



## Weryfikacja modelu matematycznego lotu 35 mm pocisku przeciwlotniczego na podstawie tabel strzelniczych\*

Konrad SIENICKI, Krzysztof MOTYL  
*Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechatroniki,  
ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa*

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono procedurę modelowania fizycznego i matematycznego lotu przeciwlotniczego 35 mm pocisku artyleryjskiego wystrzeliwanego z armaty KDA i jego weryfikację z opracowanymi w latach 2002-2003 przez Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych tabelami strzelniczymi dla pocisku ćwiczebnego TP-T i pocisku podkalibrowego z rdzeniem fragmentującym ze smugaczem FAPDS-T. Na potrzeby zadania badawczego konstruowanie modelu fizycznego i matematycznego przeprowadzono zgodnie z Polską Normą PN-83/L oraz dokumentem standaryzacyjnym STANAG 4355.

**Słowa kluczowe:** mechanika, obrona przeciwlotnicza, pocisk podkalibrowy, modelowanie matematyczne, symulacja komputerowa

### 1. WSTĘP

Burzliwy rozwój techniki komputerowej spowodował wzrost zainteresowania nowoczesnymi technikami obliczeniowymi. Między innymi w większości ostatnich opracowań z dynamiki lotu rozważania oparte są na modelach numerycznych, które obecnie stanowią doskonały aparat do badania modeli matematycznych różnorodnych problemów.

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

Współcześnie, w procesach konstruowania różnego rodzaju symulatorów i trenażerów do szkolenia załóg, w procesach komputerowego wspomaganie projektowania nowych i modernizacji istniejących rodzajów broni, przy sporządzaniu tabel strzelniczych, jak również przy opracowywaniu systemów kierowania ogniem artylerii, przyjęto wykorzystywać modele ruchu pocisku o różnym stopniu uproszczenia, adekwatnym do typu zadania, do którego ma dany model służyć.



Rys. 1. Model laboratoryjny automatycznej armaty KDA kalibru 35 mm (RADWAR S.A.)

Fig. 1. Laboratory model of 35 mm automatic gun type KDA (RADWAR S.A.)



Rys. 2. 35 mm amunicja przeciwlotnicza opracowana przez ZM MESKO

- a) nabój podkalibrowy FAPDS-T;
- b) nabój ćwiczebny TP-T

Fig. 2. 35 mm anti-aircraft ammunition produced by Metal Works Mesko (Poland)

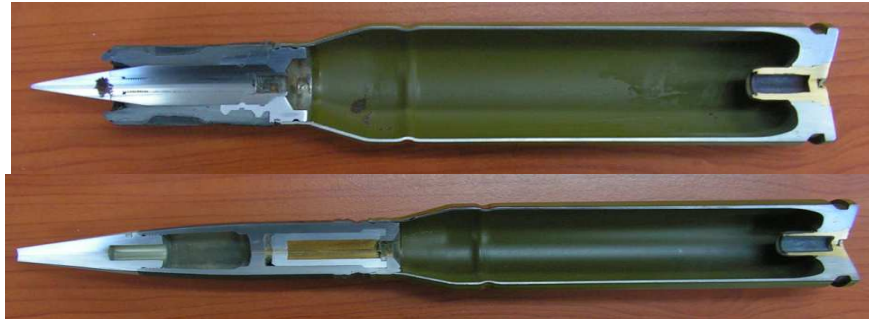
- a) sub-calibre cartridge FAPDS-T;
- b) grill cartridge TP-T

W artykule przedstawiono procedurę modelowania fizycznego i matematycznego lotu przeciwlotniczego 35 mm pocisku artyleryjskiego wystrzeliwanego z armaty KDA (rys. 1) i jego weryfikację na podstawie opracowanych w latach 2002-2003 przez ITWL tabel strzelniczych dla pocisku ćwiczebnego TP-T i pocisku podkalibrowego z rdzeniem fragmentującym ze smugaczem FAPDS-T (rys. 2). Na potrzeby zadania badawczego konstruowanie modelu fizycznego i matematycznego przeprowadzono zgodnie z Polską Normą PN-83/L oraz STANAG 4355.

Zaproponowana procedura modelowania i badań teoretycznych rozpatrywanych pocisków artylerii przeciwlotniczej kalibru 35 mm na torze lotu obejmuje: model fizyczny, model fizyczny dyskretny, model matematyczny oraz model obliczeń numerycznych. Finalnym i wymiernym efektem pracy jest symulacyjny program komputerowy, pozwalający na przeprowadzenie badań właściwości dynamicznych analizowanych pocisków na torze lotu, zweryfikowany z opracowanymi tabelami strzelniczymi dla tego typu amunicji. Wyniki analiz, badań i wnioski przedstawiono w dalszej części niniejszego opracowania.

## 2. OBIEKT BADAŃ – 35 MM POCISK PRZECIWLOTNICZY

Obiektem badań i analiz jest przeciwlotnicza 35 mm amunicja przeznaczona do prowadzenia ognia do celów powietrznych z automatycznej armaty Oerlikon KDA o skutecznej donośności wynoszącej 5000 m, produkowanej na licencji w kraju.



Rys. 3. Przekroje 35 mm amunicji przeciwlotniczej opracowanej przez ZM MESKO:

a) nabój podkalibrowy FAPDS-T; b) nabój ćwiczebny TP-T (ZM MESKO)

Fig. 3. Intersections of Polish 35 mm anti-aircraft ammunition a) sub-calibre cartridge FAPDS-T; b) drill cartridge TP-T (Metal Works Mesko)

TABELA 1. Parametry taktyczno-techniczne polskiej 35 mm amunicji

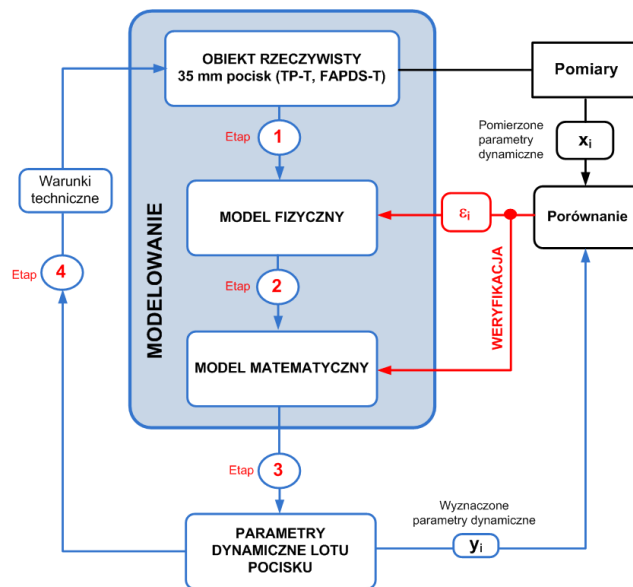
TABLE 1. Basic tactical and technical parameters of Polish 35 mm ammunition

Parametry taktyczno-techniczne	Amunicja 35 mm TP-T	Amunicja 35 mm FAPDS-T
Masa naboju [g]	1580	1460
Masa pocisku [g]	550	380
Masa rdzenia wolframowego [g]	-	295
Prędkość wylotowa pocisku [m/s]	1180	1440
Donośność skuteczna [m]	4000	≥ 5500
Skupienie pocisków w odległości 1000 m [m]	$U_g = U_s \leq 1$	$U_g = U_s \leq 0,6$
Maksymalna donośność [m]	11 200	27 170
Łuska nabojowa	stal	
Czas palenia się smugacza [s]	$t_p \geq 6$	$t_p \geq 2$
Przebijalność pocisku na odległości 2000 m przy kącie wnikania 45° NATO	-	dwie płyty pancerne grubości 10 mm i 30 mm ustawione równolegle pod kątem 45° NATO

W pracy wstępnej analizie poddano dwa rodzaje amunicji (rys. 3) opracowanej w kraju i wdrożonej przez ZM MESKO: pocisk ćwiczebny TP-T oraz pocisk podkalibrowy z rdzeniem fragmentującym ze smugaczem FAPDS-T. 35 mm amunicja ćwiczebna TP-T jest przeznaczona do szkolenia oddziałów przeciwlotniczych, natomiast amunicja FAPDS-T skutecznie niszczy cele, takie jak: samoloty, śmigłowce i lekko opancerzone cele na odległości do 5500 m. Podstawowe parametry taktyczno-techniczne amunicji produkcji polskiej przedstawiono w tabeli 1.

### 3. MODELOWANIE FIZYCZNE I MATEMATYCZNE 35 MM POCISKU PRZECIWLOTNICZEGO

W niniejszym opracowaniu badanie podstawowych parametrów toru lotu pocisku na torze lotu wykonano metodą teoretyczną, dlatego konieczne było przeprowadzenie procesów modelowania fizycznego i matematycznego ruchu pocisku na torze lotu. Zgodnie z przedstawionym na rysunku 4 schematem badanie właściwości dynamicznych rozpatrywanego pocisku przebiega w kilku etapach.



Rys. 4. Schemat algorytmu do określania właściwości dynamicznych pocisku w locie przestrzennym

Fig. 4. Dynamic properties determination of flying projectile – scheme of algorithm

W pierwszym etapie przeprowadzono myślową idealizację struktury układu rzeczywistego oraz procesów w nim zachodzących, otrzymując w efekcie model fizyczny, zwany również modelem nominalnym. Pod pojęciem „układ rzeczywisty” rozumie się w tym przypadku istniejący 35 mm pocisk (TP-T, FAPDS-T) poruszający się w powietrzu.

W etapie tym korzysta się z założeń upraszczających opartych na doświadczeniu technicznym. Uproszczenia sprawiają, że model fizyczny staje się łatwiejszy do analizy dynamicznej od układu rzeczywistego lub w ogóle ułatwia taką analizę.

Drugi etap dotyczy modelowania matematycznego będącego procesem formułowania równań różniczkowych ruchu przyjętego modelu fizycznego. Natomiast trzeci etap został przeprowadzony metodą komputerowej analizy numerycznej. Uzyskane rezultaty są podstawą do oceny poprawności modelu, warunkującej sformułowanie wniosków natury konstrukcyjnej.

Po przeprowadzeniu procesu modelowania obiektu rzeczywistego obejmującego dwa pierwsze etapy i wyznaczeniu parametrów dynamicznych pocisku  $y_i$  należy przeprowadzić weryfikację uzyskanych wyników w celu sprawdzenia ich poprawności.

Sprawdzenie to wykonuje się poprzez porównanie ich z wynikami wzorcowymi  $x_i$ . Za wyniki wzorcowe uważa się wyniki uzyskane na drodze pomiarów rzeczywistego obiektu (np. tabele strzelnicze) lub wyniki uzyskane za pomocą innych metod obliczeniowych, które zostały uznane za poprawne. Weryfikacji poddaje się zarówno model fizyczny, jak i model matematyczny na podstawie rozbieżności pomiędzy parametrami wyznaczonymi a pomierzonymi:

$$E_i = x_i - y_i \quad (1)$$

W wyniku identyfikacji (wyznaczenie parametrów modelu fizycznego na podstawie pomiarów układu rzeczywistego) określa się nowe wartości parametrów układu fizycznego, natomiast weryfikacja modelu matematycznego polega na udoskonaleniu tego modelu poprzez ewentualne uwzględnienie pewnych uprzednio pominiętych czynników.

### 3.1. Model fizyczny pocisku przeciwlotniczego

W procesie opracowywania modelu fizycznego uwzględniono cechy obiektu mające istotny wpływ na analizowane zjawisko. Opracowanie modelu fizycznego pocisku wymagało przede wszystkim:

1. Przyjęcia układów współrzędnych niezbędnych do opisu ruchu pocisku oraz sił na niego działających.
2. Określenia struktury pocisku, czyli:
  - charakterystyk geometrycznych,
  - charakterystyk masowo-bezwładnościowych,
  - charakterystyki smugacza.

3. Wyznaczenia składowych sił zewnętrznych i momentów tych sił działających na pocisk wraz z funkcjami je opisującymi, czyli:
  - siły ciężkości i jej momentu,
  - siły aerodynamicznej i jej momentu,
  - siły Coriolisa i jej momentu,
  - siły Magnusa i jej momentu.
4. Określenia charakterystyk ośrodka ruchu obiektu, tzn.:
  - gęstości,
  - lepkości,
  - temperatury,
  - ciśnienia w zależności od wysokości lotu.

### 3.2. Model trajektorii punktu materialnego zgodnie z porozumieniem standaryzacyjnym STANAG 4355 (The Point Mass Trajectory Model – PMTM)

Ruch pocisków, stabilizowanych zarówno obrotowo, jak i brzechwowo, najczęściej opisuje się, stosując jeden z trzech modeli matematycznych różniących się liczbą zmiennych zależnych i przyjętymi uproszczeniami odnośnie do działania sił i momentów aerodynamicznych na pocisk w locie. W tej części sprawozdania zaprezentowano model punktu materialnego zgodny ze STANAGIEM 4355. W modelu tym (o trzech stopniach swobody – współrzędnych położenia) przyjmuje się, że pocisk idealnie stabilizuje się na torze lotu, czyli oś pocisku zawsze pokrywa się z kierunkiem wektora prędkości pocisku. Zgodnie z zasadą zmiany pędu, równanie ruchu pocisku w układzie związanym z Ziemią można wówczas zapisać następująco:

$$m \cdot \ddot{\vec{u}} = \overline{DF} + m \cdot \vec{g} + m \cdot \vec{A} \quad (2)$$

gdzie:

$\overline{DF}$  – przyspieszenie spowodowane siłą oporu aerodynamicznego;

$m$  – masa pocisku;

$d$  – charakterystyczny parametr liniowy (średnica pocisku);

$\rho$  – gęstość atmosfery;

$C_D$  – współczynnik siły oporu powietrza;

$i$  – współczynnik dopasowania.

$$\frac{\overline{DF}}{m} = - \left( \frac{\pi \cdot \rho \cdot i \cdot d^2}{8 \cdot m} \right) \cdot C_D \cdot v \cdot \vec{v} \quad (3)$$

$\vec{g}$  – przyspieszenie spowodowane siłą ciężkości;

$R$  – promień Ziemi;

$lat$  – szerokość geograficzna

$$\vec{g} = -g_0 \cdot (R^2 / r^3) \cdot \vec{r} = -g_0 \begin{bmatrix} X_1 / R \\ 1 - 2 \cdot X_2 / R \\ X_3 / R \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$g_0 = 9,80665 [1 - 0,0026 \cdot \cos(2 \cdot lat)]$$

$\vec{\Lambda}$  – przyspieszenie spowodowane siłą Coriolisa;

$$\vec{\Lambda} = -2(\vec{\omega} \cdot \vec{u}) \quad (5)$$

$\vec{v}$  – prędkość względna pocisku;

$\vec{u}$  – prędkość pocisku;

$\vec{w}$  – prędkość wiatru

$$\vec{v} = \vec{u} - \vec{w} \quad (6)$$

$\vec{\omega}$  - wektor prędkości kątowej Ziemi;

$$\vec{\omega} = \begin{bmatrix} \Omega \cdot \cos(lat) \cdot \cos(AZ) \\ \Omega \cdot \sin(lat) \\ -\Omega \cdot \cos(lat) \cdot \sin(AZ) \end{bmatrix} \quad (7)$$

Skalarną postać równań ruchu pocisku otrzymujemy, rzutując równanie wektorowe na osie ziemskiego układu współrzędnych. Tak skonstruowany model matematyczny jest układem równań różniczkowo-algebraicznych, wśród których można wyróżnić:

– dynamiczne równania ruchu środka masy pocisku

$$\frac{du_1}{dt} = -\left(\frac{\pi \cdot \rho \cdot i \cdot d^2}{8 \cdot m}\right) \cdot C_{D_0} \cdot v \cdot v_1 - g_0 \cdot \frac{X_1}{R} - 2 \cdot \Omega(\sin(lat) \cdot \sin(AZ) \cdot u_2) \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \frac{du_2}{dt} = & -\left(\frac{\pi \cdot \rho \cdot i \cdot d^2}{8 \cdot m}\right) \cdot C_{D_0} \cdot v \cdot v_2 - g_0 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot X_2}{R}\right) + \\ & + 2 \cdot \Omega(\cos(lat) \cdot \sin(AZ) + \cos(lat) \cdot \cos(AZ) \cdot u_3) \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \frac{du_3}{dt} = & -\left(\frac{\pi \cdot \rho \cdot i \cdot d^2}{8 \cdot m}\right) \cdot C_{D_0} \cdot v \cdot v_3 - g_0 \cdot \frac{X_3}{R} - 2 \cdot \Omega(\cos(lat) \cdot \sin(AZ) \cdot u_2 + \\ & - \sin(AZ) \cdot u_1) \end{aligned} \quad (10)$$

– kinematyczne równania ruchu środka masy pocisku:

$$\frac{dx_1}{dt} = u_1 \quad (11)$$

$$\frac{dx_2}{dt} = u_2 \quad (12)$$

$$\frac{dx_3}{dt} = u_3 \quad (13)$$

– algebraiczne równania uzupełniające:

$$v_1 = u_1 - w_1 \quad (14)$$

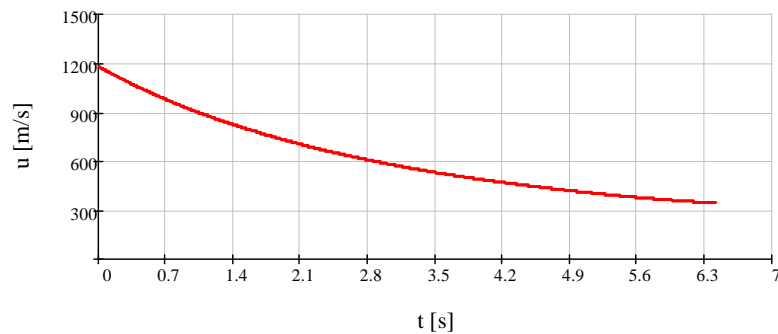
$$v_2 = u_2 - w_2 \quad (15)$$

$$v_3 = u_3 - w_3 \quad (16)$$

$$v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + v_3^2} \quad (17)$$

### 3.3. Przykładowe wyniki symulacji dla pocisku TP-T i FAPDS-T

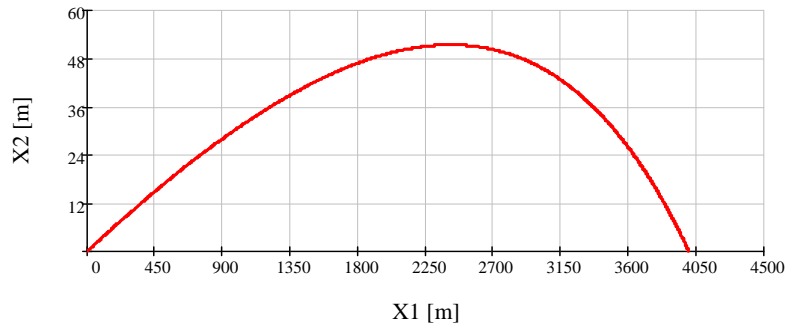
W wyniku przeprowadzonej symulacji komputerowej wyznaczono podstawowe parametry toru lotu 35 mm pocisku ćwiczebnego TP-T i podkalibrowego FAPDS-T. Wyniki symulacji przedstawione zostały w postaci wykresów (rys. 5-8) wygenerowanych w programie MATHCAD. Dane wejściowe dla wymienionych pocisków do symulacyjnego programu komputerowego zostały przedstawione w tabelach 2 i 3.



Rys. 5. Zmiana w czasie prędkości 35 mm pocisku ćwiczebnego TP-T

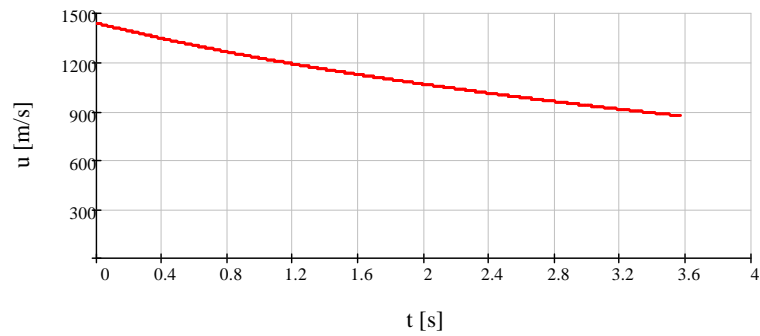
Fig. 5. Velocity change of 35 mm drill projectile TP-T in time





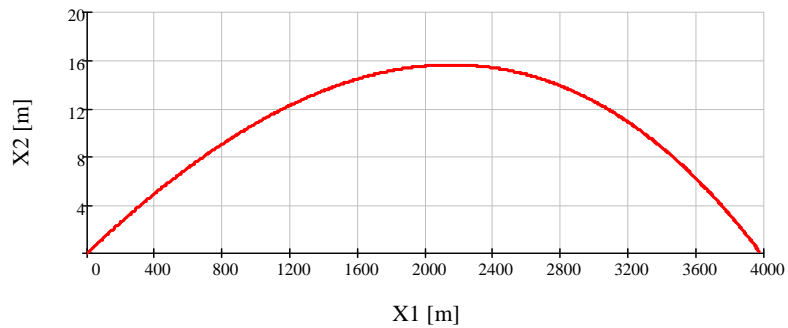
Rys. 6. Trajektoria lotu 35 mm pocisku ćwiczebnego TP-T

Fig. 6. Flying path of 35 mm drill projectile TP-T



Rys. 7. Zmiana w czasie prędkości 35 mm pocisku ćwiczebnego FADPS-T

Fig. 7. Velocity change of 35 mm sub-calibre projectile FADPS-T in time



Rys. 8. Trajektoria lotu 35 mm pocisku podkalibrowego FADPS-T

Fig. 8. Flying path of 35 mm sub-calibre projectile FADPS-T

TABELA 2. Wartości liczbowe wybranych parametrów wejściowych dla pocisku TP-T

TABLE 2. Numerical values of selected parameters of TP-T projectile

Lp.	Dane wejściowe do programu	Wartości liczbowe
1	Masa pocisku [kg]	0,550
2	Prędkość początkowa pocisku [m/s]	1180
3	Średnica pocisku [m]	0,035
4	Powierzchnia charakterystyczna pocisku [m <sup>2</sup> ]	$9,6218 \cdot 10^{-4}$
5	Gęstość powietrza na poziomie lufy [kg/m <sup>3</sup> ]	1.225
6	Temperatura powietrza na poziomie lufy [°C]	15
7	Ciśnienie powietrza na poziomie lufy [hPa]	1013,25
8	Wilgotność powietrza [%]	0
9	Wiatr [m/s]	0
10	Przyspieszenie ziemskie na poziomie lufy [m/s <sup>2</sup> ]	9,80655
11	Kąt podniesienia lufy na stanowisku ogniowym [mils]	35,45
12	Współrzędne stanowiska ogniowego xg, yg [m]	0,0

TABELA 3. Wartości liczbowe wybranych parametrów wejściowych dla pocisku FAPDS-T

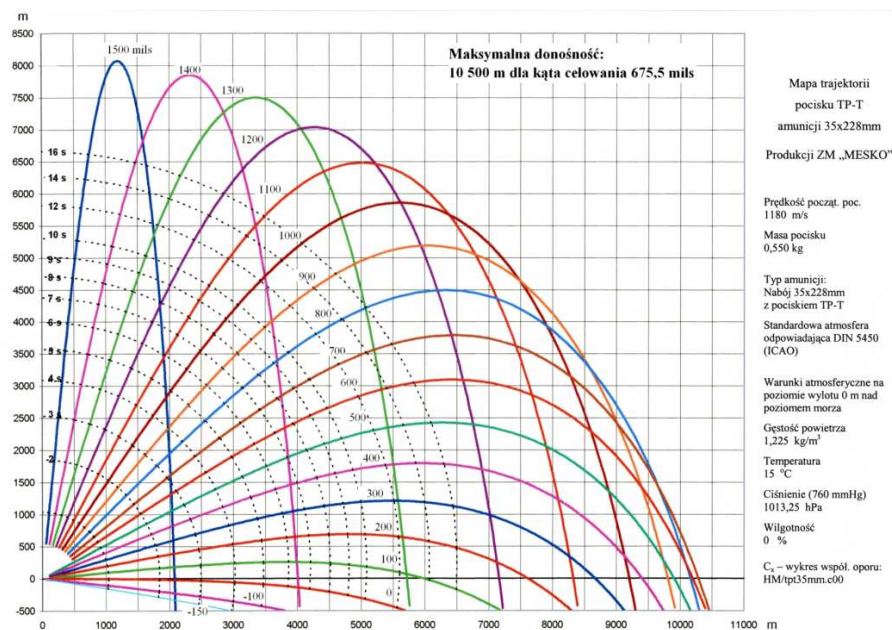
TABLE 3. Numerical values of selected parameters of FAPDS-T projectile

Lp.	Dane wejściowe do programu	Wartości liczbowe
1	Masa pocisku [kg]	0,296
2	Prędkość początkowa pocisku [m/s]	1440
3	Średnica rdzenia pocisku [m]	0,0186
4	Powierzchnia charakterystyczna pocisku [m <sup>2</sup> ]	$2,717 \cdot 10^{-4}$
5	Gęstość powietrza na poziomie lufy [kg/m <sup>3</sup> ]	1,225
6	Temperatura powietrza na poziomie lufy [°C]	15
7	Ciśnienie powietrza na poziomie lufy [hPa]	1013,25
8	Wilgotność powietrza [%]	0
9	Wiatr [m/s]	0
10	Przyspieszenie ziemskie na poziomie lufy [m/s <sup>2</sup> ]	9,80655
11	Kąt podniesienia lufy na stanowisku ogniowym [mils]	13,6
12	Współrzędne stanowiska ogniowego xg, yg [m]	0,0

### 3.4. Weryfikacja opracowanego modelu matematycznego z tabelami strzelniczymi dla danego typu pocisków

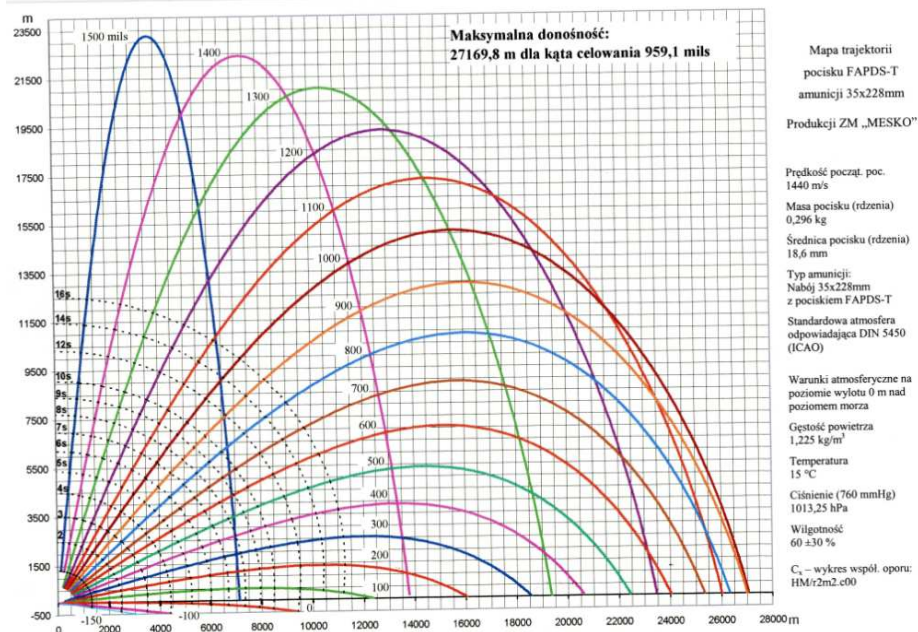
Układ tabel strzelniczych stosowanych w artylerii klasycznej i raketowej oraz metody ich zestawienia zostały opracowane w wyniku wieloletniej praktyki bojowego stosowania artylerii. Najszersze zastosowanie znalazły tabele zestawione dla tzw. normalnych i tabelarycznych warunków strzelania, zawierające dane pozwalające określać poprawki i czynniki toru uwzględniające odchyłki rzeczywistych warunków strzelania od tabelarycznych (parametry atmosfery, czynniki balistyczne, czynniki geofizyczne).

Podstawą do opracowania tabel strzelniczych 35 mm amunicji z pociskiem TP-T i pociskiem FAPDS-T, produkowanej przez ZM MESKO S.A. były poligonowe badania balistyczne wykonane na poligonie morskim USTKA, przy użyciu radaru dopplerowskiego DR 5000 przeprowadzone w latach 2002-2003.



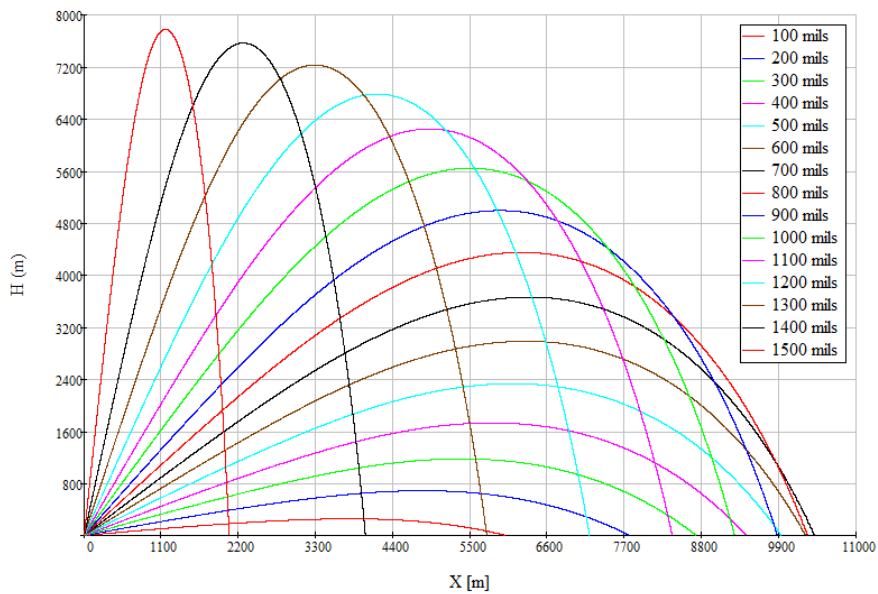
Rys. 9. Mapa trajektorii lotu pocisku TP-T (RADWAR S.A.)

Fig. 9. Flying path map of TP-T projectile (RADWAR S.A.)



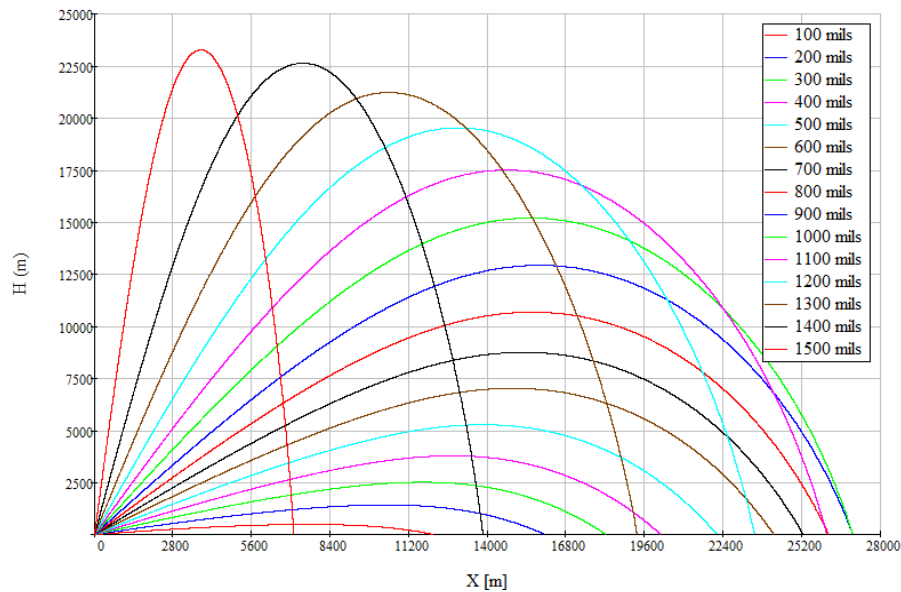
Rys. 10. Mapa trajektorii lotu pocisku FAPDS-T (RADWAR S.A.)

Fig. 10. Flying path map of FAPDS-T projectile (RADWAR S.A.)



Rys. 11. Mapa trajektorii lotu pocisku TP-T uzyskana z symulacji komputerowej

Fig. 11. Flying path map of TP-T projectile on the basis of computer calculations



Rys. 12. Mapa trajektorii lotu pocisku FAPDS-T uzyskana z symulacji komputerowej

Fig. 12. Flying path map of FAPDS-T projectile on the basis of computer calculations

Otrzymane z badań parametry balistyczne 35 mm amunicji wykorzystane zostały do opracowania tabel strzelniczych w zakresie strzelania:

- w kącie celownika od  $-150 \div 1600$  mils, w odstępach co 100 mils,
- w odległości strzelania od  $100 \div 5000$  m, w odstępach co 100 m;

oraz poprawek do tabel strzelniczych dotyczących kąta celownika i czasu lotu pocisku na odległości od 100 do 5000 m, w odstępach co 100 m ze względu na:

- spadek prędkości początkowej  $\Delta v_0 = -10$  m/s,
- spadek temperatury powietrza  $\Delta T = -10^\circ\text{C}$ ,
- spadek ciśnienia powietrza  $\Delta p_{bar} = -100$  hPa,
- wzrost prędkości wiatru wzdłużnego od tyłu  $\Delta v_{wwr} = 10$  m/s

i poprawek azymutu strzelania ze względu na:

- prędkość wiatru bocznego  $v_{wb} = 10$  m/s,
- zboczenie (derywację)  $\alpha$ .

Zamieszczone powyżej tabele opracowano dla azymutu strzelania  $90^\circ$  względem Północy geograficznej z punktu Ziemi o szerokości geograficznej Północnej  $54,50^\circ$ .

Wyznaczone tabele strzelnicze wraz z poprawkami poddane zostały weryfikacji na strzelnicy poligonowej GÓRSKO, na poligonie USTKA w latach 2002-2003.

Opracowany i przedstawiony model matematyczny lotu 35 mm pocisku ćwiczebnego TP-T i podkalibrowego FAPDS-T został poddany weryfikacji na podstawie tabel strzelania naziemnego. Ponadto wyznaczone zostały mapy trajektorii lotu dla pocisków TP-T i FAPDS-T, które przedstawiono na wykresach 9-10 (rzeczywiste) i 11-12 (obliczone).

#### 4. PODSUMOWANIE

Na podstawie analizy wyników uzyskanych w trakcie przeprowadzonych komputerowych badań symulacyjnych oraz dostępnych danych literaturowych można sformułować następujące wnioski:

1. Zaproponowana procedura modelowania i badań teoretycznych rozpatrywanych pocisków artylerii przeciwlotniczej kalibru 35 mm na torze lotu obejmuje: model fizyczny, model fizyczny dyskretny, model matematyczny oraz model obliczeń numerycznych.
2. Opracowany model matematyczny i symulacyjny program komputerowy, pozwalający na wyznaczenie podstawowych parametrów toru lotu analizowanych pocisków, zostały zweryfikowane na podstawie opracowanych tabel strzelniczych opracowanych dla tego typu amunicji. Stwierdzono bardzo dobrą zgodność parametrów toru lotu zmierzonych i obliczonych w modelu punktu materialnego zarówno dla pocisku TP-T jak i pocisku FAPDS-T (tabela 4).

TABELA 4. Względny błąd dla wybranych parametrów rzeczywistych i obliczonych toru lotu 35 mm pocisku

TABLE 4. Relative error for selected (real and calculated) parameters of 35 mm projectile flying path

35 mm amunicja	Parametry toru lotu pocisku	Względny błąd obliczeń
TP-T	Zasięg pocisku	-0,00025
	Czas lotu pocisku	-0,0027
	Prędkość końcowa pocisku	0,00076
FAPDS-T	Zasięg pocisku	0,0005
	Czas lotu pocisku	-0,003
	Prędkość końcowa pocisku	-0,0051

#### LITERATURA

- [1] Gacek J., *Balistyka zewnętrzna. Cz. I. Modelowanie zjawisk balistyki zewnętrznej i dynamiki lotu*, Warszawa, 1997.
- [2] Gacek J., *Balistyka zewnętrzna. Cz. II. Analiza dynamicznych właściwości obiektów w locie*, Warszawa, 1998.

- [3] Lebediew A.A., Czernobrowkin Ł.S., *Dynamika poljota. Maszinstrojenije*, Moskwa, 1973.
- [4] Baranowski L., Modele trajektorii ruchu pocisku artyleryjskiego w układach odniesienia zgodnych z Polska Normą PN-83, *Biuletyn WAT*, LI, 10, s. 85-104, 2002.
- [5] Baranowski L., Model trajektorii lotu pocisku wirującego o sześciu stopniach swobody zgodny ze STANAGIEM 4355, *Biuletyn WAT*, s. 313-326, 2008.
- [6] Mechanika lotu samolotów i szybowców, *Polska Norma PN-83*, L-01010.01 do L-01010.10.
- [7] The Modified Point Mass and Five Degrees of Freedom Trajectory Models, *STANAG 4355 (Edition 4)*, 2006.

*Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2009-2011 jako projekt badawczy rozwojowy nr OR000033109.*

## **Verification of the Mathematical Model of the 35 mm Anti-Aircraft Projectile Flight with Shooting Tables**

**Abstract.** The article presents a procedure for the physical and mathematical modelling of the flight of the 35 mm anti-aircraft projectile which is shooting with KDA cannon. Moreover, the authors show verification between their results and results which were obtained in years 2002 and 2003 by Air Force Institute of Technology, (Warsaw, Poland). For the purpose of the research task, the constructing of physical and mathematical model was carried out in accordance with Polish standard PN-83/L and STANAG 4355.

**Keywords:** mechanics, anti-aircraft defence, mathematical modelling, computer simulation