



ANALIZA PORÓWNAWCZA WSPÓLCZYNNIKÓW OPORU NADDŹWIEKOWYCH POCISKÓW MOŹDZIERZOWYCH

COMPARISON ANALYSIS OF DRAG COEFFICIENTS FOR SUPERSONIC MORTAR PROJECTILES

Mariusz MAGIER, Tomasz MERDA
Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia
Military Institute of Armament Technology

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki analizy porównawczej współczynników oporu uzyskanych na podstawie wyników badań strzelaniem i symulacji numerycznych. Wyniki obliczeń numerycznych przeprowadzone metodą CFD z wykorzystaniem oprogramowania Ansys Fluent v16, posłużyły m.in. do opracowania wstępnych tabel strzelniczych dla nowoprojektowanych pocisków do moździerza RAK.

Słowa kluczowe: mechanika, balistyka, pocisk moździerzowy, współczynnik oporu

1. Wprowadzenie

Obecna wizja rozwoju i modernizacji wojsk raketowych i artylerii na najbliższe lata zakłada długofalową modernizację wyposażenia polskich artylerzystów w oparciu o planowane środki finansowe, które powinny być zwiększone, co najmniej dwukrotnie w stosunku do założeń poprzedniego planu 2007-2012. Prowadzony obecnie proces profesjonalizacji i uzawodowienia Sił Zbrojnych RP, a także wdrażanie do uzbrojenia nowych technologii i środków rozpoznania oraz rażenia na polu walki, będą miały decydujący wpływ na strukturę oraz wyposażenie pododdziałów artylerii, które nadal będą stanowić bezpośrednie wsparcie batalionów piechoty zmotoryzowanej, zmechanizowanej, górskiej, kawalerii powietrznej oraz formacji wsparcia ogniowego. Jednym z podstawowych wymo-

Abstract: Results of comparison between drag coefficients established by the firing tests and numerical simulations are presented in the paper. The results of numerical calculations carried out by CFD method, exploiting Ansys Fluent v16 software, were used to develop initial firing tables for newly designed projectiles for RAK mortar.

Keywords: mechanics, ballistics, mortar projectile, drag coefficient

1. Introduction

Current concept of future development and upgrading for the Rocket and Artillery Troops assumes a long term upgrading for the Polish artillery troops equipment basing on planned financial assets which shall be increased at least two times referring to values accepted in a former plan for 2007-2012. Professionalization of the Polish Armed Forces and implementation of new technologies and assets of intelligence and striking to weapon systems on the combat field will have a decisive impact into the structure and equipment of artillery subunits which still remain a direct support for motorised, mechanised and mountain battalions of infantry, and the air cavalry, and formations of fire support. Mobility is one of the basic requirements for the artillery

gów stawianym artylerii na obecnym polu walki jest mobilność, która charakteryzuje się prędkością poruszania się artyleryjskiego środka ogniowego po drogach i bezdrożach.

Wobec wyczerpywania się rezerwy technicznej 120 mm moździerzy wz. 38/43, Zarząd Wojsk Rakietowych i Artylerii Dowództwa Generalnego Rodzajów Sił Zbrojnych planuje wprowadzić do uzbrojenia 120 mm moździerz samobieżny RAK (rys. 1).

Obecnie Konsorcjum ZM.DEZAMET S.A. i Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia realizują umowę na pracę rozwojową (kr. RAK-AMUNICJA) dotyczącą wdrożenia do produkcji amunicji odłamkowo-burzącej, dymnej i oświetlającej do moździerza RAK, zawartą z Inspektorem Uzbrojenia MON w roku 2012.

on the contemporary battle field and it characterises the velocity of movement of an artillery piece by roads and terrain.

As technical resources of 120 mm mortars model 38/43 come to the end the Board of Rocket and Artillery Troops at the General Command of Armed Forces Branches has been planning to field self-propelled 120 mm mortars RAK (Fig. 1).

Consortium including ZM.DEZAMET S.A. and Military Institute of Armament Technology (MIAT) has been working on development project (named RAK-AMUNICJA) aimed to put into production HE, smoke and illuminating ammunition for RAK mortar in the frame of an agreement concluded with Armament Inspectorate of MoD in 2012.



Rys. 1. 120 mm moździerz samobieżny RAK (fot. HSW-CPW)

Fig. 1. 120 mm self-propelled mortar RAK (photo HSW-CPW)

W przypadku wcześniej wymienionej nowoprojektowanej amunicji z pociskiem odłamkowo-burzącym (kr. RAK-AMUNICJA) głównym wymogiem WZTT jest zapewnienie donośności maksymalnej pocisku minimum 10000 m. Tego typu amunicja jest opracowywana dopiero w kilku państwach na świecie,

The main requirement of the initial tactical-technical specifications (ITTS) for the newly designed ammunition with HE projectile (named RAK-AMUNICJA) is the range above 10 000 m. The ammunition of this kind has been currently developed only by a few countries in the world at declared

a ich deklarowana donośność nie przekracza 9400 m, dlatego wymagania stawiane polskiej amunicji są wysokie.

Donośność tego rzędu może być osiągnięta zarówno przez zwiększenie prędkości początkowej do wartości około 500 m/s oraz dzięki zastosowaniu nowego kształtu pocisku o niższych współczynnikach oporu.

Dotychczas klasyczna amunicja moździerzowa w większości była wystrzeliwana z prędkościami pod- i okołodźwiękowymi ($V_0 \leq 330$ m/s), co miało wpływ na prace badawcze w tej dziedzinie, które w większości również realizowane były przy założeniu ww. prędkości.

Ponadto dane literaturowe na temat prac rozwojowych dotyczących balistyki naddźwiękowych pocisków moździerzowych [1÷6] są nieliczne.

2. Obliczenia numeryczne

Potrzeba zaprojektowania nowoczesnej amunicji moździerzowej o donośności maksymalnej minimum 10000 m i braku odpowiednich danych literaturowych, mogących wspomóc proces jej projektowania, wymusiła zastosowanie innych niż dotychczas metod wyznaczenia kształtu dla nowopowstałego pocisku.

W ramach realizacji przedmiotowego projektu do wyznaczania charakterystyk aerodynamicznych metodami CFD zastosowano oprogramowanie ANSYS FLUENT. Oprogramowanie tego typu jest szeroko stosowane w branży lotniczej, w przeciwieństwie do problematyki projektowania amunicji artyleryjskiej. W Polsce metoda ta jest aplikowana podczas prac naukowo-badawczych nad amunicją dopiero od kilku lat [7].

Do realizacji projektu założono, że metody numeryczne CFD jakościowo dobrze odzwierciedlają zjawisko opływu pocisku przez powietrze, natomiast dotychczas nie było możliwości weryfikacji dokładności metody i wielkości błędu w porównaniu z wynikami badań dynamicznych.

Do wyznaczenia charakterystyk aerodynamicznych wykorzystano program ANSYS Fluent v16. Siatka obliczeniowa została wykonana w programie ICEM CFD. Siatka ma wyłącznie elementy ortogonalne z warstwą

range below 9400 m, so the requirements for the Polish ammunition are high.

Such values of the range may be achieved both by the increase of the muzzle velocity to ca. 500 m/s and the application of a new projectile shape to get lower coefficients of drag.

Up to now the conventional mortar projectiles were fired with subsonic or nearsonic velocities ($V_0 \leq 330$ m/s) what affected the development projects in this domain as they assumed the above mentioned velocities.

Nevertheless the data available in the literature on development projects for mortar projectiles hypersonic ballistics are limited [1÷6].

2. Numerical Calculations

The need for designing modern mortar ammunition of maximal range ca. 10 000 m and without available literature data that could support the designing process has enforced the application of new methods for determination of projectile shape.

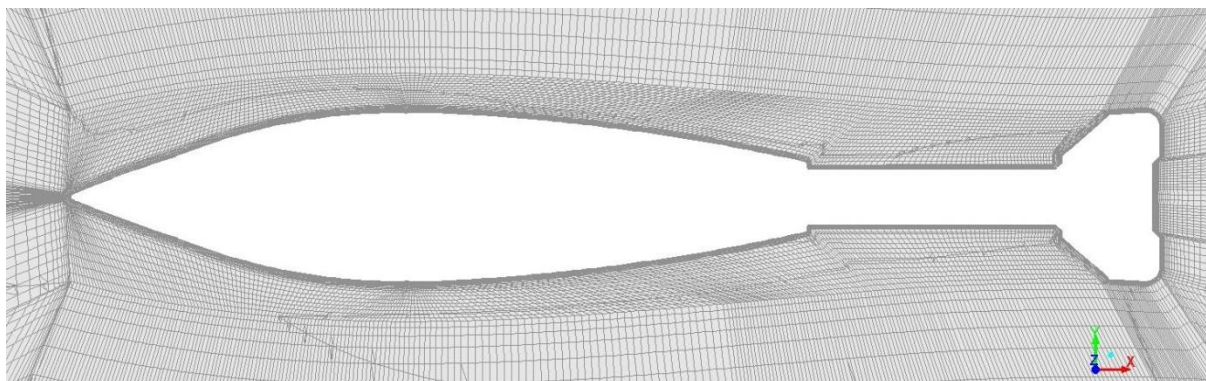
Software ANSYS FLUENT was used to determine the aerodynamic characteristics by CFD methods in the frame of the project. This software is widely used in the aviation branch and rarely for artillery ammunition designing problems. In Poland this method has been applied at scientific-research projects on ammunition just recently [7].

It was assumed for the needs of the project that numerical CFD methods may be successfully used to describe qualitatively the phenomenon of the air flowing around the projectile but up to now it was not possible to verify accuracy of the methods and values of errors referred to the results of dynamic tests.

Program ANSYS Fluent v16 was used to determine aero-dynamic characteristics. A calculating mesh was made in program ICEM CFD. The mesh consists exclusively of orthogonal components with a sidewall layer. A cross section of

przyścienną. Przekrój przez fragment siatki w płaszczyźnie symetrii pocisku został przedstawiony na rysunku 2.

a part of the mesh in projectile plane of symmetry is presented in Fig. 2.



Rys. 2. Fragment siatki obliczeniowej w płaszczyźnie symetrii pocisku

Fig. 2. A part of calculating mesh in projectile symmetry plane

Do obliczeń wykorzystano siatkę obliczeniową wykonaną przez autorów oraz dane pobrane z opracowanej w WITU dokumentacji konstrukcyjnej na 120 mm pocisk HE do moździerza RAK o zwiększonej donośności [8].

W obliczeniach został wykorzystany model jawny oparty na gęstości. Za pomocą programu wyznaczono wartości współczynnika oporu dla prędkości przepływu odpowiednio: 0,7; 0,8; 0,9; 0,95; 1; 1,05; 1,1; 1,2; 1,3. Parametry powietrza przyjęto zgodnie z standardem Normalnej Atmosfery Artyleryjskiej przy powierzchni.

3. Badania eksperymentalne

W ramach prac rozwojowych kr. RAK-AMUNICJA opracowano i wykonano modele nowych 120 mm pocisków moździerzowych przeznaczonych do badań strzelaniem.

Badania przeprowadzono na poligonie w Nowej Dębie strzelając przy maksymalnej prędkości wylotowej (500 m/s) i kącie podniesienia lufy 45°.

W badaniach wykorzystano radarowy system śledzący określający w czasie rzeczywistym położenia i prędkości pocisku (rys. 3).

Calculations were performed by using the mesh prepared by authors and data taken from 120 mm HE projectile designing documentation for RAK increased range mortar developed by MIAT [8].

The calculations use an explicit model based on density. The program was used to calculate the values of drag coefficients for following flow velocities: 0.7; 0.8; 0.9; 0.95; 1.0; 1.05; 1.1; 1.2; 1.3. The characteristics of the air were taken according to Normal Artillery Atmosphere standard near the ground.

3. Experimental Tests

Models of new 120 mm mortar projectiles designated for firing tests were developed and prepared in the frame of development project RAK-AMUNICJA.

Tests were carried out on the proving range in Nowa Dęba at maximal muzzle velocity (500 m/s) and barrel elevation angle 45°.

A radar tracking system was used at tests to measure position and velocity of projectile in the real time (Fig. 3).



Fot. 3. Radarowy system śledzący na stanowisku ogniowym (fot. T.Merda)

Fig. 3. Radar tracking system at the firing position (photo T. Merda)

Ze względu na swoje ograniczenia system rozpoczął stabilne śledzenie pocisku od ok. 1 sekundy jego lotu, kiedy pocisk zwolnił już o ok. 60-70 m/s. Skutkowało to tym, że pierwsze pomiary otrzymywano dla prędkości opływu ok. 1,25-1,3 [Ma] podczas, gdy prędkość wylotowa wynosiła $V_0 \approx 500$ m/s $\approx 1,5$ Ma. Moment opuszczenia przez pocisk przewodu lufy został przedstawiony na rysunku 4 zarejestrowano go kamerą do zdjęć szybkich Phantom V710.

The limitations of the system caused that the stable tracking of the projectile started after ca. 1 second of its flight when it slowed by ca. 60-70 m/s. The result was that the first measurements were received for flowing velocities ca. 1.25-1.3 [Ma] whereas the muzzle velocity was $V_0 \approx 500$ m/s ≈ 1.5 Ma. A moment of leaving the muzzle by the projectile is recorded by Phantom V710 high speed camera and shown in Fig. 4.



Rys. 4. Pocisk po opuszczeniu przewodu lufy w czasie strzału (fot. T.Merda)

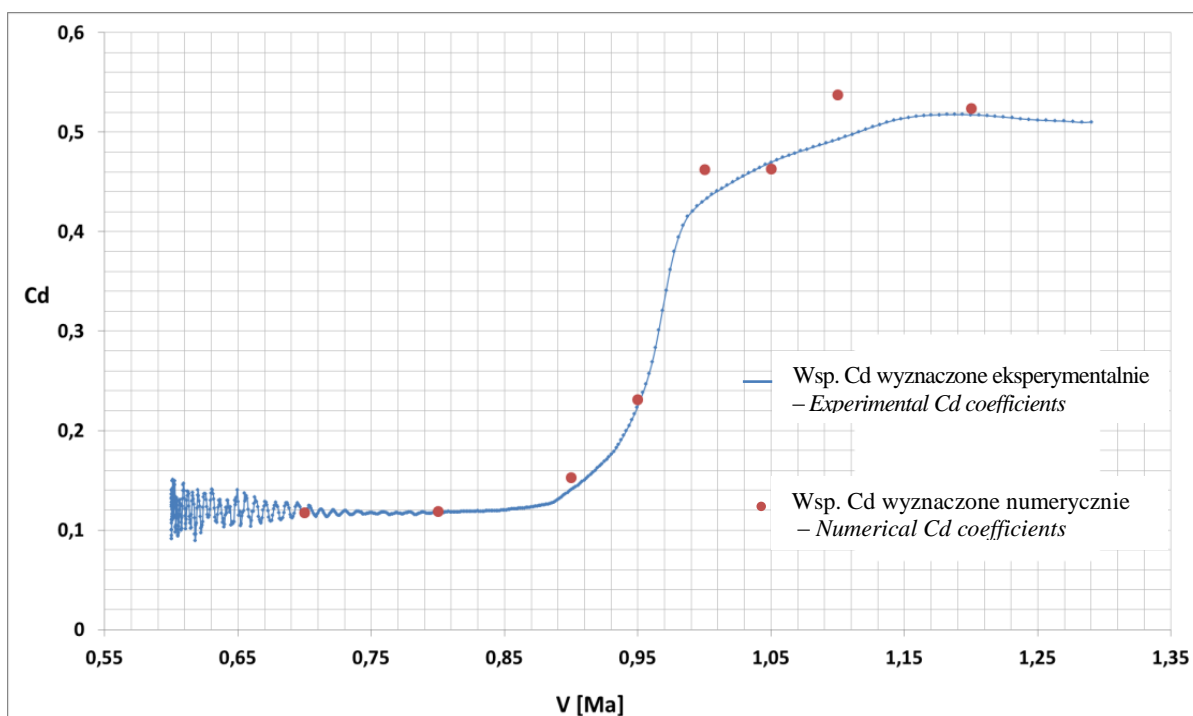
Fig. 4. Projectile leaving the barrel after firing (Photo T. Merda)

W czasie lotu pocisku jego prędkość malała do wartości $V_{\min} \approx 0,6$ Ma. Próbkowanie danych pomiarowych zostało ustawione na 0,05 [s]. Wyniki otrzymane z radaru pozwoli-

The velocity of the projectile decreased to $V_{\min} \approx 0.6$ Ma during its flight. Sampling of measured data was set at 0.05 [s]. Results received from the radar

ły na wyznaczenie współczynników oporu dla wystrzelonych pocisków. Wykres wyznaczonych eksperymentalnie współczynników oporu czołowego pocisku C_d w funkcji prędkości opływu (do wierzchołkowej toru lotu) dla jednego z pocisków przedstawiono na rys. 5. Dodatkowo zaznaczono na nim wartości wyliczone metodami numerycznymi CFD.

allowed to establishing coefficients of drag for fired projectiles. The graph of experimental coefficients of projectile front drag C_d in the function of flow velocity (to ceiling of trajectory) for one of projectiles is presented in Fig. 5. The values calculated by CFD numerical methods are marked additionally on it.



Rys. 5. Wykres zależności współczynników oporu C_d wyznaczonych eksperymentalnie i numerycznie w funkcji prędkości opływu V

Fig. 5. Graph illustrating the dependence of established experimentally and numerically drag coefficients C_d on the flowing velocity V

Widoczne na wykresie fluktuacje współczynników oporu (eksperymentalnych) dla zakresu prędkości poddźwiękowych powstają prawdopodobnie w wyniku coraz większego kąta nutacji podczas wahań pocisku w okolicach wierzchołkowej toru lotu. W okolicach i za wierzchołkiem toru lotu występuje największa krzywizna toru lotu, a jednocześnie działają na pocisk najmniejsze siły stabilizujące, gdyż w tym obszarze jest najmniejsza prędkość pocisku i najmniejsza gęstość powietrza. Powiększony fragment wykresu w miejscu występowania fluktuacji jest przedstawiony na rys. 6.

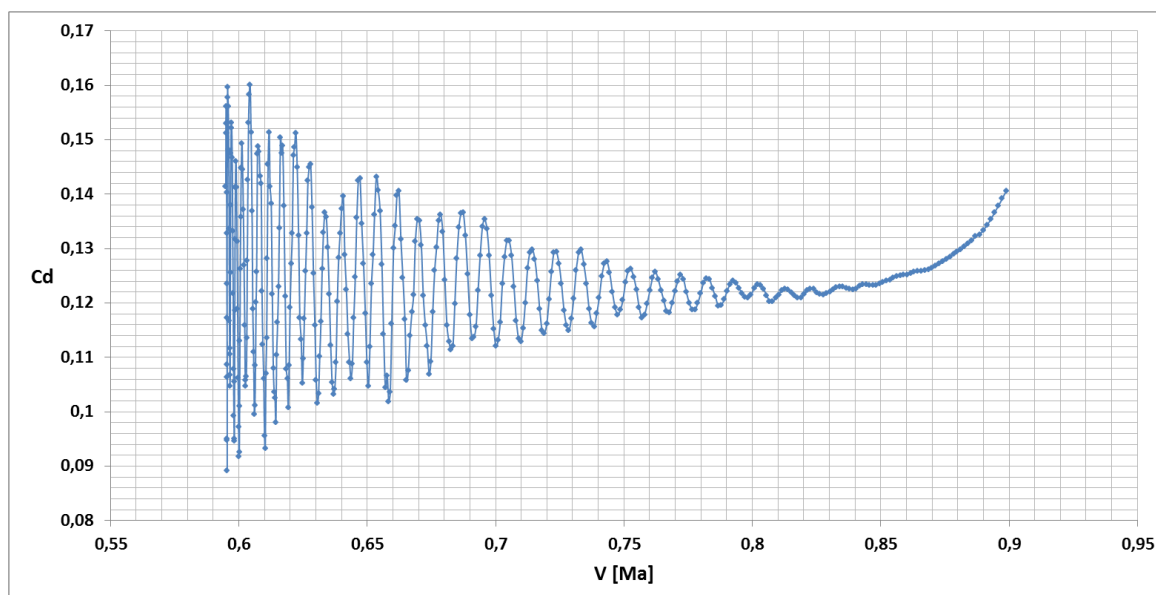
Dokładna analiza obszaru fluktuacji pozwala stwierdzić, że wahania mają wolnozmienny okres, co może potwierdzać przedstawione

Fluctuations of drag coefficients visible on the graph (experimental) for subsonic velocities may be caused by the increased yaw angle at the trajectory ceiling. In this region the trajectory is bent in the greatest degree and at the same time there are the lowest stabilising forces acting to the projectile caused by its lowest velocity and air density. An enlarged fragment of the graph showing the fluctuations is presented in Fig. 6.

A scrutinised analysis of fluctuations substantiates the statement that they have a slow changing component what may be a confirmation of the assumption presented above. More detailed analysis of this

przypuszczenie. Dokładna analiza tego zjawiska będzie przedmiotem kolejnej publikacji.

phenomenon will be presented in a next publication.



Rys. 6. Wykres zależności współczynnika oporu C_d w funkcji prędkości opływu V w obszarze fluktuacji współczynnika

Fig. 6. Graph of dependence of drag coefficient C_d on the flowing velocity V in its fluctuation region

W tabeli 1 zostały przedstawione wartości współczynnika wyznaczone eksperymentalnie i numerycznie dla wybranych prędkości opływu.

Values of the coefficient determined in experimental and numerical ways for selected velocities of the flow are presented in table 1.

Tabela 1. Wyniki wyznaczone eksperymentalnie i numerycznie
Table 1. Results received by experimental and numerical ways

V [Ma]	0,7	0,8	0,9	0,95	1	1,05	1,1	1,2
Cd wyznaczony eksperymentalnie / <i>Experimental</i>	0,1145	0,1206	0,1405	0,2236	0,4357	0,4723	0,4941	0,5176
Cd wyznaczony numerycznie / <i>Numerical</i>	0,1173	0,1188	0,1524	0,2312	0,4625	0,4627	0,5374	0,5238
Błąd względny / <i>Relative error</i>	2,45%	-1,52%	8,47%	3,40%	6,15%	-2,02%	8,77%	1,21%

4. Wnioski

Porównanie wyników w postaci współczynników oporu wyznaczonych metodą eksperymentalną i numeryczną, przedstawionych w tabeli 1, wskazuje na dużą dokładność obliczeń numerycznych. Nawet wartość największego błędu względnego można przyjąć, jako zadowalającą na etapie prac koncepcyjno-projektowych. Dla większości wyników osią-

4. Conclusions

The comparison of results for drag coefficients established by experimental and numerical methods shown in table 1 indicates that numerical calculations were performed with a great accuracy. Even the value of the greatest error may be accepted on the stage of conceptual-designing work. Most of the results have the error level be-

gnięty błąd poniżej 5% wskazuje na dobrą dokładność tej metody. Skokowe wzrosty błędów dla wartości liczby Macha 0,9; 1; 1,1 mogą być najprawdopodobniej spowodowane zaburzeniami opływu związanymi z pokonywaniem przez pocisk bariery dźwięku i dlatego konieczne jest prowadzenie dalszych prac mających na celu identyfikację tych rozbieżności.

W podsumowaniu można przyjąć tezę, że dzięki zastosowaniu metody symulacji CFD, można określić charakterystykę oporu pocisku, jeszcze na etapie jego projektowania, bez konieczności przeprowadzenia czasochłonnych i kosztownych badań strzelaniem.

Ten sposób modelowania w znaczący sposób może przyspieszyć i zmniejszyć koszt projektowania nowej amunicji artyleryjskiej.

low 5% what is a proof of method high accuracy. Significant increases of the error for Mach numbers 0.9; 1.0; 1.1 may be caused by disturbances of flow for projectile crossing the barrier of the sound and the further work has to be conducted to identify these differences.

The above leads to an assumption that application of CFD simulating method allows for the establishment of projectile drag characteristic still on the stage of its design without the necessity for time and cost consuming tests carried out by the firings.

Such way of modelling may significantly reduce the time and cost of designing for new artillery ammunition.

Literatura / Literature

- [1] Floroff G.S., Salatino B.L., 120 mm Ammunition Feasibility Assessment for Light Artillery, Technical Report ARFSD-TR-9902, ARDEC, 2000,
- [2] Ramezani A., Cors J., Rothe H., Comparison of Methods for Simulation-Based Early Prediction of Rocket, Artillery and Mortar Trajectories, Conference on Defence and Military Modelling & Simulation, San Diego, CA, USA, 2012,
- [3] Elsaadany A., YI Wen-Jun, Extended range of fin stabilised projectile using movable canards, Inform.Technol.J., 13 (17): 2658-2665, 2014
- [4] Weinacht P., A hybrid Supersonic/Subsonic Trajectory Model for Direct Fire Applications, Aberdeen Proving Ground, MD 21005-5066, ARL- TR-5574, June 2011,
- [5] Akcay M., Development of Universal Flight Trajectory Calculation Method for Unguided Projectiles, Turkish J. Eng. Env. Sci., 28 (2004) , 369-376,
- [6] Pierens D.A., Aerodynamic Evaluation of Production Fuses and Fins for the 81 mm Improved Mortar Projectile, DSTO-TR-0142, Aeronautical and Maritime Research Laboratory, AR008-331, 1995,
- [7] Baranowski L., Modelowanie, identyfikacja i badania numeryczne dynamiki lotu obiektów balistycznych na potrzeby systemów kierowania ogniem artylerii naziemnej, rozprawa habilitacyjna, Warszawa, Wojskowa Akademia Techniczna, 2011, 258 s. Sygn. 69618.
- [8] „Dokumentacja Konstrukcyjna. Nabój z dalekonośnym pociskiem odłamkowo-burzącym (HE) do 120 mm do moździerza. Część I Elaboracja i kompletacja naboju. nr rys. 6-B59.00. Archiwum WITU, 2014.

