

Grzegorz Bogiel

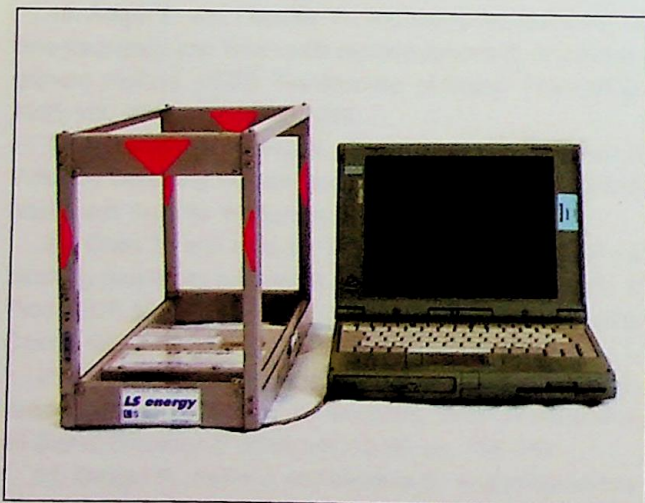
Ciekawe przypadki pomiarów prędkości pocisków

Wstęp i cel pracy

Prędkość miotanego pocisku to jeden z podstawowych parametrów charakteryzujących układ broń-amunicja. Zmiany w prawie spowodowały, że obecnie znacznie wzrosła ilość dokonywanych pomiarów prędkości pocisków wyrzeliwanych z broni pneumatycznej, tymczasem w dostępnej literaturze z zakresu kryminalistycznych badań broni nie ma informacji na temat ich przeprowadzania. Pomiary takie są konieczne do obliczenia energii śruciny i stwierdzenia, czy przekracza ona wartość 17 J. Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie podstawowych zasad pomiarów prędkości pocisków, a zwłaszcza udostępnienie wyników najciekawszych badań i przykładów ich dalszego wykorzystania.

Zasady prowadzenia pomiarów

W opisywanych badaniach używa się bramek fotoelektrycznych (ryc. 1) oraz radaru dopplerowskiego.



Ryc. 1. Bramki fotoelektryczne LS połączone do komputera przenośnego

Fig. 1. LS chronograph connected with PC

W przypadku stosowania bramek pomiar prędkości pocisku nie wydaje się skomplikowany. Metodyka pomiaru zależy od posiadanego modelu tego przyrządu i polega na zastosowaniu się do wskazań instrukcji obsługi dostarczonej przez producenta. Zwykle należy:

- ustawić bramkę na osi strzeleckiej i uruchomić urządzenie,
- umieścić wylot lufy w odległości powyżej 0,5 m od bramki dla broni pneumatycznej (1 m dla broni palnej krótkiej i 2 m dla broni palnej długiej),

Teraz wystarczy oddać strzał i z wyświetlacza odczytać wynik pomiaru. Poprawne przeprowadzenie tego badania wymaga zachowania poziomego położenia lufy broni podczas strzału. Bramki są swego rodzaju czasomierzem, którego włączenia i wyłączenia dokonuje przelatujący pocisk, przy założeniu, że na krótkim odcinku toru pocisk porusza się ruchem jednostajnym. Zaprogramowana w układzie elektronicznym wartość bazy – odległość między bramką startową a bramką stopu, dzielona przez zmierzony czas, daje w wyniku prędkość. Zakładając, że bramki mają bazę o długości $X = 1$ m, rzeczywista prędkość pocisku wynosi $V_r = 185$ m/s, a nachylenie lufy ma kąt $\Theta = 8^\circ$, w rezultacie pomiaru otrzymamy:

$$V_p = \frac{X}{t_p},$$

gdzie $X = 1$ m, natomiast czas zostanie zmierzony dla pocisku poruszającego się z prędkością rzeczywistą V_r na odcinku o długości równej $X/\cos\Theta$. Zatem:

$$t_p = \frac{X/\cos\Theta}{V_r},$$

a po podstawieniu i uproszczeniu,

$$V_p = V_r \cos\Theta,$$

w tym przypadku $V_p = 183,2$ m/s.

Różnica wartości prędkości rzeczywistej i zmierzonej nie jest duża i wynosi ok. 1%. Jeśli do strzałów użyje się śruciny o kalibrze 5,5 mm o masie 1 g, oblicza się jej energię kinetyczną dla obu prędkości następująco:

$$E_r = mV_r^2/2 = 17,1 \text{ J},$$

$$E_p = mV_p^2/2 = 16,8 \text{ J}.$$

Różnica między energią śruciny obliczoną dla prędkości rzeczywistej i prędkości zmierzonej wynosi w tym przypadku ok. 1,8%.

Pomiar prędkości pocisku o niejednorodnej budowie (śrutowego, sabotowego lub o innej złożonej budowie) z użyciem tej metody nie zawsze jest możliwy. Niektóre bramki zawieszają się, gdy otrzymują kilka impulsów na bramce startowej, a następnie kilka impulsów na bramce stopu. Niektóre bramki podają wyniki silnie zależne od rodzaju oświetlenia, w jakim przeprowadzany jest pomiar, a dołączane do bramek oświetlacze nie zawsze gwarantują poprawność pomiaru. Jeśli bramka działa prawidłowo, to i tak nie wiadomo, czego prędkość została zmierzona – zatyczek, koncentratora, sabota, śrutu, przybitek, ziaren prochowych czy innych elementów? Jeśli konieczne jest zmierzenie prędkości pocisku przechodzącego przez przeszkodę lub rykoszetującego od jakiegoś podłoża, pomiar z użyciem bramki fotoelektrycznej w wielu przypadkach nie jest praktycznie możliwy. Nie ma pewności co do trajektorii lotu takiego pocisku, nie wiadomo też jak ustawić bramkę względem przeszkody, co może skutkować przestrzeleniem i zniszczeniem elementów elektronicznych bramki. Wielce ryzykowny jest też pomiar prędkości pocisku wystrzelonego z niektórych rodzajów broni wykonanych sposobem samodzielnym. Tu także niewiadomą stanowi trajektoria lotu wystrzelonego pocisku.

Stosowanie radaru dopplerowskiego w pomiarach prędkości pocisku wyklucza opisane wyżej problemy, gdyż antena radaru nie jest ustawiona na torze lotu pocisku i nie może ulec niezamierzonemu zniszczeniu.

Metodyka pomiarów przedstawionych poniżej przedstawia się następująco:

- używano zestawu radarowego Weibel, składającego się z anteny SL-520 i analizatora W-700,
- do wyzwolenia pomiaru stosowano błysk ognia wylotowego lub huk strzału, a przy ich braku wejście pocisku w wiązkę radaru,
- do analizy sygnału używano oprogramowania Weibel Remdopp zainstalowanego na komputerze klasy PC,
- strzały oddawano na strzelnicy otwartej o długości osi 100 m, przy dodatniej temperaturze i bez opadów atmosferycznych, z broni mocowanej w uchwycie strzeleckim (z wyjątkiem: rzutu łuską, strzału z pistoletu CZ mod. 85 i karabinka Hatsan).

Zasada działania radaru polega na opromieniowaniu poruszającego się obiektu sygnałem o określonej częstotliwości nadawanym przez antenę i odebraniu sygnału odbitego od obiektu. Zgodnie z zasadą Dopplera, z różnicy częstotliwości sygnałów obliczana jest prędkość obiektu V ze wzoru:

$$V = \frac{f_d c}{2f_0},$$

gdzie:

f_d – to częstotliwość sygnału Dopplera,

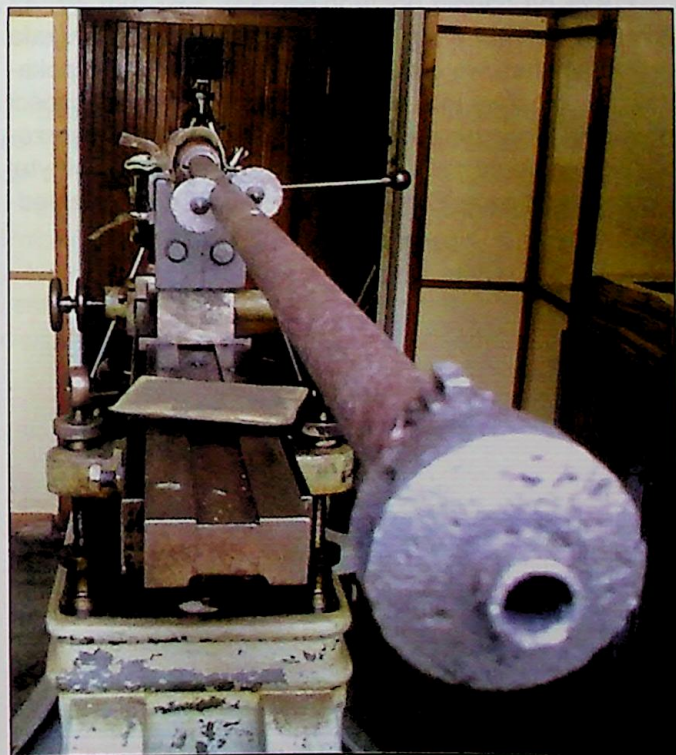
f_0 – to częstotliwość sygnału anteny,

c – to prędkość światła.

Z istoty zjawiska wynika, że radar rejestruje składową prędkości obiektu prostopadłą do jego anteny, co w badaniach prędkości pocisków wystrzelonych pod niewielkimi kątami rzutu i pomiarach na krótkich odcinkach toru jest akceptowalnym przybliżeniem. Urządzenie ma funkcję autokalibracji, można też dokonać sprawdzenia jego działania z użyciem wzorca częstotliwości o wartości 100 kHz.

Strzelania należy prowadzić z broni umocowanej na stanowisku strzeleckim (ryc. 2) w odpowiednim uchwycie. Jeśli celem pomiaru jest nie tylko zmierzenie prędkości wylotowej pocisku, ale i uzyskanie wyniku przydatnego do analizy prędkości pocisku na torze lotu, to do pomiarów broni palnej długość osi strzelnicy powinna wynosić co najmniej 100 m.

Radarowy zestaw pomiarowy jako pierwszy wynik prezentuje wykres echa pocisku w zależności od czasu



Ryc. 2. Na stanowisku badawczym kb. ppanc. wz. 35. Z tyłu widoczna antena radaru.

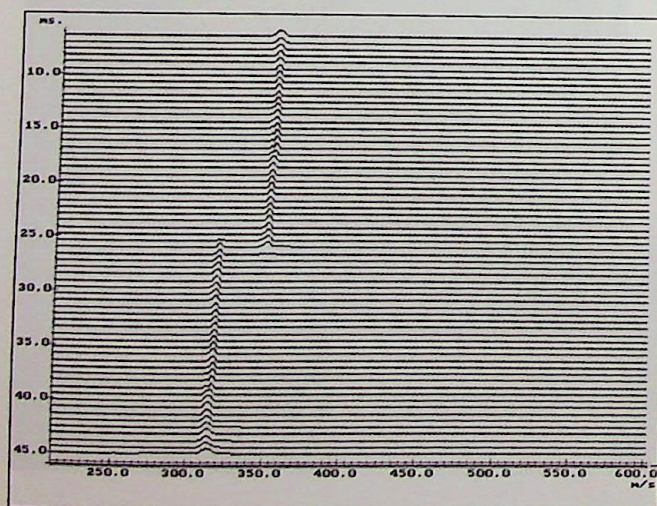
Fig. 2. Anti-tank rifle model 35. Radar antenna on the rear

i prędkości. Wykres ten nosi nazwę krzywej wodospadowej i należy poddać go dalszej analizie. Wprowadzając do programu dane, takie jak masa i średnica pocisku oraz koordynaty położenia anteny radaru względem wylotu lufy, można uzyskać kolejne wykresy parametrów pocisku na torze lotu lub wyniki w formie tabelarycznej. Analizę ruchu pocisku można wykonać w trybie automatycznym programu, jednak gdy występują zakłócenia echa pochodzące od wymienionych wyżej zatyczek, sabotu itd. niezbędne jest przejście w tryb ręczny – przeznaczony dla doświadczonych użytkowników. Badania radarowe można zakończyć po uzyskaniu zależności prędkości pocisku w funkcji odległości od wylotu lufy, dalsze obliczenia należałoby wtedy prowadzić np. z użyciem programu z zakresu balistyki zewnętrznej.

W praktyce dokonywano radarowych pomiarów prędkości pocisków miotanych z wielu rodzajów przedmiotów, zwłaszcza broni palnej, pneumatycznej, kusz i proc. Strzelano przez różnorodne przeszkody, najczęściej elementy samochodów takie jak blachy karoserii i szyby. Szczególnie ciekawe i niezwykle przydatne w praktyce wydają się wyniki pomiarów, których nie spotyka się w żadnych publikacjach.

Przykłady pomiarów

Łuska od naboju pośredniego kal. 7,62 mm wz. 43 o masie ok. $m = 6,8$ g rzucona przed anteną uzyskała prędkość startową ok. $V = 12$ m/s. Ten przykład pokazuje, że możliwy jest pomiar bardzo małych prędkości obiektów, których trajektoria lotu jest właściwie nieprzewidywalna, byle mieściła się w przestrzeni pokrytej wiązką radarową. Energia lecącej łuski wynosi zaledwie:



Ryc. 3. Przebicie deski przez pocisk od naboju kal. 9 mm Luger
Fig. 3. Piercing of wooden board by projectile from 9 mm Luger cartridge

$$E = mV^2/2 = 0,49 \text{ J.}$$

Nabój kal. 9 mm Luger produkcji czeskiej z pociskiem pełnopłaszczkowym o masie 8 g odstrzelony z pistoletu CZ mod. 85. W odległości ok. 8 m od wylotu lufy ustawiono deskę sosnową o grubości ok. 2 cm.

Wykres (ryc. 3) przedstawia (odczytuje się go od góry do dołu i od strony prawej ku lewej) spadek prędkości pocisku przy przebicciu przeszkody. Prędkość początkowa pocisku odczytana z wykresu wynosi 357 m/s, następnie w 25 ms lotu: prędkość pocisku podczas uderzenia w deskę $V_u = 355$ m/s i prędkość wyjścia z deski $V_w = 320$ m/s. Utrata energii przez pocisk wyniosła zatem:

$$\Delta E = mV_u^2/2 - mV_w^2/2 = m(V_u^2 - V_w^2)/2,$$

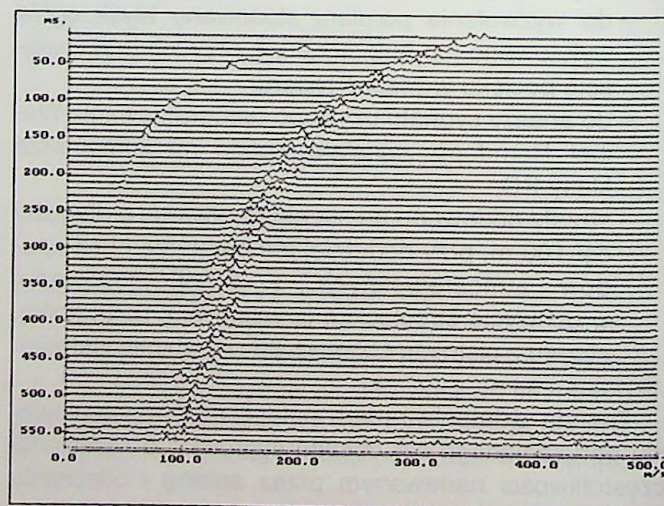
co po podstawieniu daje:

$$\Delta E = 94,5 \text{ J.}$$

Można dodać, że minimalną wartość energii pocisku niezbędną do skutecznego rażenia celu żywego według kryteriów wojskowych określa się na od 80 do 100 J.

Nabój śrutowy kal. 12 z ładunkiem śrutu o masie 32 g i średnicy śrucin 4,25 mm umieszczonym w koncentratorze z tworzywa sztucznego o masie ok. 2,2 g, odstrzelony z dubeltówki. Na wykresie (ryc. 4) widoczne są dwie krzywe wodospadowe rozpoczynające się w punkcie $V = 352$ m/s.

Uzyskane echa mogą być podstawą do dalszych analiz ruchu, zarówno koncentratora (krzywa z lewej



Ryc. 4. Ładunek śrutu od naboju kal. 12
Fig. 4. Shot charge from cal. 12 cartridge

strony), jak i ładunku śrutowego (z prawej). Trzeba jednak zauważyć, że śrut w wiązce porusza się w sposób przypadkowy, różnica prędkości ziaren w wiązce wynosi nawet kilkadziesiąt m/s, toteż analiza strzału śrutowego będzie przybliżona. Można jednak podać uśrednione wartości prędkości wiązki śrutu oraz wartości prędkości koncentratora w funkcji odległości od wylotu lufy (tab. 1).

Tabela 1

Prędkość koncentratora i ładunku śrutu w funkcji odległości
Velocity of plastic wad and shot charge as function of distance

X [m]	V koncentratora [m/s]	V śrutu [m/s]
0	352	352
10	154	313
20	52	274
30	–	237
40	–	205
50	–	181
60	–	160
70	–	141
80	–	124
90	–	111

Interesujące jest to, że w odległości 40 m od wylotu lufy (maksymalna odległość strzału broni gładkolufowej według regulaminu polowań) śruciny znajdują się po czasie ok. 148 milisekund. Znajdujące się 40 m od wylotu lufy i poruszające się prostopadłe do kierunku strzału zwierzę, pokona w tym czasie 1,23 m – jeśli prędkość zwierzęcia wynosi 30 km/h, lub nawet 2,47 m – jeśli prędkość zwierzęcia wynosi 60 km/h. Podczas oddawania strzału do celów ruchomych należałoby zatem uwzględnić poprawkę celowania ze względu na przemieszczenie się celu – poprawkę taką nazywa się wyprzedzeniem.

Nabój sygnałowy kal. 26 mm odstrzelony z pistoletu sygnałowego kal. 26 mm. Pomiarom prędkości poddano kilka naboju produkcji polskiej wytworzonych w drugiej połowie ubiegłego wieku. Ładunkiem miotającym jest tzw. gwiazda, czyli ładunek pirotechniczny w postaci walca o masie ok. 15 g, który przy strzale zapala się i świeci płomieniem białym, czerwonym lub zielonym. Oprócz gwiazdy w czasie strzału wyrzuca-

nych jest z lufy jeszcze sześć innych elementów – zatyčka, przekładki tekturowe i filcowe oraz tuleja dystansowa. Elementy te silnie zakłócają pomiar prędkości z użyciem bramek fotoelektrycznych. W wyniku pomiarów niewielkiej liczby odstrzelonych naboju otrzymano prędkości początkowe w zakresie od 91 m/s do 120 m/s.

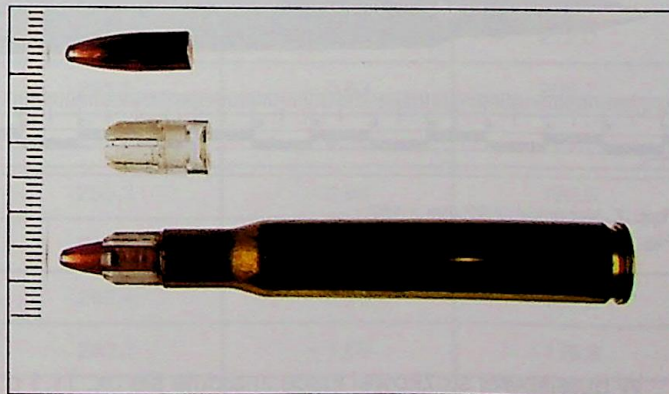
Energia gwiazdy poruszającej się z prędkością 120 m/s wynosi:

$$E = mV^2/2 = 108 \text{ J.}$$



Ryc. 5. Nabój sygnałowy kal. 26 mm produkcji polskiej
Fig. 5. Cal. 26 mm signal cartridge of Polish production

Nabój kal. .30–06 z pociskiem Accelerator. Małe ilości tych naboju nadesłano do badań jako pochodzące z przemytu. Pocisk Accelerator zbudowany jest z rdzenia, którym jest pocisk kal. 5,56 mm (.223) Soft Point o masie 3,6 g (55 grain) osadzony w wykonanym z tworzywa sztucznego sabocie o masie ok. 0,37 g. Jest on miniaturą artyleryjskiego pocisku APDS – przeciwpancernego z odpadającym sabotem.



Ryc. 6. Nabój kal. .30–06 z pociskiem Accelerator
Fig. 6. Cal. 30-06 cartridge with Accelerator projectile

Łuskę wypełnia 3,5 g prochu o drobnych ziarnach w postaci walców z jednym kanalikiem. Strzałowi towarzyszy wyjątkowo głośny huk i potężny wypływ gazów powyrztałowych. Po wylocie z lufy pocisk uwalnia się z sabotu i podąża do celu. Odpadający sabot i natężenie zjawisk wylotowych zwiększają ryzyko uszkodzenia tradycyjnych bramek, stąd zakwalifikowano ten nabój do badań radarowych. W ich wyniku uzyskano wartości: średnia prędkość wylotowa: 1230 m/s, średnia prędkość pocisku w odległości 50 m od wylotu lufy 1080 m/s. W odległości 100 m od wylotu lufy prędkość wynosi 960 m/s – ma większą wartość niż prędkość wylotowa 55-grainowego pocisku naboju M193 wystrzelonego z karabinka M16.

Nabój kal. 7,92 mm x 107 odstrzelony z karabinu przeciwpancernego wz. 35. Nadesłane do badań broń i amunicja nosiły ślady korozji i czyszczenia, co nasuwało pytanie, czy wytrzymają one próby strzelaniem. Przeprowadzone pomiary miały także aspekt historyczny, przypuszczalnie ostatnie badania amunicji tego typu były przeprowadzone około 70 lat temu. Nabój produkcji polskiej z 1937 roku ma pocisk ostrołukowy, walcowy w części wiodącej, bez ścięcia dennego. Długość pocisku 34,2 mm, średnica 8,2 mm, płaszcz stalowy melchiorowany, rdzeń ołowiany. W odległości ok. 8 mm od dna pocisku znajduje się obwodowy rowek o szerokości ok. 1,5 mm służący do zaciśnięcia krawędzi szyjki łuski. Masa pocisku wynosi 12,8 g.



Ryc. 7. Nabój kal. 7,92 mm x 107
Fig. 7. Cal 7,92 mm x 107 cartridge

W butelkowej stożkowej łusce znajduje się ok. 11,1 g prochu nitrocelulozowego grafitowanego, o ziarnach walcowych, trójkanałowych. Wymiary ziaren to: średnica 1,5 mm i długość 3 mm.

W trakcie badań odstrzelono trzy naboje i uzyskano wartości prędkości pocisków 1157 m/s, 1212 m/s i 1216 m/s. Wartości prędkości w funkcji odległości od wylotu lufy ostatniego z pocisków przedstawione są w tabeli 2.

Tabela ta daje bezpośredni pogląd na wartości utraty prędkości pocisku na torze lotu, pozwala także na wyznaczenie jego współczynnika balistycznego lub współczynnika kształtu pocisku.

Tabela 2

Prędkość pocisku naboju kal. 7,92 mm x 107
w funkcji odległości
*Velocity of projectile from cal. 7,92 mm x 107 cartridge
as function of distance*

X [m]	V [m/s]
0	1216
10	1208
20	1200
30	1191
40	1184
50	1176
60	1168
70	1160
80	1153
90	1146
100	1139



Ryc. 8. Ziarna prochu z naboju kal. 7,92 mm x 107
Fig. 8. Grains of powder from 7,92 mm x 107 cartridge

Nabój pistoletowy kal. 9 mm wz. Makarowa odstrzelony z pistoletu P-83. Pełnopłaszczowy tępolukowy pocisk ma masę 6 g i średnicę 9,2 mm. W wyniku pomiarów radarowych uzyskano średnią prędkość początkową $V_0 = 310$ m/s. Pomiary prędkości pocisków na torze lotu umożliwiły określenie współczynnika kształtu pocisku. Dane zebrane w powyższy sposób pozwalają na obliczenia z zakresu balistyki zewnętrznej z użyciem programu komputerowego.

Przykładowo: strzelec w pozycji stojącej, wylot lufy broni w miejscu $X = 0$ m na wysokości $Y = 1,5$ m, a lufa broni w położeniu poziomym, zastosowane prawo oporu G1.

Parametry obliczonego toru przedstawić można za pomocą tabeli strzelniczej (tab. 3).

Z pistoletu P-83 strzela się zwykle do celów znajdujących się w odległości 25 m lub rzadziej 50 m od wylotu lufy. W rozważanym przypadku tabela pokazuje, że

gdy nie trafi się w cel, pocisk może pokonać dystans ponad 150 m i mieć na końcu toru lotu niebezpiecznie dużą energię.

Nabój kal. 12 z pociskiem W8MP odstrzelony ze strzelby Mossberg. Pocisk wykonany jest z ołowiu, ma średnicę 16,3 mm i masę 29,6 g, umieszczony w sabocie z tworzywa sztucznego. W wyniku pomiarów radarowych uzyskano średnią prędkość początkową $V_0 = 324$ m/s. Także i w tym przypadku pomiary prędkości pocisków na torze pozwoliły na określenie współczynnika kształtu. Dane powyższe można podstawić do programu komputerowego z zakresu balistyki zewnętrznej i wykonać tabelę strzelniczą (tab. 4). W tym przypadku wyznaczone są dane w wierzchołku toru i w punkcie upadku pocisku, dla różnych kątów rzutu. W obliczeniach zastosowano prawo oporu G1.

Tabela 3

Tabela strzelnicza dla pocisku od naboju kal. 9 mm Makarowa
Shooting chart for projectile from Makarov cal. 9 mm cartridge

t [s]	X [m]	Y [m]	V [m/s]	Θ [°]	E_{kin} [J]
0,000	0,0	1,50	310,0	0,00	288,3
0,033	10,0	1,49	303,0	- 0,06	275,4
0,066	20,0	1,48	296,6	- 0,12	263,8
0,100	30,0	1,45	290,6	- 0,19	253,4
0,135	40,0	1,41	285,1	- 0,26	243,8
0,170	50,0	1,36	279,9	- 0,33	235,0
0,206	60,0	1,30	274,9	- 0,40	226,7
0,243	70,0	1,22	270,3	- 0,47	219,1
0,280	80,0	1,13	265,8	- 0,55	212,0
0,318	90,0	1,03	261,5	- 0,63	205,2
0,357	100,0	0,91	257,3	- 0,72	198,7
0,396	110,0	0,78	253,3	- 0,80	192,5
0,436	120,0	0,63	249,5	- 0,89	186,7
0,476	130,0	0,47	245,4	- 0,98	181,2
0,517	140,0	0,29	242,1	- 1,08	175,9
0,559	150,0	0,09	238,6	- 1,18	170,8
0,517	154,4	0,00	237,1	- 1,22	168,6

Tabela strzelnicza dla pocisku W8MP

Shooting chart for W8MP projectile

Kąt rzutu [°]	Wierzchołek				Punkt upadku			
	t [s]	X [m]	Y [m]	V [m/s]	t [s]	X [m]	V [m/s]	Θ [°]
1	0,43	105,4	1,1	198,7	0,92	188,2	143,7	- 1,66
2	0,74	161,4	3,4	159,7	1,65	274,8	100,7	- 4,09
3	1,01	200,0	6,6	136,8	2,27	330,5	80,0	- 7,03
4	1,24	229,3	10,4	121,2	2,83	371,0	67,9	- 10,29
5	1,44	252,7	14,6	109,8	3,34	402,6	60,0	- 13,76
6	1,63	272,0	19,2	101,0	3,82	428,4	54,5	- 17,34
7	1,80	288,5	24,1	94,0	4,27	450,0	50,5	- 20,97
8	1,96	302,6	29,2	88,2	4,69	468,4	47,6	-24,59
9	2,12	315,0	34,6	83,3	5,09	484,4	45,5	- 28,15
10	2,26	326,0	40,2	79,2	5,48	498,4	43,8	- 31,61
11	2,40	335,7	46,0	75,5	5,85	510,7	42,7	- 34,94
12	2,53	344,5	52,0	72,4	6,21	521,7	41,8	- 38,12
13	2,66	352,3	58,1	69,5	6,55	531,4	41,2	- 41,14
14	2,78	359,3	64,3	66,9	6,89	540,1	40,8	- 43,99
15	2,90	365,6	70,7	64,6	7,22	547,9	40,5	- 46,67
16	3,02	371,3	77,2	62,5	7,54	554,7	40,4	- 49,18
17	3,13	376,3	83,7	60,5	7,85	560,9	40,4	- 51,53
18	3,24	380,9	90,4	58,7	8,15	566,3	40,4	- 53,73
19	3,34	385,0	97,1	57,0	8,45	571,0	40,5	- 55,78
20	3,44	388,5	103,9	55,5	8,74	575,1	40,7	- 57,69
21	3,54	391,6	110,8	54,0	9,03	578,7	40,9	- 59,47
22	3,64	394,4	117,7	52,6	9,31	581,7	41,1	- 61,14
23	3,74	396,7	124,7	51,3	9,59	584,2	41,3	-62,69
24	3,83	398,6	131,7	50,0	9,86	586,2	41,6	- 64,14
25	3,92	400,2	138,8	48,9	10,13	587,7	41,8	- 65,50
26	4,01	401,5	145,8	47,7	10,39	588,8	42,1	- 66,77
27	4,10	402,4	153,0	46,6	10,65	589,4	42,4	- 67,96
28	4,18	403,0	160,1	45,6	10,91	589,6	42,6	- 69,07
29	4,27	403,2	167,3	44,6	11,16	589,4	42,9	- 70,12
30	4,35	403,2	174,4	43,7	11,41	588,9	43,1	- 71,10
31	4,43	402,9	181,6	42,7	11,66	587,9	43,4	- 72,02
32	4,51	402,2	188,7	41,8	11,90	586,6	43,6	- 72,89
33	4,59	401,3	195,9	41,0	12,14	584,9	43,8	- 73,71
34	4,66	400,1	203,0	40,1	12,38	582,8	44,1	- 74,48
35	4,74	398,7	210,2	39,3	12,61	580,4	44,3	- 75,20
36	4,81	396,9	217,3	38,5	12,84	577,6	44,5	- 75,89
37	4,89	395,0	224,4	37,7	13,07	574,5	44,7	- 76,54
38	4,96	392,7	231,5	37,0	13,30	571,1	44,9	- 77,15
39	5,03	390,2	238,5	36,2	13,52	567,4	45,1	- 77,73
40	5,10	387,5	245,5	35,5	13,74	563,3	45,2	- 78,28
41	5,17	384,5	252,4	34,7	13,95	558,9	45,4	-78,81
42	5,23	381,2	259,3	34,0	14,16	554,2	45,6	- 79,30
43	5,30	377,7	266,2	33,3	14,37	549,1	45,7	- 79,77
44	5,37	374,0	273,0	32,6	14,58	543,8	45,8	- 80,22
45	5,43	370,1	279,7	32,0	14,78	538,2	46,0	-80,64

Uwagę zwracają duże rozbieżności między danymi katalogowymi (prędkość początkowa, zasięg maksymalny) a danymi uzyskanymi z własnych badań. W programie obliczeniowym z zakresu balistyki zewnętrznej do wyznaczania trajektorii zastosowany jest model punktu materialnego. Dlatego przy dużych kątach rzutu wyniki obliczeń nie muszą pokrywać się z danymi ze strzelań rzeczywistych. Niejasności te powodują konieczność przeprowadzenia wiarygodnych strzelań, dla określenia rzeczywistego zasięgu pocisku, tego często używanego przez Policję naboju.

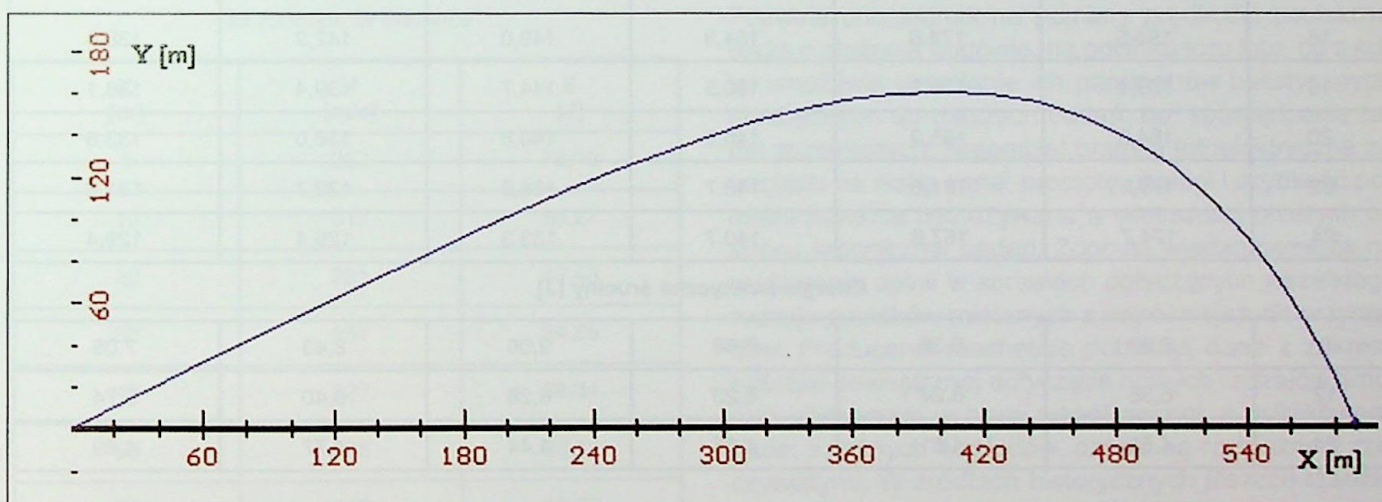
W zrozumieniu zapisów tabeli pomoże rycina 9. Jest to wykres krzywej balistycznej dla kąta rzutu, dla którego zasięg X osiąga wartość maksymalną.

W tym przypadku pocisk wystrzelony jest pod kątem rzutu $\Theta = 28^\circ$ (kąt rzutu to kąt mierzony między poziomą a styczną do toru w punkcie wylotu) i osiąga wierzchołek – najwyżej położony punkt toru charakteryzujący się maksymalną wartością Y i kątem między wektorem prędkości a poziomą $\Theta = 0^\circ$ po

czasie lotu $t_w = 4,18$ s. W tym przypadku parametry wierzchołka wynoszą $X_w = 403$ m i $Y_w = 160,1$ m, a prędkość pocisku w tym punkcie ma wartość $V_w = 45,6$ m/s. Do punktu upadku znajdującego się w odległości $X_k = 589,6$ m pocisk dolatuje po czasie $t_k = 10,91$ s, prędkość pocisku w tym punkcie wynosi $V_k = 42,6$ m/s. Kąt upadku (to kąt mierzony pomiędzy poziomą a styczną do toru w punkcie upadku) wynosi $\Theta_k = -69,07^\circ$ (znak minusa wynika tu z konwencji zapisu w programie obliczeniowym spełniającym wymóg prawoskrętności układu współrzędnych).

Śrut kal. 4,5 mm różnych rodzajów i producentów (ryc. 10) wystrzelony z jednego egzemplarza karabinka pneumatycznego Hatsan mod. 55 S kal. 4,5 mm produkcji tureckiej. Strzelania prowadzono w pomieszczeniu zamkniętym, by uniknąć wpływu czynników zewnętrznych na lekkie śruciny.

Jak należało się spodziewać, przy strzałach z tej samej broni lżejsze śruciny uzyskują większe prędkości



Ryc. 9. Krzywa balistyczna pocisku W8MP dla kąta rzutu $\Theta = 28^\circ$
Fig. 9. Ballistic curve for W8MP projectile for departure angle $\Theta = 28$



Ryc. 10. Widok śrucin użytych w pomiarach. Kolejność zgodnie z opisem w tabeli 5.
Fig. 10. Pellets of shot used in measurements. Sequence according to description in Table 5.

Prędkości i energie badanych śrucin wystrzelonych z kbk Hatsan
Velocities and energies of examined shot pellets shot from Hatsan rifle

X [m]	Prędkość śruciny [m/s]					
	Prometheus wadcutter 0,30 g	Prometheus round head 0,37 g	H&N hollow point 0,47 g	Kovohutte Diabolo Standard 0,50 g	Kovohute Diabolo Lux 0,57 g	Kula ołowiana 0,56 g
0	243,5	212,6	192,2	190,4	172,0	158,7
2	237,0	207,7	186,9	184,8	168,3	156,1
4	230,6	202,8	181,9	179,3	164,6	153,4
6	224,2	197,9	176,9	173,9	160,9	150,8
8	217,9	193,1	172,0	168,6	157,2	148,2
10	211,9	188,3	167,3	163,5	153,6	145,7
12	205,9	183,7	162,8	158,5	149,9	143,2
14	200,1	179,1	158,4	153,6	146,4	140,8
16	194,5	174,6	154,3	149,0	142,9	138,4
18	189,1	170,2	150,5	144,7	139,4	136,1
20	184,0	165,9	146,9	140,6	136,0	133,8
22	179,2	161,8	143,7	136,8	132,7	131,6
24	174,7	157,8	140,7	133,3	129,4	129,4
Energia kinetyczna śruciny [J]						
0	8,89	8,36	8,68	9,06	8,43	7,05
12	6,36	6,24	6,23	6,28	6,40	5,74
24	4,58	4,61	4,65	4,44	4,77	4,69

wylotowe, z wyjątkiem kuli, która ma większe opory przetłaczania przez przewód lufy lub gorzej uszczelnia przewód lufy. Kula jednak traci energię na torze lotu znacznie wolniej niż śruciny o innym kształcie.

Zamieszczone w tabeli 5 wyniki wskazują również, że nie należy stosować uproszczeń do obliczeń z zakresu balistyki zewnętrznej dla śrucin poruszających się z prędkościami poddźwiękowymi – spadki prędkości śrucin na poszczególnych odcinkach toru nie są równomierne.

Tabela pokazuje także, że w odległości np. 2 m od wylotu lufy śrucina porusza się z prędkością o kilka metrów na sekundę (wg tabeli 2,6–6,5 m/s) mniejszą niż w momencie wylotu z przewodu lufy. Takie wartości prędkości – zaniżone – używane są do obliczeń energii śruciny, gdy dokonuje się pomiaru prędkości śruciny z użyciem bramki fotoelektrycznej, która musi być ustawiona w pewnej odległości od wylotu lufy.

Można też zauważyć, że rodzaj śrutu użytego do pomiaru energii karabinka pneumatycznego o deklarowanej energii wylotowej śruciny 8 J i o napędzie sprężynowym nie ma istotnego wpływu na wynik pomiaru (różnica ok. 2 J). Jednak w przypadku karabinków tuningowanych do energii maksymalnej niewymagającej rejestracji karabinka, zastosowanie śrutu innego niż użyty podczas tej czynności może spowodować uzyskanie w wyniku pomiaru prędkości i obliczeń, energii powyżej ustawowych 17 J.

Pomiary prędkości śruciny Kovohute Diabolo Standard o masie 0,50 g na torze lotu pozwoliły na określenie współczynnika kształtu i podstawienie go do programu komputerowego z zakresu balistyki zewnętrznej. Według przeprowadzonych obliczeń dla prędkości początkowej $V = 190,4$ m/s zasięg maksymalny takiej śruciny wynosi 160 m przy kącie rzutu $\Theta = 27^\circ$. Zdolność do spowodowania rażenia człowieka (według norm sto-

sowanych przez wojsko stosunek energii pocisku do jego pola przekroju poprzecznego równy jest 11 J/cm^2) śrucina zachowuje w przybliżeniu do odległości 52 m.

W wyniku podobnych obliczeń dla prędkości początkowej $V = 158,7 \text{ m/s}$ przeprowadzonych dla ołowianej kuli o masie 0,56 g jej zasięg maksymalny wynosi 240 m przy kącie rzutu $\Theta = 30^\circ$. Zdolność do spowodowania rażenia człowieka śrucina zachowuje w przybliżeniu do odległości 70 m.

Śrut H&N „pointed, waisted” o masie 1,1 g wystrzelony z karabinka pneumatycznego Gunpower SSS kal. 5,5 mm. Strzały oddawano na strzelnicy otwartej, regulator w położeniu maksymalnej energii, przy niepełnym zbiorniku. W tabeli 6 zamieszczono wartości prędkości i energii śruciny w funkcji odległości od wylotu lufy.

Tabela 6

Prędkość i energia śruciny H&N o masie 1,1 g, kal. 5,5
w funkcji odległości
*Velocity and energy of cal. 5,5 H&N pellet of 1,1 g mass
as function of distance*

X [m]	V [m/s]	E [J]
0	357	70,10
10	317	55,27
20	281	43,43
30	251	34,65
40	227	28,34
50	205	23,11
60	186	19,03
70	170	15,90
80	155	13,21
90	142	11,09
100	130	9,30

Wydaje się, że prędkość i energia śruciny są duże jak dla karabinka pneumatycznego. Od strony technicznej nie ma jednak przeszkód, by parametry te były jeszcze większe. Już ponad dwieście lat temu Repetier-Windbüchse M.1780 kal. 13 mm konstrukcji zegarmistrza Bartolomea Girandoniego (lub Girardoniego) z Ampezzo, używana przez c. i k. Pułk Strzelców Tyrolskich, wyrzucała z lufy gwintowanej gwintem dwunastokrotnym pocisk z prędkością 300 m/s. Pociskiem by-

ła ołowiana kula, lecz źródła nie podają jej masy. Jeśli była wykonana z materiału o składzie zbliżonym do dzisiaj stosowanych, to energia wylotowa wynosiła ok. 600 J. Skuteczny zasięg tej broni określano na 100–150 m, pocisk na odległości 100 m przebijać miał calowej grubości deskę sosnową. Z obliczeń komputerowych z zakresu balistyki zewnętrznej wynika, że w tej odległości od wylotu lufy pocisk powinien mieć energię ok. 300 J, co potwierdza dane źródłowe. Można jeszcze dodać, że umieszczony w kolbie broni zbiornik pozwalał na oddanie 20 strzałów, a jego napompowanie wymagało 1500 ruchów specjalną pompką lub skorzystania z pułkowego kompresora napędzanego siłą mięśni czterech żołnierzy.

Podsumowanie

Zaprezentowane przykłady pochodzące z praktyki pokazały złożoność i cel prowadzenia pomiarów prędkości pocisków. Można stwierdzić, że radar dopplerowski to drogie, skomplikowane w obsłudze urządzenie. Pozwala ono jednak na pomiary prędkości pocisków, także o złożonej budowie, na odcinku toru lotu, co z kolei umożliwia określanie ich parametrów balistycznych niezbędnych do dalszych badań, np. sporządzenia tabel strzelniczych. Natomiast bramka fotoelektryczna ze względu na niską cenę, prostotę obsługi i szybkość pomiaru powinna być używana w większości prostych od strony technicznej badań. Zdobyta wiedza pozwala na wydawanie opinii w sprawach dotyczących wszelkiego rodzaju pocisków miotanych z najróżniejszych przyrządów. Producenci niechętnie publikują dane z zakresu balistyki zewnętrznej dotyczące nowych rodzajów amunicji używanych w broni współczesnej, a publikowane dane, z różnych względów, często są rozbieżne z rzeczywistymi. W źródłach historycznych jeszcze rzadziej spotkać można informacje z tego zakresu na temat amunicji i broni dawnej. Wynika stąd potrzeba prowadzenia własnych badań, do czego niezbędny jest odpowiedni sprzęt pomiarowy i stosowne warunki. Trzeba pamiętać, że dopiero znajomość reguł poruszania się pocisków na torach lotów pozwala na podejmowanie prób ich odtwarzania w sposób praktyczny – bezpośrednio w trakcie oględzin miejsc zdarzeń lub w sposób teoretyczny – na podstawie analizy nadesłanej dokumentacji.

BIBLIOGRAFIA

1. Ciośniński H.: Dawna broń pneumatyczna, „Dawna Broń i Barwa” 1999, nr 19–20, Wyd. Stowarzyszenia Miłośników Dawnej Broni i Barwy Oddział Górnośląski w Katowicach.
2. Klimi G.: Exterior ballistics with applications, Xlibris, 2008.

3. Nennstiel R.: EBV4 User's manual, Exterior Ballistics Software for the PC, Wiesbaden, Germany 1999.

4. Szapiro J.: Balistyka zewnętrzna, Wydawnictwo MON, Warszawa 1956.

5. Weibel Scientific A/S „Weibel W-700 velocity analyzer manual”, „Weibel SL-520 radar antenna manual”, Gentofte, Denmark 1993–1996.

Streszczenie

Artykuł dotyczy nieopisywanej w literaturze kryminalistycznej dziedziny pomiarów prędkości pocisków wystrzelanych z broni palnej i pneumatycznej. Zawiera krótkie wprowadzenie wyjaśniające sposób przeprowadzania pomiarów i używany do tego sprzęt, a zasadniczą część treści stanowi opis dziesięciu przypadków pomiarów, w większości trudnych do przeprowadzenia, zatem ciekawych od strony technicznej. Przedstawione jest również wykorzystanie pomiarów do obliczeń z zakresu balistyki zewnętrznej. Podany jest sposób przeprowadzania niektórych obliczeń i otrzymywane w praktyce wyniki.

Słowa kluczowe: pomiar prędkości pocisku, bramka pomiarowa, radar dopplerowski, balistyka zewnętrzna, tor lotu pocisku, współczynnik kształtu pocisku, krzywa balistyczna

Summary

The article touches upon the problem of measuring velocities of projectiles shot from firearms and airguns, which is the problem so far neglected in forensic literature. Following a short introduction explaining the instrument and method used for performing the measurements, the Author presents description of ten cases the majority of whom are difficult and thus interesting in terms of technical solutions. Also the use of measurements in external ballistics calculations is described, as well as the manner of conducting some calculations and the results obtained in practice.

Keywords: Measurement of projectile velocity, chronograph, Doppler radar, external ballistics, bullet trajectory, projectile form factor, ballistic curve