



Wpływ skręcenia broni podczas celowania na położenie średniego punktu trafienia

JERZY IWASZKO, JAN PLEWICKI

Politechnika Warszawska, Instytut Mechaniki i Konstrukcji,
02-524 Warszawa, ul. Narbutta 85

Streszczenie. W artykule przedstawiono rozważania dotyczące wpływu skręcenia broni strzeleckiej podczas celowania na celność strzelania. Z zasad balistyki zewnętrznej wyprowadzono zależności pozwalające obliczyć zboczenie pocisku i obniżenie punktu trafienia oraz zaprezentowano wyniki obliczeń dla określonych nastaw celownika przy różnych położeniach celu, wykonane dla różnych kątów skręcenia broni.

Słowa kluczowe: balistyka zewnętrzna, broń strzelecka, celowanie, celność broni

Symbole UKD: 623.54

1. Wstęp

Rozpatrując zagadnienie celności strzelania, należy zdawać sobie sprawę, że zależy ona nie tylko od właściwości broni, ale także od umiejętności strzelca. Dotyczy to zarówno etapu prowadzenia badań broni strzeleckiej, jak i etapu jej eksploatacji.

Wśród badań, jakim poddaje się broń strzelecką, jednym z podstawowych jest badanie celności broni (przystrzeliwanie broni) określanej przez dwa parametry. Pierwszym z nich jest położenie średniego punktu trafienia względem punktu celowania lub punktu kontrolnego, gdy strzela się na odległość niezgodną z nastawą celownika, zaś drugim parametrem jest skupienie pocisków. Uzyskanie zgodnych z wymaganiami wartości obu parametrów zależy od przyrządów celowniczych, różnic prędkości początkowych pocisków, różnic w warunkach lotu pocisku w powietrzu, a także od odchyień w kącie rzutu i kierunku. Z kolei kąt rzutu w pionie i kierunek

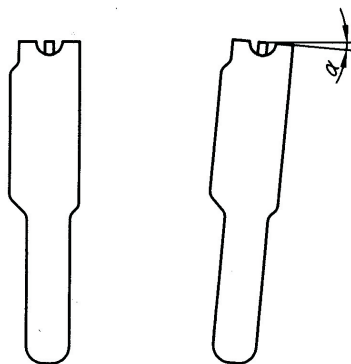
w poziomie zależą, w przypadku broni ręcznej, poza nastawami celownika, od sposobu jej trzymania, a więc od wyszkolenia strzelca.

Sformułowany trzydzieści lat temu pogląd o szkoleniu strzeleckim, wyrażony w [1], wydaje się nadal aktualny. Stwierdzono tam, że „nowoczesny sprzęt treningowy okaże się pożyteczny dopiero wtedy, gdy żołnierz przyswoił już sobie zasady celowania i strzelania, nauczone za pomocą podstawowych przyborów”.

Dziś sprzęt treningowy osiągnął już poziom niemal doskonały, jednak stosowanie zasad celowania wciąż sprawia trudności.

Doświadczony w szkoleniu młodych żołnierzy autor [1] zaleca stosowanie różnorodnych prostych pomocy szkoleniowych i prostych sposobów sprawdzania nabytych umiejętności. Do prostych pomocy stosowanych przy nauce celowania należy między innymi pokazywanie na planszach wpływu błędów popełnianych przy celowaniu na wyniki strzelania; te błędy to: muszka niska, wysoka, lewa, prawa, broń skręcona w prawo lub w lewo.

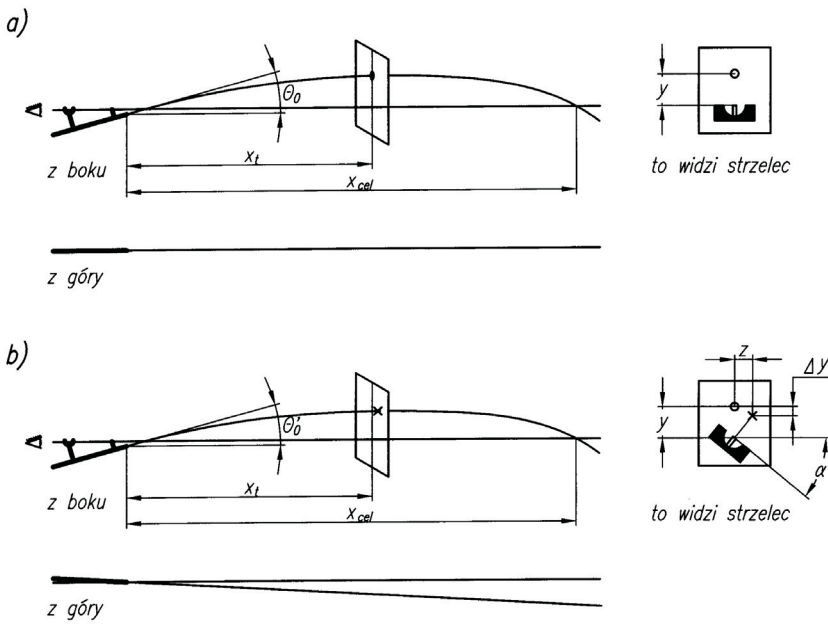
Niniejszy artykuł dotyczy tego ostatniego problemu. Przedstawiono w nim metodę obliczania zmian położenia średniego punktu trafienia — zmian spowodowanych skręceniem broni. Broń jest skręcona wówczas, gdy w chwili wylotu pocisku krawędź szczyrbiny lub linia w celowniku optycznym nie zajmuje położenia poziomego (rys. 1).



Rys. 1. Wyjaśnienie pojęcia skręcenia broni: α — kąt skręcenia

Gdy broń jest skręcona w prawo, to pociski ułożą się na tarczy w prawo w dół — to wiemy z planszy o błędach celowania. Obliczenie, o ile centymetrów pociski zboczą w prawo i o ile się obniżą przy różnych kątach skręcenia, nie jest problemem banalnym.

W tym miejscu autorzy pragną wyjaśnić, iż użyli pojęcia „zboczenie pocisku” na określenie poziomego przemieszczenia powstałego wskutek skręcenia broni, aczkolwiek w nomenklaturze zboczenie pocisku (derywacja) jest boczną zmianą toru pocisku, spowodowaną ruchem obrotowym wokół osi podłużnej.



Rys. 2. Wycelowanie prawidłowe — tzw. „muszka równa” (rys. a) i wycelowanie przy broni skręconej w prawo (rys. b): θ_0, θ_0' — kąty rzutu; x_{cel} — nastawa celownika; x_t — odległość do tarczy; z — zboczenie pocisku; Δy — obniżenie przestrzeliny

2. Elementy balistyki zewnętrznej

Do obliczania torów pocisków w ośrodku stawiającym opór zastosowano metodę Siacciego, opisaną np. w [3], przy założeniu, że linia celowania jest pozioma.

Aby obliczyć zboczenie z i obniżenie Δy pocisku (rys. 2), musimy znać następujące wielkości:

- c — współczynnik balistyczny pocisku,
- m — wysokość muszki mierzona od osi lufy (rys. 3),
- a — odległość płaszczyzny muszki od wylotu lufy (rys. 3),
- v_0 — prędkość wylotowa pocisku,
- x_{cel} — nastawa celownika broni (rys. 2),
- x_t — odległość od tarczy; może być mniejsza (rys. 2) lub większa od x_{cel} ,
- α — kąt skręcenia broni (rys. 1 i 2).

Współrzędne pocisku na torze, tj. odcięta x i rzędna y , są wg Siacciego określone wzorami

$$x = \frac{1}{c} [D(U) - D(v_0)] \quad (1)$$

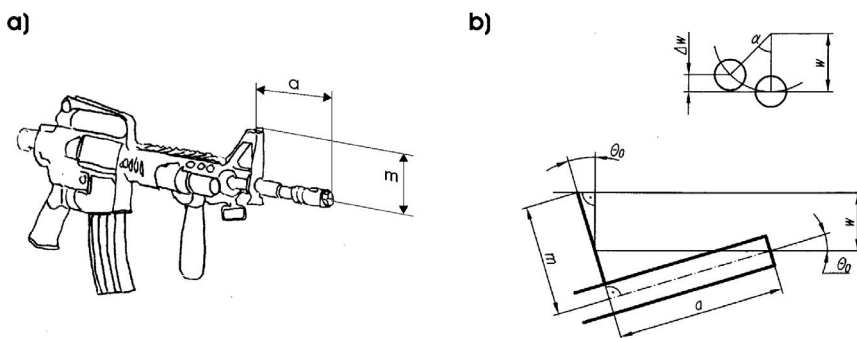
$$y = x \cdot \operatorname{tg} \Theta_0 - \frac{x}{2 \cdot c \cdot \cos^2 \Theta_0} \left[\frac{A(U) - A(v_0)}{D(U) - D(v_0)} - I(v_0) \right], \quad (2)$$

w których Θ_0 jest kątem rzutu — kątem nachylenia stycznej do toru w chwili wylotu pocisku. Funkcje pierwotne Siacciego D , A , I noszą oznaczenia pochodzące z języka francuskiego: distance — odległość, abaissement — obniżenie, inclinaison — nachylenie. Wielkości te są stabilizowane w funkcji argumentu U — zwanego prędkością pozorną. Przy małych kątach rzutu, $\Theta_0 \leq 5^\circ$, prędkość pozorną utożsamia się z prędkością pocisku w punkcie toru określonym współrzędnymi x i y . Tablice [5] obejmują zakres argumentów od 97 m/s do 1500 m/s. Wzory (1) i (2) będą wykorzystane do obliczenia kąta rzutu i do obliczenia rzędnej dla przyjętej wartości odciętej.

3. Obniżenie i zboczenie pocisku

3.1. Geometria części wylotowej

Obliczymy odległość w linii celowania od linii poziomej poprowadzonej przez środek wylotu lufy.



Rys. 3. Wymiary a i m określające położenie wierzchołka muszki (rys. a) i rysunek pomocniczy do wyznaczenia wielkości w i Δw (rys. b)

Wysokość m muszki jest sumą dwóch odcinków, które wyznacza się z trójkątów prostokątnych (rys. 3b).

$$m = \frac{w}{\cos \Theta_0} + a \cdot \operatorname{tg} \Theta_0,$$

stąd poszukiwana odległość w

$$w = m \cdot \cos \Theta_0 - a \cdot \sin \Theta_0. \quad (3)$$

3.2. Kąt rzutu

Obliczymy taki kąt rzutu Θ_o , który zapewni osiągnięcie rzędnej y toru równej wielkości w w odległości x_{cel} . Zadanie rozwiązuje się, realizując następujące kroki:

- 1) dla zadanej prędkości wylotowej v_o odczytuje się z tablic [5] wartości $D(v_o)$, $A(v_o)$, $I(v_o)$,
- 2) ze wzoru (1) oblicza się $D(U)$, przyjmując $x = x_{cel}$,
- 3) dla tej wartości $D(U)$ odczytuje się z tablic wartość $A(U)$,
- 4) wartości $D(U)$ i $A(U)$ podstawia się do wzoru (2) i oblicza $\text{tg}\Theta_o$, a następnie kąt Θ_o , przyjmując w celu uproszczenia, że $\cos\Theta_o = 1$.

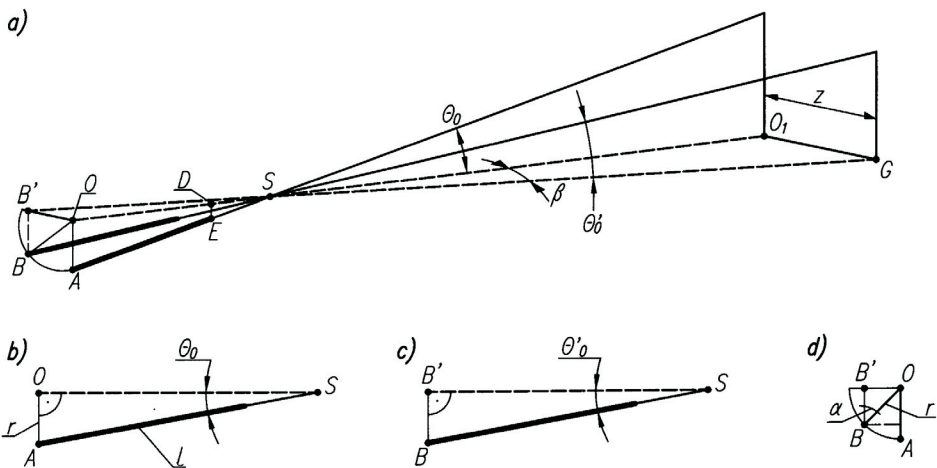
3.3. Rzędna y_t

Rzędną y toru pocisku dla dowolnej odciętej x_t oblicza się, korzystając z wyznaczonych powyżej wartości $D(v_o)$, $A(v_o)$, $I(v_o)$ oraz Θ_o :

- 1) do wzoru (1) podstawia się x_t w miejsce x i oblicza się $D(U)$;
- 2) dla tej wartości $D(U)$ odczytuje się z tablic wartość $A(U)$ oraz $I(U)$;
- 3) podstawia się te trzy wartości funkcji Siacciego do wzoru (2) i oblicza y .

3.4. Obliczenie zmiany kąta rzutu

Skręcanie broni podczas celowania można uważać za obracanie broni wokół linii celowania. Spowoduje to zmniejszenie kąta rzutu o $\Delta\Theta_o = \Theta_o - \Theta'_o$.



Rys. 4. Obliczanie skutków skręcenia broni: Θ_o — kąt rzutu; Θ'_o — nowy kąt rzutu; β — kąt obrotu płaszczyzny strzału; z — zboczenie pocisku (objaśnienie pozostałych oznaczeń podano w tekście)

Gdy broń jest wycelowana poprawnie, to w płaszczyźnie strzału leży ΔAOS (rys. 4 a, b), a po skręceniu broni płaszczyzna strzału jest wyznaczona poprzez $\Delta BB'S$ (rys. 4 a, c).

Oznaczmy

$$SA = SB = l$$

$$OA = OB = r.$$

Z ΔAOS mamy

$$r = l \sin \Theta_o,$$

a z $\Delta BB'S$ $\sin \Theta'_o = BB'/l$. Odcinek BB' obliczymy z rysunku 4d $BB' = r \cdot \cos \alpha$. Ostatecznie

$$\sin \Theta'_o = \sin \Theta_o \cdot \cos \alpha$$

$$\Delta \Theta = \Theta_o - \arcsin(\sin \Theta_o \cdot \cos \alpha).$$

3.5. Obliczenie zboczenia pocisku z

Obliczymy najpierw kąt β , o jaki zostanie obrócona płaszczyzna strzału. Z trójkąta prostokątnego $\Delta B'O'S$ mamy $\operatorname{tg} \beta = B'O'/OS$.

Odcinek $B'O'$ obliczony z rysunku 4d ma długość $B'O' = r \sin \alpha$, a odcinek $OS = l \cos \Theta_o$ na podstawie rysunku 4a. Po wyeliminowaniu wielkości r dzięki podstawieniu wzoru (4) otrzymamy

$$\operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} \Theta_o \sin \alpha. \quad (5)$$

Odległość x_t do tarczy jest równa sumie (rys. 4a)

$$x_t = DS + SO_1. \quad (6)$$

Odcinek DS obliczymy z trójkąta ΔEDS , w którym $\sphericalangle DSE = \Theta_o$ zaś $DE = w$ (wzór 3)

$$DS = \frac{w}{\operatorname{tg} \Theta_o}. \quad (7)$$

Odcinek SO_1 obliczymy z trójkąta ΔSO_1G

$$SO_1 = \frac{z}{\operatorname{tg} \beta}. \quad (8)$$

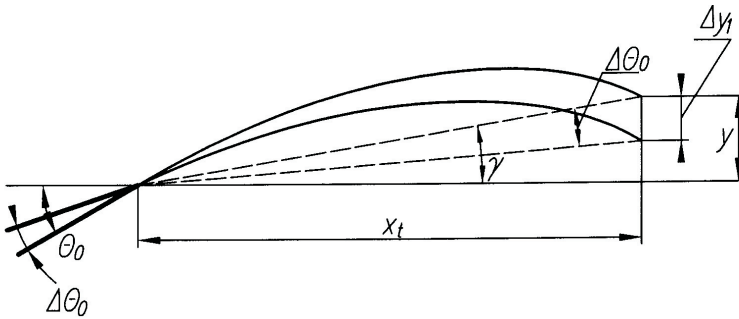
Zboczenie pocisku z oblicza się, podstawiając (5) do (8), a następnie (7) i (8) do (6)

$$z = (x_t \operatorname{tg} \Theta_0 - w) \sin \alpha. \quad (9)$$

3.6. Obliczenie obniżenia punktu trafienia

Na sumaryczne obniżenie Δy punktu trafienia składa się obniżenie Δy_1 spowodowane zmniejszeniem kąta rzutu i podwyższenie Δy_2 spowodowane przemieszczeniem wylotu lufy w górę

$$\Delta y = \Delta y_1 - \Delta y_2. \quad (10)$$



Rys. 5. Obliczenie obniżenia Δy_1 punktu trafienia w wyniku zmniejszenia kąta rzutu (zasada sztywności toru pocisku)

Pierwszy składnik obliczymy, korzystając z możliwości traktowania toru jako linii sztywnej, która może się obracać w płaszczyźnie strzału wokół wylotu lufy. Takie założenie jest przyjmowane przy małych kątach rzutu i niewielkich kątach obrotu. Na podstawie rysunku 5 możemy napisać

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{y}{x_t} \quad \text{oraz} \quad \operatorname{tg} (\gamma - \Delta \Theta_0) = \frac{y - \Delta y_1}{x_t}.$$

Po przekształceniach otrzymuje się

$$\Delta y_1 = y - x_t \cdot \operatorname{tg} \left(\operatorname{arctg} \frac{y}{x_t} - \Delta \Theta_0 \right). \quad (11)$$

Skręcanie broni powoduje przemieszczanie się wylotu lufy w górę o odcinek Δw (rys. 3b): $\Delta y_2 = \Delta w$

$$\Delta y_2 = w(1 - \cos \alpha). \quad (12)$$

Sumaryczne obniżenie Δy oblicza się ze wzoru (10) po wcześniejszym skorzystaniu ze wzorów (11) i (12).

4. Przykład zastosowania

Przedstawioną metodę obliczania wpływu kąta skrzywienia broni na położenie średniego punktu trafienia prześledzimy na przykładzie, przyjmując dane dla 7,62 mm karabinka Kałasznikowa AKM strzelającego pociskiem naboju pośredniego. Prędkość wylotowa wynosi więc $v_o = 715$ m/s, współczynnik balistyczny $c = 4,5$, wysokość muszki $m = 5,8$ cm, a odległość jej płaszczyzny od wylotu $a = 2,3$ cm. Niech celownik będzie ustawiony na $x_{\text{cel}} = 300$ m, a tarcza znajduje się w odległości $x_t = 100$ m. Przyjmijmy kąt skrzywienia $\alpha = 20^\circ$.

Dla tych danych otrzymuje się następujące wyniki pośrednie. Z tablic $D(v_o) = 3875$, $A(v_o) = 446,555$, $I(v_o) = 0,15426$. Ze wzoru (1) otrzymamy $D(U) = 5225$. Z tablic, dla tej wartości jest $A(U) = 703,209$. Ze wzoru (2) będzie $\text{tg}\Theta_o = 0,004177$, kąt $\Theta_o = 0,23933^\circ = 14'21,6''$. Dla $x_t = 100$ m jest $D(U) = 4325$ i $A(U) = 520,267$ i ze wzoru (2) otrzymamy $y = 31,17$ cm. Ze wzoru (3) otrzymuje się $w = 5,79$ cm, więc przewyższenie punktu trafienia ponad linię celowania będzie 25,4 cm. Ze wzoru (4a) obliczymy, że w wyniku skrzywienia broni kąt rzutu zmaleje o $0,01443^\circ$. Zgodnie ze wzorem (9) zboczenie będzie równe $z = 12,3$ cm. Pierwszy składnik obniżenia jest ze wzoru (11) $\Delta y_1 = 2,52$ cm, a drugi — na podstawie wzoru (12) $\Delta y_2 = 0,35$ cm. Sumaryczne obniżenie $\Delta y = 2,20$ cm.

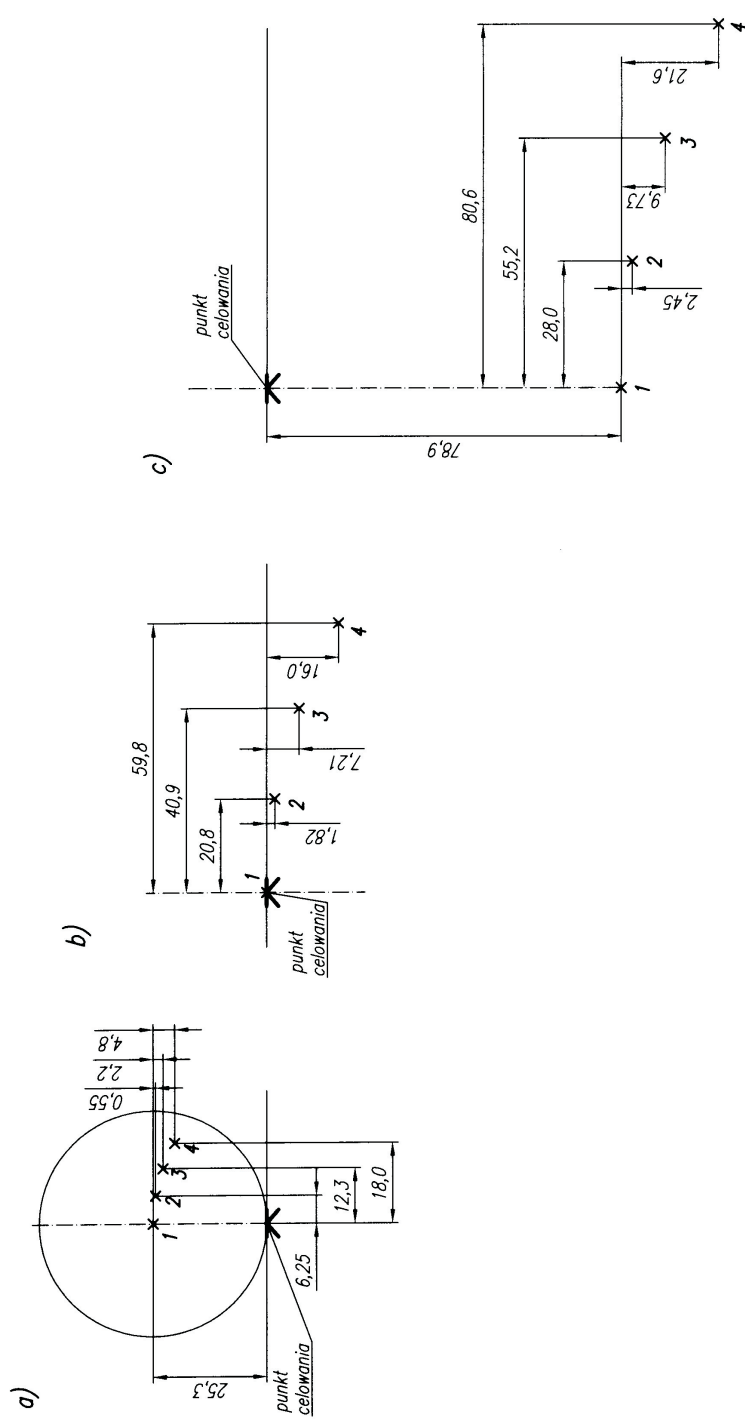
Wyniki obliczeń naniesiono na rysunku 6a jako przestrzelinę nr 3. Współrzędne pozostałych przestrzelin oznaczonych na rysunku 6 obliczono w sposób analogiczny do przedstawionego powyżej.

Na rysunku 7 pokazano wpływ kąta skrzywienia broni α i odległości x_t do tarczy na zboczenie pocisku z i obniżenie punktu trafienia Δy przy nastawie celownika $x_{\text{cel}} = 300$ m. Rombem oznaczono wyniki dla przestrzeliny oznaczonej numerem 3 na rysunku 6a.

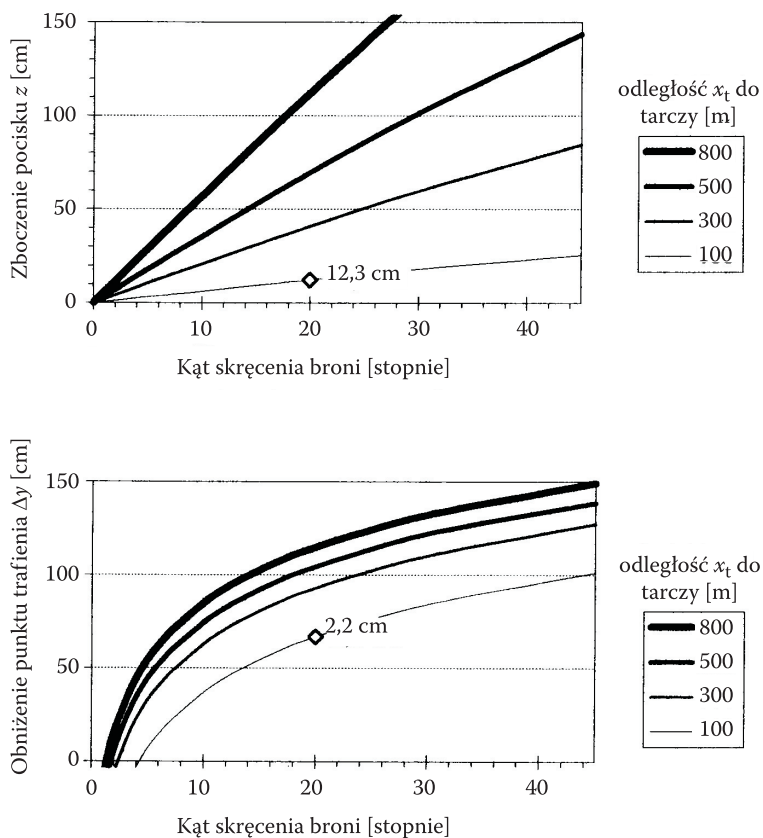
Na podstawie rysunku 8 można dokonać porównania obu skutków, tj. zboczenia pocisku i obniżenia punktu trafienia dla przyjętych przykładowo warunków strzelania: nastawa celownika równa odległości strzelania i równa 300 m.

Powyższe rozważania można odnieść do przystrzeliwania 7,62 mm karabinka AKM. Zgodnie z [4] karabinek przystrzeliwuje się nabojami z pociskami zwykłymi o masie 7,9 g. Odległość strzelania wynosi 100 m przy nastawie celownika 300 m.

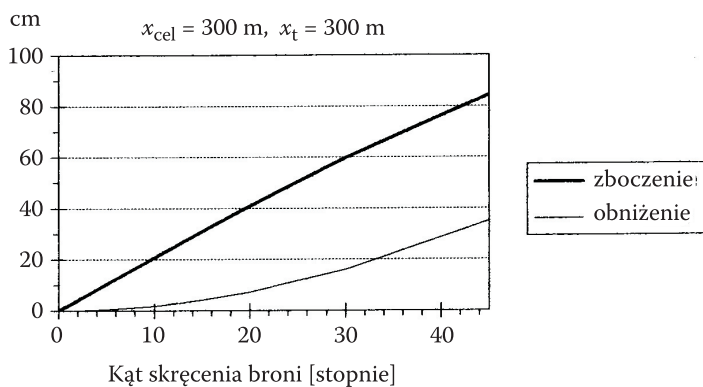
Strzela się ogniem pojedynczym, oddając cztery strzały do białej tarczy o wysokości 1 m i szerokości 0,5 m, na której umieszczony jest czarny prostokąt o wysokości 35 cm i szerokości 25 cm. Punktem celowania jest środek dolnej krawędzi prostokąta, natomiast punkt określający normalne położenie średniego punktu trafienia (punkt kontrolny) leży 25 cm ponad punktem celowania, co ma swoje uzasadnienie w przewyższeniu toru lotu pocisku nad linią celowania.



Rys. 6. Położenie średniego punktu trafienia (krzyżyki) na tarczy ustawionej w odległości: a) $x_i = 100$ m; b) $x_i = 300$ m; c) $x_i = 400$ m przy nastawie celownika $x_{cd} = 300$ m i różnych kątach skręcenia broni: „1” bez skręcenia — $\alpha = 0^\circ$, „2” $\alpha = 10^\circ$, „3” $\alpha = 20^\circ$, „4” $\alpha = 30^\circ$. Wymiary w centymetrach



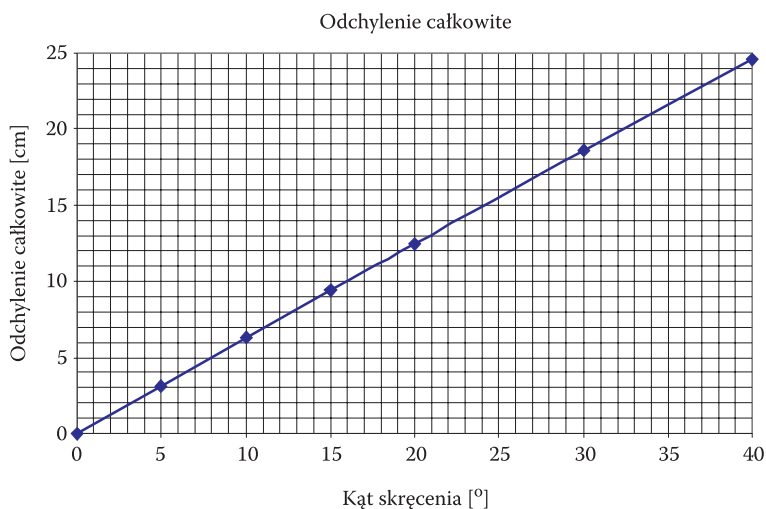
Rys. 7. Zboczenia pocisku z oraz obniżenia średniego punktu trafienia Δy dla nastawy celownika $x_{cel} = 300$ m przy różnych odległościach strzelania. Rombem oznaczono wyniki obliczone jako przykład zastosowania



Rys. 8. Porównanie zboczenia i obniżenia spowodowanych skręceniem broni

Wyniki przystrzeliwania uważa się za dobre, jeśli przestrzeliny mieszczą się w okręgu o średnicy 15 cm, zaś średni punkt trafienia pokrywa się z punktem kontrolnym lub odchyła od niego w dowolnym kierunku nie więcej niż o 5 cm.

Na rysunku 9 przedstawiono wykres odchylenia całkowitego (liczonego jako wypadkowa obniżenia i zбочenia pocisku) od punktu kontrolnego, dla warunków przystrzeliwania karabinka AKM. Analizując ten wykres oraz położenie punktu trafienia z rysunku 6a, łatwo zauważyć, że skręcenie karabinka o kąt większy od 8° spowoduje przemieszczenie punktu trafienia poza obszar odchylenia dopuszczalnego, mimo prawidłowych nastaw przyrządów celowniczych i mierzenia dokładnie w punkt celowania. Ponadto, jeśli podczas oddawania kolejnych strzałów, różnica kątów skręcenia broni jest większa od 24° , odległość między przestrzelinami będzie większa niż 15 cm, a zatem nie zostanie spełniony warunek skupienia. Może to, podczas badań odbiorczych broni, prowadzić do fałszywych wniosków dotyczących jakości broni, w tym prawidłowości ustawienia przyrządów celowniczych.



Rys. 9. Odchylenie całkowite jako funkcja kąta skręcenia karabinka AKM dla tarczy ustawionej w odległości 100 m i nastawy celownika 300 m

5. Wnioski

W artykule przeanalizowano wpływ częstego błędu popełnianego podczas nauki strzelania, jakim jest skręcenie broni. Skręcenie ma miejsce wtedy, gdy krawędź szczerbiny nie zajmuje położenia poziomego w chwili wyjścia pocisku z lufy. Wpływ skręcenia broni danego wzoru zależy od nastawy celownika i od odległości, w jakiej znajduje się cel — odległości do tarczy. Wpływ ten jest oceniany na podstawie

dwóch kryteriów: zbroczenia pocisku i obniżenia punktu trafienia. Przy wycelowaniu prawidłowym obie te wielkości są równe zero. Dla broni rozpatrzanej w tym artykule jako przykład (karabinek AKM) zbroczenie pocisku przy małych kątach skręcenia jest kilkanaście razy większe od obniżenia (rys. 8). Zbroczenie pocisku odgrywa większą rolę w całym zakresie zmienności rozpatrywanych zmiennych. Przyczyną tego stanu jest dość duża odległość wierzchołka muszki od osi przewodu lufy w rozpatrywanej broni. Przy kątach skręcenia przekraczających 10° wyniki strzelania dramatycznie się pogarszają. Interesujące wydaje się spostrzeżenie, że skutki skręcenia broni nie osiągają ekstremum w przypadkach gdy cel znajduje się w odległości równej nastawie celownika.

Metodę obliczeń opisaną w artykule może zastosować użytkownik dowolnej broni strzeleckiej, palnej lub wiatrówkowej — do analizy wpływu skręcenia broni na wyniki strzelania.

Artykuł wpłynął do redakcji 8.01.2007 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w lipcu 2007 r.

LITERATURA

- [1] E. WIĘCKOWSKI, *Naukę strzelania zacznijmy od podstaw*, Przegląd Wojsk Lądowych, nr 8, 1978.
- [2] M. OGÓREK, *Symulator strzelecki Laser Shot*, Strzał — magazyn o broni, nr 9 (29), wrzesień 2005.
- [3] J. SZAPIRO, *Balistyka zewnętrzna*, MON, Warszawa, 1956.
- [4] S. KOCHAŃSKI, *Badanie broni strzeleckiej. Laboratorium*, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1990.
- [5] *Tablice zasadniczych funkcji Siacci*, Politechnika Warszawska, Katedra Balistyki, Warszawa, 1954.

J. IWASZKO, J. PLEWICKI

Influence of gun turning on shooting accuracy

Abstract. Turning the gun is the aiming error of frequent occurrence among novice shooters. This error arises when the sighting blade of the rear sight is not horizontal at the moment of a bullet exit. Turning the gun has the great influence on the point of bullet impact. The longer is a distance between the barrel axis and the top of a front sight, the bigger influence. For a given gun model, the influence depends on the sight setting and on the shooting range.

The Siacci method for flat-fire trajectories calculation was used in the paper. It was assumed that the line of sight is horizontal. It was noticed that turning the gun is equivalent to gun rotating around the line of sight. It causes diminishing the elevation angle and moving the muzzle up. The formulas are derived to obtain the bullet lowering Δy and the bullet deflection z as a function of the gun turning angle α . It is necessary to know the ballistic coefficient c , the distance m between the barrel axis and the top of front sight, the distance a between the top of the sight plane and the muzzle plane, the distance x_{tar} on which the gun is zeroed, the range x (may be shorter or longer than the distance) and the turning angle α .

Practical computation example for the AKM (Kalashnikov) rifle was presented to illustrate application of the method described. The paper will be of interest for military and sporting shooters which tends to improve their skills.

Keywords: exterior ballistics, firearms, aiming, gun turning

Universal Decimal Classification: 623.54