

Zbigniew DZIOPA<sup>1</sup>  
Krzysztof ZDEB<sup>2</sup>

## METODA WYZNACZANIA LOTU POCISKÓW WYSTRZELONYCH OGNIEM SERYJNYM Z PISTOLETU MASZYNOWEGO GLAUBERYT

Na strzelnicy firmy EMJOT przeprowadzono rejestrację procesu wystrzelenia z pistoletu maszynowego Glauberyt ogniem seryjnym czterech pocisków. Do badań empirycznych użyto amunicji 9x19 mm FMJ Luger (Parabellum) produkcji czeskiej z 2017 r. Strzały zostały oddane przez antyterrorystę. Ich rejestrację przeprowadzono z zastosowaniem szybkiej kamery cyfrowej Phantom v.9.1 wraz z niezbędnym oprzyrządowaniem. Na podstawie zarejestrowanego obrazu określono początkowe kinematyczne parametry lotu każdego z pocisków. Korzystając z zasad mechaniki lotu, opracowano model balistyczny pocisku, a na jego podstawie zredagowano program symulacyjny. Zweryfikowano wyniki lotu uzyskane w przestrzeni wirtualnej, porównując je z wynikami badań doświadczalnych. Po dopracowaniu modelu teoretycznego przeprowadzono estymację lotu czterech pocisków wystrzelianych ogniem seryjnym z pistoletu maszynowego Glauberyt do tarczy znajdującej się w odległości 25 m. W artykule przedstawiono reprezentatywny przykład wystrzeliwania ogniem seryjnym czterech pocisków. W badaniach wykonano 50 takich strzelań.

**Słowa kluczowe:** mechanika lotu, analiza teoretyczna, badania doświadczalne, walidacja modelu

### 1. Wprowadzenie

W artykule został przedstawiony reprezentatywny przykład procesu wystrzelenia ogniem seryjnym czterech pocisków z pistoletu maszynowego Glauberyt. Celem pracy jest estymacja lotu każdego z pocisków wystrzelonych do tarczy znajdującej się w odległości 25 m. Rozważania obejmują badania doświadczalne przeprowadzone na zamkniętej strzelnicy, analizę teoretyczną w przestrzeni wirtualnej i walidację sformułowanego modelu. Docelowym zadaniem podjętych badań jest opracowanie wytycznych zmierzających do takiego kształtowania

---

<sup>1</sup> Autor do korespondencji/corresponding author: Zbigniew Dziopa, Politechnika Świętokrzyska, 25-314 Kielce, al. 1000-lecia PP 7, tel.: 41 3424775, e-mail: zdziopa@tu.kielce.pl

<sup>2</sup> Krzysztof Zdeb, Laboratorium Kryminalistyczne Komendy Wojewódzkiej w Krakowie, e-mail: krzysztofzdeb@gmail.com

właściwości dynamicznych pistoletu automatycznego Glauberyt, aby zmniejszyć rozrzut wystrzeliwanych ogniem seryjnym pocisków.

## 2. Badania doświadczalne

Badania procesu wystrzelenia ogniem seryjnym czterech pocisków z pistoletu maszynowego Glauberyt przeprowadzono na zamkniętej, certyfikowanej strzelnicy firmy EMJOT w Chorzowie. W eksperymencie zastosowano amunicję 9x19 mm FMJ Luger (Parabellum) produkcji czeskiej z 2017 r. Wykonano 50 strzelań do tarczy znajdującej się w odległości 25 m. W artykule przedstawiono reprezentatywny przykład procesu wystrzelenia. W celu zminimalizowania możliwości wypaczenia wyników przez niedoświadczonego strzelca w badaniach uczestniczył antyterrorysta [1]. Do rejestracji zachowania się układu strzelec–broń zastosowano szybką kamerę cyfrową Phantom v.9.1 wraz z niezbędnym oprzyrządowaniem i profesjonalnym oświetleniem [2]. Stanowisko badawcze pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Stanowisko badawcze

Fig. 1. Research position

Na podstawie zarejestrowanego obrazu określono początkowe kinematyczne parametry lotu każdego z czterech pocisków. Prędkość liniowa i kątowa, z jaką pociski opuszczają lufę pistoletu maszynowego, są porównywalne. Zasadnicza różnica wynika z innego kąta pochylenia broni, a tym samym innego kąta rzutu.

### 3. Model teoretyczny

Model balistyczny pocisku opracowano, korzystając z twierdzenia o zmianie pędu i krętu [3, 4]. Zastosowano zasady mechaniki lotu i transformacje Bryanta przyjętych układów współrzędnych do wyprowadzenia niezbędnych zależności kinematycznych i aerodynamicznych [5-8]. Charakterystykę bezwładności pocisku wyznaczono, korzystając z mechaniki teoretycznej i pomiarów zastosowanej amunicji [9]. Opracowany model teoretyczny lotu pocisku uwzględnia trzy równania ruchu postępowego, trzy równania ruchu kulistego oraz dwanaście zależności kinematycznych [10, 11]. Niezbędne zależności analityczne przedstawiono w artykule [12]. Model matematyczny lotu pocisku zweryfikowano, porównując wyniki symulacji numerycznej w przestrzeni wirtualnej z wynikami otrzymanymi podczas badań empirycznych na strzelnicy [13]. Opracowując model fizyczny lotu pocisku wystrzelonego z pistoletu maszynowego Glauberyt, określono i zrealizowano następujące zagadnienia:

1. Elementy inercyjne: pocisk to osiowosymetryczna bryła sztywne.
2. Kartezjańskie ortogonalne prawoskrętne układy odniesienia
  - układ Galileusza,
  - nieinercyjne układy współrzędnych,
  - transformacje izometryczne układów współrzędnych.
3. Przestrzeń
  - trójwymiarowa przestrzeń Euklidesa,
  - jednorodne pole grawitacyjne,
  - atmosfera ziemna.

Opracowany model fizyczny pocisku składa się z osiowosymetrycznej bryły sztywnej [14]. Przy formułowaniu jego modelu lotu uwzględniono zjawiska fizyczne wynikające z poruszania się w polu grawitacyjnym i w atmosferze ziemi. Między innymi zamodelowano zjawisko Magnusa oraz proces stabilizacji giro-skopowej [15, 16]. Sformułowany model ma sześć stopni swobody.

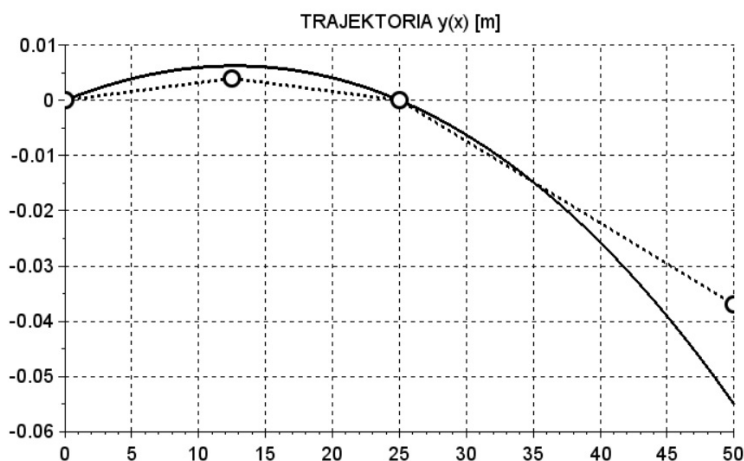
Program symulacyjny lotu czterech pocisków wystrzelonych ogniem seryjnym z pistoletu maszynowego Glauberyt napisano w systemie scilab. W tym celu wykorzystano opracowany model teoretyczny, który poddano walidacji. Dalej zostaną przedstawione przykładowe, reprezentatywne wyniki przeprowadzonej symulacji numerycznej dla przypadku wystrzelenia z pistoletu maszynowego Glauberyt ogniem seryjnym czterech pocisków [17, 18].

Na rysunku 2. przedstawiono trajektorię lotu pocisku (linia ciągła) wyznaczoną w przestrzeni wirtualnej jako rzut na płaszczyznę pionową oraz punkty odniesienia jako dane z tablic balistycznych (połączone liniami przerywanymi). Dokładność przeprowadzonej walidacji wynika z różnic wysokości oraz prędkości liniowej lotu pocisku w punktach odniesienia uzyskanej dla modelu i odczytanej z tablic balistycznych [19]. Różnice wysokości  $\Delta y$  wynoszą odpowiednio dla współrzędnej:

- $x = 0$  m       $\Delta y = 0,0$  m
- $x = 12,5$  m     $\Delta y = 0,0022$  m
- $x = 25$  m       $\Delta y = 0,0$  m
- $x = 50$  m       $\Delta y = 0,018$  m

Różnice prędkości  $\Delta v$  wynoszą odpowiednio dla współrzędnej:

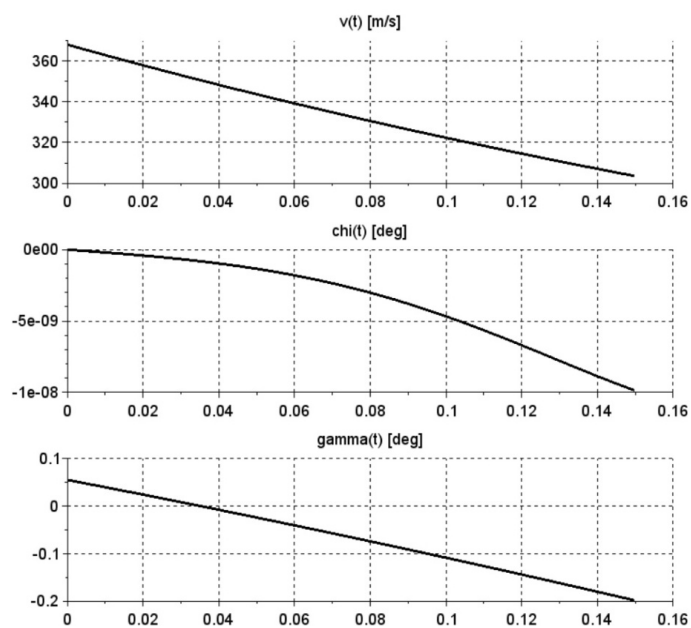
- $x = 25$  m       $\Delta v = 4$  m/s
- $x = 50$  m       $\Delta v = 2$  m/s



Rys. 2. Trajektoria lotu pocisku w płaszczyźnie pionowej

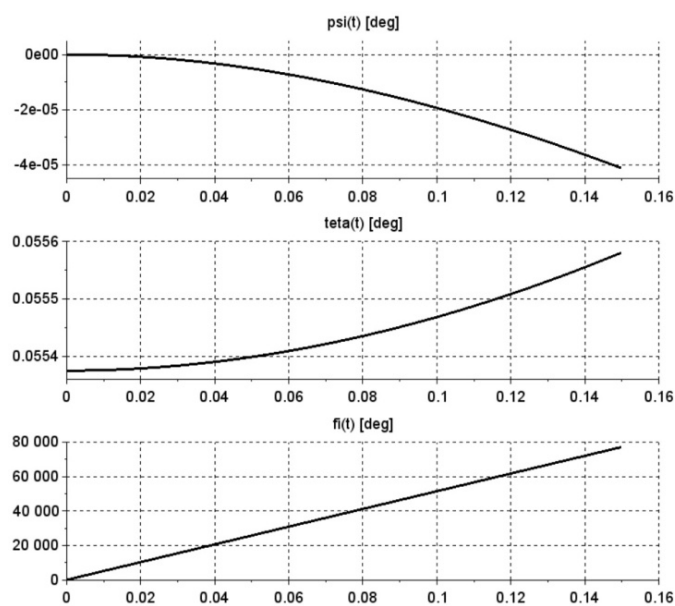
Fig. 2. Bullet flight trajectory in the vertical plane

Uzyskany stopień, w jakim model w przestrzeni wirtualnej odzwierciedla rzeczywisty lot pocisku 9x19 mm luger wystrzelonego z pistoletu maszynowego Glauberyt, jest zadowalający. W związku z tym z zadowalającą dokładnością można interpretować wyniki uzyskane z symulacji numerycznej opartej na opracowanym modelu teoretycznym lotu takiego pocisku. Na rysunku 3. są przedstawione przebiegi zmienności prędkości liniowej pocisku  $v(t)$ , kąta zwrotu toru  $\chi(t)$  i kąta pochylenia toru  $\gamma(t)$  w funkcji czasu. Na rysunku 4. zilustrowano przebiegi zmienności w funkcji czasu kąta odchylenia  $\psi(t)$ , kąta pochylenia  $\vartheta(t)$  i kąta przechylenia  $\varphi(t)$  pocisku. Są to kąty lotnicze, które służą do wyznaczenia położenia bryły pocisku w ruchu kulistym. Rysunek 5. ilustruje przebiegi zmienności w funkcji czasu składowych wektora prędkości kątowej pocisku w związanym układzie odniesienia. Na rysunku 6. przedstawiono przebiegi zmienności w funkcji czasu kąta ślizgu  $\beta(t)$  i kąta natarcia  $\alpha(t)$ .



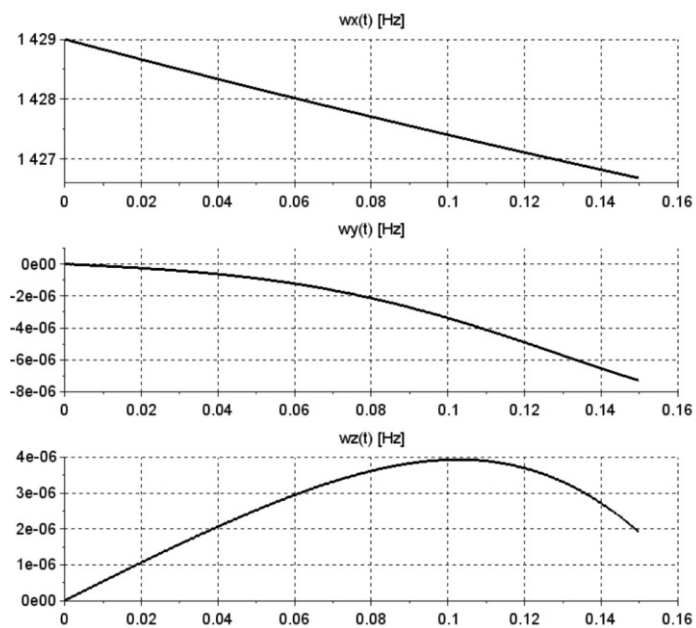
Rys. 3. Wektor prędkości liniowej pocisku

Fig. 3. Vector linear velocity of the bullet



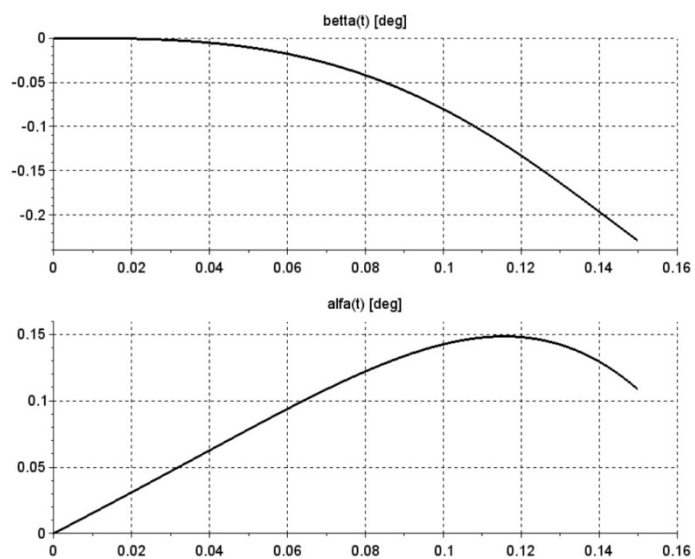
Rys. 4. Kąty lotnicze określające ruch kulisty pocisku

Fig. 4. Air angles defining the spherical movement of the bullet



Rys. 5. Składowe wektora prędkości kątownej pocisku

Fig. 5. Components of the angular velocity vector of the bullet

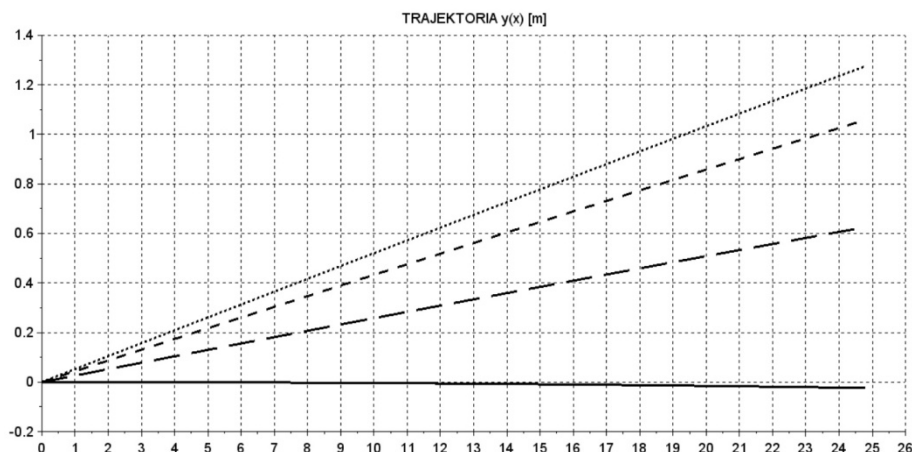


Rys. 6. Kąt ślizgu i kąt natarcia

Fig. 6. Slip angle and angle of attack

Na rysunku 7. przedstawiono trajektorie lotu każdego z czterech pocisków, wyznaczone w ziemskim topocentrycznym układzie odniesienia i pokazane jako rzuty na płaszczyznę pionową w postaci funkcji  $y(x)$ . Trajektoria lotu pocisku 1. jest oznaczona linią ciągłą, pocisku 2. – linią przerywaną długą, pocisku 3. – linią przerywaną krótką i pocisku 4. – linią kropkowaną. Kąt rzutu każdego z pocisków jest inny:

- dla pocisku 1. kąt rzutu wynosi 0,0 deg,
- dla pocisku 2. kąt rzutu wynosi 1,5 deg,
- dla pocisku 3. kąt rzutu wynosi 2,5 deg,
- dla pocisku 4. kąt rzutu wynosi 3,0 deg.



Rys. 7. Trajektoria lotu pocisku 1., 2., 3. i 4. w płaszczyźnie pionowej

Fig. 7. Trajectory of the bullet flight 1, 2, 3 and 4 in the vertical plane

Z analizy uzyskanych trajektorii wynika, że każdy z pocisków porusza się po innym torze i w efekcie trafia w inny punkt tarczy odległej o 25 m. Wystrzelenie każdego następnego pocisku powoduje podrzut broni [20]. Największy przyrost kąta rzutu występuje po wystrzeleniu pierwszego pocisku, a najmniejszy po wystrzeleniu trzeciego pocisku. Przebiegi zmienności wielkości kinematycznych charakteryzujących lot pocisku 9x19 mm luger wystrzelonego z pistoletu maszynowego Glauberyt na potrzeby walidacji opracowanego modelu teoretycznego są zbliżone dla każdego z czterech pocisków wystrzelonych ogniem seryjnym z pistoletu maszynowego Glauberyt do tarczy znajdującej się w odległości 25 m. Istotna różnica dotyczy wartości przyjmowanych przez kąt  $\gamma$  i kąt  $\theta$ , ale jest to zrozumiałe i nie wymaga komentarza. Odchylenia tych kątów od ich wartości początkowych są niewielkie: dla kąta  $\gamma$  wynoszą ok. 0,3 deg, a dla

kąta teta ok. 0,0003 deg. W związku z tym na rys. 7. przedstawiono wyłącznie trajektorie lotu każdego z czterech pocisków wystrzelonych ogniem seryjnym.

#### 4. Podsumowanie

W pracy przeprowadzono estymację lotu czterech pocisków 9x19 mm luger wystrzelonych ogniem seryjnym przez antyterrorystę z pistoletu maszynowego Glauberyt. W badaniach wykonano 50 takich strzelań do tarczy znajdującej się w odległości 25 m. Uzyskane wyniki pozwoliły na przedstawienie w opracowaniu reprezentatywnego przykładu. Z jego analizy wynika, że każdy z pocisków porusza się po innej trajektorii lotu i trafia w inny punkt na tarczy. Średnica okręgu obejmującego przestrzeliny na tarczy znajdującej się w odległości 25 m wynosi 1,3 m. Oznacza to, że wykonanie takiego strzelania w celu eliminacji napastnika może prowadzić do postrzelenia osób postronnych. Przyczyną dużego rozrzutu są niekorzystne warunki początkowe lotu pocisków. Warunki te są reprezentowane przez początkowe kinematyczne parametry lotu, które są uwarunkowane dynamiką układu człowiek–pistolet maszynowy [21]. Niekorzystny wpływ człowieka został zredukowany przez zaangażowanie do wykonania strzelań wyszkolonego antyterrorysty. W związku z tym czynnikiem decydującym o wynikach przeprowadzonego eksperymentu jest pistolet maszynowy Glauberyt. W opracowaniu przedstawiono jeden z etapów realizacji zadania docelowego zmierzającego do korekty właściwości dynamicznych zastosowanej broni [22].

Opracowany model teoretyczny lotu pocisków pozwala na przeprowadzenie analizy w przestrzeni wirtualnej. Dzięki temu po sformułowaniu modelu opisującego dynamikę układu człowiek–broń będzie można dokonać zmian parametrów broni i sprawdzić skuteczność ich wprowadzenia. Weryfikacja i walidacja opracowanych modeli pozwoli na dokonanie modyfikacji konstrukcji broni, a tym samym pozwoli na obniżenie kosztów docelowego wykonania prototypu i przeprowadzenia testów sprawdzających na strzelnicy.

#### Literatura

- [1] Ejsmont J.A.: Celność broni strzeleckiej, Praktyczny poradnik, WKŁ, Warszawa 2012.
- [2] Dziopa Z., Zdeb K.: Empirical research of human-weapon system, Technical Trans., 10 (2017) 131-139.
- [3] Niczyporuk J., Wiśniewski S.: Balistyka zewnętrzna. Część I: Podstawy formułowania opisu matematycznego ruchu pocisków, WAT 1549/85, Warszawa 1985.
- [4] Gantmacher F.R.: Lectures in analytical mechanics, Translated from the russian by G. Yankovsky, Mir Publishers, Moscow 1970.
- [5] Горбатенко С.А., Макашов Э.М., Полушкин Ю.Ф.: Механика полета, Машиностроение, Москва 1969.
- [6] Краснов Н.Ф.: Аэродинамика тел вращения, Машиностроение, Москва 1964.
- [7] Кузнецов В.А., Чуйко В.С.: Внешняя баллистика, Высшая школа, Москва 1958.



- [8] Dubiel S.: Dynamika lotu. Część I: Aerodynamika, Część II: Mechanika lotu, WAT, Warszawa 1984, 1985.
- [9] Engel Z., Giergiel J.: Mechanika ogólna. Część I: Statyka, Kinematyka, Część II: Dynamika, Skrypt nr 718 i 719, Wydawnictwo AGH, Kraków 1979, 1980.
- [10] Gacek J.: Balistyka zewnętrzna. Część I: Modelowanie zjawisk balistyki zewnętrznej i dynamiki lotu, Część II: Analiza dynamicznych właściwości obiektów w locie, WAT, Warszawa 1997, 1998.
- [11] Osiecki J., Koruba Z.: Elementy mechaniki zaawansowanej, Politechnika Świętokrzyska, Podręcznik akademicki, Kielce 2007.
- [12] Dziopa Z., Zdeb K.: Effect of the man-weapon system on the trajectory of a projectile fired from a machine pistol, Problems of Mechatronics, Armament, Aviation, Safety Engineering, Quarterly, 8 (2017) 101-114.
- [13] Giergiel J., Uhl T.: Identyfikacja układów mechanicznych, PWN, Warszawa 1991.
- [14] Gacek J., Maryniak J.: Modelowanie własności dynamicznych brył obrotowych miotanych z ruchomych obiektów, Biuletyn WAT, 10 (1987) 81-96.
- [15] Boiffier J.-L.: The dynamics of flight – the equations, John Wiley & Sons, Chichester–New York–Weinheim–Brisbane–Singapore–Toronto 1998.
- [16] Mitkowski W.: Stabilizacja systemów dynamicznych, Skrypt nr 909, Wydawnictwo AGH, Kraków 1984.
- [17] Suchocki C., Ewertowski J.: Modeling and numerical simulation of semi-automatic pistol Dynamics, J. Theor. Appl. Mech., 53 (2015) 81-91.
- [18] Sibilski K.: Modelowanie i symulacja dynamiki ruchu obiektów latających, Oficyna Wydawnicza MH, Warszawa 2004.
- [19] Szapiro J.: Balistyka zewnętrzna, Wydawnictwo MON, Warszawa 1956.
- [20] Ewertowski J.: Analiza siły oddziaływania broni ramiennej na strzelca w czasie strzału, Biuletyn WAT, 56 (2007) 207-221.
- [21] Dziopa Z., Zdeb K.: Model teoretyczny układu człowiek–broń, ZN Akademii Marynarki Wojennej, 57 (2016) 53-64.
- [22] Górecki H.: Optymalizacja systemów dynamicznych, PWN, Warszawa 1993.

## **FLIGHT ESTIMATION OF FOUR BULLETS OF SERIAL FIRING FROM THE GLAUBERYT SUBMACHINE GUN**

### **S u m m a r y**

At the EMJOT firing range, the process of firing the Glauberite machine gun was recorded with serial fire of four bullets. 9x19 mm FMJ Parabellum Luger Czech production from 2017 was used for empirical research. The shots were given by an anti-terrorist. Their registration was carried out using the high-speed Phantom v.9.1 digital camera, together with the necessary equipment. Based on the recorded image, the initial kinematic flight parameters of each of the missiles were determined. Using the principles of flight mechanics, a ballistic model of the projectile was developed, and on its basis a simulation program was prepared. Flight results obtained in the virtual space were verified by comparing them with the results of experimental tests. After fine-tuning the theoretical model, four flight bullets from the Glauberite machine pistol were estimated to be placed

at the distance of 30 m. The article presents a representative example of serial firing of four missiles. Fifty such shots were made in the tests.

**Keywords:** flight mechanics, theoretical analysis, experimental tests, model validation

DOI: 10.7862/rm.2018.23

*Przesłano do redakcji: 24.04.2018*

*Przyjęto do druku: 4.07.2018*