

WOJSKOWA AKADEMIA TECHNICZNA

im. Jarosława Dąbrowskiego
WYDZIAŁ MECHATRONIKI

INSTYTUT ELEKTROMECHANIKI

Egz. nr

PRACA BADAWCZO-WDROŻENIOWA

pt.:

**ANALIZA ZABEZPIECZEŃ BALISTYCZNYCH STRZELNIC ODKRYTYCH W POLICJI,
STRAŻY GRANICZNEJ I BIURZE OCHRONY RZĄDU, POD KĄTEM SFORMUŁOWANIA
WSTĘPNEGO PROJEKTU ROZPORZĄDZENIA MINISTRA SPRAW WEWNĘTRZNYCH
I ADMINISTRACJI W SPRAWIE WARUNKÓW TECHNICZNYCH, JAKIM POWINNY
ODPOWIADAĆ ODKRYTE STRZELNICE W POLICJI, STRAŻY GRANICZNEJ I BIURZE
OCHRONY RZĄDU ORAZ ICH USYTUOWANIE”**

wykonana przez Instytut Elektromechaniki Wydziału Mechatroniki Wojskowej Akademii
Technicznej na zlecenie Ministerstwa Spraw Wewnętrznych i Administracji
wg Umowy nr 1/MSWiA/DLI/2007/213-67/2007/WAT z dnia 12.03.2007r.

CZĘŚĆ I

BALISTYKA STRZELNIC ODKRYTYCH WYBRANE WYNIKI BADAŃ EMPIRYCZNYCH I SYMULACJI KOMPUTEROWYCH

(OPINIA NAUKOWA)

**Opracował zespół pod kierownictwem
*prof. dr. hab. inż. Józefa GACKA***

Warszawa – czerwiec 2007 rok

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP	2
2. ANALIZA PARAMETRÓW BRONI I AMUNICJI WYKORZYSTYWA-NEJ DO STRZELAŃ PROGRAMOWYCH NA ODKRYTYCH STRZELNICACH W POLICJI, STRAŻY GRANICZNEJ I BIURZE OCHRONY RZĄDU	3
3. PRZEGLĄD ISTNIEJĄCYCH ROZWIĄZAŃ KONSTRUKCYJNYCH ZABEZPIECZEŃ BALISTYCZNYCH STRZELNIC ODKRYTYCH	4
Podstawowe pojęcia, definicje dotyczące odkrytych strzelnic w Policji, Straży Granicznej i Biurze Ochrony Rządu	4
Podstawowe wiadomości dotyczące zjawiska rykoszetowania pocisków	8
3.2.1. Relacje pocisk – cel	8
3.2.2. Działanie uderzeniowe pocisku	9
3.2.3. Zdolność wnikania pocisku	10
3.2.4. Odbicie pocisku.....	15
3.2.5. Analiza odbicia pocisku.....	18
3.2.6. Wpływ kąta uderzenia na zachowanie się pocisku.....	23
3.2.7.. Wpływ ruchu obrotowego pocisku na kształt toru lotu pocisku odbitego	28
3.2.8. Podsumowanie zjawiska rykoszetowania pocisku	29
3.3. Podstawowe zależności i wielkości na przykładzie konstrukcji strzelnicy 300 metrowej	30
3.4. Przegląd podstawowych konstrukcji budowli i urządzeń zabezpieczających strzelnicę odkrytej (częściowo zakrytej)	32
4. OPRACOWANIE PROGRAMU REALIZACJI PRZEDSIĘWZIĘĆ BADAWCZYCH I PRZEPROWADZENIE NIEZBĘDNYCH BADAŃ NA STRZELNICY WYZNACZONEJ PRZEZ ZAMAWIAJĄCEGO	40
5. BADANIA SYMULACYJNE BALISTYKI ZEWNĘTRZNEJ POCISKÓW NABOJÓW PISTOLETOWYCH, ŚRUTOWYCH I POCISKÓW TYPU BRENEKA	41
6. OPRACOWANIE WYNIKÓW PRZEPROWADZONYCH BADAŃ UZUPEŁNIAJĄCYCH, W TYM SFORMUŁOWANIE PARAMETRÓW NIEZBĘDNYCH BUDOWLI I URZĄDZEŃ ZABEZPIECZAJĄCYCH DLA ZMINIMALIZOWANYCH WIELKOŚCI STREF OCHRONNYCH	49
6.1. Rażące oddziaływanie pocisków	49
6.2. Wymagania dla budowli i urządzeń zabezpieczających niezbędnych dla strzelnic przy zminimalizowanych wielkościach stref ochronnych.....	51
7. WYZNACZENIE WIELKOŚCI STREF OCHRONNYCH DLA ODKRYTEJ STRZELNICY KARABINOWEJ, PISTOLETOWEJ I STRZELNICY DLA STRZELB GŁADKOLUFOWYCH, W OPARCIU O WYNIKI BADAŃ TEORETYCZNYCH I DOŚWIADCZALNYCH	53
8. OPRACOWANIE WSTĘPNEGO PROJEKTU „ROZPORZĄDZENIA MINISTRA SPRAW WEWNĘTRZNYCH I ADMINISTRACJI W SPRAWIE WARUNKÓW TECHNICZNYCH, JAKIM POWINNY ODPOWIEDZIEĆ ODKRYTE STRZELNICE W POLICJI, STRAŻY GRANICZNEJ I BIURZE OCHRONY RZĄDU ORAZ ICH USYTUOWANIE”	55
9. ZAKOŃCZENIE	56

PRACA BADAWCZO – WDROŻENIOWA

na temat:

„ANALIZA ZABEZPIECZEŃ BALISTYCZNYCH STRZELNIC ODKRYTYCH W POLICJI, STRAŻY GRANICZNEJ I BIURZE OCHRONY RZĄDU, POD KĄTEM SFORMUŁOWANIA WSTĘPNEGO PROJEKTU ROZPORZĄDZENIA MINISTRA SPRAW WEWNĘTRZNYCH I ADMINISTRACJI W SPRAWIE WARUNKÓW TECHNICZNYCH, JAKIM POWINNY ODPOWIADĄC ODKRYTE STRZELNICE W POLICJI, STRAŻY GRANICZNEJ I BIURZE OCHRONY RZĄDU ORAZ ICH USYTUOWANIE”

1. WSTĘP

Instytut Elektromechaniki Wydziału Mechatroniki Wojskowej Akademii Technicznej od wielu lat prowadzi intensywne badania nad bezpieczeństwem na strzelnicy podczas strzelania. Ciągłe wprowadzanie do użytku nowych wzorów broni i amunicji powodują potrzebę przeprowadzenia analizy bezpieczeństwa, głównie odpowiedzi czy podczas strzelania strzelnica gwarantuje zachowanie bezpieczeństwa użytkownika.

Inną przyczyną ciągłego monitoringu zachowania bezpieczeństwa jest nieuniknione zbliżanie się infrastruktury osiedli mieszkaniowych do strzelnic. Istniejące strefy ochronne stają się problemem dla właścicieli gruntów, na których wyznaczone są te strefy. Wysokie odszkodowania, bądź przeznaczenie tego terenu do zagospodarowania na inne cele niż wyznaczenie stref ochronnych jest przyczyną do ich likwidacji lub zmniejszenia. Wyjściem z tego problemu jest przebudowa istniejącej strzelnicy do wyższej klasy bezpieczeństwa. Taka decyzja pociąga za sobą przeznaczenie znacznych kwot finansowych i oczekiwanie na uruchomienie strzelnicy kilkanaście miesięcy, a nawet lat, przeprowadzając pełny cykl inwestycyjny.

Celem niniejszej pracy badawczo – wdrożeniowej jest opracowanie dokumentu pt.: „Warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać odkryte strzelnice w Policji, Straży Granicznej i Biurze Ochrony Rządu oraz ich usytuowanie”, który pozwoli na przystosowanie istniejących oraz projektowanie i budowę nowych strzelnic odkrytych dla wyżej wymienionych służb.

2. ANALIZA PARAMETRÓW BRONI I AMUNICJI WYKORZYSTYWA-NEJ DO STRZELAŃ PROGRAMOWYCH NA ODKRYTYCH STRZELNICACH W POLICJI, STRAŻY GRANICZNEJ I BIURZE OCHRONY RZĄDU

Policja, Straż Graniczna i Biuro Ochrony Rządu użytkuje wzory broni strzeleckiej zarówno produkcji krajowej jak i zagranicznej, pochodzącej z zakupów.

W tabelach 1.1 i 1.2 zestawiono dane taktyczne wzorów broni i amunicji najczęściej użytkowanych w Policji, Straży Granicznej i Biurze Ochrony Rządu.

Tabele zawierają wzory broni przyjętych wg klasyfikacji, w zależności od przeznaczenia taktycznego, do grupy broni indywidualnej lub zespołowej.

Tabela 1.1. Dane techniczne wybranych egzemplarzy broni.

Lp	Nazwa, typ i wzór broni	Prędkość pocisk V_0 [m/s]	Energia wylotowa pocisku	Uwagi
1	7,62 mm karabin maszynowy	825	3267	
2	7,62 mm karabin wyborowy SWD	830	3306	
3	7,62 mm karabinek AKM	715	2019	
4	5,56 mm kbs „Beryl”	710	1656	
5	5,56 mm karabinek WK G-36	920	1700	
6	9 mm pistolet maszynowy PM-84P	350	490	
7	9 mm pistolet wz. 64	315	302	
8	9 mm pistolet VIST	330	435	

Tabela 1.2. Dane techniczne amunicji

Lp	Nazwa i typ amunicji	Masa pocisku [g]	Uwagi
1	7,62 mm nb kb z poc. ŁPS	9,6	
2	7,62 mm nb wz. 43 z poc. PS	7,9	
3	5,56 mm nb. z poc SS-109	4,0	
4	9 mm nb. pistoletowy 'MAKAROWA"	6,1	
5	9 mm nb. z poc. FMJ PARABELLUM	8	

Do dalszych obliczeń balistycznych i symulacji komputerowych przyjęto następujące wzory amunicji:

- 7,62 mm nb kb z poc. ŁPS;
- 7,62 mm nb wz. 43 z poc. PS i T-45;
- 9 mm nb z poc. FMJ typu PARABELLUM

3. PRZEGLĄD ISTNIEJĄCYCH ROZWIĄZAŃ KONSTRUKCYJNYCH ZABEZPIECZEŃ BALISTYCZNYCH STRZELNIC ODKRYTYCH

Podstawowe pojęcia, definicje dotyczące odkrytych strzelnic w Policji, Straży Granicznej i Biurze Ochrony Rządu;

- 1) odkryta strzelnica w Policji, Straży Granicznej i Biurze Ochrony Rządu , zwana dalej „**strzelnicą odkrytą**” – to obiekt budowlany położony na obszarze jednostek i ośrodków szkolenia Policji, Straży Granicznej i Biura Ochrony Rządu, wyposażony w stałe budowle zabezpieczające, stałe lub zmienne linie otwarcia ognia i stałe lub zmienne linie celów, którego strefa strzelań nie jest całkowicie zakryta lub zadaszona, przeznaczony do strzelania z małokalibrowej i średniokalibrowej broni osobistej, indywidualnej i zespołowej o kalibrze nie większym niż 11,43 mm, wystrzeliwanej z prędkością początkową nie większą niż 1.000 m/s oraz z broni gładkolufowej o kalibrze do wagomiaru 12.

2) **kulochwyty**:

- a) **główny** - budowlę usytuowaną równolegle do linii początkowej strzelnicy odkrytej za ostatnią linią celów strzelnicy odkrytej, służącą do zatrzymywania pocisków wystrzelonych w kierunku celów,
- b) **dolny pod przesłoną pionową nr 1** - budowlę usytuowaną równolegle do linii początkowej strzelnicy odkrytej, służącą do zabezpieczania części płaszczyzny rzeczywistej strzelnicy za przesłoną pionową nr 1 przed możliwością trafienia jej strzałem bezpośrednim,
- c) **dolny przed linią celów** - budowlę usytuowaną równolegle do linii początkowej strzelnicy odkrytej bezpośrednio przed linią celów najbliższą kulochwytwi głównemu, służącą do osłony urządzeń strzelnicy zlokalizowanych za tym kulochwytem przed możliwością trafienia pociskami,

3) **zabezpieczenia boczne** - budowle usytuowane prostopadle do linii początkowej strzelnicy odkrytej, służące do zatrzymywania pocisków,

4) **przesłony**

a) pionowa - element konstrukcyjny wyposażenia strzelnicy o powierzchni czołowej prostopadłej do płaszczyzny bazowej strzelnicy odkrytej, usytuowany w określonej odległości od linii otwarcia ognia i na ustalonej wysokości ponad płaszczyzną rzeczywistą strzelnicy, stanowiący zasłonę przed wylotem pocisków poza strefę strzelań,

b) pozioma (zadaszenie) – element konstrukcyjny wyposażenia strzelnicy o powierzchni czołowej równoległej lub ukośnej do płaszczyzny bazowej strzelnicy odkrytej, usytuowany nad przesłonami lub płaszczyzną rzeczywistą albo kulochwytem głównym na ustalonej wysokości ponad płaszczyzną rzeczywistą strzelnicy, stanowiący zasłonę przed wylotem pocisków poza strefę strzelań.

5) **strefa strzelań** - teren strzelnicy odkrytej ograniczony linią początkową strzelnicy, kulochwytem głównym oraz zabezpieczeniami bocznymi,

6) **linia przerwania ognia** – linia wyznaczająca strefę niebezpieczną na płaszczyźnie rzeczywistej strzelnicy, w której mogą wystąpić niebezpieczne odłamki z

rozpadających się pocisków trafiających w kulochwyt. Pomiedzy linią przerwania ognia a kulochwytem głównym zabrania się rozmieszczania stanowisk strzeleckich na strzelnicy ze zmienną linią otwarcia ognia. Strefę niebezpieczną na płaszczyźnie rzeczywistej strzelnicy wyznacza się w odległości 7 ± 1 m od podstawy kulochwytu głównego (zależnie od konstrukcji kulochwytu głównego).

- 7) **oś strefy strzelań** - linię prostą stanowiącą podłużną oś symetrii strefy strzelań, prostopadłą do linii początkowej strzelnicy odkrytej,
- 8) **płaszczyzna czołowa** kulochwytu głównego, dolnego lub przesłony pionowej - płaszczyznę pionową lub ukośną znajdującą się od strony linii otwarcia ognia,
- 9) **dolna krawędź przesłony** - krawędź płaszczyzny czołowej przesłony pionowej, najbliższa płaszczyźnie bazowej strzelnicy,
- 10) **stanowisko strzeleckie** - oznaczone i odpowiednio wykonane miejsce na strzelnicy odkrytej, umożliwiające strzelającemu regulaminowe wykonywanie strzelań,
- 11) **strefy ochronne** – wyznacza się dla każdej strzelnicy w celu wykluczenia zagrożenia rażeniem pociskami osób i mienia znajdujących się poza obszarem strefy strzelań.
Ustanawia się, wyznacza w terenie i oznakowuje się następujące strefy:
 - strefę niebezpieczną, którą dodatkowo należy ogrodzić;
 - strefę zagrożenia.
- 12) **strefa dowodzenia** - teren strzelnicy odkrytej ograniczony linią otwarcia ognia, linią wyjściową i zabezpieczeniami bocznymi,
- 13) **sygnalizacja ostrzegawcza** - elementy wyposażenia strzelnicy odkrytej, informujące o prowadzeniu strzelań,
- 14) **punkt pomiarowy strzelnicy odkrytej** - stały punkt wysokościowy (znak geodezyjny), podlegający utrwaleniu, wykonany zgodnie z przepisami prawa geodezyjnego i kartograficznego, służący do wykonywania czynności geodezyjnych w rejonie strzelnicy odkrytej,
- 15) **tarczownia** - obiekt (pomieszczenie) przeznaczony do przechowywania, przygotowywania i dokonywania napraw tarcz,

- 16) **Rz** - długość promienia wyznaczającego wielkość strefy zagrożenia strzelnicy odkrytej,
- 17) **odporność na przebicie** - odporność rozumianą jako niespowodowanie pojawienia się rys lub pęknięć na płaszczyźnie przeciwnej do płaszczyzny ze śladem wlotowym, przy trafieniu w użyty materiał pod kątem prostym:
- na strzelnicy kb -300 (nazwa jest skrótem „strzelnicy karabinowej” o 300 metrowej strefie strzelań) - pociskiem zwykłym naboju karabinowego (nb kb z poc. ŁPS) kalibru 7,62 mm wystrzelonym z odległości 100 m z prędkością początkową 820 m/s;
 - na strzelnicach kbk-200 i kbk -100 (nazwy są skrótami „strzelnic karabinkowych” o 200 i 100 metrowej strefie strzelań) - pociskiem naboju o mocy pośredniej kalibru 7,62 mm, wystrzelonym z odległości 100 m z prędkością początkową 725 m/s;
 - na strzelnicy pistoletowej – pociskiem naboju pistoletowego PARABELLUM, kalibru 9 mm wystrzelonego z odległości 5 m z prędkością 420 m/s.
- 18) **współczynnik bezpieczeństwa** - niemianowaną wielkość liczbową określającą wymaganą minimalną krotność grubości materiału w stosunku do ustalonej doświadczalnie odporności na przebicie,
- 19) **klasa odporności pożarowej** - odporność pożarową w rozumieniu ust. 1 rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. z 2002 r. Nr 75, poz. 690, z 2003 r. Nr 33, poz. 270 oraz z 2004r. Nr 109, poz. 1156),
- 20) **Polska Norma** - normę ustanowioną przez Polski Komitet Normalizacyjny i powszechnie dostępną,
- 21) **jednostka naukowa** - jednostkę naukową w rozumieniu pkt 9 ustawy z dnia 8 października 2004r. o zasadach finansowania nauki (Dz. U. Nr 238, poz. 2390), prowadzącą badania naukowe lub prace rozwojowe z zakresu balistyki zewnętrznej.
- 22) **pistolet** - pistolet, pistolet maszynowy lub rewolwer, wprowadzony do użytkowania w Policji, Straży Granicznej i BOR, przystosowany do strzelania ogniem pojedynczym,

23) **balustrada** – konstrukcja zabezpieczająca użytkowników pomostów, schodów i pochylni przed upadkiem z wysokości lub przed wejściem na wydzielony obszar,

Podstawowe wiadomości dotyczące zjawiska rykoszetowania pocisków;

Relacje pocisk – cel

Wzajemnymi oddziaływaniami pomiędzy pociskiem a celem zajmuje się balistyka końcowa (celu). Istotnymi czynnikami są tu:

- właściwości fizyczne i geometryczne materiału z którego sporządzony jest cel (szczególnie gęstość, twardość, grubość),
- kształt geometryczny, twardość i gęstość pocisku,
- prędkość pocisku i kąt trafienia w cel.

Przedmiotem szczególnego zainteresowania są kąty graniczne pod którymi pocisk wnika w cel, lub zostaje od niego odbity tzn. ulega rykoszetowaniu.

W zależności od prędkości trafienia w cel oraz kąta trafienia można rozróżnić dla określonego układu pocisk – cel następujące obszary reakcji między pociskiem a materiałem celu:

- pocisk wnika w materiał celu i pozostaje tam niezniszczony,
- pocisk przenika materiał celu i nie ulega zniszczeniu,
- pocisk ześlizguje się z materiału celu i nie ulega zniszczeniu – zjawisko rykoszetu,
- pocisk niszczy się podczas ześlizgiwania się z ukośnie ustawionego materiału celu,
- pocisk przebija materiał celu i ulega całkowitemu rozpadowi.
- pocisk przenika przez materiał celu ulegając zniszczeniu,

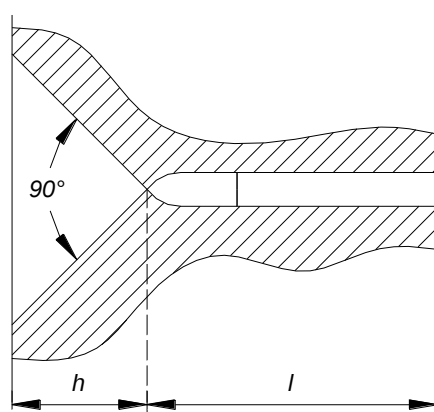
Dla każdego układu pocisk – cel istnieje krytyczna prędkość trafienia w materiał celu, poniżej której penetracja nie następuje. W praktyce prędkość graniczną mierzy się metodami technicznymi (na drodze eksperymentalnej) ponieważ nie można jej dokładnie

zdefiniować wzorami. Jako prędkość graniczną dla określonego układu pocisk – cel przyjmuje się taką wartość przy której pocisk przebija dany materiał celu z prawdopodobieństwem 50%. Balistyczna prędkość graniczna zależy głównie od następujących czynników:

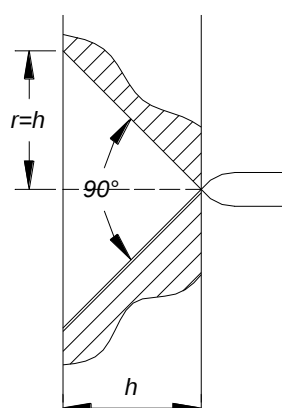
- grubości materiału celu,
- twardości i gęstości materiałów celu i pocisku,
- kąta trafienia pocisku w materiał celu,
- masy, długości i średnicy pocisku,
- kształtu części wierzchołkowej pocisku,
- kąta ustawienia pocisku podczas trafienia w materiał celu.

3.2.2. Działanie uderzeniowe pocisku

Działanie uderzeniowe ma każdy pocisk lub jego część, poruszająca się pod wpływem jakiejkolwiek siły. Polega ono na zdolności niszczenia spójności cząsteczek, z których składa się cel, przez uderzenie masy pocisku, poruszającej się ze znaczną prędkością. Działanie uderzeniowe może mieć charakter wnikania, jeśli pocisk zagłębia się do środowiska, którego opór całkowicie pochłania energię pocisku (rys. 3.2.2.1), lub – charakter rozbicia (przełamania), energia pocisku przewyższa opór przeszkody na drodze działania (rys. 3.2.2.2).



Rys 3.2.2.1.



Rys. 3.2.2.2.

Działanie uderzeniowe pocisku zależy od wielu przyczyn, z których najważniejsze są:

- kąt uderzenia (jest to kąt utworzony przez styczną do toru pocisku w punkcie

zetknięcia się z przeszkodą),

- prędkość końcowa,
- kaliber pocisku,
- masa pocisku,
- kształt pocisku,
- wytrzymałość pocisku tj. właściwości mechaniczne i konstrukcja pocisku,
- rodzaj przeszkody.

Najlepsze działanie uderzeniowe uzyskuje się przy kącie uderzenia 90° . Przy kątach uderzenia mniejszych niż 90° część siły uderzenia skierowana jest wzdłuż powierzchni przeszkody i dąży do wywołania odbicia pocisku.

3.2.3. Zdolność wnikania pocisku

Pocisk, pokonując opór danego środowiska, zagłębia się na określoną głębokość. Pokonanie oporu środowiska stanowi pracę pocisku, która jest miarą jego energii kinetycznej. Prędkość pocisku, w miarę zagłębiania się w danym środowisku, staje się coraz mniejsza i może dojść do zera. Jednocześnie maleje jego energia kinetyczna, stając się równą zeru w chwili, gdy pocisk przestaje się poruszać.

Energia pocisku podczas wnikania zużywa się na zniekształcenie pocisku, (mniejsze lub większe w zależności od odporności środowiska wnikania), oraz na nadanie cząsteczkom przeszkody przyspieszenia, które jest tym większe, im łatwiej się mogą one przesuwąć względem siebie i im mniejsze jest tarcie między nimi. Reszta energii zamienia się w ciepło, powodując ogrzanie pocisku i przylegających do niego warstw środowiska wnikania.

Przy uderzeniu pocisku w przeszkodę powstaje ciśnienie działające na cel i takie samo oddziaływanie tego celu na pocisk (opór środowiska). Działanie pocisku i przeciwdziałanie środowiska, równe co do wielkości, trwają bardzo krótko i dochodzą do znacznych wartości. Gwałtowny wzrost ciśnienia w punkcie trafienia powoduje zwykle zmianę kształtów zarówno pocisku, jak i przeszkody. Zniekształcenie pocisku w zależności od jego wytrzymałości i wielkości oporu środowiska może się wyrażać w zwykłym spłaszczeniu ostrołuku lub pęknięciem, bądź zupełnym rozbiciu się pocisku.

Dotknięte przez pocisk cząsteczki przeszkody oddają część swojej energii cząsteczkom dalej położonym, dzięki czemu ulegają również zniszczeniu warstwy nie stykające się bezpośrednio z pociskiem. Pod wpływem uderzenia w materiałach sprężystych powstaje ruch falowy cząsteczek, powodujący wibracje przedmiotu, który się rozprzestrzenia w ciałach ciekłych i stałych na ogół z prędkością większą od prędkości pocisku. W wodzie ta prędkość wynosi ok. 1440 m/s, w stali zaś ok. 5000 m/s.

Wartości efektu cieplnego, obserwowanego przy uderzeniu, jest proporcjonalna do energii pocisku i wytrzymałości przeszkody. Przyjmuje się, że w betonie i żelbetonie strata energii na efekt cieplny wynosi ok. 1% całkowitej energii pocisku.

Przy znacznym oporze środowiska wnikania (płyty pancerne) pocisk ogrzewa się do temperatury sięgającej ponad 180°. Właściwość tą wykorzystywano często przy konstrukcji pocisków przeciwpancernych, nie posiadających zapalników, celem otrzymania koniecznej zwłoki działania pocisku. W tym przypadku ogrzanie pocisku powoduje zapalenie ładunku wewnętrznego, w następstwie czego następuje detonacja i rozerwanie korpusu

Praca pocisku L_p polega na wykonaniu wgłębienia (przy działaniu siły F). Pomijając stratę energii uderzenia na zniekształcenie pocisku i efekt cieplny, możemy napisać:

$$L_p = Fl = \frac{G v_k^2}{2g}$$

gdzie:

G – masa pocisku [kg],

v_k – prędkość końcowa [m/s],

$g = 9,81$ m/s przyspieszenie ziemskie.

Natomiast praca oporu L_o wyraża się następującą zależnością:

$$L_o = \frac{\pi d^2}{4} l \sigma$$

gdzie:

$\pi d^2 l / 4$ – objętość zniszczonego materiału, którą można przyjąć równa objętości walca,

σ – współczynnik wytrzymałości środowiska wnikania.

Wartość oporu zależy od kształtu pocisku i prędkości wnikania, która jest zmienna.

Współczynnik kształtu „ i ” określa się przez strzelanie pociskami różnego kształtu do tego samego środowiska, przy czym za wzorzec uważa się pocisk, przy którym otrzymuje się największe wnikanie.

Przyjmując opór środowiska za proporcjonalny do prędkości końcowej v_k , otrzymamy:

$$L_o = \frac{\pi d^2}{4} l \sigma i v_k$$

Praca pocisku L_p i praca oporu L_o na drodze wnikania są sobie równe co do wielkości. Stąd droga wnikania:

$$\frac{G v_k^2}{2g} = \frac{\pi d^2}{4} l \sigma i v_k$$

$$l = \frac{G v_k^2 4}{2g \pi d^2 \sigma i v_k} = \frac{2G v_k^2}{ig \pi d^2 \sigma}$$

Podstawiając w równaniu wielkość $2\sigma/ig\pi$ przez współczynnik oporu środowiska α , otrzymamy:

$$l = \frac{\alpha G v_k}{d^2}$$

gdzie:

l – droga wnikania [m]

d – kaliber pocisku [cm]

Przy kącie uderzenia $\omega = 90^\circ$ głębokość wnikania h równa się drodze wnikania l . Przy mniejszych kątach uderzenia głębokość wnikania $h = l \sin \omega$, zatem:

$$h = \frac{\alpha G v_k \sin \omega}{d^2}$$

Współczynnik oporu środowiska α określa się doświadczalnie przez strzelanie wzorcowym pociskiem do różnych środowisk.

Wartość współczynnika α z powyższego wzoru, ustalona na podstawie doświadczeń, przedstawia tabela:

Tabela współczynnika α

0,1100	dla ziemi świeżo usypanej i pulchnej
0,0700	dla ziemi średniej,
0,0350	dla ziemi zleżalej i piasku,
0,0350	dla drzewa miękkiego,
0,0200	dla drzewa twardego,
0,0130	dla skał i kamienia,
0,0065	dla betonu,
0,0016	dla stali.

Określenie drogi wnikania pocisku w środowiskach o różnej wytrzymałości polega w gruncie rzeczy na umiejętności określenia wartości oporu środowiska wg wzorów:.

Euler przyjmuje $R = \pi r^2 a$

Poncelet przyjmuje $R = \pi r^2 (a + b v_k)$

Resal przyjmuje $R = \pi r^2 (a v_k + b v_k^2)$

Levi-Civita przyjmuje $R = \pi r^2 (a + b v_p) (1 + \beta v_k)$

- współczynniki „a” i „b” są zależne od materiału przeszkody,
- współczynnik β ustala się doświadczalnie,
- v_k – prędkość końcowa w chwili uderzenia,
- v_p – prędkość wnikania.

Wzory Eulera, Ponceleta i Resala, opracowane sposobem analitycznym, wymagają sprawdzenia przez doświadczenia.

Euler przyjmuje opór środowiska za proporcjonalny do kwadratu prędkości końcowej $R = m v_k^2 / 2$, podczas gdy inni balistycy zmianę wartości oporu uzależniają od zmiany prędkości pocisku podczas wnikania.

Poncelet i Vallier podają wzory na obliczanie drogi wnikania, ustalone sposobem doświadczalnym.

Według Ponceleta, o ile $v_p = 0$, droga wnikania wynosi:

$$l = \frac{G}{2bg\pi^2i} \ln \left(1 + \frac{b}{a} v_k^2 \right)$$

zaś czas wnikania:

$$t = \frac{G}{\sqrt{abg}\pi^2 i} \operatorname{arctg} \left(v_k \sqrt{\frac{b}{a}} \right)$$

gdzie:

- i – współczynnik kształtu, równy 1 dla pocisków kulistych i $2/3$ dla pocisków wydłużonych,
 $„a”$ i $„b”$ – współczynniki zależne od właściwości fizycznych środowiska.

Według E. Valliera droga wnikania wynosi:

$$l_{(m)} = \alpha \frac{G}{\pi^2_{(cm)}} \log \left(1 + 0,5 \frac{v_k^2}{10^4} \right)$$

gdzie:

- α - współczynnik oporu środowiska wnikania, określony doświadczalnie. Dla żelbetu α wynosi 6,4 – 7,1.

E. Ravelli oblicza drogę wnikania za pomocą wzoru balistyki zewnętrznej:

$$l = (0,8 - 1,2) \frac{C}{i} \alpha f(v_k)$$

gdzie:

- l – droga wnikania w [m],
 C – współczynnik balistyczny pocisku $G / 1000d^2$ (G - masa pocisku [kg],
 d – kaliber pocisku [cm]),
 i – współczynnik kształtu pocisku = 1,
 α - współczynnik oporu środowiska wnikania,
 $f(v_k)$ – funkcja prędkości końcowej,

Funkcje prędkości końcowej $f(v_k)$ oblicza się ze wzoru :

$$f(v_k) = \log_{10}(1 + \beta v_k^2)$$

przy czym β jest stałą doświadczalną, zależną jedynie od rodzaju środowiska wnikania.

Powyższy wzór opiera się na założeniu, że opór środowiska wnikania jest (jak w powietrzu) wprost proporcjonalny do przekroju poprzecznego pocisku i odwrotnie proporcjonalny do jego współczynnika kształtu. Pierwsze założenie wynika ze spójności molekularnej stałego ośrodka i tarcia powierzchni pocisku o powierzchnię otworu i nie ma związku z prędkością, drugie zaś opiera się na sile, jaką uzyskują cząsteczki środowiska wnikania proporcjonalne do kwadratu prędkości końcowej pocisku.

Najbardziej znanym wzorem na głębokość wnikania pocisku opartym na doświadczeniach jest tzw. wzór Bierieziański:

$$l = K_n \frac{q}{d^2} v_u \cos \alpha$$

- l – głębokość wnikania pocisku w [m],
 K_n – współczynnik, charakteryzujący własności środowiska,
 q – masa pocisku w [kg],
 d – kaliber pocisku w [cm],
 v_u – szybkość uderzenia pocisku w przeszkodę w [m/s],
 α – kąt zawarty pomiędzy normalną do przeszkody a styczną do toru w punkcie uderzenia.

Tabela przedstawiająca wartości współczynników K_n dla różnego rodzaju środowisk.

0,3 – 0,15	dla ziemi świeżo usypanej,
0,07	dla gliny,
0,06 - 0,085	dla ziemi ściślej,
0,09	dla piasku usypanego,
0,045	dla piasku ubitego,
0,02 – 0,025	dla muru ceglanego,
0,025	dla kamienia,
0,02	dla wapienia, piaskowca,
0,012 - 0,001	dla betonu

3.2.4. Odbicie pocisku

Odbicie pocisku (*rykoszetowanie*) - jest to zmiana kierunku lotu pocisku po jego uderzeniu w przeszkodę powstająca w przypadku, gdy pocisk uderza w cel pod małym kątem. Odbicie pocisku uzależnione jest od:

- kąta upadku,
- długości i kształtu wierzchołka pocisku,
- ukształtowania i rodzaju powierzchni odbijającej,
- prędkości pocisku w chwili odbicia.

Zasadniczy wpływ na kierunek odbicia pocisku wywiera nierównomierność oporów ośrodka, w którym przebywa pocisk w czasie uderzenia (pocisk odchyła się w kierunku mniejszego oporu) oraz ruch obrotowy pocisku.

W rezultacie kierunek odbicia pocisku jest przypadkowy.

90% pocisków karabinowych ostrołukowych odbija się od wody i ziemi przy kątach mniejszych niż 13° - 14° natomiast pociski tępogłowicowe przy kątach mniejszych niż 7° .

Ukształtowanie powierzchni zmniejszające kąt upadku pocisku ułatwia odbicie na tzw. przeciwstoku. Twardy grunt lub materiał celu na ogół zwiększa odbicie, ale nie zawsze.

Tępogłowicowy pocisk karabinowy odbija się od płyty stalowej tylko przy kącie uderzenia mniejszym niż 2° natomiast pocisk ostrołukowy przy kącie mniejszym niż 10° - 12° , przy czym kąt odbicia nie przekracza 3° - 15° . Zmniejszenie prędkości końcowej powoduje, że odbicie następuje przy większym kącie padania.

Zjawisko odbijania się pocisków zostało wykorzystane w artylerii do strzelania odbitkowego. W czasie strzelania z broni strzeleckiej jest to zjawisko niepożądane, gdyż może powodować rażenie własnych wojsk lub nawet samego strzelca. Pociski karabinowe po odbiciu mogą przebyć drogę nawet do 4 km.

W wypadkach, gdy przeszkoda jest bardzo twarda np. ściana z cegły, beton, metal zjawisko rykoszetu jest proste i sprowadza się do prostego odbicia pocisku od powierzchni przeszkody. Wówczas rykoszet powstaje przy kątach uderzenia od 0° - 35° i pocisk nieznacznie traci swoją prędkość. Kąt odbicia jest równy w przybliżeniu kątowi uderzenia.

Tory rykoszetów są bardzo różne i w praktyce nie można ich wyliczyć. Mimo to przy powstawaniu rykoszetu, jeśli pocisk nie został zdeformowany, istnieją określone prawidłowości. Jeżeli pocisk łatwo deformuje się przy uderzeniu w twardą przeszkodę, to zwykle pada w pobliżu przeszkody. Na takim pocisku często znajdują się cząsteczki przeszkód.

Donośność pocisku po odbiciu zależy od wielkości kąta odbicia. Odchylenie lotu pocisku obserwujemy zawsze w kierunku obrotu pocisku na skutek derywacji.

Maksymalną donośność pocisku-rykoszetu osiąga się przy małych kątach odbicia i nieznacznym odchyleniu w stronę obrotu pocisku, przy czym donośność ta jest nieco mniejsza od donośności swobodnie lecącego pocisku. Jednakże nawet przy znacznym odchyleniu zrykoszetowane pociski lecą na duże odległości, np. karabinowy pocisk po zrykoszetowaniu może dolecieć na 4000m.

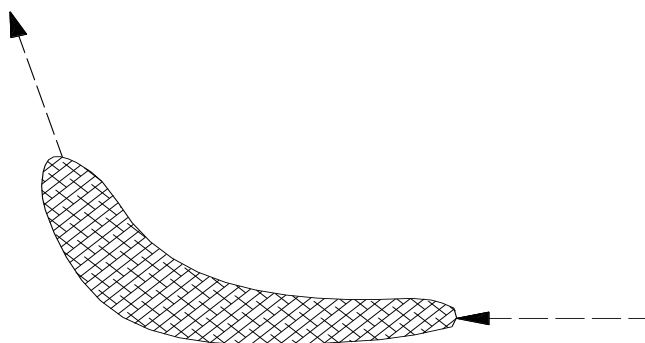
Zrykoszetowany pocisk, który mało traci na swej prędkości, ma dużą zdolność rażenia. Jeżeli pocisk po rykoszecie przy niewielkich kątach odbicia nie został zdeformowany, to może zachować ruch obrotowy. Przy uderzeniu w twardą przeszkodę deformuje się przeważnie wierzchołek pocisku w postaci mniejszego lub większego spłaszczenia, na którym występują ślady ślizgania się pocisku po przeszkodzie.

Zjawisko odbicia od miękkiej przeszkody jest skomplikowane. Przy uderzeniu pocisku w miękką przeszkodę pod niewielkim kątem pocisk zagłębia się w nią na niewielką głębokość, a następnie wychodzi z przeszkody do góry, ponieważ wytrzymałość warstwy wierzchniej środowiska jest mniejsza niż warstw głębszych. Przy czym kąt odbicia jest większy od kąta padania.

W związku z zagłębieniem w przeszkodę pocisk traci część swojej energii na jej pokonanie i w rezultacie tego ma mniejszą prędkość niż przed rykoszetowaniem. Im lżejszy pocisk, bardziej miękkie środowisko i mniejszy kąt padania, tym mniejsza utrata prędkości.

Doświadczalnie ustalono, że otrzymanie rykoszetu od ziemi jest możliwe przy szybkości pocisku nie mniejszej niż 150-200 m/s. Przy rykoszecie pocisku od gruntu górna jego warstwa zostaje zniszczona i powstaje odkryta bruzda. Ponieważ głębokość wnikania pocisku w przeszkodę jest tym większa, im kąt uderzenia jest bliższy kąta prostego, rykoszet od miękkiej przeszkody możliwy jest tylko przy małych kątach padania. Im mniejsza jest twardość przeszkody, tym kąt padania do otrzymania rykoszetu jest mniejszy.

Bruzda pozostawiona w gruncie zwykle ma (w broni o prawoskrętnym skoku bruzd) niewielki zwrot w prawo, a dla luf z lewoskrętnym gwintem – w lewo



Rys. 3.2.4.1. Bruzda w ziemi przy rykoszecie pocisku.

Przy tym kąt zwrotu nie przewyższa zwykle, 45° , lecz niekiedy bywa większy. Kąt zwrotu zwiększa się ze zwiększeniem kąta padania. Kąt zwrotu nie występuje przy prędkości pocisku około 200m/s i kącie padania do 10° . Przy kątach padania w granicach $10^\circ - 17^\circ$ równa się 45° , a przy kącie padania do 25° kąt zwrotu może sięgać 90° .

Możliwe jest wychylenie bruzdy w odwrotną stronę od kierunku obrotu pocisku tzn. w lewo dla pocisków obracających się w prawo. Bywa tak w wypadkach, gdy pocisk w momencie wchodzenia na powierzchnię gruntu natrafia na swojej drodze na przedmiot, którego twardość jest większa od otaczającego go środowiska.

Rykoszet od wody powstaje przy kącie padania $4^\circ - 12^\circ$, przy mniejszych kątach pocisk ślizga się po wodzie, a przy większych wpada do wody i tonie. Ustalono, że przy prędkości pocisku mniejszej od 200 m/s prawdopodobieństwo rykoszetu od wody jest bardzo małe. Kąt zwrotu w kierunku obrotu pocisku przeważnie wynosi od $3^\circ - 45^\circ$, a niekiedy i do 90° . Jeżeli na wodzie albo na gruncie od jednego pocisku następuje kilka kolejnych rykoszetów, to odległość pomiędzy następnymi kolejnymi rykoszetami jest zawsze mniejsza niż między poprzednimi.

3.2.5. Analiza odbicia pocisku

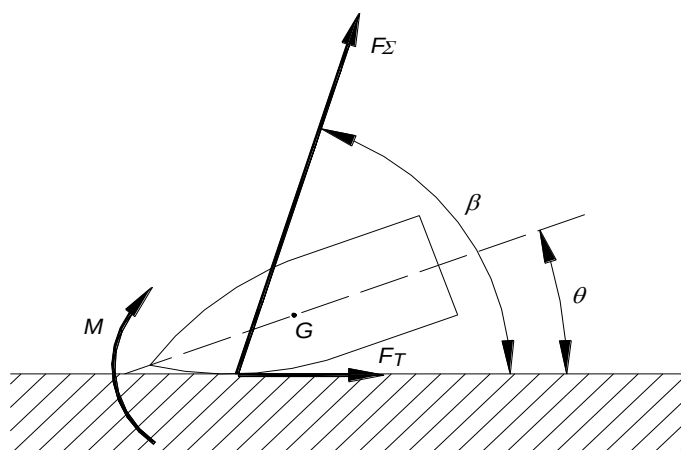
Odbicie pocisku to zjawisko fizyczne, które tylko częściowo można opisać ogólnie uznanymi prawami fizyki dotyczącymi np. zderzeń sprężystych lub niesprężystych. O ile pocisk poruszający się w przewodzie lufy, a następnie w powietrzu podlega ściśle prawom fizyki i daje się opisać matematycznymi wzorami, o tyle jego zachowanie się po uderzeniu o przeszkodę jest bardzo trudne do określenia. Stopień prawdopodobieństwa

poprawności określenia jego zachowania jest tym większy im mniej różnych czynników ma wpływ na jego odbicie tzn. im bardziej jednorodna strukturalnie jest powierzchnia odbicia tym dokładniejsze i bardziej prawdopodobne będzie określenie zachowania się pocisku po odbiciu. Sama struktura powierzchni ma bardzo duże znaczenie. Można ją określić jako podatność na penetrację przez pocisk. Prosty przykład może być woda i lód, czyli ten sam materiał ale o różnej konsystencji, czyli o różnej podatności do penetracji. Im większa podatność do penetracji tym mniejsze prawdopodobieństwo powstania odbicia pocisku.

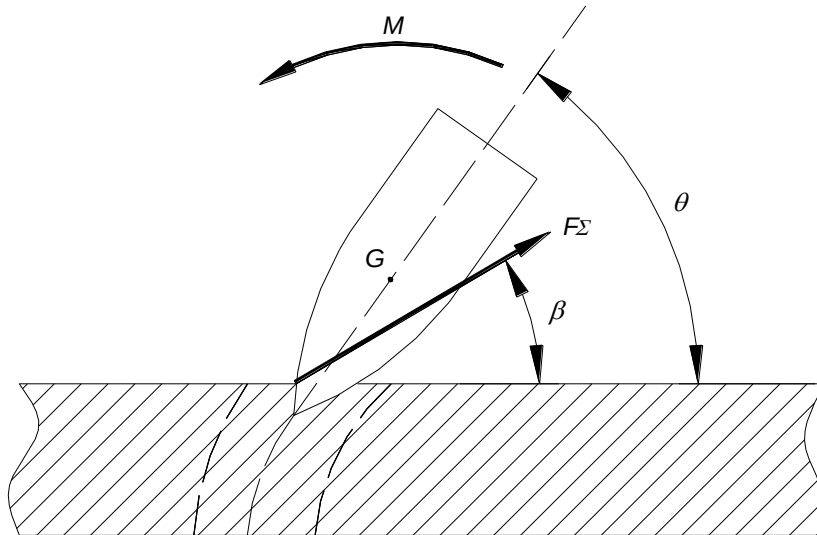
Aby zrozumieć istotę i zasady powstawania tego zjawiska należy rozpocząć jego analizę od tzw. struktur idealnych tzn. potraktować więc należy pocisk jako punkt materialny – sprężysty, a powierzchnię przeszkody jako jednorodną strukturę, bez możliwości deformacji przez pocisk. Przy takim założeniu pocisk odbijać powinien się od powierzchni przeszkody pod kątem równym kątowi uderzenia.

W praktyce dotyczy to tylko uderzeń pocisków wystrzelonych z wysokości poziomu wylotu lufy i uderzających o płytę stalową np. płytę osłonową kulochwyty dolnego(strzelnicy).

W momencie uderzenia pocisku o powierzchnię przeszkody, siła F_s równoważąca opór przeszkody przyłożona do pocisku w punkcie jego styczności z przeszkodą, będzie nachylona w stosunku do powierzchni przeszkody pod kątem β (rys 3.2.5.1.)



Rys. 3.2.5.1. Uderzenie pocisku o przeszkodę pod małym kątem (uderzenie



Rys. 3.2.5.2. Uderzenie pocisku o przeszkodę pod dużym

F_{Σ}	-	sumaryczna siła oporu przeszkody
F_T	-	siła tarcia
M	-	moment obracający pocisk
G	-	środek masy pocisku
θ	-	kąt zderzenia pocisku z przeszkodą
β	-	kąt działania siły oporu

Wartość kąta β zależy głównie od siły tarcia F_T przyłożonej w punkcie styczności pocisku z powierzchnią przeszkody. Siła F_S wywołuje moment M , który obraca środek pocisku wokół jego środka masy w kierunku od przeszkody (rys.3.2.5.1.) lub do przeszkody (rys. 3.2.5.2.). Wielkość i kierunek działania momentu zależą ostatecznie od kąta β . Z kolei kąt β zależy od:

- kształtu części wierzchołkowej pocisku,
- kąta nachylenia wektora prędkości pocisku do powierzchni przeszkody w momencie zderzenia θ ,
- rodzaju ośrodka tzn. jego twardości i współczynnika tarcia.

Jeżeli kąt β ma taką wartość, że siła F_S przechodzi na prawo od środka masy, to w chwili zderzenia z przeszkodą na pocisk będzie działał moment M , odchylający oś pocisku w kierunku prostopadłym do powierzchni przeszkody.

Jeżeli zaś siła F_S przechodzi na lewo od środka masy, to moment M będzie odchyłał oś pocisku w kierunku równoległym do powierzchni przeszkody, powodując odbicie pocisku od przeszkody.

Kąt zderzenia pocisku z przeszkodą, poniżej którego następuje rykoszet nazywa się kątem granicznym θ_{gr} i dla poszczególnych rodzajów ośrodka wynoszą:

- woda: $\theta_{gr.} = 6^\circ - 10^\circ$;
- grunt miękki: $\theta_{gr.} = 10^\circ - 12^\circ$;
- grunt twardy: $\theta_{gr.} = 12^\circ - 15^\circ$;
- pancerz, beton: $\theta_{gr.} = 25^\circ - 30^\circ$.

W określonych warunkach zderzenia pocisku z przeszkodą rykoszet może być wielokrotny.

Jeżeli $\theta < \theta_{gr.}$, na pocisk działa zmieniająca się w czasie siła $F(t)$. Intensywność oddziaływania pocisku na przeszkodę w momencie zderzenia określa się impulsem siły, zwanym inaczej siłą zderzenia P_z .

$$P_z = \int_0^{\tau} F(t) dt$$

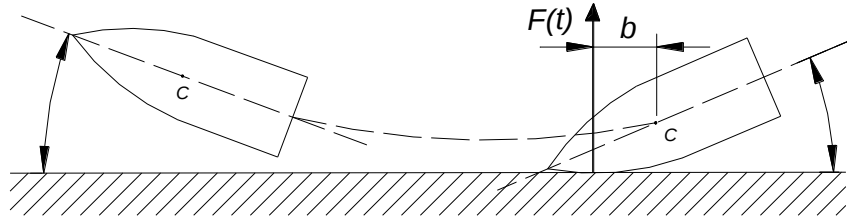
gdzie: τ - czas oddziaływania pocisku na przeszkodę.

Z przybliżeniem przyjmuje się, że siła $F(t)$ jest skierowana prostopadle do powierzchni przeszkody (rys. 3.2.5.1.), co oznacza, że pomija się siłę tarcia F_T . Stąd

$$\omega = \frac{b P_z}{I}$$

moment impulsu siły równa się $b P_z$, gdzie: b – ramie siły F względem środka masy. Moment ten obraca pocisk z prędkością kątową:

gdzie: I – główny moment bezwładności pocisku.



Rys. 3.2.5.3. Rykoszet

Oznaczając składowe prędkości środka masy pocisku przed zderzeniem przez V_X i V_Y , a po zderzeniu przez W_X i W_Y na podstawie zasady zachowania pędu można zapisać:

$$m_s (V_X - W_X) = 0;$$

$$m_s (V_Y - W_Y) = P_Z$$

Składowa prędkości W_Y określa wartość kąta θ_0 , pod którym pocisk odbija się od przeszkody. Z pierwszego równania układu wynika, że $W_X = V_X$. Wartość prędkości W_Y zależy od współczynnika zderzenia k i wynosi $W_Y = -k V_Y$. Współczynnik k zawiera się w przedziale $0 < k < 1$, przy czym:

- $k = 0$ dla ciał idealnie plastycznych,
- $k = 1$ dla ciał idealnie sprężystych.

Wobec powyższego z drugiego równania układu otrzymuje się:

$$P_Z = (1+k)m_s W_Y = (1+k)m_s V_S \sin \theta_S$$

Posługując się wzorami, otrzymuje się zależność na prędkość kątową obrotu środka pocisku wokół, środka masy po zderzeniu się z przeszkodą:

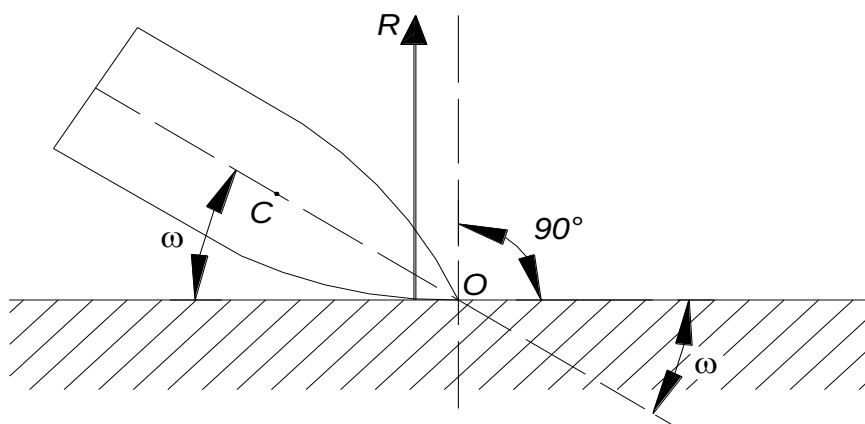
$$\omega = \frac{(1+k)b m_s}{I} V_S \sin \theta_S$$

Ponieważ im większa prędkość kątowa ω , tym większe prawdopodobieństwo rykoszetu, zatem za pomocą powyższego wzoru można określić wpływ poszczególnych parametrów na rykoszet pocisku.

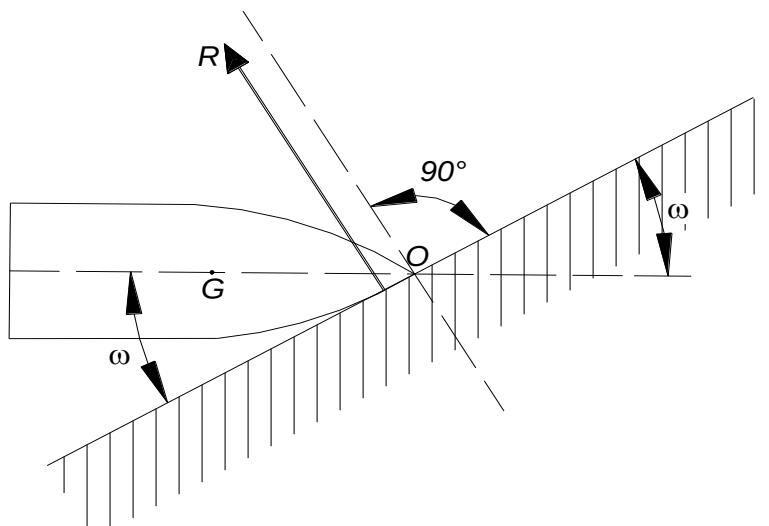
Podatność pocisków na rykoszet zmniejsza się przez przesuwanie środka masy do przodu, wydłużanie kształtu, stępienie części czołowych.

3.2.6. Wpływ kąta uderzenia na zachowanie się pocisku

Oś pocisku pokrywa się ze styczną do toru na stosunkowo małej jego części. Przeważnie jest ona odchyłona od tej stycznej dzięki ruchowi precesyjnemu pocisku. Przy trafieniu w cel oś pocisku tworzy pewien kąt ω z powierzchnią uderzenia (rys. 3.2.6.1 i 3.2.6.2).



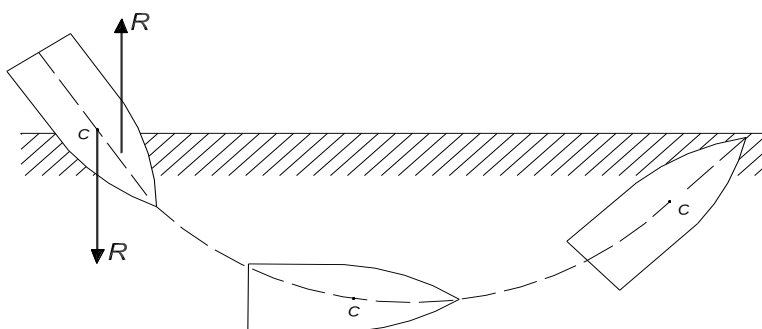
Rys. 3.2.6.1



Rys. 3.2.6.2

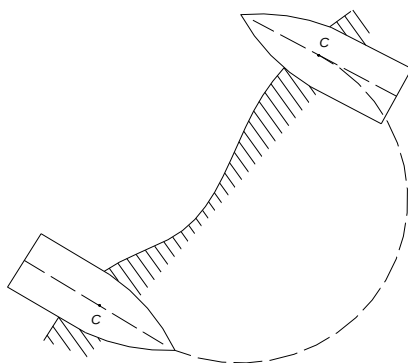
Boczne uderzenie ostrołuku powoduje zwiększenie ruchu precesyjnego, mającego ujemny wpływ na zagłębienie się pocisku. Przy dalszym wnikaniu opór przeszkody R na boczną powierzchnię ostrołuku, mający punkt zaczepienia przed środkiem masy, zmienia

nachylenie osi, powodując zmniejszenie kąta uderzenia ω . Przy dalszym ruchu pocisku para sił RR_1 powoduje dalsze zmniejszenie kąta ω . Jednocześnie opór środowiska wnikania R wpływa na opóźnienie ruchu postępowego środka masy pocisku. W końcu, jeśli pocisk nie przebija przeszkody, otrzymuje się wydrążenie, które ma kształt, uwidoczony na rys. 3.2.6.3.



Rys. 3.2.6.3

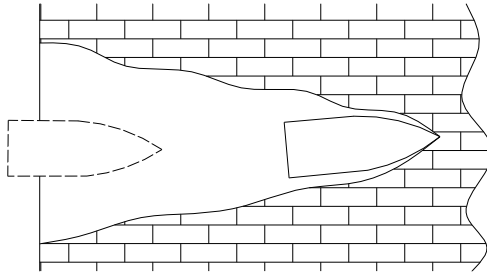
Przy dużej energii pocisk przebija przeszkodę lub, w razie trafienia do gruntu, może wyjść na powierzchnię, zwrócony w kierunku strzału (rys. 3.2.6.4).



Rys. 3.2.6.4

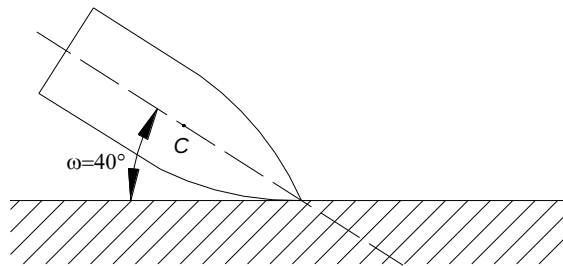
W środowisku spoistym np. beton, mur, ubita ziemia) wydrążenie zachowuje swój kształt, natomiast w środowisku sypkim wydrążenie zasypuje się, powodując zapadnięcie warstw wyżej położonych. W środowisku sprężystym np. drzewo, zbita glina otwór wlotowy wydrążenia ma kształt walca.

W środowisku nie sprężystym np. mur, beton, piasek otrzymuje się wydrążenie rozpoczynające się stożkiem (rys. 3.2.6.5).



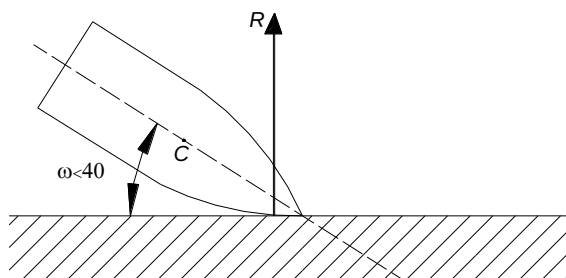
Rys. 3.2.6.5

Jeżeli pocisk posiada kąt rozwarcia ostrołuku równy w przybliżeniu 80° , to przy trafieniu pod kątem $\omega = 40^\circ$ (równym połowie rozwarcia ostrołuku) uderza on bokiem ostrołuku o powierzchnię trafienia (rys. 3.2.6.6). Jest to największy kąt przy którym może następować odbicie się pocisku na powierzchni gruntu.



Rys. 3.2.6.6

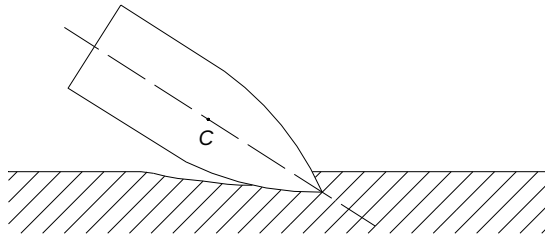
Przy kącie uderzenia $\omega < 40^\circ$ pocisk jest więc skłonny do odbicia się (rys. 3.2.6.7).



Rys. 3.2.6.7.

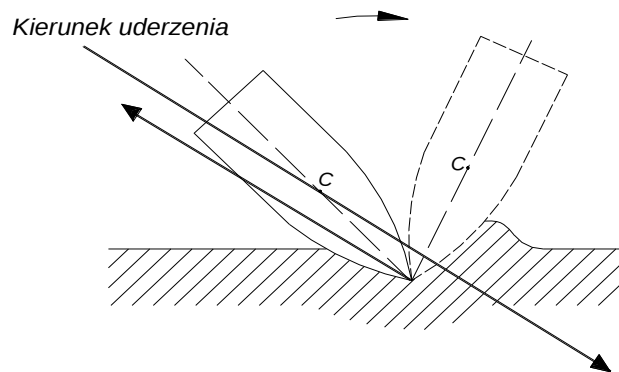
Przy kącie $\omega > 40^\circ$ możliwość odbicia się pocisku jest zupełnie wyłączona, jeśli chodzi o grunty naturalne.

Jednakże pocisk może wnikać bez odbicia się nawet przy kącie uderzenia ω mniejszym od połowy kąta rozwarcia ostrołuku, jeżeli grunt jest podatny (rys. 3.2.6.8).

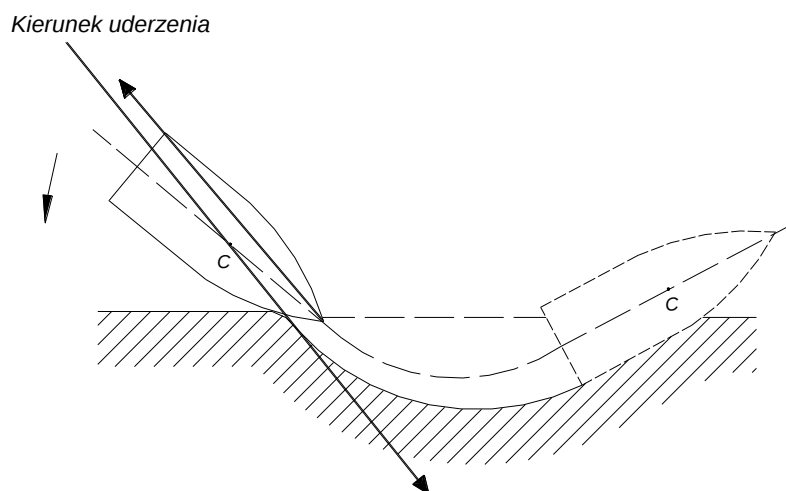


Rys. 3.2.6.8

Jeżeli oś pocisku jest znacznie odchylona od kierunku uderzenia, to wskutek działania pary sił może nastąpić przewrócenie pocisku i jego koziołkowanie (rys. 3.2.6.8 i rys. 3.2.6.9)



Rys. 3.2.6.9



Rys. 3.2.6.10

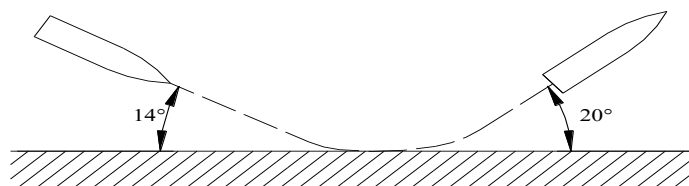
Według danych opartych na doświadczeniach, można przyjąć następujące granice dla kątów uderzenia, powodujących odbicie pocisku:

- spokojna powierzchnia wody $6^{\circ} - 10^{\circ}$
- pulchny lub miękki grunt $< 10^{\circ}$
- twardy, porośnięty grunt $< 12^{\circ}$
- mur, zależnie od twardości $30^{\circ} - 50^{\circ}$
- płyta pancerna, zależnie od rodzaju płyty i grubości $30^{\circ} - 50^{\circ}$

W przedpiersiu okopu pocisk zagłębia się nawet przy 10° kąta uderzenia, przy czym w razie znacznej energii uderzenia wychodzi zwykle na powierzchnię terenu.

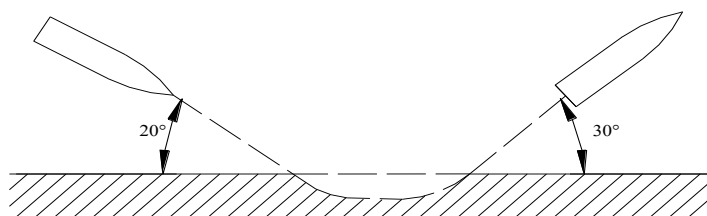
Natomiast instrukcje francuskie podają następujące dane dotyczące terenu o średniej wytrzymałości:

- a) przy kątach uderzenia $0 < \omega < 15^{\circ}$ pocisk odbija się od powierzchni gruntu, tworząc płytką bruzdę (rys. 3.2.6.10).

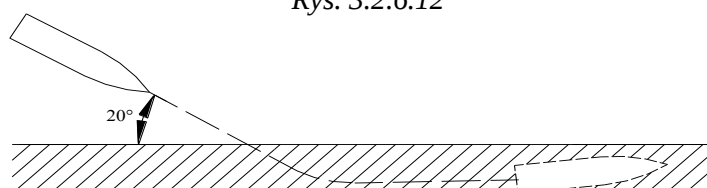


Rys. 3.2.6.11

- b) przy kątach $15^{\circ} < \omega < 25^{\circ}$ pocisk odbija się po przebyciu pewnej drogi w ziemi lub pozostaje w zagłębieniu, w zależności od energii uderzenia i kształtu pocisku (rys. 3.2.6.12 i 3.2.6.13)

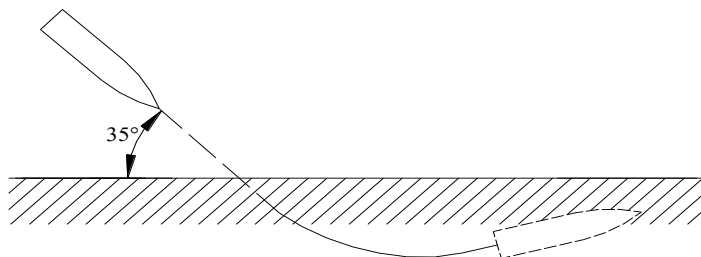


Rys. 3.2.6.12



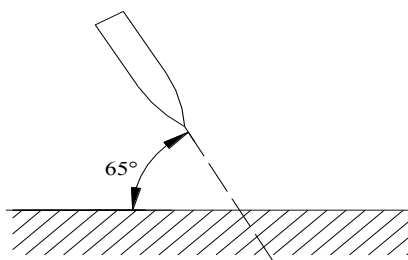
Rys. 3.2.6.13

- c) przy kątach $25^{\circ} < \omega < 40^{\circ}$ pocisk biegnie w ziemi po drodze sinusoidalnej i zwykle dąży do wydobycia się na powierzchnię terenu (rys. 3.2.6.1).



Rys. 3.2.6.14

- d) przy kącie $\omega > 40^{\circ}$ pocisk zagłębia się zwykle w kierunku trafienia (rys. 3.2.6.15).



Rys. 3.2.6.15

3.2.7. Wpływ ruchu obrotowego pocisku na kształt toru lotu pocisku odbitego

Bruzdy przewodu lufy umożliwiają nadanie pociskowi ruchu obrotowego, który zapewnia stabilizację jego położenia w przestrzeni. W bardzo krótkim czasie pocisk jest wprawiany w szybki ruch obrotowy (np. w 7,62 mm kbk AK prędkość obrotowa pocisku wynosi 3062 obr./sek.). Tak duża prędkość obrotowa zapewnia stabilne położenie pocisku na całym torze lotu (pocisk cały czas utrzymywany jest wierzchołkiem do przodu niezależnie od kształtu i oporu powietrza).

Stabilność położenia pocisku wynika z występowania przy tak dużej prędkości obrotowej tzw. momentu żyroskopowego, który powoduje chwilowe odchylenie się wierzchołka pocisku pod kątem prostym w stosunku do siły oporu powietrza. Dlatego też pocisk w czasie lotu nie utrzymuje się osiowo w stosunku do toru lotu lecz wierzchołkiem zatacza koła wokół toru lotu. Zjawisko to ma istotny wpływ na efekt odbicia, determinuje bowiem położenie osi pocisku w stosunku do powierzchni odbijającej. Wynika stąd

wniosek, że kąt uderzenia pocisku (styczna do toru lotu pocisku) nie równa się osi podłużnej pocisku w momencie uderzenia. Wielkość i kierunek tego kąta są różne i zależą od kształtu i długości pocisku. Wartości te dla pocisków w punkcie uderzenia są w zasadzie nie do przewidzenia. Im pocisk jest krótszy i z kolistym wierzchołkiem (np. pocisk 9 mm Makarowa) tym kąt odbicia pocisku od przeszkody będzie bardziej zbliżony do kąta padania i będzie bardziej powtarzalny dla dużej liczby przypadków.

Ruch obrotowy pocisku powoduje również zmianę kierunku toru lotu pocisku odbitego. Chwilowe zetknięcie się powierzchni pocisku z powierzchnią odbijającą powoduje, że moment obrotowy powoduje przesunięcie środka masy, natomiast kierunek przesunięcia zależy od kierunku obrotu pocisku. Większość rykoszetów po odbiciu odchyła się w prawo, ma to swoje odzwierciedlenie w kształcie strefy bezpieczeństwa, gdzie prawy sektor odchyła się pod kątem 60° , a lewy tylko 30° .

Duże znaczenie dla powstawania rykoszetów ma także kaliber pocisku, im większy kaliber pocisku tym większy kąt krytyczny, przy którym już występuje rykoszet. Pociski małokalibrowej broni strzeleckiej mają zdecydowanie mniejszy kąt krytyczny.

3.2.8. Podsumowanie zjawiska rykoszetowania pocisku

Olbrzymi postęp, jaki uzyskano w dziedzinie poprawy celności i donośności skutecznej pocisku niesie ze sobą odczuwalne zwiększenie odległości, na której człowiek mógł zostać okaleczony, czy to od strzału bezpośredniego, czy rykoszetu. Z uwagi na zwiększoną energię pocisku i jego rotację stał się on bardziej niebezpieczny. Wystąpiła zatem konieczność zwiększenia bezpieczeństwa przy szkoleniu strzeleckim.

W obecnym czasie wymogi te nasiliły się, ze względu na olbrzymi stopień urbanizacji i niejednokrotnie bliskie sąsiedztwo strzelnic z osiedlami mieszkalnymi. Ludzie mieszkający w takich osiedlach narażeni są na hałas i spadające rykoszety. Doświadczenia potwierdziły, że przypadki występowania rykoszetów poza strzelnicami były rzadkie, ale miały miejsce. Aktualnie są użytkowane strzelnice różnej kategorii, których parametry techniczne i konstrukcyjne są bardzo podobne. Różnice wynikają jedynie z odległości, z jakich można na nich prowadzić strzelanie do celów. Mimo, że wszystkie one spełniają wymogi bezpieczeństwa, to jednak z rachunku prawdopodobieństwa wynika, że możliwe jest powstawanie rykoszetów. Choć wydaje się znaczne pieniądze na modernizację i wzrost bezpieczeństwa strzelnic stosując różnej

konstrukcji osłony, mające na celu przechwycenie pocisków odbiegających od dopuszczalnego toru lotu i pozbawienia ich energii kinetycznej, a w rezultacie ich „uwięzieniu”, to i tak pozbycie się zjawiska rykoszetu jest niemożliwe. Najlepszym rozwiązaniem byłoby lokalizacja strzelnic na terenach zamkniętych, świadomie zakładając, że strefy zagrożeń znajdują się poza obszarem terenów zurbanizowanych.

Rozwiązanie problemu rykoszetowania może także zmierzać w kierunku stosowania podczas strzelań specjalnej amunicji, która ogranicza powstawanie rykoszetów (amunicja antyrykoszetowa lub amunicja o zmniejszonym rykoszetowaniu).

Natomiast rozwiązaniem bezpieczeństwa otoczenia strzelnic jest budowa strzelnic krytych, gdzie całkowicie ogranicza się strefy ochronne do zarysu zewnętrznego takiej budowli.

3.3. Podstawowe zależności i wielkości na przykładzie konstrukcji strzelnicy 300 metrowej

Strzelnice odkryte o różnej długości strefy strzelań posiadają te same elementy zabezpieczające. Może natomiast być ich mniej lub więcej, bardziej lub mniej rozbudowane, a także może ich nie być w ogóle (np.: na strzelnicy 100 m, w szczególnych warunkach lokalizacyjnych, może nie być przesłon poprzecznych).

Duże znaczenie dla zachowania bezpieczeństwa użytkowania strzelnicy ma również organizacja szkolenia strzeleckiego, umiejętności dydaktyczne instruktorów i stopień umiejętności strzelających, a także poprawne posługiwanie się bronią i bezwzględne przestrzeganie regulaminu strzelnicy oraz programu strzelań.

Z matematycznych obliczeń geometrii strzelnicy wynikają określone parametry o określonych wielkościach i kształtach lub przedziały wielkości, w których powinny zawierać się wielkości rzeczywiste budowli i urządzeń zabezpieczających.

W konstrukcji strzelnic odkrytych istnieją zależności, które gwarantują ich poprawność i bezpieczeństwo użytkowania. Poprzez nadanie budowlom i urządzeniom strzelnicy odpowiedniego kształtu, wielkości, lokalizacji i innych cech technicznych, cele powyższe są możliwe do osiągnięcia.

Poniżej przedstawiono przykładową analizę konstrukcji wybranego elementu strzelnicy 300 m (np. kulochwyty głównego i kulochwyty dolnego w przesłonie nr 1.), określając parametr wysokości, przy której eliminuje się możliwość powstania rykoszetów na płaszczyźnie konstrukcyjnej strzelnicy oraz wylotu ponad kulochwytem głównym ze strzału bezpośredniego ze stanowiska strzeleckiego.

a) Kulochwyt główny

- kąt zawarty pomiędzy poziomą płaszczyzną konstrukcyjną a górną płaszczyzną strzału α_{kg} wynosi:

$$\operatorname{tg} \alpha_{kg} = \frac{0,6}{28,32} = 0,0211864 \rightarrow \alpha = \mathbf{1,2137} [^{\circ}]$$

b) Kulochwyt dolny w przesłonie nr 1

- minimalna wysokość kulochwyty dolnego wynosi:

$$1,50 - \left(\frac{x}{12,60} = 0,004067797 \right) = 1,50 - 0,0555254 = \mathbf{1,444} [\text{m}]$$

- tolerancja wysokości wynosi ± 5 [%] to minimalna wysokość kulochwyty dolnego wynosi:

$$H_{d \text{ w przesł nr 1}} = 1,44 \pm 0,0722 [\text{m}]$$

Uwzględniając wielkości liniowe tolerancji mamy

1) przy górnej wartości tolerancji (+ 5 %)

$$H_{d \text{ w przesł nr 1}} = 1,5162 \text{ m}$$

co daje $\frac{0,0162}{12,60} = 0,0012857 \rightarrow \alpha = \mathbf{0,0736659} [^{\circ}]$ ponad poziomą płaszczyznę konstrukcyjną.

Punkt odniesienia na kulochwyty głównym będzie położony na wysokości

$$1,5 + \left(\frac{x}{310} = 0,0012857 \right) = 1,5 + 0,3985 = \mathbf{1,8985} [\text{m}]$$

Oznacza to, że może wystąpić przełot pocisku nad celem położonym na linii celów w odległości 300 m.

Strzelający do figury znajdujący się na linii celów na odległości 300 m strzelający może trafić w krawędź kulochwytu dolnego w przesłonie nr 1, co może być przyczyną powstawania rykoszetów.

2) przy dolnej wartości tolerancji (- 5 %)

$$H_{d \text{ w przesł nr 1}} = 1,444 - 0,0722 = 1,3718 \text{ m}$$

co daje $\frac{1,5 - 1,3718}{12,60} = 0,0101746 \rightarrow \alpha = 0,5829417 [^{\circ}]$ ponad poziomą płaszczyznę konstrukcyjną.

$$\frac{1,5}{x} = \operatorname{tg} \alpha_{k \text{ dol}} = 0,0101746 \quad \text{z tego} \quad x = 147,4259 \text{ [m]}$$

Oznacza to, że strzelający ma możliwość oddania strzału w płaszczyznę konstrukcyjną strzelnicy w przedziale odległości (147,43 ÷ 295) [m], licząc od linii stanowisk strzeleckich. Możliwe jest w tym przypadku wystąpienie zjawiska rykoszetowania pocisków na odcinku (147,43 ÷ 281,04) [m] licząc od linii otwarcia ognia.

Według powyższego algorytmu dokonano analizy parametrów pozostałych budowli i urządzeń strzelnicy, określając ich średnie wielkości, możliwe do wykorzystania w projektowaniu strzelnicy, które nie będą źródłem zagrożenia dla otoczenia pociskami wystrzelonymi bezpośrednio ze stanowiska strzeleckiego oraz znacznie ograniczą możliwość powstawania niebezpiecznych rykoszetów.

3.4. Przegląd podstawowych konstrukcji budowli i urządzeń zabezpieczających strzelnicę odkrytej (częściowo zakrytej)

Każda strzelnica odkryta i częściowo zakryta posiada następujące budowle i urządzenia gwarantujące bezpieczne użytkowanie:

- 1) strefę ochronną;
- 2) stanowisko dowódczo – obserwacyjne (tylko na strzelnicach karabinowych i karabinkowych);
- 3) stanowiska strzeleckie;
- 4) pawilon strzelecki (na strzelnicach pistoletowych i broni małokalibrowych);

- 5) przesłony poprzeczne (jedną lub więcej);
- 6) przesłony górne poziome, skośne);
- 7) kulochwyt główny (jednolity lub złożony, bez zabudowy lub z zabudową);
- 8) kulochwyty dolne (jeden lub więcej);
- 9) zabezpieczenia boczne (jednolite lub złożone)
- 10) instalacje mechaniczno-elektryczne do uruchamiania celów (podnośniki, obrotniki, transportery tarcz itp.)
- 11) instalacje oświetleniowe i sygnalizacyjne;
- 12) odbijacze pocisków;
- 13) inne urządzenia dodatkowe – schrony obsługi linii celów, rozdzielnie elektryczne itp.

Aby wyżej wymienione budowle i urządzenia strzelnicy spełniały przeznaczoną im rolę muszą charakteryzować się odpowiednimi właściwościami. Muszą posiadać odpowiednią wytrzymałość (żywoćność), odporność, wymiary, kształt, poprawną instalację, właściwą lokalizację i inne parametry.

Z dotychczasowych obserwacji istniejących strzelnic oraz nowych projektów niżej przedstawiono rozwiązania techniczne najczęściej spotykane, najmniej kosztowne i posiadające parametry niezbędne do pozytywnego wykonania swojego przeznaczenia.

1) Strefa ochronna

Ze względu na olbrzymie znaczenie w systemie bezpieczeństwa użytkownika strzelnicy problem ten zostanie szerzej omówiony w dalszej części opracowania.

2) Stanowiska strzeleckie

Stanowiska strzeleckie na strzelnicach odkrytych wyznacza się i rozbudowuje w celu jednoznacznego i ustalonego położenia wylotu lufy strzelającej broni dla zachowania geometrycznych zależności z innymi elementami technicznymi strzelnicy.

Dla spełnienia zadania stanowisko strzeleckie wykonuje się w taki sposób, by można wykonywać strzelania z różnych postaw strzeleckich przez różnych wzrostem strzelających (różne długości ramion), przy zachowaniu jednej wysokości położenia wylotu lufy oraz realizacji strzelań przewidzianych programem.

Stanowisko strzeleckie wyposaża się w podpórkę pod broń o zmiennej wysokości z możliwością jej usunięcia (odsunięcia, odchylenia itp.) podczas strzelania bez podpórki.

Stanowiska strzeleckie przeważnie wyznaczają podesty, które można instalować na różnych wysokościach (do strzelania z postawy „leżąc „i „klęcząc”). Dodatkowo instaluje się w uchwyty słupy, służące podczas strzelania z ich wykorzystaniem. Do strzelania z postawy „stojąc” usuwa się ww. elementy bądź wyznacza się linię otwarcia ognia przed inżynierską zabudową stanowisk strzeleckich.

W rejonie stanowisk strzeleckich instaluje się oświetlenie ostrzegawcze. W rejonie stanowisk strzeleckich utwardza się ścieżki dojścia dla kierownika strzelania i zmian strzelających, podobnie jak linię wyjściową.

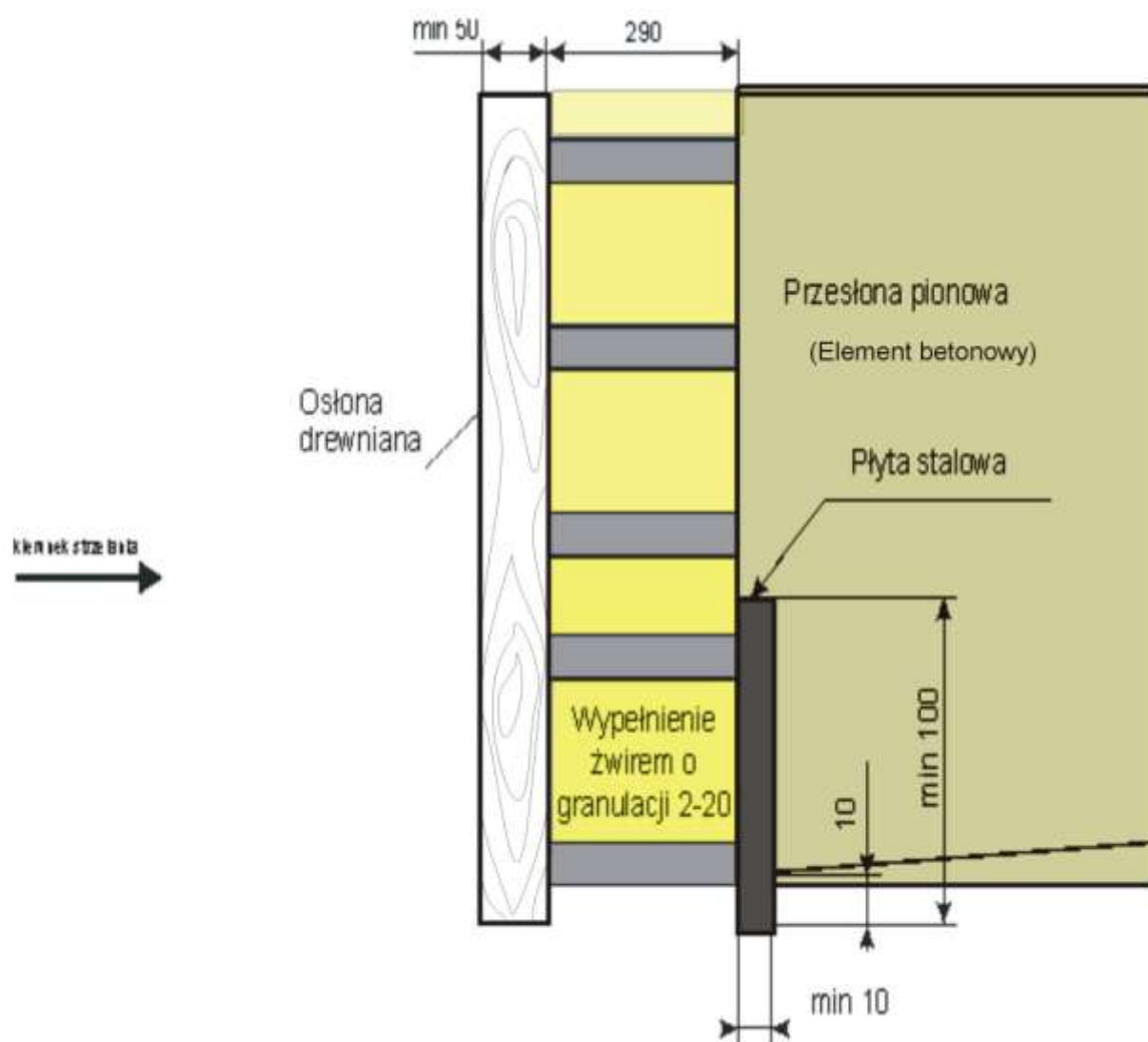
3) Pawilon strzelecki

Jest to konstrukcja przestrzenna, głównie zabezpieczająca wylot pocisków ze strzału bezpośredniego powyżej górnej płaszczyzny strzelania. Pawilony strzeleckie, głównie buduje się na strzelnicach pistoletowych, ze względu na prostą i skuteczną konstrukcję. Przy pawilonie ważną rolę odgrywa wysokość dolnej krawędzi przedniego zadaszenia oraz odporność na przebicie tego zadaszenia.

4) Przesłony poprzeczne

Przesłony poprzeczne buduje się w celu ograniczenia możliwości wylotu pocisków ponad kulochwytem głównym i zabezpieczeniami bocznymi strzelnicy. Zabezpieczają one niezakłócony lot pocisków poniżej górnej płaszczyzny strzelania. Są to budowle o określonym kształcie oraz parametrach liniowych i odpowiedniej odporności na wielokrotne przestrzelenie. Wykonane przeważnie jako konstrukcje betonowe lub ceglane z osłoną drewnianą od strony stanowisk strzeleckich. Na strzelnicach pistoletowych i broni małokalibrowej często wystarczają konstrukcje drewniane o określonej grubości wzmocnione blachą stalową.

Wycinek przekroju poprzecznego takiej przesłony przedstawia poniższy rysunek.



UWAGA!
Wymiary w [mm]

Rys. 3.4.1. Przekrój poprzeczny przesłony nr 1 strzelnicy 300 m.

5) Przesłony górne (poziome, skośne)

Przesłony górne stosuje się na strzelnicach częściowodkrytych, jako częściowe wzmocnione zadaszania strefy strzelań. Tego typu przesłony znacznie poprawiają bezpieczeństwo użytkowania strzelnicy. Jako przesłony górne stosowane jest również wzmocnione zadaszanie przestrzeni pomiędzy przesłoną nr 1 a przesłoną nr 2 z przedłużeniem zadaszania w kierunku stanowisk strzeleckich. Daje to dodatkowe zabezpieczenie przed wylotem rykoszetów powstających na koronie kulochwytu dolnego w przesłonie nr 1, a wystająca część przed przesłoną nr 1 dodatkowo uniemożliwia wylot pocisku z przypadkowego strzału podczas ładowania lub rozładowywania broni na stanowisku strzeleckim.

Przesłony skośne stosowane są głównie na strzelnicach pistoletowych. Ukośne przesłony ograniczają wylot pocisków ze strzału bezpośredniego jak i dalekich rykoszetów na całej długości strefy strzelań. Stosowanie takich przesłon kwalifikuje strzelnicę do „częściowo zakrytych”, zyskując zmniejszenie stref ochronnych.

6) Kulochwyty główny

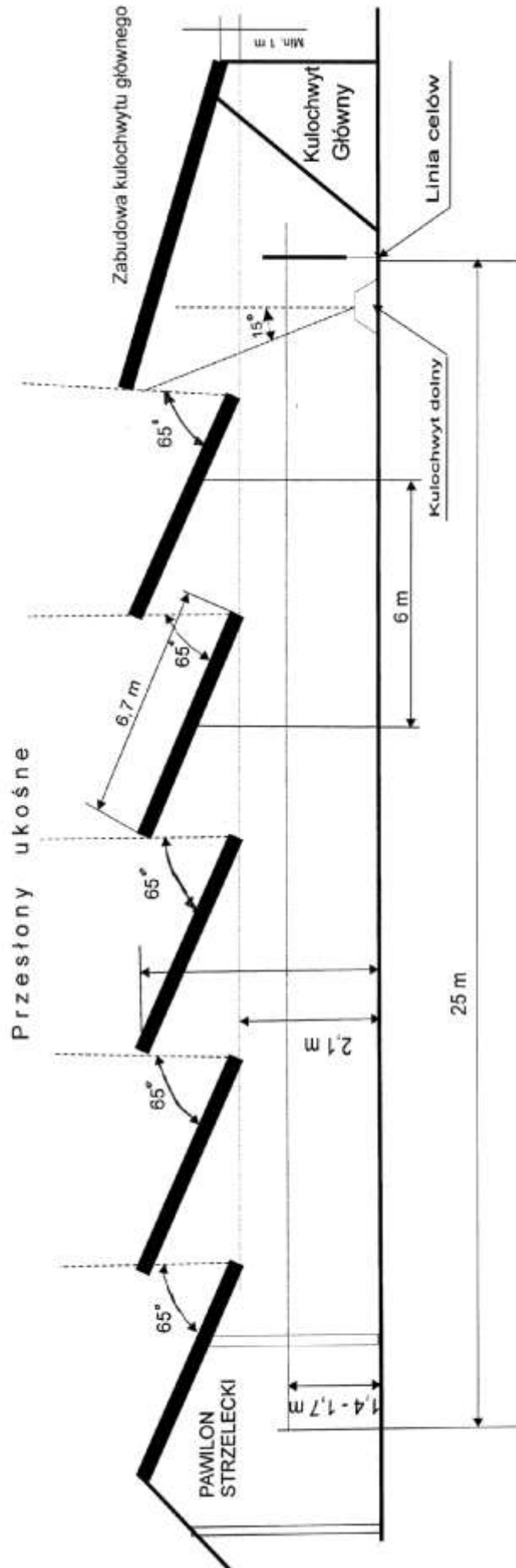
Kulochwyty główny jest elementem technicznym każdej strzelnicy, który przechwytyje wystrzelone pociski (i ewentualne rykoszety). Całkowicie pochłania energię lecących pocisków. Jest to budowla czasem o złożonej konstrukcji, z wykorzystaniem nowoczesnych materiałów. W większości istniejących strzelnicach jako kulochwyty stosowane są nasypy ziemne, nasypy ziemne z nadbudową betonową lub drewnianą. Nadbudowa betonowa lub czasem ceglana, osłonięta jest drewnem lub innym materiałem antyodpryskowym.

Często spotyka się również inną konstrukcję kulochwytu głównego z wykorzystaniem stali, betonu, cegły, bali drewnianych, płyt ceramicznych, płyt z materiałów nowoczesnych, preparowanych na użytek zabezpieczenia strzelnic.

Istotnym parametrem kulochwytu głównego jest jego wysokość i odporność na wielokrotne przestrzelenie pociskami.

Dla podwyższenia „sprawności” kulochwytu głównego stosuje się wzmocnioną zabudowę kulochwytu głównego. Zabezpiecza ona przed wylotem rykoszetów powstałych na skarpie kulochwytu pod zabudową w rejonie celów.

SCHEMAT ZABEZPIECZENIA GÓRNEJ PŁASZCZYZNY STRZELANIA CZĘŚCIOWO ZAKRYTEJ STRZELNICY PISTOLETOWEJ 25 m



UWAGA !

- Wymiary liniowe w [m], a wymiary katowe w stopniach;
- Linia celów przy strzelaniu z pistoletu i broni małowadliwej należy sytuować pod zadaszeniem za kulochwytem dolnym, ochraniającym podnośniki lub obrotniki tarcz;
- Wysokość wzmocnionej blachy stalowej krawędzi zadaszenia przedniego (od strony kulochwyty głównego) wyznacza płaszczyznę, która przebiega przez krawędzie pozostałych przesłon skośnych z jednocelowym zapasem wysokości na kulochwyty główny;
- Przedział wysokości położenia broni podczas strzelania wynosi od 1,4 do 1,7 m;
- Podpory przesłon skośnych powinny być usytuowane poza strefą strzelań;
- Elementy zadaszeń zaznaczone grubą kreską muszą mieć współczynnik odporności na przebiecie co najmniej "1,5".

Rys. 3.4.3. Przykłady konstrukcji kulochwyty głównego strzelnic odkrytych.

7) Kulochwyty dolne

Kulochwyty dolne uniemożliwiają ostrzelanie płaszczyzny konstrukcyjnej strzelnicy, a przez to uniemożliwiają powstawanie dalekich płaskich rykoszetów. Ostrzelanie płaszczyzny konstrukcyjnej przy niewielkich kątach padania daje małą utratę energii i niewielką zmianę kierunku lotu pocisku. Jeżeli taki rykoszet przeleci nad kulochwytem głównym, to jego dołot jest zbliżony do odległości zasięgu broni.

Istotną rolę odgrywa kulochwyt dolny najbliższy kulochwytom głównym. Przejmuje on większość „dolnych” pocisków wystrzelonych w kierunku celów oraz chroni urządzenia techniczne najdalszej linii celów. Ponadto maskuje on podstawy celów, stwarzając rzeczywisty obraz przedpola.

Podstawowymi parametrami kulochwyków dolnych jest ich wysokość, kształt i rozbudowa korony oraz odporność na wielokrotne przestrzelenie.

Ze względu na podniesienie dolnej płaszczyzny strzelania, wg obowiązujących przepisów nie stosuje się kulochwyków dolnych na pośrednich liniach celów. Likwidacja ich jest podyktowana tym, że na ich koronach powstawało większość rykoszetów, w tym dalekich i płaskich. Urządzenia techniczne pośrednich linii celów ochraniane są poprzez ich zagłębienie poniżej poziomu rzeczywistej płaszczyzny strzelnicy.

W strzelnicach pistoletowych kulochwyków dolnych nie stosuje się, ze względu na niewielkie przestrzenie, które mogą przez nie być ochraniane oraz stosunkowo krótka strefa strzelań.

8) Zabezpieczenia boczne

Podobnie jak kulochwyty główne, podobną rolę spełniają zabezpieczenia boczne. Uniemożliwiają wylot pocisków ze strzału bezpośredniego oraz rykoszetów powstających na całej długości strefy strzelań. Budowane są jako nasypy ziemne lub dodatkowe nadbudowy betonowe osłonięte drewnem. Zabezpieczenia boczne nie mogą mieć przerw, ani obniżen na całej długości od linii wyjściowej do kulochwytu głównego

Podstawowym parametrem zabezpieczenia bocznego jest jego wysokość i odporność na wielokrotne przestrzelenie.

Pozostałe ww. urządzenia zabezpieczające strzelnic stosowane są dla podniesienia stopnia bezpieczeństwa i skutecznego dowodzenia, ostrzegania o zagrożeniach.

4. OPRACOWANIE PROGRAMU REALIZACJI PRZEDSIĘWZIĘĆ BADAWCZYCH I PRZEPROWADZENIE NIEZBĘDNYCH BADAŃ NA STRZELNICY WYZNACZONEJ PRZEZ ZAMAWIAJĄCEGO

Po analizie rodzajów broni, amunicji w Policji, Straży Granicznej i Biurze Ochrony Rządu okazało się, że są one zbliżone do tych jakie występują w Wojsku Polskim. Można zatem przyjąć już posiadane dane balistyczne do dalszych analiz jakościowych balistyki wewnętrznej i zewnętrznej. Takie dane posiada zespół opracowujący przedmiotowy temat jako, że w przeszłości z jego udziałem prowadzono szczegółowe obliczenia modelu matematycznego zjawiska strzału i jego efektów oraz przeprowadzono również badania empiryczne z wykorzystaniem najnowszej aparatury rejestrującej bieżące parametry lotu pocisku na torze.

Aparatura ta pozwala na zarejestrowanie również lotu pocisku po odbiciu od różnych przeszkód. Bieżące parametry lotu rykoszetu stanowiły podstawę do wyciągnięcia wniosków o donośności, skuteczności a także o kierunku lotu pocisku po odbiciu. Jeśli chodzi o pierwsze dwa parametry obliczenia matematyczne i symulacje dały zbliżone wielkości, natomiast kierunek rozlotu rykoszetów był całkowicie różniący się od zakładanego. Zatem należy przyjąć, że kierunek rozlotu rykoszetów jest całkowicie losowy. Wobec tego zjawisko podlega analizie statystycznej przy reprezentatywnej próbie zdarzeń. Do oceny stosuje się prawo Gaussa o rozkładzie normalnym, przyjmując jako zmienną prawdopodobieństwo wystąpienia zjawiska uchylenia w daną stronę kierunku rozlotu. W oparciu o powyższe rozważania, przy reprezentatywnej liczności zdarzeń, przyjmuje się, że większość rykoszetów uchyli się w prawo od pierwotnego kierunku lotu niezakłóconego z prawdopodobieństwem ok. 80 %. Przyczyną tego jest przede wszystkim prawoskrętny ruch obrotowy pocisku, nadany przez gwint w lufie podczas przemieszczania się pocisku wzdłuż jej długości. Ruch pocisku w innych ośrodkach oraz moment opuszczenia lufy przedstawiono we wcześniejszych punktach opracowania.

Mimo posiadania wielu danych z badań, zespół opracowujący przedmiotowe zadanie, chciał poznać bezpośrednio inne przyczyny, które są źródłem zagrożeń na ww.

strzelnicach. Zwrócono szczególną uwagę na sposób oddawania strzału na strzelnicy przez funkcjonariuszy, a także postawy strzeleckie i stopień umiejętności strzeleckich na poszczególnych etapach szkolenia strzeleckiego.

Po przeprowadzeniu strzelań z różnej broni, na różnych odległościach i z różnych postawach strzeleckich przeanalizowano wpływ tych czynników na pojawianie się zagrożeń na strzelnicy.

Dokonano również oceny wpływu miejscowych zniszczeń elementów kulochwyty głównego na niebezpieczeństwo powstawania niebezpiecznych rykoszetów.

Do wypracowania ww. wniosków posłużyła wizyta zespołu opracowującego w Szkole Policji w Katowicach

Reasumując, należy stwierdzić, że zbędne byłoby prowadzenie powtórnych badań balistycznych już znanych przypadków i efektów. Skupiono się nad sformułowaniem nakazu utrzymywania sprawności budowli i urządzeń zabezpieczających na odkrytych strzelnicach w Policji, Straży Granicznej i Biurze Ochrony Rządu, ich okresowej obsługi technicznej i konserwacji.

Wnioski w tym zagadnieniu przedstawiono w projekcie rozporządzenia.

5. BADANIA SYMULACYJNE BALISTYKI ZEWNĘTRZNEJ POCISKÓW NABOJÓW PISTOLETOWYCH, ŚRUTOWYCH I POCISKÓW TYPU BRENEKA

Podczas wykonywania niniejszej pracy badawczo – wdrożeniowej nie prowadzono pełnego zakresu badań balistycznych, wykorzystując już posiadane dane z symulacji komputerowej.

Wyniki symulacyjne zweryfikowano badaniami empirycznymi na specjalnie zbudowanej strzelnicy na potrzeby badań. Wyniki symulacji w pełni zgadzały się z badaniami terenowymi. Symulacji dokonano autorskim programem komputerowym.

Dla zobrazowania możliwości prowadzenia symulacyjnych badań balistycznych niżej przedstawiono przykładowe wyniki symulacji komputerowej dla wybranych nabojów:

Na załączonych wybranych wykresach symulacji torów pocisków oraz ich rykoszetów, dla zmiennych warunków początkowych, określonych odpowiednio dla:

- punktu wylotu pocisku z lufy;
- punktu odbicia pocisku od przeszkody (rykoszetowania).

Na wykresach na osi rzędnych przedstawiono wysokość lotu pocisku w [m] natomiast na osi odciętych – poziomą odległość od punktu upadku w [m], mierzonego bądź od punktu wylotu pocisku z lufy, bądź od punktu odbicia (rykoszetowania pocisku).

Na wykresach tych stosowane są następujące oznaczenia:

C_{nom} - nominalna wartość początkowa współczynnika balistycznego pocisku;

V_{nom} - nominalna wartość prędkości początkowej [pocisku];

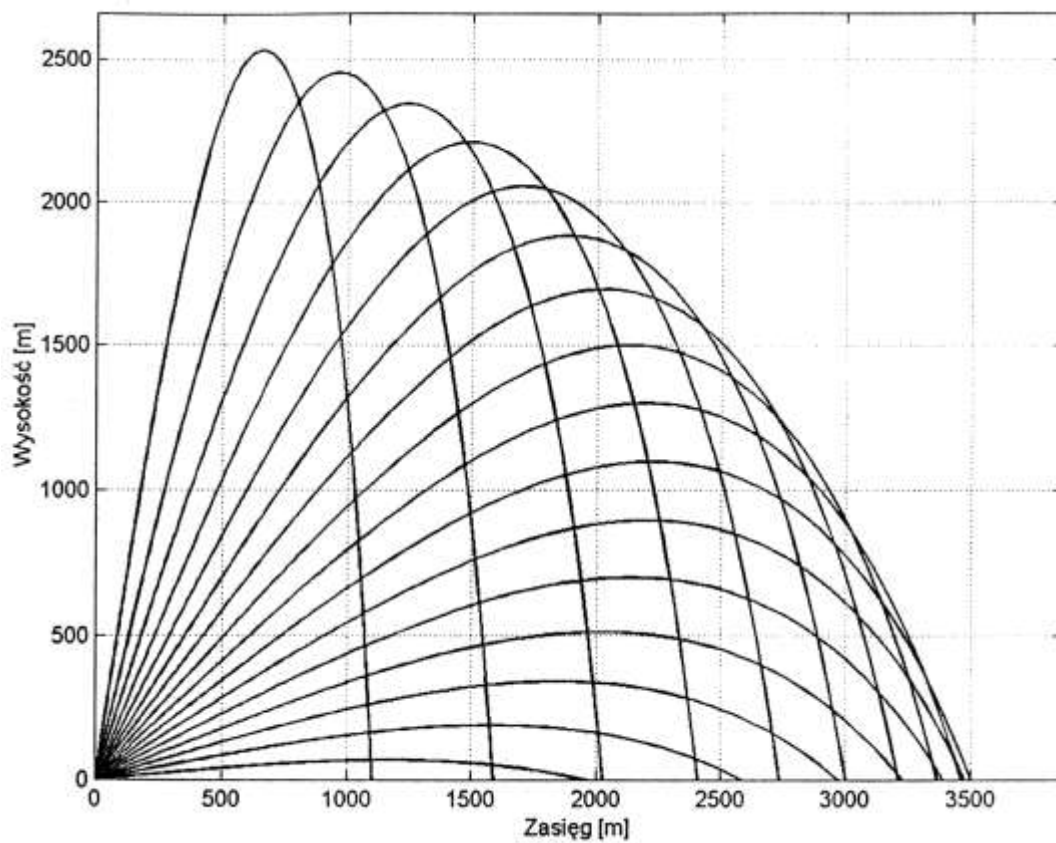
$C_{nom} \cdot \gamma, \circ$ - 2,5 oznacza współczynnik zmiany C_{nom} w wyniku deformacji kształtu pocisku w chwili odbicia od przeszkody (rykoszetowania)

$V_{nom} \cdot \sigma, \gamma$ - 0,2 – współczynnik zmiany V_{nom} po odbiciu od przeszkody (rykoszetowaniu)

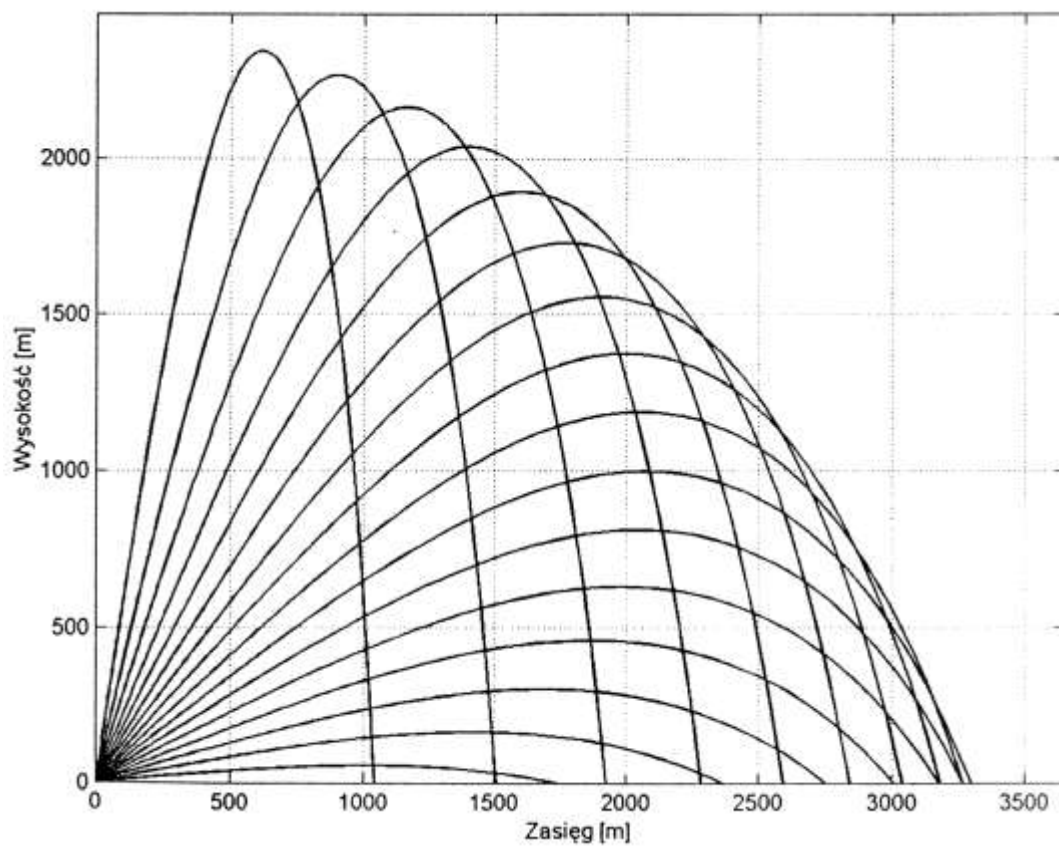
Na kolejnych rysunkach (wykresach) zobrazowano wyniki symulacji torów lotu pocisków dla różnych warunków początkowych lotu, odpowiednio dla pocisków:

- 7,62 mm poc. ŁPS naboju karabinowego – Rys. 5.1 - 5.4;
- 7,62 mm poc. PS naboju pośredniego wz. 43 - Rys. 5.5 - 5.8;
- 9 mm poc. FMN naboju pistoletowego typu „PARABELLUM” – Rys. 5.9 - 5.12.

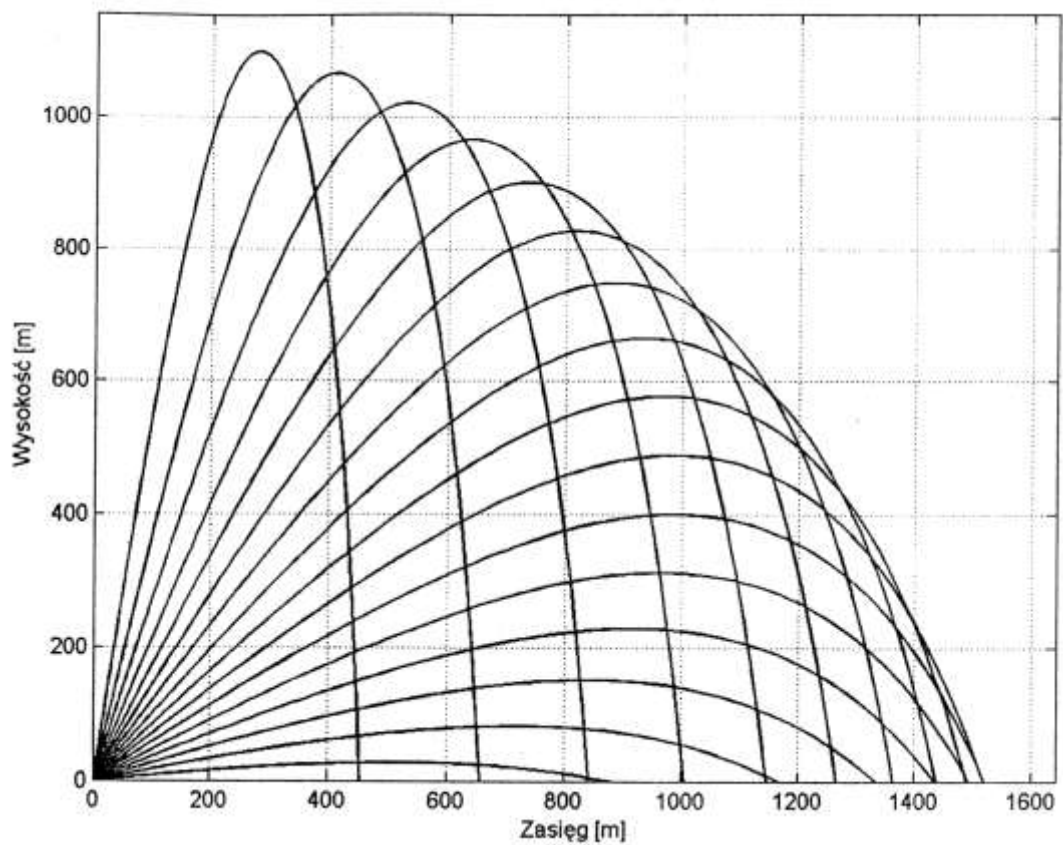
Zaprezentowane wykresy przedstawiają zależności parametrów wprowadzonych jako warunki brzegowe dla danego rodzaju naboju. Przedstawione wykresy balistyczne obrazują niektóre warianty zachowania się pocisku (oraz rykoszetu) na torze lotu.



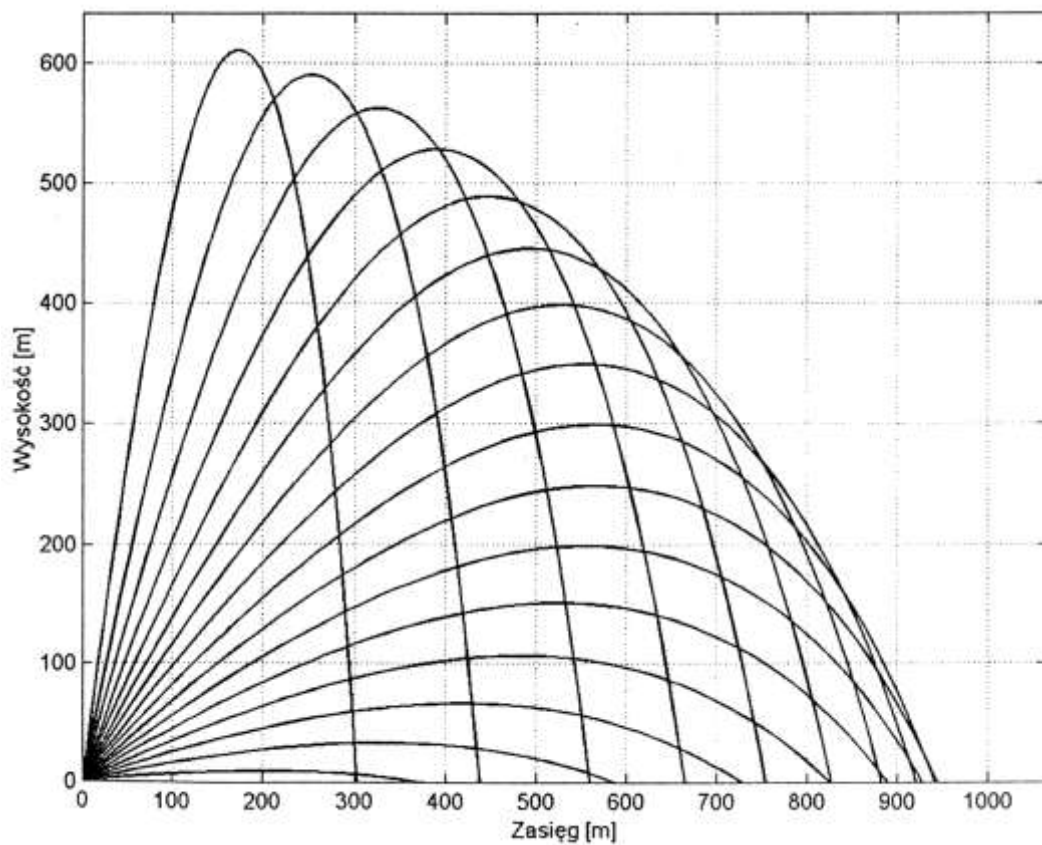
Rys. 5.1. 7,62mm nabój karabinowy „MOSINA”, pocisk ŁPS, C_{nom} , V_{nom}



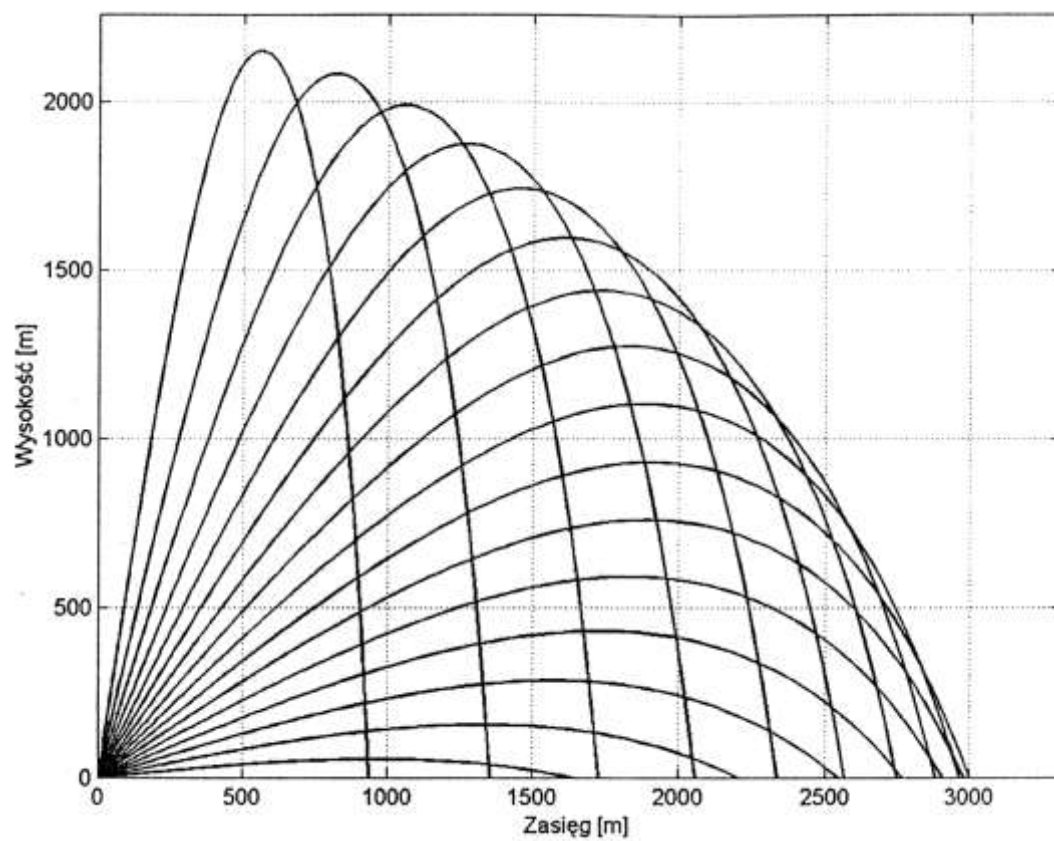
Rys. 5.2. 7,62mm nabój karabinowy „MOSINA”, pocisk ŁPS, C_{nom} , $V_{nom} \cdot 0,8$



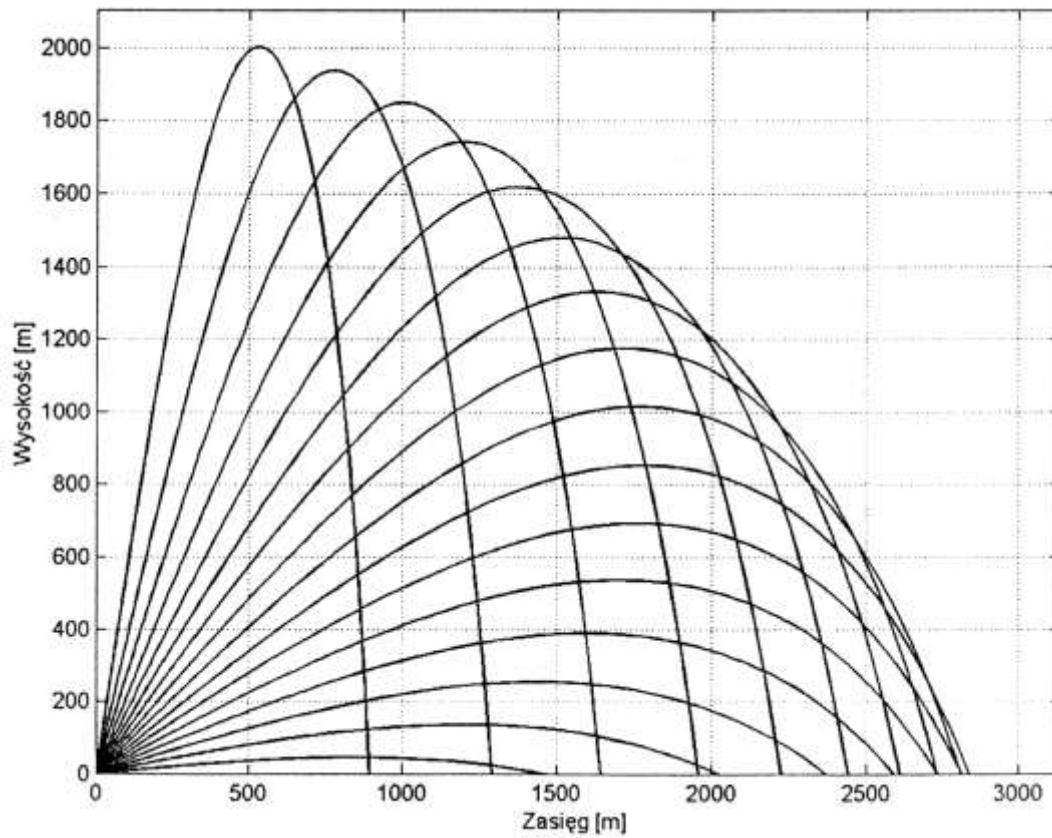
Rys. 5.3. 7,62mm nabój karabinowy „MOSINA”, pocisk ŁPS, $C_{nom} \bullet 2,5$, $V_{nom} \bullet 0,5$



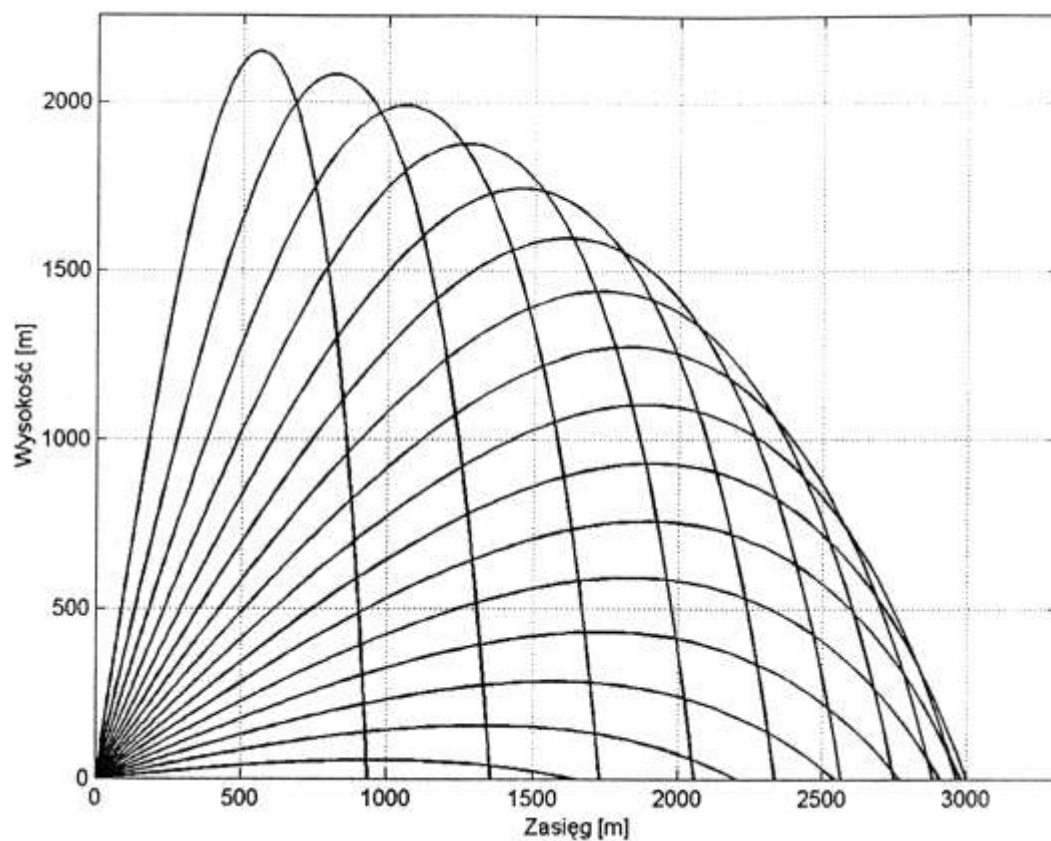
Rys. 5.4. 7,62mm nabój karabinowy „MOSINA”, pocisk ŁPS, $C_{nom} \bullet 2,5$, $V_{nom} \bullet 0,2$



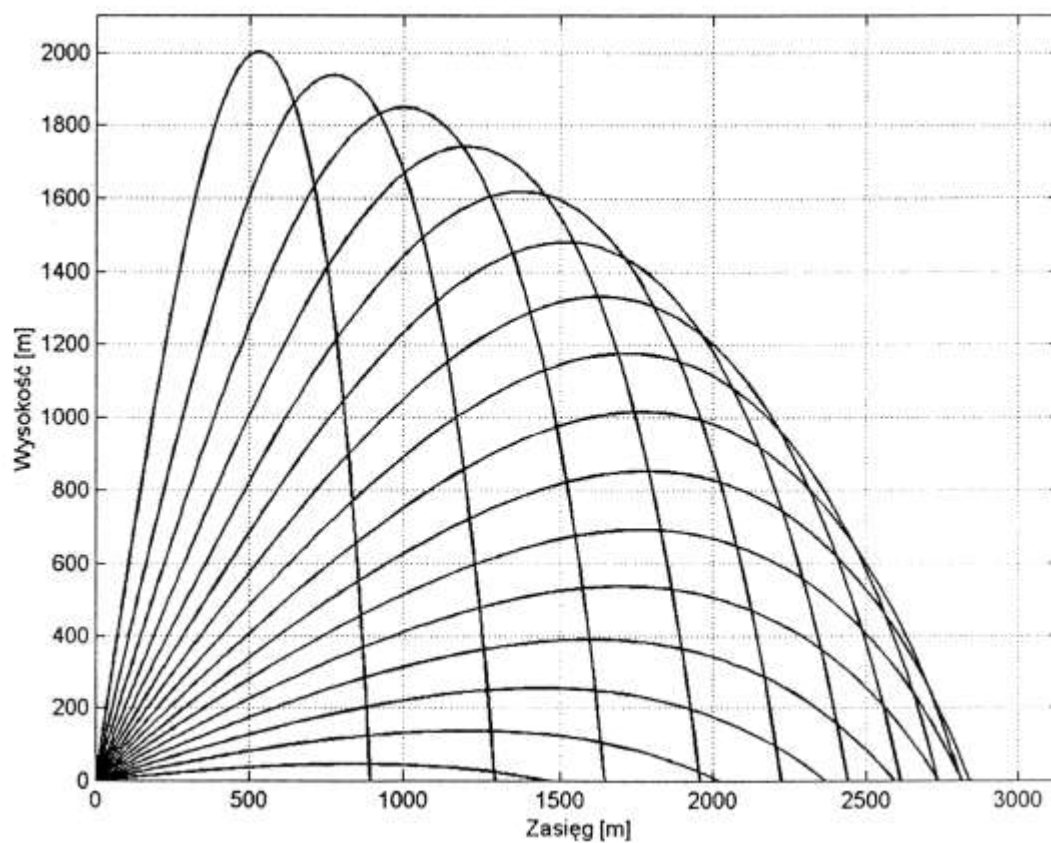
Rys. 5.5. 7,62mm nabój wz.43, pocisk PS, C_{nom} , V_{nom}



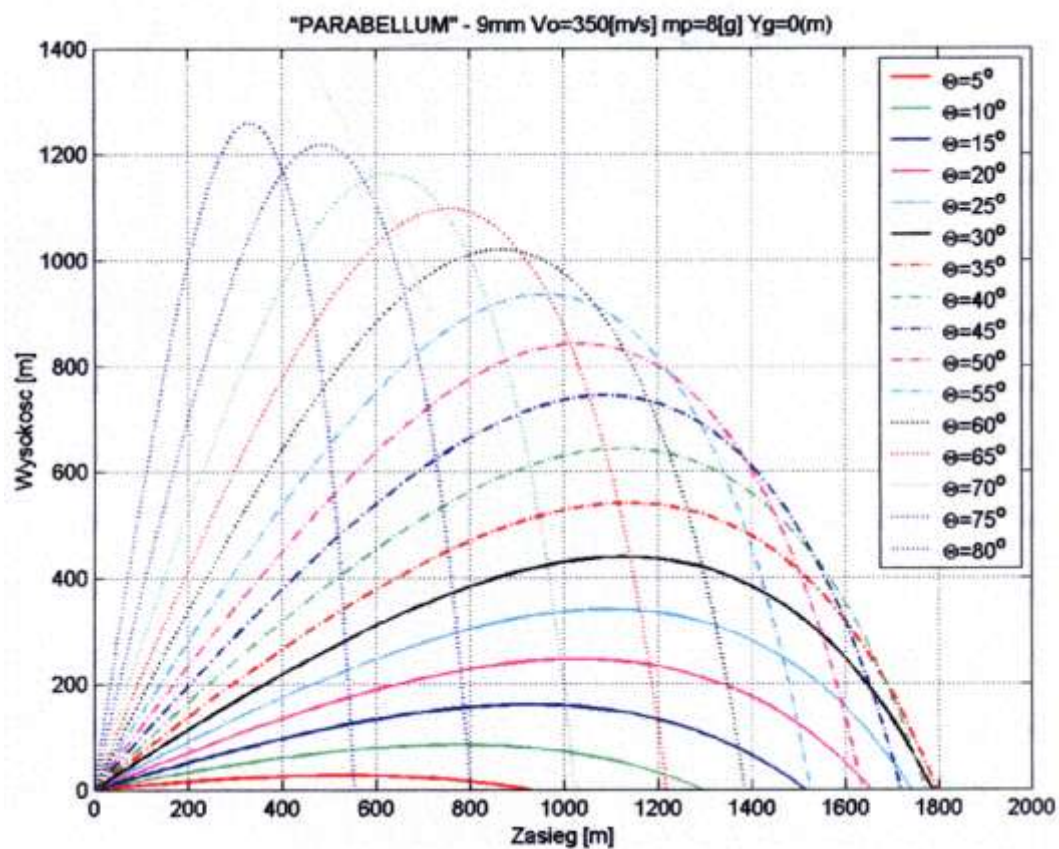
Rys. 5.6. 7,62mm nabój wz.43, pocisk PS, C_{nom} , $V_{nom} \cdot 0,8$



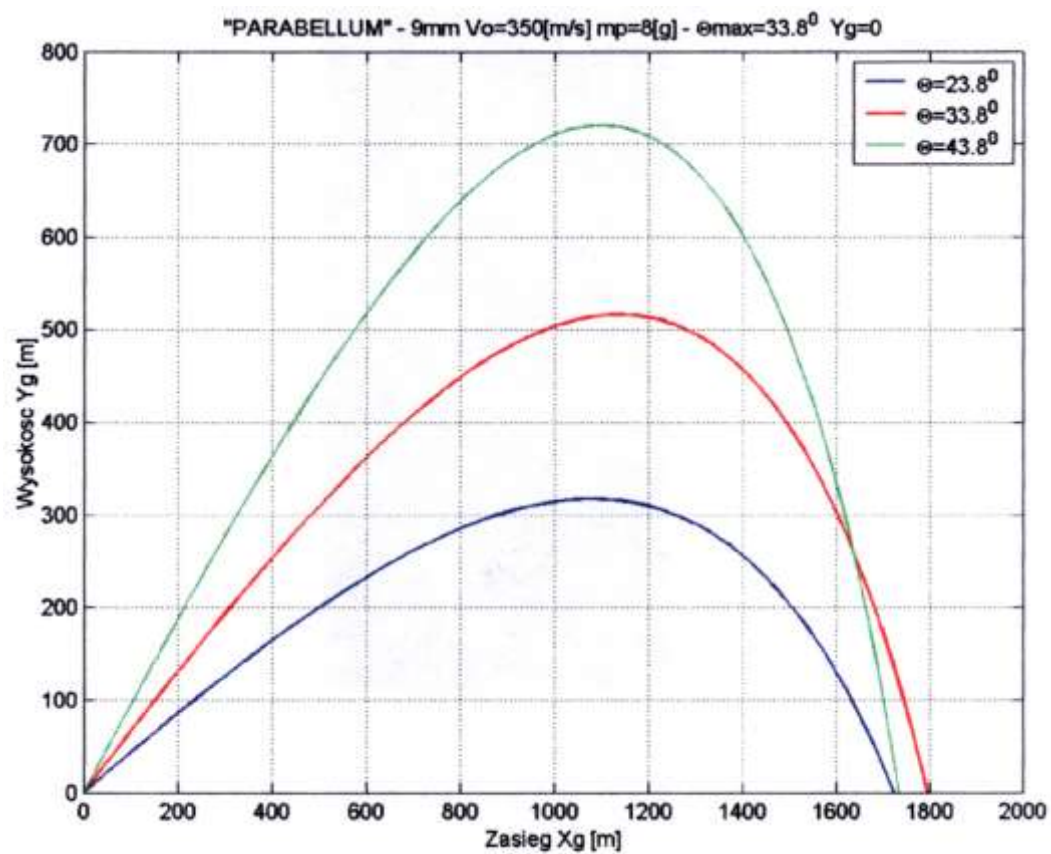
Rys. 5.7. 7,62mm nabój wz.43, pocisk T-45, C_{nom} , V_{nom}



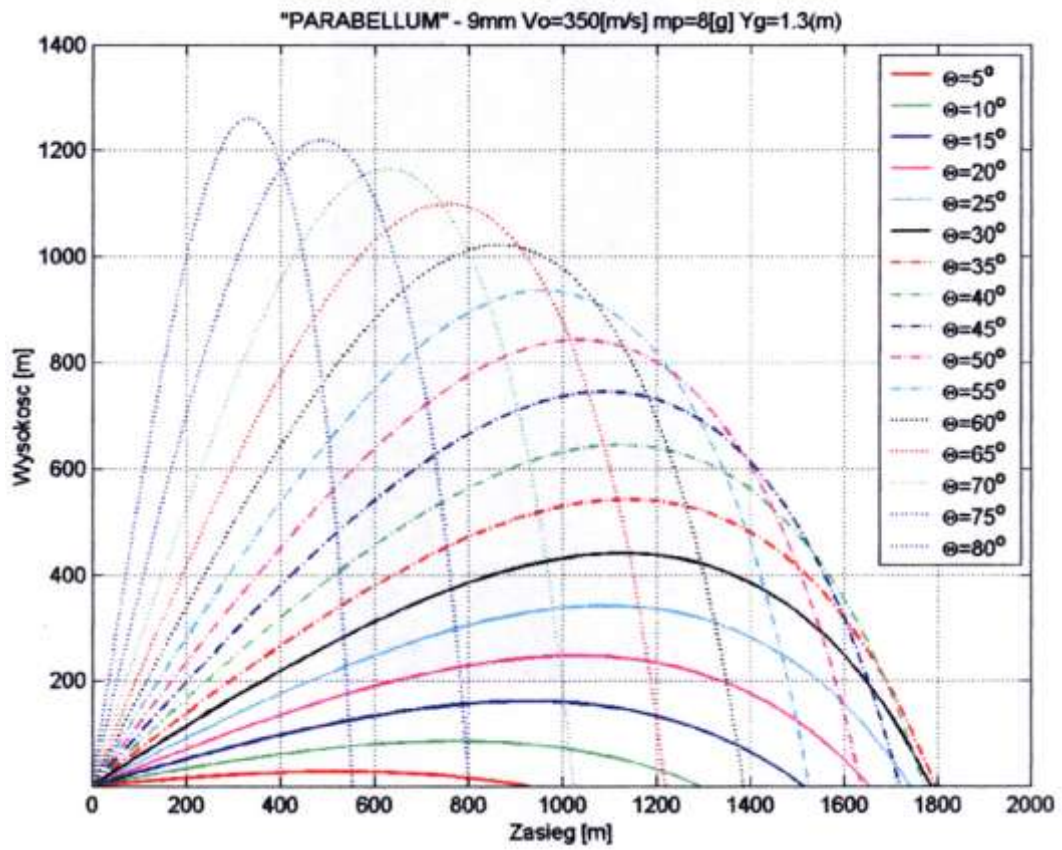
Rys. 5.8. 7,62mm nabój wz.43, pocisk T-45, C_{nom} , $V_{nom} \cdot 0.8$



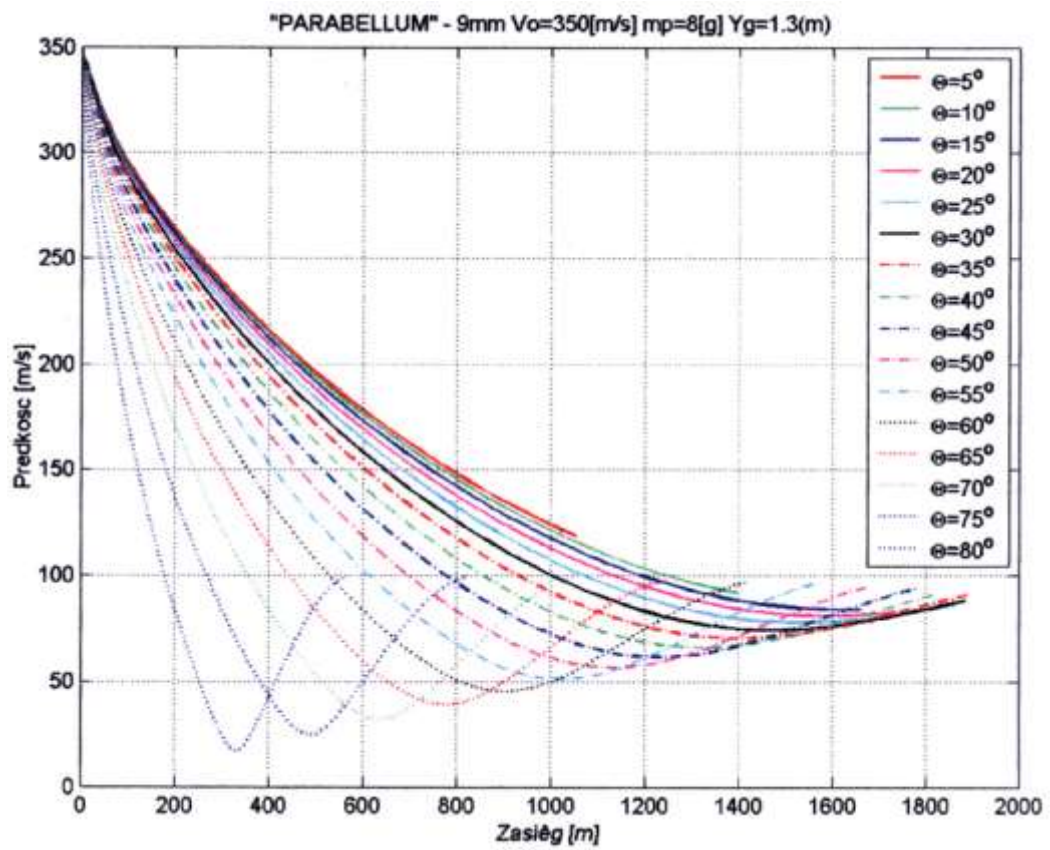
Rys. 5.9.



Rys. 5.10.



Rys. 5.11.



Rys. 5.12.

6. OPRACOWANIE WYNIKÓW PRZEPROWADZONYCH BADAŃ UZUPEŁNIAJĄCYCH, W TYM SFORMUŁOWANIE PARAMETRÓW NIEZBĘDNYCH BUDOWLI I URZĄDZEŃ ZABEZPIELAJĄCYCH DLA ZMINIMALIZOWANYCH WIELKOŚCI STREF OCHRONNYCH

Z przeprowadzonej analizy i badań dodatkowych wynika, że maksymalny zasięg pocisków pistoletowych, wystrzeliwanych z linii otwarcia ognia wynosi ok. 1900 m.

Występujące różnice mas pocisków nieznacznie wpływają na zasięg maksymalny, a uchylenia w głąb, wynikające z dokładności wykonania amunicji, jak i cech konstrukcyjnych broni mieszczą się w granicach elipsy rozrzutu.

Aby sformułować parametry niezbędnych budowli i urządzeń zabezpieczających dla strzelnic o zminimalizowanych wielkościach stref ochronnych, przeanalizowano oddziaływanie pocisków lub rykoszetów na organizm ludzki.

6.1. Rażące oddziaływanie pocisków

Rażące oddziaływanie pocisków w odniesieniu do organizmu ludzkiego, proponuje się charakteryzować następująco:

1) rażenie skuteczne - zranienie ciężkie lub śmiertelne;

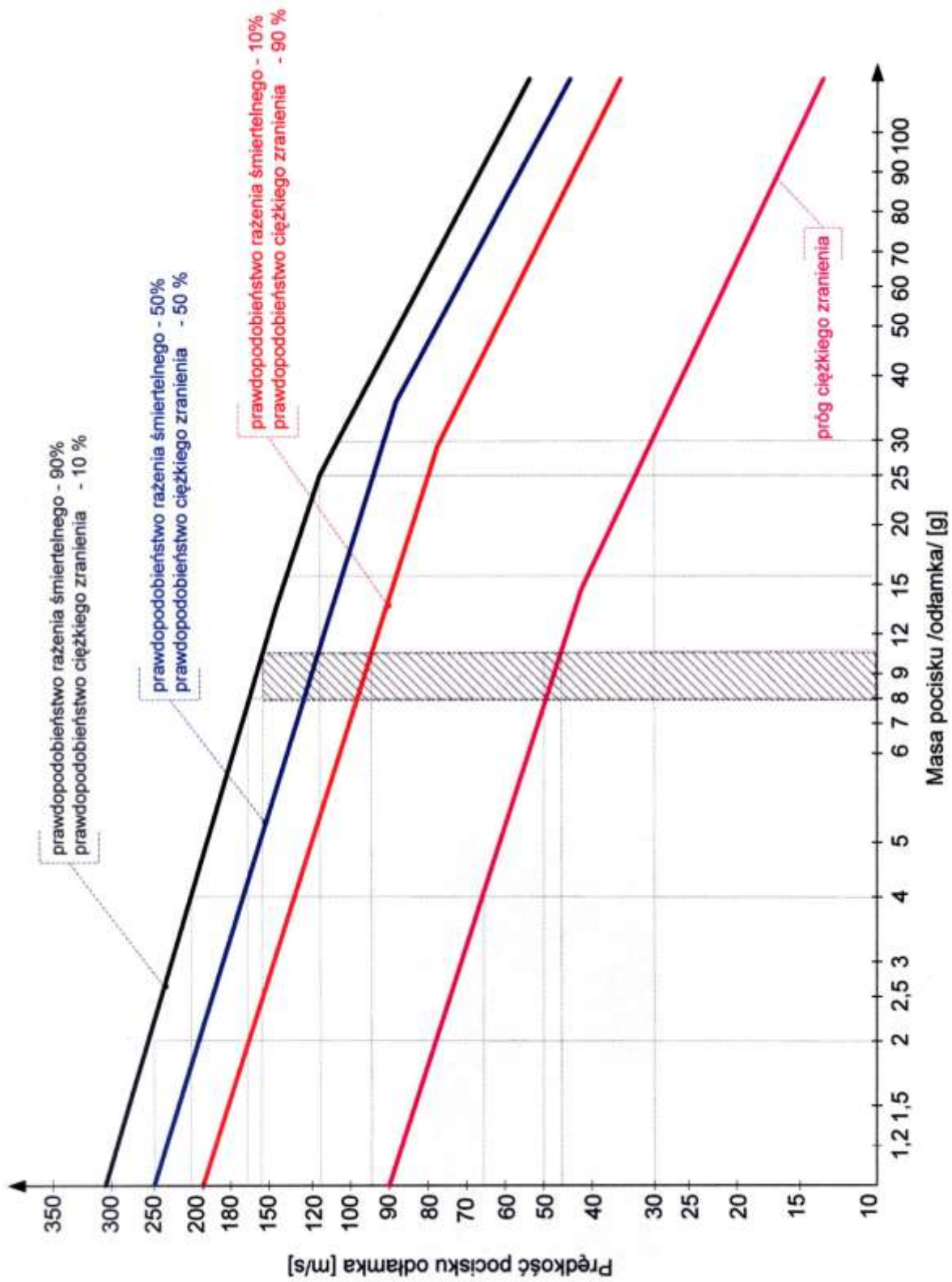
Rażenie skuteczne może być wynikiem penetracji warstwy skóry, ciała, a następnie uszkodzeń zakłócających czynności organów wewnętrznych wskutek hydrodynamicznego udaru, pochodzącego od uderzenia zewnętrznego lub penetracji warstwy skóry.

Jako praktyczne kryterium rażenia skutecznego przyjęte jest stosowane, w odniesieniu do amunicji wojskowej lub odłamków, kryterium przebicia deski z suchego drewna sosnowego o grubości 25 mm.

Nomogram do określania statystycznych poziomów oddziaływań przedstawia załączony rysunek.

2) zranienie – naruszenie ciągłości naskórka, płytkie wnikięcie w warstwę podskórną

Jako kryterium zranienia przyjęto tzw. próg prędkości niebezpiecznej (Oznaczenie V_{50}).



Poziomy oddziaływań uderzeń pocisków na narządy wewnętrzne oraz kończyny człowieka
(uderzenia pocisków bez przenikania warstwy skórnej)

V_{50} jest to prędkość uderzenia pocisku w odkrytą skórę człowieka dorosłego, powodująca w 50 % przypadków przecięcie (pęknięcie skóry). Oznacza to, że V_{50} jest prędkością uderzenia pocisku powodującą, z prawdopodobieństwem wynoszącym 0,5, kontuzje lub powierzchowne obrażenia skórnej warstwy ciała.

V_{50} jest liniową funkcją charakterystyki $\frac{A}{M}$ pocisku tj. odwrotności obciążenia jego przekroju.

$$V_{50} = 1247,1 \frac{A}{M} + 22,03 \text{ [m/s]}$$

gdzie: $A \text{ [m}^2\text{]}$ – przekrój poprzeczny pocisku;
 $M \text{ [kg]}$ – masa pocisku.

Powyższą zależność można stosować dla zakresu:

$$M \leq 0,015 \text{ kg} \quad \text{ i } \quad \frac{A}{M} \leq 0,09 \text{ m}^2/\text{kg}$$

Przykładowo dla 9 mm pocisku FMJ PARABELLUM

$$V_{50} = 32,942 \text{ [m/s]}$$

Jako obliczeniowy próg niebezpieczeństwa przyjęto określoną w normie WPN – 93/c-03010, dopuszczalną jednostkową energię kinetyczną pocisku (lub rykoszetu) w chwili uderzenia wynoszącą odpowiednio:

$$E_N \geq 11 \text{ [J/cm}^2\text{]} \text{ - dla krawędzi ostrych;}$$

$$E_N \geq 17 \text{ [J/cm}^2\text{]} \text{ - dla pocisku o powierzchniach gładkich}$$

6.2. Wymagania dla budowli i urządzeń zabezpieczających niezbędnych dla strzelnic przy zminimalizowanych wielkościach stref ochronnych.

Obliczenia balistyki zewnętrznej pocisków naboju stosowanych na strzelnicach wykazały, że maksymalny niezakłócony dołot pocisków może wynosić:

- pocisk ŁPS naboju karabinowego – ok. 3.500 m
- pocisk PS naboju pośredniego - 3.000 m;
- pocisk FMJ naboju pistoletowego - 1800 m.

Biorąc pod uwagę stosunkowo duże rozmiary wymaganych stref ochronnych dla zmniejszenia tych stref należy stosować dodatkowe osłony techniczne i zadaszenia.

Strefy ochronne (strefę niebezpieczną) strzelnicy można ograniczyć do terenu zewnętrznego strzelnicy (powiększonego o pas terenu niezbędnego do wykonywania czynności obsługowych) określonego zewnętrznymi liniami podstaw kulochwyty głównego i zabezpieczeń bocznych oraz linią wyjściową, po zastosowaniu dodatkowych przesłon pionowych, skośnych, pawilonu strzeleckiego i zadaszeń kulochwyty głównego.

Każda strzelnica o zmniejszonych strefach ochronnych powinna mieć:

- oznaczoną linię wyjściową i linię otwarcia ognia;
- pawilon strzelecki – na linii otwarcia ognia;
- zabezpieczenia boczne;
- zadaszony kulochwyt główny;
- przesłony pionowe, skośne ograniczające górną strefę strzelań;
- ogrodzoną i oznakowaną zmniejszoną strefę niebezpieczną.

Do ochrony biernej strzelnic proponuje się następujące materiały do budowy zabezpieczeń technicznych strefy strzelań:

- beton zbrojony klasy B-20, B-30, o grubości 0,1 m;
- ubity żwir o granulacji 5 - 15 mm w warstwie 0,2 m w dwustronnym szalunku drewnianym, wykonanym z desek o grubości 32 mm, jednostronnie wzmocniony blachą stalową St3 o grubości 3 – 5 mm;
- ziemia uformowana w pryzmę o kącie spadku 45° i szerokości korony 0,6 - 1 m;
- blachy stalowe ze stali St3 o grubości 3 – 12 mm, zależnie od wymaganej w projekcie odporności na przebicia.

Oprócz wyżej wymienionych materiałów, już stosowanych, można zastosować inne, nowe materiały posiadające odpowiednie dopuszczenia i certyfikaty jakościowe.

7. WYZNACZENIE WIELKOŚCI STREF OCHRONNYCH DLA ODKRYTEJ STRZELNICY KARABINOWEJ, PISTOLETOWEJ I STRZELNICY DLA STRZELB GŁADKOLUFOWYCH, W OPARCIU O WYNIKI BADAŃ TEORETYCZNYCH I DOŚWIADCZALNYCH

W strzelnicach odkrytych integralną częścią systemu zabezpieczeń jest strefa ochronna.

W wyniku przeprowadzonych badań teoretycznych i praktycznych stwierdzono, że losowy rozlot rykoszetów jest zbliżony do matematycznego modelu, w przypadku zastosowania statystycznej liczności zdarzeń.

Wobec takiego ujęcia, eliminacja zagrożenia przez rykoszety możliwa jest poprzez wyznaczenie stref ochronnych, ze skutkami ograniczeń działalności gospodarczej i społecznej w tych rejonach.

Badania praktyczne na modelowej strzelnicy potwierdziły wyniki uzyskane z symulacji komputerowej i bilansów energetycznych zjawiska strzału i balistyki zewnętrznej.

Mimo rozbudowy technicznej strzelnicy, nadal notowano rykoszety, które wylatywały poza strefę strzelań. Przeważająca liczba tych rykoszetów upadła w niewielkiej odległości od strzelnicy.

Pomiary parametrów rykoszetów wykonano urządzeniem radiolokacyjnym DR-5000. Pole rozlotu niebezpiecznych rykoszetów (o energii większej niż 50 [J/m²]) podzielono na dwie strefy, nazwane strefą niebezpieczną i strefą zagrożenia.

Strefę ochronną strzelnicy odkrytej stanowi:

- **strefa niebezpieczna** – rejon upadku rykoszetów o energii większej niż 110 [J/cm²]. Energia ta w skutkach może doprowadzić do ciężkiego zranienia lub zejścia śmiertelnego.

- **strefa zagrożenia** – strefa upadku rykoszetów o energii z przedziału od 50 do 110 [J/cm²]. Energia ta w skutkach może doprowadzić do lekkiego zranienia.

Strefa niebezpieczna to teren, na którym nie mogą znajdować się, poza budynkami i pomieszczeniami służącymi do bezpośredniej obsługi strzelnicy, budynki i pomieszczenia przeznaczone na stały i czasowy pobyt ludzi, drogi publiczne i kolejowe,

lotniska i pola wylotów oraz obowiązuje zakaz przebywania ludzi, zwierząt hodowlanych i lokalizacji mienia niezwiązanego z obsługą strzelnicy.

Strefa zagrożenia to teren, na którym zakazana jest budowa magazynów amunicji i materiałów wybuchowych oraz składów i stacji paliw, a także budownictwa i działalności gospodarczej, usługowej, sportowej itp., także gromadzenia większych grup ludzi, miejsc kultu, zgromadzeń, obiektów sportowych i rekreacyjnych.

Wymagane jest, by strefa ochronna była oznakowana tablicami o ostrzegawczej treści, a strefa niebezpieczna dodatkowa ogrodzona.

Jeżeli strefa bezpieczeństwa wykracza poza teren właściciela lub teren w stałym zarządzie użytkownika (lub zarządcy) należy strefę ochronną uzgodnić i ująć w planie przestrzennego zagospodarowania miejscowego urzędu administracji terenowej.

Strefa niebezpieczna obejmuje teren w odległości:

- 1) **150,00 m** od skrajnych zewnętrznych krawędzi podstaw kulochwyty głównego i prawego zabezpieczenia bocznego,
- 2) **50,00 m** od skrajnej zewnętrznej krawędzi podstawy lewego zabezpieczenia bocznego i linii otwarcia ognia.

Strefa zagrożenia obejmuje teren:

- 1) dla strzelnic odkrytych klasy I – wielkości strefy niebezpiecznej,
- 2) dla strzelnic odkrytych klasy II i III - strefy niebezpiecznej powiększony:
 - a) za kulochwytem głównym - o pas terenu szerokości strefy niebezpiecznej i głębokości do promienia¹ o długości Rz, licząc od linii otwarcia ognia;
 - b) na lewo od strefy niebezpiecznej - o teren w kształcie wycinka koła ograniczony promieniem o długości Rz, wyprowadzonym z punktu przecięcia linii otwarcia ognia i lewej krawędzi strefy niebezpiecznej, odchylonym w lewo od krawędzi strefy niebezpiecznej o kąt 30°,

¹

c) na prawo od strefy niebezpiecznej - o teren w kształcie wycinka koła ograniczony promieniem o długości R_z , wyprowadzonym z punktu przecięcia linii otwarcia ognia i prawej krawędzi strefy niebezpiecznej, odchylonym w prawo od krawędzi strefy niebezpiecznej o kąt 60° .

3. Długość promienia R_z wynosi:

- 1) dla strzelnic odkrytych **klasy III - 3.500 m**,
- 2) dla strzelnic odkrytych **klasy II o stałej linii otwarcia ognia** - ustalany jest w przedziale **od 150 do 3.500 m**, w zależności od warunków lokalizacyjnych i usytuowania dodatkowych przesłon pionowych i zadaszeń,
- 3) dla strzelnic odkrytych **klasy III o zmiennej linii otwarcia ognia**:
 - a) typu "kb -300" - **1.000 m**,
 - b) typu "kb -200" - **800 m**,
 - c) typu "kb -100" - **500 m**.
- 4) dla strzelnicy pistoletowej i strzelnicy specjalnej lub strzelnicy pistoletowej i broni gładkolufowej - strefy zagrożenia nie wyznacza się.

Wymiary stref ochronnych uwarunkowane są rodzajem strzelania oraz typem broni strzeleckiej i amunicji (pistoletowa, karabinowa) i innymi warunkami technicznymi i organizacyjnymi strzelania.

8. OPRACOWANIE WSTĘPNEGO PROJEKTU „ROZPORZĄDZENIA MINISTRA SPRAW WEWNĘTRZNYCH I ADMINISTRACJI W SPRAWIE WARUNKÓW TECHNICZNYCH, JAKIM POWINNY ODPOWIADAĆ ODKRYTE STRZELNICE W POLICJI, STRAŻY GRANICZNEJ I BIURZE OCHRONY RZĄDU ORAZ ICH USYTUOWANIE”.

Projekt wstępny „Rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać odkryte strzelnice w Policji, Straży Granicznej i Biurze Ochrony Rządu oraz ich usytuowanie” zawiera Część II tematu umownego.

9. ZAKOŃCZENIE

Realizacja przedmiotowego zadania przez Wykonawcę wymagała skorzystania z wyników dotychczasowych badań balistycznych jak i dotychczasowych doświadczeń, zdobywanych podczas wykonywania ekspertyz strzelnic wojskowych, w Policji, Straży Granicznej i Biurze Ochrony Rządu. Podstawą realizacji pracy były akta prawne i przepisy normatywne obowiązujące w resorcie Ministerstwa Obrony Narodowej – w stosunku do strzelnic wojskowych i Decyzji Komendanta Głównego Policji nr 703 – razem wzięte - w stosunku do strzelnic w Policji, Straży Granicznej i BOR.

Ze względu na dużą różnicę w procesie szkolenia strzeleckiego w Wojsku i Policji, Straży Granicznej i BOR, przeprowadzono ponadto dodatkowe badania symulacyjne oraz obserwowano strzelanie typowe dla Policji na typowej strzelnicy do strzelań wg programu szkolenia funkcjonariuszy Policji. Obserwacje oraz dwa seminaria, poświęcone formułowaniu Rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji w ostateczności pozwoliły na zakończenie prac nad tym dokumentem w umownym czasie.

* * *