



WYBRANE ZAGADNIENIA BEZPIECZEŃSTWA KONSTRUKCJI I EKSPLOATACJI STRZELNIC GARNIZONOWYCH

Józef GACEK, Bronisław MARCINIAK, Ryszard WOŹNIAK
Instytut Techniki Uzbrojenia Wydział Mechatroniki i Lotnictwa,
Wojskowa Akademia Techniczna

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki rozważań teoretycznych i badań doświadczalnych, dotyczących bezpieczeństwa konstrukcji i użytkowania strzelnic, ze szczególnym zwróceniem uwagi na strzelnice garnizonowe. Przeprowadzono analizy i badania odporności na penetrację przegród wykonanych z różnych materiałów oraz skutków uderzenia pocisków strzeleckich w elementy konstrukcyjne strzelnicy, w tym rykoszetowania od tych elementów. Na podstawie wyników przeprowadzonych badań przedstawiono koncepcję strzelnicy o parametrach konstrukcyjno-technologicznych spełniającej wymagania wynikające z aktualnie obowiązujących przepisów [9].

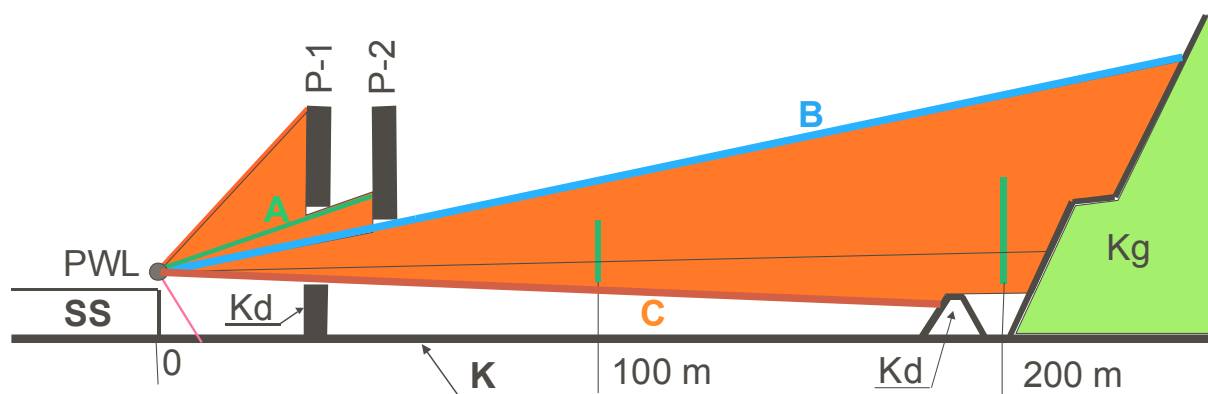
Słowa kluczowe: strzelnica, przebijalność, rykoszet, broń strzelecka

1. Wprowadzenie

Wprowadzanie do uzbrojenia Wojska Polskiego nowych wzorów uzbrojenia strzeleckiego i środków bojowych (w tym amunicji) oraz związane z tym zmiany programów szkolenia, a także burzliwa industrializacja terenów przylegających do strzelnic garnizonowych, stawiają przed konstruktorami i eksploataitorami tych obiektów coraz bardziej rygorystyczne wymagania (usankcjonowane prawnie), mające na celu zapewnienie niezbędnego bezpieczeństwa ich użytkowania.

W procesie eksploatacji strzelnic wystrzelone pociski trafiają w różne elementy zabezpieczenia i technicznego wyposażenia strefy strzelań, na których powinny być zatrzymywane rykoszetujące pociski. Pociski te stanowią duże zagrożenie dla otoczenia strzelnicy, ponieważ ich dalszy lot jest przypadkowy, a energia pocisków jest na tyle duża, aby spowodować zranienie ludzi i zwierząt oraz uszkodzić mienie, znajdujące się w strefach ochronnych.

Wyniki prac naukowo-badawczych prowadzonych m.in. w Instytucie Techniki Uzbrojenia Wojskowej Akademii Technicznej [1-6 i 8] znacznie wzbogaciły wiedzę z zakresu zjawisk towarzyszących rykoszetowaniu pocisków, umożliwiając sformułowanie podstawowych parametrów konstrukcyjno-technologicznych elementów zabezpieczenia strzelnic, które zminimalizują ich podatność na penetrację oraz rykoszetowanie pocisku, a zwłaszcza wylot poza strefę strzelań. Bardzo ważnymi, wpływającymi w sposób bezpośredni na bezpieczeństwo użytkowania strzelnicy, są też parametry konstrukcyjne strzelnicy (rys. 1).



Rys. 1. Przekrój pionowy strefy strzelania:

SS – stanowisko strzeleckie; PWL – punkt wylotu lufy; P-1 – przesłona nr 1; P-2 – przesłona nr 2; Kd – kulochwyt dolny; Kg – kulochwyt główny; A – górna płaszczyzna strzelania dla P-2; B – górna płaszczyzna strzelania; C – dolna płaszczyzna strzelania; K – płaszczyzna konstrukcyjna strzelnicy

2. Elementy teorii bezpieczeństwa użytkowania strzelnicy garnizonowej

2.1. Zjawiska występujące podczas zderzenia pocisku z przegrodą

Podczas uderzenia pocisku w przegrodę powstają naprężenia działające na nią oraz takie same oddziaływanie przegrody na pocisk (opór ośrodka). Działanie pocisku i przeciwdziałanie ośrodka równe, co do wielkości, odbywa się w bardzo krótkim czasie. Występują przy tym obciążenia impulsowe o znacznej wartości. Gwałtowny wzrost ciśnienia w punkcie uderzenia (upadku) powoduje odkształcenie zarówno pocisku, jak i przegrody. Zniekształcenie pocisku, w zależności od jego wytrzymałości i wielkości oporu ośrodka, może wyrażać się poprzez zwykłe spłaszczenie części wierzchołkowej (ostrołuku), pęknięcie lub zupełne zniszczenie pocisku.

Napędzone i przemieszczone w wyniku uderzenia pocisku fragmenty przegrody oddają część swojej energii cząsteczkom dalej położonym, dzięki czemu ulegają również zniszczeniu strefy niestykające się bezpośrednio z pociskiem. Pod wpływem uderzenia w materiałach sprężystych powstaje ruch falowy cząsteczek, powodujący drgania ośrodka, rozprzestrzeniające się w ciałach ciekłych i stałych na ogół z prędkością znacznie większą od prędkości pocisku (w metalach prędkość ta osiąga wartość kilku tysięcy metrów na sekundę).

W dostępnej literaturze przedmiotu podano empiryczne wzory do wyznaczania odporności przegród na wnikanie lub głębokości wniknięcia pocisku. I tak np.:

- a) odporność płyt stalowych na przebicie pociskiem karabinowym można określić ze wzoru Jacobe'a de Marre'a [1, 7, 8]

$$b = 0,7 \sqrt{\frac{V_m \cdot m^{0,5} \cdot \cos \Theta_p}{K \cdot d^{0,75}}} \quad (1)$$

gdzie:

b – grubość przebijanej płyty stalowej [mm]

V_m – minimalna prędkość pocisku niezbędna do spenetrowania przegrody [m/s]

m – masa pocisku [g]

d – „kaliber” pocisku [mm]

Θ_p – kąt uderzenia pocisku w przegrodę [°]

K – współczynnik (np. dla St0 i St3, $K = 2\ 200$)

Zakładając, że $V_m = 820$ m/s, $m = 9,6$ g, $d = 7,62$ mm, $\Theta_p = 90^\circ$, $K = 2\ 200$ otrzymuje się grubość płyty b, która nie zostanie spenetrowana:

- dla blach miękkich $b = 9,5$ mm,
- dla blach niejednorodnych i blach o dużej twardości $b = 8$ mm,

b) odporność betonu na przebicie pociskiem karabinowym można wyznaczyć ze wzoru Bierieżańskiego (2) [3] lub Aniop (3) [1, 7, 8]:

$$h = K_{nB} \cdot \frac{m}{d^2} V_p \cdot \cos \Theta_p \quad (2)$$

$$h = A_1 \cdot K_{nA} \cdot \frac{m}{d^2} V_p \cdot \frac{\cos(n \cdot \Theta_p)}{\cos \Theta_p} \quad (3)$$

gdzie:

h – grubość przegrody, która nie zostanie spenetrowana dla podanych parametrów balistycznych pocisku i odporności przegrody [m]

K_{nB} – współczynnik (np. dla betonu $K_{nB} = 0,005 \div 0,015$)

V_p – prędkość uderzenia pocisku w przegrodę [m/s]

A_1 – współczynnik kształtu części głowicowej pocisku (dla pocisków dalekonośnych $A_1 = 1,3$)

K_{nA} – współczynnik (np. dla betonu „słabego” $K_n = 90 \cdot 10^{-8}$, „mocnego” $K_n = 80 \cdot 10^{-8}$)

n – współczynnik obrotu pocisku w przeszkodzie (dla pocisków strzeleckich $n = 1,72 \div 1,82$).

Po podstawieniu powyższych danych do wzorów (2) i (3) otrzymuje się:

– dla wzoru Bierieżańskiego – $h = (0,062 \div 0,177)$ m;

– dla wzoru Aniop – $h = (0,129 \div 0,146)$ m,

c) odporność muru ceglanego na przebicie pociskiem karabinowym można określić ze wzoru Bierieżańskiego (2) lub ze wzoru Wuicha (4) [2, 8, 9]:

$$h = k \cdot \xi_o \cdot p_s = k \cdot \xi_o \cdot \frac{4 \cdot m}{\pi \cdot d^2} \quad (4)$$

gdzie:

k – współczynnik poprawkowy dla różnych materiałów przegród

ξ_o – współczynnik proporcjonalności zależny od prędkości uderzenia pocisku i rodzaju przegrody (np. $\xi_o = 17,49$ z ekstrapolacji tablicy Wuicha dla prędkości uderzenia równej 755 m/s).

Po podstawieniu danych z ppkt. b) i c) do wzorów (2) i (4) otrzymuje się odpowiednio: $h = (0,248 \div 0,312)$ m (dla muru ceglanego $K_{nB} = 0,020 \div 0,025$) oraz $h = 0,252$ m.

Ponieważ dotychczasowe badania analityczne dają wyniki rozbieżne z badaniami empirycznymi, podejmowane są próby określenia innych współczynników oraz zależności, przybliżających ostateczny wynik do wyniku uzyskanego z badań doświadczalnych.

2.2. Mechanizm powstawania rykoszetów pocisków strzeleckich

Analiza zagadnień z obszaru rykoszetowania pocisków wymaga znajomości zjawisk fizycznych towarzyszących uderzeniu pocisku w przegrodę (cel, elementy techniczne strefy strzelań, zabezpieczenia, inne przeszkody). W dostępnej literaturze przedmiotu zjawisko uderzenia pocisku pod kątem do powierzchni przegrody innym niż normalny jest przedstawiane najczęściej w kontekście oszacowania (sprawdzenia) oddziaływania wydłużonego penetratora na skośnie ustawiony pancierz (przegrodę). Często istotą tych opracowań (przy konkretnych charakterystykach układu pocisk-przegroda) jest określenie wpływu tego kąta na przebijal-

ność i oszacowanie uszkodzenia przegrody, spowodowane oddziaływaniem pocisku (jego rdzenia). Rykoszetowanie jest tu zjawiskiem niepożądanym i w praktyce pociski konstruje

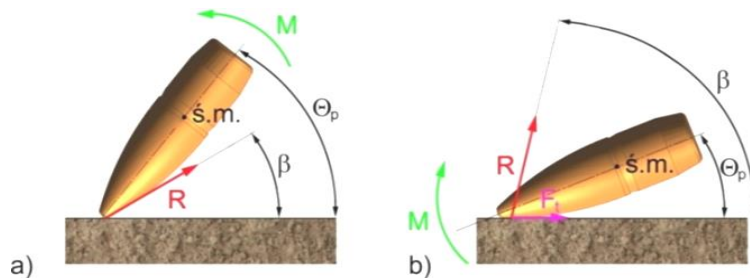
się w taki sposób, aby przy małych kątach uderzenia (rzędu kilkunastu stopni) nie odbijały się od przegrody.

W przypadku strzelnic występują uderzenia pocisku w przegrodę (np. cel, kulochwyty) pod kątem zbliżonym do 90° (następuje najczęściej wnikanie pocisku w przegrodę) lub pod kątem kilku stopni (wówczas najczęściej zachodzi zjawisko odbicia pocisku od przegrody).

W przedstawionych poniżej rozważaniach, dotyczących rykoszetowania pocisków, przyjęto założenie, że przy uderzeniu w przegrodę oś podłużna pocisku pokrywa się ze styczną do toru lotu. Tak, więc wektor prędkości, usytuowany w środku masy pocisku, będzie działał na kierunku pokrywającym się z osią podłużną pocisku, a kąt uderzenia (kąt ataku) Θ_p będzie określał odchylenie tego kierunku od stycznej do powierzchni przegrody w punkcie uderzenia (rys. 2) [1].

Jeżeli pocisk uderza w przegrodę pod kątem Θ_p , to wypadkowa siła oporu przegrody \mathbf{R} , przyłożona w punkcie styku pocisku z przegrodą, będzie tworzyć z jej powierzchnią kąt β (rys. 2). Wartość tego kąta określa wielkość siły tarcia \mathbf{F}_t , powstającej w punkcie styku. Siła \mathbf{R} wywołuje moment siły \mathbf{M} , powodujący obrót pocisku wokół jego środka masy, a w konsekwencji zwiększenie wartości kąta β , co może skutkować penetracją przegrody przez pocisk (rys. 2a). Moment ten może także powodować zmniejszenie kąta β do wartości powodującej odbicie się pocisku od powierzchni przegrody (rykoszetowanie) (rys. 2b).

Wielkość i kierunek działania momentu \mathbf{M} zależą od wartości kąta β , którego wielkość jest funkcją: kształtu części głowicowej pocisku, kąta uderzenia Θ_p , konstrukcji pocisku oraz właściwości przegrody i pocisku (twardość materiału, stan powierzchni, współczynnik tarcia itp.). Im większa jest względna długość części głowicowej pocisku, mniejszy kąt uderzenia, mniejsza odległość pomiędzy punktem styku pocisk-przegroda a środkiem masy pocisku, mniejszy biegunowy moment bezwładności pocisku I_y i im przegroda jest sztywniejsza, tym prawdopodobieństwo powstania rykoszetu jest większe.



Rys. 2. Wniknięcie w przegrodę i odbicie pocisku od przegrody:

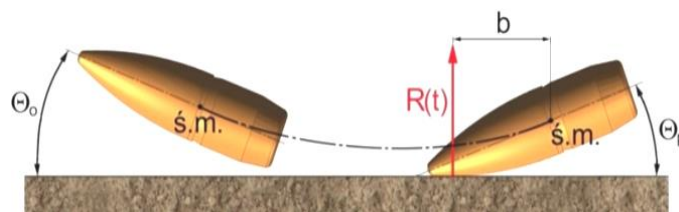
a) wniknięcie pocisku w przegrodę $\beta \leq \Theta_p$; b) rykoszetowanie pocisku na przegrodzie $\beta \geq \Theta_p$
(gdy $\beta = \Theta_p$ może wystąpić a) lub b)

\mathbf{M} – moment siły powodujący obrót pocisku wokół jego środka masy; \mathbf{R} – wypadkowa siła oporu przegrody, \mathbf{F}_t – siła tarcia, β – kąt działania wypadkowej siły oporu przegrody, Θ_p – kąt uderzenia pocisku w przeszkodę, ś.m. – środek masy pocisku

Wartość kąta uderzenia pocisku w przegrodę, poniżej którego następuje odbicie pocisku, nazywa się kątem rykoszetowania (odbicia) Θ_o (rys. 3).

Jeżeli kąt $\Theta_p < \Theta_o$ (rys. 3), na pocisk działa zmieniająca się w czasie siła reakcji ośrodka $\mathbf{R}(\mathbf{t})$. Z wystarczającą dla praktyki dokładnością można przyjąć, że siła $\mathbf{R}(\mathbf{t})$ jest skierowana prostopadle do powierzchni przegrody (rys. 3), co oznacza, że pomija się siłę tarcia \mathbf{F}_t (rys. 2). Moment siły $\mathbf{R}(\mathbf{t})$ powoduje obrót pocisku wokół środka masy z określoną prędkością kątową.

Dla uogólnienia zależności i parametrów brzegowych podczas zjawiska wnikania i rykoszetowania, wykorzystując wyniki badań symulacyjnych oraz doświadczalnych, sporządzono wykresy fazowe dla poszczególnych rodzajów amunicji i rodzajów przegród (pancerzy, przesłon, kulochwyty itp.).



Rys. 3. Schemat zjawiska rykoszetowania pocisku:

$R(t)$ – zmienna w czasie siła reakcji ośrodka, b – ramię działania siły reakcji ośrodka względem środka masy pocisku, Q_p – kąt uderzenia pocisku w przegrodę, Q_o – kąt odbicia (rykoszetowania) pocisku od przegrody [1]

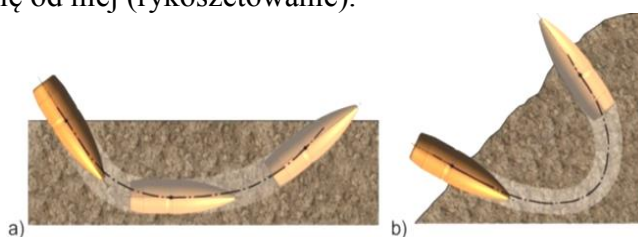
W wyniku systematycznie prowadzonych badań w warunkach laboratoryjnych oraz terenowych, a także w oparciu o literaturę przedmiotu, uogólniono wartości granicznych kątów rykoszetowania pocisków strzeleckich dla różnych ośrodków (przegród), przyjmując je, jako podstawę do określania grubości ścian i zabezpieczeń bocznych na strzelnicach. Odpowiednie dane zestawiono w tab. 1. Ponadto wyniki te pozwoliły na opracowanie nowych konstrukcji kulochwyków głównych, tzw. listwowych, gdzie wykorzystano pochylone płyty stalowe pod obliczeniowym kątem w celu zapewnienia skierowanego rykoszetowania pocisków, które zostają gromadzone w pojemniku pod kulochwytem.

Tabela. 1. Wyznaczone doświadczalnie wartości granicznych kątów rykoszetowania pocisków strzeleckich $\Theta_{o\ gr}$ dla różnych ośrodków

Ośrodek	Woda	Grunt miękki	Grunt twardy	Pancerz stalowy, beton
Odległość strzelania [m]	50	25	25	15
$\Theta_{o\ gr}$	$6^\circ \div 10^\circ$	$10^\circ \div 12^\circ$	$12^\circ \div 15^\circ$	$25^\circ \div 30^\circ$

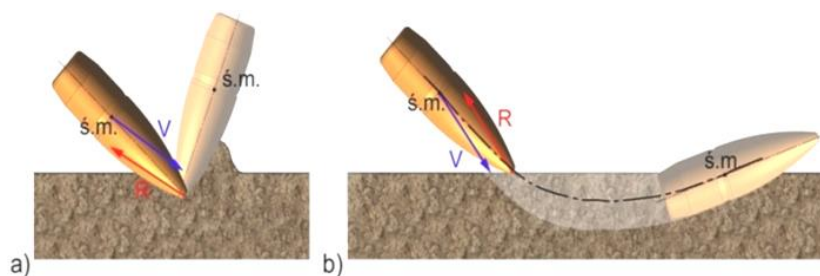
2.3. Przykłady ruchu pocisku w różnych ośrodkach

Na rys. 4-7 pokazano przykłady zachowania się pocisku po wnikięciu w przegrodę (grunt) oraz odbiciu się od niej (rykoszetowanie).



Rys. 4. Przykłady ruchu pocisku w gruncie o niewielkiej spoistości i niejednorodności kolejnych warstw [1]

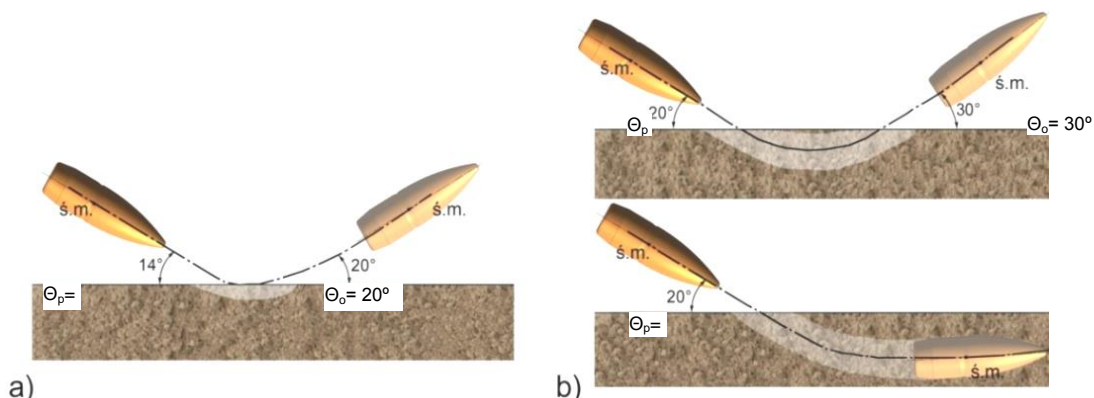
Prowadzenie szkolenia strzeleckiego zgodnie z wymaganymi warunkami bezpieczeństwa, z wykorzystaniem sprawnej broni i amunicji może często prowadzić do powstawania rykoszetów od gruntu. Najczęściej pociski odbijają się od płaszczyzny konstrukcyjnej K nasypu kulochwytu dolnego przed kulochwytem głównym K_d lub skarpy kulochwytu głównego K_g . Są to albo rykoszety pierwotne, które powstają na skutek wadliwej konstrukcji strzelnicy, lub przekroczenia stanów granicznych użytkowania (tolerancji) określonych jej elementów (korona kulochwytu dolnego w przesłonie nr 1) i w konsekwencji możliwości bezpośredniego w nią trafienia, albo rykoszety wtórne powstałe po wcześniejszym odbiciu od innego elementu infrastruktury.



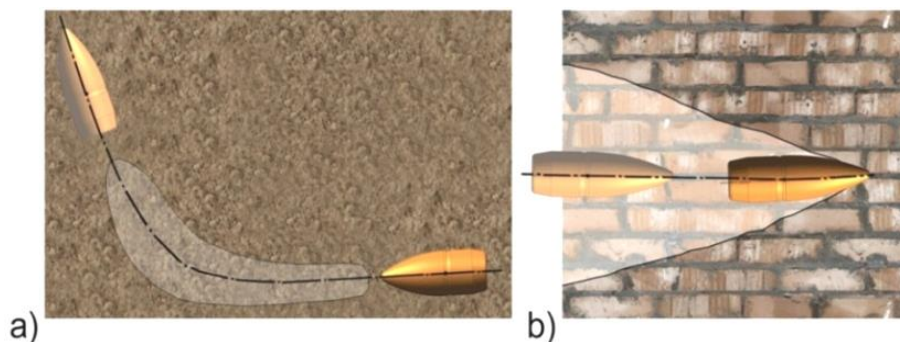
Rys. 5. Przykłady zachowania się pocisku przy uderzeniu w grunt bokiem ostrołuku przy kącie uderzenia równym połowie kąta rozwarcia ostrołuku i różnym odchyleniu wektora prędkości V od osi podłużnej pocisku. W zależności od spoistości gruntu pocisk może: a) rozpocząć „kozyłkowanie” (grunt twardy), b) wnikać w jego warstwy powierzchniowe (grunt miękki) [1]

W pierwszym przypadku istnieje wysokie prawdopodobieństwo, że tak odbity pocisk straci mało ze swej prędkości/energii kinetycznej i tym samym uzyska znaczny zasięg lotu – często opuszczając strefę strzelań strzelnicy i wylatuje poza strefę niebezpieczną. Drugi przypadek jest mniej groźny z uwagi na to, że kolejne odbicia pocisku następują najczęściej w warunkach dużej utraty jego energii kinetycznej, często w wyniku utraty stabilizacji („kozyłkowania”) na torze lotu. Również w przypadku napotkania nierównomiernego oporu (różne gęstości warstw gruntu), po wyjściu pocisku z ziemi, może nastąpić utrata jego stabilności i szybkie wytracanie prędkości (rys. 6).

Przykładowe tory rykoszetów pocisków naboju 7,62x39 mm, wyznaczone na drodze obliczeń numerycznych, przedstawiono na rys. 8.



Rys. 6. Przykłady rykoszetowania pocisków przy kątach uderzenia: a) $\Theta_p < 14^\circ$, b) $\Theta_p = (15 \div 25)^\circ$ oraz odpowiadające im najczęściej występujące kąty odbicia Θ_o [1]

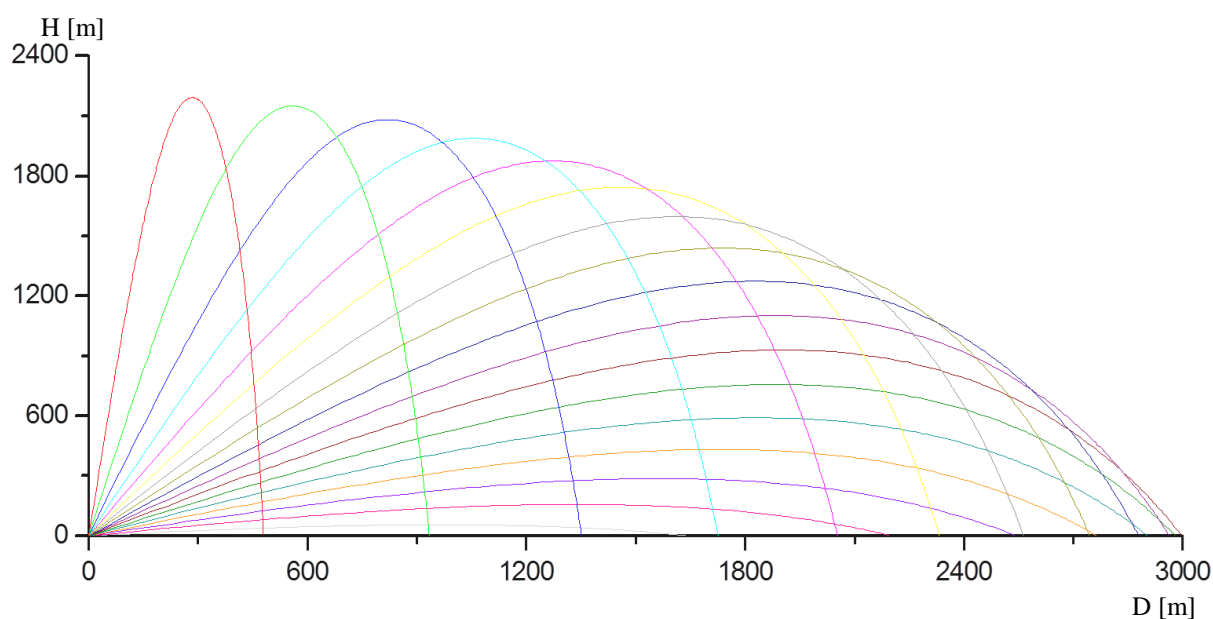


Rys. 7. Bruzda w ziemi powstała po rykoszecie pocisku wystrzelonego z broni o bruzdowaniu prawoskrętnym (a) i kształt początku wydrążenia w ośrodku niesprężystym (b) [1]

3. Przykładowe wyniki badań doświadczalnych oddziaływania pocisków na przegrody

Wyniki badań doświadczalnych, ilustrujące oddziaływanie pocisków strzeleckich na przegrody wykonane z różnych materiałów, przedstawiono na fot. 1-3 oraz w tab. 2-4.

Podczas strzelania prostopadłego do płyt betonowych klasy B15 o grubości od 50 do 110 mm (co 10 mm) zaobserwowano głębokie leje wejściowe, utworzone przez pocisk wchodzący w strukturę betonu oraz leje wyjściowe, stanowiące wykruszenie betonu na przeciwnej płaszczyźnie płyty betonowej wraz z pęknięciami na obwodzie leja. Strzelając do coraz grubszych płyt (do pewnej grubości) oprócz lejów wejściowych zaobserwowano również leje wyjściowe z pęknięciami, a dalej – same pęknięcia, aż do całkowitego zaniku śladów przebicia lub naruszenia płaszczyzny przeciwnej do płaszczyzny wlotowej (przy grubości przegrody wynoszącej 0,2 m).



Rys. 8. Przykładowe tory lotu rykoszetów pocisków naboju 7,62x39 mm bez utraty energii kinetycznej (symulacja dla różnych kątów odbicia (od 5° do 85°, co 5°)). Początek układu współrzędnych 0 przyjęto w miejscu powstania rykoszetu; H – wierzchołkowa toru lotu rykoszetu, D – zasięg rykoszetu [2, 3]

Odporność na przestrzelenie płyty stalowej zależy od jej grubości, twardości powierzchniowej i na wskroś oraz układu wielowarstwowego przylegających do siebie płyt. Szeroki asortyment dostępnych rodzajów i marek stali pozwala na konstruowanie oraz rozmieszczanie na strzelnicy coraz skuteczniejszych elementów zabezpieczających (kulochwyty, osłony balistyczne itp.).

Podczas strzelania do płyt stalowych nachylonych pod różnym kątem do kierunku strzelania, zaobserwowano odkształcenia pocisków po trafieniu oraz odbicia pocisków (zrykoszetowania). Z kolei podczas strzelania do płyt stalowych nachylonych pod małymi kątami (do ok. 3°), rykoszet może nie utracić stabilizacji na dalszym odcinku toru lotu, uzyskując zasięgi niewiele mniejsze niż w przypadku lotu niezakłóconego pocisku. Przykłady odkształconych i zdefragmentowanych pocisków przedstawiono na fot. 4 i 5.



Fot. 1. Efekty trafienia pocisku w mur ceglany [4]

Tabela 2. Wyniki badań strzelaniem amunicją 7,62x54R mm z pociskiem zwykłym do muru wykonanego z cegły ceramicznej pełnej klasy 15 z zaprawą cementową marki M12

Seria badań	Grubość płyty [mm]	Prędkość uderzenia pocisku na odległości 100 m V_{u100} [m/s]	Wyniki próby			Uwagi
			1	2	3	
1	125	746±8	+	+	+	przebite trafionej cegły i rozluźnienie okolicznych cegieł (popękane okoliczne cegły i zaprawa)
2	190		+	+	+	wniknięcie pocisku w mur z odlupaniem leja wejściowego; pęknięcia na przeciwległych powierzchniach muru (pęknięcie zaprawy i rozluźnienie przylegających cegieł)
3	260		-	-	-	wniknięcie pocisku w mur z odlupaniem leja wejściowego; brak śladów pęknięć i rys na przeciwległych powierzchniach muru



Fot. 2. Widok lejów wylotowych na próbkach badawczych wykonanych z betonu klasy B-15 [4]

Tabela 3. Wyniki badań strzelaniem amunicją 7,62x54R mm z pociskiem zwykłym do płyt wykonanych z betonu klasy B15

Seria badań	Grubość płyty [mm]	Wyniki próby	Uwagi
1-3	50, 60 i 70	+	przebite płyty na wylot
4-13	80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160 i 170	+	rysy i pęknięcia na przeciwległej powierzchni płyt, zmniejszające się wraz ze wzrostem grubości płyt
14	180	+	50% płyt – rysy i pęknięcia na przeciwległej powierzchni płyt; 50% płyt – bez rys i pęknięć
15	190	-	
16	200	-	100% płyt – brak rys i pęknięć na przeciwległej powierzchni płyt



Fot. 3. Skutki uderzenia w blachę marki St3S o grubości 8 mm pocisku zwykłego 7,62x51 mm naboju bojowego (śląd nr 24) oraz pocisku 7,62x51 mm naboju ćwiczebnego (śląd nr 25) [4]



Fot. 4. Pociski 9x18 mm naboju Makarow, po zrykoszetowaniu na stalowej przegrodzie [1]



Fot. 5. Elementy pocisków zwykłych ŁPS (nabój 7,62x54R mm) i PS (nabój 7,62x39 mm) uszkodzone podczas rykoszetowania na stalowej przegrodzie oraz pocisk przeciwpancerno-zapalający B-32 i jego rdzeń pęknięty przy rykoszetowaniu (na dole po prawej) [1]

Tabela 4. Wyniki badań strzelaniem amunicją 7,62x54R mm z pociskiem zwykłym do płyt wykonanych ze stali St0 i St3S

Seria badań	Grubość płyty [mm]	Materiał płyty	Wyniki próby				
			1	2	3	4	5
1-6	6 i 8	St0	+	+	+	+	+
7	10	St0	+	+	+	+	+
8	12	St0	-	-	-	-	-
9-10	6 i 8	St3S	+	+	+	+	+
11	10	St3S	+	+	+	+	+
12	12	St3S	-	-	-	-	-

+ przebicie całkowite; - odbicie lub wniknięcie

4. Koncepcja zabezpieczeń strzelnicy ograniczających powstawanie niebezpiecznych rykoszetów

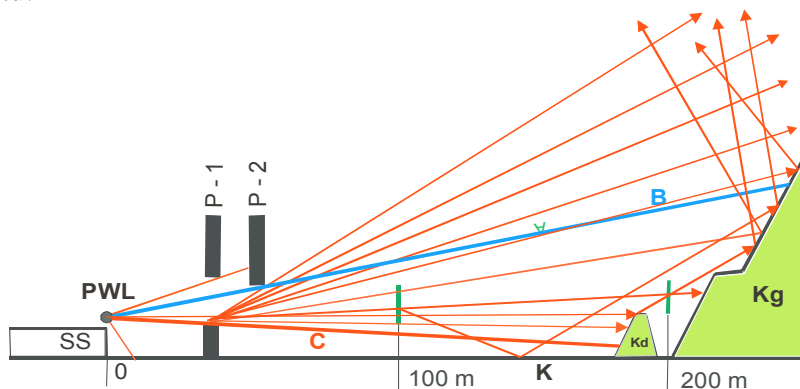
Po wejściu w życie Rozporządzenia [9], w istniejących strzelnicach garnizonowych wprowadzono zmiany konstrukcyjne elementów zabezpieczających, które w znacznym stopniu ograniczyły wylot rykoszetów poza strefę strzelań i strefy ochronne. Klasyfikacja strzelnic garnizonowych na cztery klasy bezpieczeństwa daje możliwość budowy strzelnicy, która umożliwi realizację programu strzelań dla danego garnizonu.

W projekcie budowy strzelnicy należy uwzględnić możliwość wyznaczenia określonej wielkości strefy zagrożenia (dla danej klasy bezpieczeństwa), ponieważ jej wielkość określa stopień zabudowy strefy strzelań.

Istniejące „stare” strzelnice garnizonowe zaklasyfikowano do IV klasy bezpieczeństwa, z uzupełniającą rozbudową strefy strzelań, a także z wprowadzeniem niezbędnych zmian konstrukcyjnych (lub w niektórych przypadkach likwidacją) niektórych elementów zabezpieczających strzelnicy.

Najważniejszą cechą nowoczesnej strzelnicy garnizonowej jest jej bezpieczeństwo użytkowania. Bezpieczeństwo to powinno być zapewnione zarówno przez odpowiednią geometrię strzelnicy, jak również poprzez zastosowanie niezbędnej liczby elementów (w tym zabezpieczających) wykonanych z odpowiednich materiałów. W szczególności elementy te powinny, w możliwie najwyższym stopniu, eliminować możliwość powstawania rykoszetów podczas użytkowania strzelnicy (rys. 9-11).

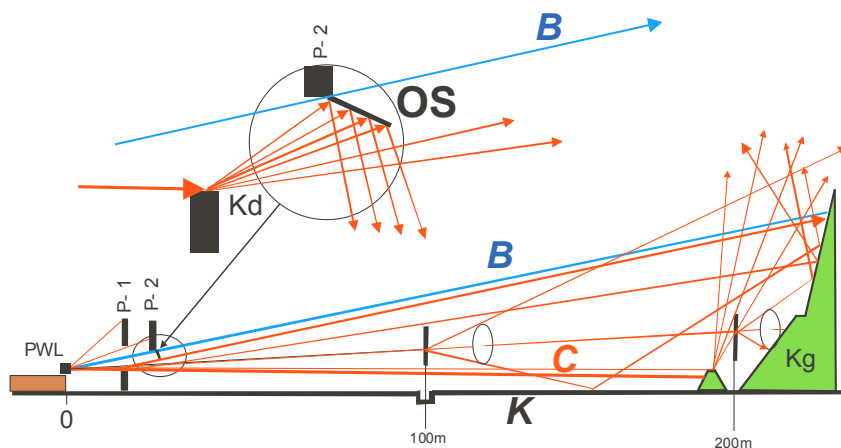
W praktyce okazało się, że najbardziej niebezpieczne rykoszety powstają na koronie kulochwyty dolnego w przesłonie nr 1. tzw. „ślizgi” po górnej krawędzi czołowej deski mogą odchylić swój tor lotu tak, aby mógł on przelecieć ponad kulochwytem głównym, przy niewielkiej utracie energii kinetycznej. Podobne rykoszety, powstałe na czołowej krawędzi blachy na kulochwycie dolnym w przesłonie nr 1, również mogą przemieścić się ponad kulochwytem głównym, ale z większą utratą energii kinetycznej podczas lotu na dalszym odcinku toru lotu.



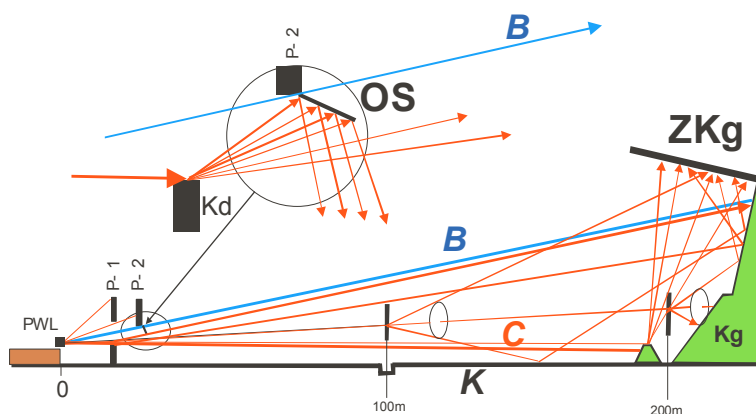
Rys. 9. Zagrożenie stwarzane przez rykoszety powstałe w strefie strzelania

Po uwzględnieniu opisanych wyżej ograniczeń można stwierdzić, że strzelnica garnizonowa będzie spełniać wymogi bezpieczeństwa w przypadku, gdy jej parametry konstrukcyjne będą odpowiadać wymiarom liniowym i kątowym, przedstawionym na rys. 12-17. Stanowią one graficzne odwzorowanie strzelnicy garnizonowej zbudowanej według [9].

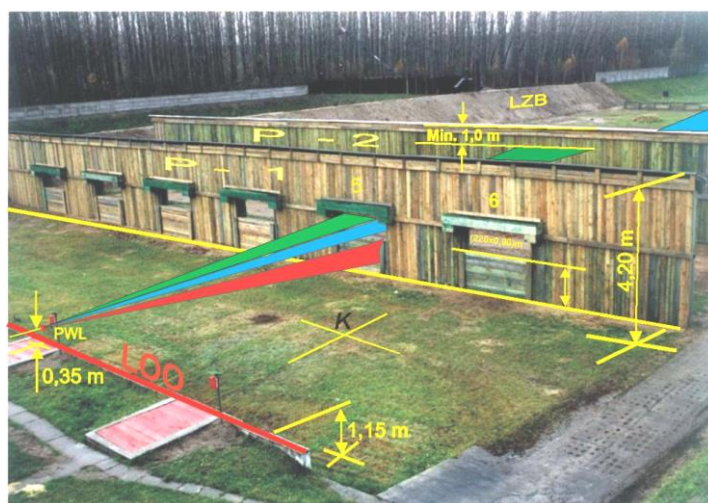
Na strzelnicach wybudowanych w okresie przed uprawomocnieniem się ww. Rozporządzenia, nie wszystkie elementy zabezpieczające wprowadzono do konstrukcji strzelnicy. Dlatego były one weryfikowane pod względem wpływu na bezpieczeństwo strzelnicy w celu dopuszczenia ich do użytkowania (np. kulochwyty dolne na pośrednich liniach celów).



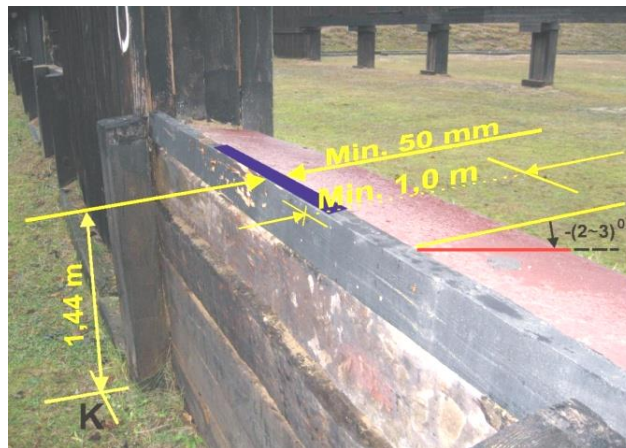
Rys. 10. Ograniczenie wylotu rykoszetów za pomocą odbijacza stalowego zainstalowanego na dolnej krawędzi przesłony nr 2; OS – odbijacz stalowy



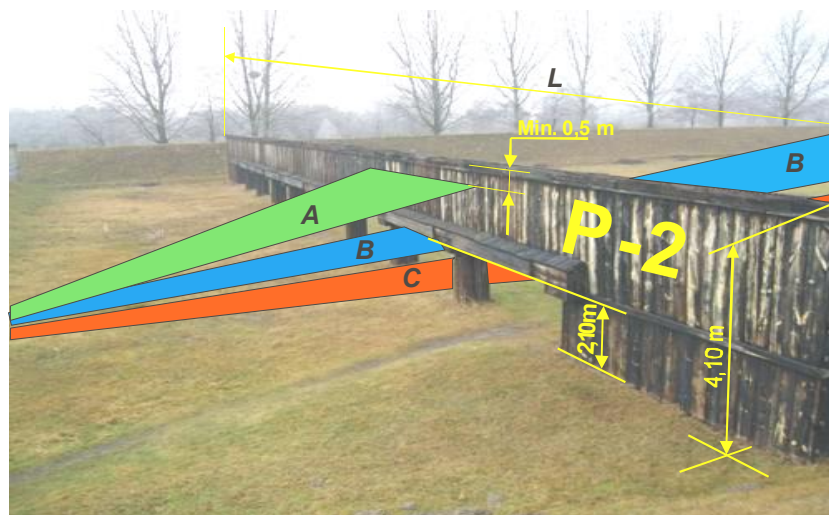
Rys. 11. Ograniczenie możliwości wylotu rykoszetów za pomocą odbijacza stalowego oraz zabudowy kulochwyty głównego na strzelnicy 200 m; ZKg – zabudowa kulochwyty głównego



Rys. 12. Geometria początkowej części strefy strzelań; LZB – lewe zabezpieczenie boczne strzelnicy

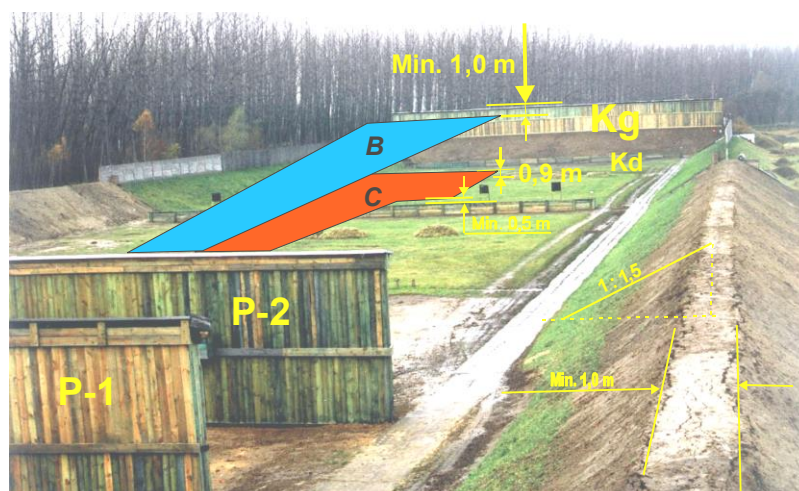


Rys. 13. Kulochwyt dolny w przesłonie nr 1



Rys. 14. Geometria przesłony nr 2

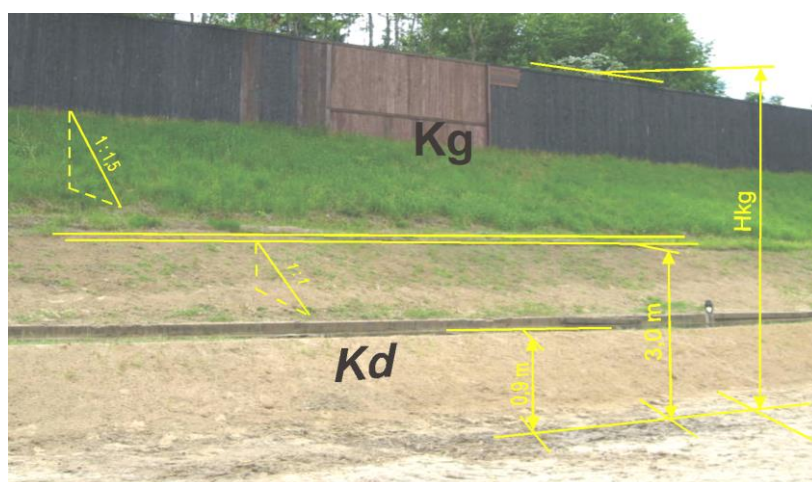
P-2 – przesłona nr 2; L – długość przesłony nr 2; A – górna płaszczyzna strzelania dla P-2; B – górna płaszczyzna strzelania strzelnicy; C – dolna płaszczyzna strzelania strzelnicy



Rys. 15. Geometria środkowej i końcowej części strefy strzelań strzelnicy



Rys. 16. Geometria zabezpieczenia bocznego strzelnicy



Rys. 17. Elementy geometrii kulochwyty głównego strzelnicy HKg – wysokość całkowita kulochwyty głównego

Badania doświadczalne prowadzone w celu określenia bezpieczeństwa użytkowania strzelnic garnizonowych wykazały, że pomimo zastosowania dodatkowych elementów zabezpieczających, nadal powstają w strefie strzelań rykoszety od twardych elementów zabudowy, a nawet od trafienia pocisku w tarczę.

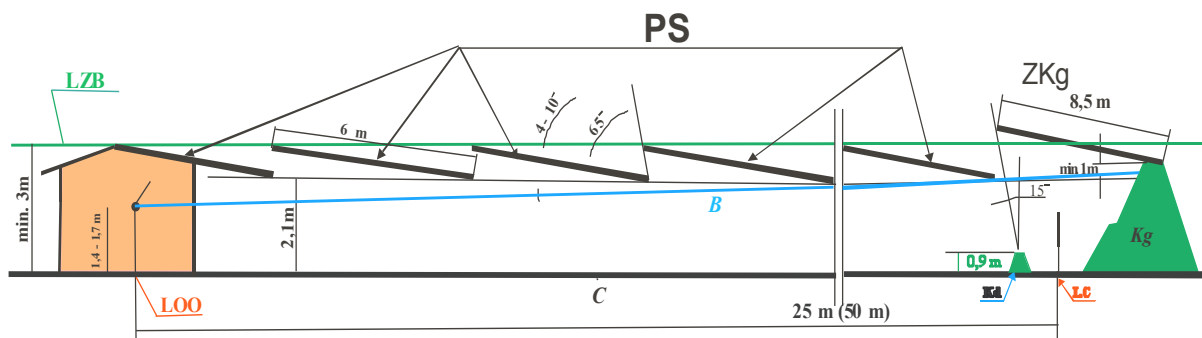
Przestrzelenie tarczy metalowej, szczególnie podczas strzelania z karabinków kalibru 5,56 mm, powoduje znaczne odchylenie toru lotu pocisku, który z kolei może odbić się od innych elementów zabudowy (a nawet niszczyć je), natomiast pociski odbijające się od gruntu mogą opuszczać strefę strzelań strzelnicy.

W przypadku braku możliwości wyznaczenia strefy zagrożenia buduje się (lub przebudowuje) strzelnice w I klasie bezpieczeństwa, gdzie strefa zagrożenia równa jest strefie niebezpiecznej. W strefie strzelań buduje się 9 przesłon pionowych z zadaszeniami i parami połączonymi zadaszeniem kuloodpornym (z wyjątkiem przesłony nr 3, 6 i 7), z zabezpieczeniami bocznymi i kuloodpornym oraz z zadaszonym kulochwytem głównym (fot. 6 i 7 oraz rys. 18). Stanowiska celów (podnośniki, stojaki, uchwyty tarcz i celów) umieszcza się w zagłębieniu płaszczyzny strzelniczej (0,20 m poniżej poziomu strzelniczej). Elementy stalowe i betonowe występujące w strefie strzelań od strony stanowisk strzeleckich osłania się miękkim drewnem lub innym materiałem antyrykoszetowym. Widok strzelnicy wykonanej z zastosowaniem powyższych wymagań przedstawiono na fot. 6.

Górną strefę mniejszych strzelnic (np. pistoletowych do 50 m) można zadaszyć segmentowo. Zamontowane ukośnie segmenty są odporne na przestrzelenie pociskiem. Schemat konstrukcji tego rodzaju strzelnicy przedstawiono na rys. 18. Z kolei na fot. 7 przedstawiono widok rzeczywistej konstrukcji zabezpieczającej górną strefę strzelań.



Fot. 6. Widok zabudowy strefy strzelań strzelnicy „200 m” w I klasie bezpieczeństwa (9 przesłon pionowych, zabudowa kulochwytu głównego oraz zabezpieczenia boczne)



Rys. 18. Schemat zabezpieczenia górnej strefy strzelań strzelnicy pistoletowej:
 PS – przesłony skośne; ZKg – zabudowa kulochwytu głównego; LZB – lewe zabezpieczenie boczne; LOO – linia otwarcia ognia; Kd – kulochwyt dolny; B – górna płaszczyzna strzelania



Fot. 7. Sposób zabezpieczenia górnej strefy strzelań przesłonami ukośnymi

5. Podsumowanie i wnioski końcowe

Zaprezentowane wyniki badań prowadzonych na odkrytych strzelnicach garnizonowych pozwalają stwierdzić, że nawet na dobrze zaprojektowanych, wykonanych i eksploatowanych strzelnicach zawsze występuje określone, niewielkie prawdopodobieństwo wystąpienia rykoszetu pocisku. Mimo że ograniczy się możliwość ostrzelania płaszczyzny strzelnicy i koron kulochwytów, to i tak pociski mogą zostać odbite od elementów strzelnicy (przesłon, tarcz).

Przeprowadzone badania strzelaniem wykazały, że spośród kilkuset sztuk wystrzelonych pocisków amunicji różnych „kalibrów” kilkanaście procent rykoszetowało. Wykorzystywanie na strzelnicach szerokiego asortymentu broni o różnych kalibrach skutkuje tym, że nawet w przypadku strzelnicy zbudowanej zgodnie z aktualnie obowiązującymi przepisami istnieje możliwość ostrzelania elementów strzelnicy i powstania rykoszetów. Jest to rezultat istnienia różnic w balistyce zewnętrznej pocisków poszczególnych kalibrów. Im większa liczba wzorów broni i szerszy asortyment stosowanej do niej amunicji, tym trudniej zaprojektować skuteczne zabezpieczenia strzelnicy. Wynika to z faktu, że tory lotu różnych pocisków wymagają stosowania odmiennych rodzajów elementów zabezpieczających. Stosowanie różnych asortymentów amunicji pistoletowej, pośredniej i karabinowej powoduje konieczność podejścia kompromisowego, skutkującego budową zabezpieczeń uniwersalnych. Oznacza to, że zjawiska rykoszetowania na strzelnicach nie da się całkowicie wyeliminować, a jedynie znacznie ograniczyć jego skutki, dążąc do tego, aby rykoszety opadały w strefie strzelań lub – co najwyżej – w strefie niebezpiecznej.

Całkowite zabezpieczenie przed wylotem pocisków i rykoszetów poza strefę strzelań uzyskuje się na strzelnicach o całkowicie zakrytej strefie strzelań, tzw. strzelnicach krytych.

Literatura

- [1] Furmanek W., Kijewski J., *Badania efektów oddziaływania wybranych pocisków strzeleckich na przegrody o różnych właściwościach fizycznych*, Rozprawa doktorska, WAT, Warszawa, 2006.
- [2] Gacek J., *Balistyka zewnętrzna. Cz. I. Modelowanie zjawisk balistyki zewnętrznej i dynamiki lotu*. Warszawa 1999.
- [3] Gacek J., *Balistyka zewnętrzna. Cz. II. Analiza dynamicznych właściwości obiektów w locie*, Warszawa 1999.
- [4] Gacek J., Koperski W., Petrulewicz A., Woźniak R., *Odporność wybranych materiałów i konstrukcji budowlanych na przebicie pociskiem karabinowym*, „Przegląd budowlany”, nr 12, 2002 (str. 17-20).
- [5] Gacek J., Titoni J., Woźniak R., *Badania odporności niektórych materiałów elementów konstrukcyjnych strzelnic na przebicia pociskiem strzeleckim*, materiały V Międzynarodowej Konferencji Uzbrojeniowej nt. „Naukowe aspekty techniki uzbrojenia”, Waplewo, 2004 (str. 284-291).
- [6] Gacek J., Marciniak B., Piątek M., Stępiak W., *Weryfikacja wymogów techniczno-eksploatacyjnych strzelnic na podstawie wyników badań*, „Sprawozdanie z pracy naukowo-badawczej, WAT, Warszawa 2010.
- [7] Tretiakow G. M., *Amunicja artyleryjska*, MON, Warszawa 1954.
- [8] Włodarczyk E., Michałowski J., Głodowski Z., *Wnikanie nieodkształcalnego pocisku w metalową półprzestrzeń*, „Biuletyn WAT”, nr 10, 2002.

- [9] Rozporządzenie MON z dnia 04.10.2001 r. w sprawie warunków technicznych, jakimi powinny odpowiadać strzelnice garnizonowe i ich usytuowanie (Dz.U. nr 132, poz. 1479).
- [10] Włodarczyk E., *Balistyka końcowa pocisków amunicji strzeleckiej – tom I*, Wydawnictwo WAT, Warszawa, 2006.
- [11] Torecki S., *Model wnikania pocisków uderzeniowych w metalowe przeszkody. Cz. 1. Koncepcja modelu i przypadki szczególne*, „Problemy mechatroniki. Uzbrojenie, lotnictwo i inżynieria bezpieczeństwa”, nr 3(9), 2012 (str. 71-84).
- [12] Torecki S., *Model wnikania pocisków uderzeniowych w metalowe przeszkody. Cz. 2. Wnikanie prętów odkształcalnych*, „Problemy mechatroniki. Uzbrojenie, lotnictwo i inżynieria bezpieczeństwa”, nr 3(13), 2013 (str. 39-48).
- [13] Koene L., Hermsen R., Brouwer S.D., *Projectile Ricochet from Wooden Targets*, Proceedings of the 27th International Symposium on Ballistics, Freiburg, Germany, 22-26.04.2013 (pp. 1195-1205).
- [14] Gringauz M., Gur Y., Touati D., Poles S., Pila A., *Small Arms Surface Danger Zones – Ricochet Analysis for a Probability Based on Computation Methodology*, Proceedings of the 28th International Symposium on Ballistics, Atlanta, USA, 22-26.09.2014 (pp. 720-729).

SELECTED ASPECTS OF SAFETY FOR DESIGNS AND USE OF GARRISON SHOOTING RANGES

Józef GACEK, Bronisław MARCINIAK, Ryszard WOŹNIAK
Faculty of Mechatronics and Aviation at the Military University of Technology

Abstract: Results of theoretical research and practical tests regarding especially the safety of garrison shooting ranges, including both structure and rules of use, are presented in this paper. Some analysis and tests of resistance for different material obstacles against penetration were carried out both with bullet impact effects onto shooting range structural components including the ricocheting against these components. Basing on results of conducted tests a concept of a new shooting range with characteristics meeting the currently binding regulations was proposed [9].

Keywords: shooting range, penetration, ricochet, small arms

1 Introduction

Implementation by the Polish Armed Forces of new types of small arms and weapon systems (including ammunition) and referred to it changes of training schedules and moreover rapid industrialisation of terrains situated in close vicinity of garrison shooting ranges puts more rigorous requirements (legally sanctioned) for designers and users to provide minimum safety level of using.

The bullets fired at shooting ranges hit different protecting components or technical fittings of a shooting zone designed to stop ricocheting bullets. These bullets create a serious risk for the shooting range environment as they move further on random trajectories and possess enough energy to injure people and animals or harm the property situated in the protecting zones.

Results of scientific-research work carried out in the Institute of Armament Technology of the Military University of Technology [1-6 and 8] have contributed essentially to the knowledge of phenomena concerning the ricochets of bullets, what enabled the formulation of basic designing-technological characteristics for components used in protection of shooting ranges in order to minimize their susceptibility against the bullet's penetration and ricocheting and especially to prevent leaving the shooting zone. Characteristics of range construction are very important as they have direct impact into the safe use of the shooting range (Figure 1).

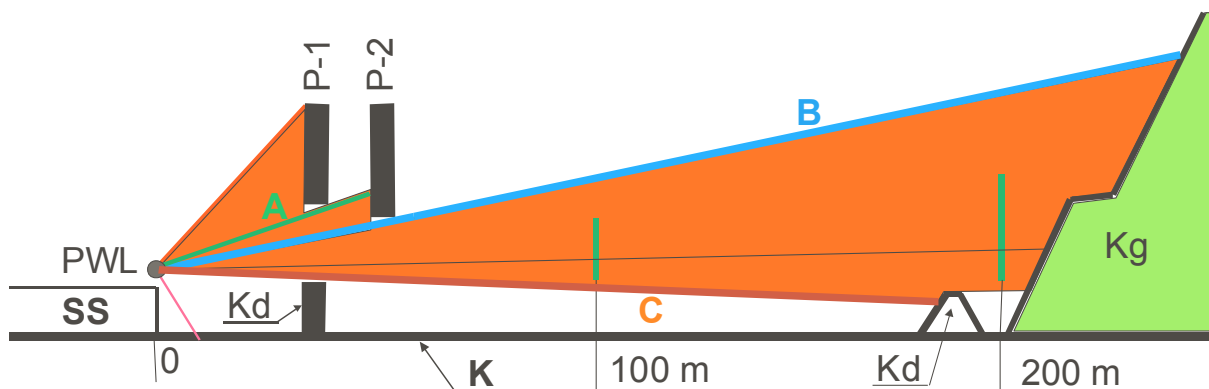


Figure 1. Vertical cross section of shooting zone:

SS – shooting position, PWL – barrel muzzle point, P-1 – aperture No 1, aperture No 2,
Kd – bottom bullettrap, Kg – main bullettrap, A – upper firing plane for P-2, B – upper firing plane,
C – bottom firing plane, K – designing plane of the range

2. Elements of theory on the safe use of garrison shooting ranges

2.1. Phenomena occurring at hitting material obstacles by bullets

When the bullet hits an obstacle there is an effect of stresses interacting between the bullet and the obstacle (resistance of material). Action of the bullet and reaction of the material have the same values and happen at very short time with the pulse loads of great levels. Rapid increase of the pressure in the hitting (falling) point causes the deformation both of the bullet and the obstacle. Deformation of the bullet may take a form of top part (head cone) flattening, cracking or complete damage depending on its strength and value of obstacle material resistance.

The particles of the obstacle after hitting by a bullet get moved and shifted to transfer a part of their energy to the particles which are placed further what results in damaging the zones which have no direct contact with the bullet. After hitting the flexible material the particles are subjected to the movement of a wavy character that causes the vibration of material that propagates in liquid and solid bodies with the velocities which generally significantly exceed the velocity of the bullet (in metals this velocity reaches a few thousand meters per second).

The existing literature of the subject provides empirical expressions for calculating the resistance of obstacles against the penetration or the bullet penetration depth:

- a) The resistance of steel plates against penetration by the carbine bullet may be described by the formula of Jacobe de Marre [1, 7, 8]

$$b = 0,7 \sqrt{\frac{V_m \cdot m^{0,5} \cdot \cos\Theta_p}{K \cdot d^{0,75}}} \quad (1)$$

where:

b – thickness of penetrated steel plate [mm]

V_m – minimal velocity of bullet needed for penetration of the obstacle [m/s]

m – weight of the bullet [g]

d – calibre of the bullet [mm]

Θ_p – bullet hitting angle into obstacle [°]

K – coefficient (e.g. for St0 and St3, $K = 2\ 200$)

Assuming that $V_m = 820$ m/s, $m = 9.6$ g, $d = 7.62$ mm, $\Theta_p = 90^\circ$, $K = 2\ 200$ it is received the plate's thickness b , that shall not be penetrated:

- For soft iron plates $b = 9.5$ mm,
- For no homogeneous and hardened iron plates $b = 8.0$ mm.

- b) The resistance of the concrete against the penetration by the carbine round may be determined by the Bieriezański formula (2) [3] or Aniop formula (3) [1, 7, 8]:

$$h = K_{nB} \cdot \frac{m}{d^2} V_p \cdot \cos\Theta_p \quad (2)$$

$$h = A_1 \cdot K_{nA} \cdot \frac{m}{d^2} V_p \cdot \frac{\cos(n \cdot \Theta_p)}{\cos\Theta_p} \quad (3)$$

where:

h – thickness of the obstacle which has not to be penetrated for given ballistics characteristics of the bullet and the resistance of the obstacle [m]

K_{nB} – coefficient (e.g. for the concrete $K_{nB} = 0.005 \div 0.015$)

V_p – velocity of the bullet at hitting the obstacle [m/s]

A_1 – shape coefficient of the bullet's head (for long range bullets $A_1 = 1.3$)

K_{nA} – coefficient (e.g. for the "weak" concrete $K_n = 90 \cdot 10^{-8}$, "reinforced" $K_n = 80 \cdot 10^{-8}$)

n – bullet obstacle rotation coefficient (for small arms rounds $n = 1.72 \div 1.82$).

After putting the above data into expressions (2) and (3) the following values are received:

- For Bieriezański's expression – $h = (0.062 \div 0.177)$ m;
- For Aniop's expression – $h = (0.129 \div 0.146)$ m.

c) The resistance of the wall of bricks against the penetration by the carbine bullet may be determined by the Bieriezański formula (2) or by Wuich formula (4) [2, 8, 9]:

$$h = k \cdot \xi_o \cdot p_s = k \cdot \xi_o \cdot \frac{4 \cdot m}{\pi \cdot d^2} \quad (4)$$

where:

k – corrective coefficient for different obstacle's materials

ξ_o – proportional coefficient depending on the bullet's hitting velocity and type of the obstacle (e.g. $\xi_o = 17.49$ by extrapolation of Wuich table for the impact velocity of 755 m/s).

After putting data from subpoints b) and c) to expressions (2) and (4) the following values may be obtained respectively: $h = (0.248 \div 0.312)$ m (for brick wall $K_{NB} = 0.020 \div 0.025$) and $h = 0.252$ m.

Because currently used analytical expressions provide results which do not comply with experimental tests there have been carried out some attempts to specify new coefficients of expressions in order to get a closer compliance between analytical and experimental results.

2.2. Mechanism of small arms bullets ricocheting

For the analysis of issues concerning the ricocheting of bullets the knowledge of physical phenomena associating the impact of a bullet into an obstacle (target, technical components of the shooting zone, protecting parts, and other obstacles) is needed. In the existing literature of the subject the phenomenon of hitting the surface of the obstacle at an angle that differs from the normal is usually presented in the context of estimation (examination) of interaction between an elongated penetrator and tilted armour (obstacle). The essence of such approach (at specific characteristics describing system bullet-obstacle) usually is to determine the dependence between the angle and penetrating efficiency and to estimate the damage of obstacle caused by the action of the bullet (its core). The ricocheting is an undesirable effect and in practice the bullets are designed in such way to prevent the reflection of the bullets at small angles (ca. dozen degrees).

In the case of shooting ranges the bullets hit the obstacle (e.g. target, bullet trap) at an angle of near 90° (the bullet usually penetrates into the obstacle) or at an angle of a few degrees (there is typically the effect of reflecting from the obstacle).

In the considerations concerning the ricocheting presented below it is assumed that the axis of a bullet covers the tangent line to its trajectory. So the velocity vector placed in the bullet mass centre is acting along the direction that is covered with the elongated axis of the bullet and the impact angle (attacking angle) Θ_p describes a deviation of this direction from the line that is tangent to the surface of the obstacle at the point of hitting (Figure 2) [1].

If the bullet hits the obstacle under the angle Θ_p then the resulting obstacle resistance force \mathbf{R} that is attached in the point of bullet's contact with the obstacle creates with its surface an angle β (Figure 2). The value of this angle determines the size of the friction force \mathbf{F}_t existing in the contact point. The force \mathbf{R} causes a moment of force \mathbf{M} that gives a rotation of the bullet around its mass centre and in consequence an increase of angle β what may lead to the penetration of the obstacle by the bullet (Figure 2a). This moment may also cause a decrease of angle β to the value causing the reflection of the bullet from obstacle's surface (ricocheting) (Figure 2b).

The value and direction of action of moment \mathbf{M} depend on value of angle β that is a function of: shape of bullet's head, impact angle Θ_p , design of the bullet and properties of the obstacle and the bullet (hardness of the material, surface condition, coefficient of friction, etc.). The probability of ricocheting increases with the increase of relative length of bullet's head part and the decrease of impact angle, decrease of a distance between bullet-obstacle contact point and bullet's mass centre, decrease of the bullet's polar inertia moment I_y and finally with an increase of obstacle rigidity.

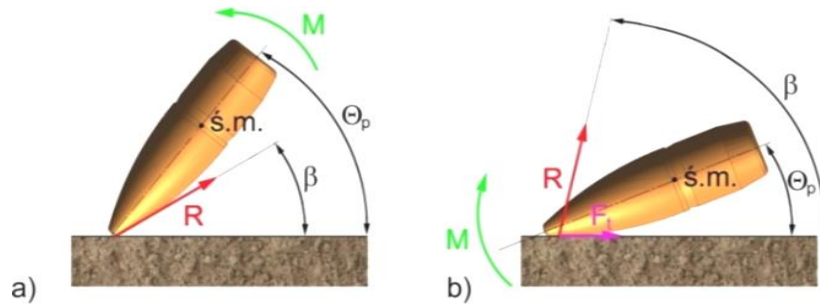


Figure 2. Penetration of the obstacle or reflection of the bullet:

- a) penetration of the obstacle $\beta \leq \Theta_p$, b) ricocheting of the bullet $\beta \geq \Theta_p$
(if $\beta = \Theta_p$ one of a) or b) cases may happen)

M – moment of a force causing the bullet's rotation around its mass centre, R – resultant force of obstacle resistance, F_t – friction force, β – angle of action of resultant obstacle resistance force, Θ_p – bullet impact angle, $s.m.$ – bullet's mass centre

The value of bullet's impact into the obstacle below which the bullet is reflected is called the ricocheting (reflection) angle Θ_o (Figure 3).

If the angle $\Theta_p < \Theta_o$ (Figure 3) then the bullet is subjected to an action of material reaction force $\mathbf{R}(t)$ which is changeable in time. In practice it can be assumed with a sufficient accuracy that force $\mathbf{R}(t)$ is directed perpendicularly to the obstacle surface (Figure 3) what means that friction force \mathbf{F}_t (Figure 2) is omitted. Moment of force $\mathbf{R}(t)$ causes the rotation of the bullet around the mass centre at a specified angular velocity.

To get some general expressions and boundary characteristics of penetrating and ricocheting processes the results of simulations and experiments are used to prepare the phase graphs for particular types of ammunition and obstacles (armours, screens, bullet traps, etc.).

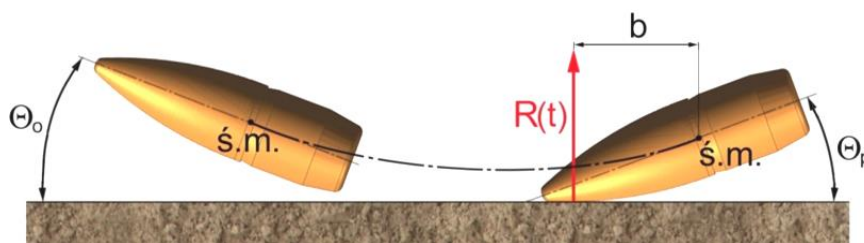


Figure 3. Outline of bullet ricocheting process:

$R(t)$ – changeable in time force of material reaction, b – arm of material reaction force action against the bullet mass centre, Θ_p – bullet impact angle against the obstacle, Θ_o – bullet reflection (ricocheting) angle from the obstacle [1]

In the result of systematic tests carried out in laboratory and field conditions, and basing on the subject literature, the boundary values of bullet ricocheting angles were generalised for different materials (obstacles) accepting them as a base to specify the thickness of side walls

and protections in shooting ranges. The relevant data is presented in table 1. Moreover these results enabled the development of new designs of main bullettraps, so called “panel bullettraps”, where some slant steel plates are set at calculated angles to provide a controlled ricocheting of bullets which are collected in a container placed under the bullettrap.

Table 1. Experimentally determined boundary bullet ricocheting angles $\Theta_{o,gr}$ for different materials

Material	Water	Soft soil	Hard soil	Steel armour, concrete
Distance of shooting [m]	50	25	25	15
$\Theta_{o,gr}$	$6^\circ \div 10^\circ$	$10^\circ \div 12^\circ$	$12^\circ \div 15^\circ$	$25^\circ \div 30^\circ$

2.3. Examples of bullet movement in different materials

Some examples of bullet behaviour after penetration and reflection (ricocheting) against the obstacle (soil) are presented in figures 4-7.

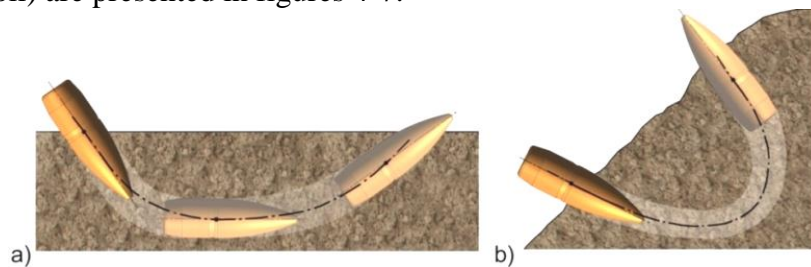


Figure 4. Examples of bullet movement in the soil of low cohesion and inhomogeneity of consecutive layers [1]

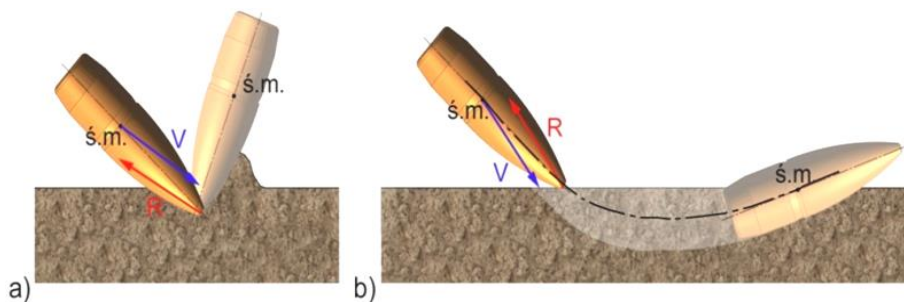


Figure 5. Examples of bullet behaviour at hitting the ground by acute arc side when the impact angle equals to half of the acute arc and different deviation of velocity vector V from the bullet elongated axis. Depending on the soil cohesion the bullet may: a) start „tripping” (hard soil), b) penetrate its subsurface layers (soft soil) [1]

At the firing training carried out in accordance to required safety conditions and by using technically efficient arms and ammunition the ricocheting from the ground may often happen. Mostly the rounds are reflected from the bottom bullettrap buttress designing plane K before the main bullettrap Kd or from the main bullettrap buttress Kg. These ricochets may be classified as the primary ones that are created in the result of an improper design of the shooting range or by trespassing the boundary conditions (tolerance) for the use of its particular components (the top of the bottom bullettrap within the aperture No 1) which may be hit directly, or as the secondary ones which are created after being previously reflected by another component of infrastructure. In the first case it is a high risk that a bullet loses a small amount of its velocity/kinetic energy and may fly far away beyond the hazardous zone of the shooting

range. The second case is less dangerous because the consecutive reflections of a bullet cause a great loss of its kinetic energy combined usually with its destabilisation (“tripping”).

Moreover in the case when the bullet encounters uneven resistance (different densities of soil layers) then after leaving the soil it may lose both the stability and velocity (Figure 6).

Some exemplary trajectories for ricocheting rounds of 7.62x39 mm ammunition are presented in figure 8.

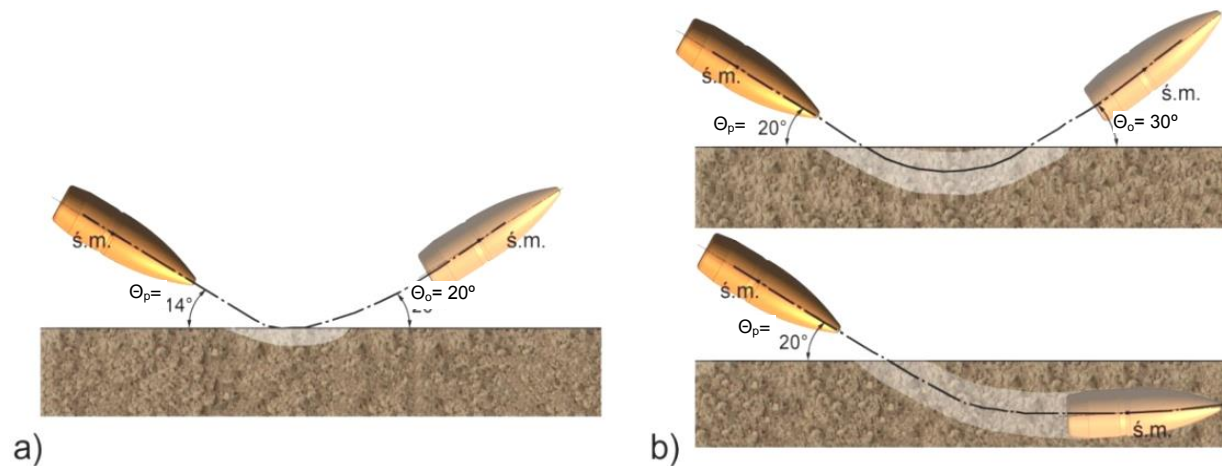


Figure 6. Examples of bullet ricocheting at impact angles: a) $\Theta_p < 14^\circ$ and b) $\Theta_p = (15 \div 25)^\circ$ and typical respective reflection angles Θ_o [1]

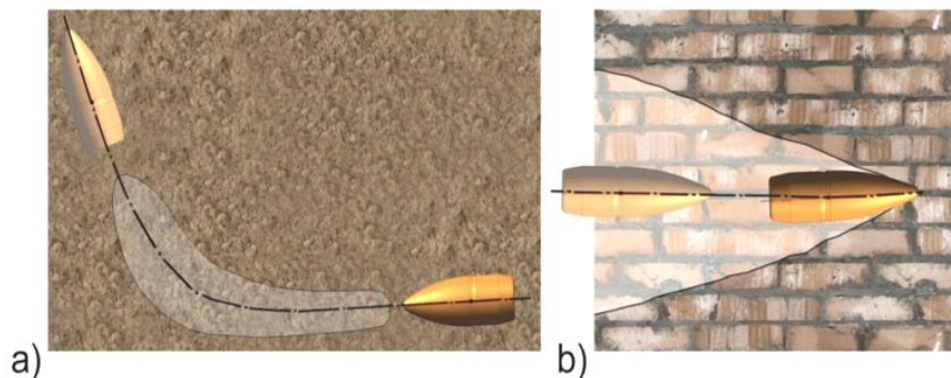


Figure 7. A furrow in the soil after ricocheting of a bullet fired with a right thread arm (a) and the shape of the entering part in non flexible material (b) [1]

3. Exemplary experimental results of testing interaction between bullets and obstacles

Results of experimental tests illustrating the action of bullets against obstacles made of different materials are presented on pictures 1-3 and in tables 2-4.

At firing to perpendicular concrete plates of B15 class with thickness between 50 to 110 mm (for every 10 mm) there were observed deep entry craters created by a bullet entering into the concrete structure and the leaving craters with some peripheral cracks caused by the crushing of the concrete on the opposite side of the concrete plate. Firing each time at thicker plates (to a certain thickness) there were observed the entering craters and also the leaving craters with cracks and further only the cracks until a complete lack of any tracers of penetration or breaking of the surface opposite to the hit surface (thickness of the obstacle equals to 0.2 m).

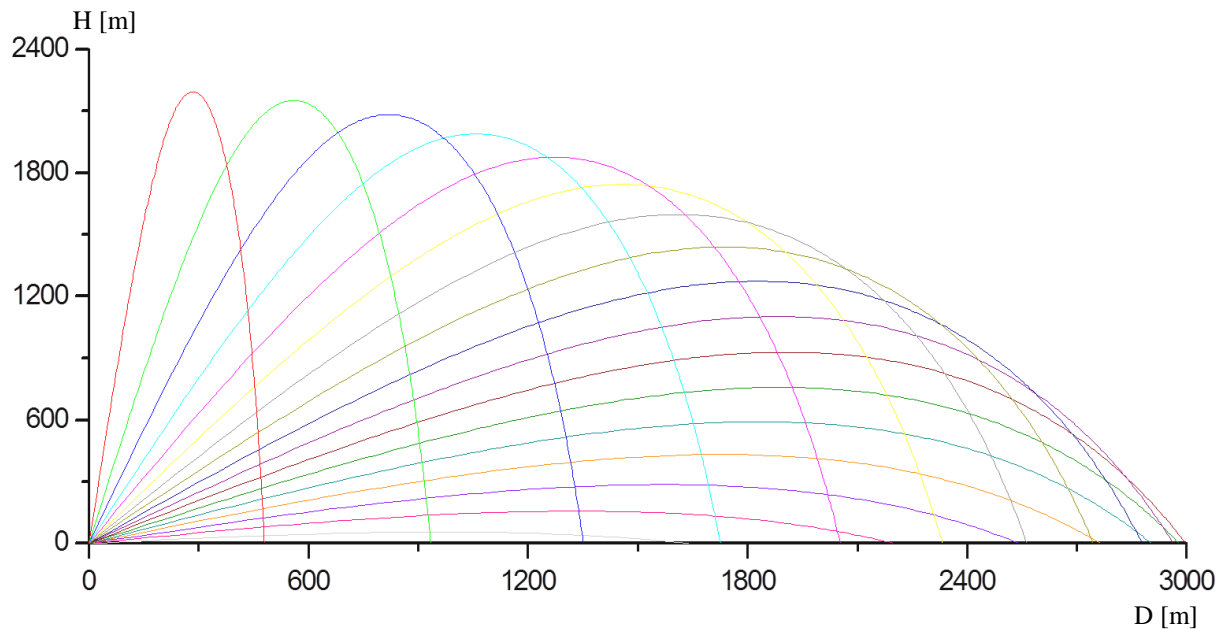


Figure 8. Exemplary flying paths of ricochets for 7.62x39 mm rounds without any loss of kinetic energy (simulation for different reflection angles (from 5° to 85°, by 5°)). The origin of coordinates 0 set in the place of ricochets [2, 3], H – elevation of ricochet trajectory, D – range [2,3]

The resistance against the penetration for the steel plate depends on its thickness, surface and internal hardnesses and a specific multilayer combination of adhering plates. A wide assortment of accessible types and brands of steel enables the designing and using on the shooting ranges more and more effective protective components (bullet traps, ballistic protections, etc.).

At shooting to steel plates tilted at different angles against the firing direction a deformation of bullets was observed after impact both with the reflection of bullets (ricocheting). Moreover at firing to steel plates tilted at small angles (to ca. 3°) the ricochet cannot lose its stability on further flying path and may move at distanced compared with undisturbed bullets. Some examples of deformed and defragmented bullets are presented in pictures 4 and 5.



Picture 1. Results of bullet hitting at a wall of bricks [4]

Table 2. Results of firing tests by 7.62x54R mm ammunition with regular round against the wall of class 15 solid full ceramic bricks with M12 cement mortar

Test #	Plate thickness [mm]	Result of test			Notes
		1	2	3	
1	125	+	+	+	Penetration of a hit brick and loosening adjacent bricks (cracks in nearby bricks and mortar)
2	190	+	+	+	Penetration of the bullet into the wall with chipping off the entering crater; cracks on the opposite side of the wall (cracks in the mortar and loosening the adjacent bricks)
3	260	-	-	-	Penetration of the bullet into the wall with chipping off an entering crater; no traces of cracks or slots on the opposite side of the wall



Picture 2. Views of outgoing craters on the testing samples made from B-15 class concrete [4]

Table 3. Results of firing tests by 7.62x54R mm ammunition with regular round against the plates of class B 15 concrete

Test #	Plate thickness [mm]	Test results	Notes
1-3	50, 60 i 70	+	Total penetration
4-13	80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160 i 170	+	Slots and cracks on the opposite plate surface decreasing with an increase of plate thickness
14	180	+	50% of plates – slots and cracks on the opposite plate surface; 50% of plates – without slots and cracks
15	190	-	
16	200	-	100% of plates – without slots and cracks on the opposite plate surface



Picture 3. Results of hitting into steel plate St3S with thickness 8 mm: service regular round 7.62x51 mm (trace No 24) and round 7.62x51 mm of training ammunition (trace No 25) [4]



Picture 4. Bullets 9x18 mm of Makarow ammunition with different levels of deformation after ricocheting on the steel obstacle [1]



Picture 5. Fragments of regular bullets LPS (cartridge 7.62x54R mm) and PS (cartridge 7.62x39 mm) damaged at ricocheting against steel obstacle and armour piercing-incendary bullet B-32 and its core broken at ricocheting (bottom right) [1]

Table 4. Results of firing tests by 7.62x54R mm ammunition with regular round against the steel plates of class St0 and St3S

Test #	Plate thickness [mm]	Material of plate	Test results				
			1	2	3	4	5
1-6	6 i 8	St0	+	+	+	+	+
7	10	St0	+	+	+	+	+
8	12	St0	-	-	-	-	-
9-10	6 i 8	St3S	+	+	+	+	+
11	10	St3S	+	+	+	+	+
12	12	St3S	-	-	-	-	-

+ complete penetration; - reflection or partial penetration

4. A concept of shooting range protections preventing dangerous ricochets

When the Regulation [9] became effective the structural protective components of existing garrison shooting ranges were changed to eliminate in substantial degree the flying ricochets out beyond shooting and protection zones. The classification of garrison shooting ranges into four categories of safety provides possibilities for building a shooting range that is able to meet the requirements of the garrison training program in live firing.

At a design of shooting range a possibility for determining the hazardous zone of a specific area (for a specific class of safety) has to be taken into account because its size affects the structure of the shooting zone.

All existing “old” shooting ranges were classified into the IV safety class after complementing facilities of shooting zone and introducing (or in some cases removing) the necessary design changes of some protective structures in shooting ranges.

The most important feature of a modern garrison shooting range is the safety of its use. The safety has to be secured both by relevant range geometry and by the application of necessary components (including protective ones) made from suitable materials. These components have to especially eliminate possibilities of generating ricochets at using the shooting range (figures 9-11).

It was proved in practice that the most dangerous ricochets are created on the top (the crown) of the bottom bullet trap in the aperture 1. There are so called “sliding” reflections on the top side of the front plank which may change the flying path in such a way that a round may overflow above the main bullet trap with a relatively small loss of kinetic energy. There are similar ricochets occurring on the aperture No 1 front edge of the steel plate of the bottom bullet trap but with a greater loss of kinetic energy on the further flying path.

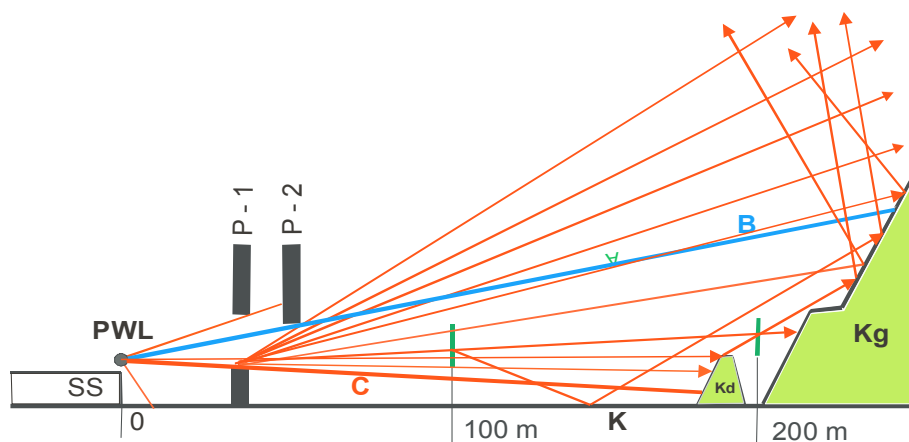


Figure 9. Threats created by ricochets at the shooting zone

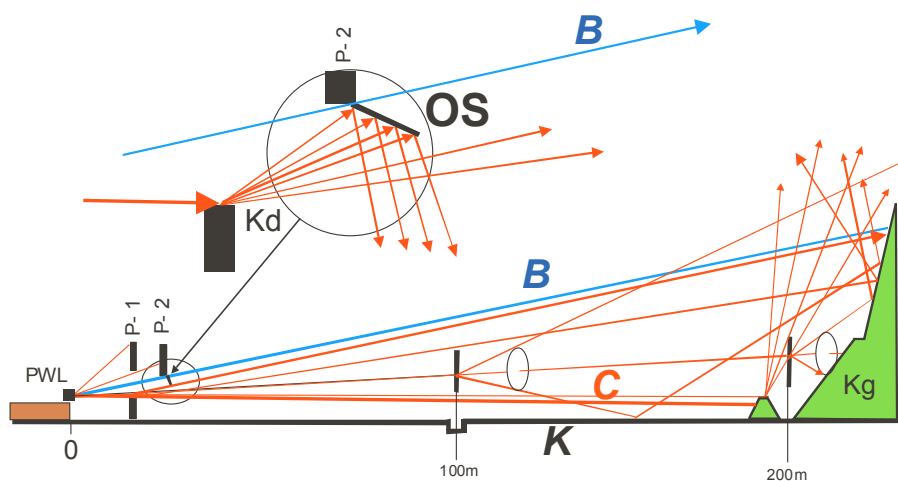


Figure 10. Limitation of the exit of ricochets by a steel reflecting plate installed on the bottom edge of aperture No 2, OS – steel reflector

After taking into account the limitations presented above it proves that a garrison shooting range meets the safety requirements if its designing characteristics correspond to linear and angular dimensions included in figures 12÷17. They represent a pictorial description of a garrison shooting range built according to [9].

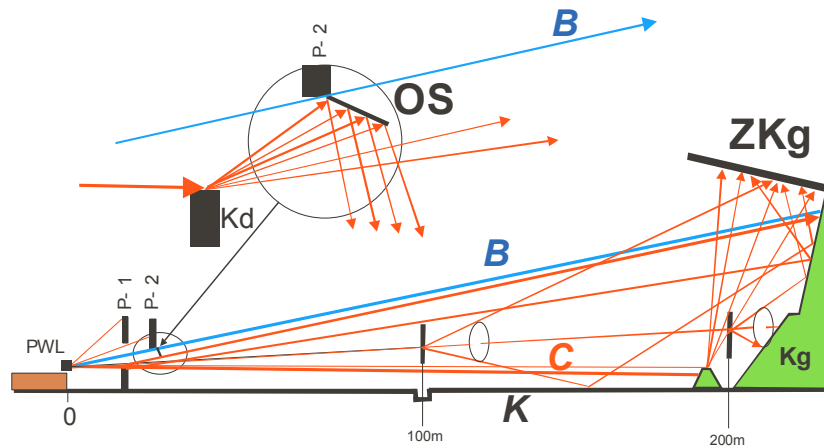


Figure 11. Limitation of the exit of ricochets by steel reflecting plate and a covering at the main bullet trap for the 200 m long shooting range, ZKg – main bullettrap covering

The designing structures of shooting ranges, built prior the date of entering the above mentioned regulation into force, have not possessed all protecting components. For this reason they were verified to assess their influence on the safety of the shooting range in order to approve their use (e.g. bottom bullet traps at intermediate aiming lines).

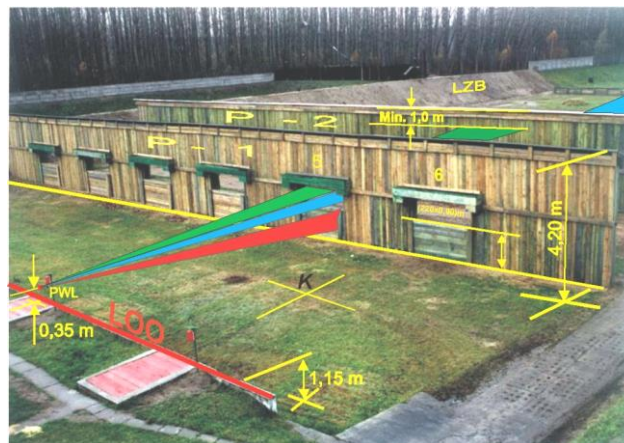


Figure 12. Geometry of a shooting range for the initial shooting zone, LZB – left side protection of the shooting range

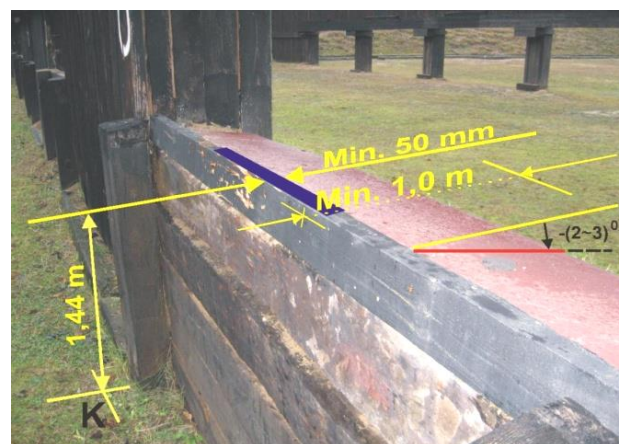


Figure 13. Bottom bullet trap at the aperture No 1

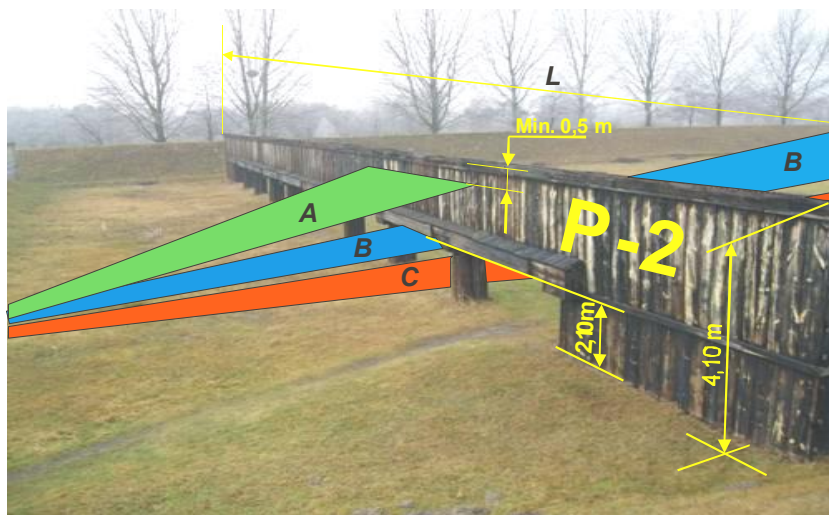


Figure 14. Geometry of the aperture No 2

P-2 – aperture No 2, L – length of aperture No 2, A – top plane of firing for P-2, B – shooting range top firing plane, C – shooting range bottom firing plane

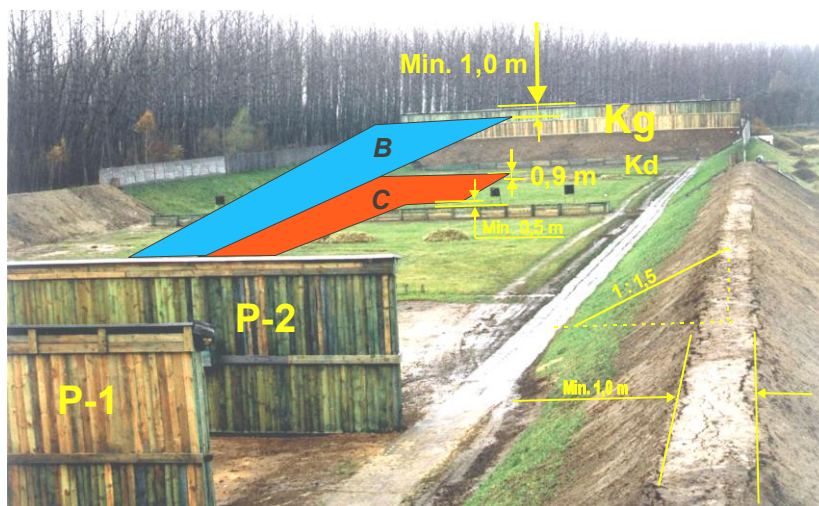


Figure 15. Geometry of central and terminal parts of the shooting range

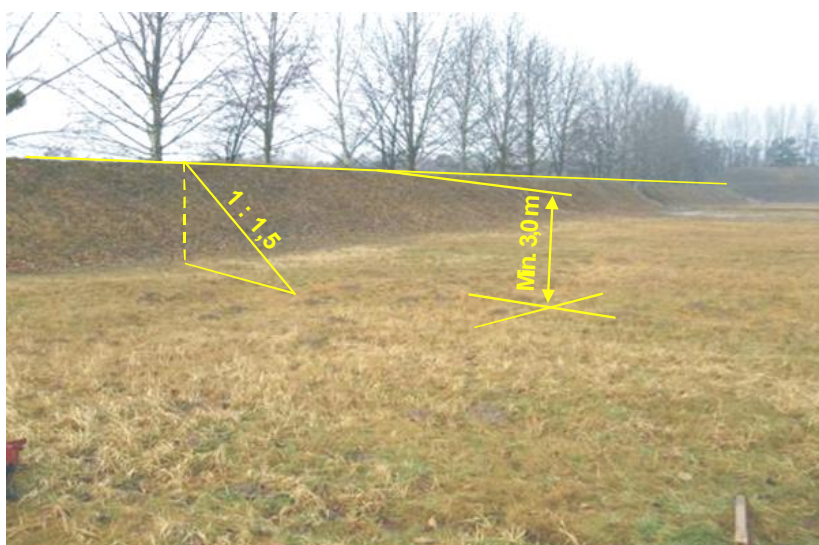
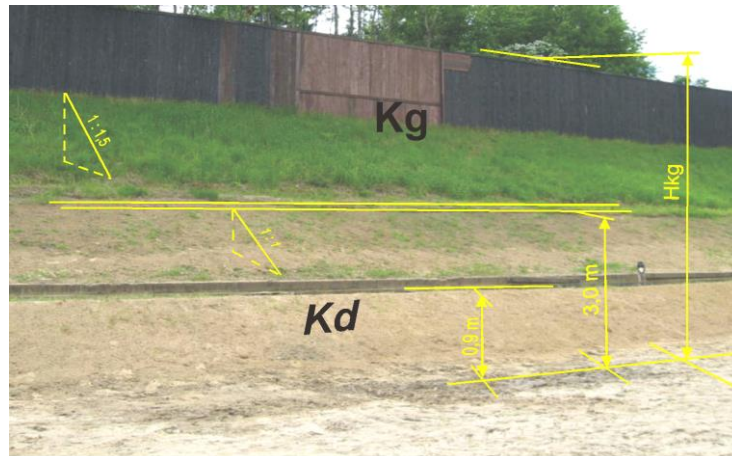


Figure 16. Geometry of the shooting range side protection



**Figure 17. Geometry components of the main bullettrap
HKg – total height of main bullettrap**

Experimental tests carried out to determine the safety of use for the garrison shooting ranges have proved that despite the application of additional protecting components there are still in the shooting zone cases of ricochets from hard components of infrastructure and even from the target plate.

Shooting the metal plate target trough, especially by rounds fired from 5.56 mm weapon, causes a substantial deviation of the flying path of a round which next may be reflected by other components of infrastructure (even after damaging them) whereas the rounds reflected from the ground may leave the region of the shooting range.

In the cases when it is not possible to determine an emergency zone the shooting ranges are built (or rebuilt) in the I-st safety class where the emergency zone equals to hazardous zone. In the shooting zone there are 9 vertical apertures with roof covering and joined in pairs by bulletproof roofs (apart the apertures No 3, 6 and 7), and with bulletproof and side protections and with the roofed main bullet trap (picture 6, 7 and figure 18). Positions of targets (lifters, stands, fixing for targets and aiming plates) are placed in the shooting range depressed place (0.2 m below the shooting range plane). Steel and concrete components are covered by the soft wood or another anti-ricocheting material from the direction of shooting positions. A view of the shooting range that was built according to the above requirements is presented in the picture 6.

The upper zone of smaller shooting ranges (e.g. for pistols to 50 m) may be roofed in segments. The tilted segments are the components which are resistant against shooting through. An outline of designing structure for such type of shooting range is presented in the figure 18. Picture 7 illustrates a real design protecting the upper part of the shooting zone.



**Picture 6. The view of firing zone facilities of 200 m shooting range built in the I-st safety class
(9 vertical apertures and main bullettrap roof covering and side protections)**

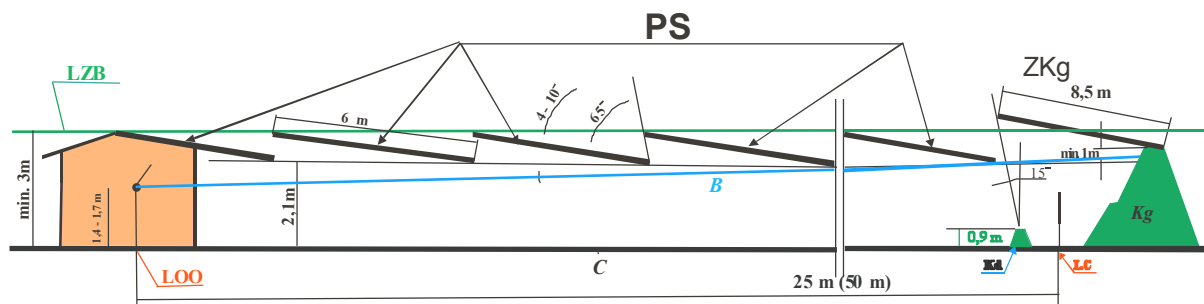


Figure 18. An outline of upper firing zone protection for pistol shooting range:
 PS – slant apertures, ZKg – roofed covering of main bullettrap, LZB – left side protection,
 LOO – shooting line, Kd – bottom bullettrap, B – upper firing plan



Picture 7. Way for protection of upper firing zone by tilted apertures

5. Conclusions

Results of presented tests show that for outdoor garrison shooting ranges, even if they are properly designed, built and used, there is always a little specific risk of ricochet happening. Despite limiting the possibilities for firing against the shooting range plane and bullet trap crowns the rounds may be reflected from the shooting range components (apertures, target plates).

The tests which were carried out proved that from among a few hundreds of fired rounds with different calibre there was a dozen percentage of ricocheting. Even if the shooting ranges are built according to existing regulations and requirements the use of different types of guns with different calibre results in the fact that there is a real risk of firing into some shooting range components for which the ricocheting risk is relatively high. It is a result of differences in the external ballistics of rounds for particular calibre values. The greater amount of weapon types and more extensive assortment of applied ammunition the more difficult tasks are to design an effectively protected shooting range. It results from the fact that the trajectories for different types of rounds require the application of different protecting components. The use of different types of pistol, carbine and mixed ammunition leads to a compromising approach where some universal protecting solutions are deployed. It means that it is not possible to eliminate completely the ricocheting in the shooting ranges but only minimise its effects by making the ricochets fall down within the firing zone or at least in the hazardous zone.

Complete protection against the exit of rounds and ricochets beyond the area of the shooting range may be achieved only for entirely covered firing zones in so called indoors shooting ranges.

Literature

- [1] Furmanek W., Kijewski J., *Badania efektów oddziaływania wybranych pocisków strzeleckich na przegrody o różnych właściwościach fizycznych*, Rozprawa doktorska, WAT, Warszawa, 2006.
- [2] Gacek J., *Balistyka zewnętrzna. Cz. I. Modelowanie zjawisk balistyki zewnętrznej i dynamiki lotu*. Warszawa 1999.
- [3] Gacek J., *Balistyka zewnętrzna. Cz. II. Analiza dynamicznych właściwości obiektów w locie*, Warszawa 1999.
- [4] Gacek J., Koperski W., Petrulewicz A., Woźniak R., *Odporność wybranych materiałów i konstrukcji budowlanych na przebicie pociskiem karabinowym*, „Przegląd budowlany”, nr 12, 2002 (str. 17-20).
- [5] Gacek J., Titoni J., Woźniak R., *Badania odporności niektórych materiałów elementów konstrukcyjnych strzelnic na przebicia pociskiem strzeleckim*, materiały V Międzynarodowej Konferencji Uzbrojeniowej nt. „Naukowe aspekty techniki uzbrojenia”, Waplewo, 2004 (str. 284-291).
- [6] Gacek J., Marciniak B., Piątek M., Stępnik W., *Weryfikacja wymogów techniczno-eksploatacyjnych strzelnic na podstawie wyników badań*, „Sprawozdanie z pracy naukowo-badawczej”, WAT, Warszawa 2010.
- [7] Tretiakow G. M., *Amunicja artyleryjska*, MON, Warszawa 1954.
- [8] Włodarczyk E., Michałowski J., Głodowski Z., *Wnikanie nieodkształcalnego pocisku w metalową półprzestrzeń*, „Biuletyn WAT”, nr 10, 2002.
- [9] Rozporządzenie MON z dnia 04.10.2001 r. w sprawie warunków technicznych jakimi powinny odpowiadać strzelnice garnizonowe i ich usytuowanie (Dz.U. nr 132, poz. 1479).
- [10] Włodarczyk E., *Balistyka końcowa pocisków amunicji strzeleckiej – tom I*, Wydawnictwo WAT, Warszawa, 2006.
- [11] Torecki S., *Model wnikania pocisków uderzeniowych w metalowe przeszkody. Cz. 1. Koncepcja modelu i przypadki szczególne*, „Problemy mechatroniki. Uzbrojenie, lotnictwo i inżynieria bezpieczeństwa”, nr 3(9), 2012 (str. 71-84).
- [12] Torecki S., *Model wnikania pocisków uderzeniowych w metalowe przeszkody. Cz. 2. Wnikanie prętów odkształcalnych*, „Problemy mechatroniki. Uzbrojenie, lotnictwo i inżynieria bezpieczeństwa”, nr 3(13), 2013 (str. 39-48).
- [13] Koene L., Hermsen R., Brouwer S.D., *Projectile Ricochet from Wooden Targets*, Proceedings of the 27th International Symposium on Ballistics, Freiburg, Germany, 22-26.04.2013 (pp. 1195-1205).
- [14] Gringauz M., Gur Y., Touati D., Poles S., Pila A., *Small Arms Surface Danger Zones – Ricochet Analysis for a Probability Based on Computation Methodology*, Proceedings of the 28th International Symposium on Ballistics, Atlanta, USA, 22-26.09.2014 (pp. 720-729).