

## **BALISTYKA POCISKÓW ĆWICZEBNYCH ZE STABILIZATOREM STOŻKOWYM DO ARMAT CZOŁGOWYCH**

**Streszczenie:** W artykule omówiono zagadnienia związane z funkcjonowaniem na torze lotu ćwiczebnych pocisków podkalibrowych ze stabilizatorem stożkowym w świetle wymagań odnośnie możliwości prowadzenia szkolenia załóg czołgowych na dostępnych poligonach. Przedstawiono wyniki symulacji trajektorii lotu wybranych pocisków przy użyciu opracowanego programu.

## **THE EXTERNAL BALLISTICS OF FLARE STABILIZED TRAINING PROJECTILES FOR TANK GUN**

**Abstract:** The article consists description of aerodynamics characteristics of training sub-caliber flare stabilized projectiles used during tank crew firing on training grounds. There are also presented results of simulation of chosen projectiles trajectories.

### **1. Wstęp**

Aktualnie podstawowym rodzajem amunicji używanym do armat czołgowych stały się przeciwpancerne pociski podkalibrowe typu APFSDS, to jest pociski z odrzucanym sabotem, stabilizowane brzechwowo na torze lotu. Są one bardzo skuteczne przy zwalczaniu czołgów posiadających pancerze jednolite o dużej grubości lub warstwowe, jak również wyposażonych pancerze reaktywne.

Wysoka efektywność pocisków APFSDS i powszechność ich użycia wymaga aby szkolenie ogniowe załóg czołgowych było prowadzone głównie z zastosowaniem tych pocisków.

Wykorzystanie do szkolenia bojowych pocisków APFSDS jest jednak niekorzystne z dwóch podstawowych powodów, a mianowicie:

- wysoki koszt naboju,
- konieczność dysponowania poligonem o dużych rozmiarach.

W praktyce drugi z tych powodów jest trudny do realizacji.

Pociski APFSDS wystrzeliwane są z bardzo wysokimi prędkościami (1400÷1800 m/s). Wydłużony kształt pocisków, zapewniający bardzo korzystny współczynnik balistyczny, powoduje mały spadek prędkości pocisku na torze lotu. W związku z tym donośność maksymalna pocisków APFSDS wystrzelonych przy kącie największej donośności (45÷50°) może sięgać 100 km. W praktyce z uwagi na konstrukcyjne ograniczenia kątów podniesienia dla armat czołgowych (zwykle kąt podniesienia nie przekracza 20°), strefa niebezpieczna zmniejsza się do około 30÷40 km. Jednak także i te zasięgi są zazwyczaj nie do przyjęcia w krajach europejskich. W związku z powyższym w państwach zachodnich stosuje się pociski

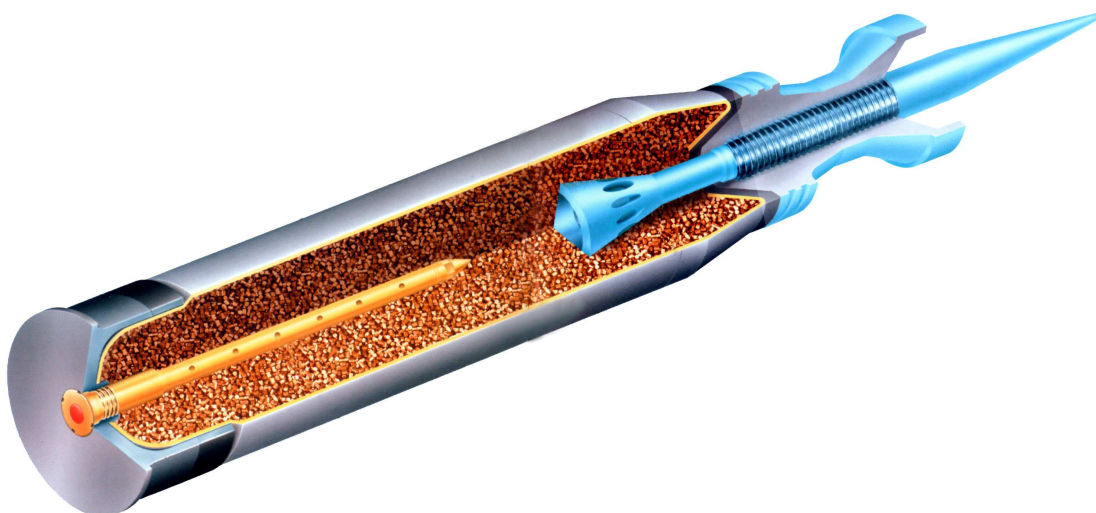
ćwiczebne stosowane wyłącznie do strzelań szkolnych o konstrukcji często zupełnie odmiennej od amunicji bojowej.

Podstawowe wymagania odnośnie tych pocisków są następujące:

- tor lotu oraz czas lotu pocisku na odległościach do 2500 m powinien być zbliżony do toru i czasu lotu pocisków przeciwpancernych typu APFSDS;
- w odległości powyżej 2500 m od wylotu lufy, lot pocisku powinien zostać zakłócony tak, aby donośność maksymalna nie przekroczyła 6000 - 8000 m przy strzelaniu z kątem podniesienia  $10^\circ$ .

## 2. Budowa podkalibrowych pocisków ćwiczebnych do armat czołgowych

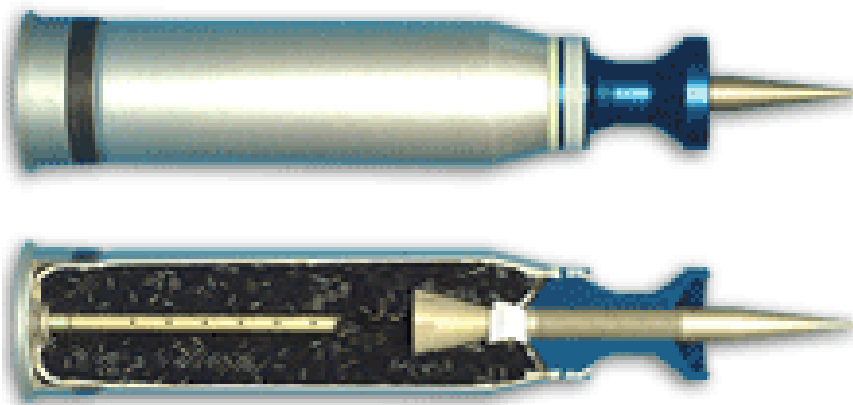
Pierwszymi pociskami ćwiczebnymi stosowanymi do armat czołgowych były pociski zawierające pirotechniczny układ samolikwidacji. Przykładem takiego rozwiązania jest izraelski pocisk ćwiczebny CL-274 TPFSDS-T opracowany przez firmę IMI we współpracy z firmą niemiecką Diel GmbH. Pocisk stabilizowany jest brzechwowo. W momencie strzału zostaje zapalony opóźniacz pirotechniczny, który po upływie czasu odpowiadającym czasowi lotu powyżej 3000 metrów powoduje zadziałanie ładunku wybuchowego i oderwanie ubrzechwionej części pocisku. Pocisk traci stabilizację i elementy pocisku opadają na grunt. Strefa niebezpieczna, gdzie mogą spadać odłamki nie przekracza 7,5 km od wylotu lufy. Rozwiązanie z pirotechnicznym układem samolikwidacji jest korzystne biorąc pod uwagę wymóg podobieństwa toru lotu pocisku ćwiczebnego od toru pocisków bojowych. Zastosowanie układu pirotechnicznego stwarza pewne niebezpieczeństwo, że w przypadku zbiegu różnych okoliczności pocisk nie ulegnie zniszczeniu i zasięg przekroczy założoną strefę bezpieczeństwa na poligonie. W celu zwiększenia niezawodności działania zastosowano na przykład cztery niezależne ścieżki pirotechniczne przekazujące płomień do ładunku rozcalającego, zmniejszając ryzyko związane z wystąpieniem wady w łańcuchu ogniowym.



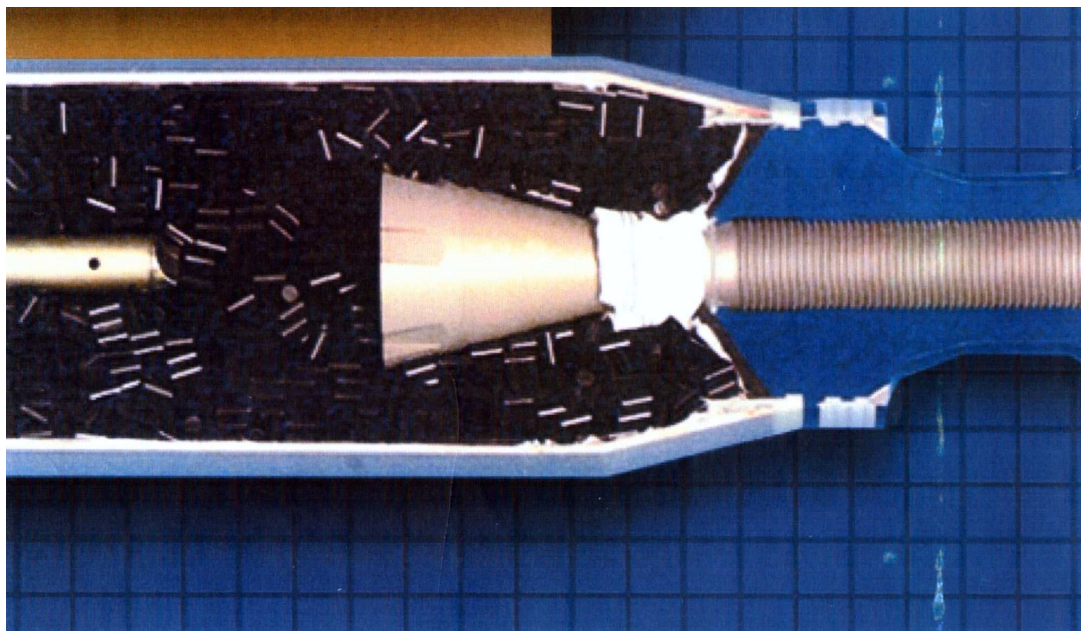
Rys.1. Nabój z podkalibrowym pociskiem ćwiczebnym DM48 (fot.Rheinmetall).

Firma Rheinmetall wprowadzając do produkcji 120 mm gładkolufowe armaty czołgowe opracowała, równolegle z pociskami bojowymi typu APFSDS-T, ćwiczebne pociski podkalibrowe DM28, DM38 i później DM48 wyposażone w stabilizatory stożkowe. Pociski te posiadają charakteryzują się stosunkowo małym oporem aerodynamicznym w zakresie dużych prędkości (na początkowym odcinku toru) natomiast gdy prędkość spada współczynnik oporu aerodynamicznego wzrasta powodując skrócenie zasięgu lotu pocisku. Stożek stabilizatora posiada otwory wykonane pod pewnym kątem (ok.  $1,5^{\circ}$ ) w stosunku do osi podłużnej w celu wymuszenia ruchu obrotowego pocisku.

Naboje ćwiczebne z pociskami wyposażonymi w stabilizatory stożkowe produkowane są także w USA na podstawie licencji niemieckiej. Amerykańskie pociski M865 posiadają jednak stożki z nacięciami na tworzącej, także nachylone pod kątem zbliżonym do nachylenia otworów w pociskach niemieckich. Właściwości balistyczne pocisków M865 są zbliżone do pocisków DM38 i DM48.



**Rys.2. Nabój z podkalibrowym pociskiem ćwiczebnym M865 (fot. ATK).**



**Rys.3. Widok stabilizatora pocisku ćwiczebnego M865 (fot. ATK).**

W Wojskowym Instytucie Technicznym Uzbrojenia w ostatnich latach opracowano ćwiczebne pociski podkalibrowe do 125mm armat czołgów T-72 i PT-91 (BIOTYT, BIOTYT-M) oraz 120 mm armat czołgów LEOPARD 2A4 (PZ-541). Produkowane seryjnie pociski PZ-541 wyposażone są w stabilizatory stożkowe z otworami.

Podstawowe dane pocisków ćwiczebnych ze stabilizatorami stożkowymi oraz dla porównania podkalibrowego pocisku bojowego DM33A1 podane są w tabeli 1.

Tabela 1.

Oznaczenie pocisku	DM33A1	DM48	M865	PZ-541
Państwo	Niemcy	Niemcy	USA	Polska
Prędkość początkowa (m/s)	1650	1690	1700	1715
Masa pocisku (kg)	7,3	5,9	5,0	4,8
Masa pocisku na torze lotu (m/s)	4,6	3,22	2,4	1,9
Średnica stabilizatora (mm)	Pocisk bojowy brzechwowy	85	72	68
Donośność max. (kąąt podniesienia 10 <sup>0</sup> )	ok. 30 km	poniżej 7,5 km	ok. 6,6 km	ok. 6,25 km

### 3. Określanie toru lotu pocisków z zastosowaniem znanych funkcji oporu powietrza

Dotychczas stosowane metody obliczeniowe trajektorii pocisków nie uwzględniają specyficznych własności pocisków wyposażonych w stabilizatory stożkowe. Opóźnienie powodowane siłą oporu powietrza oddziaływającą na pocisk określa się zwykle [1] jako:

$$J=cH(y)F(V) \quad (3.1)$$

gdzie:

$c$  – współczynnik balistyczny,

$H(y)$  – funkcja zmiany ciężaru właściwego powietrza, zależna od wysokości,

$F(V)$  – funkcja oporu powietrza.

Współczynnik balistyczny jest podstawowym parametrem charakteryzującym własności balistyczne pocisku, określonym zależnością:

$$c = 1000id^2/q \quad (3.2)$$

gdzie:

$i$  – współczynnik kształtu,

$d$  – średnica kształtu,

$q$  – ciężar pocisku.

Funkcja oporu powietrza (zwana także prawem oporu powietrza) wyznaczana była doświadczalnie tak aby dostosować uzyskiwane donośności pocisków wzorcowych do wyników obliczeń. Do bardziej znanych praw oporu powietrza należą: Siacciego, Garniera-Dupuisa (1930 r.), Prawo 1943 r. (ZSRR), Prawo 1958 r. (ZSRR).

Powyższe metody pozwalają obliczać trajektorie pocisków, których znana jest wartość współczynnika balistycznego pocisku  $c$  (lub współczynnika kształtu  $i$ ), jednak ponieważ funkcje oporu powietrza oparte są na założeniu, że kształt pocisku dla którego prowadzimy

obliczenia jest zbliżony do kształtu pocisku wzorcowego (przyjmowany współczynnik  $i = 1$ ) wyniki w przypadku pocisków ze stabilizatorem stożkowym odbiegają od rzeczywistości.

#### 4. Określanie toru lotu pocisków ze stabilizatorami stożkowymi

Z wyżej podanych względów podjęto próbę opracowania metody pozwalającej na szybkie określanie trajektorii lotu ćwiczebnych pocisków podkalibrowych ze stabilizatorem stożkowym, na etapie projektowania pocisków bez konieczności przeprowadzania kosztownych badań modeli w tunelu aerodynamicznym lub na poligonie.

Siłę oporu powietrza można przedstawić ogólną zależnością:

$$R = S \frac{\rho V^2}{2} c_x \left( \frac{V}{a} \right) \quad (4.1)$$

gdzie:

$S$  – powierzchnia przekroju poprzecznego,

$\rho$  – gęstość powietrza,

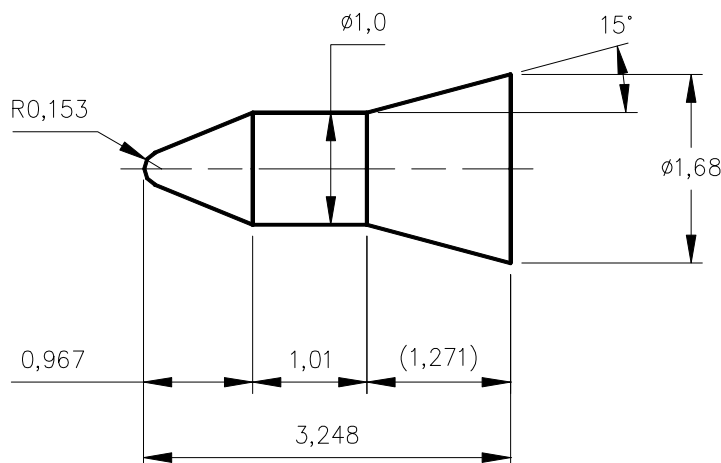
$V$  – prędkość,

$c_x$  – współczynnik oporu powietrza zależny od liczby Macha  $M=V/a$ ,

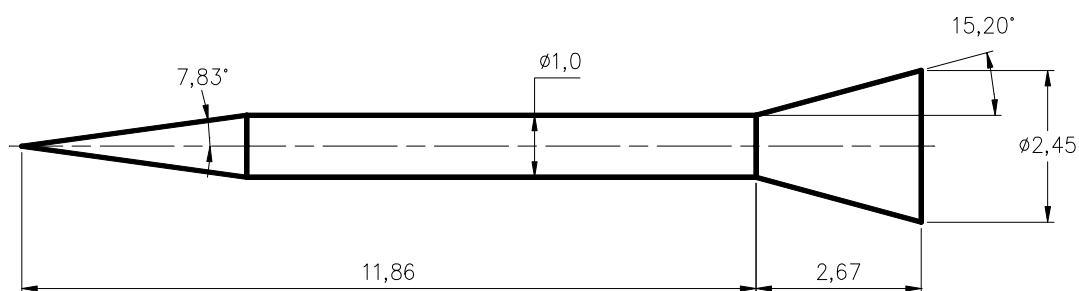
$a$  – prędkość dźwięku.

A zatem wyznaczając dla danego pocisku (lub pocisków o zbliżonym kształcie) wartości współczynnika oporu powietrza możemy obliczyć siłę oporu powietrza i trajektorię lotu pocisku.

W Stanach Zjednoczonych na przełomie lat 70-tych i osiemdziesiątych prowadzono szereg prac nad oporem powietrza dla obiektów o kształtach zbliżonych do współczesnych podkalibrowych pocisków ćwiczebnych. Częściowe wyniki tych badań opublikowano w pracach [2], [3], [6], [7]. Najbardziej interesujące, z punktu widzenia tematyki niniejszej pracy są modele: Minuteman (rys.4) i CS-V1 (rys.5).



**Rys.4. Szkic modelu pocisku Minuteman (wymiary w kalibrach tj. średnicy części cylindrycznej).**



**Rys.4. Szkic modelu pocisku CSV-1 (wymiary w kalibrach).**

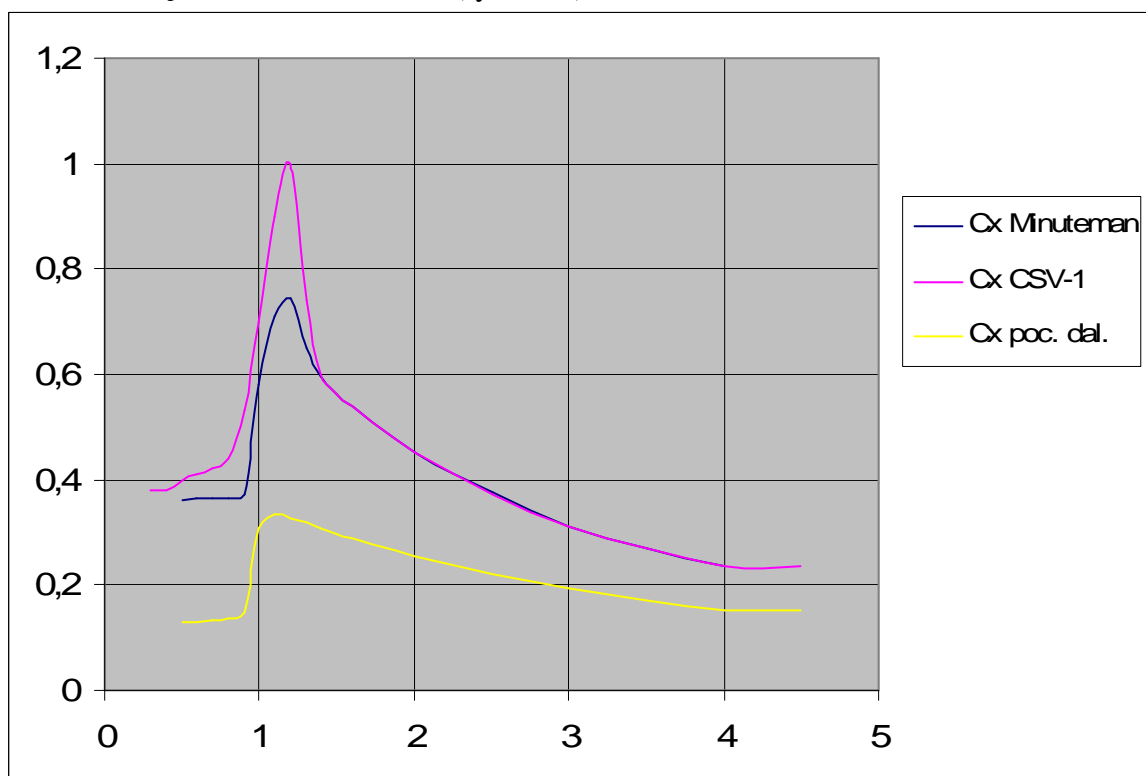
Na podstawie wyżej wspomnianych źródeł przeprowadzono obliczenia wartości współczynnika oporu powietrza  $C_x$  w odniesieniu do maksymalnej średnicy pocisków (średnica tylnej podstawy stożka). Wyznaczone wartości  $C_x$  w funkcji liczby Macha modeli pocisków ze stabilizatorami stożkowymi oraz dla porównania współczesnego pocisku dalekonośnego podano w tabeli 2. oraz na wykresie (rys. 5). Analizując te dane zauważyć można, że w zakresie dużych prędkości wartości  $C_x$  dla pocisków Minuteman i CSV-1 są podobne, natomiast w zakresie prędkości bliskich prędkości dźwięku, wartość  $C_x$  pocisku CSV-1 jest większa w związku ze wzrostem oporu dennego.

Tabela 2. Wartości współczynnika  $C_x$  w funkcji liczby Macha

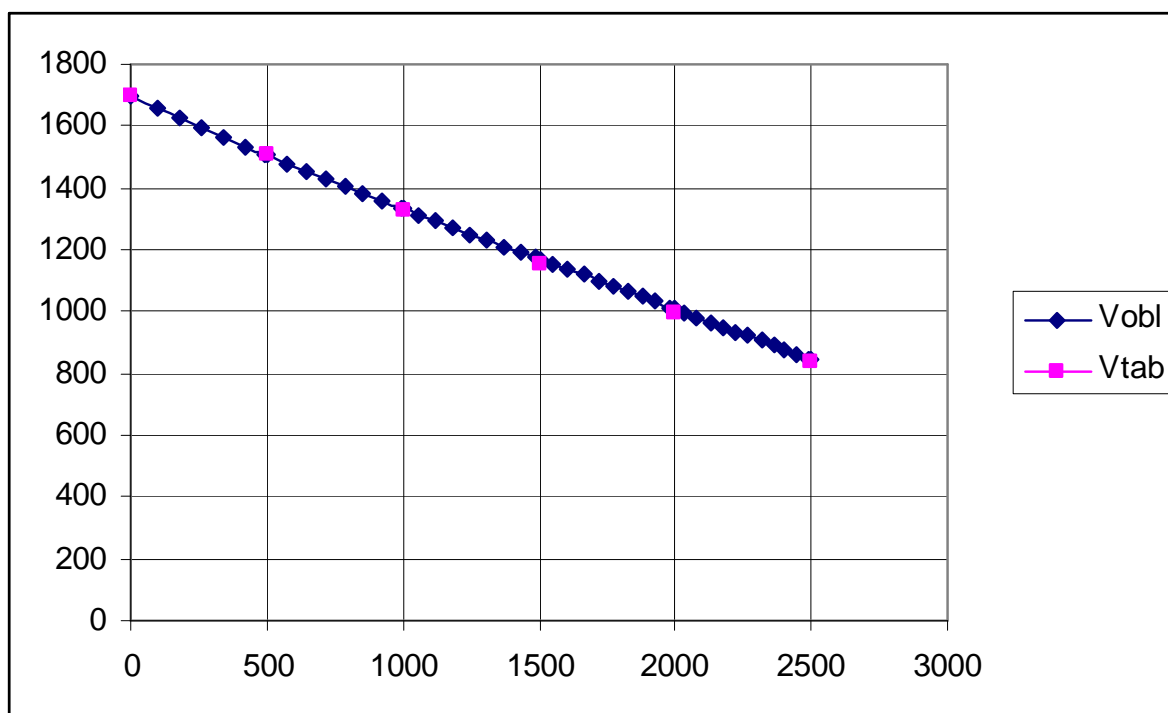
liczba M	$C_x$ Minuteman	$C_x$ CSV-1	poc.dalek.
0.3	0.36	0.38	
0.4		0.38	
0.5	0.362142857	0.4	0.129
0.6	0.363214286	0.41	0.131
0.7	0.363928571	0.42	0.133
0.8	0.363571429	0.44	0.137
0.9	0.370357143	0.53	0.147
1	0.580857143	0.7	0.309
1.1	0.7103	0.9	0.336
1.2	0.745585714	1	0.327
1.3	0.650585714	0.74	0.319
1.4	0.597342857	0.6	0.309
1.5	0.562214286	0.562	0.298
2	0.45	0.45	0.254
2.5	0.374285714	0.374	0.22
3	0.312828571	0.3128	0.192
3.5	0.268057143	0.268	0.169
4	0.2344	0.2344	0.152
4.5		0.234	0.151

W opracowanym programie BLZFP przyjęto wartości  $C_x = f(M)$  dla modelu CSV-1. Program BLZFP pozwala obliczać trajektorię pocisków ze stabilizatorami stożkowymi z

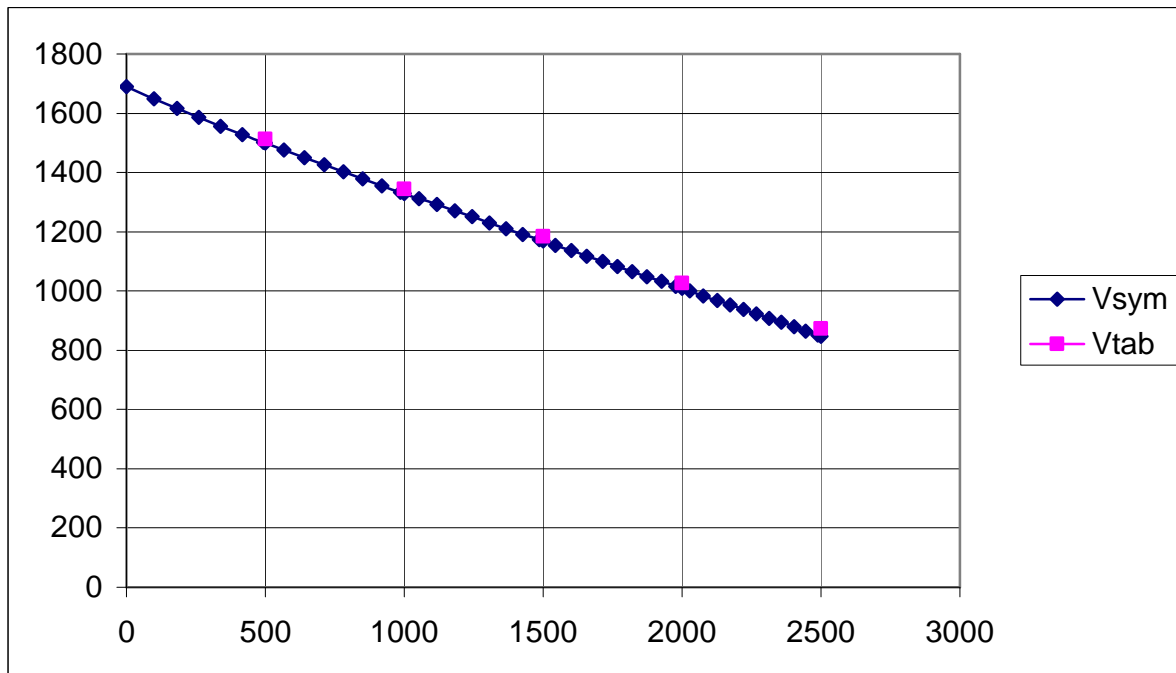
dostateczną do wstępnych prac, dokładnością. Poniżej przedstawiono wyniki symulacji lotu trzech wzorów ćwiczebnych pocisków podkalibrowych w zakresie odległości na których prowadzone są strzelania ćwiczebne (rys.6,7,8).



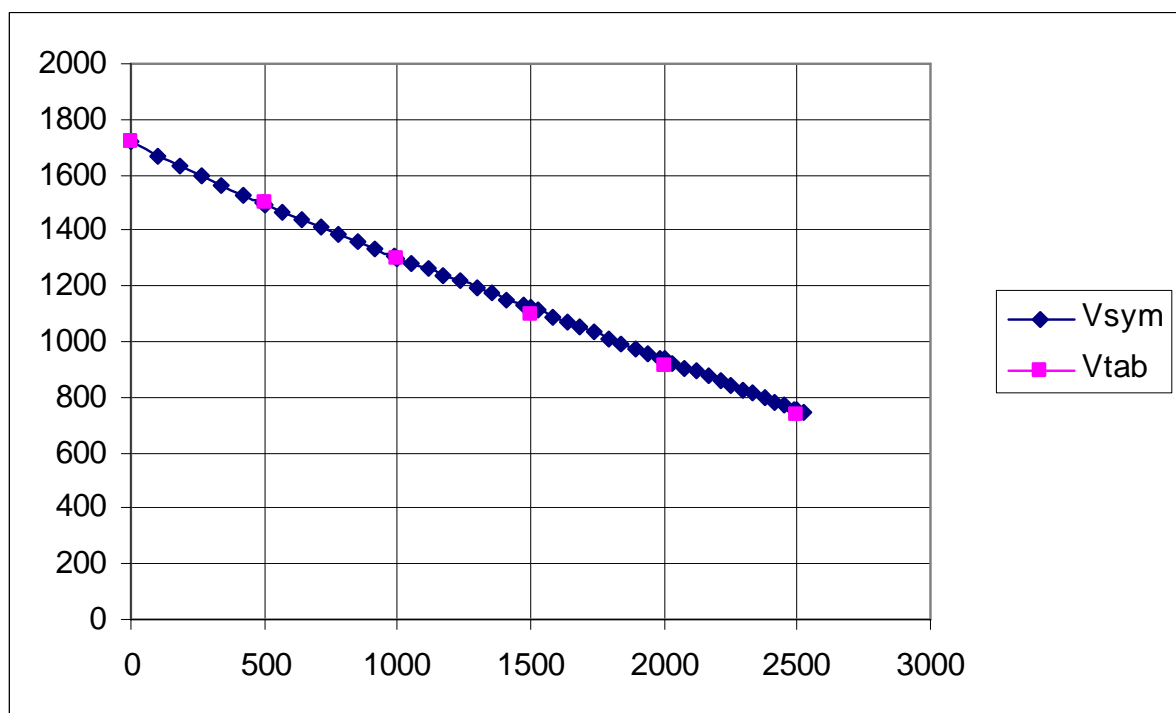
Rys.5. Wartości współczynnika oporu powietrza  $C_x$  wybranych modeli pocisków w funkcji liczby Macha.



Rys.6. Wyniki symulacji lotu  $V=f(x)$  pocisku ćwiczebnego M865 (USA) .



Rys.7. Wyniki symulacji lotu  $V=f(x)$  pocisku ćwiczebnego DM 48 (Niemcy).



Rys.8. Wyniki symulacji lotu  $V=f(x)$  pocisku ćwiczebnego PZ 541 (Polska).

Jednym z ważniejszych parametrów charakteryzujących własności balistyczne pocisków przeznaczonych do strzałów bezpośrednich jest spadek prędkości pocisku na odległości 1000 metrów od stanowiska ogniowego. Parametr ten może być także podstawą do oceny dokładności symulacji trajektorii pocisku na początkowym odcinku toru lotu w stosunku do wartości tabelarycznych. W tabeli 2 zestawiono, otrzymane w wyniku obliczeń i



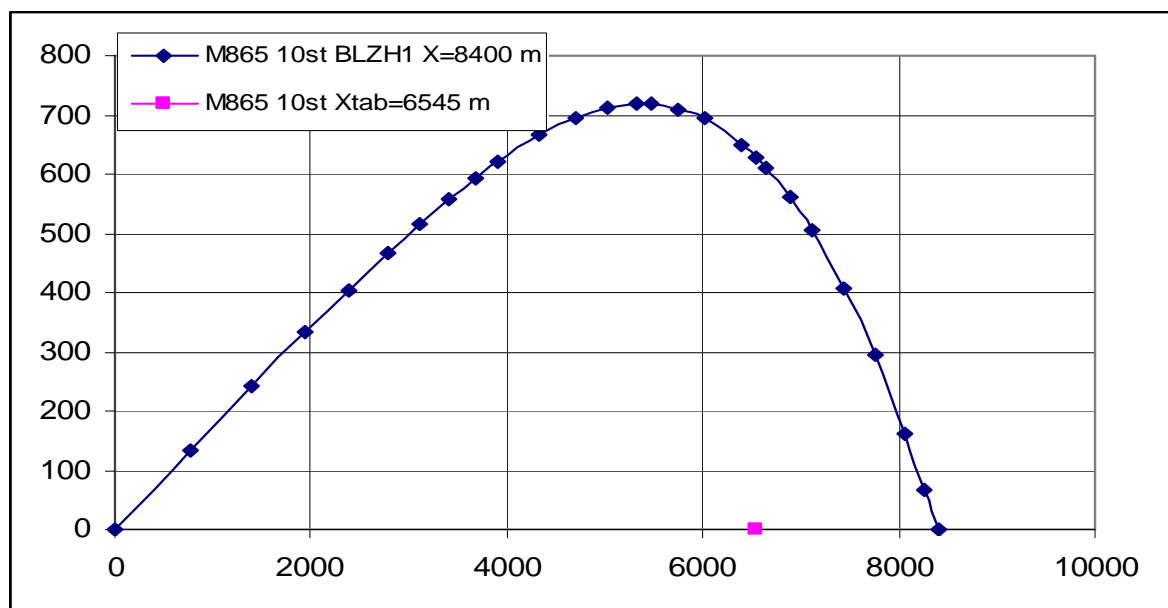
podawane w tabelach strzelniczych, wartości spadku prędkości na odległości 1000 m dla wybranych ćwiczebnych pocisków podkalibrowych.

Tabela 2

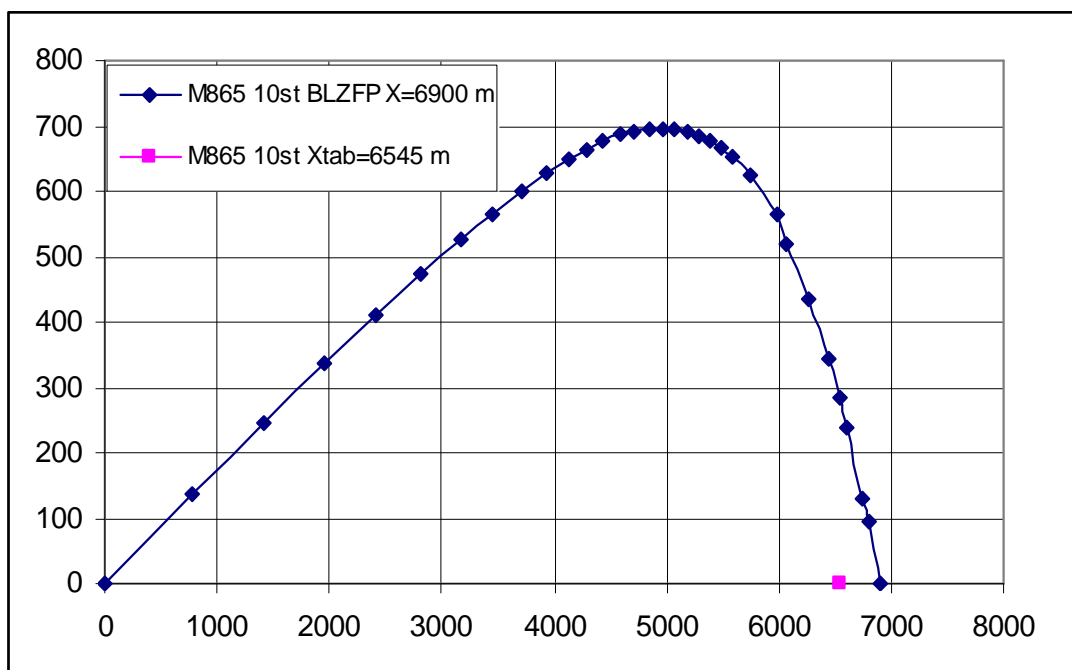
Pocisk	M865	DM48	PZ-541
$\Delta V_{1000}$ sym. (m/s)	367	360	413
$\Delta V_{1000}$ tabel. (m/s)	374	345	420
Różnica (m/s)	-7,0	15,0	-7,0
Różnica ( % )	-1,9	4,3	- 1,7

Na podkreślenie zasługuje fakt, że dokładność symulacji jest dość dobra (maksymalna różnica 4,3%) dla wszystkich rozpatrywanych pocisków mimo, że nie uwzględnia się w programie współczynników dopasowujących (np. współczynnika kształtu.), zwykle koniecznych w praktyce balistycznej.

Korzyści z zastosowania programu BLZFP zaprezentowane są poniżej. Na wykresie (rys. 9) przedstawiona jest obliczona trajektoria lotu pocisku M865 wystrzelonego przy kącie podniesienia lufy równym  $10^0$ , otrzymana przy założeniu powszechnie stosowanego prawa oporu Siacciego i wartości współczynnika kształtu ( $i=0,58$ ) wyznaczonego tak aby obliczeniowy spadek prędkości pocisku na odległości 1000 metrów był zgodny z podawanym w tabelach strzelniczych ( $\Delta V=374$  m/s). Natomiast na wykresie (rys. 10) zobrazowano trajektorię lotu pocisku M865 wyznaczoną przy użyciu opracowanego w WITU programu BLZFP.



Rys.9. Wyniki symulacji, przy użyciu standardowego programu balistycznego wykorzystującego prawo oporu Siacciego, hipotetycznej trajektorii X-Y pocisku ćwiczebnego M865 wystrzelonego pod kątem podniesienia  $10^0$ .



Rys.10. Wyniki symulacji, przy użyciu programu BLZFP, trajektorii X-Y pocisku ćwiczebnego M865 wyrzuczonego pod kątem podniesienia  $10^0$ .

Z przedstawionych danych wynika, że dokładność określenia donośności maksymalnej pocisku przy stosowaniu programu BLZFP wynosi około 5%, natomiast przy zastosowaniu metody Siacciego dokładność określenia donośności wynosi około 28%.

Używając programu BLZFP określono odległości maksymalne pocisków przy strzelaniu pod kątem podniesienia  $10^0$  ( w warunkach normalnych):

DM48 (Niemcy) – 6660 m;

DM 78(Niemcy , w trakcie wprowadzania do uzbrojenia) – 6950 m;

PZ541 (Polska) – 6280 m.

Uzyskane wyniki odpowiadają danym podawanym w dostępnych źródłach.

## 5. Wnioski

Uzyskane rezultaty niniejszej pracy pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

1. Aktualnie stosowane do obliczeń balistyki zewnętrznej prawa oporu powietrza nie dają zadowalających wyników w przypadku ćwiczebnych pocisków podkalibrowych do armat czołgowych, ponieważ zostały sporządzone na podstawie badań pocisków klasycznych stabilizowanych obrotowo oraz brzechwowo.
2. Opracowany program określania parametrów balistycznych lotu podkalibrowych pocisków ćwiczebnych ze stabilizatorami stożkowymi pozwala z dokładnością wystarczającą do zastosowań w praktyce inżynierskiej obliczać podstawowe parametry lotu pocisków.

## Literatura

[1] J. Szapiro, *Balistyka zewnętrzna*, Warszawa 1956,

[2] I. Celmins, *Aerodynamic Characteristics of Fin – and Flare – Stabilized 25 mm XM910 Prototypes*, BRL, Aberdeen 1987,

- [3] J. E. Danberg, A. Sigal, I. Celmins, *Prediction and Comparison with Measurements of the Aerodynamic Characteristics of Flare-Stabilized XM910 Prototypes*, BRL, Aberdeen 1989,
- [4] F. P. Donlon, B. A. Levine, *120-mm Target Practice Cone Stabilized Discarding Sabot with Tracer (TPCSDS-T) M865 (E3) Rework Report (Pop-Rivet Design)*, Picatinny Arsenal, New Jersey 2002,
- [5] F. G. Moore, T.C. Hymer, *Improvements in Pitch Damping for the Aeroprediction Code with Particular Emphasis on Flare Configurations*, Naval Surface Warfare Center, Dahlgren, Virginia 2000,
- [6] R. L. McCoy, "MC DRAG" – *A Computer Program for Estimating The Drag Coefficients of Projectiles*, BRL, Aberdeen 1981,
- [7] L. C. MacAllister, B. J. Reiter, B. B. Grollman, A. E. Rhrallk, *A Compendium of Ballistic Properties of Projectiles of Possible Interest in Small Arms*, BRL, Aberdeen 1971,
- [8] [www.fr.frogspad.com/miscellg.htm](http://www.fr.frogspad.com/miscellg.htm) (Miscellaneous Questions)