

Balistyczna rekonstrukcja zdarzenia z użyciem broni

podinsp. mgr inż. Grzegorz Bogiel
Centralne Laboratorium Kryminalistyczne Policji
ORCID 0000-0001-8173-111X
e-mail: grzegorz.bogiel@policja.gov.pl

Streszczenie

W treści opisane są sposoby wyznaczenia bezwymiarowego współczynnika oporu powietrza dla badanego pocisku, przeprowadzenia obliczeń z zakresu balistyki zewnętrznej i użycia metod kartograficznych do określenia profilu terenu w jakim zaszło zdarzenie, przy użyciu nowych metod stosowanych w Wydziale Badań Broni, Balistyki i Wypadków Drogowych CLKP przy określaniu miejsca oddania strzału i wizualizacji tego zdarzenia. Przeprowadzona rekonstrukcja zdarzenia jest rezultatem zastosowanych działań.

Słowa kluczowe: bezwymiarowy współczynnik oporu pocisku, obliczenia z zakresu balistyki zewnętrznej, profil terenu.

Wprowadzenie

W praktyce kryminalistycznej występuje niekiedy potrzeba swoistej rekonstrukcji zdarzenia z użyciem broni, polegająca na znalezieniu miejsca skąd oddano strzał lub wizualizacji trajektorii pocisku w terenie. W tym celu korzysta się z danych pozyskanych w trakcie badania dowodów rzeczowych w postaci na przykład: pocisku, broni, odzieży ofiary oraz analizy nadesłanego materiału aktowego, ze szczególnym uwzględnieniem protokołu oględzin miejsca zdarzenia, dokumentacji fotograficznej, szkicu miejsca zdarzenia, opinii medycznej lub sekcyjnej i innych materiałów.

Jeśli odległość pomiędzy miejscem oddania strzału a miejscem trafienia (znalezienia) pocisku jest znaczna i wynosi kilkaset metrów lub więcej (zależnie od użytej broni i amunicji), to do jego wyznaczenia stosuje się metodę obliczeń komputerowych.

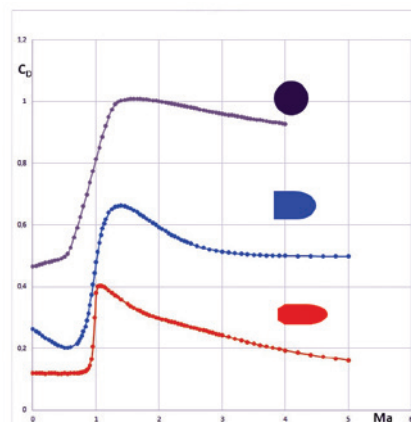
W takim przypadku dla wykonania rekonstrukcji, opracowano i wdrożono sposób postępowania, składający się z trzech etapów:

- wyznaczenie współczynnika C_D pocisku,
- obliczenie trajektorii pocisku,
- wizualizacja trajektorii pocisku w terenie.

Wyznaczanie współczynnika C_D pocisku

Jednym z niezbędnych elementów umożliwiających obliczenia jest znajomość prawa określającego poruszanie się pocisku w powietrzu. Można zastosować różne metody obliczeń, prawa oporu, itd., ale obecnie w dobie powszechnego dostępu do komputerów wydaje się, że lepsze wyniki

uzyska się stosując w obliczeniach dla danego pocisku zależność współczynnika jego oporu w funkcji prędkości dźwięku w powietrzu, opisywaną jako $C_D = f(Ma)$. Parametr ten jest charakterystyczny dla danego pocisku (m.in. jego kształtu, masy, powierzchni). Jego wartość zależy od prędkości, podczas gdy starsze metody obliczeniowe zadowalają się stałą wartością C_D , albo innego parametru charakteryzującego opór pocisku względem ośrodka. W literaturze można znaleźć tylko ogólne zależności, a dla pocisków pochodzących z amunicji do broni strzeleckiej lub pocisków do urządzeń pneumatycznych interesujące dane podawane są najczęściej w sposób uproszczony. Najlepiej więc jest wyznaczyć je samodzielnie dla konkretnego przypadku, aby następnie wykorzystać w programie komputerowym do obliczeń z zakresu balistyki zewnętrznej i ewentualnej wizualizacji miejsca zdarzenia.



Ryc. 1. Ogólne zależności $C_D = f(Ma)$ dla różnych pocisków

Renomowani producenci amunicji zawsze podają jakąś wartość charakteryzującą prawo oporu powietrza dla produkowanych przez siebie pocisków. Najczęściej jest to wartość BC (ballistics coefficient = współczynnik balistyczny) dla prawa oporu G1 lub G7. Współczynnik ten wyznaczany jest jednak np. na 100-metrowym odcinku toru, zatem dla prędkości pocisku zbliżonej do wylotowej. Tymczasem prędkość pocisku, zależnie od wzoru naboju z jakiego pochodzi, zmniejsza się nieustannie, a po przebyciu na ogół 300–700 metrów trajektorii spada do wartości poddźwiękowej. Zmianom prędkości towarzyszy zgodnie z rys. nr 1 zmiana współczynnika oporu powietrza C_D , to jest chwilowy wzrost, a następnie znaczny jego spadek.

Podjęto próby wyznaczenia wartości $C_D = f(Ma)$ w postaci tabelarycznej, przydatnej do dalszego wykorzystania. Jako prosty przykład posłużył pocisk Gamo Expander kal. 5,5 mm o masie 1 g wystrzelony z pistoletu pneumatycznego PCP (precharged pneumatic = z wbudowanym zbiornikiem pompowanym powietrzem, w tym przypadku do wartości ok. 250 barów) Snowpeak mod. PP750 kal. 5,5 mm produkcji chińskiej.

Do pomiarów prędkości użyto radaru LabRadar produkcji kanadyjskiej. Strzały próbne prowadzono na dystansie 15 metrów, w zamkniętym pomieszczeniu i stabilnych warunkach temperaturowych.

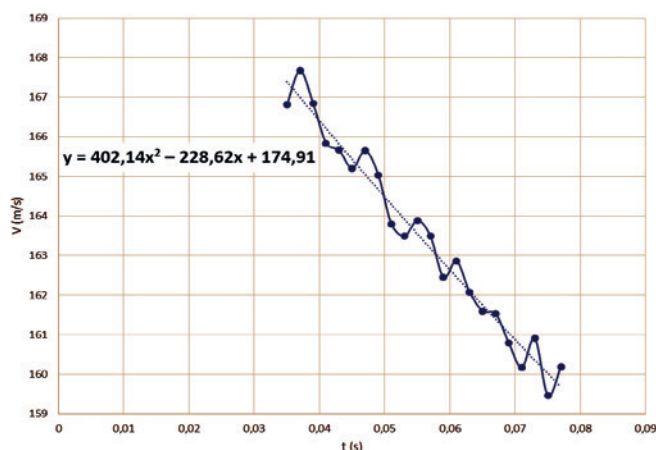
Uzyskany z pomiaru plik zapisywany jest na karcie umieszczonej w radarze w formacie CSV. Plik ten przeniesiono do komputera i otwarto w prostym edytorze tekstu, takim jak np. systemowy Notatnik, aby zamienić kropki na przecinki. Do następnych działań niezbędny będzie program do obróbki arkuszy kalkulacyjnych, taki jak np. Excel. Poprawnie zaimportowany arkusz będzie składał się z nagłówka i czterech kolumn, jak na ryc. 2, tutaj obwiedzionych czerwoną ramką.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Device ID	LBR-0029085						
2	Series No	1						
3	Shot No	4						
4								
5	Time (s)	Vel (m/s)	Dist (m)	SNR	Vlin [m/s]	A [m/s ²]	CD	Ma
6	0	174,4	0	-	174,91	-214,54		
7	0,035021	166,82	5,78	43,03	167,40	-199,66	0,500	0,490
8	0,037021	167,67	6,1	43,94	167,00	-198,05	0,498	0,489
9	0,039021	166,85	6,42	42,65	166,60	-196,44	0,496	0,488
10	0,041021	165,84	6,74	41,78	166,21	-194,83	0,495	0,486
11	0,043021	165,66	7,07	40,65	165,82	-193,22	0,493	0,485
12	0,045021	165,2	7,38	40,39	165,43	-191,61	0,491	0,484
13	0,047021	165,65	7,7	41,01	165,05	-190,01	0,489	0,483
14	0,049021	165,04	8,02	41,31	164,67	-188,40	0,487	0,482
15	0,051021	163,8	8,34	39,42	164,29	-186,79	0,485	0,481
16	0,053021	163,49	8,65	39,98	163,92	-185,18	0,483	0,480
17	0,055021	163,89	8,97	39,34	163,55	-183,57	0,481	0,479
18	0,057021	163,49	9,29	38,25	163,18	-181,96	0,479	0,478
19	0,059021	162,45	9,6	38,67	162,82	-180,35	0,477	0,476
20	0,061021	162,86	9,91	39,66	162,46	-178,75	0,475	0,475
21	0,063021	162,08	10,22	38,85	162,10	-177,14	0,473	0,474
22	0,065021	161,6	10,54	38,88	161,74	-175,53	0,471	0,473
23	0,067021	161,53	10,85	40,67	161,39	-173,92	0,468	0,472
24	0,069021	160,8	11,15	39	161,05	-172,31	0,466	0,471
25	0,071021	160,17	11,46	39,93	160,70	-170,70	0,464	0,470
26	0,073021	160,91	11,77	39,64	160,36	-169,09	0,461	0,469
27	0,075021	159,46	12,08	39,53	160,02	-167,49	0,459	0,468
28	0,077021	160,19	12,38	39,88	159,69			

Ryc. 2. Widok kolumn arkusza kalkulacyjnego – opis w tekście

W kolumnach, poczynając od wiersza nr 6, zawarte są kolejno wartości: A – czas, B – prędkość, C – odległość i D – wartość stosunku sygnału do szumu. Kolejne kolumny należy utworzyć samodzielnie.

Kolumnę E – prędkość zlinearyzowaną tworzymy przy pomocy wykresu przedstawionego na ryc. 3.



Ryc. 3. Widok wykresu prędkości w funkcji czasu – opis w tekście

Oś pionową jest tu kolumna B – prędkość, a osią poziomą kolumna A – czas, przy czym pomijamy wartości z wiersza nr 6, gdyż nie pochodzą one z pomiaru, a są obliczone przez oprogramowanie radaru. Do powstałego w ten sposób wykresu tworzymy linię trendu, korzystając z funkcji wbudowanych w arkusz kalkulacyjny, a po włączeniu opcji wyświetlenia równanie linii trendu widoczne jest obok wykresu. Zalecane jest, by linia trendu miała postać wielomianu o stopniu nie większym niż 3. Na tak krótkich odcinkach pomiarowych, zależnie od pocisku, najlepiej sprawdza się równanie prostej lub jak tutaj – paraboli, czyli wielomianu stopnia drugiego. Równanie linii trendu, czyli zlinearyzowanej prędkości, służy do utworzenia kolumny E – jako wartości x wstawiono wartości czasu pobierane z kolumny A. Następnie przystąpiono do obliczeń wartości opóźnień pocisku, umieszczonych w kolumnie F. Zgodnie z definicją poszukiwano zmiany prędkości w czasie, czyli do komórki F6 wstawiono wynik obliczenia stosunku różnic $E7-E6/A7-A6$, a do kolejnych wierszy kolumny F analogicznie. Następnie przystąpiono do obliczeń współczynnika C_D . W tym celu skorzystano ze wzoru na siłę oporu powietrza, znanego w aerodynamice i w balistyce, jako: $F = \frac{1}{2} C_D \rho S V^2$, gdzie C_D to poszukiwany, bezwymiarowy współczynnik oporu powietrza, ρ – gęstość powietrza, S – pole przekroju poprzecznego pocisku i V^2 – kwadrat prędkości pocisku. Skorzystano również z drugiej zasady dynamiki Newtona podstawiając $F = m \cdot a$ (znak nie ma tu znaczenia). Po przekształceniu wyznaczono $C_D = ma / \frac{1}{2} \rho S V^2$. Jako S podstawiono pole koła $\frac{1}{4} \pi d^2$, gdzie d jest kalibrem pocisku, a ostatecznie otrzymano $C_D = 8ma / \rho V^2 \pi d^2$. Korzystając z tej zależności utworzono kolumnę G, pamiętano przy tym o właściwych jednostkach danych, to jest masę pocisku podstawiono w kilogramach, a jego kaliber w metrach. Jako ostatnia powstała kolumna H, w której wartość liczby Macha obliczono dzieląc wartość prędkości zlinearyzowanej (z kolumny E) przez wartość prędkości dźwięku w warunkach eksperymentu, którą przyjęto równą 343 m/s (lub można dokładniej np.: $Ma = V_{lin} / 20,56 \sqrt{T}$, gdzie T jest temperaturą otoczenia wyrażoną w kelwinach). Wynikiem obliczeń są kolum-

ny G i H zawierające zależność C_D od Ma . Uzyskany współczynnik zmienia się dla badanego pocisku w niewielkim stopniu, gdyż pocisk ten porusza się w niewielkim zakresie prędkości o wartościach poddźwiękowych. Gdyby zmierzyć prędkości kilku pocisków, opisane wyżej obliczenia wykonać jeszcze kilkukrotnie, uzyska się uśrednioną wartość współczynnika, aby przyjąć go do dalszych obliczeń.

Opisaną metodą można także określić współczynnik oporu powietrza C_D pocisków poruszających się w szerokim zakresie prędkości. W tym celu należy przygotować do badań najlepiej kilkanaście nabojów, pochodzących z jednej partii. Co najmniej dwa z nabojów należy rozmontować w celu pomiaru średnicy i masy pocisku, oraz masy naważki prochowej. Pozostałe naboje należy podzielić na kilka grup badawczych. W pierwszej naboje pozostawione będą bez zmian, gdyż posłużą do określenia współczynnika C_D dla prędkości wylotowej. W ściankach łusek pozostałych grup nabojów należy wywiercić otwory, przez które będzie odsypywany częściowo ładunek prochowy. W łuskach nabojów o cienkiej ściance, takich jak bocznego zapłonu kal. 5,6 mm „long rifle” zamiast wiercenia, bezpieczniej jest pilnikiem o przekroju nożowym wypiłować małą szczelinę. Wiercenie jest czynnością niebezpieczną, gdyż może spowodować zapalenie się prochu i rozerwanie łuski oraz wyrzucenie z dużą prędkością splonki, a także pocisku. Dlatego do wiercenia naboju należy używać nowego, ostrego wiertła, oraz przyrządu chwytającego pewnie łuskę. Musi on mieć ażurową budowę, by uniknąć efektu komory nabojowej, skutkującego w razie zapłonu wzrostem ciśnienia. Należy także stosować osłanianie przyrządu i stosowanie osobistych osłon twarzy i reszty ciała. Wykonane w ściankach łusek otwory można zaklejać zwykłą taśmą klejącą. Z tak przygotowanych nabojów łatwo i bezpiecznie będzie można odsypywać proch do naczynia ustawionego na szalce dokładnej wagi. Należy pozostawić takie ładunki, by dokonać pomiarów dla możliwie całego zakresu prędkości. Ze względu na różnorodność naważek nie sposób podać tu szczegółów, generalnie można zejść nawet do ok. 20% masy naważki. Uzyskane w wyniku pomiarów dane radarowe należy wykorzystać do obliczeń w wyżej przedstawiony sposób, a powtarzalność niektórych danych ułatwia „automatyzację” ich opracowywania. Wyniki uzyskane na podstawie strzałów z różnymi prędkościami pozwolą na swoiste „sklejenie” wyniku, w postaci pożądanej wartości $C_D = f(Ma)$ w postaci tabelarycznej. Przy obniżeniu naważki można napotkać trudności z zapłonem, utykaniem pocisku w przewodzie lufy lub niestabilnym lotem (koziółkowaniem) pocisku.

Poniżej przedstawiono przykładowe prawa oporu wyznaczone w opisany sposób.

Tab. 1. Prawo oporu dla pocisku TFMJ o masie 8 g od naboju pistoletowego kal. 9 mm Luger ze splonką Nontox, produkcji S&B

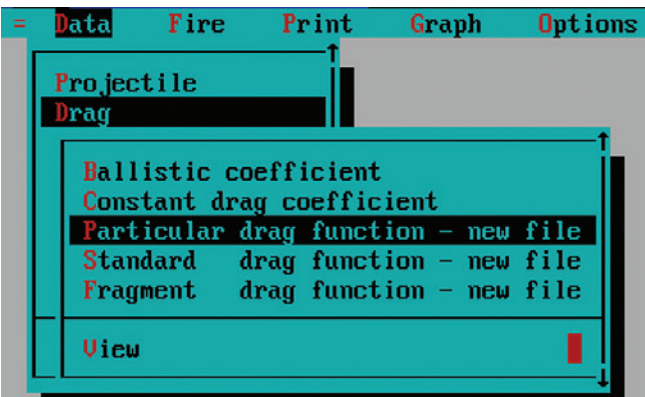
Ma	0,10	0,30	0,60	0,80	0,90	0,95	1,00	1,10	1,20
C_D	0,20	0,21	0,23	0,25	0,32	0,50	0,80	0,70	0,65

Tab. 2. Prawo oporu dla pocisku, o masie 8 g z rdzeniem stalowym, od naboju pośredniego kal. 7,62 mm x 39, produkcji polskiej

Ma	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1,0	1,1	1,3	1,5	1,7	2,1
Cd	0,21	0,20	0,18	0,15	0,14	0,38	0,48	0,46	0,43	0,40	0,34

Obliczenie trajektorii pocisku

Wyznaczone prawo oporu służy do przeprowadzenia obliczeń z zakresu balistyki zewnętrznej, przy użyciu dobrze znanego programu EBV4. Po uruchomieniu programu i wprowadzeniu danych pocisku, w zakładce Data (dane) klikamy na pozycję Drag (opór), a tu z kolei na liście wybieramy Particular drag function – new file (indywidualna funkcja oporu – nowy plik). Jeśli zamiast new file wyświetla się napis old file – należy zmienić ten stan naciskając klawisz funkcyjny F5, pełniący rolę przełącznika (Switch). Ukaze się wówczas tabela, w której będzie można zapisać uzyskane w wyniku eksperymentów i obliczeń prawo oporu. Po zapisaniu przy użyciu charakterystycznej nazwy, wybieramy opcję View, aby sprawdzić, czy korzystamy z zapisanego właśnie prawa i czy Form factor (współczynnik kształtu) jest równy 1. Taką właśnie powinien mieć wartość, gdyż utworzyliśmy i zapisaliśmy właśnie prawo oporu dla naszego pocisku, traktowanego jako „wzorcowy”.



Ryc. 4. Widok fragmentu programu EBV4

Dalsze dane wprowadzamy zgodnie z okolicznościami, po czym wykonujemy symulację strzału, a uzyskany wynik zapisujemy do pliku.

Wizualizacja trajektorii pocisku w terenie

Zdarzenie, jakie zaszło z użyciem broni i dla którego należy określić miejsce skąd oddano strzał lub dokonać wizualizacji trajektorii pocisku, zaszło na jakimś określonym terenie. Ostatni etap rekonstrukcji takiego zdarzenia polega na wykonaniu szkicu zawierającego profil tego właśnie terenu z umieszczonym na nim wykresem trajektorii pocisku, którą wyznaczyliśmy powyżej. Profil terenu można uzyskać w różnorodny sposób. Można to zadanie wykonać samodzielnie, na miejscu zdarzenia, przy pomocy pomiarów z drona wyposażo-

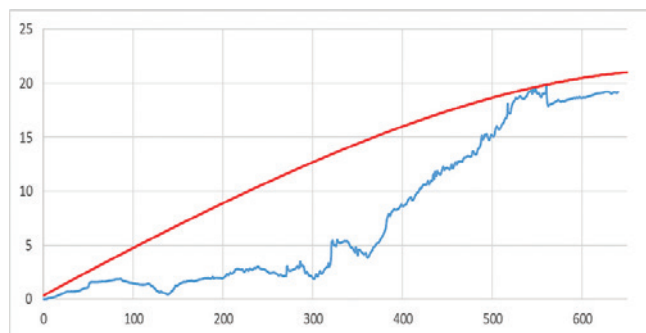
nego w lidar. Pomiary obrobione w stosownym oprogramowaniu pozwalają na zapisanie całej mapy wysokościowej, z której wyprowadzić można pożądany profil. Uzyskujemy wówczas wiarygodne i aktualne dane. Niestety, koszt sprzętu i oprogramowania skutecznie blokuje rozwój tego sposobu pozyskania danych.

Pozostaje zatem skorzystanie z bezpłatnego oprogramowania do przeglądania istniejących map, edytowania i analizowania danych przestrzennych oraz tworzenia map, jakim jest na przykład program Qgis. Program pobiera się i instaluje łatwo, w typowy sposób. Objaśnienie działania programu jest zbyt obszerne do tego artykułu, zatem do dalszych działań niezbędne jest obejrzenie filmów instruktażowych. Na początku uwagę należy zwrócić na sposób korzystania z panelu przeglądarki i instalacji wtyczek. Ogólnie rzecz biorąc należy opanować obsługę programu na tyle, by utworzyć połączenia z usługami WMS/WMTS oraz WCS na serwerze np. geoportalu, a także zainstalować wtyczkę „Terrain profile” – profilu terenu, służącą do zapisu niezbędnych danych. Na wyświetlanej mapie odśledzamy się miejsce, gdzie zaszło zdarzenie. Następnie zaznacza się linią łączącą miejsce oddania strzału (jeśli jest znane) lub kierunek z jakiego nadleciał pocisk i miejsce trafienia. Korzystając z wtyczki możemy odczytać dane, w postaci zbioru punktów o danej odległości i wysokości, zaznaczonego odcinka, a następnie dane te zapisać.

Wizualizację zdarzenia wykonuje się ostatecznie wprowadzając zapisane profile (oba to zbiory punktów x i y) do arkusza kalkulacyjnego, gdzie najłatwiej je będzie zaprezentować. Zwykle wykonuje się jeden prosty wykres np. punktowy z wygładzonymi liniami, zawierający dwie serie danych.

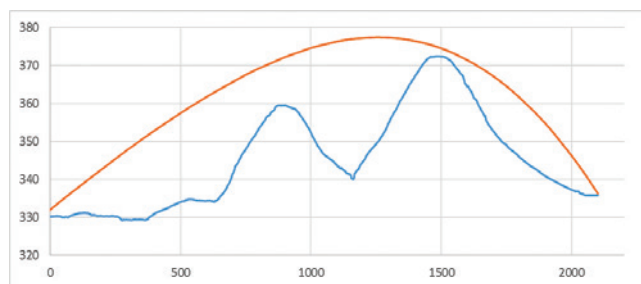
Podsumowanie

W opisany sposób dokonano już kilku wizualizacji. Jedną z pierwszych była rekonstrukcja zdarzenia na strzelnicy, pokazana na rysunku nr 5. Wystrzelony pod zbyt dużym kątem pocisk, przeleciał ponad osłonami i uderzył w osobę postronną powodując jej zranienie, przebijając ciało ofiary na wylot i przemieszczając się dalej. Do wykonania wizualizacji otrzymano profil terenu uzyskany z lidar, uzyskano także dane broni, amunicji, miejsca skąd oddano strzał i miejsca trafienia. Zestawienie obu profili wykazało, że jest możliwe, aby doszło do zdarzenia w zaistniałych warunkach.



Ryc. 5. Wizualizacja zdarzenia na strzelnicy – opis w tekście

Drugim przypadkiem była bardzo przybliżona wizualizacja postrzału osoby pociskiem sztucerowym w trakcie polowania, z dużej odległości. Jako dane pewne uznano jedynie kaliber i wzór naboju, od którego pochodził pocisk oraz miejsce, w którym doszło do postrzelenia i kierunek, z jakiego nadleciał pocisk. Uwzględniając bardzo małe zniekształcenie znalezione pocisku, założono znaczną odległość strzału – taką, by uderzający pocisk miał prędkość około 300 m/s. Warunki terenowe okolicy, w jakiej zaszło zdarzenie, zaimportowane z serwisu mapowego, pozwoliły na wyznaczenie, jako możliwej trajektorii, przedstawionej na rysunku nr 6.



Ryc. 6. Wizualizacja zdarzenia na polowaniu – opis w tekście

Na zakończenie podkreślić trzeba, że wykonanie wizualizacji wymaga zdobycia wielu danych, najczęściej przekraczających zawartość typowych oględzin miejsca zdarzenia. Natomiast poszczególne elementy rekonstrukcji były przedstawiane na spotkaniach policyjnych biegłych badań broni i balistyki, to jednak nigdy jeszcze w tak pełnym, choć zapewne jeszcze i tak niedostatecznym zakresie.

Bibliografia

1. Bogiel, G. (2021). *Vademecum kryminalistycznych badań broni*. Wydawnictwo CLKP.
2. Kuśnierz, T. (2010). Metoda wyznaczenia wartości współczynnika aerodynamicznego pocisków stabilizowanych obrotów. *Problemy Techniki Uzbrojenia*. Zeszyt 115 nr 3.
3. Kwiecień, C. (2018). Propozycja prawa oporu powietrza dla odłamków sferycznych utworzonego na podstawie danych publikacji sojuszniczej AASTP-1. *Problemy Techniki Uzbrojenia*. Zeszyt 146, nr 2.
4. Litz, B. (2015). *Applied Ballistics for Long Range Shooting*. Cedar Springs.
5. Magier, M., Merda, T. (2016). Analiza porównawcza współczynników oporu naddźwiękowych pocisków moździerzowych. *Problemy Techniki Uzbrojenia*. Zeszyt 140, nr 4.
6. Nennstiel, R. (1999). *EBV4 User's manual*. Exterior Ballistics Software for the PC.

Strony internetowe (dostęp dn. 01.08.2026)

1. <https://www.sellier-bellot.cz/en/products/ballistic-coefficient-calculation/>
2. https://docs.qgis.org/3.44/en/docs/user_manual/index.html