczas zastosowania w żadnej ze znanych konstrukcji układu przeznaczonego do miotania siatki obezwładniającej.

Nowy 40mm nabój granatnikowy z pociskiem siatkowym (NSBO) będzie częścią wdrożonego do uzbrojenia Systemu Broni i Amunicji Obezwładniającej (SBAO-40).

2. Budowa pocisku siatkowego

Pocisk naboju NSBO (rys. 1) posiada skorupę złożoną z sześciu identycznych segmentów, tworzących po złożeniu tuleję. W tylnej części, na jej powierzchni zewnętrznej, znajduje się pierścień wiodący. Wewnątrz przewidziano miejsce dla zwiniętej siatki, która ma formę sześciokąta wpisanego w okrąg o średnicy 3,5 m. Każde z jej naroży połączone jest z zaczepem znajdującym się na wewnętrznej powierzchni odpowiedniego segmentu. Na przednią część nałożony jest czepiec łączący wszystkie segmenty w całość. Tylna część jest zaślepiona dnem i obciśnięta w łusce. W chwili strzału pociskowi nadawany jest ruch postępowy i obrotowy. Po wylocie z lufy, segmenty osobno kontynuują ruch po trajektorii

wyznaczonej przez wypadkową sił działających na każdy z segmentów pocisku w danej chwili. Siatka wykonana jest wysokowytrzymałej plecionki o przekroju poprzecznym 0.40 mm i wytrzymałości na zerwanie $> 1000 \text{ N/mm}^2$.



Rys. 1. Od lewej kolejno: 40 x 46 mm SR prototypowy NSBO, przekrój częściowy (bez siatki), stanowisko badawcze do prób dynamicznych, [opr. wł.]

3. Podstawowe wymagania balistyczno użytkowe opracowywanego NSBO

Parametrem nadrzędnym projektowanego pocisku musi być jego niezawodność. W związku z tym konstrukcja pocisku powinna posiadać prostą budowę i składać się z możliwie niewielkiej liczby części przy jednoczesnym zachowaniu ich technologiczności i niskiej wrażliwości całej konstrukcji na drobne niedokładności wykonawcze.

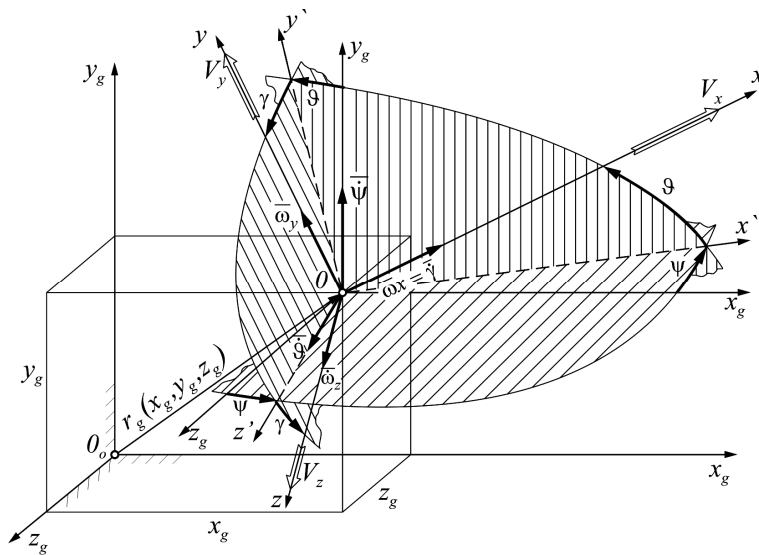
Założono że podstawowym kryterium które będzie wskaźnikiem prawidłowego dobrania parametrów projektowanego naboju będzie rozwijanie siatki na torze lotu do średnicy $\geq 2,6 \text{ m}$, a więc odpowiadającej 150% obeszwałdanej sylwetki o wzroście 1,75 m. Siatka powinna utrzymywać ten parametr na odcinku $\geq 5 \text{ m}$. Jednocześnie założono że kwestią priorytetową będzie optymalizacja prędkości wylotowej pocisku prowadząca do utrzymania energii kinetycznej segmentów składających się na korpus pocisku na możliwie niskim poziomie. To oznacza, że konstrukcja pocisku powinna zapewniać jego swobodne rozczalenie po wylocie z lufy, zaś sposób złożenia siatki powinien zostać dobrany w taki sposób, aby rozwijanie siatki odbywało się z najmniejszymi stratami energii segmentów.

Segmenty pocisku nie powinny posiadać żadnych ostrych naroży i krawędzi które mogłyby spowodować uszkodzenie ciała obeszwałdanej osoby w wyniku przypadkowego trafienia.

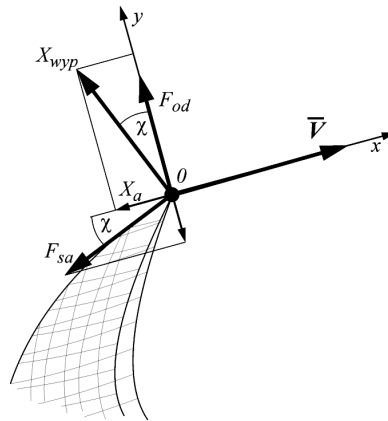
4. Modelowanie

4.1 Model matematyczny

Do rozwiązania problemu głównego balistyki zewnętrznej wykorzystano model matematyczny ruchu pocisku w układzie współrzędnych związanym z trajektorią $Oxyz$, który złożony jest z układu trzech równań dynamicznych (1) i układu czterech równań (2) opisujących związku kinematyczne [1]:



Rys. 2. Przyjęty schemat ruchu przestrzennego w nominalnych warunkach strzelania w układzie związanym 0xyz (opracowanie własne na podstawie [[1]])



Rys. 3. Schemat do wyznaczenia składowych siły oporu aerodynamicznego siatki w układzie związanym 0xyz (opracowanie własne)

$$\left. \begin{aligned} m \frac{dV}{dt} &= -X_a - G \sin \vartheta \\ mV \frac{d\vartheta}{dt} &= -G \cos[\vartheta - (F_{od})] - F_r - F_s \sin \chi \cos \gamma \\ -mV \cos \vartheta \frac{d\psi}{dt} &= (F_{od} - F_r - F_s \sin \chi) \sin \gamma \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

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

gdzie:

$$\begin{aligned}
 G &= m \cdot g \\
 X &= c_x \cdot q_d \cdot S \\
 q_d &= 0,5 \rho (h) V_a^2 \\
 F_{od} &= m r \omega^2 \\
 F_r &= F(\rho_s) \mu_s \\
 F_s &= F(V, r)
 \end{aligned}$$

Siła rozcalania pocisku siatkowego oznaczona jako F_r jest zmienna w czasie i oprócz sposobu ułożenia względem siebie warstw siatki, zależy głównie od gęstości upakowania siatki ρ_s oraz współczynnika tarcia materiału siatki μ_s .

Rozwinięta siatka przyjmuje na torze lotu kształt czaszy, której tworzącą jest parabola. Włókna siatki przenoszą siłę wzajemnego oddziaływania segmentów korpusu pocisku F_s . Zwrot wektora tej siły skierowany jest w kierunku osi podłużnej siatki, zaś jego kierunek pokrywa się w każdym punkcie ze styczną do paraboli. Składową pionową tej siły wyznacza się zgodnie ze schematem pokazanym na rysunku 3. Wektor wypadkowej siły aerodynamicznej X_{wyp} zorientowany jest prostopadłe do siły F_s . Chwilowy zwrot jej wypadkowej podłużnej X_a wyznacza się według schematu pokazanego na rysunku 3. Wymiar charakterystyczny siatki dla składowej X_a jest zmienny w czasie i zależy od chwilowego promienia obrotu segmentów korpusu pocisku.

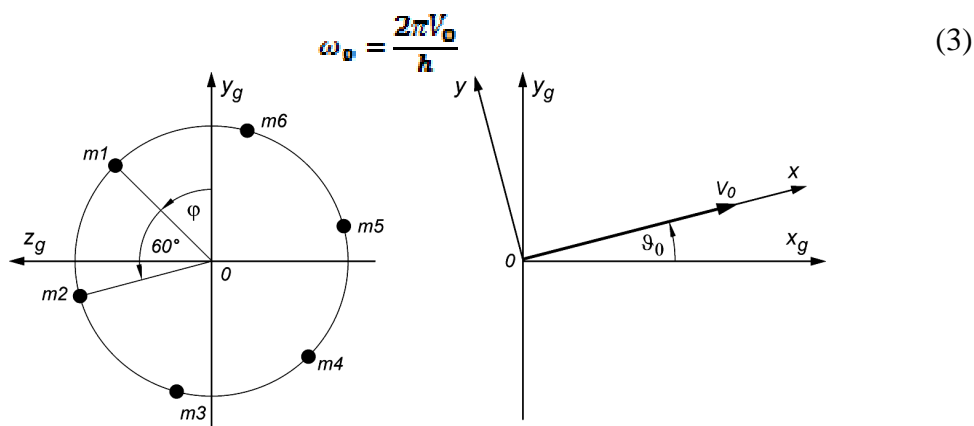
4.2 Symulacja

W celu numerycznej analizy problemu, wyprowadzone równania (1) i (2) zaimplementowano w środowisku MATLAB przy użyciu nakładki SIMULINK. Zbudowany w ten sposób algorytm służy do symulacji parametrów ruchu każdego z sześciu segmentów pocisku przy założonych warunkach brzegowych i może być również wykorzystany do analizy ruchu innych układów balistycznych o podobnej strukturze.

4.2.1 Warunki początkowe

Podstawowym rodzajem uzbrojenia przewidzianego do strzelania konstruowanym nabojem z pociskiem siatkowym jest granatnik podwieszany GPBO-40. Niektóre warunki początkowe ruchu rozpatrywanego pocisku wynikają z jego konstrukcji i pozostają ustalone.

Znając skok gwintu lufy h i prędkość wylotową pocisku V_0 możemy ze wzoru (3) obliczyć jego początkową prędkość kątową ω_0 :



Rys. 4. Schemat do określania wzajemnego położenia segmentów korpusu pocisku i kąta elewacji lufy granatnika w układzie współrzędnych $0x_gy_gz_g$

Na rysunku 4 przedstawiono schemat do wyznaczenia wzajemnego początkowego położenia segmentów korpusu pocisku i kąta elewacji lufy granatnika w układzie współrzędnych związanych z Ziemią $0x_g y_g z_g$. Kąt pomiędzy sąsiednimi segmentami jest stały i wynosi 60° . Wartość kąta φ_0 zawiera się w zakresie $(0 \div 60)^\circ$ i w warunkach strzelania jest przypadkowa. Z uwagi na to, że przy małych kątach elewacji, odległość na jakiej obwód siatki zetknie się z Ziemią będzie różny w zależności od tego czy odcinek łączący dwie przeciwległe masy jest równoległy czy prostopadły do osi z_g , do celów analizy numerycznej, oraz z określoną dokładnością podczas badań poligonowych, wartość ta może być zaprogramowana w zależności od oczekiwanych wyników badań.

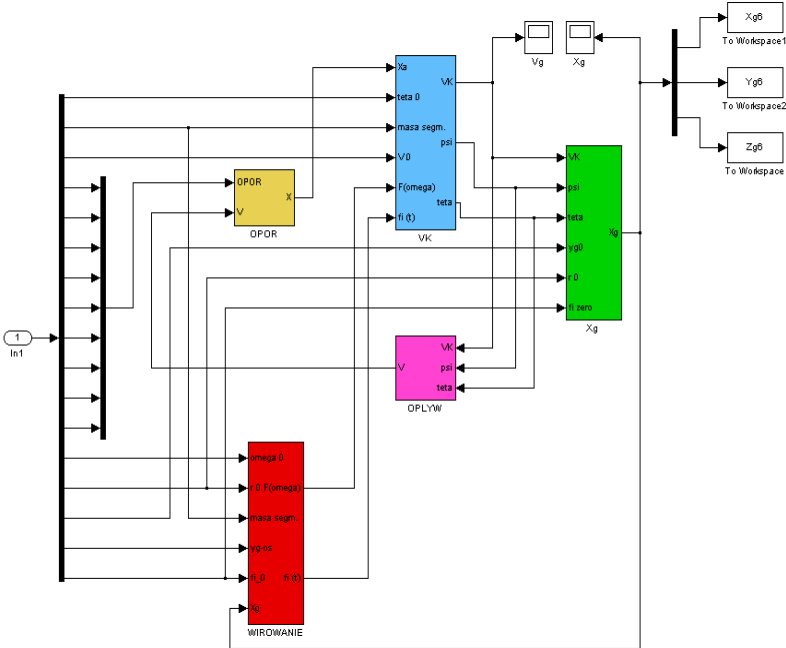
W celu uzupełnienia zbioru parametrów początkowych w rozpatrywanym przypadku określić należy dodatkowo następujące wielkości:

- r_0 – początkowa odległość środka masy segmentu od podłużnej osi symetrii pocisku;
- y_{g0} – odległość wylotu lufy od Ziemi;
- F_t – przebieg siły tarcia w funkcji gęstości włókien rozwijanej siatki;
- c_{x_siat} – współczynnik oporu czołowego siatki;
- S_{siat} – powierzchnia charakterystyczna siatki;
- c_{x_seg} – współczynnik oporu czołowego segmentu pocisku;
- S_{seg} – powierzchnia charakterystyczna segmentu pocisku.

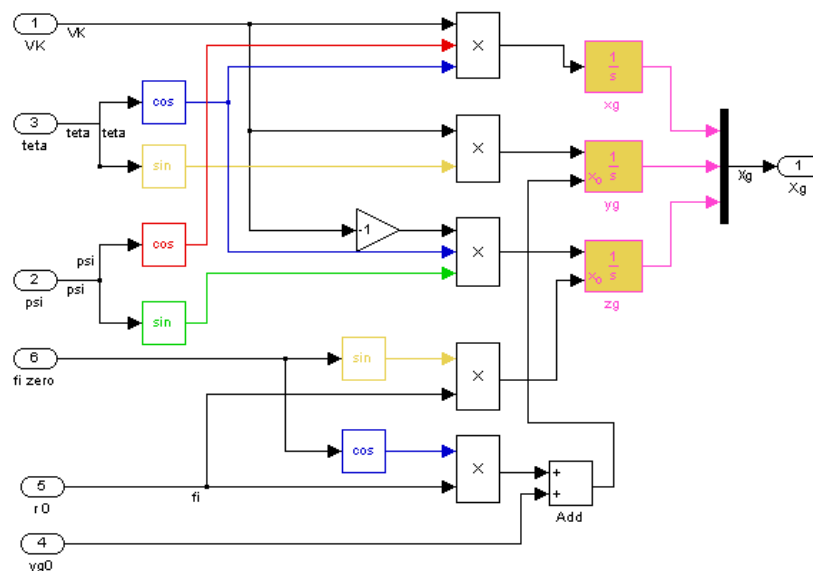
4.2.2 Algorytm

Warunki początkowe są przekazywane do poszczególnych modułów gdzie zostają przyporządkowane odpowiednio jako składowe równań (np. m , C_{x_siat} , S_{seg} , itp.) lub wartości

początkowe bloków całkujących (θ_0 , y_{g0} , ω_0 , itp.)



Rys. 5. Struktura modułu do symulacji trajektorii lotu segmentu pocisku



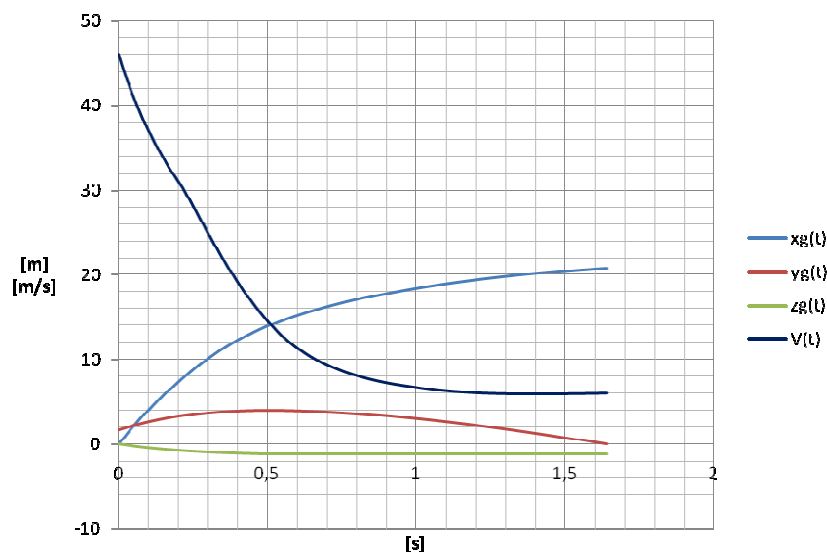
Rys. 6. Struktura modułu całkującego równania kinematyczne ruchu masy w układzie współrzędnych $0x_gy_gz_g$

Wyniki obliczeń w sposób ciągły przekazywane są w pętli jako sprzężenie zwrotne i jednocześnie zapisywane do zewnętrznego pliku w formie trzech tabel kolumnowych aż do chwili spełnienia warunku zakończenia obliczeń. Na rysunku 5 przedstawiono budowę modułu, który realizuje obliczanie trajektorii lotu przypisanego mu segmentu korpusu pocisku w układzie współrzędnych $0x_gy_gz_g$.

Na rysunku 6. przedstawiono strukturę jednego z podstawowych modułów, który służy do obliczania położenia punktu materialnego w przestrzennym układzie współrzędnych $0x_gy_gz_g$.

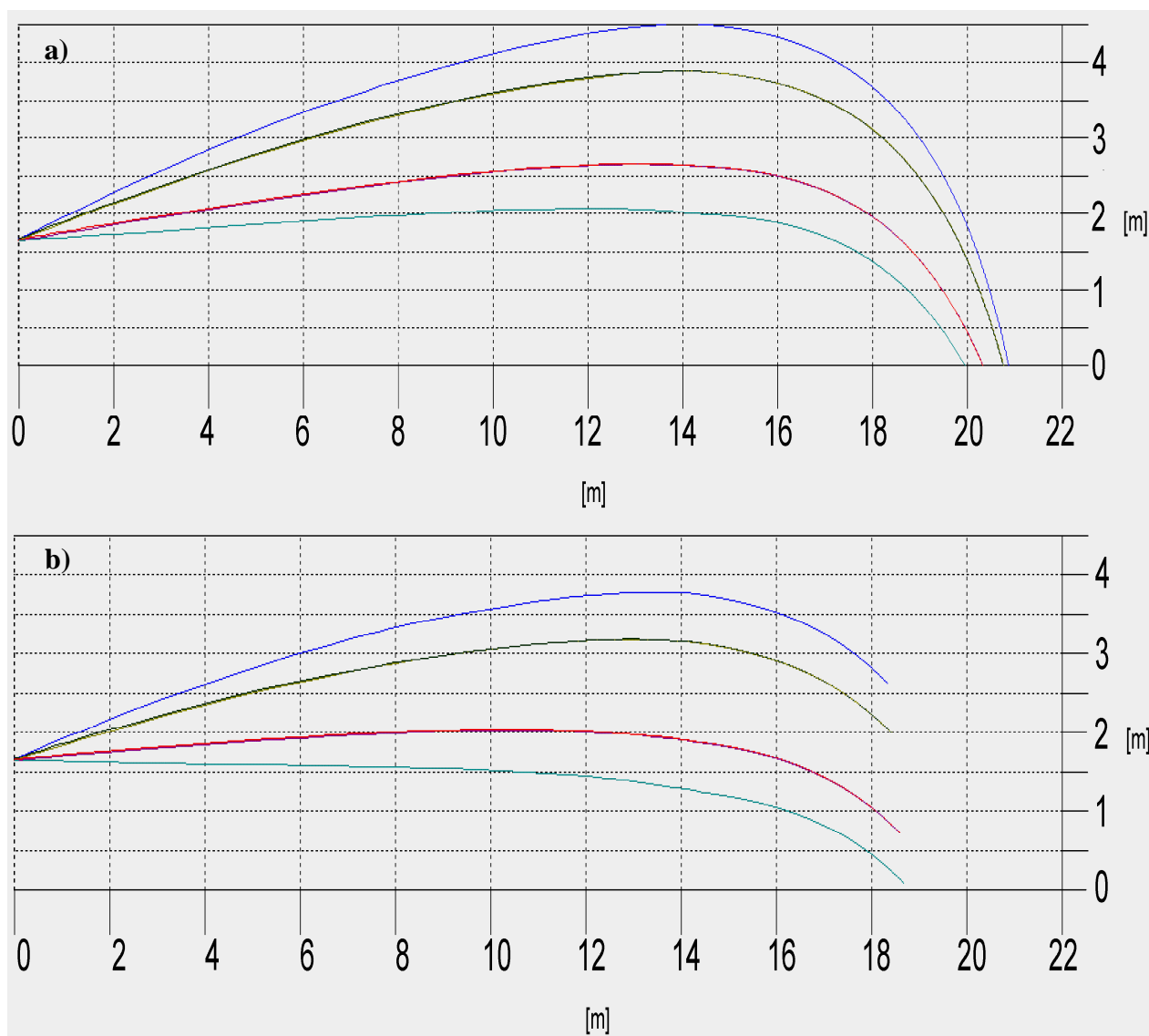
4.2.3 Wyniki

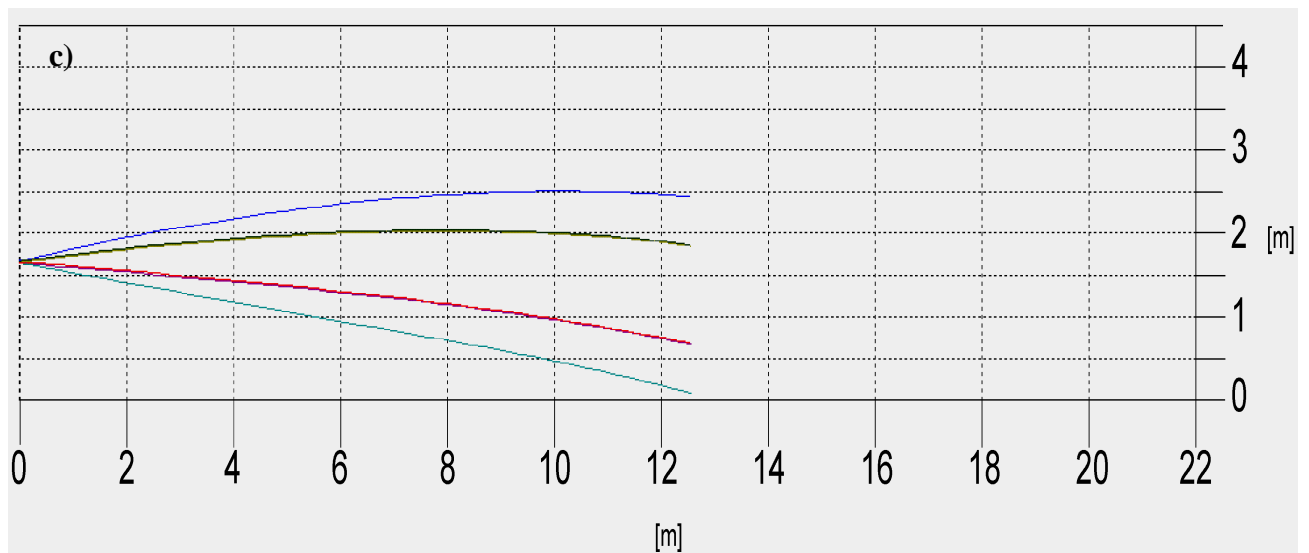
Analiza uzyskanych wyników w odniesieniu do przyjętych wymagań balistyczno-użytkowych ułatwia optymalizację konstrukcji poprzez korygowanie parametrów początkowych – głównie prędkości wylotowej i masy segmentów korpusu pocisku.



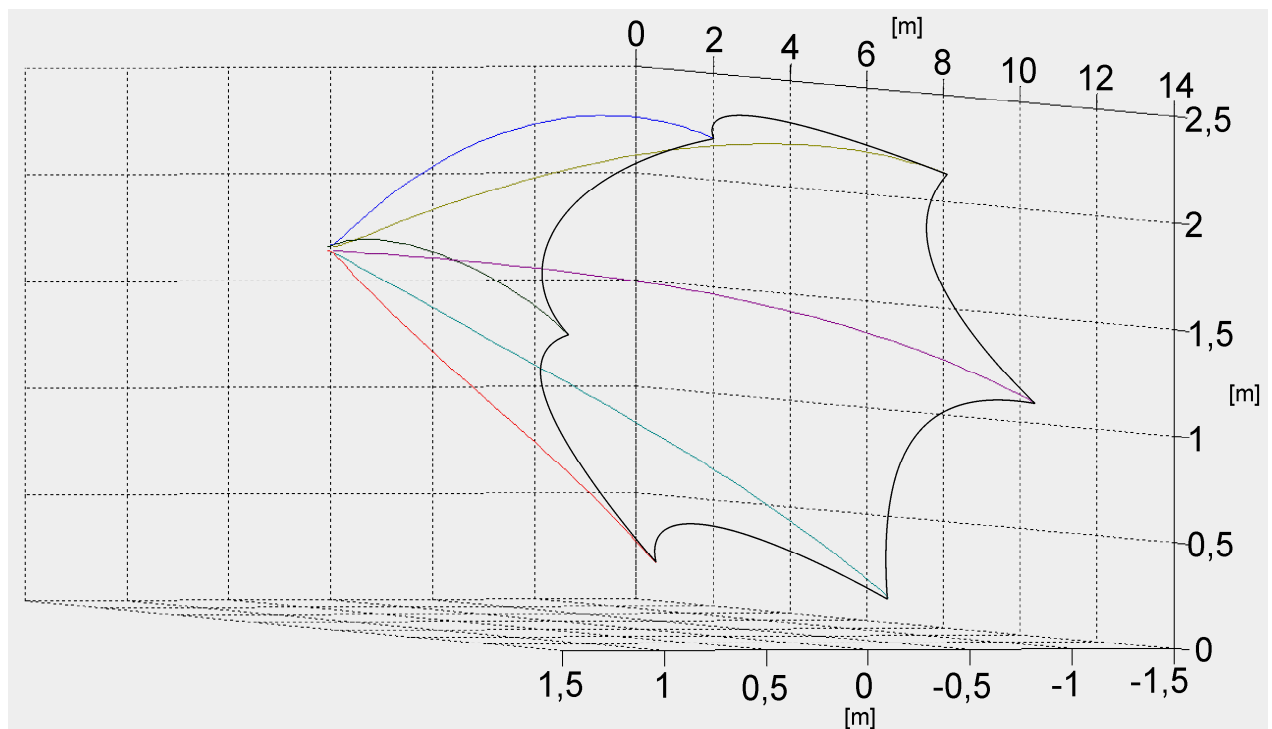
Rys. 7. Wykres prędkości i przemieszczenia pojedynczego segmentu korpusu pocisku zrzuconego na osie układu współrzędnych $0x_gy_gz_g$

Szybka i wygodna analiza wyników symulacji właściwości dynamicznych segmentów pocisku w czasie lotu umożliwia ich przedstawienie w postaci graficznej. Przykładowe wykresy przebiegu prędkości i przemieszczenia pojedynczego segmentu w funkcji czasu przedstawiono odpowiednio na rysunku 7. Posługując się tego typu wykresami, można łatwo i ze stosunkowo dużą dokładnością określić np. prędkość dowolnego z segmentów pocisku w danej chwili, a w związku z tym odpowiadającej jej odległości od wylotu lufy. Znając masę segmentu i jego prędkość w określonym punkcie toru lotu, można z kolei łatwo obliczyć wartość jego energii kinetycznej a następnie biorąc pod uwagę możliwość przypadkowego trafienia segmentem korpusu pocisku, wyznaczyć strefę bezpieczeństwa dla obezwładnianych osób. Przykładowe wyniki symulacji przedstawiono na rysunkach 8 i 9.





Rys. 8. Wyniki symulacji trajektorii lotu segmentów korpusu pocisku w układzie współrzędnych $0x_g y_g z_g$; $V_0=46$ m/s; $y_{g0} = 1,65$ m; $\varphi = -22^\circ$; masa segmentu korpusu pocisku $m = 0,050$ kg; Kąt elewacji ϑ_0 : a) 10° ; b) 7° ; c) 1°



Rys. 9. Wyniki symulacji trajektorii lotu segmentów korpusu pocisku w układzie współrzędnych $0x_g y_g z_g$ na dystansie 12,3 m od wyloty lufy;

$V_0=46$ m/s; $y_{g0} = 1,65$ m; $\varphi = 0^\circ$; $\vartheta_0 = 1^\circ$; masa segmentu korpusu pocisku $m = 0,050$ kg

5. Wnioski

Wstępne próby poligonowe prototypowych naboju granatnikowych z wirującym pociskiem siatkowym wykazały dużą zbieżność wyników przedstawionej symulacji numerycznej ze zmierzonymi parametrami lotu pocisku oraz pomiarami wykonanymi w polu jego upadku.

Z wykresu (rys. 8c) można odczytać, że przy optymalnie dobranych parametrach początkowych, założoną średnicę 2,6 m siatka osiąga w odległości 12,3 m od wylotu lufy. W odległości 18 m wymiar ten wynosi 2,75 m (rys. 8b). Różnica tych odległości wynosi więc około 6 m i jest z punktu widzenia przewidywanego praktycznego zastosowania pocisku wynikiem zadowalającym.

Z porównania przebiegów trajektorii elementów pocisku z odpowiednio zamodelowaną siłą F_r , wynika że w odległości 12 m od wylotu lufy siatka rozwija się do średnicy około 25% mniejszej niż w przypadku gdy $F_r = 0$. Oznacza to że należy zmodyfikować sposób składania siatki pod kątem dodatkowego zmniejszenia oporów jej rozwijania na początkowym torze lotu pocisku.

Literatura

- [1] GACEK J., Balistyka zewnętrzna cz. 1, Wydawnictwo WAT, Warszawa, 1997.
- [2] OSIECKI J.W., KORUBA Z., Elementy mechaniki zaawansowanej. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce, 2007.
- [3] OSIŃSKI Z., Mechanika ogólna, WNT, Warszawa 1996