

Zjawisko strzału

Balistyka jest to nauka zajmująca się ruchem pocisku (granatu) Ruch pocisku dzielimy na dwa etapy:

- ruch pocisku w przewodzie lufy pod wpływem działania gazów prochowych powstałych podczas palenia się ładunku prochowego;
- ruch pocisku w powietrzu, od chwili jego wylotu z przewodu lufy do spotkania z celem (ziemią, przeszkodą).

W zależności od sił (czynników) działających na pocisk dzielimy balistykę na **wewnętrzną** i **zewnętrzną**.

Balistyka wewnętrzna — zajmuje się ruchem pocisku w przewodzie lufy pod działaniem gazów prochowych powstających podczas spalania ładunku prochowego i innych pozostałych zjawisk wpływających dodatnio lub ujemnie na ten ruch. Jej głównym zadaniem jest rozwiązanie zagadnienia osiągnięcia jak największej prędkości pocisków określonego ciężaru i kalibru, bez przekroczenia dopuszczalnej granicy ciśnienia gazów przewodzie lufy.

Balistyka zewnętrzna — rozpatruje ruch pocisku w powietrzu po ustaniu działania gazów prochowych na dno pocisku, tj. po wylocie pocisku z przewodu lufy. Zadaniem jej jest określenie wielkości kąta podniesienia i prędkości początkowej, z jaką powinien być wystrzelony pocisk określonego kalibru, ciężaru i kształtu, aby osiągnął żadaną odległość lub trafił w cel. Oprócz tego rozróżniamy jeszcze balistykę celu i balistykę pośrednią.

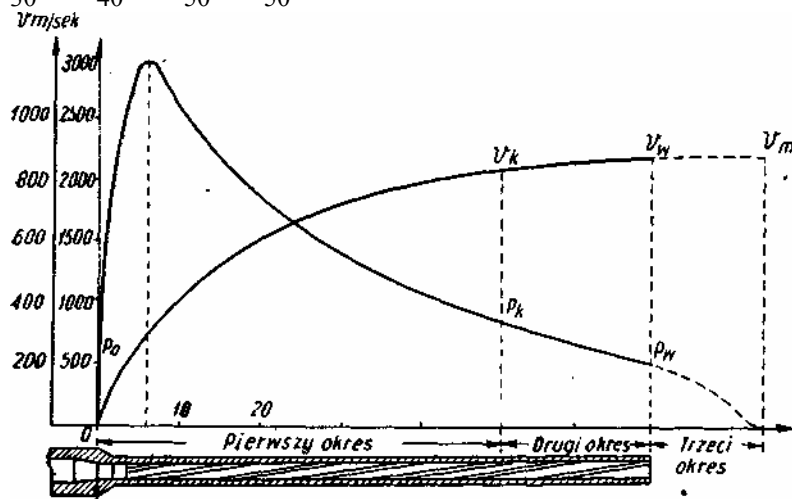
Balistyka pośrednia — bada ruch pocisku w pewnej odległości po opuszczeniu przewodu lufy (dla broni strzeleckiej 5—50 cm), gdy gazy wywierają jeszcze pewien wpływ na pocisk nadając mu niewielkie dodatkowe przyspieszenie.

Ciśnienie gazów na dno łuski powoduje wciśnięcie dna w czółko zamka. Pod wpływem ciśnienia na ścianki łuski następuje ścisłe przyleganie ich do ścianek komory nabojojowej, zapobiegające przerwaniu się gazów do tyłu. Gazy prochowe rozprzestrzeniają się w stronę najmniejszego oporu, tzn. dna pocisku, wprawiając pocisk w ruch. Pocisk wskutek ruchu do przodu wrzyna się w gwinty, otrzymując ruch wirowy i zostaje wyrzucony z przewodu lufy w kierunku przedłużenia osi przewodu lufy. Na tym polega **z j a w i s k o s t r z a ł u**. Przebiega ono bardzo szybko. Na przykład, pocisk w lufie karabinu wz 1891/30 - leci około 0,0015 sek. W miarę palenia się ładunku prochowego ciśnienie gazów wzrasta, osiągając wielkość potrzebną do zupełnego werżnięcia się pocisku w gwinty. Ciśnienie to nazywa się ciśnieniem forsującym P_0 . Dla broni strzeleckiej ciśnienie to wynosi 250—500 kg/cm^2 .

Okres zjawiska strzału w którym zachodzi proces palenia się ładunku prochowego w stałej objętości i zwiększaniu się ciśnienia P_0 , nazywa się **okresem wstępnym**.

Pkg/cm^2 P_m

30 40 50 50



Po okresie wstępnym następuje **pierwszy lub główny** okres zjawiska strzału, podczas którego odbywa się palenie ładunku prochowego w szybko zmieniającej się objętości. Okres ten trwa od momentu uzyskania ciśnienia maksymalnego, aż do zupełnego spalania się ładunku prochowego. Pocisk pod działaniem stale rosnącej ilości gazów prochowych zostaje wprawiony w ruch w przewodzie lufy. Ciśnienie w pierwszym okresie szybko wzrasta, osiągając maksimum P_m , ponieważ w początkowym okresie szybkie narastanie ilości gazów odbywa się w czasie stosunkowo powolnego zwiększania się objętości w przestrzeni pozapociskowej. W broni strzeleckiej maksymalne ciśnienie osiąga 2500—400 kg/cm^2 (w karabinie maksymalne ciśnienie występuje w chwili przebycia przez pocisk 4—6 cm drogi). Maksymalne ciśnienie w karabinku małokalibrowym dochodzi do 1300 kg/cm^2 . Większe ciśnienie powoduje znaczne przyspieszenie ruchu pocisku w przewodzie lufy, a zatem znaczne zwiększenie przestrzeni pozapociskowej. Dlatego też

mimo przyrostu ilości gazów ciśnienie zaczyna spadać, osiągając w końcowym okresie palenia się ładunku prochowego wielkość P_k , a prędkość pocisku cały czas wzrasta do granicy V_k .

Po spaleniu się ładunku prochowego kończy się dopływ nowych gazów. Ponieważ gazy mają duży zapas energii, powoduje to dalsze ich rozprzestrzenianie się i zwiększanie prędkości poruszania się pocisku. Jest to **drugi okres zjawiska strzału**, w którym pocisk porusza się wskutek działania stałej ilości swobodnie rozprzestrzeniających się gazów. Zjawisko strzału trwa zatem od momentu zakończenia palenia się ładunku prochowego do momentu wylotu pocisku z przewodu lufy. W tym okresie ciśnienie maleje do wielkości P_w , natomiast prędkość pocisku wzrasta do v_w . W broni strzeleckiej $P_w = 200\text{—}600\text{ kG/cm}^2$. W broni strzeleckiej całkowite spalanie się ładunku prochowego trwa do tego momentu, gdy pocisk znajduje się przy samym wylocie lufy; w broni o krótkich lufach (pistolety) nie zachodzi proces zupełnego spalania się ładunku prochowego, tj. drugi okres zjawiska strzału w rzeczywistości nie istnieje.

Trzeci okres lub okres wtórnego działania gazów, charakteryzuje się tym, że gazy wydobywające się z lufy w dalszym ciągu działają na pocisk. Po spaleniu się ładunku prochowego pocisk porusza się w dalszym ciągu pod działaniem -swobodnie rozprzestrzeniających się gazów, które wskutek swojej sprężystości mają jeszcze duży zapas energii. Wolniejsze rozprzestrzenianie się gazów zwiększa prędkość ruchu pocisku (v_m).

Gdy pocisk opuści przewód lufy, gazy wydobywają się na zewnątrz z większą szybkością aniżeli prędkość pocisku, przedłużając w ten sposób na pewnym odcinku od wylotu lufy (do 20 cm) ciśnienie na dno pocisku i zwiększając jeszcze bardziej jego prędkość. Zjawisko to trwa dopóty, dopóki przeciwdziałanie otaczającej atmosfery nie zrówna się z ciśnieniem gazów działających na dno pocisku. Prędkość ruchu pocisku w przewodzie lufy nieustannie wzrasta, osiągając swoją największą wielkość w odległości kilku centymetrów od wylotu lufy. W ten sposób ciśnienie gazów prochowych w przewodzie lufy najpierw gwałtownie wzrasta do wielkości P_o , następnie do wielkości P_m , po czym zaczyna opadać do wielkości P_w , tzn. do momentu wylotu pocisku z przewodu lufy i nadal opada do okresu wtórnego działania gazów (P_{atm}). Prędkość pocisku stale wzrasta, początkowo szybko, a następnie wolniej, osiągając wielkość V_m .

Ciśnienie gazów w momencie wylotu pocisku z przewodu lufy nazywamy ciśnieniem wylotowym. W karabinie wz. 1891/30 r. wynosi ono 416 kG/cm^2 , w karabinku małokalibrowym — około 200 kG/cm^3 .

Należy zaznaczyć, że narastanie ciśnienia gazów prochowych w przewodzie lufy w znacznej mierze zależy od gęstości załadowania ładunku prochowego. Zwiększenie gęstości załadowania ładunku prochowego znacznie zwiększa szybkość palenia się prochu, a tym samym narastanie ciśnienia gazów, aż do momentu powstania detonacji. Dlatego też należy unikać strzelania nabojami z głęboko osadzonymi pociskami.

Jak stwierdzono wyżej, zwiększenie wilgotności prochu powoduje zmniejszenie szybkości jego palenia się, a w związku z tym ciśnienie gazów w przewodzie lufy również będzie narastało wolniej. Dlatego też podczas strzelania wilgotnym ładunkiem prochowym jest możliwy spóźniony strzał, w którym między uderzeniem grotu iglicznego w spłonkę a hukem strzału zanotować można pewien odstęp czasu. Przy zwiększonej wilgotności ładunku prochowego i niedostatecznej sile spłonki, płomień zbitej spłonki nie są w stanie zapalić jednocześnie wszystkich ziaren prochowych. Zapalają one najbliżej położone ziarna prochu, od których z kolei zapalają się następne ziarna po pewnym okresie czasu. W związku z tym, jeżeli po uderzeniu iglicy w spłonkę nie nastąpi strzał, strzelający nie powinien spieszyć się z przeładowaniem broni; należy poczekać parę sekund, aby strzał nie nastąpił przy otwartym zamku, gdyż grozi to zranieniem strzelającego i uszkodzeniem broni.

Szczególnie ostrożnie należy obchodzić się z nabojami przechowywanymi przez długi okres czasu bez hermetycznego opakowania i w niedostatecznie suchym miejscu.

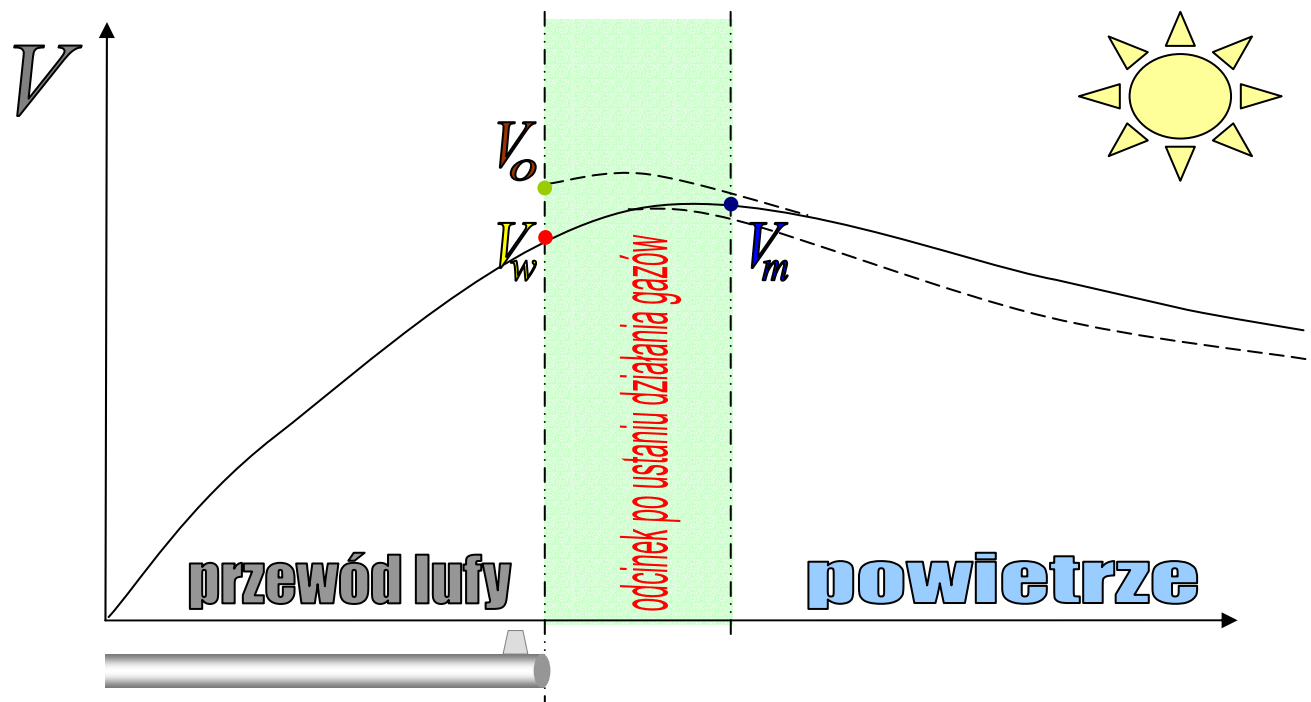
Dla każdego okresu zjawiska strzału balistyka wewnętrzna ustaliła dokładne formuły wykazujące zależność ciśnienia gazów i prędkości pocisku od czasu i drogi pocisku. Zależności te urno zliwiają rozwiązywanie głównych zadań balistyki wewnętrznej — obliczanie jaką prędkość otrzymuje pocisk o określonym ciężarze przy określonym ciśnieniu gazów w lufie.

Prędkość początkowa pocisku

Pocisk pod działaniem, ciśnienia gazów prochowych porusza się w przewodzie lufy coraz prędzej, osiągając swoją maksymalną prędkość na przestrzeni kilkunastu centymetrów od wylotu lufy. Poruszając się następnie pod wpływem inercji i napotykając na opór powietrza, zaczyna powoli zatracać otrzymaną prędkość w miarę upływu czasu lotu. Biorąc to pod uwagę wielkość prędkości lotu pocisku przyjęto oznaczać tylko na niektórych odległościach jego lotu. Zwykle oznacza się wielkość prędkości lotu pocisku przy wylocie jego z przewodu lufy.

Prędkość ruchu pocisku w momencie jego wylotu z przewodu lufy nazywamy prędkością początkową. Jest to odległość, jaką przebyłby pocisk w ciągu 1 sekundy po wylocie z przewodu lufy, jeśli na niego nie działała siła oporu powietrza i ciężkości. Jeżeli okres wtórnego działania gazów nie istniałby, to po wylocie pocisku z przewodu lufy prędkość jego (V_w) zaczęłaby się zmniejszać wskutek działania siły oporu powietrza. Jednakże w czasie okresu wtórnego działania gazów prędkość pocisku pod wpływem ich ciśnienia w dalszym ciągu wzrasta osiągając granicę V_m , a następnie zaczyna opadać wskutek działania siły oporu powietrza. Ponieważ okres wtórnego działania trudno jest określić, wielkość odcinka — na którym wtórne działanie gazów ma wpływ na zwiększenie prędkości — jest nieznaczną (do 50 cm dla broni strzeleckiej), wielkość rzeczywistą trudno jest obliczyć V_m .

W związku z tym wynika pytanie: jaką wielkość przyjąć za prędkość początkową pocisku? Aby odpowiedzieć na to pytanie rozpatrzmy poniższy schemat.



rys. Wpływ gazów prochowych na prędkość początkową pocisku

Linia ciągłą na powyższym schemacie jest oznaczona zmiana prędkości, początkowo w przewodzie lufy, następnie na odcinku wtórnego działania gazów i dalej w powietrzu. Jeżeli będziemy uważać, że odcinek wtórnego działania nie istnieje i przyjmujemy za prędkość początkową V_w . (zakładając, że w momencie wylotu pocisku z przewodu lufy zaczyna działać na niego siła oporu powietrza), to krzywa prędkości pocisku w powietrzu okaże się mniejsza od prędkości rzeczywistej (na schemacie jest oznaczona linią przerywaną z kropkami), co wypacza balistyczne wyliczenia. Prędkość pocisku u wylotu lufy tylko nieznacznie różni się od prędkości pocisku na małej odległości od wylotu lufy i dlatego przyjęto uważać, że największą prędkość ma pocisk w momencie wylotu z przewodu lufy, tzn., że prędkość początkowa pocisku jest prędkością największą (maksymalną).

Wielkość prędkości początkowej zależy od wielu czynników. Głównymi czynnikami są:

1. **Ciężar pocisku.** Zwiększając ciężar pocisku przy tym samym ładunku zmniejszy się wielkość prędkości początkowej; zmniejszając ciężar pocisku — V_o zwiększy się.
2. **Ciężar ładunku.** Zwiększenie ładunku przy tym samym ciężarze pocisku powoduje zwiększenie prędkości początkowej pocisku.
3. **Długość przewodu lufy.** W miarę zwiększania długości przewodu lufy wzrasta prędkość początkowa, ponieważ pocisk przez dłuższy okres czasu znajduje się pod wpływem ciśnienia gazów. Jednakże wzrost prędkości początkowej w miarę zwiększania długości przewodu lufy odbywa się do określonej granicy. Przy bardzo długim przewodzie lufy może okazać się, że siła działania gazów prochowych na pocisk będzie mniejsza od siły oporu pocisku w przewodzie lufy (powstałej wskutek tarcia); w tym wypadku prędkość pocisku znacznie się zmniejszy.
4. **Prędkość palenia się prochu.** Im większa jest prędkość palenia się prochu tym szybszy jest wzrost ciśnienia gazów na pocisk, a zatem szybszy jest wzrost prędkości ruchu pocisku w przewodzie lufy. Szybko palący się proch powoduje większe i szybciej narastające ciśnienie maksymalne niż proch spalający się wolniej. Natomiast cechą wolno spalającego się prochu jest wolniejszy spadek ciśnienia po uzyskaniu maksymalnej jego wielkości. Dlatego proch użyty w broni o długiej lufie (wolno palący się) może spowodować większą prędkość początkową, niż szybko palący się proch, który nadaje się bardziej do broni z lufą krótką (pistolety, pistolety maszynowe).

Odrzut broni i powstawanie kąta wylotu

Podczas palenia się ładunku prochowego powstałe gazy cisną z jednakową siłą na całą powierzchnię zajmowaną przez te gazy. Ciśnienie, które gazy wywierają na ścianki przewodu lufy, powoduje sprężyste ich rozszerzenie się; ciśnienie gazów na dno pocisku wywołuje szybkie przemieszczenie się lufy w dół; ciśnienie na dno łuski, a przez nią na zamek przekazywane jest całej broni i powoduje przesunięcie się broni w kierunku przeciwnym do ruchu pocisku. Można powiedzieć, że podczas strzału siła gazów prochowych jakby odrzucała broń i pocisk w przeciwnych kierunkach. Ruch broni do tyłu podczas strzału nazywamy odrzutem broni.

Ponieważ zjawisko to ma duży wpływ na skuteczność strzelenia, należy zaznaczyć, że zgodnie z zasadą mechaniki (jedna i ta sama siła działająca na ciała o różnej masie wywołuje ruch tych ciał z prędkością wprost proporcjonalną do ich masy) stwierdzamy że: PRĘDKOŚĆ ODRZUTU BRONI JEST TYLKO RAZY MNIEJSZA OD PRĘDKOŚCI POCZĄTKOWEJ POCISKU, ILE RAZY POCISK JEST MNIEJSZY OD BRONI.

Odrzut broni zaczyna się w momencie rozpoczęcia się ruchu pocisku w przewodzie lufy i osiąga swoją największą prędkość w momencie wylotu pocisku z przewodu lufy. W tych okolicznościach broń odchyła się częścią wylotową lufy do góry i w momencie wylotu pocisku kierunek osi przewodu lufy nie pokrywa się z poprzednim kierunkiem.

Kąt powstały między kierunkiem osi przewodu lufy przed strzałem a tą samą osią w momencie strzału nazywamy KĄTEM WYLOTU. Jest to wielkość zmienna zależna z znacznym stopniem od umiejętności strzelającego, jeżeli strzelający w czasie strzelania trzyma silnie karabin, kąt wylotu będzie mniejszy. Należy jednak jeszcze wspomnieć, że przy strzelaniu ogniem ciągłym pierwotne położenie osi przewodu lufy, przy każdym pocisku jest inne. Może to powodować że lufa jest coraz wyżej z każdym strzałem. Jest to wynikiem powstających DRGAŃ LUFY.

Tor lotu pocisku

Pocisk osuszający przewód lufy i posiada pewną prędkość początkową porusza się dalej siłą bezwładności zachowując wielkość i kierunek tej prędkości. Jeżeli na pocisk nie działałyby żadne siły (pocisk by leciał w próżni) to poruszałby się po linii prostej w nieskończoność z prędkością jednostajną. Jednak na poruszający się pocisk w powietrzu działają siły zmieniające jego prędkość i kierunek lotu. Te siły to:

- Siła ciężkości i .
- Siła oporu powietrza.

Balistyka zewnętrzna zajmuje się głównie badaniem wpływu powyższych sił na tor lotu pocisku, który w powietrzu zakreśla linię krzywą przechodzącą poniżej przedłużonej osi przewodu lufy.

Linię zakreśloną przez środek ciężkości poruszającego się pocisku nazywamy TOREM POCISKU.

Elementy toru pocisku

Elementy toru pocisku mają ustalone nazwy i skrócone oznaczenia (rys. A).

Punkt wylotu O — jest to środek wylotu lufy.

Poziom wylotu lufy OE — płaszczyzna pozioma przechodząca przez punkt wylotu O .

Punkt upadku F (tabelaryczny punkt upadku) — punkt przecięcia się toru pocisku z poziomem wylotu. Odległość OF nazywamy największą donośnością.

Punkt uderzenia U — punkt przecięcia się toru pocisku z powierzchnią celu (ziemi lub przeszkody).

Linia strzału OP — prosta będąca przedłużeniem osi przewodu lufy wycelowanej i gotowej do strzału broni.

Linia rzutu OR — prosta będąca przedłużeniem osi przewodu lufy w chwili strzału.

Linia celu OC — prosta łącząca punkt wylotu z celem.

Kąt celownika c — kąt POC , zawarty między linią celowania a linią strzału.

Kąt położenia celu p — kąt COE , zawarty między linią celowania a poziomem wylotu.

Kąt podniesienia φ — kąt POE , zawarty między linią strzału a poziomem wylotu.

Kąt wylotu γ — kąt ROP , zawarty między linią strzału a linią rzutu.

Kąt rzutu Θ — kąt ROE , zawarty między poziomem wylotu a linią rzutu.

Kąt upadku ω — (tabelaryczny kąt upadku) — kąt zawarty między poziomem wylotu a styczną do toru w punkcie upadku F .

Kąt uderzenia u — kąt zawarty między styczną do toru pocisku w punkcie uderzenia U a styczną do powierzchni celu lub przeszkody w punkcie uderzenia.

Czas lotu t — czas od momentu wylotu pocisku do chwili osiągnięcia przez pociskżądanego punktu na torze.

Całkowity czas lotu T — czas lotu pocisku do punktu upadku.

Prędkość początkowa V_0 — prędkość pocisku w początkowym punkcie toru O .

Prędkość końcowa V_k — prędkość pocisku w punkcie upadku.

Wierzchołek toru W — najwyższy punkt toru.

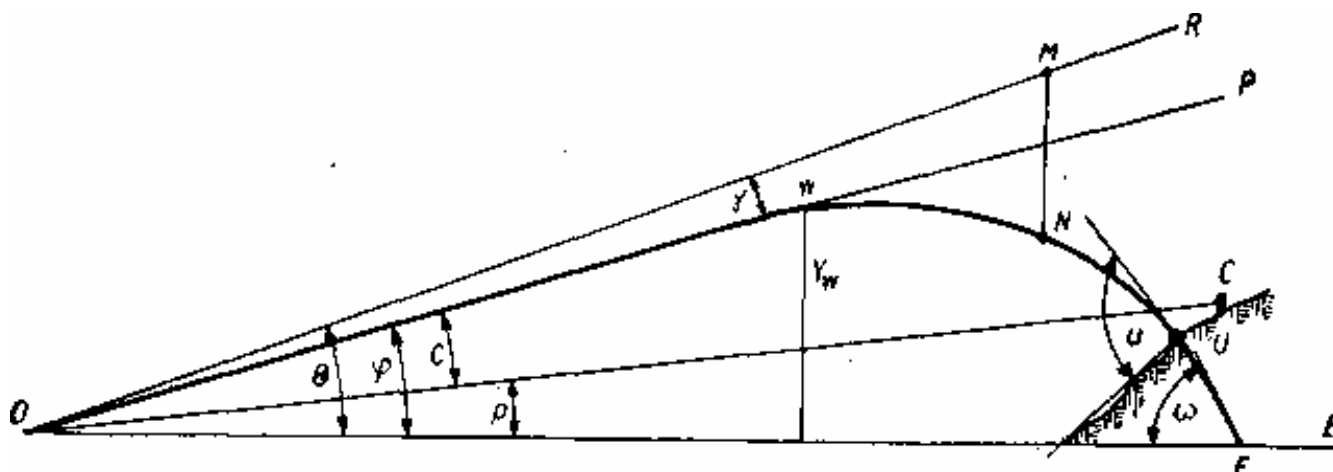
Wierzchołkowa toru Y_w — odległość pionowa od wierzchołka toru do poziomu wylotu.

Obniżenie toru w danym punkcie MN — odcinek pionowy od linii rzutu do danego punktu na torze.

Wznosząca część toru OW — część toru od wierzchołka toru do jego punktu początkowego.

Opadająca część toru WU lub WF — część toru od wierzchołka toru do punktu upadku lub uderzenia.

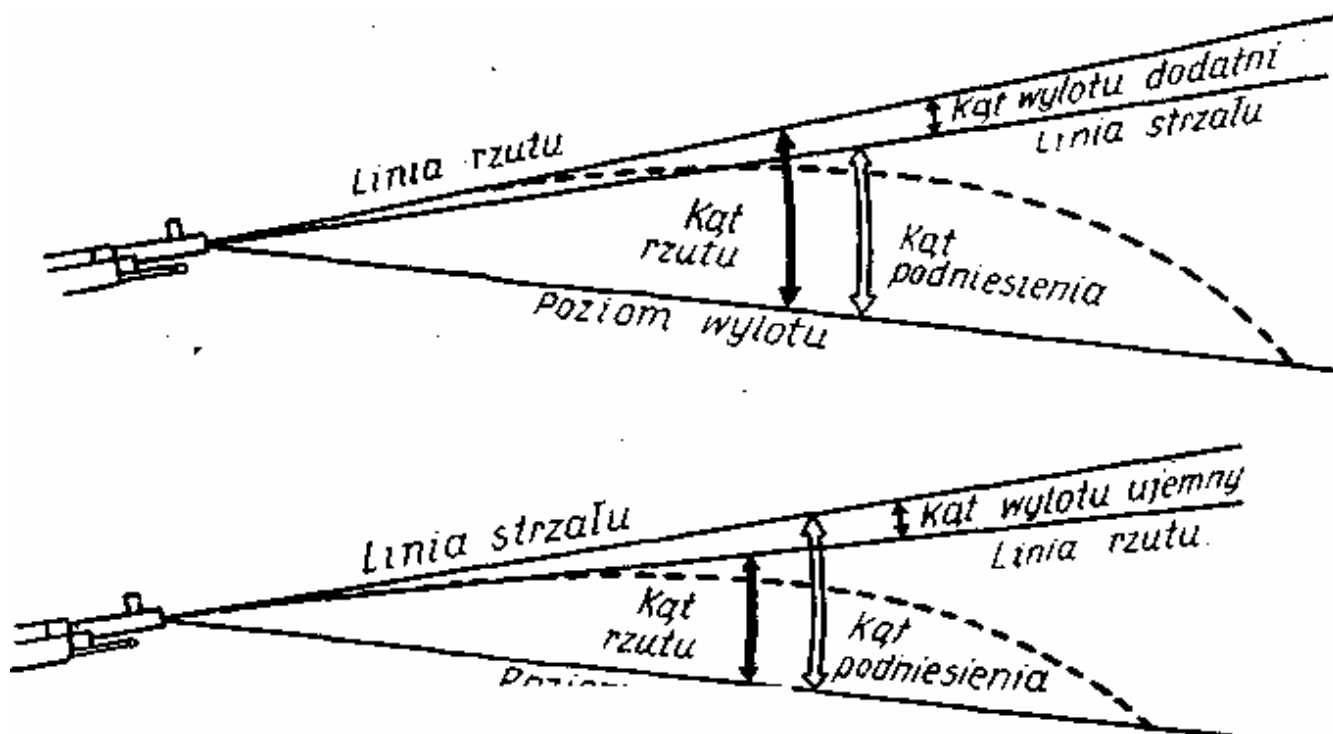
Odległość do celu OC — odległość wzdłuż prostej od broni do celu.



Rys. A. elementy toru pocisku

W celu wyrzucenia pocisku na żadaną odległość należy nadać lufie odpowiedni kąt podniesienia w stosunku do poziomu wylotu. Kąt zawarty między poziomem wylotu i linią strzału nazywamy kątem podniesienia. Jednakże słuszniejsze jest twierdzenie, że **odległość strzelania, a więc i kształt toru pocisku zależą od kąta rzutu, który jest sumą dwóch kątów: kąta podniesienia i kąta wylotu**. Jeżeli kąt wylotu jest ujemny (podczas strzelania z karabinka w 1891/30 r. z bagnetem), to kąt rzutu będzie mniejszy od kąta podniesienia i na odwrót, jeżeli kąt wylotu jest dodatni, to kąt rzutu będzie większy od kąta podniesienia (rys. B).

A zatem między odległością poziomą strzelania i kątem podniesienia istnieje określona zależność. Według prawa mechaniki największej odległości poziomej strzelania w próżni odpowiada kąt podniesienia wynoszący 45° . W miarę zwiększania tego kąta od 0 do 45° odległość pozioma strzelania wzrasta, a podczas dalszego zwiększania kąta od 45° do 90° — zmniejsza się. Kąt podniesienia, przy którym odległość pozioma strzelania będzie największa, nazywamy **kątem największej donośności**. W czasie lotu pocisku w powietrzu kąt największej donośności nie przekracza 45° ; podczas strzelania z broni strzeleckiej zależnie od ciężaru i kształtu pocisku jego wielkość waha się od 30 — 35° . Podczas strzelania pociskiem lekkim kąt największej donośności karabinka w 1891/30 r. wynosi 35° .



Rys. B. Kąty podniesienia i rzutu

Celność strzelania zależy też min. Od tego w jakim stopniu nastawa celownika odpowiada rzeczywistej odległości do celu. Jednak płaskość toru pocisku powoduje że błędy popełniane w

określaniu odległości do celu nie wywiera w praktyce wpływu na celność strzelania. Dlatego prawdziwym jest założenie że cel który jest na odcinkach w których tor pocisku jest niższy lub równy linii celowania, wówczas może być rażony. Wówczas mówimy że cel znajdował się w **polu rażenia**. Rozpatrując jednak tylko owe pole w prawdopodobnym upadku pocisku stwierdza się, że:
POLE RAŻENIA OKREŚLONE JAKO ODLEGŁOŚĆ WZDŁUŻ LINII CELOWANIA, NA KTÓREJ WIERZCHOŁEK TORU LIKU POCISKU NIE PRZEWYŻSZA WYSOKOŚCI CELU NAZYWAMY **GLĘBOKOŚCIĄ POLA RAŻENIA**.

Głębokość pola rażenia zależy od wysokości celu i płaskości toru pocisku. W tych samych warunkach pole rażenia będzie tym większe im będzie większa wysokość celu. Wówczas gdy wierzchołek celu nie przewyższy wysokości celu, to krzywizna toru pocisku nie ma wpływu na wynik strzelania.

Strzał, podczas którego wierzchołek toru pocisku nie przewyższa wysokości celu na całej odległości celowania, nazywa się strzałem bezwzględnym, a otrzymana przy tym największa odległość nazywamy odległością strzału bezwzględnego.

w czasie strzelania z tej samej broni odległość strzału bezwzględnego rozpatruje się oddzielnie dla każdego celu, i będzie ona tym większa im cel jest wyższy. Zaś przy różnych rodzajach broni odległość ta jest tym wyższa im bardziej płaski może być tor pocisku gdy strzelamy do tego samego celu. To świadczy o właściwościach bojowych broni.